



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

北京市高等教育精品教材

矿物材料科学 系列教材

工业矿物与岩石

INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS

第三版

马鸿文 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

北京市高等教育精品教材



矿物材料科学 系列教材

工业矿物与岩石

第三版

马鸿文 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材是在中国地质大学(北京)材料科学与工程、材料化学等本科专业教材,“北京市高等教育精品教材”《工业矿物与岩石》第二版(2005)的基础上,为适应当前教学计划中学时减少和强化素质培养的需要,此次作为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”和“矿物材料科学系列教材”之一,进行了适度的内容精简和更新补充而修编完成的。内容包括工业矿物学、工业岩石原料、工业岩石制品三部分。工业矿物学包括常见的120余种工业矿物原材料,主要为非金属矿物,对重要的金属矿物和宝石矿物也作了简要论述。工业岩石原料部分重点加强了理化性能、工业应用及技术要求的论述。工业岩石制品包括硅酸盐陶瓷、硅酸盐玻璃、耐火材料、无机胶凝材料,以及工业固体废物资源。上述内容大体上可反映近年来工业矿物与岩石领域的研究新进展、工业应用现状及发展趋势。

本教材适用于地质、矿业、冶金、建材类高校的材料科学与工程(无机非金属材料,矿物材料学)、材料化学、资源勘查工程、宝石与材料工艺学等本科专业教学,也可供其他理工科高校的材料科学与工程、材料物理、材料化学等专业作为参考教材,同时也适用于无机非金属材料学、矿物材料学、矿产资源勘查工程、资源产业经济及相关专业领域的研究生和科研人员作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业矿物与岩石/马鸿文主编. —3版. —北京: 化学工业出版社, 2011.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
北京市高等教育精品教材
矿物材料科学系列教材
ISBN 978-7-122-09848-1

I. 工… II. 马… III. ①非金属矿物-高等学校-教材
②岩石-高等学校-教材 IV. ①P619.2②P58

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第215180号

责任编辑: 窦 臻
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 咎景岩
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张26½ 彩插1 字数659千字 2011年2月北京第3版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.80 元

版权所有 违者必究

《矿物材料科学系列教材》序

《矿物材料科学系列教材》是中国地质大学（北京）“十一五”期间重点建设的系列教材，是北京市“矿物材料学优秀教学团队”教改项目的主要建设内容，也是我校材料科学与工程品牌专业和教学质量工程建设的主要项目之一。

矿物资源是基础工业和消费品工业的原材料。随着现代工业的发展和科学技术的进步，发达国家对非金属矿物资源的开发利用已超过了金属矿产资源。以工业矿物作为原料的主要领域有：磨料，吸附材料，农用矿物，水泥，陶瓷，化学制品，建筑材料，钻井泥浆，电子仪器，过滤材料，阻燃材料，铸造，玻璃，冶金，涂料，纸张，颜料，塑料，耐火材料，合成纤维。2000年，向世界市场提供37种主要工业矿物产品的市场份额超过20%的国家有16个，其中中国提供的矿物产品有10种。矿物材料科学与技术对于国民经济发展的重要性由此可见一斑。

中国地质大学（北京）于1992年在全国最早招收“非金属矿物材料”大专专业；1994年，招收“无机非金属材料（矿物材料学）”本科专业；1995年，招收“材料化学”本科专业；1999年始，则按照工学一级学科“材料科学与工程”专业招生。尽管如此，长期以来我校在材料科学与工程领域，仍以依托学校的优势学科地球科学，重点发展无机非金属材料，尤其是矿物材料科学与技术为特色，并逐步形成了现今在国内该领域的优势学术地位。

编写《矿物材料科学系列教材》的计划始于1996年。当时，鉴于矿物材料学本科教学的急需，以及国内该领域研究工作的需要，曾拟订了一套6本教材的编写规划，列入学校的教材建设计划。后因各种原因，只有《工业矿物与岩石》正式出版（地质出版社，2002），用于实际教学。2004年，这套教材又被列入我校“211工程”建设“地球物质学与矿物新材料”子项目。遗憾的是，限于当时的师资状况和工作经费等问题，编写计划再度搁浅。

近年来，我校引进了多名材料科学与工程专业领域的青年学术骨干，使科学研究和专业教学水平有了显著提高；与本系列教材内容有关的二十余项国家级、北京市和校级教改项目的完成，加之国家对高等教育质量的重视，使专业教学水平有了质的飞跃。长期的教学实践和科研成果积累，学科发展方向与专业特色的凝练，特别是2008年以来，“矿物材料学优秀教学团队”的市级教改项目的实施和教学建设，构成了编写该系列教材的最重要工作基础。

《矿物材料科学系列教材》包括11种教材。其中本科教材：《工业矿物与岩石》（第三版）（普通高等教育“十一五”国家级规划教材；北京市高等教育精品教材），《无机材料工艺学》，《材料化学》，《材料物理》，《复合材料学》，《硅酸盐化学分析》；研究生教材：《硅酸盐物理化学》，《陶瓷热力学与材料设计》（北京市高等教育精品教材立项项目，2009）；教学参考书：《硅酸盐陶瓷相图》。列入后续编写计划的还有《矿物资源绿色加工学》、《硅酸盐材料学》等教材。

为保证本系列教材编写工作的有序高效和教材编写的学术水平，学校组织“矿物材料学优秀教学团队”的骨干教师承担教材的编写工作，同时组成“矿物材料科学系列教材编委会”，负责该系列教材中各教材的体例结构审定和重要内容取舍安排，以及每本教材具体内容的审定，组织校内外专家审稿等事宜。

编写本系列教材的主要目的是，系统总结近 15 年来我校在矿物材料科学与技术领域的教学改革与研究成果，客观反映课程体系与教学内容现状，并物化为系列教材的形式，以期有助于进一步提升教学质量，改进教学效果，并向其他具有相近专业背景的院校提供借鉴，同时向相关专业领域的研究人员提供参考。

本系列教材的内容力求充分体现矿物材料科学与技术的基础性、系统性、前缘性、实践性，要求反映矿物材料科学的篇幅不少于教材内容的 1/3，近 5 年来的最新参考文献不少于 1/3，教材内容涵盖超出实际授课需要不少于 1/3。新教材体系不仅可满足材料科学与工程专业课堂教学的要求，而且兼顾了材料工程中的实际应用，同时也反映了矿物材料科学与技术的研究新进展和当代自然科学相关学科的发展趋势。

本系列教材除适用于地质、矿业、冶金、建材类高校的材料科学与工程、材料化学、资源勘查工程、宝石与材料工艺学等本科专业教学，也可作为其他理工科院校的材料科学与工程、材料物理、材料化学等专业作为参考教材，同时也适用于无机非金属材料学、矿产资源勘查工程、资源产业经济及相关专业领域的研究生和科研人员作为参考书使用。

最后，应予以说明的是，本系列教材能够顺利出版，完全得益于北京市教委“矿物材料学优秀教学团队”教改项目（2008~2010）、教育部“材料科学与工程国家级特色专业建设”项目（2010~2014）和“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”项目（2007~2010）、“北京市高等教育精品教材立项”项目（2009~2011）的实施，尤其是教材出版经费的资助，谨此致以诚挚谢意。

《矿物材料科学系列教材》编委会主任
北京市高等学校教学名师，二级教授
马鸿文
2010 年 10 月 6 日

第三版前言

本书第二版作为“北京市高等教育精品教材”，于2005年出版。值《工业矿物与岩石》作为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”和“矿物材料科学系列教材”之一再版之际，为适应当前高等教育中学时减少和强化素质培养的需要，使其内容更好地适应课程体系和教学内容改革的要求，对原教材内容进行了适度精简和更新补充。

据 Fleischer's Glossary of Mineral Species (Baker et al, 2008) 更新了有关辉石族、闪石族、云母族、沸石族的晶体化学分类等内容；新增了伊利石、六方钾霞石两种矿物；精简了对一般工业矿物的论述，重点补充了近年来有关层状硅酸盐矿物等方面的最新研究成果。删除了11种不太重要的晶体结构图和16种不太常见的矿物晶形图。

国家发改委在《产业结构调整指导目录（2005年本）》中，已将角闪石石棉（即蓝石棉）列为淘汰类落后产品，将含铬质耐火材料生产线列为限制类项目，因而精简了有关蓝石棉性质和工业应用的内容，删除了有关铬质耐火材料制品的内容。

新增了18种主要金属矿产和14种重要非金属矿产资源概况的内容，有关数据主要引自国土资源部信息中心编著的《2006—2007世界矿产资源年评》（2008）、《2007—2008世界矿产资源年评》（2009）和《中国非金属矿业》（崔越昭，2008）三本专著；对34种无机矿物原料的质量要求，引自《无机化工原料》（第五版）（王光建，2008），正文中不再说明。

据新版 Industrial Minerals and Rocks (7thed) (Kogel et al, 2006)，对教材中25处内容做了补充或更新。参考 Geopolymer Chemistry and Applications (2nded) (Davidovits, 2008)，对矿物聚合材料部分内容做了补充；重写了有关富钾岩石的内容；更新了近年来对矿山尾矿、煤矸石、粉煤灰等固体废物资源化利用研究的内容；更新或补充了主要工业岩石原料的应用技术指标和工程化应用研究进展等内容。

本次教材修订，第一篇由廖立兵、马鸿文、李国武、杜高翔完成；第二篇由白志民、马鸿文完成；第三篇和绪论部分由马鸿文完成，李金洪参与了第十五章的修订工作。全书由马鸿文统稿，博士生苏双青、李歌负责全书内容的核校，新增插图件由刘浩清绘。教材修订过程中，得到杨静博士、余晓艳博士、刘梅堂博士等的协助。书中尚存的疏漏或不足之处，敬请读者赐正！

值本书付梓，是日晨即兴作歪诗《无题》一首，慨然骋怀，聊以记之：

三修精典续石缘，劫历洪荒欲补天。
造化浑金锁翠谷，汗青无日写流年。

马鸿文

2010年10月8日于北地苑

第一版前言

本教材是在中国地质大学（北京）自 1992 年以来为非金属矿物材料、无机非金属材料、材料化学等专业讲授《工业矿物与岩石》及相近专业课程讲义的基础上，为适应当前教学改革和学科交叉、渗透的综合发展趋势，以及教学计划中学时的减少和强化素质培养，进行了必要的内容精简和补充而编著完成的。

本教材内容包括工业矿物学、工业岩石原料、工业岩石制品三部分。工业矿物学包括常见的 120 余种工业矿物原料和材料，主要为非金属矿物，对重要的金属矿物和宝石矿物也做了简要论述。工业岩石原料部分重点加强了理化性能、工业应用及技术要求的论述。工业岩石制品包括传统陶瓷、玻璃、耐火材料、水泥和混凝土，以及工业固体废物。上述内容大体上可反映近年来工业矿物和工业岩石领域的研究新进展和开发应用现状。

为适应当前高等学校教学改革和学科综合发展的大趋势，本教材在内容的安排上，既充分考虑到兼顾保留地质、矿业、建材类高校原有的结晶学、矿物学和岩石学的学科优势，又尽最大可能满足材料学专业教学与材料工程中实际应用的要求。因此，设计《工业矿物与岩石》教材内容直接与《结晶学与矿物学（通论）》、《材料科学概论》相衔接，而无须学生再系统学习《晶体光学》、《光性矿物学》、《岩石学》等传统地学课程的基础内容；同时，《工业矿物与岩石》教材内容又必须基本满足《无机材料工艺学》、《技术陶瓷学》等材料学专业课程学习的基础知识要求。

本教材适用于地质、矿业、建材类高校的材料学专业教学，也可作为其他理工科高校材料学专业的参考教材。计划学时约 80 学时。尽管《工业矿物与岩石》教材的容量较大，但考虑到今后随着 MCAI 教学手段的广泛使用，必然导致单位时间内的教学内容显著增加，因此，在上述计划学时内完成教材主要内容的讲授和学习应当是可能的。

本教材前言、绪论、附录由马鸿文编写；第一篇工业矿物学部分由廖立兵、马鸿文编写；第二篇工业岩石原料部分由白志民编写；第三篇工业岩石制品部分由李博文、袁家铮编写。全书由马鸿文统稿，白志民负责全书图件的整理并组织完成了全书内容的核校。吴瑞华教授、杨静博士、余晓艳博士、王英滨博士提供了部分文献资料。教材出版经费主要由中国地质大学（北京）“211 工程”建设项目和“教材出版基金”资助。北京大学郑辙教授、中国地质大学（北京）周珣若教授、北京科技大学曹贞源教授分别对本教材的工业矿物学、工业岩石原料、工业岩石制品三部分书稿的内容进行了认真的审阅，并提出了宝贵的修改意见。责任编辑赵俊磊副编审对书稿进行了认真的编辑加工。谨此致以衷心的感谢。书中尚存的疏漏或不当之处，敬请读者赐正。

编者

2001 年 11 月于北京

第二版前言

本书第一版作为普通高等教育教材，于2002年出版。值《工业矿物与岩石》作为“北京市高等教育精品教材立项项目”再版之际，为使其内容更好地适应当前课程体系和教学内容改革的要求，对原教材内容进行了较大程度的精简和更新补充。主要包括如下内容。

第一篇删除了板钛矿、铜铀云母、钙铀云母3种较少见的矿物；精简了黏土矿物的一般性质和应用的论述；考虑到石棉因具有致癌作用而已受到发达国家应用的严格限制，因而大大精简了有关石棉的性质和工业应用的内容；精简了对一般工业矿物的论述，补充了近年来有关的最新研究成果。

第二篇整合了原教材第一、二篇中相近的内容，如对橄榄石和橄榄岩，石英与石英岩类，黏土矿物与黏土岩，沸石与沸石岩，方解石、白云石与碳酸盐岩的论述等；第七章第七节补充了中国名贵砚石材料的内容；第八章重写了有关富钾岩石的内容；此外还补充了对典型岩浆矿床有关内容的简要介绍。

第三篇新增了有关陶瓷的制备工艺，特别是烧结反应机理和有关玻璃结构的内容；精简了耐火材料的部分内容；无机胶凝材料精简了对硅酸盐水泥的一般论述，重写了硅酸盐水泥水化的内容，补充了有关混凝土腐蚀的论述，新增了矿物聚合材料一节；新增了近年来对矿山尾矿、粉煤灰等工业固体废物资源化应用研究方面的新成果。

此外，删除了原附录二、附录三；书后新增了矿物元素周期简表。与第一版相比，原内容约删减2/5，新增补内容约1/3，总篇幅精简约1/7。

本次教材修订，第一篇由廖立兵、马鸿文完成；第二篇由白志民、马鸿文完成；第三篇由马鸿文完成，白志民、黄朝晖分别参与了第十一、十三章和十四章的修订工作。全书晶体结构图由李国武、聂轶苗按照原子坐标精绘。全书由马鸿文统稿。教材修订过程中得到杨静博士、余晓艳博士、王英滨博士、方勤方博士和肖万、李金洪等的协助。教材出版经费由北京市教委和中国地质大学（北京）教材出版基金资助，谨致谢忱。

值本教材修订完成之际，特录拙笔《青玉案·石之韵》小令，以赞自然造化之神奇，记从事本领域研究之妙趣。词曰：

锂铍铈钽铷钾，铝沥尽、硅云霞。远山幽谷玉烟发。祖母透绿，海蓝若水，碧玺锦三华。

补天取火炼丹砂，铜铁铝镁皆自她。英石光导锗掺杂；热液水晶，高压翡翠，比尔黄金甲。

马鸿文
2005年5月于北京

目 录

绪论	1
第一节 工业矿物与岩石的概念及分类	1
第二节 工业矿物与岩石的研究历史	4
第三节 工业矿物与岩石的发展现状	13
第四节 工业矿物与岩石的研究方法	18
参考文献	27

第一篇 工业矿物学

第一章 硅酸盐矿物	29
第一节 架状硅酸盐	29
石英族: α -石英, β -石英, 鳞石英, 方石英, 蛋白石	29
长石族: 碱性长石, 斜长石	36
似长石: 霞石, 六方钾霞石, 白榴石	43
绿柱石, 堇青石	46
沸石族: 沸石	49
第二节 层状硅酸盐	57
云母族: 白云母, 金云母, 锂云母, 伊利石	57
蛭石	62
滑石, 叶蜡石	65
蛇纹石	70
黏土矿物: 高岭石, 蒙脱石, 坡缕石, 海泡石	73
第三节 链状硅酸盐	83
辉石族: 顽辉石, 透辉石, 硬玉, 锂辉石	83
闪石族: 角闪石石棉, 透闪石、阳起石	89
硅灰石	94
蔷薇辉石	96
莫来石	97
第四节 环状硅酸盐	98
电气石	98
第五节 岛状硅酸盐	99
锆石	100
石榴子石	102
橄榄石	104
黄玉	107
绿帘石族: 黝帘石, 绿帘石, 褐帘石	107
红柱石族: 红柱石、蓝晶石、夕线石	110
第二章 自然元素与卤化物矿物	114
第一节 自然元素矿物	114
自然金, 自然铜	114
金刚石	116
石墨	120

	自然硫	123
第二节	卤化物矿物	124
	萤石, 氟镁石, 冰晶石	125
	石盐, 钾石盐	129
	光卤石	131
第三章	硫化物矿物	132
第一节	四面体硫化物	132
	闪锌矿	132
	黄铜矿	134
	斑铜矿	135
第二节	八面体硫化物	136
	方铅矿	136
	磁黄铁矿, 红砷镍矿	136
第三节	混合型硫化物	137
	镍黄铁矿	137
第四节	异常配位及其它复杂硫化物	139
	辉钼矿	139
	辰砂	140
	辉铜矿	140
	辉银矿	141
	黄铁矿	141
	毒砂	143
	辉铋矿, 辉铊矿	143
	淡红银矿, 浓红银矿	145
	雄黄	146
	雌黄	147
第四章	氧化物与氢氧化物矿物	148
第一节	四面体氧化物	148
	红锌矿	148
第二节	八面体氧化物	149
	刚玉, 赤铁矿, 钛铁矿	149
	方镁石	154
	金红石, 锐钛矿, 锡石, 软锰矿	155
	黑钨矿	159
	铌铁矿-钽铁矿	159
	易解石	160
	烧绿石	161
第三节	立方体氧化物	162
	晶质铀矿, 方钍石	162
第四节	混合型及异常配位氧化物	163
	尖晶石, 磁铁矿, 铬铁矿	163
	金绿宝石	167
	钙钛矿	168
	硬锰矿	169
第五节	氢氧化物矿物	169
	水镁石	170
	硬水铝石, 软水铝石, 三水铝石	172

针铁矿	174
水锰矿	175
第五章 其它含氧盐矿物	176
第一节 碳酸盐矿物	176
方解石, 菱镁矿, 菱铁矿, 菱锰矿, 菱锌矿, 白云石	177
碳酸锶矿, 碳酸钡矿	184
孔雀石, 蓝铜矿	185
第二节 硫酸盐矿物	187
重晶石, 天青石	188
硬石膏, 石膏	190
胆矾	193
芒硝, 无水芒硝, 泻利盐	193
明矾石	195
第三节 其它盐类矿物	195
钠硝石	196
方硼石	196
硼砂, 钠硼解石, 硼镁石	197
白钨矿	199
独居石	199
磷灰石	200
绿松石	202
参考文献	203

第二篇 工业岩石原料

第六章 超镁铁-镁铁质岩类	208
第一节 橄辉岩、蛇纹岩	208
第二节 辉石岩、角闪(石)岩	211
第三节 玄武岩、辉绿岩、辉长岩	212
第七章 硅铝质岩类	218
第一节 石英岩、石英砂、石英砂岩、脉石英、粉石英	218
第二节 花岗岩类	223
第三节 玻璃质岩石	225
第四节 浮岩、火山渣、火山灰	230
第五节 黏土岩	233
第六节 沸石岩	249
第七节 板岩、千枚岩、片岩	251
第八章 碱性岩类	254
第一节 金伯利岩与钾镁煌斑岩	254
第二节 霞石正长岩	258
第三节 富钾岩石	263
第四节 碳酸岩	267
第九章 碳酸盐岩类	269
第一节 石灰岩、白云岩	269
第二节 大理岩	275
第十章 有机质岩类	279
第一节 煤矸岩	279

第二节	泥炭	283
第三节	油页岩、天然沥青	285
第四节	磷块岩	287
第五节	硅藻土	290
参考文献	293

第三篇 工业岩石制品

第十一章	硅酸盐陶瓷	296
第一节	概述	296
第二节	日用陶瓷	305
第三节	建筑陶瓷	309
第四节	电瓷	314
第五节	化工陶瓷	316
第六节	多孔陶瓷	318
第十二章	硅酸盐玻璃	322
第一节	概述	322
第二节	器皿玻璃	331
第三节	光学玻璃	336
第四节	石英玻璃	338
第五节	平板玻璃	339
第六节	微晶玻璃	342
第十三章	耐火材料	347
第一节	概述	347
第二节	$Al_2O_3-SiO_2$ 体系耐火制品	348
第三节	$MgO-CaO$ 体系耐火制品	352
第四节	尖晶石耐火制品	361
第五节	碳质耐火制品	362
第六节	锆质耐火制品	366
第七节	绝热耐火制品	368
第十四章	无机胶凝材料	370
第一节	水泥概述	370
第二节	硅酸盐水泥熟料	371
第三节	通用水泥	375
第四节	专用水泥和特性水泥	381
第五节	混凝土	382
第六节	矿物聚合材料	387
第十五章	工业固体废物资源	394
第一节	概述	394
第二节	矿山尾矿	395
第三节	冶金渣	397
第四节	粉煤灰	401
第五节	化工废渣	406
参考文献	408
附录	常见工业矿物的主要理化性质	410

绪 论

第一节 工业矿物与岩石的概念及分类

一、概念

工业矿物与岩石 (Industrial Minerals and Rocks) 是指除金属矿石、矿物燃料、宝石以外, 其化学成分或物理性能可资工业利用而具有经济价值的非金属矿物与岩石。然而, 严格限定工业矿物与岩石一词的涵盖范围是困难的。首先, 某些金属矿石不仅是冶炼金属的工业原料, 同时又可作为利用其某种物理特性的工业矿物原料, 如用作耐火材料的铝土矿, 用作颜料的赤铁矿等。其次, 许多宝石矿物不仅作为宝石, 而且大量用作其它工业矿物原料, 如金刚石、蓝晶石、刚玉等。

我们认为, 工业矿物与岩石应包括原料和材料 (制品) 两部分, 即 (1) 工业矿物原料, 如石英、钾长石、铝土矿、透辉石、石膏等; (2) 工业矿物材料, 又可分为天然矿物材料和人工矿物材料, 前者如石墨、白云母、冰洲石、沸石等, 后者主要包括人工晶体材料, 如合成金刚石、合成水晶、合成红宝石等; (3) 工业岩石原料, 如高岭土、膨润土、霞石正长岩等; (4) 工业岩石制品, 如硅酸盐陶瓷、玻璃、耐火材料、水泥, 以及通常以硅酸盐或氧化物为主要物相的工业固体废物等。

由此, 本书将工业矿物与岩石定义为: 除矿物燃料以外其技术物理性能或化学成分可资工业利用且具有经济价值的天然矿物与岩石, 或由其作为主要原料而人工制造的具有相似的化学成分、物相组成和微观结构的无机非金属固体物质。

二、特点

相对于金属矿石和燃料矿产而言, 工业矿物和岩石具有以下重要特点:

(1) 工业矿物与岩石虽也有利用其所含元素者, 如钾盐、明矾石、黄铁矿等, 但绝大部分是利用其固有的物理特性, 如石棉、滑石、白云母等, 或利用经加工后形成的技术物理特性, 如珍珠岩、膨润土等。

(2) 每种工业矿物或岩石通常都具有多种用途; 且随着科学技术的发展, 同种工业矿物与岩石的用途也愈来愈广。例如, 高岭土最早只是用作陶瓷原料, 后又成为造纸、橡胶、搪瓷、医药填料, 近代经处理的高岭土则被用于石油加工工业。

(3) 工业矿物与岩石的种类繁多, 而且随着科技的发展, 其种类还在不断增多。工业领域可利用的工业矿物与岩石, 在 20 世纪初不足 60 种, 目前则已超过 200 种。又如, 在 20 世纪 60 年代以前, 压电石英是一种宝贵资源, 以后就被合成压电石英所代替。白云母过去主要用作电容器与电子管、电机的绝缘材料等, 20 世纪 70 年代后期, 电机绝缘材料所需大片云母已为碎云母制成的云母纸所代替, 高压锅炉零件所需云母则由合成云母代替。

(4) 工业矿物与岩石的价值相差悬殊。价值较低的品种如石灰岩、石膏等, 其产地必须靠近主要交通线, 以降低矿石开采过程中的运输成本, 否则即可能失去工业价值。价值差别

不仅表现在不同的矿种之间，而且表现在同一矿种不同的矿石类型之间。

(5) 工业矿物与岩石的成矿地质条件复杂，既有其多样性，又有特殊性。前者如高岭土矿床，既有热液成因，又有风化成因和沉积成因；后者如石英，作为造岩矿物几乎无处不在，但作为玻璃原料的石英和光学石英，则必须具备特殊的成矿地质环境。

上述特点要求，从事这类矿产品研发的技术人员必须具备良好的地质基础理论，掌握这类矿产品研发的技术经济评价方法，了解工业领域对非金属材料的需求，熟悉产品深加工技术及其发展动向，发掘新的工业矿物与岩石品种，开拓新的用途及应用领域。

三、分类

前人对工业矿物与岩石的分类方案，按其分类原则主要有两类。一是以地质成因作为分类基础，如 Bates (1960) 将工业矿物分为伟晶岩型、脉岩型、交代型、变质型、沉积型五类，将工业岩石分为岩浆、变质、沉积成因三类。二是以工业用途作为分类原则，如 Fisher (1969) 将工业矿物与岩石分为建筑材料、陶瓷材料、耐火材料、化工原料和肥料等。我国多采用按主要工业用途的分类方案 (陶维屏等, 1990) (表 0-1)。

表 0-1 工业矿物与岩石的用途分类

用 途	工 业 矿 物	工 业 岩 石
化工原料	食盐, 芒硝, 天然碱, 明矾石, 自然硫, 黄铁矿, 方解石	
光学工业原料	光学石膏, 光学萤石, 光学石英, 冰洲石	
电器和电子工业材料	石墨, 电气石, 白云母	
农药农肥原料	磷灰石, 钾石盐, 芒硝, 石膏	磷块岩, 富钾岩石, 白云岩
研磨和宝石原料	金刚石, 刚玉, 石榴子石, 蓝晶石	
工业填料、过滤剂、吸附剂和载体材料	滑石, 蓝石棉, 沸石	高岭土, 膨润土, 硅藻土, 漂白土, 海泡石黏土
染料		白垩, 红土
绝热、隔声、绝缘和轻质材料	石墨, 石棉, 蛭石	珍珠岩, 硅藻土, 浮石与火山灰, 石膏岩
铸石材料		辉绿岩, 玄武岩, 粗面岩, 安山岩
建筑石料、集料、轻骨料、砖瓦材料		大理石, 花岗石, 砂石, 膨胀页岩和黏土, 砖瓦页岩和黏土
水泥和黏合原料		石灰岩, 黏土和页岩, 砂岩, 凝灰岩, 火山灰, 沸石岩
玻璃原料	长石, 硬硼钙石	石英砂, 石英岩, 霞石正长岩
陶瓷原料	叶蜡石, 长石, 硅灰石, 透辉石	高岭土, 绢英岩, 细晶岩, 霞石正长岩
耐火材料和铸造材料	石墨, 菱镁矿, 叶蜡石, 红柱石, 蓝晶石, 蓝线石, 夕线石	白云岩, 石英岩, 铝土矿, 黏土, 硅砂
熔剂和冶金原料	萤石, 长石, 硼砂	石灰岩, 白云岩
钻探工业材料	重晶石	膨润土, 坡缕石黏土, 海泡石黏土

注：据陶维屏等 (1990)，略有补充。

本教材的内容力求既与传统的矿物学、岩石学的学科体系相衔接，又尽可能满足材料学专业教学与材料工程应用的要求。因此，本书中将工业矿物与岩石分为三大类，即工业矿物、工业岩石原料和工业岩石制品。

工业矿物包括工业矿物原料和工业矿物材料。矿物的化学成分和结构的统一，决定了矿物本身的性质，并与特定的形成条件有关，反映了自然界元素结合的规律。因此，本书中采

用以矿物的成分、结构为依据的晶体化学分类。即矿物类的划分依据阴离子或络阴离子的种类，矿物族的划分依据晶体结构型和阳离子性质，而划分矿物种则是依据一定的晶体结构和化学成分。

按照上述分类原则，本书中将工业矿物分为硅酸盐矿物、自然元素与卤化物矿物、硫化物矿物、氧化物与氢氧化物和其它含氧盐矿物。

在第一篇中，对矿物族或矿物种的描述按照晶体化学、结构与形态、理化性能、产状与组合、鉴定特征、工业应用的格式给出。

对于工业岩石原料，本书采用以成分为主要依据，同时参考其地质成因的分类方法。这种分类大致可与一般岩石学教科书中的岩石分类相对比。按照上述分类方法，将工业岩石原料分为五大类，即超镁铁-镁铁质岩类、硅铝质岩类、碱性岩类、碳酸盐岩类、有机质岩类（表 0-2）。在各大类之下，再按照相似的化学成分划分亚类，每一亚类中工业岩石原料的岩石种属与一般岩石学教科书中的名称相一致。

表 0-2 工业岩石原料的成分分类

大 类	亚 类	岩浆岩	沉积岩	变质岩
超镁铁镁铁质岩类	一	橄辉岩		蛇纹岩
	二	辉石岩,角闪石岩		角闪岩
	三	玄武岩,辉绿岩,辉长岩		
硅铝质岩类	一		石英砂岩,粉石英	石英岩
	二	碱长花岗岩,正长花岗岩,二长花岗岩,花岗闪长岩		
	三	珍珠岩,松脂岩,黑耀岩		
	四	浮岩,火山渣,火山灰		
	五		黏土岩	
	六		沸石岩	
	七			板岩,片岩,千枚岩
碱性岩类	一	金伯利岩,钾镁煌斑岩		
	二	霞石正长岩,霓辉正长岩		
	三	富钾响岩,富钾粗面岩,富钾凝灰岩	富钾砂岩,富钾页岩,富钾黏土岩	富钾板岩,富钾黏板岩
	四	碳酸岩		
碳酸盐岩类	一		石灰岩,白云岩	
	二			大理岩
有机质岩类	一		煤矸岩	
	二		泥炭	
	三		油页岩,天然沥青	
	四		磷块岩	
	五		硅藻土	

在第二篇中，对工业岩石原料的描述一般按照概念与分类、矿物成分与岩相学、化学成分与物理性质、产状与分布、工业应用与技术要求的格式给出。某些重要的工业岩石原料还对其研究现状及发展趋势给予简要评述。

对于工业岩石制品，首先涉及这类材料的定义。众所周知，材料通常可划分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料。后者指广义的陶瓷材料，即无机非金属材料的同义词。

陶瓷 (ceramics) 一词来自希腊语的 *keramos*, 意为陶器或由泥土原料烧制的材料。Kingery (1976) 将陶瓷学定义为: 制造和应用主要由无机非金属物质作为基本组分的固体制品的技艺和科学。在此定义基础上, 将陶瓷材料分为传统陶瓷 (traditional ceramics) 和技术陶瓷 (technical ceramics) 两大类。传统陶瓷包括黏土制品 (clay products)、硅酸盐玻璃 (silicate glasses)、水泥 (cement)、白瓷 (whitewares)、瓷釉 (porcelain enamels)、耐火材料 (refractories)、磨料 (abrasive materials) 等。现代无釉白瓷则包括陶器 (earthenware)、炆器 (stoneware)、玻质瓷 (vitreous china)、瓷器 (porcelain)、电瓷 (electrical porcelain) 和技术白瓷 (technical whiteware ceramics) 等类型 (Brosnan et al, 2006)。陶瓷原料的矿物加工也被作为陶瓷工业的一个分支。因此, 本书中的工业岩石制品的含义大致与传统陶瓷或硅酸盐陶瓷相当。

虽然工业固体废物不是一般意义上的陶瓷工业制品, 但这类物质却是伴随着人类工业生产过程而出现的产物。因此, 本书将铝硅酸盐工业固体废物等同于工业岩石制品。

参考 Kingery (1976) 对传统陶瓷的分类, 本书将工业岩石制品分为硅酸盐陶瓷、硅酸盐玻璃、耐火材料、无机胶凝材料和工业固体废物资源五大类。

在第三篇中, 对工业岩石制品的描述一般包括概念与分类、制备工艺、结构与性能、主要用途、研究现状与发展趋势等内容。

第二节 工业矿物与岩石的研究历史

一、矿物原材料应用史

在人类的文明及进化中, 天然矿物岩石材料发挥了十分重要的作用。早在距今 1.2 万年前的旧石器时代, 中华先民就已形成我国北方的小石片石器传统和南方的砾石石器传统。对距今 1.2 万~0.9 万年间的新石器早期的文化研究, 在湖南道县玉蟾岩、江西万年仙人洞、广西甯宁顶狮山、河北徐水南庄头、山西怀仁鹅毛口、北京怀柔转年等地, 出土了原始陶器残片和磨制石器。公元前 7000~前 5000 年的新石器时代中期, 出现了玉器、彩陶、白陶等, 说明先民手工业的发展。新石器时代晚期, 至距今约四五千年的新石器时代晚期的晚段, 可能就是传说的“三皇五帝”时代。中国历史上以中原为中心的夏文化, 最初形成于“龙山时代”, 即夏王朝诞生时期 (刘庆柱, 2000)。

中国壶的出现最早可追溯至新石器时代, 如河南新郑裴李岗文化遗址出土的一件陶质小口双耳壶, 高 16.5cm, 口径 6.4cm, 腹部呈球形或椭圆形, 耳附于肩部, 作半月形, 竖置或横置, 造型独特。此类陶制壶在各地新石器时代遗址都有大量出土 (李明珂, 2007)。

对河南偃师二里头约公元前 2100~前 1700 年的夏王朝都城遗址的考古, 发现两座各自逾万平方米的大型殿堂建筑遗址、铸铜遗址、多座包含丰富随葬品并含朱砂的墓葬, 以及青铜器、大型玉器和陶质礼器等。对陕西长安的丰镐遗址的考古, 发现了西周不同时期的建筑基址十余座, 以及一些青铜器窖藏; 对陕西扶风的周原遗址的考古, 发现了西周时代的大型建筑基址、铸铜、制陶、制骨等手工业作坊遗址, 以及铜器墓、铜器窖藏、占卜甲骨文片和铸铭铜器。三门峡虢公墓西周晚期铁器的发现, 江西瑞昌铜岭、湖北大冶铜绿山、安徽南陵与铜陵、山西中条山等地的铜矿、冶铁遗址发掘, 山西侯马铸铜遗址、河南西平酒店铁矿开采、冶铸遗址的清理, 反映了商周时期金属矿的开采、冶铸技术已达到相当的水平 (刘庆柱, 2000)。

春秋战国时代，郑国以铁铸刑鼎，标志着铁器的出现。战国时，铁制工具广泛使用，比欧洲早一千多年。冶铁业的发展，表明当时的铁矿开采（如山东金岭镇铁矿）、耐火材料的使用和熔剂的选取，都达到了相当的水平。到秦代，冶铁业和铁器的使用得到了很大发展。然而，铁器普遍用于生产则是在西汉。在西汉初年，开始以煤作燃料，使钢铁的质量达到了很高的水平。冶铁业是汉代三大手工业之一，考古发现以河南南阳瓦房店、巩县铁生沟、郑州古荥镇和温县招贤村的冶铁、铸造遗址最具代表性，反映出当时已发明了铸铁柔化术、块炼渗碳钢、脱碳钢和百炼成钢等技术（刘庆柱，2000）。

我国古代把矿物、岩石统称为“石”，最早记述石头的是春秋战国时期（公元前700～前221）的《山海经》。国外最先研究石头的著作，是希腊公元前500～前400年的《关于石头的论文》。春秋战国时代，出现了我国历史上最早一批记载当时利用矿物的著作，如《禹贡》、《考工记》、《山海经》、《管子》等。《山海经》中就有水晶、雄黄等矿物名称的记载，并沿用至今。《山海经》中还记述了各种矿产的产地、用途和性质。韩非（约公元前280～前233）在《内储》中有“荆南之地，丽水之中生金”的记载。《管子·地数》篇中记载：“天下名山五千三百七十，出铜之山四百六十七；出铁之山三千六百有九。”并科学总结了金属矿产的形成规律：“山，上有赭者，其下有铁；上有铅者，其下有银；上有丹沙者，其下有黄金；上有慈石者，其下有铜金；此山之所见荣者也。”这里的赭、丹沙和慈石分别为赭石即赤铁矿、辰砂和磁石即磁铁矿。

我国最早的药典《神农本草经》载药365种，其中矿物药达41种。秦汉以来，特别是在唐宋两代采矿业大发展的基础上，颜真卿（708～784）、沈括（1031～1095）所著《梦溪笔谈》、杜绾著《云林石谱》（1133）总结了有关矿物资源的地质现象和找矿方法。至明代，《本草纲目》（李时珍，1578）、《天工开物》（宋应星，1637）两部著作则描述了多达160余种矿物的产地、性状和用途。《本草纲目》中载金石类161种，分为金、玉、石、卤石类，如加上土类，则多达200余种药用矿物。明代王士性著《广志绎》卷4记载：“浮梁景德镇，雄村十里，皆火山发焰，故其下当有陶殖应之。”陶殖即高岭土，说明当时对找矿问题已相当注意。

在国外，矿物学作为一门独立研究领域，以德国医生Georgius Agricola的著作De re Metallica Libris XII（1556）为标志。Agricola总结了许多世纪以来民间积累的观察现象，并根据自己的观察，提出了几种矿物的性质，包括颜色、透明度、光泽、硬度、挠性和解理（Zoltai & Stout, 1984）。在外国科学家关注于矿物外观性质的时候，中国古代科学家早已掌握了矿物的药用价值。如石膏、芒硝用作药石，在南朝梁代著名的医药学家陶弘景（456～536）的著述中即有论述。

石棉在中国古籍中称为“不灰木”、“石绒”、“石麻”，以石棉织成的布称为“火浣布”、“火毳”。《山海经》中就已有关于用石棉制成“火浣布”的记载。晋朝（266～420）文献记载，在周穆王时（公元前1101～前947）中国即已有“火浣布”，可以投入火中烧去污垢，出火振去灰烬，使布色皓然若雪；还记载在燕昭王时（公元前310），已利用石棉纤维可以吸油而不燃的特点作为灯芯（陶维屏等，1990）。

在商周时期（公元前1700～前770），我国已掌握利用多种矿物染料为服装染色的技术，如以赭石（赤铁矿）、赤砂染红，石黄、石绿、石青作为黄、绿、蓝色染料。战国时（公元前770～前221）丹砂、石黄、雄黄、雌黄、红土、白土等矿物染料还用于漆器彩绘。对敦煌石窟壁画所使用的30余种颜料的分析研究表明，壁画颜料主要来自进口宝石、天然矿石