

卓越工程师人才培养项目系列教材

非金属资源开发项目驱动 实践教学教程

主 编 艾光华

副主编 周贺鹏



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

矿物加工工程卓越工程师人才培养项目系列教材

非金属资源开发项目驱动 实践教学教程

主编 艾光华

主编 艾光华

副主编 周贺鹏

北京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书以非金属矿资源开发为例,围绕“非金属矿石—非金属矿物组成—非金属矿物加工原理及方法—实践与应用”这条主线,结合矿物加工工程专业中的“矿石学”、“粉体工程”、“矿物加工学”、“研究方法实践”等核心课程,构建了以非金属矿资源开发项目驱动为背景的课程教学、实验教学、专业实践等方面的实践教学体系,并提供了实践教学案例。

本书适合作为高等院校矿物加工工程本科生和研究生类的实践教学教材,也可供从事矿物加工技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

非金属资源开发项目驱动实践教学教程/艾光华主编. —北京:
冶金工业出版社, 2017. 12

矿物加工工程卓越工程师人才培养项目系列教材

ISBN 978-7-5024-7705-9

I. ①非… II. ①艾… III. ①非金属矿—矿产资源开发—教材
IV. ①P619. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 316963 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 杨 帆 版式设计 禹 蕊 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7705-9

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017 年 12 月第 1 版, 2017 年 12 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.25 印张; 318 千字; 200 页

38.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

矿物加工工程卓越工程师人才培养项目系列教材

编 委 会

主 编：邱廷省

编 委：吴彩斌 艾光华 石贵明 夏 青

余新阳 匡敬忠 周贺鹏 方夕辉

陈江安 冯 博 李晓波 邱仙辉

前言

自 20 世纪 80 年代以来,随着人们生活水平的提高和科学技术的发展,金属材料已经远远不能满足市场需求,世界各国对非金属矿产品的需求不断提高,生产与应用迅速增长。早在 1987 年,英国地质学家布里斯托就曾提出,在一个国家的经济中,非金属矿产值超过金属矿产值之时,就是这个国家的工业走向成熟的里程碑。如今,非金属矿已经成为现代信息、航空航天、生物工程等高科技和新材料产业的必不可少的原材料。

非金属矿资源在世界范围内分布不均衡,大理石、方解石、石灰石、石膏、硅藻土等在世界各国分布较广,储量较大;而金刚石、重晶石、石棉、萤石等,分布就相对比较集中,我国的石墨、滑石、重晶石、菱镁矿、萤石、石灰石等非金属矿种在世界上占据领先地位。

本书较为系统地论述了非金属矿选矿技术、试验及实践方法,并较为详细地介绍了相关技术的基础理论知识,在撰写过程中,着力考虑系统性、科学性、先进性及在学习过程中的实用性。

本书共 5 章。第 1 章非金属矿物资源概况,介绍了非金属矿的分类用途、资源分布、加工现状及发展趋势;第 2 章非金属矿物加工技术,介绍了非金属矿物加工技术的基础理论、选矿提纯技术、非金属矿物深加工技术及非金属矿物材料的检测与表征;第 3 章非金属矿资源开发项目驱动下的实践教学体系,包括实践教学体系构建内容、课程实验教学大纲、实习与研究类实践教学大纲、实践教学体系的考核;第 4 章非金属矿资源开发项目驱动下的实践教学指导,包括“矿石学”、“粉体工程”、“矿物加工学”、“研究方法试验”、“实习”、“毕业论文”实践教学指导;第 5 章非金属矿资源开发项目驱动实践教学案例,介绍了非金属矿的小型实验室实验教学案例、半工业实验及工业实验、

本科毕业论文的案例。

全书由艾光华副教授主编并统稿。在编写过程中，周贺鹏、李晓波、匡敬忠、方夕辉老师参与编写，研究生杨冰、梁焘茂、王澜参与部分文字录入和图表整理，在此表示感谢。

在编写过程中，引用了矿物加工领域中部分专家学者的著作和学术论文等资料，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，书中不妥之处，希望读者批评指正。

艾光华

2017年10月

目 录

1 非金属矿物资源概况	1
1.1 概述	1
1.2 非金属矿分类与用途	1
1.3 世界非金属矿资源分布	2
1.3.1 萤石	3
1.3.2 高岭土	3
1.3.3 滑石	4
1.3.4 石墨	5
1.3.5 重晶石	5
1.3.6 硅灰石	6
1.3.7 膨润土	6
1.3.8 石膏	7
1.3.9 石棉	7
1.3.10 硫	8
1.3.11 磷	8
1.4 我国非金属矿资源分布	9
1.5 非金属矿物加工现状及发展趋势	12
1.5.1 非金属矿物材料市场需求	12
1.5.2 我国非金属矿物加工现状及问题	14
1.5.3 我国非金属矿物加工技术发展趋势	15
2 非金属矿物加工技术	17
2.1 概述	17
2.2 矿物加工技术基础	17
2.2.1 矿物加工概念	17
2.2.2 矿物加工过程	18
2.2.3 矿物加工指标	18
2.2.4 非金属矿物选矿特点	19
2.3 非金属矿物选矿提纯技术	19
2.3.1 重力分选	19
2.3.2 磁选	24
2.3.3 电选	28

2.3.4 浮选	35
2.3.5 其他分选方法	53
2.4 非金属矿物深加工	55
2.4.1 非金属矿的超细粉碎	55
2.4.2 粉体的超细分级	59
2.4.3 粉体的表面改性	65
2.5 非金属矿物材料的检测与表征	70
2.5.1 主要非金属矿物的测定方法	70
2.5.2 颗粒形貌检测方法	77
2.5.3 晶态物相检测方法	78
3 非金属矿资源开发项目驱动下的实践教学体系	79
3.1 实践教学体系构建内容	79
3.2 课程实验教学大纲	80
3.2.1 “矿石学”课程实验教学大纲	80
3.2.2 “粉体工程”课程实验教学大纲	80
3.2.3 “矿物加工学”课程实验教学大纲	81
3.2.4 研讨式教学内容设计	82
3.3 实习类实践教学大纲	82
3.3.1 “认识实习”实践教学大纲	82
3.3.2 “生产实习”实践教学大纲	83
3.3.3 “毕业实习”实践教学大纲	83
3.4 研究类实践教学大纲	84
3.4.1 “研究方法实验”实践教学大纲	84
3.4.2 “毕业论文”实践教学大纲	84
3.5 实践教学体系的考核	85
3.5.1 课程实验教学考核	85
3.5.2 课程设计考核	86
4 非金属矿资源开发项目驱动下的实践教学指导	87
4.1 “矿石学”实践教学指导	87
4.1.1 对称要素分析及晶族晶系划分	87
4.1.2 非金属矿物的形态和物理性质	88
4.1.3 卤素化合物型非金属矿物的认识	89
4.1.4 氧化物和氢氧化物型非金属矿物的认识	89
4.1.5 硅酸盐型非金属矿物的认识	90
4.1.6 碳酸盐型非金属矿物的认识	90
4.1.7 硫酸盐型非金属矿物的认识	91
4.1.8 其他含氧盐型非金属矿物的认识	91

4.2 “粉体工程”实践教学指导	92
4.2.1 筛分分析和绘制筛分分析曲线	92
4.2.2 振动筛的筛分效率和生产率测定	94
4.2.3 测定非金属矿石碎矿产品粒度组成及其粒度特性方程	95
4.2.4 测定非金属矿石可磨性并验证磨矿动力学	97
4.2.5 非金属矿石磨矿影响因素试验	98
4.3 非金属矿“矿物加工学”实践教学指导	100
4.3.1 非金属矿重选试验	100
4.3.2 非金属矿高梯度磁选试验	106
4.3.3 非金属矿物电选试验	107
4.3.4 非金属矿浮选试验	108
4.3.5 非金属矿深加工试验	116
4.4 “研究方法试验”实践教学指导	127
4.4.1 试样的制备及物理性质测定	127
4.4.2 探索性试验	127
4.4.3 磨矿细度试验	128
4.4.4 浮选药剂种类及用量试验	129
4.4.5 开路流程试验	130
4.4.6 闭路流程试验	130
4.4.7 实验报告编写	132
4.5 “实习”实践教学指导	132
4.5.1 “认识实习”实践教学指导	132
4.5.2 “生产实习”实践教学指导	134
4.5.3 “毕业实习”实践教学指导	137
4.6 “毕业论文”实践教学指导	142
4.6.1 毕业论文的目的和类型	142
4.6.2 毕业论文的要求	142
4.6.3 毕业论文原则	142
4.6.4 毕业论文任务及深度	142
4.6.5 毕业论文时间安排	143
4.6.6 试验研究论文	143
4.6.7 软件工程类	143
5 非金属矿资源开发项目驱动实践教学案例	145
5.1 含锡萤石矿研究方法教学案例	145
5.1.1 概述	145
5.1.2 矿石性质	145
5.1.3 选矿方案的确定教学案例	147
5.1.4 磨矿曲线绘制教学案例	147

5.1.5 磁选回收铁矿物教学案例	148
5.1.6 萤石浮选试验教学案例	150
5.1.7 浮选尾矿回收锡矿物教学案例	161
5.2 江西某锂矿石选矿试验研究案例	163
5.2.1 概述	163
5.2.2 矿石性质	164
5.2.3 试验方案及工艺流程	169
5.2.4 试验指标	170
5.3 湖南某长石矿高梯度除铁试验案例	171
5.3.1 概述	171
5.3.2 矿石性质	171
5.3.3 试验方案及试验结果	171
5.4 毕业论文案例——萤石与方解石的浮选分离研究	173
5.4.1 研究的背景、意义和研究内容	173
5.4.2 研究内容	174
5.4.3 试验原料、药剂及试验研究方法	174
5.4.4 萤石和方解石的浮选行为研究	176
5.4.5 结论	182
5.5 低品位含钼铌锂废石尾料资源清洁回收与利用案例	182
5.5.1 概述	182
5.5.2 矿石性质	183
5.5.3 实验室小型试验	187
5.5.4 工业试验	190
5.5.5 工业应用	195
参考文献	200

1 非金属矿物资源概况

1.1 概述

石头作为人类改造自然的重要工具，在人类发展的历史长河中，起着极其重要的作用，而非金属矿的加工与应用对人类社会文明进步的贡献不可估量。远在石器时代，非金属矿就登上了历史的舞台。后来，由于金属及能源矿产的广泛应用，非金属矿产的地位大不如从前。但随着近代工业革命的兴起、高新技术产业的迅速发展，金属材料已经不能完全满足市场需求，而非金属材料在耐磨性、质轻等方面的优越性重新得到了广泛认可，非金属矿产的加工及应用得到迅速发展，改革开放以来，我国非金属矿产业发展迅速，20世纪90年代初，我国非金属矿产产值及消费量就超过了金属矿产。

非金属矿物的加工涉及矿石学、选矿学、晶体矿物学、无机非金属材料学、颗粒学、粉体工程学、化学工程、机械仪器仪表、无机化学、物理化学等众多学科和工程技术领域，是现代飞速发展的多学科交叉的新型工程技术。非金属矿的加工就是通过一系列的加工过程，获得想要得到产品的过程，在这一系列加工过程中，主要包括粉碎和分级、选矿与提纯、表面改性等。

1.2 非金属矿分类与用途

非金属矿是与金属矿相对而言的，是指除金属矿产和矿物燃料以外的具有经济价值的岩石、矿物等自然资源。现已探明的非金属矿物有93种，分别为金刚石、石墨、自然硫、硫铁矿、水晶、刚玉、蓝水晶、硅线石、红柱石、钠硝石、滑石、石棉、蓝石棉、云母、长石、石榴子石、叶蜡石、透辉石、透闪石、蛭石、沸石、明矾石、芒硝、石膏、重晶石、毒重石、天然碱、方解石、冰洲石、菱镁矿、萤石、宝石、玉石、玛瑙、石灰岩、白垩、白云岩、石英岩、砂岩、天然石英砂、脉石英、硅藻土、页岩、高岭土、陶瓷土、耐火黏土、凹凸棒石、海泡石、伊利石、累托石、膨润土、辉长岩、大理岩、花岗岩、盐矿、镁盐、钾盐、碘、溴、砷、硼砂、磷矿等。

非金属矿石的利用方式和金属矿石不同。只有少数非金属矿石是用来提取和使用某些非金属元素或其化合物，如硫、磷、钾、硼等，而大多数非金属矿石则是直接利用其中的有用矿物、矿物集合体或岩石的某些物理、化学性质和工艺特征。因此，非金属矿石的物理性质从采场采出时一直保持到产品的最后应用阶段，这一点与金属矿石完全不同。

世界各国多按用途对非金属矿产进行分类。如美国分为磨料、陶瓷原料、化工原料、建筑材料、电子及光学原料、肥料矿产、填料、过滤物质及矿物吸附剂、助熔剂、铸型原料、玻璃原料、矿物颜料、耐火原料及钻井泥浆原料等14类。前苏联分为化学原料、黏结原料、耐火-陶瓷原料和玻璃原料、集合原料和晶体原料等5类。我国通常分为化工原料、建筑材料、冶金辅助原料、轻工原料、电器和无线电电子工业原料、宝石类和光学材

料等 6 类。多数矿产具有多种用途，所以按用途分类并不确切，往往造成一种矿产同时属于不同种类。为此，提出以工业用途与矿石加工技术相结合的分类方案，见表 1-1。

表 1-1 非金属矿产工业分类

类	亚类	原料类别	矿产种类
矿物	自然元素	化学原料	自然硫
	晶体	宝石原料	金刚石（宝石级）、祖母绿、红宝石、电气石、黄玉、绿柱石、青蛋白石、紫水晶等
		工业技术	金刚石（工业级）、压电石英、冰洲石、白云母、金云母、石榴子石等
	独立矿物	半宝石、彩石和玉石原料	玛瑙、蛋白石、玉髓、孔雀石、绿松石、绿玉髓、赤铁矿等
	矿物集合体 (非金属矿石)	化学原料	磷灰石、磷块矿、天青石、含硼硅酸盐、钾盐、镁盐等
		磨料	刚玉、金刚砂、铝土矿
		耐火、耐酸原料	磷镁矿、石棉、蓝晶石、红柱石、硅线石、水铝石
		隔音及绝热材料	蛭石、珍珠岩
		综合性原料	萤石、重晶石、石墨、滑石、石盐、硅灰石等
岩石	原矿直接利用 或经机械加工后利用	彩石、玉石和装饰砌面石料	碧玉、角质岩、天河石、花岗岩、蛇纹石大理岩、蛇纹石、蔷薇辉石
		建筑和砌面石料	花岗岩、拉长石岩、闪长石及其他火成岩、灰岩、白云岩、大理岩、凝灰岩等
		混凝土填料、建筑及道路建筑材料	砾石、碎石、细砾、建筑砂
	经热加工或化学处理后应用	陶瓷及玻璃原料	玻璃砂、长石和伟晶岩、易熔及耐熔黏土、高岭土
		制取黏结剂原料	泥灰岩、石膏、易熔黏土、板状硅藻土、硅藻土
		耐火材料	耐火黏土、石英岩、橄榄岩、纯橄榄岩
		铸石材料	玄武石、辉绿岩等
		颜料材料	赭石、红土、铝矾等
		综合性原料	灰岩、白云岩、白垩、砂、黏土、石膏等

1.3 世界非金属矿资源分布

目前，自然界已发现的非金属矿种类达 1500 多种，已被开发的仅 200 多种。世界非金属矿产资源丰富。高岭土、菱镁矿、石膏等大宗非金属矿产储量都在百亿吨以上。我国是世界上非金属矿资源总量丰富、矿种齐全、但人均拥有量少的国家之一。据统计，我国已经发现的非金属矿种有 126 种，已探明储量的非金属矿产有 93 种。其中石墨、石膏、膨润土、石灰石、菱镁矿、重晶石、芒硝等矿种的储量居世界首位；滑石、石棉、萤石、硅灰石的储量居世界第二位；磷、硫、高岭土、珍珠岩、天然碱、耐火黏土的储量居世界第三位；大理石、花岗石及砂石等矿产也名列前茅。

非金属矿产在国民经济中占有十分重要的地位，其开发应用水平已成为衡量一个国家科技、经济水平的重要综合标志之一。美国 1994 年非金属矿物产值是金属矿物产值的 2

倍。中国 1993 年非金属矿物产值超过了金属矿物产值。50 多年来,世界非金属矿产品的产值每 10 年增长 50%~60%,大大超过了金属矿产的增长速度。有的学者甚至预言,人类社会进入了第二个“石器”时代,见表 1-2。近十年来,世界上多数非金属矿产资源产量都有了不同程度的增加,少数非金属矿产产量略有下降。

表 1-2 2012 年世界主要非金属矿产储量

矿 产	单 位	储 量	矿 产	单 位	储 量
石墨	万吨	7700	硅藻土	亿吨	大
萤石	万吨	24000	天然碱	亿吨	240
钾盐	亿吨 (K ₂ O)	95	金刚石	亿 ct	6.0
硼矿	万吨 (B ₂ O ₃)	21000	碘	万吨	760
重晶石	万吨	24000	硒	万吨	9.8

世界各主要非金属矿产资源及开发利用现状。

1.3.1 萤石

萤石又称氟石、氟石粉,萤石粉,等轴晶系,其主要成分是氟化钙 (CaF₂)。萤石在世界各大洲均有分布,目前已探明储量分布在 40 多个国家和地区,南非、墨西哥、中国和蒙古的萤石储量位列世界前四位,全球萤石资源约 5 亿吨。

南非萤石储量居世界第一位,占世界萤石储量的 17%。南非已发现矿床主要分布在德兰图瓦省和西北省,已开发的矿床包括 Witkop 萤石矿、Buffalo 萤石矿、Vergenoeg 萤石矿、Nokeng 萤石矿和 Doornhoek 萤石矿,矿床类型主要是白云岩层状矿床。

墨西哥萤石储量居世界第二位,占世界萤石储量的 13%。墨西哥萤石矿资源主要分布在科阿维拉、圣路易斯托西和瓜那华托。拉奎瓦萤石矿床是世界上最大的萤石矿之一,位于圣路易斯托西的 Salitrera 地区,该矿储量 5000 万吨。Sabina 萤石矿区位于阿维拉州的 Muzquiz 城的西北地区,储量超过 1300 万吨。

中国萤石储量位于世界第三,占世界萤石储量的 10%。中国萤石资源分布在内蒙古自治区、浙江省、福建省、江西省和湖南省,这五个地区萤石储量占全国的 70% 之多。

蒙古萤石储量位列世界第四,占世界萤石储量的 9% 左右。蒙古已发现萤石矿床主要分布在东戈壁省,大型矿床是北克鲁伦矿和南克鲁伦矿,南克鲁伦矿区中有多个矿体,最大矿体长数百米至千米,储量规模最大的开采矿区是波尔安杜尔萤石矿。

其他萤石矿资源比较丰富的国家有纳米比亚、加拿大、澳大利亚和美国等。

全球出口萤石的国家主要是中国、墨西哥、纳米比亚、蒙古和南非。中国萤石及相关化工产品出口量居世界第一位,2014 年 1~12 月,中国出口萤石(按重量计氟化钙含量不大于 97% 的萤石)总量为 179316.23t。主要出口至韩国、日本、台澎金马关税区、荷兰、印度、马来西亚、阿联酋、印度尼西亚、美国、芬兰、比利时、沙特阿拉伯、越南、新喀里多尼亚、罗马尼亚、菲律宾、希腊、新加坡、澳大利亚、阿曼等国家和地区。

1.3.2 高岭土

高岭土是一种非金属矿产,是一种以高岭石族黏土矿物为主的黏土和黏土岩。因呈白

色而又细腻,又称白云土。因江西省景德镇高岭村而得名。其质纯的高岭土呈洁白细腻、松软土状,具有良好的可塑性和耐火性等理化性质。其矿物成分主要由高岭石、埃洛石、水云母、伊利石、蒙脱石以及石英、长石等矿物组成。

世界上高岭土资源极为丰富,五大洲 60 多个国家和地区均有分布,但主要集中在欧洲、北美洲、亚洲和大洋洲。目前全世界高岭土的探明储量约 242.3 亿吨。储量较大的地区有美国佐治亚州、巴西的亚马逊盆地、英国的康沃尔和德文郡、中国的广东、福建、广西、江西和江苏等。

美国高岭土矿产资源十分丰富,居世界首位,主要来自佐治亚州、南卡罗来纳州,亚拉巴马州、阿肯色州、加利福尼亚州,佛罗里达州、北卡罗来纳州及得克萨斯州等 130 多个矿山。佐治亚州高岭土矿床是世界最大的高岭土矿床,储量达 79 亿吨。

中国高岭土资源储量居世界第二位,据中国国土资源部资料,截至 2006 年年底的统计,中国已有高岭土矿床(点)有 318 处,基础储量为 6.36 亿吨,储量为 2.31 亿吨,已查明资源储量为 19.14 亿吨。

英国高岭土资源较为丰富,主要集中分布在康沃尔半岛圣奥斯特尔花岗岩体的西部和中部,达特模尔花岗岩体西南部,波德明花岗岩体西部和南部。经选矿后用于造纸填料和涂料。已查明储量为 18.15 亿吨。

巴西高岭土矿床主要分布在亚马孙盆地,据报道,已查明资源量达 13 亿吨以上,在世界高岭土矿物储量方面,将取代英国的地位。矿床大多为残积型,产于风化的花岗岩、伟晶岩及其他结晶岩中,有价值的矿床是沿帕腊河(亚马逊河支流)的费利佩高岭土矿,矿床产于上新世巴雷拉斯统,后来在沿雅里河地区又发现大规模的次生矿床,绵延几公里,储量较大。主要用于造纸及陶瓷工业。

世界高岭土主要出口国是美国、中国、巴西、英国等;进口国和地区主要有中国香港、中国台湾地区、日本、意大利、韩国、泰国和荷兰等。美国是世界上造纸级高岭土的主要供货者,不过,近来,巴西所占市场份额在不断增加。

1.3.3 滑石

滑石是热液蚀变矿物。富镁矿物经热液蚀变常变为滑石,故滑石常呈橄榄石、顽火辉石、角闪石、透闪石等矿物假象。滑石是一种常见的硅酸盐矿物,它非常软并且具有滑腻的手感。滑石一般呈块状、叶片状、纤维状或放射状,颜色为白色、灰白色,并且会因含有其他杂质而带各种颜色。滑石的用途很多,如作耐火材料、造纸、橡胶的填料、农药吸收剂、皮革涂料、化妆材料及雕刻用料等等。

世界滑石储量丰富,滑石类(包括叶蜡石)矿床分布在 40 多个国家和地区,主要有美国、巴西、中国、法国、芬兰和俄罗斯等,另外韩国和日本等国家和地区也有滑石类矿床分布,但以叶蜡石为主。据美国地调局估计世界滑石资源是已探明储量的 5 倍之多。中国滑石矿产基础储量约 1 亿吨,分布在江西、辽宁、广西和山东等 18 个省区,优质白滑石分布在广西、辽宁和山东,黑滑石主要分布在江西省广丰县。印度已开发的滑石矿床主要分布在拉贾斯坦邦和喜马偕尔邦,据印度年报,印度滑石和皂石证实储量 11553 万吨,推测滑石资源量 11523 万吨,叶蜡石储量 1948 万吨,资源量 1421 万吨。美国滑石储量 14000 万吨,储量基础 54000 万吨位居第一;巴西滑石储量 23000 万吨位居第一,储量基

础 25000 万吨。

世界上出口滑石的国家有中国、美国、加拿大、意大利、印度和澳大利亚，进口滑石的国家和地区有日本、韩国、墨西哥和德国等 70 个国家。

1.3.4 石墨

石墨是碳结晶矿物，层状结构。石墨分晶质石墨和隐晶质石墨，晶质（鳞片）石墨主要蕴藏在中国、乌克兰、斯里兰卡、巴西等国；隐晶质石墨主要分布在中国、印度、墨西哥和奥地利等国。

石墨具有导电、导热、润滑、耐腐蚀和耐高温等独特的理化性质，石墨制品和石墨功能材料广泛应用于冶金、化工、机械和航空航天等国民经济各个行业，石墨是一个传统工业和战略性产业所必需的矿物原料。

2012 年世界石墨储量 7700 万吨，中国石墨储量 5500 万吨，占世界的 71%。中国已发现石墨资源储量居世界第一。截止 2012 年年底，中国晶质石墨矿物储量 2000 万吨，查明资源储量约 2 亿吨；分布在黑龙江、山东、内蒙古和四川等 20 个省市自治区，其中，黑龙江省萝北县云山石墨矿区是最大的，已查明资源储量 4200 万吨。隐晶质石墨矿石储量约 500 万吨，资源储量约 3500 万吨，主要分布在内蒙古、湖南、吉林等 9 个省、自治区，隐晶质石墨固定碳含量 55%~80%。

印度的石墨矿产储量位居世界第二。据印度矿业年度报道，印度石墨储量 105 万吨，资源量 15802.5 万吨。有 3 个石墨矿带，即博兰吉尔-桑巴尔普尔矿带、普尔巴尼-长拉汉迪矿带和登卡纳尔矿带。

墨西哥已发现石墨矿全部是微晶石墨，主要分布在索若拉州、格雷罗州和瓦哈卡州。索若拉州的石墨矿床赋存在含煤的深灰红色石英岩之间。已开发的埃莫西约石墨矿全部是微晶石墨，品位在 65%~85%，罗尔德斯石墨矿已开发。苏利石墨公司勘查开发的石墨矿位于索若拉州，品位 88%，墨西哥石墨公司勘查位于瓦哈卡的微晶石墨矿床。

韩国勘查发现 Chungnam 鳞片石墨矿床，位于 Kang Won，粗略估计资源量 100 万~150 万吨。Kyong Gi 微晶石墨矿床，位于 Lyung Pak，估算资源量 250 万~300 万吨，固定碳含量 5%。

2011 年世界石墨出口超过 50 万吨，2012 年世界石墨出口达 30 万吨以上，世界上 50 多个国家和地区进口石墨，进口国家有美国、日本、荷兰、德国、韩国等。世界石墨主要出口国家有中国、墨西哥、加拿大、巴西、斯里兰卡和朝鲜等。美国、日本和欧盟等发达国家基本垄断了石墨深加工的先进技术和知识产权，主要进口石墨原矿和石墨初级产品，深加工后以极高的价格占领国际市场。中国、巴西和朝鲜等发展中国家主要出口初级石墨产品，进口石墨深加工产品。

1.3.5 重晶石

重晶石是钡的最常见矿物，它的成分为硫酸钡，常见产于低温热液矿脉中。重晶石的晶体呈大的管状，晶体聚集在一起有时可形成玫瑰花形状或分叉的晶块，这称为冠毛状重晶石。纯的重晶石是无色透明的，一般则呈白、浅黄色，具有玻璃光泽。而且重晶石可以用作白色颜料（我们俗称立德粉），还可用于化工、造纸、纺织填料，在玻璃生产中它可

充当助熔剂并增加玻璃的光亮度。但它最主要的是作为加重剂用在钻井行业中及提炼钡。

世界上可开发利用的重晶石资源不多,主要有沉积型、低温热液型和风化残积型等3种,储量总计24000万吨,集中在中国、印度、阿尔及利亚、美国、俄罗斯、摩洛哥、墨西哥等20多个国家或地区,静态保障年限为35年。

中国重晶石储量居世界首位,为1亿吨,占世界总储量的41.7%。国内统计为1890万吨,低于国外机构的估计,这是由于对“储量”的分类不一所致。按照中国矿产资源储量分类,中国重晶石查明资源储量为29021万吨,中国重晶石资源比其他的任何国家都丰富。中国重晶石主要分布在贵州、湖南、广西、甘肃、陕西和浙江,上述6个省(区)合计占全国查明储量的86%。其中,贵州9325.4万吨,居全国第一,占全国查明资源储量的32.1%;其次是湖南6361.8万吨,占21.9%;广西3057.1万吨,占10.5%;甘肃263406万吨,占9.1%;陕西2571.8万吨,占8.9%;浙江1011.6万吨,占3.5%。

由于重晶石的消费与世界油气生产有着密切的关系,因此,重晶石的国际贸易流向主要是从重晶石生产国流向油气生产国。国际上重晶石的商业购买者主要有:M-1公司,巴罗德公司,贝克休斯英泰克公司,纽帕克资源公司。它们主要是向美洲、里海地区和东南亚提供钻井级重晶石粉的原矿。

1.3.6 硅灰石

硅灰石是偏硅酸钙矿物,纯硅灰石化学组成为氧化钙48.3%,二氧化硅51.7%。硅灰石矿物中常含有少量的铝、镁、铁、钾和钠元素,颜色有亮白、灰白和棕色。常用作造纸、陶瓷、水泥、橡胶、塑料等的原料或填料;气体过滤材料和隔热材料;冶金的助熔剂等。

世界上只有20多个国家或地区发现了硅灰石矿床,大型矿床主要分布在中国、印度、美国、墨西哥、西班牙和芬兰。加拿大、澳大利亚、南非、肯尼亚、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、土耳其、纳米比亚和苏丹等国家勘查发现可开发的硅灰石矿床。世界硅灰石证实储量超过9000万吨,美国地调局估计世界硅灰石资源量2.7亿吨。

中国、印度和墨西哥硅灰石资源比较丰富,质量优良。中国硅灰石已查明资源储量1.6亿吨,相对集中在辽宁、吉林、江西、云南和青海等省,上述5省拥有的硅灰石资源储量占全国的90%。印度硅灰石储量853.33万吨,资源量1170.8万吨,主要分布在拉贾斯坦邦。南非马加塔硅灰石矿床储量320万吨。美国已发现硅灰石矿床分布在亚利桑那州等7个州,唯有在纽约州的硅灰石被开发。墨西哥硅灰石矿床位于索诺拉州莫西约地区,有高长径比纤维状硅灰石。澳大利亚昆士兰北部发现硅灰石矿床,钻探显示有两个硅灰石矿体,硅灰石矿带宽20m,长500m,估计潜在资源量250万吨,长纤维硅灰石含量占50%,硅灰石质地软,白度高,纯度高。西班牙2个已开发的硅灰石矿床,一个是欧洲最大的,位于萨拉曼卡市的Aldea del Obispo地区;另一个位于韦尔瓦省北部Aоче城附近Alto del Carmen山丘,已探明硅灰石矿床证实储量570万吨,硅灰石含量平均27%,最高75%。

中国、印度、墨西哥和芬兰是硅灰石主要出口国,荷兰、日本、意大利、韩国、西班牙、俄罗斯是硅灰石主要进口国,世界硅灰石年出口贸易量25万吨以上。

1.3.7 膨润土

膨润土是以蒙脱石为主要矿物成分的非金属矿产,有很强的离子交换能力。根据蒙脱

石所含的可交换阳离子种类、含量及结晶化学性质的不同分为钠基、钙基、镁基、铝(氢)基等膨润土,商业膨润土主要是钠基和钙基。由于膨润土(蒙脱石)具有有良好的物理化学性能,可做净化脱色剂、黏结剂、触变剂、悬浮剂、稳定剂、充填料、饲料、催化剂等,广泛用于农业、轻工业及化妆品、药品等领域,所以蒙脱石是一种用途广泛的天然矿物材料。

世界膨润土资源丰富,但分布不均衡,主要分布在环太平洋带、环印度洋带和地中海-黑海带。主要资源国有中国、美国、俄罗斯、德国、意大利、日本及希腊等。据美国前矿业局统计世界膨润土查明资源量为14.52亿吨(不包括中国)。钠基膨润土资源不足5亿吨,主要产地是美国的怀俄明州,储量6800万~12000万吨;意大利、俄罗斯、希腊和中国也有分布。天然膨润土主要产地为美国的得克萨斯州和内华达州、土耳其的安卡拉地区、意大利的萨丁岛和摩洛哥等。美国的膨润土开放时间长,怀俄明已有80年的开采史,资源日渐枯竭;其他国家,如意大利和庞廷岛的膨润土已经开采殆尽;日本和东南亚各国资源也很有限,每年需要大量进口。中国膨润土资源居世界前列,探明储量多,主要分布在广西、新疆、内蒙古、江苏、河北、湖北、山东和安徽等省区。

美国是世界最大的膨润土出口国,2011年出口量102万吨,同比增长7%;出口额1.67亿美元,同比增长16.8%。其中70%出口到墨西哥,14%出口到秘鲁,16%出口到中国台湾地区。

1.3.8 石膏

石膏是单斜晶系矿物,是主要化学成分为硫酸钙(CaSO_4)的水合物。石膏是一种用途广泛的工业材料和建筑材料。可用于水泥缓凝剂、石膏建筑制品、模型制作、医用食品添加剂、硫酸生产、纸张填料、油漆填料等。石膏及其制品的微孔结构和加热脱水性,使之具优良的隔音、隔热和防火性能。

世界石膏资源十分丰富,分布广,已发现天然石膏资源分布不均衡。目前全球有100多个国家和地区勘查探明石膏资源,俄罗斯石膏储量32亿吨,伊朗24亿吨,中国13亿吨,巴西2.3亿吨,美国7亿吨,加拿大4.5亿吨,其他石膏资源丰富的国家还有墨西哥、西班牙、法国、泰国、澳大利亚、印度和英国等。中国已探明石膏资源储量世界第一,高达846亿吨,分布在23省(区),石膏资源储量超过10亿吨。美国石膏储量分布在29个州,探明储量相对集中在俄克拉荷马、爱荷华、阿肯色、内华达、加利福尼亚、得克萨斯、印第安纳和密歇根。排烟脱硫石膏和磷石膏等工业副产石膏已成为工业用石膏的重要来源之一。

普通石膏进出口贸易局限于周边国家之间贸易往来,医用石膏和石膏制品贸易比较活跃,并不局限于周边国家。

1.3.9 石棉

石棉是具有高抗张强度、高挠性、耐化学和热侵蚀、电绝缘和具有可纺性的硅酸盐类矿物产品。它是天然的纤维状的硅酸盐类矿物质的总称。石棉防火制品、石棉密封材料和石棉保温材料用于建筑、化工、运输机械和国防部门。近十年来,全球石棉产量和消费量在200万~240万吨之间波动。全球石棉生产高度集中在俄罗斯、中国、巴西和哈萨克斯