

第4册 制度文化
第5册 教化与礼仪学术
第6册

中华
文化
通志



【科学技术】

第8册 艺文

化学与化工志

◎ 中华文化通志编委会编
◎ 上海人民出版社

第9册 宗教与民俗

第10册 中外文化交流

第1册 历史文化沿革

第2册 地域文化

第3册 民族文化

周嘉华
王治浩 撰

中华文化
通志

第 7

【科学技术】

◎ 中华文化通志编委会编
◎ 上海人民出版社

化学 与化工志

中国社会科学院
近代史研究所
图书馆藏

中华文化通志·科学技术典 (7—067)

陈美东 主 编

化学与化工志

周嘉华 王治浩 撰

上海人民出版社出版、发行

(上海绍兴路 54 号 邮政编码 200020)

印 刷 深圳中华商务联合印刷有限公司

开 本 880×1270 毫米 32 开

字 数 313,000

印 张 13

插 页 1

版 次 1998 年 10 月第 1 版

印 次 1998 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN7—208—02320—4/K·539

《中华文化通志》编委会

编委会主任 萧 克

编 委 李学勤 宁 可 王 尧 刘泽华
孙长江 庞 朴 陈美东 刘梦溪
汤一介 姜义华 陈 昕 朱金元
张国琦

办公室主任 张国琦

办公室副主任 王科元

策 划 姜义华 张国琦

F654/06
141605

化学与化工志

作者简介

周嘉华,1942年生。1964年毕业于广西大学化学系。中国科学院自然科学史研究所研究员。合著有《化学思想史》、《二十世纪科技简史》、《黄酒酿造》等。发表论文40余篇。

王治浩,1938年生。1965年毕业于山东大学化学系。任《化学通报》专职副主编、编辑部主任,编审;中国科技期刊编辑学会理事。合著有《中国化学会会史》、《中国科学技术专家传略》等。发表论文30余篇。

总 序

中华文化绵延了五千年的历史，起伏跌宕；哺育着差不多五分之一人类的身心，灿烂辉煌。它坦诚似天，虚怀若谷，在漫长的岁月里，广袤的土地上，有过无私奉献四面传播的光荣，也有过诚心求教八方接纳的盛事。它以直，健以稳，文而质，博而精，大而弥德，久而弥新，昂然挺立于世界各民族文化之林。

任何一个民族的文化，勿论东西，不分大小，都有它自己的土壤和空气，都有它自己的载体和灵性，当然也就都有它自己的长处和短处，稚气和老练。准乎此，任何一个民族的文化，都有它存在和发展的天赋权利，以及尊重异质文化同等权利的人间义务。每一民族都需要学习其他文化的各种优点，来推动自身发展；都应该发扬自身文化的一切优点，来保证自己的存在，缔造人类的文明乐园。

现在，当二十世纪的帷幕徐徐降落之际，为迎接新世纪的到来，中华民族正在重新检视自己，以便在新的世界历史发展中，准确地找到自己的地位。呈现在读者面前的这部百

卷本《中华文化通志》，便是我们为此而向新世纪的中国和世界做出的奉献。

《中华文化通志》全书共十典百志。

唐人杜佑著《通典》，罗列古今经邦致用的学问，分为八大门类，“每事以类相从，举其始终”，务求做到“语备而理尽，例明而事中，举而措之，如指诸掌”。《通典》的这一编纂方法，为我们所借用。《中华文化通志》分为十典：历代文化沿革典、地域文化典、民族文化典、制度文化典、教化与礼仪典、学术典、科学技术典、艺文典、宗教与民俗典、中外文化交流典。每“典”十“志”。历代文化沿革典十志，按时序排列。地域文化典十志，主要叙述汉民族聚居区域的地域文化，按黄河流域、长江流域、珠江流域排列。民族文化典十志，基本上按语系分类排列。中外文化交流典十志，按中国与周边及世界各大区域交往分区排列。其余各典所属各志，俱按内容排列。

宋人郑樵《通志·总序》有曰：“古者记事之史，谓之志。”“志者，宪章之所系。”指的是，史书的编纂关系到发掘历史鉴戒之所在，所以，编纂者不能徒以词采为文、考据为学，而应在驰骋于遗文故册时，“运以别识心裁”，求其“义意所归”，承通史家风，而“自为经纬，成一家言”。（章学诚《文史通义·申郑》）

本书以典、志命名，正是承续这样的体例和精神。唯本书为文化通志，所述自然是文化方面诸事，其编撰特色，可以概括为“类”与“通”二字。

“类”者立类。全书十典，各为中华文化一大门类；每典十志，各为大门类下的一个方面；每志中的“编”“章”“节”“目”，亦或各成其类。如此依事立类，层层分疏，既以求其纲目分明，论述精细，也便于得门而入，由道以行，俾著者、读者都能于浩瀚的中华文化海洋里，探骊得珠，自在悠游。

“通”者贯通。书中所述文化各端，于以类相从时，复举其始终，察其源流，明其因革，论其古今。盖一事之立，无不由几及显，自微至著，就是说，有它发生和发展的历史。弄清楚了一事物一制度一观念的演变轨迹，也就多少掌握到了它内在本质，摸索到了它的未来趋势。

“通”者汇通。文化诸事，无论其为物质形态的，制度形态的，还是观念形态的，都非孤立存在。物质的往往决定观念的，观念的又常左右物质的；而介乎二者之间的制度，固受制于物质与观念，却又不时反戈一击，君临天下，使制之者大受其制。其内部的诸次形态之间，也互相渗透，左右连手，使整个文化呈现出一派斑斓缤纷的色彩。中华文化是境内古今各民族文化交融激荡的硕果；境外许多不同种的文化，也在其中精芜杂存，若现若隐。因此，描绘中华文化，于贯通的同时，还得顾及如此种种交汇的事实，爬梳剔理，还它一个庐山真面目。此之谓“汇通”。

“通”者会通。“会”字，原义为器皿的盖子，引申为密合；现在所说的“体会”、“领会”、“会心”、“心领神会”等，皆由此得义。《中华文化通志》所求之通，通过作者对中华文化的领悟，与中华民族心灵相体认，与中华文化精神相契合。

这就是《中华文化通志》依以架构旨趣之所在。是耶非耶，知我罪我，恭候于海内外大方之家。

《中华文化通志》由萧克将军创意于1990年。1991年先后两次在广泛范围内进行了论证。1992年组成编纂委员会。十典主编一致请求萧克将军担任编委会主任委员，主持这一宏大的文化工程。1993年1月和1994年2月，全体作者先后齐集北京、广东花都市，研究全书宗旨，商定典志体例，切磋学术心得，讨论写作提纲。事前事后，编委会更多次就全书的内容与形式、质量与速度、整体与部分、分工与协作等问题，进行研究讨论。近二百位作者进行了创造性构思和奋斗式劳作。这项有意义的工作得到了中央领导同志以及各界人士的热情支持。编委会办公室承担了大量的日常工作。上海人民出版社承担了本书出版任务，并组织了高水准高效率的编辑、审读、校对队伍，使百卷本《中华文化通志》得以现今面貌奉献于世人面前。我们参与这一工作的全体成员带着兴奋而又惶恐的心情，希望它能给祖国精神文明建设大业增添些光彩，更期待着读者对它的不当和不足之处给予指正。

《中华文化通志》编委会

内容提要

本书以翔实的历史资料,系统、全面地叙述了中国古代的物质观和化学与化工各个领域——陶瓷、金属冶炼、本草、金丹术、火药及火药武器、造纸、印刷、酿造食品、糖、盐、硝、矾、颜料、染料、墨、漆、香料、化妆品、洗涤剂、皮革等的知识演进,以及近代化学与化学工业在中国建立和发展的历程。同时客观地介绍了中国人在化学与化工领域的众多发明创造,叙述了这些发明创造对中国文化和社会发展的作用,对世界文明和进步的意义。本书还初步探讨了化学与化工在中国发展的特点和规律。

目 录

导 言	1
第一章 古代的物质观	7
第一节 火的利用	7
第二节 一元论的物质观	10
第三节 阴阳五行学说	13
第四节 物质守恒的思想	16
第五节 关于物质构造的思想	18
第二章 陶瓷	21
第一节 陶器的起源	21
第二节 新石器时期的陶器及其制作工艺	24
第三节 瓷器的发明	28
第四节 制陶工艺的新进展	32
一、建筑陶制品	32
二、秦兵马俑	34
三、铅釉陶	36
四、汉代的画像砖和画像石	37

五、唐三彩陶器	38
第五节 制瓷工艺的发展	40
一、成熟瓷器的初期发展	40
二、南青北白的唐代瓷业	41
三、繁花争艳的宋代瓷业	43
四、元代瓷业的成就	46
第六节 古代制瓷业的鼎盛时期	46
一、瓷都景德镇	46
二、明代制瓷业的成就	49
三、清代制瓷工艺的成就	50
第七节 琉璃和玻璃	52
一、古琉璃、古玻璃的起源	52
二、古代玻璃的演进及其特点	55
三、琉璃及其发展	56
第八节 古代的陶瓷文献和主要著作	59
一、古代陶瓷文献、著述概况	60
二、古代主要陶瓷专著简述	62
第三章 金属冶炼和金属知识	67
第一节 铜和铜合金	67
一、红铜	68
二、青铜	69
三、胆水炼铜	72
四、黄铜	76
五、白铜	80
第二节 铁和钢	82
一、陨铁の利用和冶铁技术的起源	82

二、块炼铁与生铁工艺的科学内涵及发展	84
三、古代几种炼钢工艺的科学叙述	88
第三节 铅、锡、锌	91
一、铅	91
二、锡	92
三、锌	93
第四节 金、银、汞	95
一、金	95
二、银	97
三、汞	100
第四章 本草学中的化学知识	103
第一节 《神农本草经》和《本草经集注》中的无机化学知识	104
第二节 唐宋时期本草著作中的无机化学知识	109
第三节 明清时期本草著作中的无机化学知识	115
第五章 金丹术	125
第一节 金丹术的兴起	125
第二节 金丹术的发展	127
第三节 金丹术的衰落	134
第四节 金丹术的理论和方法	138
一、“假外物以自坚固”的丹药观	138
二、以阴阳五行学说为统摄的药性论	140
三、加速金石进化的炼丹观念	142
四、金丹术的方法和设备	143
第五节 金丹术的成就	147

一、汞化学·····	147
二、铅化学·····	150
三、砷化学·····	153
四、矾化学·····	154
五、黄白术的化学成就·····	155
第六节 著名的金丹家和金丹术著作·····	157
一、魏伯阳和《周易参同契》·····	157
二、葛洪和《抱朴子》·····	159
三、《道藏》中的金丹术著作·····	162
第六章 火药和火药武器·····	166
第一节 黑火药的发明·····	166
第二节 早期的火药配方和火药武器·····	171
第三节 火药和火器发展的新水平·····	177
第四节 火药和火器的传播、交流及对世界文明的贡献·····	185
第七章 造纸术和印刷术·····	192
第一节 早期的植物纤维纸·····	192
第二节 蔡伦和造纸术的发展·····	197
第三节 雕板印刷术·····	202
第四节 活字印刷术·····	205
第五节 造纸术和印刷术的外传·····	209
第八章 酿造化学·····	213
第一节 酿酒探源·····	213
一、古代关于酿酒起源的几种说法·····	214
二、酿酒起源的科学分析·····	216

第二节 曲蘖的发明和发展	218
一、曲蘖的发明	218
二、两汉魏晋时期的制曲技术	220
三、唐宋时期的制曲技术	224
四、红曲工艺的发明	226
第三节 中国传统的发酵原汁酒——黄酒酿造工艺的演进	227
一、商周时期的几种酒	228
二、发展中的黄酒及其酿造技术	230
三、进入成熟期的黄酒酿造工艺	232
第四节 葡萄酒和蒸馏酒	235
一、早期的葡萄和葡萄酒	236
二、葡萄酒酿造工艺的演进	237
三、中国蒸馏酒的起源	239
四、蒸馏酒工艺的发展	241
第五节 醋、酱及豆腐	243
一、醋	244
二、酱、豉及酱油	247
三、豆腐及豆腐酿制品	249
第九章 若干有机化合物和无机盐的化学工艺	252
第一节 糖	253
第二节 食盐	258
一、海盐	259
二、池盐	261
三、石盐	262
四、井盐	264

第三节	硝	266
第四节	矾	270
第十章	颜料、染料、墨和漆	276
第一节	颜料和染料	276
第二节	墨	284
第三节	漆	291
第十一章	香料、化妆品、洗涤剂及皮革工艺	297
第一节	香料	298
第二节	化妆品和洗涤剂	304
第三节	皮革工艺	308
一、	传统的皮革工艺	309
二、	古代的皮革业	311
第十二章	近代化学的传人和传播	315
第一节	近代化学传入的早期状况	315
第二节	徐寿对近代化学传入的贡献	318
第三节	《格致汇编》的刊行	321
第四节	《亚泉杂志》上的化学论文	322
第五节	化学命名法的制订	324
第十三章	近代化学的奠基	328
第一节	近代化学教育	328
一、	近代化学教育的肇始	328
二、	近代化学教育的勃兴	333
第二节	近代化学研究	340

一、近代化学研究的开端与发展·····	340
二、近代化学各学科研究概况和主要成果·····	342
第三节 近代化学工业 ·····	367
一、近代化学工业的兴起·····	367
二、近代化学工业的发展概况·····	368
第十四章 近代化学研究机构和学术团体 ·····	380
第一节 研究机构·····	380
第二节 学术团体和刊物·····	385
参考文献 ·····	391

导 言

通俗地说,化学是一门研究物质的性质、组成、结构、变化和应用的科学。化学工业是运用化学方法改变物质组成或结构,或合成新物质的特定生产部门。二十世纪下半叶科学技术的飞速发展,使人们对上述的定义产生了新的见解。有人认为化学是分子的科学,它研究的对象是构成地球、宇宙的千千万万物质的基本微粒——分子及其相互之间的转化规律。这就赋予化学科学以更深邃的内容和更广阔的研究范畴。随着研究方法和生产手段的深化,化学工业所包含的内涵也有明显的变化和扩展。然而在编著《中华文化通志·科学技术典·化学与化工志》时,我们只能沿用传统的,即上述通俗意义上的概念来描述过去在中国已发生的并有共识的历史事实。

从上述认识出发,《化学与化工志》内容将包括火的利用和古代的物质观、金丹术、陶瓷、冶金、本草、火药、造纸、酿造,若干有机化合物和无机盐、颜料、染料、墨和漆、香料、洗涤剂、制革等化学工艺;还包括近代化学的传入和传播、近代化学和化工的奠基、近代中国的化学研究机构和学术团体。古代的印刷术从技术上来说,更多地是属于机械,然而由于它的发明和发展一直与造纸术联系在一起,都是文化史的重要内容,所以本志将它与造纸工艺放在一起叙述。冶金工艺是一项纯粹的化学工艺,其中孕含了极丰富的化学知识,然而由于它在

生产力发展中的重要地位,从古至今,早已独立成为一个重要的工业部门,所以有关冶金的工艺,着重在《纺织与矿冶志》中叙述,本志只是从化学的角度略叙有关金属知识。本草学反映的是古代人们对自然界众多物质的认识,长期以来与医药学联系在一起,成为药学的重要组成部分,因此有关本草学的内容放在《医药学志》中着重陈述,本志只涉及本草学中的无机化学知识。

有人曾认为中国古代无化学知识可言。这种看法是错误的。早在远古时期,人们就已开始利用化学手段来适应自然环境,提高生活和生产技能,改善自己的物质生活条件,例如利用火和人工取火烧制陶器,炼铸金属,加工食品等。这不仅使人类能立足于自然界,而且逐渐取得更多的主动,成为自然界的主人。在长期的艰辛劳动中,人们接触和了解了许多化学现象,逐渐积累起一些选择物质,利用物质及其化学性质,掌握某些物质的化学转化手段的经验。这些经验的积累就是早期的实用化学知识。这些转化手段的演进就是原始的化学工艺技术。

实用化学知识的积累,原始化工技艺的提高,给人们以启迪。一些对于变化万千的自然界抱有好奇和探索志趣的学者,试图用思辨的方法对众多自然现象及物质变化提出一些自圆其说的观点或假说,于是中国的思想界就出现了阴阳说、五行说、元气说等关于物质变化的假说。这些假说或观点尽管现在看来极不成熟,但是在当时能坚持从物质世界本身来认识世界,却是难能可贵的,是朴素的唯物观。正是这些观点或假说在中国古代科技发展的漫长道路上产生了深刻的影响。

化学知识的积累,原始化工技艺的发展,某些雏形的化学观念和假说的提出和发展,构成了古代化学的概貌。可以说古代化学包括了两部分内容:一是原始的化工技艺及相关联的实用化学知识,二是某些试图认识和解释化学现象、化学变化、化学物质的观念和假说。前

者主要依靠工匠们在化工生产实践中积累起来,后者则是在学者们的思辨和争论中萌芽和发展。两者在古代的不同时期、不同地域有着不同的内容和表现形式,所处的社会地位也不一样。历史事实表明,当上述构成古代化学的两部分内容能较好地沟通和交融时,则化学和生产都会取得长足的进展。可惜的是在中国古代的大多数时期,封建社会的“劳心者治人,劳力者治于人”的等级观念和歧视劳动的恶习,使这两者长期处于分离状态。由于这种分离,作为生产力发展的重要组成部分——传统的化学工艺及相关行业的发展十分缓慢,作为化学知识积累的主要途径——实用化学的发展也是缓慢的。

金丹术的出现,本来是促使上述两者结合的极好机遇,因为方士们所遵从的指导思想或基本理论是古代学者所提出来的关于物质组成、物质变化的观点,他们从事炼丹、炼金的实际操作技巧或经验,大多来自工匠们从事生产的直接经验。可惜的是方士们的目的是炼制长生不老的仙丹或变贱金属为黄金、白银,这种满足统治者需要的荒谬欲望显然严重地脱离了社会生产的现实,是不可能实现的。方士们在人烟稀少的深山幽谷中进行了大量的炼丹活动,尽管也曾有一些发现、发明,但是他们的最终产品——伪金假银很快就被人们所识破,金液还丹更是毒死过不少人。金丹术最终走向衰落是不可避免的。从现代的科学定义来看,金丹术还不能称作科学,但国内外的化学史家都承认它是化学的雏形,即原始形态。

金丹术虽然也取得一些成就,甚至像火药发明那样举世瞩目,但是中国古代化学的发展主要还是依赖于门类颇多的化学工艺的发展。这些化学工艺虽然没有完整的理论指导,却大多有自己的工艺系统。经验的积累,知识的扩充,在其演进的系统中是十分明确的。所以本志将以较多的篇幅分门别类地叙述化学工艺的发展。

中国古代的化学工艺大多渊源于史前时期,例如制陶、冶铸青铜、取盐、制革、酿酒、作醋及识别和使用多种颜料和染料等。先民们

通过生活实践中的观察和摸索,在简陋的条件下,逐步掌握了利用某些化学变化来实现某些物质的转化。这些手段在当时对于提高人们适应大自然的能力,改善生活状态起了很大的作用。例如制陶工艺,它是新石器时期代表生产力水平的重要标志。这些工艺在人们生活需求的促进下,多有不同速度、不同表现形式的发展。商周时期,上述工艺大都有了较快的发展,其中以金属冶铸的成就最引人注目。生产工具的进步是社会生产力发展的重要标志,青铜工具优于石器、陶器是显而易见的。从农具到兵器,从用具到礼器,青铜都是最重要的材料,因此在商周时期青铜冶铸技术获得了高度的重视和发展。正是在这个基础上,春秋战国时期才出现块炼铁冶炼和生铁冶铸并行发展的独特局面。其时,铁工具,首先是铁农具取代了青铜制品,它的推广应用极大地促进了生产力的发展。这是中国由奴隶社会向封建社会过渡的重要前提。钢铁技术在两汉魏晋时期的较快发展也是适应了社会变革的这种需求。

生产力的大发展,社会的大动荡、大变革,反映在上层建筑中一个很重要的表征就是学术思想的繁荣。春秋战国时期诸子百家争鸣的局面就是在这种背景下产生的。学者们为了论述自己对社会变革的看法,首先就是要从认识物质世界的观念中去寻找根据,这就很自然地促使人们去探讨物质的本原、分类及变化。阴阳说、五行说、元气说等一些有关物质及其变化的假说便应运而生。尽管这些假说曾被一些人牵强附会地联系于多种社会现象和社会变化,但是一些学者仍然坚持了这些假说中的唯物论观念,并用于认识和解释物质世界。这些观念则一直影响着中国古代科技的发展,直到近代科学的建立。

金丹术在秦汉时期兴起,在魏晋南北朝时期得到相当的发展。唐朝的皇帝还声称自己是道教教主老子李聃的后裔,奉道教为国教,使金丹术进入了鼎盛期,然而方士们炼出的丹药却先后毒死了宪宗、武宗、宣宗等帝王,还毒死了不少贵族权臣。这些悲惨教训,使它名声扫

地,并促使它改变了方向,不求长生,只求治病、炼气养神方面,即所谓“内丹”。作为“外丹”的金丹术到了清代已销声匿迹了。综观金丹术的兴盛,恰好与封建社会同步,几乎同时兴起,同时发展,同时衰败。因此有人说中国的金丹术是封建社会的畸形儿。

从两汉到唐宋这段封建社会发展至鼎盛的时期,古代的化学工艺也曾呈现一片丰收的景象。它的一些重要成就无论在中国文化史上,还是在世界文化史上都留下了辉煌的一页。一是两汉时期发明了造纸术。有了纸张,才可能发展雕板印刷、活字印刷;雕板印刷、活字印刷,扩展了纸张的用途。对于造纸术和活字印刷术的发明,马克思这样评述它:“变成科学复兴的手段,变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆。”^①二是发明了黑火药和火药武器。这不仅是增加了一类新型武器,改变了作战方式,更重要的是当它传到欧洲后,“把骑士阶层炸得粉碎”^②,和印刷术、指南针一样成为资产阶级社会到来的前提。三是东汉末完成了从陶到瓷的过渡,出现了成熟的瓷器。从此价廉物美的瓷器在许多场合取代了木器和漆器,它不仅是日常生活中不可缺少的日用品,还是可供观赏的工艺品。精美的瓷器和丝绸一样代表着中国传统的文化和技术,在中外文化交流中发挥了重要的作用。四是酿酒作醋工艺臻于成熟。用曲有意识地引入微生物,加上有选择、有控制地促成发酵过程的完成,都是中国古代在生物化学上取得的重要成就。用曲酿酒、作醋不仅成为中国酒醋的特色,后来在东亚传播开来,也成为东亚发酵食品的一个特色。中国的酒、醋、酱不仅是享有美誉的中国烹饪的重要佐料,而且其制造工艺所蕴藏的科学内容也为人们研究生物化学及其工程积累了丰富的资料。

中国的封建社会在中外文化交流中,虽然也传入一些农林作物的新品种和手工工艺,例如传入一些药物、香料、颜料及琉璃,引入良

^{①②} 马克思:《机器。自然力和科学的应用》,人民出版社1978年版,第67页。

种葡萄,对中国传统的化学工艺的发展带来某些影响,但是这种影响对于整个科技发展和经济发展的作用是不显著的。然而当中国封建社会步入衰落的明清时期后,明确地说是到了十六世纪后,享用中国古代四大科技发明成果的欧洲国家,逐步地完成了向资本主义社会的过渡。这时站立在中国西方的不再是成吉思汗时的欧洲,而是在许多方面超过中国的西方列强。明代后期来到中国的西方传教士,虽然配合资本主义扩张是他们的本意,然而他们在促进中外科技文化交流方面的确也做了一些实事。同时在实学思想的影响下,茅元仪、李时珍、徐霞客、宋应星、徐光启、方以智等学者深入实际,对传统的科学技术进行研究总结,先后完成了《武备志》、《本草纲目》、《徐霞客游记》、《天工开物》、《农政全书》、《通雅》等巨著,为中国古代科技史留下了珍贵的遗产。

清代统治者奉行闭关锁国的政策,几乎中断了中外科技文化的交流。这种状况不利于中国科技的发展,同时也为虎视中国这一广阔市场的西方资本主义所不容。1840年的鸦片战争,西方殖民者用坚船利炮轰开了中国的大门。此后清王朝中的改革派推行的洋务运动,进一步促进了近代科学在中国的传播,近代的工业厂矿也随之在中国建立起来,中国的科学,包括化学在内,翻开了新的一页,开始步入近代阶段。

由于帝国主义的侵略,中国逐渐沦为半封建半殖民的境地。在这种社会背景下,近代科学技术在中国的传播和普及,不仅速度是缓慢的,而且发展道路也是十分坎坷的。经过诸多志士仁人前赴后继的努力,在1949年以前总算在中国的大地上初步建成了较为系统的近代科学的研究、教育和工业体系,为后来的进一步发展奠定了基础。

第一章 古代的物质观

火的燃烧是一种常见的化学现象，人们真正从科学上认清它是近代的事。然而早在远古时期，人类最早有所认识并有意识地加以控制和利用的自然现象就是火。粘土经过火的烧烤变成了陶器，矿石经过火的烧炼得到了金属，……火导引出的一系列化学变化和成果，极大地改变了人类的生活、生产乃至整个社会的面貌。古希腊曾有人认为火是万物之源，而中国的先人则把火与金、木、水、土一起视为构成万物的元素。这种朴素的物质观是古代中国自然观的重要组成部分，它在当时、在后来对人们的世界观及哲学思想都曾产生过重要的影响。阴阳五行学说在中国漫长的封建社会，即在近代科学传入中国以前，不仅是金丹术的理论根据，同时也被用来解释许多物质变化的奥秘。此外，古代关于气的学说，《老子》提出的“有生于无”，《周易》的“变化之道”，《庄子》的“无内”思想，《墨子》关于“端”的论述，都对物质的构成或物质的变化作出了大胆的推测，对古代中国的哲学思想产生过积极的影响。

第一节 火的利用

在地球演化和生命起源的漫长过程中，经历了无数的化学变化。

在人类出现以后,随处可见生命的繁衍和死亡、动植物的生长和腐败等可直接感知的化学变化,特别是火山喷发、雷电轰闪、陨石落地都可能引发的熊熊大火给人类留下了深刻的印象。在显示光和热的火焰面前,动物仓皇而逃;人类则由起初的恐惧,发展到后来逐渐认识到火不仅在黑暗中给人以光明,在寒冷中给人以温暖,还认识到经过火烧的食物可口,火还能驱赶猛兽,保护人们的安全。在长期的实践中,人类最早有所认识并有意识地加以控制和利用的自然现象就是火。这是人类支配自然的伟大开端。

我国境内发现的早期人类遗址中都有火的遗迹。在距今百余万年的元谋人遗址中,曾在元谋人化石粘土层出土了大量炭屑,并发现数块烧骨。距今约百万年的陕西蓝田人遗址中也有当时用火的痕迹。距今五十万年前的北京人,不但已普遍用火,而且已经掌握了保存火种的方法。考古工作者在北京房山周口店龙骨山北京人群居的洞穴中,发现了很厚的灰层,最厚的约有2米,其中有被烧过的兽骨和石块。兽骨由于烧烤而呈现黑、灰、黄、绿等色和不规则的裂纹。石块有的熏黑了,有的烧裂了,有的石灰质的石块甚至烧成了石灰。在灰层中还发现有木炭。这是北京人有意识地利用火取暖和烧烤食物的实证。灰烬不是散漫地存在于整个地层,而是有一定部位的一堆堆分布,这表明北京人有意识地采取了保存火种的方法。

用火烧烤兽肉和植物的根茎,改变了原始人类茹毛饮血的状况。吃熟食不但减少了疾病的发生,同时对人类智力的发展也有促进作用。烧制熟食的本身也是一个化学变化过程。人类正是利用和控制火来实现更多的化学变化,来扩展自己与自然界争斗的能力。

人类最早是从自然界的野火中取得火种,然后各群体都要设专人来保管火种,火成为人们生活中不可分离的伴侣。天然野火并不是随时随地可得,引进火种要受自然条件的限制,这样就使保存火种显得格外重要。即使如此,仍然会遇到不可抗拒的原因而使火种遭致熄

灭。这种情况就迫使人们去寻找人工取火的方法。

在打制石器中,会发现某些石头相击而产生火星,但这种火星一闪即熄,要使它燃起火焰是极难的。人们在使用木制工具时,发现枯木被猛力相摩会发热,摩出的木屑,热到一定程度,也会生成火星。这火星由于周围有较高的温度,燃烧时间相对地较长,若遇到干草之类的易燃物,就能燃起火焰。人们正是在长期的生活实践中发明了这种钻木取火的方法。

在我国的古籍中,关于钻木取火的传说记载很多。《韩非子·五蠹》记载:“上古之世……民食果麻蚌蛤,腥臊恶臭,而伤害肠胃,民多疾病,有圣人作,钻燧取火,以化腥臊,而民悦之。”这就是钻木取火的神话传说。钻木取火始于何时,实难稽考,但是它在古代沿用了很久是确凿的,从先秦到魏晋,该法仍是最普遍的取火方法。它一般是用一根较硬的木棒作钻棒,被钻的木片往往用软木,钻棒在软木上快速旋转,钻出的木屑遂被点燃。直到二十世纪上半叶,海南岛的黎族和云南的佤族仍在采用钻木取火的方法。

远古钻木取火的工具已很难得见,但在汉晋遗址中却有出土。考古工作者在甘肃居延汉代烽燧遗址中曾发现过钻木用的钻棒和木片。木片呈锯齿状,它可能是与钻木取火原理相同的“锯法取火”。传说中伏羲氏的“错木生火”应是此法。《庄子·外物》所说的“木与木相摩则然”,大概也是指锯法取火。此法在战国时,与钻木取火一样流行。据调查,云南的佤族和苦聪族在二十世纪四十年代前也曾运用过此法取火。^①

进入青铜时代后,我国的先民又利用青铜铸的凹镜,聚日光以生火。这种铜镜又称“阳燧”、“夫燧”。《周礼·秋官·司烜》曰:“司烜氏掌以夫燧取明火于日。”又在击石法的基础上发明了火镰击石法。该

^① 汪宁生:《民族考古学论文集》,文物出版社1988年版,第176—189页。

法用两块黄铁矿石或用黄铁矿石与火石相击生火。此法起源也很早,但由于它对火镰材料有一定要求,即必须用高碳钢制成的火镰击石才能生火,因而发展较慢,直到宋元时代才普遍采用,并逐渐淘汰了古老的钻木和锯法取火。

利用和控制了火,人们就可以实现许多物质的变化。古代化学采用的全部方法——燃烧、煅炼、煮沸、蒸馏、升华及溶解、熔融等,无一不与火发生直接或间接的联系。所以火的利用为实用化学工艺的出现铺平了道路,可以说火的利用是化学知识发端的标志。

第二节 一元论的物质观

原始时代的人类,对于周围自然界的形形色色的众多物质,很自然地要提出一系列疑问,如这些物质是从哪里来的,它们是怎样变化的,它们之间有什么联系等。回答这些问题,对于原始人类是很困难的。从现有的甲骨文上的资料来看,在殷商及其以前的时代,人们对鬼神的迷信十分普遍,许多行动的裁定都取决于卜筮。万物有灵的思想弥漫于全社会。

随着人类在生产、生活中对于各种物体的数量、形状、大小、颜色、性质及变化的知识的不断积累和增长,出现了一些努力探索自然界奥秘的学者。他们根据自己对自然界众多现象的观察和分析,提出了有关自然界的组成、自然界的本性、物质的变化、物质的构成等问题的看法。

在中国古代,有的学者认为:全部宇宙包括所有物质,而所有物质的来源只有一个。今天称这种看法为“一元论的物质观”。关于这种“原始的物质”,在古籍中不同的学者有不同的命名。

中国古代最早的哲学著作《周易》“系辞篇”中有这么几句话:“易

有太极，是生两仪；两仪生四象，四象生八卦。”在这里“太极”就是那原始物质。该书还写道：“八卦成列，象在其中矣，因而重之，爻在其中矣；刚柔相推，变在其中矣；系辞焉而命之，动在其中矣。”《周易》的这些话后来成为儒家、道家、汉朝经学家、宋朝道学家的宇宙论的基础。儒家和道家曾用阴阳观念来解释《周易》的卦象和卦爻辞的内容。魏伯阳的《周易参同契》曾运用《周易》来解说炼丹过程的变化，认为炼丹变化的方式与动力乃是《周易》里的乾坤设位，日月回转，天地媾精，阳播阴化。所以可以说《周易》的变化观念，是金丹术的理论基础之一。

大约成书于春秋末战国初（约前400年）的《老子》（即《道德经》）里说：“道生一，一生二，二生三，三生万物，万物负阴而抱阳，冲气以为和。”（《老子》四十二章）这是明显地把一切物质视为由“道”产生。《老子》一书还大胆地提出了“有生于无”的命题。这一命题是对具体物质的变化、生灭的一种抽象概括。例如制陶时，用土和水，烧制成陶，然而得到了陶器后，土和水都没有了。这种描述物质变化中的有无转化的观念，后来成为金丹术的思想渊源，所以老子被金丹家们尊为始祖。

上述的原始物质在汉初刘安等所著的《淮南子》上也叫作“道”。“道始于虚霁，虚霁生宇宙，宇宙生气。……天地之袭精为阴精，阴精之专精为四时，四时之散精为万物。”（《淮南子》卷三）

气的本意是指云气，在春秋战国时，它主要表示物与物之间相互作用的中介。学者注重的是气的功能作用。例如《左传·昭公元年》里写道：“天有六气，降生五味，发为五色，征为五声，淫生六疾。六气曰阴阳、风雨、晦明也。”《管子·内业》提出：“凡物之精，此则为生，下生五谷，上为列星。流于天地之间，谓之鬼神，藏于胸中，谓之圣人，是故民气。”“凡道，无根无茎，无叶无荣，万物以生，万物以成，命之曰道。”“精也者，气之精也。”这里不是把精气当作构成万物的质料，而

是论述万物的生成方式。东汉学者王充(27—约97年)继承发展了上述的元气学说,提出了元气自然说。他在《论衡·谈天》中说:“天地,含气之自然也。”在《论衡·自然》中说:“天地合气,万物自生,犹夫妇合气,子自生矣。”即认为天地万物都是由元气自然而然构成的。

作为道教理论奠基者之一的葛洪,在宇宙的本原问题上,袭用了道家“元”(亦称“道”或“玄”)的思想,提出“玄者,自然之始祖,而万殊之大宗也”(《抱朴子·内篇·畅玄》),认为宇宙的生成、运动变化都是由“元”所产生的。同时他将《老子》的“有生于无”的命题发挥为“有因无而生焉,形须神而立焉”(《抱朴子·内篇·至理》),从而用来说明神仙是存在的,人只要得“道”就能成仙,长生不老。

三国时吴国人杨泉用物质性的“气”和“水”去说明宇宙的本原及天地万物的生成。他把宇宙万物统一于物质元素:水。认为“成天地者,气也”,天地万物由“气”而成,而“气”又是由“水”而生,“吐元气,发日月,经星辰,皆由水而兴”(《物理论》)。

在唐朝,柳宗元、刘禹锡等继承和发展了王充的元气学说。柳宗元(773—819年)认为宇宙是由元气形成的,不存在任何有意志的主宰宇宙的东西。他说:“庞昧革化,惟元气存,而何为焉?”(《柳河东集·天对》)意思是在初始的混沌状态中,只有元气在运动、发展、变化着,不存在什么造物主。他还认为阴、阳和天都是由元气所派生出来的,物质世界的运动变化,是由于阴阳二气对立统一,彼此交叉渗透运动变化的结果。刘禹锡(772—842年)补充了柳宗元的自然观,认为万物的生长发展是自然的过程,天地万物都是乘气而生,植物、动物以至人类都是天地阴阳之气交互作用而产生的(《刘宾客文集·天论》)。

北宋学者张载(1020—1077年)总结了前人的元气学说,建立了元气本体论。他指出:“太虚不能无气,气不能不聚而为万物,万物不能不散而为太虚”(《正蒙·太和》)。他把气看作万物的本原,并引入

了“聚”和“散”的概念,以说明客观世界不同物质形态的存在和它们的运动变化。他还认为,气只有聚散,并无生灭。张载的观念继承和发扬了中国古代朴素自然观的传统,充满了唯物主义和古代辩证法的思想,对后世有很大影响。

第三节 阴阳五行学说

早期的阴阳学说和五行学说属于朴素唯物主义的自然观,它在商周之际开始提出,到了战国时期已发展成较为完整的形态。早期的阴阳说、五行说同人们试图解释宇宙万物本原的尝试是密切相关的。它来自生活、生产的实践,是对大量感性知识的概括,坚持了从物质世界本身说明世界,因而较通俗,易被人们所接受,在当时及后世相当长的时期内,具有深远的影响。

阴阳的概念是人们在长期实践中抽象出来的。面对着夜与昼、阴与晴、寒与暑、生与死、男与女、干与湿、硬与软等等大量的、常见的,既是相互对立,又是相互关联的自然现象和社会现象,人们抽取出阴和阳这两个基本的概念,作为上述那些具体的相对立的个别事物或属性的概括抽象,用阴代表阴暗、寒冷、柔弱、寂静等,用阳代表明亮、温暖、刚强、活跃等。用阴阳观念说明事物的性质和变化,最早的学者有西周末年的史官伯阳父。他解释地震的原因时说:“阳伏而不能出,阴迫而不能蒸,于是有地震。”(《国语·周语》)春秋时代,有人以阴阳二气解释节气的变化。到战国初年,老子《道德经》说:“万物负阴而抱阳,冲气以为和。”老子不仅认为阴阳二气相交而生万物,同时又指出万物都具有阴阳两方面的性质。庄子也以阴阳为范畴说明事物的性质和变化。例如《庄子·大宗师》说:“父母于子,东西南北,唯命是从。阴阳于人,不翅于父母。”管子也论阴阳说:“是故阴阳者,天地之大理

也。四时者,阴阳之大经也。”(《管子·四时》)“凡万物阴阳,两生而参视。”(《管子·枢言》)“春秋冬夏,阴阳之推移也;时之长短,阴阳之利用也。日夜之易,阴阳之化也。然则阴阳正矣。虽不正,有余不可损,不足不可益也。天地莫之能损益也。”(《管子·乘马》)这里用阴阳的观念解释天时变化,并认为阴阳变易自有法则,人意不能损益之。可见阴阳说在当时已具有广泛的影响。

五行学说起源也很早,其思想渊源包括远古的神秘的数字崇拜和方神崇拜,同时汲取了古人对物质变化的观察经验。周人有“五材”之说。《左传·襄公二十七年》记载:“天生五材,民并用之,废一不可。”《国语·郑语》说:“夫和实生物,同则不继,……故先王以土与金、木、水、火杂,以成百物。”《国语·鲁语》也说:“及地之五行,所以生殖也。”战国时期成书的《尚书·洪范》较清楚地论述了五行说的内容:“……五行:一曰水,二曰火,三曰木,四曰金,五曰土。水曰润下,火曰炎上,木曰曲直,金曰从革,土爰稼穡。润下作咸,炎上作苦,曲直作酸,从革作辛,稼穡作甘。”这里不仅叙述了五行的本性,即每行各具的双重性格,同时言及五行与五味的联系。前者十分客观,后者有点牵强。

根据五行的性质和它们之间的联系,学者们很早就提出五行相胜,即五行相克的观点。他们认为水能灭火,故谓水胜火;火能销金,故谓火胜金;金属制的斧斤用来伐木,故谓金胜木;木制的耒耜用来耕地,故谓木胜土;用土筑的堤能够挡水,故谓土胜水。《左传·昭公三十一年》曾记载:“庚午之日,日始有谿。火胜金,故弗克。”先秦文献中还有一些相关的记载,说明五行相胜说来自实践,当时具有一定影响,它的部分内容已包含在《洪范》的五行理论之中。在阐述五行说中,墨翟等学者提出了更深刻的见解:“五行无常胜。”《墨子·经下》说:“五行毋(无)常胜,说在宜(多)。”《墨子·经说下》说:“火烁金,火多也;金靡(消耗尽了)炭,金多也。”即说火能不能熔金存在一个条

件,不能总说火常胜金。所以五行无常胜比五行常胜更科学,更辩证。《孟子·告子上》也说:“犹水胜火,……犹以一杯水,救一车薪之火也,不熄,则谓之水不胜火。”庄子也有类似说法。这种朴素的辩证法对五行说应是一个补充和发展,对后世的哲学思想也有深远的影响。

五行说是在一定的经验基础上提出的理论,是对客观物质世界的统一性与物质变化规律性的一种总结,是我国古代一种独特的物质观。它能解释许多自然现象和物质变化,但是由于它毕竟只是建立在部分事实基础上,因而当它被推广到更广阔的领域时,就不可避免地出现矛盾和削足适履的情况。

战国中后期的齐国学者邹衍(前 305—前 240 年)以阴阳来统摄五行,创立了阴阳五行说。同时他把自然界的五行说推广到社会变迁中。《吕氏春秋·十二纪》是反映邹衍思想的著作。该篇以五行思想为基础,把自然变化和社会活动纳入一个系统之中,分为五日、五帝、五神、五方、五色、五音、五虫、五味、五臭、五数、五祀、五祭先等十二纪,各纪中又一一与五行各行对应,构成了一个完整的世界模式。邹衍还给五行赋予德性,解释历史上五朝更替的原因。他依据五行相胜说,认为朝代的更替是依据五行相胜的顺序交替循环的。这就开始把阴阳五行说引向了唯心的歧途。

西汉学者董仲舒(约前 179—前 104 年)在总结前人阴阳五行说的基础上,对五行的顺序作了调整,提出了“比相生而间相胜”的观点。他在《春秋繁露·五行之义》中说:

天有五行,一曰木,二曰火,三曰土,四曰金,五曰水。木,五行之始也。水,五行之终也。土,五行之中也。此其天次之序也。

木生火,火生土,土生金,金生水,此其父子也。

所谓“比相生”,即按顺序比邻相生,即木经燃烧生火;火燃烧后的渣灰而形成土;地上的矿石经冶炼而生成金属,即土生金;金属经熔解变成液态,即金生水;水滋润土而树木生长,故水生木。所谓“间相

胜”，即按顺序间隔相胜。即木胜土，土胜水，水胜火，火胜金，金胜木。上述相生相胜的关系如图 1-1 所示。董仲舒以五行来解释封建的人伦道德，这是唯心的，然而不能不承认他关于五行相生相胜的认识是以物质转化的事实为根据的，是对阴阳五行说的发展。

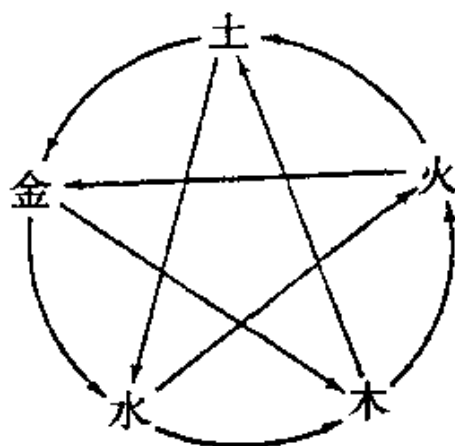


图 1-1 五行
相生相胜关系

总之，中国古代的五行说，可以说是元素论的萌芽。尽管这学说中的元素还不是近代科学中的元素，比较粗糙，但是在当时的历史条件下，能对世界的本质和万物的起源作出唯物主义的回答。因此古代的五行说是一种早期的朴素的唯物论。阴阳说从另一角度反映了自然界的面貌，它和五行说的结合，不仅巩固了人们对世界物质性的认识，还进一步涉及了物质变化的规律。五行相生相胜的法则就阐明物质在一定条件下相互转化的关系，充满了朴素的辩证思想。所以阴阳五行学说在中国古代影响很大，在化学史上，它成为后来兴起的金丹术的指导思想，成为许多实现物质变化的化学工艺的阐明机理时的根据。在医学上，成为传统中医的重要的理论基础。当然阴阳五行说在发展中，曾被用来论证封建政治伦理的信条，为封建统治者所用，因这与化学无关，这里就不叙述了。

第四节 物质守恒的思想

战国时，墨子就老子的“有生于无”的观念，提出：“说在端，可无也；有之而不可去说，在尝然。”（《墨子·经下》）意即：不存在的东西可以说无；凡是存在的东西就不会消去，它是永恒存在的。这是最早

有关物质守恒的思想。东汉王充在提出元气自然说的同时曾指出：“天地不生，故不死。”（《论衡·道虚》）宋代学者张载进一步论证了王充的这种物质守恒的思想：

聚亦吾体，散亦吾体，知死之不亡者，可与言性矣。（《太和》）

天地之道，无非以至虚为实……金铁有时而腐，山岳有时而摧。凡有形之物即易坏，惟太虚无动摇，故为至实。（《语录》）

知虚空即气。……若谓虚能生气，则虚无穷，气有限，体用殊绝，入老氏“有生于无”自然之论，不识所谓有无混一之常。（《太和》）

张载在这里论述了物质的气是不能“寂灭”的，例如金铁、山岳等具体事物无论发生什么变化，其由气构成的太虚是不会毁灭的，它是实实在在的。“至实”就是物质守恒的意思。

明末清初的学者王夫之（1619—1692年）非常推崇张载，称颂张载的思想“如皎日丽天，无幽不烛”。他阐发并发展了张载的思想，全面地论述了他的物质守恒思想。他在《张子正蒙注·太和》里说：

人所见为太虚者，气也，非虚也。虚涵气，气充虚，无所谓无者。

阴阳二气充满太虚，此外更无他物，亦无间隙，天之象，地之形，皆其所范围也。

散而归于太虚，复其氤氲之本体，非消灭也。聚而为庶物之生，自氤氲之常性，非幻成也。

于太虚之中具有未成乎形，气自足也，聚散变化，而其本体不为之损益。

这几段话论述了两个问题：第一，世界按其本体来说是由物质性的“气”构成的，此外更无他物；第二，气有聚散的变化，但不会消灭或任意创生（幻成），物质是守恒的。王夫之还列举了生活、生产实践的具体事例来论述物质的守恒。他说：

车薪之火,一烈已尽,而为焰,为烟,为烬,木者仍归木,水者仍归水,土者仍归土,特希微而人不见尔。一甑之炊,湿热之气,蓬蓬勃勃,必有所归;若盒盖(炊具的盖子)严密,则郁而不散。汞见火则飞,不知何往,而究归于地。有形者且然,况其氤氲不可象者乎!未尝有辛勤岁月之积,一旦悉化为乌有,明矣。故曰往来,曰屈伸,曰聚散,曰幽明,而不曰生灭。生灭者,释氏(佛家)之陋说也。(《张子正蒙注·太和》)

王夫之的这些论述,反映了他对物质守恒问题已具有天才的思辨。可惜的是,这些思想在当时并没有引起人们的注意,更没有人以实验来证明它。

第五节 关于物质构造的思想

中国古代的物质观与古希腊的物质观相比,有共同之处,这就是两者都强调了客观世界的物质性,都闪耀着朴素的唯物主义思想火花。不同的是前者较重视物质的性质、变化和功能,而不重视物质的结构;较注重探讨万物的生成,而不太注意物质的组成。例如,中国古代的五行说与古希腊亚里士多德的四元素说的区别就是如此。金木火水土虽然也是组成万物的质料,但五行说更注重这种质料的性质及相生相胜的关系。四元素说虽也有原性说的内容,但其中有关物质构造的原子论一直得到继承和发展。这倒不是说,中国古代的物质观中没有包含关于物质构成的讨论,而是说这种讨论少了一点,更遗憾的是这种讨论没有得到继承和发展。

战国时期,诸子百家的学说兴起,出现了一批能言善辩的学者,人们称他们为“辩者”。辩者的著作,除《公孙龙子》中保存了一小部分外,其余大都散失了。但在其他一些著作中可以找到像惠施这些辩者

的言论。《庄子·天下》篇就提到了二十一个辩者的命题，其中有一项说：

一尺之棰，日取其半，万世不竭。

这句话的意思很明白，一尺长的一根棍子，今天截一半，明天截一半的一半，如此截下去，千万年也截不完。这是用具体的比喻来说明物质是可以无限分割的。

惠施是当时一个有名的辩者，他注重对自然界万物的研究，《庄子·天下》篇也记载了他的十个命题（“历物十事”）。其中第一个命题是：

至大无外，谓之大一；至小无内，谓之小一。

“至大无外”是对宇宙空间无限性的判断，“至小无内”是对构成宇宙万物最小成分的界定。近代学者章太炎（1869—1936年）根据十九世纪末的科学水平认为：“点小者至原质（即元素），以化学法分之，不可破，是为无内。”这一解释是合理的。

惠施的观点与上面辩者的观点是相对立而又互补的，这反映了当时学术讨论的热烈气氛。

后来墨子也参加了这场辩论，并提出了关于“端”的学说。《墨子》中关于“端”的重要论述如下：

端，体之无序而最前者。（《经上》）

端，是无间也。（《说上》）

非半弗斲则不动，说在端。（《经下》）

非斲半，进前取也，前则中无为半，犹端也。前后取，则端中也。斲必半，无与非半，不可斲也。（《说下》）

上面第一条是“端”的定义。“端”古文作“耑”，《说文》：“耑，物初生之题也。上象生形，下象根也。”“序”乃余之义，“无序”即不可再分。“最前”意为最初生，最原始。综合上述理解，“端”应是指组成物质的不可分割的最小微粒，即构成物质的最小单元。“斲”即斫，第三句的意思

为：不能分为两半的物体是不能再分割的，因为“端”是不可再分的。第四句是论述获得“端”的方法：一种是“进前取”，另一种是“前后取”。“进前取”是每次取其一半，到不能再半就是“端”了。“前后取”则是前后各取去彼此相等的一段，截取到最后，即剩下物体之中，也就是“端”。墨家之所以用这两种方法，据当代学者张子高(1886—1976年)解释说：“看来他似乎已经体会到，构成物质的质点的数目，既可能是双数，也可能是奇数。双数则采取“进前取”的办法，单数则须采取“前后取”的办法。^①

墨子还讨论了“端”在物体中的排列方式，认为有“比”与“次”两种。所谓“比”，《经上》说：“比：有以相樱，有不相樱也。”并解释说：“比：有两端而后可。”“相樱”是相吸引相结合的意思。“比”即并，比。“比”是指“端”与“端”之间由于相吸而结合并有部分重叠，有部分不重叠。“次”则是“端”与“端”之间两两相切而无重叠，《经上》曰“无间而不相樱也”即指此意。

墨家的“端”的学说是我国古代物质结构理论中最接近古希腊的原子论的观念。这学说随着《墨子》一书而流传下来。可惜后人没有就此作进一步深入讨论。“端”的学说没有论及“端”是否有多种，它是怎样决定物质的本质和特性的。这是较古希腊原子论的不足之处。

^① 张子高：《中国化学史稿(古代之部)》，科学出版社1964年版，第65页。

第二章 陶 瓷

人类自从掌握了火,特别是人工取火之后,人们在生活实践中,逐渐发现某些泥土不仅容易捏塑成型,而且经过烈火烧烤后变得十分坚硬。这一认识和实践的深化,使人类掌握了制陶。

第一节 陶器的起源

陶器的出现是人类跨入新石器时代的重要标志。生活对饮食器、储存器、烹饪器的需求,使陶器倍受重视。陶制器具由于赋形随意,制作简便,加上制陶原料丰富,取材方便,使陶器的发展具备了较好的条件。陶器的发明和使用,极大地改变了原始社会的生活内容和生产方式,促进了原始人从以采集、渔猎为主的半游牧生活向以农业为基础的定居生活过渡。

陶器的出现是人类在认识自然、改造自然过程中取得的首批重要成果之一。烧制陶器的一般过程是,选择好制陶的粘土,将其用水湿润成具有一定可塑性的坯泥,再将其塑造成一定形状,干燥后用火加热到一定温度,使之烧结为坚固的陶器。陶器的烧制与加工石器、木器、骨器等不一样,后者只是改变自然物的形状,而没有改变它的

本质。陶器的烧制却是以自然物为原料,通过高温化学反应,不仅改变了自然物的形态,而且也改变了它的本质。用现代科学知识来解释,粘土是由某些岩石的风化物,如云母、石英、长石、高岭土、多水高岭土、方解石以及铁质有机物所组成,在 800℃ 以上高温下烧制,粘土便发生一系列复杂的化学变化,包括失去结晶水,晶形转变,固相反应以及共熔玻璃相产生等。通过产生的共熔玻璃相使松散的粘土颗粒团聚在一起,使制品变得致密和坚硬。所以陶器的烧制是将一种物质变为另一种物质的创造性劳动。从广义上说,它是一种化学生产工艺,是人类历史上最早从事的一项化工生产。

陶器属于硅酸盐材料的一种,具有耐火、抗氧化、不易腐蚀等一系列重要性能。一般不溶于水,在正常的自然条件下,大多可以长时间地保存下来。所以在古代的遗存中,陶器为最多。研究古代社会,特别是新石器时代某些氏族的存在及其物质文化水平,出土的古陶器成为重要和常见的考察研究对象。在考古学上,一直把陶器作为衡量文化性质的重要根据,作为文化史研究的重要内容。

关于陶器在中国的发明,中国古代文献曾有过多种记叙。例如《老子》十一章曰:“埴埴以为器。”这可能是最早的提到陶器的文字。一些史书称,三皇作,始教民烹饪而后制器皿。例如晋代孔晁注的《周书》即《逸周书》说:“神农作瓦器。”不上釉的陶也可称作“瓦器”。蜀汉谯周撰的《古史考》则说:“神农时食谷,加米于烧石之上食之,黄帝时有釜甑。”明代罗颉撰的《物原·器原第十七》又说:“神农作瓮,轩辕作碗、碟。”秦吕不韦(? 一前 235 年)撰、汉高诱注的《吕氏春秋》卷十七说:“黄帝有陶正,昆吾作陶,亦见《尸子》。”尸子,名佼,战国楚人,商鞅之师。其书已佚,清人章宗源、汪继培、孙星衍都有辑佚本。《周礼·考工记》曰:“有虞氏上陶。”等等,众说纷纭。古人都是根据传说或推测,提出自己的看法。他们大多把陶器的发明归功于某些传奇式的理想人物,例如燧人氏、神农、轩辕、有虞氏、宁封、昆吾等。这种认

识在古代是可以理解的。

燧人氏即传说中发明钻木取火之人。制陶、冶金依赖于火,并不等于掌握了烧陶和冶金。神农即炎帝,传说中农耕技术的创造者。尽管农耕技术的发展同制陶术的出现有密切的联系,但是仍不能在它们之间划一等号。传说炎帝是善于利用火的人,据此就推论制陶始于炎帝,仍是不足为信。轩辕即黄帝,是传说中四千六百年前原始社会父系社会的首领,他代神农而治天下。黄帝时设“陶正”一职,恰好表明制陶术在当时已有相当发展,初具规模,故需要设官管理。有虞氏即三皇(尧、舜、禹)之中的虞舜,《世本》称舜始陶,肯定有出入。“昆吾作陶”只能理解为当时有一个名为“昆吾”的部落善制陶。总之,上述种种传说都有一定的局限。根据科学的分析和对出土古陶器的检测,可以肯定陶器的发明远远早于有文字记载的社会。

在旧石器时代晚期,古人已能用粘土制作动物塑像。这足以证明当时已认识到粘土掺水后具有可塑性。在长期用火的实践中,古人进而认识到成形的粘土经火烧烤后会变得坚硬。认识到粘土的可塑性、耐火性和烧结性是陶器发明的前提。从科学的推测和实地的调查,大多数学者同意美国社会学家摩尔根(L. H. Morgan, 1818—1881年)和马克思主义奠基人之一恩格斯(F. Engels, 1820—1895年)的观点。摩尔根在他的名著《古代社会》中说:“陶器则给人类带来了便于烹煮食物的耐用容器。在没有陶器之前,人们烹煮食物的方法很笨拙,其方法是:把食物放在涂有粘土的筐子里,或放在铺着兽皮的土坑里,然后再用烧热的石头投入把食物弄熟。”“古奎是十九世纪最早提出陶器发明方法的第一个人,即人们将粘土涂于可以燃烧的容器上,以防火。其后,他们发现只是粘土一种,也可以达到这种目的。因此制陶术便出现在世界之上了。”^①恩格斯运用历史唯物论的观点考

^① 摩尔根:《古代社会》,商务印书馆1977年版,第13、16页。

察了摩尔根结论后,在《家庭、私有制和国家的起源》一书中明确地指出:“可以证明,在许多地方,也许是在一切地方,陶器的制造都是由于在编制的或木制的容器上涂上粘土使之能够耐火而产生的。在这样做时,人们不久便发现,成型的粘土不要内部的容器,也可以用于这个目的。”^①这种看法是可信的,也是科学的。尽管这种发明陶器的方法可能不是唯一的,可以推测,中国许多地方古陶器的发明大概也经历了类似的过程。

第二节 新石器时期的陶器及其制作工艺

中国的先民从新石器时代起,便开始了农业生产。由于以农业和畜牧业为主的定居生活的需求,陶器的制作应运而生。从目前掌握的资料可知,中国陶器的制作至少已有八千年的历史。1962年在河南新郑裴李岗,1976年在河北武安磁山出土的陶器都是前仰韶文化的代表遗存之一。根据对出土陶片所进行的碳-14的分析,其年代为公元前6000—5000年前。在江西万年仙人洞和广西桂林甑皮岩出土的陶器属于华南地区新石器时代较早的遗存,其碳-14断代分别在距今 6875 ± 240 年和 4000 ± 90 年左右。浙江余姚河姆渡遗址代表了长江下游地区新石器时代的早期文化,其陶器经碳-14分析,年代约在公元前4360—3360年之间。观察研究上述遗址出土的陶器,无论是泥质红陶、夹砂红陶,还是泥质黑陶、夹炭黑陶,尽管器形上有很大差异,但是它们的成型方法都是手制,烧成温度约在700—900℃之间。它们大多质地较粗糙,厚薄不匀,松软易碎,胎色不仅杂,胎里还时常

^① 恩格斯:《家庭、私有制和国家的起源》,《马克思恩格斯选集》第四卷,人民出版社1972年版,第19页。

掺杂有石英粒、植物纤维及炭粒等杂质,显示出当时制陶的原始性。最原始的烧陶方法是不用窑的。这不仅从文献上可以得知,而且不用窑的烧陶方法一直流传到当代。1977年中国硅酸盐学会组织一批专家学者对云南西双版纳部分地区的传统制陶工艺进行调研,得到了无窑烧陶的形象资料^①。个别边远地区仍采用平地露天堆烧、一次性泥质薄壳封烧和竖穴窑烧等三种烧陶方式。平地堆烧一般温度只能达到800℃左右。泥质薄壳烧陶是在地面上铺放适当柴草,将干的陶坯小心放置其上,四周及顶部再围上柴草,外面抹上一层泥浆,并留有通风小孔。然后点燃地面柴草,让其燃烧升温,温度可达800—900℃。竖穴窑烧陶是新石器时代最常见的方法。这三种方法清楚地表明了烧陶从无窑到有窑的演进过程。

在黄河流域,继裴李岗、磁山文化之后的是仰韶文化。它距今约5000—6000年,反映这一文化的遗址发现得已很多,它们十分清楚地表明当时的制陶业已较发达。从已发掘出来的陶窑来看,它们大多集中地分布在村落附近,表明为部落集体所有。在以妇女为中心的母系氏族社会里,制陶业基本上由妇女承担。仰韶文化的陶器以红陶为主,灰陶、黑陶次之。原料是经过选择的、具有一定塑性的粘土,而不是一般的黄土。近人采用黄河边上的沉积粘土仿制仰韶泥陶,成品几乎与出土的仰韶泥陶无异。当制作炊器时,有意掺入少量的细砂等以改变陶土的成型性能和成品的耐热急变性能,说明当时对制陶原料和配方已有一些认识。陶器基本上是手制,部分小型器件采用模制,到仰韶文化后期开始出现慢轮修整。烧陶已普遍使用陶窑。当时的陶窑大多是就地而穴,结构也较简单。大体上分横穴窑和竖穴窑两种。这两种窑都是火膛在下,窑室在上,中间有火道和窑箅,如家用火

^① 傣族制陶工艺联合考察小组:《记云南景洪傣族慢轮制陶工艺》,《考古》1977年第4期。

灶一样。空气很自然被抽入火膛,火焰经火道、窑算进入窑室烧烤陶坯,烟气从窑室上口排出,故属升焰窑。仰韶文化的陶窑规模一般较小,结构不完善,故不能很好控制窑室温度和气氛,常使烧成的陶器颜色深浅不一。

最能反映仰韶文化制陶工艺水平的是细泥彩陶的制造。这种彩陶不仅有合理的造型,而且还绘有美丽的彩图,反映出浓厚的生活气息和独特的艺术风格。分析出土的彩陶,不难发现其原料是经过认真选择和加工的,泥质不比后来的上等陶器逊色。其表面挂一层细腻、均匀的陶衣,然后描绘上赭、红、黑、白等颜色的图案。据分析,用于彩陶的颜料分别是红色——赭石(赤铁矿),黑色——含锰、铁较高的红土和白色——配入熔剂的瓷土。

制造日用品的一般原则是,首先是要实用,其次是要美观,处理好实用和美观相统一的陶器就是最早出现的原始艺术品之一。仰韶彩陶的造型一般是宽矮的,重心低,使用稳当。在器物口沿或上腹部所绘的图案恰好位于人们视线的集中部位,充分显示了美化器物的效果。彩陶的纹饰极丰富,多数是形式多变的几何形状,其次是动物和植物纹。这些纹饰源于生活,例如太阳、月亮、星星、云彩、飞禽、走兽及各种植物,经过提炼和创造,都成功地再现于纹饰之中。这些艺术形象反映了人们对生活和大自然的感触,洋溢着浓烈的生活气息。仰韶文化彩陶艺术所取得的成就在中国文化史留下了光辉的一页。

在黄河流域,继仰韶文化发展起来的、具有代表性的文化是龙山文化。这时期氏族社会已完成由母系向父系的过渡。制陶普遍采用了轮制,灰陶、红陶、黑陶、白陶等品种和器型显著增加,说明了制陶业有了新的发展。从发掘出来的窑址来看,窑场分布很零散,有的甚至修建在民宅之中,反映了龙山文化时期制陶业已逐步转为某些较有制陶经验的家庭所有,而不再是氏族集体所有。龙山文化的陶器以灰陶为主,陶窑以竖穴窑为多。它较之仰韶文化的陶窑有很大改进,

加深了火膛,缩小了火口,同时将窑室位置升高,使之不直接位于火膛之上。窑室相对位置的变化,火道、火眼的增多及在窑室内的均匀分布,既克服了横穴窑的抽力不足,又解决了原先竖穴窑火力不匀等毛病,提高了窑温和烧陶的成品率。据测窑内烧成温度可达 900—1050℃。这种窑上部向内收缩,顶部可能用植物茎秆涂泥封顶,既透气又保温,还能在烧成后期封顶,为灰陶的烧成创造还原气氛。

反映龙山文化制陶工艺水平的是薄胎黑陶的烧制。出土的薄胎黑陶,通体墨黑,表面光滑如釉,造型优美,壁薄而坚,仅 0.5—1 毫米,有的口沿竟薄到 0.1 毫米。虽然黑陶的化学组成和一般灰陶、红陶并无太大的差别,但是在外观上却显著不同。这不仅因为有高超的成型技术,同时在烧成中采用了特殊的方法。根据对传统工艺的调查和科技人员的模拟复原试验,人们了解到当年薄胎黑陶的制法:先把半干的陶坯用卵石等打磨光滑,再在陶窑中应用烟熏法进行渗碳烧成。这种大方、典雅的薄胎黑陶虽然不便于实用,却有很高的艺术观赏价值,所以它一直成为中国传统的民间工艺品中的一员。

白陶是指表面和胎质都呈白色的一种陶器。根据迄今为止的考古资料,可以认为在长江、黄河流域的新石器时代中期都已出现了白陶。白陶大致上有两类:一类是以镁质易熔粘土为原料;另一类采用高铝质粘土或高岭土或瓷土为原料。它们共同的特点是氧化铁含量低,故烧成后呈白色。镁质易熔粘土是某些富含氧化镁的矿物,如辉石、角闪石、绿泥石或滑石的风化产物。这类粘土制成的陶坯在 1000℃左右烧成的是白陶。若烧成温度超过 1100℃,则会产生大量玻璃相,使制品变形,甚至于熔融,因此不能用作制瓷。浙江桐乡罗家角新石器遗址出土的白陶就是属于这一类^①。在仰韶文化后期出现

^① 张福康:《中国新石器时代制陶术的主要成就》,《中国古代陶瓷科学技术成就》,上海科学技术出版社 1985 年版,第 25—26 页。

而在大汶口文化和龙山文化比较流行的白陶则是另一种类型。它的原料是高铝质粘土或高岭土、瓷土。高铝质粘土和高岭土由于其中氧化铝含量较高,烧成温度较高,它们都是制瓷的重要原料,但又不能单独被用于制瓷。瓷土含有构成瓷器的一切成分,单独使用就能制瓷,所以瓷土的发现和使用,其意义就不同寻常。这类白陶的出现和生产表明中国是世界上最早使用瓷土和高岭土的国家。

质坚细腻的白陶显然较一般灰陶、红陶洁净美观,成为当时名贵的工艺品,几乎完全被统治阶层所占有。西周以后,由于印纹硬陶和原始瓷器的崛起,白陶的优越地位逐渐被取代,白陶的生产慢慢地萎缩了。

新石器制陶工艺的发展,不仅为社会提供了大量实用美观的陶器,同时也积累了许多寻找、识别粘土和矿物的经验,丰富了矿物学。窑炉和热工技术的发展,造型材料和造型技术的发展,都直接为冶金铸造技术的出现准备了条件。众多的史实已清楚地表明,陶器是最早的原始艺术之一。仰韶的彩陶、龙山的薄胎黑陶及陶器的造型和装饰的演进都极大地丰富了艺术的内涵,陶器的艺术是整个文化艺术发展中一股长流不息的清泉。

第三节 瓷器的发明

在商代中期的遗址和墓葬中,出现了一种带有青灰色或青黄色或青绿色釉的器皿。这种器皿在随后的周代遗址和墓葬中又有更多的发现。它分布很广,包括长江中下游的湖北、江西、安徽、江苏、浙江和黄河中下游的陕西、河南、河北、山东、山西等地区。这类器物内外表刷有一层厚薄不匀的玻璃釉,大多胎釉结合不牢,易剥落。胎以灰白色为主,也有较深的灰色或褐色,一般较致密,有的断口呈现玻璃

态光泽。商代及西周早期的器物大多是泥条盘筑成型,春秋时期开始采用轮制拉坯成型。多数器表下拍有印纹饰,器型以尊、缶、钵、罐、瓮、豆、碗等为主。这类器物在七十年代以前,被许多学者称之为“青釉器”,也有人称它为“釉陶”。随着研究的深入,许多专家认为这类器物不同于釉陶。因为从原料成分上来说,这类器物已不是采用一般制陶用的易熔粘土,它的成分中二氧化硅含量增高,达到了71%以上,而陶器大多在70%以下;青釉器组成中助熔剂(如氧化钙、氧化镁)的含量下降到1%左右,而陶器则在3%以上;青釉器胎中氧化铁含量一般在2%左右,而陶器一般在6%左右。正因为二氧化硅增加,助熔剂含量下降,使青釉器有可能在较高温度下烧成。其表层的透明釉,据分析,其中氧化钙含量在16%上下,是石灰釉。石灰釉是一种以氧化钙为主要助熔剂的高温釉,在1050℃以上可以烧熔。使用石灰釉是中国古代制瓷工艺的一个重要特色。据测试,这些青釉器的烧成温度一般为1200℃左右,所以胎质烧结致密,吸水率在3%以下,击之会发出清脆的金石声。

根据以上研究,陶瓷专家和考古专家认为它已不属于陶器的范畴,而是更多地接近瓷器的条件,但离瓷器标准仍有一些差距,应是陶向瓷过渡的产物,故命名为“原始瓷器”。原始瓷器的研究和命名,是中国陶瓷史上的大事,解决了长期以来陶与瓷混淆不清,瓷器发明无源等困惑。这一研究成果在国内外学术界引起了强烈的反响。

在相当于中原龙山文化后期,即华南地区新石器时代的晚期,在江南和东南沿海一带出现了一种以几何印纹为特征的陶器。它们外表印有方格纹、回纹、编织纹、云雷纹、米纹等纹饰,器型有罐、尊、簋、豆、盘、杯、盂等。根据质地,它又分印纹软陶和印纹硬陶。软硬只是相对而言,两者的差异主要在原料成分的不同。软陶实际上与一般的红陶、灰陶相差不大,采用的是一般易熔粘土。硬陶的原料成分中,酸

性氧化物,主要是二氧化硅相对增加了,碱性氧化物,例如氧化钙、氧化钠、氧化钾等相对减少了。成分的一升一降,致使陶器的烧成温度达到了 1100℃。烧成后的硬陶不仅烧结程度好,较坚实,击之能发出清脆声响,而且吸水率也下降了。这种硬陶由于它胎质细腻,外形美观,坚硬耐用,很快成为深受欢迎的陶器新品种,并迅速被推广到长江下游地区。西周是印纹硬陶发展的兴盛时期。

根据考古资料,商周时期的印纹硬陶,往往与同期的原始瓷器共同出土,两者器表的纹饰几乎雷同。特别是在浙江绍兴、萧山的春秋战国时期的窑址中还发现,印纹硬陶和原始瓷器在同一窑内烧制。通过对印纹硬陶的研究,发现它的化学组成基本上与同期的原始瓷器相近,不同点主要是硬陶所含的氧化铁比原始瓷器高。以上资料表明印纹硬陶与原始瓷器有着密切的关系,有人进而指出,印纹硬陶就是由陶向原始瓷器过渡的中间产物,也可以说原始瓷器是由印纹硬陶发展而来的。^①

对出土的原始瓷器的研究,可以看到原始瓷器虽然属于瓷器的范畴,但是在原料的加工、釉的配制及烧成技术上还处于起始阶段,工艺不够成熟,质量上与近代瓷器的标准仍有一定的差距。

考古资料又表明,商周以后原始瓷器的质量在逐步提高,产地也有明显扩大。例如春秋晚期,江浙一带烧制的原始瓷器胎质细腻,由于采用了轮制,器形规整,胎壁变薄,厚薄均匀,胎内氧化铁、氧化钛含量降低,外表青釉也较成功,在质量上已十分接近瓷器。可以说这时的江南地区,原始瓷器的发展已进入鼎盛时期,其烧成的数量约占同期陶器总数的一半。但是进入战国时期,连年的战火,吴、越等国的经济遭到严重的破坏,烧制印纹硬陶和原始瓷器的作坊不是被迫停

^① 李家治:《原始瓷的形成和发展》,《中国古代陶瓷科学技术成就》,上海科学技术出版社 1985 年版,第 141—144 页。

烧,就是被彻底破坏,造成吴越地区印纹硬陶和原始瓷器的生产突然中断,在战国时期的墓葬中几乎消失。而湖南、广东部分地区印纹硬陶和原始瓷器仍在继续烧造。在战争停止后的战国晚期和秦汉时期,在新的环境下,原始瓷器的生产得到逐步恢复,并进入一个新的发展时期。

根据考古资料,在浙江上虞、宁波、慈溪、永嘉等地先后发现了汉代瓷窑遗址,同时在浙江、江西、江苏、河南、河北、安徽、湖南、湖北等一些有确凿年代可考的东汉墓葬或遗址中也发现了众多的青釉器,这些青釉器较之原始瓷器有了明显的提高。以浙江上虞小仙坛东汉晚期窑址出土的瓷片标本为例,制品胎质灰白,施石灰釉,胎釉结合紧密,釉面光润。经测试分析,可以发现瓷片与窑址附近的瓷土化学成分十分接近,表明当时制瓷是就地取材,采用瓷石为原料。窑址周围有较充足的水源。联系到汉代已普遍采用脚踏碓和水碓,可以判定当时已用水碓来粉碎瓷石,以提高坯泥的细度。在遗址还发现陶车上的重要构件——瓷质轴顶碗,表示当时已有陶车和熟练的拉坯技术。出土的瓷片瓷质光泽,透光性较好,0.8毫米的薄片已微透光。胎体已烧结,吸水率仅有0.28%,烧成温度约在1260—1310℃之间。遗址还表明当时已采用龙窑烧瓷。龙窑不仅装烧量大,而且使流动的火焰在窑室内停留时间较长,有利于窑温的提高和均匀分布,十分适宜青瓷的烧成。出土器物表面通体施釉。由于采用浸釉方法,其釉层较之原始瓷器明显增厚,釉层透明,呈淡雅清澈的青色,而且有较强的光泽。釉是石灰釉,含氧化钙在百分之十五以上,在还原气氛中烧成。通过显微镜观察和X射线分析,其瓷胎中能看到残留的石英颗粒较细,分布均匀,石英周围有明显的熔蚀边,棱角已圆钝。长石残骸中发育较好的莫来石到处可见,偶尔可见玻璃中的二次莫来石,玻璃态物质也较多,还有少量闭口气孔。总之,这些瓷胎的显微结构与近代瓷基本相似。瓷釉内已无残留石英,其他结晶也不多见,釉泡大而少,从

而使釉特别透明。胎釉交界处可见多量的斜长石晶体自胎向釉生成而形成反应层,胎釉结合较好。研究资料清楚地说明,这些瓷器已达到了近代瓷器的标准,也就是说至迟在东汉晚期,中国已烧出了成熟的青瓷,完成了原始瓷向成熟瓷的过渡。

第四节 制陶工艺的新进展

原始瓷器的出现使陶器在一些使用领域被取代,陶器的发展除了进一步提高质量,增加花色外,很重要的一点就是拓展自己的应用领域。建筑陶器、明器的出现和生产,铅釉陶的发明和应用等都是陶器发展的新领域。

一、建筑陶制品

在河南偃师二里头商代早期大型宫殿遗址中,曾发现埋设有互相套接着的排水用的陶管^①。它为泥质黑陶,胎质细腻坚硬,形制为一端粗一端稍细的圆筒形,器表饰细绳纹,系用泥条盘筑法制成。同期类似的陶水管在郑州洛达庙遗址中也有出土^②。商代中期的陶水管在郑州商代制陶手工业作坊中曾出土过^③。商代后期的陶水管在河南安阳殷墟曾有不少发现^④。陶水管的管形也有发展,还出现了类

① 中国科学院考古研究所二里头工作队:《河南偃师二里头遗址发掘报告》,《考古》1965年第5期;《河南偃师二里头早商宫殿遗址发掘报告》,《考古》1974年第4期。

② 河南省文物工作队:《郑州洛达庙遗址发掘报告》。

③ 河南省文物工作队:《郑州商代制陶遗址发掘报告》。

④ 中国社会科学院考古研究所安阳发掘队:《殷墟出土的陶水管道和石磬》,《考古》1976年第1期。

似现代水管用的“三通管”。

在西周,建筑用陶有了较大发展,除陶水管外,又创制了大型宫殿建筑用的板瓦、筒瓦和瓦当等陶制构件,开始改变茅草屋顶的状况。这是中国古代建筑史上一个重要里程碑,为后来中国传统的瓦顶木构房屋建筑的发展开拓了道路。西周的筒瓦、板瓦在陕西扶风、岐山和长安沣镐一带的西周遗址中大量出土^①。如扶风出土的筒瓦长达45厘米,中宽30厘米,厚约1.5厘米。一般筒瓦也长22.5厘米,宽13.5厘米,厚约1.2厘米。使用这样大形制的筒瓦,可见西周宫殿建筑规模是相当宏伟的。

春秋时期的建筑陶制品在全国各地都有不少发现,除上述陶制品外,还出现了长方形或方形的薄砖。战国时期各地大兴土木,从而增加了对建筑陶器的需求,板瓦、筒瓦、瓦当及瓦钉开始大量生产。板瓦仰置于屋面,筒瓦覆盖在两行板瓦之间,瓦钉使筒瓦固定,瓦当起了装饰作用,至此,中国木构瓦房的屋顶设施已臻完备。砖大多始用于战国,当时主要用来铺地和砌壁面。当时的砖有两类,一是长方型或方型的小薄砖,另一是大型的空心砖,有一米余长,呈条石状。空心砖主要用于大型建筑物的台阶和主要路面,也有在坟墓中代替木制椁板的。陶井的发明是战国建筑陶器发展的重要成就,它对人们生活条件的改善有着重要的意义。

有人常说“秦砖汉瓦”,似乎给人一个错觉,砖瓦分别创制于秦汉两代。上面的史实已部分地回答了这一问题。之所以有这种说法,一个重要的原因是,在秦汉时期建筑陶器的生产,无论是制品的质量和花式,还是生产的规模和技术水平,都是前代无法比拟的。秦砖汉瓦不仅质量上是上乘的,在造型装饰上也很讲究,从而给后人留下了深

^① 陕西省文物管理委员会:《陕西扶风、岐山周代遗址和墓葬调查发掘报告》,《考古》1963年第12期。

刻的印象。最典型的例子就是万里长城的修筑。《史记·蒙恬传》记载：“始皇二十六年……乃使蒙恬将三十万众北逐戎狄，收河南，筑长城，因地形，用制险塞，起临洮，至辽东，延袤万余里，于是渡河，据阳山，透蛇而北。”在高山峻岭上建筑如此雄伟的万里长城，其用砖之多，工程浩大，举世罕见。此外秦汉的宫殿建筑及出土的画像砖都从不同侧面反映了秦砖汉瓦的壮观。建筑陶器的生产由于社会的需求而迅速发展并逐渐独立出来，成为一个附属于建筑业的重要生产部门。

二、秦兵马俑

春秋战国时期，厚葬之风极盛，以活人殉葬日渐减少，替代的主要是陶俑。对陶俑的需求不仅促使起源于新石器时代的陶塑艺术有了很大发展，而且对制陶工艺的发展也是一个促进。1974年在陕西临潼秦始皇陵东侧发现了规模之大令世人惊叹的秦俑坑，坑内有七千多件兵马俑，威武雄壮。出土的武士俑，身高均在1.75—1.86米之间，身穿交领右衽短褐，勒带束发，腿扎行腾，足登方口齐头履，手持弩机弓箭，背负盛置铜矢的箭箠或手执长矛，腰佩弯刀铜剑。有的昂然挺立，刚毅勇猛；有的容颜开朗，英姿勃发；有的虎背熊腰，威武雄壮；有的须髯开张，气宇轩昂。那些高达一点五米，体长两米的陶马，膘肥体壮，小耳大眼，口裂较深，前肢柱立，后腿若钉，蹄趺较高，筋骨劲健，集中刻划出秦国战马的骠悍雄骏。

据分析研究^①，这些兵马俑的制作原料是经过认真挑选和仔细粉碎的，属于绢云母、伊利石为主的易熔粘土。这种粘土具有良好的

^① 周懋瓌：《秦始皇陵兵马俑初步研究》，《中国古陶瓷研究》，科学出版社1987年版，第106—112页。

可塑性,干燥收缩和烧成收缩都较小,不易开裂变形,烧成温度低,烧成范围宽。秦俑采用模印分段成型,再粘接成整体。这种方法能满足大量生产的需要。为了避免因范模制作而出现的制品雷同的现象,陶工在范模成型的基础上,根据想象和通过捏塑、粘贴、刀刻、划纹等艺术技巧,使制品形象各异,栩栩如生。针对大型陶俑坯体在干燥和烧成中极易因受热收缩不匀而变形或开裂的缺点,陶工们有意在坯体的适当部位开凿通气孔,大大地提高了成品合格率。秦俑的烧成温度约为 900°C ,前期系用氧化焰,后期运用还原焰,并使游离碳烟来熏烧,故陶俑胎色为灰色。秦俑不仅有生动形象的造型,而且还有艳丽精美的彩绘。据观察,陶俑的彩绘,至少有红、绿、蓝、黄、紫、褐、白、黑等八种颜色,通过分析得知彩绘所用的颜料如下^①(表 2-1):

表 2-1 秦俑彩绘颜料成分表

颜色	红	绿	蓝	紫	褐	白	黑	填料
颜料	辰砂 (HgS) 铅丹 (Pb_3O_4) 赭石 (Fe_2O_3)	孔雀石 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)	蓝铜矿 ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)	铅丹 + 蓝铜矿	褐铁矿 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)	铅白 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) 高岭土	无定形碳	高岭土 蒙脱石 云母 粘土

黄色颜料未作化验,据考证可能是雌黄(As_2S_3)。辰砂、铅丹、铅白、蓝铜矿、孔雀石、赭石、雌黄都是中国传统的绘画颜料,对此,秦俑再次给人们提供了实证。其中铅白、铅丹都是人工制造,是世界上最早的人工颜料之一。通过放大镜观察,可以看到秦俑颜料大多颜色鲜艳,颗粒细腻均匀,表明当时对颜料的加工也有很高的水平。

^① 李亚东:《秦俑彩绘颜料及秦代颜料史考》,《中国古代化学史研究》,北京大学出版社 1985 年版,第 436—445 页。

三、铅釉陶

汉代的陶器中出现了一类外敷翠绿色釉或栗黄色釉的器皿,据研究,它们是铅釉陶。铅釉陶的发明是中国陶瓷工艺史上的一件大事。根据迄今为止的考古资料,铅釉陶首先出现在陕西关中地区。在汉武帝时期(前 140—前 87 年)的墓葬中还极少发见,但是到了汉宣帝时期(前 73—前 49 年),铅釉陶逐渐多起来了,在陕西、河南的许多地区均有较多出土。到了东汉,西至甘肃,北达长城,东至山东,南抵湖南、江西,均有铅釉陶出土。这表明铅釉陶的生产技术已得到迅速的推广,流行地域已十分辽阔。

铅釉陶不仅外观有翡翠般的绿色,而且釉层清澈透明,光泽很强,表面平整光滑。这些优点是非常引人注目的。但是出土的铅釉陶大多是陪葬用的明器,至今还没有发现实用器物,这可能是当时铅釉技术尚处于初始阶段,低温烧成的铅釉陶器不堪实用的缘故。

铅釉与石灰釉不同,它以铅的化合物为基本助熔剂,以铁和铜的氧化物为着色剂,大约在 700℃左右开始熔融,因此是一种低温釉。铜离子使釉呈翠绿色,铁离子使釉呈黄褐或棕红色。

曾有人认为中国的铅釉技术是汉代经西域传进来的^①。经过众多学者的深入研究,一致认为铅釉技术是我国自行发明的^②。早在商代,先民对铅的冶炼,铅及铅合金和铅化合物已有所认识。在商代晚期的墓葬中曾发现铅卣、铅爵、铅觚、铅戈等铅制品。人们已认识到在青铜冶炼中加入一定量的铅可明显提高其熔液的流动性,认识到铅

① 叶喆民:《中国古陶瓷科学浅说》,轻工业出版社 1960 年版,第 20 页。在 1982 年该书第 2 版中,叶先生已修正了自己的观点。

② 张福康、张志刚:《中国历代低温色釉的研究》,《硅酸盐学报》1978 年第 1—2 期。

白(碱式碳酸铅)是颜料,可作化妆品。还发现铅和铅熔渣和砂粒混合在一起,在高温下会生成一种玻璃态物质。这些认识和发现无疑是铅釉发明的基础。另外,在战国时期,中国已形成自己生产玻璃的体系,这与埃及等国的玻璃技术截然不同。所以铅釉技术的发明是我国独立完成的。

从墓葬出土的汉代绿釉陶中,有时会看到有些器物的表面有一层银白色金属光泽的物质,人们称它为银釉。曾有人猜测这是不是金属铅的析出;还有人认为是不是喷了银。经科学分析,已证实这是铜绿铅釉在潮湿环境下受到长期侵蚀的结果,釉层表面析出多层次的沉积物,在光线的折射下,产生出银白色光泽。

四、汉代的画像砖和画像石

汉代画像砖和画像石是中国古代文化遗产的瑰宝。这些作品题材广泛,内容丰富,构图简练,线条明快,形象生动,为后人了解汉代的社会面貌和绘画艺术提供了一批形象的实物资料。

空心砖是战国时期中原地区劳动人民的创造。到了秦汉,这种空心砖的制作有了重要的发展。和砖瓦表面增加纹饰一样,空心砖的砖面上被拍印出美丽的图案,它不再是单纯的建筑材料,同时也成为富有艺术价值的陶质工艺品。陕西临潼、凤翔曾发现秦代的画像空心砖,它的砖面拍印有骑马、射猎、宴请宾客等场面。汉代的画像砖的出土就更多了,已在广大的中原地区,包括山东、河南、江苏、河北、湖北、四川等地都有发现。例如1970年在郑州新通桥曾发现汉代画像砖,其画像的内容包括阙门建筑、各种人物、乐舞、车马、狩猎、驯兽、击刺、禽兽、神话故事等四十五种。又如成都等地出土了众多东汉墓嵌画像砖。它们主要用于门扉和墓室后壁上部,图案大多是当时社会生活的写照。这些画像砖经研究发现,是用刻有画像的木范,压印在

半干的土坯上,再入窑烧成的。最后还要在画面上施以红、绿、橙黄、白等颜色,使画面更加富丽。在艺术上,画像砖突破了西周以来造型艺术上某些程式的束缚,转向现实主义的写实作风与夸张技法并用,其艺术造诣较高,充分反映了当时的水平。通过研究画像砖,也可以看到汉代社会生活的许多侧面,因而它们具有重要的史料价值。

在一些墓葬中,与画像砖同时出土的还有画像石,当然更多的情况是画像石单独出土。条石本来也是常用的建筑材料,在条石上刻划出题材丰富的画面,和画像砖一样具有极高的艺术价值。目前在山东、河南、四川、江苏、陕西、安徽、山西、内蒙、湖南、云南、贵州、辽宁、河北等省区都发现了汉代画像石。其中山东发现和出土画像石的县有十多个。江苏徐州地区现保存有汉代画像石三百多块。河南南阳博物馆收藏的汉代画像石多达一千二百多块。由此可见画像石在汉代的盛行。

汉代画像石虽然在艺术上属于雕刻,但是它却没有完全脱净绘画的风格。这些画像石和画像砖一样包含了广泛、丰富的内容,用生动的形象展现了汉代社会生活的风貌,为研究汉代政治思想、文化艺术、科学技术等提供了众多的资料,弥补了某些文献的不足。

五、唐三彩陶器

唐三彩是唐代铅釉陶器的总称,包括陶质铅釉的生活用具和艺术品的俑类及明器。它工艺精湛,造型奇特,彩色深邃,变幻无穷,蜚声中外。唐三彩是唐代陶瓷工艺迅速发展的又一明证。它以白色粘土作胎,用含铜、铁、钴、锰等元素的矿物作釉料着色剂,以铅灰或炼铅熔渣为助熔剂而配制成多种低温色釉,在 800°C 左右烧成。釉色有深绿、翠绿、蓝、黄、白、赭、褐等,所以唐三彩实际上是一种多彩陶器。在烧成中,这些呈色的氧化物随着铅熔剂向四方扩散和流动,相互浸

润,形成斑驳灿烂的色彩。唐三彩是汉代以来低温铅釉发展的结果,它也吸收了当时制瓷工艺的某些技艺,为宋代及以后的多种低温色釉和釉上彩瓷的出现奠定了基础。

1904年起在修筑陇海铁路时,人们从洛阳的唐墓中挖出了一批唐三彩陶器。这开始引起了人们对唐三彩陶器的重视。五十年代以后在陕西、河南、江苏、湖南等地的墓葬中发掘出大量的唐三彩陶器。例如1972年在陕西乾陵的懿德太子和章怀太子墓中就发掘唐三彩陶器达一千六百多件^①。据考,在唐高宗时期之前,似乎没有看到三彩陶器,可以推测三彩陶器创制于唐高宗中期。目前看到的最早的三彩陶器是唐代李风墓的(死于674年)^②。由于封建贵族追求奢侈的生活用品和唐代盛行厚葬,并且唐代典章明文规定不同等级的官员死后可以随葬相应数量的明器,这无形之中促使既作为艺术品又作为明器的三彩陶器的生产有了迅速的发展。三彩陶器易碎,不便于长途运输,所以当时三彩陶器的生产集中于唐代都城长安和东都洛阳及其附近。

三彩陶器的成型工艺,基本上融汇了当时制陶的一切手艺,有轮制、模制、雕塑及粘接,所以能生产出造型多样、形态逼真的陶塑。它配釉和装饰手法也是多种多样,约有十几种。当时的三彩陶器一般采用二次烧成,第一次烧坯件,烧成温度在1050℃左右,第二次是釉烧,即在素烧后的坯体上挂釉,然后在氧化焰中烧成,温度一般为850—900℃。

凡是与死者在世生活相关的内容,如建筑、家具、牲畜、人物等无不成为仿制的对象。繁多的三彩陶器远比唐代任何其他手工艺术品要丰富,所以它能真实地反映唐代生活的诸多侧面,为后人了解、研

① 陕西省博物馆乾县文教局唐墓发掘组,《唐章怀太子墓、懿德太子墓发掘报告》,《文物》1972年第7期。

② 陕西省博物馆等,《唐李风墓发掘简报》,《考古》1977年第5期。

究唐代经济、文化提供了宝贵的实物资料。色彩绚丽、造型多样、形态逼真的唐三彩,是中国艺术宝库中的珍品,至今仍是人们喜爱的传统工艺品。

第五节 制瓷工艺的发展

东汉晚期,原始瓷器完成了向成熟瓷器的过渡,从此以后瓷器生产倍受重视而不断地发展。与此同时,在浙江上虞、宁波等地东汉瓷窑的窑址中,还发现有黑釉瓷器。黑釉瓷器的烧成和生产,增加了瓷器的品种。另外在湖南长沙、安徽合肥等地的东汉墓中还发现了白釉瓷器,虽然较为粗率,釉色泛青,但是它却能表明,白瓷已处于萌芽阶段。

一、成熟瓷器的初期发展

三国、两晋、南北朝长达三百六十多年,是封建社会处于大动荡的一个历史时期。长期的分裂和战乱,严重地破坏了经济的发展。相对而言,长江流域的浙江、江苏、江西、四川等部分地区较为安定,制瓷业在这些地区得到较顺利的发展,早期越窑、瓯窑的形成和发展就是一个例证。出土的三国时期的越窑瓷器胎质坚硬细腻,一般呈灰色,很少出现黄色或青黄色,表明还原焰的烧成技术有了提高。在浙江上虞曾发现一座三国时的龙窑,全长 13.32 米,宽 2.1—2.4 米,保存完整,比东汉的龙窑显然长些。这表明瓷窑也在发展。西晋时期越窑青瓷有了进一步提高,越窑产品胎质坚硬,釉面光滑明亮,经久耐用,所以倍受欢迎。随着生产的发展,成本的下降,精美的青瓷不仅满足了贵族、地主的需求,也开始步入普通百姓的家庭。晋人潘岳

在《笙赋》中写道：“倾缥瓷以酌酃。”这是文学作品中出现的第一个“瓷”字。

佛教在汉代开始传入中国，三国两晋时的瓷器装饰上出现的佛造像、忍冬纹等反映了佛教的影响。南朝时佛教更加盛行，瓷器又增加了莲瓣或荷花的造型或装饰，这又是反映当时思想文化对瓷业发展的影响的例证。

北方的兵祸造成的经济凋敝和手工业衰落的情况，直到 439 年北朝的魏太武帝统一了中国的北方，实行了均田制才得以扭转。农业逐步恢复，手工业得到复兴。河南安阳北齐武平六年（575 年）范粹墓发现的北齐白瓷——碗、杯、缸、瓶等^①，釉层薄而滋润，釉色呈乳白色，但普遍泛青，表明当时的白瓷仍没有完全摆脱氧化铁的呈色干扰。

公元 581 年隋统一了中国，结束了几百年的战乱。隋末大运河的开凿，促进了南北经济文化的交流。隋代瓷业在承前启后的发展中起了很重要的作用。隋代瓷业最大的进步，表现在白瓷烧制工艺的成熟。河南安阳出土的隋开皇十五年（595 年）张盛墓的白瓷，西安郊区出土隋大业四年（608 年）李静训墓的白瓷及其他隋代墓葬出土的白瓷，都较范粹墓出土的白瓷有明显的进步^②。特别是河南巩县发现的隋唐烧造瓷器的窑址，其烧造的白瓷胎白致密，釉白光亮，基本上达到精细白瓷的标准，应是中国出现的最早的精细白瓷，反映了白瓷烧造技术的成熟。

二、南青北白的唐代瓷业

唐代是中国封建社会的鼎盛时期，瓷器生产出现了蓬勃发展的

^① 河南省博物馆：《河南安阳北齐范粹墓发掘报告》，《文物》1972 年第 1 期。

^② 中国硅酸盐学会：《中国陶瓷史》，文物出版社 1982 年版，第 182 页。

局面。特别是由于经济繁荣,货币流通量大增,政府深感铜币不足,因而下令禁止用铜铸造日用品,陶瓷器则在许多领域取代了铜器。另外唐中叶以后,饮茶之风盛行,这也刺激了瓷器的生产。瓷器生产因自然条件的不同和各地传统文化的差异,出现了不同风格的瓷窑体系。许多人用“南青北白”来概括唐代瓷业的特点,即南方诸窑场主要烧造青瓷,越窑代表了它的最高水平。北方窑场主要烧造白瓷,邢窑白瓷体现了它的最高成就。实际上,北方一些窑场也兼烧白瓷、青瓷、黑瓷及花瓷,反映了一种探索进取的态度。

唐代著名的茶圣陆羽(约733—804年)在《茶经》中评论说:“碗,越州上,鼎州次,婺州次,岳州次,寿州、洪州次。或者以邢州处越州上,殊为不然。若邢瓷类银,越瓷类玉,邢不如越一也。若邢瓷类雪,则越瓷类冰,邢不如越二也。邢瓷白而茶色丹,越瓷青而茶色绿,邢不如越三也。……越州瓷、岳瓷皆青,青则益茶,茶作白红之色,邢州瓷白,茶色红;寿州瓷黄,茶色紫,洪州瓷褐,茶色黑,不宜茶。”陆羽以瓷色和茶色来评说当时的名瓷,引起文人墨客的争论。有人同意陆的观点,追求瓷质似玉的感官效果。例如诗人陆龟蒙(卒于881年)赞美越窑说:“九秋风露越窑开,夺得千峰翠色来。”(《全唐诗·秘色越器诗》)但是也有人不同意陆的观点:“品茶用瓯,白瓷为良,所谓素瓷传静夜,芳气满闲轩也,《茶经》重青瓷,邢不如越,抑何所尚不同耶。”^①事实正是这样,各人主观爱好不同,当然评说不尽相同。越窑的青瓷,质量的确很好,釉色葱翠,釉层均匀,浑厚滋润,如冰似玉,造型典雅,式样优美。然而邢窑的白瓷也已达到了体薄釉润,光洁纯净的水平。唐代李肇在《国史补》中记载:“内丘白瓷瓯,端溪紫石砚,天下无贵贱通用之。”可见其质量之高,产量之大,影响之广。

中唐以后,普遍采用匣钵装烧,这是陶瓷烧成技术的一大进步。

^① 明·周高起:《阳羨茗壺系》,见《翠琅玕馆丛书》,1890年版。

使用匣钵不仅提高了窑炉的装烧量,更重要的是提高了烧成的质量和成品合格率。

在青瓷、白瓷主宰瓷业的局面下,彩绘瓷和花釉瓷悄然兴起。唐代长沙窑(今湖南长沙铜官镇)以烧青釉瓷为主,兼烧白釉和绿釉瓷,中唐以后,兴起了彩绘装饰,有釉上彩,也有釉中彩,人物花鸟一类精细彩绘则采用类似于釉下彩的工艺。长沙窑的彩绘瓷,尽管技术上还不熟练,但它是大胆的探索,开拓了彩瓷发展的新路子。长沙窑的另一成就是最先把铜作为高温着色剂应用于瓷器装饰,通过不断摸索和试验,逐步烧出了以铜红为装饰的彩绘,这是中国陶瓷史上的一大发明。

1975年在江苏扬州唐城遗址发现了一片唐代青花瓷枕残片^①。1983年又陆续出土了多件青花瓷残片^②。它们是我国迄今为止已知的最早的青花瓷器,这是对当时陶瓷装饰的一项划时代的革新。

三、繁花争艳的宋代瓷业

宋代瓷业一派繁荣,瓷窑遍及南北各地,名窑迭出,品种繁多。根据各地瓷窑所生产的瓷器在造型、釉色及装饰上的特色,近人把它分为六大民窑系:定窑系、磁州窑系、耀州窑系、钧窑系、龙泉青瓷窑系、景德镇青白瓷窑系。此外还有专门为宫廷生产瓷器的官窑。瓷业生产的繁花争艳的壮景足以说明宋代瓷业的发达。

定窑在今河北曲阳,始于唐,以烧白瓷为主,兼烧黑釉、酱釉、绿釉瓷。它不仅继承了邢窑的白瓷工艺,还吸取了越窑的浮雕技法,使定窑产品成功地运用了刻花、划花、印花等装饰手段。定窑产品

^① 南京博物院等:《扬州唐城遗址1975年考古工作简报》,《文物》1977年第9期。

^② 顾凤、徐良玉:《扬州新出土两件唐代青花瓷碗残片》,《文物》1985年第10期。

胎细壁薄，釉白滋润，形成了自己的风格，特别是工整雅素的印花白瓷成为宋代白瓷的佼佼者。宋代中期定窑的工匠创造了履烧工艺，提高了匣钵和窑炉的装烧量及烧成技术，对陶瓷工艺的发展是一大贡献。

磁州窑在今河北邯郸市彭城镇。它是当时北方最大的民窑系，主要烧白瓷，兼烧青瓷、黑瓷、花瓷，不同的品种可以满足不同阶层的需求。在它的制品中，以白釉釉下黑彩划花最富于特色。另外，它还创造了用毛笔彩绘黑花或茶色、绿色画面的宋加彩方法，这是釉上彩装饰方法的又一项重要的探索。

位于今陕西铜川的耀州窑，在宋代中后期很兴盛。它烧制的青瓷被誉为“北方的越器”，可见它烧制的青瓷已具有较高的质量。其中刀锋犀利、线条流畅的刻花青瓷在当时是最受欢迎的青瓷品种之一。

钧窑位于今河南禹县，始烧于北宋。由于钧窑瓷釉的配方较特殊，釉中氧化硅含量较高，氧化铝含量较低，五氧化二磷含量高达0.5—0.95%，在1250—1270℃还原气氛中烧成，形成典型的二液相分相釉，即乳浊釉，所以釉色也很特别。这对于我国传统的以氧化亚铁为呈色剂的青釉系统是一个重要的突破和创新。它以氧化铜为呈色剂，若釉中含有0.1—0.3%的氧化铜和差不多的氧化锡，在还原气氛下烧成呈红色，其中以胭脂红为最好。若氧化铜含量极低，只有0.001—0.002%，釉就可能呈天蓝或天青或月白色。紫色则是红釉和蓝釉的相互熔合的结果。呈色机理很复杂，它对呈色剂的量、基础釉的化学成分、温度、气氛等因素变化都很敏感，存在所谓的“窑变”，所以生产控制的难度很大，烧出的釉色经常变幻莫测。钧窑采用铜的氧化物作呈色剂，终于创造出铜红釉，这对于后来多种红色釉的研制起了重要的作用。

龙泉窑在今浙江龙泉县，主要生产青瓷。由于外贸的需求，它创制出一种以粘稠的石灰碱釉为特征的，以梅子青、粉青釉色为代表风

格的青瓷。由于石灰碱釉具有一般石灰釉达不到的艺术效果，遂使龙泉青瓷达到了青瓷工艺的顶峰。

宋代的景德镇逐渐成长为南方一个重要的瓷区。宋代以前，景德镇叫“新平”，又名“昌南”。北宋赵恒（真宗）景德年间（1004—1007年）置镇。“始遣官制瓷贡京师，应官府之需，命陶工书建年〔景德〕于器”（《江西通志》）。由于景德镇拥有制瓷的丰富自然资源，又逐渐汇集了各地制瓷的工匠，所以瓷业发展迅速。宋代生产的瓷器，釉色介于青、白两色之间，故称“青白瓷”。它的特点是瓷坯较薄，釉色似白又隐现青白，坯体上暗雕花纹，内外皆可映见，故又叫“影青瓷”。其白度、透光度都较高，色泽如玉，又有“假玉器”之称。青白瓷釉如碧玉，胎薄质坚，声音清脆，迎光透视。

浙江余姚的越窑、河南宝丰的汝窑都曾作过官窑，河南汴京（今开封）的北宋官窑、浙江杭州的南宋官窑，这些官窑的产品一般只供宫廷使用。官窑集中了一批有才华的工匠，所以烧出来的瓷器大多是精品，反映了当时制瓷工艺的精湛水平。

黑釉瓷器在宋代似乎是最大众化的。已发现的宋代瓷窑遗址中，有三分之一以上的瓷窑都烧黑瓷，常见的是黑釉茶盏，这可能与当时盛行的斗茶社会风尚有关。黑瓷自东汉以来，经长期的发展，工匠们有不少创新。在宋代的黑釉瓷中就出现了油滴、兔毫、鹧鸪斑、玳瑁等结晶釉或乳浊釉，其实它们都是瓷器的精品，具有浓厚的地方色彩，对制瓷工艺的发展起了重要的推动作用。

宋代制瓷工艺在中国陶瓷史上的最大贡献是为陶瓷美学开辟了一个新的境界：钧瓷的海棠红、玫瑰紫，灿如晚霞，窑变色釉如行云流水；汝窑汁水莹润，有如堆脂的质感；景德镇的青白瓷色质如玉；龙泉青瓷的翠绿晶润的梅子青更是青瓷釉色之美的极致。宋瓷所创造的新的美学境界，主要在于它不仅重视釉色之美，而且更追求釉的质地之美。宋瓷的精品都是我国陶瓷历史画廊中的杰作和瑰宝。

四、元代瓷业的成就

宋代各瓷窑的相互竞争,相互仿制,促进了制瓷工艺的交流和提高。金人南侵,致使北方诸窑的工匠南迁,带来了北方诸窑的先进技艺,促进了南方制瓷业的发展。景德镇瓷业就是在这种情况下获得了迅猛的发展,发展到元代,景德镇瓷业最突出的成就是:青花釉下彩瓷的烧制趋于成熟和釉里红瓷器烧制成功。

青花釉下彩瓷是指用含钴的矿物颜料在瓷胎上绘画,然后上一层透明釉,一次烧成后得到在白色中呈现蓝色花纹的釉下彩瓷。钴颜料发色鲜艳,呈色稳定,又因是釉下彩,纹饰不会褪脱。白地蓝花的青花釉下彩瓷给人以明净素雅的感觉,深受人们喜爱,很快就发展成景德镇瓷业的主流产品。釉里红是吸取了钧窑烧制铜红釉的经验,用铜红颜料在胎上作画或纹饰,再罩以透明釉,在高温还原气氛中一次烧成的釉下红彩瓷器。它在明清两代又有发展而颇负盛名。

第六节 古代制瓷业的鼎盛时期

1368年朱元璋在统一全国,建立明帝国之后,立即推行一些旨在鼓励生产,恢复经济的措施,使包括制瓷业在内的手工业生产逐渐恢复和发展。明代中叶,民营窑场激增,制瓷工匠相对集中,瓷业有了迅速的发展。景德镇瓷业的兴盛,集中地反映了这一变化。

一、瓷都景德镇

经过五代、宋元几百年的连续发展,景德镇利用它得天独厚的

自然资源，兼收并蓄各地制瓷的技艺，在明代终于成为全国的瓷业中心。繁荣的景德镇，烟囱林立，几十里外就能望见天空中黑烟缭绕，昌江中装运瓷器的帆船来往不绝。正如有人描述的那样：“陶舍重重倚岸开，舟帆日日蔽江来。”当时景德镇从事瓷业者达十余万人，形成“工匠来八方，器成天下走”的局面。景德镇瓷器“自燕云而北，南交趾，东际海，西被蜀，无所不至，皆取于景德镇”（《江西省大志·陶书》）。

明初在景德镇设立了御器厂，专门烧造供宫廷使用的瓷器。例如宣德八年（1433年），根据尚膳监的需求，一次就烧造龙凤瓷器四十四万三千五百件（《大明会典》卷一九四）。嘉靖、万历年间几乎每年都要向御器厂索取数以万计的瓷器。御器厂初设时仅有窑二十座，宣德年间增至五十八座。此外，御用瓷器还要占用民窑的最好窑位，占用最熟练的工匠，占据优质的原料，利用多种手段对民窑进行盘剥。这些剥削的确给景德镇的民窑瓷业带来沉重的负担。到了明代后期，工场手工业形式的民营窑场激增，并显示了它的竞争能力。民营窑场虽小，但十分注重经济效益。仅拿窑炉来说，由于注意采用先进技术，民营窑炉消耗同量的燃料，产量却比官窑的高三倍以上。民营瓷窑生产的高档细瓷，与御器厂相比毫不逊色。所以嘉靖以后，宫中需要的“钦限”瓷器部分地干脆由民窑生产，一度出现官窑不如民窑之势。官民竞争的状况终于导致御用瓷器的生产采用“官搭民烧”的新制度。民窑的瓷器全部是商品，通过商人运往全国各地。正如宋应星在《天工开物·陶埴》中所写的：“合并数郡，不敌江西饶都产，……若夫中华四裔，驰名猎取者，皆饶郡浮梁景德镇之产也。”

明代景德镇瓷业的发达还表现在工艺技术的进步。首先，制瓷作坊的分工极细，专业化程度较高，既保证了质量，又提高了效率。根据《天工开物》介绍，生产分春土、澄泥、造坯、汶水、过利、打圈、字画、喷水、过锈、装匣、满窑、烘烧等工序，从原料开采到烧成，共计“一坯工

力,过手七十二,方克成器”。其次,工匠们继承和发展了元代改变原料配方的成果,采用瓷石加高岭土的二元制胎配方,代替只用瓷石的一元配方,对原料进行精心粉碎和淘洗,去掉粗大颗粒和有害杂质,使含铁量降到最少程度,提高了瓷器的白度和透光度。第三,对窑炉进行了改进。瓷釉以石灰碱釉代替石灰釉后,由于釉的粘度变大,长期使用的快烧快冷不易保温的龙窑显得不太适宜。针对这一状况,窑工们将龙窑改造为分室龙窑,进而发展成阶级窑。阶级窑就单个窑室来看,像个倒焰的馒头窑,但就全窑而言,则是一个坡度较大的龙窑。它升温降温慢,而且较易控制气氛。《天工开物》所介绍的缸窑就是这种阶级窑。根据景德镇烧松柴的习惯,窑工们又综合了龙窑和馒头窑的优点,创造了蛋壳窑。它像一个平卧在地面上的半个鸭蛋,前高而宽,逐渐向窑尾收缩,窑尾有一个高度相当于窑长的烟囱。这一高大的烟囱,抽力大,致使窑室烧成温度高。这种窑的窑身长约 15—20 米,容积达 150—200 立方米,所以产量也大。因地制宜地创制这种效率较高的蛋壳窑,再次显示了景德镇瓷工的聪明才智。

在明代的基础上,清代景德镇的制瓷业继续保持着兴旺的景象,尤其在康熙、雍正、乾隆三朝,官窑和民窑俱盛,彩绘和色釉并茂。对此景象有许多史书作了描述。例如曾在景德镇督办御器厂生产瓷器近三十年的唐英在《陶冶图说》中说:“景德镇袤延仅十余里,山环水绕,僻处一隅,以陶来四方商贩。民窑二、三百区,工匠人夫不下数十万,藉此食者甚众,候火如候晴雨,望陶如望黍稷。”《浮梁县志》也说:“昔日景德镇只有三百座窑,而现在窑数已达三千座。……到了夜晚,它好像是被火焰包围着的一座巨城,也像一座有许多烟囱的大炉。”由此可见景德镇瓷业昌盛之一斑。

乾隆以后,随着封建社会的没落,景德镇和整个制瓷业也逐渐走下坡路;瓷器生产的规模和质量再也没有超过康熙、雍正、乾隆的鼎盛时期。

二、明代制瓷业的成就

代表明代制瓷业最高技术水平的是景德镇的制瓷业。首先,作为景德镇瓷业的主流产品的青花釉下彩瓷器,在明代进入大量生产的黄金时期。它不仅要供应宫廷日常生活之用,还要作为礼品满足朝廷对内赏赐和对外交流的需要。郑和七下西洋,每趟都携带了大量的青花瓷器和其他名瓷作为珍品用以交换。明初洪武年间的青花瓷器,可能由于战争而造成进口青料来源的中断,基本使用国产青料,所以釉面偏于暗黑。到了永乐、宣德年间,青花瓷器的制造工艺有了明显提高,胎质细腻洁白,釉色晶莹肥厚,青花色泽鲜艳,造型多样,纹饰优美。青花瓷器的生产进入一个鼎盛的时期。据分析,这时期官窑所使用的青料大多是来自伊斯兰国家的苏麻离青颜料。这种青料含锰低,含铁高,所以产生青色浓艳的色调,但时常有黑疵斑点。民窑基本上使用国产青料,釉色较灰,但不带黑斑。成化年间起,官窑更多的是进口和国产青料混合使用,烧成的青花瓷胎薄釉白,青色淡雅。民窑虽然得不到上等青料,但是它们对国产青料精细加工,使出产的青花瓷胎细洁白,釉薄莹亮,青色淡雅。

其次,成化年间创制的别具一格的斗彩瓷器,标志着彩瓷发展到了一个新水平。斗彩即釉上彩和釉下青花的结合,是工匠们综合吸收点彩、釉上彩和釉下彩技术的结晶。这本身也经历了一个从简单到复杂的发展。工匠们将 $\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 二元系统的低温色釉改进为 $\text{PbO}-\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 三元系统的釉上彩,同时提高白瓷的质量,为彩画提供一个洁白的底面以为衬托。这是两项彩瓷发展的技术前提。洪武年间,窑工们掌握了釉上红彩技术。宣德年间,他们将釉上红彩与釉下青花相结合,创制了单一红彩的斗彩瓷器。成化年间,又将斗彩中的釉上彩扩展到三种或四种颜色,有的甚至达到六种颜色。这些釉上彩色调

鲜明；鲜红，色艳如血；油红，色重艳有光；鹅黄，色嫩透明而闪微绿；杏黄，色闪微红；姜黄，色浓光弱；孔雀绿，浅翠透明；孔雀蓝，色沉等。窑工们凭着长期的实践经验，运用不同选料和配方，制作这么丰富的色彩，表现了他们的智慧和创造，为后来的五彩瓷器的蓬勃发展奠定了基础。在成化斗彩中，釉下青花占据主导地位，后来发展到嘉靖、万历年间的斗彩，突出的是釉上五彩。

第三，明代景德镇的高温和低温单色釉也有很大发展。釉上彩、五彩、斗彩瓷器的发展就是以这些色釉技术为基础的。在宋钧窑红釉和元代釉里红的基础上，明代永乐年间成功地烧出了宝石红（又称为“祭红”）的全红瓷器。烧成这种以铜为显色剂的红釉，技术难度很大，稍有出入，即会失败，成品合格率很低。明代宣德年间窑工们在元代以钴为呈色剂的蓝釉基础上，配制出霁蓝这一高温石灰碱釉。这种蓝釉，色泽深沉，浓淡均匀，成为宣德瓷器的上品。明代正德年间，窑工们将宋代瓷器上使用的低温绿铅釉，发展成纯正的孔雀绿。将唐三彩中呈黄褐色的低温黄釉，发展成纯正的黄釉。黄色是宗庙祭器的重要颜色。

三、清代制瓷工艺的成就

清代制瓷工艺的进步主要表现在以下三个方面。

首先，凡是明代已有的工艺和品种，大多有所提高或创新。由于工匠们熟练地掌握了青花颜料的选择和加工，这时期烧制的青花瓷器不仅纯净、鲜艳，而且还有层次分明之感。例如，运用青花颜料所绘的山水画，它在瓷面上所呈现的效果，远非普通水墨画所能及。闻名于世的康熙五彩，由于发明了釉上蓝彩和墨彩，不仅丰富了彩色，还显得更加浓艳动人。釉上彩的发展不断革新了斗彩的内容，特别是在雍正年间，工匠们以粉彩代替五彩，使斗彩的图案愈发艳丽清逸。

其次,当时陶瓷上的仿宋法古极为成功。上到战国金银错壶,下到唐三彩及定、汝、哥、官、钧窑瓷器,都取得了卓越成就。从传世的实物看,清代官窑烧出的大瓶大多是单色釉,釉色丰富,红釉有铁红、铜红、金红之分;蓝釉有天蓝、洒蓝、霁蓝之别;绿釉有瓜皮绿、孔雀绿、秋葵绿之异,可谓集历代色釉之大成,使釉色发展到炉火纯青的程度。清代雍正年间,烧制的仿龙泉青瓷达到了胜过龙泉青瓷的水平。仿汝、官、哥、钧窑的产品也都能达到以假乱真、真伪难辨的程度。明代中期以后一直失传的铜红釉和釉里红,到了清代康熙年间得以恢复和发展。由于权贵们的索取,瓷工们不得不惜工本地制造各种新奇制品,仿制各种手工艺品。朱琰在《陶记·说今》中记述了这一状况:“餓金、鏤銀、琢石、髹漆、螺甸、竹木、匏蠶諸作,無不以陶為之,仿效而肖。”用瓷土制造的莲子、藕、胡桃、枣、栗、石榴、蟹等象生瓷,制作精巧,形象逼真。仿剔红漆器的盘、盆颇有雕漆之感。仿木纹的笔筒更是精致形象。其他仿制品同样精巧可爱,充分表现了制瓷工匠的高超技艺。

第三,这一时期还创制出一些新的彩釉品种,除上面已提及的蓝釉和墨釉外,还有粉彩、珐琅彩、釉下三彩、乌金釉、珊瑚红、松绿釉以及采用黄金为着色剂的胭脂红等。

景泰蓝是明代一种新兴的手工艺品。它是在铜胎上以蓝为底色,掐以铜丝,填上红、黄、蓝等色釉而烧成。清初从国外进口了与景泰蓝类似的金珐琅、铜珐琅工艺品,借鉴这两种工艺,工匠们创制了在铜、玻璃、瓷胎上用珐琅彩描绘的珐琅彩工艺品。其中瓷胎的珐琅彩器物就叫“珐琅彩瓷器”。它专供宫廷皇族、贵族玩赏,或作祭祀供器。据分析,珐琅彩中含有大量的硼,这是中国传统的彩料中没有的。珐琅彩中还含有砷,并以氧化锌作为黄色的着色剂,这也与传统的彩料不一样。珐琅彩中的胭脂红,是以胶体金为着色剂,为中国工匠提供了借鉴。总之,珐琅彩的运用不仅丰富了釉上彩的品种,同时也表

明中国人是善于吸收外来先进技艺的。

粉彩瓷器是在康熙五彩的基础上,受珐琅彩制作工艺的影响而创制的一种釉上彩的新品种。粉彩就是在含铅的彩料中加入一种被瓷工们称为“玻璃白”的含砷玻璃料。玻璃白的成分为 $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{As}_2\text{O}_3$ 。其中 SiO_2 是形成玻璃体的主要成分, PbO 是熔剂, As_2O_3 是起乳浊剂作用。这种彩料由于 As_2O_3 的乳浊作用,使烧出来的色釉具有一种不透明之感。这种不透明的作用给人以柔和的感觉,所以粉彩又被称为“软彩”。玻璃白的乳浊作用能使所有的颜色粉化,而呈现出不同深浅浓淡的色调,扩大了釉上彩的色调范围。使用粉彩既可以渲染画面的色彩,又有层次深浅的阴阳分明之感,从而把装饰技术推到了一个新水平。总之,釉上五彩、珐琅彩和粉彩的运用,使彩瓷进一步呈现出争奇斗艳的新境界。

第七节 琉璃和玻璃

琉璃和玻璃是两种不同的物质,在中国古代这两个不同的概念常被混淆。为此,了解它们的起源和发展,对于研究中国古代文明史是十分必要的。

一、古琉璃、古玻璃的起源

在中国的古代文献中,很早就出现了“璆琳”、“琅玕”、“流离”、“琉琳”、“玻瓈”等名词。到了汉代及稍后,较普遍地使用“琉璃”这一名词。《论衡》、《尚书·禹贡》、《汉书·西域》、《太平御览》、《旧唐书》、《北史·大月氏传》等古籍,虽然都记载了中国自制或从外传入的琉璃器或玻璃器,但是其内容都十分简略。特别是有关其生产工艺基本

没有介绍,从而使后人对琉璃、玻璃的真面目及来龙去脉缺乏认识,造成以讹传讹。对古琉璃、古玻璃的考证和研究始于二十世纪初,而对中国古玻璃的起源的讨论则在二十世纪三十年代才展开。

七十年代在陕西、河南等地出土了西周料珠,引起了国内外学者的关注。1975年在陕西宝鸡茹家庄强国墓地出土了上千件料珠。它们分别为管形、圆形、菱形、椭圆带点饰形,其中圆形又有带点饰和不带点饰之分,大小不一,造型不规整,色泽为淡绿或天蓝色,不透明。^①

1977年至1981年在陕西扶风县北吕周人墓地发掘的五百座墓葬中,近四百座出土了料珠。这些料珠多为圆形,无点饰,也有少量管形珠,其色泽为淡绿或天蓝,造型比较简单,透明度较好,珠壁较薄,在强光下呈半透明。^②

对这两批料珠分别进行测试,初步断定它们是人造制品。通过X射线衍射实验和显微结构观察,发现这些料珠的质地既不同于典型的玻璃体,又不同于典型的晶体,而是石英晶体和玻璃质的混合体。根据铅的同位素分析,可以证明它们的产地确在中国。出土量这么大,又多为平民所有,进一步表明它们只能是在中国生产的。

根据这些料珠的成分分析,有人认为,它们以冶炼青铜的矿渣加粘土在低温下熔化而成^③。也有人认为,它们是用石英粉末加助熔剂、铜着色剂滚粘成形后烧结而成^④。持前一观点的又有进一步的根据:在郑州商代早期铸铜遗址上曾发现其地面上有一片片绿色粉末状物质,这些粉末状物质经岩相检验,表明它是含有石英并存的玻璃

① 王世雄:《宝鸡、扶风出土的西周玻璃的鉴定与研究》,《中国古玻璃研究》,中国建筑工业出版社1986年版,第135页。

② 扶风博物馆:《扶风北吕周人墓地发掘简报》,《文物》1984年第7期。

③ 杨伯达:《西周玻璃的初步研究》,《故宫博物院院刊》1982年第2期。

④ 张福康、程朱海、张志刚:《中国古琉璃的研究》,《硅酸盐学报》1983年第1期。

相,它们可能是经过烧炼和使用的产品,日久天长而风化为粉末状。这一发现能否说明在炼铜过程中,人们曾得到这种绿色、含玻璃相的物质,因而有意识地将它们加工成饰物?同时人们又推测,料珠中所含大量棱角尖锐的颗粒状石英粉可能是为了将上述炼铜所得绿色物质粘合起来,增加强度而有意加入的,类似于在粘土中加入砂粒以改善其耐冷热急变性能和增加强度。有人认为,这些料珠可以视为中国的原始玻璃^①。也有人认为,这些西周不透明的料珠,其SiO₂含量很高,而且内含大量晶态石英,因而不是玻璃,而是一种烧结粘合物。严格来说是一种由玻璃相作粘合剂的多晶石英珠,即属于西方古玻璃中的“弗氧斯”(Faience)一类物质。^②

随着古琉璃、古玻璃的不断出土,有更多的学者投入研究。以前曾流行的观点有以下几种:第一,西周的料珠就是原始的玻璃,所以中国玻璃起源于西周。第二,中国先出现釉(石灰釉),后发明玻璃,因此中国早期的玻璃可能由釉料组成。第三,早期玻璃是由不同种类的天然玉石制成。第四,古籍中记载的“璆琳”、“陆离”、“流离”等大多是外来语,而西方的玻璃早于中国,所以中国的玻璃生产技术源于西方。科学工作者对上述观点进行了分析和讨论,认为中国古代的琉璃实际上包括以下几类物质:第一,含少量玻璃相的多晶石英珠,例如出土的西周料珠。第二,玉石珠,即天然玉石人工琢磨而成的工艺品。第三,蜻蜓眼,这是一类由几种不同色调的玻璃通过特殊工艺套制而成的,它包括某些陶胎琉璃。第四,单色玻璃制品。由此可见,琉璃在古代实际上是用来称呼那些用硅酸盐材料配制的,并用和陶瓷工艺不一样的方法制成的人造装饰物的专门名称。琉璃的含义比玻璃更为广泛,在古代琉璃可以囊括玻璃。所以关于琉璃、玻璃的起源不能

① 干福熹等:《我国古代玻璃的起源问题》,《硅酸盐学报》1978年第1—2期。

② 张福康、程朱海、张志刚:《中国古琉璃的研究》,《硅酸盐学报》1983年第1期。

一概而论,而要作具体分析。

二、古代玻璃的演进及其特点

通过对出土的古代玻璃器物展开的系统研究,特别是对古代玻璃化学组成的大量科学分析,可以初步认识到古代玻璃技术发展的基本线索及其特点。中国古代玻璃技术大致可以分为四个发展时期:^①

第一,公元前五世纪前的西周至春秋时期。出土的主要是珠、管、剑饰等,其化学组成属于高二氧化硅,且含有大量晶态石英的烧结粘合物。这类制品严格来说不能称“玻璃”,而类似于国外古代的“弗氧斯”。

第二,公元前五世纪的战国至公元六世纪的隋代。出土有珠、璧、耳珰、剑饰、杯和碗等玻璃器物。这时期的中国玻璃已形成了自己的体系,前期以 $\text{PbO}-\text{BaO}-\text{SiO}_2$ 系统玻璃为主,后期以 $\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 为主,但是也发现有以 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 为主化学组成的玻璃器物。

第三,公元七世纪的唐代至公元十三世纪的元代。出土的玻璃器物主要有各种形式的玻璃器皿。这时期仍然以高铅即 $\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 系统玻璃为主,同时也出现 $\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 等系统的玻璃。

第四,公元十四世纪的明代至十九世纪的清代。这期间的玻璃器物主要是各种玻璃工艺制品。玻璃主要组成有: $\text{K}_2\text{O}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 等系统。

^① 参见于福熹、黄张发,《中国古玻璃化学组成的演变》,《中国古玻璃研究》,中国建筑工业出版社1986年版。

从以上古玻璃化学组成的演变可以看出,我国古代玻璃技术可能萌芽于西周,到了战国已发展起一个具有自己独特化学组成的玻璃系统。中国古代玻璃沿用 $\text{PbO}-\text{BaO}-\text{SiO}_2$ 和 $\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 系统已被学术界和世界所公认。应该说这就是中国古玻璃的特色之一。铅玻璃盛行于战国、两汉,而且一直延续到近代。铅玻璃在中国不仅出土数量多,而且分布地域广。在西方,铅玻璃的出现是较晚的。 $\text{PbO}-\text{BaO}-\text{SiO}_2$ 系统玻璃出现在战国,以后逐渐消失了,而这种铅钡玻璃在西方古玻璃中是没有的。在两汉时的一些地区曾出现 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 玻璃,其 K_2O 含量在百分之十五左右,基本不含 Na_2O 和 CaO 。这样系统的玻璃也可以认为是中国独有的,因为含 K_2O 这么高在西方的古玻璃中也是少见的。总之,从玻璃化学成分的演变中可以看到,中国古玻璃由单一成分发展为多系统,除了自身的探索和发展,也通过交流吸收了外来技术。曾发现战国前的少量类似于西方古罗马玻璃制品的 $\text{Rb}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系统玻璃就是一线索。在古代,丝绸之路、方便的海路都可能提供这种技术的交流。

三、琉璃及其发展

琉璃在古代往往是玻璃、料器、珐琅、某些玉石饰品、陶胎铅釉制品的通称。当陶胎铅釉制品被大量地应用于建筑中之后,遂形成了自己的独特配方和制作工艺,成为表现中国民族特色建筑的重要材料。所以当今的琉璃专指那些用于建筑的陶胎铅釉构件。

琉璃的釉实质上是铅釉,它以铅粉或炼铅的熔渣为助熔剂,以含铁、铜、钴、锰的矿物为着色剂,再配以石英粉而制成。琉璃制品一般采用二次烧成,即先烧好素胎,再施琉璃釉经 900°C 左右烧烤而成。

琉璃制品最早出现在战国。在长沙、衡阳、常德及浏阳一带的楚

墓中,曾发掘出一些随葬的琉璃璧。《战国策·楚一》说:“楚王乃遣使车百乘,献鸡骇之犀,夜光之璧于秦王。”这夜光璧可能就指当时的琉璃璧。秦汉时期,铅釉技术获得重要发展。一些铅釉制品的精品常被称为琉璃奇宝而伴随着贵族进入坟墓。晋代王嘉所作《拾遗记》记载:“秦始皇坟墓,敛天下王襄异,倾近万奇宝于塚中……以琉璃奇宝为龟鱼。”秦始皇墓今尚未发掘,上述的琉璃杂宝还有待验证。但在汉代的琉璃,史书上记载已较多。例如《西京杂记》中记载,汉帝相传的一把原先汉高祖刘邦曾使用的斩蛇剑,其剑匣就以五色琉璃来装饰。该书还记载赵飞燕的妹妹给汉武帝的贡品中,有一面用琉璃来装饰的琉璃屏风。笔者认为,这时期的琉璃制品,严格地说大多是铅釉陶的精品。

琉璃技术的真正长足进步是琉璃制品被引入建筑业中。关于琉璃建筑构件的早期记载有北齐时期魏收撰的《魏书·西域》:“世祖时,其国人商贩京师,自云能铸石为五色琉璃。于是采矿山中,于京师铸之,既成,其光泽乃美于西方来者,乃诏为行殿,容百余人。”宋·何遵著的《春渚纪闻》也记载:“相州魏武帝故都,所筑铜雀台,其瓦初用铅丹,杂胡桃油捣洽火之,取其不渗,雨过即干耳。”琉璃正是以其兼有美丽色泽和良好的防水性能而开始步入建筑业,并得到迅速发展。有彩陶和釉陶的制作经验,琉璃窑越来越多,琉璃制品逐渐从名贵的奢侈品变为普通的建筑材料,正如《魏书》里所说:“由此中国琉璃遂贱,人不复珍之。”

南北朝的连年战乱曾使琉璃的生产停滞,直到隋文帝统一中国,琉璃生产才得到恢复。《隋书·何稠传》载:“时中国久绝琉璃之作,匠人无人敢展意,稠以绿磁为之,与真无异。”唐代是琉璃技术大发展的时期,首先琉璃制品在宫廷建筑上得到更广泛的应用。当时唐代的都城长安(今陕西西安)的大明宫,不仅屋顶一律采用琉璃筒瓦和板瓦,而且还采用了表面雕刻莲花的绿琉璃砖。从此以后,琉璃制品成为宫

廷和王府建筑不可缺少的构件。唐三彩也可以说是一种琉璃的工艺品,它从另一角度反映了当时琉璃技术的高超水平。宋代全面继承了唐代的琉璃烧制技术,创制出更为精美、绚烂、秀丽的琉璃构件,这从色彩斑斓、雕琢精细的琉璃贴面砖的大量生产和运用中可见一斑。建于北宋仁宗皇祐元年(1049年)的河南开封祐国寺的琉璃塔,完全采用标准化的琉璃贴面砖装饰其外露部分,贴面砖的规格多达八十余种,砖面上雕塑有各种花纹图案,有飞天、降龙、麒麟、佛像、力士、宝相花等。这些雕塑体现了宋代建筑绘画的风格,形象生动、线条流畅,显示了很高的技术水平。北宋李诫编修的《营造法式》对琉璃的烧造技术作了较详细的介绍,其中对釉料成分和烧制方法的论述,不但指导了当时琉璃建筑构件的生产,也为后人留下了珍贵的资料。

1271年忽必烈在燕京(今北京市)建立了元朝。至元元年(1264年)忽必烈就委任汉族知识分子刘秉忠主持兴建大都城。为显示统治者的无上尊严,木料多用紫檀、楠木,而屋顶则用各色琉璃瓦。由于需求量极大,单靠山西等地运送已是供不应求,因此在城外兴建了琉璃窑厂,专为皇家烧造琉璃建筑构件。除当时城南海王村(今北京和平门外琉璃厂)有琉璃窑厂外,1983年在北京西郊公主坟附近又发现一个元代琉璃窑遗址,出土了大量的琉璃建筑构件。元代琉璃瓦顶建筑的代表,当推山西省五台县佛光寺文殊殿屋脊正中的塔形琉璃饰件。它是至正十一年(1351年)烧造的,外形十分秀美,色泽于浑厚中透出华丽,历经六百多个春秋,釉色始终不剥不褪,堪称珍品。建于山西永济县的永乐宫是元代道教建筑的典型作品,其中三清殿是元代建筑的佳作。它的屋顶施用黄绿两色琉璃瓦,突出了建筑物稳重清秀的造型,为后人所称颂。

明清两代不仅是瓷器发展的鼎盛时期,同时琉璃技艺也得到充分展示。明代以前,山西的阳城、平遥、汾阳,陕西的大荔县朝邑,河南的修武都是著名的琉璃之乡。明初在南京聚宝山兴建了多座琉璃窑,

为拓建“建康城”准备琉璃构件。总之，琉璃的生产已扩展到许多省和地区。明清时期琉璃技术的进步，表现在宫廷庙宇使用琉璃构件已得心应手。大到数吨重的正吻，小到盈寸的兽件，都十分精湛。琉璃构件使用的范围已从宫殿、庙宇扩大到形体复杂的其他附属建筑和纪念性建筑上了。明代的琉璃照壁、琉璃花门、琉璃塔等的式样繁多，规模巨大，结构复杂是前代所不能比拟的。现仍屹立在大同市东街的九龙壁，通身用彩色琉璃烧成，壁长 45.5 米，高 8 米，正面雕龙九条，虬爪利牙，翻腾于波涛汹涌的云海之中。每条龙都独有神韵，又各具情态。壁座的束腰部位，精工雕琢着狮、象、虎、麒麟、飞马、狻猊等异兽，造型活泼，栩栩如生。整座壁体气势雄伟，金碧辉煌，不愧为中国古代建筑艺术的上品，也是世界上陶雕工艺中最大的作品。宣德年间在南京建造的大报恩寺九层琉璃塔，以它宏伟的规模和惊人的技艺，曾被列入中古时期世界著名的古迹之一。明清两代留下来的最伟大的建筑群，就是北京的故宫，它是琉璃的海洋。当时琉璃技艺在这一紫禁城宫殿中得到了集中的展现。另外，建于乾隆时期北京北海西侧的五彩琉璃阁和建于光绪年间颐和园的智慧海，都是清代无梁琉璃阁的代表作。所谓无梁即不用一根木料，外表完全采用仿木琉璃构件，具有极好的防火性能。北京故宫乾清门前的一对八字形照壁和河北承德市普宁寺内的五颜六色琉璃塔堪称为清代琉璃造型艺术的典范。它们的琉璃雕饰巧夺天工，形象逼真，题材多样。总之，清代的琉璃技术达到了琉璃史上最繁盛的境地，留下了大量的琉璃建筑，都是中国民族文化的珍品。

第八节 古代的陶瓷文献和主要著作

中国古代陶瓷技艺所取得的辉煌成就是世人共知的，然而有关

陶瓷的古代论著却很少。长期以来陶瓷技艺的发展主要依靠陶瓷工匠的口传身授和经验积累。众多文人墨客虽然在他们的诗文中赞美过陶瓷,但是他们中的多数人并不了解陶瓷的生产工艺,所以对陶瓷工艺的发展未作详实的记述。直到明清时期才有几部有关陶瓷技艺的专著问世。

一、古代陶瓷文献、著述概况

古代文献中有关陶瓷的资料少而分散。它们大多散见于二十四史、政书、杂史、方志、类书、诗文集、笔记等典籍中,其中以笔记、杂说的形式出现者居多。

正史类中《新唐书》、《宋史》、《明史·地理志·贡陶》、《明史·食货志·烧造》、《清史·唐英传》等中有关于当时陶瓷生产状况的若干记述。

政书类,例如《唐会典》卷三、卷四有贡陶的内容。《唐会要》记述了当时的明器制度。《宋会要》记录了宋瓷外销的部分情况。《明会典》记述了曲阳、磁州、钧州等地的瓷窑状况。《清会典事例》记录了烧造陶瓷的有关事项。《清续文献通考》记载了清末瓷业的状况,等等。

杂史类,例如唐代李肇的《国史补》描述了内丘白瓷的情况。

方志中有关陶瓷业的记述稍多。例如唐代李吉甫的《元和郡县志》记述了当地的贡陶,宋代祝穆的《方輿胜览》记述了甌宁的兔毫盏,《大清一统志》中有关于各地陶瓷生产状况的介绍。许多省的通志,府、州、县的志书中有陶瓷业状况的记录。例如,明代郭子章的《豫章书》(即《江西总志》)和周广的《江西省大志》及以后历次修纂的《江西通志》、《饶州府志》、《浮梁县志》中都有景德镇瓷业的介绍。

类书中也有一些有关陶瓷的资料,例如明代黄一正的《事物绀珠》、方以智的《通雅》、清代的《古今图书集成·经济汇编·考工典》等。

诗文中议论陶瓷的文句很零散,其中较著名的有唐代陆羽的《茶经》,杜甫的《杜工部诗集》中有关于大邑瓷的论述,宋代苏轼的《东坡诗集》中论及定瓷等。

笔记、杂说中谈论陶瓷的内容相对来说较多一些,历代均有。如,唐代有段安节的《乐府杂系》,苏鹗的《杜阳杂编》。宋代有:周羽翀的《三楚新录》,曾慥的《高斋漫录》,赵令畤的《侯鯖录》,周辉的《清波杂志》,赵彦卫的《云麓漫钞》,叶真的《坦斋笔衡》,周密的《癸辛杂识》,陆游的《老学庵笔记》、《斋居纪事》,赵与时的《宾退录》,顾文荐的《负暄杂录》,朱彧的《萍洲可谈》。元代有陆友的《研北杂志》,陶宗仪的《辍耕录》。明代有谢肇淛的《五杂俎》,田艺蘅的《留青日札》,陈继行的《妮古录》,沈德符的《万历野获编》、《飞凫语略》,李日华的《六砚斋笔记》,陈懋仁的《泉南杂志》,徐应秋的《玉艺堂谈荟》,陆容的《菽园杂记》,陆深的《春风堂随笔》,郎瑛的《七修续稿》,王世懋的《纪录汇编》,顾起元的《说略》,王士性的《广志绎》。清代有王士禛的《香祖笔记》、《池北偶谈》,宋荤的《筠廊偶笔》,刘銮的《五石瓠》,释大然的《青原志略》,周亮工的《闽小纪》,孙廷铨的《颜山杂记》,施闰章的《矩斋杂记》,李渔的《闲情偶寄》,王棠的《燕在阁知新录》,阮葵生的《茶余客话》,叶梦珠的《阅世编》等。

此外,宋代徐竟的《宣和奉使高丽图经》、赵汝适的《诸蕃志》,元代汪大渊的《岛夷志略》等也从中外交流的角度介绍了中国的瓷器。

比较详细或比较系统地记载陶瓷器状况或生产的主要著述有:元代蒋祈的《陶记》,明代曹昭编、王佐增订的《格古要论》,张应文的《清秘藏》,文震亨的《长物志》,周履靖的《夷门广牍》,屠隆的《考槃余事》,袁宏道的《瓶史》,高濂的《遵生八笺》,张谦德的《瓶花谱》,谷应泰的《博物要览》,周高起的《阳羨名壶系》,宋应星的《天工开物·陶埴》。清代有唐英的《陶冶图编次》,朱琰的《陶说》,吴騫的《阳羨名陶录》,吴允嘉的《浮梁陶政志》,蓝浦编、郑廷桂补辑的《景德镇陶录》,

陈浏的《陶雅》。近代有富蕴和的《古今瓷器源流考》(1921年),许之衡的《饮流斋说瓷》(民国初年),刘子芬的《竹园陶说》(1925年),郭葆昌的《瓷器概说》(1934年),叶麟趾的《古今中外陶瓷汇编》(1934年),吴仁敬、辛安潮的《中国陶瓷史》(1935年),江思清的《景德镇瓷业史》(1936年)。

二、古代主要陶瓷专著简述

蒋祈的《陶记》

古代第一篇专论陶瓷生产的文章。它不仅记述了景德镇瓷业的建制、职官和税目,还记载了当时瓷窑的分布和窑炉的结构,描述了制胎、成型、装饰及焙烧工艺。它还介绍了当时景德镇瓷器的内销市场及与它并存、竞争的其他瓷窑。该文对当时名目繁多的赋税作了描述,表明当时制瓷工匠所受的盘剥以及工匠与封建统治者之间的矛盾。这些记载为中国陶瓷史,特别是景德镇的陶瓷史的研究提供了丰富、翔实的资料。

《陶记》撰写于元代英宗至治壬戌到泰定乙丑年间(即1322—1325年),后收录在《浮梁县志》中。

宋应星的《天工开物》

一部集中国古代农业、手工业技术成就的百科全书。该书“陶埴”主要介绍陶瓷技术。该篇分六段:第一段论述陶瓷产品(包括砖瓦)的生产及其社会意义。第二、三段介绍砖瓦的制造,特别讲述了琉璃砖瓦的制造。第四段讲述罌瓮(陶瓶和陶盆、陶缸等)的生产,不仅论述了陶瓷的烧制技术,还对陶瓷产地、原料、釉料及制法作了描述,特别对烧小件陶器的瓶窑,烧大件陶器的缸窑作了记述。第五段较详细地陈述了白瓷和青瓷及青花瓷器的烧造。首先指出不同地方的窑烧出不同品种的瓷器,然后着重介绍景德镇的瓷器。从瓷土的来源、

加工澄滤和成型、上釉到装窑、烧成,特别是青花颜料的拣选加工,都作了详细介绍。最后一段谈论了对“窑变”和“回青”的认识。宋应星指出“共计一杯工力,过手七十二,方克成器”,说明瓷器生产已有细致的分工。宋应星能对陶瓷生产作这一深度的陈述,表明他对生产实践的关注。特别是附在文后的十三幅插图,使读者获得更形象和清晰的认识。

唐英的《陶冶图编次》

一部图文并茂的记述清代景德镇瓷器生产过程的专著。唐英(1682—1756年)是清代著名的制瓷专家。他六岁起在乡塾读书,十六岁时供役于清宫养心殿,即宫廷的手工艺品作坊。长达二十年的实践,使他熟悉了许多手工艺品的制作,成为养心殿的能人,深得雍正皇帝的信任。雍正元年(1723年)被任命为内务府员外郎。雍正五年(1727年),江西景德镇御器厂正式开工烧瓷,唐英作为内务府总管年希尧的助手,奉命兼驻厂协助陶务,直接负责御用瓷器的烧制。因工作成绩卓著,乾隆二年(1737年),他奉命接任年希尧的淮安关使,遥领总理陶务,直到乾隆二十一年(1756年)。中间除有两年在广东主持粤海关工作外,一直负责景德镇御器厂的瓷器烧制。

他初到御器厂时,“对物料、火候、古今瓷式,茫然不知”,然而“聚精会神,苦心竭力,与工匠同食息者三年”,从而变成了对“物料、火候、生克变化之理,虽不敢谓全知,但也颇有得于抽添变通之道”的高手,由“唯诺于工匠之意旨”的外行,变成了“可出其意旨唯诺夫工匠”的内行。蓝浦、郑廷桂在《景德镇陶录》卷五中指出:“公(指唐英)深谙土脉火性,慎选诸料,所造俱精莹纯全。又仿肖古名窑诸器,无不媲美;仿各种名釉,无不巧合,萃工呈能,无不盛备;又新制洋紫、法青、抹银、彩水墨、洋乌金、珐琅画法、洋彩乌金、黑地白花、黑地描金、天蓝、窑变等釉色器皿。土则白壤而填,体则厚薄惟臑,厂窑至此,集大成矣。”这是对唐英十分中肯的评价。

唐英不仅组织烧制出精美的瓷器,而且对景德镇的制瓷工艺进行了总结,《陶冶图编次》就是其中最重要的成果。雍正八年(1730年)唐英编出了《陶成图》。乾隆八年(1743年)他又将《陶成图》按顺序逐项加以说明,并请当时的名画家孙佑、周鲲、丁观鹏等绘图,书法家戴临书写,完成了《陶冶图编次》(即《陶冶图说》),进呈乾隆皇帝阅览。该书共有图二十幅,附文字注说,对采石、制泥、淘炼泥土、炼灰、配釉、成坯入窑、烧窑、洋彩、束草装桶等工序进行了形象的描绘。《陶冶图编次》全文只有四千五百字,却是很珍贵的历史文献。它收载于清乾隆四十八年(1783年)的《浮梁县志》卷五《物产志·陶政》。1936年故宫博物院的郭葆昌曾在前景德镇厂署档册中见到《陶冶图编次》的原本。此外,唐英还编写了《陶成纪事》、《陶人心语》等著作,是研究景德镇陶瓷史的重要参考文献。

朱琰的《陶说》

中国古代第一部陶瓷史专著。该书分六卷,卷一《说今》,介绍了清代景德镇陶瓷业的兴盛状况,然后按照唐英所著的《陶冶图编次》的图文,对陶瓷工艺的过程作了陈述。卷二《说古》,叙述了窑器的起源,首先追溯到神农时期,然后叙述了从唐代到元代的名窑及其产品。卷三《说明》,论述了明代历朝官窑制度、窑器特点及烧造方法,对采料、上役、制料、画染、堆琢、五彩、制匣、装窑、火候、开窑等工序逐一记述。卷四至卷六《说器》,叙述唐虞以来至明代各时期的窑器及其特点。

朱琰,乾隆三十一年(1766年)中进士,被任命为直隶(今河北省)富平知县。但是他没有去当知县,而是作了当时出任江西巡抚吴绍诗的幕僚。朱琰依据自己“学而求其实用,有裨于国计民生”的志向,在江西期间特别留意名扬中外的江西瓷业。当他知道前人没有专书介绍陶瓷史时,便抽出时间专门考察陶瓷工艺和花色众多的瓷器,特地拜访了当地的许多老工匠,参考了江西方志和官府档册,翻阅了

大量的古籍文献,特别是有关景德镇的资料,摘录旧说,附以按语,终于写出了这部珍贵的专著。

在书中,他较详细地说明了陶瓷生产的源流和名物制度,但又不以博取胜,夸耀于世。在旁征广引古文献之后,写出了自己的议论,作出中肯的论断。他论古窑器,必说明其特征及鉴别真伪的方法。他不同于其他文人,不满足于引经据典,而更侧重于实用;不留恋于往古,而着眼于近代和当世,把重点放在明清两代有代表性的官窑瓷器及其造法上。正因为他的考证大体详明,立论大部确切,所以后人黄钊蕃评价说:“先生详考新制,博采旧闻,一名一器,无不摭拾。为类四,为卷六,以视《格古(要论)》诸书,不啻一粟千囷也。”^①

《陶说》第一次刻本是清乾隆三十九年(1774年)鲍廷博本,收入《知不足斋丛书》。乾隆四十七年(1782年)、五十二年(1787年)又各有印本。此后刻本渐多,有《翠琅玕馆丛书》、《芋园丛书》、《说荟》等本,1914年有铅印单行本,1935年被商务印书馆收入《万有文库》。喜爱收藏中国古瓷的国外学者很重视此书,1850年该书有法文节译本问世。1891年出版了英文全译本,1910年牛津克莱伦顿出版社正式刊印。该书已在世界文化史上占有一席之地。

蓝浦、郑廷桂的《景德镇陶录》

记录景德镇陶瓷史和陶瓷制造的较为系统的专著。该书有十卷。卷一有当时的景德镇图,介绍了景德镇的地理环境和历史沿革及衙署、窑场的分布。同时以陶成图二十八幅介绍了制瓷的过程。卷二叙述了清代御器厂的任务和历任官员,介绍了御器厂生产的瓷器品种。卷三为陶务条目,记载了瓷器生产的组合:六种窑、五类窑户、二十三个工种等,还介绍了当时瓷器产品有三十种,釉色(包括仿古的)有三十六种,各种釉料十六种,陶彩十四种。卷四为陶务方略,记述了瓷

^① 见清·朱琰撰,傅振伦译注,《〈陶说〉译注》之“跋三”,轻工业出版社1984年版。

土、高岭土和釉果的选择和加工,胎、釉原料及配制,窑户的结构和组织。从原料产地、加工直到瓷器烧成后的销售都作了陈述。卷五记录了景德镇从南朝以来的窑及产品。卷六和卷七记述了景德镇及景德镇以外,甚至国外的名窑及其产品。卷八和卷九摘录了从多种笔记小说中收集到的有关景德镇陶瓷的掌故,内容实际上超出了景德镇窑。卷十为陶录余论,作者就陶瓷史和景德镇陶瓷技术的若干问题发表了见解。此书是继《陶说》之后又一部有价值的陶瓷专著。

蓝浦作为生活在景德镇的学者,目睹景德镇瓷业昌盛的景象,深惜无专著来介绍,因此博考众家之说,实地考察当时之制,撰写这部《陶录》,可惜只完成了六卷就病逝了。其弟子郑廷桂在广德友人刘克齐的支持下,将先师的遗作修定为八卷,加写了卷首图说和卷尾陶录余论,共十卷,终于在嘉庆二十年(1815年)完稿,同年在景德镇刊印。同治九年(1870年)重刻印行,有翼经堂等刻本传世。

第三章 金属冶炼和金属知识

借鉴于烧陶的高温技术,人类利用化学变化而掌握的另一项重要技术是金属的冶铸。冶金技术的推广和发展,实现了生产工具的变革,对社会生产力的发展起了决定作用,把人类从荒蛮之野推向了文明的殿堂,使人类社会从新石器时代迈入了金属时代。首先是青铜时代,继而是铁器时代。所以冶金技术的出现是人类继烧陶之后利用化学手段改造自然,创造财富的又一辉煌成就。

第一节 铜和铜合金

在金属中,首先被加工利用和冶炼的是铜和铜合金。自然界存在的天然铜,以其美丽的金属光泽而较早被人们所认识和利用。自然铜往往夹杂在铜矿石之中,铜的熔点约 1083°C ,而从铜矿石中还原出铜只需要 800°C 左右,仰韶文化时期烧陶已达到 900°C 。由于金属矿石的共生,某些铜矿石中往往夹杂有锡、铅、锌等金属,所以冶炼某些铜矿石的结果,得到的不是红铜,而是熔点更低、硬度较高的青铜。青铜是铜锡合金或铜铅合金或铜锡铅锌等合金。在金属知识积累和冶炼技术提高的条件下,人们又掌握了黄铜和白铜的冶铸。铜和铜合金

是古代人们最早了解和利用的金属品种。

一、红 铜

很可能在新石器时代初期,人们在采集石料的过程中,发现了与一般岩石不同的天然红铜。它带有红色的光泽,质地柔韧,可用坚硬的石头将其锤打成一定形状而作为装饰品或纪念品。当时的人们并没有金属的概念,而只是把它当作一种特殊的岩石。红铜不能作工具,采集的量也很有限,因此对生产没有产生什么影响。人类从使用金属铜、熔铸金属铜到开采矿石,冶炼出金属铜及铜合金,这之间可能经历了漫长的岁月。

天然铜的纯度是相当高的,一般纯度在99%以上,只含极少量的锡、铅、铋、镍等金属杂质。而用原始冶炼技术得到的铜,由于采用孔雀石为矿石,往往杂有较多与孔雀石共生的铅、锡、锌、铁等;加上冶炼温度不够高,铜与炼渣未能很好分离,还杂有硅、钙、镁、铝等的氧化物。据此人们就可判定远古时期遗存中的铜是天然铜还是冶炼铜。

1957—1958年,在甘肃武威皇娘娘台的齐家文化遗址中,曾出土了一批小铜器,近三十件,包括刀、锥、凿等。经分析,其含铜量达百分之九十九以上,其中不含炼渣等杂物,多数是锻打而成,个别的是熔铸的。考古学家一致认为它们是天然铜的制品。此外,在甘肃广河、永靖、玉门的齐家文化遗址,火烧沟文化遗址和山西夏县东下冯文化遗址、河北唐山大城山夏家店文化等新石器时期文化遗址出土的铜器中,有一些红铜器制品^①。这就表明早在新石器时代,我国先民就

^① 北京钢铁学院冶金史组:《中国早期铜器的初步研究》,《考古学报》1981年第3期。

已掌握了红铜的采集、加工和熔铸。

从迄今为止的出土文物看,我国最早一批原始冶铜器物是属于新石器时代中期的制品。1973年在陕西临潼姜寨仰韶文化遗址中出土的一些铜片,是含少量铅锡的铜锌合金,含锌在20—26%。它被压在仰韶文化层之下,所以至迟是仰韶晚期的制品,距今当有六千年之久^①。此外,从甘肃齐家文化、火烧沟文化、山西夏县东下冯文化、河南偃师二里头文化、内蒙古夏家店下层文化等遗址中都发现了冶炼的铜器。在甘肃永靖张家嘴辛店文化及山东诸城龙山文化遗址中不仅发现了红铜器的碎片,还有铜炼渣和孔雀石,表明在四千年前,在黄河中、下游等广大地区已普遍兴起冶铜的活动,所以冶铜的发明应是更早一些。

由于金属矿的共生,冶炼而得的铜相当部分不是纯铜,而是铜合金。而当时的人们不可能区分单一矿和共生矿,也没有合金的概念,只能注意到用不同的孔雀石炼出的铜在颜色上有些差异,所以在人们冶铜之初就不自觉地在炼制铜合金。

二、青 铜

从目前已发掘的古代早期冶铜遗址来看,可以得到这样一种认识:我国在西周以前,孔雀石是唯一用来冶铜的矿物原料,即使到了汉代,绝大多数地区冶铜也仍然采用孔雀石。孔雀石的主要成分是 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$,由于其是翠绿色而较容易被发现和识别,又由于它属于氧化铜类型的矿石,因而被碳还原只需800℃左右。借鉴于当时烧陶的技术,原始的冶炼设备可能是类似于坩锅的泥质炉。在河南

^① 李京华:《夏商冶铜技术与铜器的起源》,1983年中国科技史学会第二届代表大会论文。

临汝县煤山龙山文化遗址(约公元前 2000 年)曾出土过熔炼铜的泥质炉的炉底和炉壁残块。另外在郑州西郊牛寨村的龙山文化遗址也曾发现类似的熔炉残片。由此可推测当时冶炼铜矿石是采取内热法,即将矿石、燃料堆放在炉内,直接燃烧加热,利用燃烧中产生的高温和一氧化碳使铜从矿石中被还原而析出,熔化沉聚于炉底,最后破炉取铜,因此早期的冶铜炉子实难留存。煤山出土的炉子曾熔炼六次,应为冶铜已有一定进步时期的设备。所以我国发明冶铜技术应当在煤山文化之前。^①

青铜具有一定的硬度和坚韧性,既可作工具,又可制兵器。加上锡、铅的引入降低了铜的熔点,使青铜较红铜具有更好的铸造性能,因此很自然地引导人们使冶铜工艺向炼铸青铜方向发展,这就是人们有意识地在冶炼孔雀石时加入一点锡石或铅矿石(常见的是方铅矿)。关于由单纯冶炼孔雀石发展到冶炼孔雀石加锡石或方铅矿的演进过程的细节,目前尚难说清,但是从我国已出土的夏代晚期和商代早期的青铜器物之多、分布之广来判断,这种冶炼孔雀石加锡石或方铅矿的阶段应在商代早期以前就开始了。

先冶炼出红铜和金属锡、铅,然后再按一定比例把它们熔铸成青铜制品,这表明青铜冶炼技术进入了高一级的工艺水平。我国何时进入这一阶段,尚难作出准确的判断。发展到这一工艺水平必须有两个前提:一是人们已完全掌握冶锡和铅的工艺,并有一定的生产规模。二是人们对青铜的性能与铜锡或铜铅配比的依赖关系有一定的认识。按常理,在上述冶炼孔雀石的熔炉中,冶炼出锡或铅,并非难事,然而考古资料表明,迄今为止出土的属于夏代、商代早期的铅制品仍是极个别的,这说明那时的冶铅工艺至少是还不普遍。直到殷代的墓

^① 李京华:《夏商冶铜技术与铜器的起源》,1983年中国科技史学会第二届代表大会论文。

葬中才开始有较多铅钺、铅爵、铅觚、铅戈等制品。金属锡的器物,至今也只在殷代墓葬中出现过。这倒不是冶锡工艺出现在殷商,因为金属锡在 13°C 以下的气温中,会自行转变为灰锡,故金属锡的器物很难长期留存下来。根据铅、锡冶炼工艺出现的大致年代,我们可以推测我国以金属铜和金属锡、铅合炼青铜大约始于商代中期。根据众多学者对我国出土的商代青铜器的分析研究,可以看到商代早、中期的青铜器物,其化学成分是混乱无章的,铅、锡的含量也是较少的,表明当时很可能是以红铜或孔雀石与铅、锡矿石合炼的。出土的商代晚期的大部分青铜器,其含锡量约控制在 $12\sim 19\%$ 之间。1976年中国社会科学院考古研究所对殷墟妇好墓发掘出土的五十九件锡青铜礼器和兵器中,有五十件的含锡量在 $12\sim 19\%$ 之间^①。这一事实清楚地表明,在商代中期以后人们已掌握用金属铜和金属锡或铅合炼青铜的工艺。

到了商代,青铜冶铸技术有了长足的进步,开始铸造较大型的青铜器件。1950年在郑州二里冈出土了包括礼器、兵器、工具、乐器在内的青铜器物,数量相当可观。1973年在河南偃师二里头文化遗址第三地层(距今三千六百年左右,属于商代早期文化)出土的铜爵,1974年郑州张寨南街出土两件大铜鼎,分别重84.25千克和62.25千克,是我国目前发现的商代早期青铜器中的重器,表明当时青铜冶铸工艺已步入成熟阶段。1976年安阳小屯妇好墓出土了大批青铜器,其中两个大方鼎分别重128千克和117.5千克。1939年河南安阳殷墟出土的司母戊鼎是商代晚期的器物,重达875千克,是目前所知中国上古时期最重的青铜器,也是世界上迄今出土的最大古青铜器。以上文物和大量其他文物所展示的史实,充分说明在商代中、后期及西周前、中期,我国的青铜冶铸业已进入一个鼎盛时期。

^① 中国社会科学院考古研究所安阳考古队:《殷墟妇好墓》,文物出版社1981年版。

对出土的鼎盛时期的青铜器作化学分析,可将它们分为两类:一类是铜锡二元合金(含 Pb 小于 2%),另一类是铜锡铅三元合金(含 Pb 大于 2%)。在铜锡二元合金中,铜锡的比例大多数接近四比一。在铜锡铅三元合金中,铜与锡铅含量之比也维持在四比一,而锡、铅之间没有明显的比例关系。由此可见:第一,鼎盛时期的青铜冶炼已有明确的配方,但是工匠们对铜锡之比与合金性能之间的关系仅有肤浅的认识,即认识到青铜比红铜更为实用。第二,青铜器中,铜锡之比和铜锡铅之比基本相同,表明当时的人们尚不能分清锡与铅,青铜中铅的加入很明显是为了代替当时中原地区来源不足的锡。在实践中进一步认识在青铜冶炼中铜与锡、铅应有适当的配比,这一最重要成果反映在《周礼·考工记》的“六齐”规律中。对六齐规律,《中华文化通志·纺织与矿冶志》有详细的叙述,本章不重复了。

三、胆水炼铜

在自然界,主要的铜矿是辉铜矿、黄铜矿和斑铜矿。辉铜矿主要成分为 CuS ,呈铅灰色。黄铜矿主要成分为 CuFeS_2 ,呈黄色。斑铜矿主要成分为 Cu_5FeS_4 ,呈暗铜红色,常与黄铜矿、辉铜矿共生。这些铜矿都属硫化铜矿,较孔雀石复杂,冶炼难度也较大。其冶炼工艺大致上分两步:首先通过氧化焙烧,除去其中一部分硫和铁,生成冰铜,即 $x\text{Cu}_2\text{S}-y\text{FeS}$ 的烧结物。第二步是将冰铜吹炼得到粗铜。掌握这种工艺较晚。处于地表、易于开采的孔雀石储量有限,当社会发展需求更多的青铜时,青铜冶炼势必走向冶炼硫化铜矿的阶段。

从迄今取得的资料来看,我国大约在距今三千年的春秋时代,个别地区已开始采用硫铜矿来炼铜了。1987 年在内蒙古林西县曾发现属于夏家店上层文化(相当于春秋早期)的古矿冶遗址,该矿区属于

黄铜矿—黄铁矿。遗址中发掘出多座炼炉和众多炉渣，炉渣中发现有冰铜颗粒。这是迄今发现的我国最早开采和冶炼硫铜矿的遗址^①。此外，在安徽贵池县、铜陵市、繁昌县、南陵县也发现多处古铜矿冶遗址，它们都表明在春秋时期已开采和冶炼硫铜矿了。^②

战国以后，我国冶铁炼钢技术发展很快，在制造兵器和工具中，青铜逐步被钢铁所取代。同时由于国家统一，经济发展，货币的需求量更大，促使青铜被大量地用于制造货币。贵族享用和欣赏的礼器、明器、铜镜、乐器及多种工艺品仍需要以青铜为原料，因此青铜冶铸业仍在继续发展。在汉代以后人们开始推广冶炼硫铜矿的工艺，至迟到唐代，炼铜的原料以硫铜矿为主了。

就在火法炼铜发展的过程中，我国独创的胆水炼铜法也曾盛行于两宋。胆水炼铜又称“浸铜法”，是我国古代科技的重大发明，是现代水法冶金的先声，是对世界化学发展的一大贡献。

据目前所知，浸铜法起源于汉代。西汉淮南王刘安（前179—前122年）主撰的《淮南万毕术》中记载：“白青得铁即化为铜。”《神农本草经》也记载：“石胆……能化铁为铜。”这些记载说明汉代的金丹家已发现了铁对铜的置换反应。东晋的葛洪进一步指出：“诈者谓以曾青涂铁，铁赤色如铜……皆外变而内不化也。”（《抱朴子·内篇》卷一六）梁代陶弘景在《本草经集注》中也写道：“鸡屎矾（大概是一种含硫酸铜的黄矾）……投苦酒中，涂铁皆作铜色。外虽铜色，内质不变。”表明他们不仅掌握了置换反应，还明白只是铁器表面参与反应，内质仍不变。人们利用这种方法在铁器表面镀铜。

① 李延辉、韩汝玢：《林西县大井古铜矿冶遗址冶炼技术研究》，《自然科学史研究》第9卷（1990年）第2期。

② 安徽省博物馆：《安徽贵池发现东周青铜器》，《文物》1980年第8期；叶波：《铜陵凤凰山发现春秋铜器》，《文物研究》总第3期；沉舟：《繁昌县出土春秋时期的铜镜》，《安徽文物工作》1989年第3期。

唐代的金丹书中正式出现了浸铜法。唐明皇时的方士刘知古在《日月玄枢论》中说：“世之浅见者，……或以诸青、诸矾、诸绿、诸灰（即白青、曾青、石胆等含铜矿物）结水银以为红银（即红铜）。”这种方法在金陵子的《龙虎还丹诀》中有较详细的叙述。其操作原理是：在加热盛有水银和少量水的铁锅中，加入胆矾等，铁锅表面的铁将硫酸铜中的铜取代出来。在不断搅拌下，铜与水银生成铜汞齐，裸露出来的铁锅表面仍可继续发生置换反应。逐渐增多的铜汞齐会凝聚成砂子状，取出后再置于丹炉中加热，抽出汞便得到较纯的红铜。金陵子曾采用十五种含铜物质来炼取红铜。他对这一化学变化作过定量研究，还说：“余曾各称诸色，分明记录。一度煮结，铛欠五两，红银只得四两半，故都是铁，不虚也。”这些文献表明唐代的金丹家对浸铜法已有相当了解，但是还只停留在实验阶段，因需要大量水银，故不能形成规模生产。

至迟在五代，这种浸铜法发展成一种生产铜的工艺。五代时期的轩辕述在《宝藏秘微论》中说：“铁铜，以苦胆水浸至生赤煤，熬炼而成黑坚。”（《本草纲目》卷八）北宋时已出现一些规模较大的胆水冶铜工场。据《宋会要辑稿·食货》记载，宋徽宗时，生产胆铜的工场有韶州岭水（今广东翁源）、潭州浏阳（今湖南浏阳）、信州铅山（今江西铅山）、饶州德兴（今江西德兴）、建州蔡池（今福建建阳附近）、婺州铜山（今浙江永康）、汀州赤水（今福建长汀附近）、邵武军黄齐（今福建邵武）、潭州矾山（今湖南浏阳附近）、温州南溪（今浙江温州永嘉附近）、池州铜山（今安徽铜陵附近）等十一处，胆铜的产量占全国铜产量的15—20%。

宋代王象之所著《舆地纪胜》记载说：“始饶之张潜，博通方伎，得变铁为铜之法，使其子张甲诣阙献之。朝廷行之铅山及潮之兴利，韶之岭水，潭之永兴，皆其法也。”沈括在《梦溪笔谈》卷二十五中也记载说：“信州铅山县有苦泉，流以为涧。挹其水熬之，则成胆矾，烹胆矾则

成铜；熬胆矾铁釜，久之亦化为铜。水能为铜，物之变化，固不可测。”《宋史·食货志》记载：

浸铜之法，以生铁锻成薄片，排置胆水槽中，浸渍数日，铁片为胆水所薄，上生赤煤，取括铁煤，入炉三炼成铜。大率用铁二斤四两，得铜一斤。饶州兴利场，信州铅山场，各有岁额，所谓胆铜也。

除了以天然胆水为原料外，宋代还有一种以胆土为原料的水法炼铜工艺。宋崇宁元年(1102年)一个名叫游经的官员上书言：“古坑有水处为胆水，无水处为胆土。胆水浸铜，工少利多，其水有限；胆土煎铜，工多利少，其土无穷。……胆水浸铜斤以钱五十为本，胆土煎铜斤以钱八十为本，比之矿铜，其利已厚。”(《宋会要辑稿·食货》)胆土是开采铜矿时的碎矿渣及贫矿经风化及氧化后而形成的硫酸铜与土质的混合物。胆水则是雨水浸渍胆土后形成的。以胆土为原料的炼铜工艺，早期是采取胆土，用水煎后溶出硫酸铜，再用来浸铁，所以名为“煎铜”。后来则发展为利用贫矿，将贫矿堆积起来，使之风化氧化生成硫酸铜，并改水煎为水淋，故称“淋铜”。关于淋铜，南宋洪咨夔在其《大冶赋》中指出：“其淋铜也，经始岑水，以逮永兴。”“剖曼衍，攻峻峭，浮埴去，坚壤呈。得鸡子之胚黄，知土铎之所凝。辇运塞于介蹊，掩积高于脩楹，日愈久而滋力，矾既生而细砢。”“是设抄盆筠络以度，是筑甃槽竹笼以酹，散银叶以中铺，沃铎液而下渍，勇抱瓮以潺湲，驯馥瓢而滂溲。”可见操作十分费工。淋铜工艺是人们对胆土生产有了一定认识后而发展起来的新工艺，适于处理贫矿。胆铜当时主要用作铸钱，但是由于“胆泉”产出有限，加上要消耗大量有用的铁，所以南宋以后水法炼铜的生产很快衰落了。而在民间，用这种方法处理贫矿、尾矿的技术则一直流传下来。

四、黄铜

黄铜有锌黄铜和砷黄铜之分,前者是铜和锌的合金,后者是铜和砷的合金。

1973年在陕西临潼姜寨仰韶文化遗址中曾出土过含少量铅锡的铜锌合金,含锌约在20—26%^①。在龙山文化的遗址中也发现原始的黄铜器物,这表明当时的人们曾无意识地从冶炼铜锌共生矿时获得过黄铜。在现存的古籍中,“黄铜”一词最早出现在汉代。西汉方士东方朔所撰的《神异经·中荒经》里说,“西北有宫,黄铜为墙,题曰地皇之宫”;“西南裔外老寿山以黄铜为墙”。其后,《南史·王莹传》提到:“时人为之语曰:欲向南,钱可贪;遂向东,为黄铜”。这里的黄铜尚不能肯定是铜锌合金,很可能是颜色发黄的铜合金,如当时金丹术盛行的雄黄金或丹阳金。《汉书·景帝纪》记载:“景帝六年,定铸钱,伪黄金弃市律。”东汉应劭对此注曰:“文帝五年,听民放铸,律尚未除,先时多作伪金,伪终不可成,而徒损费,转相逛耀,穷则起为盗贼,故定其律也。”可见文景时期(前179—前141年)市上伪黄金相当多,其中大概有一些就是这种黄铜——铜砷合金。

在元代以前,锌黄铜被称为“输石”或“输铜”。“输石”一词最早见于三国时钟会所写的《乌菟论》中“夫莠生似禾,输石像金”。晋代郭义恭的《广志》中也有“输石似金,亦有与金杂者,淘之则分”。南朝顾野王的《玉篇》中说:“输,石似金也。”上述著作中的输石可能是指黄铜矿(CuFeS_2)、黄铁矿(FeS_2)一类呈黄色的矿石,不一定是指锌铜合金。而梁代宗懔(约501—565年)所著的《荆楚岁时记》中则记述:“七月七日,是夕人家妇女结采缕,穿七孔针,或以金、银、输石为针,陈瓜

^① 安志敏:《中国早期铜器的几个问题》,《考古学报》1981年第3期。

果于庭中以乞巧。”隋代方士苏元明在《宝藏论》中记录了一种人造假金：输石金。《旧唐书·舆服志》也记载：“（高宗）上元元年（674年）八月又制，……六品服深绿、七品服浅绿，并银带，八品服深青、九品服浅青，并输石带，庶人并铜铁带。”这里的输石可以肯定是指锌黄铜。所以一般公认锌黄铜在我国最早出现在六世纪的北朝梁代（503—557年）。唐代以后，为了区别上述统称输石的金黄色矿石和人工输石，前者改称“自然铜”、“石髓铅”、“锯齿石”，而输石专指后者。唐代使用输铜已较普遍，上述以输铜作为冠服等级的标志就是一例。

关于我国输铜的早期炼制方法，至今未见五代以前的记载。而古罗马帝国至迟在公元前45年已利用菱锌矿粉与红铜合炼得到黄铜，并铸成黄铜币。至迟在公元二世纪，该技术已传至波斯。据英国科学史家李约瑟（Joseph Needham, 1900—1994年）研究，中国与波斯至迟在公元一至二世纪已有相当多的通商往来^①。作为钱币的输铜流入我国是完全正常的。《隋书·西域》载：“波斯……土多……金、银、输石、铜、镵铁、锡。……帝遣云骑尉李显通波斯，寻遣使随显贡方物。”隋代正是中国较多出现输铜的时期。唐初孙思邈及其他唐人所撰的金丹术著作中都常提到“波斯输”，唐玄奘的《大唐西域记》也提及西域、印度许多邦国都有巨大的输石佛像。由此可以认为中国早期的输铜及其炼制技艺是从波斯或西域传入的。

中国现存的有关炼制输铜的最早记载是五代末宋初金丹家日华子所撰的《日华子点庚法》：

百炼赤铜一斤，太原炉甘石一斤，细研，水飞过石一两，搅匀，铁合内固济阴干，用木炭八斤，风炉内自辰时下火。煅二日夜足，冷取出，再入气炉内煅，急扇三时辰，取出打开，去泥，水洗其物，颗颗如鸡冠色。母一钱点淡金一两成上等金。

^① 参见李约瑟：《中国科学技术史》第一卷第七章，（中译本）科学出版社1990年版。

其后不久,方士崔昉所撰《大丹药诀本草》(又名《外丹本草》)也记载说:“用铜一斤,炉甘石一斤,炼之即成镱石一斤半。”(《本草纲目》卷八)可见以炉甘石点化红铜成黄铜的工艺已在金丹家中推广了。

大约自明代开始,冶炼黄铜的技术有了重要的发展,主要表现为直接采用金属锌和红铜来炼铸黄铜。有一本至迟是明代嘉靖年间道士撰写的《三元大丹秘苑真旨》,其中写道:“盖铜本来赤红,必用倭铅点之,然后成黄铜。”^①“倭铅”即金属锌。宋应星在《天工开物·五金》中也写道:“凡红铜升黄色为锤煅用者,用自风煤炭百斤,灼于炉内,以泥瓦罐载铜十斤,继入炉甘石六斤,坐于炉内,自然熔化。后人因炉甘石烟洪飞损,改用倭铅。每红铜六斤,入倭铅四斤,先后入罐熔化,冷定取出即成黄铜,唯人打造。……凡铸器,低者红铜、倭铅均平分两,甚至铅六铜四。高者名三火黄铜,四火熟铜,则铜七而铅三也。”该书《冶铸》篇写道:“凡铸钱每十斤,红铜居六七,倭铅居四三。”《锤锻》篇写道:“凡黄铜,原从炉甘石升者,不退火性受锤;从倭铅升者,出炉退火性,以受冷锤。”由此可见人们对黄铜的炼铸,无论是炉甘石点化,还是倭铅点化,都已积累了丰富的经验。特别是认识到铜、锌不同配比所得的黄铜有不同的性能,不同的用途,因而要采用不同的加工方法。当时的黄铜主要用作铸钱,在社会经济生活中扮演重要角色。

铜砷合金有两种,一种是砷白铜,另一种是砷黄铜,即前面提到的带黄色的青铜。这两者的区别在于含砷量的不同。含砷量在百分之十以下者,即是砷黄铜,古代金丹家曾称它为“雄黄金”、“丹阳金”,并以它假冒黄金。

中国金丹家炼制砷黄铜大约始于西汉。相传汉武帝时丹阳人茅

^① 转引自赵匡华:《中国历代“黄铜”考释》,《自然科学史研究》1987年第4期。

盈三兄弟先后入山(今茅山)修炼,“以丹阳岁歉,点化丹阳(铜)以救饥人”。所以“后人以煨粉点铜者,名其法曰丹阳;以死砒(伏火后的雄黄或砒霜)点铜者,名其法曰点茆(茆是丹家对赤铜的隐语)”^①。可见他们所点化的丹阳金即砷黄铜。西汉淮南王刘安的《淮南子》曾说,“饵丹阳之伪金”,这大概也指砷黄铜。东汉金丹家孤刚子在《五金粉图诀》中指出:“雄黄功能变铁,雌黄功能变锡,砒黄功能变铜,硫黄功能变银化汞。……如谷作米,是天地之中自然之道。”^②这里孤刚子讲的是运用三黄(雄黄、雌黄、砒黄)使五金转化为黄色药金的方术,这当然也包括点制砷黄铜。葛洪在《抱朴子内篇·黄白篇》中记载了砷黄铜的制法。此法大致过程是:先在由两个赤土釜构成的“上下釜”中,加热混有牛胆汁的雄黄粉、石胆、炭末和戎盐(氯化钠)的混合物,戎盐起助熔剂的作用,雄黄和石胆被还原而生成组织不均匀的铜砷合金,接着以此合金为箬,在箬中盛丹砂水(丹砂、石胆、消石、稀醋酸的混合液),置“上下釜”中加热。如此精炼两次即得到组织较均匀的铜砷合金。最后又将合金捣碎,加入丹砂和汞进行精炼,终于得到组织均匀的金黄色的铜砷合金。葛洪的这段文字,是古代文献中关于砷黄铜制法的最早的详细记载。

南朝陶弘景在《本草经集注》中指出:“雄黄炼服之法皆在仙经中。以铜为金,亦出黄白术中”^③。隋代方士苏元明在《宝藏论》中就介绍过砷黄铜的另一种制法:“雄黄若以草药伏住者,熟炼成汁,胎色不移。若将制诸药成汁并添得者,上可服食,中可点铜成金,下可变银为金。”^④按现代化学知识来解释这段文字,就是以草灰(主要成分是碳酸钾)与雄黄共炼生成砷酸钾,再以砷酸钾和木炭、赤铜共炼得到黄

① 宋俞琰:《席上腐谈》,商务印书馆《丛书集成》初编第0322册,第33页。

② 参见《龙虎还丹诀》卷二,见《道藏》总第590册。

③④ 参见《重修政和经史证类备用本草》卷四“雄黄”条,人民卫生出版社影印晦明轩本。

色的铜砷合金。

以上资料表明,砷黄铜的炼制是金丹家在炼制伪黄金中发现的,尽管他们掌握了炼制砷黄铜的秘密,它毕竟不是真黄金,在假冒黄金中,方士是心虚的。若以它来代替黄铜,无论在成本上还是工艺上都无法与铜锌合金相比,所以这种技术在铜锌合金——黄铜出现后就没有被发展和推广。

五、白 铜

中国古代曾炼制过两种白铜:一种是利用赤铜与镍矿石或铜镍矿石合炼出来的镍铜合金;另一种是用砷石类矿物或砷霜与铜合炼出来的砷铜合金。后者中含砷量应超过10%,才呈银白色。砷铜合金的炼制是中国金丹术的一大创造。

“白铜”一词出现很早。三国时魏人张揖的《广雅》有“白铜谓之鍮”之说。这“鍮”是否就是今天意义上的白铜,目前尚在研究中。

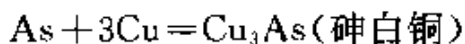
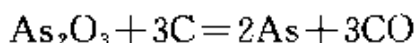
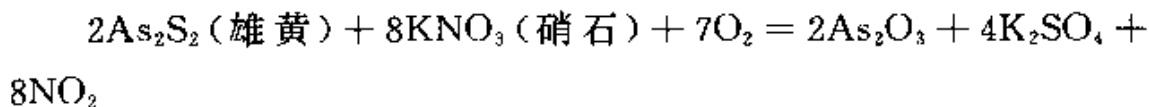
据文献记载,中国镍白铜的主要产地在云南、四川。东晋常璩的《华阳国志》说:“螳螂县因山名也,出银、铅、白铜、杂药。”这里的白铜应是镍白铜,表明四世纪时云南已炼出镍白铜。《旧唐书·舆服志》记载:“自余一品乘白铜饰轎车。”一品官的车才能用白铜装饰,可见白铜在唐代仍是相当贵重的。

关于镍白铜的记载,明代时才逐渐多了起来。明万历乙酉年(1585年)成书的《事物纪原》说:“白铜出滇南,如银。”《明一统志》卷七十三说:“宁番卫出白铜。”宁番卫即今四川冕宁县。但直到清代才有镍白铜冶炼技术的零星记载。1940年地质工作者于锡猷赴西康对白铜冶炼工艺作了实地考察,写成《西康之矿产》^①后,才使人们对镍白铜的冶炼

^① 于锡猷:《西康之矿产》,国民经济研究所,1940年。

过程有了较详细的了解。据该书记载,冶炼镍白铜的过程为:第一,镍铁矿、铜矿按一比一的比例混炼,得黑色的冰铜镍(主要成分是 $\text{Ni}_3\text{S}_2 \cdot \text{Cu}_2\text{S}$ 和 FeS)与炉渣的混合物。第二,反复煅炼上述混合物,去硫得到“已煅矿石”。第三,将“已煅矿石”与镍铁矿按七比三的比例混炼,得所谓“青铜”,即含杂质较多、含镍较高的铜镍合金。第四,将“青铜”与纯铜按三比七的比例混炼,得镍白铜和炉渣。这一冶炼过程是作者采访两名清末冶炼白铜的技师的记录,应是可信的,它真实地反映了清代冶炼镍白铜的工艺。由上述过程冶炼所得的镍白铜,一般含少量铁。而在十八、十九世纪,被西方称之为“中国银”的云南白铜,经分析含锌量都很高,故当时的白铜实际上是铜镍锌的三元合金。

含砷在10%以上的铜砷合金就是砷白铜。古代的金丹家曾称它为“丹阳银”、“雄黄银”、“砒霜银”等,亦称“白铜”。它的发明与砷黄铜一样,归功于金丹家。东汉狐刚子在《五金粉图诀》中说:“砒黄功能变铜……四黄功亦能反铁为铜,反铜为银。”“反铜为银”即指点化赤铜为砷白铜。东晋成书的《神仙养生秘术》最早记载了用雄黄、硝石和云南铜炼制砷白铜的方法。该方法的基本化学反应是:



隋代炼制砷白铜的技术有了进步,除用砒霜点化成白铜的新技术外,还出现了将雌黄、砒霜等转变为不易挥发的砷酸钾后再用以点化的新方法。例如隋代方士苏元明在《宝藏论》中说:“雌黄伏住火,胎色不移,鞴熔成汁者点银成金,点铜成银。若只质枯折者不堪用。”“点铜成银”即炼成砷白铜。书中提到的“雄黄银”、“雌黄银”、“砒霜银”等都是指砷白铜。唐代金陵子在《龙虎还丹诀》中对砒霜点成白铜的技术作了更为详细的记载。其方法是:先将砒黄、雌黄、胡同律、盐等升

炼为束丝状的砒霜——“卧炉霜”，再将砒霜溶在铜中，用碳还原而制得砒白铜。由这一记载可以看出，唐代的金丹家对于砒霜点化白铜已很有经验。唐代的其他丹经中及以后五代、宋、元诸代的金丹术著作中，大多有炼制砒白铜的记述，在宋代，以砒霜点赤铜为砒白铜几乎成为金丹家的绝技。直到明代，这种方法才为常人所知。《本草纲目·金石部·赤铜》中说，“白铜出云南”，赤铜以“砒石炼为白铜”。《天工开物·锤锻》中也说，“铜以砒霜等药制炼为白铜”；“凡红铜升黄而后熔化造器，用砒升者为白铜器，工费信难，侈者事之”。炼制白铜费时费力，既然它不作货币，需求量不大，所以除云南等个别地区以外，其他地方都没有形成规模生产。

第二节 铁 和 钢

中国古代用铁的历史始于商代，虽然较世界上某些地区，例如西亚、古埃及晚些，但是由于青铜技术的高度发展所积累的丰富经验，自春秋战国起，中国的冶铁技术获得飞快的发展，作出了不少独特的创造，为世界冶金史的发展作出了重要的贡献。

一、陨铁の利用和冶铁技术的起源

1972年河北藁城台西村商代中期的遗址中出土了一件铁刃铜钺。经检验，铁刃中含镍在8%以上，显然是用含镍较高的陨铁加热锻打而成的。1977年北京平谷刘家河商代中期遗址中也出土了一件类似的由陨铁加工而成的铁刃铜钺^①。另外，1931年曾在河南浚县

^① 文物编辑委员会：《文物考古三十年》，文物出版社1979年版，第3页。

辛村出土过年代相当于殷末周初的铁刃铜钺、铁援铜戈各一件。这些资料表明,人们最早认识的铁是陨铁,知道它具有较好的强度和韧度,并能对它进行加热煅打,和青铜铸接成器。

陨铁所具的较好性能很自然地促使人们去寻找类似的材料。在自然界中,虽然铁矿资源很丰富,然而几乎找不到天然铁。与陨铁在外观表征上较接近的是铁矿石。铁矿石主要是一些铁的氧化物,例如赤铁矿(Fe_2O_3)、磁铁矿(Fe_3O_4)、褐铁矿(含结晶水的 Fe_2O_3)、菱铁矿(FeCO_3)等。若以木炭及其燃烧所产生的一氧化碳(CO)来还原上述铁矿石,大约在 $600\text{--}700^\circ\text{C}$ 才开始还原, 1000°C 左右才能得到固态的铁块。要得到铁水,至少要 1600°C ,所以炼铁比炼铜困难。

通过在陶窑中烧陶,特别是在熔炉中冶炼青铜的实践,至迟在殷商晚期,人们已掌握了在熔炉中获得 1200°C 的高温技术,这就为人工炼铁技术的出现创造了条件。考古发现,在商代晚期就已开始炼铜的大冶铜绿山冶铜遗址的炼炉旁有大量赤铁矿粉堆积着,有的炼铜炉渣中含氧化铁(Fe_2O_3)量竟高达50%。这表明有极大可能当时在炼铜时有意识地加入一些赤铁矿,结果在竖炉中,在排出铜液后,其炉底会有一些块炼铁沉积,其炉渣也会混入较多的氧化铁。从块炼铁的被发现和利用,终于逐渐发展到有意识地冶炼铁了。

从文献记载来看,中国大约在周代出现铁器。《诗经·秦风》中有“駉臝孔阜”的诗句。有学者认为“臝”是最早的“鐵”字,是马色如铁的意思。《国语·齐语》中说,管仲向齐桓公建议:“美金以铸剑戟,试诸狗马;恶金以铸钁夷斤斲,试诸壤土。”这里的美金指的是青铜,恶金即铁,用来铸造农具。据此郭沫若认为:“如果齐桓公既已使用铁作耕具,则铁的出现必然更要早些,一种有使用价值的物质要真正被有效地使用,是要费相当长远的摸索过程的,特别是在古代,因此铁的最

初出现,必然还远在春秋以前。”^① 据 1984 年《中国考古学年鉴》报道,河北满城县要庄西周遗址内发现一件铁器。此外,1978 年在甘肃灵台县景家庄春秋一号墓曾出土一把铜柄铁叶剑,年代属春秋早期^②。考古发现也证实了周代已出现铁器。

据《左传·昭公二十九年》记载,周敬王七年(前 517 年),晋国铸造一个铁质刑鼎,把范宣子所作的刑书铸在上面。其原文是:“冬,晋赵鞅、荀寅帅师城汝滨,遂赋晋国一鼓铁,以铸刑鼎,著范宣子所为《刑书》焉。”这是关于生铁冶铸的较早记载。铸刑鼎的铁,是作为军赋向民间征收的,这还表明至迟在春秋末期出现了民间的炼铁作坊。

二、块炼铁与生铁工艺的科学内涵及发展

春秋战国时期人工冶炼的铁主要是块炼铁和生铁。采用低温固体还原法生产的铁是块炼铁。其方法是:将铁矿石和木炭一层夹一层地放在炼炉中,点火焙烧,在 650—1000℃ 温度下,利用炭的不完全燃烧,产生一氧化碳,遂使铁矿中的氧化铁被还原为铁,积成铁块而沉于炉底,待炼炉冷却后再设法取出。取出的块炼铁由于表面夹杂渣滓而显得很粗糙,状若海绵。又因其含碳量较低(小于 0.5%),硅、铝、硫、磷等元素含量也很低,因此性能柔软,易于锻造,又叫“软铁”或“锻铁”。然而其成品不够刚强和耐用,只是在炭火中反复锻打,渗入一定量的碳,便转变为钢(含碳量约在 0.5—2%)后,制成的器具才有较好的性能。所以在春秋战国以后很长一段时期里,生产块炼铁一直没有中断,它主要用作锻造铁器和渗碳制钢的原料,在一定程度上适

① 郭沫若:《奴隶制时代》,人民出版社 1973 年版,第 203—204 页。

② 刘得祯等:《甘肃灵台县景家庄春秋墓》,《考古》1981 年第 4 期。

应了古代社会制造兵器和工具的需要。

生铁的冶炼工艺与块炼铁冶炼法的主要差别在于冶炼温度不同。随着冶炼技术的提高,人们加高了炼炉的身高,强化了鼓风,炉子也完全由地坑式发展为竖炉。在竖炉里氧化还原反应更充分了,炉温也有很大的提高。当炉温达到 $1100\sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,炉内的冶炼发生了变化,虽然离纯铁的熔点($1534\text{ }^{\circ}\text{C}$)相差有 300 多度,然而被还原的固态铁会吸收碳,这种吸收随着温度的升高而加快,另一方面铁吸收碳后,熔点随之降低,当含碳量达到 2.0% 时,熔点降至 $1380\text{ }^{\circ}\text{C}$,当含碳量达到 4.3% 时,熔点为最低,仅 $1146\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。所以当炉温达到 $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,铁就熔化成铁水,可以直接用于浇铸成器。这种高温液态还原法冶炼生铁较之块炼法生产工艺,不仅可以连续生产,提高了生产率,降低了成本,还使大量地冶炼铁矿石和铸造出器形比较复杂的铁器成为可能。中国的工匠继承和发展了在青铜冶铸实践中所积累的丰富经验,创造了生铁冶炼工艺,这是世界冶金史上一个划时代的进步。欧洲一些国家在公元前一千年前后已能生产块炼铁,而直到公元十四世纪才掌握生铁铸造,其间经历了漫长的发展道路。

在我国,块炼铁和生铁两种冶铁工艺在相当长时期内共存,平行发展。由于生铁冶铸生产率较高,成本较低,便于普及,因而从冶炼技术的发展和革新来看,则以生铁冶铸和改性为主,也就是说生铁冶铸工艺的发展遂成为我国冶铁业的主流。这就形成了中国古代冶铁技术发展的独特道路。生铁的冶铸和改性技术,按出现的先后顺序,共发展出白口铁、韧性可锻铸铁、麻口铁、灰口铁四个品种。

块炼铁、生铁和钢实质上都是铁碳合金,它们的区别主要是含碳量的差别。粗略地说,含碳量在 0.5% 以下,而含较多杂质和炼渣的是块炼铁,含碳量在 0.5—2.0%,杂质较少的是钢,含碳量在 2—5% 的是生铁。由于温度不够高,生铁中的碳以碳化铁(Fe_3C)和游离渗碳体的形态存在,断口呈银白色,这就是白口生铁。白口铁硬而脆,耐

磨,一般适于作农具。江苏六合县程桥出土的东周铁丸,虽已锈蚀,仍可以观察到白口铁特有的组织结构。1978年在长沙出土的春秋战国之际的铁鼎和鼎形器都是典型的共晶白口铁。河北兴隆燕国矿冶遗址出土的大批锄等农具,也是由白口铁铸成的。

为了克服白口铁的脆性,至迟在公元前五世纪的春秋战国之交,工匠们创造了铸铁柔化处理技术,即退火处理。在这过程中,一方面通过氧化作用使白口铁由表及里逐步地脱碳,另一方面通过高温使其中的碳化铁分解,析出石墨,因而使其基体成为铁素体或铁素体—珠光体的低碳钢或中碳钢,从而消除了脆性,成为可锻铸铁。若在氧化气氛中对铸铁进行脱碳处理,当加热、保温时间较短时,得到的是白心韧性铸铁。例如石家庄和铜绿山及河南浑县出土的战国时期的铁斧等都是白心韧性铸铁的制品。若在中性或弱氧化性气氛中进行长时间的加热、保温处理,白口铁的组织向石墨化转化,能得到石墨呈团絮状或菜花状聚集体析出的黑心韧性铸铁,例如河南南阳出土的东汉铁锺等就是黑心韧性铸铁的制品。有时石墨呈小球状聚集体析出,则成球状石墨铸铁,例如河南巩县铁生沟西汉冶铁遗址出土的铁镬。总之,白心韧性铸铁是铸铁退火技术的初期产品,后来又制得黑心韧性铸铁,特别是西汉时竟然制得了球墨铸铁。这项生铁变性工艺的迅速发展,使得生铁广泛用作生产工具成为现实,加快了铁器替代铜器生产工具的历史进程,因而在中国冶金史上具有重要意义。欧洲直到1722年才使用白心韧性铸铁,黑心韧性铸铁则是在十九世纪由美国研制成功,可见中国在此项领域领先了近两千年。

从郑州、南阳等西汉冶铁遗址来看,西汉时的竖炉已达到较高的水平和较大的规模。当炼铁竖炉的炉温升高时,会使铁水溶解的硅量急剧加大。硅的引入能使铁中的碳在凝固时发生石墨化,形成一条条的石墨片,而基体变成含碳低的铁素体,断面呈灰色,这就是灰口铁。灰口铁较白口铁,脆性大大降低,铸造性能较好,凝固

收缩也小，适于铸造各种精巧、纹细的器物。又由于灰口铁组织中的石墨片具有润滑作用，是很好的轴承材料，因此灰口铁具有广泛的用途。据目前的科学鉴定，最早的灰口铁制品是河北满城西汉墓出土的车铜，即轴承。

麻口铁的性质介于白口铁与灰口铁之间，可视为从白口铁向灰口铁发展过渡时期的产品。最早出现于战国后期，例如铜绿山古矿遗址和河北满城西汉墓出土的铁犁铧。

在汉代，除了块炼铁以外，人们又掌握了白口铁、麻口铁、灰口铁和白心韧性铸铁、黑心韧性铸铁的生产。这标志着我国的炼铁技术已进入成熟阶段。此后的炼铁技术仍在发展，只是发展的速度相对来说，比较缓慢。这一发展主要表现在：第一，炼铁炉不断革新，炼铁的高炉越来越大。筑炉的耐火材料也由汉代的粘土加石英砂发展到南北朝的高铝耐火砖。第二，燃料的改进。我国大概在汉代时开始采煤，并用于块炼铁的冶炼。至迟在魏晋以后，冶炼生铁也开始采用煤炭了，至宋代用煤来代替木炭作燃料已很普遍。至迟在明代发明了焦炭的炼制，并用它代替煤来炼铁。第三，采用助熔剂。汉代已采用石灰石作助熔剂，它能与矿石中的氧化硅(SiO_2)结合，保证了炉渣和铁水的分离，同时能帮助部分脱硫。至迟在宋代，助熔剂又扩大到氧化镁，即采用了白云石($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$)作助熔剂。到明代又增加了萤石(CaF_2)，萤石能加速炉料的熔化。第四，炼炉鼓风设备逐步发展。汉代主要采用通过陶制鼓风管相连的大皮囊。东汉则是几个囊连接在一起的排囊。魏晋南北朝时期又发展为水排鼓铸，此法一直沿用了唐、宋、元多个朝代。在明代，活塞式的木风箱逐渐被推广普及。从以上几种技术进步可以清楚地看到冶铁技术在我国发展的概貌。

三、古代几种炼钢工艺的科学叙述

古代的炼钢方法主要有两类：一是以块炼铁为原料，采用渗碳技术使其成钢；二是以生铁为原料，采取脱碳技术使其成钢。

块炼渗碳钢：春秋战国时期块炼渗碳钢的方法有两种：一是把块炼铁直接放在炽热的木炭中加热，表面渗碳，再经反复锻打，使其成为渗碳钢。河北易县燕下都四十四号墓出土的钢制品就是这样锻成的。另一种是在块炼铁中配入渗碳剂和催化剂，密封加热，使之渗碳成钢，俗称“焖钢”。《吴越春秋》所记载的干将、莫邪在冶炼中曾“断发剪爪，投入炉中”，所炼制的钢可能就是这种焖钢。河北满城一号汉墓出土的刘胜佩剑和错金书刀也是这种焖钢。长期流传在河南、湖北、江苏等地的焖钢冶炼法，就是把熟铁块放在陶制容器中，按一定配方加入渗碳剂和催化剂（最常见的是含磷质的骨粉），然后密封加热，使之渗碳成钢。

铸铁脱碳钢：战国时期铸铁的退火柔化处理工艺得到了推广。在制成韧性铸铁的实践中，工匠们发现，在铸件脱碳退火中，只要时间、温度控制得当，在固体状态下进行比较充分而又适当的氧化脱碳，既使白口组织消失，又基本不析出或只析出很少的石墨，得到的就是性能不同于韧性铸铁的“铸铁脱碳钢”。1977年在河南登封告城战国遗址中出土的一批铁器，经检验是目前所知我国最早的铸铁脱碳钢制品。从战国到西汉，铸铁脱碳钢的技艺逐步成熟。北京大葆台西汉燕王墓遗址、河南南阳瓦房庄冶铸遗址及渑池汉魏铁器窑藏都出土有铸铁脱碳钢器件。这一工艺在六朝以前曾被广泛采用。由于不易控制器件中的含碳量，特别是它难于加工成器形较大或较厚的器件，所以应用有很大的局限性。目前已发现的铸铁脱碳钢器件都是比较薄的，一般不超过1厘米。

炒铁和炒钢：在铸铁脱碳的工艺实践中，工匠们发现采用这种技艺还能使生铁变成熟铁。由此导致了至迟在公元前一世纪的西汉后期，发明了用生铁炒炼成钢或熟铁的新技术。这项技术是将生铁锤成碎块，加热熔化后，不断地搅拌，增加铁水和空气的接触，使铁中碳逐步氧化，凭经验控制其氧化脱碳的程度，即控制其铁中含碳量，可以得到熟铁或钢。由于当时无化学分析的知识，工匠们在炒钢过程中控制其含碳量比较困难，故工匠们一般都是先将铸铁炒炼成熟铁，再用渗碳法炼制成钢。在河南铁生沟汉代冶铁遗址中残存有炒炼熟铁用的地炉一座。在河南南阳瓦房庄汉代铸铁遗址中也发现有几座炒铁炉。炒铁工艺操作简便，生产效率高，原料易得，因此能向社会提供大量的优质熟铁和钢料，促进了铁兵器取代青铜兵器的进程，使优质的钢铁工具、农具得到进一步的推广普及。炒铁技术的发明打破了原来生铁不能转化为熟铁的界限，沟通了原先各行其是的两个工艺系统，这对于早期铁器时代向完全铁器时代的转变具有关键的意义。

炒铁、炒钢工艺一直沿用到近代。其间在明代，人们将炼铁炉和炒钢炉串联起来，使铁水直接炒炼为钢或熟铁，免去了生铁再熔化的过程，降低了消耗，提高了生产率。在古籍中关于炒钢的最完整记载要算《天工开物·五金》了。

百炼钢：百炼钢工艺是在块炼铁渗碳成钢工艺的基础上发展起来的。在块炼铁渗碳成钢的实践中，人们发现反复加热锻打的次数增多以后，钢件变得更坚韧了，于是很自然地把这种反复加热锻打的操作定为正式工序。经过这一工序加工的钢件，组织致密，成分均匀，夹杂物减少和细化，钢的质量显著提高。西汉后期炒钢的发明，为百炼钢提供了优质的熟铁或炒钢，促使百炼钢工艺进入成熟阶段。1974年在山东苍山县东汉墓出土的汉安帝永初六年（112年）三十炼环首钢刀。1978年在江苏铜山骆龙山汉墓出土了一把汉章帝建初二年（77年）制造的“五十谏”钢剑。经鉴定，它们都是以炒钢为原料，经反

复加热折叠锻打而成的百炼钢制品。

就文献而言,“百炼”二字最早见于东汉王充的《论衡·状留编》:“干将之剑,久在炉炭,铄锋利刃,百熟炼厉,久销乃见,作留成迟,故能割断。”这里的“百熟炼厉”即有“百炼”之意。百炼钢工艺发展到三国时期已趋成熟,魏、蜀、吴三国都有工匠掌握了这种技艺以锻造刀剑。曹操曾令工匠为他制作“百辟利器”。据说造了五把宝刀,三年才造成。这五把宝刀也叫“百辟刀”。自从西晋刘琨写下“何意百炼钢、化为绕指柔”的诗句后,“千锤百炼”、“百炼成钢”遂成为人们常用的习语。历代的名剑宝刀,不少就是用这种百炼钢锻成的。近代冶金史家几乎普遍认为,在我国古代的钢铁材料中,百炼钢可以说是质量最高的产品。

灌钢:在炒铁、炒钢的实践中,工匠们至迟在南北朝又掌握了一种炼钢新工艺——灌钢。生铁含碳高,熔点较低,质地过硬过脆;熟铁含碳量低,熔点较高,质地柔软。针对这一特点,工匠们通过将熔融的生铁与熟铁(一般用炒钢或炒铁)一起加热,保温合炼,使碳份从生铁向熟铁渗透,扩散,趋于均匀,成为含碳适中的钢材。再经反复锻打,进一步使其组织纯化、均匀,终成优质的高碳或中碳钢,被称为“灌钢”。

北魏、北齐期间,有一个名叫綦母怀文的人,曾炼制过一种“宿铁刀”。这“宿铁”即后世的灌钢。《北史·艺术列传》说:“怀文造宿铁刀,其法:烧生铁精以重柔铤,数宿则成刚(钢)。以柔铁为刀脊,浴以五牲之溺,淬以五牲之脂,斩甲过三十札也。”这里的“柔铤”当是熟铁,其意是生铁在加热下泄出精液,灌注到熟铁中,经过几宿交配就成了钢铁了。“宿铁”就是由此得名。在南朝也流行这种炼钢法。陶弘景在《本草经集注》中说:“钢铁是杂炼生铁作刀镰者”。可见在当时江南一带已利用宿铁来制作农具。

灌钢法较之以前各种炼钢法操作简便,劳动强度小,生产率高,

火候、配料的掌握也较容易，所以自发明以后，很快推广开来，至宋代便成为全国普遍流行的一种炼钢法。宋人苏颂在《图经本草》中，沈括在《梦溪笔谈》中，都谈到了这种炼钢法。到了明代，这种灌钢法所形成的“生铁——炒熟铁——灌钢——锤锻”的工艺程序似乎成了最通行的炼钢法。宋应星在《天工开物·五金》中对此作了较详细的介绍。

第三节 铅、锡、锌

随着冶炼技术的发展和人们对矿石、金属识别知识的积累，人们在有意识地配制冶炼出性能适合需求的青铜的同时，也逐步能单独地冶炼出铅、锡等有色金属，并利用它们制造一些器具。

一、铅

铅的熔点是 327°C ，较易冶炼。主要的铅矿石是方铅矿，只要在木柴堆上放上方铅矿，点燃后就能使矿石熔化，铅液流下形成宽而薄的铅板。1977 年在内蒙古昭乌达盟敖汉旗大甸子村属夏家店下层文化（夏代晚期）的遗址中曾发现一枚金属贝币，含铅量约 90%，含锡约 9%，含铁约 1%。另外，还有一件铅制包套，含铅量也在 90% 左右^①。它们是迄今发现的年代最早的铅制品。在二里头文化后期的灰坑中也曾出土过一块不成器的铅块^②。这些考古资料表明，在夏代人们已掌握了铅的冶炼技术。由于出土的属夏代及商代早、中期的铅制

① 华觉明等编译：《世界冶金发展史》，科学文献出版社 1985 年版，第 474 页。

② 李敏生：《先秦用铅历史概况》，《文物》1984 年第 10 期。

品仍极少,可以认为似乎那时冶铅工艺还不普遍。到了殷代,那时的墓葬中开始有了较多的铅卣、铅爵、铅觚、铅戈等。例如在殷墟西区墓葬中出土了五十余件铅礼器和兵器,经测定的四件铅礼器,含铅均在99%左右。在安阳大司空村曾出土过一件铅爵、一件铅觚、八件铅戈。洛阳东郊商代遗址中出土过三件铅戈。传世的十件商周形制的铅礼器中,经测定有一件几乎为纯铅,两件含铅在95%以上。这些资料表明,殷商时期炼铅技术有了明显的发展和普及,促使青铜的冶炼工艺也由矿石混合冶炼的低级阶段,发展到分别炼出铜、铅、锡,再按一定配比混合熔炼的较高水平。到了春秋战国时期,铅已普遍用于某些生活用具的制造。关于古代的炼铅工艺,宋应星《天工开物·五金》中的有一段简单的记述。关于各种铅矿石的介绍,散见于历代金丹家的著作。

二、锡

锡熔点只有 232°C ,比铅还低。主要的锡矿石是锡石(SnO_2)。据《天工开物·五金》称,锡有山锡、水锡两种。它们都属砂锡,前者为坡积矿床砂锡,后者是冲积矿床砂锡。砂锡比重为6.8—7.1,所以容易淘取和富集。熔点低,冶炼也较容易。早期金属锡的器物,至今只是在殷代墓葬中出现过。据说安阳殷墟小屯出土过成块的锡锭,大司空村出土过锡戈,洛阳东郊也出土过殷代的铅、锡器,因未经检验,不好定论。由于锡器在低于 13.2°C 的温度下会发生“锡疫”,即白锡会逐渐变成粉末状的灰锡,因此早期的锡器很难保存下来,造成出土的早期锡器稀少。但是根据上面已介绍的青铜合炼工艺的水平,根据出土的一些殷代的镀锡铜器,可以肯定在商代中期以后工匠已掌握了冶炼锡的技术,并将其用于镀锡和铸造器物。

在古代的文献中,甚至在宋代,仍出现铅锡不分的现象,如《宋

史·食货志》中,称铅为“黑锡”,锡为“白锡”。然而对于工匠来说,铅锡还是分得清的。据对殷墟妇好墓与西区出土的青铜器成分的测定情况,铅青铜主要在地位较低的小贵族或平民墓中,王室的墓中则以锡青铜为主。铅除主要用作合炼青铜铸钱外,还用来制造丹粉;而锡除部分用作合炼青铜铸钱外,制造民用锡器也相当普遍。冶炼锡矿较详的文献记载是《天工开物·五金》。

三、锌

锌是一种比较活泼的金属,在自然界没有天然的锌。它主要的矿物有两种:闪锌矿(ZnS)和菱锌矿($ZnCO_3$),后者在我国俗称“炉甘石”。将炉甘石或闪锌矿与木炭一起加热熔炼,可以使金属锌还原出来。由于锌的还原温度为 $904^{\circ}C$,与金属锌的沸点($906^{\circ}C$)很接近,因而从矿石中还原出金属锌后,它会立即呈蒸气状态逸出炼炉。所以在通常情况下,人们很难意识到它的存在。另外,锌蒸气的化学性质也很活泼,一遇到空气即氧化,进而与二氧化碳结合还复为炉甘石($ZnCO_3$)。因此用古代炼铜或炼铁的装置来冶炼锌矿石,往往得不到金属锌,以致锌的冶炼技术出现较晚。但是用金属铜与锌矿石混在一起还原,情况就不同了。还原出的金属锌蒸气会立即溶解在铜中,得到锌黄铜,所以锌黄铜的出现较早。

本章第一节有关锌黄铜的叙述中已谈到:在元代以前,锌黄铜被称为“铨石”或“铨铜”。尽管在仰韶文化和龙山文化的遗址中曾发现个别的锌黄铜制品,但那是人们无意识地将锌矿石与铜矿石共炼的结果。中国早期的铨铜及其炼制技艺从波斯或西域传入的可能性很大。以炉甘石点化红铜为黄铜的技术,约在五代时首先在金丹家中推广。金丹家当时称金属锌为“波斯铅”。根据对金丹术著作的分析,可以推测中国的炼锌技术始于五代,可能也是从波斯传入的。五代金丹

家独孤滔在《丹方鉴源》中记载了多种铅^①，其中的“白铅”可能就是锌。又据《道光大定府志》记载：“《威宁州志》云：天桥银厂沟产黑铅、白铅；长炉、高炉均有。当滇黔两省之冲。父老相传，此厂开自五代汉高祖天福中。”“大宝山在城东百五里，银厂沟旁，有银铅厂曰天桥厂，初名莲花厂，开掘起自五代汉天福中，古洞有磨岩刻纪其事实，滇黔间最古之洞也。”（道光《大定府志》卷四二、一六）文中“白铅”即锌，“五代汉高祖天福中”即公元947年。由这两段文字，可见公元十世纪中贵州威宁妈姑地区的天桥一带已开始冶炼包括铅、锌在内的多种金属了。

明代黄铜器中含锌量均在20—50%间，其中以宣德铜炉最为著名。据明代吕震的《宣德鼎彝谱》记载，明宣德年间铸造鼎彝诸器时，曾用“倭源白水铅”一万三千六百斤，“作铅砖，铺铸冶局地杂用”。此“白水铅”即是锌。当时人们是先冶炼出“白水铅”，再用它来合炼黄铜。明末宋应星在《天工开物·五金》中对当时的炼锌工艺有详细记载，并附有“升炼倭铅”的插图。这段记载如下：

凡“倭铅”古书本无之，乃近世所立名色。其质用炉甘石熬炼而成，繁产山西太行山一带，而荆、衡次之。每炉甘石十斤，装载入一泥罐内，封裹泥固，以渐研干，勿使见火拆裂。然后逐层用煤炭饼垫盛，其底铺薪，发火煨红。罐中炉甘石熔化成团。冷定毁罐取出，每十耗其二，即倭铅也。此物无铜收伏，入火即成烟飞去。以其似铅而性猛，故名之曰“倭”云。

对这段文字，今人有不同理解。有人说此工艺是属于“蒸馏法”，有人则认为是“回流法”。据此，有多位学者调查研究了我国至今仍保留着的相当原始的炼锌工艺，即位于滇东北、黔西一带的民间传统炼锌工艺，终于比较令人信服地回答了这一问题；宋应星介绍的炼锌工艺接

^① 何丙郁：《道藏·丹方鉴源》，香港大学亚洲研究中心1980年版，第67页。

近于近代的蒸馏法炼锌。只是他在文字叙述和插图中,对锌蒸气在反应罐中的冷却处理未作清晰的介绍。

我国最初生产的锌主要用来熔炼黄铜,铸造钱币。例如“嘉靖通宝”几乎是清一色的锌黄铜钱。这表明当时锌的产量应是相当高,规模也相当可观。

第四节 金、银、汞

自然界存在着天然金和天然银,由于它们色泽鲜艳,较容易发现,所以被采集利用相当早。人们视它们为珍宝,主要用于制作装饰品和礼品,后来成为财富的标志。汞是在常温下唯一呈液态的金属,呈银白色,故俗称“水银”。在古人眼里它是一种神奇的物质,后来成为金丹家炼制仙丹的主要材料。金、银、汞都是古代人们接触较早、较多的贵金属。

一、金

在甘肃玉门火烧沟遗址中,曾出土过金鼻饮、金耳环等。火烧沟遗址年代相当于中原的夏代,约公元前1600年左右^①。辽宁、河北等地的夏家店下层文化遗址也曾出土过金耳环。可见利用黄金早在夏代已开始。《尚书·禹贡》曾提到:“扬州……,厥贡惟金三品。”汉代孔安国注曰:“三品,金银铜也。”表明夏禹时,黄金、白银已成贡品。《史记·平淮书》中写道:“虞夏之币,金为三品,或黄,或白,或赤。”即司马迁认为夏虞时代,金、银、铜已作为货币。1977年在河北藁城县台

^① 文物编辑委员会:《文物考古工作三十年》,文物出版社1979年版。

西村商代中期宫殿遗址十四号墓中出土有金箔,河南辉县商代墓中发现有金叶片,安阳殷墟中曾出土有厚度仅 0.01 毫米的金箔,经研究是锤锻而成。1977 年在北京平谷县商代墓葬中出土的一批金器中,有臂钏、耳环和笄(发簪)。其中笄重 108.7 克,含金量为 85%^①。1978 年在湖北随县战国曾侯乙墓出土了金盞、金勺、金杯、金带钩、金器盒等金器,其中金盞通体有纹饰,重达 2150 克。这都表明商周时期黄金的加工技术已有很高水平^②。根据文物资料,人们掌握鍍金技术约在战国时期。当时的鍍金技术就是将金汞齐涂在铜器表面,经烘烤,将汞蒸发后,金就留在器物表面。这一技术的出现说明人们已对金、汞及其合金的某些性质有所了解。

从地质和矿物学的角度来考察,古代采集的黄金可分为沙金和山金两种。沙金生于河流溪沟的水沙或冲积层的砂石中,经水淘洗即可收集到,古代的主要产地在云南和楚地。山金是含自然金的矿石,又称“伴金石”,现叫“脉金”。需要丰富经验,才能识别和掘坑采集这类矿石。因此山金的开采较沙金晚得多。

在自然界中,与黄金相似的矿物主要有黄铁矿和黄铜矿。先民们采用“金入于猛火,色不夺精光”的高温氧化试验来区分它们。由于炼金的缘故,金丹家对黄金作了较多的研究。东汉末年著名的金丹家狐刚子所撰的《出金矿图录》是我国现存最早的一部金矿地质与冶金学的专著,它收录了当时人们对于金矿及其冶炼的认识。书中指出应用晶体形态、颜色及高温来区别金矿与黄铁矿的方法。针对不同的金矿,提出不同的冶炼工艺:出水金矿法、出山金矿法。特别是首次记录了冶炼金或银的“吹灰法”。这种方法的原理是:金或银与铅很容易形成合金。将金矿或银矿粉与铅共炼,生成低熔点的铅坨沉到炉底。再将铅坨取出放在风炉的灰坯中焙烧,铅被氧化成氧化铅。小部分鼓风

①② 文化部文物局、故宫博物院:《全国出土文物珍品选》,文物出版社 1987 年版。

时被吹走,大部分会熔化(880℃)而渗入灰中,于是黄金、白银就留在灰坯上而被提取。关于吹灰法炼金银,东汉末年张道陵在其所撰的《太清经天师口诀》中也有简单的记载。

关于金的提炼,古代还有用汞“勾金”的方法。所谓“勾金”即先用汞与金生成金汞齐,然后再将汞氧化与金分离。这与鍍金的原理是一样的。

利用焰色反应来鉴别真金与伪金,也是古代方士在实践中摸索出来的。较早取得经验的有唐代的孟洗等,《旧唐书·孟洗传》记载了孟洗的鉴别伪金的史实。

至于检验黄金的成色,人们起初是利用试金石,后来至迟在十二世纪的南宋,发展到利用金等子(一系列成色不同的黄金标准试样)在试金石上划痕对比的方法。南宋张世南在《游宦纪闻》中记载人们已用此法。欧洲大约直到十六世纪才创造出类似的“金针系列试验法”。

二、银

在中国古代,对金属银的识别、使用和冶炼较黄金似乎稍晚些。从考古发掘的资料来看,春秋时制作的错金银青铜器是使用金属银的早期实物例证。近年出土的还有山东曲阜鲁国故都东周墓的猿形带钩、河北平山中山王墓的镶银龙首金樽等,这些银器都是精工细作之物。1966年在陕西咸阳出土的战国金银云纹鼎,盖顶饰莲花瓣纹,是战国时期错金银器工艺的代表作。以上资料表明在春秋战国时,先民采集、加工金属银已有极丰富的经验,由此推测先民开始用银至迟应在商殷时期。

在自然界中,存在着天然银,古代叫“生银”,即未经烹炼的金属银。它常与铅矿共生,又叫“矿银”。早期人们使用的银大概都是生银。

最重要的矿银是辉银矿,中国古代称之为“礁”,主要成分为硫化银(Ag_2S)。常呈树枝状或丝状、有金属光泽的灰黑色块;也有皮壳状、黑色土状块。自古以来冶炼银矿都采用上面已述的“吹灰法”工艺。关于吹灰法炼银的最早记载仍然是东汉金丹家狐刚子所撰的《出金矿图录》。鉴于我国汉代墓中的银器已经很多,估计我国采用吹灰法炼银应当在两汉之际。

《魏书·食货志》载:长安骊山有银矿“二石得银七两”;恒州(今山西大同一带)白登山银矿“八石得银七两”。这表明北魏时已广泛从银矿石炼取白银了。1970年在西安南郊何家村邠王府遗址出土了一块重达8000克的炼银炉渣^①。从对它的研究可判明,这是含银方铅矿的熔炼产物。同时证明唐代炼银采用的方法也是吹灰技术。银渣中含银量极少,表明当时冶银技术已达到很高水平。

宋人苏颂在《图经本草》中记述了密陀僧(氧化铅)的炼制后,又述及炼银的吹灰工艺。在古籍中叙述银矿开采、选矿、冶炼,最详尽的要算明人陆容的《菽园杂记》卷十四。他描述的银矿是浙江处州(丽水地区)脉状银铅锌矿。《天工开物·五金》对吹灰法炼银工艺也有明晰的记载,并附有插图。

明清之际,云南地区采银、炼银业极盛,炼银工艺也因矿石品种不同而异。若采用含铅量高的方铅矿,冶炼时银铅成砵一起炼出,即可直接用吹灰法提银;若用含铅量甚少的辉银矿,则须在冶炼时有意佐以铅,沉铅结银;若遇铜银相杂的矿砂,则手续更繁。

自然金中含有银,为调节硬度和色调,在以黄金铸器或锻造首饰时,有意往金中添加银或铜。还有人故意将银渗入金中,以低成色者欺人。因此自古以来,一些人,特别是金丹家对金银的分离技术进行了较多的研究。

^① 一冰:《唐代冶银术初探》,《文物》1972年第6期。

东汉金丹家狐刚子在《出金矿图录》中介绍了分离金银的两种方法：黄矾—树脂法和矾盐法。前者以黄矾(硫酸铁)与胡同律(胡杨分泌的树脂,有机物,可作还原剂)作用产生硫黄,硫黄在加热中很容易与银反应生成色黑质脆的硫化银,从而将金箔中的银除掉。后者用黄矾和食盐与不纯的黄金一起进行热处理,能使其中混杂的银及铅转变为易熔的氯化银(AgCl)和氯化铅(PbCl_2),而渗入灰中,这就使金银得以分离。

黄矾—树脂法中的黄矾和胡同律,若直接以硫黄代之,该法就演进为硫黄法。硫黄法虽在汉代金丹术著作中已露端倪,而十分明确地被载入金丹术著作却在宋代。成书于宋代的《修炼大丹要旨》中的“分庚银法”就是硫黄法,它利用硫与银生成硫化银以达到金银分离。这方法中由于还用了硝、矾、食盐等物质,所以反应过程还有氯化银的生成。元明时期,民间出现了只用硫黄一物的更为简易的分离金银的方法:先利用银与硫生成浮在金上面的黑色硫化银,取出硫化银后,再用木炭将银还原出来。元末明初的《墨娥小录》对此法的原理、步骤、现象都作了清楚的介绍。

在分离金银的矾盐法上,若加入硝石,就产生了一种新的方法:矾硝盐法。最早明确记载此法是南宋陈元靓的《事林广记·煅炼奇术》。矾、硝、食盐混合加热时会生成盐酸和硝酸,其作用接近王水,能有效地溶解白银,而不能溶解黄金。明初曹昭的《格古要论》也记载了这方法,他把焰硝、绿矾及食盐的混合剂称为“金诈药”。如果把该配方的“食盐”省去,该法则变成了“矾硝法”。矾、硝混合剂受热时会产生硝酸,所以这方法的实质在使用硝酸来溶解银。明末方以智在《物理小识》中记载的“罩金法”和“炸金法”就是这种矾硝法。

中国古代的金银分离术中,还有一种利用硼砂(当时叫“鹏砂”)与白银生成硼酸银的硼砂法。最完整记载这方法的是宋应星的《天工开物·五金》。这方法能定量地回收白银。

三、汞

从文献资料来看,我国至迟在公元前七世纪春秋时期已开始利用汞了。从春秋时期一直到宋代,在帝王和大臣的墓穴中常常灌有水银。唐代李泰的《括地志》说:“齐桓公(前 642 年卒)墓在临淄县南二十一里牛山上,亦名鼎足山,一名牛首岗,一所二坟。晋永嘉人发之,初得版,次得水银池。”^① 司马迁在《史记·秦始皇本纪》中也说秦始皇陵“以水银为百川江河大海”。

古代所用的水银有天然和人工炼制的两种来源。关于天然水银,南朝陶弘景曾说:“今水银有生熟。此云生符(涪)陵平土者是出朱砂腹中;亦别出沙地,皆青白色,最胜。”^② 南宋周去非在《岭外代答》中说:“邕州右江溪峒,归德州大秀墟,有一丹穴,真汞出焉。穴中有一石壁,人先鉴窍,方二三寸许,以一药涂之,有顷,真汞自然滴出,每取不过半两许。”据现代地质科学考查,我国不少地区确有天然水银存在。

我国人工炼制水银始于战国时代,其方法主要有四种:低温焙烧法、下火上凝法、上火下凝法、蒸馏法。低温焙烧法是最初的炼汞法,西汉刘安的《淮南万毕术》、东汉的《神农本草经》、西晋张华的《博物志》、东晋葛洪的《抱朴子·内篇·金丹》、南朝陶弘景的《本草经集注》都说朱砂烧炼得水银,但都没有讲具体的工艺。只是唐人所辑的《黄帝九鼎神丹经诀》对低温焙烧炼汞作了简短的描述和记录。这种低温焙烧法缺点较多:一是硫化汞分解较慢,产量低;二是生成的水银会有显著的蒸发,不仅损失较多,还易使操作者汞中毒。所以在汉晋以后这种方法逐渐被密闭高温分解的方法所取代。

^① 清·王漠辑:《汉唐地理书钞》,中华书局 1961 年影印本,第 248 页。

^② 《重修政和经史证类备用本草》,人民卫生出版社 1957 年影印晦明轩本,第 107 页。

东汉末年,金丹家发明了下火上凝的炼汞法。这方法是在密闭的铁质或土制的釜中加热丹砂,下釜中放置丹砂和能促使丹砂分解的物质,如黄矾和酥油、猪脂、梔子、胡同律等含碳物质,上釜倒覆在上面,再以盐泥合缝。当加热下釜后,丹砂分解出的水银升至温度较低的上釜内壁而积聚。对此法,东汉末年的狐刚子在《五金粉图诀》中作了较详的记载。这方法一直到唐代仍为金丹家所采用。

下火上凝法也有一个大的缺点,即凝结在上釜内壁的水银,聚集多了会坠落,必须不时地开釜扫取水银,很麻烦。大约在唐代中叶,金丹家又发明了上火下凝炼汞法。这方法是在炼汞装置上部加热丹砂,生成的水银凝结在温度较低的装置下部,这样便克服了下火上凝法的缺点,大大提高了功效。这种方法所用的装置有两种类型:竹筒式和未济式。唐陈少微的《大洞炼真宝经九还金丹妙诀》清楚地记述了竹筒式炼汞装置和过程。未济式炼汞法最早见于北宋苏颂的《本草图经》。宋人撰的《修炼大丹要旨》也详细地记载了未济式炼汞法。南宋周去非在《岭外代答》中所记载的广西壮族民间当时采用的炼汞法,也属于未济式法。

未济式炼汞法在元明时期仍被普遍采用,《墨娥小录》、《本草纲目》等书都对它作了介绍。明初刘文泰在《本草品汇精要》中对未济式炼汞法的记载较前有了发展,它采用阳城罐作为反应器。阳城罐是金丹术和制药中的一种专门器具,它由上下相合的两罐构成,上罐置丹砂和还原剂,下罐贮水,中间以带小孔的铁片相隔,此铁片既防止反应物坠落,又能让水银溜于下罐。两口相接处用盐泥合缝。下罐埋于土中,上罐可用火煨。

由于上火下凝式炼汞的操作仍比较麻烦,每炼汞一次都需要拆筒、罐或釜,而且不易制得纯净的汞,生产规模也受到限制,所以到宋代开始出现抽砂炼汞的蒸馏装置。宋代吴悞在《丹房须知》(1163年成书)中,描绘了这种“抽汞之图”。现存关于蒸馏法升炼水银的最早

文字记载见于元末明初成书的《墨娥小录》。该书作者还把未济式炼汞法与蒸馏法的产率作了对比,结果是前者“大抵朱砂一两,止有真汞三钱”,而蒸馏法“每两可取七钱”。蒸馏法升炼水银的操作简单,产率高,适于大规模生产,因此得到了推广和发展。宋应星就认识到蒸馏法的优点,所以在《天工开物·丹青》中只记录了蒸馏法升炼水银,批评了本草著作,包括李时珍的《本草纲目》仍介绍相对落后的未济式炼汞法。时至近代,由于各地经济、科技发展的不平衡,在一些落后地区的土法炼汞中,下火上凝式、上火下凝式、蒸馏法都在沿用,例如贵州、云南、湘西一些地方的土法炼汞仍采用下火上凝法。当然这些土法较之古代,设计和设备都有很大改进。

第四章 本草学中的化学知识

中国古代关于自然界许多物质(包括植物、动物、矿物)的性质的描述大多收录在本草学的著作中。传统的医学认为医食同源,因此古人把众多的物质都看作药,经过观察、鉴别、试验、服食,从而将它们分类排队,逐一地记录它们的医药性能、化学性质及产地和加工方法。古时的药物学既有金石之药,又有来自草木禽兽之药,实际上包括众多有机物和无机物。因其中草木之药占绝大多数,故习称为“本草”。《汉书·平帝纪》说:“元始五年(公元5年),征天下通知逸经……方术、本草及以五经、论语、孝经、尔雅教授者……,遣诣京师。”《汉书·楼护传》说:“护随父为医长安,出入贵戚家。诵医经本草方术数十万言。”可见汉代已有本草之名,并与方术联系在一起。此后本草学的发展一直伴随着医药学的发展而发展。

动物、植物的化学组成是很复杂的,它们所含的成分包括了生物碱、配糖体、维生素、蛋白质、核酸、萜类化合物等结构复杂的有机物,对于这些有机物,即便应用现代的化学知识来认识也不是一件容易的事。对于古人来说,他们在使用这些动植物时,只能纯粹凭经验,知其然而不知其所以然,所以我们很难从古人关于动植物药物的描述中来了解古人有关的有机化学知识。对于矿物类药品则不同,由于它们组成较简单,有效成分也容易识别,所以从古人

对这些矿物药品的描述,我们多少可以了解古人一些无机化学方面的知识。鉴于本草学与化学的这一层关系,下面主要介绍本草学中的无机化学知识。

第一节 《神农本草经》和《本草经集注》中的无机化学知识

“本草”这一名词最早出现在汉初,而本草学的知识在此前已有记载。古人为了生存,为了同疾病作斗争,很早就从肉食和素食中发现了许多可作药物的动植物,并作了记载。例如《诗经》里就记述了不少用于治病的动植物。《山海经》也记载了动植物、矿物药品一百四十二种。马王堆三号汉墓出土的《五十二病方》(约是公元前二世纪的著作)也记载各种药物达二百四十二种之多。秦汉之际兴起的金丹术,进一步推动了人们对各种药物,特别是矿物的研究。

由于汉帝宠信方术,曾征天下通晓方术本草者。百年之间,民间所献之书堆集如山,种类甚多,内容有礼、诗、书、天文、历数、医术、本草等,其说也不一。于是汉代曾举行过四次较大的学术性会议,对上述著作进行审议,评定它们的是非。《神农本草经》可能就是经过以上官方审议和来自民间众多人士之手的有关本草的专著。可以肯定它是我国古代最早最完整的本草著作。

《神农本草经》收载药物三百六十五种^①,除去重复者外,共有三百四十七种,包括草、谷、菜、果、木、家畜、鱼、器物、金石等。由于受金丹术思想的影响,书中将药物分成“上品”一百二十种,“中品”一百二

^① 《神农本草经》原书散失较早,后人辑本是根据不同的来源,参考文献而辑成的。不同辑本在内容上有差异是不可避免的。对于收载药物数,有的辑本认为只有三百五十七种或三百六十种。

十种,“下品”一百二十五种,认为上品是“无毒,久服多服不伤人”,中品是“无毒有毒,斟酌其宜”,下品是“多毒,不可久服”。说明当时认为上品药是滋补强壮品,中品药对疾病能起抑病、补虚作用,下品药有毒,性烈,但可以除寒热,破积聚。书中无机药物四十六种,分别列在上、中、下三品药中。它的这一分类法,以今天的药理学来看,并不是很科学,例如作为上品第一位的丹砂(硫化汞)应该属有毒,不能多服或久服之品,只因方士把丹砂视为可延年益寿之物被列为佳品。所以我们不必拘泥于上、中、下三品的说法或依药理学的观点来讨论,只需从化学知识的角度来加以研究。

在《神农本草经》中,在每一种药物下都记述了它的异名、气味、出处、主治功能。下面摘录某些无机药物中有关的化学性质:

丹砂:……能化为汞。

空青:……能化铜、铁、铅、锡作金。

曾青:……能化作铜。

石胆:……能化铁为铜。

朴消:……能化七十二种石。

消石:……炼之如膏。

石流黄:……能化金、银、铜、铁、奇物。

水银:……杀金、银、铜、锡毒,熔化还复为丹。

铁精:……化铜。

铅丹:……炼化还成九光。

冬灰:……一名藜灰。

丹砂又名朱砂、硃砂、辰砂。“能化为汞”即表明古人已认识到将其加热可分解生成二氧化硫和汞:
$$\text{HgS} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{加热}} \text{Hg} + \text{SO}_2 \uparrow$$

空青似指孔雀石,其化学组成主要为 $[\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3]$ 。“能化铜、铁、铅、锡作金”即可能指在一定条件下,主要是高温条件下,铁、锡等活性强的金属将孔雀石中的铜取代出来,又进一步与铜形成

合金。这种合金的颜色有可能呈黄色。

曾青是蓝色的铜矿,其主要的化学组成是 $[\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3]$ 。“能化作铜”是指在与木炭共热的情况下,铜被还原而析出。

石胆是含结晶水的硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$),亦称“胆矾”。将铁片放进石胆水溶液中,由于铁将铜置换出来,铁片会镀上一层黄色的铜。其化学反应为:



所以石胆“能化铁为铜”。

朴消主要指结晶的硫酸钠,其主要成分为 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 。所谓“能化七十二种石”,可以有两种不同的解释:一是结晶硫酸钠的风化,即天气干燥时,它因风化失去结晶水而成粉状;当天气潮湿时,它又吸收水分恢复成含水的晶状化合物。第二种解释是硫酸钠在较高的温度之下,能熔某些硅酸盐类的岩石。至于“七十二”则是形容其变化之多。

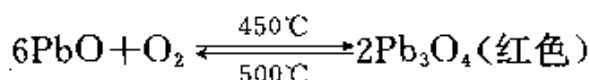
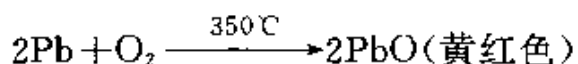
消石,又名“芒硝”,一般指硝酸钾。由于当时的人无法区分硝酸钾与硝酸钠,所以它又指硝酸钠。无论是结晶的硝酸钾或硝酸钠都能够被加热而熔融,所以可以说“炼之如膏”。

石硫黄即天然结晶状的硫黄。硫是一活泼的非金属元素,能与许多金属在加热条件下直接起作用化合生成硫化物,所以它“能化金、银、铜、铁、奇物”。

水银,学名“汞”。说它“杀金、银、铜、锡毒”,表明人们已认识到水银能溶解多种金属,合成汞齐。古人常运用这种性质来分离金属或鍍金镀银。汞能氧化生成红色的氧化汞,所以说它“熔化还复为丹”。

铁精,有些辑本写“铁落”,说它能明目,药用功能与石胆同,说它能化铜。据此分析,它可能是铁在石胆溶液中生成的铁矾(FeSO_4)与石胆的混合液的晶体。

“铅丹……炼化还成九光”，表明炼铅丹时由于火候不一，温度不同，氧化程度不一样而生成了各种不同颜色的铅的氧化物。所谓“九光”说明产品的颜色是多种多样的。据实验观察可以知道：



氧化亚铅(Pb_2O)：灰色；一氧化铅(又叫“密陀僧”， PbO)：黄红色；三氧化二铅(Pb_2O_3)：桔黄色；二氧化铅或过氧化铅(PbO_2)：深棕色；四氧化三铅(又叫“红铅”， Pb_3O_4)：红色。

冬灰，又名“藜灰”。可以想像它是藜草烧成的灰，应是碳酸钾和碳酸钠的混合物。

《神农本草经》中记载的这些化学知识，在当时确是难能可贵的。

由于长期的临证实践，对新药的品种和认识有很快的发展。在《神农本草经》问世后，又陆续有《蔡邕本草》、《吴普本草》、《李当之药录》等新的本草著作出现。这些都是以《神农本草经》的基础上，增加了汉魏以来所发现的新药，加以整理总结而成的。但它们的体例都不够系统，内容也比较简单，并且有许多错误。正像南朝陶弘景所说：“魏晋以来，吴普李当之等更复损益，或五百九十五，或四百四十一，或三百一十九，或三品混糅，冷热舛错，草石不分，虫兽无辨。且所主治互有得失，医家不能备见，则知识亦有浅深……。”^① 鉴于此，陶弘景于 494—500 年开始对以前的本草著作进行勘订整理。他将《神农本草经》所载的三百六十五种药加以订正发挥，又加入他自己《名医别录》中的名医别品三百六十五种，共七百三十种，汇编成《本草经集注》。

^① 唐·苏敬等撰、尚志钧辑校：《唐·新修本草》“梁陶隐居序”，安徽科技出版社 1981 年版，第 15 页。

陶弘景(456—536年)是开始整理古代本草著作的著名药学家。他自幼读书万卷,又有刻苦钻研的精神,所以学识非常渊博。他曾做过官,但由于受道家思想的影响,产生求仙之志。492年他脱下朝服挂在武门上,上书辞禄,来到金坛华阳之茅山隐居,自号“华阳隐居”。从此他潜心研究本草、医术及养生之道。他曾遍游名山,寻访仙药,为著述本草积累了丰富的知识,同时他对气功、医方等也有不少创见。他所著的书不少,《本草经集注》是他的代表作之一。

《本草经集注》全书共分三卷。上卷为药理学总论;中卷是药物各论之玉石草木三品,合三百五十六种;下卷是药物各论之虫兽果菜米食三品,有一百九十五种,加上有名无实的一百七十九种,共三百七十四种。该书的特点及对药理学的贡献有四:第一,改进了以前本草药物的一般分类法,对药物不是简单的分上中下三品,而是分为玉石、草木、虫兽、果、菜、米食、有名未用七类。每一类再分上中下三品。第二,对于药物的性味、产地、采集、形态和鉴别的论述较前有显著的提高。第三,将药物按其效用加以分类,便于临证用药。第四,注重药物的加工炮炙及配制方法,并记载了汤剂、酒剂、丸剂、散剂、膏剂等五种剂型。

该书中的无机化学知识比起《神农本草经》有明显的增多,下面摘述如下:^①

金:“虽被火亦未熟”。这是指黄金不易被氧化。

银:银屑“当以水银研令消也”。这就更具体地说明银能溶解在汞中,合成银汞齐。

粉锡:“即今化铅所作胡粉也”。粉锡即碱性碳酸铅 $[Pb(OH)_2 \cdot PbCO_3]$,陶弘景称其为“胡粉”,它可由铅直接制作。

^① 以下关于《本草经集注》的内容均摘自唐·苏敬等撰,尚志钧辑校的《唐·新修本草》,安徽科技出版社1981年版。

铅丹：即四氧化三铅(Pb_3O_4)，“即今熬铅所作黄丹也”。指将铅煎炼为铅丹，又名“黄丹”。

铁落：“铁落是染皂铁浆也”。它可能指硫酸亚铁的浆液可用以染色。

水银：“烧时飞着釜上灰，名汞粉，俗呼为水银灰”。汞粉或水银灰都是指氧化汞(HgO)，其意为汞加热灼烧后变成氧化汞落在釜上。

石钟乳：“色黄，以苦酒洗刷则白”。石钟乳是碳酸钙($CaCO_3$)，苦酒是醋(CH_3COOH)，其意是它们之间能起作用。

石灰：“近山生石膏白色，作灶烧竟，以水沃之，即热蒸而解。”这里正确地解释了石灰的制法和化学作用：由石灰岩烧成，泼水其上会出现热蒸汽，同时裂解。这较《神农本草经》里只说石灰生山谷要清楚得多。

消石：“以火烧之，紫青烟起，云是真消石也。”《神农本草经》里的消石泛指硝酸钾和硝酸钠。这里用焰色法鉴别硝酸钾，是世界上最早提到采用焰色法来鉴别钾盐的著作。

矾石：“其黄黑者名鸡屎矾，不入药用，惟堪镀作，以合熟铜。投苦酒中涂铁，皆作铜色，外虽铜色，内质不变。”鸡屎矾是指不纯的硫酸铜(Cu_2SO_4)，陶弘景说它不能入药，但可以用来镀铜。只要将铁器投入鸡屎矾的醋溶液中，铁器外表皆有铜色，但内质仍不变，即仍是铁。这是又一例铁从硫酸铜溶液中置换出铜的化学反应。

第二节 唐宋时期本草著作中的无机化学知识

《本草经集注》一度被医家奉为圭臬，但随着社会的演进，该书的一些缺点和不足之处逐渐被发现。陶弘景偏居南方，又限于个人的力量，对于北方的药物就不很熟悉而有很多遗漏。《本草经集注》逐渐满

足不了社会的需求,特别是新药的发现和外来药的增加,都要求编写新的本草专著。唐高宗显庆二年(657年),苏敬提出编修《新修本草》的建议被批准,由长孙无忌领衔,李勣、辛茂将、许敬宗、苏敬等二十二名大臣和名医参加这项工作。显庆四年,全书五十四卷告成,上表进呈。此时,长孙无忌的名字被划去,改由李勣领衔。

《新修本草》是一部以政府名义编纂的药典,也是中国乃至世界上最早的药典。它承袭了历代本草的优点,又广泛地采纳了民间的意见,“下询众议”,“定群言之得失”。当时曾下诏全国,征询各地药物标本,并“普颁天下,营求药物,羽毛鳞介,无远不臻,根茎花实,有名咸萃。……丹青绮焕,备庶物之形容”。对各种药物,“详探秘要,博综方术”,做到“本经虽阙,有验必书,别录虽存,无稽必正”。正是通过广泛的征集,又经专业人材的集体协作,在短短的两年便完成了这部承前启后的巨作。^①

《新修本草》可分《本草》、《药图》、《图经》三个部分,其中《本草》二十卷,《本草目录》一卷,《药图》二十五卷,《药图目录》一卷,《图经》七卷。可惜的是《药图》和《图经》早已失传,无可考见。《本草》部分宋朝以后也不再流传,如今只有残卷本。好在其内容绝大部分都保留在后世的本草中。现在我们所见的《新修本草》实际上单指《本草》这部分内容。

《新修本草》共收录药物八百五十种,比《本草经集注》增加了一百一十四种。对每味药物的性味、产地、采收、功用和主治都作了详细介绍。在编写体例上一个突出的特点是首创了在药物后面辅以图说。在药物分类方面,沿用了陶弘景的方法,将药物按玉石、草木、兽禽、虫鱼、果、菜、米谷、有名未用分成九类。内容丰富,增加了不少新药和外来药。

^① 参见薛愚主编:《中国药学史料》,人民卫生出版社1984年版,第165—168页。

从无机化学知识的角度来看,《新修本草》有些进展,但是除了保存原有的知识以外,增加的却不算多。下面作简单的介绍:^①

空青:“铜精熏则生空青。”空青似指孔雀石,系炼铜的主要原料。这里又用铜精经一定的化学处理而变回到空青,实际上重申空青与铜的互变关系。

银屑:“取见成银薄,以水银消之为泥。合消石及盐研为粉,烧出水银,淘去盐石,为粉极细,用之乃佳。”这又是一种制银粉的方法。它先将薄片的银与汞合制成银汞齐,再加入消石及盐研成粉状,然后通过灼烧,使其中的汞升华逸去。再用水将硝石等可溶性盐洗去,剩下的烘干即是银粉。

绿盐:“云以光明盐、硃沙、赤铜屑,酿之为块,绿色。”光明盐即普通食盐,硃沙是氯化铵。这段话的意思是,铜屑、氯化铵、食盐混在一起,长时间放在杂有碳酸气的空气里(即所谓“酿之”),可以得到不纯的绿色的氯化铜。所以绿盐应当是氯化铜。

礞石:“此石能拒火,久烧但解散,不可夺其坚。”礞石是指砷黄铁矿(FeAsS)。其意是这矿石加热后能分解,但不熔融。“拒火”和“不可夺其坚”都是指不熔融。

冬灰:“此即今浣衣黄灰耳,烧诸蒿藜积聚炼作之,性烈。”冬灰是碳酸钾和碳酸钠的混合物。这里关于它的制法显然比《神农本草经》说得清楚。

硃沙:“柔金银,可以焊药。”硃沙是指氯化铵。在本草著作中,《新修本草》第一次介绍它,说它可“柔金银”,意思是参与金属及其氧化物的反应。“可为焊药”即指在焊接中作为药剂使用。

在谈到消石时,补充说:“今练粗恶朴消,淋取汁煎,练作芒硝,即

^① 以下引文摘自唐·苏敬等撰、尚志钧辑校的《唐·新修本草》,安徽科技出版社1981年版。

是消石。”这里指的是将不纯的硝酸钾等通过加水溶解,用重新熬煎结晶的办法制取纯净的硝酸钾。这是当时一项提纯化学物质的重要方法,可能已常用。这一方法对于以后火药的发明和发展都是很重要的。

在谈到铅丹和粉锡时提到:“丹、白二粉俱炒锡作,今经称铅丹,陶云熬铅,俱误也。”“铅丹、胡粉,实用锡造。陶今又言化铅作之,经云粉锡,亦为深误。”从今天的化学知识来看,“铅丹”即四氧化三铅,确可熬铅而作,“粉锡”为碱式碳酸铅,也是由铅来制取。所以陶弘景的认识是对的,而《新修本草》的看法是错的。

《本草拾遗》是唐开元期间(713—741年)的一部私人著作。据李时珍介绍,该书作者是当时三原县尉陈藏器编纂的。原书有序例一卷、“拾遗”六卷、“解纷”三卷。该书原本早已散佚,其内容被宋代的《重修政和证类本草》所收录。李时珍很推崇陈藏器,说陈是“自本草以来,一人而已”(《本草纲目》卷一)。在《本草纲目》中引用《本草拾遗》的内容很多。《本草拾遗》在《新修本草》以外增加了很多矿物和动植物的药品,仅无机药就增加了一百一十种,大部分是混合物,其中水就增添了雨水、露水、井水、海水等二十六种。《本草拾遗》虽然扩大了用药的范围,即增加了药物品种,但是在化学知识上却很少增长。仅有一条可作化学知识:

玉:“以苦酒消之成水。”这里说某些玉可以被“苦酒”即醋溶解,那么这些玉应是属碳酸盐类的假玉。由硅酸盐的铝、钠盐所构成的真玉是不会被醋所溶解的。

宋代的封建经济有了高度的发展,科学技术也取得了众多成就,其中影响最大最深远的是火药和印刷术的发明。这两项成就也与本草学的发展有一定联系。火药的发明是金丹术的一项重要成果。金丹家无一不研究本草学,正是本草学中历代积累的各种化学物质的性质、制法、产地的知识为金丹家从事炼丹炼金提供了基础,特别是

对硝、硫等性质的研究和认识更是直接的基础。活字印刷术的发明使许多著作和资料得以流传下来。现存最早、最完整的本草原著就是宋代的《政和证类本草》。宋代以前的本草著作,原著都已散佚,其内容也是由于宋代本草著作的收录而得以保存下来,现有的都是后人的辑本。

伴随着经济的发展,编纂本草著作的意义为更多人所认识。在宋朝政府的组织参与下,先后编纂成的本草著作有:刘翰等的《开宝本草》(973年),它收载药物九百八十三种,其中新增的有一百三十九种;掌禹锡等的《嘉祐补注神农本草》(简称《嘉祐本草》,1057—1061年),共收药一千零八十二种,补入新药八十二种;苏颂等的《图经本草》(1058—1061年);艾晟等的《大观经史证类备急本草》(简称为《大观本草》,1108年);曹孝忠等的《政和新修经史证类备用本草》(简称为《政和本草》,1116年),该书收载的药物已达一千七百四十六种;王继先等的《绍兴校定经史证类备急本草》(简称《绍兴本草》,1157—1159年)。此外,这时期个人编辑的本草著作也不少,其中较有价值的有:大明的《日华子诸家本草》(968—975年),陈承的《重广补注神农本草图经》(1086—1093年),张文懿的《本草括要》,庞安时的《本草补遗》,郑辨的《本草外类》,崔源的《本草辨误》,寇宗奭的《本草衍义》,靳起蛟的《本草合编》,郑樵的《本草成书》等。最精湛的要数唐慎微的《经史证类备急本草》(简称《证类本草》,1083年),它是一部内容详博、药物众多、方药并举的重要医药文献。

宋代的本草著作中,除了保留前人的无机化学知识之外,还纠正了唐本草中的一些错误^①,也增加了几种新的无机化合物。其中重要的有:

^① 以下引文见宋·唐慎微:《重修政和经史证类本草》卷三、卷四、卷五,四部丛刊影印1204年刻本。

无名异：“无名异……生于石上，状如黑石炭。”“无名异”常见于古代的金丹术文献，《开宝本草》首次将其作为药物加以记载。它是一种含钴的氧化锰矿物，不同的来源在成分上会有差异。它后来被大量用作陶瓷生产的釉料，也曾作油漆工艺中的干剂。

水银粉：又名“汞粉”、“轻粉”、“甘汞”，化学成分是氯化亚汞(Hg_2Cl_2)。《证类本草》把水银粉列入药品，讲了它的药理作用，却没有讲它的制法和化学性质。虽然汉代金丹家已制得轻粉，但是把它明确作为药物却是在宋代。这说明人们不仅认识了汞的硫化物和氧化物，也开始认识汞的氯化物。

铁华粉：“取钢煅作叶，如笏或团，平面磨错，令光净。以盐水洒之。于醋甕中阴处理之。一百日，铁上衣生，即成粉矣。”由此可见铁华粉应是醋酸铁，《开宝本草》的这段记载是醋酸铁制法和药用的早期记录。

不灰木：“如烂木，烧之不然，石类也。”“不灰木”即今称之为“石棉”的纤维状硅酸盐。《证类本草》的简短记载说明了石棉的外形和性质。

密陀僧：“今岭南、闽中，银铜冶处亦有之，是银铅脚。其初采矿时，银铜相杂。先以铅同煎炼，银随铅出。又采山木叶烧灰，开地作炉，填灰其中，谓之灰池。置银铅于灰上，更加火大煅。铅渗灰下，银住灰上。罢火候冷，出银。其灰池感铅银气，置之积久，成此物。”“密陀僧”即一氧化铅(PbO)，虽早已被用于陶瓷工艺和金丹术，但是关于它的制法，只有在《图经本草》中才有记载。这一制法是合乎科学原理的，即铅在空气中加热，逐渐氧化为一氧化铅。

绿矾石：“取此一物，置于铁板上，聚炭封之，囊袋吹令火炽。其矾即沸流出。色赤如融金汁者，是真也。看沸走汁尽，去水待冷。取出按为末，色似黄丹。”《图经本草》这段话是叙述绿矾石的鉴别法。绿矾石大概是结晶的硫酸亚铁，加热后可以分解为氧化铁。利用氧化铁的

生成来鉴定硫酸亚铁,在当时实属创见。

草节铅:“草节铅,生铅未煅者也,打破脆,烧之气如硫黄。”“草节铅”应是方铅矿,《政和本草》这段记载是关于方铅矿性质的早期记载。

铁的分类:《图经本草》中说:“铁落者,煅家烧铁赤沸,砧上打落细皮屑,俗呼为铁花是也。初炼去矿,用以铸驹器物者为生铁。再三销拍,可以作镞者为镞铁;亦谓之熟铁。以生柔相杂和,用以作刀剑锋刃者为钢铁。锻灶中飞出如尘,紫色而轻虚,可以莹磨铜器者为铁精。作针家磨铤细末,谓之针砂。”它扼要而正确地说明了铸铁(生铁)、锻铁(熟铁)、钢铁及铁屑的区别,从一个侧面展示了当时矿冶业的发达。

第三节 明清时期本草著作中的无机化学知识

明代的医药学家在继承宋、金、元时期药学成就的基础上,投入了更多的人力和时间从事药学研究。他们编写了各种不同类型的本草著作,无论从深度或广度上都有了很大提高,因而在本草学的发展上是个重要的时期。据不完全统计,明清时期的本草著作几乎在百种以上。其中最重要的是刘文泰的《本草品汇精要》(1505年)和李时珍的《本草纲目》(1596年)。

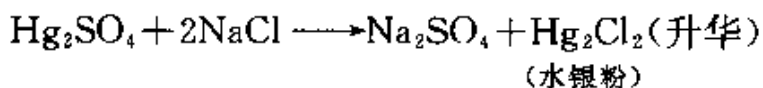
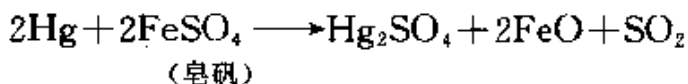
宋代的《证类本草》由于其收载药物众多,内容详博,所以通行了几百年。明孝宗弘治十八年(1505年)敕令太医院的刘文泰在《证类本草》的基础上编了一部药典,这就是《本草品汇精要》。它较之《证类本草》文字简洁,内容精要,尤以五彩的实物绘图闻名于世。它在正集里收载药物一千八百一十五种,在续集中增加药物四百八十种。就全部材料来说,较《政和本草》的一千七百四十六种增加并不多,但在无

机药物方面却增加了一些品种和新知识：^①

炉甘石：“今以点炼蟹壳铜而成黄铜者，即此也。”炉甘石是不纯的碳酸锌矿石，金丹术家早已使用它，当时冶金中也知道它可用来炼制黄铜。但作为药物而加以记载，此书是首次。

鹅管石：“类石钟乳而极短小。”“鹅管石”是钟乳石的一种，是不纯的碳酸钙。

水银粉：“凡作粉，先要作曲。其作曲之法，以皂矾一斤，盐减半，二味入铁锅内，以慢火炒之。仍以铁方铲搅不住手。炒干成曲，如柳青色。其升粉法：先置一平台，高三尺余，径一尺，不拘砖埧。以荆柴炭一斤，碎之如核桃大，烧于台上，扇炽。每升粉一次，用水银一两二钱，曲二两二钱，内石臼内，石杵研不见水银星为度。却入白矾粗末二钱。三味搅匀，平摊铁釜中心，厚约三分许，鹅翎遍插小孔。将澄浆瓦盆覆之，缝以盐泥固济。勿令太实，实则难起。置釜于炽火上。候微热，以手蘸水轻抹其缝及盆。复用砖踈立釜下，周护火气。待火尽盆温，揭之勿令手重，重则振落。其粉凝于盆底，状若雪花而莹洁。以翎扫之，瓷器收贮。”这段文字，用现代的化学知识来解释可以下列反应式表示：



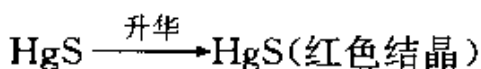
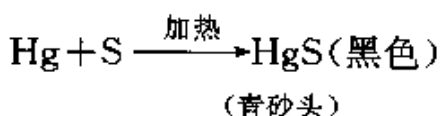
这里详细地讲了水银粉的制作过程，包括药剂用量、加热温度、反应时间都十分清楚，较《证类本草》前进了一大步。

灵砂：“水银四两入铁锅内，以硫黄末一两，徐徐投入。慢火炒作青砂头。候冷研细，内阳城罐中，上坐铁盖。将铁线缠束数匝，钉钮之，弹线声清亮为紧。以赤石脂入盐，密封其缝。仍用盐泥和豚毛，通令

^① 以下引文摘自明·刘文泰：《本草品汇精要》，商务印书馆1936年排印本。

固济，厚一大指许，日干之。借以铁架为砖作炉，外以文火自下煨，至罐底约红寸余。以香烬一炷，复用武火渐加至罐口，候香烬二炷为度。铁盖贮水，浅则益之。乃既济之叉也。候冷取出。其砂升凝盖底，如束针纹者，则成就矣。”

这段文字，可用下列化学反应式来解释：



红色硫化汞的人工合成，对于金丹家早在隋唐时代已很熟悉。这里介绍的合成法较前清楚简便。

《本草品汇精要》虽较《本草纲目》早九十年编成，但是由于前者当时没有印行，李时珍没有读到。李时珍花费了二十七年，参考了八百多种书籍，又进行了实地的考察，才于1596年完成本草的巨作《本草纲目》。该书有五十二卷，共包括药物一千八百九十二种，其中无机药物分列在六类里：水部、土部及金石部的金、玉、石、卤四类。水部有四十三种，里面显然有众多水溶液。土部有六十一一种，包括各种土壤及烧过的泥土。金类有二十八种，包括金属、合金及一些金属化合物。玉类有十四种，主要是较纯的硅化物。石类有七十二种，主要是硅酸盐类的岩石和不溶于水的天然盐类。卤类有二十种，大多是可溶于水的天然盐类。这种分类法明显较以前的本草更有科学性。关于无机化学的知识下面举几个例子。^①

金：“金有山金、沙金二种，其色七青、八黄、九紫、十赤。以赤为足色。和银者性柔，试石则色青。如铜者性硬，试石则有声。”这里记载了鉴别纯金和金银合金、金铜合金的方法。所谓七、八、九等数字是指

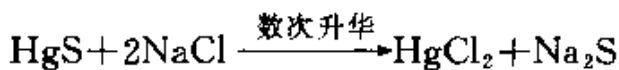
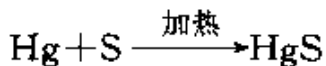
^① 以下引文摘自明·李时珍：《本草纲目》卷八、九、十一，人民卫生出版社1982年版。

金含量在百分之七十、八十、九十而言。他还指出,黄铜的“输金”即假金。

银:“丹阳银、铜银、铁银、白锡银,皆以药点化者,……假银也。”

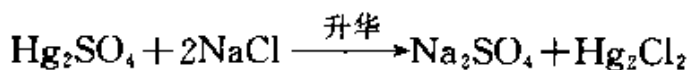
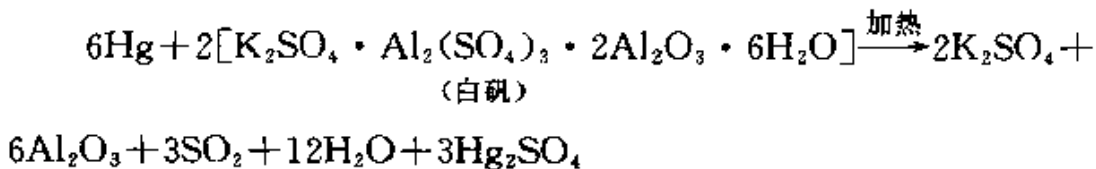
赤铜:“铜有赤铜、白铜、青铜。赤铜出于川、广、云、贵诸处山中,土人穴山采矿炼取之。……人以炉甘石炼为黄铜,其色如金。砒石炼为白铜。杂锡炼为响铜。”炉甘石是不纯的碳酸锌,合铜炼为铜锌合金——黄铜。砒石为砷镍矿,合铜炼出白铜。锡铜合炼得青铜。

水银霜:即粉霜。“用水银十两,石硫黄十两,各以一铛熬之。良久银热黄消,急倾入一铛,少缓即不相入,仍急搅之。良久硫成灰,银不见。乃下伏龙肝末十两,盐末一两,搅之。别以盐末铺铛底一分,入药在上,又以盐末盖面一分,以瓦盆覆之。炭火煨一伏时,先文后武。开盆刷下。凡一转。后分旧土为四分,以一分和霜,入盐末二两,如前法飞之讫。又以土一分,盐末二两,和飞如前。凡四转。土尽更用新土。如此七转,乃成霜用之。”这里的化学反应式如下:



制备氯化汞用这样详细的文字,在这之前是未见的。

水银粉:“用水银一两,白矾二两,食盐一两,同研,不见星。铺于器内,以小乌盆覆之。筛灶灰,盐水和,封固盆口,以炭打二炷香。取开,则粉升于盆上矣。”其化学反应式如下:



这是利用白矾制取氯化亚汞的又一方法。

黄矾:“人于绿矾中,拣出黄色者充之。”黄矾指硫酸铁

[$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$],绿矾是硫酸亚铁(FeSO_4)。绿矾矿中,部分的硫酸亚铁会在空气中被氧化成硫酸铁。所以在绿矾矿中可以拣到黄色的黄矾。

此外,《本草纲目》中还有一些关于绿盐(CuCl_2)的制法、硃砂的性质等化学知识,这里不一一列举。

在近代的化学知识和矿物知识传入中国之前,《本草纲目》所收录的药物和所反映的无机化学知识应该说已达到了很高的水平。就本草学和药物学来说,《本草纲目》是集古代本草学和药学之大成。所以到了清代,虽然又有不少本草著作,但大多简单,缺少新知识。只有赵学敏的《本草纲目拾遗》具有较高的学术价值。

赵学敏是清代杰出的药物学家。他一生尽力于药物学的研究,先后研读了大量文献,仅《本草纲目拾遗》中就引证医药书达二百八十二种、经史百家之书达三百四十三种。其中包括了当时罕见的钞本和珍秘本,例如汪连仕的《采药书》,李草秘的《海药秘录》、《百草镜》,王安娜的《采药志》等,这些资料反映的是当时民间用药的常识。他还经常外出,深入到民间,访医问药,在其书中有名有姓可考的就在二百人以上。他辑著《本草纲目拾遗》的目的很明确,即是拾遗补正《本草纲目》。该书共分十卷,依据《本草纲目》的体例分为:水、火、土、金、石、草、木、藤、花、果、谷、蔬、器用、禽、鳞介、虫等部,删去了人部,增加了藤部、花部;共收载药品九百二十一种,其中《本草纲目》未记载的有七百一十六种。这些新药基本上是李时珍未收录的民间药和已见于其他医药书的药物,部分为引进或进口的药品。总之,赵学敏继李时珍之后,对药学成就作了总结。《本草纲目拾遗》代表了清代本草学的最新成就。

《本草纲目拾遗》新增的无机药物有六十九种,绝大部分是外形不同的岩石,例如红色的“禹穴石”、黄色的“松化石”等,赵学敏并没有提及它们的化学性质。在新增的无机药物中,最引人注意的是“强

水”：“西洋人所造，性极猛烈，能蚀五金。王怡堂先生云：其水至强，五金八石皆能穿漏，惟玻璃可盛。西洋人造强水之法，药止七味。入罐中熬炼，如今之取露法（即蒸馏法——笔者），旁合以玻璃瓶而封其隙。下以文、武火叠次交炼，见有黑气入玻璃瓶中，水亦随气滴入。黑气尽，药乃成矣。”“此水性最猛烈，不可服食。西洋凡画洋画，必须镂版于铜上者，先以笔画铜，或山水人物，以此水渍其间一昼夜，其渍处铜自烂，胜于雕刻。”^①这里讲的“强水”应是硝酸，黑气大概指深褐色的四氧化二氮(N_2O_4)。关于强水的最早记载是明末徐光启为编《农政全书》而写的手札，它可能是徐光启在参加传教士汤若望、邓玉函等人讨论化学问题时的笔记。第二个谈到无机酸的是方以智。他在《物理小识》中说：“有砒水者，剪银块投之，则旋而为水，倾之盂中，随形而定。复取砒水归瓶。其取砒水法：以琉璃窑烧一长管，以炼〔砒〕砂取其气。”方以智笔下的“砒水”可能是盐酸。赵学敏是看过方以智著作的，他谈到方以智的“砒水”时说：“此砒水即强水也。”赵学敏对无机酸的清楚介绍在当时算是早的，也是很重要的，说明他已接受了中西药学交流的成果。

本草学虽然讲的是药物，实际上记载的是自然界的物质，主要是天然物质，极少数是人工合成的物质。在论及这些物质的性质时，必然要涉及它们的化学性质。由于本章主要是介绍其中无机化学的知识，因此像醋（主要成分是乙酸）、酒（主要成分是乙醇）、糖（主要成分是葡萄糖、果糖、乳糖等）、没食子酸、草酸等有机化学的知识就没有介绍。中国历代的本草著作众多，致使关于无机化学知识的记录也较分散。为了从总体上对本草著作中的无机化学知识有个直观的了解，为人们深入研究提供方便，现将一些无机化学物质在本草著作中的首次记载情况汇列于下表：

^① 清·赵学敏：《本草纲目拾遗》卷一“水部·强水”，世界书局1937年版。

类别	药物名	别名	首先记载的本草	主要化学成分	备注
金属元素	金	黄芽、太真	南北朝《本草经集注》	金 Au	
	银	白金	《本草经集注》	银 Ag	
	赤铜	红铜、赤金	《唐本草》	铜 Cu	
	铅	青金、黑锡	宋《日华本草》	铅 Pb	
	锡	白镞、翎	唐《本草拾遗》	锡 Sn	
	铁	黑金、乌金	汉《神农本草经》	铁 Fe	钢铁、铁粉、诸铁器的主要成分是不同的。
	水银	汞、瀦、姤女	《神农本草经》	汞 Hg	
非金属元素	石硫黄	黄硫砂	《神农本草经》	硫 S	
	石炭	煤炭、铁炭	明《本草纲目》	碳 C	
	金刚石	金刚钻	《本草纲目》	碳 C	
氧化物	磁石	玄石、处石	《神农本草经》	四氧化三铁 Fe_3O_4	
	代赭石	须丸、血师	《神农本草经》	三氧化二铁(赤铁矿) Fe_2O_3	
	禹余粮	太余粮	《神农本草经》	含水三氧化二铁 (褐铁矿) $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	
	铅丹	黄丹、丹粉	《神农本草经》	四氧化三铅 Pb_3O_4	
	密陀僧	没多僧	《唐本草》	一氧化铅 PbO	杂有 $PbCO_3$
	砒石	信石、砒霜	宋《开宝本草》	三氧化二砷 As_2O_3	
	白石英	(包括紫石英)	《神农本草经》	二氧化硅 SiO_2	
	无名异		《开宝本草》	二氧化锰 MnO_2	
	石灰	石垩、垩灰	《神农本草经》	氧化钙 CaO	

(续表)

类别	药物名	别名	首先记载的本草	主要化学成分	备注
硫化物	自然铜	石髓铅	《开宝本草》	二硫化铁(黄铁矿) FeS_2	
	丹砂	朱砂	《神农本草经》	硫化汞 HgS	天然产品
	灵砂	银朱、二气砂	宋《证类本草》	硫化汞 HgS	人造品
	铜矿石		《唐本草》	硫化铜 CuS	
	雄黄	磺、熏黄	《神农本草经》	二硫化二砷 As_2S_2	
	雌黄	黄龙血	《神农本草经》	三硫化二砷 As_2S_3	
	磐石	鼠乡、固羊石	《神农本草经》	砷黄铁矿 FeAsS	《唐本草》的“握雪磐石”应同一成分。
氯化物	戎盐	青盐、石盐	《神农本草经》	氯化钠 NaCl	尚有“光明盐”等不同名称。
	卤咸	卤盐、寒石	《神农本草经》	氯化镁 MgCl_2	杂有 NaCl
	水银粉	汞粉、轻粉	宋《嘉祐本草》	氯化亚汞 Hg_2Cl_2	
	粉霜	水银霜	《本草纲目》	氯化汞 HgCl_2	
	硝砂	硃砂、狄盐	《唐本草》	氯化铵 NH_4Cl	
	绿盐	盐绿	《唐本草》	氯化铜 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	还可能为碳酸铜。
硫酸盐类	朴消	芒硝、马牙消	《神农本草经》	硫酸钠 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	玄明粉亦朴消。
	石胆	胆矾、立制石	《神农本草经》	硫酸铜 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	又名“矾石”，白青似指部分风化的硫酸铜。
	石膏	寒水石、细理石	《神农本草经》	硫酸钙 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
	绿矾	皂矾、青矾	宋《日华本草》	硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	

(续表)

类别	药物名	别 名	首先记载的本草	主要化学成分	备 注
硫酸盐类	黄 矾		《本草纲目》	硫酸铁 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	
	白 矾	矾 石	《神农本草经》	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	“矾石”一名又指硫酸铜。
碳酸盐类	石钟乳	孔公孽及殷孽系同类物	《神农本草经》	碳酸钙 CaCO_3	方解石、珊瑚、石燕亦均碳酸钙。
	炉甘石	炉 先 生	明《本草品汇精要》	碳酸锌 ZnCO_3	
	扁 青	石青、梅花片	《神农本草经》	碱性碳酸铜(蓝铜矿) $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$	
	绿 青	石绿、大绿	《神农本草经》	碱性碳酸铜 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$	曾青和空青似与此物化学成分相同。
	粉 锡	铅粉、胡粉	《神农本草经》	碱性碳酸铅 $\text{Pb}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{PbCO}_3$	
	花乳石	花 蕊 石	宋《嘉祐本草》	白云石 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	
	冬 灰	藜 灰	《神农本草经》	碳酸钾及碳酸钠 K_2CO_3 及 Na_2CO_3	
硅酸盐类	玉 玄 真		《本草经集注》	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	白玉髓、青琅玕等物的成分大体相同。
	阳起石	羊 起 石	《神农本草经》	$\text{Ca}(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_3(\text{SiO}_3)_4$	
	不灰木	无 灰 木	《开宝本草》	石棉 $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7$	滑石亦系复杂硅酸镁盐。
其他化合物类	蓬 砂	盆 砂	《日华本草》	硼砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	
	强 水		清《本草纲目拾遗》	硝酸 HNO_3	

(续表)

类别	药物名	别名	首先记载的本草	主要化学成分	备注
其他化合物类	消石	焰消、火消	《神农本草经》	硝酸钾 KNO_3 (杂有 NaNO_3)	《神农本草经》对于硝酸盐和硫酸盐似未能区别。
	铁华粉	铁霜	《开宝本草》	醋酸亚铁 $\text{Fe}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	此三物虽含有有机酸根,但主要部分系金属元素,故列入无机物。
	铅霜	铅白霜	《日华本草》	醋酸铅 $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	
	铜青	铜绿	《嘉祐本草》	碱性醋酸铜 $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	

注:本表录自袁翰青:《中国化学史论文集》,三联书店 1956 年版,第 255—257 页。

第五章 金丹术

金丹术,又称为“炼丹术”,在古希腊、印度、阿拉伯及西欧各国亦称为“炼金术”。它是指一种希图制取出能使人长生不死的仙药或试图把一些廉价的金属借助于“仙药”的点化,转变为贵重的黄金、白银的活动。这种活动追求长生不死和发财致富,正迎合了一些帝王、贵族的愿望,因而得到他们的鼓励和资助,在古代很长一段时间里相当活跃。可是,终因这是一种超越客观现实的幻想而归于失败。但是那些虔诚地从事炼丹实验活动的人们,为后人认识许多化学物质(包括某些有价值的化学药剂和合金)和化学反应,为后来化学学科的形成和发展积累了相当丰富的经验,所以众多的科学史家都认为金丹术应被看作是化学学科的先声,即金丹术是化学学科的原始形态。

第一节 金丹术的兴起

春秋战国时期,通过巫术和巫医的祝祷、驱鬼、符咒等活动企图达到人与神的“通话”,从而企求长生不老的人们,把这种希望寄托于仙药。一些神话传说,也反映了时人的这种愿望。例如后羿从西王母处得到不死之药,嫦娥偷吃后,便飞奔到月宫成为月中仙子。又如有

萧史、弄玉这一对传说中的神仙夫妇，萧史曾炼飞云丹，并给弄玉一些丹药，服食后，萧史乘龙，弄玉乘风，升天而去。在诸侯贵族、巫师方士的鼓吹下，这种长生说、不死药的观念很快地流传开来。据史书记载，齐威王、齐宣王、燕昭王都曾遣人入海寻仙求药。《韩非子·说林上》就记载了一方士向楚荆王献不死之药的故事：“有献不死之药于荆王者，谒者操之以入。中射之士问曰：‘可食乎？’曰：‘可’。因夺而食之。王大怒，使人杀中射之士。中射之士使人说王曰：‘臣问谒者，曰可食，臣故食之，是臣无罪而罪在谒者也。且客献不死之药，臣食之而王杀臣，是死药也，是客欺王也。夫杀无罪之臣而明人之欺王也，不如释臣。’王乃不杀。”这具有讽刺意味的故事，说明炼丹术在战国时期已见萌芽。

秦始皇在统一六国之后，便迫不及待地追求神仙不死药，曾陆续地“遣徐市(福)发童男女数千人入海求仙人”，“使燕人卢生求羡门、高誓”，“因使韩终(众)、侯公、石生求仙人不死之药”，还“召文学方术士甚众，欲以兴太平，方士欲练(炼)以求奇药”(《史记·秦始皇本纪》)。西汉桓宽在《盐铁论》卷六中评论说：“当此之时，燕齐之士释锄耒，争言神仙方士，于是趣咸阳者以千数，言仙人食金饮珠，然后寿与天地相保。”可见秦代就有服食黄金、饮珠玉浆可得长生的说法。据考当时的“韩终丹法”、“羡门子丹法”都是以蜜或酒拌合丹砂吞服。所以“炼丹”最初的含义和内容大概是升炼丹砂。

西汉初年在统治者的支持下，金丹术获得广泛的发展。据《汉书·景帝纪》载：中元六年(前144年)“十二月，改诸官名。定铸钱、伪黄金弃市律。”汉景帝颁布“伪黄金弃市律”是因为文帝五年(前175年)后，“民先时多作伪金”。点化“黄金”正是金丹术的活动之一，可见其已蓬勃兴起。到了汉武帝时(前140—前87年)，政治强盛、经济繁荣的局面远远超过了秦代，汉武帝求仙求药之心更炽。他在宫廷里养了不少方士为其炼制仙药。他宠信的方士见于《史记》、《汉书》者有少

翁、栾大、宽舒、公孙卿等,其中最重要者叫李少君。《史记·封禅书》记载说:“是时李少君亦以祠灶、谷道、却老方见上,上尊之。”李少君对汉武帝说:“祠灶则致物,致物而丹砂可化为黄金,黄金成,以为饮食器则益寿,益寿而海中蓬莱仙者乃可见,见之以封禅则不死,黄帝是也。”汉武帝听后,开始“亲祠灶,遣方士入海求蓬莱安期生之属,而事化丹沙、诸药齐(剂)为黄金矣。”司马迁的这段叙述,是关于炼丹活动的最早最确切的记载。

在汉武帝的支持下,民间兴起了一股炼丹热潮:“海上燕齐之间莫不扼腕而自言有禁方能神仙矣。……齐人之上疏言神仙奇方者以万数,然无验者。”豪强贵族更是热衷此道,例如汉武帝的叔辈淮南王刘安也“招致宾客之士数千人”,其中就有自称能“煎泥成金,凝铅成银,水炼八石,飞腾流珠”的炼丹方士。据说刘安曾将搜集来的“丹方”认真记录整理,秘藏于枕中,后来撰成《枕中鸿宝苑秘书》。《汉书·淮南王传》说他“作内书二十一篇,外书甚众,又中篇八卷,言神仙黄白之术,亦二十余万言”。可见在西汉已有关于金丹术的专著问世,可惜这些书大都已经失传。现在能看到的是《淮南子》、《淮南万毕术》的辑本,书中确能找到一些有关炼丹原料丹砂、汞、铅、曾青、雄黄等及其性能的记载。

此后,汉宣帝、汉成帝、汉哀帝以及王莽都是笃信神仙方术的人。例如宣帝刘询(前91—前49年)曾命刘向制造黄金以充实国库。刘向习闻刘安秘术,但还是因炼金不成而获罪入狱。

第二节 金丹术的发展

东汉顺帝时沛国丰人张陵(后称张道陵,34—156年)创立了道教。道教将神仙术与《老子》书中“谷神不死”、“玄牝之门”等神秘思想

结合起来,从而使金丹术有了更广泛的社会基础。一些“不得志”的士人,为了逃避现实或取悦于统治者,也加入到了炼丹者的队伍。方士演变为道士,一部分道士致力于炼丹活动。他们选深山幽谷、穷乡旷野等无人之地,合炼神丹大药。当时他们修炼的足迹遍及华、泰、嵩、终南、女儿、峨嵋、云台、青城、罗浮、天台、少室等二十八座名山。这些地方后来都成了道教的“圣地”。从事炼丹活动的道士被称为“金鼎仙丹派”。另一些道士主要从事预卜吉凶、画符驱鬼等活动,被称为“讖纬符咒派”,他们在当时的民众中也很有市场。金丹术和道教的结合,使它在三国、两晋、南北朝、隋、唐、五代直到宋代都得到相当的发展。

东汉末年著名炼丹家魏伯阳所撰的《周易参同契》中提到:“火记六百篇,所趣等不殊。”“古记提《龙虎》,黄帝美金华。”可以推测当时已有六百篇炼丹著作和托名黄帝所写的《龙虎经》了。据今人陈国符考证,在现存的丹经中,属于汉代问世的有《三十六水法》、《太清金液神气经》(即今本《太清金液神气经》上卷)、《黄帝九鼎神丹经》、《太上八景四蕊紫浆五珠绛生神丹方》、《周易参同契》等^①。《三十六水法》中记述了溶解三十四种矿物和两种非矿物的五十四个方子,从方子中可看到当时已利用硝石和醋的混合液来溶解某些金属或矿石。《黄帝九鼎神丹经》中记载了九种神丹大药的炼制方法。根据所用的原料,可知它们的主要成分是丹砂、雄黄和黄丹。《周易参同契》被后世尊为“万古丹经王”,是世界上最早的金丹术理论著作。^②

东汉末年还有一个叫狐刚子的炼丹大师,他的著述也反映了东汉金丹术所取得的成就。据明《正统道藏》中零星记载,狐刚子的著述有《五金粉图诀》、《出金矿图录》、《河车经》、《玄珠经》等。可惜这些书都已散佚,部分内容为《黄帝九鼎神丹经》等书所转录而得以保存。在

① 陈国符:《〈道藏经〉中外丹黄白法经诀出世朝代考》,《中国科技史探索》,上海古籍出版社1982年版。

② 关于魏伯阳和《周易参同契》,本章第6节有专门介绍。

《出金矿图录》中,狐刚子首次记录了冶炼金银的“吹灰法”和金银分离法、金银灰制作法及用胆矾干馏制取硫酸的方法。在《五金粉图诀》中有中国古代炼汞和制铅丹法的最早记录。^①

根据《后汉书·方术列传》和《三国志》、《魏书》等史籍记载,曹操等豪强也曾罗致道士从事炼丹。晋哀帝(341—365年)为了防止衰老,沉迷于饵服金丹,结果在二十五岁便中毒身亡。北魏道武帝拓跋珪(371—409年)于天兴三年(400年)在京师设立仙坊,“置仙人博士官,典煮炼百药”(《魏书·官氏志》),“令死罪者试服之,非其本心,多死无验”。拓跋珪并没有因此而灰心,“而炼药之官,仍为不息”(《魏书·释老志》)。他最后因服五石散,精神失常而死。北魏太武帝拓跋焘(424—452年)、孝文帝拓跋宏(471—499年)都曾派遣大臣,征召方士,为其炼制金丹,妄图获得延年法,结果都以失败告终。北齐文宣帝高洋(550—559年在位)对服食金丹就较谨慎,“有张远游者,文宣时,令与诸术士合九转金丹。及成,帝置之玉匣云:‘我贪人间作乐,不能飞上天,待临死时取服’”(《北史·艺术上》)。可见他虽命炼丹,但不敢服食。

从东汉末年至魏晋南北朝,金丹术因有统治者的扶助而继续发展。这时期著名的炼丹家有左慈、甘始、东郭延年、封君达、王真等,其中的代表人物当推葛洪和陶弘景。葛洪(283—343年)不仅总结了前人的炼丹成果,而且创造性地发展了金丹术,在理论和实践上都是集汉魏时代金丹术之大成者^②。陶弘景(456—536年),字通明,晚号华阳隐居,丹阳秣陵(今江苏南京)人。“幼得葛洪《神仙传》,便有养生之志,读书万余卷。……尤明阴阳五行、风角星算、山川地理、方图产物、医术本草。”他曾为梁武帝萧衍(464—549年)炼过丹:“武帝既早与之游,及即位后,恩礼愈笃,书问不绝,冠盖相望。弘景既得神符秘诀,

① 赵匡华:《狐刚子及其对中国古代化学的卓越贡献》,《自然科学史研究》第3卷第3期。

② 有关葛洪的生平事迹,本章第6节有专门介绍。

以为神丹可成,而苦无药物。帝给黄金、朱砂、曾青、雄黄等。后合飞丹,色如霜雪,服之体轻。及帝服飞丹有验,益敬重之。每得其书,烧香虔受。……天监(502—519年)中,献丹于武帝。中大通(529—534年)初,又献二刀,其一名善胜,一名威胜,并为佳宝。”(《南史·隐逸下·陶弘景》)陶弘景的著作有《孝经》、《论语集注》、《帝代年历》、《本草经集注》、《效验方》、《肘后百一方》、《古今州郡记》、《图象集要》、《玉匱记》、《七曜新旧术疏》、《占候》、《合丹法式》等学苑百卷及撰而未讫又十部,由于“其秘密不传”,所以无法确定他有多少炼丹著作。目前可以从他著述的《本草经集注》中窥见他对金丹术的贡献。例如,他最早记载了采用火焰分析法来鉴定钾盐,是最早将氧化汞与硫化汞区分开来的炼丹家。他还指出汞粉即水银粉,最能去虱,这是利用氧化汞作为杀虫药物的先声。^①

大约从隋代以后,金丹术逐渐形成了两个派别。一派强调修炼五金八石,炼制丹药,以外来的药力捍人强壮,所以这派叫“外丹派”。另一派为隋代罗浮山道士苏元明(青霞子)最先倡导,继承了中国传统的气功,主张实行心肾交会,精气搬运,存神闭息,吐故纳新,认为“气能存生”,所以这派叫“内丹派”。苏元明著有《旨道篇》一卷、《龙虎金液还丹通玄论》一卷、《宝藏论》一卷、《太清石壁记》三卷(后经唐人楚泽修订)^②。其中他记载的以硫黄和水银为原料升炼“太一小还丹”的配方,是现存炼丹著作中关于人工合成硫化汞的最早明确记载。《宝藏论》记载了以雄黄、雌黄、砒霜点化砷白铜和砷黄铜的秘诀。

金丹术在唐代发展到鼎盛时期。由于唐皇室姓李,声称是道教教主老子李聃的后裔,于是奉道教为国教。李唐皇室的历朝皇帝几乎都宠信方士,热衷于神仙方术,追求长生不老方。到玄宗时,为了打击原

^① 《重修政和经史证类备用本草》,人民卫生出版社1957年影印晦明轩刻本,第111页。

^② 陈国符:《道藏源流续考》,台北明文书局1983年版。

武后所依靠的门阀势力,更实行崇道抑佛的政策,加封老子为“大圣高上道金阙玄元皇帝”,册封道教创始人张道陵为“太师”。开元中又“发使搜访道经,纂修成藏,目曰《三洞琼纲》,总三千七百四十四卷”。天宝七载(748年),“诏传写,以广流布”。这便是后世历代《道藏》大丛书的开端。

据《旧唐书·西戎》记载:贞观二十二年(648年),得“天竺”方士那罗迺娑婆寐“自言寿二百岁,云有长生之术,太宗深加礼敬,馆之于金鸢门内,造延年之药。令兵部尚书崔敦礼监主之。发使天下,采诸奇药异石,不可称数。延历岁月,药成,服竟不效。”其后,唐高宗也想服食胡僧庐伽阿逸多的丹药,郝处俊谏曰:“先帝令胡僧那罗迺娑婆依其本国旧方,合长生药。胡人有异术,征求灵草秘石,历年而成,先帝服之,竟无异效,大渐之际,名医莫知所为。时议者归罪于胡人,将申显戮。又恐取笑夷狄,法遂不行。”(《旧唐书·郝处俊传》)所以太宗之死,实由服丹药所致。后来的唐代皇帝因服食丹药中毒身亡的还有宪宗、穆宗、武宗、宣宗。

皇帝如此迷信丹药,文臣武将随之效法的也不少。唐代文学家韩愈在《故太学博士李君墓志铭》中写道:“太学博士顿丘李于,余兄孙女婿也。……初于以进士为鄂岳从事,遇方士柳泌,从受药法,服之往往下血。比四年,病益急乃死。其法以铅满一鼎,按中为空,实以水银,盖封四际,烧为丹砂云。余不知服食说自何世起,杀人不可计,而世慕尚之益至,此其感也。在文书所记,及耳闻传者不说,今直取目见,亲与之游,而以药败者六七公,以为世诫。工部尚书归登、殿中御史李虚中、刑部尚书李逊、逊弟刑部侍郎建、襄阳节度使工部尚书孟简、东川节度御史大夫卢坦、金吾将军李道古,此其人皆有名位,世所共识。”^①韩愈责怪这些人为丹药所惑,并告诫人们不要轻信饵丹能长生的“服食说”。然而到了晚年,他本人也被以硫黄炼成的丹药所误。白居易在其《思

^① 马其昶:《韩昌黎文集校注》,上海古籍出版社1957年版,第319—320页。

旧》诗中说：“退之(韩愈)服硫黄，一病讫不痊；微之(元稹)炼秋石，未老身溘然；杜子(杜牧)得丹诀，终日断腥膻；崔君(崔玄亮)夸药力，经冬不衣棉，或疾或暴夭，悉不过中年。唯余不服食，老命反迟延。”从白居易的其他一些诗文中，可以清楚看出他本人也曾与不少方士结交。他对《参同契》有很大的兴趣，曾师从郭虚舟学得《参同契》的秘诀。大约在四十三岁时，和元稹一起在郭虚舟指导下炼丹，结果失败，感到失望，写下《烧药不成命酒独醉》诗一首：“白发逢秋生，丹砂见火空。不能留姹女，争免作衰翁。赖有杯中缘，能为面上红。少年心不远，只在半酣中。”可见白居易并没有对长生不老药失去信心，而是他相信自己与仙道无缘。至于一般道士、百姓惑于丹药而致死者，虽史无记载，当不可胜数。

唐代著名的金丹家有孙思邈、孟诜、陈少微、张果、金陵子、梅彪等，其中当推孙思邈为其代表人物。孙思邈(约581—682年)是京兆华原(今陕西耀县)人，像葛洪、陶弘景一样，也是医药学家兼炼丹家。他最重要的炼丹著作是《太清丹经要诀》。该书列出了十八种秘方，可炼制十四种不同的丹药。其中记载的“伏雌雄二黄用锡法”，既可以制取单质砷，又是炼制彩色金(SnS_2)的新方法。“造良雪丹法”是炼制甘汞的方法，“七返丹砂法”则以水银一味在空气中焙烧而制得氧化汞。在孙思邈的医药著作中也吸收了炼丹的成果。例如在《千金翼方》中的“飞水银霜法”是以水银、食盐、黄矾、锡、朴硝、太阴玄精等为原料升炼甘汞的方法，《千金要方》中的“太一神精丹方”是以磁石、雄黄、雌黄等为原料制取砒霜的方法。

孟诜(621—718年)是孙思邈的弟子，汝州梁人。他根据伪金多数是铜的某种合金的知识，提出：“此药金(指伪金)也，若烧火其上，当有五色气。”^①意即伪金火烧时火焰中有亮绿色的焰色反应。这是

^① 赵匡华：《我国古代的金银分离术与黄金鉴定》，《化学通报》1984年第12期。

一个重大发现。

现存唐代金丹术的主要著作有：陈少微的《大洞炼真宝经修伏灵砂妙诀》、《大洞炼真宝经九还金丹妙诀》，金陵子的《龙虎还丹诀》，张果的《玉洞大神丹砂真要诀》，张九垓的《张真人金石灵砂论》，梅彪的《石药尔雅》，金竹坡的《大丹铅汞论》以及无名氏的《阴阳九转紫金点化还丹诀》、《太上卫灵神化九转丹砂法》、《上洞心丹经诀》、《玉清隐书》、《红铅入黑铅诀》、《金石簿五九数诀》、《玄解录》、《黄帝九鼎神丹经诀》、《阴真君金石五相类》、《白云仙人灵草歌》、《蓬莱山西灶还丹诀》、《太古土兑经》、《太上圣祖秘诀》、《金丹秘要参同录》等。其中《石药尔雅》是世界上最早的一部金丹术词典。它记载了九十八种丹药，收录外丹经九十七部，列出一百六十三种炼丹用的药物及其隐名，因而这部书部分地反映了当时金丹术的盛况。

五代及宋代时金丹术仍很盛行。有关理论、实践、著述各方面都有所发展。赵宋王朝的皇帝中不少是荒淫昏庸之徒，迷信神仙方术，恩宠道士。例如宋徽宗就崇信道教，自封为“教主道君皇帝”。宋张邦基在《墨庄漫录》卷三中记载：“章圣（宋真宗）时炼丹一炉，在翰林司金丹阁，日供炭五秤。至（宋神宗）熙宁元年（1068年），犹养火不绝。……张忠定公安道居南都，炼丹一炉，养火数十年。丹成，不敢服。时张刍圣民守南都，羸瘠殊甚，闻有此丹，坚求饵之。安道云：‘不敢吝也，但此丹服火之久，不有大功，必有大毒，不可遽服’。圣民求之甚力，乃以一粒如粟大以与之，且戒宜韬藏，慎勿轻饵。圣民得之即吞焉。不数日便血不止，五脏皆糜溃而下，竟死云。二事闻之刘延伸。”宋王辟之的《澠水燕谈录》卷九记载：汀州人王捷知道“黄金术”，“尝以药金银献上（宋真宗），以助国费。卒赠岭南节度使。世谓之烧金王先生”。宋陆游在《老学庵笔记》卷九中记载：“（徽宗）宣和末，又以方士刘知常所炼金轮，颁之天下神霄宫，名曰神霄宝轮。知常言，其法以汞炼之成金。”“少年妄意学金丹”，“少时喜方药”的陆游对炼丹术较

熟悉,且结识了不少金丹家,寻访过许多炼丹遗址,并亲自在青城山进行炼丹实验。在他那一万多篇诗、词、文章中有二百多篇同金丹术有关。他曾为《饵松菊法》和《坐忘轮》两部道经作跋。但是陆游也和当时的许多人一样,“金丹炼成不肯服”,而是“危至服丹头”,就是说他平时不肯服食炼成的金丹,直到病危时才试服。

宋初在张君房的主持下,曾将唐玄宗时汇集道教经典的《三洞琼纲》编修成《大宋天官宝藏》。宋徽宗时下令进一步搜辑道经,使其从四千五百六十五种增至五千三百八十七种,并在1111—1117年间把它刊印出来,定名为《万寿道藏》。这就是中国第一套木版印刷的《道藏》。现存的宋代金丹术的主要著作有:程了一的《丹房奥论》,吴悞的《丹房须知》、《指归集》,白玉蟾、彭耜受的《金华冲碧丹经秘旨》及无名氏的《真元妙道要略》、《上清经真丹秘要》、《诸家神品丹法》、《修炼大丹要旨》、《灵砂大丹秘诀》、《太上灵砂大丹》等。

第三节 金丹术的衰落

耳闻目睹历代惨痛的服丹之祸,有所觉悟的明智之士越来越多。大约自南宋起,金丹术逐步走下坡路了。一些文人学者,包括一些比较实事求是的道士陆续发表了怀疑和驳斥炼丹和黄白术的议论。《本草衍义》作者、宋代医官寇宗奭就对服食金属、水银、丹砂提出了严肃的警告和劝戒,指出:“生金有毒,至于杀人,仍为难解。”“丹砂但宜生使炼服,少有不作疾者。”“水银入药虽各有法,极须审慎,有毒故也。”《真元妙道要略》的作者也说:“余窃闻见学人不遇明师,误认粪秽,错修铅汞,损命破家,其数不可备举。”作者在列举了各种神丹、黄白之方以后,接着说:“其前件所用,迷错为道之人轮年修炼,皆是费财破家,损身丧命,伤风败教。”南宋末年文人俞琰在《炉火鉴戒录》中,列

举了《华严经》、《梦溪笔谈》、《尚书故实》、《睽车志》等中所谈及的药金后痛斥道：“果皆有之乎？曰：幻也，何谓幻，诡怪妄诞也。”他援引了徐卿《涉世录》中一段话以提醒世人，“破布衣裳破布裙，逢人便说会烧银，君还果有烧银术，何不烧银自养身”。总之，一些方士经过认真总结，发现所有的药金药银都不具备天然金银的优异性能，一切努力终归于徒劳，因而不得不承认千百年来黄白术是一部失败的纪录。

外丹黄白术的声名狼藉使这种活动明显地衰落下去。与此同时，内丹派逐渐占了上风。元代的炼丹术就以内丹术为主，外丹黄白术已经式微。加上元朝统治者信奉佛教的支派喇嘛教，道教受到排斥，连元初（1245年）刊印的凡七千八百余卷的道教经典总集《玄都宝藏》也被焚毁，可见金丹术的没落。

由于经汉唐以来千余年的发展，金丹术和道教活动的场所已遍布全国的深山幽谷，尽管元朝统治者的歧视排斥，但是它的活动仍有人继续，所以仍出现一些重要的金丹术著作。其中最重要的是《庚道集》，它收录元代及元以前的一些外丹黄白术的著作和方法，是《道藏》中记载各种炼丹法的最详细的一部书，全书分为九卷，文字在六万言以上。

明朝建立以后，由于不少君王仍然追求长生益寿，金丹术出现了一段复兴景象，可以称之为“回光返照”。明太祖朱元璋曾派人查访著名道士，期望获得长生的秘诀。他要查访的道士中就有民间传颂的张三丰等人。明成祖朱棣即位后，也派人寻访张三丰，但和朱元璋一样徒劳无功。以后的仁宗朱高炽、宣宗朱瞻基、英宗朱祁镇、宪宗朱见深、世宗朱厚熜都崇信丹药。据《明史·王金传》记载，明世宗求长生，王金与“申世文及陶世恩、陶仿、刘文彬、高守中伪造诸品仙方”，“与所制金石药并进，其方诡秘不可辨，性燥，非服食所宜。帝御之，稍稍火发，不能愈”。“未几，帝大渐。遗诏归罪金等”。

明世宗服丹致死进一步使金丹术声名狼藉，使越来越多的人认

识到,长生不老之说乃是欺人之谈。那些兼通医术的金丹家遂将金丹术转到另一个方向,即将丹药从内服转向外用。古代的丹药大多属于硫化汞、氯化汞、氧化汞三种类型,因而对某些疮疗等有明显的疗效。有些方剂虽然仍在内服,也因其明显地减少砒、汞等有毒物的剂量而降低了对人体的危害。这与唐宋时期丹药方剂中大量采用砒、汞化合物作配料有了根本的区别。明万历四十五年(1617年)陈实功所著《外科正宗》就记载了氧化汞类的丹药配方。据研究,至今中医外科仍在使用的红升丹、三仙丹等丹药都属氧化汞类丹剂,它们都是明代金丹家的研究成果。

金丹黄白术在清代进一步没落,这并不排斥仍有人抱住长生不老的观念不放。他们对服食仙丹虽然也十分谨慎,但是仍在迷恋仙丹。雍正皇帝胤禛就是一例。他喜欢与道士亲近,特别推崇紫阳真人,为之兴建道院,对该真人“发明金丹之要”尤为赞赏。他曾为炼丹作诗:“铅砂和药物,松柏绕云坛。炉运阴阳火,功兼内外丹。光芒冲斗耀,灵异卫龙蟠。自觉仙胎熟,天符降紫鸾。”(《清世宗诗文集》卷二六)像历史上的许多皇帝一样,雍正也在宫(圆明园)中养了一批炼丹家,其中有张太虚、王定乾等人。雍正死后第三天,新君乾隆即下令驱赶张太虚等道士,据分析雍正之死可能与服食丹药有关。

金丹术的衰败并不是说它一无是处。那些兼通医药的金丹家总结继承了经长期炼丹服食检验而确有疗效的一些丹药方剂。这些知识主要见于当时的一些中医典籍。有些秘方丹药,金丹家控制极严,每代只传授一人,别人只是在金丹家不慎泄密的情况下才能获知,例如他们所谓的“玄门四大丹”(乾坤一炁丹、金龟下海丹、混元丹、毒龙丹)即如此。

明清金丹术发展变化的情况中有一点应给予特别关注。这就是在明清时期中外文化的交流中,金丹术中的有用部分和世界各地的炼金术知识一起融入了近代化学的发展之中。

耶稣会传教士来华,一方面传入西方的科学和文化(包括西方炼金术知识),另一方面又通过报告、书信、专著及他们带回去的大量中国书籍,把中国的传统文化(包括中国金丹术所发现的成果)介绍到西方。尽管传教士并不是炼金家,但是他们带来了不少欧洲炼金术的著作,向中国学者介绍其中的化学知识。例如1612年意大利人熊三拔(Sabatino de Ursis, 1575—1620年)口授、徐光启笔述的《泰西水法》,1633年意大利人高一志(Alfonso Vagnoni, 1556—1640年)撰写、韩霖订正的《空际格致》,都介绍了西方的“四元素”学说,引起了中国学者关于“四行”与“五行”孰是孰非的广泛争论。在介绍西方近代科学技术中作出突出贡献的徐光启(1562—1633年)率先介绍了西方炼金术中的硫汞论和硝酸制法。中国的金丹家也很快地掌握了由他们介绍传入的蒸馏药露的技术,这促进了中国的炼丹术更好地长入制药的实践。

传教士关于中国金丹术的介绍引起欧洲学者的极大兴趣。曾热衷于炼金术,又为近代化学的奠基作出特殊贡献的英国科学家波义耳(Robert Boyle, 1627—1691年)在他的著作《关于黄金变贱的研究报告》中讲到,一个到过极其遥远东方(可能指中国)的旅行家向他介绍了东方化学家的精湛技艺,并给他一小包从东方带回的暗红色点化药剂。波义耳将这包药加到熔化的黄金中,得到一种像银的金属,并声称黄金变成了贱金属,以此说明金属衍变是完全可能的^①。另一名学者比勒在看了刊登在《伦敦皇家学会哲学会报》第十四期上一篇提及中国金丹术的文章后,写信给波义耳说:“我感到充满希望,因为这使我想到了,耶稣会传教士可以给我们翻译中国有关本草、植物、金石方面的主要书籍以及医学、化学等方面书籍。”《天工开物》、《本草纲目》作为中国古代科技的代表作在十八世纪就传流到欧洲,受到广

^① 曾敬民:《波义耳与中国》,《中国科技史料》第11卷第3期(1990年)。

泛的重视。这些史实表明中国金丹术的某些成果和其他相关的化学知识传到了西方,曾对由炼金术向近代化学转化的过程产生过影响。当然这种影响的大小尚待研究。

鸦片战争以后,西方近代化学迅速传入中国,那些久为金丹家、医士及工匠所熟知的化学现象和化学变化,用新的理论三言两语就解释得一清二楚。人们掌握了新的化学知识,对金丹家妄图炼制长生不老的仙药和变贱金属为金银的荒谬行为认识得更清楚了。而那些金丹术和制药实践中积累起来的有用知识则很自然地融入近代化学之中,丰富了近代化学的内容。

第四节 金丹术的理论和方法

金丹术的目的是炼制出能使人长生不老的仙丹或将普通金属通过神丹点化成黄金。为此,这些炼丹家就必须回答:用什么物质才能炼出使人长生不老的仙药?这样的仙药又怎样能使人长生不老?普通的金属为什么能点化成黄金?通过什么样的途径才能将它们点化成黄金?要回答这些问题,必须提出一套能自圆其说的理论和可操作的方法。这些理论和方法在中国古代漫长的一千多年里有个逐步形成、发展及演变的过程。

一、“假外物以自坚固”的丹药观

古代的方士认为,可以使人寿与天地相比的有两类物质:一是黄金,二是以丹砂为核心的许多鲜红色的丹药。故修炼神丹大药的理论与实践几乎都与黄金、丹砂直接或间接相关。正如葛洪所说:“余考览养性之书,鸠集久视之方,曾所披涉篇卷以千计矣,莫不皆以还丹(丹

砂)、金液为大要者焉,然则此二事盖仙道之极也。服此而不仙,则古来无仙矣。”(《抱朴子·内篇·金丹》)

汉初的金丹家李少君曾主张食金饮珠。他说:“丹砂可化为黄金,黄金成以为饮食器则益寿。”黄金作饮食器为什么会益寿呢?魏伯阳解释说,“金入于猛火,色不奇精光;自开辟以来,日月不亏明,金不失其重。”“金性不败朽,故为万物宝,术士服食之,寿命得长久。”(《周易参同契》)原来他们认为黄金益寿主要来自黄金的强抗蚀性。葛洪对此讲得更透彻:“夫五谷犹能活人,人得之则生,绝之则死,又况于上品之神药,其益人岂不万倍于五谷耶?……黄金入火,百炼不消,埋之毕天不朽”,服之则“炼人身体,故能令人不老不死,此盖假求于外以自坚固,有如脂之养火而不可灭;铜青涂脚,入水不腐,此是借铜之劲以杆其肉也”(《抱朴子·内篇·金丹》)。这种把黄金的抗蚀性机械地移植到人体中去以求长生的天真想法,在当时确能迷惑一些人,并使一些人深信不疑。然而人的血肉之躯怎能承受不朽重物久坠于肠胃?古代帝王、贵族及方士确有因饵服黄金而丧生的。例如李时珍在《本草纲目·卷八·金属》中就记载了“晋贾后饮金属酒而死”的史实。后来金丹家注意到直接服用黄金是行不通的,遂改服“药金”或“金液”,认为“药金”含有黄金之精气,胜过自然金:“金者,日之精也,积太阳之气薰蒸而成,性大热,有大毒,……若以此金作粉屑服之,销人骨髓,焦缩而死也。”“化作之金,乃是诸药之精,胜于自然者也。”金丹家认为制取药金的药物大都与金有关,如汞为“五金之母”,丹砂“内含金精”,雄黄“乃金之苗,而有金气”,铅“内怀金华”等,所以炼制和服食药金仍可以把金的抗蚀性转移到人体,而实现长生不老梦想。

天然丹砂具有的鲜红颜色被认为是一种灵异的象征。红色象征着血,进而与生命和灵魂联系起来,所以卜辞的甲骨文常用丹砂书写。人们看到丹砂“烧之成水银,积变又还成丹砂”,“烧之愈久,变化愈妙”。水银也被看作是一种神奇的物质,它具有金属光泽,其状如水

似银,见火则飞,不见尘埃。这正与方士希求“羽化飞升”的目的—致,因此“水银之母”丹砂被金丹家奉为至尊。在他们看来,丹砂与黄金又可以相互转化,因此饵服丹砂可兼得金与水银之精气而获长生。早期道书《铜柱经》说:“丹砂可为金,河车(铅)可作银,立则可成,成则为真,子得其道,可以仙身。”唐代的《上洞心丹经》也说:“若丹砂之为物也,是称奇石,最为上药,理细红润,其质坚固贞秘。积转越久,变化越妙,能飞能粉,能精能雪,能为真汞,能为还丹,能拒火,能化水,消之可以不耗,埋之可以不朽,灵异奇秘。……昔汉朝李少君者乃数百岁人也,不闻有他能,唯以丹砂做还丹,或以丹砂为金,以金为器盛食,以食资身,……借其坚贞,以驻年寿。”可见丹砂在金丹术中的地位。

由上述记载可见,金丹术的丹药观贯穿着“假外物以自坚固”和“以金养身”的指导思想。这一思想错误地把金石之坚实与人身体质强弱和生命能力这两种本质上不同的事物等同起来,把物质的物理、化学性质与人的生理、生命现象混同起来,从而造成金丹术流行史中长生者一无所见,而中毒损命者屡见不鲜的可悲现象。

二、以阴阳五行学说为统摄的药性论

金丹家的药性论,即对物质间相互作用的认识,是以阴阳五行学说为理论基础的。魏伯阳在《周易参同契》中说:“乾坤者,易之门户,众卦之父母。……复冒阴阳之道,犹工御者准绳墨,执衔辔,正规矩,随轨辙,处中以制外。”“日月为易,刚柔相当。”“乾刚坤柔,配合相包,阳禀阴受,雌雄相须。偕以造化,精气乃舒。”“物无阴阳,违天背元,牝鸡自卵,其雛不全。”他还以阴阳来贯穿五行,说:“五行守界,不妄盈缩,易行周流,屈伸反复。”“阳神日魂,阴神月魂,魂之与魄,互为室宅。……男白女赤,金火相拘,则水定火,五行之初。”这四字一句的韵

文说明,万物的产生和变化都是由阴(坤、雌)与阳(乾、雄)的彼此交媾,相须不离,使精气得以舒发的结果。

唐代张九垓在《张真人金石灵砂论》中进一步把阴阳学说指导炼丹的思想具体化:“大道冲融而包天地,驱策阴阳,成乎宙宇。天形阳而左旋,地质阴而右转,日为阳精而昼行,月为阴灵而夜流。……一阴一阳曰道。圣人法阴阳,夺造化,故阳药有七,金二石五,黄金,白银,雄、雌、砒黄,曾青,石硫黄皆阳药也;阴药有七,金三石四,水银、黑铅、硝石、朴消皆属阴药也。阴阳之药各禀其性而服之,所以有度世之期,不死之理也。”“还丹者,取阴阳之精,法天地造化之功,水火相济,自无入有,以成其形。岂若砂汞,孤阴为体,无阳配生,不能合四象,运五行,所以孤阴不育,寡阳不生,阴阳配合,方成还丹。”

明代的李时珍以简单明了的语言来重述金丹家的观点:“硫黄,阳精也;水银,阴精也。以之相配,夫妇之道,纯阴纯阳,二体合璧,故能夺造化之妙。而升降阴阳,既济水火,为扶危拯急之神丹,但不可久服尔。”(《本草纲目·卷九·灵砂》)这段话是讲述硫黄和水银的化合。这种阴阳相配、相制的见解与十九世纪初流行于欧洲化学界的“电化二元论”有相似之处,可是由于金丹家对药物的阴阳属性的划分原则是含混的,所以它在理论上不可能有进一步的发展。

早在汉代,金丹家已把五行学说移植到炼丹的理论中,《周易参同契》中有关的论述就比比皆是,如:“五行错王,相据以生,火性销金,金伐木荣”,“五行相克,更为父母”,“推演五行数,较约而不烦。举水以激火,奄然灭光荣”。五行说的移植为金丹术提供了一种理论解释,同时也增添了金丹术的神秘色彩。对于物质的某些变化运用五行相生说来解释也有一些合理性,但将五行与五味、五方、五色、五窍、五畜、五星、五谷、五音强行联系起来后,一并搬入金丹术的理论,那就显得十分荒诞可笑了。

三、加速金石进化的炼丹观念

金丹家从制陶、冶金、染色等生产实践中得到启发,认识到物质变化是自然界的普遍规律,据此魏伯阳在阐明炼丹的可能和合理时说:“自然之所为兮,非有邪伪道,若山泽气相蒸兮,兴云而致雨;泥竭遂成尘兮,火灭化为土;若黼染为黄兮,似蓝成绿组;皮革煮为胶兮,曲蘖化为酒。同类易施功兮,非种难为巧。”(《周易参同契》)他认为炼制仙丹和上述变化一样,只要遵循变化的规律就可以实现。葛洪也认为:“变化者,乃天地之自然,何为嫌金银之不可以异物作乎?”(《抱朴子内篇·黄白》)这种物质可变的思想贯穿在几乎所有的金丹术著作中,从而成为他们阐述“金可作,世可度”信念的理论基础之一。

金丹家还认为,有些物质是可以逐步完成向黄金的转变,甚至生成自然之仙丹的,只是时间要相当漫长而已。《淮南子·墜形训》中说:“黄埃(似指雄黄)五百岁生黄灏(指汞),黄灏五百岁生黄金;……。青曾八百岁生青灏,青灏八百岁生青金(铅);……。赤丹(丹砂)七百岁生赤灏,赤灏七百岁生赤金(铜);……。白晷九百岁生白灏,白灏九百岁生白金(银);……。玄砥(慈石)六百岁生玄灏,玄灏六百岁生玄金(铁)。”《太洞真宝经》则说:“自然丹砂有高下之别,分玉座、金座、天座。……天座是太上紫龙玄华之丹(即天然神丹)。……其玉座砂受得六千年阳灵之清精,则化为金座,……金座受一万六千年则化为天座。”由此可见,金丹家认为,天然金石物质会随着时间的推移,自然地朝着更加完善和精美的方向变化,此即所谓的“金石自然进化论”。金丹家还认为,炼丹就是在模拟天地阴阳造化的环境,辅之以水火相济的强化手段,加上祈祷上仙的护佑,就可以加快变化速度,缩短这一进程的时间。因此金丹家常言:“山中方七日,世上已千年。”这种炼出来的丹药由于凝聚了被压缩的时间,服用它之后,被压

缩的时间又释放出来,从而使服药者得以长生不老。宋人程了一在《丹房奥论》中就说:“一鼎可藏龙与虎,方知宇宙在其中。”

金丹家还从中国古代哲学中汲取了一些观念加以发挥而作为炼丹的理论根据,例如元气学说、相类学说等。总之,金丹术的理论是很复杂的,既有承认世界是物质的,物质变化是自然界普遍规律的朴素唯物论思想,又有求神成仙、长生不老等迷信成分。

四、金丹术的方法和设备

炼丹的方法有火炼、水炼两种,火炼占十之八、九,水炼只占十之一、二。火炼法大致有以下几种:炼:指对干燥物质加热,此过程也可能有化学反应。广义的炼则是指全部人为的物质变化。煅:长时期地高温加热。炙:将物质进行局部烘烤。熔:熔化。抽:即蒸馏。飞:就是升华。伏:是指经过加热使物质变性。水炼法大致上有以下几种:化:溶解或溶化物质。淋:指用水溶解出固体物质的一部分。煮:将物质放在水中加热。熬:将物质放在水中长时间加热。渍:用冷水在盛物质的容器外降温。此外,有些方法在火炼或水炼中都可用,例如:点:指加小量的药物,能使较大量的物质发生变化。养:物质长期在低温下加热。封:让反应物质静置或埋于地下一段时间。在火炼法中最常用的是升华法,大多数炼丹都使用这一技术。

金丹家认为:合丹当于名山之中,无人之地,结伴不过三人。所以炼丹场所的选择十分重要,必须清静无人,对此《抱朴子·金丹篇》、《黄帝九鼎神丹歌诀》等炼丹著作中都有详细说明。炼丹的器具是放在一个土台上,这个小小的土台,金丹家称其为“坛”。坛的样式是有一定法度的,《大洞炼真宝经九还金丹要诀》、《感气十六转金丹》、《丹房须知》、《葛仙翁火龙经》等书上都有记载(见图5-1)。在坛上要筑炉,也就是灶,《丹房须知》说:“鼎若无炉如人无宅何以安居。”对此

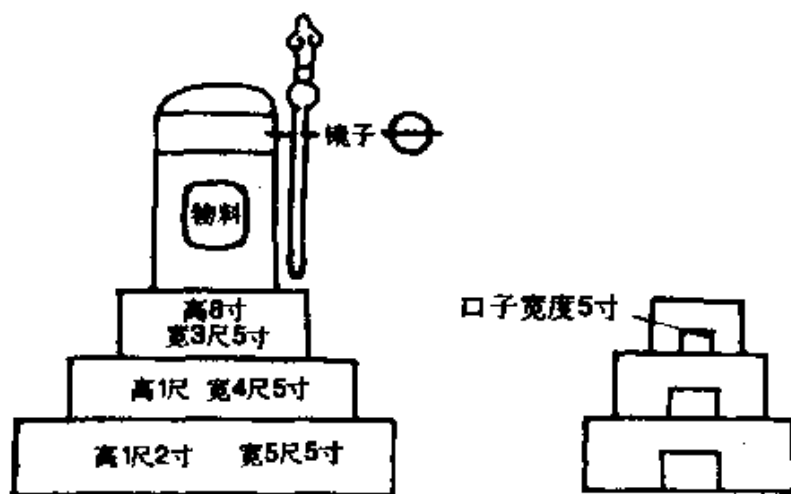


图 5-1 坛(丹台)

(载《感气十六转金丹》)

立坛：是炼丹准备工作的重要一项。炉安在坛上，所以坛的样式讲究一定的法度。

丹炉，《金丹大要》、《太清石壁记》、《黄帝九转神丹经诀》、《稚川真人校证术》、《金华冲碧龙虎丹经》等书上不仅有详细记载，且都有简略图形（见图 5-2 至图 5-6）。丹炉之中或之上要放用金属或陶瓷做成的鼎，有时也称“匱”，即是炼丹中的反应室。《玉洞大神丹砂要诀》、《金丹大要》、《九转灵砂大丹》、《庚道集》等许多书中都有细致的图和说明（见图 5-7、图 5-8）。

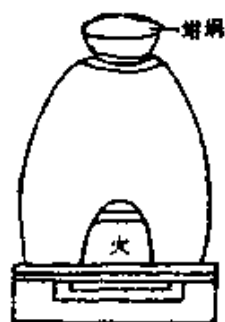


图 5-2 丹炉

(载《云笈七签》)

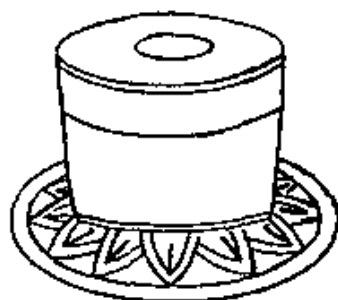


图 5-3 偃月炉

(载《上阳子金丹大要图》)

安炉：炉是承纳鼎的工具。又叫“丹灶”或“丹炉”。可以有多种设计。

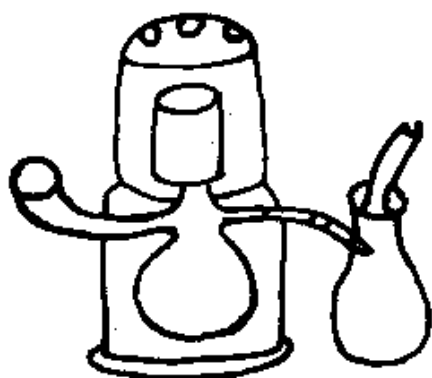


图 5-4 未济炉

(载《丹房须知》)



图 5-5 既济炉

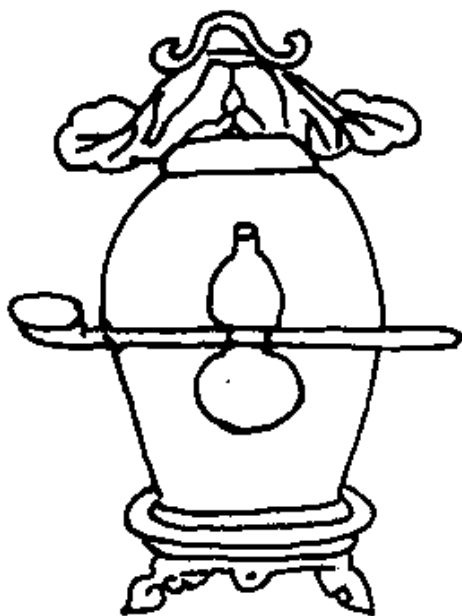


图 5-6 未济炉

(载《稚川真人校证术》)

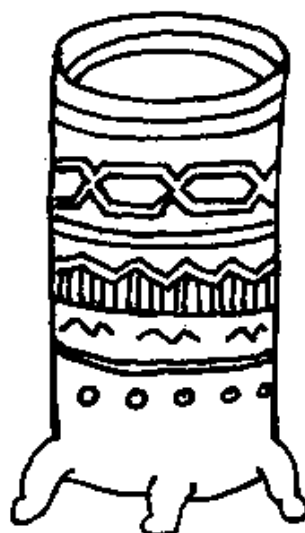


图 5-7 悬胎鼎

(载《金丹大要》)

置鼎，鼎和匱是一样的，它可用金、银、铜、铁、瓷作材料，样式根据反应需要而设计。

上述的设备是炼丹的主要设备，此外还有作为炉鼎或匱的附件或组成部分的升华装置、蒸馏装置、冷凝装置及研磨器等。古代炼丹中，升华技术主要用于炼汞。金丹家东汉末年发明的下火上凝式炼汞法和唐代中叶发明的上火下凝式炼汞法，都是使用了升华技术。古代炼丹中蒸馏技术用得不多，主要用于升炼水银，即抽砂炼汞的蒸馏装置(见图 5-9，宋吴悞的《丹房须知》)和制取花露水的蒸馏器。元代以

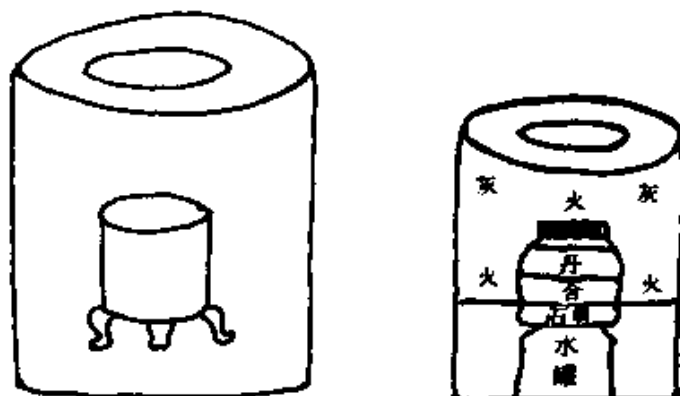


图 5-8 涌泉匱和丹合

(载《铅汞甲庚至宝集成》)

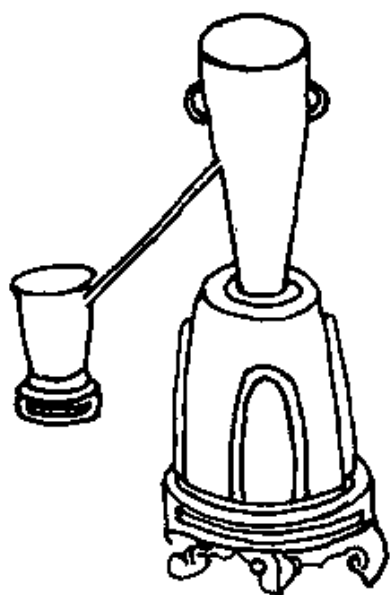


图 5-9 蒸馏器

(载《丹房须知》)

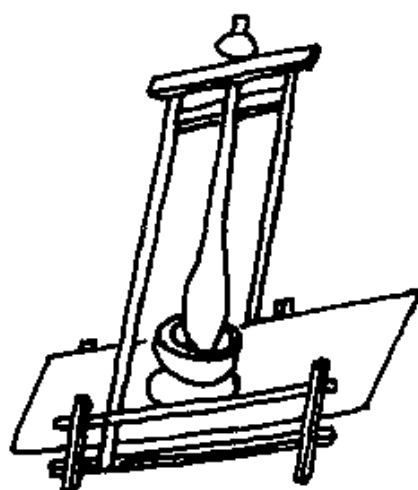


图 5-10 研磨器

(载《丹房须知》)

蒸馏器：主要是用于蒸馏水银的干馏器，还不是后来的蒸馏酒的蒸馏器。研磨器：使药物细碎，并在研磨中相互作用而化合或混合。

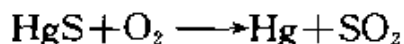
后，蒸馏技术由于借鉴了西方的先进技术而有了较快的发展，一是表现在蒸馏酒生产技术在中国得到推广，二是用蒸馏技术生产药露的方法为金丹家和制药者所掌握。中国古代炼丹讲究“水火相济”，所以很重视冷凝装置，上面讲的升华、蒸馏装置已包括了部分冷凝过程。

金丹家们还苦心构思,精心设计了一些比较复杂的冷凝装置,例如在《金华冲碧丹经秘旨》中就有带三个冷却管的鼎。研磨在炼丹中有两个作用:一是使药物细碎,便于混合和起化学反应,二是在研磨过程中就使几种药物得到化合,例如硫与汞的研磨。所以研磨也是金丹家较常使用的手段,对此《证类本草》、《丹房须知》等书中都有详细叙述。上面这些图都是从一些炼丹书中挑选出来的,以便读者对炼丹设备有个直观的认识。

第五节 金丹术的成就

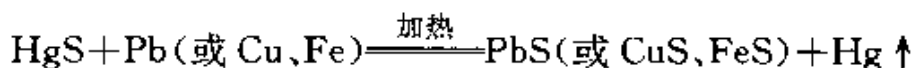
一、汞化学

丹砂是金丹术中的大药,金丹家为了炼制它,作了大量实验,因而积累了许多有关汞及其化合物的知识。首先应提到的是汞的升炼^①。自然界存在着天然水银,南朝陶弘景的《名医别录》,南宋范成大的《桂海虞衡志》,周去非的《岭外代答》对此都有明确记载。古代最早利用的水银可能是天然水银,但是这种水银产量极少。据记载,春秋战国时期和秦代的帝王,如齐桓公、吴王阖闾、秦始皇等的墓中都放置了大量的水银;战国时医药中也已用到水银,同时兴起的鍍金术也要消耗不少水银,天然水银难以满足需求。因此可以推测那时的人们已经知道从丹砂烧炼水银了。最初采用的方法应当是低温焙烧法,即在密闭的土釜中低温焙烧丹砂而获取水银。其化学反应如下:

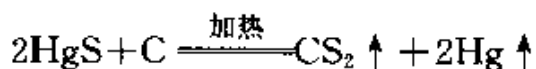


① 赵匡华:《我国古代“抽砂炼汞”的演进及其化学成就》,《自然科学史研究》第3卷(1984)第1期。

有关这种工艺的文字记载较晚,西晋张华的《博物志》、葛洪的《抱朴子内篇·金丹》中都说过“丹砂烧之成水银”,但无操作方法的介绍。直到唐人所辑《黄帝九鼎神丹经诀》中才有简略叙述。这种方法反应慢,水银蒸气损失大,工匠也易中毒。到东汉以后,金丹家就一直采取在密闭系统中加热分解丹砂、冷凝水银的新工艺,即在泥质或铁质的釜中,采用下火上凝的方式来炼制。这种方式要不断开釜扫取上凝的水银,因而生产效率也很低。这种方法经金丹家的努力,至唐代进而演进成上火下凝的“未济炉”式。所用的升炼设备,初时为简陋的“竹筒式”,到宋代改进为“石榴瓶式”,后来又专门设计了未济式的上火下水的铁质水火鼎。在此期间,金丹家又摸索到借助于铜、铁、铅来促进丹砂的分解,其化学反应变为:



到了南宋又有了水银蒸馏器。发展到明代开始采用大缸、铁质导管制成的大型蒸馏器来升炼水银。这时所用的还原剂也改用廉价的木炭,其分解反应则为



对此,宋应星在《天工开物》中有图文并茂的记载。

汞化学的第二项成就是制取红色的氧化汞,并将它与红色的硫化汞区别开来。将水银在空气中慢慢加热,水银便被氧化为红色的氧化汞。由于氧化汞与天然的硫化汞都是红色的,在当时条件下,金丹家还不能把它们区分开来。因此在很长一段时间里,金丹家常把人工制得的红色氧化汞误作丹砂(天然硫化汞)。《神农本草经》说:“水银熔化(加热)还复为丹。”葛洪说:“丹砂烧之成水银,积变又还成丹砂。”《黄帝九鼎神丹经》中提到的“神符”、“柔丹”、“伏丹”都是将水银一味在大土釜中加热,经九上九下炼制而得,它们都应是氧化汞。陶弘景在《名医别录》中首先将这种红色物质称为“汞灰”,并指出它不

是丹砂,人们才纠正了过去的模糊认识。这种红色的丹药在汉唐时被当作神丹,在明代以后,它被医药学家广泛地用作抗炎药,称为“红升丹”或“三仙丹”。这种药是采用水银、硝石、白矾三味药混合升炼而成。^①

天然硫化汞因为色红,故被称为“丹砂”。早在新石器时期,丹砂就被人们认为是一种灵异的物质,炼丹最早的内容之一大概就是用升华提纯的方法来精制丹砂。唐代后,金丹家又称它为“灵砂”,而人工以水银和硫黄合成并升炼出红色硫化汞似乎相当晚。最早明确的记载见于丹经《太清石壁记》,原著者为隋代金丹家苏元明,但现存本是唐人楚泽编,可能有所增删修订。所以金丹家较科学地认识到丹砂是由汞和硫黄组成可能在隋唐之间。唐代以后,炼制灵砂便在金丹术著述中占了最大篇幅,金丹家为它花费精力最多,经验也最丰富,可以说这是中国古代汞化学中的最大成就。它在中药里被称为“银朱”,至今仍在广泛应用。

有关氯化汞的研制也是汞化学的重要成就^②。氯化汞有两种:一是 HgCl_2 ,现在叫“升汞”,金丹术中称为“粉霜”;另一种是 Hg_2Cl_2 ,现在叫“甘汞”,金丹术中称作“轻粉”、“水银粉”。因为两者都是白色结晶,古时常被混淆。金丹家大约在汉代制得甘汞,在晋代制得升汞。《太清金液神丹经》里的“作霜雪法”,以水银、硫黄、食盐一起升炼的产物就是甘汞。东晋时,金丹家用水银、硫黄、食盐、硝石为原料升炼得到了升汞。对此丹经《神仙养生秘术》作了记载。此后的一些炼丹著作多有制取甘汞、升汞的方法介绍。从这些方法中可以看到,隋代以后,金丹家普遍地把矾引入制取这两种汞制剂的配方,例如明代邝

① 赵匡华、曾敬民:《中国炼丹术中的氧化汞》,《自然科学史研究》第7卷(1988年)第4期。

② 赵匡华、吴琅宇:《关于中国炼丹术和医药化学中制轻粉、粉霜诸方的实验研究》,《自然科学史研究》第2卷(1983年)第3期。

璠《便民图纂》中所记载的以明矾、白盐、水银为原料烧制轻粉的方法,是古代制取纯净甘汞最为精简、合理的方法。甘汞至今仍在中医上应用,作泻下利尿及消毒的药物。升汞在中医上定名为“白降丹”,是广泛应用的消毒药。

水银可与金、银、铅、锡等金属形成汞齐。早在战国时代,人们就利用这一特性发明了鑿金术。东汉金丹家狐刚子最早提出了基于这种特性的金、银粉制造法^①。这方法是将金或银与水银制成汞齐,再与食盐一起研磨,使金或银分散开,然后蒸去水银,洗去食盐末,就得到极细的金或银粉。用这种方法制得的金或银粉曾被金丹家当作仙丹服食,后来转作医药。这种制法一直沿用到明代。《唐本草余》最早记载了用水银、白银、白锡制作的“银膏”,用于补牙。这部本草著作早已亡佚,其方为《政和证类本草》所收录。这些有关汞齐的利用,也应属于汞化学成就的一部分。

二、铅化学

由于铅及其化合物变化多端,故一直为金丹家所重视,常将它们作为点化金银的实验对象,因而对它们的研究比较广泛和深入。

在金丹术发生之前,先民已认识了铅霜(醋酸铅)和铅粉(碱式碳酸铅,又叫“胡粉”)。这是因为殷代已有铅质的贮酒器,当时酒的浓度很低,极易在空气中被氧化变酸成醋,醋与铅在空气帮助下便生成铅霜。铅霜与空气中的碳酸气进一步反应便会生成铅粉。所以铅霜、铅粉的取得都是较早的。《墨子》中说“禹造粉”,晋代张华的《博物志》载“纣烧铅锡作粉”,这表明铅粉的使用也是很早的。宋玉《登徒子赋》中

^① 赵匡华:《狐刚子及其对中国古代化学的卓越贡献》,《自然科学史研究》第3卷(1984年)第3期。

有“著粉太白”的话,说明至迟在春秋战国时铅粉已被用作化妆品。《周易参同契》里说:“胡粉投火中,色坏还为铅。”《抱朴子·内篇·论仙》中说:“愚人乃不信黄丹及胡粉,是化铅所作。”^①说明汉晋时期金丹家对铅粉与铅之间的互变关系已有较深刻的认识。但是这种制铅粉工艺的翔实记载只在明代刘文泰的《本草品汇精要》中才能找到。明人何孟春《余冬录》和陆容《菽园杂记》中也有一些说明。铅粉自古以来就作颜料、化妆品及药物,汉代以后又成为制釉原料和炼丹的大药。

铅霜,金丹家又称它为“玄白”,实际上是制铅粉工艺中的第一步产品。尽管先民较早地取得了铅霜,但是关于铅霜的制备方法的记载却出现较晚。唐代的《黄帝九鼎神丹经诀》收录了一则制铅霜的单方,唐代的《玄霜掌上录》则专门介绍了铅霜的制法。它们的制取方法基本上是一样的:先将铅制成板状,用水银处理制成汞齐,再用醋熏制。模拟实验证明,这种制铅霜的方法的确较使用纯铅要快得多。《玄霜掌上录》指出:铅霜,“其色如春雪,如面勃,其味甜淡甘美,捻在口中冷如春冰”。这是对铅霜性质的正确描述,和制法一样,在当时都算难能可贵的。铅霜一直是炼丹和制药的重要原料。

金属铅或铅粉在空气中加热,很容易生成黄色一氧化铅(PbO),金丹家称它为“黄丹”。大约在东汉时从波斯也输入了一氧化铅,故按波斯语的音译又称它为“密陀僧”。因它色泽金黄,金丹家视它为神丹,又称为“玄黄”,并夸说它有“概括天地,衍生万物”的威力。然而关于一氧化铅的制法,唐以前的文献尚不见记载。唐人张九垓的《张真人金石灵砂论》中说:“铅者,黑金也,……可作黄丹、胡粉、密陀僧也。”表明金丹家对它已有一定认识。宋代苏颂等撰的《本草图经》和

^① 赵匡华、张清建:《中国古代的铅化学》,《自然科学史研究》第9卷(1990年)第3期。

明代陆容的《菽园杂记》在介绍吹灰法炼银的同时,都曾指出炼银过程的副产品就是“密陀僧”。

将黄丹进一步以猛火焙烧,即成红色的铅丹(Pb_3O_4)。获取铅丹大概也很早,在秦始皇陵出土的兵马俑身上的红色和紫色彩绘都已采用铅丹了。《神农本草经》中把铅丹列为中品,说它“炼化还成九光,久服通神明”,视之为丹药。《淮南子·人间训》记载:“铅之与丹异类殊色,而可以为丹者,得其数也。”其意是,铅和铅丹不是同一类物质,颜色迥然不同,只要掌握其变化规律,就可以由铅制得铅丹。东汉末的狐刚子在《五金粉图诀》中记录了“九转铅丹”的制法。这段长达两千五百字的记载应是迄今流传下来最早的制铅丹法要诀,其中还反映了金丹家对化学可逆反应的认识^①。东晋葛洪在《抱朴子内篇·黄白》中就说:“铅性白也,而赤之以为丹;丹性赤也,而白之以为铅。”表明葛洪对化学变化的可逆性有一定的认识。到了唐代,金丹家发明了用硝石、硫黄和金属铅烧制铅丹的工艺,称这方法为“硝黄法”。这种方法较之以前在空气中直接以铅炒炼铅丹的方法,不仅反应快,而且铅丹中四氧化三铅(Pb_3O_4)成分也高,色泽鲜艳。唐代成书的《丹房镜源》和《铅汞甲庚至宝集成》及五代独孤滔所撰的《丹房鉴原》对此工艺都有翔实记载。到了明代又有用硝石、矾、铅烧炼铅丹的新工艺问世,称为“硝矾法”,《本草纲目》对此有所记载。在古代,“黄丹”与“铅丹”两名称时常混用,其实这两种丹在大多数情况下是一氧化铅(PbO)与四氧化三铅(Pb_3O_4)的混合物,只是比例不同,色泽有异,因医疗效用基本相同,所以对此人们也就不很关注。

宋人撰的《太上灵砂大丹》记载了铅和硫黄直接化合生成黑色的硫化铅的方法。这是金丹家有意识合成硫化铅的最早记载。

^① 赵匡华:《狐刚子及其对中国古代化学的卓越贡献》,《自然科学史研究》第3卷(1984年)第3期。

三、砷化学

古代的医药和金丹术很早就利用了含砷矿物,这些矿物包括雄黄(As_2S_2)、雌黄(As_2S_3)、礞石(FeAsS)、砒黄(不纯的砒石 As_2O_3)等,后来又利用了信石(信州产的砒石)。长沙马王堆三号汉墓出土帛书上记载的医方中就有“冶礞石”、“播雄黄”。这两种矿石焙烧升华的产物就是砒霜(As_2O_3)。东汉郑玄在注《周礼·天官家宰下》时说:“今医人有五毒之药,作之合黄堊(可能指黄泥烧制的瓦罐),置石胆、丹砂、雄黄、礞石、慈石(Fe_3O_4)其中,烧之三日三夜、其烟上著,以鸡羽扫取之,以注创,恶肉破骨则尽出。”这丹药配方就是后世医家所谓的“五毒丹”方,又称“五毒方”。其升炼的基本产物是 As_2S_2 — As_2O_3 和 HgS 的混合物,即不纯的砒霜。雄黄、雌黄最早是被用作颜料,陕西宝鸡周墓出土的织物上的黄色印痕,经检验表明就是用的雌黄。《山海经》中记载了很多雄雌黄的产地,这表明雄雌黄的矿石已为先民所关注。《神农本草经》把雄黄、雌黄列为中品,礞石列为下品,还叙述了它们的毒性和医疗效用。这说明人们对它们已作了初步的研究。

至迟在隋代,金丹家通过焙烧雄黄制得其“色飘飘或如霜雪,白色钟乳相连”的纯净的砒霜。与此同时砒霜进入了医药的行列。隋代苏元明的《太清石壁记》中的“太一雄黄丹”和唐代孙思邈的《千金要方》中的“造砒丹法”、“太一神精丹方”都是讲制取砒霜的。至于在本草著作中,砒霜的制法最早见于五代末大明所撰的《日华子本草》。宋代时,砒霜已成为百姓熟知的剧毒药了。

砷化学中最大的成就应推单质砷的取得^①。砒石与雄黄一旦与

^① 赵匡华、骆萌:《关于我国古代取得单质砷的进一步确证和实验研究》,《自然科学史研究》第3卷(1984年)第2期。

炭质一起在丹鼎中烧炼,就有可能生成单质砷。葛洪《抱朴子内篇·仙药》中的“饵雄黄方”,将雄黄、猪大肠及硝石三物合炼,只要硝石比例较小,就会产生单质砷。孙思邈《太清丹经要诀》中的“伏雄雌二黄用锡法”,以熔化的金属锡与雄黄反应,然后升炼,升华的产物实际上也是单质砷。可惜的是,葛洪、孙思邈都未意识到这种新物质。其后宋人辑撰的《诸家神品丹法》及元人汇编的《庚道集》都记载了一些制丹方,其内容是以砒霜与草木药或蜜混合密闭烧炼,并明确记载得到的产物色如银或如黑角色,甚硬,并可直接点化赤铜为“丹阳银”(砷白铜)。经模拟实验证明,这种物质正是单质砷。当时的金丹家称它为“砒”或“死砒”。所以在中国,金丹家发现元素砷应在南宋时期。

四、矾化学

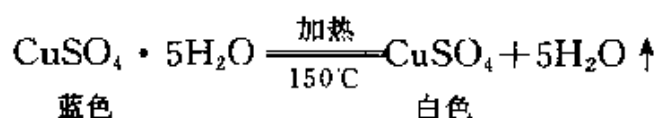
矾类物质——胆矾(即石胆 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、绿矾($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、黄矾 $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 、白矾[即明矾, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$]主要是一些可溶性硫酸盐的矿物,它们也是金丹术中的重要药剂。西汉时金丹家就发现铁能置换胆矾中的铜。东汉狐刚子在《出金矿图录》中记载了一种“炼石胆取精华法”,是以干馏法制取硫酸的最早记录。^①

唐代的《黄帝九鼎神丹经诀》中有“假别药作石胆法”,这是一项利用绿矾、黄矾在加热时分解产生硫酸,硫酸再与曾青[$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]作用生成胆矾的方法。对于胆矾的鉴别,苏敬则提出:“石胆磨铁作铜色,此是真者。”^②这是利用铁对铜盐的置换反应来鉴别胆矾的方法。唐代金陵子在《龙虎还丹诀》中介绍了另一种将胆矾的脱

① 赵匡华:《中国古代化学中的矾》,《自然科学史研究》第4卷(1985年)第2期。

② 见《重修政和经史证类备用本草》“石胆”条中的“唐本注”,人民卫生出版社1957年影印本,第90页。

水反应用于胆矾定性鉴定的方法。其原理是



此种鉴别胆矾的方法在近代化学分析中仍常用,应是中国古代金丹术的一项化学成就。

古代许多人从外观上区分不出绿矾和胆矾,陶弘景就曾把绿矾误作胆矾。宋代苏颂等撰的《图经本草》首次记载了绿矾的鉴别法^①,其反应如下:



五、黄白术的化学成就

金丹术中的黄白术主要讲怎样制造人造金银。在古代的技术条件下,变贱金属为金银是不可能的,但是金丹家在众多的实验中,确也炼出过一些金黄色或银白色的“药金”(伪金)、“药银”(伪银),从而对冶金技术和化学提供了实验素材。

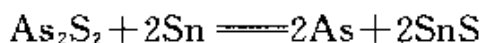
在本书第三章第一节中已介绍了两种伪黄金(锌黄铜、砷黄铜)和一种伪白银(砷白铜)的发现、制法和工艺的演进。本节只介绍彩色金(伪金)、锡汞合金、铅汞合金(伪白银)等的发现。

彩色金是一种具有金黄色闪烁光泽的六角形鳞片状结晶的化合物,其化学组成主要是二硫化锡(SnS_2)。葛洪在《抱朴子·内篇·黄白》中记载:“金楼先生所从青林子受作黄金法。”根据这段文字,英国科学史家李约瑟(Joseph Needham, 1900—1995年)等人曾通过实验

^① 见《重修政和经史证类备用本草》“石胆”条中的“唐本注”,人民卫生出版社 1957 年影印本,第 90 页。

证实,明矾和锡反应可以生成彩色金^①。所以葛洪所说的“作黄金法”就是制彩色金的方法。葛洪的记载源于金楼先生从青林子所受的“作黄金法”。金楼先生和青林子都是汉初的金丹家,可见金丹家很早就能够制取彩色金了。

唐代孙思邈在《太清丹经要诀》中记载的“伏雌雄二黄用锡法”,既是制取单质砷的方法,又是一种以锡和雄黄合炼制得彩色金的方法。其反应是分两步进行的:



宋人撰的《灵砂大丹秘诀》又记载了以金属锡和丹砂合炼彩色金的方法。^②

隋代的丹书《太极真人九转还丹经要诀》记载了以水银和锡制取药银的方法。苏元明的《太清石壁记》也有一种以水银和锡制取白银饼的方法。这药银和白银饼都是锡汞齐。

丹书《神仙养生秘术》记载了一种以水银、铅及少量银在鼎中合炼药银的方法。这药银是含少量银的汞铅合金。

金丹家利用水银还曾制得银汞齐、铜汞齐、铜锌汞齐等多种白色的汞齐。曾制得铜锌砷合金、锡银合金、锡砷合金、锡砷铜合金、锡铅合金等多种银白色的合金。^③

发明黑火药是中国金丹家的又一伟大贡献,这内容将在第六章中叙述。此外,他们还对本草、冶金、陶瓷玻璃、酿造技术的进步作出过贡献,将在有关章节中提及。

① C·Gidewell, "Ancient and Medieval Chinese Protochemistry", *Journal of Chemical Education*, Vol. 66, No. 8, PP. 631—633 (1989).

② 赵匡华、张惠珍:《中国金丹术中的彩色金及其实验研究》,《自然科学史研究》第5卷(1986年)第1期。

③ 赵匡华、张惠珍:《中国古代炼丹术中诸药金、药银的考释与模拟试验研究》,《自然科学史研究》第6卷(1987年)第2期。

第六节 著名的金丹家和金丹术著作

在中国古代长达一千多年的金丹术史上,金丹家为了炼取仙丹,延年益寿,或长生不老,或点铁成金,对自然界众多的物质进行了观察、识别、试验,专心致志地探索物质及其变化的奥秘,为金丹术的发展和化学知识的积累作出了贡献。特别应该看到,在宋代以前,金丹家都兼为医药学家。他们把各种天然的矿物以及炼制的丹药(包括动物、植物药)划分为上、中、下三品。上品者能杀精魅,驱恶鬼,使人通神明不老,属仙丹大药;中品者能延年益寿,却病愈疾,兼营养滋补;下品者除寒热邪气,破积聚,但多毒,不可久服。由此可见,这种分类法明显带有金丹术的色彩。这种对药物的评价和分类自《神农本草经》始,一直延续影响到明末《本草纲目》问世以前。因此可以说中国古代医药化学的成就(明代以前)主要是从金丹术中取得的,人工合成的矿物药剂的最早制丹方主要见于金丹术的著述。金丹家与早期的医药学家之间往往没有严格的界线,著名的金丹家中有不少也是著名的医药学家,这里就不能一一介绍了。本节只介绍几个在金丹术的发展中有独特影响的人物或著作。

一、魏伯阳和《周易参同契》

东汉魏伯阳所撰的《周易参同契》是现存的中国乃至世界炼金术史上最早的一部理论著作。后世的金丹家对此书均很重视,称它为“万古丹经王”。

魏伯阳,一名翱,号伯阳,后来道教书中称他为“云牙子”。他的生平事迹未见于正史。据葛洪的《神仙传》记载:“魏伯阳出身高贵,而性

好道术,不肯仕宦,闲居养性,时人莫知其所从来。”五代后蜀时,彭晓在《周易参同契分章通真义》一书的序言中说,魏伯阳是东汉会稽上虞人(今浙江绍兴上虞)。不知师承何氏。他“博赡文词,通诸纬候”,曾以其所撰《周易参同契》“密示青州徐从事,徐乃隐名而注之。至后汉孝桓帝时,公复传授与同郡淳于叔通,遂行于世”。这说明魏伯阳是生活在东汉桓帝(147—167年)前后的过着隐士般生活的知识分子。他的弟子有徐从事、淳于叔通(即淳于斟)等人。

关于魏伯阳的著述,葛洪在《神仙传》里说:“伯阳作《参同契》、《五相类》,凡二卷。”但在《抱朴子·内篇·遐览》中却只记录了《魏伯阳内经》一卷。后晋开运二年(945年)编成的《旧唐书》著录中有魏伯阳《周易参同契》两卷、《周易五相类》一卷。彭晓在《周易参同契分章通真义》中说魏伯阳撰《周易参同契》三篇,“复作补塞遗脱一篇”。今仅存《周易参同契》一书,卷数视版本而定,或作三卷,或作两卷,或不分卷而作上、中、下三篇。

《周易参同契》是一部文字简短的著作,全书正文只有六千余字。一部分用四字一句或五字一句的韵文写成,例如:“丹砂木精,得金乃并,金水合处,木火为侣,四者混沌,列为龙虎,……”;“世间多学士,高妙负良才,邂逅不遭值,耗火亡货财。”还有一部分是长短不齐的散文体,例如:“复昌阴阳之道,犹工御者准绳墨,执衔辔,正规矩,随轨辙,处中以制外,数在历纪。”总的来看,这是一部意义很晦涩而不易理解的书。历代有许多文人对此书进行了研究和注释,仅《正统道藏》就收入了唐宋以来的注本十一种。学者们一般的认识是,《周易参同契》是一部用周易理论、道家哲学与金丹术三者参合而成的炼丹修仙著作。但是对于书中具体内容的理解仍存在明显的分歧。有人认为,魏伯阳讲的是炼烧金丹以求仙药的外丹说;有的认为魏伯阳讲的是靠自身修炼精、气、神的内养术,即内丹说;也有的认为书中外丹说、内丹说兼而有之。今人王明认为,该书的中心理论是修炼金丹,并

斥责内丹、房中、服符、祷告鬼神等为徒劳无功的旁门邪道。

《周易参同契》对炼丹的理论和方法作了较系统的阐述,其核心内容就是炼制“还丹”。它记载了“三变”,一变是将金属铅、水银在炭火上加热变成铅汞齐;二变是随着火力增大,水银逐渐被蒸发,铅被氧化生成黄丹和铅丹(四氧化三铅和一氧化铅的混合物);第三变则是将前两变的产物与水银混合在丹鼎中密封加热,制得红色的“还丹”(氧化汞)。

在阐述服食金丹何以使人长生不老时,魏伯阳提出的就是“假外物以自坚固”的丹药观。在论述炼丹的可能性和合理性时,魏伯阳指出,物质变化是自然界的普遍规律。他认为万物的产生和变化都是“五行错王”,“相据以生”,是“阴阳相须”,彼此交媾,使精气得以舒发的结果。他进一步指出,阴阳相对的两种反应物质还必须属于同一种类即同类物质才能相变,异类物质之间则不能发生反应。他还强调在炼丹中要注意药物的名称相符、分剂比例适宜及操作手续齐备等。在《周易参同契》中第一次出现了“丹鼎歌”,以帮助人们认识当时炼丹的重要设备——丹鼎。通过此书还可了解当时炼丹所用的药物——汞、硫、铅、胡粉、硃砂、铜、金、云母、丹砂等以及金丹家对它们的认识程度。

必须指出,魏伯阳认为炼丹与天地造化是同一道理,易道与丹道是相通的,所以能用《周易》的道理来解释炼丹。这就使金丹术更为神秘,影响了后世金丹家的哲学思维。魏伯阳主张采用铅汞作为炼丹的主要原料,这无形之中束缚了炼丹实验的范围。

二、葛洪和《抱朴子》

东晋金丹家葛洪是一个在金丹术发展中起承前启后作用的代表人物。

葛洪,字稚川,号抱朴子,丹阳句容人(今江苏句容)。283年出生在一个没落的贵族家庭。其祖父葛系、父亲葛悌,都曾在三国时期的吴国为官。葛洪十三岁丧父,家贫而好学,十六岁时开始读儒家的《孝经》、《论语》,并发奋精读五经,立志为文儒。但自认为“才非政事,器乏始民”,于是以“不仕为荣”,把兴趣转向医学和炼丹。在十八九岁时,曾去庐江(今安徽庐江)入马迹山,拜葛玄的弟子郑隐(字思远)为师,并接受了《正一法文》、《三皇内文》、《五岳真形图》、《洞玄五符》等道书和《黄帝九鼎丹经》、《太清神丹经》、《太清金液神丹经》、《黄白中经》等金丹术著作,崇信道教。二十一岁时(太安二年,303年)他应邀参与了征讨以张昌为首的造反军。事平后他“投戈释甲,径指洛阳,欲广寻异书,了不论战功”。但是时逢西晋丧乱,北道不通,于是葛洪只能周旋于徐、豫、荆、襄、交、广数州之间,接触流俗道士数百人。光熙元年(306年)他二十四岁时前往广州,跟南海太守鲍靓(字太玄)学习神仙方术,并娶其女为妻。不久后他返回故里,从此潜心修行著述十余年,同时兼攻医术。大约在三十五岁时写成《抱朴子·内篇》二十卷、《抱朴子·外篇》五十卷及《神仙传》十卷,还有医书《玉函方》和《肘后备急方》。晋成帝咸和(326—334年)初年,他欲去扶南(今柬埔寨)搜集丹砂,以供烧汞炼丹,于是再赴广州。但被好友邓岳劝阻,留在罗浮山(今广东博罗县境内)修行。东晋康帝建元元年(343年)去世,年六十一岁。

葛洪的《抱朴子·内篇》是讲神仙方药、鬼怪变化、养生延年、禳邪却祸的道家著作。它是一部中国金丹术史上极重要的经典著作,可以说是早期金丹术活动和成就的全面总结,对于金丹术的发展起了承前启后的作用。该书内容丰富,语言质朴,说理明晰,尤以其中的《金丹卷》、《黄白卷》集中反映了当时金丹术的面貌和成就。

《金丹卷》主要叙述了各种神丹大药的炼制,并对饮金丹的长生观阐述了作者的看法。例如,书中收录的《黄帝九鼎神丹经》就记载了

神丹九种：第一，升炼丹砂而成的“丹华”，实际上是升华的硫化汞。第二，飞炼水银或水银与铅的混合物而得的“神药”，又叫“神符”，实际上是一氧化铅(PbO)和氧化汞(HgO)的混合物。第三，升炼雄黄和雌黄的混合物而成的“飞精”，其成分是升华的硫化砷。第四，把水银、雄黄、曾青、矾石、硫黄、卤咸、太一禹余粮、礬石等各种矿石在丹釜中分层安放，然后升炼而成的“还丹”。第五，升炼水银、雄黄、禹余粮的混合物而成的“饵丹”，主要成分应是四硫化四砷(As₄S₄)和氧化汞的混合物。第六，取八石(丹砂、雄黄、雌黄、曾青、矾石、礬石、石胆、慈石)升炼而成的“炼丹”。第七，在涂有玄黄的丹釜中升华水银而成的“柔丹”，主要成分应是氧化汞。第八，在涂有玄黄的丹釜中升炼水银、曾青粉、慈石粉的混合物而成的“伏丹”。第九，升炼水银、雄黄、雌黄、曾青、礬石、慈石而成的“寒丹”。

在《金丹卷》中，葛洪还介绍了《五灵丹法》、《岷山丹法》、《务成子丹法》、《羨门子丹法》、《五成丹法》、《伏丹法》、《赤松子丹法》、《崔文子丹法》、《刘元丹法》、《乐成子丹法》、《李文丹法》、《尹子丹法》、《太乙招魂丹法》、《采女丹法》、《稷丘子丹法》等二十八种仙丹的炼制秘诀。由这些丹经可以窥知当时金丹家已进行了大量的炼丹实验，总结出一套操作规程，利用了众多矿物原料，制取到不少化学制剂，观察到了许多化学变化。

在《黄白卷》中葛洪说：“神仙黄白之方二十五卷，千有余首。”可见金丹家对希图变铜、锡、汞、铁等金属为黄金、白银的试验已作了广泛的探究。尽管他们不可能通过这些试验获得真的黄金、白银，但是他们的确已炼制得到某些黄色或白色的合金，算是对古代冶金学的贡献。

在《仙药卷》中葛洪对石芝、云母、雄黄、诸玉、真珠、桂、巨胜、柠木实、松脂、菖蒲等所谓仙药的特征、产地、性质、加工及服食法都有完整的说明。这些内容对于研究中国古代医药学、动植物及矿物学都

是极其珍贵的。

《抱朴子·内篇》中“金丹”、“黄白”、“仙药”诸卷的内容或是作者从其师祖辈的传授所得,或是他游历各地时会见诸道友的所见所闻,而自己躬身炼丹的记录则并不多。这是因为葛洪在撰写这部著作时,恰是“会遇兵乱,流离播越”的年代,正如他在《黄白卷》中所写的:“所承受之师非妄言者,而余贫苦无财力,又遭多难之运,有不己之无赖,兼以道路梗塞,药物不可得,竟不遑合作之。”他晚年在罗浮山专心烧丹炼汞,潜心修行,必有一些探究成果,可惜未见有著作行世。

关于金丹何以能使人长生久视,葛洪的解释可以概括为一句话:“盖假求于外物以自坚固。”关于长生成仙的方法,葛洪采取兼容并蓄的态度。他首推金丹,兼行气功,还认为注重房中术也是必要的,此外还须修德行。关于宇宙万物的根源,他认为都是由气生成,人也包括在内。他认为精神依存于形体。这一见解可能从东汉的《太平经》中接受而来。

《抱朴子·外篇》大多讲的是儒家应世的道理,充分展现了葛洪思想中的内神仙外儒学的特征。

葛洪在热衷于金丹术的同时,勤奋地钻研医术,可以说是东晋时期对我国医学贡献最大的医学家。他曾完成了多种医学著作。他撰写的百卷本的《玉函方》已失传,《肘后备急方》是他至今流传于世的唯一的医书。此书经南朝陶弘景增补,曾改名为《肘后百一方》。以后又经金代杨用道修订整理,更名为《广肘后备急方》。从这本书中可以看到葛洪在医学上的诸多成就。

三、《道藏》中的金丹术著作

《道藏》是道教经典著作的总汇。道经的汇集始于六朝,汇辑成“藏”则在唐代开元中。唐玄宗李隆基下令道观搜集道经,编成一部共

三千七百多卷的《三洞琼纲》。宋初在张君房主持下于1019年编修成《大宋天宫宝藏》。宋徽宗赵佶再次下令搜辑道经,从四千五百六十五种增到五千三百八十七种,并在1111年至1117年间将《道藏》首次刊印,称为《万寿道藏》。此后《道藏》经过多次变故,特别是战争曾使部分书散佚,元代又曾焚毁过部分道书和印版,同时在编辑整理中又加入一些唐宋元时期的书。明代正统九年(1444年)刊刻成的《正统道藏》,共五千三百零五卷,包括一千四百三十六种书,分装成四百八十函。万历三十五年(1607年)又编出了《续道藏》一百八十卷,分装成三十函。1923—1926年,上海涵芬楼据北京白云观藏明版重刊了《正统道藏》,现在看到的《道藏》就是涵芬楼重刊的。

《道藏》是一部卷帙浩大的丛书,内容十分庞杂,除道教的经书外,还收集了诸子百家的文集,如《墨子》、《韩非子》、《孙子》、《公孙龙子》等与道教毫不相干的书。其中一些书翻来覆去谈一些荒谬的理论和毫无意义的符篆,更有许多是所谓的“经文”、“灵图”、“口诀”、“仙诗”、“仙谱”、“碑铭”之类的东西。它们大多是一些道士拼凑的文字,对研究道教和金丹术并无太大的价值。

《道藏》从形式上分七大部分,即所谓的“三洞”、“四辅”。“三洞”指洞真部、洞玄部、洞神部。“四辅”是太玄部、太平部、太清部、正一部。每部分所包括的书,数目不等。有关金丹术的书大约有一百多种,分布得相当零散。例如,《抱朴子内篇》编在太清部,而多数金丹术的著作编在“三洞”的“众术类”,其中以“洞神部”的“众术类”较集中。

洞神部的众术类包括了七十三种书,分订成二十二册。字数少的仅一千多字;字数多的,约有六万多字。多数的书,其内容大谈酬鬼和怎样种芝草等,显得较空洞。对内容涉及金丹术的书,我们挑选出十一种,逐一作简单介绍。

《太清石壁记》:原著者是隋代著名金丹家苏元明。唐代乾元年间(760—763年)又经楚泽修订。全书约一万二千字,内容主要讲怎样

制造神丹。从书中内容分析,可以肯定当时金丹家已掌握了多种汞合金的炼制技艺。

《丹房须知》:宋隆兴元年(1163年)吴悞所作。约有四千余字,并附有图,主要讲炼丹应注意的事项,例如“择友”、“择地”、“丹室”、“丹井”、“取水”、“造炭”、“合香”、“采铅”、“用火”、“开炉”、“服食”等共二十一项,尤其重视所谓的“禁忌”。由此可以看到当时的金丹家是怎样筑坛、造炉和炼丹的。古代炼丹房的这种安置显然带有浓厚的迷信色彩,但是它确是当时现实的描述。

《石药尔雅》:是唐代金丹家梅彪的作品,约五千字。主要讲炼丹的原料。古代的金丹家往往把它们记载文字故意搞得很神秘,几乎每人对他所采用的药物都各有一套隐名。本书作者对这些隐名作了一番发掘整理,罗列了许多药物的隐名,为后人提供了方便。

《金石簿五九数诀》:唐代一无名氏作品,约二千五百字。主要讲炼丹所用原料的产地,附带提了一些鉴别真假的方法。

《感气十六转金丹》:可能是宋代无名氏所撰,约三千字。主要讲如何炼十六次而获得药物和点汞成金。

《修炼大丹要旨》:可能是宋代无名氏撰,一万余字。主要讲所谓的炼丹要诀和炼丹的方法。这些要诀很难解。

《金华冲碧经秘旨》:此书刊于南宋宝庆元年(1225年),作者可能是白玉蟾或孟煦盟,约九千字。书中对炼丹工具叙述得特别详细,如石榴罐、水海等,并附有插图,应属一部比较成熟的炼丹术作品。

《诸家神品丹法》:此书有三万字,主要辑录了许多炼丹者的丹法。从内容上来看,收集的材料相当多,可能是宋代后期的书。书中有些丹法,例如“化庚粉法”即制取金粉的方法,是很值得研究的。

《铅汞甲庚至宝集成》:作者赵耐庵,约二万五千字。根据多种炼丹著作辑成。内容颇杂,既有空洞的议论,也介绍一些丹法。书中记载的药物,不少来自动植物。

《真元妙道要略》：此书约六千字，唐代的书，作者伪托郑思远，郑思远是三国时的人。此书主要介绍一些炼丹的方法。有一点引起后人注意，即它清楚记载：“有以硫黄、雌黄和硝石并蜜烧之，焰起有烧而及屋者。”这是关于火药发明的重要史料。

《庚道集》：这是《道藏》中记载各种炼丹方法最详细的一部书。全书分九卷，约六万余字。书中汇集了前人的炼丹方法而成。成书的年代可能在南宋后期。因编写年代较晚，所以收集的炼丹方法较多也较详，可以说是《道藏》中研究中国金丹术史最具代表性的一部书。

第六章 火药和火药武器

以硝石、硫黄、炭末为主要成分的黑火药及运用黑火药而制作的火药武器的发明,是中国古代科技的重要成就。研究表明,黑火药的发明确实源自中国的金丹术,火药配方及其成分的研制和发展,也与金丹术所积累的化学知识有关。可以说黑火药的发明是中国金丹术的一项最重要的贡献。

第一节 黑火药的发明

中国古代的火药主要由硝石、硫黄和炭(或富含碳的有机物)等物质混合加工而成。民间长期流传的“一硝二磺三木炭”就是它的简易配方。因为它呈黑褐色,人们习称“黑火药”。

关于硝石的认识、加工与利用是火药发明的关键。硝石很早就被人们所使用。马王堆三号汉墓出土的帛书上所载医方里已有“消石”,那个医方大约出现于战国时期。《史记·扁鹊仓公列传》记载西汉初年的名医淳于意曾以“消石”为药剂,表明在当时“消石”被当作一种药品。在《神农本草经》中同时提到了“消石”和“朴消”,说它们都具有“久服轻身神仙”的作用,并说“朴消化七十二种石”。据现代化学知识

分析,这里讲的“朴消”应是强氧化剂——硝酸钾。早期的丹经《三十六水法》也说硝石有转化丹砂、雄黄、云母、石英等为水(实际上大概是悬浮液)的功效。西汉刘向所撰的《列仙传》提到:“赤斧者,巴戎人也,为碧鸡祠主簿,能作水瀕(汞)炼丹,与硝石服之,三十年返如童子。”由此可见在西汉金丹术肇兴之时,硝石已被金丹家们广泛采用了,他们还研究了硝与其他矿物相互作用的性质。南朝名医陶弘景在《本草经集注》中清楚地介绍了当时鉴别硝石的方法:“以火烧之,紫青烟起,云是真消石也。今宕昌以北诸山有咸土处皆有之。”硝石既有天然的,又能从土硝中提炼,而以焰色来鉴别硝石的方法更是既重要又先进。唐代苏敬主编的《新修本草》(659年)则记载了提纯硝石的技术:“今炼粗恶朴消(即粗硝石),淋取汁煎,炼作芒消,即是消石。”^①即将粗硝石经过水溶、煎汁、再结晶,得到针状晶体(芒硝)。

据考在南北朝以前,人们使用的硫黄大概都是天然的。天然的硫黄有着特殊的形态,可能由于分布稀少,使用硫黄的记载还是较晚。《山海经》和马王堆汉墓帛书医方中皆无硫黄的记载,而《神农本草经》则已把硫黄列为“中品”药,并说它“能化金、银、铜、铁、奇物”,表明人们已了解到它能与多种金属发生反应。汉代的丹经《黄帝九鼎神丹经》、《三十六水法》等已用到它,并称其为“石亭脂”。据《魏书·西域》记载:“悦般(古国名,位于今新疆库车县一带)其国南界有火山,山旁石皆焦熔,流地数十里乃凝坚,人取为药,即石流黄也。”晋代张华《博物志》也说:“西域石硫黄出足弥山,去高昌(今吐鲁番)八百里,有石硫黄高数十丈,从广五六十亩。有取石硫黄孔穴,昼视孔中上,状如青烟而高数尺;夜视皆如灯光明,高尺余。”可见当时天然硫黄多取自西域。及至魏晋,在中原地区开始从焙烧黄铁矿(涅石)制取绿矾的

^① 唐·苏敬等撰、尚志钧辑校:《唐·新修本草》,安徽科技出版社1981年版,第95页。

窑顶上收集冷凝成液的硫黄。所以陶弘景在《名医别录》中说：“石流黄生东海(古郡名,位于今江苏连云港及东海诸县)牧羊山谷中及太(泰)山、河西山,矾石液也。”“(硫黄)今第一出扶南(位于今柬埔寨)、林邑(位于今越南中南部),色如鹅子初出壳者,名昆仑黄;次出外国,从蜀中来,色深而煌煌。”^① 硫黄的金黄色,特别是它能与水银相化合的性质,因而倍受金丹家的重视。《周易参同契》里就描述了硫黄和水银的化合:“河上姤女,灵而最神,得火则飞,不见尘埃。……将欲制之黄芽为根。”“河上姤女”即指水银,“黄芽”指硫黄。由此可见硫黄在当时已成为金丹家炼制“金液”、“还丹”最常用的物质。

火炼法是金丹家最常用的方法,硝石、硫黄等又是金丹家最常用的药物,所以金丹家很可能将硝石、硫黄或雄黄等混在一起,再掺入一些富含碳的动植物药材共同加热。在这种火炼中,由于预先没有防范,发生猛烈燃烧,甚至爆炸的情况应难以避免。《周易参同契》里说,“若药物非种,名类不同,分剂参差,失其纪纲”,便可能“飞龟舞蛇,愈见乖张”,大概就是指这类情况。葛洪在《抱朴子·内篇·仙药》提到的“饵雄黄法”就已注意到采取某些措施防止燃爆。因为这方法是将雄黄与硝石、猪大肠、松脂逐一合炼。经模拟实验证明,这一配方在高温下会发生爆炸^②,故当时的金丹家是采取逐一合炼的方式,而不是混在一起合炼。类似的配方在合炼中时常发生燃爆,所以《真元妙道要略》就明确指出:“有以硫黄、雄黄合硝石并蜜烧之,焰起烧手面及烬屋舍者。”并提出警告:“硝石……生者不可合三黄(即硫黄、雄黄、雌黄)等烧,立见祸事。”为了防范这种炸鼎烧屋的事故,金丹家除制订了一些对某些药物混合加热的禁忌外,还提出了使硝石、硫黄、雄黄等药剂变性的伏火法。所谓“伏火”就是对这些药物作预先加

① 见唐·苏敬等撰、尚志钧辑校:《唐·新修本草》,安徽科技出版社1981年版。

② 王奎克等:《砷的历史在中国》,《自然科学史研究》1982年第2期。

热处理使之变性,而不再具有燃烧、爆炸的烈性。唐代的丹经中就已记载了不少这类伏火法,表明金丹家对这类恶性的燃爆事故已给予足够的重视。下面列举几个运用伏火法的事例:

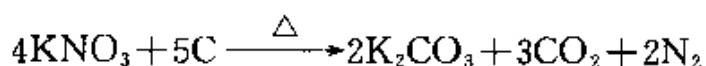
唐代宝应年间(762—763年)问世的《丹房镜源》(五代时的金丹家独孤滔曾对它进行整理增补)中记载了用炭“伏火”硝石:

硝,研如粉。以瓶于五斤火中煨,令通赤。用鸡肠叶、柏子仁和作一处,分丸如小帝珠大,投赤瓶中,加硝四两,用鸡肠(叶)、柏子仁煨,珠子尽为度。硝子草伏住,不析一切物。

唐代丹经《上洞心丹经诀》提到:“死硝用皂角伏之,每斤硝石须皂角二斤。”这个方法可以说是具有代表性的“伏硝法”,后世的《庚道集》对此法有详细的记载:

牙硝不拘多少,用防风、防己各五两重薰锅了。投硝于内,搾成汁,以猪牙皂角子投内。不旋,其硝已死,如尚旋走,再当熬之。

这个伏火过程所发生的主要化学反应为:



文中所说的“旋”,应该是 KNO_3 受热分解,产生氧气泡的现象。“不旋”,表明 KNO_3 已消耗完,全部变成不属氧化剂的碳酸钾(K_2CO_3),即所谓“死硝”或“伏火硝石”。

如何检验硝石是否完全“伏火”,《真元妙道要略》中明确指出:“凡硝石伏火了,赤炭上试,成油如(入)火不动者即伏矣。……火炭上试之,不伏者,才入炭上,即便成焰。”此外,还有用食盐或砒霜等物质来“伏火”硝石。总之,金丹家对硝石采取伏火处理的目的已清楚地表明,他们已认识到硝石常常是在与其他物质合炼中产生燃爆事故的“祸首”。

唐代赵耐庵所撰的《铅汞甲庚至宝集成》中介绍了一种“伏火硫磺法”,其内容如下:

硫二两,硝二两,马兜铃三钱半。右为末拌匀,掘坑,入药于罐内,与地平,将熟火(炭)一块,弹子大,下放里面,烟渐起,以湿纸四、五重盖,用方砖片捺以土塚之,候冷取出,其硫黄伏住。

在这方法中,马兜铃代替了炭,实际上已是一种原始的火药配方。它不仅采取了防范燃爆的措施,还有意识地控制了反应速度。

宋人孟要甫所辑的《诸家神品丹法》中也有一段“伏火硫黄法”,据考是后人托名孙思邈而写的,但至少可以判定也是唐代的记载。其内容是:

硫黄硝石各二两令研,右用销银锅或砂罐子入上件药在内。掘一地坑,放锅子在坑内与地平,四面却以土填实。将皂角子不蛀者三个烧令存性,以铃逐个入之。候出尽焰即就口上着生熟炭三斤,簇煨之。候炭消三分之一,即去余火不用,冷取之,即伏火矣。

这一伏火法与上法基本相同,表明金丹家已认识硝、硫、炭混合点火会发生剧烈反应,故采取相应措施以控制反应速度和防止爆燃。

以上资料可以说明在唐代金丹家已十分明确认识将硝、硫、炭等物质混合点火会发生剧烈的燃爆,换句话说,他们已认识到了这种原始的火药配方。但是金丹家只是要防止这种配方给炼丹带来的祸害,而没有想到利用这种配方的燃爆性能,因此他们又设计了许多使硝石、硫黄等伏火改性的方法。而这些伏火的试验又进一步加深了金丹家对原始火药配方性能及其原料处理的认识,并积累了有关这些配方的丰富经验。

在古代,从发现一种自然现象(包括人工制造的)到有意识地利用这一自然现象为人类服务,往往要经历一个认识过程。火药的发明也存在这一认识过程。金丹家从对炼丹中燃爆现象的认识和研究,发展到对原始火药配方的了解和掌握,从防范炼丹中燃爆事故的手段,演进到利用燃爆现象于军事,这正是火药发明的过程。只有当原始火

药配方被运用到生产生活中,首先是军事上时,火药的发明才算完成。据此判断,火药的发明应在唐末、五代至北宋初年间。

古代军事家常采用火攻这一战术克敌制胜。在火攻中常使用一种武器,古时称“火箭”。它是在箭头上附着像油脂、松香、硫黄之类易燃物质,点然后用弓射出去,延烧敌方的军械、人员和营房。但是这类“火箭”燃烧慢,火力小,容易被扑灭。

据现存的记载,火药用于军事约在唐哀宗天祐元年(904年)。宋人路振在《九国志》记载:

天祐初(904年)……(郑璠)从攻豫章,璠以所部发机飞火烧龙沙门,率壮士突火先登。入城,焦灼被体。以功授检校司徒。

许多学者认为,出现在唐末的这种“发机飞火”大概已是利用原始火药的火器了。

及至宋初,火药肯定已用于军事了,但是那时的火药武器尚属于新式武器,掌握的人不多,所以掌握火药武器的人受到重视和奖赏。据《宋史·兵志》记载:“宋太祖开宝三年(970年),兵部令史冯继升等进火箭法。”“开宝九年八月乙未朔云:吴越国王进射火箭军士。”《宋史·兵志》、《宋会要辑稿》还记载:“真宗咸平三年(1000年)八月神卫水军队长唐福献所制火箭、火球、火蒺藜。……各赐缗钱。”《续资治通鉴长编》和《通雅》记载:“咸平五年(1002年)九月戊午,冀州团练使石普自言能为火球、火箭。上召至便殿试之,与宰辅同观焉。”

以上记载确凿无疑地证明金丹家在炼丹实践中发明的火药已通过试验,在军事上演进为火药武器。

第二节 早期的火药配方和火药武器

火药武器的出现立即在战场上显示了它强大的威力,引起了军

事家和政治家的特别重视。冯继升、唐福、石普等所研制的“火箭”，不是现代人们所说的“火箭”，而是将一小型火药包缚在箭杆上，点燃后用弓弩或弹力装置射出去。准确地说，那时的火箭应叫“纵火箭”或“火药弩箭”或“火药鞭箭”。他们研制的“火毬”，则是一个体积较大的火药包，点燃后用抛石机抛向敌方。“火蒺藜”则是在火药包中裹入一些铁蒺藜，以增加杀伤能力。由于当时的火药中含硝量偏低，含硫量偏高，附加剂和填充剂过多，所以当时的火药武器的主要功能属燃烧型，而不是现代意义上的炸弹、火炮或火箭。

早期的火药配方及火药武器的制造，北宋时期由曾公亮、丁度主编的《武经总要》(1044年)中有清楚的介绍。《武经总要》是中国古代一部由官方组织编写的权威性的军事百科全书。该书前集第十一、十二卷里记载了当时使用的火药武器和三种火药配方。有关记载如下：

毒药烟球。毛重五斤，用硫黄十五两，草乌头五两，焰消一斤十四两，巴豆五两，狼毒五两，桐油二两半，小油二两半，木炭末五两，沥青二两半，砒霜二两，黄蜡一两，竹茹一两一分，麻茹一两一分，捣合为球。贯之以麻绳一条，长一丈二尺重半斤为弦子，更以故纸十二两半，麻皮一两，沥青二两半，黄蜡二两半，黄丹一两一分，炭末半斤，捣合涂缚于外，若其气熏人，则口鼻血出。二物并以炮放之，害攻城者。

此处所说的“炮”，指抛石机，用以抛射出点燃的毒药烟球。

火炮火药法。晋州硫磺十四两，窝黄七两，焰硝二斤半，麻茹一两，干漆一两，砒黄一两，淀粉一两，竹茹一两，黄丹一两，黄蜡半两，清油一分，桐油半两，松脂十四两，浓油一分。右以晋州硫磺、窝黄焰硝同捣，罗过，和砒黄、淀粉、黄丹同研，干漆捣为末，竹茹、麻茹微炒为碎末，黄蜡、松脂、清油、浓油同熬成膏，入前药末旋和匀。然后以纸五重衣裹之，以麻缚定。另外又熔松脂缚之，以炮放。

· 蒺藜火毬火药法。以三枚六首铁刃，以火药团之，中贯麻绳，长一丈二尺，外以纸并杂药缚之。又施铁藜八枚，各有逆须。放时，烧铁锥烙透令焰出。硫磺一斤四两，焰硝二斤半，粗炭末五两，干漆二两半，沥青二两半，捣为末。竹茹一两一分，麻茹一两一分，剪碎。用桐油二两半，小油二两半，蜡二两半，熔汁和之。外缚用纸十二两半，麻十两，黄丹一两一分，炭末半斤，以沥青二两半，黄蜡二两半，熔汁和合周涂之。

从上述三种火药配方及当时有关的火药武器的制作方法来看，焰硝(即硝石)、硫黄及木炭是火药的最基本、最主要的成分。桐油、清油、浓油等油类既是燃料，更是粘合剂。干漆、沥青、黄蜡、麻茹、竹茹、松脂等都是可燃质的填加剂。砒霜、巴豆、狼毒、草乌头等有毒物则作为施放毒烟的附加剂。因为配方内约含 10% 的油类，故火药呈膏状。

如不计粘合剂、填加剂、附加剂，只考虑硝、硫、炭三种有效成分，则这三种火药配方中硝、硫、炭所占的百分比如表 6-1 所示：

表 6-1 《武经总要》中三种火药配方所含硝、硫、炭的比例

火药名称 \ 火药配方	硝：(两)/(%)	硫(两)/(%)	炭(两)/(%)	其他(两)
毒药烟球	30 两/50.0%	15 两/30.0%	5 两/10.0%	10 种副药 共 27.7 两
火炮	40 两/53.3%	21 两/28.0%	14 两/18.7%	10 种副药 共 7.2 两
蒺藜火毬	40 两/61.5%	20 两/30.8%	5 两/7.7%	7 种副药 共 14.7 两

注：在火炮火药方中，窝黄算粗硫黄，松脂可代替木炭。

若将副药的量也考虑进去，则硝、硫、炭所占的比例显然会下降。

这三种火药配方至少可以反映中国在十世纪军用火药研制的状况和水平。由于含硝量偏低，含硫量偏高，添加物多而杂，火药发挥的

主要性能是燃烧,所以火药武器主要是纵火器。毒药烟球中由于火药中杂有有毒物质,因此不仅可以延烧,而且在延烧中还会放出毒气,可以说是毒气弹的雏形。这类火药配方及火药包,一直很受重视,后来有了长足发展,明代时有更多的名目。蒺藜火毯,由于火药包中裹入了带尖钩状的铁制蒺藜,因此在战场上除可延烧敌方外,还可以铁蒺藜伤害敌方,特别是骑兵。

尽管《武经总要》所介绍的火药和火药武器离近代意义上的火药和火药武器还有相当差距,但是它毕竟是火药发明后初始阶段的成果。这样的火药武器在战场上产生的影响和发挥的威力已足以引起人们的高度重视。

北宋统治者一方面奖励各种火药武器的研制,同时开始组织大量生产。据宋敏求(1019—1079年)的《东京记》(1040年)所述,在当时的京都汴京(今开封)有一兵工厂,名“广备攻城作”,内设十一个生产项目:“火药作、青窑作、猛火油作、金作、火作、大小木作、大小炉作、皮作、麻作、窑子作是也。皆有制度作用之法。”^①其中火药作生产火药,火作生产火箭、火炮、火蒺藜等武器。可见兵工厂内有大批工匠从事火药、火药武器的生产,而且产量也很大。例如1083年西北驻军为同西夏交战,一次就领用了二十五万支火箭。还有史料记载:“同日出弩火药箭七千支、弓火药箭一万支,蒺藜炮三千支,皮火炮二万支。”^②

到了十二至十三世纪,即北宋末、南宋、辽、金时期,由于社会需求,火药和火药武器的研制和生产都有了较大的发展。北宋末年的战场上曾出现两种新型的火药武器:一是霹雳炮,二是震天雷。霹雳炮一炸,声如霹雳,杀伤力比较大。1126年北宋的李纲就是用霹雳炮击

^① 冯家昇:《火药的发明和西传》,上海人民出版社1978年第2版,第18页。

^② 宋·赵与容:《辛巳泣薪录》,商务印书馆《丛书集成》第3895册,第3页。

退了金兵对京都汴京的围攻^①。震天雷是一种铁火炮,它的外壳已不再是几层纸或布壳、皮壳,而是铁壳。铁壳的强度显然比纸、布或皮壳大得多。火药燃爆后,爆炸杀伤的威力也就大多了。《金史·赤盏合喜传》中描述说:“有火炮名震天雷者,铁罐盛药,以火点之,炮起火发,其声如雷闻百里外,所热围半亩之上,火点著甲铁皆透,……,人与牛皮皆碎进无迹。”可见爆破威力之大。有关霹雳炮、震天雷所用的火药配方,可能由于当时为了保密而在史料上未有记载,但是从它们的爆破威力来看,这火药配方决不像《武经总要》所记载的那样,可以肯定地说,这火药配方中硝的含量明显增加,硫的含量减少,火药配方已从燃烧型发展到爆炸型。这一发展是很重要的。

在南宋时,人们还发明了两种管形火药武器:火枪和突火枪。1132年宋将陈规(约1063—1132年)守德安时,率先使用了火枪^②。这种火枪是由长竹筒制成,内装火药,由两人共持一枝。点燃后,由前端开口处喷出强烈的火焰,给敌方以很大的威胁。这种火枪实际上是一种早期的火焰喷射器。《宋史·兵志》记载,1259年寿春府(今安徽寿县)“又造突火枪,以巨竹为筒,内安子窠(弹丸),如烧放,焰绝,然后子窠发出如炮声,远闻百五十余步”。近代的枪炮就是由这类管形火器一步步发展起来的。

火枪和突火枪中使用的火药不仅有燃烧功能,而且又起发射作用,这要求火药的成分配比和质量有相应的提高。这也再次表明此时的火药配方及其配制技术较前有了重要发展。

宋末元初人周密(1232—1298年)在《癸辛杂识》中记载了元军将南宋丞相赵葵私宅用作火药库而发生爆炸的事件:“赵南仲丞相溧阳私第尝作圈,豢四虎于火药库之侧,一日焙药火作,众炮倏发,声如

^① 宋·李纲:《靖康传信录》卷二,商务印书馆《丛书集成》第3893册。

^② 陈规、汤琦:《德安守城录》卷下,商务印书馆《丛书集成》第0957册。

震霆，地动屋倾，四虎悉毙，时盛传以为骇异。”此书还记载了 1280 年扬州炮库的爆炸事故：“至元庚辰岁，维扬炮库之变为尤酷。盖初焉制造皆南人，囊橐为奸，遂尽易北人，而不谙药性。碾硫之际，光焰倏起，既而延燎火枪，奋迅如惊蛇，方玩以为笑。未几透入炮房，诸炮并发，大声如山崩海啸，倾城骇恐，以为急兵至矣。仓皇莫知所为，远至百里外，屋瓦皆震，号兵四起，诸军皆戒严。纷扰凡一昼夜。事定按视，则守兵百人皆糜碎无余，楹栋悉寸裂，或为炮风扇至十余里外，平地皆成坑谷至深丈余。四比居民二百余家，悉罹奇祸，此亦非常之变也。”由此可见，当时火药所具的爆炸力远非《武经总要》所载火药所能比拟。多数史学家都承认阿拉伯人的火药知识是从中国引进的，而十三世纪阿拉伯兵书中火药成分的大致比例为：硝 70%，硫 10%，炭 20%，应与中国的火药配方相近，即中国当时的火药配比也应与此相差不多。

周密在《齐东野语》卷十一中写道：“穆陵初年，尝于上元日清燕殿排当，恭请恭圣太后，既而烧烟火于庭，有所谓‘地老鼠’者，径至太母圣座下，太母为之惊惶，拂衣径起，意颇疑怒，为之罢宴。”在烟火中与“地老鼠”一类的“起火”、“流星”等都是由火药的燃烧来推进的。这类烟火的原理与火箭发射原理是基本相同的，因此我国著名学者刘仙洲认为：“这种由火药推进的火箭最早出现在南宋后期，约在 1250 年前后。”^① 有关这种火箭，明代早期的兵书《火龙经》中有清楚的介绍：“用小竹竿长四尺二寸，铁铤长四寸五分，翎后钉铁坠长四分，前绑低桶起火，放时有穿龙形架，或装竹、木桶，取其便也。”^② “低桶起火”就是由火药制成的火箭喷气设备。据《新元史》记载，元世祖忽必烈两次远征日本（1274 年和 1281 年）都曾使用过这类火箭。美国著

① 刘仙洲：《中国机械工程发明史》，科学出版社 1962 年版，第 75 页。

② 明·无名氏：《火龙经》，清代手抄本，中国科学院自然科学史研究所图书馆藏。

名的科学史家萨顿(G. A. Sarton, 1884—1956年)等人也认为,1232年中国的汴京之战,金人已经使用了真正的火箭。

第三节 火药和火器发展的新水平

经历了中外科技文化大交流的元代,一般的火药配制和火药武器的生产技术已不像宋代那么神秘了。到了明代,有关火药和火器的记载多起来了。从这些记载可以清楚地看到,火药和火器的发展已达到一个新的水平。

成书于元末明初的《火龙经》^①,上卷介绍了神火药、毒火药、烈火药、飞火药、喷火药、爆火药等二十六种火药,中卷介绍了炮、銃、箭、喷筒等多种火药武器,下卷介绍了球、禽兽、水具等类火药武器和多种杂器。从内容上分析,可以认为它反映了宋元之际及明代早期的火药配方和火器的概貌。首先是火药的种类有了明显的增加。宋代时的毒药烟球、火炮等火药配方到此都已发展成一个大类。不同用途的火器有不同配方的火药,特别是利用其爆炸性能的火药配方逐渐占据了主要地位。尽管燃烧型的火药配方仍很多,例如喷火药、逆风火药、火弹、回火药等,毒药烟球型的火药配方也不少,例如毒火药、烈火药、法火药、神火药等,但是它们从配方到加工直到制成火器,都已较宋代有了明显的提高。

火药配制技术的发展还表现在火器的进步上。南宋出现的火枪

① 《火龙经》有许多版本,笔者看到的是清末刊本《火龙经全集》和手抄本《火龙经·火攻篇》,同署焦玉为作者,内容上有较大差异。前者分上、中、下三卷,还有刘基增补的《火龙经二集》。后者文中竟出现鸟銃之类明代中期才有的火器,可见是后人添加的。但有些火药配方,后者较前者详细。从两本书的内容来分析,大多数内容是可以相信的,可作研究的参考。

和突火枪已发展为青铜或铁铸的火銃,竹管已被金属筒所取代,这是很大的进步。火銃由前膛、药室、炮尾等部分构成,装填石弹或铁弹,点燃药室中的发射药即可射向敌方。火銃(也有的称“火炮”)的炮筒粗而短,口径较大、威力较强的,当时被尊称为“大将军”。现存纪年较早的铜火炮是元代至顺三年(1332年)制造,收藏于中国历史博物馆。1970年在黑龙江省阿城县曾出土一具铜火銃,据考年代不晚于1290年,它可能是迄今发现的世界最早的铜炮。^①

朝鲜的《李朝实录》有一段记载:明洪武七年(1374年),高丽国王为了打造抗倭船只,派人到明朝廷请求支援器械火药等物资。明太祖朱元璋批示说:“高丽来关军器、火药,造船捕倭,我看了好生欢喜,……教那里扫得五十万斤硝,将得十万斤硫黄来这里,著上那别色合用的药修合与他去。”^②一次能送几十万斤火药,表明明初的火药生产数量是很大的。

《明史·兵四·兵器》记载:“正统六年(1441年),边将黄直、杨洪立神銃局于宣府,帝以火器外造,恐传习泄漏,敕止之。”《明会要·兵四·兵器》记载:“景泰五年(1454年)发布命令:令各处守备官制銃箭火药操演,不得漏泄法式。”正统十四年(1449年)御史杨善请铸两头铜銃,还必须向皇帝请示(《明史·兵四·兵器》)。这些资料都说明当时的统治者对火药和火器十分重视,同时对它们的生产严加控制。

现存的一些明代军事著作,如戚继光的《练兵实录》(1571年)和《纪效新书》(1556年),胡宗宪的《筹海图编》(1562年),赵士桢的《神器谱》(1597年),王鸣鹤的《登坛必究》(1598年),吕坤的《救命书》(1607年),何汝贤的《兵录》(1606年),茅元仪的《武备志》(1621

^① 魏国忠,《黑龙江阿城县半粒城子出土的铜火銃》,《文物》1973年第11期。

^② 吴晗,《高丽史·恭愍王世家》,见《朝鲜李朝实录中的中国史料》,中华书局1980年版。

年),李盘的《金汤借箸十二筹》(1621—1627年),汤若望、焦勳的《火攻契要》(又名《则克录》,1643年)等,都记载有当时的火药和火器的情况。关于火药配方,笔者选择一些具有代表性的配方列成表6-2。

表6-2 明代火器火药配方摘要汇集表

时期	书名	火药配方				
		火药名称	硝 (两) (%)	硫 (两) (%)	炭 (两) (%)	其他(两)
明代早期	火龙经 (全集)①	喷火药	2 (57.1)	0.2 (5.7)	1.3 (37.1)	细砂:0.75
		爆火药	4 (91.3)	0.3 (6.8)	0.08 (1.8)	
		炮火药	10 (50.0)	6 (30.0)	4 (20.0)	石黄、雄黄: 1.5
明代中期	火龙经 (手抄本)②	火炮药	1 (78.7)	0.1 (7.9)	0.17 (13.4)	
		火铳药	16 (86.5)	2 (10.8)	0.5 (3.7)	黑砒、石黄、 雄黄:1.5
		喷筒发药	96 (73.9)	5 (3.9)	28.8 (22.2)	
		信药	1 (71.4)	0.1 (7.2)	0.3 (21.4)	斑猫:0.3
	纪效 新书③	鸟铳药	1 (75.8)	0.14 (10.6)	0.18 (13.6)	
	神器谱④	鸟铳药(南方)	10 (80.65)	0.7 (5.65)	1.7 (13.7)	
		鸟铳药(北方)	10 (83.33)	0.5 (4.17)	1.5 (12.50)	
发药		10 (84.03)	0.3 (2.52)	1.6 (13.45)		

① 《火龙经全集》，清末刊本。

② 《火龙经·火攻篇》，清代手抄本，藏中科院自然科学史研究所图书馆。

③ 明·戚继光：《纪效新书》，见学津讨原本第10集卷15。

④ 明·赵士桢：《神器谱》，见玄览堂丛书第8函第85册。

(续表)

时期	书名	火药配方		硝(两) (%)	硫(两) (%)	炭(两) (%)	其他(两)
		火药名称					
明代后期	兵录①	火药		80 (71.42)	16 (14.29)	16 (14.29)	
		火药(又方)		10	0.1	0.1	
		鸟銃药		1 (75.75)	0.14 (10.6)	0.18 (13.64)	
	武备志②	火药		80 (71.42)	16 (14.29)	16 (14.29)	
		火线药		16 (65.57)	3.6 (14.75)	4.8 (19.67)	白砒:0.5 朝脑:0.3
		火箭药		16 (69.57)	2.5 (10.87)	4.5 (19.56)	白砒:0.5 朝脑:0.3
		火銃药		4 (93.68)	0.1 (2.34)	0.17 (3.98)	斑猫:0.1
		铅銃药		40 (75.76)	6 (11.36)	6.8 (12.88)	
		喷火药		2 (76.92)	0.25 (9.62)	0.35 (13.46)	
		炮火药		10 (52.63)	6 (31.58)	3 (15.79)	石黄:1.0 雄黄:0.5
		爆火药		4 (91.32)	0.3 (6.85)	0.08 (1.83)	
	金汤借箸十二筹③	大銃药		96 (75.00)	16 (12.50)	16 (12.50)	
		大銃药(又方)		64 (69.57)	12 (13.04)	16 (17.39)	
		小銃药		96 (72.72)	18 (13.64)	18 (13.64)	

① 明·何汝贤:《兵录》,见明崇祯元年(1628年)浙江正气堂抄本影印本。

② 明·茅元仪:《武备志》,天启元年原刊本。

③ 明·李盘:《金汤借箸十二筹》,十八世纪清代抄本。

(续表)

时期	书名	火药配方		硝 (两) (%)	硫 (两) (%)	炭 (两) (%)	其他(两)
		火药名称					
明代 后期	金汤借箸十二筹	鸟銃药		112 (81.16)	10 (7.25)	16 (11.59)	
		鸟銃药 (又方)		10 (80.65)	0.7 (5.65)	1.7 (13.70)	
		鸟銃药 (北方又方)		10 (83.33)	0.5 (4.17)	1.5 (12.50)	
	火攻契要①	大銃		64 (69.57)	12 (13.04)	16 (17.39)	
		鸟銃		112 (81.16)	10 (7.25)	16 (11.59)	
		火门药		20 (78.74)	2.4 (9.45)	3 (11.81)	
		火箭药		10 (71.43)	0.5 (3.57)	3.5 (25.00)	
		喷筒药		10 (74.07)	0.5 (3.70)	3 (22.22)	
		喷銃药		10 (76.92)	1 (7.69)	2 (15.39)	
		火罐药		7 (58.33)	3 (25.00)	2 (16.67)	
		地雷药		10 (66.67)	3 (20.00)	2 (13.33)	雄黄:0.3 硼砂:0.5
		爆火药		10 (71.43)	2.5 (17.86)	1.5 (10.71)	斑猫:0.5
火信药		10 (72.46)	0.3 (2.17)	3.5 (25.36)			

说明:火药的主要成分是硝硫炭,所以在配方各组分的百分含量计算中,没有考虑副药。然而副药在火药燃爆中的反应是很复杂的,有的是毒药,有的产生浓烟,有的也起硫或炭的作用。

从表 6-2 可以看到明代的火药种类及其配方的变化。首先,火

① 明·汤若望口述、焦勛录写:《火攻契要》,见商务印书馆“丛书集成”第 1491 册。

药配方和分类使用已初具规模:有专用的火銃药,有为喷筒准备的喷筒发药,有用于火箭的火箭药,有用以导火的引线药,有用于照明或信号的信药方、风雨不灭灯方及产生青烟、红烟、白烟、黑烟的药方。在这些配方中,凡属于爆炸型、发射型的火器的火药中,硝石的含量大都在75%以上,硫的含量降至10%或以下,炭的含量约在15%左右。从《火龙经》里可见明初的火药配方尚不稳定,但到明中叶以后,除少数用作燃烧、照明、信号的配方外,大多数火药配方已稳定在:硝占75%左右,硫占10%左右,炭占12—15%。这种配比已接近于近代黑火药的标准配比,表明了火药配制技术的成熟。

火药配制技术的成熟还表现在:第一,逐渐排除了其他一些不必要的或故弄玄虚的副料。第二,愈来愈注意硝、硫、炭三种原料的选择和加工。例如,在《神器谱》中就详细地介绍了焰硝的提纯、炭末的选择及硫黄的加工。关于制硝方法,赵士楨在《神器谱》中写道:

每硝半锅,甜水半锅,煮至硝化开时,用大红萝卜一个,切作四五片,放锅内同滚,待萝卜熟时捞去,用鸡蛋清三个和水二、三碗,倒入锅内,以铲勺搅,有渣滓浮起,尽行撇去,再用极明亮水胶二两许,化开倾在锅内,滚三五滚倾出,以磁盆盛注,用盖盖定,放凉处一宿,看枪极细极明亮方可用。若枪不细尚有咸味,未可入药,当再如前法盆过。

《武备志》也有相似的记载。这表明人们已能熟练地采用胶体除去杂质,然后用重结晶的方法获取纯度极高的焰硝。两书中对硫黄的加工方法和炭末的选择也作了介绍,说明人们已认识到提高火药有效成分的质量和纯度是提高火药性能的重要前提。

火药配制技术的成熟还表现在三种成分的合成和加工上。《武经总要》中火药的成分是由油类物质粘合成膏状。《火龙经》介绍的方法是将各种原料混合研细,再用水或火酒调匀,烘干,再研成极细末。戚继光《纪效新书》所介绍的方法又有进步:

硝一两、硫一钱四分、柳炭一钱八分。通共硝四十两，硫五两六钱，柳炭七两二钱，用水三钟舂得绝细为妙，秘法先将硝硫炭各研为末，照数兑合一处，用水碗下，在木臼舂可万杵，若舂干加水一碗，又舂以细为度，舂之半干，取日晒打碎成豆粒大块，此药之妙只多舂数万杵也。夫端如制合好墨法相类，若添水舂至十数次者，则将一撮堆于纸上，用火燃之，药去而纸不伤，(不)如此者不敢入銃矣，只将人手擎药二钱燃之，而手心烧热者即不佳，又当加水舂之如式而止。

《神器谱》对此的记载也很清楚：

制药，每硝十两，灰一两五钱，硫五钱，将三种研极细末，用水喷半干半湿，放木臼内，用杵着力狠捣，若干去，再用水喷湿，捣至一万杵，取出放在手心内燃之，火燃手心不觉者，方可用。……将药用水或烧酒和捣作剂，晒干再捣碎，用密些竹筛筛过，上粗大者不用，下细者不用，止取如粟米一般者入銃。其大小再如法制造。盖銃筒甚长，细则下药之时，尽粘筒上，不得到底；太粗，药又不实。

南北制药法亦有同异乎。南方卑湿气润，硫炭稍增，北方高爽气燥，硫炭稍减。

这些记载说明当时已广泛使用和生产颗粒状火药，并明白为什么要使用颗粒状火药。此外，还表明人们十分注意火药的安全生产。当时生产火药的工具有多是木制、石制或包着铜的木臼和木杵，禁止使用铁器。在操作中既避免因金属间撞击而产生火星，又防止因摩擦生热而可能带来的灾祸，所以在混合研捣中加入少量的水或火酒。火药厂大多选在轻型的建筑结构中，并设有安全带。这些都表明当时的火药生产已有一套安全生产的规范。

综合上述资料足以说明，至迟在明代中叶，中国的火药配方及其生产技术已达到了近代火药的生产水平，在当时的世界上仍是领先的。

这一时期的火药武器也呈现一派兴旺的景象。明代的火器大致上可归结为以下几类：第一，火箭：各种名目的火箭在《武备志》中有较详的记载。第二，炸弹：包括初具雏形的燃烧弹、毒气弹及地雷。第三，喷火筒：这是雏形的火焰喷射器。第四，金属筒制的火炮。第五，金属管制的多种枪：例如当时最普遍的鸟銃。第六，军用烟火：包括各种发信号用的火器。

火器的发展从应用角度反映了火药技术的进步。北宋时期，火药武器以燃烧型为主。南宋时期，爆炸型和管形火器虽然发展起来了，但是并没有取代燃烧型的主要地位。直到明代，才逐步完成了火药武器由燃烧型向爆炸型的过渡。明代的管形火器，特别是枪銃有了长足的发展，取代了火药包而占据主要地位。抗倭名将戚继光（1528—1587年）曾指出：“诸器之中，鸟銃第一，火箭次之。”^①明代兵器专家赵士桢在《神器谱》中也说：“近代火器则愈多而愈无实用，……著论甚众，以鸟銃为最善。”“自鸟銃流传中国，则诸器（指神枪、快枪、夹把、三眼、子母等兵器）又失其为利矣，诸器一手持柄，一手燃药，未及审固，弹已先出，高低远近，多不自由。鸟銃后有照门，前有照星，机发弹出，两手不动，对准毫厘，命中方寸，兼之筒长气聚，更能致远摧坚。”“臣谨制造十有余门（西洋銃），俱各试较停妥，敬以二式四门，并臣参酌佛郎机番銃之间，造制电銃二门，损益鸟銃、三眼銃之间，造迅雷銃一座，通共六门一座。”由此可见明代军事家对枪銃一类管形火器的认识及这种武器在当时的的发展。在这一发展中，接受外来先进武器的影响是客观事实。赵士桢在《神器谱》中，曾对中西火器进行了比较，他强调的差距主要指兵器的构造。焦勳在申明录写《火攻契要》的目的时也指明了这点，所以该书花费较多篇幅介绍了枪銃从原料到铸造的工艺。

^① 明·戚继光：《练兵实纪·杂集》，商务印书馆“丛书集成”第0949册，第174页。

在火药的配制技术上,明代仍处于世界领先水平。欧洲各国虽然在十六世纪已使用火药武器。最初黑火药的成分配方是采用等量的硝、硫、炭,只是在发现火药的燃烧随硝的增加而加强后,才逐渐增加硝的含量。法国在十六世纪末叶,火药的配方才达到硝 75%、硫 12.5%、炭 12.5%,与《纪效新书》所载的火药配方相近。火药由粉状演进到颗粒状,也是法国较早,约在 1525 年,以后才逐步被推广。根据《练兵实纪》等文献,我国约在 1571 年已普遍使用颗粒状火药于枪铳等火器。

第四节 火药和火器的传播、交流及对世界文明的贡献

恩格斯指出:“现在已经毫无疑问地证实了,火药是从中国经过印度传给阿拉伯人,又由阿拉伯人和火药武器一道经过西班牙传入欧洲。”^①许多历史学家都曾发表过类似的观点,应该说火药发明于中国早已成定论。

火药和火药武器是如何外传的?经过众多学者的研究,特别是冯家昇教授的研究,可以认定火药和火药武器是首先传入伊斯兰教国家,然后再传到欧洲的。这个西传过程大致上可分为两个阶段。第一个阶段是 1225 年前后,火药和烟火的制法由南宋经印度传入伊斯兰教国家。第二阶段是从 1258 年起,各种火药武器由元朝传入伊斯兰教国家。^②

早在公元八至九世纪,在中国金丹术中占据重要地位的硝石就首先随着金丹术传入了阿拉伯的伊斯兰教国家。当时阿拉伯人把硝

^① 恩格斯:《德国农民战争》,《马克思恩格斯全集》第 7 卷,人民出版社 1961 年版,第 386 页。

^② 冯家昇:《火药的发明和西传》,上海人民出版社 1978 年第 2 版。

石叫作“中国雪”，即阿拉伯文的“巴鲁得”。直到十三至十四世纪，“巴鲁得”才转义为专指火药。当时的波斯人将传入的硝石叫作“中国盐”。“中国雪”、“中国盐”当时主要用作医药。

到了南宋时期，中国与一些伊斯兰教国家的商业往来更加频繁，一些阿拉伯商人定居在广州和泉州，中国的商人也前往伊斯兰教国家经商。文化的交流伴随着经济上的交往，促使中国的火药和烟火在这时期传入伊斯兰教国家。一本收藏在巴黎国立图书馆的阿拉伯文抄本的兵书《马术和战争策略大全》，其作者是阿拉伯人哈桑·拉马·纳扎姆丁·阿赫达卜(Al-Hassanal-Rammān Najm al-Din al-Ahdab, 约 1265—1295 年)，在书的开头他写道：为了继承祖父的遗志，并参考了其他专著而写成此书。写作时间约在 1280 年。该书第二篇讨论了用于水陆攻守的火器、火枪、飞火、烟火、火药方及硝石提纯等^①。其中包括不少来自中国的材料，仅以所列举的火药配方就可知其一二。

实验花：硝十，硫磺三，木炭二，火石四，中国铁(即铁屑)九，花十；

契丹火轮：硝十，硫磺三又三分之一，木炭一；

契丹花(用于火门)：硝十，硫磺二，木炭三又四分之一，中国铁十；

契丹花(不用于火门)：硝十，硫磺一又二分之一，木炭二又四分之一；

总共七十一个方子中，有六十一个方子含硝石十份，含硫二分之一到三，多数在一、一又八分之一及一又八分之七之间。只有五十二个方子提到了木炭，多数在三份左右。书中火药方所列的副药中，有

^① 潘吉星：《中国火箭技术史稿》第 6 章“中国火药和火箭技术在阿拉伯的传播”，科学出版社 1987 年版。

中国铁、中国红信(即雄黄)、白铅等,也是中国火药方中的从药。“契丹”则是当时西域人及西方部分商人对中国的称呼。由此可见,当时阿拉伯人不仅掌握了火药,也学会制造烟火,这些知识大多是由中国传去的。

在十三、十四世纪之交,伊斯兰教国家有一名叫闪姆哀丁·谟罕默德的学者写了一本兵书,书中介绍了两种“马达发”。第一种是一根短的筒子,内装火药,把石球安置在筒口,点燃引线后,火药燃烧所产生的高压气体把石球冲射出去。第二种是一根长筒,先装上火药,把一个能上下活动的铁球或铁饼搁在筒内,并且拴在火门旁边,然后装上一支箭,这箭在火药点燃后受铁球或铁饼的冲击而射向敌方。根据冯家昇的分析,第一种明显是根据宋元之际的火筒仿制的,第二种是仿照南宋的突火枪,并作了稍许的改进。它或许可以作为火器自中国传入伊斯兰教国家的一个证明。

在十三世纪,蒙古统治者曾三度率兵西征伊斯兰教国家。蒙古兵先后到达了中亚、西亚、波斯,并于1258年打败了设都在巴格达的黑衣大食。后来又攻占了都城在大马士革的白衣大食,最远甚至与都城设在开罗的马克末克王朝进行了交战。据阿拉伯文的兵书记载,蒙古兵在战斗中曾使用了火药武器,例如“铁瓶”即为震天雷、毒火罐、火箭、火炮等。在战场上总是有胜有负,火药、火药武器的技术总要泄露出去。例如在大马士革以南的一次战斗中,蒙古军队曾吃了一次大败仗,不少蒙古兵包括他们携带的火器都被俘虏。1263年蒙古的一千三百余名骑兵投奔埃及,1295年蒙古军又有一万八千户逃入叙利亚转到埃及。他们不仅交出了大批火器,同时也把火药和火药武器的制作技术传授给了阿拉伯人。许多史料证实,到1304年,阿拉伯人已利用学会的火药和火器制造技术,制成了“马达发”、“回回炮”等火器反击蒙古军队。

火药和火药武器在1225年以后传入伊斯兰教国家不久,正是阿

拉伯著作被译成拉丁文的极盛时期,欧洲的翻译家将阿拉伯文中有关火药的记载译成拉丁文,欧洲学者才知道火药。欧洲人接触火药武器大约在1325年,当时伊斯兰教国家的军队正用火药武器来攻打西班牙的八沙城。所以恩格斯说:“法国和欧洲其他国家是从西班牙的阿拉伯人那里得知火药的制造和使用的,而阿拉伯人则是从他们东面的各国人民那里学来的,后者却又是从最初的发明者——中国人那里学到的。”^①

火药和火药武器在欧洲及世界的传播,对人类社会的进步产生了巨大的影响。马克思在撰写《资本论》第一卷时,曾研究了从古代到十九世纪中叶的技术史资料,他指出:“火药、指南针、印刷术——这是预告资产阶级社会到来的三大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎,指南针打开了世界市场并建立了殖民地,而印刷术则变成新教的工具,总的来说变成科学复兴的手段,变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆。”^②恩格斯也说:“一系列的发明都各有或多或少的重要意义,其中具有光辉的历史意义的就是火药和印刷术的发明。所有这些发明,都大大促进了当时手工业的发展。”^③火药“使整个作战方法发生了变革”,“火药和火器的采用……是一种工业的,也就是经济的进步。”^④近代实验科学的始祖、英国的弗朗西斯·培根(F·Bacon, 1561—1626年)也说过:“发明的力量、效能和后果,是会充分观察出来的。这从古人所不知,且来源不明的俨然是新的三项发明中,表现得再明显不过了,即印刷术、火药和磁针。因为这三项发明已改变了整个世界的面貌和事物的状态。第一种发明表现在学术方面,第二种

① 恩格斯:《军队》,《马克思恩格斯全集》第14卷,人民出版社1964年版,第28页。

② 马克思:《机器、自然力和科学的应用》,人民出版社1978年版,第67页。

③ 恩格斯:《德国农民战争》,《马克思恩格斯全集》第7卷,人民出版社1961年版,第386页。

④ 恩格斯:《反杜林论》,《马克思恩格斯全集》第20卷,人民出版社1970年版,第164页。

在战争方面,第三种在航海方面。从这里又引起无数的变化,以致任何帝国、任何教派、任何名人在人事方面似乎都不及这些机械发明更有力量和影响。”^①

现已发现的欧洲十四世纪的火銃有三尊,它们分藏于瑞士伯尔尼博物馆、美国福瑞尔博物馆、德国日耳曼博物馆。它们的制造年代约在1380年和1395年之间,用铜或铁制,重4000克左右,长分别为16.7、18.5和48厘米。相比之下,这些欧洲早期的火銃无论射程和威力,还是制造质量都不比中国同期的火銃强。但是经过一百多年的发展,欧洲一些国家生产的火器由于机械制造精良,又设计了准星、照门等重要附件,使其使用性能超过了中国的火器。明代中期,主要从十六世纪初开始,中国的军民领教了来自西方“蛮夷”的火器的厉害,佛郎机、鸟銃、鲁密銃、红夷炮等较先进的火器逐渐通过多种渠道传进中国来了,亦为军事家所认识。

中国少数有识之士并没有因火药和火药武器是中国人发明和率先使用的而妄自尊大,他们面对后来居上的西方先进火器,采取学习、研究、发展的态度,为中国明清时期的火器及军事工业的发展作出了贡献。明代的兵器专家赵士桢就是一例,生活在清代道光年间(1821—1850年)的丁守存也是一例。

赵士桢(约1552—1611年),字常吉,号后湖,乐清(今浙江乐清)人。他自幼受祖父熏陶,擅长书法,于万历六年(1578年)被授予鸿胪寺主簿。任职十八年后,受召入直文华殿,晋升为中书舍人。他青少年时生活在东海之滨,深受倭寇侵扰之苦,因此关心国家前途,注意研究军事及火器技术的书籍,并留心访求“神器”。他潜心研制火器,钻研理论,以至“竟成锻癖,……似醉若痴”,“千金坐散而不顾”,“备极劳苦而不辞,不惜以蒲柳孱弱之躯,……孳孳矻矻,恒穷年而罔

^① 弗·培根:《新工具》,商务印书馆1984年版。

恤”^①。他参照西方的火器,先后研制出“掣电銃”、“迅雷銃”、“鹰扬炮”、“三长銃”、“火箭溜”等各具特色的十多种火器,并对炼出高质量的钢材,配制出高性能的火药提出了可行办法。为了使精良的火器充分发挥作用,他反对滥造滥用,提出造器、用器统一的主张,即要求造器者必知用器之法,用器者必知造器之理,这样才能运用自如,临战无患。所以赵士楨是一位精通战略战术的火器研制专家。

丁守存(1812—1886年),字心斋,号竹溪,晚年又号竹石山人,出生于山东日照县一个家道中落的知识分子家庭。幼年从父读书习字,道光十五年(1835年)中进士,赴户部陕西司任职,并在琅琊学院讲学。道光二十二年(1842年)擢户部主事。二十三年(1843年)成为军机章京^②。他“通天文、历算、风角、壬遁之术,善制造。时英吉利兵犯沿海数省,船炮之利为中国所未有,守存慨然讲求制造。西学犹未通行,凡所谓力学、化学、光学、重学皆无专书,覃思每与阖合”(《清史稿·丁守存传》)。道光二十二年六月,他赴天津监造地雷、火机等器,试之皆验,有《用地雷法》传世。次年(1843年)成《自来火銃造法》,更造“手捧雷”等火器。

面对西方列强挟其船坚炮利及新式火器不断侵犯中国的现实,丁守存决心全力以赴地研究火器制造。他注意到西方战舰的火炮,发炮时不用传统的药线,而是利用很小的“铜帽”(雷管)引爆火药,非常迅捷,而中国火器还击时总不及时。于是他在天津和工人一道成功地研制了西方刚兴起的雷管,亲自制备了起爆药雷酸银。《自来火銃造法》就是他研制成果的小结。该书开头便指出:“中华銃炮,或用纸信,或用烘药,总系火绳点燃。其不便有三:临阵忙乱,倘装放偶疏,则贻

^① 明·赵士楨:《神器谱》,玄览堂丛书,第85册。

^② 潘吉星:《论清代化学家丁守存的起爆药雷酸银合成》,《科技史文集》第15辑,上海科技出版社1989年版,第58—67页。

害甚巨。又纸信恐雨淋湿,烘药恐风吹散,晦夜尤为不便。”“近复有自来火药一法,红铜为筒,径分许,长分许,中空,底粘白药一层……一击则火出而铳响,其法始万全无弊。但不知白药为何物所配。视其火光所迸,并嗅其气味,知为有硝无磺之物,然不知更有何药。或谓系噶喇水(即王水)杂硝磺为之者,非也。夷人甚秘其方,但云以药水化银为之。药水一名强水(即硝酸),投锡、铜、铅、汞,立化乌有。……予既得其方,因详其理以告人。”^① 该书主要内容是介绍怎样制作雷管作为火器的起爆装置。丁守存用极纯的银、自制的硝酸和蒸馏过的乙醇相作用,合成制得雷酸银结晶作为起爆药,然后将其装填制成雷管。这在当时是件很不容易的事,它较之1831年欧洲首次使用以雷酸银为起爆药的雷管仅晚十二年。丁守存是中国化学史中最早合成雷酸银的 chemist,也是一位卓有成就的火器专家。

^① 丁守存:《自来火铳造法》,《海国图志》卷五七,1847年扬州古微堂版,第1—7页。

第七章 造纸术和印刷术

纸是中国古代科技的四大发明之一。当今造纸工艺的基本原理就是从中国古代造纸术发展而来的。从原料到成品的造纸过程中,最关键的工序是制浆。成浆的步骤实质上是一个化学处理过程,加上纸的漂白、染色和上胶等工艺,都涉及化学变化,因此历来把造纸当作化学工艺的一个部分。活字印刷术也是闻名于世的中国古代科技的四大发明之一。活字印刷除了制造设备的材料和油墨与化学有关,其主要原理是个机械——物理的过程。但是由于没有纸就谈不上印刷术,没有印刷术,纸张也不可能大有用途,更没有后来的发展,所以在文明史上常将造纸术和印刷术联系在一起。本章也将印刷术与造纸术一并介绍。

第一节 早期的植物纤维纸

按传统的说法,纸主要是指以植物纤维为原料,经过加工处理而抄成的平滑的薄页,适于书写、印刷、包装之用。在没有发明纸之前,中国古代所用的记事材料主要有甲骨、简牍、缣帛等。

甲是乌龟壳,骨是牛羊等动物的肩胛骨。先民早在三千五百多年

前的商代就用它们记下“卜辞”，即今称之为“甲骨文”。尽管甲骨文与现代的汉字差别很大，但它确是中国已知的最古的文字。甲骨是现存的最早的记事材料。从1899年起，考古工作者陆续在河南安阳、山东济南、山西彬县等许多地方发掘出了十六万余片的甲骨，对人们认识当时的社会和文化很有帮助。甲骨来源有限，刻字、携带、保管都不方便。人们也曾在青铜器内铸上铭文或在石头上刻上文字，同样由于难度较大而数量有限。

古代记事材料使用最多的是简牍。南方盛产竹子，故使用竹简、竹牍较多。北方多以柳树、杨树制作木简、木牍。1951年至1953年在湖南长沙近郊的战国时期墓葬中发现了竹简几十枚。1972年在山东临沂银雀山汉墓也发现了大量竹简，内容是早已散佚的《孙臆兵法》。1972—1974年从湖南长沙马王堆汉墓里出土了竹简九百多枚。1975年在湖北江陵西汉墓葬中也清理出竹简、竹牍、木牍多枚。尽管简牍十分笨重，写作、阅读也不便利，但由于它来源广，制作易，在商代开始使用后，很快流行，成为春秋战国时期最常见的书写材料。

1974年从长沙马王堆三号汉墓中发现了大批帛书。可以想象缣帛也是当时的书写材料。尽管缣帛便于书写，但是其价格昂贵，汉代一匹缣（ 2.2×0.4 汉尺）值六石（七百二十汉斤）大米。所以缣帛只有少数王公贵族才能用于书写。人们必须寻找一种既便于书写又价格便宜的书写材料，纸正是在这种情况下应运而生的。

1933年考古学家黄文弼在新疆罗布淖尔古烽燧亭中发现了西汉古纸^①。此纸“麻质，白色，作方块薄片……质甚粗糙，不匀净，纸面尚存麻筋”，纸幅约为 4×10 厘米。与之同时出土的还有黄龙元年（前49年）的木简。

1957年在陕西西安市郊灞桥出土了古纸。该纸呈浅褐色，无字

^① 黄文弼：《罗布淖尔考古记》，北京研究院史学研究所1948年编，第168页。

迹,纸幅较大者约为 10×10 厘米,多裂成碎片。根据同时出土的文物断定它不晚于公元前118年,即应是西汉古纸^①。经过显微分析,其原料主要是大麻纤维,有少量苧麻,纤维短细匀整,显然经过切断,并有压溃凌和帚化现象,纤维分散交织,具有纸的典型结构。激光光谱分析表明该纸中钙离子数量远多于土壤、水或原料中的含钙量,说明它是经过化学处理和机械处理的,既非破布,也不是乱麻,而是纸。

1973年在甘肃居延肩水金关发现了不晚于公元前52年的西汉麻纸两块。其中一张纸色白净,一面平整,一面起毛。^②

1978年在陕西扶风中颜村出土了西汉宣帝(前73—前49年)的三张麻纸。该纸呈乳黄色,十分结实。^③

1979年在甘肃敦煌县马圈湾西汉烽燧遗址出土了五件8片西汉麻纸,考古断代在公元前一世纪至公元一世纪初年^④。其中一年代较早的一张约有 32×20 厘米,是迄今为止出土西汉古纸最大的一张,呈黄色,较粗糙。

曾有人认为上述西汉古纸上无文字,只能作杂用,故尚不是书写材料。但是从1986年在甘肃天水放马滩出土的西汉纸质地图的碎片来看,西汉古纸可供写绘之用。该纸在一属于西汉文帝时期(前179—前141年)的墓葬中出土,出土时呈黄色,后变浅褐色。纸质薄软,纸面平整光滑,残长五点六厘米,宽二点六厘米,其上用墨色绘有地图^⑤。该纸经鉴定为麻纸,是迄今所知年代最早的古纸。

① 潘吉星:《世界上最早的植物纤维纸》,《文物》1964年第11期。

潘吉星:《灞桥纸不是西汉植物纤维纸吗》,《自然科学史研究》第8卷(1989年)第4期。

②③ 许鸣岐:《对三次出土的西汉古纸的验证》,《科技史文集》第15辑,上海科技出版社1989年版。

④ 甘肃省博物馆、敦煌县文化馆:《敦煌马圈湾汉代烽燧遗址发掘报告》,《文物》1981年第10期。

⑤ 何双全:《甘肃天水放马滩战国秦汉墓群的发掘》,《文物》1989年第2期。

1991年在甘肃汉代邮驿悬泉置遗址里发现了大量的西汉宣帝、元帝时期(前69—前33年)的麻纸,其中还有四件墨写文字的纸^①。以上一系列的西汉古纸的出土,足以说明中国早在西汉已发明了造纸术。

成书于公元100年的许慎著的《说文解字》说:“纸,絮一箔也,从系氏声。”同时还说:“絮:敝絺也。”“箔:激絮策也。”“激:于水中击絮也。”“策:床棧也。”综合上述字的释义,许慎认为纸是类似于丝絮在水中经击打而留在床席上的薄片。这可能是现存古文献中对纸的最早释义。东汉服虔《通俗文》说:“方絮曰纸。”《后汉书·蔡伦传》也说:“书契……其用缣帛者谓之纸。”上述的释义可以肯定地告诉人们,造纸术的发明与古代蚕丝的漂絮法有直接的联系。

早在商代以前,中国的先民已能植桑养蚕,缫丝织绢。对于次茧一般将其加工成丝绵:把次茧用水煮沸,脱除胶质,用手工把茧剥开,加以清洗,再浸没在水中的篾席上,用棒反复捶打,直到蚕衣被捣碎,蚕茧散开连成一片,丝绵即成。这种方法叫“漂絮法”,最早见于战国时代。《庄子·逍遥游》中说:“宋人有善为不龟手之药者,世世以泝澼洸为事。”“泝”即“浮”意,“澼”为“漂”的意思,“洸”即絮的意思,这句话是说宋国人多以漂絮为业,能做防手龟裂的药。漂絮法以制丝绵为主要目的,但每次漂絮完毕,总有一些残絮遗留在篾席上,晾干后即可得一层残絮交织的薄片,这就是丝絮纸。既然丝织的缣帛可以书写,那末丝絮纸也可用于书写。但是残絮有限,产量不多,价钱也较贵,加上易于腐坏,不能长期存放,所以难以普及推广。

中国是世界上最早种植和利用麻类植物的国家之一,大麻盛产于黄河流域,苧麻多植于南方。麻纺首先一道工序就是沤麻,利用水中的微生物分解麻类切片纤维中的胶质,从而达到脱胶的目的。《诗

^① 《中国文物报》1992年1月5日。

《诗经·陈风》中写道，“东门之池，可以沤麻”，“东门之池，可以沤纈”。《诗经·周南》中也说：“葛之覃兮，施于中谷，维叶莫莫。是刈是漉，为纈为纆，服之无斃。”“刈”是“割”的意思，“漉”是“煮”的意思，“纈”表示细布，“纆”为粗布。可见当时已发展到运用煮制的方法来脱胶。据对长沙马王堆出土的西汉苧麻布的分析，当时已采用草木灰或石灰的水来煮沤麻类，以使其脱胶。

麻类植物的脱胶及稍后加工成较细麻丝的工艺，和制丝绵的漂絮法一样，都为造纸术的发明提供了技术上的借鉴。通过对古纸的分析，参考传统的手工造纸技术，古代造纸工艺应包括以下几个步骤：第一，将大麻、苧麻等原料洗净切碎。第二，将切碎的原料在石灰或草木灰的碱性水溶液中浸沤，以除去其中的果胶、色素及木素。第三，将已除去胶质的纤维在石臼中舂捣成浆。第四，反复清洗已捣碎成浆的纤维素，再制成绵絮状，用竹席或丝制网筛抄出一层纤维薄片，晒干或晾干后即成纸。以上造纸工序的技术基本上已包含在沤麻、漂絮的工艺之中，在屡见丝絮薄片和麻缕现象的启迪下，发明造纸术是可以想像的。

早期的造纸技术显然不会很完备，所造的纸的质量也不稳定，例如出土的灞桥纸结构就比较松散，其中还有没被切断的较长麻纤维。加上纸被人们认识要有个过程，造纸技术的推广更需要一个动因，产量有限的纸张很难取代简牍、缣帛等书写材料，有条件的王公贵族宁可用缣帛，也不会使用纸。所以在造纸术发明的初始阶段，即在西汉时期，甚至在东汉的很长时间里，书写的主要材料仍是简牍和缣帛。例如，1973—1974年在长沙马王堆西汉墓葬中先后发现了九百多枚竹简和二万多字的帛书及五幅精美的彩绘帛画。这就是当时南方使用简牍和缣帛为书写材料的一个反映。改变这一状况，使纸成为主要的书写材料，要归功于蔡伦。

第二节 蔡伦和造纸术的发展

《后汉书·蔡伦传》记载：“蔡伦字敬仲，桂阳（今湖南耒阳）人也。……永元九年（97年），监作秘剑及诸器械，莫不精工坚密，为后世法。自古书契多编以竹简，其用缣帛谓之‘纸’，缣贵而简重，并不便于人。伦乃造意用树肤、麻头及敝布、鱼网以为纸。元兴元年（105年）奏上之。帝（汉和帝）善其能，自是莫不从用焉。故天下咸称‘蔡侯纸’。”据考《后汉书》这一记载是来自《东观汉记》的“蔡伦传”，该传是汉桓帝元嘉元年（151年）延笃等人根据汉桓帝的指示撰写的。蔡伦卒于汉安帝建光元年（121年），时代相去不远，所以延笃等人的记载是可信的。晋张华（232—300年）的《博物志》亦云：“蔡伦始捣故鱼网造纸。”董巴（三世纪人）的《舆服志》云：“东京有蔡侯纸，即伦也，用故麻，名麻纸，木皮名楮纸，用故鱼网，名网纸也。”南朝刘宋的盛弘之在《荆州记》中写道：“伦始以鱼网造纸，县人今犹多能造纸，盖伦之遗业也。”这些记载一再表明蔡伦其人其事是有充分根据的。

蔡伦在明帝永平十八年（75年）入宫为太监，建初中为小黄门，汉和帝永元元年（89年）升中常侍，永元九年（97年）兼少府尚方令。东汉时少府下属的尚方相当于皇室的手工工场，专门制作御用器物。在蔡伦主持下，尚方制造了大量精美的御用器物，而使蔡伦名垂青史的是，在他任尚方令期间，总结了零散的民间造纸术，加以革新，利用尚方的有利条件，造出了一批质地良好的纸，于汉和帝永元十七年（105年）献给了汉和帝刘肇，受到了表彰和重视，纸和造纸术从此为人们所推重。汉安帝元初元年（114年），蔡伦被封为“龙亭侯”，人们称尚方所造的纸为“蔡侯纸”。汉安帝建光元年（121年）蔡伦因卷入宫廷斗争而被迫服毒自杀。根据以上的史料，蔡伦作为一个造纸专

家,其贡献有:

第一,扩充了造纸用的原料。除大麻、苧麻外,还充分利用了其他废旧的麻制品:麻头、麻布、鱼网等,特别是树皮。树皮的来源不亚于麻类。以树皮为原料的纸中又以楮皮纸为最重要,在东汉以后,楮皮纸是大量生产和使用的纸张品种之一。

第二,改进并发展了造纸技术。麻绳头、鱼网、麻布等旧麻制品都需捣碎,颜色较深的还需脱色。树皮中木素、果胶等杂质含量远较大麻、苧麻高。所以在脱胶制浆中,对技艺的要求就较高,据分析当时可能采用灰水或灰水与石灰水混合液来制浆。因为石灰水中含有氢氧化钙,而灰水中含有较多碳酸钾。使用灰水或灰水和石灰水的混合液,碱性适中,既可成浆,又不破坏纤维素。蔡伦能够利用麻绳、麻布、鱼网和树皮制造出质量较好的纸张,必定是在制浆工艺上作了重大改进,很可能是首先采用了碱液蒸煮制浆。

第三,推广纸的运用和造纸技术。古代技术往往秘不示人,只在少数工匠师徒间秘密传承,造纸技术应不例外。加上造纸术发明之初,所造的纸质量欠佳,难登大雅之堂,直到东汉中叶,还有不少文人学士鄙视纸张。虞世南(558—638年)汇编的《北堂书钞》里写了一个崔瑗赠书的故事。崔瑗是一个东汉文人,他给朋友葛元甫(即葛龚,生于一世纪末至二世纪初)写信,大意是:送上《许子》十卷,由于经济不宽裕,买不起帛,只好用纸写,表示十分抱歉。这件事反映了当时一些文人对纸张的认识。蔡伦则不同,他认识到纸的重要,因而总结民间的经验,改进和发展了造纸技术,使纸和造纸术广为人知,引起了全社会的重视。

蔡伦造出的质量较高的纸,使人们开始认识到,纸有竹木之廉,而体轻层薄,兼有帛之柔,却无其贵,有金石之久而无其笨重。纸是廉价而又轻便的最理想的书写材料。造纸业作为一种社会需求,伴随着社会文化的发展而稳步地发展。东晋末年豪族桓玄于晋安帝元

兴三年（404年）废晋安帝，改国号为“楚”，并下令以纸代简：“古无纸，故用简，……今诸用简者，皆以黄纸代之”（《太平御览》卷六〇五）。简牍文字从此基本绝迹。纸不仅在民间通用，而且成为官方文书的载体。

出土的西汉古纸都是麻纸，东汉仍以麻纸为主。蔡伦发明了以树皮为原料的皮纸，主要是楮皮纸。楮就是枸树，也叫穀树，系落叶乔木，开淡绿色花，果实呈红色，皮部纤维强韧。贾思勰在《齐民要术·种穀楮》中有专章介绍楮的种植方法和情况，并指出：“其皮可以为纸者”，“煮剥卖皮者，虽劳而利大。其柴足以供热，自然造纸，其利又多。”由此可见种楮在农业中的地位，它为造纸业提供了一种充裕的原料，所以楮皮纸在社会流行起来。

现存故宫博物院的一件文物——《平复帖》，是用晋代麻纸写的，它比1942年在内蒙额济纳河岸旁汉代烽火台出土的写有汉隶字的东汉麻纸要好得多，表明晋代的麻纸在质量上又有明显的提高。相传东晋著名的书法家王羲之有一次送给谢安的麻纸就达九万张，可见当时造纸业的兴旺。

既然大麻、苧麻及其制品和树皮都可用作造纸原料，人们便试用更多的植物纤维来造纸。东晋的范宁（339—401年）在浙江做官时，发出通告说：“土纸不可作文书，皆令用藤角纸。”（《北堂书钞》卷一〇四）土纸即用稻、麦秆为原料所造的纸，即今南方的草纸。因其纤维较短，所以制成的纸张质地较粗，不耐用。藤纸是用藤皮为原料所造的纸，藤皮具有强韧的长纤维，所以用它制成的纸，质量较高。这条史实表明：在公元四至五世纪的东晋，已采用稻草、麦秆等草类作物来造纸了，同时，质量较高的藤纸也已开始流行。

唐代经济文化的全面发展，使造纸业成为欣欣向荣的一个手工业部门。造纸生产遍及全国各地。据《新唐书·地理志》、《元和郡县志》、《通典·食货志》等书记载，当时的常州、杭州、越州（今浙江绍

兴)、婺州(今浙江金华)、衢州、宣州、歙州、池州、江州、信州(今江西上饶)、衡州、益州(今四川成都)、韶州、蒲州(今山西永济)、巨鹿郡(今河北巨鹿)等十五个地区都出产纸张,造纸业有官办的,也有民营的,许多小县也兴办了造纸作坊。据《唐六典》记载,当时的纸有:益州的大小黄、白麻纸,杭、婺、衢、越州的上细黄、白纸,均州的大模纸,蒲州的细薄白纸。此外还有楮纸、藤纸、桑皮纸、海苔纸、草纸(以上依原料名);蜀纸、峡纸、剡纸、宣纸、歙纸(以上依地区名);笺纸、窗纸、印纸、法纸、火纸(以上依用途名);绫纸、薄纸、矾纸、玉版纸、锦囊纸、硬黄纸(以上依特殊质地名);红纸、青纸、绿纸、白碧纸(以上依颜色名);金泥纸、松花纸、五云笺、金粉纸、冷金纸、流砂纸(以上依加工制法名),等等。名目繁多的纸张,各具特色,从一个侧面反映了造纸业的发展。

宣纸是宣州府每年献给朝廷的贡品。它属于皮纸的一种,以安徽泾县、宣城、太平等地生产的青檀树皮为原料,产品以质地柔韧、洁白平滑、细腻匀整、色泽耐久而著称。它是一种主要供毛笔书画用的独特的手工纸,有“纸寿千年”的美誉。明代以前的宣纸采用百分之一百的青檀皮浆制成。清代起改用檀皮和稻草合造。由于原料选择严格,处理条件适当,加工步骤精细,胶汁使用得法,捞纸技术娴熟,晒纸手艺高超,所以宣纸至今仍是纸张中的名牌。

九世纪初的李肇在《国史补》卷十一中记载:“纸则有越之剡藤、苔笺;蜀之麻面、屑末、滑石、金花、长麻、鱼子、十色笺;扬之六合笺;韶之竹笺;蒲之白薄、重抄;临川之滑薄。”“越之剡藤”是指盛产于浙江剡溪(今嵊县一带)的一种藤纸。西晋张华《博物志》中曾说:“剡溪古藤甚多,可造纸,故即名纸为‘剡藤’。”唐舒元舆在《悲剡溪古藤文》中说:“剡溪上多古藤株栢,谿中多纸工,擘剥皮肤以给其业。”藤纸曾以其质地优良为当时的贡品。官方对书写文书所用的藤纸有明确的规定:“凡赐与、征召、宣索、处分曰诏,用白藤纸。凡太清宫道观荐告词文,用青

藤纸。敕旨、论事、敕及敕牒用黄藤纸。”^① 由于当时藤纸用量很大，而藤的生长较慢，产量有限，因此在竹纸问世后，藤纸遂被竹纸所取代。

麻纸，在唐代以四川出产的最为著名。据《唐书·经籍志》载，唐玄宗时编纂的经、史、子、集四库书一套共十二万五千九百六十卷，“皆以益州麻纸写”。扬州的六合麻纸质量也很不错，宋米芾（1051—1107年）的《十纸说》曾说：“唐人浆锤六合慢麻纸，写经明透，年岁久远，入水不濡。”

“韶之竹笺”之说，说明广东的竹纸已具较高水平。竹子纤维较硬易断，技术处理比较困难，竹纸的问世，标志着我国造纸技术已相当精熟。宋代的苏易简（958—996年）在《文房四谱》卷四中写道：“今江浙间有以嫩竹为纸，如作密书，无人敢拆发之。盖随手便裂，不复粘也。”可见早期江浙生产的竹纸质量还不大好，纸的牢度、强度都较差。苏轼（1032—1101年）在《东坡志林》卷十中说：“今人以竹为纸，亦古所无有也。”说明在十一世纪，竹纸已在大量被使用，质量显然有所提高。宋人施宿著写的《嘉泰会稽志》在谈到剡溪物产变迁时说：“剡之藤纸，得名最旧，其次苔笺。今独竹纸名天下，竹纸上品有三：曰姚黄、曰学士、曰邵公，工书者喜之。”说明在当时的南方，竹纸生产在造纸业中已占据重要地位。

纸张品种的增多，产量、质量的提高，加工技术的日臻完善，纸的应用的普及，都标志着造纸业的兴盛。多品种、高质量的纸为印刷术的发展，书法、绘画、制图的流行，商业的繁荣奠定了物质基础。至宋代，纸几乎成为民众物质生活和文化生活的必需品了。

明代以前的古书，偶尔也有记载造纸工艺的文字，但大多抽象简略，且不系统完整。目前已知较详细地记载古代造纸工艺的文献有以下几种：

^① 唐·李肇：《翰林志》，《说郭》卷九〇，上海古籍出版社1986年版，第1221页。

《江西省大志》：明王宗沐(1521—1591年)所辑。其中有该省生产楮纸工艺的记载,把造楮纸的原料、工具、操作程序、注意事项都作了具体说明。

《天工开物》：宋应星(1597—1652年)在其名著《天工开物》中有“杀青”一卷,记述了造竹纸、皮纸的生产工艺。宋应星的记述还附有插图,形象地表明了从原料的砍伐、挑选,蒸煮到捞纸、压榨、烘干成纸的主要工序,对后人了解古代造纸工艺有重要的帮助。

《造纸说》：清黄兴三(生卒年不详)所撰。该书记录了清代的造纸法。作者将造纸法归结为十二道工序：一“折梢”(备料),二“练丝”(灰腌),三“蒸云”(蒸煮),四“浣水”(洗涤),五“渍灰”(加药),六“曝日”(漂白),七“碓雪”(打浆),八“囊漉”(除渣),九“样槽”(调成),十“织帘”(捞纸),十一“翦水”(压榨),十二“炙槽”(烘干)。使人们对清代造纸工艺有了更深的了解。

第三节 雕板印刷术

印刷术的发明的先决条件是：具备有一定质量的纸、墨,掌握了刻印的技巧,认识到反文印刷的原理。这些条件在隋唐以前已具备。汉代发明造纸术后,纸作为书写材料在魏晋南北朝已被普遍采用。纸品的质量和产量都有较大的提高。先秦已使用的笔墨,在东汉发明了松烟墨后,更上一层楼。墨迹漆黑,不仅是优良的书写材料,同时也可作印刷的着色原料。殷商流行的印纹陶,采用木模压印、拍打陶坯,应是最原始的印刷。战国开始出现的印玺,即图章或戳子,作为印信的标识,表明人们对反文原理有了认识。秦汉时代的刻石,尤其是魏晋时道教所刻制的大量木刻符籙,有的字数已达一百二十字,晋代的反写阳文凸字的砖志,萧梁时的反写反刻阴文神通石柱等,说明人们已

掌握了熟练的刻凿技术,熟悉了反文雕刻的原理。这些技巧的积累和启示,预示了雕板印刷术的发明是很自然的。

雕板印刷用的板木,古人用梓木,故称刻板为“刻梓”或“梓行”。最通用的梓木是梨木或枣木,故又称刻书为“付之梨枣。”在梨板或枣板上刻出凸起的阳文反文字,把黑墨涂在文字上,放上纸张,再用棕刷在纸上刷印,便得到白纸黑字的印刷品。这就是雕板印刷术。

明代史学家邵经邦(1491—1565年)在《弘简录》卷四六中记载:“(唐)太宗后长孙氏,洛阳人。……遂崩,年三十六。上为之恸。及官司上其所撰《女则》十篇,采古妇人善事。……帝览而嘉叹,以后此书足垂后代,令梓行之。”“梓行”即是雕板印行。长孙氏死于贞观十年(636年)。

唐代冯贽在《云仙散录》中引《僧园逸录》云:“玄奘以回锋纸印普贤像,施于四众,每岁五驮无余。”玄奘法师于贞观三年(629年)西游印度,十九年(645年)回国,麟德元年(664年)圆寂,所以,他用纸印普贤菩萨像应在回国之后。每年印五驮,数量不少。

上述史实表明,雕板印刷术的发明不晚于唐初贞观年间。

早期的雕板印刷活动主要用于三个方面。

第一,宗教活动。上述玄奘印制普贤像就是一例。1966年在韩国发现的木刻《陀罗尼经》,刻于704—751年之间,为目前发现的最早印刷品。据有关学者研究,认为该经是在当时的长安刻印的^①。唐代范摅的《云溪友议》云:“纥干尚书泉苦求龙虎之丹十五余稔,及镇江右,乃大延方术之士,作《刘宏传》,雕印数千本,以寄中朝及四海精心烧炼之者。”《刘宏传》是道家烧炼之作,雕印几千本送给京城内外的同好,这是有关道教徒印书的最早记载。现存世界上第一部标有年代的木版印刷品是咸通九年(868年)王玠出资刻印的《金刚经》,由七

^① 张秀民:《中国印刷史》,上海人民出版社1989年版,第32—34页。

张纸粘成一卷,全长四百八十八厘米,可见刻板的面积很大。全卷完整无缺,说明刻印技术的纯熟。唐代印刷的宗教书籍还有《金刚般若波罗蜜经》、《陀罗尼经》等。

第二,刻印诗集。唐代诗人元稹(779—831年)为其朋友白居易的《白氏诗集》作序云:“《白氏长庆集》者,太原人白居易之所作。……然而二十年间,禁省观寺,邮候墙壁之上无不书,王公妾妇,牛童马走之口无不道。至于缮写模勒,衒卖于市井,或持之以交酒茗者,处处皆是。其甚者有至于盗窃名姓,苟求是售,杂乱间厕,无可奈何。……长庆四年(825年)冬十二月十日微之序。”“模勒”应为刊刻。这里说的是白居易、元稹的诗当时为京城内外所传诵,深受民众喜爱,于是扬、越一带就将其刊刻印卖,甚至发现伪作。这一史实反映了当时雕板印刷业已很兴盛。九世纪中叶日本来华名僧宗睿于咸通六年(865年)归国,就带有印刷的书籍《唐韵》一部五卷和《玉篇》一部三十卷。这说明多卷本的著作也已然雕板印刷。

第三,印刷历法、医药等科学技术书籍。农民为掌握农时,需要历法,因而刻印历书成为一种社会需求。835年前后:“剑南两川及淮南道皆以版印历日鬻于市。每岁司天台未奏颁下新历,其印历已满天下。”(《册府元龟》卷一六〇)现存最早刻印的日历是乾符四年(877年)的历书,上刻有节气、月大、月小及日期干支,并杂有阴阳、五行、吉凶、禁忌等。唐代医药较受重视,一些相关的书籍遂被刻印,并在社会上传播。例如注明“京中李家于东市印”的《新集备急灸经》,现存有该刻印本在咸通二年(861年)的传抄本,今藏法国巴黎国家图书馆。此外随着文化教育发展的需求,当时在成都出售的印刷书籍中,还“多术数、字学、小学”等^①。由于工商业发展的需求,八世纪八十年代

^① 清·朱彝尊:《经义考》卷二九三,引宋《国史志》,台湾商务印书馆《四库全书》第680册。

在市场上开始出现一种名为“印纸”的印刷品,作为商人交易及纳税的凭据。

雕板印刷术发明之后,得到了较快的发展和推广,到九世纪已在许多部门得到应用,成为一项新兴的手工业部门,对社会经济生活和科学技术及文化的发展起着越来越大的作用。雕板印刷的早期活动主要是在民间进行,到了五代时期,士大夫阶层也认识到印刷的重要。后唐明宗长兴二年(931年),宰相冯道等倡议发起刻印儒家经典的活动,次年奏请“依石经文字,刻九经印板。敕令国子监集博士儒徒,将西京石经本,各以所业本经,广为抄写,仔细看读,然后雇召能雕字匠人,各部随帙刻印板,广颁天下”(《旧五代史·唐明宗纪九》)。此后二十二年中,刻成印板《九经》、《五经文字》、《九经字样》各两部,一百三十册,印刷出售。自此,刻印书籍成为政府的出版事业。雕板印刷术作为印刷术的一部分,并没有因活字印刷术的发明而凋零。在宋代,它得到进一步的普及和发展。在元代,发明了朱、墨两色套印。现存最早套印的实物为元代至元六年(1340年)至至正元年(1341年)中兴路(今湖北江陵)资福寺所刊的《金刚经注》。它比欧洲第一本带色的德国《梅因兹圣诗篇》早一百一十六年。套印的发明是印刷史上的大事。在明代,又出现了蓝印、套印、彩印。明代湖州的套印已由两色发展为三色、四色,甚至五色,这是色印史上的一大进步。到清代,雕板印刷的年画盛行。同时由于木活字、铜活字的进一步流行,雕板印刷才由盛转衰。

第四节 活字印刷术

宋代科学家沈括(1031—1095年),字存中,他在《梦溪笔谈》卷一八中记载:

庆历中有布衣毕昇又为活板。其法用胶泥刻字，薄如钱唇，每字为一印，火烧令坚。先设一铁板，其上以松脂蜡和纸灰之类冒之。欲印，则以一铁范置铁板上，乃密布字印，满铁范为一板，持就火炆之，药稍熔，则以一平板按其面，则字平如砥。若止印三二本末为简易，若印数十百千本，则极为神速。常作二铁板，一板印刷，一板已自布字，此印者才毕，则第二板已具，更互用之，瞬息可就。每一字皆有数印，如“之”、“也”等字，每字有二十余印，以备一板内有重复者。……昇死。其印为余群从所得，至今保藏。

这段记载十分清楚，宋代平民毕昇于庆历(1041—1048年)中发明了泥活字印刷术。这技术与近现代的铅字排版印刷术的原理基本相同，它与雕板印刷术相比，毋需一块一块地写字刻板，不仅节省劳力费用，还提高了印书的速度。活字印刷术的发明是世界印刷史上一次伟大的技术革命。

南宋光宗绍熙四年(1193年)，曾任宰相、时任潭州(今湖南长沙)长官的周必大(1126—1204年)在与好友程元成的书信中写道：

某素号浅拙，老益谬悠，兼之心气时作，久置斯事。近用沈存中法，以胶泥铜板，移换摹印，今日偶成《玉堂杂记》二十八事，首恩台览。尚有十数事，俟追记，补段续纳。窃计过目念旧，未免太息岁月之运运也。(《周益文忠集》卷一九八)

文中提到“用沈存中法”。因沈括在《梦溪笔谈》中记载了毕昇的胶泥活字版，后人常以为是沈括法，实则是指毕昇法。文中的“胶泥铜板”是指把胶泥活字排置在铜板上。“移换摹印”则表明须把活字移动调换，排成版面，才能印刷，这充分体现了活字印刷的特点。周必大采用泥活字排版首先印成的就是他的著作《玉堂杂记》。

这一史实清楚地表明宋代已开始用泥活字印刷术印书了。

约在1241—1250年，元初忽必烈的谋士姚枢以“《小学》书流布未广，教其弟子杨古为沈氏活板，与《近思录》、《东莱经史说》诸书，散

之四方”^①。这里的“沈氏活板”即沈括所记的毕昇活板。十五世纪朝鲜著名学者金宗直跋朝鲜活字本《白氏文集》云：“活板之法始于沈括，而盛于杨惟中，天下古今之书籍无不可印，其利博矣。然其字率皆烧土而为之，易以残缺，而不能耐久。”又朝鲜本《简斋诗集》跋云：“活字板之法始于沈括，而盛于杨充，然其字率皆烧土而为之，易以残缺，而不能耐久。”^② 朝鲜学者的说法是一样的，都误认沈括为活字版发明者，而关于杨惟中或杨充盛行泥活字印书，则未见国内记载，据考应是杨古之误。由此可见杨古印朱熹、吕祖谦的书，也是我国较早的活字印本。

毕昇在试用胶泥活字时，也曾试验过用木作活字。但他认为木的纹理有疏密，沾水，则高下不平，兼与药相粘，不可取，反不及燔土，不至沾污，故舍木而用泥。以后第一个采用木活字印成书的是元代的王祜。王祜（约 1271—约 1330 年）是著名的农学家，又很熟悉各种农用机械。当他在安徽旌德县作县尹时（1295—1301 年），考虑到他撰写的《农书》约有十余万字，字数多，雕板较困难，于是请工匠制造木活字三万多个。其方法是先用纸写好大小字样，贴于木板上刻字。刻好后用小细锯，把字一一锯开，再用刀修成一样大小。再一行行排字，用竹片隔开来，排满一版框，用小竹片垫平，木楔塞紧，使字牢固不动，然后涂墨铺纸，用棕刷刷印。王祜用木活字印过他纂修的《旌德县志》。王祜认为排字人走来走去寻字，很不方便，于是制造了两个木质大转轮盘，依号数铺摆木字。一人坐中间，左右俱可推转轮盘拣字，以字就人，减轻了劳动强度，提高了拣字效率。这是王祜的又一创造。他把上述木活字排版的成功经验，写在《造活字印书法》一文中，附在《农书》后面。在王祜之后二十多年，一个名叫马称德的人，可能是摹

① 姚燧：《牧庵集》卷一五，见台湾商务印书馆《文津阁四库全书》第 120 册。

② 张秀民：《中国印刷史》，上海人民出版社 1989 年版，第 673 页。

仿王楨，鑄活字版至十萬字，印成了《大學衍義》等書。

王楨在《造活字印書法》中還說：“近世又鑄錫作字，以鐵條貫之，作行，嵌于盤內，界行印書。但上項字樣難于使墨，率多印壞，所以不能久行。”^① 這表明在元初曾有人試用錫活字印書，但由于沒有適用的油墨而印壞，因而難于推廣。

明代胡應麟(1551—1602年)云：“今世欲急于印行者有活字，然自宋已兆端，今無以葯泥為之者，惟用木稱活字云。”清代魏崧云：“活板始于宋，明則用木刻。”清代龔顯曾也說：“明人用木活字板刷書，風乃大盛。”^② 由此可知木活字版印書在明代已大為流行。

在明代，用銅活字印刷以無錫的華氏家族最聞名。華燧(1439—1513年)，字文輝，號會通。“少於經史多涉獵，中歲好校閱，輒為辨證，手錄成帙，既乃范銅板錫字，凡奇書艱得者，悉訂正以行，曰：‘吾能會而通之矣。’”^③ “既而為銅字板以繼之，曰：‘吾能會而通矣。’乃名其所曰會通館。……君有世業田若干頃，鄉稱本富，後以劬書故，不復以經紀為務，家故少落，而君漠如也。”^④ 華燧自己說：“燧生當文明之運，而活字銅板樂天之成。”他用銅活字印刷大約成功於弘治三年(1490年)，印了《宋諸臣奏議》等。雖然最初的印本質量不很高，但它畢竟是我國現在所知的最早的金屬活字印本。後來華燧的親戚也運用銅活字印書，這種方法也在常州、蘇州、南京及浙江一些城鎮推廣。明代銅活字本可考者約有六十一種。明弘治末至正德初年(1505—1508年)陸深在《金台紀聞》中寫道：“近日毗陵人用銅、鉛為活字，視板印尤巧便，而布置間訛謬尤易。”表明當時常州人不僅用銅活字，也有用鉛活字。總之，在明代用於印書的活字版不僅有木制，還有錫、

① 轉引自張秀民：《王楨傳》，《中國古代科學家》，科學出版社1959年版。

② 轉引自張秀民：《中國印刷史》，上海人民出版社1989年版，第678頁。

③ 明·華燧：《勾吳華氏本書·華燧傳》。

④ 明·邵寶：《容春堂後集·會通君傳》，台灣商務印書館《四庫全書》第1258冊。

铜、铅等金属制的活字,也有泥字。这一状况在清代又有所发展。只是到了近代,铅活字才以其较优的性能得到较快推广和发展,占据了活字印刷术的统治地位。

第五节 造纸术和印刷术的外传

在古代埃及,书写材料曾主要是莎草片。印度则使用“贝多树”的叶子。也有些地方曾直接利用树皮。古代欧洲,有时往往从埃及进口莎草“纸”,更多的是在羊皮上书写。金、石及泥板也曾被使用过。无论是哪一种书写材料,与中国所发明的纸相比,都相形见绌。所以中国造纸术传到之处,无不竟起仿效。

由于地域的便利,纸和造纸术首先传入与我国毗邻的亚洲国家。就在蔡伦改革造纸术后不久的公元二、三世纪,纸已传到朝鲜和越南。当时的朝鲜半岛有三个国家:百济、高丽、新罗。公元四世纪末,在中国造纸工匠的传授下,百济国开始造纸。不久,高丽、新罗也掌握了造纸技术。唐宋时期,高丽所造的皮纸质量上乘,曾作为商品向中国输送。西晋时期,越南人已学会造纸术。晋代嵇含在《南方草木状》中就记有大秦(古谓南方,包括今广东、广西和越南的一部分)献密香纸事。纸张在七世纪已传入印度,到十二世纪,伊斯兰教徒开始在印度造纸。

据《日本书纪》载,推古天皇十八年(610年)“春三月,高丽王贡上僧昙征法定,昙征知五经,且能作彩色及纸墨”。中国的造纸术就是通过昙征介绍到日本的。

纸的西渐可能始于三世纪,首先进入新疆,再经新疆越边界西传。约在七世纪之前,阿拉伯人通过贸易已知道纸了。一般认为阿拉伯国家到八世纪中叶才开始生产纸。《新唐书·玄宗》、《新唐书·高

仙芝》记载在唐玄宗天宝十年(751年),唐安西节度使高仙芝率部与突厥—吐蕃联军在怛逻斯河两岸交战。高部大败,俘虏中有一些从军的工匠,包括一些纸工。据阿拉伯文献记载,正是这些被俘的纸工把造纸术传到了大食国,在撒马尔罕建造了造纸作坊。约在794年,在撒马尔罕的中国工匠到巴格达开办了第二家纸坊。当时的巴格达是伊斯兰教的宗教和文化中心,也是当时世界上繁华的都市之一,从这里造纸术传遍了阿拉伯国家。到十五世纪,欧洲市场的纸一直由阿拉伯供应。

纸传入欧洲的路线,一条是经由西班牙,另一条是通过意大利。西班牙是第一个用纸书写的欧洲国家,也是第一个掌握造纸术的欧洲国家。约在1150年,西班牙第一家纸坊在盛产亚麻的萨蒂瓦(Xátiva)设立,最初它由阿拉伯人经营。1157年在靠近法国的比达隆(Vidalon)建成由基督徒经营的纸坊。早在十二世纪意大利已使用纸,它是由大马士革经君士坦丁堡、西西里传入意大利。意大利最早的纸坊建于1268—1276年。此后逐步传遍整个欧洲。十七世纪以后欧洲移民把造纸术带到美洲。到十九世纪,中国的造纸术已传遍了整个文明世界。

下面是中国造纸术的传播路线及大致时间(图7-1)。

和造纸术一样,率先从中国学会印刷术的仍是毗邻国家——朝鲜。朝鲜保存着目前所知世界上最早的印刷品。1966年在曾经是新罗王国(668—935年)都城庆州的佛国寺一座石塔中发现一件雕板印成的经文(汉文):《无垢净光大陀罗尼经》。据朝鲜学者考证,认为这部经文是在704年由吐火罗僧人弥陀仙译毕后在中国印好,再于751年前作为礼品带到朝鲜的^①。由此可知早在八世纪朝鲜已知印刷术了。由于佛教传播的需要,印刷术当时主要是印刷佛经。约在十

^① 张秀民:《中国印刷史》,上海人民出版社1989年版,第32页。

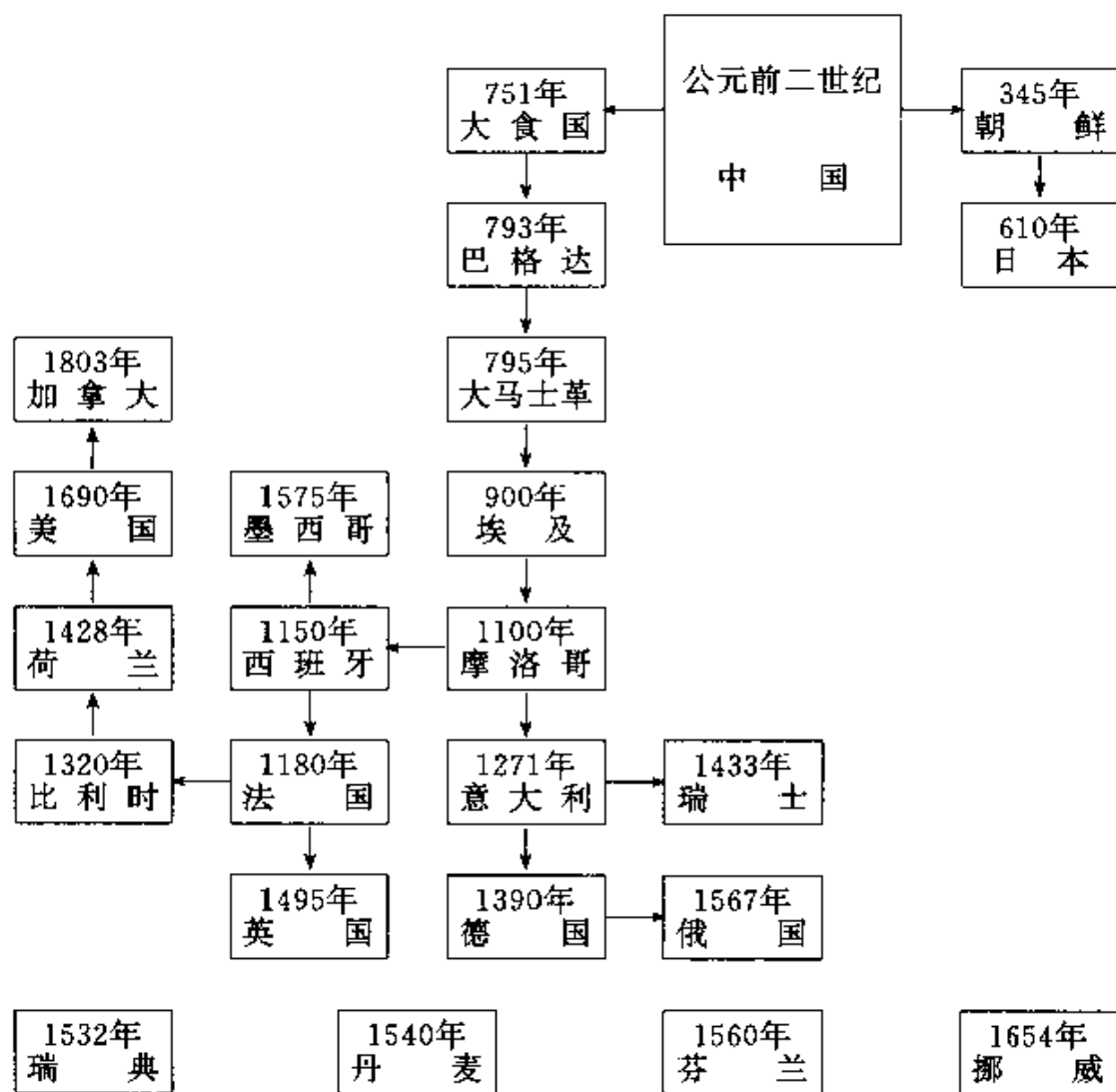


图7-1 造纸术传播路线及时间图

世纪,朝鲜从宋、辽获得几部《大藏经》的印本,1011—1082年以此为蓝本刻印了第一部《高丽藏》。1232年蒙古入侵时,《高丽藏》的版本被毁。1237—1251年又重新刻印了该书。共用了八万一千二百五十八块木兰板、双面镌刻经文的该书原版至今仍基本完好地保存在韩国伽倻山上的海印寺中。前面已讲过,朝鲜的活字版源于中国的毕昇活字版。但是在朝鲜活字版发展很快,较早地压倒雕板。更突出的是朝鲜最早地大量铸造金属活字,尤其是铜活字。可谓青出于蓝而胜于蓝。

唐代,中日两国有密切的交往,印刷术在日本出现就一点也不奇怪。现存日本最早的印刷品是《陀罗尼经咒》,印刷年代约为764—770年,印刷技术无疑来自中国。1592—1595年日本的丰臣秀吉武力征服朝鲜未果,但他把朝鲜的活字印刷设备作为战利品带回了日本。此后活字印刷在日本逐渐推广。

印刷术的西渐路线不如造纸术那么清楚。印刷术首先传到了新疆。在蒙古征服吐鲁番后,大批维吾尔人被征发参加蒙古的西征。既熟悉雕板印刷又了解活字印刷的维吾尔学者,就在西征中把印刷术传到了西方。波斯的蒙古统治者旭烈兀的孙子凯嘉图汗,因挥霍无度,造成国库空虚。在1294年他曾效法中国,大量印刷并流通纸币。纸可以代替金、银和金属货币,使西亚,后来又使非洲、欧洲人非常惊奇。西方人最初认识的中国印刷品除纸币外,还有纸牌。中国在唐初已有纸牌,南宋京城还有专门出售纸牌的铺肆。纸牌传入欧洲,大约在十四世纪。可能是商人把中国纸牌带到了欧洲。像马可·波罗这样曾在中国生活过的欧洲人必定很熟悉这类纸牌。因此货币和纸牌也促进了欧洲印刷业的早期发展。正如德国维莱姆(R. Wilhelm)在谈到中国的雕板印刷时所说:“在宋朝又有毕昇发明活字印刷,由于通商的结果,这些发明也像以前纸与罗盘针的发明一样,传到西方,为谷腾堡及其他欧洲印工所采用,而在人类历史上创立了新纪元。”^① 纸和印刷术的发明及传播在人类政治、经济和文化生活中产生的巨大影响,在欧洲社会由中世纪转变为近代的过程中表现得尤为明显,因此历史学家普遍承认十五世纪中叶活字印刷术的传入欧洲是这一大转变中的转折点。

^① 维莱姆:《中国文化小史》,转引自张秀民:《中国印刷史》,上海人民出版社1989年版,第795页。

第八章 酿造化学

酒是一种在社会生活中有着特殊功用的物质。酒中最重要的成分是乙醇,即人们习惯上说的“酒精”。它是通过对粮食或果品的发酵而制得的。尽管直至近代人们才初知粗浅的酿酒发酵机理,然而先民们却早在原始社会就已掌握了酒的酿造和食用,即不自觉地利用自然界的微生物将主要是淀粉的含糖物质转化为含乙醇的物质。在中国,由于很早就采用“曲”来促进发酵过程,因此中国的酒无论在口味上或工艺上,与世界其他许多国家的酒不尽相同,它充分展现了独特的民族风格。

醋和酱与酒一样,也是发酵化学的产品。中国的先民也是使用了曲,通过控制发酵过程的不同条件和工艺,将粮食、果品直接制成醋或酱。中国的醋和酱也是很有特色的。

发酵过程是一个生物化学的变化过程,至今已演进为生物工程的一个重要组成部分。所以中国古代在发酵化学上所取得的成就,为世界各国学者所瞩目。有学者认为,其意义并不亚于中国古代科技的四大发明。

第一节 酿酒探源

关于酿酒在中国的起源,从古代到近现代,一直为众多学者所关

注。因为酿酒与农业、地理环境、自然资源、社会经济及人们的饮食习惯等都有关系,所以,人们从不同的角度考察,便会有不同的看法。直到近代,随着科学知识的传播和深化,以及考古发掘的实证,人们对酿酒的起源才有了科学的认识。

一、古代关于酿酒起源的几种说法

成书于公元前三世纪的《吕氏春秋·卷十七·任数》里有“仪狄作酒”一说。汉代刘向(约前 77—前 6 年)所撰的《战国策·魏策二》中说:“昔者,帝女令仪狄作酒而美,进之禹,禹饮而甘之,曰:‘后世必有亡其国者’,遂疏仪狄而绝旨酒。”东汉许慎在《说文解字》中写道:“酒,就也,……,古者仪狄作酒醪,禹尝之而美,遂疏仪狄。杜康作秫酒。”宋代李昉等撰的《太平御览》则更进一步指出:“仪狄始作酒醪,变五味,少康作秫酒。”还有其他一些著作也有类似的内容,作者们认为是夏禹时代的仪狄发明了制造酒醪的技术,杜康则创造了制造秫酒的技术。这是古代流传最广的一种看法。

我国现存最早的医学理论著作《黄帝内经》中有一段黄帝与岐伯讨论醪醴的对话:“黄帝问曰:‘为五谷汤液及醪醴,奈何?’岐伯对曰:‘必以稻米,炊之稻薪。稻米者完,稻薪者坚。’”清代学者王冰校注:“五谷,黍、稷、稻、麦、菽,五行之谷,以养五藏者也。醪醴,甘旨之酒,熟谷之液也。帝以五谷为问,是五谷皆可,汤液醪醴,而养五藏。而岐伯答以中央之稻米稻薪,盖谓中谷之液,可以灌养四藏故也。”这段对话即表明:在夏禹之前的黄帝时期,人们已能造酒。汉代人写的《孔丛子》中也有一段话:“平原君与子高饮,强子高酒曰,有谚云:尧舜千钟,孔子百觚,古之圣贤无不能饮,子何辞焉。”尧、舜都是夏禹之前的氏族社会的首领。可见酿酒技术的出现似在夏禹之前。这是流传于民间关于酿酒起源的第二种说法。

上述两种说法都把酿酒的发明归功于某个人,这是可以理解的。古人认为只有把某些发明创造归功于某个圣人或贤人,才有说服力。然而也有学者对此提出了质疑。例如东汉末年的孔融在其《与曹操论酒禁书》中就提出:“酒与天地并也”的观点。他说:“夫酒之为德久矣。古先哲王,类帝禋宗,和神定人,以齐万国,非酒莫以也。故天垂酒皇之耀,地列酒泉之郡,人著旨酒之德。尧不千钟,无以建太平。孔非百觚,无以堪上圣。”(《后汉书·孔融传》)

晋代学者江统对酒的发明则认为:“酒之所兴,肇自上皇,或云仪狄,一曰杜康。有饭不尽,委余空桑,郁积成味,久蓄气芳,本出于此,不由奇方。”(《古今图书集成·酒诰》)他明确怀疑上皇、仪狄、杜康造酒之说,提出了自然发酵的观点。另一晋人庾阐也说:“盖空桑珍珠,始于无情,灵和陶醞,奇液特生。”(《古今酒事·断酒戒》)这观点也属自然发酵的见解。他们的见解来自对生活中酿酒实践的仔细观察,但是在当时仍难以为多数人所接受。

随着社会的发展,愈来愈多的人对酿酒的起源有了新的认识,其中宋代的窦革(又有人称其为窦苹)就是一个代表。窦革在其撰写的《酒谱》中首先讨论了“酒之源”:

世言酒之所自者,其说有三,其一曰,仪狄始作酒,与禹同时。又曰尧酒千钟,则酒作于尧,非禹之世也。其二曰,神农本草,著酒之性味。黄帝内经,亦言酒之致病,则非始于仪狄也。其三曰,天有酒星,酒之作也,其与天地并矣。予以谓是三者,皆不足以考据,而多赘说也。夫仪狄之名,不见于经,而独出于世本。世本非信书也。其言曰,仪狄始作酒醪,以变五味,少康始作秫酒。

窦革认为,说仪狄作酒,而禹疏远仪狄,是后人为赞美禹之勤俭而编造出来的。说杜康造酒,是因为曹操曾说过“何以解忧,唯有杜康”,考究杜康的生平,充其量只是一个善酿而闻名者。尧舜千钟,也属委巷之说。孔融说酒与天地并也,仅仅是为了骂曹操禁酒。《神农

《本草经》虽传说它出自炎帝,但若辨其药所出地名,皆为汉代地名,可见它实际上不是炎帝时的书。《黄帝内经》考其文章,大概也在六国秦汉之际。蒯革最后提出了酒是“智者作之”的看法。这看法虽然有点模糊,但是在当时的历史条件下,应算是颇有见地的,因而对部分学者有一定影响。

由于历史条件的局限,古人是无法了解酿酒的科学奥秘的。到了近代,科学的发展揭示了酿酒的过程是一种利用微生物在一定的条件下,将淀粉或糖类物质转化为乙醇的生物化学过程,从而使人们能够依据科学的原理和考古发现所提供的资料,再结合古代文献,对酿酒起源作一科学的分析。

二、酿酒起源的科学分析

在古代,人们在讨论酿酒起源时,往往把酒的自然出现与人工有意识地酿酒混淆起来。实际上只要把这两个概念区分开来,酿酒起源的讨论就较明朗了。

在自然界中,凡是含有糖(葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖等)的物质,例如水果、兽乳等含糖丰富的物质,受到酵母菌的作用就会生成乙醇。所以在自然界中一直存在着含乙醇的物质,正如古人所讲的“酒与天地并也”。宋代周密在《癸辛杂识》中就记述了山梨久储成酒的现象。金代元好问曾在他的《蒲桃酒赋》中,记述了山西安邑的自然发酵而成的葡萄酒:“贞祐中(1213—1217年),邻里一民家,避寇自山中归,见竹器所贮蒲桃,在空盎上者,枝蒂已干,而汁流盎中,薰然有酒气。饮之,良酒也。”明代李日华在《蓬拢夜话》里也曾提到:“黄山多猿猱,春夏采杂花果于石洼中,酝酿成酒,香气溢发,闻数百步。”清代刘祚蕃在《粤西偶记》中则记载说:“粤西平乐等府,山中多猿,善采百花酿酒。樵子入山,得其巢穴者,其酒多至数石,

饮之，香美异常，名曰猿酒。”猿猴尚知制取自然发酵的酒，人类掌握这一方法显然是不难的。这种自然发酵而成的水果酒应是最原始的酒。

当人类进入农牧生活后，驯养了许多牲畜，知道以畜奶充饥。而一时未喝完的畜奶放在皮制的容器中，放置久了，这些畜奶也会自然发酵成奶酒。人工制备奶酒是十分简便的，所以许多游牧民族都会制作奶酒。据此，许多人类学家和发酵专家都认为，人类在远古即旧石器时代业已掌握水果酒和奶酒的制取。当然这种原始的酒只能说是乙醇含量极低的水果浆或畜奶。

水果或畜奶酿酒由于自然资源和社会条件的限制，是不可能形成规模生产的，只有采用谷物酿酒才能为人们提供大量的酒。所以人们讨论的酿酒起源，主要是指粮食酒的起源。谷物中的淀粉不能被酵母菌直接转化为酒，必须经过水解糖化后才能发酵成酒。这个酿造过程较之果酒或奶酒就复杂多了，所以从水果、畜奶酿酒到谷物酿酒的发展必定经历了很长的时间。

汉代刘安所著的《淮南子》认为：“清醕之美，始于耒耜。”意思是酿酒是与农业同时开始的。这种说法是有道理的。考古资料表明在我国的前仰韶文化时期，部分地区的原始氏族社会已由以渔猎为主的游牧生活转入以农业为主的定居生活。此时期的遗址中发现有粮窖和谷物，说明当时已广泛种植谷物。谷物的大量生产为酿酒准备了物质条件。虽然谷物不能直接发酵成酒，但是储存的谷物在天热季节受潮发芽或发霉的情况是难以避免的。当人们将这些发芽、发霉的谷物泡在水里，就会发酵成酒。所以由这种途径使谷物发酵成酒的自然现象被人们观察到后，就掌握了最原始的酿酒方法。我国部分仰韶文化的遗址曾出土过一些专用的陶制酒具，也说明这时期中国的先民已掌握了酿酒技术了。

第二节 曲蘖的发明和发展

一、曲蘖的发明

谷物中的淀粉转化为乙醇必须经过两个阶段：一是将淀粉分解为麦芽糖、葡萄糖等的糖化阶段，二是将麦芽糖、葡萄糖等转化为乙醇的酒化阶段。水解淀粉的糖化酶在自然界存在于多种物质之中。古代常见的利用糖化酶的方法有三种：一是利用人的唾液中的糖化酶，将谷物中的淀粉糖化；二是促使谷物生芽，芽中所含的糖化酶可将淀粉转化为麦芽糖等；三是利用某些能分泌糖化酶的霉菌，使谷物淀粉转化为糖类。

人们在慢嚼淀粉类的食物时，会感到甜味，这就是因为唾液中存在糖化酶。在古代，人们将生或熟的谷物咀嚼后，吐出来积聚在容器中，通过唾液中糖化酶的加工，部分淀粉已转化为糖类。在存放中，空气中浮游的酵母菌又将其中的部分糖类转化为乙醇，这样酒就作成了。这种方法可以算是最原始的酿酒方法之一。由于它既费事，又不卫生，还不能保证质量，所以未被普及。

谷物发芽时，自身会产生糖化酶，将淀粉分解为糖类供谷物生根的需要，所以发芽的谷物浸在水中，会被酵母菌进而发酵生成酒。这种谷芽糖化发酵酿成的酒就是早期的啤酒。在中国古代，发芽的谷物被称作“蘖”。以蘖为原料在较短时间酿成的酒叫作“醴”，它在殷代最为风行。后来人们嫌它酒味淡薄因而在西汉之后逐步将它淘汰。

利用酒曲酿酒是第三种方法。酒曲即是霉菌的培养基，它含有起糖化作用的微生物，又含有起酒化作用的酵母菌，所以在酿酒过程中，它能把上述两个步骤合并起来同时进行。这显然比前两种方法先

进。这种利用酒曲酿酒的方法是中国先民的一项伟大发明,后来逐渐在整个东亚传播开来。同时,利用麦曲的发酵技术又进一步从酿酒推广到制醋、作酱,终成为东亚酿造业的特征。而西方自古以来都是利用谷物生芽糖化,然后再发酵成酒。直到十九世纪五十年代法国科学家巴斯德(L. Pasteur, 1822—1895年)揭示了酿酒发酵的原理后,中国独特的酿酒方法也引起了人们的注意。十九世纪末法国学者卡尔考特研究了中国的酒曲,认识到中国酿酒的科学内涵,并称中国这种利用酒曲——霉菌将淀粉糖化发酵制酒的方法为“淀粉发酵法”。他将这种方法在酒精工业中推广,对于微生物工业是个极大的促进。所以一些外国学者认为霉菌利用的发明和中国医药学的创造,可与四大发明(火药、指南针、造纸和印刷术)相媲美。

我国先民究竟是怎样发明酒曲的?据方心芳等酿造专家的潜心研究,认为在新石器时期,贮藏的谷物受潮受热后,会发霉发芽。当人们将它们浸泡在水里,在一定条件下就会发酵成酒。这些发霉发芽的谷物就是天然的曲蘖。人们有意识地让谷物发霉发芽,从而制得酒曲,并让它发酵成酒。由此掌握了谷物酿酒的方法。在实践中,人们发现发芽的谷物制成的酒较甜而醇味淡;发霉的谷物酿成的酒醇味较浓。于是人们制造出发芽占多数或全部是发芽的谷物,并把它叫作“蘖”,由它酿成的酒叫作“醴”。将发霉的谷物叫作“曲”,专门用作酿酒。《尚书·商书·说命(下)》里就明确地说:“若作酒醴,尔惟曲蘖。”这说明人们已认识到曲蘖在酿酒中的决定作用。

人们采用适当的操作方法,分别制得蘖和曲,再进而酿成醴和酒,这是酿造工艺的一大进步。随后人们又摸索出采用不同的谷物为原料,制成不同种类的酒曲,既丰富了酒曲的种类,又酿成了不同品种的酒。用以制曲的谷物,可以是整粒的,也可以是大小不等的碎粒;可以是预先水煮或炒焦的,也可以是生的或半熟的。这种对原料预加工的实践使人们逐渐发现,预先将谷物粉碎较之整粒谷物,熟或半熟

的谷物较之生的谷物,都更有利于霉菌的繁殖,即能获得质量更好的酒曲和酒。这些酒曲制造技艺的进步大都是在商周时期完成的。

《左传·宣公十二年》里记载了一段对话:申叔展问还无社:“有麦麴乎?”答:“无。”叔展又问:“吃河鱼腹疾,奈何?”答:“目于胥井而桮之。”这段对话表明当时已使用麦曲,它被用来治腹疾。麦曲的存在说明酒曲的原料已不止麦一种。《楚辞·大招》里有“吴醴白蘘”一说,这可说明两点:一是吴醴在当时很有名气,二是既然有白蘘,便可以推想蘘也有很多种。

二、两汉魏晋时期的制曲技术

酿酒技术的进步,首先表现在制曲技术的提高。酿酒的实践使人们认识到:酿制醇香的美酒,首先要有好的酒曲;丰富酒的品种,就要增加酒曲的种类。

汉代时人们已清楚,蘘主要指谷芽。许慎《说文解字》中说:“蘘,牙米也。”“籩(鞠),酒母也。”刘熙《释名》指出:“蘘,缺也,渍麦覆之使生芽开缺也。”这是当时人们对“蘘”下的定义。《礼记·明堂位》又言:“夏后氏尚明水,殷尚醴,周尚酒。”表明随着酿酒技艺的发展,人们愈加看重醇度的提高。由蘘酿制的醴,在殷商时期曾风行一时,周代渐被冷落,西汉时基本被淘汰。从春秋战国起,蘘逐渐被用来制取饴糖,而酿酒主要采用酒曲。

仅在《说文解字》中,就有馨、麩、麩等三种饼籩。在扬雄《方言》中列有:馨、麩、𪎭(麦麴)、麩(大麥麴)、麩(饼麴)、麩(有衣麴)、麩(小麦麴)等酒曲,还说:“麴也,自关而秦幽之间曰馨,晋之旧都曰麩,齐右河清曰𪎭或曰麩,北鄙回麩麴,其通语也。”由此可见,当时各地的酒曲已有许多种,而且不同的地方对曲的称谓也不同。若依原料来分,有大麦曲、小麦曲等;若依制法来分,有饼曲和散曲;若依曲表面是否

明显地长有霉菌来划分,有上衣曲和无衣曲。这些曲的名称,大都有个“麦”字旁,表明它们大多以麦子为原料。

古代酿酒师已从实践中领悟到,使用麦曲会使酿成的酒带有一种特殊的香味,所以制曲中麦子是主要的原料,而且用曲量也较大。《汉书·食货志》记载:“一酿用粗米二斛,曲一斛,得成酒六斛六斗。”米与曲的比例为二比一,用曲量是很大的,按此推算,当时酿出的酒也有一定的浓度。

《说文解字》中所列的曲都是饼曲,足见饼曲(或块曲)的生产在汉代已很普遍。饼曲或块曲的制作和使用是两汉的制曲方法较先秦时期的最大进步。在商周至春秋战国,酒曲主要以散曲的形式进行生产。所谓“散曲”是指将大小不等的颗粒状谷物,经煮或蒸或炒等手段预加工成熟或半熟状态,再引入霉菌让它们在适当温湿度下繁殖,最后制得松散、颗粒状的酒曲。散曲由于在制作时原料中的水分和温度不易保持稳定,因此在其中迅速繁殖的微生物主要是曲霉,如黄曲霉、黑曲霉等。饼曲或块曲,由于预加工过的谷物被制成块状,其内部的水分和温度相对来说比较稳定,加上块内空气少,在其中繁殖的根霉类微生物和酵母菌就多。根霉的糖化能力较曲霉强,酵母菌则是酒化的主要菌种,所以饼曲或块曲的酿酒能力强于散曲。

现存的最为翔实的记叙两汉至魏晋、北朝时期中国北方与黄河中下游地区酿酒技艺的典籍当属后魏贾思勰撰写的《齐民要术》。该书有五节是专门论述制曲和酿酒的。贾思勰认识到制曲在酿酒工艺中的重要地位,所以每介绍一种酿酒法,必定先介绍其相应的制曲法。该书着重介绍了当时的九种酒曲。从制曲的原料来看,有八种为小麦曲,一种为粟曲。八种小麦曲中,有五种属于神曲类,两种为笨曲类,一种为白醪曲。这些曲都是块曲或饼曲。所谓“神曲”和“笨曲”,只是它们的酿酒效率不同。神曲一斗大约能杀米少则一石八斗,多至四石。笨曲一斗杀米仅六一七斗。白醪曲介于神曲与笨曲之间,一斗

杀米一石一斗,它主要用于夏日在高温下速酿白醪酒。

《齐民要术》中介绍的神曲制法虽有多种,但其工序过程却是大同小异的。现仅列举其中一种工序(见图8-1),以窥一斑。在制曲中

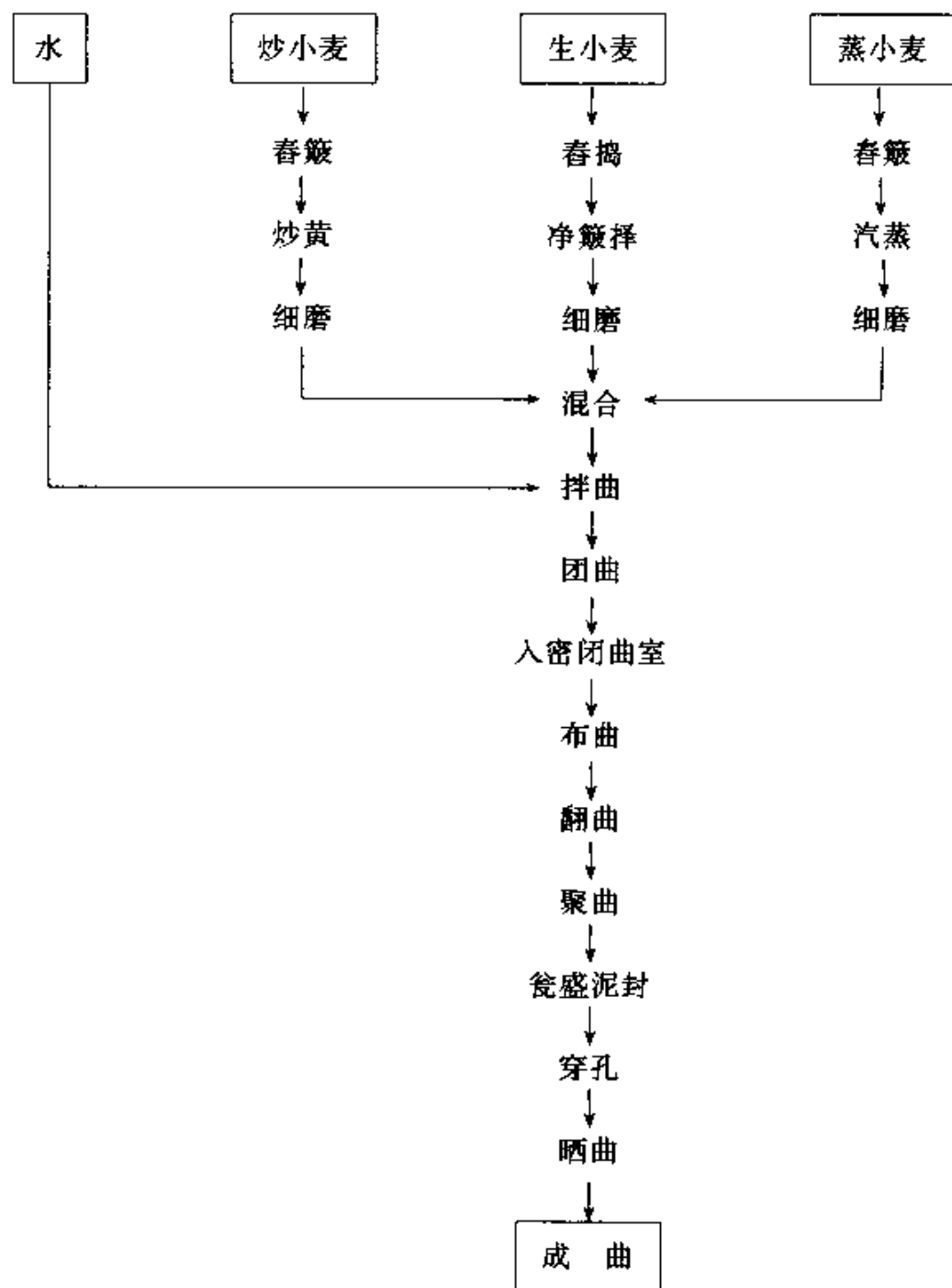


图8-1 《齐民要术》中的制曲工序图

贾思勰强调了以下几点：第一，做好原料的选择、配比及加工。第二，制曲择在七月中寅日，此时恰为盛夏。第三，取水在日出之前，未被动过，较洁净。第四，制曲房选用便于保温、保湿、避风及洁净的草屋。第五，制成的曲要“比肩相布”，即左右相挨近，又要曲块之间保持一定的空隙，以利于散热和霉菌的均匀生长。第六，曲块在曲房中要定期地翻身、堆聚等，这是曲块培菌过程的必要调理。总之上述的工序操作都是为了保证制曲过程中霉菌的正常繁殖。

笨曲即“粗曲”之意，它是相对神曲而言的。笨曲在制法上与神曲并没有明显的差异，只是对工序的要求比较粗放些。最突出的一点就是笨曲的制作可以选在夏月，并不强求非七月中寅日不可。实际上曲的好坏不在于它能杀米多少，而在于它酿出的酒的质量，即在于曲本身的菌种质量和数量。好曲应能酿出好酒，但是神曲酿出的酒不一定是好酒，笨曲也能酿出好酒。贾思勰在书中并没有讲神曲比笨曲好，但是有人极易产生神曲比笨曲好的误会。从这个意义上来说，贾思勰把曲分成神曲、笨曲并不可取。在以后的实践中，霉菌经过人们的有意筛选和培植，逐渐使大多数的酒曲都具有较强的酿酒效能，神曲的内涵发生了转变。唐代以后，在一些医学著作中神曲则指那些专门用于治疗酒曲了。

中国地域辽阔，各地的自然环境差异也很明显，这对酒及其酿造技术的地方特色的形成也是至关重要的。最直观的事实就是南北地区在原料、制曲及酿造工艺上都有自己的特点。就在北方地区迅速发展块曲、饼曲的同时，江南出现了一种草曲。晋代襄阳（今湖北襄樊）太守嵇含在其所著的《南方草木状》里记载了这种草曲及其制法。从这一记载来看，当时南方酿酒所用的曲确实不同于北方地区的块曲或饼曲，而是一种草包曲即现在习称的“小曲”。它是以米粉为原料，拌上某些草叶，以葛汁溲而成团，再使之发霉而成。用这种曲和糯米合酿出的酒，酒力较大，喝后头热出汗。在制曲中加入某些草药，一来

有助于根霉、酵母菌等微生物的繁殖,二来可将某些草药的风味引入酒中,而形成酒的特色和提高酒的口味。这一技艺经以后实践的鉴别和发展,至今已成为生产某些名酒和美酒宝贵科技遗产。

三、唐宋时期的制曲技术

北宋吴兴人朱肱所撰的《北山酒经》是我国第一部关于制曲酿酒的专著,它总结了隋唐至北宋时期部分地区(主要是江南)制曲酿酒工艺的经验。该书的中篇集中地记叙了当时他所知道的十三种酒曲的制法。他将这十三种曲根据制法的特点分为三类:霉曲、曝曲和风曲。所谓“霉曲”,即在曲室中以草叶掩覆发霉而成。它包括顿递祠祭曲、香泉曲、香桂曲、杏仁曲等。“风曲”则是用植物叶子将曲块包裹,盛于纸袋中,挂在透风不见阳光处阴干。它包括瑶泉曲、金波曲、滑台曲、豆花曲等。“曝曲”是先霉后风,霉的时间短,风的时间长。它包括玉友曲、白醪曲、小酒曲、真一曲、莲子曲等。在这十三种曲中,有五种以小麦为原料,三种用大米,四种用米麦混合,一种用麦豆混合,表明原料多样化,特别是麦豆混合在过去是未见的。在这十三种曲中,普遍地加入了草药。少者一味,一般为四—九味,最多的达到十六味。由于用料和配药的多样化,所以《北山酒经》所述的制曲工艺较《齐民要术》更为复杂。曲类的增多,从一个角度表明了制曲工艺的发展。地区和时间不同,制曲配料和操作方法的差异,使各地生产的酒曲往往有不同的性能,酿制的酒很自然地就带有地方的特色。这正是中国酒类品种丰富的原因所在。《北山酒经》由于作者所处地域条件的限制,不可能细致地反映这一状况。后来北宋李保的《续北山酒经》所列的数十种酿酒法就此作了一些补充。

朱肱所介绍的制曲工艺中,有以下四点经验是个重要的发展。

第一,关于制曲中怎样控制曲料中的水分,他说:“拌时须干湿得

所,不可贪水,握得紧,扑得散,是其块也。”(《北山酒经》卷中)事实上,曲料水分的控制得当是制曲工艺的一个关键。水量过多,曲坯容易被压得过紧,不利于有益微生物向坯体内部生长,而且表面容易生长毛霉、黑曲霉,还易引起酸败细菌的大量繁殖。水量过少,曲坯易碎落,造成干得过快,影响有益微生物的充分繁殖,必然影响曲的质量。一般制曲的加水量在拌料量的 38%左右。

第二,朱肱提出了判定曲的质量的标准:“作大曲直须实踏,若虚则不中,造曲水多则糖心;水脉不匀,则心内青黑色;伤热则心红,伤冷则发不透而体重;唯是体轻,心内黄白或上面有花衣,乃是好曲。”(《北山酒经》卷中)这些来自实践经验的标准是很科学的。若不“实踏”,曲坯内难免有空隙,空隙内积水,有益微生物就不能正常生长,曲质就较差。“水脉不匀”即曲块干湿不匀,断面常呈青黑色,曲质也不好。“伤热”指局部温度过高,曲块内部会产生红心,“伤冷”则指温度过低,霉菌无法正常繁殖,曲料未被利用而体重,这也不是好曲。只有“体轻”,曲块内呈黄白色,面上有霉菌形成的花衣,才是好曲。这一质量标准一直为后世所沿用。

第三,《齐民要术·笨曲并酒》在介绍“酿粟米炉酒”时写道:“大率米一石,杀,曲末一斗,春酒糟末一斗,粟米饭五斗。”这里加入春酒糟末可以说是微生物接种的最早记载。在《北山酒经》中,朱肱在介绍玉友曲和白醪曲时,对“接种”加以发展,“以旧曲末逐个为衣”,“更以曲母遍身糝过为衣”。(《北山酒经》卷中)这是有意识地进行微生物接种的方法。这较之《齐民要术》不仅是方法的进步,更重要的是表明微生物连续接种的技术已完成从无意识到有意识的转变。正是这种连续接种的技术,使用于酿酒的霉菌经过了漫长时期的筛选,进而使我国现用的根霉等菌种具有特别强的糖化酿酒能力。这种经过世代相传的连续选种、接种的成果,是我国古代重要的科技成就之一。

第四,在《北山酒经》中比较完整地记述了利用酵母、制作酵母和

传醅的方法：“凡醞不用酵，即难发酵，来迟则脚不正。只用正发酒醅最良，然则掉（撇）取醅面，绞令稍干，和以曲蘖，挂于衡茅，谓之干酵。”朱肱不仅指出酿酒中利用“酵”的必要性，同时指出从正在发酵的醪液表面撇取浮米糝，将它和以曲蘖制成干酵，可以留待后用。这说明他已意识到发酵酒化也可以由这种干酵而促进。这种制备干酵母的方法至迟应在北宋以前已经发明，而且是在南方发明的。

四、红曲工艺的发明

红曲的发明和红曲的使用是唐宋时期制曲工艺中的重大成就。红曲又名“丹曲”，是一种经过发酵作用而得到的透心红的大米。它可以用于酿酒、烹饪、染色，还是治疗腹泻的一种良药，有消食、活血、健脾的功效。

北宋初年陶谷所撰的《清异录》中有“红曲煮肉”之句。北宋大文豪苏轼的诗文中至少有两处提到了红曲，“剩与故人寻土物，腊糟红曲寄驼蹄”。“去年举君苜蓿盘，夜倾闽酒赤如丹”（《苏轼诗集》卷八）。说明苏轼饮过红曲酿的红酒，还吃过红曲加工的食品。清代王文浩在注释苏轼这句诗文时指出：“李贺诗云：小槽酒滴真珠红。（《全唐诗》卷三九三）今闽、广间所酿酒，谓之红酒，其色始类胭脂。”若李贺喝过的真珠红酒确是红曲酒，李贺是唐代诗人，那么红曲的发明和应用不应晚于唐代。

红曲中的主要微生物是红曲霉。它具有耐高温、耐酸、耐缺氧等特性，所以只是在较高温度下，在一些酸败的大米中，它能迅速繁殖。在这种环境中，其他一些菌类却不能生长。福建、广东及浙江南部正好具备了红曲霉繁殖的自然环境，所以红曲的生产和应用首先出现在这些地区。朱肱没有到过这些地区，所以《北山酒经》中只谈到“伤热则心红”的现象，没有介绍红曲。

现存文献中最早记载红曲生产工艺的是元代的《居家必用事类全书·巳集》。其中有“造红曲法”。此法采用熟料接种的技术,工艺上特别强调温度的控制。在明代,红曲的生产得到推广和发展。记录当时红曲生产技术较重要的著述有:成书可能在元末明初的由吴继刻印的《墨娥小录》,李时珍的《本草纲目》,宋应星的《天工开物》等。这些关于红曲工艺的资料,以宋应星的介绍最为科学和翔实。他突出了以下三点,表明红曲工艺的成熟和进步:其一,用绝佳红酒糟为曲信,即强调要选用最佳的菌种来接种。这是酿酒师筛选菌种最常见的方法。其二,用明矾水来维持红曲霉繁殖所需的环境酸度,并抑制杂菌的生长。这在当时确是一项惊人的创造。其三,采用分段加水法,把水分控制在既足以使红曲霉可以钻入大米内部,但又不会多至使其在大米内部进行糖化和酒化作用,从而得到色红心实的红曲。这三点加上对温度的控制方法,足以体现当时人的技巧和智慧。

第三节 中国传统的发酵原汁酒——黄酒酿造工艺的演进

黄酒是一类以谷类或其他粮食为原料,以酒曲为糖化发酵剂,经过蒸煮、糖化、发酵、压榨过滤等工序而制成的发酵原汁酒。因为没有经过蒸馏,大多保持了固有的黄色,故称“黄酒”。中国的先民在上古时期就已掌握了它的酿造技术。直到近代,黄酒一直是中华民族的主要饮用酒,所以它不仅是中国,而且也是世界上最古老的饮用酒之一。悠久的历史积累了丰富的经验,使黄酒的酿造技艺在公元十世纪时已达到了较高的水平,取得了众多瞩目的成就。它的制法和口味风格与世界上其他国家的酿造酒有明显的不同,是中国的又一民族特产,是中华民族智慧的结晶。

一、商周时期的几种酒

史书上关于帝王贪杯好酒,误事亡国的记载很多,夏桀、商纣常被引作典型。夏桀是夏代最后一个君王,他耗尽民脂民膏,过着花天酒地的生活。据史书上说,他用池子盛酒,让三千人俯身到酒池像牛饮水般饮酒取乐。纣是商代最后一个君王,他饮起酒来七天七夜不停歇,建造的酒池大得可以行船,酒池边悬肉为林。像桀、纣这样的君王当然会失去民心,从而导致亡国。这些警世的记载可能有夸大的成分,但在夏商周时代,权贵们嗜酒群饮之风当是历史的真实。他们饮用的是什么样的酒,是值得探究的。

先秦时期有以下一些名目的酒:醴、鬯、酎、三酒(事酒、昔酒、清酒)、四饮(清、医、浆、醕)、五齐(泛齐、醴齐、盎齐、缇齐、沈齐)、春酒、冬酒、醖、醕等。酒名还有一些,大多是重复的。当时较流行的是醴和鬯,后来受欢迎的是酎。

《说文解字》说:“醴,酒一宿熟也。”《释名》也说:“醴,齐醴体也,酿之一宿而成,体有酒味而已也。”由此可见醴是一种以蘖为主要原料,经过一天短时间的发酵,略带有甜味,酒味很薄的酒。由于制作简便,时间短,所以在商代及商代以前,较受人们看重。后来因酿造技术提高,醴因味薄,失去了人们的喜爱而遭淘汰。根据构词分析和前人的研究,鬯可能是一类用黍加草药而酿制的带有药香的酒。《周礼》中有掌供秬鬯的“鬯人”,鬯则是祭祀中常用的酒。《礼记·月令》曰:“孟夏之月,……,天子饮酎,用礼乐。”《说文解字》注:“酎,三重醇酒也。”这就是说,以酒代水,加到米和曲中再次发酵以提高酒的醇度,如此重复二次而酿成的酒即是“酎”。酎较浓醇,故深受欢迎,也较珍贵,当时只能是天子及一些贵族才能经常饮用。这种采用重复发酵的方法来提高酒的醇度,是当时酿酒技术的一项重要创造,此后得到了推广

和发展。

《周礼》中关于“三酒”、“四饮”、“五齐”有一些记叙,东汉学者郑玄和其他一些人曾对此作过注释^①。他们认为:“事酒”是为某事而临时酿制的新酒,主要供祭祀时执事之人饮用。“昔酒”是久已酿好,供无事之人饮用的酒。这无事之人指祭祀时不得行事者。“清酒”酿造的时间更长,头年冬天酿制,第二年春夏才熟,味道较醇厚,故为祭祀之酒。“四饮”之物都与酒相关。这里的“清”可能指经简单的过滤而弃糟的酒。“医”可能是指将麴投入煮好的稀粥内,经发酵而成的醴,粥较薄,故“医”较醴清。“浆”是由米汁酿制而成的酒。“酏”即今之粥,它是准备用于酿酒的。“五齐”是古代按其清浊程度和酒味厚薄而将酒分成五等的说法。“泛齐”是指发酵成熟后滓浮在上面的薄酒。“醴齐”,熟时上下一体,汁滓相将的薄酒。“盎齐”,清于醴而浊于缇齐,可能是一种白色的浊酒。“缇齐”可能是一种桔红色的浊酒。“沈齐”应是一种糟滓下沉,色泽较清之酒。

《诗经·豳风·七月》云:“八月剥枣,十月获稻,为此春酒,以介眉寿。”这里所说的“春酒”是冬酿至第二年春夏熟的酒,故叫“春酒”。又因为酒是冬冻时酿造,又称“冻醪”。而东汉崔寔《四民月令》中称正月所酿酒为“春酒”,十月所酿酒为“冬酒”。所以前面的春酒实际上包括了后面的春酒和冬酒。

醪,“汁滓酒也”。醕,“未沛之酒也”^②,“沛”即“酏”。古代将酒与酒糟分离的最常见的方法是采用茅草过滤,这种方法显然很难得到完全澄清的酒。也有人认为,当时的清酒即指经过滤之酒。这种清酒大多为黄色或白色,并呈浊状。事实上在当时,大多数情况下,人们饮酒是连酒糟一起吃的。《楚辞·渔父》里说:“众人皆醉,何不铺其醕而

^① 《周礼注疏》卷五《十三经注疏》,国学整理社 1935 年版,第 669 页。

^② 何刻:《酒尔雅》,见《说郛三种》第九十四,上海古籍出版社 1986 年版。

馔(饮也)其醪。”“醪”即薄酒。说明当时确实将酒糟和酒液一起吃掉。连酒糟一起吃,不仅节约,而且好吃;不仅暖身饱肚,而且兴奋精神,舒畅身体。所以在饮酒可替代吃饭的观念引导下,自然造就了许多人好酒的风尚。这种酒的醇度很低,多数情况下不比当今啤酒酒度高,所以人们能放量饮酒。

关于当时的酿酒工艺,《礼记·月令》中有一段经验之谈:“仲冬之月,……乃命大酋,秫稻必齐,曲蘖必时,湛炽必洁,水泉必香,陶器必良,火齐必得。兼用六物,大酋监之,毋有差贷。”“秫稻必齐”是指原料的治辨和精选。“曲蘖必时”是说制曲造酒必须选择适当的季节。“湛炽必洁”是指生水浸泡谷物和加热或炊熟谷物过程中必须保持清洁。“水泉必香”是强调选择香净的水以供酿酒之用。“陶器必良”即要求发酵和盛酒用的陶器必须完好,不能有渗漏之弊。“火齐必得”是强调炊米和发酵时必须火候、温度适中。注意掌握上述六项操作要点,才能保证酿出佳酿。负责酿酒生产的“大酋”应该监督上述操作过程,不要疏忽大意,出现差错。这些经验符合酿酒生产的实际,为后人所继承。

二、发展中的黄酒及其酿造技术

《礼记·明堂位》说:“夏后氏尚明水,殷尚醴,周尚酒。”它反映了一个基本事实,即古代的人们的口味及酿酒技术是朝着提高醇度的方向发展。所以在战国乃至秦汉,酒类中最受欢迎并得到大力发展的是“酎”。《西京杂记》说:“汉制,宗庙八月饮酎,用九醞太牢,皇帝侍祠。以正月旦作酒,八月成,名曰酎,一曰醞,一名醇酎。”汉制规定宗庙祭品必须用酎,可见酎在当时酒类中的地位。这种酎除了发酵时间长达八个月外,还采用了“九醞”即多次重复发酵的方法。东汉末年曹操为了讨好汉献帝,曾以奏折的形式介绍一种“九醞春酒法”:

臣县故令南阳郭生，有九醞春酒法。用曲三十斤，流水五石，腊月二日清曲，正月解冻，用好稻米漉去曲滓，便酿法饮。曰，譬诸虫虽久多完，三日一酿，满九石米止。臣得法，酿之常善，其上清滓亦可饮。若以九醞苦，难饮，增为十酿，易饮不病。^①

这种酿酒法，用水量仅五石，可以认为发酵接近于固体发酵。三十斤用曲量相对于九石米是很少的，所以加入的曲主要用作菌种。酿成的酒比较醇酏，而且带甜味。这种酿酒法正是酎酒制法的发展。连续投料的技艺在汉魏时期得到推广和发展，在晋代已相当普及。东晋炼丹家葛洪在《抱朴子·金丹》中说：“犹一醞之酒，不可以方九醞之醇耳。”“醞”即“投”之意，醞酒即再酿之意，所以葛洪讲只酿一次的酒在醇度上当然不能与九醞之酒相比。在晋代，酒的优劣大多是以投料多少次来判定的。从近代微生物工程的知识来看，这种九醞春酒法是近代霉菌深层培养法的雏形。

较全面而详细地反映两汉魏晋时期黄河中下游地区酿酒技艺的文献是贾思勰的《齐民要术》(从造神曲并酒第六十四至法酒第六十七)。贾思勰在该书中介绍了多达四十种的酿酒法。他总是先介绍所使用的曲的制法，然后具体地叙述酿酒的工艺。其基本工序大致上是：第一，将曲晒干，去掉灰尘，处理得极干净，然后研碎成粉末。第二，浸曲以使曲中霉菌和酵母菌恢复活力，并得到初步的繁殖，当产生如鱼眼般的气泡时，这醪液可以投饭了。第三，一切用具必须清洁，避免带入污染物。用水也需洁净，最好是河水。第四，米要精细，淘洗多遍。秠米、黍米的“饭”要炊得软熟，糯米则可以不必蒸，在釜中浸浇沸水即可。“醞”入发醪液的“饭”必须摊放凉后，才可以下酸。第五，至于每次“醞饭”多少，什么时候“醞”，要依“曲势”而定。曲势实际上指的是发醪液的发酵能力。古时酒工判断曲势主要依靠他们的操作经验。

^① 曹操：《上九醞奏》，见胡山源编：《古今酒事》，世界书局1939年版，第123页。

贾思勰强调了酿酒的季节和酿酒用水。他认为选择春秋两季酿酒均好,尤其是桑树落叶的秋季。天气转凉,不需要降温,保持微温也较容易。冬季需要采取加温或保温措施,夏季则须采取降温措施。总之,控制酿酒过程的温度为的是利于微生物的活动。水质对酿酒过程和酒的质量也是很重要的。贾思勰指出:“收水法,河水第一好;远河者取极甘井水,小碱则不佳。”这一认识是符合科学原理的。水是一种溶媒,它或多或少地溶解有多种无机和有机物质及某些悬浮物。这些成分对于酿酒过程的糖化速率、发酵过程及酒味的优劣都有关系。水有碱味表明所含可溶性盐分较高,对微生物的繁殖有抑制作用,故不适宜酿酒。贾思勰强调酿酒用水,表明他已把握了酿酒工艺中的一个关键。

此外,贾思勰介绍的酿酒法中还有几点成就反映了当时酿酒工艺的水平:第一,酿酒工艺大都采用分批投料法,而且分批投料不是定时定量,而是根据“曲势”来掌握。这显然是个重要的进步。第二,有几种制酎酒的方法,加水很少,基本上属于固体发酵,而且发酵时间长达半年或半年以上。所酿出的酒颜色像麻油一般浓酽味厚,酒度也高,放置三年也不会变质。这表明当时固体发酵的工艺有了进步。第三,在夏季高温条件下速酿白醪酒的工艺中,首次提到了浸渍原料米,并取浸米的酸浆水作为酿酒的重要配料。这是酸浸原料米和用酸浆调节发酵液酸碱度的最早记载。这一技术以后在南方许多地区得到了继承和推广。

贾思勰所收集整理资料主要局限在黄河中下游地区,对于我国辽阔的疆域和多民族的文化,遗漏是肯定的。但是应该承认他的著作确实反映了当时中国酿酒技艺所达到的水平。

三、进入成熟期的黄酒酿造工艺

古代文人中,嗜酒者众多。晋代有“竹林七贤”,唐代有“酒中八

仙”。赞美酒的诗文比比皆是。号称酒圣的李白写过《将进酒》等名篇。杜甫也嗜酒，写下《饮中八仙歌》等不少与酒有关的诗文。这足以窥见唐代饮酒风气之盛。饮酒风盛的物质基础则是酿酒业的发达。唐代有众多的文人写过众多有关酒的诗文，可惜的是关于酿酒的论著则不多，仅有王绩的《酒经》和焦革的《酒经》，且均已失传。宋代则有点不同，欧阳修、苏轼、陆游、李纲等文人也写过大批有关酒的诗词，同时还留下了有关酿酒的大量资料，例如苏轼的《酒经》，朱肱的《北山酒经》，窦革的《酒谱》，范成大的《桂海酒志》，林洪的《新丰酒法》，何刻的《酒尔雅》，张能臣的《酒名记》，徐炬的《酒谱》，赵与时的《觴政述》，赵珣的《熙宁酒课》，等等。这些资料从不同角度谈论了当时的酒政、酒史轶事和酿酒技艺，为研究当时的酿酒业和酿酒工艺留下了丰富的资料。

在唐代的前半期，酿酒业实行的是隋代以来的开放政策，即允许私人酿酒，不收专税。“安史之乱”以后，穷兵黩武造成了财政的困窘，唐政府恢复了税酒政策，继而又变成榷酒政策，使酒利在国家的财政收入中占有重要的地位。从五代到北宋，政府一直沿袭这种榷酒政策，并使这种政策日愈完备。酒利收入成为维持政权的财政基础之一，因而酿酒业受到政府的保护，获得正常的发展，酿酒技艺也有长足的发展。

北宋朱肱撰述的《北山酒经》是关于中国古代酿酒技艺的最重要的专著，它集中反映了酿酒技艺在唐宋时期的发展水平。该书分上、中、下三卷。上卷讨论了酿酒的起源，历述了历代闻名的有关酒的掌故及酿酒技艺的演进。中卷集中介绍了十三种酒曲及其制法。下卷对整个酿酒工艺作了详尽的记述。他将酿酒工序分为：卧浆、煎浆、汤米、蒸醋糜、酴米、蒸甜糜、投醪、上糟和煮酒等，又在这些工序中穿插了淘米、用曲、合酵、酒器、收酒、火迫酒、曝晒酒等辅助操作方法。介绍得这么细，每个操作要点都十分清楚，这是其他古代酿酒的著作无

法相比的。若将朱肱所介绍的酿酒流程与近代绍兴黄酒的酿造方法相比较,不难发现它们大致上是相近的。可见当时黄酒的酿造技术确实已达到相当高的水平。

在《北山酒经》中,朱肱反复强调了酿酒过程的调酸问题,指出:“造酒最在浆,其浆不可才酸便用,须是味重。酴米偷酸,全在于浆。浆不酸即不可酿酒,盖造酒以浆为祖。”这里指的是采用具有一定酸度的“浆”来调节发醪液的酸度,以利于酵母菌的旺盛繁殖,同时抑制杂菌的生长。朱肱又总结说:“造酒看浆是大事。古谚云,看米不如看曲,看曲不如看酒,看酒不如看浆。”这一流传于民间的经验实际上是当时酿酒技艺的重要发展。通过观察和实践,朱肱还指出酿酒过程的口味变化:“自酸之甘,自甘之辛,而酒成焉。”说明他能清楚地将酿酒的糖化阶段和酒化阶段表述出来,这也是不容易的。关于酿酒的机理,他认为:“酒之名以甘辛为义,金木间隔,以土为媒,自酸之甘,自甘之辛,而酒成矣。所谓以土之甘,合水作酸,以水之酸,合土作辛,然后知投者所以作辛也。”这段文字可用下图 8-2 来表示:



图8-2 《北山酒经》酿酒机理示意图

现代酿酒理论关于酒精发酵机理的示意图如图 8-3:

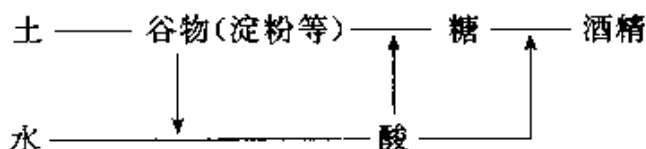


图8-3 现代酒精发酵机理示意图

比较以上两图,可见它们基本是一致的。

此外,朱肱还介绍了当时防止酒酸败的措施和成品酒的热杀菌技术,这技术比法国科学家巴斯德(L. Pasteur, 1822—1895年)发明

的低温杀菌法早了七百年。

通过对《北山酒经》记载的酿酒工艺流程与近代绍兴黄酒的酿造工艺的对比考察,可以认为黄酒的酿造技术在宋代业已成熟。

比《北山酒经》稍早写成的《东坡酒经》是北宋苏轼的作品。他仅用简练的不到四百字的文字,就将从制曲到酿成酒的工艺流程作了清晰的叙述,是对当时南方酿酒过程的真实写照^①。所描述的方法与近代江浙一带黄酒的传统工艺基本相近,产率也相差不远。它也表明黄酒工艺在宋代已成熟定型。

从明清直到二十世纪中叶,黄酒一类的发酵原汁酒一直是国人主要的饮用酒。明初朱元璋登基之初,为了治愈战争对农业经济的破坏,同时表明自己躬行节俭,曾颁布过禁酒令。不久随着经济的恢复和政权的巩固,又实行税酒政策。清代基本上继承了明代的税酒政策,只是在中期有过短时间的酒禁,但也只禁烧酒,不禁黄酒,因皇亲国戚都酷爱黄酒。黄酒的酿造工艺在北宋时期业已成熟定型,此后的重要发展是在蒸馏酒的生产得到普及以后。人们发现可以利用压榨出黄酒后的酒糟生产米烧酒或糟烧酒,并采用勾兑少量此类蒸馏酒的方法以提高某些黄酒的酒度,防止酸败,制造出一批高质量的名优黄酒。

第四节 葡萄酒和蒸馏酒

最原始的酒是果酒,但是由于水果资源的局限,在中国传统的酒品中,果酒一直未成为主流。果酒的酿造工艺在古代也明显地接受黄酒技艺的影响,葡萄酒的发展就是一个例子。

^① 苏轼:《东坡酒经》,见清·王文浩注《苏轼文集》卷六四,中华书局1982年版。

以粮食或淀粉为原料的蒸馏酒,在中国习称“白酒”。白酒的酿制工艺是在黄酒工艺的基础上发展起来的,因此它作为中国传统工艺的产品在世界蒸馏酒中独树一帜。关于中国蒸馏酒的起源,还应该说它是中外文化交融的结果。

一、早期的葡萄和葡萄酒

世界上抗病的原生葡萄有二十七种,中国就有六种。野生葡萄分布在大江南北,古籍上曾称为“葛藟”、“蓂蓂”、“烟黑”等。《诗经·豳风》中有“六月食郁及蓂”之句。“郁”即山楂,“蓂”即山葡萄。北宋苏颂的《新修本草》说:“蓂蓂与葡萄亦同,……,蓂蓂,山葡萄,亦堪为酒。”明代朱橚的《救荒本草》说:“野葡萄俗名烟黑,生荒野中,今处处有之,茎叶及实俱似家葡萄,但皆细小,采葡萄果紫熟者食之,亦可酿酒饮。”可见古人已知采摘野生葡萄充饥,亦可酿酒。野生葡萄经过人工培植栽种逐渐成为家葡萄,当然也可鲜食,亦可酿酒。汉代《神农本草经》说:“蒲萄味甘平,主筋骨湿痹益气倍力强志,令人肥健耐饥忍风寒,久食轻身不老延年,可作酒,生山谷。”南朝陶弘景在《名医别录》中补充说:“生陇西、五原、敦煌。”《史记·大宛列传》记载:“宛左右以蒲陶为酒,富人藏酒万余石,久者数十岁不败。”“汉使取其实来,于是天子始种苜蓿,蒲陶肥浇地。”这表明中亚古国大宛(今塔什干)等国及新疆地区早在公元前二世纪已在广种葡萄,并有酿造葡萄酒的丰富经验。同时由于汉使张骞的努力,将良种葡萄和先进的葡萄酒酿造技术传到了我国的中原地区。汉武帝在上林苑把葡萄列为奇卉异果,供皇家享用。

三国时期,魏文帝曹丕对葡萄和葡萄酒十分赞赏。他曾对群臣说:“且说葡萄,醉酒宿醒,掩露而食,甘而不饴,酸而不脆,冷而寒,味长汁多,除烦解饴。又酿以为酒,甘于麴米,善醉而易醒。道之固以流

涎咽唾,况亲食之耶。他方之果,宁有匹之者。”(《艺文类聚》卷八七)曹丕这段话再次证实当时曾种植葡萄和酿造葡萄酒。但是由于产地、产量均有限,这些葡萄和葡萄酒尚不能满足皇室和权贵的需求,所以出现东汉时扶风孟池送张让葡萄酒一斛,便可取得凉州刺史一职的丑事。《北齐书·李元忠传》也记载:“李元忠曾贡世宗蒲桃一盘,世宗报以百练缣。”可见葡萄的珍贵。

公元640年,唐太宗命侯君集率兵平定了高昌(今吐鲁番)。高昌以盛产葡萄著称。“及破高昌,收马乳蒲桃实于苑中种之,并得其酒法,帝自损益,造酒成,凡有八色,芳辛酷烈,味兼醖益。即颁赐群臣,京师始识其味。”(《册府元龟》卷九七〇)这段文字说明葡萄的种植和葡萄酒的酿造在唐代有了新的发展。

二、葡萄酒酿造工艺的演进

唐代苏敬等撰的《新修本草》中记载:“酒有蒲桃、秫、黍、稗、粟、麴、蜜等,作酒醴以麴为,而蒲桃、蜜等,独不用曲。”表明当时葡萄酒的主要酿制法是自然发酵法。朱肱在《北山酒经》里介绍的葡萄酒制法是葡萄与粮食的混合酿造法。对于这两种方法,金代人元好问曾议论过:“刘邓州光甫为予言,吾安邑多蒲桃,而人不知有酿酒法,少日,尝与故人许仲祥,摘其实并米炊之,酿虽成,而古人所谓甘而不饴,冷而不寒者,固已失之矣。贞祐中,邻里一民家避寇自山中归,见竹器所贮蒲桃,在空盎上者,枝蒂已干,而汁流盎中,薰然有酒气,饮之良酒也。盖久而腐败,自然成酒耳。”(《蒲桃酒赋》)像元好问这样的文人都已认识到,混酿法所制的葡萄酒已失去它的特色,还不如自然发酵的葡萄酒好,这表明葡萄酒的酿造技艺在中原地区曾走过一段弯路。这一情况的出现可能是因为葡萄的珍贵或匮乏,也是人们对黄酒和传统工艺的倚重之故。

明代高濂介绍的葡萄酒制法是：“用葡萄子，取汁一斗，用曲四两，搅匀，入瓮中，封口，自然成酒，更有异香。”（《遵生八笺·饮馔服食笺》）这种加曲的发酵法显然较前两种进步。

元代是中原地区酿酒技艺发展的重要时期。蒙古族在北方寒冷地区过着游牧生活，他们大多喜爱喝酒，主要喝的是马奶酒。这是一种将马奶装入皮囊中，经搅拌后待其自然发酵而制成的酒。西征和入主中原后，他们常喝的酒又增加了葡萄酒、米酒及蜜酒。当时蒙古族权贵们的生活有三件大事：狩猎、饮宴、征战。重大的决策都是在宴会中议定的，宴会当然离不开喝酒，从而把酒的地位提得很高。据《元史·世祖本纪》记载，皇家在祭祖庙时，祭品中增加了葡萄酒，说明对葡萄酒的看重。他们对酿酒技艺最重要的贡献就是将葡萄烧酒的制法引进到中原，促进了蒸馏酒生产技术在中原的迅速推广。元代学者忽思慧在为蒙古族统治者提供的营养食品资料书《饮膳正要》中就提到，葡萄酒中有“哈刺火”者最佳。李时珍在《本草纲目》中则明确指出：“葡萄酒有二样，酿成者味佳，有如烧酒法者有大毒。……烧者，取葡萄数十斤，用大曲酿酢，取入甑蒸之，以器承其滴露，红色可爱。”

元、明、清时期，葡萄酒的酿制虽然有了一定的发展，但是受到葡萄生长的地域条件的限制，它的发展不可能像谷物酿酒那样普遍。因而在元、明、清三代葡萄酒仍属珍贵之物，只能由极少数人享用。真正让更多的中国人领略到葡萄酒美味的，应该说是到近代才开始。1892年印尼华侨张弼士在山东烟台创办了近代中国第一家葡萄酒厂——张裕葡萄酿酒公司。他聘请了外国技师，引进了世界上著名的酿酒葡萄的种苗，购置了当时先进的酿酒设备，酿制出多品种葡萄酒，并在1915年巴拿马国际博览会上获得五块金牌。这表明中国酿制的葡萄酒已达到了世界的先进水平，中国的果酒和葡萄酒生产揭开了新的一页。

三、中国蒸馏酒的起源

关于中国蒸馏酒的起源曾有多种不同观点^①。下面讲述的是目前为多数人所赞同、立论较稳妥的一种看法。

古代蒸馏技术和蒸馏器的发展是蒸馏酒出现的技术前提。在先秦时代,中国的先民已掌握了蒸煮法加工食品。炼丹术的兴起又促使金丹家将这种蒸煮法引入炼丹活动中。他们先后发明和制作了多种蒸馏器,并用它研制药物或被他们认为可能成为仙丹的物质。上海博物馆所藏的东汉时期由青铜铸造成的蒸馏器就是一个例证。经上海博物馆马承源的研究,认为它可能是药用蒸馏器,用于药物的蒸煮加工或制取花露水一类的物质^②。表明当时确已有完好的蒸馏器。

可能由于金丹家所用药品主要是汞、硫、铅等少数几种化合物,最常见的方法是升华,实验器具大多是陶制或金属制,因而妨碍了对炼丹过程中化学变化的观察。尽管蒸馏器已较完好,但是蒸馏技术仍用得不多,除升炼水银外,几乎找不到利用蒸馏技术的更多实例。在唐宋时期的金丹著作中,虽然也常见“九蒸九曝”、“百蒸百曝”的方法,但是这种蒸仅是用热气或水汽来加热软化药物,其中最接近蒸馏酒工艺的要算是花露水的制取。唐人冯贽在《云仙杂记》中记载了蔷薇露。《册府元龟》也记述了来自西域的贡品——蔷薇水。宋人赵汝适在《诸蕃志》中,蔡绦在《铁围山丛谈》中都明确指出:蔷薇水是采花浸水,蒸取其液而得。所以在唐宋时期,人们采用蒸馏技术制取花露水已不是难事。

1975年在河北省青龙县西山嘴村金代遗址中出土了一具青铜

① 参看周嘉华,《中国蒸馏酒源起的史料辨析》,《自然科学史研究》第14卷(1995年)第3期。

② 马承源,《汉代青铜蒸馏器的考察和实验》,上海博物馆打印稿。

蒸馏器。据考古工作者对它的研究,证明这是一件实用有效的小型蒸馏器,既可以蒸制花露水,也可以用来制取蒸馏酒^①。这一发现再次说明,在宋代,少数人特别是制药的金丹家或医家已积累了关于蒸馏技术的丰富经验。这正是蒸馏酒生产技术在中国出现、传播和发展的技术基础。

蒙古族的西征和元朝的建立,开创了中西科技文化交流的繁荣时期。嗜酒的蒙古贵族在西域和西亚诸国饮到了浓烈的葡萄烧酒,并把它列为元朝的“法酒”。所谓“法酒”即按法定规格酿造的酒,亦称为“官法酒”或“官酝”^②。这种今天通称为“白兰地”的、由葡萄酒蒸烧而成的蒸馏酒,按当时它的阿拉伯语的译音,蒙古人称它为“阿刺吉”,并将它的制造工艺引进了中原。对于酿酒工艺和蒸馏技术业已很熟悉的中原酿酒师,很快就用黄酒烧制出被他们称作“酒露”或“汗酒”或“烧酒”的蒸馏酒。多种蒸馏酒很快在元朝的大地上推广普及开来。

元代大德五年(1301年)编成的《居家必用事类全集》中有一段关于南蕃烧酒法的记载。“南蕃烧酒”原名叫“阿里乞”。它是将液态的酒醅(很可能是黄酒)在两瓮相对而成的蒸酒器中烧制而成的。天历三年(1330年)刊印的蒙古族学者忽思慧的《饮膳正要》中也介绍了阿刺吉酒的性能和制法。至正四年(1344年)朱德润奉命写了《轧赖机酒赋》。“轧赖机酒”即烧酒。赋中对酿器和工艺进行了描述(《存复斋文集》卷三)。与朱德润同时代的许有壬(卒于1364年)也写了《咏酒露次解恕斋韵》。他将阿刺吉酒称为“酒露”,指出它以水火鼎炼酒取露而成,败酒亦可作原料。他认为此法来自西域,首先在宫廷和达官贵族家由权贵们享用,后来流传到民间,于是“汗漫天下”(《至正集》卷一六)。元人熊梦祥在《析津志》中不仅谈到葡萄酒制取哈刺吉,

① 承德市避暑山庄博物馆:《金代蒸馏器考略》,《考古》1980年第5期。

② 明·叶子奇:《草木子》卷三,中华书局1959年版。

还说枣酒等也能烧作哈刺吉。以上的资料足以说明,在元代人们借鉴从西域传入的葡萄烧酒及其工艺,使蒸馏酒在中国大地上得到迅速的推广和发展。人们分别采用殊甑、联瓮及来自丹房的水火鼎等蒸酒装置,展现了蒸馏酒生产初期阶段的概貌。假如像西亚诸国那样仅采用葡萄酒来蒸取烧酒,由于受自然条件的局限,不可能发展得这么快。只有采用黄酒为原料,烧酒才能得到迅速的普及。可以说蒸馏酒在中国的出现是中外科技文化交融的结晶。

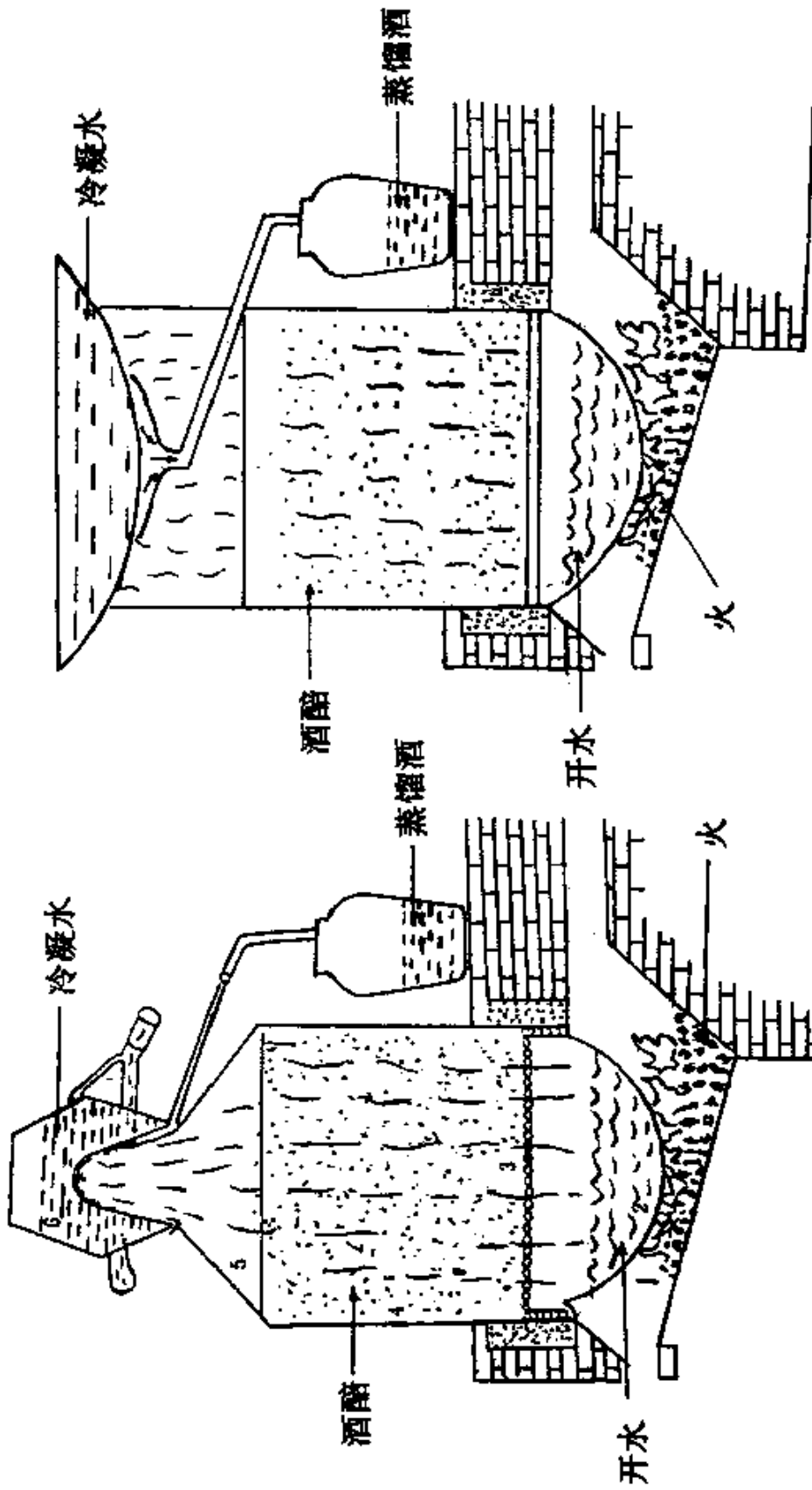
四、蒸馏酒工艺的发展

在李时珍的《本草纲目》卷二十五中,关于烧酒他作了这样的记述:

烧酒,非古法也,自元时始创其法,用浓酒和糟入甑,蒸令气上,用器承取滴露。凡酸坏之酒,皆可蒸烧。近时惟以糯米或粳米或黍或秫或大麦蒸熟,和曲酿瓮中七日,以甑蒸取。其清如水,味极浓烈,盖酒露也。

烧酒,纯阳毒物也。面有细花者为真。与火同性,得火即燃,同乎焰硝。北人四时饮之,南人止暑月饮之。其味辛甘,升扬发散;其气燥热,胜湿祛寒……。

李时珍的记述清楚地说明,蒸馏酒的生产工艺经过元代的发展,到了明代已有长足的进步。首先用于蒸馏的原料有浓酒和糟、酸败之酒、糯米、粳米、黍、秫及大麦的发酵醪。有的是发醪液,有的是液态的酒,有的则是固态的发酵醪。原料的多样本身就表明工艺的发展,特别是采用固态发酵醪来蒸取是一个重要的进步。李时珍指出烧酒触火即燃,表明酒的乙醇度应在四十度以上。在蒸馏过程中很可能已采取摘头去尾等工艺措施,以保证酒的醇度和质量。李时珍说当时北人四时饮之,南人止暑月饮之,这也说明烧酒的生产在南北方都已普及。



锅式烤酒蒸馏器示意图

图8-4 壶式烤酒蒸馏器示意图

据对现存的传统酿酒工艺中蒸馏酒器的考察和研究,可以知道在明清时期流行于中国的主要蒸馏酒器有两种:锅式烤酒蒸馏器和壶式烤酒蒸馏器。^①

如图 8-4 所示,它们都属于顶上水冷式,不同的是锅式的冷却面凹陷,壶式的冷却面凸起。壶式主要在河北、辽宁地区较多见,锅式在其他地区,主要在西南地区较盛行。

和黄酒一样,由于我国疆域辽阔,气候各异,原料丰富,生产设备和工艺操作互有差异,因而蒸馏酒(现俗称为“白酒”)的品种繁多。这些酒在长期的生产中,由于酿酒师的精心操作和工艺的不断完善提高,出现了一批有自己独特风格的优质品种,例如现在仍被列为国家名酒的泸州老窖特曲、汾酒、五粮液、西凤酒、剑南春、茅台酒、古井贡酒、洋河大曲等。它们大多在明清时期已开始生产,并形成了自己的独特风格,在市场上享有很高的声誉。

第五节 醋、酱及豆腐

乙醇浓度低的酒(乙醇浓度不超过 7%)在较高气温(25—35℃)下存放,较易在浮游于大气中的醋酸菌作用下氧化成乙酸(醋的主要成分)。基于这一化学变化,中国先民在掌握了用粮食酿酒的同时,也发明了制醋。醋自古以来就成为烹饪的重要调味品。后来醋还被用于治疗某些病或调配某些药,进一步为人们所熟悉。中国先民运用粮食酿制出多种风味的醋,这较之西方一些民族只知单一的果醋显然是一种进步。所以醋也是中国的酿造特产。

^① 方心芳:《关于中国蒸酒器的起源》,《自然科学史研究》第 6 卷(1987 年)第 2 期。

中国古代不仅掌握了利用霉菌将粮食酿造成酒或醋,还酿造出丰富多样的酱、豉和酱油,它们和酒、醋一样都是享誉全球的中国烹饪不可短缺的佐料。它们的发明和发展都标志着中国古代在微生物工程方面所取得的成就。

豆腐是一种营养丰富的食品,它以豆类为原料,经加工成豆浆后,再加凝固剂使其凝固和蛋白质变性而成。制作豆腐是中国古代的又一创造。

一、醋

醴、酢、醋、苦酒等在古代文献中,曾先后代表酸味的调料或食品。《尚书·说命下》有“若作和羹,尔惟盐梅”之说,表明极酸的梅子曾是最早的酸味调料。但是梅是天然果品,产量有限,难以满足人们的需求,于是人们发现可以谷物等为原料来制作酸味的醴。《左传·昭公二十年》记载:“水、火、醴、醢、盐、梅以烹鱼肉。”《仪礼·聘礼》曰:“醴、醢百瓮。”醴,醋也,酿谷为之,酒之类。醢,肉酱也,酿肉为之。先秦文献中常出现“醴”字,它代表一类酸味的汁,包括酸的酱汁和由酒、酒糟加工而成的酸汁。《周礼·天官冢宰》中有“醴人”一职,说:“醴人,掌共五齐七菹。凡醴物,以共祭祀之齐菹。凡醴酱之物,宾客亦如之。”“王举,则共齐菹醴物六十瓮,共后及世子之酱齐菹,宾客之礼,共醴五十瓮,凡事共醴。”由此可见,在西周宫廷内有专门管理醴的生产和供应的官吏。看来醴的出现应在周代以前,但是在周代,醴还主要供给皇族及官吏。《史记·货殖列传》记述说:“通邑大都,酤一岁千酿,醴酱千瓠,浆千甔,……麴曲盐豉千荅……此安比千乘之家,其大率也。”酤即卖也。瓠为长颈大腹的陶制瓶子。甔为容量约一石的陶制大瓮。荅即甔,为容量约六升的陶制容器。这表明在汉代,醴已成为商品,一般平民百姓也能享用。

西汉人史游在《急就篇》中写道：“茱萸盐豉醢酢酱。”唐人颜师古注曰：“醢，酢也，一物二名也。”《急就篇》又有：“酸碱酢淡辨浊清。”注曰：“大酸谓之酢。”由此可以认为在秦汉以前，醢代表一切酸味食品，而酢则表示酸味调料。它们之间的区别并不严格，故时有混用。

宋代史绳祖曾指出：“九经（即四书五经）无醋字，止有醢及用酸而已，至汉方有此字。”^①事实上在秦汉以前代表食醋的是酢和醢，醋则为“客酬主人”之意。汉魏以后，醢渐少用，酢与醋的含义互易，醋遂取代酢而代表食醋，酢则取代醋而表示酬答之意。在酢醋互易的过程中，酢、醋也常混用。

秦汉以前的文献中，醢及酢常见，但没有讲述它们的具体制法。东汉崔寔的《四民月令》中曾有“四月四日可作酢”；又说：“五月五日亦可作酢。”没有谈到酢的制法。比较集中地介绍早期制醋法的是后魏贾思勰著述的《齐民要术·作酢法第七十一》，它一共介绍了当时的二十三种制醋法。考察这些方法，可以看到当时制醋采用的原料有粟米、秫米、黍米、大麦、面粉、酒醅、酒、麸皮、酒糟、粟糠、大豆、小豆、小麦、粗米等。与近代相比，除玉米外，原料已完全用到。当时还采用蜜酿醋，现已少见。原料的多样性表明制醋工艺经过长期的发展已取得了不少成果。

贾思勰记述的前十五种制酢法大多是当时流行于黄淮以北地区的制醋法，后八种他引自《食经》的制苦酒法，大多是当时流行于南方地区的制醋法。南方制醋更多是采用酒或酒醅的直接发酵而制成，故当时习称醋为“苦酒”。北方制醋法中大多使用麦麸作糖化和醋发酵的催化剂。麦麸又名“黄衣”、“女曲”，是一种大量繁殖了黄曲霉和醋酸菌的散曲。南方制醋的八种方法大多采用液体发酵，部分直接采用

^① 宋·史绳祖：《学斋占毕·九经所无之字》，见《丛书集成》第313册，第63页。

蜂蜜或酒氧化发酵成醋。这说明当时的人们对由糖变酒,由酒变醋这个化学变化过程已较熟悉,所以能熟练地利用多种原料,在曲的帮助下,或直接创造一种适宜醋酸菌繁殖的温度环境,酿制成多种风味的醋。

隋、唐、宋时期的食经或食谱很少论及制醋法,倒是当时的医书和本草一类的书籍谈到了醋。这时期醋和酒一样,常被用作药剂的一味或诸味药的调料,说明醋的医药功能已被发掘。例如《唐新修本草》中就指出:“醋有数种,此言米醋。若蜜醋,麦醋,曲醋,桃醋,葡萄、大枣、蓂蓂(山葡萄)等诸杂果醋,及糠糟等醋会意者,亦极酸烈,此可啖之,不可入药用也。”

继《齐民要术》之后,比较集中地介绍制醋工艺的是元代的《居家必用事类全集》。该书在“造诸醋法”中介绍了十一种制醋法,文字简练,内容精辟,工艺要点都清晰论及,无论从分类和命名,还是从具体的工艺,都较《齐民要术》有明显的进步。在醋的品种上,这时期出现了一种以乌梅吸附醋精,再与蒸饼一起加工而成的固体醋。这种醋存放携带方便,食用也方便。在工艺上,固体发酵法得到了推广和发展,特别是利用了糠和麸作为原料的一部分。这与酿酒明显不同。酿酒要求原料加工要细些,而制醋却要求原料糙些,加入糠和麸在固态发酵中能使发酵体更多地接触空气,还要经常搅拌,以使醋酸菌得到更快的繁殖。正是根据这个道理,著名的镇江香醋就是以酒糟、砻糠为原料,加入成熟的醋醅,采用固态发酵的方法酿成。山西老陈醋也以粟糠为原料,和入粟米、高粱和大麦、豌豆曲制成的醋浆,亦采用固态发酵法酿成。所以这两种名醋的生产工艺都可以在《居家必用事类全集》的制醋法中找到自己的源头。明代刘基撰写的《多能鄙事》中的“造醋法”基本录自《居家必用事类全集》。由此可见,传统的制醋工艺到元、明时期已基本成熟了。

二、酱、豉及酱油

各种食物都可以加工成酱,所以酱具有广泛的内涵,它包括肉酱、鱼酱、果酱、菜酱等。本节所讲的酱主要指以谷物、豆类(或配入肉类)为原料,经发酵而酿成的一类食品或调料。其最大的特点是利用自然界的霉菌来分解原料中的淀粉和蛋白质,特别是将蛋白质分解为氨基酸,因而使制成的酱成为鲜美可口,耐贮藏,便于食用的食品或调料。

在反映先秦时期社会生活的典籍中,常见到“酱”字。例如:《论语·乡党》谓:“不得其酱不食。”《礼记·曲礼》说:“脍炙处外,醢酱处内”。“猷熟食者,操酱齐。”“醢”即代表各种肉酱,可见酱在当时社会饮食生活中的地位。《周礼·天官·膳夫》说:“凡王之馈,食用六谷。……酱用百有二十瓮。”可见周代宫廷里的酱更是多种多样。酱的酿制在周代应已较普通。“酱”字从“肉”(右上角的“夕”),大概最早的酱是利用鱼、肉类动物蛋白质作成的,后来由于农业经济的发展,人们主要食用六谷,酱也逐渐以植物淀粉和蛋白质为主要成分的谷类、豆类为原料。

《齐民要术·作酱法第七十》设专节介绍了当时十四种酱的制法,其中豆酱一种,肉酱四种,鱼酱四种,虾酱一种,蟹酱两种,麦酱一种,菜酱一种。豆酱的制法介绍得最详尽,从选豆、大豆去壳、蒸豆、和曲,直至酱黄制成,然后再进一步加盐调水晒成酱,几乎占据了豆酱制法三分之一的篇幅。肉酱、鱼酱中的多种酱即是用豆酱或豆酱清浸泡肉或鱼而成。制酱所用的曲主要是黄蒸。黄蒸略不同于酿酒的块曲和制醋的黄衣。它是用带麸皮的面粉为原料,在一定的温度、湿度下,由霉菌发酵而制成的。这种培养霉菌的胚体中,含有较多分解蛋白质和脂肪的酶的曲霉,所以主要用作制酱。

豆酱、麦酱(又称“面酱”)、肉酱、鱼酱、菜酱及果酱,由于能长期存放和便于食用,因此成为人们常见的菜肴和调味品,其生产工艺一直流传下来。唐宋至明清的有关饮食的古籍大多都载有豆酱及其他各种酱的制法,部分地反映了制酱技艺的进步。例如,唐代韩鄂在其所著的《四时纂要》中,有关豆酱的制法不仅简明扼要,而且将大豆的预加工和生产黄蒸的工序合二为一,然后采用既是原料又是发酵催化剂的“豆黄”直接加盐调水再发酵。这样既节省了工序,还使霉菌较早地介入发酵过程,最终取得较好的效果。在发酵即将完成时,又加入冷油、酒和汉椒,不仅增加了豆酱的风味和营养,还能使豆酱更耐贮存。因为酒能杀死部分变酸致坏的杂菌。油能在豆酱与空气之间形成一隔离层,防止杂菌的侵入。这些工艺上的改进正好说明人们对制酱机理认识的深化。可以认为唐代时制酱技艺已基本成熟。

在制作豆酱的实践中,至迟在秦汉时期人们又发明了豆豉。汉代史游的《急就篇》就将豆豉与醢、酢、酱列在一起作为当时的主要调味品。豆豉虽然和豆酱一样都是以豆类作原料、经过发酵而制成的调味品,但它们是有区别的。对此《齐民要术·作豉法第七十二》中作了清楚的陈述。首先,在书中“作豉法”没有归于“作酱法”,而是单列一节。贾思勰用了一千多字,不厌其详地介绍了作豉法的工艺流程。与作豆酱相比,其重要差别在于:作豆豉的大豆在蒸煮中,既要煮熟又不能煮烂;既要霉菌发酵繁殖,又要控制其发酵程度。所以说豆豉是有控制的发酵,霉菌只是部分地即主要在表面一层将淀粉和蛋白质分解。这样它就与充分发酵的豆酱在口味上有区别,从而成为一个新品种。这种有控制的发酵的技艺也从一个侧面反映了当时微生物工程技术的一个成就。

从食用豆酱到食用豆酱油,与从饮用酒醪到饮用清酒一样,其间有一个发展演进的过程。豆酱油约在汉代出现,当时称为“清酱”,南北朝时又称“酱清”、“豉汁”,在唐代亦称“酱汁”。直到宋代才称之为

“酱油”或“豉油”。明代又根据它的制法特点将酱油分为“淋油”、“抽油”、“晒油”等。

可能由于豆酱油最初只是从稠糊状的豆酱中澄撇出来,产量小而没有成为一独立产品,所以在相当长的一段时间里,人们没有把酱油与酱区别开来,以致很晚才有专门介绍制酱油法的文献出现。在《齐民要术·作酱法第七十》中,“豆酱清”、“酱清”、“清酱”都是指从豆酱中取出的清汁,却没有作酱油的介绍。唐代韩鄂的《四时纂要》的“咸豉”条中也提到取豉汁“煎而别贮之”,也没有讲它的制法。宋代林洪的《山家清供》三处提到酱油,也没有讲它的工艺。直到明代,《本草纲目》等著作才清楚地讲述了当时酱油的制法。李时珍所介绍的“豆油法”是一种稀醪发酵的晒制法。清代顾仲在《养小录》中介绍的两种酱油制法,其中一种用竹箬过滤取油的方法即是抽油法。可以认为,酱油的制法是从豆酱制法中派生出来的,而到了明清时期又形成了自己的工艺特点。

从中国传统的制酱和酱油技艺的演进,可以看到中国先民的智慧和创造力。这种技艺后来逐步传至日本、印度尼西亚、越南等东亚国家,成为东亚食品的一大特色。

三、豆腐及豆腐酿制品

豆腐是举世闻名的中国传统食品,它不仅在中国,而且在世界许多国家都已成为人们喜爱的食品。由豆腐进一步加工而成的多种豆制品及豆腐乳也同样是人们餐桌上的佳肴。

明初叶子奇在《草木子》中说:“豆腐始于汉淮南王之术也。”《本草纲目》也写道:“豆腐之法,始于前汉淮南王刘安。”认为豆腐始于汉初,为淮南王刘安所创,这是元、明、清三代流行的说法。但一些学者在西汉至唐末的众多古代文献,包括农家、饮食烹饪、医家、本草医方

及杂家等的文献中,都没有找到有关豆腐的确实记载,从而对上述的说法提出了质疑。

目前所知论及豆腐最早的文献是生活在五代后期和宋代初年的陶谷。他在《清异录》中写道:“日市豆腐数筒,邑人称豆腐为小宰羊。”豆腐已在市面上出售,成为与羊肉媲美的菜肴,表明豆腐已在一些地方普及。因此豆腐的发明应在这之前的唐末或五代。

到了宋代,记载豆腐的文献就多起来了,有寇宗奭等本草学家和医药家的著述,也有陆游、苏轼等文人的诗词游记,还有林洪等烹饪美食家的介绍。然而关于豆腐的具体制法却很难在文献中找到。到明初无名氏著的《墨娥小录》才介绍说:“凡做豆腐,每黄豆一升入绿豆一合,用卤点就,煮之甚是筋韧,秘之又秘。”这一介绍显然有点简单,它后面申明“秘之又秘”,就可以知道之所以简单的原因所在。李时珍在《本草纲目》卷二十五中的介绍就较详细:“凡黑豆、黄豆及白豆、泥豆、豌豆、绿豆之类皆可为之。造法:水浸,砑碎,滤去渣,煎成,以盐卤汁或山矾叶或酸浆、醋淀,就釜收之,又有人缸内以石膏末收者。大抵得咸、苦、酸、辛之物,皆可收敛尔。其上面凝结者,揭取晾干名曰豆腐皮,入馔佳尔。”这段记载,特别是多种的原料和多样的凝固剂,表明人们对豆腐的生产已掌握了丰富的经验,点豆腐已不再是秘密了。应该说此时豆腐的制造技艺已完全成熟,李时珍的记载客观上是对当时豆腐工艺的总结。

在制造豆腐的实践中,人们还发现对工艺稍作改变或作进一步深加工,就可获得豆腐脑、豆腐干、豆腐丝、豆腐皮、油炸豆腐干、熏制豆腐干、臭豆腐干、豆腐乳及冻豆腐等新产品。这些名目繁多的豆腐制品丰富了人们的菜肴食品。

在豆制品中,豆腐乳是我国特有的传统发酵食品。它的生产工艺大致是:将豆腐加工成豆腐胚,接种上毛霉菌,在一定温度、湿度条件下进行前发酵,长出一层毛霉菌丝变成了腐乳胚。再将腐乳胚装入盛

有盐和作料的坛中密封,让其在缺氧的环境中进行后发酵。蛋白酶和其他菌类在渗入腐乳胚内的同时,将蛋白质分解为氨基酸和进行产生香味的酯化反应。经过两个月以上的时间,口感鲜美、营养丰富的腐乳就制成了。这是一个利用微生物对豆腐进行深加工的复杂的生物化学过程。

根据目前所知的文献,可以推测腐乳的生产始于明代。明代李日华(1565—1635年)在《蓬拢夜话》中记载说:“黟县人喜于夏秋间醃腐,令变色生毛,随拭去之,俟稍干,投沸油中灼过,如制徽法,漉出,以他物笔烹之,云:有鲑鱼之味。”这里讲的是油炸霉豆腐干。若改上述油炸的工序为盐水泡浸腌制,得到的就是腐乳。“腐乳”这一名词在明代文献中已有,但是尚未见具体制法的记述。到了清初,豆腐乳日益普及,其生产工艺已不成秘密而被广为介绍。例如清初朱彝尊在《食宪鸿秘》中就介绍了建腐乳、糟腐乳、乳腐等的生产工艺。从其介绍的工艺来看已与近代的工艺大致相同,表明腐乳的制法当时已很成熟。还有一些清代的书籍也记载了腐乳的制作,说明腐乳在人们的饮食中深受欢迎而得到迅速的普及。由于各地的自然环境不同,加工方法及饮食爱好不同,各地生产的腐乳也各有特色,其中绍兴腐乳、桂林腐乳、四川夹江腐乳、广州腐乳、上海奉贤腐乳都是较有名气的。

第九章 若干有机化合物和无机盐的化学工艺

糖,主要指食糖,是生活中常见而又普通的食品和调味品。它主要由蔗糖、果糖、麦芽糖、葡萄糖等最简单的碳水化合物组成,是人体发育成长、新陈代谢所必需的营养成分。从化学知识来说,葡萄糖、果糖属于单糖,麦芽糖、蔗糖属双糖类,双糖可水解为单糖。淀粉也是碳水化合物,在酶的作用下,最终也能水解变成葡萄糖一类的单糖。它们都属基础的有机化合物。制糖工艺当属古代的化学工艺,制糖业应是古代重要的手工业部门。

在中国古代的无机盐化学工艺中,主要包括盐、硝、矾三大类。盐即主要成分为氯化钠的食盐,在自然界依它赋存状态的不同又可分为石盐、池盐、海盐、井盐和土盐等。硝包括硝石、芒硝及卤咸等不同物质。矾有白矾、绿矾、胆矾、黄矾、绛矾,五颜六色,多种多样。这些无机盐中,食盐在国计民生中有独特的重要地位,在中国古代曾与铁构成了国民经济的两大支柱。硝石是火药中的关键成分,矾则广泛地用于染色。以上三类无机盐都是古代医药和炼丹中的重要角色,所以对它们进行采集、识别、鉴定、提纯并进行研究,是中国古代化学的重要内容。有关硝石的研究在第六章中已作过一些介绍,有关矾的知识

在第五章中也作过一些叙述,本章对它们的介绍只能简单一些。

第一节 糖

在许慎的《说文解字》中没有“糖”字,在扬雄(前53—公元18年)的《方言》中有“食”字旁的“饧”。到了北魏贾思勰的《齐民要术》中,“糖”字已被使用。此后的辞书,例如南朝梁人顾野王(519—581年)编的《玉篇》、隋朝陆法言编的《切韵》都有“糖”的专条。实际上,在古代文献中,有许多糖的同义字或意义相近的字,如:“饧”、“饴”、“饬”、“饬”、“饬”、“饬”、“饬”、“饬”等等。这些字虽不同,但基本上都是指甜味的物质,即相当于糖。因地域的不同或物质外形的差异,甚至含杂质之多少,古人都有不同的称谓。对这些名词,《方言》是这样解释的:“饬谓之饬,饬谓之饬,饬谓之饬,饬谓之饬;凡饬谓之饬,自关而东陈楚宋卫之通语也。”刘熙的《释名》则作这样的解释:“饬,洋也;煮米消烂,洋洋然也。”“饬小弱于饬,形饬饬然也。”“饬,哺也,如饬而浊可哺也。”在上述古字中,只有“饬”、“饬”两字现在还用,它们都是指以麦芽糖为主的糖。

古人最早食用的糖主要有饬饬和蜂蜜。饬饬又叫作“关东糖”、“糖稀”。利用谷物生芽的方法把含淀粉的食物变成味甜的东西,大约在三千年前就已经有了。中国先民用粮食通过生芽的方法制造麦芽糖,至晚始于公元前一千年左右。《诗经·大雅·绵》中就有“饬”字。《尚书·洪范》里有“稼穡作甘”的句子。屈原所撰的《楚辞·招魂》里也有“柜粒蜜饵有饬饬”之句,表明南方的楚国在两千三百年以前也已能够制造饬饬了。到了东汉,城市乡村都可见“吹箫卖饬”的景象,可见无论是硬的饬或软的饬已成为深受欢迎又极普通的食物了。

关于饬饬的制作,《说文解字》里说:“饬,米蘖煎也。”《释名》里说:“煮米消烂。”《齐民要术》中有较详细的记载。该书有专节分别叙

述了“白饧”、“黑饧”、“琥珀饧”、“煮饧”、“作饧”等五种方法。五种方法基本上是相同的,现录“白饧”法如下:

用白牙散麩佳,其成饼者,则不中用。用不渝釜,渝则饧黑,釜,必磨治令白净,勿使有腻气。釜上加甑,以防沸溢。干麩末五升,杀米一石。米必细筛数十遍,净淘,炊为饭。摊去热气,及暖,于盆中以麩末和之,使均调。卧于甑瓮中,勿以手按,拨平而已。以彼覆盆瓮令暖,冬则穰茹。冬须竟日,夏即半日许,看米消减,离瓮。作鱼眼沸汤以淋之,令槽上水深一尺许,乃上下水,治讫。向一食顷,便拔甑取汁煮之。每沸,辄益两杓。尤宜缓火,火急则焦气。盆中汁尽量不复溢,便下甑。一人专以杓扬之,勿令住手,手住则饧黑。量熟止火,良久向冷,然后出之。用梁米者,饧如水精色。(《齐民要术》卷九)

由此记载可见,饧生产经过选麩、浸米、蒸米、糖化、过滤、煮饧、搅拌加工等工序,与近代制饧法基本相同。

明代宋应星在《天工开物》“甘嗜”一节中也记录了制饧的方法,其中提到了“一窝丝”——一种很有名的饧糖制品。它是将热饧用拔糖棒多次拉拔而成,松虚多孔,吃起来既甜又酥。

蜂蜜是由蜜蜂生产的天然甜品,先人很早就认识它了。根据不同的来源,在古文献中曾称它为“蜂糖”、“石蜜”、“土蜜”、“木蜜”、“石饧”、“岩蜜”等。《吴越春秋·卷五》里有“越以甘蜜丸椀报吴增封之礼”的话,表明在当时蜂蜜已成为珍贵的礼品。《三国志·孙亮传》里提到“蜜渍梅”,即用蜜把杨梅浸过成为蜜饯。由于蜜中糖分浓度高,有很好的防腐、防霉作用,所以蜜饯可久藏不坏。这是一种很早就被使用的食品保存方法。《齐民要术》中也记有“蜜姜法”。蜜饯是中国的特产,它至迟在一千七百年以前就会制造了。

关于甘蔗的文字记载,最早见于战国时屈原的《楚辞·招魂》中,内有“有柘浆些”句。后来《汉书·郊祀志》里有“柘浆析朝醒”之句。

“柘”就是甘蔗的古名。公元三世纪张揖《广雅》解释“柘”为“甘柘”，许慎《说文解字》中把“柘”和“蔗”释为同义。甘蔗在植物学上属禾木科甘蔗属，有三十多个种。据研究表明，甘蔗野生种——割手密、草鞋密在中国古代南方曾有广泛分布。可以认为中国也是甘蔗起源地之一。司马相如（约前 179—前 118 年）在《子虚赋》中曾提到甘蔗的另一古名“诸蔗”。东汉服虔的《通俗文》中也载有“荆州竿蔗”。由此可见早在汉代以前，南方一些地区已种植甘蔗。

《齐民要术》中曾将甘蔗列入“非中国物者”，同时它又转引《异物志》说：“甘蔗远近皆有。交趾所产甘蔗特醇好。……连取汁如饴汤，名之曰糖，益复珍也。又煎而曝之，既凝而冰。”在北魏那个时代，贾思勰所说的中国，大概是指黄河流域。事实上由于甘蔗是南方植物，黄河流域不能生长，所以当时甘蔗主要种植在岭南的广东、广西、云贵等地。上面这段记载清楚地介绍了蔗糖的制作方法。南朝陶弘景在《名医别录》中写道：“蔗出江东为胜，卢陵亦有好者，广州一种，数年生，皆大如竹，长丈余。取汁为沙糖，甚益人。”（《本草纲目》卷三三）这段介绍恰是对《齐民要术》的补充和说明。

《新唐书·西域列传》中记载：“贞观二十一年（647 年）……太宗遣使取熬糖法，即诏扬州上诸蔗，柝沈如其剂，色味愈西域远甚。”南宋陆游（1125—1210 年）在《老学庵笔记》中也说：“沙糖中国本无之。唐太宗时外国贡至，问其使人，此何物？云以甘蔗煎汁，用其法煎成，与外国者相等。自此中国方有沙糖。唐以前书传凡言及糖者，皆糟耳。”《唐会要》则说：“西蕃胡国出石蜜，中国贵之。太宗遣使至摩伽陀国取其法。”这里的石蜜已不是指蜂蜜。李时珍认为，“石蜜，实乃甘蔗汁煎而曝之，则凝如石而体甚轻，故谓之石蜜也”（《本草纲目》卷三三《石蜜》）。曾有人误解陆游的话，以为我国从唐代始有蔗糖。其实只要认真分析上述史料，就可以认定蔗糖的制作在我国至迟在东汉末年，但是由于技术水平不高，在初唐以前熬制的蔗糖大多是含多量糖蜜、

未曾脱色的赤砂糖或黄糖块。只是在学习了印度的先进技术后,才制出了较纯而脱色的白砂糖和冰糖。唐《新修本草》中就写道:“砂糖……榨甘蔗汁煎作。蜀地西戎、江东并有。而江东者,先劣今优。”

明代李时珍在《本草纲目》中摘引元代吴瑞的话:“沙糖中凝结如石,破之如沙,透明白者为糖霜。”“糖霜”即冰糖的古名。北宋末年的王灼著有《糖霜谱》一书。该书后面有绍兴甲戌(1154年)卧云庵僧人守元写的跋,表明该书至迟在1154年写成。内容为七节,约二千五百多字,分别记述了糖霜的原委、故事、种蔗方法、制糖器具、糖霜制法、糖霜的成品及成品的功用。王灼提出,四川遂宁制造糖霜技术在唐代大历年间(766—779年)由一个邹姓和尚介绍而来。最早谈到遂宁糖霜的是苏轼和黄庭坚的诗文。制糖霜的工艺中特别注意熬糖浆,火不能太大,浆不能太稠,否则不易生成糖霜,而是得砂糖。由上述可见,王灼的《糖霜谱》是中国古代关于制糖工艺的重要专著。

马可·波罗(Marco Polo, 1254—1323年)在《马可·波罗游记》写了一段他目睹的福建产糖的情况:

我们到了尤溪城,那里出产极多量的糖。大可汗朝廷里所消费的糖,都是由这城取得的。那个量就可代表很大的价值了。你们还要知道,这些部分在没有被大可汗征服的时候,人民不知道如何能把糖制造提炼得像巴比伦所产的那么好。他们不把糖在模子里凝结使成固体,只知煮了再撇清,所以就硬成黑色的浆糊。但是自从这地被大可汗征服以后,就有几个巴比伦人来到此地,教他们怎么用一种树的灰来提炼净糖。

马可·波罗的这段记述表明由于中国地域辽阔,各地手工业技术都有地方的特点,像交通不便的福建甚至到元代,仍采用早期旧法生产蔗糖,只是在吸收外来技术后,制糖工艺才被改良。直到二十世纪上半叶,云南、广西的部分农村仍在用土法制蔗糖。

手工制糖的工艺到了明代已达到相当精细的水平。对此宋应星

在《天工开物·甘嗜》中有详细的记述,现摘录如下:

凡获蔗造糖,有凝冰、白霜、红砂三品。糖品之分,分子蔗浆之老嫩。

凡造糖车,制用横板二片,长五尺、厚五寸、阔二尺,两头凿眼安柱,上笋出少许,下笋出板二、三尺,埋筑土内,使安稳不摇。上板中凿二眼,并列巨轴两根,轴木大七尺围方妙。两轴一长三尺,一长四尺五寸,其长者出笋安犁担。担用屈木,长一丈五尺,以便架牛团转走。轴上凿齿分配雌雄,其合缝处须直而圆,圆而缝合。夹蔗于中,一轧而过,与棉花赶(擗)车同义。蔗过浆流,再拾其滓,向轴上鸭嘴吸入,再扎,又三扎之,其汁尽矣。其滓为薪。……每汁一石,下石灰五合于中。凡取汁煎糖,并列三锅如品字,先将稠汁聚入一锅,然后逐加稀汁两锅之内。若火力少束薪,其糖即成顽糖,起沫不中用。

……看水花为火色,其花煎至细嫩,如煮羹沸,以手捻试,粘手则信来矣。此时尚黄黑色,将桶盛贮,凝成黑沙。然后以瓦溜置缸上,其溜上宽下尖,底有一小孔,将草塞住,倾桶中黑沙于内,待黑沙结定,然后去孔中塞草,用黄泥水淋下。其中黑滓入缸内,溜内尽成白霜。

这种传统的制糖工艺,一直流传到二十世纪中叶。1910年华侨郭桢祥在福建开办了华祥制糖公司,这可能是中国最早一个运用机器榨蔗的近代化糖厂。以后陆续在江南,特别是广东、广西设立了几个新式糖厂。但是广大农村仍使用传统的手工制糖工艺。借鉴欧洲国家都以甜菜为制糖原料,到清末人们方利用甜菜制糖。我国种植甜菜早有记载,名为“恭菜”或“蓳蓬”,可作食用和药用。1908年在东北地区开始种植甜菜,并兴办了呼兰制糖厂,这是中国自办的第一个机器制糖厂。1920年在山东济南也建了甜菜制糖厂,逐渐形成北有甜菜制糖,南有甘蔗榨糖的近代制糖业的新布局。

第二节 食 盐

人类结束了茹毛饮血的生活,原先主要从禽兽血肉中汲取的盐分,就必须寻找新的补充来源。因此当人类进步到以谷物为主要食物时,食盐便成为生活的必需品。

先秦古籍《世本》云:“黄帝时,诸侯有夙沙氏,始以海水煮乳煎成盐,其色有青、黄、白、黑、紫五样”。《说文解字》则称:“古者宿沙初作煮海盐。”隋虞世南《北堂书钞》引《世本》云:“夙沙氏始煮海为盐。夙沙黄帝臣。”尽管说法不尽相同,至少表明夙沙煮海为盐发生在大约距今五六千年前的黄帝、神农时代,即农耕生活的开始时期。

《尚书·禹贡》载:“青州厥贡盐。”“海、岱惟青州。”夏禹已命青州贡盐,表明渤海沿岸及泰山一带那时已是盛产海盐的地区。《周礼·天官冢宰》记载,周代天官中设有“盐人”,“掌盐之政令,以共(供)百事之盐。”当时在祭祀中供用“苦盐”和“散盐”。据《本草纲目》卷十一《食盐》解释,“苦盐”即颗盐也,出于池,其盐为颗,未炼治,其味咸苦。散盐,即末盐,出于海及井,并煮鹺而成者,其盐皆散末也。形盐,即印盐,或以盐刻作虎形也;或之积卤所结,其形如虎也。饴盐,以饴拌成者;或云生于戎地,味甜而美也。此外又有崖盐,生于山崖,戎盐生于土中,伞子盐生于井,石盐生于石,木盐生于树,蓬盐生于草。在周代,饴盐供王者膳食,形盐和散盐用于款待宾客。可见周代已开发了多种盐,并进行了适当的加工。春秋时,管仲相齐,开始设税盐官。此后历代都对盐务设官课税,盐税成为国家的重要财政收入。

南朝陶弘景在《本草经集注》中对多种食盐作过如下概述:

五味之中惟此不可缺。有东海、北海盐及河东盐池,梁、益盐井,交、广有南海盐,西羌有山盐,胡中有树盐。而色类不同,以河

东者为胜。

北宋沈括在《梦溪笔谈》卷十一中更详细地陈述了当时各类食盐供应的地区分布：

盐之品至多，前史所载，夷狄间自有十余种。中国所出，亦不减数十种。今公私通行者四种。一者“末盐”、海盐也，河北、京东、淮南、两浙、江南东西、荆湖南北、福建、广南东西十一路食之。其次“颗盐”，解州盐泽及晋、绛、潞、泽所出，京畿、南京、京西、陕西、河东、襄、剑等处食之。又次“井盐”，凿井取之，益、梓、利、夔食之。又次“崖盐”，生于崖岩之间，阶、成、夙等州食之。

《明史·食货志四》对当时产盐区及生产方式有一概括的介绍：

盐所产不同：解州之盐（池盐），风水所结；宁夏之盐（碱盐），刮地得之；淮浙之盐（海盐），熬波；川滇之盐（井盐），汲井；闽粤之盐（海盐），积卤；淮南之盐（海盐），煎；淮北之盐（海盐），晒；山东之盐（海盐），有煎有晒，此其大较也。

以上记载使人们对中国古代盐业生产及其演进有一个基本的认识。

一、海 盐

《管子·地数》篇有一段管仲答齐桓公关于盐政之所问的话：

齐有渠展之盐。……君伐菹薪煮沸水为盐，正而积之三万钟，至阳春请籍于时。……阳春农事方作，……北海之众毋得聚庸而煮盐。然盐之贾（价）必四十倍，君以四十之贾，修河济之流，南输梁、赵、宋、卫、濮阳。

由这段话可以了解到，春秋的齐国的海盐生产规模已相当大，其产品可供应北方的梁、赵、宋、卫诸国，因而有必要适当控制，以免影响农耕劳力和造成盐价下跌。

从秦汉至唐宋,中国的东部、南部的绝大多数地区都是以食海盐为主,其海盐的生产方法,主要是淋沙煎卤,这种工艺一直延续到明代。它大致分为制卤和煎熬两步。

制卤基本上都是利用海滩沙土来吸附、富集海盐,然后利用潮汐淋洗,或人工舀水浸卤,来获得较浓的卤水。对此,苏颂在《图经本草》中记载说:

……于海滨掘土为坑,上布竹木,覆以蓬茅,又积沙于其上。每潮汐冲沙卤咸淋于坑中。……因取海卤注于盘中煎之,倾刻而就。

宋人乐史在《太平寰宇记》卷二十二中对刮沙浸卤的方法也有类似记载,不同的是它采用人工提舀海水入坑渠来浸渍盐沙。

元、明时,盐民发现并利用草木灰能强烈吸附盐分的作用而改进了制卤方法。元人陈椿的《熬波图》最早记载了这一方法。但以宋应星《天工开物·作咸》的记述最有条理。他依海滨地势之高低不同,将制卤法分为三种:第一,“高堰地,潮波不浸者,地可种盐。……度诘期无雨,则今日广布稻麦薰灰及芦茅灰寸许于地上(盐沙上),压使均匀,明晨露气冲腾,则其下盐茅勃发。日中晴霁,灰、盐一并扫起煎淋”。这是在地势高的滩地,利用草木灰来吸取沙中盐分。第二,“潮波浅被地,不用灰压。候潮一过,明日天晴,半日晒出盐霜,疾趋扫取煎炼”。这方法已接近晒盐法,适用于滩沙极细,吸附海盐较强的情况。第三,“逼海潮深地,先掘深坑,横架竹木,上铺席苇,又铺(盐)沙于席苇之上,俟潮灭顶冲过,卤气由沙渗入坑中,撒去沙苇,以灯烛之,卤气冲灯即灭,取卤水煎炼”。

煎熬海卤古代使用直径过丈、深有尺余的平底盐盘。这种盐盘有铁制的,较耐用;也有竹篾编成,外敷以牡蛎灰的,虽易烧坏,但可就地取材,成本低廉。宋代乐史的《太平寰宇记》卷二十二中还记载,在起火煎卤前,人们已采用“散皂角于盘内”的方法絮凝食盐散晶,以利

于食盐晶体的成长和析出。关于煎熬海卤的工艺,元代陈椿的《熬波图》作了较翔实的讲解。明代陆容的《菽园杂记》卷十二也作了进一步说明。

据《元史·食货志》载,海盐的晒制法,到元代时始兴于福建,根据解州池盐的经验,兼用晒法。《明史·食货志四》称:“淮南之盐,煎,淮北之盐,晒,山东之盐,有煎有晒。”表明明中叶时已有更多地区改煎为晒。不过当时虽以日晒代替煎炼,但是仍需预制海卤。河北沧州在明代兴建了长芦盐场,它那里出现了摆脱制卤的晒盐法。《天工开物·作咸》在介绍解盐时写道:

解池……土人种盐者,池傍耕地为畦陇,……引水种盐,春间即为之,……其海丰(今山东无棣县)、深州(为沧州之讹),引海水入池晒成者,凝结之时,扫食,不加人力,与解盐同。但成盐之时日与不借南风,则大异也。

《天工开物》这段文字是依据明人章潢(1527—1608年)所写的《图书编》中“长芦煎盐原委”而写的,由此可推测沧州盐场采用完全的晒盐法最迟不晚于十六世纪中叶。由于此法省却了制卤这一工序,又完全利用了日照和风力,较前面的制卤煎盐有明显的优越,到了清代得到迅速的推广,此后晒盐法逐步取代了煮海法。

二、池 盐

池盐指盐湖中天然结晶或以盐湖表面卤水晒制的盐。中国的盐池主要分布在西部和北部的干旱——半干旱气候的地带。在历史上最著名的池盐产地是解州盐池,即今山西运城盐湖。历史学家发现,中国最早一批原始公社部落大都以解池为中心,在黄河中下游两岸聚居;尧都古迹、舜都故址、禹都遗址、夏朝国都及以后几个奴隶社会和封建社会的重要都市都建在距解池不远的地方。这与解池盛产精

盐肯定是有联系的。

解盐的早期开采方式主要是组织人力采捞由卤水中自然析出的食盐结晶。《左传·成公六年》记载：“晋谋去故绛，大夫曰：‘郇，瑕也，沃饶近盐’。服虔曰：‘土平有溉曰沃，盐，鹽也。’土人乡俗引水沃麻，分灌川野，畦水耗竭，土自成盐，即所谓成鹺也。而味苦，号曰盐田，盐鹽之名，始资是矣。”可见春秋时期已采用原始的日照晒盐法了。到了盛唐时期，解州等池盐的日照晒盐法已趋于成熟，形成“垦畦浇晒”的完整工艺。对此唐代张守节在其《史记·货殖列传》正义中有翔实记载：

河东盐池是畦盐，作畦，若种韭一畦。天雨下，池中咸淡得均，既畎池中水上畦中，深一尺许坑，日曝之五六日则成盐若白硃石，大小如双陆及棊，则呼为畦盐。

这种人工垦地建畦，将卤水引入池内并适当稀释，再靠日照、风吹蒸发浓缩晒制食盐的方法，使池盐的产量大增，质量也有改善。此后这种垦畦浇晒的方法得到大力推广。

三、石 盐

石盐又名“岩盐”，是自然界中天然形成的食盐晶体。其精品呈玻璃光泽，无色透明或白色呈正方形晶体状，往往“累累相缀，如棋之积”，所以古籍上又称“光明盐”、“水晶盐”、“玉华盐”或“白盐”。有的因混入一些杂质或污泥，而会呈现多种颜色。有些石盐生于盐池之中，南朝陶弘景《本草经集注》提到：“河南盐池泥中，自然凝盐如石片，打破皆方，青黑色。”唐《新修本草》谓：“光明盐，……生盐州五原盐池下，凿取之。大者如升，皆正方光澈。一名石盐。”《本草纲目》卷一—《光明盐》说：“石盐，……水产者生池底，状如水晶、石英，出西域诸处。”有些石盐生于地下，须掘土挖取。晋人宋膺的《凉州异物志》写

道：“姜(羌)赖之墟，今称龙城，……刚卤千里，蒺藜之形，其下有盐，累棋而生。”北魏酈道元的《水经注》也谓：“龙城故羌赖之墟，胡之大国也。……地广千里，皆为盐而刚坚也，……掘发其下，有大盐方如巨枕，以次相累。”

石盐大都是自盐井或盐湖中自然凝结析出的。《水经注》曾说：“(汤溪)水源出(胸忍)县(今四川云阳县西)北六百余里上庸界，南流历其县，翼带盐井一百所，巴川资以自给，粒大者方寸，中央隆起，形如张伞，故因名之曰伞子盐。有不成者，形亦必方，异于常盐矣。”《本草经集注》亦云：“巴东胸臆县北岸(崖)有盐井，盐水自凝生粥(伞)子盐，方一、二寸，中央突张如伞形，亦有方如石膏，博棋者。”这类石盐主要出现于我国西北地区，那里干燥的气候常使星罗棋布的内陆盐湖的表面凝结着厚厚的石盐晶体。这里的石盐在秦汉之际曾大量地被贩运到中原地区，成为食盐的来源之一。

有些石盐生于山谷之中，山崖之上，又称“崖盐”。唐《新修本草》指出：“戎盐即胡盐，沙州(今甘肃敦煌)名为秃登盐，廓州(今青海西宁市南)名为阴土盐，生河岸山坡之阴土石间，块大小不常，坚白似石，烧之不鸣焔者。”《新唐书·地理志》提到：“陇右道肃州玉门北有狄登山，出盐以充贡。”《梦溪笔谈》卷十一曰：“崖盐生于土崖之间，阶(今甘肃武都)、成(今甘肃成县)、凤(今陕西凤县)等州食之。”《天工开物·作咸》云：“凡西省阶、凤等州邑，……其岩穴自生盐，色如红土，恣人刮取，不假煎炼。”

有些含有较多硅酸盐的石盐，亦称为“咸石”，须经煎炼提取才能食用。例如晋人杜预《益州记》所载：“汶山有咸石，先以水渍，既而煎之。”又如《晋书·地道记》载：“(胸忍县)入汤口四十三里，有石，煮以为盐。石大者如升，小者如拳，煮之，水竭盐成。”估计这类“咸石”就是埋藏较浅的不纯的岩盐。

四、井 盐

井盐是以凿井的方式开采出的地下天然卤水及固态的岩盐。古代井盐的开采集中在川、滇一带,四川自贡号称中国古代的盐都。中国井盐开采大约始于战国晚期。据晋人常璩的《华阳国志·蜀志》记载:

周灭后,秦孝文王以李冰(约前 265—前 251 年)为蜀守。冰能知天文地理,……又识齐水脉,穿广都(今双流县境)盐井,诸彼地,蜀于是有养生之饶焉。

可见李冰不仅是著名的水利专家,同时对于四川井盐的凿取也是有重要贡献的。

晋人张华的《博物志》记载:

临邛火井一所,从广五尺,深二、三丈,并在县南百里,昔时人以竹木投以取火,诸葛丞相往视之。后火转盛热,盆盖井上,煮水得盐。

《华阳国志·蜀志》关于临邛火井煮盐是这样写的:“取井火煮之,一斛水得五斗盐,家火煮之得无几也。”

这些记载清楚地表明中国至迟在三国时已开始利用天然气作燃料来煎煮井盐了。

直到北宋初年,开凿的盐井都为大口浅井。唐代时在今四川仁寿县开凿的“陵井”,纵广三十丈,深八十余丈,可谓大口浅井的典型(《元和郡县志》)。这类盐井只能开采浅层卤水——浓度较低,含氧化铁较多的黄卤。

使用大口浅井开采黄卤,经历近千年的频繁开采,到北宋初年时已接近枯竭了。社会的需求促使川民开采埋藏较深的、浓度高的黑卤,小口径凿井技术——“卓筒井”便应运而生。卓筒井发明于北宋庆

历年间(1041—1048年)。苏轼的《东坡志林》卷四对此记载如下：

自庆历、皇祐(1049—1054年)以来，蜀始创用筒井，用圜刃凿如腕(碗)大，深者数十丈，以巨竹去节，牝牡相衔为井，以隔横入淡水，则咸泉自上。又以竹之差小者，出入水中为桶，无底而窍其上，悬熟皮数寸，气自呼吸而启闭之，一桶致水数斗。凡筒井皆用机械，利之所在，人无不智。

北宋文同在《奏为乞差京朝官知并研县事》中也谈到当时的卓筒井：

盖自庆历以来，始因土人凿地，植井为之“卓筒井”，以取咸泉，鬻炼盐色。后来其民尽能此法，为者甚众。……(并研县)与嘉州并梓州路荣州疆境甚密，彼处亦皆有似此卓筒盐井者颇多，相去尽不远三、二十里，连溪接谷，灶居鳞次。(《丹渊集》卷三四)

由以上文字可知，卓筒井是小口径盐井，它的开凿工艺在当时是很先进的。它主要表现在：第一，发明了冲击式的顿钻凿井法，在世界技术史上第一个使用了钻头——“圜刃”来凿井。第二，利用巨竹去节，首尾相衔接成套管下入井中，以防止井壁沙石入坠和淡水浸入，在世界技术史上首创套管隔水法。第三，创造了单相启闭的汲卤筒。这是中国机械技术史一大发明。卓筒井的发明被誉为现代“石油钻井之父”，并不为过。

卓筒井技术发明后，很快在巴蜀各地推广开来，川民开始大规模采集深层天然卤水。到了明清时期，井盐的钻凿技术又有提高。明代万历年间(1573—1619年)四川射洪人马骥根据实地调查，撰成《盐井图记》^①，系统地讲述了当时卓筒井的开凿工艺。它依次对勘探井

^① 参看清·顾炎武：《天下郡国利病书·蜀中方物记·井法》，商务印书馆《四部丛刊》史部。

位、开凿井口、竖井架、凿大窍、下套管、钻凿小孔、架设汲卤盐井架、汲卤等工序作了介绍。结合清代李榕所著《自流井记》及《四川盐政史》所载资料推断,当时的盐井已深达三百丈左右。

深井采集卤水的技术又帮助人们利用这一技术,采用水溶法开采深层的岩盐矿体,发展了岩盐的开采技术。

至迟在汉代,巴蜀地区采用“敞锅熬盐”的方法从卤水中制盐。用这种方法生产的盐质地不纯,味苦,易潮解,食用也不方便。后来发展为“煮花盐法”。光绪年间辑纂的《四川盐法志》卷二对此作了记载,大致上包括下列工序:第一,煮盐前,将黄卤、黑卤搭配成适当浓度。第二,当煎煮近于饱和时,往卤水中点加豆浆,以便使钙、镁、铁等硫酸盐杂质凝聚悬浮撇去。第三,当卤水浓缩、澄清后,点加“母子渣盐”,促成食盐结晶良好。第四,洗去“碱质”,以提高盐质,可防潮解。这些工序与今日自贡盐井工艺已很相似,其中包含了一些颇具科学内容的技术经验。

第三节 硝

中国古代的“硝”实际上包括了几种化学物质:硝酸钾、硫酸钠及硫酸镁、硝酸钠。在很长一段时间里,把“硝”写作“消”,这因为它们都有易溶于水(见水易消)的共性。这类物质在表观、外形上颇为相似,都是色白如霜,如针似芒,在自然界它们又往往共生在一起。所以在古代,特别在唐代以前,人们很难区分它们,而只是根据形态、来源,把它们叫作“朴消”、“消石”、“芒消”、“马牙消”、“盐消”、“土消”、“盆消”等等。这种称谓上的混乱,给后人研读古籍、了解当时的化学知识带来很多不便。本节侧重叙述古代对这几种化学物质的认识过程及鉴别、提纯方法。

在诸“消”的名称中，“消石”出现最早。1973年湖南长沙马王堆汉墓中出土的《五十二病方》中有“稍(消)石直(置)温汤中,以洒痈”。《史记·扁鹊仓公列传》中记载:“……臣意复诊其脉,而脉燥。燥者有余病,即饮以消石一剂(剂),出血,血如豆比五六枚。”这两处,消石皆被用作药剂。西汉刘向在《列仙传》中提到早期炼丹术时也说:“赤斧者,巴戎人也,为碧鸡祠主簿,能作水湏(汞)炼丹,与硝石服之,三十年返如童子。”(《道藏·云笈七签》卷一〇八)仅从以上记载,确实难以分辨“消石”究竟是硝酸钾,还是硫酸钠。

《神农本草经》总结了战国以来用药的经验,它所记的“消”有两种——“消石”和“朴消”:

消石,味苦寒,主五脏积热,胃胀闭,涤去蓄结饮食,推陈致新,除邪气。炼之如膏,久服轻身。一名芒消,生山谷。

朴消,味苦寒,主百病,除寒热邪气,逐六腑积聚,结固,留癖。能化七十二种石。炼饵服之,轻身神仙,生山谷。

这两种“消”究竟区别何在,仍很模糊。

南朝陶弘景整理汉魏时期医药名家关于本草的叙述而辑纂成的《名医别录》中对“消石”和“朴消”的描述,反映了那一时期的看法:

朴消,味辛、大寒、无毒,主治胃中食饮热结,破留血,闭绝,停痰痞满,推陈致新。炼之白如银,能寒、能热、能滑、能涩、能辛、能苦、能咸、能酸。入地千岁不变,色青白者佳。黄者伤人,赤者杀人。一名消石朴。生益州有咸水之阳,采无时。

消石,味辛,大寒无毒。主治五脏十二经脉中百二十疾,……。天地至神之物,能化成(七)十二种石,生益州及武都、陇西、西羌,采无时。

芒消,味辛、苦、大寒。主治……,生于朴消。

这里的“消”又增加了“芒消”,并指出它“生于朴消”。而对朴消的性味,用了六个“能”字,彼此不可能调和,正说明对朴消的性质把握

不住。陶弘景根据自己的研究,在《本草经集注》提出了自己的独立见解:

朴消,……生山崖上,色多青白,赤杂黑斑,俗人择取白软者以当消石用之。当烧令汁沸出,状如矾石者。《仙经》惟云消石能化它石,今此亦云能化石,疑必相似,可试之。

消石,疗病亦与朴消相似,《仙经》多用此消化诸石,今无正(确)识别此者。顷来寻访,犹云与朴消同山,所以朴消名消石朴也,如此则非一种物,先时有人得一种物,其色理与朴消大同小异,融融如握盐云,不冰,强热之,紫青烟起,乃成灰,不停沸如朴消,云是真消石也。此又一名芒消。今芒消乃是炼朴消作之,与后皇甫说同,并未得核其验,经试效,当更正记尔。

芒消,味辛苦,大寒。……生于朴消。……炼之朴消作芒消者,但以暖汤淋朴消,取汁清澄,煮之减半,出着木盆中经宿即成,状如白石英,皆六道也。……

在这里陶弘景提出了以焰色法试消石,这是一项重大突破。他肯定了芒消生于朴消,又把过去关于朴消“炼之白如银”的性质修订为“烧令汁沸出,状如矾石”,这就可与“烧之如膏”的消石相区别。他还首次指出从朴消溶液中可析出白石英状的“马牙硝”。这些判断都是符合科学道理的,在当时十分难能可贵。

陶弘景的这些看法在当时及以后很长一段时间里并未被普遍接受。唐代苏敬等在奉敕修纂《新修本草》时,一味维护《神农本草经》的权威性,而对消石、朴消、芒消的认识和辨别又后退了。然而部分金丹家在自己的炼丹制药的实践中,证实和发展了陶弘景的认识。例如隋代问世的《孔氏解散方》就记载:

(消石)形极似朴消,小(稍)虚软,当先以一片子置火炭上,有紫烟出,乃有灰者为上。

又如唐代高宗麟德年间(664—683年)问世的《金石簿五九数

诀》中有一段史料：

麟德间甲子岁(664年)有中人婆罗门支法林负梵甲(印度僧人)来此翻译,请往五台山巡礼,……又行至泽州(今山西晋城)见山秀茂,又云:“此亦有硝石,岂能还不堪用,故将汉僧灵悟共采之。得而烧之,紫烟(青)烽烟,曰此之灵药,能变五金众石。”得之尽变成水,较量与乌长(同)。令方知泽州者堪用。金(今)频试炼,实表其灵,若比乌长国者,乃泽州者稍软。

焰色鉴别法固然科学,但是由于天然硝石中多少会杂有钠芒硝和其他钠盐,钠离子所产生的黄色火焰,其灵敏度远远高于钾的紫焰,所以在实际鉴别中,少量的钠杂质的存在就可能使该方法失去效力。

唐代中期问世的《丹房镜源》记载了一种制造铅丹(Pb_3O_4)的黄硝法。该法利用硫黄与熔化的金属铅反应生成硫化铅,再加入钾硝石使硫化铅(PbS)氧化成铅丹。若使用钠芒硝或镁硝石($MgSO_4 \cdot 7H_2O$),铅丹均不能取得。由此人们以能烧成铅丹者为真硝石,作为鉴别钾硝石的新标准。与此同时,金丹家还注意到钾硝石能使热炭、热硫黄猛烈地燃烧起来,这种助燃性是它的重要特征,从而开始将钾硝石称之为“焰硝”或“火硝”。金丹家对朴硝、芒硝的研究发现,芒硝、朴硝一经加热便化成水(结晶水析出,并自身溶于其中),且沸腾起来。这又是区别它们与钾硝石的标准之一。

明确地认识到钾硝石(KNO_3)和芒硝(经提纯和重结晶的 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)及朴硝(粗制的 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)的区别,人们反过来就发现两种硝的赋存状态和资源情况也不大相同。大致上讲,朴硝主要存在于盐池、盐井的卤水中,以及咸水之滨的卤地或山崖之上,为大块坚硬的硝。焰硝则多是在寒冷季节时从棕色土壤中析出,呈白霜状。到宋代,金丹家或医药学家基本上都能正确无误地区分这两类硝了。这也成为黑火药在这时期被大量生产的科学前提。

焰硝用作火药,芒硝用作医药都须提纯。在宋代及以前,提纯的方法都只是简单地煎淋——煮炼浓缩——重结晶。及至元代,人们发现了萝卜纯化法。元人朱震亨的《丹溪心法》记载:“同莱菔(萝卜)水煮化,去莱菔,棉滤令洁。”明代弘治年间(1488—1505年)刘文泰等撰修《本草品汇精要》介绍了以萝卜来提纯玄明粉的方法。明初问世的《火龙经》也提到了采用萝卜来纯化焰硝。萝卜为什么能提纯呢?据《本草品汇精要》的记载,萝卜纯化的效果可使“味辛苦”的朴消变为“味辛甘”的风化玄明粉。《本草纲目·卷十一·朴消》说:“芒消、英消再三以萝卜煎炼去咸味,即为甜消。”当焰硝、芒硝中混有硫酸镁杂质时,就会呈苦味。由于硫酸镁具有很强的潮解性,所以在使用中,会严重影响焰硝、芒硝的质量。而萝卜则有吸附、清除硫酸镁的功能。关于焰硝的提纯,在第六章已有介绍,此处不再赘述。

第四节 矾

中国古代所用的矾有多种,若按现代化学知识来区分,主要有白矾、绿矾、黄矾、胆矾。白矾,又名“明矾”,化学组成为 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$,白色结晶,系焙烧天然矾石后再经重结晶而制得。绿矾又名“青矾”,常用于染黑,所以又叫“皂矾”。化学组成为 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$,绿色结晶,有天然产的,也有焙烧黄铁矿石而得的。因绿矾经大火焙烧,生成赤褐色的三氧化二铁(Fe_2O_3),古代又称它为“绛矾”。天然黄矾的化学组成为 $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$,呈黄色。也有的黄矾由天然绿矾经风化氧化而成,化学组成为 $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$,在焙炼绿矾的窑边常出现。胆矾,初名“石胆”,又名“蓝矾”,化学组成为 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$,蓝色结晶。由于它的颜色和苦味,因而得名“胆”,有天然产品。

四种矾中最早为人们所使用的是绿矾和明矾。它们最初都是通

过焙烧其相应的矾石而得到。同时它们又都先应用于染色,或直接为染料,或作为媒染剂。后来的黄矾也因用来染色而加入这个矾家族。石胆则由于它“若以银变为金,以色染之法”;“夫变铜以色染之”(《道藏·太古土兑经》),即能使其他一些金属外表镀染上铜色,具有金属染色剂的功能,也演称为“胆矾”,加入矾类。上述四种矾都是硫酸盐,这是它们共同点。然而古人并不认识到这点,却把硫黄称作“矾石液”。《名医别录》中记载说:“石硫黄生于东海牧羊山谷中及太山、河西山。矾石液也。”称其为矾石液是因为从古至今取得硫黄的一个重要途径是焙烧黄铁矿(FeS_2)。在空气不足的情况下, FeS_2 在焙烧中被氧化分解生出硫黄,硫黄蒸气在 445°C 时凝结成液体,从窑顶的导管中流出,到温度降到 113°C 时才被凝结成固体。若焙烧是在空气较流畅的环境中进行,得到的产品便不是硫黄而是绿矾。黄铁矿被称为“矾石”,所以硫黄被称为“矾石液”(大约在东汉时)。对此宋应星在《天工开物·燔石》中说:“凡硫黄乃烧石承液而结就,……遂有矾石液之说。”尤其值得称道的是宋应星注意到,当焙烧含煤黄铁矿制造绿矾时,若将炉顶封严,可得到硫黄,但“得硫一斤,则减去(收)皂矾三十余斤,其矾精华已结硫黄,则枯滓遂为弃物”。

在自然界中无白矾,只有白矾石。白矾石常与黄铁矿、粘土片岩等共生,形成不溶性白矾矿石——马齿矾。白矾石经焙烧、水溶解、重结晶后得到较纯净的明矾。古代的医药学家大多利用白矾石亲自焙制明矾。东晋葛洪在其著作《肘后就卒方》中记载:

烧好矾石作末,绢囊贮。……又用马齿矾石烧令汁尽,粉之。

陶弘景在《本草经集注》中 also 说:

矾石色青白,生者名马齿矾,已炼成绝白,名曰白矾。

宋应星的《天工开物·燔石》作了较详细的介绍:

凡白矾,掘土取垒块石,层叠煤炭饼煅炼,如烧石灰样。火候已足,冷定入水。煎水急沸时,盘中有溅溢如物飞出,俗名蝴蝶矾

者,则矾成矣。煎浓之后,入水缸内澄,其上隆结曰吊矾,洁白异常。

白矾除作为染色的媒染剂外,在古代曾用于加工纸张,把它与胶调浆刷于纸上,晾干研磨后,纸张洁白光滑。对此,成书于元末明初的《墨娥小录》及明初出版的《多能鄙事》都有记载。此外,古人早就使用明矾来澄净生活用水。利用明矾水解后生成的氢氧化铝的吸附作用把水中的泥土和悬浮杂质沉降下来。

绿矾至迟在战国时代已开始被利用于染色了。《山海经·北山经》记载说:“贲闻之山、孟门之山,其下多黄垚,多涅石。”“涅石”古代曾指黑色的含煤黄铁矿的矾石,后来指可用于染黑的皂矾。焙烧涅石制造绿矾的方法与烧石灰相似。对这一工艺古代早期文献未见描述,惟《天工开物·燔石》有明晰的介绍:

取煤炭外矿石子(俗名铜炭)每五百斤入炉,炉内用煤炭饼千余斤,周围包裹此石。炉外砌筑土墙圈围,炉颠空一圆孔,如茶碗口大,透炎直上,孔旁以矾滓厚罨。……然后从底发火,此火度经十日后方熄。其孔眼实有金色光直上(按指硫黄蒸气)。煨经十日后,冷定取出。……其中精粹如矿灰形者,取入缸中,浸三个时,漉入釜中煎炼。每水十石,煎至一石,火候方足。煎干之后,上结者皆佳好皂矾,……此皂矾染家必需用。……原石五百斤,成皂矾二百斤,其大端也。

用此工艺制取绿矾的同时,还可以从窑顶导管中获得硫黄。这是早期获取硫黄的方法之一。

在宋代大规模的胆水炼铜的过程中,在取出金属铜的铁釜中,剩下的主要是绿矾溶液,经煎炼也可得到绿矾。宋代由此制得了数量可观的绿矾。

黄矾无论是天然产的,还是人工制造的,绝大部分是由绿矾经空气氧化而成。在用焙烧法制取绿矾的窑炉土壁上经久便会凝结出黄

矾。煮胆水炼铜的铁釜周围的土地上,溅洒的绿矾水,日久后也会凝析出黄矾。所以清代徐松的《宋会要辑稿》记载道:

〔高宗建炎〕十一年二月四日工部言铸钱司韩球奏:据铅山知县同本场监官申:截自七月二十日终,煎炼到青胆矾(即绿矾)六千七百六十斤,扫到黄矾四千五百六十四斤。

《天工开物·燔石》也有记载:

其黄矾所出有奇甚,乃即炼皂矾炉侧土墙春夏经受火石精气,至霜降立冬之交,冷静之时,其墙上自然爆出此种。如淮北砖墙生焰硝样,刮取下来,名曰黄矾。染家用之。

有关黄矾的文字记载,最早见于东汉金丹家狐刚子所撰《出金矿图录》,用它冶炼金矿石。在隋代苏元明的《太清石壁记》也记载,黄矾用于炼丹中作辅助药剂。《本草经集注》、唐《新修本草》等本草著作中都记载了黄矾,说明金丹家和医药学家都常使用它。

《周礼·天官冢宰下》曾提到:“凡疗疡以五毒攻之。”东汉郑玄为此作注说:“今医方有五毒之药。”石胆即五毒之药之一。由此估计至迟在西汉初,人们已使用石胆制药。《神农本草经》提到它“能化铁为铜”,因而受到方士们的推崇,炼丹中常使用它。鉴于它“磨铁作铜色”,因此它被列为黄白术的染色剂。在唐代以前,一些医药学家和方士常将它与绿矾相混淆。苏敬就提出:“其绛矾本来绿色,新出窑未见风者正如琉璃,而陶(弘景)及今人谓之石胆。”^①为此人们探索了石胆与绿矾的鉴别。在唐《新修本草》中苏敬首先提出:

此物(石胆)出铜处有之,形似曾青,兼(青)绿相间,味极酸苦,磨铁作铜色,此是真者。

唐代金丹家金陵子在《龙虎还丹诀》中提出了另一种石胆鉴定法:

^① 见《重修政和经史证类备用本草》卷三《矾石》的“唐本注”。

石胆……状似析篋头，如瑟瑟，浅碧色，烧之变白色者真。^①这是因为蓝色的胆矾烧之脱水而变成白色粉末状的硫酸铜。当今的化学实验室中还常用脱水硫酸铜来检验酒精中的水分。可见这一鉴定法是很先进的。而曾青、石青等碳酸铜一经焙烧则分解为黑色的氧化铜。

汉晋时期，石胆主要产于我国的西北地区，所以陶弘景在《名医别录》中说：“《仙经》有用此(石胆)处，俗方甚少，此药殆绝。”到了唐代，有的金丹家创造了石胆的人工合成法。唐人辑纂的《黄帝九鼎神丹经诀》中有“假别药作石胆法”：

青矾二斤，黄矾一斤，白山脂一斤。(加水)，大铁器销铄使沸，即下真曾青末二斤，急投搅，泻出做铤，成好石胆。看矾石等刚溶不尽，即投曾青末，和苦水使相得，泻著矾石中消溶，泻出作铤亦得也。

这方法是利用了绿(黄)矾与曾青的复分解反应，几乎与现代无机合成化学相差无几了。

在唐代，终于在中原地区找到了天然的石胆。《新修本草》记载道：

石胆……真者出蒲州虞乡县东亭谷窟及薛集窟中，有块如鸡卵者为真。……大者如拳，小者如桃栗，击之纵横解，皆成叠文，色青，见风久则绿，击破其中亦青也。

到了宋代，在许多地方，特别是今江西、广东、湖南一带发现了含有胆矾的泉水，这泉水一方面可以煎炼胆铜，另一方面也可熬取胆矾。此法工少利多，发展较快，从而使胆矾生产的面貌大为改观。与此同时，在医药和金丹术的著作中，有关应用胆矾的记载就很普遍了。

^① 见《道藏》总第 600 册。

依今天的化学常识,若无硝酸、硫酸、盐酸等无机酸的参与,许多无机反应难以进行,从矿物或金属制取无机化学制品必定会有很大困难。在中国古代,虽然方士狐刚子曾借干馏胆矾制得过硫酸,但此法没有被认识和推广。所以在明代后期以前,古人几乎没有用过无机强酸。然而他们利用了矾类,例如矾类在高温的火法试验中会分解出硫酸,矾和硝一起加热会产生硝酸,矾与盐或硃砂一起加热会产生盐酸。矾类的参与,使很多反应得以顺利进行。五毒丹、红升丹、轻粉与白降丹的升炼,铅丹的烧炼,黄金的纯化就是例子。

第十章 颜料、染料、墨和漆

着色材料大致上可分为两类：一般能溶于水的有色物质，主要用来染丝、毛、棉等材料的，叫“染料”。另一类是一般不溶于水的有色物质，它是靠和了油或胶等物质而涂饰于材料上的，称“颜料”。颜料大多是矿物颜料，既有天然的，也有人工制造的。染料多数为植物染料，此外也有动物分泌物的染料。中国作为文明古国，使用染料、颜料有着悠久的历史，并取得了众多成就。

墨和纸、笔、砚一起素称“文房四宝”，它们在中国文化的发展中起了重要的作用。中国的墨不仅广泛地用于书写和印刷，而且还被赋予艺术的形状和文化的内容，被历代文人所珍视，成为一种艺术的珍品和学术瑰宝。

漆是东方的特产，尤以中国产量为最多。在有文明史以前，中国就已种漆树，并会制漆、用漆了。中国最古的蝌蚪文就是用棒蘸漆写成的。漆器曾是盛行一时的主要日用器皿，有着悠久的发展史，当今的中国漆器仍是国际上的名品。

第一节 颜料和染料

古时常用的天然颜料有赤铁矿(红)、朱砂(红)、各种铜矿(青、

蓝、绿都有)、白垩(白)、石黄(黄)、赭灰(白)、白云母(白)等等。它们只须经选择、磨细等加工,就可用作颜料。后来人们又掌握了利用化学方法来制造各种颜色的颜料,例如银朱(红)、铅粉(白)、铅丹(红)等。

使用矿物颜料最早可以追溯到旧石器时代的晚期。在山顶洞文化遗址的洞穴中,曾发现一堆赤铁矿的粉末和用它涂成红色的石珠、鱼骨、兽牙等装饰品,表明五万年前的山顶洞人已开始使用红色的矿物颜料^①。青海乐都柳湾原始社会墓地(属新石器时代中晚期),在一具男尸下撒有朱砂,证明在四五千年前,我们的祖先已经使用朱砂^②。就在新石器时代,人们不仅应用了矿料颜料,同时也开始选用天然的植物染料。因为在当时,人们对各种颜料充满了神秘感,他们在祭祀等活动中,很注意色泽的呈现。在实践摸索中,人们逐步掌握和完善了各类颜料和染料的提取和加工方法,染色技术在逐步提高。自从社会出现生产分工后,在各种社会组织中,大多设有专门负责或管理染色的机构。在《周礼·天官冢宰》中就有“染人”之职。在秦代,设有“染色司”。自汉至隋,各代都设有“司染署”。唐、宋设有染院。明、清则有“蓝靛所”。不同等级的官服着什么色,各种礼仪使用什么样的颜色装饰,都是很讲究的。

黑色是古代最常见的颜色,涂黑的主要颜料是在自然界较易取得的炭黑。墨是用炭黑加工成的最重要的颜料。有关墨将在本章第二节叙述。

红色颜料,天然的主要是赤铁矿,人造的有土朱。它们在化学成分上都属氧化铁,色彩大多不够好。红得好看的,主要有朱砂和银朱,此外还有铅丹。

① 贾兰坡:《中国大陆上的远古居民》,天津人民出版社1978年版,第125页。

② 青海文物管理处考古队、北京大学历史系考古专业:《青海乐都柳湾原始社会墓葬第一次发掘的初步收获》,《文物》1976年第1期。

天然的赤铁矿又名“赭石”，主要成分为三氧化二铁(Fe_2O_3)，呈暗红色，在自然界分布很广，被利用的历史也最早。土朱又叫“绛矾”，是用皂矾烧造而成的矾矿。朱砂又名“丹砂”、“辰砂”，化学成分是硫化汞(HgS)，在《考工记》中有用丹砂涂染羽毛的记载。在宝鸡茹家庄西周墓出土的麻布以及刺绣印痕上都有用丹砂涂染的痕迹^①。据《史记·货殖列传》记载，从战国到汉初，有不少人因开丹砂矿而致富的。长沙马王堆一号汉墓中出土的朱红菱纹罗绵袍上的朱红色，就是用丹砂染成的^②。宋代时丹砂以辰州产的最著名，所以有“辰砂”之称。因朱砂产量有限，在魏、晋时，方士们已知用汞和硫黄来制人造丹砂。到了唐代，升炼人造丹砂的技术已很成熟，所以关于人工合成丹砂的最早明确记载出现在唐人楚泽编订的《太清石壁记》中^③。人造丹砂，宋代以后称为“银朱”。关于银朱的制法，李时珍在《本草纲目》卷九中转录胡演的《升炼丹药秘诀》说：

升炼银朱，用石亭脂(即硫黄)二斤，新锅内熔化。次下水银一斤，炒作青砂头，炒不见星，研末，罐盛，石板盖住，铁线缚定，盐泥封固济，大火煨之。待冷，取出。贴罐者为银朱，贴口者为丹砂。……每水银一斤，烧朱一十四两八分，次朱三两五钱。

宋应星在《天工开物·丹青》中也对银朱的制法进行了总结，并指出，银朱遇锡会变成灰黑色的“皂斗”(硫化锡)。铅丹的化学成分为四氧化三铅(Pb_3O_4)。秦始皇陵出土的陶俑身上的彩绘中，就有以铅丹作的红色颜料，说明使用铅丹作颜料不晚于秦代。

在仰韶文化时期的彩陶上，瓷土或含氧化铁等杂质较少的白色粘土被用作白色颜料，后来人们又采用由贝壳煨烧出来的石灰——

① 李也贞等：《有关西周丝织和刺绣的重要发现》，《文物》1976年第4期。

② 上海纺织科学研究院等：《长沙马王堆一号汉墓出土纺织品的研究》，文物出版社1980年版。

③ 隋·苏元明：《太清石壁记》，见《道藏》总第582册。

蜃灰作白色颜料。蜃灰曾是传统的白色涂料,既用于织物,又用于祭祀礼器。《周礼·掌蜃》记载:“祭祀共蜃器之蜃。”汉代郑众注曰:“蜃可以白器,令色白。”正是这类蜃灰用以装饰硬质印纹陶,导致石灰釉的发明。此外,白云母亦可用作白色颜料。长沙马王堆一号汉墓出土的印花敷彩纱上,光泽晶莹的白色花纹,就是用白云母涂染而成的^①。无论是白色粘土或瓷土,还是蜃灰或白云母,在使用上都有很大的局限性,所以后来人们常使用的白色颜料是铅粉。

铅粉又名“胡粉”、“粉锡”、“铅白”,其主要化学成分为碱式碳酸铅 $[Pb(OH)_2 \cdot PbCO_3]$,是白色颜料中遮盖力最大的,所以一直为人们所倚重。铅粉的出现可能始自殷商,战国时已普遍用作化妆品。魏伯阳的《周易参同契》、葛洪的《抱朴子·内篇》都讨论过铅粉的性质,可见汉晋时的金丹家曾对它作过较多的研究,铅粉除作颜料、化妆品和药物外,还用作制釉和炼丹。关于金丹家制取铅粉的研究请参阅第五章第五节。此外,宋代范成大在《桂海虞衡志》中记载:“铅粉,桂州所作最有名,谓之桂粉,其粉以黑铅著糟瓮罨化之。”明代陆容在《菽园杂记》卷十四中详细记载了当时制铅粉的方法。其方法是利用空气中氧气和醋缸中的醋酸蒸气与铅作用而生成碱式醋酸铅,后者与醋缸中的二氧化碳进一步作用生成白色的碱式碳酸铅。这种方法几乎与欧洲著名的“荷兰法”一样,而为时则远在“荷兰法”发明以前。作为白色颜料的铅粉有一个缺点,当它长期暴露在空气中,由于与空气中游离的硫化氢气体作用时会变成黑色的硫化铅。

常用的天然黄色颜料是石黄,即雌黄和雄黄。陕西宝鸡茹家庄西周墓出土的刺绣上的黄色残痕就是石黄。^②

常见的铜器表面生成的铜绿,古时叫“空青”,又名“石绿”或“铜

^① 上海纺织科学研究院等:《长沙马王堆一号汉墓出土纺织品的研究》,文物出版社1980年版。

^② 李也贞等:《有关西周丝织和刺绣的重要发现》,《文物》1976年第4期。

青”，是一种结构疏松的碱式碳酸铜 $[\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3]$ ，呈绿色。成书于元末明初的《墨娥小录》卷六记载了人造铜青的方法：

造铜青，硃砂二两，白矾三两，好醋三升，二味为末，入醋内浸。次将熟铜板十斤，每重一两如响板子，以炭火烧通红，入药蘸，以汁尽为度。别用好醋糟一斗入盆内，将铜板子用草板子隔放，淹三日，一度刮，故名长生柜。

李时珍在《本草纲目·铜青》中也说：“近时人以醋制铜生绿，取收晒干货之。”宋应星在《天工开物·丹青》中说：“铜绿，呈绿色，黄铜打成板片，醋涂其上，裹藏糠内，微借火气，逐日刮取。”

石青又名“大青”、“扁青”，即蓝铜矿，是天然的蓝色颜料。它主要的化学成分也是碱式碳酸铜。

应用植物染料在织物上染色，由来已久。《尚书·益稷》有“以五采彰施于五色，作服”之说。《夏小正》有“五月，启灌蓼蓝”的记载。说明使用植物染料染色当在周代之前。周代则专门设职“掌染草、掌以春秋敛染之物，以权受量之，以待时而颁之”。《诗经》、《论语》和先秦诸子中都有关于染色的记载，说明在周代已掌握多种植物来染色了。秦汉以后植物染料的生产 and 应用得到了进一步发展。到了明、清时期，民间用于染色的植物已扩大到几十种。现将主要的植物染料简介如下：

红花：又名“红蓝花”，系菊科植物。内含两种色素：红色素（又叫“红花素”）和黄色素。红花素属弱碱性物质，易溶于碱性溶液中，在中性或弱酸性的溶液内即产生鲜红色的沉淀。所以它是古代染红的主要植物染料。在汉代，就有以种红蓝花为业的人。《齐民要术·种红蓝花梔子》中记载了当时流行于民间的泡制红花染料的“杀花法”：

摘取即碓捣使熟，以水淘，布袋绞去黄汁；更捣，以粟饭浆清而醋者淘之，又以布袋绞去汁，即收取染红勿弃也。绞讫，著瓮器中，以布盖上，鸡鸣更捣令均，于席上摊而曝干，胜作饼，作饼者，

不得干，令花浥郁也。

这种制法是利用红花素在中性(以水淘)和弱酸性(“以粟饭浆清而醋者淘之”)溶液中生成沉淀而提取红花素。贾思勰的介绍实际上是对当时制造红花染料的经验总结。在民间用红花染色，大多使用它的半成品——红花饼。据《天工开物·彰施》记载，造红花饼的方法是：

带露摘红花，捣熟，以水淘，布袋绞去黄汁。又捣，以酸粟或米泔清又淘，又绞袋去汁。以青蒿覆一宿，捏成薄饼，阴干收贮。该方法是在捏成红花饼前，改“以青蒿覆一宿”代替原先的“以布盖上”的处理方法。红花素经过青蒿处理，有利于防止存储中的霉变。宋应星在记述染大红色法时又说：

其质红花饼一味，用乌梅水煎出。又用碱水澄数次，或稻稿灰代碱，功用亦同。澄得多次，色则鲜甚。……凡红花染帛之后，若欲退转，但浸湿所染帛，以碱水、稻灰水滴上数十点，其红一毫收转，仍还原质。所收之水，藏于绿豆粉内，放出染红，半滴不耗。染家以为秘诀，不以告人。

此方法中以“乌梅水”作发色剂，发色效果比《齐民要术》中记载的“粟饭浆”要好。文中指出，若欲使已染红的帛退色并收回红色素，可用碱水溶出，溶出回收的效果几乎是“半滴不耗”。

茜草：古名“蒨草”、“茹蕙”、“茅蒐”等，是中国使用最早的红色植物染料。茜草中主要色素是茜素($C_{14}H_8O_4$ ，红色)和茜紫素($C_{14}H_8O_5$)。茜素染色需加媒染剂，否则只能染得浅黄色。媒染剂主要是铝盐或铬盐，常见的是含钙铝络合物的明矾及含铝盐的椿木灰等。《诗经·郑风》中有“茹蕙在阪”、“缟衣茹蕙”等，表明茜草也用于色染织物。《诗经》中还有多处说到茜草和茜草染成的服饰。茜素和明矾对纤维的亲合力低，要染成较深的红色，必须复染数次。《尔雅·释器》说：“一染谓之纁，再染谓之赭，三染谓之纁。”表明在周代，人们已采用反复多次的浸染技艺。

苏木:又名“苏枋”、“苏枋木”,也是我国古代著名的红色染料。在西晋时期,我国已使用苏枋染色。苏枋内含隐色素,能在空气中氧化为苏木红素,其主要化学成分为 $C_{16}H_{12}O_5$ 。苏枋的色素易溶于热水,为媒染性染料,必须通过媒染剂才能使纤维染色。其染出的色彩依所采用的媒染剂而定:铬媒染剂得绛红色至紫色,铝媒染剂得橙红色,铜媒染剂得红棕色,铁媒染剂得褐色,锡媒染剂得浅红至深红色。明初刘基在《多能鄙事》中记载,用苏木、黄丹、槐花染料拼色后,再以明矾为媒染剂套染小红。《天工开物·彰施》记载:“木红色,用苏木煎水,入明矾、梔子二物。紫色,苏木为地,青矾尚之。”

黄色染料有黄栌、梔子、黄檗、槐花、姜黄等。

黄栌:又名“栌木”。唐代陈藏器在《本草拾遗》中说:“黄栌生商洛山谷,四川界甚有之,叶圆木黄,可染黄色。”(《本草纲目》卷三五)《天工开物·彰施》说:“芦木煎水染,复用麻稿灰淋,碱水漂”,即成金黄色。

梔子:是茜草科梔子,属常绿灌木,开白花。其子用冷水浸泡后,经过煮沸,就可制得黄色的染液。染液的主要成分是藏红花酸($C_{20}H_{24}O_4$),可直接将织物染成鲜艳的黄色;也可用铬媒染剂得灰黄色,用铜媒染剂得嫩黄色,铁媒染剂得暗黄色。《史记·货殖列传》云:“千亩梔茜,此其人皆与千户侯等。”陶弘景在《本草经集注》中说:“梔子处处有之,以七稜者为良,经霜乃取,入染家。”可见梔子还是常用的、值钱的染料。长沙马王堆一号汉墓出土的纺织品中,经测定其中金黄色的绣线和土黄色的丝织物的黄色染料含黄酮类物质,即由梔子染料染成的。

黄檗:又名“黄柏”、“檗木”,是一种芸香科落叶乔木。其树干和皮中的小柏碱,呈黄色,故为黄色染料。东汉《周易参同契》中说:“若檗染为黄兮,似蓝成绿组。”黄檗经煎煮后,可直接染丝帛和纸。因古人崇尚黄色,喜用黄纸,用黄檗染制的黄纸很受欢迎,而且还可防蛀。

《天工开物·彰施》写道：“鹅黄色：黄檗煎水染，靛水盖上。”

槐花：俗称“槐黄”，是染色性能较好的植物染料。《本草纲目·槐》说：“其花未开时，状如米粒，炒过，煎水，染黄甚鲜。”《天工开物·彰施》说：“花初试未开者曰槐蕊。绿衣所需，犹红花之成红也。取者张度与稠其下而承之。以水煮，一沸，漉干，捏成饼，入染家用。既放之花，色渐入黄。收用者以石灰少许晒拌而藏之。”槐花属媒染性染料，用锡媒染剂得艳黄色，铝媒染剂得草黄色，铬媒染剂得灰绿色。《天工开物》中还说：“大红官绿色：槐花煎水染，蓝淀盖，浅深皆用明矾。油绿色：槐花薄染，青矾盖。”

姜黄：其根茎内含黄色素。若将其根茎浸泡煮沸后所得之液在不同的金属媒染剂作用下，可染得各种黄的色彩。郁金与姜黄同属黄色染料，《本草纲目·郁金》记载：“郁金生蜀地及西戎。”“郁金不香。今人将染妇人衣最鲜明，惟不耐日炙，微有郁金之气。”“其根大小如指，长者寸许，……外黄内赤，人以浸水染色，亦微有香气。”

蓝色染料中最著名的是蓝草，同时也是应用最早的植物染料。在《夏小正》中已有蓝草的记载。《诗经·小雅·采芣》有：“终朝采芣，不盈一襜。”郑玄注曰：“蓝，染草也。”即蓝草。蓝草中含有靛甙，经水浸渍以后可以染织物，再经空气氧化，就变成蓝色的靛蓝。周代以前人们主要采用鲜蓝草直接浸渍染色，而蓝草叶成熟在夏秋之际，在此前不适采割蓝草，所以，《礼记·月令》中有“仲夏令民勿刈蓝以染”的规定。春秋战国时期，人们已改用采割蓝草，将其发酵制成泥状的靛蓝，一年四季都可进行染色了。《齐民要术·种蓝第五三》记载的造靛法如下：

刈蓝倒竖于坑中，下水，以木石镇压，令没。热时一宿，冷时再宿，漉去茎，内汁于瓮中。率十石瓮，著石灰一石五升。急抨之，一食顷止。澄清，泻去水。别作小坑，贮蓝淀著坑中，候如强粥，还出瓮中盛之，蓝靛成矣。

染色时，将靛泥溶入石灰水配成染液，经发酵使靛蓝还原为靛

白。染色后,空气的氧化作用又使其变成鲜明的蓝色。这一染色技艺与现代合成靛蓝的染色机理基本一致。明代宋应星在《天工开物·彰施》中对蓝草种植、造靛、染色工艺作了全面的阐述和总结,并指出:“凡蓝五种,(即蓼蓝、苋蓝、茶蓝、马蓝、吴蓝)皆可为淀。”“凡靛入缸,必用稻灰水先和,每日手执竹棍搅动,不可计数。其最佳者曰标缸。”说明宋应星很注意染液需在碱性环境中发酵。

紫草是多年生的草木植物,其根茎中含乙酰紫草宁($C_{18}H_{18}O_6$),在椿木灰、明矾等媒染剂作用下可使纤维染紫红色。《尔雅·释草》说:“藐,紫草。”郭璞注曰:“一名紫茆……根可以染紫。”《本草经集注》云:“紫草,今出襄阳,多从南阳、新野来,彼人种之,即是今漆紫者。”《本草纲目·紫草》说:“此草花紫根紫,可以染紫,故名。”明代方以智在《通雅》卷三十七中引宋人文献说:“仁宗(1023—1063年在位)晚年京师染紫,变其色而加重,先染作青,徐以紫草加染,谓之油紫。……淳熙(1174—1189年)中,北方染紫极鲜明,中国(指南宋)效之,目为北紫。盖不先着青,而改绯为脚(打底的意思),用紫草少,诚可夺朱……。”这是宋朝染紫情况的真切记述。

楮子、栗壳、莲子壳、桦果等都是含鞣质的材料,能和绿矾作用,再经空气氧化,即成黑色,所以它们都是黑色的植物染料。

对上述染料,宋应星在《天工开物》中都有较详细的介绍。从上述介绍中也可知古代常用的媒染剂主要有绿矾、明矾、乌梅、碱等。明矾是硫酸钾铝,溶于水中呈酸性。乌梅在水中也呈酸性。椿木灰、稻灰水皆是弱碱性液体。

第二节 墨

人类在用火后发现,木柴燃烧所生成的烟和木炭可以将其他物

品染黑。这是炭黑作为黑色颜料的起源。在殷墟出土的甲骨片上,有些字划中涂有黑色或红色的颜料,据分析这黑色的颜料就是炭黑。《礼记·玉藻》提到“史定墨”,即是古代占卜用墨画龟甲再灼烧。这至少是使用墨的前奏。

据《周礼·考工记》记载:在商周时期,开始出现专门的“画绘之工”,以掌握使用颜料的技艺。陕西宝鸡茹家庄西周墓出土的彩绘纺织品上,炭黑等颜料是经粘合剂的调和而附着在织物上的^①。周代的“五刑”之一的“墨刑”是在犯人的面额上刺字,然后再涂上墨汁。《庄子·达生》载:“宋元君将画图,众史皆至,受揖而立,舐笔和墨。”以上史料说明,周代已使用墨汁了。战国时代,百家争鸣的学术气氛,促进了文化和教育事业的兴旺,这就需求更高质量的书写材料,固体的墨锭在此时应运而生是可以想像的。1975年在湖北云梦睡虎地的战国古墓中出土了固体墨锭,其色纯黑,近似呈圆台形^②。同时出土的还有满布墨痕的石砚和写满墨字的木牍。中国墨的突出特点是制成固体形态,这种技术可能是借鉴于石墨的利用。郦道元《水经注》云:“邳都铜雀台北曰冰井台,……藏冰及石墨焉,石墨可书。”表明石墨曾与炭黑一样被用作墨色颜料。石墨是块状,携带使用自有方便之处。

汉代应劭的《汉官仪》载:“尚书令,仆丞郎月赐隃麋大墨一枚,小墨一枚。”1973年山西浑源毕村西汉墓中曾出土墨丸及带有墨迹的石砚^③。同年在湖北江陵凤凰山汉文帝十三年(前167年)一座墓葬中出土了毛笔和带有墨迹的石砚^④。此外,在河北望都西汉墓的墓室壁画中,有一幅在主记史和主簿面前摆着砚石和墨锭^⑤。考古发掘的

① 李也贞等:《有关西周丝织和刺绣的重要发现》,《文物》1976年第4期。

② 《湖北云梦睡虎地十一座秦墓发掘简报》,《文物》1976年第9期。

③ 《山西浑源毕村西汉木椁墓》,《文物》1980年第6期。

④ 《湖北江陵凤凰山西汉墓发掘简报》,《文物》1974年第6期。

⑤ 北京历史博物馆等:《望都汉墓壁画》,中国古典艺术出版社1955年版,图版十六、十七。

众多资料都表明汉代的制墨业相当普遍,制固体墨锭的技术趋于成熟。

早期的墨是仅用炭黑和胶两种原料制成的。到了东汉末和魏、晋时期,制墨中开始加入一些辅助添加物,并逐渐形成一套复杂的加工程序,表明制墨技术趋于精细化。自南北朝以后,历代对制墨技术都有创新,进而形成一套独具特色的系统技术。

墨的主要原料是炭黑和胶,怎样选择和制备它们是制墨技术演进的重要内容。

炭黑是一种精细的化工产品,它的结构和成分十分复杂。对于制墨用的炭黑来说,一要细,二要黑,这两个指标都与制炭黑的原料有直接的关系。古代制取炭黑的主要原料是树木和油脂。树木以松木为主,也有用桦木和松香的。油脂主要是桐油,也有用石油、猪油、苏木油、麻子油、豆油及生漆的。自魏晋以来,历代都公认最好的原料是松木。松木宜于制炭黑,主要与它含有丰富的松脂有关。松脂由松香和松节油两种成分组成,它不仅可制出优良的炭黑,还可使制成的炭黑具有一种天然的香气。因此选择松木的标准是以其所含的松脂多寡来确定的。明代麻三衡的《墨志》就是以这个标准来划分松木的等级的。宋代何蘧《墨记》提及有人曾用桦木制炭黑,但其质量低劣,受到时人的轻视。直接用松香制松烟是一个创举,记载首见于明代方瑞生著的《墨海》。其法是将松香加入油中制烟。单独用松香制烟大约始于清代,著名的一得阁墨汁的创始人谢崧岱在其著的《南学制墨札记》中对此有详尽的叙述。

以油制烟大约是在宋代逐步发展起来的。宋何蘧《墨记》云:“沈珪,嘉禾(今浙江嘉兴)人,……出意取古松煤,杂用脂漆淬烧之,得烟极精细,名为漆烟。”何蘧在《春渚纪闻》中又说:“永嘉(今浙江温州)叶谷作油烟墨。”估计油烟(又名“灯黑”)先是以油和漆淬掺入松木中,继而发展到单用油脂。宋人苏易简在《文房四谱》中记载了以麻子

油制油烟的“麻子墨法”。宋代沈括在《梦溪笔谈》卷二十四中提及，他发现陕西延安一带的石油是制油烟的优良原料：“试扫其煤以为墨，黑光如漆，松墨不及也。”以油制烟兴盛于明代。明沈继孙在《墨法集要》中说：“古法惟用松烧烟，近代始用桐油、麻子油烧烟。衢人用皂青油烧烟，苏人用菜子油、豆油烧烟。”不同的油制得的炭黑质量不同，沈继孙接着说：“桐油得烟最多，为墨色、黑而光，久则日黑一日。余油得烟皆少，为墨色、淡而昏，久则日淡一日。”方瑞生也说：“油烟才积便扫，其黑殆过松煤。较诸液而更胜者，惟桐也。”对于桐油，他提出了质量要求：“久藏碧清者佳，俗云：烟清不如油清，油清不如桐子鲜明。”总之，油烟制得的炭黑，颗粒细，黑度高，加上炭黑吸附一些挥发性物质，改善了墨的色相，提高了墨的光泽，有助于产生“一点如漆”的效果，因而在质量上胜于松烟，成为制造高级墨的原料。

制取炭黑的方法是将松木在炉窑中燃烧，利用不完全燃烧和足够的热量使碳氢化合物裂解，将生成的炭微粒有效地沉积下来。其炉窑的构造和投薪的数量都是很讲究的。制取油烟则是在一种特制的油灯中进行，对此，明沈继孙在《墨法集要》中有详尽的描述和图解。

衡量炭黑质量的标准是它的粒度。颗粒愈细，则颜色愈黑，遮盖力越大，最后研墨得到的胶体也越稳定。中国古代正是采用了以颗粒大小作为分级的标准，并在实践中总结出一套行之有效的鉴别方法。宋晁贯之《墨经》提出：“煤（墨）贵轻，……凡器大而轻者良，器小而重者否。”显然，由颗粒细的炭黑沉积而成的块状物，其结构均匀，疏松轻脆多孔，即“凡振之而应手者良，击之而有声者良”。晁贯之还提出另有一种更直观的鉴别方法：“凡以手试之而入人纹理难洗者良，以物试之自然有光者良。”而《天工开物·丹青》提及的鉴别方法是：“凡松烟造墨，入水久浸，以浮沉分精恠。”

动物胶不仅是炭黑的粘合剂，同时也是炭黑粒子的分散介质和保护胶体，所以它在墨的制造中是十分重要的。古代墨工对胶十分重

视,晁贯之《墨经》指出:“凡墨,胶为大,有上等烟而胶不如法,墨亦不佳。如得胶法,虽次烟能得善墨。”“潘谷之烟,人多有之,而人制墨莫有及谷者,正在煎胶之妙。”晁贯之推崇的是鹿胶,其次是牛胶。他还认为:“胶不可单用,或以牛胶、鱼胶、阿胶兑和之。”这几种粘度不同的胶混用,可以改善粘结性能,增强胶体的保护作用。要保证胶液具有较佳的粘度,必须在溶胶的过程中注意胶液的浓度、温度及表明酸碱性的PH值。一般来说,胶溶温度愈高,粘度越低,所以大多采用慢火和隔水煮化的方法。在制胶中,时常加入呈酸性的绿矾、石榴皮等,以调节胶液的酸碱性。

以炭黑和粘合剂简单混合的黑色颜料,在古代世界许多地方都有发现,而在墨中加入种类繁多的添加剂则是中国制墨技术的一大特色。中国古代曾使用过的添加剂大致上有:①

防腐剂:绿矾、胆矾、乌头、杏仁、巴豆、藤黄、猪苦胆、珍珠、黄檗、犀角、马鞭;

助色剂:青黛、藤黄、秦皮、苏木、紫矿、银珠、金箔、螺青、胭脂、地榆、五倍子、虎杖、卷柏、丹参、黄连、黄芦、紫草等二十八种;

增香剂:麝香、龙脑、冰片、甘松、藿香、零陵香、白檀香、丁香水、蔷薇露;

润湿剂:鸡子白、皂角、藤黄、生漆;

PH调节剂:绿矾、胆矾、酸石榴皮。

据史籍载,最早在墨中加入添加剂的是曹魏的韦诞。他加入真珠、麝香两味,真珠用于防腐,麝香赋予墨以宜人的香气②。后魏贾思勰在《齐民要术》的制墨法中又增加了秦皮汁和鸡子白。秦皮汁呈黄碧色,带有蓝色萤光,可以改善墨的色光。鸡子白是一种具有一定表

① 参见明·沈继孙:《墨法集要》“用药”,《丛书集成初编》第1496册,明方瑞生:《墨海》卷三“说墨合”,《涉园墨萃》本。

② 明·麻三衡:《墨志》,《丛书集成初编》第1495册。

面活性作用的胶体,可以提高胶液的湿润性,增加炭黑—胶分散体系的稳定性。唐代制墨添加剂的种类又有增加,包括酸石榴皮、水犀角屑、胆矾、皂角、马鞭草等^①。皂角是古代常用的表面活性剂,对于提高胶液对炭黑的润湿性,保持墨的稳定有重要作用。胆矾可以改善墨的色相,并具有杀菌防腐作用。至南唐,制墨名家李廷圭制墨用添加剂达十二种,而宋初李孝美的《墨谱法式》提到了四十五种制墨用添加剂。

某些添加剂可以改善色相,防止腐败,增加香气,提高稳定性,但是过多地加入添加剂,也会影响墨的黑度。对此宋代始有认识。何蘧在《墨记》中就曾指出:“凡墨入龙麝皆夺烟香而蒸湿,反为墨病。”明代沈继孙则说:“用药之法,非惟增光助色取香而已,意在经久,使胶力不败,墨色不退,坚如犀石,莹泽丰腴,腻理可爱,此古人用药之妙也。”“药有损有益,……绿矾、青黛作败,麝香、鸡子青引湿,榴皮、藤黄减黑,秦皮书色不脱,乌头胶力不隳,紫草、苏木、紫矿、银珠、金箔助色发艳。”“但欲其香,不知为病损色,且上甑一蒸之后,香气全无,用之无益。”他最后总结说:“然欲墨之黑,一须烟淳,二须胶好而减用,三须万杵不厌,此不易之法,不可全藉乎药也。”^②

在准备好原料后,制墨技术的关键是和墨。首先要掌握好炭黑和胶的适当比例。曹魏韦诞墨法中,炭黑与胶的比例是一斤烟五两胶,其重量比约为100:31。《齐民要术》就是采用这一比例的。宋代也沿用这一比例。根据现代科学知识,胶的用量主要取决于炭黑的细度,炭黑越细,比表面积越大,充分浸润所需的胶越多。对此《墨法集要》载:“桐油烟十两,所用胶为四两半、五两半或六两。”烟胶重量比为:100:45,100:55,100:60,而松烟一斤,用胶四两或五两,重量比为

^① 参见元·陆友:《墨史》,《丛书集成初编》第1495册。

^② 明·沈继孙《墨法集要》“用药”,《丛书集成初编》第1496册。

100 : 25 或 100 : 31。上述用胶的不同比例是恰当的,表明了在这方面已取得了丰富的经验。

炭黑的颗粒分散得越充分,则墨的色相越黑,同时由于炭黑具有补强作用,可以使墨锭的硬度显著提高。而充分的分散又取决于充分的润湿,如果把胶液作为分散介质,炭黑作为分散相,那么每一个炭黑颗粒都被润湿,即蒙上一层薄的胶膜,是分散体系处于稳定状态的基础。否则由于未被润湿的炭黑颗粒凝聚在一起,就会严重降低墨的质量。

为了克服炭黑的凝聚现象,提高炭黑的润湿性,古代墨工采取了两项措施:一是加入如皂角之类的表面活性剂,提高润湿性;二是“捣不厌多,愈捣越精”,即利用外力,进行充分的机械混合,迫使炭黑颗粒完全分散在分散介质之中。此外,据《墨法集要》载,在炭黑和胶水混合后,要像和面团一样地用手揉匀,即所谓的“搜烟”。然后将初步混合的料坯用布裹好,放入甑中以水蒸十数沸,就是利用蒸汽促进炭黑颗粒的充分润湿。料坯蒸好后趁热取出,在白内反复杵捣至柔软成熟,再分成有一定重量的小块,在铁砧上冲打后放入模具,制成所需形状的墨锭。这种揉、蒸、杵、冲的操作,保证了炭黑颗粒的充分润湿和完全分散。最后墨锭经均匀干燥及表面加工处理后,表面刷上一层漆或涂上一层蜡,成品的墨锭就展现在眼前了。

从整个制墨的工艺中,可以看到其中应用了许多重要的化学原理和化工操作。中国古代的墨工虽然不知其所以然,却在实践中积累了丰富的经验,领悟到其中的许多工艺要领。这也是中国古代科技成就的内容之一。

中国制墨技术不仅在中国科技史和文化史上占有重要地位,同时它在世界许多国家的传播,对那里的科技和文化发展也产生了重大影响。墨和制墨技术传入日本,大约在隋、唐时期,传入朝鲜至迟在唐代。之后朝鲜和日本也曾制造出质量很不错的墨,对此,元代陆友

的《墨史》等文献曾有记述。在宋代,价廉的中国墨锭曾大量输入东南亚地区。宋周去非《岭外代答》卷六载:“容州多大松,其人能制墨,佳者不笏不盈百钱,其下则一斤止直钱二百,商人则举数搭卖之交趾。”最晚在十一世纪,中国墨的名声已传到了阿拉伯世界。当时一个阿拉伯学者伊本·巴地司(Ibn Bâdis)在所著有关笔墨纸张制造技术的著作中,称誉中国墨“是极为出色的”,并提出了一种仿制的配方,从而使一些类同于中国墨的墨出现在阿拉伯国家。总之,随着纸和造纸技术及印刷术在世界的传播,中国的墨在世界许多地方也赢得了自己的声誉。

名墨的出现,常与历史上知名的制墨者联系在一起。生活在东汉末年和曹魏时代的韦诞(179—253年)由于创制了“一滴似漆”的好墨丸,曾被后人尊为制墨的始祖。从后唐起,史籍记载了许多知名的制墨者,其中最有名的大概是十世纪后半期的李廷歙。他原姓奚,因奖励他在制墨上的显著贡献,南唐统治者赐姓为李。他和他父亲在安徽歙县合制的“黄山松烟墨”,由于黑度、硬度与不溶性等指标上乘,成为著名的“徽墨”。徽墨历经发展,出现了许多名墨和名家,如明、清时期的汪中山、程君房、曹素功等。程君房精制的“超漆烟墨”,因在配料中加有珍珠粉、麝香等贵重材料而使墨特别贵重。曹素功精制的“紫玉光墨”则是贡品。清乾隆四十七年(1782年)胡开文在歙县建立的墨厂生产高质量的徽墨,至今仍是中国名牌产品,在日本、东南亚享有极高的声誉。

第三节 漆

天然漆又名“大漆”,是漆树的树汁。其主要成分为漆酚和漆酶。在一定的温度和湿度条件下,漆酶能催化漆酚的氧化作用而生成半

醜,再经过半醜的催聚,使漆酚多聚成链,又经过过氧交联使链交织成片状漆膜。所以,用漆涂饰木器、车辆、房屋等,干燥后就覆盖着一层坚牢、光亮的薄膜,不仅保护了材料,而且明亮美观,具有一定的耐热、耐酸、耐碱的能力。

漆树是高大的阔叶落叶乔木,生长在气温较高,雨量丰富的暖湿地区。古代中国的中原地区由于当时气候温暖,因而有丰富的漆树资源。《诗经·秦风》有“阪有漆,有栗”,《诗经·庸风》中有“树之榛栗,椅桐梓漆”,《诗经·唐风》中有“山有枢、栲、漆,隰有榆、柎、栗”等记述。《山海经》也多处记载了许多地区的漆树分布。漆树自然分泌树汁,在其干燥固化后形成坚硬、光亮的涂层。这一自然现象为中国的先民所发现,他们开始使用这种天然涂料对木器、陶器进行保护或装饰。

1978年在浙江余姚河姆渡新石器时代遗址中曾发掘到一件器壁外有朱红色涂料,微有光泽的木碗。对此涂料,经中国科学院植物研究所专家鉴定,确认为中国生漆。1960年在江苏吴江梅堰新石器时代遗址中也发现两件漆绘陶罐,所绘的原料经鉴定亦为生漆。1977年在辽宁新石器时代的墓葬中也发现了漆器。总之,在史前的新石器时代,我们的祖先已开始采集和利用生漆了。

古人的早期生活用具中,木器占了相当数量,为了保护木器,最好的方法是涂上一层漆,因此漆器有了很快的发展。商代的贵族拥有大量的漆器已不是稀罕事。1972年在河北藁城台西村的商代遗址中,发现了漆器。尽管胎已腐朽,而漆壳尚可辨识。出土的漆器有好多种,都是朱地黑漆,图画很好,足以证明商代漆器的工艺水平已相当高了。1950年在河南安阳武官村的商代贵族墓葬中,也曾发现雕花的朱漆木器。西周时期的漆器数量明显增多。1958年湖北蕲春毛家嘴西周早期遗址出土的一件漆杯,是在黑色和棕色的漆底上,绘上美观的各式红色花纹,装饰之好,令人惊叹。它是目前发现的较早的

成型漆器。河南浚县的周墓中就出土了涂漆的车马具、弓矢、兵甲等。

春秋战国是古代漆器取得巨大成就的时期。出土的这时期的漆器不仅数量多,分布地域广,而且进入了饮食器、日用器具、家具、乐器、兵器、交通工具等领域,并形成了中原、楚国、巴蜀三大漆器产地。漆器也由商周的朱红色、黑色,演进到战国的红、黄、绿、蓝、白、金等多种色彩。色漆的调剂使用是生漆工艺的一大进步。明代黄成的《髹饰录》在谈及各种色漆时说:“油饰,即桐油调色也。各色鲜明,复髹饰中之一奇也,然不宜黑。”杨明注曰:“此色漆则殊鲜妍。然黑唯宜漆色,而白唯非油则无应矣。”^①说明调制色漆时必须加油。出土的战国时期楚国的大量漆器,其花纹清晰,漆层厚度有明显差别,可以推测当时这些色漆是用生漆加桐油及颜料调制而成的,表明当时已掌握了油与漆并用的工艺。

桐油是从桐树种子中榨出来的干性植物油,它的主要成分是桐油酸($C_{17}H_{29}COOH$)。桐油也具有成膜的性能,在战国时期人们已用桐油与各种颜料配成油彩来绘饰各种花纹图案。油彩的亮度比漆高,但抗老化性不及漆。漆的产量比桐油小,成本比桐油高。桐油和漆合用,正可取长补短,改善性能,降低成本。在化学技术史上,这也是一个具有民族特色的创举。

生漆作为涂料不仅具有涂饰的保护作用,而且还有较强的粘合能力,先民很早就利用这一特性,将金银珠玉镶嵌在漆器上。镶嵌工艺约萌芽在商代,到战国时期则发展到使金属构件与漆器粘结为一体。有了金属扣器,漆器的使用更加方便和坚固耐用了。

春秋时期人们已很重视漆树、桐树的栽培。战国时期则设有官营的漆林,由专设的官员管理。《史记·老庄列传》中说:“庄子者蒙人也,名周,尝为漆园吏。”秦汉时期,油漆技术和漆树、桐树的栽培一样

^① 王世襄:《髹饰录解说》“坤集”,文物出版社1983年版。

进入新的发展阶段,出土的漆器遍及全国,有勺、盘、案、奩、盒、耳环、枕、棺槨等,内胎除木之外还有麻,麻胎的称“夹纆”。此外,漆器上还饰以奢侈的金、银扣器。汉代桓宽《盐铁论·散不足》篇在谈到各种漆器时指出:“富者银口黄耳,金罍玉钟;中者舒玉纆器,金错蜀环。”“夫一文(纹)杯得铜杯十。”这是说当时一件纹饰漆杯等于十件铜杯,当然有金银作扣器的更为贵重。汉代的漆器主要产地在四川的蜀郡(今成都)和广汉郡,在那里设有官员监造。《汉书·贡禹传》说,仅广汉郡一处每年为造金银饰漆器就设立了三工官,岁费五千万钱。当时漆工作坊已有精细的分工,“一杯卷用百人之力,一屏风就万人之功”。从出土的汉代漆器铭文可以看到,当时漆器制造的分工有“素工”、“髹工”、“上工”、“黄涂工”、“清工”、“画工”、“阳工”、“消工”等。此外,还有负责供料的“供工”、“造工”,负责管理监造的“护工率史”,“长”、“丞”、“椽”、“令史”、“佐”、“啬夫”等工官。生产的组织也是很严密的。

魏晋南北朝时,成熟的青瓷逐渐在日用品领域内取代了漆器,漆器工艺则加速走向精美、独创的方向,同时开拓了一些新领域。佛教的传入和传播,佛像的塑造使油漆工艺得到了充分的展示,特别是夹纆造像的工艺。它是先借木骨泥模塑造出底胎,再在外面粘贴多层麻布,布胎上髹漆彩绘,等干了之后,除去泥模,就成了中空的漆塑像。当时已能塑造出丈八高的巨型脱胎塑像,显示了油漆工艺的新成就。

在《齐民要术》中,贾思勰就设专篇《漆》来论述漆器。他在叙述了延长漆膜耐久性和保护方法时指出:“盐醋浸润,气彻则皱,器便坏矣。”在讲到漆器遇潮湿易生霉时,认为须在盛夏连雨季节,“一曝使干”,利用日光中紫外线杀菌。他还提到“朱本和油,性润耐日”,就是说朱砂亲油性好,具有耐候性。这些精辟的看法,都是漆工长期实践的经验总结。

漆工们还发现,漆膜的干燥速度以及漆膜的质量与周围环境的温度和湿度有密切关系,而当漆中混入某些物质后,则很难干燥。他

们虽然不可能将这一现象与“漆酶”的氧化作用联系起来,但是却在实践中创造了“荫屋”,即为漆器的干燥固化创造了一个有适宜的温度和湿度,又能防止灰尘污染的环境。这又显示了漆工的智慧。

唐代在京师创办由少府监掌管的官营漆器作坊,从各州府征集能工巧匠专为皇室制作漆器。此外,朝廷还要向各漆器产地征收精美的漆器贡品,这都促使漆饰技法进一步得到发展。在两汉金银扣器的基础上,到唐代发展为“金银平脱”,即是把金银薄片雕成花纹粘连在漆胎上,上漆后经打磨推光,现出闪闪发光的金银花纹,和漆面平托于器表,十分华丽。在唐代还发明了“剔红”技术,即把朱漆层层涂在木胎或金属胎上,每上一道漆就用刀剔出深浅花纹图案,从而显出有立体感的图像。“剔红”又称“雕红”,这种技艺在宋元时代很盛行。明代张应文在《清秘藏》中说:“宋人雕红漆器,宫中所用者多以金银为胎,妙在刀法圆熟,藏锋不露,用朱极鲜,漆极厚而无皴裂,所刻山水、楼阁、人物、鸟兽皆俨若图画,为佳绝耳。”元代的雕红漆器以嘉兴的张成、杨茂两家的制品最闻名。

宋代还曾创制出一种叫“犀皮”的漆器,它涂的漆是朱、黑、黄三色,和犀牛皮很相像。

明代是我国古代漆器生产的鼎盛时期,漆树种植面积、生漆的产量及各类漆器的生产规模都达到了前所未见的水平。使用金、玉、珠宝等镶嵌于漆器上而制成的“百宝嵌”漆器是当时最负盛名的漆器工艺品。

五代时的朱遵度曾写出《漆经》一书,总结历代漆工的经验。这是最早的漆工专著。可惜,这本专著没有流传下来。明代隆庆年间(1567—1572年)新安的民间剔红艺人黄成撰写了《髹饰录》一书,明天启五年(1625年)嘉兴漆工杨明为它作注。该书分乾、坤两集,内容广泛,涉及髹饰的历史、原料、工具、工艺技法、品种及漆工的禁忌、过失等,是我国现存唯一的古代漆工专著。

我国的漆器和髹漆技术很早就流传到了国外。朝鲜、蒙古、日本、越南、缅甸、印度、柬埔寨、泰国等亚洲国家先后在中国的汉、唐、宋时期掌握了油漆技术,并生产出各有特色的漆器,使漆器生产成为亚洲各国一门独特的手工艺行业。中国的漆器又经波斯人、阿拉伯人传向了欧洲,作为一种东方的珍贵工艺品深受欢迎。直到十七、十八世纪欧洲的一些国家才仿制成功中国的漆器。由此可见,世界各国的漆器也受惠于我们祖先的发明。

第十一章 香料、化妆品、洗涤剂及皮革工艺

自然界存在的天然香料,以其独特的芳香很早就为人们所认识和利用。香料的采集具有明显的地域性,致使香料作为商品成为中外交流的重要物资。介绍香料和“调香术”的古代书籍和文献,相对来说是较多的,这为研究香料提供了方便。

香和美是联在一起的,爱美之人常使用芳香的化妆品。化妆品包括卫生保健品和治疗品,它也是人类文明生活所需要的。爱美喜香之人,大多注意清洁,而注意清洁首先是保持人自身及衣着的洁净。这些就促成了化妆品与洗涤剂的发明和使用。它们也都有一段演进的历史。

皮革加工成的衣着可能比棉、麻、丝制品要早。兽皮的主要成分是动物蛋白质纤维,需经鞣制方能成革。鞣制的实质是对这些蛋白质纤维进行化学的和物理的加工。这种加工技术可以追溯到旧石器时代,但是在漫长的历史中发展缓慢。古代的文献对此记载较少,因此了解制革的古代工艺有相当部分是靠科学的推测。随着社会的前进,直到十八世纪中叶,制革技术才由经验走向科学,原始的制革方法才得到了长足的发展。

第一节 香 料

香料大部分来源于植物,有的是花,有的是果、叶、木、树皮、根等等,也有的植物整株都香,均可作香料。动物性的香料,为数不多,但很重要。因为它们本身有佳香(例如麝香、龙涎香等),又能保存别种香料的香气,使它们能够持久呈香。

在先秦时期,我国用香大多是芳草类,如《诗经》里提到的“蒹”(即兰)、“萧”、“艾”、“鬯”(郁金)等,《楚辞》里提到过的“兰芷”,“芷”即白芷,入药,其根部有芳香。《山海经》、《尔雅》及先秦诸子中都记载了许多芳香植物,但由于语焉不详,对于如何利用它们,不甚清楚。《诗经·大雅·生民》说,“取萧祭脂”,即用萧与牛羊等动物脂膏混合燃烧而产生香气。这可以说是关于薰香的最早记载。关于食品中添加香辛料,《诗经》里也有反映,如《唐风·椒聊》云:“椒聊之实。”《陈风·东门之枌》说:“贻我握椒。”“椒”即花椒。

在庙宇、宫廷及权贵人家,使用香料相当普遍。在封建皇帝的身边常是香烟缭绕,左右大臣及宫娥的衣服上、身体上都涂有香料,甚至口里也含着香料。《礼记》说:“诸侯贻薰,大夫贻兰。”汉朝应劭《风俗通》说:“尚书奏事,怀香握兰。”“薰”即薰草,“兰”是兰草,都是香料。“怀香握兰”即指怀里藏着香料,手里拿着兰草。明朝李如一《水南翰记》里说:“凡进讲,衣冠带履俱薰香,退即以别篋贮之,示不敢褻也。”可见香料在重要场合是不可或缺的。

秦汉以后,大一统的国家建立,一些原产于南方云贵、两广、海南的树脂一类香料,通过交流输入中原。张骞通西域,开辟了著名的“丝绸之路”,中亚和西方一些香料也随着其他物产陆续传入中国,从而使香料的种类丰富起来。《后汉书·西域传》提到了大秦国产苏合香:

“合会诸香，煎其汁以为苏合。”《神农本草经》说，木香“味辛温，主治邪气”，陶弘景称木香“皆从外国舶上来”。木香即印度的木香。

魏晋南北朝时期，我国使用的香料品种明显增多，见于古文献的香料有：鸡舌香（即丁香）、藿香、苜蓿香、泽兰香、甘松香、沉香、檀香、乳香、龙脑香、蜜香（木香）、苏合香、迷迭香、甲煎香、零陵香、白胶香等等。其中不少是从西域或南海输入的，也有部分是中国所产。

隋唐时期，宫廷用香穷奢极侈。史籍记载隋炀帝除夕一夜焚掉了沉香二百余乘，甲煎香二百余石。唐玄宗建沉香亭。南唐主李璟一次香燕，用香达九十二种^①。据宋人陶谷《清异录》记载：“后唐龙辉店安假山水一铺，沉香为山阜，蔷薇水、苏合油为江池，零藿、丁香为林树，薰陆为城郭，黄紫坛为屋宇，白檀为人物，方围一丈三尺。”由此看来，海外的大量异香输入中国，少部分为外国朝贡，大部分是商人从海上运来。著名的龙涎香和蔷薇水大概是在唐末五代时传入的。龙涎香是抹香鲸的肠内结石，呈黄褐色或暗褐色。蔷薇水是一种蒸馏花露。

宋代，香料的贸易仅次于茶、盐、矾等。当时仅大食商人贩进的名香就有乳香、龙涎香、苏合油、蕃梔子、木香、丁香、金颜香、安息香、肉豆蔻、龙脑、沉香、降真香、煎香等^②。宋代消费的香料不亚于前代。据叶绍翁《四朝闻见录》记载，皇帝每夜设香烛至数百枝，诸入阁也同此设烛。食品用香虽在唐末五代已有，但大量用香则在宋代。

用香的普及促进了国内香料的开发生产。两宋时，海南、云南等南方地区也开始出产沉香、笏香、伽楠香、檀香、降真香、白木香、龙骨香、鸡骨香、枫树香、排香、藿香等。宋元之后，用香普及民间，在海外香料大量输入的同时，中国出产的香料也有出口海外的。元代周达观

① 参见明·周嘉胄《香乘》中辑录的有关记载，《文渊阁四库全书》第844册，第351—581页。

② 白寿彝：《宋时大食商人在中国的活动》，《中国伊斯兰史存稿》，宁夏人民出版社1982年版。

《真腊风土记》记载,中国出产的檀香、麝香、白芷等输入到真腊(今柬埔寨)。郑和下西洋,曾用丝绸、瓷器等换取乳香、没药、安息香、苏合香、降真香、金银香等香料。同时他也把中国的麝香、檀香以及香炉赠与所到之国。

香料颇受重视,中国古籍中,附带谈到香料的很多,而专门谈香料的书籍也不少。我国有关香料的专著,最早可能是汉代的《汉宫香方》,稍晚一些的有南北朝的宋明帝刘彧的《香方》,范晔的《合香方》,但是这些书都已散佚。唐代的文献中,一些香方可在《备急千金要方》、《千金翼方》、《外台秘要》等医籍上找到。现在较易看到的是宋代以后的书,比较重要的列表如下:

朝代	著者	书名
宋	陈敬	《香谱》
宋	叶廷圭	《名香谱》
宋	洪刍	《香谱》
宋	范成大	《桂海香志》
明	项元汴	《香录》
明	屠隆	《香笺》
明	董说	《非烟香法》
明	吴从先	《香本纪》
明	毛晋	《香国》
清	周嘉胄	《香乘》
清	万泰	《黄熟香考》
清	曹溶	《香录》

从以上文献可以看到,中国历来所用的香料种类有数百种。下面介绍其中主要的十几种。

兰、芷:先秦文献中提到的“兰”,可能是兰花。它以独特的馥郁芬芳,跻身于“花草四雅”(梅、兰、竹、菊)之列,被许多人尊称为“香祖”。兰入药,药名“草兰”,叶可治百日咳,根可治扭伤,籽可治目翳,花可治滞痢。“芷”是白芷,其根部有芳香。《神农本草经》说它能“长肌肤,

润泽颜色,可作面脂”。白芷是中医的常用药之一。它和脂肪合用来润面,既增美又有药效。据《济生方》记载,它和川芎合做成的丸药,含在口中,可矫治“口齿气臭”。但这仅是治标的方法。白芷有许多异名,古时常写作“白菑”,又名莞、泽芬、芳香,苏敬在唐《新修本草》中说:“叶亦可作浴汤,道家以此香浴去尸虫,又用合香也。”

豆蔻:一是草豆蔻,另一是肉豆蔻。平常单称豆蔻的,主要指草豆蔻。主要产于亚热带的两广和海南。果仁是重要的芳香健胃之药,历来用作食物的香料。在元代,宫廷的饮食中常加豆蔻。

桂:中国的特产。先秦就已使用它,汉代已用于医药。桂实际上包括两类植物:一是桂花类,它包括秋桂(金桂、银桂、丹桂)、四季桂、月桂及子桂、刺桂、早黄桂、柳叶桂等。其栽培历史已有二千五百余年。桂花树原本生长在山中,故又称为“岩桂”,其花散发出馥郁的甜香,倍受人喜爱。桂花泡酒大约始于春秋时代。用它于食品的增香更为常见。桂花及其果实皆入药,性味辛温,有散寒破结,化痰生津,暖胃平肝的作用,对此,《本草纲目》有所记载。另一类桂指的是牡桂等,它是木本,药用者是它的皮,通称“桂皮”,《神农本草经》将它列为上品药。用它制出的挥发油名“桂皮油”,是中国特产。桂皮是汉代以来最重要的中药之一,还用于烹饪。

薄荷:这种植物在全国很多地方都有栽培。它的香气并不突出,但加于清凉食品中,清香而味凉可口,所以它是自古以来人们都熟悉的香料。它也是常用的中药,但收入本草较晚,约始于唐代的《新修本草》。

沉香:又名“沉水香”、“蜜香”,是一种瑞香科的沉香树的树脂。入水即沉者为沉香,半沉半浮者为栈香,不沉者为黄熟香。沉香树产于广东、海南等地。此树木本无香,须经加工才呈香。其加工方法是砍伐后,截成小段,埋于土中,经很长时间,任其腐败,在腐败中产生树脂。掘出后除去腐烂部分,残余的坚实木材,因其中含树脂 40—

50%，即成商品。关于沉香的记载，现存的以三国时吴人万震的《南州异物志》较早。相传晋代嵇含的《南方草木状》中也有记载。《宋书》说：“范晔撰《和香方》，其序曰：麝本多忌，过分必害。沉实易和，盈斤无伤。”这就是说，麝香不宜多用，沉香多用无妨。范晔为南朝史学家，可见当时对沉香已很了解。唐玄宗时诗人李白在宫中沉香亭咏《清平乐词》三章，据说这亭子就是用沉香木筑成的，可见当时沉香曾被大量耗用。

檀香：由檀木所提取的香，又名“旃檀香”、“白檀香”。此树产于南方诸省和南洋诸岛。从汉代以来，供作香料。佛家僧寺所烧的香大都由檀香所制，道家则用它作浴香。从白檀制得的白檀油，有佳香，被视为重要的挥发油。在输入的香料木中，檀香一直为最多。

丁香：是丁香树的花蕾。该树主要生长在非洲和东南亚。广东、广西也有出产。丁香香气强烈而味辛辣，挥发油名“丁香油”，比重大于水，这是挥发油中少见的。中国从汉代起，就喜用丁香。据说在汉代，大臣向皇帝奏事，常口含丁香，以掩盖口臭。在许多香方中，往往加丁香。《齐民要术》已记载丁香，但入药典则始于宋代的《开宝本草》。

乳香：是一种树脂，又名“薰陆香”，原产于阿拉伯国家。乳香在汉代已传入中国。《名医别录》中首载此香，并把它列入上品药。乳香不仅用作香料，还用于照明并入药，是一种活血镇痛药，至今仍在使用。

苏合香：是一种树脂，是一种半流动的浓稠液体，故又名“苏合油”。色黄白乃至棕色，气香而苦辣。自汉代传入，《名医别录》也把它列为上品药。

龙脑香：又名“冰片”，是一种无色结晶。从南洋输入，至迟在南北朝时期。据唐代冯贽的《烟花记》载，南北朝时陈朝的宫人卧履里，散以龙脑诸香屑，唤作“尘香”。龙脑可能在唐代才盛行起来，唐代的《新修本草》收入它，把它作为法定的药品，说它“主心腹邪气，风湿积聚，

耳聋,明目,去目赤肤翳”。宋代赵汝适的《诸蕃志·卷下》里对其制法作了较详细的介绍。

艾纳香:原产于海南岛。其芳香成分的化学组成为 $C_{10}H_{18}O$,与龙脑香同,但艾纳香是左旋性,而龙脑香是右旋性。海南岛土法制取艾纳香是摘取该树叶进行水汽蒸馏,可得到艾纳香结晶。^①

樟脑:是从樟树中提取的无色结晶,它虽属香料,但气味并不好闻,故大多用作杀虫剂或医疗品。关于它的传统制法,李时珍《本草纲目·樟脑》引胡演的《升炼方》,对“煎樟脑法”和“炼樟脑法”作了详细介绍。

小茴香、大茴香:是两种不同植物,形态不同,但香气近似。它们很早就从外国引进中国,今南方各地都有。它们的香气并不很好闻,但用于食物烹饪,能去腥臭。唐代孙思邈曾说过:“煮臭肉,下少许,即无臭气,臭酱入末亦香。”(《本草纲目·茴香》)

天然的动物香料,其种类十分有限,只有麝香、灵猫香、龙涎香数种。麝香是雄性麝香鹿生殖腺的分泌物。芳香成分为麝香酮,具有浓烈的香气,稀释后仍芳香宜人。《神农本草经》把它列为上品药。长期以来,无论在医疗上或制香上,它都为人们所珍视。龙涎香是抹香鲸的肠内结石,故很稀少。该香的有效成分是龙涎香醇,燃烧时发出奇香,十分珍贵。灵猫香,唐代陈藏器曰:“灵猫生南海山谷,状如狸,自为牝牡,其阴如麝,功亦相似。”(《本草纲目·灵猫》)文献记载更少。

古人用香,大多是多种香料相配合使用,有各种各样的香方。古代合香同现代调香一样,是一项专门技术。明代周嘉胄的《香乘》就指出:“合香之法贵于使众香成为一体。麝滋而散,挠之使匀;沉实而腴,碎之使和;檀坚而燥,揉之使腻。比其性等物,而高下如医者用药,使气味各不相掩。”历代香谱书中都载有大量香方,有熏衣之香、佩带之

^① 于景让:《龙脑香、艾纳香、迷迭香》,台湾《大陆杂志》第29卷第10、11期合刊。

香、涂传之香等,名目繁多。

近代的调香,大多是把从香料提取出来的挥发油适当地配比混合。在古代,最原始、最自然的用法就是直接用植物的芳香部分,例如把它挂在衣上、房里。进一步的发展是用火焚燃,即熏香。熏香一般用香炉,汉代的博山香炉就很著名。今天所用的线香、卫生香就是依此而发展起来的。唐宋时期人们才逐渐掌握把香料中的有效芳香成分(挥发油)提取出来,与其他物质混合。花露水的制作就是最具代表性的,有关花露水的制法,已在第八章谈及。

第二节 化妆品和洗涤剂

爱美之心人皆有之。自古以来,人们就很注重外表的服饰和自身的化妆。常用的化妆品主要有粉、黛、脂等几类。

为了掩盖皮肤的黧黑,要搽粉或扑粉。古人用的粉主要是米粉和铅粉。《齐民要术·种红蓝花梔子第五十二》中有以米粉作香粉的方法。香粉可直接用来扑身。铅粉即碱式碳酸铅,在第五章中,我们已谈过古人对它的认识和制法。《楚辞·大招》上说:“粉白黛黑,施芳泽,长袂拂面善留客。”可见至迟在战国时期,人们已经搽粉了。铅粉当时不仅用作白色颜料,同时也被用来搽粉。粉可以干用和湿用。干用即粉扑,扑于手面。湿用则先以粉和水,再涂于手面。魏晋时期,不但妇女搽粉,男人也搽粉。汉魏时期,惠帝侍中皆敷脂粉,像曹植、何晏等文人也是脸上常搽得白白的。铅粉一直沿用到近代。只是到近代化学知识传入后,人们才逐渐明了铅粉会被氧化变黑的机理及铅粉对皮肤的毒害,铅粉作为化妆品才逐渐被慎用。

黛是黑色矿物,用以画眉。东汉刘熙的《释名》中说:“黛,代也,灭去眉毛以此代其处也。”《韩非子·显学》中说:“故善毛嫱、西施之美,

无益吾面，用脂泽粉黛则倍其初。”可见战国时期妇女已用黛来描眉了。《后汉书·卷十上》引《东观记》曰：明德马皇后“眉不施黛，独左眉角小缺，补之如粟”。《北史·周宣帝纪》载：“禁天下妇人皆不得施粉黛。”黛有黑色，也有其他色调，如赭黛、绿黛、青黛等。

脂泽是一类油质材料，用来润面、润发。东汉刘熙《释名》说：“泽（即脂泽），人发恒枯瘁，以此濡泽之。唇脂以丹作，像唇赤也。”这里讲的是发油和口红。可见当时这种化妆品已在使用中。关于面脂，晋郭义恭《广志》说：“面脂，魏兴以来始有之。”^① 据对其他化妆品的使用情况来看，面脂的使用不会晚于三国时代，郭义恭的说法是可信的。胭脂是从一种名为“红蓝”或“红花”的花中提取出来的化妆品。李时珍在《本草纲目·燕脂》中说：“伏候云：燕脂（即胭脂）起自纣，以红蓝花汁凝作之，调饰女面，产于燕地故名燕脂……。”殷商最后一个国王是纣，当时已有燕脂，尚难相信。但是汉代以后，中国西北部已有燕脂，可能性较大。《齐民要术·种红蓝花梔子第五十二》中就详细地记载了红花的种植法和燕脂的制法。燕脂不仅可以用来敷面涂唇，因其无毒，还可以用于食物着色。该节还记载了面脂、香泽、唇脂及手药（防治手冬天皱裂，使手柔软滑润）的制法。《齐民要术》的这些记载说明上述化妆品的使用和制造在当时已很流行了。

化妆品中常加入一些香料是可以理解的。中国古代，人们更注重化妆品的保健功能，因而许多医药家对化妆品很有研究。被后人誉为药王的唐代医药家孙思邈（581—682年）在其著作《备急千金要方》和《千金翼方》中，都专门叙述了各种化妆品的制作方法。它包括有多种香方、面脂方、面膏方、面药方、澡豆方（洗澡用）、治癩疱等皮肤病方、香身方、治腋臭方、生发黑发方、染发方等八十多种，其中也有一些是内服的药方。下面是《备急千金要方》卷六下所载面药方中的两

^① 见《说郛》（宛委山堂本）第六一卷。

个方子：

面脂，主悦泽人面，耐老方：白芷、冬瓜仁各三两，萎蕤、细辛、防风各一两半，商陆、芎藭各三两，当归、薰木、靡芜、土瓜根（去皮）、桃仁各一两，木兰皮、辛夷、甘松香、麝香、白僵蚕、白附子、梔子花、零陵香各半两，猪胰三具切水渍六日，欲用时以酒掇取汁渍药。右二十一味薄切，绵裹以猪胰汁渍一宿，平旦以前，猪脂六升，微火三上三下，白芷色黄膏成，去滓，入麝，收于瓷器中，取涂面。

治面黑生汗皴方：白敛十二铢，生矾石、白石脂各六铢，杏仁三铢，前四味研成粉，和鸡子白，夜卧涂面上，旦用井花水洗之。

在唐代，王焘的《外台秘要》中也记有许多香料和化妆品的配方。宋代化妆品的配方比起唐代又增加了不少。例如《太平圣惠方》卷四十、四十一中，有许多化妆品配方，其中单是面脂就有十五种，治头皮白屑者有十八种，染发有二十五种，令发润泽有十五种，治酒糟鼻有十二种，治粉刺有十种，显然比唐代丰富多了。

为了健美，有比化妆品更为重要的措施，这就是人体自身和衣着的洁净。这就需要有洗涤剂。人们最早使用的洗涤剂是草木灰。《周礼·考工记》中已提到利用草木灰的水浸液来洗丝，“以泔水沤其丝”，因为丝在染色之前先要洗净。由此可以推想，当时的人们也是采用这种浸取液来洗涤衣物的。《礼记·内则》有“冠带垢和灰清漱，衣裳垢和灰清澣”的记载，说明洗涤衣冠在皇室已成制度，洗涤剂即是草木灰。草木灰水浸液的主要成分是碳酸钾和碳酸钠，故天然的碳酸钠也可以用作洗涤剂。人们对此认识较晚，直到金、元以后，才用碳酸钠配以淀粉及香料制成石碱。由于草木灰可就地取材，来源又广，故沿用时间较长。

皂荚是豆科植物皂树所结的果实，中国各地都有。由于皂荚中含有皂甙，其水溶液为强乳化剂，有去垢性能，所以很早就为人们所认识，成为古代最常用的洗涤剂。《神农本草经》已将它收入，列为下品

药,但没有说它用于洗涤。皂荚有多种,去垢力有强有弱,一般以长而皮薄多肉者为佳。唐代的《新修本草》云:“可为沐药,不入汤。”“此物有三种,猪牙皂荚最下,其形曲戾薄恶,全无滋润,洗垢亦不去。其尺二寸者,粗大长虚而无润,若长六七寸,圆厚节促直者,皮薄多肉,味浓,大好。”人们把它捣烂,做成球状,就可供洗面、洗身、洗衣之用。明代李时珍在《本草纲目·肥皂荚》中,称它为“肥皂荚”,并介绍说:“十月采荚,煮熟捣烂,和白面及诸香作丸,澡身面,去垢,而膩润胜于皂荚也。”南宋末年周密所著的《武林旧事》中提到的“肥皂团”就是指此。

古代中国还有一种常用的洗涤剂——猪胰,即前面所讲的猪脰。它含有多种消化酶,可以分解脂肪、蛋白质及淀粉等物,故有去污作用。古代人们认识到猪胰的去污能力,可能与原始的皮革加工中的油鞣技术有关。在晋代裴启的《语林》和南朝宋代刘义庆的《世说新语》等书中,都提到三世纪时晋代的豪富石崇以“金澡盆盛水,琉璃碗盛澡豆。”据《备急千金要方》卷六下中对十几种澡豆方的介绍可知,澡豆大都是以猪胰为原料,和以豆粉及各种香料而成的,经自然干燥的块状物。这里的猪胰经研磨成糊状后,细胞膜被破坏,消化酶易渗出,同时混以豆粉,豆粉中也有皂甙和卵磷脂,可以起泡和乳化,所以具有较好的洗涤效果。应用澡豆显然比单纯使用猪胰洗涤要先进多了。

明清时期,北方地区出现了一种洗涤用的胰子。据考,清代末年仅北京一地就有胰子店七十多家,直到二十世纪五十年代,北京前门外还保留有合香楼、花汉冲等胰子店,其中合香楼是明代崇祯四年(1631年)开设的老店。清代道光年间(1821—1850年)文康所著的《儿女英雄传》第三十七回中就有“桂花胰子”、“玫瑰胰子”的记载。胰子是澡豆的改进,类似肥皂。它的主要成分有猪胰、砂糖、天然碳酸钠、猪脂等。具体制法是:将新鲜的猪胰与砂糖共研磨成浆糊状,再加入碳酸钠及少量水搅拌均匀,再注入熔融的猪脂,勤加搅拌,最后压

制成球形或块状。从猪胰到澡豆,从澡豆到胰子,从一个侧面反映了中国古代洗涤剂的演进。在此期间,皂荚的使用在民间从未中断。在制澡豆中也常加入皂荚。此外在产茶地区,茶子榨油后的茶子饼,因含有皂素,也有被用作清净剂的。

直到十九世纪下半叶,近代化学知识传入后,制肥皂的工艺也被引入。1903年在天津建立了造胰公司,1907年在上海建立了裕茂皂厂。此后一些城市相继建立了肥皂厂,开始了中国的洗涤剂工业生产。

第三节 皮革工艺

皮革工艺是人类最古老的技艺之一。从科学上说,这是一个复杂的物理——化学加工过程,机理较深奥。在很长一段时间里,人们只知其然,不知其所以然,即只有加工经验的积累,而没有系统的理论可讲。这就造成在中国的古代文献中,有关制革工艺的记载极少的状况。

从当代科学的知识库里,人们才知道,制革就其本质来说应是蛋白质的取舍及变性过程,属于高分子的加工技术。原料皮即生皮的组织结构可以分为三层:表皮、真皮和结缔组织。它们的化学成分主要是蛋白质和脂肪。在加工中,表皮很薄,不能成革,故要将其除去。结缔组织是动物皮与身体之间的一种疏松组织,包括人们熟悉的皮下脂肪等。这部分对于皮革也是有害无用的,在加工中也应除去。皮革的基本组成部分是真皮,鞣制加工的主要对象就是这真皮层。真皮又可以分为两层。上层是皮革的表面层,呈粒状的结构,它是衡量皮革质量的重要因素。下层是网状的纤维层,革制品的物理强度主要取决于它。此外,在真皮纤维结构的空隙里,有一些胶状的蛋白质即纤维

间质,这也需要在加工中予以去除。真皮经加工后保留下来的主要成分是蛋白质纤维,它包括胶原纤维、弹性纤维、网状纤维。这些蛋白质纤维中的98%是由胶原组成,因此从化学意义上讲,皮革是胶原的加工产物。通过X射线观察,可以看到上述蛋白质纤维的结构就像海绵一样,可以汲入大量的鞣剂、染料及助剂,这就是皮革可以鞣制的基础。鞣制的实质是利用鞣剂对上述蛋白质纤维进行化学和物理的加工,是鞣质与蛋白质分子上的活性基团(主要是氨基)进行交联反应的过程。那些对皮革性能有不良影响的球状蛋白质,在酸、碱、酶的作用下,会被水解而除去。在合理的鞣制中,蛋白质纤维得到变性的加工,从而使皮革具有较好的物理性能,主要表现在不易腐坏、柔软、坚实。

毛皮是附有动物毛的兽皮,古时沿称“裘”。将动物毛除去之后制成的兽皮,习称为“熟革”。它们的加工方法有所不同,而原理则是一样的。

一、传统的皮革工艺

当人类还处于茹毛饮血,以采集渔猎为主的原始社会时,就已发现兽皮可以用来御寒护体。于是人们开始利用刮削石器或尖状石器剥刮动物外皮,再缝制成衣饰或用具。虽然刚屠宰剥下来的湿皮很软,但将生皮晒干,会变得十分僵硬,不仅穿起来如盔似甲,很难受,同时加工缝制也很不方便。为了克服上述两难的状况,在实践中人们逐渐摸索到,可以利用野兽的脑浆、骨髓、油脂等涂抹在生皮的表面,通过太阳光的照射,然后用手搓,兽皮就会变得较为柔软,而且不易腐烂。这方法实际上是由于油脂等被空气氧化后产生醛,它作为鞣剂而加工了皮革,这是最原始的皮革加工技术。

在实践中,人们可能从熏肉不易腐败的经验中发现,可以采用烟

熏的方法来加工生皮。经烟熏加工的兽皮既可以防腐,又能防虫。这种方法后来演进为古老的烟熏鞣法。当然,古代人是不知烟中含有醛的,这种方法实质上是醛鞣法。后来人们又发现搭在某些树枝或木头上的湿生皮,经过一段时间,会使生皮染上某些颜色。从中受到启发,推测这些树木可能含有能与生皮发生作用的汁液。于是人们用热水泡浸某些树皮或树枝,再将生皮浸泡在这种汁液中,浸泡后再晾干,生皮既不收缩,也不腐烂,还较柔软、坚韧。这就是植物鞣法的开端。当然,当时的人们还不知道这种方法是利用了某些植物内含的单宁作鞣剂。

制裘,需要保存皮上的毛绒。在古代这并不容易。人们发现将毛皮放在温暖而又潮湿的地方,几天后,毛会自动脱落。由此人们掌握了发汗脱毛法。裘有它的用处,脱了毛的革也有自己独特的用途,甚至有更广泛的用途。所以在古代,裘和革长期共存。制革要脱毛,人们又发现用石灰的碱液来泡浸生皮,脱毛的效果较发汗脱毛要好得多。在古代长期沿用的脱毛法就是这两种,它的机理就是利用了微生物酶的作用。

在实践摸索中,人们又发现,禽畜的粪便,例如鸽粪、鸡粪、狗粪等,经温水发酵后,其发酵液也能用来浸泡生皮,结果能使皮革变得柔软。这一技术曾被视为制造软革的关键技术。但是这种方法若掌握不当,会损坏生皮。因此掌握这项技术必须较有经验,古代曾视为秘密,只能是师徒传授。在制革中,人们更多采用的方法是先用石灰水浸泡生皮以脱毛,然后再用芒硝或明矾、食盐及酸奶来鞣革。

在古代的漫长岁月中,皮革工艺的进步是很缓慢的,它长期停留在以经验为基础的家庭手工作坊的生产形态。直到十八世纪末以前,没有人对皮革的加工方法进行过科学的研究,而是世代相传地使用油脂、烟熏、树皮、明矾、芒硝等制革方法。《天工开物·乃服》中有关皮革工艺只写道:“其老大羊皮,硝熟为裘。”“若南方短毛革,硝其鞣

如纸薄，止供画灯之用而已”。“鹿皮去毛，硝熟为袄、裤，御风便体，袜靴更佳。”有关这些工艺的细节，古代文献也没有详细的记载，这可能是：第一，这种工艺太古老了，而被人漠视。第二，在封建社会中长期存在着鄙视体力劳动，轻视技艺的观念，而制革工艺则是传统工艺中最脏、最累的一项。第三，更重要的是，当麻、丝、绵纺织品问世后，原料有限，制作工艺复杂，难度较大，成品率低下的皮革制品只能在服装业中占据一个很次要的地位。少数裘类成品大多作装饰品而为权贵们所占有。一般革制品曾用于军事，例如甲冑。孔颖达在注疏《尚书·费誓》中说：“古之作甲用皮，秦汉以来用铁，铠、釜二两皆从金，盖用铁为之。”可见秦汉以后，连甲冑之类的军事器具也由金属材料制作。皮革的产量相对于麻、绵、丝织品来说，实在是少得可怜。皮革工艺没有详细记载，可能还有一些原因，值得深入探讨。

二、古代的皮革业

在北京房山周口店北京人的文化遗址中，曾发现有刮削石器和尖状石器，表明当时的原始人已用这些石器来剥取兽皮了。在周口店的山顶洞穴中还发现有磨制而成的骨针，这很可能是用来缝制兽皮的。在新石器时代晚期的仰韶文化的许多遗址中都发现有更多的骨针，推测当时加工缝制兽皮已是常事。据分析，制革成为专业工种大概始于商代。在河南安阳出土的殷周时代的戍革鼎上，就刻有“革”字。其字形很像一个披着盔甲的武士，表示当时常用兽皮防御护身。甲骨文、金文中均有“裘”字，表示用兽皮作的衣服。《尚书·费誓》正义引《世本》的话，认为皮甲始于夏代第六世帝杼（少康之子）。

在河南安阳侯家庄的一座殷商时代的墓葬中，曾发现皮甲的两处残迹，残迹是皮革腐烂后留在土里的纹理。在长沙也曾发现春秋晚期的皮甲。在湖北江陵也发现过战国时代的皮甲。按理，皮甲在土中

是很难长期保存的,能出土皮甲说明这些皮革制品在防腐处理上是很成功的。

《诗经·召南·羔羊》曰:“羔羊之皮,素丝五紞。退食自公,委蛇委蛇。羔羊之革,素丝五緎。委蛇委蛇,自公退食。羔羊之缝,素丝五总。委蛇委蛇,退食自公。”这里描写的是穿着做工考究的羔羊之裘的大夫饱餐以后,悠闲归来的情景。

周代设有金、玉、皮、工、石等五种官吏来管理相关物资的生产和分配使用。《周礼·考工记》称制革工匠为“鲍人”,说:“鲍人之事,……革欲其茶白,而疾漑之,则坚。欲其柔滑,而腥脂之,则需(柔需也)。……卷而搏之而不弛,则厚薄序也(均也)。砥其著而浅,则革信也(无缩缓也),察其线而藏,则虽敝不羸(磨而不磷)。”《周礼·天官·掌皮》也记载:“掌秋敛皮,冬敛革。”这里讲的是制革工匠的工作,但不是很细致清楚。《礼记·月令》还记载,季春之三月命工师、命百工,审查五库器材的质量。五库里就有皮、革、筋等物。《楚辞·国殇》中有“操吴科兮披犀甲,车错毂兮短兵接”之句,形象地描绘了当时战士披甲操戈的战斗情景。可见当时皮甲已被大量用作防御的武器。《战国策·秦一》中说:“兵革大强,诸侯畏濯。”说明革制的甲冑的数量也代表了军事的实力。

《韩非子·五蠹》中说:“丈夫不耕,草木之实足食也,妇人不织,禽兽之皮足衣也。”《韩非子·外储说左下》中又说:“孙叔敖相楚,栈车牝马(柴车也),粝饭菜羹,枯鱼之膳,冬羔裘,夏葛衣,面有饥色,则良大夫也,其俭偏下。”《韩非子》中这两段话表明,皮革在当时已较普遍。

在西安出土的秦始皇兵马俑中,无论将军或军士大都身着皮甲,表明甲冑是军人的主要装备,而且这些皮甲还着不同色彩,表示当时已掌握了皮革的染色技术。实际上,鞣剂大都带色,所以皮革呈色是很自然的,问题是呈不同的颜色,这就要求使用颜料或染料了。

汉武帝时一种在表面饰彩画的白鹿皮曾作为货币流通了一年,可见它在当时的价值。《汉书·货殖传》曾写道,在通邑大都,一个商人每年有皮革一千石(一石相当于一百二十斤),狐貂皮一千张,羔羊皮一千石。这在当时已算大富商了。在中国历史博物馆中藏有一双在长沙出土的汉代革履,即皮鞋,它可能是我国现存的最早的皮鞋。它形状基本完好,鞋底、靴面都没有脱毛。与皮鞋同时出土的还有革囊、革箠各一件。革囊相当于皮包,革箠即武士用以盛放弓箭的皮套子。从以上资料可以窥见汉代皮革业之一斑。

在唐代,朝廷设有右尚房,管理马辔加工以及甲冑等御用品,兼管毛皮作坊。宋代设有皮角场。元代有甸皮局。明代的制革业也有一定的产量。《天工开物·乃服》中有一段介绍“裘”：“凡取兽皮制服,统名曰裘。贵至貂狐,贱至羊麂,值分百等。”文中介绍了多种皮的来源和使用：“貂产辽东外徼建州地及朝鲜国。……一貂之皮,方不盈尺,积六十余貂,仅成一裘。服貂裘者,立风雪中,更煖于宇下,眯入目中,拭之即出,所以贵也。”自汉代起,东北的紫貂就名扬天下,一直被誉为“东北三宝”(人参、貂皮、鹿茸角)之一。宋应星还介绍说:“古者羔裘为大夫之服,今西北搢绅亦贵重之。”“此物(麂皮)广南繁生外,中土则积集楚中,望华山为市皮之所,皮且御蝎患,北人制衣而外,割条以缘衾边,则蝎自远去,虎豹至文,将军用以彰身。”“犬豕至贱,役夫用以适足。西戎尚獭皮,以为裘衣领饰。”由此可见当时“兽皮衣人”的情况。

十八世纪末到十九世纪,随着近代科学的形成和发展,制革技术有了重要的进展。1770年英国的约翰逊获得了铁鞣法的专利。但该法有成革偏硬、易老化的缺点。1913年赴美留学的中国化工专家侯德榜(1890--1974年)在取得化工科学士学位后,于1917年专攻制革。他和美国的D. D. 杰克森一起研究铁鞣法。他们指出,铁盐对油脂产生氧化—还原反应是造成上述缺点的主要原因。这极大地促进

了铁鞣法的发展。侯德榜的博士论文即为“盐铁鞣革”。与此同时,植鞣法的机理也获得深入的研究,使植鞣法工艺不断改进。1893年美国的专家制成第一个铬鞣剂,并用于制革获得成功。此后铬鞣法引起重视,该技术在理论指导下日趋成熟,成为近代最重要的鞣革法之一。随着近代科学技术的传入和推广,清光绪二十四年(1898年)在天津出现了中国第一家近代化的制革厂——天津制革厂,它开始使用机器和新的鞣革方法进行生产。

第十二章 近代化学的传入和传播

中国古代有着灿烂的科学文化,如前所述的造纸、印刷、火药、陶瓷、医药、酿造等化学方面的创造发明,举世称颂。然而,中国的近代化学则是从西方传入的,本章则要介绍这一方面的情况。

第一节 近代化学传人的早期状况

在二十世纪三十年代,陈文哲和虞和钦认为我国介绍近代化学最早的书始见于清朝同治年间^①。曾昭抡更提出:“考西方化学之入中国,实始于同文馆时代。在当时始有西方化学书之翻译。”^②京师同文馆是同治元年(1862年)由总理衙门奏请在北京设立的培养外语人才、推行欧美教育的学校。同治五年(1866年),该馆增设天文算学馆,讲授天文学、数学、化学等科目。同治六年(1867年),上海江南制

① 郑贞文:《无机化学命名草案》序言,商务印书馆1930年改订版。

② 曾昭抡:《二十年来中国化学之进展》,《科学》第19卷(1935年)第10期。

造局附设翻译馆,翻译格致、化学和制造等方面的书籍。

同文馆时代出版的化学书籍有:1868年出版的美籍传教士丁韪良(W. A. P. Martin, 1827—1916年)写的《化学入门》(《格致入门》的分册之一);1870年在广州出版的由美国传教医师嘉约翰(John G. Kerr, 1824—1901年)与其学生、广州人何瞭然合译的《化学初阶》;1871年在上海出版的由英国人傅兰雅(John Fryer, 1839—1928年)和无锡人徐寿(1818—1884年)合译的《化学鉴原》等。上述著作,书名中就有“化学”,内容又是较系统地介绍近代化学知识,因此,曾昭抡等把近代化学传入中国的时间定在同文馆时代,即十九世纪六十年代的同治年间。

在二十世纪五十年代,袁翰青认为近代化学传入中国的时间不应该那样晚。依据是,他在北京图书馆找到了十九世纪五十年代由上海墨海书馆出版的一部《博物新编》。该书是英国医生合信(Benjamin Hobson, 1816—1873年)所著,于咸丰五年(1855年)出版的。全书共分三集,第一集是气象学、物理学和化学,第二集是天文学,第三集是动物学。书内还有化学仪器插图。

在《博物新编》的化学部分,作者提到了“养气”、“轻气”、“淡气”、“炭气”(一氧化碳)、“硝强水”(硝酸)、“盐强水”(盐酸)、“磺强水”(硫酸)的性质和制作。袁翰青根据《博物新编》出版时间要比《化学入门》早十三年,比《化学鉴原》早近二十年的事实,否定了近代化学的传入始于同治年间之说。^①

袁翰青认为近代化学是从1840年前后传入中国的,理由有二:

第一,鸦片战争(1840年)之前,英美侵入我国的商船和炮舰上,已使用硫酸、硝酸、盐酸等近代化学品。硫酸用于灭火器,硝酸用于鉴别金属,盐酸用于焊接;在船上工作的医生应用的是化学药品。在船

^① 袁翰青:《中国化学史论文集》,三联书店1965年版,第266页。

上工作的中国工人和商人开始认识化学物质,并替它们取了中文名称。这可以认为是近代化学传入我国的开端。

第二,在清朝道光十五年(1835年),一个被认为是懂得“西学”的进士丁守存存在其所著的《编年自记》中叙述了他三十四岁那年(1845年),“以洋镪水点药,误伤手目,月余始平复”。此处的“洋镪水”可能是硝酸或硫酸。由此可见,在十九世纪四十年代,作为近代化学的基本物质无机酸类,在我国已经有人使用了。^①

根据上述分析和推测,袁翰青认为近代化学传入中国,是在鸦片战争前后的十九世纪四十年代这一段时期。

据日本汤浅光朝所著《科学文化史年表》载:“1839年,英国传教士合信抵澳门开设医院,有汉文编述医学、博物、理化多种书籍”。又据《中国近代教育大事记》记载:1839年,英国教会在澳门创办马礼逊学堂,1842年该学堂迁至香港,曾开设过化学课^②。由此可见,近代化学开始传入中国当是在鸦片战争前后。但那时传入中国的近代化学知识是分散的、零星的;而较系统、较多地把近代化学传入中国,则是在同文馆设立(十九世纪六十年代)以后。

“化学”一词何时在中国开始使用?何时在日本使用?这也是近代化学上的一个重要问题。台湾学者刘广定,近年从王韬日记中发现,1855年即有“化学”一词出现,并推论在1853年可能已出现“化学”一词^③。在王韬的《蘅华馆日记》咸丰五年(1855年)元月十四日条下载有“化学”一词,文曰:“十有四日,丁未,是晨郁泰峰来,同诣各园游玩。戴君特出奇器,盛水于栝交相注,曷顿复变色,名曰化学,想系磺强水所制。”^④自十九世纪五十年代我国使用“化学”一词后,在

① 袁翰青:《中国化学史论文集》,三联书店1956年版,第267页。

② 陈学恂主编:《中国近代教育大事记》,上海教育出版社1981年版,第2页。

③ 刘广定:《中文“化学”源起再考》,《化学》第50卷(1992年)第1期。

④ 《蘅华馆日记》(六册),台湾历史语言研究所藏手抄本。

《六和丛谈》、徐寿等人的译著和《格致汇编》等书中都大量使用“化学”一词。但也有个别人,如曾宗巩,他编译的一本化学书叫《质学译本》(1906年),想用“质学”代替“化学”,但没有得到推广。“化学”一词就这样一直沿用下来。

中国和日本的文化交流比较密切。近代科学名词有的是由中国传到日本,有的则是从日本传到中国。例如“科学”一词,我国曾叫“格致”,光绪年间从日本传来了“科学”,代替了“格致”。“化学”则是从中国传到日本。日本早期的化学书,称“化学”为“舍密”,化学实验室称“舍密局”。日本第一个使用“化学”一词的人是川本幸民^①。他早期翻译火药化学书时还用“舍密”一词,而到1862年翻译《化学教程》时,已将此书称为《化学新书》。日本科学史学家山本成之助和芝哲夫等均认为这是受到中国著作的影响。

第二节 徐寿对近代化学传人的贡献

徐寿,号雪村,清嘉庆二十三年正月二十二日(1818年2月26日)生于江苏无锡钱桥乡社埭村。光绪十年八月初六(1884年9月24日)卒于上海。

徐寿出生之时,正是欧洲近代化学产生的时期。当时我国则处在清朝封建统治时期,由于实行闭关锁国的政策,对外国的先进科学知识,国人知之甚少。徐寿生活在一个激烈动荡的历史时期,清朝封建统治已走向没落。国内爆发了太平天国农民起义,国外资本主义列强企图瓜分中国。在阶级矛盾和民族矛盾日益尖锐的形势下,徐寿开始认识到科举制度的弊端,弃求取功名之业,转而研究经世致用之学。

^① 潘吉星:《谈“化学”一词在中国和日本的由来》,《情报学刊》1981年第1期。

鸦片战争以后,西方传教士和商人接踵而至。他们在谋求自己利益的同时,也传来了近代科学知识。1843年,英国传教士麦都斯(Dr. Walter Henry Medhurst, 1796—1857年)在上海开设墨海书馆,出版《圣经》和其他科技图书,《博物新编》即为其所出。徐寿将此书买回家后,刻苦自学、潜心钻研,并与同年好友华蘅芳(1833—1902年)经常商讨,合作实验。从此,他对化学、物理、数学、矿学、医学等近代科技知识产生了浓厚的兴趣。

十九世纪六十年代清政府上层集团掀起了洋务运动,北洋大臣曾国藩(1811—1872年)看中了徐寿、华蘅芳等人。同治元年(1862年),曾国藩把徐寿、华蘅芳招到安庆军械所内工作,并交给他们一项试制小型木质轮船的任务。徐寿和华蘅芳等从《博物新编》中得到启发,又到外国轮船上考察汽机运转情况。经过三个月的努力,便制成了轮船模型。接着又试制了一艘中型木质轮船,继而开始制造大型轮船。徐寿等人于1865年试制成功我国第一艘自制轮船——“黄鹄”号。

1867年,徐寿被调往上海江南制造局工作。最初,他的工作是造船和试制弹药。后来,逐渐转为以引进西方近代科学,特别是近代化学为主。徐寿对近代化学传入我国所做的贡献,主要是翻译西方近代化学书籍。

同治七年(1868年),在徐寿的积极倡议和策划下成立了翻译馆,延聘一批学有专长的中外学者,从事翻译西方科技著作。徐寿和英国传教士傅兰雅在翻译馆通力合作,由傅兰雅口译,徐寿笔述,共同从事译书工作达十七年(1867—1884年)之久,直到徐寿逝世。在这十七年中,徐寿和傅兰雅共译书二十部(一百〇七本,一百七十卷,二千二百七十二幅插图),撰写专著九篇,校书两部,共计约二百九十多万字。其中与化学化工有关的共十三部,其他有数理、医学、兵工、游记等多部。

徐寿和傅兰雅在江南制造局所译的化学书有《化学鉴原》、《化学

鉴原续编》、《化学鉴原补编》、《化学考质》、《化学求数》和《物体遇热改易记》等六部。这些书将西方近代化学的无机化学、有机化学、定性分析、定量分析和物理化学以及化学实验方法和仪器使用等系统地引入我国,为我国近代化学的建立和发展奠定了基础。徐寿和傅兰雅精心选择当时国外的化学教科书和专著,译文正确流畅,受到学术界欢迎,被誉为善本。当时日本学者对徐寿的译本也很推崇,专门选派了柳原前光等人到江南制造局学习考察,并将徐寿译本带回日本研习采用。徐寿和傅兰雅翻译的六部化学书均由江南制造局出版。译书出版时间与原著出版的时间平均晚十二年,最快的相距仅六年即译出。这六部书的概况见表 12-1。

表 12-1 徐寿和傅兰雅合译的六部书概况

书名	主要内容	原著者	原著出版时间	译著出版时间
化学鉴原	无机化学教科书。介绍无机化学的基本原理和概念,阐述了 64 种元素的性质、用途、制备方法及其发现史等。	[英]韦尔斯	1858	1871
化学鉴原续编	有机化学教科书。介绍有机化合物的制备、性质,有机物的分馏法、蒸馏法及有机分析方法等。	[英]蒲陆山	1867	1874
化学鉴原补编	无机化学和化学实验教科书。介绍了 64 种元素及其化合物的性质、制备,并有实验图,内容比《化学鉴原》丰富。	[英]蒲陆山	1864	1879
化学考质	定性分析导论。介绍了定性分析的试剂配制,叙述了分析用的实验器皿,着重介绍了硫化氢系统定性分析法。	[德]富里西尼乌斯	1875	1883
化学求数	定量分析导论。介绍定量分析用的仪器及操作方法和重量分析中的分离问题。	[德]富里西尼乌斯	1875	1883
物体遇热改易记	物理化学教科书。主要介绍气、液、固体膨胀定律和其应用,以及膨胀系数的测定方法。	[英]乔治·福斯特	1875	1899

第三节 《格致汇编》的刊行

《格致汇编》是傅兰雅创办的我国最早的综合性自然科学期刊。光绪二年(1876年)正月在上海格致书院创刊。由傅兰雅任主编,具体编辑出版工作均由栾学谦负责。栾学谦,字志让,山东蓬莱人。是登州文会馆早期的毕业生,后到上海格致书院任教员,还在傅兰雅开办的我国第一家科学书店——格致书室任经理。^①

在《格致汇编》创刊号上,载有徐寿写的《格致汇编序》和《编者启事》,对办刊宗旨和所载内容作了介绍,指出:“此《汇编》之意,欲将西方格致之学,广行于中华,令中士之人不无裨益。或有欲问格致之事,或欲问西国物件,或欲知某矿藏,物体为何物何用,均可寄信下问。如有所知,则必于后卷详细复明,不取刻资。”并敬告读者:“《格致汇编》由上海格致书院刊行,每月出一期,每期纸价五十文。”

《格致汇编》所刊内容大致分三类:一是格致专论,例如在第一期的“格致略说”栏内,就有论万物的宽广,论星,论太阳、行星和彗星,论地球为行星,论太阳与日蚀、月蚀等。二是格致杂说,摘译西方新知识、新工艺。三是通讯,即互相问答,回答读者提出的各种科技问题。

《格致汇编》内容丰富,知识广泛,凡西方科学技术新知,几乎无所不包。例如在科学知识方面,介绍了近代科学理论、科学方法、科学仪器、自然现象以及数学、物理、化学、天文、地质、地理、动物学、植物学、药理学、生理学、水利学、医学、电学和机械学等。在工艺技术方

^① 王杨宗:《〈格致汇编〉之中国编辑者考》,台湾《大陆杂志》第88卷(1994年)第6期。

面,介绍了蒸汽机、钻地机、纺织机、印刷机、榨油机、打字机、照相机、幻灯机、制糖、制陶、制皮革、造砖、造啤酒、造汽水、造桥梁、造水泥以及炮船、开矿、火车、铁路、电灯、电话、电报等方面的知识。此外,还有人物传记、科技史料、算术奇题和广告等。不少文章配有插图、肖像,使刊物图文并茂、生动有趣。

《格致汇编》从1876年创刊到1892年底停刊,前后十六年,共出版七卷60期,对中国近代科学,特别是近代化学的建立和化学教育的发展,起了推动作用。

第四节 《亚泉杂志》上的化学论文

《亚泉杂志》为杜亚泉所创办。杜亚泉,原名炜孙,字秋帆,别号亚泉。清同治十二年九月十四日(1873年11月3日)生于绍兴仓塘(今上虞县)。因清政府腐败,杜亚泉无意科举,专力数理化和博物之学。光绪二十六年(1900年)杜亚泉到上海创办亚泉书馆,编辑《亚泉杂志》,传播理化知识,介绍外国先进科学技术。

《亚泉杂志》是中国人自办的第一个自然科学期刊。该刊由上海亚泉学馆编辑出版,基本上是半月刊。每期十六页,论文六七篇,其中有一部分是译文,设有“算学问答”和“化学问题”等专栏。

《亚泉杂志》从1900年创刊到1901年停刊,共出刊十期、载文四十篇,其中化学二十四篇,数学五篇,物理四篇,其他如博物、火山、地震、养蚕等共七篇。由此看出,《亚泉杂志》虽为综合性的自然科学期刊,但化学内容却占了三分之二,在介绍化学知识和化学理论方面起了不小的作用。《亚泉杂志》发表的二十四篇化学论文简况见表12-2。

表 12-2 《亚泉杂志》发表二十四篇化学论文概况

题 目	期	作 者	主 要 内 容
化学原质新表	1	杜亚泉	七十六种元素名称及原子量
质点论	1—2	杜亚泉	原子·分子说
钙之制法及质性	1	杜亚泉	
麻布洗濯法	1	杜亚泉	
木器塞漏法	1	杜亚泉	用猪油、食盐、蜡之混合物
天气预报器	1	杜亚泉	用化学药品
考察金石表	1	杜亚泉	化学分析
食物标准及食物化分表	2	杜亚泉译	
配合各种玻璃材料方	2	杜亚泉	
显影药水方	2	杜亚泉	
昨年化学界	3 4	王琴希译	
橡皮及格搭伯查之代用物	3	王琴希译	
化学理论	3	杜亚泉	气体性质
化学奇观	3	杜亚泉	氢气性质试验
定性分析	4—10	杜亚泉译	
显影新方	4	工艺学堂教习 陆、赵	
化学周期律	6	虞和钦译	
述铈、钷、钷之性情	7	杜亚泉	即铈、镓、锗
铍即镨考	7	杜亚泉	
论氩	8	杜亚泉	即氩
论歇留谟	8	杜亚泉	溶解现象的解释
论物质之溶和	9	杜亚泉	
自来火工艺	9	杜亚泉	
防腐及贮藏法	10	杜亚泉	

《亚泉杂志》刊出的四十篇文章中，除五篇是外来稿，其余三十五篇全是由《亚泉杂志》主编杜亚泉撰写或翻译的。在翻译稿中，除一篇译自英文外，余都是译自日文。

《亚泉杂志》在介绍化学知识和化学理论方面有两点特别值得称道：一是最早在我国介绍了元素周期律；二是及时介绍了当时世界上新发现的化学元素。

门捷列夫发现元素周期律,发表于1869年。我国学者虞和钦1899年从日文译出《化学周期律》,在1901年第六期《亚泉杂志》上发表,共分“原质之天然分类”、“周期律表”、“各周期原质之关节”、“各属原质之关节”和“据周期律发明之学理”五个部分,对元素周期律的发现、排列、各元素及周期之间的关系等作了较详细的介绍。这是我国最早介绍元素周期律的文章。

《亚泉杂志》还对1870年至1900年间发现的重要化学元素首次在我国作了介绍,并为以前所知的六十四种元素以外的十几种元素命以中文名,其中氩、铍、镆、钷、铊、镱等六种元素的中文译名一直沿用至今。

在《亚泉杂志》第八期上发表了《论氩》及《论歇榴漠(即氦)》。对氩和氦这两种新发现元素的性质、制备方法等作了介绍。

在《亚泉杂志》第三—四期上刊登了王琴希所译日本《物理学杂志》中《去年化学界》一文,其中以“发光(放射性)原质”为标题对钋、镭两种放射性元素作了介绍。1898年法国化学家和物理学家玛丽·居里和比埃尔·居里发现了放射性元素钋和镭,而两年不到,1900年在《亚泉杂志》上就及时地作了报道。

第五节 化学命名法的制订

西方近代化学传入中国,主要方式是翻译近代化学书籍。而在翻译过程中遇到的最大困难就是化学元素、名词和术语无现成的文字或词语可用,这就要靠翻译人员自己创造。但每个人造字的原则和方式不同,使化学名词和术语混乱。因此制订统一合理的化学命名法,对近代化学的传入和传播是至关重要的。

十九世纪后期,我国南北(沪京)两地译书所用的名词有很大不

同,曾有两套元素名称。北方同文馆 1882 年出版的《化学阐原》是由法国人毕利干(M. A. Billeguin)口译,承霖和王钟笔述的。书中所用元素名称是根据元素的特性来造的字,例如 Mn 为“饜”,Ca 为“铈”,Mg 为“镞”等。用这些笔划复杂、奇形怪状的方块字来表达元素名称困难很大,不易推广,因而很快就被淘汰了。而上海江南制造局翻译的书是用徐寿创造的新化学名词。徐寿采用音译的方法,巧妙地借用西文读音的第一音节仿造新字,为我国化学命名法奠定了基础。这是徐寿的重要贡献之一。

1871 年由江南制造局出版的《化学鉴原》是徐寿和傅兰雅翻译的我国第一本系统地介绍西方近代化学的译著。书中主要包含普通化学的基本原理和重要元素的基本性质。该书影响大,流传广,译文流畅,名词厘定比较合理。书中附有六十四种化学元素的译名表。这是我国有系统的化学命名的开始。

徐寿在《化学鉴原》一书的第一卷第二十九节“华字命名”中阐述了他首创化学译名的命名原则,现摘引如下:

西国质名字多音繁,翻译华文,不能尽叶,今惟以一字为原质(即元素)之名……原质之名,中华古昔已有者仍之,如金、银、铜、铁、锡、汞、硫、磷、炭是也;白铅一物,亦名倭铅,仍古无今有,名从双字,不宜用于杂质(化合物),故译西音作铍。昔人所译而合宜者亦仍之,如氧气、淡气、轻气是也。昔书杂质,则原质名概从单字,故白金亦昔人所译,今改作铂。此外,尚有数十品皆为从古所未知,或虽有其物,而名仍阙如,而西书赅备无遗,译其意殊难简括,全译其音,苦于繁冗,今取罗马文之音首,译一华字,首音不合,则用次音,并加偏旁以别其类,而读仍本音。

徐寿的这些译名原则,得到后人的承认和推广,在他的译著中六十五个化学元素的译名,其中有三十六个元素译名一直沿用至今,它们是:钾、钠、钙、镁、铝、锰、锌、溴、碘、钡、铋、镉、钴、铬、铊、铀、铍、

铝、铌、镍、钡、铂、铷、钇、硒、铽、碲、钿、铀、锑、钒、钨、镓、锆、铊、锂。

我国近代著名学者梁启超对徐寿翻译书中所用的化学名词及译书水平大加赞赏,而对翻译不好,所译化学名词不佳的书也予以批评。他指出:

上海江南制造局翻译的《化学鉴原》、《续编》、《补编》、《化学考质》、《化学求数》……译出之化学书最有条理者也。而广东所译《化学初阶》笔甚劣,几难索解,可不读。《化学指南》、《化学阐原》所定名如鑽、鍍(锌)等类,皆杜撰可笑。制造局之取罗马字母第一而加金石傍,以示识别,其精审不逮远矣。《阐原》等书译在《鉴原》之后,乃不从其所定名,以致不可读,亦译者之陋也。^①

除了上述徐寿对化学命名的开拓性贡献外,在他之后还有杜亚泉、虞和钦、俞同奎、郑贞文、吴承洛、曾昭抡等人对化学命名法的制定也作出了重要贡献。

杜亚泉在《亚泉杂志》上首次系统地介绍了当时世界上新发现的化学元素,如氩、氦、镭、钋等,并为以前所知的六十四种元素以外的十一种元素命名。

虞和钦的主要贡献,是在我国首先提出了制定有机化合物系统命名法。无机物质比较简单,命名也比较容易。有机物的结构比较复杂,种类也比较多,对其进行命名也就更为困难。虞和钦在光绪三十四年(1908年)写了一本《有机化学命名草案》。他没有造一个新汉字,而是把重要的有机物用译义的方法予以命名。例如 Hyoscyamus 中含有碱(即碱)质 $C_{17}H_{23}NO_3$, 译为闹羊花碱; Salicylic acid 译为水杨酸等。虞氏提出的有机物质的命名原则当时在王兼善、恽福森等人的书中曾采用过。但后来就不用了。

1904年,俞同奎(1876—1962年)公派赴英留学。他和在欧洲留

^① 梁启超:《读西书法》,光绪丙申(1896年)冬十二月。

学的李景镛、吴匡时、陈传瑚等联合发起,于1907年在法国巴黎成立于中国化学会欧洲支会。次年在伦敦召开年会时决定编辑出版英华、法华、德华词典。为编好词典,首先决定元素、无机化合物和有机化合物的命名方法。俞同奎等人根据化合物的性质,音译确定了中文化学名词的命名和统一的几种方案,所编写的化学名词手稿达两千多页。回国后又负责化学名词的审定工作,他为我国化学名词的命名奠定了基础。

以上几位近代化学家对化学名词的命名都提出了一些命名草案,因有些译法不很成熟,未能广泛推行。后来,郑贞文(1891—1969年)对化学名词的命名做了较系统的研究。他研究了许多结构已定且有代表性的化合物,拟定了一百多条命名原则,以中国原有文字为主,根据中文特点另创新字。在他所著的《无机化学命名草案》中,除继承徐寿所定的部分命名外,还有所发展。他按照元素的物理状态,将气态元素加“气”字头,液态元素加“氵”部首,非金属元素加“石”字旁,金属元素加“金”字旁,以示区别。他还针对有机化合物名词复杂、译音冗长的特点,摒弃了单纯音译的方式,以自创新字为原则,选用“艹”、“火”、“酉”、“月”等部首。这种方法可以拼成成千上万种有机化合物所用的化学名词,将错综复杂的外国有机化学名词译成统一的中文用语。

1932年,南京国民政府成立编译馆。该馆下设化学名词审查委员会,由教育部聘郑贞文为主任委员,负责起草化学译名草案。他根据自己多年对化学译名的研究成果,写成了《化学命名原则(草案)》,于1932年8月在南京召开化学讨论会上进行讨论修订。同年11月由教育部公布实施。《原则》成了我国化学名词命名的准则,后来虽经过部分修改,但其中基本内容至今还在使用。郑贞文等为中文化学命名做出了突出贡献,为近代化学传入中国奠定了良好的基础。

第十三章 近代化学的奠基

鸦片战争前后,近代化学开始传入中国,近代化学教育也随之在中国兴起。

第一节 近代化学教育

一、近代化学教育的肇始

最早在中国开设化学课的学堂是马礼逊学堂,是马礼逊教育会为纪念英国传教士马礼逊(Roberr Morrison, 1872—1834年),于1839年11月4日在澳门创办的,是我国第一所教会学校,1842年迁至香港。该校开设的课程,除中文外,有算术、代数、几何、生理学、地理、历史和英文等,还曾开设过化学课^①。因此可以说,中国近代化学教育的萌芽,始于十九世纪四十年代。

同治四年(1865年),清政府在上海设立江南制造局,制造枪炮弹药。为了培养当时所需要的技术人才,在创建初期即附设

^① 陈学恂主编:《中国近代教育大事记》,上海教育出版社1981年版,第2页。

机器学堂,讲授有关制造方面的科学,化学是当时讲授的科目之一^①。因此也可以说,中国的近代化学教育开始于十九世纪六十年代。

1898年,江南制造局成立了工艺学堂。该学堂的章程中记载:“拟请仿照日本大阪工业学校章程,设立化学、机器两科。一专教分化物质诸理法,一专教重力汽热诸理法,……。”“局内熟悉化学机器等学者尚不乏人:算学则有华守衡芳,化学则有徐丞华封,工艺则有王牧世授,绘图则有杨县丞渐逵,机器则有从九备钰;拟令分同教授。”上面提到的化学教师徐华封是徐寿的三子。他不仅讲授化学知识,还做化学演示。

清政府于同治元年(1862年)在北京成立的京师同文馆,初期是洋务派培养翻译人才的外语学校,开设英、法、德、俄等语种。同治五年(1867年)相继成立了天文、格致、化学、医学等馆,并开设了数学、物理、化学等课程,对学生进行西方近代科学的教育。

光绪二年(1876年),同文馆公布了八年课程表与五年课程表^②。用八年课程表者,前三年学外语,第七年学化学。用五年课程表者,不学外语,靠翻译的书授课,第三年学化学。当时所用的化学教材有四种:一是由总教习丁韪良著的《格致入门》中的《化学入门》一册;二是化学教习毕利干译的《化学指南》,内容是无机化学;三是毕利干译,化学副教习承霖和王钟祥助译的《化学阐原》,内容为定性分析;四是化学教习施德明口译、副教习王钟祥笔述的《分化津梁》,内容是分析化学。

先后在同文馆授课的教师有五人,其中三个是外国人,两个是中国人。第一个到同文馆讲授化学的是法国人毕利干(M. A. Bil-

① 戴安邦:《近代中国化学教育之进展》,《化学》第9卷(1945年)第1期。

② 朱有璩主编:《中国近代学制史料》第1辑(上册),华东师范大学出版社1983年版,第73页。

leguin, 1837—1894年)。他于1871年到馆授课,至1893年回欧,任教长达二十二年。他讲授化学,引起了学生学习化学的兴趣。由于他讲课认真、勤奋,从而得到清政府的嘉奖。第二个是1879年任课的英国人欧礼斐(C. H. Oliver)。第三个是1890年任课的德国人施德明(Dr. Carl Stuhlman)。两个中国教师,一个是1879年任课的化学副教习承霖,另一个是1887—1898年任化学副教习的王钟祥。这两个中国人都是在同文馆学习、在光绪五年(1878年)化学班大考成绩名列前茅者。

同文馆化学考试的内容是有关化学的基本知识,例如水的化学组成,无机物的分离、分析、制备、用途,定性分析和定量分析,酸、碱、煤、贵金属在工业上的应用等。

1876年,同文馆还设立了化学实验馆,学生不但学习化学知识,还做化学实验。可见,同文馆是我国早期进行化学教育的一所重要学校。

在上海的格致书院也是进行化学教育较早的学堂之一。格致书院的主讲授课人和主事人中,以徐寿和傅兰雅最为热心。徐寿主讲化学,介绍西方近代化学知识,刻苦勤奋,不遗余力。

还有一个讲授化学的任课教师叫栾学谦。他曾写过一篇《格致书院教演化学记》^①的文章,详细记载了他在格致书院讲授化学的情况。他用的课本是《化学鉴原》。他在文章中写道:

中国于化学一书,近年以来,已译多种。有志西学者,每涉猎及之,惜多浮华,仅知皮毛,不求甚解。间或有一二笃学之士,能自通晓者,然未躬亲尝试,终成隔膜。近日志是学者,颇不乏人。……余于此学,本一知半解。因见书院肄业诸友,多有好此者,故

^① 张准(子高):《三十年前吾国科学教育之一斑》,《科学》第8卷(1924年)第4期。

不揣故陋,于今开院以来,每于星期一前夕,教讲《化学鉴原》数篇。奈书首多属化学条段,理颇深奥,听者味同嚼蜡。然习化学,不能越此而进,不得不逐段讲解。凡阅数夕,始竟其业。虽学未能多得旨趣,犹冀此书讲完再复前卷,而得豁然贯通。

及讲二卷,始而养气,继而氢气,皆论实质实事,学者易于明晓。次后为之试验三次。初试养气,以钾养绿养与锰养粉(当时叫无名异)等分。相和研细,置于铜壶内(就地新制者),烧煇,取得养气。盛于藏气筒,换以玻璃瓶,燃烛入瓶验之,烛极亮。

格致书院除讲授近代科学知识、做实验演示外,还组织考课,即论文竞赛。首次化学考课,是由北洋大臣李鸿章命题:

(1)问化学六十四原质中,多中国常有之物。译书者意趋简捷,创为形声之字以名之,转嫌杜撰。诸生宣究化学有年,能确指化学之某质即中国之某物,并详陈其中西之体用欤?

(2)问锻鍊金质,全视火候。西人将各物质试验,定为镨度,能一一详列欤? 电池必用两种金类,一阴一阳,方能生电。有同一金质与彼金相较则为阴,与此金较则又为阳,西人因列金质十数种,按序推排,任取两种,皆成阴阳,绝不淆乱。能详其说并列表以明之欤?①

首次考课,有五名考生获奖,其中第一名为广东大埔县秀才杨毓辉②。他在第一题中详细阐明了六十四种元素的性质、用途及其化合物,考究了西方化学名称与中国名称的对照,如化学中之锌,即中国之白铅,化学中之锰,即中国之白铁,“钾养淡养五”(硝酸钾),即中国之火硝,“钙养硫养三”(硫酸钙),即中国之石膏,“铈养”(氧化砷),即中国之砒霜……。在第二题的答案中,阐明了金、银、铜、铁等十种金属的矿物形态和冶炼方法,并从电流、电池的发现史,说明电化原

①② 王韬:《格致书院课艺》,上海格致书院印。

理和电位序等。杨毓辉在答卷中将中西化学融会贯通,分析透彻,受到李鸿章和王韬等人的赞赏。

格致书院举办第二次化学论文竞赛的内容,涉及无机化学、物理化学、电化学、结晶化学等领域,十四篇获奖论文计四万三千多字。

在山东登州的文会馆也进行了化学教育。山东登州文会馆的前身是美国传教士狄考文(C. W. Mateer, 1836—1908年)于1864年创办的养蒙学堂,1876年改名“登州文会馆”。该馆第五、六年学习无机化学和分析化学,采用江南制造局译书为教材。狄考文自编有《理化实验》,并于1872年建了一个简陋的理化实验室。他的一名学生丁育潢学习理化仪器制造后,于1910年在济南创办了我国第一个理化器械制造所——山东理化器械制造所。^①

天津的中西学堂,成立于1895年,分头等学堂(大学本科)和二等学堂(大学预科),学制均为四年。头等学堂在第二、三年学习化学。第一年学完后由总办、总教习察看学生资质,再酌定是否继续学完四年课程或专习工程学、电学、矿物学和机械学之一。其中矿物学必修化学。^②

此外,在十九世纪六十至九十年代成立的上海广方言馆、广州同文馆、厦门博文书院、宁波格致书院、杭州求是书院和苏州博文书院等,也都开设了化学课。

早期的化学教育,一般都讲授普通化学知识,教科书大都是根据西方化学原著的译书,教师也多为西人担任。

① 张汇文:《一所早期的教会学校——登州文会馆》,《文史资料选辑》(上海)1978年第2辑,上海人民出版社1979年版,第128页。

② 王祖陶:《中国近代学制变革与早期化学教育的发展》,《化学通报》1987年,第1期。

二、近代化学教育的勃兴

(一) 近代学制的变革与化学教育

光绪二十八年(1902年),管学大臣张百熙主持制定了一套学堂章程上奏,经清政府批准,于光绪二十九年(1903年)颁布,称为《奏定学堂章程》。因1903年是癸卯年,故一般称为“癸卯学制”。该章程是我国第一次以政府名义规定的完整学制,它包括从小学到大学的各级学堂学习年限。章程以制度形式规定了化学作为各级学堂的必修科目,例如高等小学堂第二、三年级接触化学,中学堂在第五年教授化学,每周四小时,先讲无机化学中重要原质及其化合物,再讲有机化学之初步及重要有机物。

大学堂分若干科(相当于后来的学院),科下面分若干门(相当于后来的系)。其中格致科化学门的主要科目有:无机化学、有机化学、分析化学、应用化学、理论及物理化学、化学平衡论和化学实验等。工科应用化学门的主要科目,除无机化学和有机化学与格致科化学门相同外,还增设了化学史、制造化学、冶金学、矿物学、电气化学、化学分析实验、工业分析实验、制造化学实验、试金术及试金化学等。

此外,农业科的农业化学门、林学门,医药科的医学门、药学门,都设有化学课程,如有机化学、分析化学、发酵化学、制药化学、卫生化学和生理化学等。

癸卯学制颁布后,结束了中国两千多年来沿袭的封建教育制度,把欧美新学制引入了中国,促进了近代教育的发展。由于把化学列为各级学校的必修课程,从而也促进了化学教育在中国的普及和发展。

癸卯学制虽然在中国教育史上起了重要作用,但由于师资缺乏、办学经费困难、仪器设备条件差等原因,有些规定难以实现。加之当时办学的目的是为了培养“通才”,即培养行政官吏,因而此学制还不

能适应社会发展的需要。

1911年,爆发了辛亥革命,推翻了清王朝的封建统治,建立了中华民国。1912年,著名教育家蔡元培担任临时政府教育总长。教育部参考美国学制,于1922年(壬戌年)颁布了新的教育制度——“壬戌学制”。该学制颁布后,使中国的教育事业进入了一个稳定发展的阶段,化学教育也随之发展壮大,教育水平和实验教学不断提高。一批高等学校陆续成立了化学系。除北京大学(1919年废门改系)、南开大学(1921年,系主任邱宗岳)、厦门大学(1921年,系主任刘树杞)外,较早建立化学系的学校有东南大学(1922年,系主任孙洪芬)、中山大学(1924年,系主任康辛元)、清华大学(1926年,系主任杨光弼)、四川大学(1926年,系主任曾济实)、浙江大学(1928年,系主任程瀛章)、武汉大学(1928年,系主任王星拱)、山东大学(1930年,系主任汤腾汉)等。

(二)我国最早的化学系和化工系

1. 我国第一个化学系——北京大学化学系

北京大学的前身是1898年成立的京师大学堂。化学系的前身是1910年成立的格致科化学门。1919年北京大学废门改系,化学门改称“化学系”。首任系主任是俞同奎(1876—1962年,浙江德清人)。他是1902年考入京师大学堂的头班生,1904年被学校派往英国利物浦大学攻读化学,1910年获硕士学位后回校任教。1914年学校成立教科书编委会,俞同奎任化学教科书主编,主持编写了《无机化学》、《有机化学》、《物理化学》、《分析化学》和《应用化学》。这是我国最早的一批大学化学教材。

1920年,俞同奎调往北京工业学校任校长,由王星拱和丁绪贤先后接任系主任。其间在北京大学化学系任教的还有任鸿隽、吴匡时、王兼善、郭世绂、陈世璋、李麟玉等教授。他们是早期留学回国后,为创建我国大学化学教育事业而作出贡献的老一辈化学家。

1923—1924 年度北京大学化学系所设课程有：普通化学及普通化学实验；有机化学及有机化学实验；定性分析及定性分析实验；定量分析及定量分析实验；物理化学及物理化学实验；高等无机化学；高等有机化学；高等分析化学；高等物理化学；应用化学；化学工程大意；胶体化学；电化学；试金学；金组学；冶金化学；燃料及抗火物燃烧之化学；法化学；药化学；化学史；化学之最近进步。^①

二十年代，北京大学化学系的教学，既讲化学知识，又做化学实验；既学习化学的最新进展，又学习化学史。把化学史课程列入教学内容，是我国化学史家丁绪贤(1885—1987 年)的创举。他讲授化学史课程，又开展化学史研究，并于 1925 年出版了我国第一部化学史专著——《化学史通考》，为我国化学史的研究和教学奠定了基础。

1931 年秋，曾昭抡(1899—1967 年)应聘到北京大学任化学系主任。同年，北京大学设立“研究教授”职称，在国内外著名学者中聘用。化学方面被聘为“研究教授”的有刘树杞(1890—1935 年)和曾昭抡。

为了提高教学质量、改革教学方法，曾昭抡主持制定了《化学系课程指导书》^②。对招生宗旨、培养目标、课程设置、考试办法、毕业论文等，都作了具体和明确的规定。例如招收学生，“以宁缺毋滥为宗旨”；培养目标为具有“专门研究技能之化学人才”；考试采取“绝对严格办法”；毕业生研究论文为“绝对重要之课程，……不及格者不得毕业”。化学系学生做毕业论文开始于 1934 年，是曾昭抡首创。

化学系重视提高教学质量，基础课由著名教授讲授。他们选用的教材，一部分是欧美出版的最新名著，一部分是由本系教授自己编写的讲义。在教学方法上，强调培养学生的实验技能和独立思考能力。在教师中还形成了浓厚的研究气氛，取得了较好的研究成果。

^① 北京大学 25 周年纪念编印，《国立北京大学概略》，1923 年 12 月 11 日。

^② 《国立北京大学化学系课程指导书》，民国 26 年，北京大学图书馆藏。

刘树杞在制革和电解方面进行了一系列研究。他是我国研究熔盐电解制备金属钨的先驱。他根据哈特曼(Hartmann)的研究结果,指导其学生系统探求各种电解参数对电流效率和产品纯度等的相互关系,获得了熔盐电解制钨的最佳条件。这一成果于1934年在《美国电化学学会会志》上发表后,曾先后被中、美、英、苏等国科学家在写专著时引用。曾昭抡在无机化合物制备、有机卤化物制备、分子结构、有机理论等方面,做了一系列研究。黄子卿的《压力对碱性介质中铁粉钝性的影响》、钱思亮的《氯化氢对重氮庚烷的作用》和孙承谔的《乙烯加氢的理论考察》等论文,也受到国内外化学界的重视。

2. 我国第一个化工系——浙江大学化工系

浙江大学的前身,最早是1897年在杭州创建的求是书院。后几度易名,于1928年改称“国立浙江大学”。李寿恒于1927年调到该校任教后,创立了我国高等学校中的第一个化学工程系,并前后担任系主任达二十余年。

在建系初期,李寿恒聘请王钧豪、朱吴飞、徐名材、赵廷炳、胡安恺等学有专长的化学教授到系任教,形成了实力雄厚的教师队伍。

化工系在教材选用、课程建设和实验室建设上,瞄准了世界先进水平。

对“化工原理”这门重要的基础课,一开始就采用美国大学使用的《化工原理》教材。

在课程设置上,1930年浙江大学化工系的课程与美国同类大学大体相同。除化工原理外,主要课程有:物理、化学、高等无机化学、高等有机化学、高等分析化学、工业化学、物理化学、热机、电机、制革、制纸、英文、德文等。此外,还开设了不少实验、实习、练习方面的课程,如物理练习、化学练习、有机化学实习、工业化学实习、电工实习、热工实习、制革实习等。

在实验室建设上,1930年化工系已建立了无机、有机、分析、物化、工业分析、工业化学实验室,还与有关化工厂合作,办起了制皂厂、制革厂、油脂厂等小化工厂,作为学生实验教学的基地。1936年,该系还从美国购买了一套双效蒸发器,当时在国内仅此一家。同时还添置了压滤机、炉窑、白金坩埚等实验设备,为提高教学质量和开展研究工作奠定了基础。

抗日战争爆发后,浙江大学化工系随学校于1937年9月迁至贵州遵义。在办学条件非常困难的情况下,仍坚持教学和科研工作。特别是李寿恒于1937年开始招研究生,是我国化工学科中最早带研究生的导师。

1941年8月,浙江大学化学工程研究所在遵义成立。这是我国高等学校中成立最早的化工研究机构,李寿恒为首任所长。该所除肩负培养研究生的任务外,还开展科研工作。李寿恒与青年教师李盘生、赵善成曾进行了“木油的热压分解”和“遵义白土活性化试验”的研究。

抗战胜利后,浙江大学于1947年7月返回杭州,化工系的教学工作很快走上正规。8月,李寿恒被任命为教务长。9月,在第八期《化工通讯》上发表了他写的《化工教育标准与本系课程》的文章。李寿恒在该文中分析了美国大学化工系教育和浙江大学化工系教育的状况,为化工系的进一步发展指明了方向。

1927年第一个化工系的创建,在中国化学教育史上开创了新纪元。同年稍后,国立第四中山大学(后改名中央大学)亦成立了化学工程系,首届系主任曾昭抡。1932年,南开大学成立了化学工程系,首届系主任张克忠。之后,中山大学、北洋大学、四川大学、东北大学、清华大学、湖南大学、广西大学、江南大学、东吴大学等陆续设置了化工系。到1949年,全国各综合大学和工科院校中设置化工系的有近三十所。

(三) 西南联合大学化学系、化工系

1937年7月,抗日战争爆发。北京大学、清华大学和南开大学的一批教师和学生汇集到湖南长沙,成立了国立长沙临时大学。不久,长沙遭到日军轰炸。1938年1月,国民政府教育部决定将长沙临时大学迁往昆明。2月中旬分步行和乘车两路搬迁。经过长途跋涉,师生于1938年4月28日抵达昆明,国立长沙临时大学改名为“国立西南联合大学”(简称“西南联大”)。

西南联合大学于5月4日开始上课。全校有五个院和二十六系,其中理学院化学系主任是杨石先,工学院化学工程系主任是张克忠。

西南联大化学系由北京大学、清华大学和南开大学三校化学系的著名教授从事教学工作,例如杨石先讲授有机化学和药物化学,曾昭抡讲授有机工业化学、无机工业化学、立体化学和国防化学,钱思亮讲授普通化学和定性分析化学,黄子卿讲授物理化学,高崇熙讲授定量分析化学等。

在实验室条件很差的情况下,学生仍克服困难做实验。做有机化学实验时没有电炉,就自制泥炉烧木炭代替;做分析化学实验时没有蒸馏水,就把井水煮沸过滤后代替。

除在学校上课和做实验外,曾昭抡还常带领学生去化工厂、兵工厂和个旧锡矿等地接触实际,扩大知识面。

有些教师除教学工作外,还在困难条件下开展了一些研究工作。例如,曾昭抡与孙承谔、李世璠等人合作,从事脂肪酸熔点的计算和原子半径与沸点、密度、临界温度关系的研究;杨石先从事药物化学的研究;钱思亮从事关于取代基对酚杀虫能力影响的研究;朱汝华关于二氢化萘等方面研究,取得了一些成果。

在战时极其艰苦的条件下,西南联大师生认真教学,刻苦学习,造就了不少杰出人才。他们是:杨石先、曾昭抡、黄鸣龙、黄子卿、张青

莲、张大煜、蒋明谦、唐敖庆、汪德熙、高振衡、何炳林、陈茹玉、申泮文、邹承鲁、钮经义、曹本熹、朱亚杰、张滂、萧伦、钱思亮等。

(四) 延安自然科学学院化学系、化工系

延安自然科学学院于1940年成立,先后由李富春、徐特立、李强任院长,陈康白和恽子强任副院长。这是中国共产党在抗战期间为培养自然科学和经济建设人才而创设的一所新型大学。

1941年春,延安自然科学学院分设物理、化学、地矿和生物四个系。1942年物理系改为机械系,化学系改为化工系,生物系改为农业系,地矿系未变。李苏先后任化学和化工系主任。当时全院有三百多人,其中化工系有近百人。恽子强讲授普通化学,陈康白讲授有机化学,李苏讲授物理化学和分析化学。

学院建立了科学馆,馆内有化学实验室,可做定性、定量分析化学实验。这所学院的主要特点,是根据抗战需要进行教学和开展科研工作。

林华于1940—1945年在延安自然科学学院任教。为了解决边区人民和前方部队对各种器皿的需要,他用简陋的方法就地取材,研究生产出玻璃,同时创建了边区第一座年产针管十四万支、疫苗管四万支及各种玻璃器皿的玻璃厂。接着又组织师生对高炉耐火材料、工业用耐酸陶瓷等进行研究和生产,解决了当时炼铁、制酸和制药工业的需要。为此,林华在1944年陕甘宁第一次职工代表大会上荣获“劳动英雄”称号。

1944年,李苏研究和试制出黄色炸药(T. N. T.)到兵工厂生产,适应战时需要,受到了表彰。

1945年12月,延安自然科学学院撤离延安,到张家口与当地一个工业学校合并为晋察冀工业专科学校。延安自然科学学院化学和化工系曾为抗日根据地和新中国化学事业培养了一批人才。

第二节 近代化学研究

二十世纪上半叶的中国,由于国力薄弱、工业落后,开展科学研究的条件比较差。日本军国主义发动的侵华战争,又使中国人民蒙受了重大灾难,也使中国的化学研究受到严重挫折。但在困难的环境下,经过一代化学家的艰苦努力,化学各学科还是得到了一定的发展。三四十年代,一批学者留学欧、美,有的在国外从事化学研究,有的学成回国,从事化学教学与研究,为我国培养了一大批化学人才,为近代化学研究的发展做出了贡献,也为现代化学研究打下了基础。

一、近代化学研究的开端与发展

自鸦片战争前后西方化学传入中国后,中国化学学科的进步缓慢,当时出版的化学书籍多为译本,未见有研究论著发表。直到1914年中国科学社在美国成立,该社提倡学术研究,并于1915年创办了综合性学术刊物——《科学》,从此才出现有关化学方面的研究论著。这标志着我国近代化学研究的开端。

最早在《科学》上刊登的化学论文是有关化学元素命名和化学史方面的内容。在《科学》第一卷上发表的第一篇化学研究论文是任鸿隽的《化学元素命名说》(1915年)。通过实验手段完成的第一篇论文是胡嗣鸿的《以火蒸法于黄铜中取纯铜纯锌之索隐》^①。早期发表化学论文的还有曹元宇、韩祖康、王珽和经利彬等人。这期间比较重要

^① 《科学》第4卷(1918年),第216—237页。

的工作是有关中国化学史的研究和药物化学研究,尤以王璉的关于中国古钱币的分析和古代化学工艺的考证以及陈克恢(1924—1925年间)关于麻黄素药性的研究最为突出,受到西方学者的称赞,陈克恢也因此被美国人用重金聘去,继续研究。^①

1906年由英、美等国六个耶稣教会在华创办的华北协和医学校,1915年改名北京协和医学院,并由美国洛克菲勒基金会提供经费,开展生物化学和药物化学的教学、科研工作,使之成为在我国化学研究中起步最早、发展最快的两门学科。

1927年,国民政府在南京成立后,中国人自己办的研究机构和学校,在化学研究中占有重要地位。以当时的中央研究院化学研究所、北平研究院化学研究所、中央工业试验所化学组、地质调查所沁园燃料研究室以及北京大学、清华大学、中央大学、山东大学、中山大学和金陵大学等著名学府为中心,开展化学研究。各省也相继成立了一些研究机构,如山东工业试验所、湖南工业试验所、广东工业试验所和广西化学工业试验所等。在此期间化学研究气氛浓厚,一些学术团体,如中华化学工业会、中国化学会和中国化学工程学会的成立,促进了学术交流,活跃了学术空气,中国的化学研究得到了长足的进步,发表的研究论文数量大为增加,研究水平有明显提高。

1937年日本发动侵华战争后,中国的科研工作受到破坏,一些研究机构被迫迁移,化学研究也只能是因地制宜地开展,例如只能进行一些矿物分析、炸药制备、药物研究等。另一方面,为了满足战时需要,克服进口石油的不足,也进行了一些石油代用品的研究。

^① 曾昭抡:《二十年来中国化学之进展》,《科学》第19卷(1935年)第10期。

二、近代化学各学科研究概况和主要成果

(一) 无机化学研究

近代无机化学的研究相对于其他学科而言发展比较缓慢。在理论方面,主要涉及的研究领域有配位化学、同位素化学、无机化合物的制备方法和溶解与吸附研究。在1949年前,有关稀土元素和有色金属方面的研究几乎是空白。在应用方面,主要包括无机原料研究、瓷器与玻璃的制造等。到中华人民共和国成立前共发表无机化学研究论文约一百多篇。

1. 无机化学理论方面的研究

(1) 配位(络合物)化学

高崇熙、张青莲1933年发表的《五种硒酸盐新络合物的合成》,是我国络合物化学研究的第一篇论文^①。刘为涛、王世模1934年研究了5-氨-水合钴等与硫酸生成的配合物,并指出不同的硫酸浓度,成平衡的配位化合物的组成也不同^②。戴安邦等1936年研究了酒石酸铜在氢氧化钠溶液中的氧化和导电性质^③;1940年对六水合铝离子进行研究,认为在pH较高的溶液中,可得到6-羟基合铝离子,而此羟基极易被氟离子替代。^④

董若蘊、章鹤龄1942年研究了硼酸和多羟基化合物的相互作

① 《科学家传记大辞典》编辑组:《中国现代科学家传记》(第5集)科学出版社1994年版,第236页。

② 刘为涛、王世模:《45℃时硫酸钴合-水-5氨在硫酸溶液内平衡之研究》,《北平研究院化学研究所丛刊》第1卷(1934年),第49页。

③ 戴安邦、郭俊铎:《酒石酸铜在氢氧化钠溶液内之数种性质》,《金陵学报》第6卷(1936年),第49—52页。

④ 戴安邦:《氢氧化铝水溶胶与碱式氯化铝溶液内羟基之置换作用》,《中国化学会会志》第7卷(1940年),第129—137页。

用,得到了二者生成的细针状配合物,并且导出了计算硼酸溶液中加入多羟基化合物后的 $[H^+]$ 和 pH 值的公式^①:

$$[H^+] = \sqrt{K_1 C^{(1+K_2 a^n)}}$$
$$pH = -\frac{1}{2} \log [K_1 C^{(1+K_2 a^n)}]$$

式中 C 为硼酸的浓度, a 为多羟基化合物的浓度; K_1 为硼酸的游离常数, K_2 为配合物的生成常数, n 为配位数(上述两式中 n 为 2)。

(2) 放射性元素和同位素化学

郑大章是居里夫人的第一个中国学生,也是我国最早进行放射化学研究(1931年)的学者。他于1934年回国后对钋、铀、镭等放射性元素,进行了一系列研究,并测定了北平西山温泉中氡的含量。^②

中国最早研究核化学的是卢嘉锡。他于1937年赴英国伦敦大学进行人造放射性研究,1939年发表了《放射性卤素的化学浓集法》的博士论文,成为首次成功地分离出放射性高度浓缩物的化学家。^③

我国最早研究同位素化学的是张青莲。他于1934年赴德国柏林大学研究重水,1935年发表了《重水的临界温度》,1936年发表了《重水的研究》的博士论文。同年首次提出了地球上重水和重氧水的分布理论^④。张青莲等还对盐类在重水中的溶解度进行过许多研究,测得了硝酸亚铈在重水中的溶解度,以及25℃时多种钾盐在不同比例的重水与水的混合溶液中的溶解度。NaCl在25℃时溶于 $D_2O - H_2O$

① 董若蘊、章鹤龄:《硼酸与多羟基化合物生成络合物之研究》,《中国化学会会志》第9卷(1942年),第125—133页。

② 《中国化学会五十年》编辑委员会:《中国化学五十年》,科学出版社1985年版,第313页。

③ 《科学家传记大辞典》编辑组:《中国现代科学家传记》(第1集)科学出版社1991年版,第240页。

④ 《科学家传记大辞典》编辑组:《中国现代科学家传记》(第5集)科学出版社1994年版,第237页。

混合液中的溶解度可用一线性方程 $s = 6.145 - 0.334n$ 来表示, 式中 n 为 D_2O ($d_4^{20} = 1.10496$) 在混合水中的克分子分数。

(3) 无机化合物的制备方法

这方面的研究在 1949 年前只是停留在实验阶段, 没有形成化学试剂的规模化生产。高崇熙 1925 年通过八种试验方法, 打破了前人“不能在水中合成 Se_2Cl_2 ”的结论; 在 70% 水体系中制备出产率为 90% 的纯 Se_2Cl_2 , 得到无机化学界的好评^①。李续祖、龚文昌 1937 年用 68% 浓度的硝酸与重铬酸钾来制备铬酸, 所得铬酸品质纯洁, 适合于镀铬用^②。曾昭抡、胡美等 1935 年提出了制备氯化砷、三溴化磷、氢溴酸和溴化汞的方法, 研究成果刊登在《北京大学自然科学季刊》上。张洪沅、张德惠等人 1936 年研究了以钒为催化剂制备硫酸的方法^③。吴学周、柳大纲 1936 年从乙醚溶液中制得了品质纯净的氯化锌^④。郑大章 1935 年在《北平研究院物理学研究所丛刊》上发表了用电解法制备氧化镭薄层的方法。郑大章、杨承宗还研究了钋的提取方法。彭光钦、金顺成 1947 年找出了制备氯化铝的最佳反应条件。

(4) 溶解与吸附研究

张江树等人 1934 年研究了铜在浓盐酸中的溶解作用, 氯化亚铜在浓盐酸和在氯化氢的乙醇溶液中的溶解度, 指出了溶解的原因, 认为前者是生成 $CuCl_3^{-2}$ 而溶解, 后者是因生成 $CuCl_2^{-1}$ 而溶解^⑤。李方

① 中国科学技术协会:《中国科学技术专家传略》(理学编·化学卷 1), 中国科学技术出版社 1993 年版, 第 266 页。

② 李续祖、龚文昌:《铬酸之制备与镀铬》,《北京大学理科报告》第 2 卷(1937 年), 第 1—13 页。

③ 张洪沅、张德惠:《钒钨媒剂硫酸制造反应速率之研究》,《化学工程》第 3 卷(1936 年), 第 315—324 页。

④ 吴学周、柳大纲:《氯化锌和氯化镉的制备》,《中国化学会会志》第 4 卷(1936 年), 第 518—521 页。

⑤ 张江树、刘言明:《氯化亚铜在浓盐酸中之溶解度》,《中国化学会会志》第 2 卷(1934 年), 第 298—310 页。

训等 1936 年研究了温度在 15—45℃ 时碘在氢溴酸溶液中的溶解度,说明碘和氢溴酸相互作用因生成多卤化合物 HBrI_2 而溶解^①。高崇熙、张青莲研究了硒酸铜的溶解度^②。金松寿 1952 年总结了盐类溶解度的规律,认为影响盐类溶解度的因素是多方面的,盐类离子的复杂性及价式、含结晶水的多少及离子的水化力均能影响该盐的溶解度温度系数,并主张用克分子溶解度和温度绘成溶解度曲线,这样规律性可看得更明显一些。蔡骝生 1935 年对溶液的吸附现象进行了研究。他分别以活性炭和二氧化矽(即硅)凝胶体为吸附剂,研究苦味酸被吸附的情况,得到了等温吸附曲线。

2. 无机化学应用方面的研究

(1) 无机原料的分析研究

我国浙江平阳地区蕴藏丰富的礬石,其主要成分可用 $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 表示,矿含礬石 36—58%,其余为氧化铁和氧化硅。王学海等 1936 年用煅烧和用硫酸处理可得 96% 的氧化铝和 80% 的氧化钾,用氨水处理时可得硫酸钾、硫酸铵混合肥料。山东博山地区盛产铁礬土,其三氧化铝含量在 50% 以上^③。高毓灵等 1933 年曾制得纯度为 98.81% 的三氧化铝^④。刘树杞等 1935 年先从铁礬土提取三氧化铝,然后再用电解法制备纯铝^⑤。山东博山、莱芜附近出产的长石、矽石和陶土,是制造瓷器和玻璃的原料。胡铁生和

① 李方训、李冠华:《多卤化合物之研究》,《中国化学会会志》第 4 卷(1936 年),第 126—130 页。

② 高崇熙、张青莲:《硒酸铜由 0° 至 40° 之溶解度》,《清华大学理科报告》(A)第 4 卷(1940 年),第 155—158 页。

③ 王学海、张金元及 G. Hohorst:《中国礬石研究报告》(3A)第 3 卷(1936 年),第 340—347 页。

④ 高毓灵及 E. O. Wilson:《由博山铁礬土提取氧化铝之研究》,《中国化学会会志》第 1 卷(1933 年),第 120—138 页。

⑤ 刘树杞、魏惟诚:《博山氧化铝制造纯铝之研究》(英文原著),《化学工程》第 3 卷(1936 年),第 113—123 页。

邵德辉 1936 年分别对博山产的玻璃原料与瓷料进行分析研究,对酸活性白土、芒硝、硫磺、石墨等也作过分析研究,论文发表在《山东大学化学研究报告》和《化学工程》上。

(2) 瓷器与玻璃

我国盛产的高岭土、石英、长石、砂石和焦宝石等,是制造瓷器和玻璃的原料。我国生产瓷器与玻璃历史悠久,在这方面的研究也比较早。

在陶瓷研究方面,周仁 1928 年春在南京建起一个陶瓷试验场,最早在我国开始陶瓷研究。同年夏天,他为孙中山先生葬礼精心研究了八十余件彩釉镂空仿古细瓷瓶壶,以寄哀思并供陈列。1929 年,周仁组织陶瓷试验场调查分析了全国各地所产瓷土和耐火泥。1931—1932 年,他多次到杭州凤凰山南宋官窑遗址进行挖掘,搜集珍贵古瓷碎片,对釉里青、祭红等仿古彩釉研究成功,并撰写了《发掘杭州南宋官窑报告书》。1936 年前后,周仁多次去景德镇考察,撰写了《江西景德镇瓷器之制法及改良意见》。之后,他还对中国历代名窑陶瓷工艺进行了研究,发表了十多篇有关陶瓷研究的论文^①。在瓷釉和着色剂研究方面,1936 年,汪璠在白瓷釉中加入钴、铁、锰、铜、铬等着色剂,结果发现铬和钴着色最强,锰最弱。

在玻璃研究方面,着重是关于玻璃的性质(包括密度、折射率、热膨胀系数等)与组成关系以及玻璃改性的研究。如赖其芳 1928 年研究了八十多种玻璃,并用氧化铍来代替通常所用的氧化镁或氧化钙,得到八十多种铍玻璃。这些玻璃在硬度、耐温性、折射率、透紫外线方面的性质都优于钙玻璃和镁玻璃。^②

(3) 考古研究

^① 《中国古陶瓷研究论文集》,轻工业出版社 1983 年版。

^② 赖其芳, Silverman: *Beryllium Glass*, "J. Am. Ceramic Soc.", 1928, 11, 535--541.

在这方面的研究最早有王琏 1920 年对中国古钱币的分析和古代化学工艺学的考证,并于 1920—1923 年在《科学》杂志上发表了三篇重要论文。另外还有一些研究工作是赵幼祥^①、陈文熙^② 等于 1931—1934 年对《本草纲目》上提到的一些医药用无机物进行的分析,得知其成分,如炉甘石为水锌矿,禹余粮为褐铁矿,成分为氧化铁,并含铝、镁、钾、钠等杂质,玄精石为石膏,秋石为氯化钠及硫酸钠等。

(4) 电解和电镀

刘树杞等 1934 年用电解法提炼钨,用七克分子焦磷酸钠、三克分子偏磷酸钠、四克分子钨酸和十五克分子氢氧化钠熔融后电解,结果甚佳^③。潘履洁对铜、银、锌、镍等金属的电镀做过许多研究,在三十年代发表的有关论文近二十篇^④。他研究电镀液的组成,并从电镀效率、极化作用、镀出力和外观等各方面加以考虑。蒋轶欧等 1935 年曾研究将铜镀到石膏上。刘树杞和沈青囊 1931 年曾试验铜上镀铂。周瑞 1935 年研制出我国第一份用电解法制备的高纯铝^⑤,并用此制作了我国第一个飞机模型。

(二) 有机化学研究

1. 有机理论研究

有机理论研究主要包括有机化合物的分子结构、立体化学、分子重排研究以及物理常数的计算等方面。

① 赵幼祥、罗瑞林:《几个本草上之无机物》,《青岛大学化学系试验报告》第 2 卷(1931 年),第 80—89 页。

② 陈文熙:《炉甘石,煅石,键铋》(二),载《学艺》第 13 卷(1934 年),第 117—121 页。

③ 刘树杞、沈青囊: *Trans. Electrochem. Soc.*, 1934, 66, 9.

④ 严志弦:《中国化学家对于无机化学的贡献》,《化学世界》第 8 卷(1953 年),第 9 期,第 299—300 页。

⑤ 周瑞:《电解法制纯铝的初步试验》,《黄海化学工业研究社研究报告》1935 年第 16 号,第 1—23 页。

在结构研究方面,曾昭抡、孙承谔等 1936 年测得了四氯乙烯的偶极矩为零,证明此化合物有对称结构^①。1937 年又测得己二酸的偶极矩为 4.04D,推断此酸有桶形结构。唐敖庆等 1950 年提出“造键函数”方法^②,将量子力学应用到化学键方面,讨论了几种新类型的键函数,并用来解释许多共价键分子结构。蒋明谦与薛琴访于 1937 年发表了关于元素周期性的论文,首次对元素周期性作了定量表征,提出了周期性方程为^③:

$$P = k \frac{Z^{\alpha}}{n^{\beta}} \left[\int V dZ \right]^{\gamma}$$

式中 P 表示周期性的数值, Z 为原子序数, V 为价态, n 为主量子数, α 、 β 、 γ 为常数。这一研究成为蒋明谦日后研究有机化合物的结构与性能定量关系的出发点。

在立体化学方面,袁翰青 1932 年发表了《联苯的立体化学——光活性 2'-硝基-6'-羧基-2,5-二甲氧基联苯及其盐类的变旋作用》的博士论文。1936 年,首次得到了固体 N-苯磺-8-硝基-甘氨酸左旋体,并测定了在氢氧化钠溶液、醋酸溶液及乙醇中的消旋速度,结果表明:该化合物在酸性溶液中比较稳定,在乙醇中次之,在碱性溶液中则极易消旋^④。黄鸣龙于 1940 年开始从事山道年的立体化学研究。在研究这类物质的相对构型时,发现四个变质山道年在酸碱作用下,其构型可成圈地相互转变。这在立体化学上是个前所未有的发现,从而引起了当时国际上许多著名有机化学家的重视^⑤。袁翰青

① 曾昭抡、孙承谔、刘钧:《中国化学会会志》第 4 卷(1936 年),第 473—476 页。

② 唐敖庆、卢锡镔:《中国化学会会志》第 17 卷(1950 年),第 251 页。

③ 中国科学技术协会:《中国科学技术专家传略》(理学编·化学卷 1),中国科学技术出版社 1993 年版,第 488 页。

④ 袁翰青、徐宗岱、徐以棻:《中国化学会会志》第 4 卷(1936 年),第 131—141 页。

⑤ 《科学家传记大辞典》编辑组:《中国现代科学家传记》(第 5 集),科学出版社 1994 年版,第 190 页。

等 1940 年根据两种异构体的缔合因素与氢键有关的原理,提出测定两种异构体的新方法,由结构式可知,反式分子内部能形成氢键,而顺式则不能,故缔合因素反式小于顺式,缔合因素可用冰点降低法测得,由此可测定顺、反两种构型。袁氏 1947 年用此方法研究了 β -氯代丁烯酸和 1,2-环己烷二醇的构型。钱思亮 1934 年完成了《具有旋光性的双轮基质变为非旋光体的速度》的博士论文。1937 年测定了硫的键角为 $115^\circ-116.5^\circ$;测出有旋光性的苯—对—甲苯硫的偶极矩为 1.75D。^①

在分子重排方面,朱汝华等 1939 年研究了 10,10-二芳基-9,10-二氢化-9-菲醇在脱水后加入碘和醋酸起重排的反应^②。她还研究了 7,8-二芳基萘二醇的分子重排反应,并制备了七种新的此类醇,找出了重排反应的条件为在含碘的醋酸溶液中加热,芳基可迁移位置,产生 7,7-二芳基萘酮。纪育沔等 1933 年研究了 2-乙硫醇基-4-甲基-6-硫氰嘧啶起分子重排变为异硫氰嘧啶的反应,找出了重排的条件^③,又找出了 2-氯-6-硫氰嘧啶重排为异氰化物的条件。

在物理常数的测定方面,曾昭抡、孙承谔等 1937 年建立了有机化合物沸点计算公式:^④

$$T_b = a + bV_m + cV_m^2$$

式中 T_b 为沸点, V_m 为分子容积, a 、 b 、 c 为常数。同年,曾昭抡、孙承谔等又提出了计算二元羧酸熔点的公式:

$$T_m = 117 + 19.5[e^{-2(n-5)\alpha} + (-1)^n 2e^{-(n-5)\alpha}]$$

式中 T_m 为熔点, n 为碳原子数, α 为常数。他们用此公式计算了脂肪

① 钱思亮、雷天壮:《中国化学会会志》第 5 卷(1937 年),第 204—213 页。

② 朱汝华、魏璠:《中国化学会会志》第 7 卷(1939 年),第 20—23 页。

③ 纪育沔、陈运煌:Trans. Sci Soc, China, 1933, 7, 161.

④ 曾昭抡、孙承谔、陈初尧:《中国化学会会志》第 5 卷(1937 年),第 193—201 页。

族二元羧酸同系列中九种化合物的熔点,其中有五种化合物熔点的计算值与实验值很好地吻合。孙承谔、唐敖庆等 1943 年提出了有机化合物密度的计算公式:^①

$$d = \frac{M}{V} = \frac{M}{a + bV_m + cV_m^2}$$

式中 d 为密度, M 为分子量, V_m 为分子容积, $V_m = \sum nr^3$ (n 为分子中所含的各种原子数, r 为原子半径), a 、 b 、 c 为常数。

以上这些工作的主要贡献是指出了有机化合物的沸点和密度与分子所含的原子的半径有一定的关系。

周厚复 1936 年提出一种新的有机反应理论——引伸键价电子学说^②。按照周期表中元素的排列顺序,从锂到碳放电子的趋势逐渐降低,而从氮到氟吸电子的趋势逐渐增加,因此在 C—N 中间可设想有一平衡点,认为正负电性部分彼此相斥或相吸是一切有机化学作用的主要原因。他根据这种观点得来的键的八极矩,去计算一些重要化合物的势垒,与实验值吻合。这项工作当时曾引起同行们的关注。

2. 有机合成研究

有机合成研究包括对烃类、醇、醚、卤代物、脂肪酸、氨基酸、杂环化合物和金属有机化合物等的合成和性质的研究,以及有机反应的研究。

清华大学高崇熙在 C₅—C₁₀ 醇等的合成和大麻子油的综合利用方面做了一些工作。高崇熙、马绍援 1932 年用蓖麻子油在减压下干馏,制得庚醛和十一烯酸,再用庚醛制成庚醇、庚腈、溴庚烷和辛酸乙酯等^③。

① 孙承谔、唐敖庆、陈天池,《中国化学会会志》第 10 卷(1943 年),第 19—21 页。

② 徐贤恭,《中国化学家对有机化学的贡献》(续),《化学世界》第 9 卷(1954 年)第 9 期,第 384 页。

③ 高崇熙、马绍援, *Syntheses from Castor oil*,《清华大学理科报告》,1932 年, A. I. 12, 9—34。

四十年代,萨本铁和纪育洋等合成了 α -氨基噻唑和氯代噻唑。张锦等1934年用 γ -二酮和苯胺合成了类似联苯的吡咯衍生物。萨本铁等1930年找出了制备乙内酰脲及其衍生物的两种新方法。他和合作者还制备了一系列的酯,如乙酰丙酸丙烯酸酯、 β - γ -二溴丙酯及七种原甲酸酯,并测定了这些酯的物理常数,如沸点、比重、折光率等^①。曾昭抡是我国化学界最早提倡在大学里搞科学研究的人,他和合作者1932—1937年在卤代烷的合成和性质以及谷氨酸的制备方法等方面,做过一系列研究,发表了五十多篇研究论文。1933年,曾昭抡与胡美找出通过酚的亚硝基化制备对-亚硝基苯酚的新方法,后来载入《海氏有机化合物词典》被国际化学界广泛采用。此外,曾昭抡还在醌、有机氟化合物研究方面做了一些工作。

为了寻找抗生素类化合物,汪猷及其合作者从抗日战争时期就开始了桔霉素的研究。他们在桔霉素的结构分析、合成及应用等方面做了系统的研究,并取得了一些重要成果^②。中央研究院庄长恭等在三四十年代致力于脂环族和甾体化合物的合成。他从丙二酸酯和环形的 α 、 β -不饱和酮得到环形的 δ -酮酸酯,曾报道雌性激素类似物去甲脱氢雌马甾醇的全合成。他的带有角甲基的多环 α 酮的合成工作发表后,受到当时国际有机化学界的重视^③。1938年黄鸣龙等在研究用胆固醇改造合成女性激素时,发现胆甾双烯酮用醋酐和微量浓硫酸处理时,几乎可得理论量的A环芳香化产物,这是双烯酮-酚的移位反应。在氨基酸合成方面,自1938年至1947年间,林国镛、黄耀曾等利用霍氏(Hoffmann)反应原理改善了合成反应条件,制备

① 萨本铁、马绍援; Levulinic Acid and Its Esters, J. Am. Chem. Soc., 1930, 52, 4880.

② 《中国化学五十年》编辑委员会;《中国化学五十年》,科学出版社1985年版,第62页。

③ 中国科学技术协会;《中国科学技术专家传略》(理学编·化学卷1),中国科学技术出版社1993年版,第128页。

了十九种氨基酸,发表了十余篇研究论文。1936年,萨本铁运用寇氏(Curtius)反应原理制得了 α 氨基酸和 α 氨基乙酸。

特别值得一提的是,黄鸣龙改良的开西纳—沃尔夫(Kishner—Wolff)还原法。黄鸣龙(1898—1979年),江苏扬州人。1924年获德国柏林大学博士学位。1928年回国后曾在上海同德医学专科学校、中央研究院化学研究所和西南联合大学等任教授及研究员。三四十年代他在德国、英国、美国的一些研究单位任访问教授,还原法是他在国外期间的研究成果。在有机化合物的合成和结构测定上,当需要将醛类或酮类的羰基还原为次甲基时,常常用到开西纳—沃尔夫还原法。但此法要用金属钠和价值昂贵的无水水合肼,若有少量水分存在,则往往不可避免地要引起一些副反应。曾有人对此法进行过改良,但效果不佳。1946年,黄鸣龙对此法进行了成功的改良^①,被称为“黄鸣龙还原法”。他的主要贡献是,在反应过程中先蒸去水分,然后回流加热,不需使用纯粹的水合肼,可用85%的普通、价廉的水合肼代替;不需要使用金属钠,可用氢氧化钠代替。这样不仅操作简便,成本下降,而且产率大大提高了。黄鸣龙还对该法的应用范围做过许多研究。“黄鸣龙还原法”被写进多国有机化学教科书中,在国际上得到广泛的应用。

3. 天然有机化学研究

早期的研究工作主要集中在天然药物化学研究方面,从分析、研究中草药的组成,分离提出有效成分,进一步确定分子式,并做药理试验。早在1926年,赵承嘏就开始研究麻黄中各种麻黄素的分离、精制,并发表学术论文^②,成为我国用近代科学方法研究中草药的最早

① Huang Minlong: "A Simple Modification of the Wolff—Kishner Reduction", "J. Am. Chem. Soc.", 1946, 68, 2487.

② 赵承嘏:《麻黄素的分离性质试验及其盐的制备》, Jour. Biol. Chem., 1926, 70: 109—115.

的论文之一。在三四十年代,赵承嘏、朱子清等人从有毒的钩吻植物中提取钩吻素子甲等多种生物碱,又从浙江贝母中提取生物碱贝母素甲、乙,并确定了贝母素甲与乙为仲醇和酮的关系。陈克恢等曾作贝母生物碱的分离和药理试验。高怡生、赵承嘏等从木防己分离得到木防己甲、乙两素。三十年代,许植方曾研究常山所含的生物碱甲素熔点为 142—143℃,生物碱乙素熔点为 203—205℃,他还从益母草中分离出生物碱,名为“益母草子素”,并发现益母草子油,研究其成分,测定其性质。曾广方于 1932—1935 年,由芫花分出植物固形醇、安息香酸和两种黄碱配醣体,并对黄碱配醣体进行了系统的研究。

在植物挥发性油研究方面,於达望^①、薛愚^②等均做了一些工作。他们曾于 1936 年和 1941 年对一百种国药中挥发油的含量进行测定及在药物上的应用做过研究。黄耀曾 1949 年研究了挥发性油的抗菌作用。

在动物药物方面,陈克恢在蟾蜍毒素的分离和化学研究方面做过一些工作,并于 1929—1936 年发表了十余篇论文^③。陈娴 1938 年对国产的数种黄白蜂蜡进行物理和化学常数测定,并与英、美药典中的蜂蜡的物理化学常数相比较,结果相仿。1930 年,汤腾汉等发现了一种昆虫分泌出的虫蜡,并进行了含量和性质的研究,可从中提取多种脂肪酸和高级醇。

在通过杂环合成寻找新药方面,杨石先 1932 年在美国耶鲁大学完成了《从乙酰亚胺硫代碳酸酯和乙酰基异硫脲合成 α 、 β -呋二唑》的博士论文;1937 年与谢秉仁在南开大学完成了《2,3-菲环麻黄素

① 於达望、王礼宾:《国药中挥发油研究》,《中华药学杂志》第 1 卷(1936 年)第 1 期,第 201—212 页。

② 薛愚、洪盈:《用简单器具测定挥发油之含量》,《中国化学会会志》第 8 卷(1941 年)第 1 期,第 32 页。

③ 许植方:《中国化学家对于药物化学的贡献》(续),《化学世界》第 10 卷(1955 年)第 8 期,第 354 页。

的合成》。1948年杨石先在美国印第安纳大学完成了《中国抗疟药用植物——常山化学性能的研究》。

(三) 分析化学研究

1. 无机分析

无机分析包括无机定性和定量分析。我国无机定性分析最早的一篇论文是1919年吴宪关于用8-羟基喹啉作为钙离子试剂的报道^①；无机定量方面最早的论文是1923年San Yin Wong发表的关于血中铁和血红蛋白的测定。^②

无机分析包括分析系统的研究、新的分析方法的建立、分析技术的改进及半微量操作等。在系统分析方面，有阳离子和阴离子^③系统分析两种，而阴离子分析开始较早。1937年赵廷炳设计了一种比较完善的阴离子分析系统，利用各种阴离子的钙盐、镍盐、钡盐和银盐的溶解质不同，将二十六种普通阴离子分为六组。用此方法分析阴离子有了系统可循。

在阳离子系统分析方面，1941年赵廷炳等设计了一种新的系统分析方法，以硫化铵、乙酸铵代替硫化氢作为硫化物组的试剂。钟良方提出不用硫化氢而以氢氧化物作为分组的系统分析。

在稀有元素的分析系统方面，高崇熙、张青莲1934年研究了铯的定性分析，建议将铯元素加入碲组，使铯离子沉淀析出，然后加以检定。

在新的检定方法方面，高崇熙等1935年提出用对甲基水杨醛肟作铜离子的试剂。苏勉曾等1949年用N-氯代丁二酰亚胺作亚铁氰

① 吴宪, Folin, "A System of Blood Analysis", J. Biol. Chem. 1919, 38: 81-110.

② San Yin Wong; Colorimetric Determination of Iron and Hemoglobin in Blood, J. Biol. Chem., 1923, 55: 421.

③ 赵廷炳;《阴离子系统分析的初步研究》(英文原著),《中国化学会会志》第4卷(1936年),第443-456页。

酸离子的新有机试剂。

在分析技术的改进及半微量化研究方面,陈同度 1936 年提议用焰色反应进行阳离子分析。特别值得一提的是丁绪贤在我国最早(1941 年)提出推广使用半微量分析法^①。他设计制造了微量灯、微量 H₂S 发生器及试剂扳匣等,并用于学校的定性实验中。采用此法可以节省药品和滤纸,在当时不少大学中得到推广。

在实验仪器方面,韩组康 1929 年设计了一种专为氢氧化钠、氯化亚钛等不可与空气接触的物质所用的滴定仪器和一种为蒸发液体或驱逐气体用的玻璃棒,对分析方法进行了改进。杨广弼等 1935 年提出一种测定铝的改良法。杨珠瀚 1933 年提出煤中硫素测定的新方法。

在近代无机定量分析方面,最有成就的是梁树权 1937 年在德国洪涅许密特(Honigschmid)的研究室用化学分析方法完成的铁原子量的测定。梁树权,广东中山人。1933 年毕业于燕京大学化学系,1934 年赴德国留学,1937 年获德国明兴大学自然哲学科博士学位,他的博士论文就是关于铁原子量的测定。为了精确地测定铁原子量,他曾制备极纯的铁(光谱纯)和溴,合成溴化亚铁,以比浊法和重量法测定 FeBr₂:Ag:AgBr 的比例求得铁原子量为 55.850,以代替旧的 55.840。该成果 1939 年以《铁原子量的修订》为题发表^②,1940 年正式被国际原子量表采用^③,并一直沿用多年。

2. 有机分析

有机定性分析包括有机化合物中元素的检定、有机化合物检定、有机分析仪器及方法的改进等。

在有机化合物的元素分析方面,曾昭抡做了不少有价值的工作。

① 丁绪贤:《半微量定性分析的采用》,《科学》第 25 卷(1/2)(1941 年),第 6—15 页。

② 梁树权,Hoenigschmid: Z. anorgallgem. Chem., 1939,241:361.

③ 梁树权,Hoenigschmid: Jour. Amer. Chem. Soc., 1940, 62:669.

1933—1935年,他用改良钠熔法测定有机化合物中的硫、锑、氮、磷等元素,并可在检定碳、氢的同时检定汞。在这之前,普遍的有机分析书中还没有一种简便、通用的有机化合物中汞的检定方法。曾昭抡与胡美、蒋明谦还对一些有机卤素的测定方法加以改进。他们用过氧化钠熔化和容量定氟法测定有机氟获得成功。

在有机化合物的检定方面,萨本铁及其合作者做的工作最多^①,1932—1946年,他们提出了醇、酚、醛、酮、胺类、糖类的检定方法。针对不同的化合物找出了多种试剂加以检定。他们还用2,4,6-三硝基苯二酚-(1,3)为试剂检定芳香族稠环烃、杂氮化合物和植物碱获得成功。

在仪器改进方面,曾昭抡1933年对马利肯(Mulliken)熔点测定仪进行了改进^②,是当时测定有机化合物熔点的理想仪器,因此曾被国内各大学普遍采用。

3. 物理化学分析

物理化学分析包括光谱分析、电位滴定分析、极谱分析和电解分析等。

在原子发射光谱分析方面,早在1927年,邵家麟就研究过发射光谱在金属定量上的应用,并由谱线的密度测定试样中金属的浓度^③。1935年,戴安邦提出用分光镜观察金属在火焰中的光谱,为检验金属元素提供了一个简便可行的方法。1936年,张定钊用电弧光谱分析法做了铜、铋、锡和钨矿石的定性分析,指出某些矿石中含有稀有元素。

① 梁树权:《中国化学家对于有机定性分析的贡献》,《化学世界》第9卷(1954年)第4期,第135页。

② 曾昭抡:《一个改良的测定熔点的仪器及几种测熔点仪器的比较》,《中国化学学会会志》第1卷(1933年),第143—182页。

③ 邵家麟(C. L. Shao): *Arc Method of Spectrographic Analysis*, ph. D. thesis, Cornell University, 1927.

在电位滴定分析方面,1931年,吴学周首先用电位法测定铱^①。1933年,陈同度研究了不安定系统的电位滴定法。1937年,王璉等研究了铂、金、银等电极在电解物溶液中的电位。

在极谱分析方面,朱麒寿1944年用滴汞电极研究镉铵离子^②,实验结果证明其化学式为 $\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{+2}$ 。

在电解分析方面,彭谦等1940年用黄铜镍网制成电极,然后用电解法测定锌,对锌的硫酸盐、氯化物与醋酸盐都适用。任绳武等1948年设计制造出一种简单的电渗器,以石墨为阳极,以汞为阴极,用透明纸作渗透膜,用来分离蛋白质溶胶和无机离子。

(四) 物理化学研究

物理化学是化学的一个重要的分支学科,它涉及的研究领域比较广泛,主要有热化学和化学热力学及相平衡、胶体化学与表面化学、电化学、结构化学与量子化学、光化学与分子光谱等。另外,物理化学所研究的原理和方法也适用于化学各科。因此,物理化学与其他学科交叉之处甚多,在化学的各分科中,物理化学的发展最为迅速。

中国化学家在物理化学研究方面发表的论文,1944年吴学周曾作过统计:自1921年至1940年共二百六十七篇(不包括评述文章)^③,其中在国内做的论文共九十二篇,在国外做的共一百七十五篇。1921年至1930年的十年间,在国内做的论文只有两篇,在国外做的有四十六篇。1931年至1940年的后十年间,论文数目有很大增长。顾翼东、柳熙图曾统计:1941年至1952年发表的物理化学论文

① 吴学周(S. C. Woo) and D. M. Yost: Potentiometric Determination of Iridium, *J. Am. Chem. Soc.*, 1931, 53: 884.

② 朱麒寿:《用极谱法以滴汞电极研究镉铵离子》,《中国化学会会志》第11卷(1944年),第113—117页。

③ 吴学周:《中国之物理化学研究》,《化学》第8卷(1944年),第69页。

数约为四百篇^①。发表的论文数目从一个侧面反映了物理化学发展的一般情况。

1. 热化学和化学热力学及相平衡

热力学函数的计算包括比热、汽化热、熔融热、反应热熵和值等的计算。如张青莲于1936年测定了不同温度下水与重水的汽压差,并推算出其汽化热。黄子卿等1933年从Scatchard物态方程式推算真空气体的Joule-Thomson效应及恒压下的热容量。1931年黄子卿还发表了题为《气体之能及熵之普遍方程式》的论文。1935年孙承谔与美国化学家艾林(H. Eyring)发表了有关活化能精确计算结果的论文。

在气体和液体的物理性质测定方面,在气体隙透方面,蔡馏生1932年曾研究氮及氩自180°—980°通过石英器壁之隙透情形。在气体粘滞度方面,颜任光曾用同心圆筒旋转法测定H₂、O₂及N₂的粘滞度,他在这方面的研究论文于1919年发表,是物理化学研究方面发表最早的一篇论文^②。黄子卿等1934年用毛细上升法测定七种原甲酸酯和七种烷基苯基醚之表面张力,并计算出等张儼容值。程瀛章1921年在不同温度下用滴重法测定了十二种有机物质的表面张力及对水的界面张力。另外在偶极矩的测定方面,曾昭抡、孙承谔、张江树等人也都曾做过研究。

在相平衡方面,叶诸沛曾于1931—1933年发表多篇论文,计算熔融体中铁与碳之平衡。他根据文献数据重制铁碳平衡相图,发现在熔融液态时碳在铁内的组成为Fe₃C,但在固态γ-Fe内则为碳。他继而又研究了铁硅合金、铈铋合金及铈铅合金平衡,得到若干重要结

① 顾翼东、柳熙图:《中国化学家对物理化学的贡献》,《化学世界》第9卷(1954年),第374页。

② Kia-tok Yen(颜任光); An Absolute Determination of the Coefficients of Viscosity of Hydrogen, Nitrogen and Oxygen, Phil. Mag 1919, 38, 582—97.

果。特别值得一提的是黄子卿测定水在三相点时之平衡温度。1944年黄子卿赴美随热力学家比泰(J. A. Beattie)从事绝对温标的实验研究。他用四十八节热电偶插头,配以铂电阻温度计和微电位计,获得了当时水在三相点最精确的实验值,即 $t = 0.00981 \pm 0.00005^\circ\text{C}$ ^①。这一结果成为1948年国际实用温标(IPTS-1948)选择基准点水的三相点的参照数据之一。

在电解质溶解性质及理论方面,李方训做了系统研究。当时格林亚试剂广泛应用于有机合成反应中,但对它的物理化学性质及反应机理却众说纷纭。李方训对此做了深入的研究。他与伊文思(W. V. Evans)等合作在1933—1935年发表了五篇论文,刊登在《美国化学会会志》上。他对离子性质如气态离子水化热、水化熵、无限稀释溶液中的离子的表观体积、溶液及晶态中离子的抗磁性磁化率、原子及离子的半径与其物理化学性质的关系等方面也进行过广泛的研究,与合作者于1941—1948年完成论文十余篇,分别发表在《美国化学会会志》、美国《科学》杂志、英国《自然》杂志及《中国化学会会志》上。

张江树是我国早期物理化学学科的学术带头人之一。他对热力学第二定律有精辟的见解,他提出的“不可逆度”的概念一直为华东化工学院物理化学教学所沿用,并受到工程技术界的重视。1945年他编写的《理论化学实验》一书问世。这是我国化学家编写的第一本物理化学教材^②,改变了大学教学中几乎全部采用外国教材的状况。

2. 胶体化学与表面化学

我国近代胶体化学与表面化学研究始于二十年代末三十年代

① J. A. Beattie, T. C. Huang(黄子卿) and M. Benedict. The Reproducibility of the Ice Point and Triple Point of water. The Temperature of the Point of Water Proc. Am. Acad. Arts. Sci., 1938, 72, 137.

② 中国科学技术协会:《中国科学技术专家传略》(理学编·化学卷1),中国科学技术出版社1993年版,第177页。

初。当时一批学者赴美留学,其中从事胶体化学与表面化学研究的有傅鹰、戴安邦、蔡馏生和张大煜等。

早在二十年代初,傅鹰就到美国密执安大学留学。他师从巴特尔教授,主攻表面现象和吸附作用。1929年他发表了博士论文,发现了同系物的吸附规律有时呈现出与著名的特劳贝(Traube)规则完全相反的现象。在此期间,他还进行了液体对固体的润湿热研究,并首次测定了四种不同的二元液体混合物对固体的润湿热,指出润湿热是总表面能变化而不是自由表面能变化的量度,度量自由表面能变化的应是粘附张力。他还与巴特尔共同研究利用润湿热测定固体粉末比表面的热化学方法(1930年)。在当时这是一项首创性的研究成果,比著名的 BET 气体吸附法要早八年^①。傅鹰的这些研究成果得到同行的很高评价,被国际上出版的多种有关胶体与表面化学方面的专著所引用。1930年在北京协和医学院,他与吴宪合作研究鸡蛋清蛋白溶液的表面化学性质。在发表的论文中指出:“等电点时的表面张力最低”。这是国际上蛋白质界面化学研究最早的论文之一^②。他还研究了硅胶自水溶液中吸附强碱时中性盐存在的影响,发现中性盐使碱的表观吸附增加。1944—1950年傅鹰第二次赴美期间继续开展吸附作用的研究,取得的成果仍居当时国际同类研究的前列,被写入了各国的胶体和表面化学专著中。

戴安邦 1928 年赴美国纽约哥伦比亚大学化学系深造,师从胶体化学家托马斯(A. W. Thomas)教授。他用配位化学观点进行氧化铝水溶胶的研究,取得了创造性的成果。1932 年论文在《美国化学会会志》发表后,受到学术界的瞩目,1934 年被托马斯著的《胶体化学》一书所引用。戴安邦 1931 年 9 月回国后继续从事胶体与表面化学及配

① 中国科学技术协会:《中国科学技术专家传略》(理学编·化学卷 1),中国科学技术出版社 1993 年版,第 278 页。

② 同上书,第 279 页。

位化学方面的研究。他与合作者研究了盐类对 AgCl、AgBr 及 AgSCN 吸附四碘荧光黄的影响,对酒石酸钙的凝胶作了研究,发现 OH⁻ 根与酒石酸根的比例在 2.5—3.5 之间时,胶凝时间最短,含与 Ca²⁺ 形成不溶物的酸根的盐对胶凝的影响最大,使胶凝时间加长。戴安邦研究自氧氯化铝水溶胶及碱性氯化铝溶液中取代羟基的盐效应,结果表明氟离子的置换效果较好。

三十年代初,蔡馏生开展了有关溶液吸附规律的探索性研究。他与合作者研究了木炭、糖炭和硅胶自水溶液中对苦味酸和三硝基间苯二酚的吸附,发现在糖炭上的吸附皆有台阶式、不连续的等温线,而每个台阶皆是 Langmuir 型的,但木炭和硅胶对苦味酸的吸附则是连续的。在气体吸附方面,他研究了皮粉对气体 HCl 的吸附和甲醛在皮粉上的化学吸附。

在物质的扩散和渗透性质方面,张大煜在三十年代初研究了豆腐皮作为渗析膜和中性盐透过膜的能力。

在溶液表面吸附方面,刘遵宪论述了液面上吸附物的二维气体性质,用表面张力数据计算了表面吸附,自 Szyskowsk 公式及 Langmuir 式得出表面状态方程。

3. 电化学

电化学在物理化学各科中发展较缓慢,但我国学者也曾做出过很有影响的研究成果。早在 1919 年,刘树杞就在美国哥伦比亚大学完成了很有价值的《从铬酸盐废液中电解再生铬酸的连续方法》的博士论文^①。该项发明申请了美国专利,并被不少学者引用。1929 年他再度赴美时,完成了《电解制造铍铝合金》的著名论文^②,解决了工业上一个极为重要的问题,成为化学界公认的卓越发明。1930 年刘树

^① R. H. Mckee, Shoo-Tze Leo. J. Ind. Eng. Chem., 1920, 12, 16—26.

^② 《刘楚青博士专门论著汇刊》,北京大学出版组 1936 年印行,第 29—41 页。

杞回国后,先后在中央大学和北京大学建起了熔盐电化学和电化学实验室,并开展了电解取钨、取铝等方面研究,取得了有重大意义的研究成果。1924年,吴承洛著的《应用电化学》在北平出版,这是我国第一部电化学方面的专著。

4. 结构化学与量子化学

结构化学是从原子-分子水平上研究物质的微观结构与宏观性能相互联系的规律,需要先进的科学技术与设备。我国在这方面研究起步晚,比较薄弱,只有王守竞、卢嘉锡、唐敖庆等少数学者在国外做了一些工作。如卢嘉锡在四十年代研究过关于脲的过氧化氢加合物的晶体结构和利用电子衍射法测定硫氮、砷硫化合物结构。唐有祺1946—1951年在美国留学期间曾从事结构化学方面的研究,主要包括合金中超结构的晶格对称性判据、晶态复合物的结构及血红蛋白的晶体学。

量子化学方面的研究,开始于二十年代末。有代表性的工作是1928年王守竞对变分函数的选择方面的研究。他引进有效电荷作为变分参量,计算出氢分子的离解能,较前人的工作前进了一步^①。在量子化学的位能面研究方面,孙承谔和合作者在三十年代准确地计算出三个氢原子的位能面^②。他的关于活化能计算结果的论文1935年发表后,被许多物理化学教科书引用。

5. 光化学与分子光谱

光化学与分子光谱方面的研究工作是从二十年代末和三十年代初开始并发展起来的。在光化学领域,早在1929年蔡儒生赴美留学期间就开始了氰基紫外光聚合的研究,并取得了满意的结果。这也成为他博士论文的题目。三十年代他与葛庭燧教授合作开展了鱼藤酮

① 王守竞(S. C. Wang), *Phys. Rev.*, 1928, 31, 579.

② H. Eyring, H. Gershinowitg 和孙承谔(C. E. Sun), *J. Chem. Phys.*, 1935, 3, 786.

的光化学分解和鱼藤酮的紫外吸收光谱的研究。在国内最早从事分子光谱工作的是北京大学饶毓泰^①。当时从事分子光谱研究的化学家有吴学周、柳大纲、朱振钧等,物理学家有吴大猷、严济慈、钱三强等。吴大猷撰写了我国第一分子光谱专著《多原子分子的振动光谱与结构》(1939年),并被编入由 E. O. 康顿(Conton)主编的一套丛书中,受到同行的重视。他在乙烯的位能函数、苯的拉曼光谱和同位素效应等方面做了不少研究。1928年至1931年间,吴学周在美国加州理工学院攻读博士学位,并与该校的贝杰(R. M. Badger)教授合作开展了多原子分子吸收光谱的研究,测定了乙炔、乙烯、乙氰、丙烷和乙醛等十四种气体的远红外光谱,发表了一系列的研究论文,受到国际学术界的关注。1933年回国后,他作为中央研究院化学研究所的专任研究员,与柳大纲、朱振钧等人完成了丁二炔的紫外吸收、乙氰分子近紫外区的新吸收带系及从异氰酸酯和硫代异氰酸酯的紫外吸收光谱求出分解能等十多项研究工作,论文先后发表在美国著名的《物理评论》、《化学物理》和德国的《物理化学》等杂志上^②,开创了我国多原子分子光谱研究的新局面。北平研究院物理研究所的严济慈、钟盛标、翁文波和钱三强1935—1937年研究了碱金属二原子分子 Rb_2 、 Cs_2 的电子吸收光谱和位能曲线,在钠、钾、铷、铯主线系谱线附近发现了许多新谱带;对 Rb_2 的详细研究可得知 Rb_2 的始态和终态的振动频率和兆谱性常数,根据Rb的原子能级用外推法求出 Rb_2 的分解能。有关分子光谱方面的论文,集中发表在1931年至1941年的十年间,约有九十篇,其中在国内进行工作的有三十余篇^③。1941

① 《中国化学五十年》编辑委员会:《中国化学五十年》,科学出版社1985年版,第162页。

② 中国科学技术协会:《中国科学技术专家传略》(理学编·化学卷1),科学技术出版社1993年版,第330—331页。

③ 吴学周:《中国之分子光谱研究》,《化学》第8卷(1944年),第85页。

年至 1951 年发表的论文很少,1921 年至 1930 年发表的论文也不过五篇。

(五) 生物化学研究

生物化学原是由于医学和农学上的需求而产生的学科。它的研究领域很广阔,与生理学、有机化学和药理学等有许多交叉的地方。它的发展很迅速。我国近代生物化学研究的开拓者吴宪(1893—1959 年)1919 年获美国哈佛大学生物化学博士学位,他在阿托福林(Otto Folin)教授指导下完成的博士论文《血液分析的系统》闻名全球医学界,被称为“吴—福林方法”。1920 年吴宪回国后受聘于北平协和医学院,这是当时生物化学研究的中心。另外,还有国立上海医学院、上海莱斯特医药研究所等。在普通大学中进行生物化学研究的有北平清华大学萨本铁、燕京大学窦维廉和山东大学汤腾汉等。

在二三十年代,吴宪与合作者严彩韵、林国镛、刘思职、黄子卿等做过许多有关蛋白质变性的研究工作。他们研究了酸、碱热处理,脲、醇及超声速振荡等对蛋白质变性的影响,发表了一系列论文。

王应睐 1941 年获英国剑桥大学生物化学博士学位。于四十年代跟随著名科学家 D. 基林(D. keilin)教授进行血红蛋白的研究。他们从大豆的根瘤中用硫酸铵分步沉淀法得到一种深红色血红朊溶液。所提供的完整的实验证据,在国际上第一个证明豆科植物根瘤中含有血红蛋白。^①

在酶学研究方面,鲁宝重等 1936 年研究了维生素 C 对蔗糖酶的影响。他还发现维生素 B₁ 对小麦 β 淀粉酶有抑制作用。鲁桂珍提供了灵敏的血中丙酮酸的测定方法。在四十年代末和五十年代初,邹承鲁在内原细胞色素 C 和可溶性细胞色素 C 方面作了不少研究。他

^① 王应睐与 D. Keilin: Hemoglobin in the Root Nodules of Leguminous Plants, Nature, 1945, 155, 227—229.

还研究了琥珀酸脱氢酶的某些性质,并与细胞色素 b 比较,断定两者不可能像有些学者所想像的是同一物质。

在营养学研究方面,涉及到各种食物的组成、营养性能和生物价值等。吴宪、万昕、陈同度等在二十年代末和三十年代初,曾就素食问题作了系统的探讨,发表了十五篇论文^①,发现素食中蛋白质的生物价值不如荤食中蛋白质的生物价值。吴宪曾任国立保健研究所北平分所所长,兼任营养学研究所所长。他对素食营养抗毒素的分析颇有见解,并著有《营养概论》一书(1929年)。萨本铁 1935 年从事桔类果实的研究,测定了中国食物所含的维生素丙。马弼得、侯祥川 1936—1938 年进行食物中维生素 A 的测定。在蛋白质的分离提取方面,吴宪等提出了分离卵蛋白和复蛋白的方法。郑集 1936 年从大豆提取黄豆蛋白,并测得黄豆蛋白质之等电点 pH 为 5.05。在蛋白质的分子量测定及物理、化学性质方面,如蛋白质溶液的表面张力和粘度测定,也有不少研究工作。在食物化学研究方面,李维铎、吴宪、窦维廉、郑集、张昌颖及汤佩松等在二十年代末至三十年代,做了大量分析和研究工作。在免疫化学方面,吴宪、周田等人在 1937—1940 年曾做过较系统的研究,发表了十八篇论文^②,内容涉及抗体之分离和抗体的化学性质等方面。

(六) 化学工程研究

化学工程与其他学科或工程相比,出现较晚。一方面因为它是一门年轻的学科,另一方面有关化学工程方面的著作比较少,在 1949 年中华人民共和国成立前,已出版的化工著作仅有哈忒著、韩组康译的《工业化学机械》(1926 年)、张洪沅、谢明山编的《化学工程机械》(1936 年)和林纪方编著的《化工计算法》(1947 年)三种。因此化学工

^① 沈昭文:《中国化学家对于生物化学的贡献(续)》,《化学世界》1957 年第 11 期。

^② 郑集:《中国之生物化学研究》,《化学》第 8 卷(1944 年),第 137 页。

程研究与其他化学学科相比,力量较弱,发表的论文也较少。二十年代,随着近代化学工业在中国的兴起,由于酸、碱制造业,酒精、木醇、油脂、制糖、水泥、肥料、纺织、玻璃、陶器等工业的需要,产生了化学工程。同时化学工程的研究成果,反过来又使工厂制造的工艺和流程得以改良,因此二者互为因果,又互相促进。

化学工程可分为若干个单元操作,内容包括流体力学、热传递、蒸发、干燥、吸收、蒸馏、机械压磨与混合和机械分离等。

张克忠 1928 年在研究简单的二元体系的扩散过程的机理时得到气体扩散公式如下:①

$$\frac{dP_b}{dx} = -\frac{dP_a}{dx} = \frac{\alpha}{RT} \left(P_b \frac{dN_a}{dA} - P_a \frac{dN_b}{dA} \right)$$

式中 P_a 、 P_b 为两种气体的分压, x 为假想膜的厚度。

他又进一步推导出适用于蒸发、吸收和蒸馏单元操作的扩散公式。该公式已被化工学术界普遍采用,并推广应用到液体扩散方面。

顾毓珍在 1932—1936 年研究流体在导管中的流动机理时,提出了两个经验公式:②

$$\lambda = 0.00559 + \frac{0.501}{Re^{0.32}} \text{ (适用于光滑管道)}$$

$$\lambda = 0.01227 + \frac{0.7543}{Re^{0.38}} \text{ (适用于铜铁管道)}$$

式中 λ 为摩擦系数, Re 为雷诺数。以上二式已被当时的化工书普遍采用。在此基础上,顾毓珍又提出了管中流体流动速度分布的公式。

杜长明 1929—1930 年在固体的干燥和固体燃料的燃烧机理方面做了不少研究。在蒸馏操作方面也有广泛研究,特别是在汽液平衡

① 张克忠(K. C. Chang) and W. K. Lewis; The Mechanism of Rectification, Trans. Am. Inst. Chem. Engrs., 1928, 21, 127—138。

② 顾毓珍(E. C. Koo), T. B. Drew, W. H. McAdams; The Friction Factor for Clean Round Pipes, Trans. Am. Inst. Chem. Engrs., 1932, 28, 55—72. 顾毓珍:《管中液体流动的摩擦系数》,《化学工程》第 3 卷(1936 年),第 3—14 页。

方面,朱汝瑾著有《蒸馏平衡数据》(1950年)一书。关于蒸馏塔的设计,也有一些论文发表,如黄彬文1947年发表的《袖珍酒精蒸馏器的设计》等。此外,在有机物蒸汽的冷凝系数、气体吸收、萃取等方面也有一些零散论文发表。

第三节 近代化学工业

一、近代化学工业的兴起

我国是一个文明古国,化学工艺开发甚早,像酿酒、陶瓷、染料、油漆、造纸、火药等早有生产。在十九世纪以前,它们的生产都是手工作坊式的,只要求有经验的工匠和熟练的工人,就能组织生产。随着西方近代化学知识的传入,一批新式的化学企业,像制酸、制碱、火柴、水泥、玻璃、肥皂、新法制革等逐步在我国兴起。

1914年11月,范旭东等在天津附近的塘沽筹建久大精盐公司,机器设备一部分由范旭东亲自赴日本采购,一部分由上海求新工厂制造。1916年9月公司生产出第一批精盐运往天津销售,不久在全国畅销。塘沽盐厂是中国第一个精盐厂,它的成功结束了中国人食用粗盐的时代,标志着我国近代较大规模的化学工业的出现。1919年五四运动以后,全国掀起了抵制洋货的高潮,国货工厂应时而生,一批较大规模的化学工厂也陆续建立起来。1920年范旭东又在塘沽创办永利制碱公司,聘请侯德榜(1890—1974年)任总工程师。经数年潜心研究,于1926年6月生产出高质量的红三角牌纯碱,并在美国费城万国博览会上荣获金质奖章。产品畅销国内外,使塘沽成为当时化学工业的重要基地。此后范旭东又在南京创办了永利铔(铵)厂。

除塘沽、南京外,在上海有天厨味精厂、天原电化厂、鉴臣香料

厂、中华火柴公司,在天津有启新洋灰公司等。它们标志着我国近代民族化学工业的崛起。

除了民办化工企业外,中央政府和各省政府办的国营化学工业中以兵工制造业为最早。兵工署辖许多兵工厂和火药厂,其中以汉阳火药厂、南京金陵兵工厂、汉阳兵工厂等成绩最为突出。实业部辖属的化工企业有钢铁厂、造纸厂等。广东省办的化工企业有水泥厂、硫酸厂、肥料厂、糖厂、啤酒厂等。山西省办的有毛织厂、火柴厂、洋布厂等。此外,在广西、山东、湖南等省也创办了一些化工企业。官商合办的有1935年在上海创办的中国酒精厂等。

总之,近代大规模的化学工业主要是从1911年中华民国成立后开始兴起的。这些化工企业所需的机器设备最初主要购自国外,部分是国内自己制造的。后来,自给的比例增大,有的甚至全用国货,如永利制碱厂所属的机械厂,几乎可以生产该厂所需的一切机器。组织近代化的生产,化工人才非常重要。起初兴办化学工业者几乎非聘用外国技师不可,后来国内人才渐多,如范旭东、吴蕴初等。其中有一些是留学回国的化学博士,如侯德榜、张克忠、张洪沅等。他们为我国近代化学工业的兴起和发展做出了贡献。

二、近代化学工业的发展概况

(一) 酸、碱、盐工业

酸和碱是化学工业的基本原料。盐的种类很多,有各种用途。其中有些盐类如硫酸铵、氯化铵、磷酸钾等是重要的化学肥料,食盐更是人们不可缺少的调味品。因此,酸、碱、盐与人们的生活密切相关,它们的广泛应用也推动了相关工业的发展。

1. 酸工业

无机酸工业主要是指硫酸、硝酸、盐酸等的制造。起始时生产规

模小,以军用硫酸为主,如汉阳火药厂,用铅室法制造硫酸,也生产硝酸。德州、成都、太原等兵工厂也有小规模生产。用接触法生产硫酸的有辽宁奉天兵工厂和巩县兵工厂。以上这些工厂的产品数量有限,只供本厂需要,用于军事目的。

生产工业上用硫酸的工厂,最早是1927年创办的渤海化学公司酸厂,其后是1928年广西省政府设立在梧州的硫酸厂,该厂采用广东产的硫铁矿为原料。该厂后由两广政府合资经营,改名为“两广硫酸厂”,用铅室法生产硫酸,并能自制硝酸和盐酸。此外还有唐山得利三酸厂和天津得利三酸厂等,这些酸厂所用原料大部分依靠进口。

随着工业的发展,酸之需求量大增,其产量远不能满足需要。在这种情况下,大规模的制酸工厂相继创立。1929年10月,吴蕴初集资二十万元,在上海周家桥创办天原电化厂,并于1930年11月试车成功,用电解法先制得氢和氯,然后合成为盐酸。这是中国第一个氯碱厂。这标志着中国有了自己的氯碱工业,是我国化学工业发展的一个新起点。抗日战争期间,该厂内迁四川,于1940年建立重庆天原电化厂,1943年建立宜宾天原电化厂。抗日战争胜利后,1946年上海天原电化厂恢复生产。

1934年范旭东在江苏六合县卸甲甸地区购地一千三百亩,开始筹建永利硫酸铍(铵)厂,并派总工程师侯德榜率杨运珊、章怀西等赴美国、加拿大考察。经过综合分析,决定采用当时最先进的哈伯法生产硫酸铵。1937年2月一次试车成功投产。这是当时我国规模最大的合成氨化工企业,号称“远东第一”。它以生产硫酸铵为主,硫酸、硝酸为辅。以生产硝酸为主,氨液为辅的有上海天利氮气厂,用氨氧化法制得硝酸。供学术研究和医药等用的高纯度酸,在抗日战争前几乎全部依赖进口,抗日战争爆发后来源断绝,促使国内开始制造纯酸,以供各方需要。经济部中央工业试验所特设厂,精制酸类,中央制药厂也有纯酸的制备。

有机酸工业在 1950 年前几乎是空白,仅有上海江南化学工业制造厂于 1935 年开始制造水醋酸。这是我国有机酸制造之起步。但因周转不灵,于 1937 年前停工。

2. 碱工业

碱可分为纯碱、烧碱和硫化碱等。在我国未设厂制造以前,工业和生活用碱主要依赖于天然碱,以内蒙古自治区碱湖产的天然碱(当时称为“口碱”)最为有名。除了天然碱外,其余大部靠从英国进口洋碱面。采用化学方法用芒硝(硫酸钠)为原料制造纯碱的,以清末创设于四川的同益曹达工厂为最早。该厂用四川彭山县产的天然芒硝,借助石灰石和焦炭的作用生产纯碱。第一次世界大战爆发后,纯碱的输入断绝,促使我国发展自己的制碱工业。一批小型制碱厂相继建立。初以旧法生产,规模小,产量低。采用路布兰后半段法制碱的,还有四川的开济、裕华等厂及上海开源公司(生产泡火碱)。全部采用路布兰法制碱的有四川的瑞华公司碱厂(生产纯碱)和庆华颜料厂(生产硫化碱)。采用苏尔维法制碱,最早且规模最大的当属塘沽永利制碱厂。1917 年冬,范旭东鉴于欧洲战争使国内洋碱缺乏,影响我国工业发展,决定建立碱厂。1918 年 11 月,在天津发起成立永利制碱公司,发起人是范旭东、陈调甫、王小徐、景学铃、张弧、李穆和聂云台。范旭东派陈调甫去美国学习、考察制碱工业,寻求设计方案,订购设备。设计虽由美国人主持,但具体工作都由中国留学生担任,当时在美国留学的侯德榜也被聘参加设计工作。1919 年永利碱厂破土动工。1921 年侯德榜学成回国,应聘塘沽碱厂总工程师。1924 年 8 月永利碱厂开工出碱。但因从美国购进的干燥锅质量低劣,造成产品质量不合格。经过近两年的努力改进,于 1926 年 6 月重新开工,终于生产出纯度为百分之九十九以上的纯碱,打破了英国卜内门公司独霸纯碱市场的局面。除了行销国内,还远销日本等国。1932 年侯德榜在美国纽约用英文出版了《纯碱制造》(Manufacture of Soda),第一次

打破了苏尔维集团对纯碱制造的垄断,在国际化工界产生了巨大影响。永利制碱厂除了生产纯碱外,还用自产纯碱为原料,用石灰苛化法生产苛性碱。抗日战争爆发前,永利碱厂的产量逐年增加,到1936年纯碱年产量为五万五千余吨,烧碱为四千四百余吨。抗日战争期间,永利碱厂遭到严重破坏。后永利厂迁到内地,范旭东于1938年在四川五通桥创建新厂——永利川厂。

生产烧碱的另一种方法是食盐电解法。其中最成功的要算吴蕴初于1929年在上海创办的天原电化厂。该厂除了生产盐酸外,还年产烧碱七百余吨。抗日战争爆发前,生产能力不断扩大,产量逐年增加。生产烧碱的还有创建于1935年的广东省营烧碱厂和1936年建厂的山西太原兵工厂所办的电化厂。

3. “侯氏制碱法”的诞生

1937年日本发动侵华战争后,塘沽永利碱厂和南京永利锤(铵)厂先后被日军霸占。范旭东、侯德榜为了重振民族化学工业,决定在四川五通桥筹建永利川厂。但川西产的盐比海盐价格贵,产量少,致使制碱成本太高。苏尔维制碱法虽然在当时比较先进,但也存在不少缺点,如食盐的利用率低,有百分之三十的盐白白损失掉,盐中所含的氯也未被利用,蒸氨塔放出的废液难以处理,污染环境,因此必须寻找新的制碱方法。为了提高食盐的综合利用率,解决废液处理问题,侯德榜经过考察和研究,提出了新的设计方案。为了克服内地仪器设备和材料的不足,他在香港设立了实验室。在实验中坚持科学态度和严谨作风,先后进行了五百多次实验,分析了两千多个样品,到1939年底摸清了新制碱法的各种工艺条件。此法的要点是:在氨碱法的滤液中,加入固定食盐,并在30—40℃下通入氨和二氧化碳使达到饱和,冷却至10℃以下,即可得到氯化铵结晶,而母液又可输回到氨碱法生产中。侯德榜在上海法租界、美国哥伦比亚大学和四川五通桥三个地方进行扩大试验,获得良好结果,新制碱法获得成功。

1941年3月15日永利公司总经理范旭东在永利川厂集会上宣布,决定将新的制碱法命名为“侯氏制碱法”。这一新的制碱法的诞生,不仅是对世界制碱技术的重大突破,更重要的是为抗日战争中的中国人争了一口气。

当永利同仁写信向在美国的侯德榜总工程师表示祝贺时,他并未就此满足,而是认为这一分批操作的新制碱法尚不理想。侯德榜又设计了一个新的流程图,巧妙地把合成氨和制碱合为一体,用同一套工艺流程生产出工业原料纯碱和农用化肥氯化铵。为了实现这一新流程的扩大试验,侯德榜千方百计从美国买到新制碱法原料用氨,几经周折转运到四川。在侯德榜的指导下,连续法在1943年11月顺利试车成功,不仅使盐的利用率提高到98%以上,而且可以实现连续化生产,既提高了产量,又节省了设备。其优越性大大超过了苏尔维法。此时,一个崭新的联合制碱法——“侯氏制碱法”得以完全确定。

侯德榜这一重大科学成就,在国内外引起了强烈反响,使他获得了崇高的荣誉和奖赏。他荣获和荣任中国工程师学会第一届化工贡献最大者荣誉奖章,范旭东纪念奖金、奖章,英国皇家学会荣誉会员、英国化工学会荣誉奖章,美国机械工程学会终身荣誉会员、美国哥伦比亚大学奖章及特赠科学博士等。

永利化学工业公司为表彰侯德榜总工程师的功绩,特在南京永利宁厂修建了一座设有中央实验室和生产设计科、技术科的办公大楼,命名为“致本化学馆”。^①

4. 盐工业

我国近代精盐工业是从范旭东、景学铃等于1914年创办久大精盐公司开始的。1912年范旭东从日本留学回国,在财政部任职。1913年奉命赴欧洲考察盐政和制盐工业。回国后又到渤海之滨的塘沽实

^① 侯德榜,字致本。

地考察,决定在塘沽兴办精盐厂。1914年7月呈请北京政府财政部盐务署批准立案。1915年6月破土动工。1916年9月生产出第一批精盐。开始生产时日产五吨,1919年扩建后年产量最多达六万二千五百吨。产品行销全国,并外销日本,产品商标为五角形的“海王星”。此后又陆续兴建了一些盐厂,如1919年有烟台通益,1921年有营口福海,1923年有青岛永裕,1928年有上海浦东和五和等精盐厂设立。利用盐田副产品制成各种无机盐,如硫酸钠、硫酸镁、硫酸钙、碳酸钙、碳酸镁等。汉沽之渤海化学公司专制硫化钠、硅酸钠,久大精盐工厂副产部也制造硫酸钙、碳酸镁、石膏等重要的无机工业药品。

(二) 制药工业

制药工业涉及到药理学、化学和生物化学等多种学科,且与民众的健康息息相关,因此也是化学工业的重要组成部分。

1. 近代制药工业的起源

制药工业最初是从建药房开始的。当时上海是中国东部最大的通商口岸,药房多设于此,内地则很少。最早的一个西药房是英国药师洛克(J. B. Lock)于1850年1月在上海创办的上海药房。德国医生于1866年在上海设立科发药房,1909年创建科发药厂,为当时上海规模最大的药厂。上海华商自办的药房大多建于光绪中叶到宣统年间,其中较大的有五洲大药房、中西药房、中法药房和华英药房。初期以贩卖外国药品(西药)、卫生材料和医疗器械为主,也兼配中药。随着营业发展的需要,各药房逐渐开始设立自己的药厂。创立最早药厂为五洲固本皂药厂(1922年),生产药皂和各种成药制剂。其后是中法药房设厂(1925年),制造人丹。一批新药厂如新亚药厂、信谊药厂等纷纷设立。其中西药制造以信谊化学制药厂为最早,该厂创建于1924年,以生产消炎药“消治龙”著名。

由中药提炼制成药液的有1922年设立的上海粹华制药厂,生产当归精、贝母精等。从五倍子中提取单宁酸的有重庆的中国药产提炼

公司和成都的永生化学公司。还有的药厂专门提炼甘草精。

我国近代制药工业初期是以贩卖进口西药和制造成药为主,多是手工作业。抗日战争期间,上海一些药厂迁往重庆。抗日战争胜利后,上海又有二十余家药厂设立,如新光、新德、济华、金城、光明等药厂。

2. 近代制药工业的发展

二三十年代,一些新药如维生素类药、激素类药,通过各国学者的不断研究,它们的作用逐渐被人们所认识,生物学家和化学家的密切配合促进了药物化学和制药业的发展。人们可以从天然来源制出结晶,进一步证明药物的结构,并通过有机合成的途径制成新药。三四十年代,这种合成新药的制造发展很快,逐渐走上了工业化生产的道路。各药厂生产的国产有机新药达几百种,如安痢生、净螺散、磺酰胺、醒热利、大枫子油乙酯、癫痫停、行径烷酚、维生素 E、维生素 K 等等。有机新药的生产,多数为仿制世界名厂的产品,也创有若干新药品。无机化学药品因原料贵,成本高,还没有形成大规模的化学工业,此类药品当时主要依靠国外进口。

伪满时期,东北地区制药工业受日本控制。起初药品供应由日本输入,后改为日商在东北设厂制药,如武田药品工业、田边制药等株式会社。日本投降后,各药厂由军政部接收,移交卫生部接管。这些药厂多设于沈阳,规模较大的有东北第一制药厂和第二制药厂。

(三) 酒精工业

酒精化学名为乙醇,是重要的有机溶剂,也是液体燃料的一种。在 1921 年前我国还没有建立自己的酒精工业,学术研究和工业上所需酒精皆为进口货,以日货为最多。我国最早的酒精生产厂是 1922 年山东济南溥益糖厂附设的酒精工厂。该厂利用制糖的副产品糖蜜来生产酒精,具有日产酒精一千二百美加仑的生产能力。1927 年因

原料不足而停产，1936年恢复酒精生产。在抗日战争爆发前，生产酒精的工厂还有上海的中国酒精厂和美龙酒精厂、湖南酒精厂、陕西酒精厂、广西柳州酒精厂、广东省营糖厂附设酒精厂、北平的五星酒精厂等。其中规模最大的当属中国酒精厂，号称“远东第一”，机器设备新，全部购自英国，采用爪哇糖蜜为原料，每日可生产九十六度酒精七千英加仑。其次是上海美龙酒精厂，引进日本机器设备，聘日人为工程师，每日可生产酒精三千英加仑。我国近代最早生产无水酒精的工厂是1936年在陕西咸阳创建的陕西酒精厂。该厂的设备购自德国，并聘德人为工程师，以玉米为原料，日产无水酒精四千五百千克。

抗日战争爆发后，上海中国酒精厂等许多工厂遭到破坏。陕西酒精厂也于1939年迁往四川，建立了资中酒精厂。在此期间，一大批新的酒精厂相继建立，其中四川境内的就有五十余家。大部分为民营厂。位于其他各省的酒精厂有国营、省营、商营和军营。其中国营的有云南酒精厂，日产酒精一千五百加仑，遵义酒精厂，日产一千五百加仑，甘肃酒精厂等。省营的有江西民生酒精厂、湖南酒精厂和广西柳州酒精厂等。商营的有西华动力酒精厂等，规模较大。军营的有第三战区司令部酒精厂等。

(四) 食品化学工业

1. 制糖工业

我国制糖业出现甚早，唐代已有砂糖生产的记载。但数千年来，一直墨守旧法，生产粗糖。自清末与外国通商以来，洋糖大量输入中国。进口糖关税低，使民间糖业备受摧残。1908年国人在东北嫩江建立一糖厂，机器设备购自德国，以甜菜为原料。后因经营不善，于1930年停业。1920年袁良在山东济南筹设溥益糖厂，1928年因糖价跌落而停业。1932年我国实行糖类进口新税制以后，糖类进口量减少，制糖业得到了保护，日渐繁荣。

我国制糖业比较发达的省份有广东、福建、广西、四川、浙江、江西和甘肃。在抗日战争爆发前,我国共有糖厂八所(见表 13-1),大部分糖厂集中在广东省,其中规模最大的是广州市头糖厂。

表 13-1 抗战前我国糖厂的基本情况

厂名	厂址	生产能力(吨)	生产方法	性质
惠阳糖厂	广东惠阳	1000	亚硫酸法	总司令部军垦处
新造糖厂	广州新造	500	石灰法	省营
市头糖厂	广州市头	2750	亚硫酸法	省营
顺德糖厂	广东顺德	1000	亚硫酸法	省营
揭阳糖厂	广东揭阳	750	亚硫酸法	省营
东莞糖厂	广东东莞	1000	亚硫酸法	总司令部军垦处
溥益糖厂	山东济南	500	亚硫酸法	民营
贵县糖厂	广西贵县	300	亚硫酸法	省营

抗日战争爆发后,各大糖厂均遭到严重破坏,无法正常生产,制糖工业受到严重的打击。抗战胜利后,我国的制糖工业得到了恢复和发展。

2. 酿酒工业

我国酿酒的历史悠久,酒的种类也很多,比较有名的有绍兴酒、茅台酒、汾酒和高粱酒等。早期为旧法生产,生产规模不大。民国成立(1912年)后,由于洋酒(啤酒、白兰地酒、葡萄酒等)输入增多,生产洋酒的机械化的新式工厂开始设立。酒的生产主要集中在北平、山东、贵州、江苏、四川、浙江、上海和山西等地。在北平有双合盛啤酒厂^①,用自制的麦芽生产出优质啤酒,远销南洋各国。还有北平玉泉酿造公司和法国人办的法国葡萄酒厂。在山东烟台建有醴泉公司、义成公司和烟台啤酒公司等。特别值得一提的是烟台张裕葡萄酿酒公司,它是由爱国华侨张弼士(1841--1916年)于1892年创办的,是我

^① 该厂由山东人王禹川于1914年创办。

国第一个工业化生产葡萄酒的厂家。1915年张裕公司生产的可雅白兰地、红葡萄酒、味美思和雷司令四种产品同获巴拿马国际博览会金奖和最优等奖状,这是中国葡萄酒第一次在国际上获奖,可雅白兰地由此改名为金奖白兰地。此后该厂产品多次获世界优质产品金奖。在1915年巴拿马国际博览会上同时获得金奖的还有贵州省仁怀县茅台镇产的茅台酒,山西汾酒厂生产的汾酒,四川泸州老窖特曲和江苏洋河大曲。上海的家庭工业社出品的白兰地酒、茅台酒、安息香酒等,康成酒厂生产的各类果酒,鼎阳观酿酒公司生产的白玫瑰酒和葡萄酒等,亦很有名。

3. 调味品工业

酱油是人们日常生活所需的调味品,与国计民生的关系极为密切。长期以来,我国酿造酱油停留在原始作坊式生产阶段,完全靠手工操作。二十世纪三十年代,日本的酱油生产已实施了机械化生产。为了改变当时我国酱油生产的落后状况,南京中央工业试验所的陈驹声在总结我国各地旧法酿造的基础上,进行了大胆的改进。1932年酱油速酿法终于研究成功,使酱油质量和生产效率显著提高。此法很快在全国推行。当时较大的酱油厂有北平福华酱油厂、河北宏中酱油厂、上海冠益食品厂附设的酱油厂等。

味精也是人们生活中常用的调味品。谷氨酸钠是一种具有鲜味的调味品,最早由日本人池田发现。我国的味精工业建于二十年代,是从吴蕴初(1891—1953年)创办天厨味精厂开始的。吴蕴初是上海嘉定人,1911年毕业于上海兵工学堂化学科。1921年为抵制日本“味の素”倾销国内市场,决心试制国产味精,并获得成功。1923年他与张逸云合作在上海创办了我国第一家味精厂——天厨味精厂。其味精以面筋大豆为原料,经盐酸水解而成。该厂生产的“佛手”牌味精畅销全国,并远销国外。为了改变生产味精的原料——盐酸依靠日本货的局面,吴蕴初于1929年又创办了天原电化厂,生产盐酸等产品,从

而摆脱了日本人的控制。天厨味精厂的成功促进了国产调味品工业的发展。在天厨厂之后,上海又建起了数家生产调味品的工厂,如中国化学工业社的观音粉,天一厂的味母,太平洋化学工业社的津津味素等,各树一帜。1935年北京大学的胡美应美国某厂之聘,研究设计一调味品厂,开我国专家受聘于国外之先河。^①

(五) 橡胶工业

我国的橡胶工业以清末岑春萱在海南岛创设侨丰公司为开端,公司试种橡树获得成功。当时新加坡华侨陈嘉庚在柔佛拥有一千三百英亩橡胶园,资本达一千万元,并设橡胶制品厂,其产品畅销国内,1934年收盘。1935年由黄仲吉接办,设立华侨橡胶制造厂。国内的橡胶制品工业始创于广州,其后扩展至上海、青岛、烟台、福州、重庆等地。在广州有1918年创建的广东兄弟公司橡胶厂、1922年设立的冯强制胶厂等多家。在上海有大中华、正泰、厚生、德昌、中国、瑞隆、宏大等数十家橡胶制品厂。另外,福州有正记,烟台有同成,青岛有南洋,重庆有中南等橡胶厂。这些橡胶制品厂大多是制胶底、胶鞋、热水袋等,也有一些厂家兼制车胎。抗日战争胜利后,国民政府接收日本人经营的橡胶厂有沈阳橡胶厂和青岛齐鲁橡胶厂,这两厂以生产汽车、卡车的轮胎为主,规模比较大。

(六) 油漆染料工业

我国最早的涂料厂是1915年由阮霭南、周元泰等人合伙在上海创办的开林颜料油漆厂。该厂生产厚白漆、白铅粉、红丹和调合漆等多个品种,注册商标为“双斧”牌。1917年振华油漆公司成立,生产各种油漆、颜料等。1926年由留美归国的陈广顺、陈次平等人创办永固造漆股份有限公司,生产“长城”牌厚漆、清油、调合漆、清漆等。该公司于1937年开始生产硝基漆,还生产绉纹漆、晶纹漆。在上海还有元

^① 曾昭抡:《二十年来中国化学之进展》,《科学》第19卷(1935年)第10期。

丰、万里、华昌、元顺和上海喷漆制造厂等多家。1949年中华人民共和国成立后,开林、永固、永华、益民、上海等多家油漆厂、颜料厂合并成立了国营企业——上海开林造漆厂。在天津有1923年设立的东方油漆厂,其后又设立了永华、保华、大成、永明油漆厂和中国油漆颜料公司。此外,在四川重庆、湖北汉口、贵州等地都有油漆厂设立。

染料工业是我国各类工业中基础比较薄弱的工业。在中华人民共和国成立前以天然染料为主,化学染料当时只能生产硫化元青。1922年在济南有裕兴化学颜料工厂设立,1924年有潍县裕鲁颜料公司设立。此后,在上海、天津、重庆等地也有一些化学染料厂设立。另外,日本人也曾在山东和东北设立此种工厂。

(七) 香料工业

香料是一类芳香物质,它具有消毒、解秽、杀菌、防腐等多种功能,与人们生活有密切的关系。中国的香料工业很落后,起初大多以经营天然香料为主,以香港、上海比较集中。当时西欧一些国家把香料、香精以及各种香妆品源源运往我国,肆意倾销,使我国的香料行业受到严重打击。上海人李润田曾在江南制造局广方言馆攻读过化学,他抱着实业救国的热忱,决心创建民族香料工业。1929年他研制并推销自创的“鹰”牌香精。1935年自建厂房,创建了我国第一个香料厂——鉴臣香料厂。由于他悉心研究,产品的品种不断增加,陆续生产出各种不同香型和不同用途的混合香精,包括化妆品用、皂用、食用、烟用等,花色品种逐步齐全。他成为当时国内有名的香精专家。鉴臣厂除在上海设立总公司外,还先后在全国主要城市设立了分公司、办事处、代理处等分支机构;在香港设立了分行,专门推销“鹰”牌香精。抗日战争胜利后,上海成立了香料工业同业协会,李润田被推选为同业协会主任委员。1943年他将独资经营的鉴臣行改组为香精原料股份有限公司。

第十四章 近代化学研究机构 和学术团体

第一节 研究机构

我国化学化工研究机构大多创建于二十世纪二三十年代,大致分四种类型:第一,国立研究机构,如中央研究院化学研究所,北平研究院化学研究所、药物研究所,实业部中央工业试验所,商品检验局以及山东、河北、广东、广西、上海等省市设立的工业试验所等。第二,私立研究机构,有黄海化学工业研究社、上海中华化学工业研究所、四川中国西部科学院等。第三,一些大学设立的研究机构,如南开大学应用化学研究所、广州中山大学化学工业研究所、厦门大学制革试验所、南京大学化学研究所等。第四,外国人在中国设立的研究机构,如美国人在北京办的协和医学院生物化学系、英国人在上海办的莱斯特医药研究所和日本人在大连办的大连科学研究所化学部等。

以下列举几个研究机构的概况:

(一) 中央研究院化学研究所

1928年7月在上海成立的中央研究院化学研究所,是我国第一

个由政府创办的化学研究机构,其前身是理化实业研究所下设的化学组。该所第一任(1928—1933年)所长是王璉,第二任(1934—1939年)所长是庄长恭。抗日战争爆发后于1938年迁至昆明。1940—1941年由中央研究院前任总干事任鸿隽兼任所长,1942年以后至1948年由吴学周任所长。

该所初期主要进行中药和有机化合物合成方面的研究。抗战期间,主要是因地制宜,对云南地区的药材和矿产资源进行研究。

抗战胜利后,于1946年迁回上海岳阳路原自然科学研究所旧址,恢复了正常工作,分设四个研究组:分析化学组,主要研究新的分析方法及工农业原料成分的分析;有机生物化学组,主要研究有机合成方法、生物化学和以中药研究为中心的药物化学等问题;无机理论化学组,研究气体化学和电化学方面的问题;应用化学组,主要研究与农业有关的化学问题。

到1948年,全所工作人员由建所初期的十几人增加到三十余人,其中专任研究员除吴学周外,有黄鸣龙、柳大纲、梁树权、沈青囊、沈昭文、卢嘉锡等。通讯研究员有吴宪、侯德榜、曾昭抡、萨本铁、孙学悟、黄子卿、庄长恭、李约瑟和张克忠。

主要仪器设备有高准确度分析天平、气体分析仪、电位滴定仪、石英仪器、X射线光谱仪和紫外光谱仪等。

该所在分子光谱、类固醇男女性激素、天然有机物提取、霍夫曼反应、局部麻醉剂和中草药等方面,取得了不少研究成果,发表论文百余篇,大多发表在《中央研究院化学研究所集刊》、《中国化学会会志》和《化学工程》等刊物上。

1948年,中央研究院评议会第二届第五次会议选出八十一名院士为终身名誉职称,侯德榜、曾昭抡、庄长恭、吴学周、吴宪等著名化学家当选为院士。

(二) 北平研究院化学研究所

该所于1929年11月在北平东皇城根四十二号成立。李麟玉任主任,研究员有周发岐、杨光弼、刘为涛、章汉良等。1935年研究所改主任为所长,刘为涛任所长。抗日战争爆发后,1938年迁到昆明。抗战胜利后,1945年迁回北平,周发岐任所长,专任研究员有王序、陈光旭、蒋明谦、纪育沔等。

该所研究工作侧重有机化学和化工试验。主要有有机化学理论的探讨、有机化合物的合成方法、天然产物中有机化合物的提取及分子结构等方面的研究。抗战期间,为适应抗战需要,侧重于应用方面研究,例如木材干馏、人工汽油制造、飞机翼涂料制造、酱油速酿合成试验等。

(三) 北平研究院药物研究所

该所于1932年7月在北平成立,所址在东皇城根四十二号。次年迁到上海武康路三百九十五号。首任所长为赵承嘏,研究人员有陈克恢、纪育沔、梅斌夫、高怡生等。

该所主要研究国产药材中化学成分的分析及其药理作用,例如麻黄、贝母、延胡索、柴胡、远志、钩吻等十几种药材。在《美国化学会会志》、《德国化学会会志》、《中国医学杂志》和《中国生理学杂志》等刊物上发表论文四十余篇。

在药理方面的研究,主要是与美国礼来药厂陈克恢博士进行合作研究,并发表过一些高水平的研究论文。

以上三个研究所在1949年中华人民共和国成立后,均被中国科学院接收。

(四) 黄海化学工业研究社

该社的前身是久大精盐公司所属的一个化学研究室。1922年8月,精盐公司的创办人范旭东决定把该研究室从公司分出来,在河北塘沽正式成立了黄海化学工业研究社,聘孙学悟(1888—1952年)为社长。这是我国第一个民办化工研究机构。

黄海化学工业研究社的研究工作主要有：第一，协助永利、久大两厂工作。帮助永利碱厂做了碳酸塔的查定工作，增加了塔的产量。1934年建设南京硫酸铯厂时，承担了各种规格型号耐火材料和耐酸材料的化学分析及物质检验等。第二，进行发酵与菌学的研究，包括新发酵工业的研究、苧麻脱胶的研究。第三，1935年试制出我国第一份金属铝样品，并对明矾石的综合利用进行了详细研究。第四，进行对钾肥、磷肥、氮肥的提取以及农村堆肥的微生物利用的研究。第五，研究浓盐水的精制，提高食盐产量和质量以及其他盐类的综合利用等。

抗日战争爆发后，1938年黄海化学工业研究社先迁到长沙水陆洲，后转迁到四川五通桥。在搬迁过程中，仪器和图书资料等损失大部。在实验条件非常困难的情况下，仍开展了不少研究工作：

在发酵与菌学方面，研究了糖蜜发酵、乳酸发酵、五倍子发酵制倍酸、微生物的收集和分离等研究。这些研究成果收录在该社创办的《黄海发酵与菌学》内。该刊从1939年创刊至1952年停刊，前后共出版十二卷70期。

在肥料研究方面，完成了五通桥区植物含钾量的测定和由钾碱制氯化钾的试验。

在金属研究方面，对云、贵两省的六十多种铝土页岩样品做了分析，并对江西出产的铋砂含量进行分析，用土法炼出了金属铋，建立了我国金属铋自给自足的基础。

在水溶盐类研究方面，通过对犍乐盐区地质的研究和五通桥区卤水的分析，提高了含盐产量，降低了能源消耗，解除了痹病对人们的威胁。通过对川盐副产物卤巴、卤水、黑卤水和黑卤水的分析、研究，制得溴、石膏、氯化钠和硫酸镁等，变废为宝，辅助医药等工业。先后建成了贡井的三一化学制品厂、五通桥的四海化工厂和明星化学制药厂，促进了地方化学工业的发展。

抗战胜利后，黄海化学工业研究社于1949年10月迁到北京芳

嘉园一号,并于1951年5月在北京成立总社,下设五个研究室:发酵与菌学实验室,主任方心芳;有机化学实验室,主任魏文德;无机化学实验室,主任吴冰颜;分析化学实验室,主任赵博泉;化工研究室,主任孙继商。上述各室主任,均为出国深造归来的学者。

(五) 南开大学应用化学研究所

该所是我国高等院校中第一个建立的应用化学研究机构,创办于1932年,所长是张克忠。研究人员有张洪沅、谢明山、高长庚、仇铁僂、苏元复等。

该所设有化验部、制造部和咨询部,有偿为社会服务,先后建立了专题实验室、分析实验室、化工实验室、普通实验室、酵母培养室、天平室和图书资料室。主要研究工作有:

分析化验样品,仿制轻工产品。从1932年至1936年,接受委托,分析化验了三百二十三个样品,仿制成功油墨、复写纸、浆纱粉、金属磨光皂等轻工产品,为减少对洋货的依赖,发展国产制品,起了良好作用。

解决工业生产中问题,研究农副产品的综合利用。根据生产需要,为桅灯厂研制手电灯反光镜,为达仁堂药店解决蜂蜜脱嗅,为制蛋厂改进制蛋质量,为《大公报》研制合金铅字等。在农副产品和食品工业方面,对谷糖制造、黑豆油漂白、棉籽综合利用、从植物秆中提取造纸原料、改进固体发酵制酒的传统工艺等,取得良好效果。

设计和安装化学工程项目。1933年,天津利中公司拟请外商包建一座日产三吨的硫酸厂,仅设备费就高达二十五万元;而由应用化学所承担该项目,只用了十三万元,不到一年酸厂建成投产,为天津制酸工业奠定了基础。此外,该所还设计了思勤油厂,日轧棉籽五万斤。

为了把研究成果尽快转化为生产力,该所于1934年成立了南开化学工业社,1936年改建为研究所的试验工厂,生产硬脂酸、甘油、

钾皂、酒精、黄铅粉、红铅粉等,供应市场需要。

(六) 北京协和医学院生物化学系

北京协和医学院的前身是 1906 年由六个耶稣教会在北京创办的华北协和医学校。从 1915 年起全部费用由美国洛克菲勒基金会支持,使协和医学校脱离教会,并在东单三条修建新校。吴宪于 1921 年到校任职,1925 年升为教授并任生化系主任,直到 1941 年珍珠港事件发生,日军封闭协和医学院为止。当时生化系有深度冷冻、超速离心、生物氧化和微量分析等良好的实验设备,成为我国最早的生物化学研究中心。在吴宪主持下,研究工作得到迅速发展,在临床生物化学、蛋白质变性、食物营养、免疫化学和氨基酸代谢等方面,取得了不少研究成果。

(七) 大连科学研究所化学部

该所是日本于 1908 年在中国创办的一所历史最久、规模最大的研究机构,原名满铁中央试验所,包括化学、卫生、电机、机械四部分。化学方面有十四个实验室和许多小型试验工厂。该所 1908—1914 年,主要是调查东北资源。1915—1926 年,进行资源利用试验,如大豆的利用、耐火材料的利用、抚顺油页岩的利用等。1926 年以后开展了一些独立研究工作,如从礞土页岩炼铝,从菱铁矿炼镁,煤的氢化,海绵铁的制造以及选矿等。

第二节 学术团体和刊物

科学技术的发展,促进了学术团体的诞生和科技刊物的创办。我国留学生看到学术团体对促进科学发展的积极作用,于二十世纪初,先后在欧洲、美国和日本等国成立了化学、化工临时学术团体,后又在国内重新成立长久性的化学、化工学术团体。

(一) 中国化学会欧洲支会^①

中国化学会欧洲支会是我国最早的化学学术团体。由我国早年在欧洲留学的俞同奎、利寅(留英),李景镛、吴匡时(留法),陆安、荣光、陈传瑚(留比)七人发起,于1907年12月25日在法国巴黎成立。同月25—27日开成立会,制订了学会章程,讨论了学会工作,选举了会长、书记和会计。首任会长是俞同奎。

1908年8月10日至19日,中国化学会欧洲支会在英国伦敦召开了第一届年会,到会代表十六人。会议由俞同奎会长报告学会成立一年来的工作,并讨论下列事项:

出版事宜及其办理办法;出版物格式;词典是否出版;编译教科书的办法;调查录应否另刊;分门担任调查,回答国内函询事项;改良会中组织;推广支会办法;振兴中国化学事业的方法;学会经费及捐助事项。

会议的第三项内容是评定化学名词;评定公用原质名;定公用无机名词;定公用有机名词;定重要化学书之应用名词;定万国通用之度量衡译名。

该会曾组织会员调查了欧洲的电化学、煤滓油工业、糖、酒、制革、煤油、印染、硫黄、玻璃、钢铁、煤气、造纸、肥皂、染料、炼铅、照相等化学情况,并将调查材料寄回国内,以促进祖国民族工业的发展。

该会还组织会员厘定化学名词,二十四名会员在半年多时间内共厘定了无机名词、有机名词、应用名词和度量衡译名等,为统一名词,促进近代化学在中国的传播贡献了力量。

两三年后,由于旅欧学生陆续回国,该会也随之停止了活动。

(二) 中华化学工业会

^① 该会曾印行过一本手写体的小册子,名为《中国化学会欧洲支会戊申年报告》,本节内容来源于此。

该会是我国最早成立的化工学术团体,是中国化工学会的前身。发起人是北京大学的陈世璋和俞同奎等,1922年4月23日在北京成立。以“根据学以致用原则,促进化学界与实业界之联络,提高我国化学工业的技术水平”为宗旨。首任会长是张新吾,总书记是吴匡时,总编辑是俞同奎。之后,由曹惠群、曹梁厦、程瀛章、吴蕴初、陈世璋、徐作和等先后任会长。1929年,总会迁至上海,抗战期间迁到重庆,抗战胜利后又迁回上海。

该会于1923年在北京创办了《中华化学工业会会志》,是我国最早的化工学术刊物。俞同奎任总编辑,之后有吴承洛、王璠、戴济、徐作和、曹梁厦、王箴继任总编辑。该刊前期主要刊登调查报告。1929年改名为《化学工业》之后,主要刊登研究论文。该刊于1950年与《化学工程》合并改名为《化学工业与工程》在天津出版,由张克忠任主编。1952年停刊。

中华化学工业会还于1946年在上海创办了《化学世界》,由曹梁厦任主编。1949年以后由王箴任主编。该刊主要是介绍化学化工知识,交流研究成果和报道有关信息。

(三) 中国化学工程学会

该会于1930年2月在美国麻省理工学院成立,由留学美国的张洪沅、顾毓珍、吴承洛、杜长明等九人发起。首任会长是程耀椿,书记是顾毓珍。张洪沅和侯德榜曾先后任会长。

该会以“研究化工学术,提倡化工事业”为宗旨,先后召开了七次年会。第一次年会是1930年9月在美国麻省理工学院召开的。

1934年,多数会员回国,在天津召开了平津座谈会,决定创办《化学工程》会刊,由吴承洛任总编辑。该刊1934年创刊,出版两期。1935年所载论文均用外文发表。1936年改为季刊。1950年与《化学工业》合并,改名《化学工业与工程》,于1952年停刊。

中国化学工程学会在编译化工名词方面做了不少工作,至1935

年共编译了十个专业的化工名词八千余条。该会是中国化工学会的前身之一。

(四) 中国化学会

中国化学会于1932年8月4日在南京成立,以“联络国内外化学家共图化学在中国之发展”为宗旨。

1932年8月1日至5日,教育部在南京召开化学讨论会,讨论国防化学,修订化学课程标准和整理化学译名。参加会议的代表是来自全国各地、曾经留学欧、美、日的丁嗣贤、王箴、王璉、吴承洛、陈裕光、曾昭抡、郑贞文、戴安邦等四十五位化学家。在会议讨论过程中,大家认为,“九一八事变”后日军侵占我国东北大片国土,民族处于危难关头,化学工作者应组织起来,共同为发展我国化学科学事业,为抗日救国贡献力量。8月2日下午,由王璉、李方训、戈福祥、黄新彦、邵家麟、李运华、康辛元、张洪沅、张资琪、陈可忠、胡安恺等十八人在灵谷寺开筹备会,商讨成立中国化学会事宜。会上推举黄新彦、王璉、陈裕光起草宣言及章程。

8月4日晚,召开了学会成立大会。8月5日下午召开选举会和第一次理事会。选举陈可忠、陈裕光、丁嗣贤、曾昭抡、王璉、姚万年、郑贞文、吴承洛、李运华九人为理事,黄新彦、戈福祥二人为候补理事。接着召开第一次理事会,选举陈裕光、吴承洛、王璉为常务理事,陈裕光任会长,吴承洛任书记,王璉任会计。会议通过了出版《中国化学会会志》的决议和成立基金委员会、国防委员会、征求会员委员会等决议。

中国化学会自成立至1948年,先后由陈裕光、曾昭抡、吴承洛、张洪沅、范旭东等任会长、理事长。会员由建会时的四十五人发展到三千一百一十五人,团体会员一百五十个单位。

该会从1933年至1948年,每年召开一次年会,参加人数达一千七百余人次,宣读论文五百余篇,促进了学术交流,反映了我国化学

家在三四十年代基础研究与应用研究方面的成果与进展。同时组织和动员化学界支援抗战和后方工业建设。例如,1934年8月在上海召开第二届年会,除宣读论文外,还通过了《加强协作与联系需要开展化学研究》的决议,号召会员以中国在衣、食、住、行和国际化学上的需要,选择研究课题。又如,1938年抗日战争日益激烈,开展学术活动非常困难,几乎所有的学术团体都停止了年会活动,而中国化学会仍在重庆召开了第六届年会,到会代表五十七人,宣读论文十四篇。与会代表还讨论通过了关于声讨日本侵略者施放毒气的决议,并致电国际反侵略总会,呼吁各国化学家共同声讨。这充分体现了广大会员高度的爱国热忱。

该会早期创办了《中国化学会会志》、《化学》和《化学通讯》三种刊物。

《中国化学会会志》于1933年3月在北平创刊,用英、法、德文发表我国化学研究成果,加强国际学术交流,是中国最早的西文化学期刊。曾昭抡任总编辑。该刊于1952年6月从第十九卷第一期开始改名为《化学学报》,改用中文出版。

《化学》于1934年1月在南京创刊,以“传播化学知识,推广化学应用,提倡化学研究”为宗旨,内容包括化学进展、化学教育、化学新闻、化学撮要和化学史等。戴安邦任总编辑兼总经理。为庆祝中国化学会成立十周年,该会出版了两期纪念专刊:一期是1944年出版的第八卷全,为上册(研究之部);另一期是1945年出版的第九卷全,为下册(普通及工业之部),全面总结了化学、化工各个领域十年来的进展。该刊于1952年出版了第十五卷第六期后改名为《化学通报》,并不再用卷号。

《化学通讯》于1936年1月在南京创刊,由吴承洛任主编,主要刊载会务活动和会员消息,只印发会员,不公开发行。在加强学会与会员之间的沟通与联络方面,起了很大作用,记载了不少学会活动的

珍贵资料。该刊于 1949 年 12 月出版第十四卷第二期后停刊。

除上述学术团体和研究机关创办的刊物外,一些高等学校也创办了刊物,如北京大学 1929 年创办的《国立北京大学自然科学季刊》,清华大学 1931 年创办的《国立清华大学理科报告》,武汉大学 1930 年创办的《国立武汉大学理科季刊》,中山大学 1930 年创办的《自然科学》,山东大学 1931 年创办的《山东大学化学系试验室报告》,南开大学 1933 年创办的《南开大学应用化学研究所报告书》等,均刊登研究论文。由此可以看出,三十年代我国一些大学的化学研究工作已经展开,特别是北京大学和清华大学的研究水平已负有国际声望。

为了加强中外学术交流,早在二十年代初,美国赛维廉(William Henry Adolph)教授就在中国把刊物上发表的论文,用英文写成摘要刊登在美国化学会所办的《化学文摘》(Chemical Abstracts)上。1935 年,曾昭抡也加入了此项工作,并被该杂志聘为文摘员。美国《化学文摘》是世界上很有影响的文章刊物,在二三十年代就开始收录中国的化学研究成果。

为了便于查找中国近代化学文献索引,在 1934 年《化学》创刊时就开设了“中国化学撮要”专栏,由曾昭抡任该栏主编。按学科或按不同内容分类为:普通及无机化学、理论化学、分析化学、有机化学、生物及生理化学、药物化学、农业化学、矿物化学、化学工程、燃料化学、化学工业、化学名词、化学教育、科学刊物、科学历史、名人传记等。从创刊至 1952 年,共累计报道文献线索约五万条,是我国科技期刊中首次开创性的文摘工作。

参 考 文 献

原始文献

- 《十三经注疏》，国学整理社出版，世界书局发行 1935 年版。
- 《诸子集成》，中华书局版。
- 《二十四史》，中华书局标点本。
- 《正统道藏》第 582—603 册，1926 年上海涵芬楼影印北京白云观所藏明刊本。
- 东汉·许慎：《说文解字》，中华书局 1963 年版。
- 东汉·刘熙：《释名》，商务印书馆《丛书集成》初编第 1151 册。
- 东汉·扬雄：《方言》，商务印书馆《丛书集成》初编第 1177 册。
- 东汉·魏伯阳：《周易参同契》，商务印书馆《丛书集成》初编第 550 册。
- 晋·张华撰、范宁校正：《博物志》，中华书局 1980 年版。
- 晋·嵇含：《南方草木状》，载《说郛三种》卷 104，上海古籍出版社 1986 年版。
- 北魏·酈道元：《水经注》，商务印书馆 1936 年版。
- 北魏·贾思勰撰、缪启愉校释：《齐民要术》，农业出版社 1982 年版。
- 唐·苏敬等撰、尚志钧辑校：《新修本草》，安徽科技出版社 1981 年版。
- 唐·韩鄂撰、缪启愉校释：《四时纂要》，农业出版社 1981 年版。
- 唐·欧阳询：《艺文类聚》，中华书局 1965 年版。
- 唐·孙思邈：《备急千金要方》，人民卫生出版社 1955 年版。
- 唐·刘恂撰、鲁迅校勘：《岭表录异》，广东人民出版社 1983 年版。
- 《全唐诗》（有关白居易、李商隐、雍陶、李贺、陆龟蒙等诗），中华书局 1960 年版。
- 唐·柳宗元：《天对》，载中华书局《四部备要》第 70 册《柳河东集》。
- 唐·刘禹锡：《天论》，载中华书局《四部备要》第 71 册《刘宾客文集》。
- 宋·唐慎微：《重修政和经史证类备用本草》，人民卫生出版社 1957 年影印晦明轩刻本。
- 宋·沈括：《梦溪笔谈》，文物出版社 1975 年影印元刊本。

- 宋·苏轼:《东坡志林》、《东坡酒经》,中华书局《苏轼文集》1986年版。
- 宋·朱肱:《北山酒经》,《知不足斋丛书》本。
- 宋·王钦若:《册府元龟》,中华书局1960年版。
- 宋·李昉等:《太平御览》,中华书局1964年版。
- 宋·陆游:《老学庵笔记》,商务印书馆《丛书集成》初编第2766册。
- 宋·王灼:《糖霜谱》,商务印书馆《丛书集成》初编第1478册。
- 宋·王怀隐等:《太平圣惠方》,人民卫生出版社1962年版。
- 宋·宋慈:《洗冤录集》,上海科技出版社1981年版。
- 宋·苏易简:《文房四谱》,台湾商务印书馆《文渊阁四库全书》第843册。
- 元·忽思慧:《饮膳正要》,中国书店1985年影印涵芬楼本。
- 元《居家必用事类》,台湾中文出版社影印松柏堂刻本。
- 元·陈椿:《熬波图》,载台湾商务印书馆《文渊阁四库全书》。
- 元·马端临:《文献通考》,浙江古籍出版社1988年版。
- 明·吴继刻印:《墨娥小录》,中国书店1959年影印聚好堂刻本。
- 明·宋应星:《天工开物》,世界书局1936年版。
- 明·李时珍:《本草纲目》,人民卫生出版社1982年校点本。
- 明·刘文泰:《本草品汇精要》,人民卫生出版社1982年版。
- 明·高濂:《遵生八笺》,1601年木刻本。
- 明·刘基:《多能鄙事》,上海荣华书局1917年藏版。
- 明·李贤等:《明一统志》,台湾商务印书馆《文渊阁四库全书》第473册。
- 明·王夫之:《张子正蒙注》,中华书局1975年版。
- 清·王冰校注:《黄帝内经》,商务印书馆1931年版。
- 清·黄奭辑:《神农本草经》,中医古籍出版社1982年版。
- 明·王夫之:《楚辞通释》,上海人民出版社1975年版。
- 清·朱琰:《陶说》,1774年石印本。
- 清·蓝浦、郑廷桂:《景德镇陶录》,翼纶堂本。
- 清·顾仲:《养小录》,商务印书馆《丛书集成》初编第1475册。
- 胡山源:《古今酒事》,世界书局1939年版。

研究文献

- 周嘉华等:《中国古代化学史略》,河北科技出版社1992年版。

- 袁翰青:《中国化学史论文集》,三联书店 1956 年版。
- 曹元宇:《中国化学史话》,江苏科技出版社 1979 年版。
- 张子高:《中国化学史稿(古代之部)》,科学出版社 1964 年版。
- 赵匡华:《中国古代化学史研究》,北京大学出版社 1985 年版。
- 中国硅酸盐学会:《中国陶瓷史》,文物出版社 1982 年版。
- 李家治等:《中国古代陶瓷科学技术成就》,上海科技出版社 1985 年版。
- 周仁等:《中国古陶瓷研究论文集》,轻工业出版社 1982 年版。
- 中国科学院上海硅酸盐研究所:《中国古陶瓷研究》,科学出版社 1987 年版。
- 轻工业部陶瓷工业科学研究所:《中国的瓷器》(修订版),轻工业出版社 1983 年版。
- 干福熹:《中国古玻璃研究》,中国建筑工业出版社 1986 年版。
- 李金庆、刘建业:《中国古建筑玻璃技术》,中国建筑工业出版社 1987 年版。
- 薛愚:《中国药学史料》,人民卫生出版社 1984 年版。
- 赵匡华:《中国炼丹术》,中华书局香港有限公司 1989 年版。
- 冯家昇:《火药的发明和西传》,上海人民出版社 1978 年版。
- 潘吉星:《中国火箭技术史稿》,科学出版社 1987 年版。
- 北京钢铁学院编写组:《中国古代冶金》,文物出版社 1978 年版。
- 潘吉星:《中国造纸技术史稿》,文物出版社 1979 年版。
- 许鸣岐:《中国古代造纸术起源史研究》,上海交通大学出版社 1991 年版。
- 张秀民:《中国印刷史》,上海人民出版社 1989 年版。
- 徐洪顺、周嘉华:《黄酒酿造》,黑龙江省轻工研究所《酿酒》杂志社,1987 年。
- 田秋野、周维亮:《中国盐业史》,台湾商务印书馆 1979 年版。
- 上海纺织科学研究院等:《长沙马王堆一号汉墓出土纺织品的研究》,文物出版社 1980 年版。
- 何丙郁、何冠彪:《中国科技史概论》,台北木铎出版社 1983 年版。
- 文物编辑委员会:《文物考古工作三十年》,文物出版社 1979 年版。
- 北京钢铁学院冶金史组:《中国早期铜器的初步研究》,载《考古学报》1981 年第 3 期。
- 安志敏:《中国早期铜器的几个问题》,载《考古学报》1981 年第 3 期。
- 赵匡华:《中国历代黄铜考释》,载《自然科学史研究》1987 年第 4 期。
- 于锡猷:《西康之矿产》,国民经济研究所,1946 年。

- 李敏生:《先秦用铅历史概况》,载《文物》1984年第10期。
- 一冰:《唐代冶银术初探》,载《文物》1972年第6期。
- 许笠:《贵州赫章县妈姑地区传统炼锌工艺考察》,载《自然科学史研究》1986年第4期。
- 赵匡华:《我国古代的金银分离术与黄金鉴定》,载《化学通报》1984年第12期。
- 赵匡华:《狐刚子及其对中国古代化学的卓越贡献》,载《自然科学史研究》1984年第3期。
- 赵匡华、曾敬民:《中国古代炼丹术及医药学中的氧化汞》,载《自然科学史研究》1988年第4期。
- 赵匡华:《中国炼丹术的丹药观及药性论》,载《化学通报》1983年第7期。
- 赵匡华:《关于中国炼丹术和医药化学中制轻粉、粉霜诸方的实验研究》,载《自然科学史研究》1983年第3期。
- 赵匡华、张清建:《中国古代的铅化学》,载《自然科学史研究》1990年第3期。
- 赵匡华:《中国古代化学中的矾》,载《自然科学史研究》1985年第2期。
- 赵匡华:《中国金丹术中的“彩色金”及其实验研究》,载《自然科学史研究》1986年第1期。
- 王奎克:《砷的历史在中国》,载《自然科学史研究》1982年第2期。
- 周嘉华:《明代火药初探》,载《科技史文集》第15辑,上海科技出版社1989年版。
- 赵匡华:《中国炼丹术中的“伏火”试探》,载《科技史文集》第15辑,上海科技出版社1989年版。
- 李亚东:《中国制墨技术的源流》,载《科技史文集》第15辑,上海科技出版社1989年版。
- 方心芳:《曲蘖·酒的起源和发展》,载《科技史文集》第4辑,上海科技出版社1980年版。
- 方心芳:《关于中国蒸馏酒的起源》,载《自然科学史研究》1987年第2期。
- 刘广定:《再探我国蒸馏酒的时期》,载《(台湾)第二届科学史研讨会汇刊》1989年。
- 包启安:《白酒起源及其蒸馏器的演进》,载《中国白酒协会会刊》1992年第5期。
- 洪光住:《中国豆腐》,中国商业出版社1987年版。
- 《中国化学五十年》编辑委员会:《中国化学五十年》,科学出版社1985年版。

《中国化学会会史》，中国化学会 1982 年。

杨根：《徐寿和中国近代化学史》，科学技术文献出版社 1986 年版。

《中国科学技术专家传略》，科学技术出版社 1993 年版。

《中国现代科学家传记》，科学出版社 1991—1994 年版。

《化学》第八卷全(上册·研究之部)，1944 年。

《化学》第九卷全(下册·普通及工业之部)，1945 年。