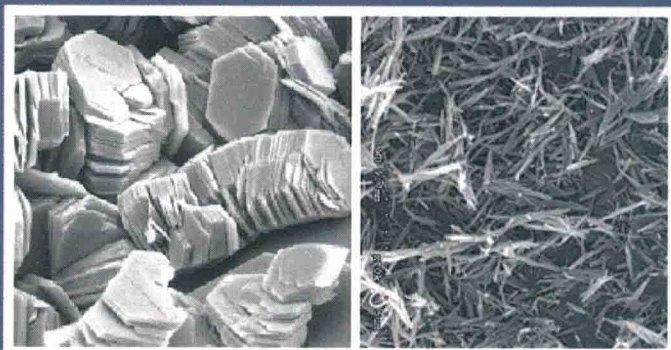




黏土科学及 应用技术

陈 静 李凤生 编著
郑水林 金叶玲



科学出版社

黏土科学及应用技术

陈 静 李凤生 郑水林 金叶玲 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从黏土研究及应用的角度出发,系统介绍了黏土矿物成因、分类、分布、晶体结构、表征及应用等内容,着重阐述了黏土应用基础研究和黏土资源开发的国内外进展,并以凹凸棒石黏土为例,列举并分析了我国黏土研究与产品开发的成功案例,为黏土资源的科学合理开发与应用提供了重要参考。

本书可供从事黏土相关领域的研究及技术人员参考,也可作为材料化学、材料科学与工程、矿物加工等专业本科生、研究生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黏土科学及应用技术/陈静等编著. —北京: 科学出版社, 2017.6

ISBN 978-7-03-053127-8

I. 黏… II. 陈… III. 黏土矿物 IV. P578

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 114827 号

责任编辑: 张淑晓 / 责任校对: 高明虎

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 11

字数: 220 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

黏土和黏土矿物作为自然界中最常见的非金属矿产资源,已广泛应用于建筑、陶瓷、化工、石油、造纸、环保、医药等各个领域。在人类发展的历史进程中,人们对黏土和黏土矿物的认识、应用和研究不断进步与发展。

作为矿物学的新领域,黏土矿物学发展迅速,至 20 世纪 80 年代已发展成为新的综合性学科——黏土科学。在黏土科学基础理论和应用研究方面,日本、美国和苏联起步较早,著名的代表作有须藤俊男(日本)的《粘土矿物》和《粘土矿物学》、维库洛娃(苏联)的《粘土的电子显微镜研究》、C. E. 威维尔(美国)的《粘土矿物化学》、范·奥尔芬(美国)的《粘土胶体化学导论》等。在此期间,我国也先后有彭琪瑞等的《中国粘土矿物研究》、唐衡楚的《数种粘土矿物的比较研究》、孙维林的《黏土理化性能》、张乃娴的《粘土矿物研究方法》、张天乐的《中国粘土矿物的电子显微镜研究》等专著出版。但近 30 年来,适应现代科技发展的系统阐述黏土科学与应用技术的专著并不多见。

黏土矿物是我国的优势资源,其种类齐全、分布广泛。但近几十年来对黏土资源的“掠夺式开采、粗放式利用”造成了资源的极大浪费。加强黏土资源的科学开发和高效利用已成为社会共识,因此深化黏土科学研究和技术研发成为了迫切需求。目前,围绕现代工业和高科技领域对黏土等非金属矿原料提出的新要求和新用途,黏土产业也从原来简单粉碎和粗放加工为主逐步向功能化的精细加工方向发展。黏土复合材料、功能材料、结构材料的发展带动多学科相互交叉、渗透和融合,使矿物有机复合和合成矿物技术趋于成熟,跨学科合作导致了一些新兴边缘学科的出现,如分子筛工程、粉体工程、矿物界面工程等。特别是随着 20 世纪 90 年代纳米材料研究热潮的兴起,黏土作为一种天然微纳米材料,成为当今黏土研究和黏土资源开发应用的重点和热点。针对黏土微纳米结构单元的粒径、可控层间域、特殊孔道结构等一些独特性能的应用基础研究成为黏土科学及应用技术开发的重要组成部分,相关工作较好地支持了产业的发展。

本书是一本系统介绍黏土理论应用基础和开发应用技术的著作。作者长期从事黏土及黏土矿物的研究,书中吸纳了近年来国内外黏土及黏土矿物研究与应用的相关成果,特别是汇聚了作者及其团队多年来的研究与转化成果,也参考引用了国内外同仁的许多相关研究论文和专著。本书结合现代黏土科学和技术发展系统介绍了黏土矿物的成因和分类分布及开发现状;以蒙脱石、高岭石、凹凸棒石

黏土等为代表,阐述了黏土的晶体结构及构效关系;结合现代检测仪器装备和检测手段,阐述了黏土的表征分析方法;在此基础上,着重阐述了黏土应用基础研究和黏土资源开发的国内外进展及深加工技术,并以凹凸棒石黏土为例,列举分析了我国黏土产品开发的成功案例。可以说,本书内容为黏土资源的科学合理开发与应用提供了重要参考。

全书共7章,陈静教授设计了大纲并负责了第1~4章、第6章、第7章的撰写及全书的统稿,第5章由丁师杰教授(5.1节)、胡涛教授(5.2节)、蒋金龙教授(5.3节)、倪伶俐博士(5.4节)、张立静博士(5.5节)、王志辉博士(5.6节)、周素琴博士(5.7节)执笔,金叶玲教授指导协助。李凤生和郑水林两位教授负责全书整体框架和主要内容的把关审阅。徐晨红博士承担了书稿的汇总和编排工作。在此,谨向参与和支持本书编撰的同志及所引文献的作者致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,不妥之处在所难免,请广大读者批评指正。

作 者

2017年3月于淮安

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 黏土	1
1.2 黏土与生命起源	1
1.3 黏土与人类文明	2
1.3.1 建筑	2
1.3.2 黏土与文化艺术	4
1.3.3 黏土与日用品	5
1.4 黏土与现代产业	6
1.4.1 黏土是现代产业的基础材料	6
1.4.2 黏土是高新技术发展中不可缺少的材料	7
1.5 黏土科学技术研发趋势	7
第 2 章 黏土矿物的成因、分布及开发	10
2.1 黏土的产状	10
2.2 沉积岩	11
2.3 黏土矿物的成因及组分变化	14
2.3.1 沉积成因的黏土矿物	14
2.3.2 蚀变成因的黏土矿物	16
2.3.3 风化成因的黏土矿物	17
2.3.4 凹凸棒石黏土的成因	18
2.4 黏土矿物资源的开发现状	19
2.4.1 高岭土	19
2.4.2 膨润土	21
2.4.3 硅藻土	22
2.4.4 伊利石资源分布及开发现状	23
2.4.5 凹凸土资源分布及开发现状	24
2.5 其他黏土	26
2.6 黏土行业现状及发展规划	26

第3章 黏土的分类及晶体结构的典型特征	29
3.1 黏土的分类	29
3.1.1 黏土的基本结构单元	29
3.1.2 黏土类型	30
3.2 黏土的分类标准	34
3.3 几种重要黏土矿物的晶体结构及构效关系	38
3.3.1 高岭石(1:1型)	38
3.3.2 蒙脱石(2:1型)	42
3.3.3 伊利石(2:1型)	45
3.3.4 绿泥石(2:1:1型)	48
3.3.5 凹凸棒石	50
3.3.6 混层黏土矿物	52
第4章 黏土的表征分析方法	54
4.1 样品的制备	54
4.2 X射线衍射分析法	55
4.3 热分析法	59
4.4 微观形貌表征	61
4.4.1 制样	61
4.4.2 高岭石族	62
4.4.3 蒙皂石族	63
4.4.4 海泡石族	64
4.5 红外光谱分析	65
4.6 物理化学性质表征	66
4.6.1 阳离子交换	66
4.6.2 吸蓝量	67
4.6.3 膨胀容、胶质价	68
4.7 其他分析方法	69
4.7.1 穆斯堡尔谱	69
4.7.2 核磁共振	70
4.7.3 氢、氧同位素	72
4.7.4 电子探针、离子探针和激光显微探针	73
4.7.5 拉曼光谱	73
第5章 黏土的应用基础研究	75
5.1 黏土作为胶体的研究与应用	75

5.1.1 黏土的流变性能	75
5.1.2 黏土作为乳化剂	76
5.1.3 黏土作为悬浮剂	79
5.1.4 黏土作为增稠剂	79
5.1.5 黏土基钻井泥浆	80
5.2 黏土在吸附分离中的应用	81
5.2.1 吸附机理	81
5.2.2 气体净化	82
5.2.3 废水处理	82
5.2.4 脱色	83
5.2.5 吸水保水	83
5.2.6 药用	84
5.2.7 缓释肥	85
5.3 黏土在催化中的应用	85
5.3.1 黏土自身的催化性能	86
5.3.2 催化剂载体	88
5.3.3 合成分子筛	94
5.4 黏土在高分子材料增韧补强中的应用	101
5.4.1 橡胶	101
5.4.2 塑料	102
5.4.3 涂料	105
5.4.4 造纸	106
5.5 黏土在能源中的应用	107
5.5.1 黏土在相变储热系统中的应用	107
5.5.2 黏土在电池中的应用	110
5.5.3 黏土在新能源中的应用	111
5.6 其他	112
5.6.1 液晶材料	112
5.6.2 功能杂化材料	115
5.7 计算模拟在黏土基础研究中的应用	118
5.7.1 基于第一性原理的计算研究	118
5.7.2 经验、半经验计算模拟研究	120
5.7.3 凹土的计算模拟研究	120
5.7.4 展望	121

第 6 章 黏土的深加工技术	122
6.1 破碎及粉碎	122
6.1.1 机械法粉碎	122
6.1.2 高速流能法	124
6.1.3 高压膨胀法	126
6.2 选矿及提纯	127
6.2.1 膨胀型黏土的选矿及提纯	127
6.2.2 非膨胀型黏土的选矿及纯化	128
6.3 酸化	130
6.4 钠化等改性技术	132
6.5 有机化	134
6.5.1 插层方法	134
6.5.2 有机插层剂	135
6.5.3 有机插层的产业化技术	137
6.5.4 有机膨润土的凝胶性能应用	138
6.5.5 高岭石的插层	139
6.6 黏土产业现状及发展重点	140
6.6.1 产业整体现状	140
6.6.2 黏土产业发展对策	141
第 7 章 凹土产品成功开发案例分析	142
7.1 凹凸棒石黏土干燥剂	142
7.1.1 干燥剂	142
7.1.2 凹土干燥剂	143
7.1.3 中空玻璃干燥剂	148
7.1.4 未来的凹土干燥剂市场	150
7.2 凹凸棒石黏土油脂脱色剂	151
7.2.1 油脂精炼与脱色	151
7.2.2 油脂脱色剂	152
7.2.3 基于凹土的油脂脱色剂	155
7.2.4 未来的凹土吸附脱色市场	160
参考文献	161

第1章 绪 论

黏土矿物是涉及矿种多、用途最为广泛的非金属矿物，是非金属矿产的重要组成部分，广泛应用于造纸、陶瓷、塑料、橡胶、耐火材料、石化、节能、环保、新能源、新材料、农业、食品、医药等领域。

1.1 黏 土

黏土广泛存在于土壤、大气尘埃、江河湖海底部沉积物及沉积岩和风化的岩石中。黏土矿物的颗粒细小，常在胶体尺寸范围内，呈晶体或非晶状，大多数是片状，少数为管状、棒状。黏土矿物的化学组成、矿物组成和颗粒组成决定着黏土的可塑性、黏结性和触变性等工艺加工性能。

黏土在远古时期就被人类广泛使用，在建筑、日用品及文字承载等人类文明起源和发展上都发挥了不可或缺的作用。

1.2 黏土与生命起源

中国上古神话传说中，创世女神女娲以泥土仿照自己捏土造人（图 1-1），创造并构建人类社会；《旧约圣经》记载，上帝用黏土创造了第一个人亚当，《创世记》



图 1-1 女娲造人图

也称,人诞生于尘埃,死后也会回归尘埃,这些是学者从古希伯来语翻译过来的,这里的尘埃指的也是黏土或土壤;希腊神话记载,普罗米修斯从河岸抓起一大团泥土,然后用这些泥巴根据神的形象捏出了一个人,之后赋予这个泥人善恶和灵性,于是就有了后来的人类;除此以外,《古兰经》和其他造世说也均有类似“黏土造人”的说法。

康奈尔大学研究人员 2013 年在《科学报道》(网络版)上发表了一份报告,认为黏土可以作为使生命成为可能的复杂生化物质的第一温床,至少是使生命成为可能的复杂生化物质的起源地。他们发现,在模拟古代的海水中,黏土会形成水凝胶——可以吸附周围的其他无机矿物分子、有机小分子,形成像海绵一样的大量微小空间集合体,在包围活细胞的薄膜发育完全之前,黏土水凝胶起到了保护这一化学过程的作用。他们认为,在早期的地质年代里,黏土形成的水凝胶对生物分子和生物化学反应起到了禁锢作用。过去几十亿年里,被禁锢在这些空间里的化学物质可能发生了复杂的反应,从而形成了蛋白质、脱氧核糖核酸及最终形成活细胞的各种系统,直至发育出将活细胞包裹住的细胞膜为止。根据地质史,黏土首次出现的时间和生物分子开始形成细胞状结构的时间相同。上述工作或许能解答一个长期以来悬而未决的问题,即生物分子是如何进化的?研究表明,氨基酸和其他生物分子可能是在原始海洋中形成的,其能量的来源是闪电或火山口。但在浩瀚的海洋里,这些分子如何以足够高的频率聚集起来,从而组成更为复杂的结构呢?又是什么让这些分子免受恶劣环境条件的影响呢?黏土具有很强的生物亲和性,生物分子倾向于附着在黏土表面。一些理论研究也表明,细胞质即细胞内环境的工作原理与水凝胶很像。

黏土对众多有机合成反应都有不同程度的催化作用。研究发现,甲醛在有高岭石、云母存在下回流加热,可以合成糖类物质;以蛭石为介质,由异戊二烯可以合成具有异戊二烯化合物构筑的非环状聚合体等;以凹凸土为介质,芳胺可以发生脱甲基化反应。上述众多证据从另一个侧面印证,黏土在生命起源中可能发挥着重要的作用。

1.3 黏土与人类文明

1.3.1 建筑

黏土具有非常多的适合建筑施工的优点。黏土建筑就地取材,容易造型,价格便宜,经久耐用,并且可以任意处理而不会产生不良后果,还有防火、隔热、隔声、吸潮等优点,因此在土木建筑工程中使用广泛且历史悠久。黏土不仅在新石器时代遗址的各种建筑中可以找到,即使在现代社会建筑中也能广泛发现黏土

的踪影（图 1-2），如中国的古长城、阿拉伯的多层建筑、波斯的庭院、非洲的清真寺及欧洲的半木房屋等。黏土在人类建筑中应用历史悠久，展现出千姿百态的功能和魅力，也反映出了各国不同的地理人文环境。

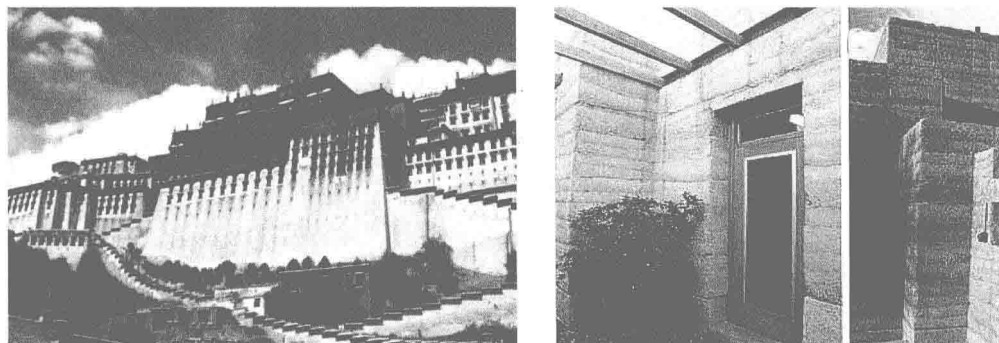


图 1-2 布达拉宫和现代夯土住家

黏土在建筑中的使用方法很多，一是把黏土制成土坯或砖后使用；二是把黏土夯实做墙，这是人类最古老的技术之一（图 1-3）。此外，黏土也常作为建筑材料之间的黏合剂。黏土砖分烧结砖和非烧结砖。非烧结砖又称土坯，将黏土用水泡散，加入稻草或者各种毛发等，拌匀以后装在用木板制成的模具里，用脚踩实或者用木板拍实，在开阔且阳光充足的地方晾晒，干透即可。烧结砖以黏土（包括页岩、煤矸石等粉料）为主要原料，经泥料处理、成型、干燥和焙烧而成。中国在春秋战国时期陆续创制了方形和长形烧结砖，秦汉时期制砖的技术和生产规模、质量和花式品种都有显著发展，世称“秦砖汉瓦”。夯土技术是将自然状态的黏土用于打垒分层夯实，形成结实、密度大且缝隙较少的压制泥块，用作房屋建筑。我国使用此技术的时间十分久远，从新石器时代到 20 世纪五六十年代一直在大规模使用，现在一些偏远地区仍然在使用此种方法。人们现在看到的万里长城、故宫、马王堆汉墓、秦始皇陵这些古建筑，它们的地基都是夯土。

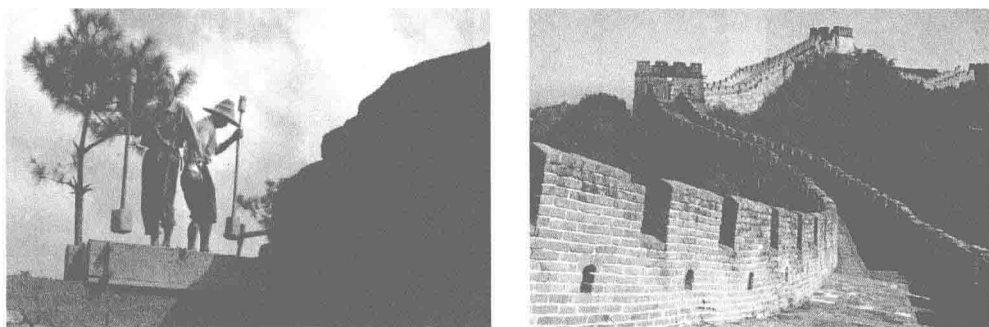


图 1-3 夯土成墙和黏土制砖

黏土除了用于盖房子外，在输水管线、地面砖及一些建筑配件、装饰材料上也有非常广泛的应用。图 1-4 为我国汉代陶制排水管、专供一些重要宫殿场所地面铺设的“金砖”和古罗马高架水渠的实物图片。

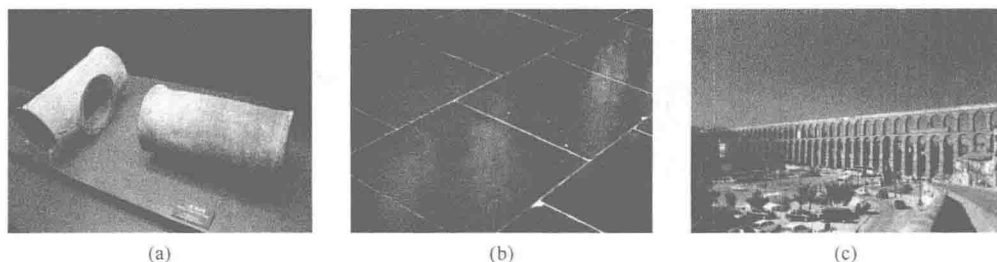


图 1-4 黏土的广泛应用

(a) 陶制排水管；(b) “金砖”；(c) 古罗马高架水渠

1.3.2 黏土与文化艺术

黏土赋予坯泥一定的可塑性，黏土还使釉料具有悬浮性和稳定性，这是黏土艺术加工的基础。陶瓷的产生和发展是中国灿烂的古代文化的重要组成部分。早在公元前 5000 年的新石器时代，人们就开始用普通黏土在很高的温度下烧制陶器，这是一种粗糙简陋的器皿，以后经过不断改进，到新石器时代的晚期，已经能造出比较光滑、质地较坚固而且具有不同颜色的陶器了，但它的缺点是容易渗水。到了奴隶社会的商代，人们已经发明了陶器上釉的技术，使陶器美观，而且不渗漏，不易被污染。同时，人们已经开始选择比较好的黏土来烧制瓷器了。黏土艺术品源远流长、驰名中外且丰富多样（图 1-5）。

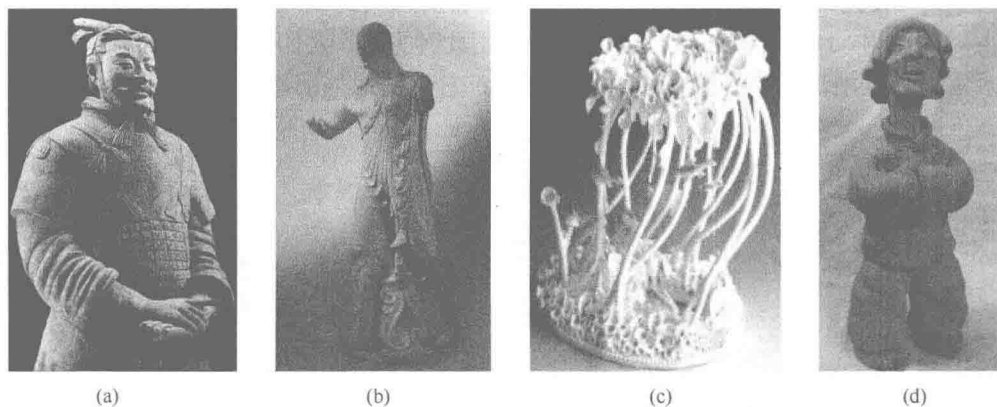


图 1-5 黏土艺术品

(a) 秦始皇兵马俑；(b) 古罗马陶雕；(c) 现代瓷艺；(d) 现代陶塑

大约 6000 年前,古巴比伦的人们开始制作黏土代币作为交易的记录,成为文明的开始。苏美尔人利用黏土作为书写材料 [图 1-6 (a)],所承载的楔形文字是公元前 2000 年到公元前 1000 年中期中亚的通用文字。北宋庆历年间(1041—1048 年),中国的毕昇发明了泥活字,标志着活字印刷术的诞生 [图 1-6 (b)]。毕昇是世界上活字印刷术的第一个发明人,比德国人约翰内斯·古腾堡活字印刷术早了约 400 年。活字印刷术是我国对世界文明的卓越贡献,促进了文化的传播和发展。

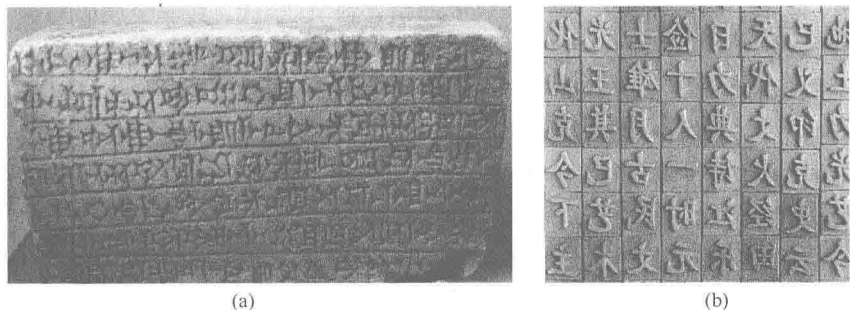


图 1-6 苏美尔人利用黏土作为书写材料 (a) 和活字印刷 (b)

1.3.3 黏土与日用品

北京大学考古博学院吴小红教授、张驰教授等于 2012 年 6 月 28 日在美国 *Science* 杂志上发表了关于“中国仙人洞遗址两万年陶器”的文章。用碳十四断代法检测确定,位于江西省万年县大源乡的万年仙人洞出土的陶器年代可以追溯到距今 2 万年前,比在东亚各地发现的最古老陶片还要早 2000~3000 年。殷商时期,青铜器成本高,只能为贵族享用,广大民众的各种生活器皿大多为陶器,因此商代制陶工艺得到普遍的发展。在我国,人们所公认的、真正意义上的瓷器产生于东汉时期。这一时期的瓷器已取代了一部分陶器、铜器、漆器,成为人们日常生活最主要的用具之一,被广泛用作餐饮用具、陈设品、文房用具、丧葬冥器等。唐代是真正进入瓷器的时代。宋代是我国陶瓷的鼎盛时期。图 1-7 为部分黏土日用品。

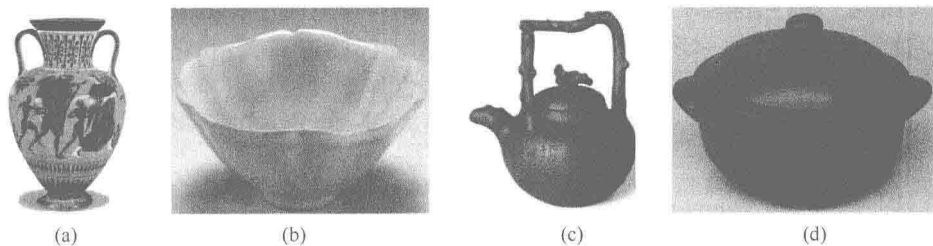


图 1-7 部分黏土日用品

(a) 罗马陶罐; (b) 南宋官窑青瓷花瓣碗; (c) 紫砂壶; (d) 陶制炖锅

1.4 黏土与现代产业

黏土矿物材料是传统产业发展和技术进步的基础材料。非金属矿物资源的利用水平及其与金属矿产资源产值的比例是衡量一个国家工业化成熟度的重要标志。早在 19 世纪末，英国非金属矿物的产值就已超过了金属矿的产值；1934 年，美国的非金属矿物产值也已超过金属矿产值，到 70 年代，其非金属矿与金属矿产值之比达到 2：1。现代黏土应用不但在建筑、艺术、传统陶瓷上继续扮演着重要角色，而且随着时代进步，黏土产品也丰富壮大起来，逐渐呈现出技术含量高、应用领域广、附加值大等特点，在建材、化工、轻工、冶金、机械、交通、能源、电子等现代产业发展中发挥着重要作用。现代科技革命正在开创黏土材料广泛应用的新时代。

1.4.1 黏土是现代产业的基础材料

黏土矿物材料是传统产业发展和技术进步的基础材料。黏土材料与建材、化工、轻工、冶金、机械、交通、能源、电子等现代产业发展密切相关，见表 1-1。

表 1-1 现代产业中的黏土应用

序号	黏土	用途	应用领域
1	滑石、叶蜡石、伊利石、高岭土、云母、硅灰石、硅藻土、膨润土、皂石、海泡石、凹凸棒土等	填料和颜料	塑料、橡胶、胶黏剂、化纤、油漆、涂料、陶瓷、玻璃、耐火材料、阻燃材料、胶凝材料、造纸、建材等
2	石棉、高岭土、云母、滑石、硅灰石、硅藻土、蛋白石等	力学功能材料	石棉水泥制品、结构陶瓷、无机/聚合物复合材料、石墨轴承、密封环、润滑剂、汽缸垫片、石棉橡胶板等
3	石棉、蛭石、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、云母、滑石、高岭土、硅灰石、沸石等	热学功能材料	保温涂料、耐火材料、镁碳砖、储热材料等
4	石英、蛭石、硅藻土、云母、滑石、高岭土、沸石等	电磁功能材料	电极糊、电导体、热敏电阻、电池、非线性电阻、陶瓷半导体、云母电容器、云母纸、电瓷、电子封装材料等
5	高岭土、膨润土、滑石等	吸波与屏蔽材料	护肤霜、防护服、保暖衣、塑料薄膜、消光剂等
6	沸石、高岭土、硅藻土、海泡石、凹凸棒石等	催化材料	分子筛、催化剂、催化剂载体等
7	沸石、高岭土、硅藻土、凹凸棒石、膨润土、皂石、滑石等	吸附材料	助滤剂、脱色剂、干燥剂、杀（抗）菌剂、水处理剂、空气净化剂、油污染处理剂、核废料处理剂、啤酒和食用油净化剂等
8	膨润土、皂石、海泡石、凹凸棒石、水云母等	流变材料	触变剂、防沉剂、增稠剂、凝胶剂、流平剂、黏合剂、清洗剂、钻井泥浆等

续表

序号	黏土	用途	应用领域
9	膨润土、海泡石、凹凸棒石、水云母等	黏结材料	冶金球团黏结剂、胶黏剂、铸模、黏土基复合黏结剂等
10	云母、叶蜡石、蛋白石等	装饰材料	珠光云母、观赏石、涂料、化妆品等
11	沸石、麦饭石、高岭土、硅藻土、海泡石、凹凸、膨润土、滑石等	生物功能材料	药品及保健品、药物载体、饲料添加剂、杀（抗）菌剂、吸附剂、化妆品添加剂、化妆品

1.4.2 黏土是高新技术发展中不可缺少的材料

21 世纪，人类进入了高新技术迅猛发展的时代，导致一大批新兴产业群的诞生，新产品开发日趋活跃，生产工艺不断创新，促使矿物材料逐步向超细化、功能化、高性能化和复合化方向发展，应用市场更加广阔。采用高新技术改造传统矿物材料，发展面向高新技术产业及增强国防实力需要的新型矿物材料，是以黏土为代表的非金属矿产业新的经济增长点。其中，以下发展方向尤为突出。

（1）作为高聚物复合材料，发挥增强、增韧，或满足特殊高聚物基复合材料阻燃、耐磨、抗菌、绝缘或导电、红外辐射和紫外吸收等功能的微纳米矿物超细、活性和特殊粒形微纳米填料。

（2）功效在于提升产品的高遮盖率、耐腐蚀、耐磨、耐高温、防污（抗菌）、辐射屏蔽、吸波、发光或消光等性能的不同成分、结构、晶形的纳米/纳米及纳米/微米复合填料或助剂。

（3）具有良好选择性、稳定性、无毒无害的高性能催化剂载体，以及农药载体、医药载体、抗菌剂载体和过滤净化助剂等生物化工功能材料。

1.5 黏土科学技术研发趋势

黏土矿物是我国的优势资源，但“掠夺式开采、粗放式利用”的生产模式造成了资源的极大浪费。提高资源的利用效率是黏土科学技术研发的首要重大任务。作为天然纳微米材料，黏土应用基础研究主要为针对黏土的纳微米的粒径、可控的层间域、特殊的孔结构等一些独特的结构与性质，通过结构改型和表面改性，提高矿物的表面反应性和经济附加值。

20 世纪 80 年代，非金属矿物材料科学和黏土矿物材料作为矿物学与材料科学的交叉，逐渐形成了独立的边缘分支学科及矿物材料产业，其兴起和发展与非金属矿物的应用、开发和材料科学与工程快速发展密切相关。在基础理论和应

用研究方面,欧美等发达国家和地区及苏联的非金属矿物材料研究及利用的兴起时间较早,英国是最早在大学开设“应用矿物学”课程的国家;苏联是最早提出“工艺矿物学”的概念,并重视应用矿物学的国家。英国马尔福宁等矿物学家在1987年就倡议应重视矿物材料学的研究和应用。在信息交流方面,国际上有*Applied Clay Science*和*Clays and Clay Minerals*,国内有《硅酸盐学报》和《非金属矿》等专业杂志;国际黏土研究协会定期召开国际会议,国内2016年成立了中国硅酸盐学会矿物材料分会,上述组织的成立及交流活动,不仅推动了矿物材料工业的发展,还成为全球有关非金属矿物材料工业及科学研究的权威资料的重要来源。非金属矿物材料的基础研究是开发高性能或功能性非金属矿物材料和复合非金属矿物材料的重要理论和技术基础,其主要基础研究如下。

(1) 纳米粒径或纳米晶非金属矿物材料的表面或界面性质、结构和原子构型、光学性质、磁性、电性、热性、吸附和反应或催化特性及其变化规律。制备工艺对其物化特性的影响。

(2) 纳米/微米、微米/微米复合非金属矿物材料的界观结构和原子构型,复合组分的键合类型、表面吸附、反应或催化特性及其变化规律,材料的光、电、磁、热及吸波(声)等特性及其变化规律,复合工艺,复合层结构、类型等对其物化特性的影响,计算机辅助“核-壳”复合非金属矿物材料的成分、结构、性能计算。

(3) 非金属矿物填料的晶体结构、晶型、化学成分、粒度大小和粒度分布、紧堆密度、颗粒形状、表面性质等与其填充性能和功能之间的关系,填料/高聚物界观作用模型与界面特性及其与材料性能的关系。依据填料特性的高性能复合材料的计算机设计和预测模型。

(4) 架状、层状非金属矿物材料(如沸石、海泡石、凹凸棒石、膨润土、高岭土、蛭石、石墨、膨胀珍珠岩等)的孔道结构特征、孔径大小与分布、层间结构特征,孔道与层间域的物理、化学特性,阳离子交换特性,界面电性,在溶液中的分散性和触变性,吸附,化学反应与催化特性,储能及保湿(水)特性及其与环保功能的关系,高性能和高选择性环保吸附非金属矿物材料的计算机设计和预测模型。

(5) 硅质矿物原料的产状、晶体结构、晶型、化学成分、气液包裹体分布特征对光电子材料性能的影响。

(6) 不同类型黏土孔道结构特征、孔径大小与分布、孔隙率、孔道与重金属离子、烷烃类有机物、氨氮类化合物、酚类和醛类有机物的吸附、反应和催化特性;孔道结构再造方法及其影响因素。

黏土是非金属矿物材料的重要组成部分。当今,国内外黏土资源的技术开发研究主要围绕现代工业和高科技领域对黏土等非金属矿原料提出的新要求和新用途,从原来以原料初加工为主向精加工功能化方向发展。黏土复合材料、功能材