



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

北京市高等教育精品教材

工业矿物与岩石

INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS

第四版

马鸿文 主编



化学工业出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

北京市高等教育精品教材

工业矿物与岩石

INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS

第四版

马鸿文 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《工业矿物与岩石》第四版是在第三版（2011）的基础上，为适应当前我国社会与经济发展、高等教育体系和教学内容改革需要，删除了原教材中工业岩石制品部分，同时对其余内容作了适度精简和更新补充。内容包括：绪论；上篇——工业矿物学，包括常见的 140 余种工业矿物原料，主要为非金属矿物，对重要金属矿物和宝石矿物也作了简要论述；下篇——工业岩石学，重点加强了理化性能、工业应用及技术要求的论述，补充更新了有关矿物资源的地质成因、资源现状与应用概况的概略介绍。上述内容大体上反映了近 10 余年来工业矿物与岩石专业领域的研究新进展、工业应用现状及主要发展趋势。

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（含矿物材料学）、材料化学、材料物理、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.—4 版.—北京：化学工业出版社，2018.8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 北京市
高等教育精品教材

ISBN 978-7-122-32514-3

I. ①工… II. ①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（2018）第 138324 号

审图号：GS（2018）3823 号

责任编辑：窦 臻

文字编辑：李 瑾

责任校对：边 涛

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 装：中煤（北京）印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 23 1/2 彩插 1 字数 612 千字 2018 年 10 月北京第 4 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：65.00 元

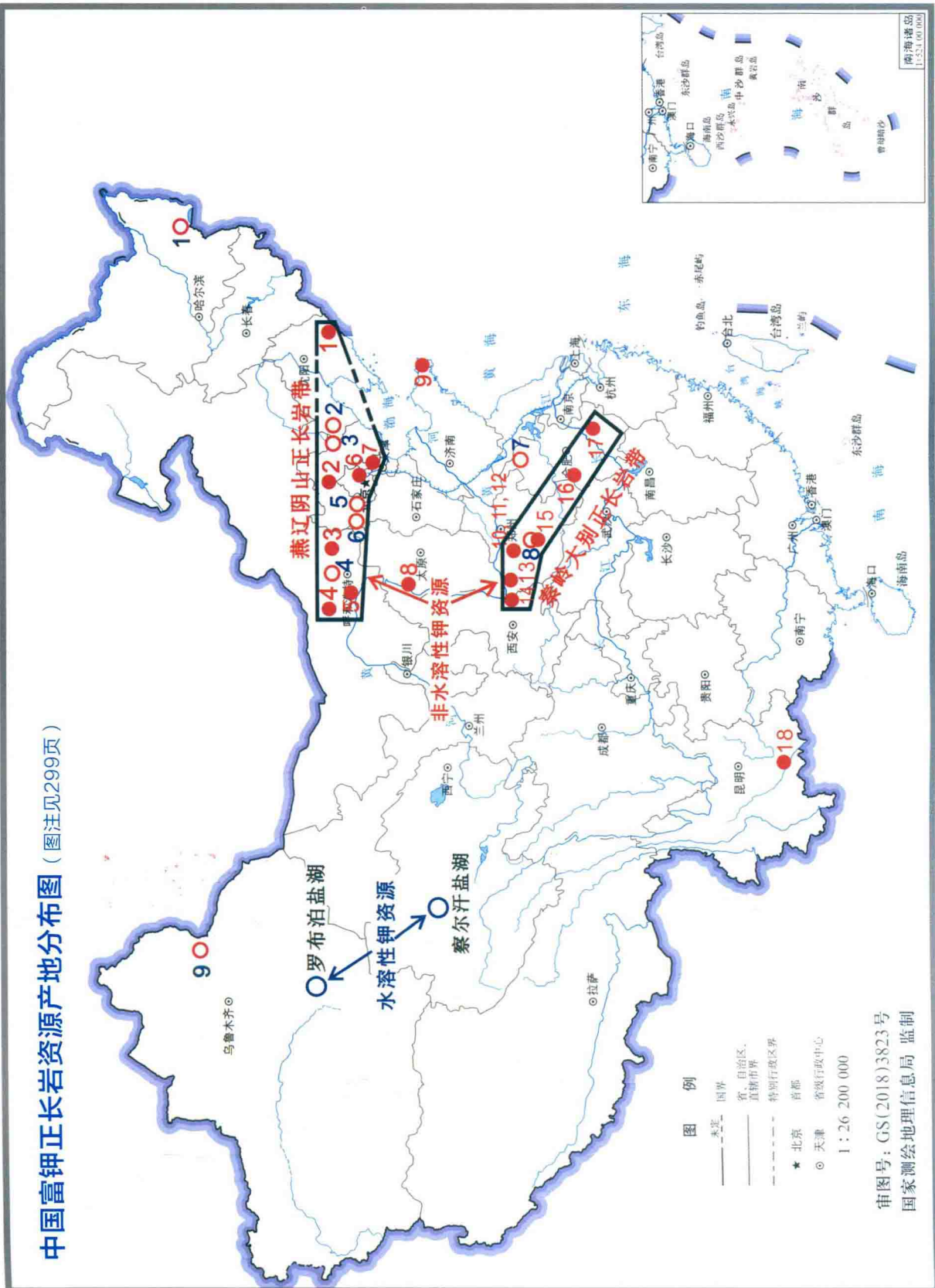
版权所有 违者必究

矿物元素周期简表

周期	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	1 H 1.0079							2 He 4.0026		
2	3 Li 6.941 锂辉石/锂云母/ 磷铝锂石	4 Be 9.0122 绿柱石/ (轻)硅铍石/ 金绿宝石	5 B 10.811 硼酸盐类/ 硅硼钙石/电气石	6 C 12.0107 金刚石/石墨/ 石墨烯	7 N 14.0067 钠硝石	8 O 15.9994	9 F 18.9984 萤石/氟镁石/ 冰晶石/磷灰石	10 Ne 20.1797		
3	11 Na 22.9898 石盐/天然碱/ 芒硝	12 Mg 24.3050 菱镁矿/水镁石/ 白云石/光卤石	13 Al 26.9815 刚玉/铝土矿/ 高岭石/霞石/黄玉	14 Si 28.0855 石英/水晶/玛瑙/ 欧泊/硅藻土	15 P 30.9738 磷灰石/绿松石	16 S 32.065 自然硫/黄铁矿/ 磁黄铁矿/石膏	17 Cl 35.453 石盐/钾石盐/ 光卤石	18 Ar 39.948		
4	19 K 39.0983 钾石盐/光卤石/ 明矾石/钾长石	20 Ca 40.078 方解石/冰洲石/ 白垩	21 Sc 44.9559 黑钨矿/锡石	22 Ti 47.867 金红石/钛铁矿/ 钛磁铁矿	23 V 50.9415 钒钾铀矿/钒云母/ 钒钛磁铁矿	24 Cr 51.9961 铬铁矿	25 Mn 54.9380 硬锰矿/软锰矿/ 褐锰矿/菱锰矿	26 Fe 55.845 磁铁矿/赤铁矿/ 针铁矿/菱铁矿	27 Co 58.9332 辉砷钴矿/硫钴矿/ 磁黄铁矿	28 Ni 58.6934 镍黄铁矿/ 红砷镍矿/ 镍蛇纹石
	29 Cu 63.546 黄铜矿/辉铜矿/ 斑铜矿/孔雀石	30 Zn 65.38 闪锌矿/纤锌矿/ 菱锌矿/硅锌矿	31 Ga 69.723 铝土矿/闪锌矿	32 Ge 72.64 闪锌矿/硫化物	33 As 74.9216 雄黄/雌黄/毒砂/ 硫砷铜矿	34 Se 78.96 硒铜矿/铜矿石/ 辉汞矿	35 Br 79.904	36 Kr 83.798		
5	37 Rb 85.4678 锂云母/天河石/ 铯沸石	38 Sr 87.62 天青石/菱锶矿	39 Y 88.9059 磷钇矿/褐钇铈矿	40 Zr 91.224 锆石	41 Nb 92.9064 铌铁矿/烧绿石/ 褐钇铈矿	42 Mo 95.96 辉钼矿	43 Tc (98)	44 Ru 101.07 硫钌矿/砷钌矿	45 Rh 102.9055	46 Pd 106.42 锦铈矿/砷铈矿
	47 Ag 107.8682 自然银/辉银矿/ 方铅矿/黝铜矿	48 Cd 112.411 硫镉矿/闪锌矿/ 纤锌矿	49 In 114.818 闪锌矿/方铅矿/ 锡石/黑钨矿	50 Sn 118.710 锡石/黄锡矿	51 Sb 121.760 辉锑矿/黝铜矿	52 Te 127.60 碲金矿/铜硫化物	53 I 126.9045	54 Xe 131.293		
6	55 Cs 132.9055 铯沸石/天河石/ 锂辉石/锂云母	56 Ba 137.327 重晶石/毒重石	57-71 REE 独居石/氟碳铈矿/ 易解石/磷灰石	72 Hf 178.49 钨铌矿	73 Ta 180.9479 钽铁矿/细晶石	74 W 183.84 黑钨矿/白钨矿	75 Re 186.207 辉钼矿	76 Os 190.23 锇铋矿/铋铋矿/ 硫铋矿	77 Ir 192.217 铱铋矿/铋铋矿/ 硫铋矿	78 Pt 195.084 自然铂/砷铂矿/ 砷铂矿
	79 Au 196.9666 自然金/银金矿/ 碲金矿	80 Hg 200.59 辰砂/辉汞矿	81 Tl 204.3833 闪锌矿/硫化物	82 Pb 207.2 方铅矿/白铅矿/ 硫铋矿/铅矾	83 Bi 208.9804 辉铋矿/自然铋	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)	注：原子量源自 2007 年国际原子量表（保留 4 位小数），以 ¹² C=12 为基准。括弧内数据为天然放射性元素较重要的同位素的质量数或人造元素半衰期最长的同位素的质量数。	
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th 232.0381 方钍石/钍石/ 独居石	91 Pa 231.0359	92 U 238.0289 晶质铀矿/ 钒钾铀矿/铀石	93 Np (237)	94 Pu (244)		

注：原子量录自 2007 年国际原子量表（保留 4 位小数），以 $^{12}\text{C}=12$ 为基准。括弧内数据为天然放射性元素较重要的同位素的质量数或人造元素半衰期最长的同位素的质量数。

中国富钾正长岩资源产地分布图 (图注见299页)



审图号: GS(2018)3823号
国家测绘地理信息局 监制

前言

值《工业矿物与岩石》作为“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材”再版之际，为使其内容更好地适应我国资源产业与生态环境可持续发展，适应高等教育课程体系和教学内容改革的需要，对原教材内容作了适当调整、精简和更新补充。

鉴于“矿物材料科学系列教材”中拟出版《硅酸盐材料科学》教材，故本版教材结构调整：绪论，上篇——工业矿物学，下篇——工业岩石学。重写了富钾岩石一节的内容。更新补充了近年来对主要工业固废资源化利用和工业岩石原料工程化应用，以及在高技术领域应用研究进展等内容。补充修订了主要矿物资源的地质成因、资源现状及应用概况，有关数据主要引自国土资源部信息中心编著的《世界矿产资源年评》（2015，2016）和《中国非金属矿业》（2008）三本专著；更新了对工业矿物原料的质量要求，主要引自《矿产资源工业要求手册》（2014年修订本）。正文中不再说明。

据 Fleischer's Glossary of Mineral Species (Back, 2014)，更新了有关辉石族、云母族、沸石族的晶体化学分类等内容；引入了有关矿物超族（闪石、电气石、石榴子石）的概念；新增了铯沸石、透锂长石、海绿石、黑云母、铁锂云母、绿泥石、天然碱、钾石膏、钾芒硝、杂卤石、钾明矾、胆矾、钾硝石、磷锂铝石、鸟粪石、铜铀云母、钙铀云母共 17 种工业矿物，使全书收入的工业矿物达到 146 种，工业岩石 36 种，另收入工业固废资源 4 类 16 种；补充了近年来有关工业矿物方面的若干最新研究成果。

本次教材修订，工业固体废物资源一章由白志民完成，其余部分由马鸿文完成。教材编写过程中，得到杨静、刘梅堂、余晓艳 3 位副教授和苏双青、聂轶苗、马玺、刘昶江、罗征 5 位博士的热情协助，晶体结构图由聂轶苗绘制。全书内容由在读博士生姚文贵、田力男、殷丛丛、蒯雨晴、郭若禹和硕士生常倩倩、张少刚、邱宇、高原、时浩、徐建昂等核校。书中尚存不足之处，敬请读者不吝指正！

积 30 年研究教学工作感悟，笔者深感矿物资源作为材料工业乃至国民经济发展的物质基础，其最大科学意义和技术经济价值，皆蕴含于“集约化绿色加工”之中。是尔值本书付梓，特录 6 年前拙笔《念奴娇·霞石赋》，以记：

碱脱硅去，钾溶出、破解白云难事。锡域霞石，曾教信，配钙烧结制铝。八五攻关，九七俄案，抱憾空文已。长时纷绕，一石激起涟漪。

回首十载蓝途，昊青承大任，循环经济。绿色加工，推物理、低耗高值零废。科海逐潮，三十寒复暑，点石金玉。浮云神马，淡茶还写长路！

马鸿文

2017 年双十日初雪时节，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

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：

锂铍铌钽铯铷钾，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 (Back 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，新增补图件由刘浩清绘。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

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	20
参考文献	31

上篇 工业矿物学 / 33

第一章 硅酸盐矿物 / 33

第一节 架状硅酸盐	33
石英族: α -石英, β -石英, 鳞石英, β -方石英, α -方石英, 蛋白石	33
长石族: 碱性长石, 斜长石	41
似长石: 霞石, 六方钾霞石, 白榴石, 钠沸石	48
透锂长石	51
绿柱石, 堇青石	52
沸石族: 沸石	55
第二节 层状硅酸盐	63
滑石, 叶蜡石	63
云母族: 白云母, 海绿石, 金云母、黑云母, 锂云母, 铁锂云母, 伊利石	69
蛭石	79
绿泥石	81
黏土矿物: 高岭石, 蒙脱石, 坡缕石、海泡石	82
蛇纹石	93
第三节 链状硅酸盐	96
辉石族: 顽辉石, 透辉石, 硬玉, 锂辉石	96
闪石超族: 角闪石石棉, 透闪石、阳起石	103
硅灰石	107
蔷薇辉石	111
莫来石	111
第四节 环状硅酸盐	112
电气石	112
第五节 岛状硅酸盐	114

锆石	114
石榴子石	117
橄榄石	119
黄玉	122
绿帘石族: 黝帘石, 绿帘石, 褐帘石	123
红柱石族: 红柱石、蓝晶石、夕线石	125

第二章 自然元素与卤化物矿物 / 130

第一节 自然元素矿物	130
自然金, 自然铜	130
金刚石	132
石墨	137
自然硫	141
第二节 卤化物矿物	142
萤石, 氟镁石, 冰晶石	143
石盐, 钾石盐	147
光卤石	150

第三章 硫化物矿物 / 151

第一节 四面体硫化物	151
闪锌矿	151
黄铜矿	153
斑铜矿	155
第二节 八面体硫化物	155
方铅矿	155
磁黄铁矿, 红砷镍矿	156
第三节 混合型硫化物	157
镍黄铁矿	157
第四节 异常配位及其他复杂硫化物	159
辉钼矿	159

辰砂	160
辉铜矿	161
辉银矿	161
黄铁矿	162
毒砂	163
辉锑矿, 辉铋矿	164
淡红银矿, 浓红银矿	166
雄黄	167
雌黄	167

第四章 氧化物与氢氧化物矿物 / 169

第一节 四面体氧化物	170
红锌矿	170
第二节 八面体氧化物	170
刚玉, 赤铁矿, 钛铁矿	170
方镁石	176
金红石, 锐钛矿, 锡石, 软锰矿	176
黑钨矿	180
铌铁矿-钽铁矿	181
易解石	182
烧绿石	183
第三节 立方体氧化物	184
晶质铀矿, 方钍石	184
第四节 混合型及异常配位氧化物	185
尖晶石, 磁铁矿, 铬铁矿	185
金绿宝石	190
钙钛矿	191
硬锰矿	191
第五节 氢氧化物矿物	192
水镁石	192
硬水铝石, 软水铝石, 三水铝石	195

针铁矿	197
水锰矿	198

第五章 其他含氧盐矿物 / 199

第一节 碳酸盐矿物	199
方解石, 菱镁矿, 菱铁矿, 菱锰矿, 菱锌矿, 白云石	200
碳酸锶矿, 碳酸钡矿	208
孔雀石, 蓝铜矿	209
天然碱	210
第二节 硫酸盐矿物	211
重晶石, 天青石	212
硬石膏, 石膏, 钾石膏	214
芒硝, 无水芒硝, 钾芒硝, 泻利盐	218
杂卤石	220
明矾石, 钾明矾	220
胆矾	221
第三节 其他盐类矿物	222
钠硝石, 钾硝石	222
方硼石	223
硼砂, 钠硼解石, 硼镁石	223
白钨矿	225
独居石	226
磷锂铝石	227
磷灰石	227
鸟粪石	229
绿松石	230
铜钼云母, 钙钼云母	231

参考文献 / 232

下篇 工业岩石学 / 238

第六章 超镁铁-镁铁质岩类 / 238

第一节 橄辉岩、蛇纹岩	238
第二节 辉石岩、角闪(石)岩	241
第三节 玄武岩、辉绿岩、辉长岩	243

第七章 硅铝质岩类 / 250

第一节 石英岩、石英砂、石英砂岩、脉 石英、粉石英	250
第二节 花岗岩类	255
第三节 玻璃质岩石	258

第四节 浮岩、火山渣、火山灰	263
第五节 黏土岩	265
第六节 沸石岩	282
第七节 板岩、千枚岩、片岩	284

第八章 碱性岩类 / 288

第一节 金伯利岩与钾镁煌斑岩	288
第二节 霞石正长岩	292
第三节 富钾岩石	298
第四节 碳酸岩	304

第九章 碳酸盐岩类 / 306

第一节	石灰岩、白云岩	306
第二节	大理岩	313

第十章 有机质岩类 / 316

第一节	煤矸岩	316
第二节	泥炭	320
第三节	油页岩、天然沥青	322
第四节	磷块岩	324

附录 工业矿物的主要理化性质 / 362

第五节	硅藻土	327
-----	-----------	-----

第十一章 工业固体废物资源 / 332

第一节	概述	332
第二节	矿山尾矿	333
第三节	冶金渣	337
第四节	石油化工渣	345
第五节	热能工程渣	351

参考文献 / 357

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) 原意是指除金属矿石、矿物燃料、宝石以外, 其化学成分或物理性能可资工业利用且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含义是困难的。首先, 某些金属矿石不仅是冶炼金属的工业原料, 同时又是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, 而且大量用作其他工业矿物原料, 如金刚石、蓝晶石、刚玉等。

工业矿物与岩石作为现代材料工业的基础, 承载着直接向材料工业提供绝大部分生产原料的功能。现今国际上对材料的代表性分类, 是将其分为金属材料、陶瓷材料、聚合物材料、复合材料、半导体材料和生物材料六大类。广义的陶瓷材料含义, 既涵盖传统无机非金属材料 (主要是硅酸盐材料), 又包括现代技术陶瓷材料。而上述金属材料、陶瓷材料、聚合物材料、复合材料和半导体材料又都可能被用作生物材料 (Callister, 2000)。在上述六大类材料中, 以工业矿物与岩石作为原料而加工制造的比例约达 70%。工业矿物与岩石作为金属、陶瓷、半导体材料的全部原料, 生物材料的大部分原料, 以及复合材料的部分原料, 其金属与非金属的资源属性也已渐趋模糊。

矿物资源绿色加工 (green process of mineral resources), 是人类进入 21 世纪面对资源、能源、环境方面的挑战, 历经长期研究探索和工业实践, 基于可持续发展、环境保护、节约能耗和资源利用率最大化理念而提出的全新科学概念。其核心内容是人类对矿物资源开发利用过程中相关物质和能量流平衡 (material and energy flow balance) 的科学掌控。

矿物资源绿色加工, 其科学内涵主要体现在对矿物资源开采、加工过程应当遵循四项基本原则, 即 **永续利用** (sustainable)、**清洁利用** (clean production)、**低碳利用** (low carbon)、**集约利用** (integrated process) (马鸿文, 2014)。

有关矿物资源产业可持续发展、清洁生产、节能低碳已为业界所熟知, 并获得广泛认同。而矿物资源的集约利用, 则主要反映矿物资源利用率最大化的基本理念。在地质作用过程中, 具有相似地球化学性质的元素通常形成相互共生的矿物集合体——岩石/矿石。传统上, 以获取某种可用元素或矿物为目的的矿业开发过程, 往往将其他所谓脉石矿物作为尾矿而废弃。显然, 此种开发策略和加工行为, 既违背资源利用率最大化原则, 也极可能抛弃了

潜在的另类资源。

矿物资源绿色加工，不仅摒弃了传统的矿产资源开发利用理念，强化了矿物资源产业的可持续性、清洁性、低碳性等环保理念，而且通过集约化利用，提高了资源利用率，减少了尾矿排放；因而可显著减少对一次性资源（尤其是非金属矿物资源）的开采，有效保护自然植被与生态环境。显然，实施建设生态文明的国家战略，大力发展矿物资源绿色加工产业，乃是必然选择！

鉴于上述分析，著者认为工业矿物与岩石应包括：（1）工业矿物原料，如石英、钾长石、铝土矿、石膏等；（2）工业矿物材料，又可分为天然矿物材料与合成矿物材料，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、水晶、红宝石、金云母等；（3）工业岩石原料，如高岭土、膨润土、霞石正长岩等，以及通常具有二次资源属性的工业固体废物。考虑到“矿物材料科学系列教材”中，拟单独出版《硅酸盐材料学》教材，故本版教材不再涉及有关工业岩石制品（硅酸盐陶瓷、玻璃、耐火材料、水泥）的相关内容。

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，包括具有相似的技术物理性能或化学成分且具有二次资源属性的无机非金属固体废物。本版教材主要论述有关工业矿物与岩石原料的内容。

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性质，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化工业。

（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。20世纪60年代以前，压电石英是一种宝贵资源，后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被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，也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，则形成于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，熟悉工业矿物与岩石的资源属性，掌握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（含矿物材料）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（1959）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。我国多采用依据主要工业用途的分类方案（陶维屏等，1987）（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	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,钾长石,芒硝,石膏	磷块岩,富钾岩石,白云岩,蛇纹岩
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,温石棉,沸石	高岭土,膨润土,硅藻土,漂白土,海泡石黏土,坡缕石黏土
染料		白垩,红土
绝热、隔音、绝缘和轻质材料	石墨,温石棉,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、砖瓦原料		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,钾长石,硅灰石,透辉石,石英	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（1987），略有补充。

本教材的内容力求既与地球科学领域的矿物学、岩石学的学科体系相衔接，又能满足材料科学与工程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两大类，即工业矿物学和工业岩石学。

工业矿物学主要阐述工业矿物原料。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他含氧盐矿物。

上篇中，对矿物族或矿物种的描述按照晶体化学、结构形态、理化性能、资源地质、鉴定特征、工业应用的格式给出。

工业岩石学主要阐述工业岩石原料。本教材采用以化学成分为主要依据、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六大类，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）和工业固体废物资源。各大类之下，再按照化学成分划分亚类，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	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,黑曜岩		
	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,假榴正长岩		
	三	富钾正长岩,富钾响岩,富钾粗面岩	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	

工业固体废物虽然不是一般意义上的工业岩石原料，但其中大多数具有二次资源属性，

因而本书中将铝硅酸盐工业固废等同于工业岩石原料。工业固体废物资源主要包括矿山尾矿、冶金渣、石油化工渣、热能工程渣等。

下篇中,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。

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,天然矿物岩石原材料发挥了十分重要的作用。近年对江西万年仙人洞早期原始陶器的碳同位素定年,揭示了早在 2.0 万~1.9 万年前,中华古人就已初步掌握了制作原始陶器的技术,并用于烹制食物 (Wu et al, 2012)。

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。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 770~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