

牛顿科学馆

XIANDAI
DIANJINSHU

张文朴/编著



现代 点金术

——工业化学漫谈



北京师范大学出版集团

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

牛顿科学馆

XIANDAI
DIANJINSHU

张文朴/编著

现代 点金术

——工业化学漫谈

藏书



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代点金术:工业化学漫谈/张文朴. —北京:北京师范大学出版社, 2016. 1

(探索系列丛书)

ISBN 978-7-303-15040-3

I. ①现… II. ①张… III. ①工业化学—普及读物
IV. ①TQ-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 078244 号

营 销 中 心 电 话 010-58805072 58807651
北师大出版社学术著作与大众读物分社 <http://xueda.bnup.com>

XIANDAI DIANJINSHU

出版发行:北京师范大学出版社 www.bnup.com

北京市海淀区新街口外大街 19 号

邮政编码:100875

印 刷:北京中印联印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:890 mm×1240 mm 1/32

印 张:7.5

字 数:200 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

策划编辑:范 林

责任编辑:范 林

美术编辑:袁 麟

装帧设计:李尘工作室

责任校对:陈 民

责任印制:马 洁

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话:010-58800697

北京读者服务部电话:010-58808104

外埠邮购电话:010-58808083

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话:010-58805079

开头絮语

日常生活、工农业生产、交通运输、军事国防、科学研究等各个领域,都离不开各种材料和产品,它们都源于大自然。一般是先将自然资源加工成原料,然后将原料制成材料,最后将材料制成产品。可见,任何材料和产品都来之不易,都要消耗一定资源,运用有关科技知识,进行一系列生产加工。这其中不仅饱含众多工人、农民、技术人员等的智慧与辛劳,而且要运用科学家、发明家们历经几代人甚至千万年来凝聚的知识和实践经验,尤其要综合运用数学、物理学、化学、生物学等基础科学所形成的科学技术。

化学是研究由一种物质转变为另一种物质的科学。运用化学知识,能够科学合理地转化某种物质为产品,甚至能创造出大自然中原来没有的新物质、新材料、新产品,满足人们生产生活各方面的需要,而且能将用过的废弃物作为再生资源转化为新产品,使资源循环利用。因此,自古以来中华先人非常重视化学,把化学看作千变万化、“点石成金”、为神仙所掌握的神奇法术,炼丹家们称之为“点金术”或“炼丹术”“炼金术”“金丹术”。这种神奇法术中的千变万化,已为现代化学家所揭示,是大自然中存在的人们可以认识、研究和运用的化学规律,并已形成化学学科。

现代化学学科内涵丰富多彩,拥有结构化学、物理化学、无机化学、有机化学、应用化学等众多化学分支学科,每个分支学科又进一步细分为不同的专门学科。有关“点石成金”“变废为宝”等神奇变

化的科技知识属于应用化学分支中的工业化学。

工业化学主要是运用各化学分支学科以及物理、机械等方面的知识,研究制订将原料转变为产品的生产方法或工艺过程,具有综合性和涉及面广的特点,因此也称为普通化学工艺学。例如,利用空气中的氮合成氨以及用氨生产化肥等多种产品;把天然的河水、湖水净化,生产能满足人们各方面需要的水和饮料;从海水提取多种宝贵原料;从各种矿石将铁、铝、铜、金、银等金属分别提炼出来并制成钢铁及各种合金材料;以煤、石油等为原料炼制燃油,制造塑料、合成纤维、炸药、化学纤维等各种产品;将粮谷油料等生物质原料加工为油脂、酒精、食糖、食品等。由于现代工业的飞速发展,石油、煤炭等不可再生资源越用越少,如何把用过的废弃物作为再生资源,再加工为产品?怎样利用可再生的生物质资源生产更多的化学产品和材料,以致替代不可再生、终将枯竭的石油和煤资源?这些问题都是当今化学家,特别是工业化学家面临的重要任务和挑战!

青少年朋友们,工业化学像是一座桥梁,将化学理论与实际生产紧密联系起来,它的“点石成金”“变废为宝”功能比以往任何时期都更加强大。本书将以谈古论今的方式,向大家展示中华先人丰富的化学智慧、创造才能和所取得的令中华儿女感到自豪的成就,介绍近代与现代国内外化学家所取得的辉煌业绩和未来的发展前景,帮助大家感受前人丰富的化学智慧,学习他们进行发明创造、攻坚克难的精神和思路,运用和发挥好所学的化学、物理学、数学等基础科学知识,驾驭化学创造之舟,为建成全面小康社会和美丽中国,实现中华民族的伟大复兴,做出比前人更加辉煌贡献。

目 录

第1章 空气资源与神圣的火 /001

- 一、最宝贵的空气资源 /001
- 二、用火技术的发明与化学智慧的萌发 /002
- 三、用火技术与科学技术创新 /004
- 四、探索空气的奥秘 /009
- 五、不断创新的空气分离技术 /012
- 六、无偿的空气资源，广泛而重要的应用 /015

第2章 珍贵的水与受宠的饮料 /021

- 一、饮水思源 /021
- 二、天然水的成分和水质指标 /023
- 三、各种不同的水 /025
- 四、水的净化处理与膜分离 /030
- 五、受宠的饮料 /037

第3章 富饶的海水盐湖资源 /043

- 一、浩瀚的海洋，富饶的资源 /043
- 二、关系国计民生的食盐 /045
- 三、打开化工产品的宝库——苦卤综合利用 /048
- 四、打造原子时代的支柱 /052
- 五、盐湖与天然碱矿的开发 /054
- 六、基本化工原料——纯碱、烧碱和盐酸 /057

第4章 化学矿物的非凡贡献 /063

- 一、人类利用矿物的历史与中华文化的标志 /063
- 二、炼丹家在无机物上的成就 /064
- 三、矿物、矿石与选矿 /066
- 四、化学矿资源与化学矿业 /068
- 五、钙、镁矿资源及其利用 /070
- 六、硫矿资源与硫酸 /074
- 七、磷矿、磷酸和磷肥 /079
- 八、硼矿资源与硼化学品 /081

第5章 古老而又年青的无机非金属材料——陶瓷、玻璃、水泥 /083

- 一、中国的伟大发明——陶瓷 /083
- 二、晶莹剔透的玻璃 /092
- 三、建筑工业的“粮食”——水泥 /099

第6章 “点金术”的光辉成就——多彩的金属世界 /105

- 一、冶金技术的发展与金属材料 /105
- 二、钢铁是怎样炼成的 /107
- 三、有色金属大家族 /114

第7章 不甘心只被焚烧的煤与“点煤成金” /127

- 一、煤是什么 /127
- 二、我国是最早发现和利用煤的国家 /130
- 三、煤资源与“点煤成金” /131

第8章 万能的石油与“点石成金”的法宝 /145

- 一、石油的来龙去脉与石油化工 /145
- 二、石油炼制与“点石成金”的法宝 /152

三、几种重要的石油化工产品 /161

第 9 章 大显身手的有机高分子材料——塑料、橡胶、纤维 /165

一、有机高分子化合物与高分子材料 /165

二、古老的高分子材料——中国大漆与漆器 /166

三、装点生活的塑料 /169

四、个性鲜明的橡胶 /173

五、衣着所必需的纤维材料 /178

第 10 章 经济社会持续发展的物质保障——生物质资源及其利用 /185

一、迎接生物质化工新时代 /185

二、糖与淀粉原料发酵制品——酒、丙酮、柠檬酸 /187

三、植物纤维原料制品 /194

四、油脂原料制品 /198

五、蛋白质原料制品 /201

第 11 章 发展生态工业，建设美丽中国 /207

一、树立生态文明理念，加强绿色化工建设 /207

二、发展生态工业，建设示范园区 /211

三、资源再生，变废为宝，保护环境 /213

参考文献 /225

后 记 /231

第1章 空气资源与神圣的火

人类从认识到空气是一种实实在在的物质，到对空气的进一步深入了解，以至将空气充分利用到众多方面，为人类经济社会发展服务，历经了长期艰难的科学探索。

一、最宝贵的空气资源

婴儿从呱呱坠地，就在空气中开始了五彩斑斓的一生。

空气，特别是其中的氧气，是维持人体新陈代谢所必需的，须臾不可离开。人可以5 d 不吃饭、不喝水，但是5 min 不呼吸，生命就会终止。1个成年人每天大约进行20 000次呼吸，总共要吸入 $10\sim 15\text{ m}^3$ 的空气，按质量算是每天所需食物的10倍左右。

然而，人们并未注意到，如此关乎人类存亡的空气资源，跟阳光一样，都是大自然的无偿赠予，自古以来任何人都不需要付出代价即可自由享用。

大自然胸怀博大，空气极为丰富，对全球所有需氧生物，全都如此慷慨。与其他需氧生物不同的是，人类在享用大自然无偿赠予的同时，发挥出智慧优势，探索空气的化学成分，不断创新利用空气的技术，现代可以“点石成金”般地用空气生产种种产品。空气对人们的生活、生产和科技发展发挥了不可替代的作用。在诸多利用空气的技术中，对人类社会的最大贡献首推用火的方法。

二、用火技术的发明与化学智慧的萌发

从远古走来的火

壮美的蔚蓝色地球至今已满 47 亿岁，在没有出现生命之前，在太阳系运行了约 15 亿年，在 32 亿年前出现了最早的生命——海藻，在约 1.8 亿年前开始有了鸟类和哺乳动物，于 100 万~200 万年前诞生了人类。

原始人生活的广袤原野，森林茂密、花草丛生，但不时出现的雷鸣电闪，会引发森林大火。兽类见火立即逃跑，原始人起初也会感到恐怖而躲避。然而，在漫长的岁月中，智慧的原始人发现：火能驱逐黑暗，寒冷时在火的周围感到温暖，过火的兽肉更好吃。原始人从惧怕火逐渐变得亲近火，并学会用火驱寒取暖，烘烤食物，驱除兽类，意识到火能使一种东西变成另外一种东西，甚至化为“乌有”，开始萌生化学智慧，探索用火方法。

从化学的角度来看，火是可燃物在空气中发光发热的剧烈氧化反应。用火的初始方法应该包括选择燃料、引燃、用火和保持火种。现在看来这些都十分简单，但对原始人认识并掌握它们则经历了漫长的岁月。

摩擦取火法与人类早期的化学实践活动

早期人类在发明取火法之前，能够较容易选择干枯的柴草、木头作为燃料，难的是保持火种持续不灭，需要时能再烧起来。发明续柴保持火种不灭的方法，是用火技术的重大进展。

在山西西侯度曾发现约 180 万年前原始人烧过的黑、灰和灰绿色的骨头；20 万~70 万年前的北京猿人住过的周口店山洞内遗

留的灰烬层厚达 6 m, 其中含有炭块, 烧过的骨头已变为蓝、绿、灰、褐、黑各种颜色, 还有烧过的石灰石变成的石灰。这说明北京猿人已经会用火, 并可能在很长时期内是用续柴法保持火种与控制火, 能在洞内长时间保持和使用火。由于用火技术的进步, 原始人约在 70 万年前开始由吃生肉逐渐改为吃熟肉或半生不熟的肉, 并用火取暖御寒。火的应用, 尤其是吃营养丰富且较易消化吸收的熟肉, 对人类体质的提高, 特别是对大脑的发育十分重要。

1.8 万年前, 在周口店生活的山顶洞人已掌握摩擦取火法, 从此使火的利用更加灵活多样, 加快了人类生活方式和社会前进的步伐。古文献《韩非子》中有“钻木取火, 以化腥臊”的记载。海南黎族同胞至今仍保留原始的钻木取火法, 现已成为我国的一项非物质文化遗产。这是现代人也颇难掌握的手工取火技术。为此要选取适用的木材, 掌握快速转动钻杆的钻木技巧, 并有易被摩擦出的火星引燃的引火物。

恩格斯指出, 发明摩擦取火, 是人类对自然界第一个伟大胜利。它不仅结束了茹毛饮血的原始生活, 还开始了人类最早的化学实践活动。

我国是发明火柴最早的国家

随着人类社会蒙昧时代和野蛮时代的结束, 逐渐进入畜牧业与农业的文明时代, 我国古代用火技术的进步加快, 继钻木取火之后发明了打击燧石取火、阳燧取火, 直到出现原始火柴。

在 20 世纪 40 年代, 我国农村仍有用钢质火镰打击用手捏覆上火绒(蒲绒或艾绒)的火石边角发出火花引燃火绒的取火法。火石是燧石的俗称, 由隐晶质石英组成, 贝壳状断口, 浅灰至黑褐色。

目前的打火机用的“火石”是由镧、铈和铁组成的引火合金。这种合金受到打击更易产生火花，引燃打火机内的液体燃料。“遗憾”的是，它给现代人不良的生活习惯——吸烟提供了方便。

西周时发明阳燧取火法。阳燧是聚阳光引火器，在三门峡水库建设时，曾发掘出一件青铜阳燧，至今已有 3 000 年历史，是当今世界已知最早的阳燧取火器。现已建成一座大型阳燧供游客观赏，以感受先人的科技智慧。

我国南北朝时出现的火柴是世界上最早的，是一长条易燃薄木片或麻秆，一端附着硫黄，称为“发烛”或“取灯”。用法是：由上述的火镰打击火石引燃火绒，使“发烛”的硫黄头跟阴燃的火绒接触起燃。在抗日战争时期日用品极其缺乏，笔者少年时就曾见过家人制作和使用这种火柴。欧洲直到 16 世纪才有类似的硫黄火柴。现代火柴由英国人首创，后来经瑞典人改进成了安全火柴。

三、用火技术与科学技术创新

陶瓷烧制与铜铁冶炼

〔陶瓷的发明〕 用火技术的进步，主要表现在燃料选择、火焰温度的提高、火焰气氛的氧化还原性质的控制和改进炉窑等方面。由于用火技术的进步，我国约在 12 000 年前已烧制出最原始的陶器，到商代创制出釉陶和原始瓷器，东汉时发明了符合现代标准的瓷器。由制陶发展到制瓷，除黏土原料的选择和加工外，要使火焰温度从烧陶的 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右提高到烧瓷所需的 $1\ 200\sim 1\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，需要选择适用的燃料和建造通风顺畅的适用瓷窑，使用火技术达到一个新的高度。陶瓷是我国古代用火技术达到相当高水平的标志，

是我国的一项伟大发明。

〔铜、铁冶炼技术〕 采用烧陶达到 900°C 左右温度的用火技术，能从还原温度只需 800°C 的孔雀石铜矿炼出铜，并铸出各种精美的青铜器。铜冶炼技术的发达催生了青铜时代。

燃料燃烧产生的 CO 在 $1\,000^{\circ}\text{C}$ 左右条件下，可以从赤铁矿等氧化铁矿还原出固态铁，要炼出液态的铁水就需要 $1\,600^{\circ}\text{C}$ 以上的高温。因此，炼铁比炼铜难得多。但是，在长期烧制陶器获得高温和炼铜技术的基础上，在商末已掌握使熔炼炉达到 $1\,200^{\circ}\text{C}$ 高温的燃烧技术，能够从赤铁矿粉炼出固态块炼铁，使社会继青铜器时代进入早期的铁器时代。冶金技术的出现，说明我国古人不仅能利用燃烧释放出的大量热和高温，而且能形成含 CO 较多的还原焰以还原金属氧化物炼出金属。

炼丹术与火药的发明

炼丹术萌发于秦，经汉、魏、晋几朝较大发展，在唐、宋时期达到鼎盛。被称为中国炼丹术始祖的魏伯阳所著的《周易参同契》是最古老的炼丹术著作，其中记述了汞和硫生成硫化汞等不少化学实验结果，并认为物质间化合必然有一种亲和力，有一定量的比例。

化学史家赵匡华认为，我国古代的炼丹家至为可贵的是深信天然矿物能在丹鼎中升炼成仙丹，更重要的是他们有一种“自然进化论”的理念，即“天然金石物质随时间的推移，会自然朝着自我完善的方向转变”，深信“某些物质在自然界中可以



图 1-1 魏伯阳

逐步完成向黄金，甚至向长生不死神丹转化”。在他们的丹鼎小宇宙内“水火相济”可以加快物质的进化(即化学反应)进程，仿造出自自然界存在的甚至更为完善的物质。化学史家曹元宇指出，炼丹家“发现许多新的东西，这些东西虽然不能使人类长生，但往往可以疗人疾病，这就促进了药物学的进展”。葛洪、陶弘景、孙思邈等炼丹家也是著名医药学家。

炼丹家们在炼丹的过程中不仅促进了药物学的发展，而且还发明了火药。在大量炼丹实验中，常用硝石、硫黄跟富含碳的动、植物有机物混合加热炼丹，易发生猛烈燃烧，甚至爆炸。曾有炼丹家用蜂蜜和硫黄、硝石、雄黄相混合烧炼，引起迅猛燃烧，烧伤了人，烧毁了丹房。炼丹家们当时已经认识到，将硝石、硫黄、木炭等混合加热会发生剧烈燃爆。然而，他们



图 1-2 葛洪

在初期没有意识到这三种物料的混配物是原始火药。从唐末到宋初连年的战乱，启发炼丹家将这种有爆炸力的火药配方献出，用于军事目的——火攻。于是，将按此比例配成的火药包在箭头上，制成纵火箭。这是世界上最早的火药武器。此后，相继创制了多种火药武器用于实战。在唐天祐元年(904 年)，郑璠攻打豫章(今南昌)曾使用抛石机抛射火药弹火烧龙沙门。

大约在 12 世纪 30 年代，我国已经有了燃烧武器喷火器和爆炸武器火炮或震天雷。在 1259 年开始用竹筒装入火药和弹丸，制成现代枪炮等的雏形——火枪。这些发明创造表明火药配制技术已有很大进步，能使火药不仅有燃烧和爆炸功能，而且有了发射功能。



图 1-3 明代使用爆炸性火器的战场情景

宋代，在火药成功用于军事后，又用于娱乐，创造了爆仗、烟火等。宋代赵梦頔曾写诗盛赞当时燃放烟火的景象：

人间巧艺夺天工，炼药燃灯清昼同。
柳絮飞残铺地白，桃花落尽满街红。
纷纷灿烂如星陨，赫赫喧豗似火攻。
后夜再翻花上锦，不愁零落向东风。

我国古代由物质的燃烧到爆炸再到发射的科技进步，为近代有关燃烧爆炸的科学技术发展奠定了基础。各种烟火、地老鼠、起火等，是最早对火药燃烧产生的冲力或反冲力的应用，也是现代火箭技术的萌芽，具有重要历史意义。

大约在 13 世纪,我国的火药技术经伊斯兰国家传入欧洲,火药跟指南针、印刷术、造纸术一起成为举世公认的中国古代四大发明。

炼丹术虽然最后消亡,但留下的中国古代炼丹家的化学智慧、对化学的原始思考和在无机化合物及药物等方面的成就,为现代化学奠定了基础,是化学的原始形态,唐宋时经阿拉伯传入欧洲,在 18 世纪中期到 19 世纪初,发展为化学科学。

用火技术创新与科技文化发展

进入 18 世纪以后,牛顿力学和热力学给科学技术带来了“蒸汽革命”。1769 年瓦特发明蒸汽机是这次革命的起点。蒸汽机能把火焰释放的热能转变为机械能,并用于推动纺织机等机械快速运转,解决了工业发展迫切需要的动力机械问题,结束了主要以人力、畜力为动力的手工业时代,人类社会开始跨入以大机械生产为主要标志的工业化时代。

在工业化时代,用火技术的进步首先表现在燃料的更新,变为以石油和天然气为主。以石油燃料为动力的内燃机淘汰了烧煤的蒸汽机,成为现代社会主要动力机械,应用于汽车、火车、飞机、拖拉机、发电机、坦克等,覆盖工农业生产、交通、军事、科学技术、能源等几乎无所不包的各个领域,并推动了燃烧理论与技术的发展。随之出现各种石油燃油、天然气和液态氢等新型燃料,各种燃料燃烧所产生的能量,不断以更灵活高效的方式,转换为各种机械能、电能、化学能,以满足现代生产、科学技术的发展和提高人民生活水平的需要。新型清洁能源氢在环保、航天等高科技领域发挥出日益重要的作用。火箭发动机使用的液

体燃料，多为液态氢。以氢为燃料的汽车已经应用于现实生活中。

火对社会文化的影响至为深远。人类自从学会用火之后，火不断改善人类的生活条件，扩大活动领域，同时人类也更加亲近以致崇拜火，形成绵延至今的各种火文化并渗入世界各民族的生活习惯、民俗、文艺、信仰、宗教等领域。篝火晚会、野炊、烟火、火炬传递等，在全球盛行。盛大节日燃放烟火，表达了人们的激情和美好愿望。北京世纪坛有象征中华民族永世昌盛、薪火相传的圣火。2008年北京奥运会圣火采自希腊奥林匹亚，传遍全球。

火的伟力为各国古代哲学家所关注。我国先哲从商、周起开始研究物质的组成，到战国时用金、木、水、火、土五行说诠释万物的本原。有专家认为，正是在五行说指导下才诞生了炼丹术。

在西方，17世纪时化学家施塔尔提出燃素说，认为能燃烧的物质是由于其中存在燃素。到18世纪下半叶发现氧后，拉瓦锡提出燃烧的氧化理论。从此，对火的认识走上科学发展的轨道，化学随之进入现代化学的新时代。现代化学作为一门核心学科，跟其他学科一起，对科学技术的进步和人类社会的发展做出了巨大贡献，并将继续做出更大贡献。

四、探索空气的奥秘

氧、氮的发现

1807年，德国汉学家克拉普罗特在一篇论文中说，他看到在中国人 Mao hhoa(马和)唐朝时的手抄本《平龙认》中说，空气内有阴阳两种气体，阴气可从加热的硝石中提取，水里也有阴气，阴