



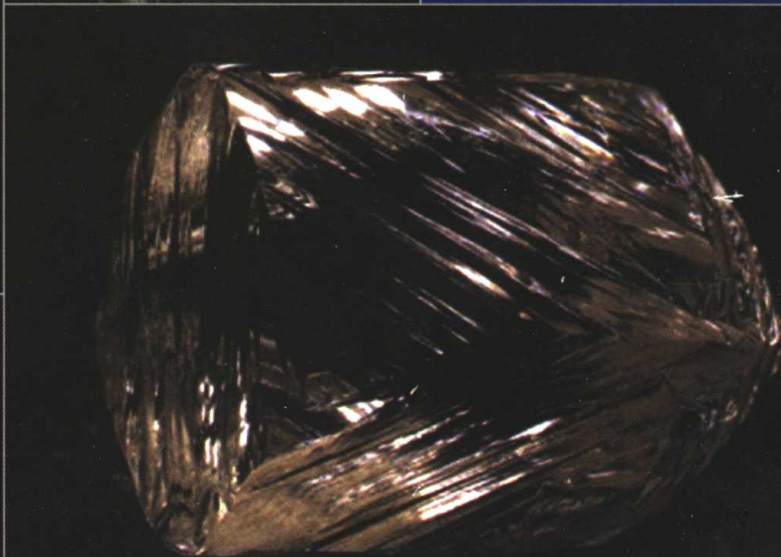
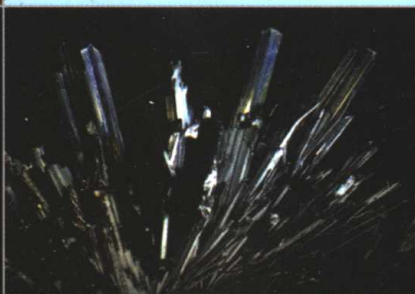
北京市高等教育精品教材立项项目

工业矿物与岩石

第二版

Industrial Minerals and Rocks

马鸿文 主编



化学工业出版社
教材出版中心

北京市高等教育精品教材立项项目

工业矿物与岩石

第二版

马鸿文 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工业矿物与岩石/马鸿文主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2005. 6
ISBN 7-5025-6881-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 063212 号

北京市高等教育精品教材立项项目

工业矿物与岩石

第二版

马鸿文 主编

责任编辑: 窦 臻 杜春阳

责任校对: 顾淑云

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×960mm 1/16 印张 33 彩插 1 字数 708 千字

2005 年 8 月第 2 版 2005 年 8 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-6881-6

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

再版前言

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、聂铁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：

锂铍铈钽铯铷钾，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

第一版前言

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。北京大学郑轍教授、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

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	5
第三节 工业矿物与岩石的发展现状	14
第四节 工业矿物与岩石的研究方法	19
参考文献	34

第一篇 工业矿物学

第一章 硅酸盐矿物	35
第一节 架状硅酸盐	35
石英族: α 石英, β 石英, 鳞石英, 方石英, 蛋白石	35
长石族: 碱性长石, 斜长石	44
似长石: 霞石, 白榴石	52
绿柱石, 堇青石	55
沸石族	59
第二节 层状硅酸盐	68
云母族: 白云母, 金云母, 锂云母	68
蛭石	74
滑石, 叶蜡石	77
蛇纹石	83
黏土矿物: 高岭石, 蒙脱石, 坡缕石, 海泡石	87
第三节 链状硅酸盐	99
辉石族: 顽辉石, 透辉石, 硬玉, 锂辉石	99
闪石族: 角闪石石棉, 透闪石、阳起石	106
硅灰石	112
蔷薇辉石	116
莫来石	117
第四节 环状硅酸盐	118
电气石	118
第五节 岛状硅酸盐	120
锆石	120
石榴子石	123
橄榄石	126
黄玉	129

绿帘石族:黝帘石,绿帘石,褐帘石	130
红柱石族:红柱石,蓝晶石,夕线石	133
第二章 单质与卤化物矿物	139
第一节 单质矿物	139
自然金,自然铜	139
金刚石	141
石墨	147
自然硫	150
第二节 卤化物矿物	151
萤石,氟镁石,冰晶石	152
石盐,钾石盐	157
光卤石	159
第三章 硫化物矿物	160
第一节 四面体硫化物	160
闪锌矿	160
黄铜矿	163
斑铜矿	164
第二节 八面体硫化物	165
方铅矿	165
磁黄铁矿,红砷镍矿	166
第三节 混合型硫化物	167
镍黄铁矿	168
第四节 异常配位及其他复杂硫化物	169
辉钼矿	170
辰砂	171
辉铜矿	172
辉银矿	172
黄铁矿	173
毒砂	175
辉锑矿,辉铋矿	175
淡红银矿,浓红银矿	177
雄黄	179
雌黄	180
第四章 氧化物与氢氧化物矿物	182
第一节 四面体氧化物	183
红锌矿	183
第二节 八面体氧化物	183
刚玉,赤铁矿,钛铁矿	183
方镁石	190
金红石,锐钛矿,锡石,软锰矿	191

	黑钨矿	196
	铌铁矿-钽铁矿	198
	易解石	200
	烧绿石	201
第三节	立方体氧化物	203
	晶质铀矿,方钍石	203
第四节	混合型及异常配位氧化物	204
	尖晶石,磁铁矿,铬铁矿	205
	金绿宝石	211
	钙钛矿	212
	硬锰矿	213
第五节	氢氧化物矿物	214
	水镁石	215
	硬水铝石,软水铝石,三水铝石	218
	针铁矿	221
	水锰矿	222
第五章	其他含氧盐矿物	224
第一节	碳酸盐矿物	224
	方解石,菱镁矿,菱铁矿,菱锰矿,菱锌矿,白云石	226
	碳酸铀矿,碳酸钡矿	236
	孔雀石,蓝铜矿	238
第二节	硫酸盐矿物	240
	重晶石,天青石	241
	硬石膏,石膏	244
	胆矾	248
	芒硝,无水芒硝,泻利盐	249
	明矾石	250
第三节	其他盐类矿物	251
	钠硝石	251
	方硼石	252
	硼砂,钠硼解石,硼镁石	252
	白钨矿	255
	独居石	256
	磷灰石	257
	绿松石	259
参考文献		260

第二篇 工业岩石原料

第六章	超镁铁-镁铁质岩类	265
第一节	橄榄岩、蛇纹岩	265

第二节	辉石岩、角闪(石)岩	269
第三节	玄武岩、辉绿岩、辉长岩	271
第七章	硅铝质岩类	278
第一节	石英岩、石英砂、石英砂岩、脉石英、粉石英	278
第二节	花岗岩类	284
第三节	玻璃质岩石	286
第四节	浮岩、火山渣、火山灰	291
第五节	黏土岩	295
第六节	沸石岩	313
第七节	板岩、千枚岩、片岩	317
第八章	碱性岩类	320
第一节	金伯利岩与钾镁煌斑岩	320
第二节	霞石正长岩	325
第三节	富钾岩石	332
第四节	碳酸岩	337
第九章	碳酸盐岩类	339
第一节	石灰岩、白云岩	339
第二节	大理岩	347
第十章	有机质岩类	350
第一节	煤矸岩	350
第二节	泥炭	355
第三节	油页岩、天然沥青	358
第四节	磷块岩	361
第五节	硅藻土	364
参考文献		369

第三篇 工业岩石制品

第十一章	硅酸盐陶瓷	373
第一节	概述	373
第二节	日用陶瓷	383
第三节	建筑陶瓷	389
第四节	电瓷	394
第五节	化工陶瓷	397
第六节	多孔陶瓷	399
第十二章	硅酸盐玻璃	404
第一节	概述	404
第二节	器皿玻璃	415
第三节	光学玻璃	420

第四节	石英玻璃	422
第五节	平板玻璃	424
第六节	微晶玻璃	428
第十三章	耐火材料	433
第一节	概述	433
第二节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火制品	434
第三节	MgO-CaO 系耐火制品	440
第四节	尖晶石耐火制品	453
第五节	碳质耐火制品	455
第六节	锆质耐火制品	460
第七节	绝热耐火制品	463
第十四章	无机胶凝材料	465
第一节	水泥概述	465
第二节	硅酸盐水泥熟料	466
第三节	通用水泥	471
第四节	专用水泥和特性水泥	478
第五节	混凝土	480
第六节	矿物聚合材料	486
第十五章	工业固体废物资源	494
第一节	概述	494
第二节	矿山尾矿	495
第三节	冶金渣	499
第四节	粉煤灰	504
第五节	化工废渣	509
参考文献		511
附录	常见工业矿物的主要理化性质	514
矿物元素周期简表		

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技术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。再者, 有些文献将人工制品排除于工业矿物与岩石之外, 如水泥、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。

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, 如钾长石、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、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、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; 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) 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。工业与技术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的资源,以后就被人造压电石英所代替。白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。

(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。后者如石英,作为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,不断开发新用途及应用领域。

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。目前,见诸于文献中的分类方案按其分类原则主要有两类。第1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5种;将工业岩石分为岩浆的、变质的、沉积的3种。第2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、化工原料和肥料等。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(Dunn, 1973)。

我国多采用按主要工业用途的分类方案,具有代表性的如陶维屏等(1990)(表绪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,本书中将工业矿物与岩石分为3大类,即工业矿物、工业岩石原料和工业岩石制品。

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
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,膨胀页岩和黏土,砖瓦页岩和黏土
水泥和黏合原料		石灰岩(大理岩),黏土和页岩,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,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,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）。

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）。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（潘兆橹等，1993）。即矿物类的划分依据是阴离子或络阴离子的种类，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，本书中将工业矿物分为硅酸盐矿物、单质与卤化物矿物、硫化物矿物、氧化物与氢氧化物和其他含氧盐矿物。

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5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（表绪2）。

表 绪 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	橄榄岩		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		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		
	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
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。

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 (1976) 定义的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，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。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)。因此，本书中的工业岩石制品的涵义大致与传统陶瓷相当。

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 5 大类。

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、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 1 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。

据考古学研究，早在距今一万二千年前的旧石器时代，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～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～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～前221）的《山海经》。国外最先研究石头的著作，是希腊公元前400～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物资源的著作，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～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。

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）、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）和《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）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”。在《山海经》中，就已有关于用石棉制成的“火浣布”记载，而欧洲直至公元8世纪才出现类似的石棉制品。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。

我国开发利用玉石的历史悠久。在北京周口店猿人遗址发掘的石坠，起源于距今一万六千年前的旧石器时代晚期新人阶段。新石器时代出土的玉文化遗址达七千余处，出土玉器数十万件。在浙江余姚“河姆渡文化”遗址，曾出土不少以萤石制作的珠、管、玦、璜等饰物，这是我国历史上最早的美石装饰品。由此可见，至少在约七千年前，我国即已有玉器存在。在辽河上游内蒙古翁牛特旗三星他拉村、黄骥屯村，先后出土了不少以岫玉制作的管、珠、环、璧和一些墨绿色、黄色的龙形及其他兽、禽形饰物。这些属“红山文化”的玉器，距今已五六千年。其中的玉龙，在我国属首次发现，故特定名为“三星他拉玉龙”、“黄骥屯玉龙”。在江苏青莲岗发掘的一批五千年前的人类遗物中，有玛瑙、手镯、圆珠、圆环，可见当时人们就喜爱色泽艳丽、剔透晶莹、坚硬耐磨的珍宝。陕西姜寨出土的白玉和绿松石耳环，其时代还要早。

最早关于宝石产地的记载见于春秋战国时期的《山海经》中，此后，在先秦时代的《荀子·劝学篇》、晋代张华的《博物志》、梁代的《地镜图》中，都有找玉经验的记载。东晋葛洪的《抱朴子》记载，三国吴景帝时（258~264）发掘出一东汉（25~220）广陵豪富的大冢，棺内置云母石厚1尺，尸下有白玉璧30枚。晚唐诗人李商隐（813~858）的《嫦娥》诗句“云母屏风烛影深，长河渐落晓星沉”，说明当时即以云母作为装饰材料。

和田玉古称昆山玉，为驰名世界之美玉，以产于新疆和田（古“于阗”）地区而得名。在新疆若羌县罗布淖尔出土的新石器时代文物中，即有和田玉斧。陕西卯龙山文化遗址出土的文物中，有用青玉制作的镰刀、玉斧等。河南安阳殷墟出土的青玉盘，雕琢精美，距今三千二百多年。《山海经·西山经》记载：“皇帝乃取崑山之玉荣，而投之鍾山之阳。瑾瑜之玉为良，坚栗精密，濁泽而有光。五色发作，以和柔刚。天地鬼神，是食是饗。君子服之，以禦不祥。”其中的“崑山”和“鍾山”即是指新疆昆仑山的密尔岱山和于阗南山。这表明早在原始社会时期，皇帝就曾采取和田玉，并发现和认识了其工艺美术性能。

独山玉产于河南省南阳市北郊的独山，又名南阳玉。在南阳县黄山的新石器时代文化遗址中，即见有距今约5000~6000年前的独山玉铲、玉凿、玉璜等。在河南安