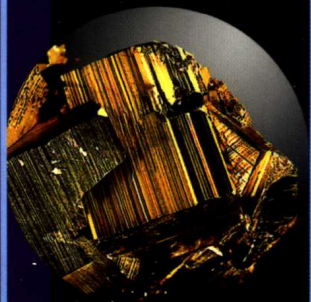
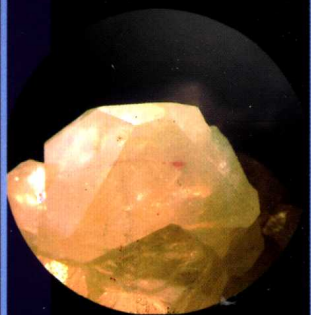


高等学校教材

# 工业矿物与岩石

Industrial Minerals and Rocks

马鸿文 主编



地质出版社

高等学校教材

# 工业矿物与岩石

马鸿文 主编

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本教材是在中国地质大学 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写完成的。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。

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,同时也适用于材料学及相关专业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.-北京:地质出版社,2002.8

ISBN 7-116-03640-7

I. 工… II. 马… III. ①工业-矿物-高等学校-教材②岩石学-高等学校-教材 IV. P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 049559 号

---

责任编辑:白铁 赵俊磊

责任校对:李玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张:30.5

字 数:750 千字

印 数:1—1500 册

版 次:2002 年 8 月北京第一版·第一次印刷

定 价:60.00 元

ISBN 7-116-03640-7/P·2285

---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

# 前 言

本教材是在中国地质大学自 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。北京大学郑轶教授、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

# 目 录

前 言	
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	(7)
第三节 工业矿物与岩石的研究现状	(16)
第四节 工业矿物与岩石的研究方法	(20)
参考文献	(35)

## 第一篇 工业矿物学

第一章 硅酸盐矿物	(37)
第一节 架状硅酸盐	(37)
石英族: $\alpha$ 石英, $\beta$ 石英, 鳞石英, 方石英, 蛋白石	(37)
长石族: 碱性长石, 斜长石	(45)
似长石: 霞石, 白榴石	(53)
绿柱石, 堇青石	(54)
沸石族	(58)
第二节 层状硅酸盐	(67)
云母族: 白云母, 金云母, 锂云母	(67)
蛭石	(73)
滑石, 叶蜡石	(75)
蛇纹石	(81)
粘土矿物: 高岭石, 蒙脱石, 坡缕石, 海泡石	(85)
第三节 链状硅酸盐	(95)
辉石族: 顽辉石, 透辉石, 硬玉, 锂辉石	(96)
闪石族: 角闪石石棉, 透闪石、阳起石	(103)
硅灰石	(109)
蔷薇辉石	(113)
莫来石	(113)
第四节 环状硅酸盐	(114)
电气石	(114)
第五节 岛状硅酸盐	(116)
锆石	(116)
石榴子石	(118)
橄榄石	(121)
黄玉	(124)
绿帘石族: 黝帘石, 绿帘石, 褐帘石	(125)

红柱石族:红柱石、蓝晶石、夕线石 .....	(128)
<b>第二章 单质与卤化物矿物</b> .....	(133)
<b>第一节 单质矿物</b> .....	(133)
自然金,自然铜 .....	(133)
金刚石 .....	(136)
石墨 .....	(140)
自然硫 .....	(143)
<b>第二节 卤化物矿物</b> .....	(144)
萤石,氟镁石,冰晶石 .....	(145)
石盐,钾石盐 .....	(149)
光卤石 .....	(151)
<b>第三章 硫化物矿物</b> .....	(153)
<b>第一节 四面体硫化物</b> .....	(153)
闪锌矿 .....	(153)
黄铜矿 .....	(155)
斑铜矿 .....	(157)
<b>第二节 八面体硫化物</b> .....	(158)
方铅矿 .....	(158)
磁黄铁矿,红砷镍矿 .....	(158)
<b>第三节 混合型硫化物</b> .....	(160)
镍黄铁矿 .....	(160)
<b>第四节 异常配位及其他复杂硫化物</b> .....	(161)
辉钼矿 .....	(162)
辰砂 .....	(163)
辉铜矿 .....	(164)
辉银矿 .....	(164)
黄铁矿 .....	(165)
毒砂 .....	(166)
辉锑矿,辉铋矿 .....	(167)
淡红银矿,浓红银矿 .....	(169)
雄黄 .....	(171)
雌黄 .....	(171)
<b>第四章 氧化物与氢氧化物矿物</b> .....	(173)
<b>第一节 四面体氧化物</b> .....	(173)
红锌矿 .....	(174)
<b>第二节 八面体氧化物</b> .....	(174)
刚玉,赤铁矿,钛铁矿 .....	(174)
方镁石 .....	(181)
金红石,锐钛矿,板钛矿,锡石,软锰矿 .....	(181)
黑钨矿 .....	(187)
铌铁矿-钽铁矿 .....	(189)
易解石 .....	(191)

烧绿石 .....	(192)
第三节 立方体氧化物 .....	(193)
晶质铀矿,方钍石 .....	(193)
第四节 混合型及异常配位氧化物 .....	(195)
尖晶石,磁铁矿,铬铁矿 .....	(195)
金绿宝石 .....	(200)
钙钛矿 .....	(201)
硬锰矿 .....	(202)
第五节 氢氧化物矿物 .....	(202)
水镁石 .....	(203)
硬水铝石,软水铝石,三水铝石 .....	(206)
针铁矿 .....	(209)
水锰矿 .....	(210)
第五章 其他含氧盐矿物 .....	(212)
第一节 碳酸盐矿物 .....	(212)
方解石,菱镁矿,菱铁矿,菱锰矿,菱锌矿,白云石 .....	(214)
碳酸锶矿,碳酸钡矿 .....	(222)
孔雀石,蓝铜矿 .....	(224)
第二节 硫酸盐矿物 .....	(226)
重晶石,天青石 .....	(226)
硬石膏,石膏 .....	(229)
胆矾 .....	(232)
芒硝,无水芒硝,泻利盐 .....	(232)
明矾石 .....	(235)
第三节 其他盐类矿物 .....	(235)
钠硝石 .....	(235)
方硼石 .....	(236)
硼砂,钠硼解石,硼镁石 .....	(237)
白钨矿 .....	(239)
独居石 .....	(240)
磷灰石 .....	(241)
绿松石 .....	(242)
铜铀云母,钙铀云母 .....	(243)
参考文献 .....	(245)

## 第二篇 工业岩石原料

第六章 超镁铁—镁铁质岩类 .....	(247)
第一节 橄榄岩、蛇纹岩 .....	(247)
第二节 辉石岩、角闪(石)岩 .....	(251)
第三节 玄武岩、辉绿岩、辉长岩 .....	(253)

<b>第七章 硅铝质岩类</b> .....	(260)
第一节 石英岩、石英砂、石英砂岩、脉石英、粉石英 .....	(260)
第二节 玻璃质岩石 .....	(267)
第三节 花岗岩类 .....	(271)
第四节 浮岩、火山渣、火山灰 .....	(273)
第五节 粘土岩 .....	(277)
第六节 沸石岩 .....	(294)
第七节 板岩、千枚岩、片岩 .....	(297)
<b>第八章 碱性岩类</b> .....	(300)
第一节 金伯利岩与钾镁煌斑岩 .....	(300)
第二节 霞石正长岩 .....	(304)
第三节 富钾岩类 .....	(311)
第四节 碳酸岩 .....	(317)
<b>第九章 碳酸盐岩类</b> .....	(319)
第一节 石灰岩、白云岩 .....	(319)
第二节 大理岩 .....	(327)
第三节 菱镁岩 .....	(330)
<b>第十章 有机质岩类</b> .....	(332)
第一节 煤矸岩 .....	(332)
第二节 泥炭 .....	(336)
第三节 油页岩、天然沥青 .....	(339)
第四节 磷块岩 .....	(341)
第五节 硅藻土 .....	(344)
<b>参考文献</b> .....	(349)

### 第三篇 工业岩石制品

<b>第十一章 陶瓷制品</b> .....	(351)
第一节 概述 .....	(351)
第二节 日用陶瓷 .....	(356)
第三节 建筑陶瓷 .....	(362)
第四节 电瓷 .....	(367)
第五节 化工陶瓷 .....	(370)
第六节 多孔陶瓷 .....	(372)
<b>第十二章 玻璃制品</b> .....	(376)
第一节 概述 .....	(376)
第二节 器皿玻璃 .....	(380)
第三节 光学玻璃 .....	(388)
第四节 石英玻璃 .....	(389)
第五节 微晶玻璃 .....	(391)



第六节	平板玻璃 .....	(394)
<b>第十三章</b>	<b>耐火材料 .....</b>	<b>(397)</b>
第一节	概述 .....	(397)
第二节	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 系耐火制品 .....	(398)
第三节	MgO-CaO 系耐火制品 .....	(404)
第四节	尖晶石耐火制品 .....	(418)
第五节	碳质耐火制品 .....	(419)
第六节	锆质耐火制品 .....	(425)
第七节	绝热耐火制品 .....	(427)
<b>第十四章</b>	<b>水泥与混凝土 .....</b>	<b>(429)</b>
第一节	水泥概述 .....	(429)
第二节	硅酸盐水泥熟料 .....	(430)
第三节	通用水泥 .....	(443)
第四节	专用水泥和特性水泥 .....	(449)
第五节	混凝土 .....	(451)
<b>第十五章</b>	<b>工业固体废物 .....</b>	<b>(456)</b>
第一节	概述 .....	(456)
第二节	矿业采掘废弃物 .....	(457)
第三节	矿业加工废弃物 .....	(458)
<b>参考文献</b>	.....	(469)
<b>附录一</b>	<b>常见工业矿物的主要理化性质 .....</b>	<b>(471)</b>
<b>附录二</b>	<b>常见矿物晶体化学式的计算 .....</b>	<b>(475)</b>
<b>附录三</b>	<b>工业岩石物相组成的线性规划法计算 .....</b>	<b>(477)</b>

# 绪 论

## 第一节 工业矿物与岩石的概念及分类

### 一、概念

工业矿物与岩石一词来自英文的 Industrial Minerals and Rocks, 是指除金属矿石、矿物燃料、宝石以外的其化学成分或技术物理性能可资工业利用而具有经济价值的所有非金属矿物与岩石。

然而, 严格限定工业矿物与岩石一词的应用范围是困难的。首先, 某些金属矿石不仅是冶炼金属元素的工业原料, 同时又可作为利用其某种技术物理特性的工业矿物原料, 如用做耐火材料的铝土矿, 用做颜料的赤铁矿等。其次, 许多宝石矿物的用途不仅是作为宝石, 而且大量用作其他工业矿物原料, 如金刚石、蓝晶石、石榴子石等。再次, 有些文献将人工制品排除于工业矿物与岩石之外, 如水泥、石灰、陶瓷、耐火材料、磨料、人造金刚石、人造水晶等, 而另一些文献则将这类人工制品归入工业矿物与岩石中。由此可见, 工业矿物与岩石一词的基本含义是清楚的, 但其涵盖的范围则较模糊。

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, 如长石、石英、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、石棉、沸石等, 后者主要包括人工晶体材料, 如人造金刚石、人造水晶、人造红宝石、合成沸石等; ③工业岩石原料, 如高岭土、膨润土、沸石岩、霞石正长岩等; ④工业岩石制品, 如水泥、玻璃、耐火材料、传统陶瓷(或称硅酸盐陶瓷), 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备的具有相似的化学成分、物相组成和显微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) 与金属矿石一般通过冶炼而利用其金属元素不同, 工业矿物与岩石虽也有利用其所含的元素者, 如钾盐、明矾石、黄铁矿等, 但绝大部分是利用其固有的技术物理特性, 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) 金属及燃料矿产的用途一般较为单一, 而每一种工业矿物或岩石通常都具有多种用途, 不同种的工业矿物或岩石, 有时又可代用; 且随着科学技术的发展, 同一种工业矿物与岩石的用途也愈来愈广。例如, 高岭土最早只是用做陶瓷原料, 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。又如, 滑石和高岭土都可用做造纸填料, 而叶蜡石又可代替高岭土作为陶瓷原料。

(3) 金属矿石及燃料矿产的种类有限，而工业矿物与岩石不仅种类繁多，而且随着科技的发展，其种类还在不断增多。在 20 世纪初，工业与技术领域可利用的工业矿物与岩石不足 60 种，目前则已超过 200 种。如，在 20 世纪 60 年代以前，压电石英是一种宝贵的资源，以后就被人造压电石英所代替。又如，云母过去主要用于制作电容器与电子管、电机的绝缘材料、仪器仪表零件等，20 世纪 70 年代后期电机绝缘材料所需的大片云母已为碎云母制成的云母纸所代替，高压锅炉零件所需的云母则已由人造云母代替。再如，玄武岩和辉绿岩过去仅被用做建筑石材，而后来用于制成铸石，广泛用于冶金、化工、水电、建材等领域，节约了大量金属材料，并具有耐磨损、抗腐蚀的优点。

(4) 工业矿物与岩石的价值相差悬殊。一些价值较低的品种，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。价值的差别不仅表现在不同的矿种之间，如金刚石和建筑集料，而且表现在同一矿种不同的矿石类型之间，如纤维石膏比泥质石膏的市场售价高出数倍。

(5) 工业矿物与岩石的成矿地质条件较为复杂，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，而不同成因类型的矿石质量及性能有所差异。后者如石英，作为普通造岩矿物它几乎无处不在，但作为玻璃原料的石英，其产出的地质条件要求较严，而对于光学石英，则必须具备特殊的成矿地质环境。

由于工业矿物与岩石的上述特点，要求从事这类矿产资源勘查和产品研究开发的技术人员必须具备良好的地质成矿理论知识，掌握这类矿产勘查和产品开发的技术经济评价要素和方法，了解工业和技术领域对非金属材料的需求及市场供需状况，熟悉产品深加工技术及其发展动向，注意研究发掘新的工业矿物与岩石品种，不断开发新的用途及应用领域，以适应科技进步与社会发展对工业矿物与岩石的需求。

### 三、分类

由于工业矿物与岩石种类繁多，每一矿种又可能有几种成因，其用途又多种多样，因此，要提出一个完善的分类方案是困难的。最近 40 年以来，见诸于文献中的分类方案为数不少，按其分类原则大体有三类。第一类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的、脉岩的、交代的、变质的、沉积的五种，将工业岩石分为岩浆的、变质的、沉积的三种。第二类是以产品的价值作为分类原则。如 Wright 和 Burnett (1962) 将工业矿物与岩石分为低价大体积的如建筑材料，高价大体积的如化工材料，高价小体积的如长石、滑石三大类。第三类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、化工材料和肥料等。Kline (1970) 则按矿物的工艺技术性能先将其分为化学矿物和物理矿物两大类，然后再按用途分类。此外，也有将地质因素与工业用途综合起来作为分类原则的，如 Dunn (1973) 提出以坐标的一轴表示工业用途和工艺，另一轴表示岩石类型的分类方案。

我国多采用按主要工业用途的分类方案，代表性的如陶维屏等 (1990) 在《中国工业矿物和岩石》一书中采用的方案 (表 1)。但这一分类方案中不包括工业岩石制品，因而可认为是对工业矿物与岩石原料的分类。

为适应 21 世纪自然科学领域各学科综合发展的趋势，本教材的内容力求既与传统的矿物学和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中实际应用的要求。因此，本书中尝试性地将工业矿物与岩石分为三大类，即工业矿物、工业岩石原

表 1 主要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	石盐、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	
电气和电子工业材料	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
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、海泡石粘土
染料		白垩、红土
绝热、隔音、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、砂和卵石、膨胀页岩和粘土、砖瓦页岩和粘土
水泥和粘合原料		石灰岩（大理岩）、粘土和页岩、砂岩、凝灰岩和火山灰、沸石岩、石膏岩
玻璃原料	长石、硬硼钙石	石英砂和石英岩、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、粘土、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、凹凸棒石粘土、海泡石粘土

注：据陶维屏等（1990）。

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，后者也可称为晶体材料（包括天然晶体材料和人工晶体材料）。无论工业矿物原料，或是工业矿物材料，两者均具有相同的晶体化学规律性。矿物的成分和结构的统一，决定了矿物本身的性质，并与特定的形成条件有关，在一定程度上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。这也是目前矿物学中所广泛采用的矿物分类方法（潘兆橹等，1993）。按晶体化学原则分类，矿物类的划分依据是阴离子或配阴离子的种类，矿物族的划分依据是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一定的化学成分。

按照上述分类原则，本书对工业矿物的分类如下：

硅酸盐矿物

- 架状硅酸盐
- 层状硅酸盐
- 链状硅酸盐
- 环状硅酸盐
- 岛状硅酸盐

## 单质与卤化物矿物

单质矿物

卤化物矿物

## 硫化物矿物

四面体硫化物

八面体硫化物

混合型硫化物

异常配位硫化物

复杂硫化物

## 氧化物与氢氧化物

四面体氧化物

八面体氧化物

立方体氧化物

混合型及异常配位氧化物

氢氧化物

## 其他含氧盐矿物

碳酸盐矿物

硫酸盐矿物

其他盐类矿物

在第一篇中，对每一矿物族或矿物种的描述均按照晶体化学、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，由于其种类繁多，用途多样，且每一种属又可能不止一种成因，因此，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。在各大类之下，再按照相似的化学成分划分为若干亚类，每一亚类中所包括的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2）。

在第二篇中，对每一种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与发展趋势给予简要评述。

对于工业岩石制品，首先涉及到这类材料的定义。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（师昌绪，1996）。这里的陶瓷材料是指广义的陶瓷材料，即无机非金属材料同义词。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。

在《Introduction to Ceramics》一书中，Kingery（1960、1976）将陶瓷学定义为：制造和应用主要由无机非金属材料作为基本组分构成的固体制品的技艺和科学。在此定义的基础上，将陶瓷材料分为传统陶瓷（traditional ceramics）和技术陶瓷（technical ceramics）两大类，后者的同义词还有新型陶瓷（new ceramics）、特种陶瓷（special ceramics）、先进

陶瓷 (advanced ceramics)、精细陶瓷 (fine ceramics)、高效陶瓷 (high performance ceramics)、高技术陶瓷 (high-tech ceramics) 等。

表 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	花岗岩类		
	三	玻璃质岩石		
	四	浮岩、火山渣、火山灰		
	五		粘土岩	
	六		沸石岩	
	七			板岩、千枚岩、片岩
碱性岩类	一	金伯利岩、钾镁煌斑岩		
	二	霞石正长岩		
	三	富钾火山岩	富钾页岩	富钾板岩
	四	碳酸岩		
碳酸盐岩类	一		石灰岩、白云岩	
	二			大理岩
	三			菱镁岩
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	

传统陶瓷的现代定义为：由粉体原料烧制而相对很少改变其自然状态，且通常具有独特的硬度、强度、低导电性和脆性的无机非金属固体制品 (Encyclopaedia Britannica, 94~98)。Kingery (1960、1976) 定义的传统陶瓷包括粘土制品 (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，其中白瓷包括陶器 (pottery) 和瓷器 (porcelain)。陶瓷原料的矿物加工也被作为陶瓷工业的一个分支，尽管它并不生产任何上述的陶瓷制品。由此可见，绝大多数传统陶瓷工业可称之为硅酸盐工业 (American ceramics Society, 1899)。传统陶瓷则可称为硅酸盐陶瓷。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。

讨论工业岩石制品的分类时，不能不提到大约在 20 世纪 80 年代以来国内较普遍使用的矿物材料这一术语。赵万智等 (1999) 提出，矿物材料是由矿物组成的无机非金属材料

料，有时也称硅酸盐材料；它是利用天然和人造的矿物为原料，经过一定的生产工艺直接利用或加工成具有一定物理化学性能的非金属材料。广义者也包括金属材料。按照此定义，将矿物材料按其生产过程分为以下四类：

**熔浆型材料：**是将选定配比的原料，经过高温熔融、冷凝成结晶态或非晶态的材料。如高温炉渣、铸石、玻璃（平板玻璃、器皿玻璃、微晶玻璃、泡沫玻璃等）、矿岩棉、矿岩珠等。

**烧结型材料：**原料经过配料、粉碎、加工、成型等工艺，再在高温炉中经过固相反应而形成的材料。如陶瓷、耐火材料、水泥熟料、烧结铸石、烧结砂轮、烧结矿、陶粒等。

**胶凝型材料：**指基本上在常温常压下，物料经配比充分搅拌成型后由水化作用和硬化作用而形成的材料。即使蒸养、蒸压制品，温度也在 200℃ 以下，压力在 0.8~1.5MPa。如水泥制品、石膏制品、水泥混凝土、加气混凝土、陶粒空心砌块、刨花板、硅酸钙制品等。

**复合型材料：**上述三类材料都可以构成复合材料，而且还可以和金属材料、高分子材料构成更加复杂的材料。

上述前三类矿物材料的生产过程分别与地质作用中的岩浆作用、变质作用、沉积作用相似。因此，上述分类实质上是一种成因分类方法。倪文等（1998）在《矿物材料学导论》一书中的分类与此类似。由此不难看出，这里的矿物材料的内涵大致与本书的工业岩石制品相当。

不言而喻，过分扩大或限定矿物材料一词的内涵都不可避免的会引起实际使用中的混乱。我们认为，矿物材料一词应大致限定在本书中前述的工业矿物材料和工业岩石制品（材料）的范围，而不应包括工业矿物原料和工业岩石原料，更不应扩大到涵盖金属材料或其他更复杂的复合材料的范围（以矿物晶体相或硅酸盐玻璃相为主者除外）。换言之，即矿物材料可包括粉体矿物材料、晶体材料（单晶材料和多晶材料，天然晶体材料和人工晶体材料）、非晶材料、复相材料等。其中复相材料定义为含有两种或两种以上矿物相的材料，而多晶材料是指含有一种晶体相的材料。

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活动过程而出现的产物。在人类进入 21 世纪而倍加关注环境问题的今天，深入开展工业固体废物的综合利用和无害化处理研究，对于改善环境质量，促进经济和社会的可持续发展，无疑具有特殊的重要意义。因此，本书将工业固体废物等同于工业岩石制品。

参考 Kingery（1960、1976）对传统陶瓷的分类，本书将工业岩石制品分为五大类：

#### 陶瓷制品

日用陶瓷

建筑陶瓷

电瓷

化工陶瓷

多孔陶瓷

#### 玻璃制品

器皿玻璃

光学玻璃

石英玻璃

微晶玻璃

平板玻璃

耐火材料

$\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  系耐火制品

$\text{MgO}$ - $\text{CaO}$  系耐火制品

尖晶石耐火制品

碳质耐火制品

锆质耐火制品

绝热耐火制品

水泥和混凝土

硅酸盐水泥熟料

通用水泥

专用水泥和特性水泥

混凝土

工业固体废物

矿业采掘废弃物

矿业加工废弃物

在第三篇中,对每一种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、天然矿物原材料应用史

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。正如恩格斯指出,人类能够用手把第一块岩石做成石刀,终于完成了从猿到人转变决定性的一步。自从人类进入石器时代以后,岩石一直是人类生活和生产的重要工具和材料。

据我国考古学研究,早在距今 1.2 万年前的旧石器时代,中华先民就能够使用石器,在我国已形成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、广西邕宁顶狮山、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,以及目前世界上年代最早的栽培稻等。公元前 7000~公元前 5000 年的新石器时代中期,新出现了玉器、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。对这一时期的考古发现说明,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)。

对河南偃师二里头约公元前 2100~公元前 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、铸陶、制骨等手工业作坊遗址，以及铜器墓、铜器窖藏、占卜甲骨片和铸铭铜器。三门峡虢公墓西周晚期铁器的发现，江西瑞昌铜岭、湖北大冶铜录山、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藏开采、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的发展。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。这些资料反映出当时已发明了铸铁柔化术、块炼渗碳钢，发明了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～公元前221年）的《山海经》。国外最先研究石头的著作，是希腊公元前400～公元前500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产资源的著作，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～公元前233年）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。”并科学地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。可见当时利用矿物资源已达到较高的水平。

我国最早的药典《神农本草经》载药365种，其中矿物药即达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年）、沈括（1031～1095年）所著《梦溪笔谈》、杜绾著《云林石谱》（1133）总结了有关矿产资源的地质现象和找矿方法。至明代，《本草纲目》（李时珍，1578）和《天工开物》（宋应星，1637）两部著作则描述了多达160余种矿产的产地、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，说明当时古人对找矿问题已相当注意。

在国外，矿物学作为一门独立的研究领域是以大约同时代的德国医生Georgius Agricola的著作《De re Metallica Libris XII》（1556）为标志的。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）。值得注意的是，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注意并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年）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