

石墨选矿

石 墨 选 矿

武汉建筑材料工业学院选矿教研室
南 墅 石 墨 矿

(限 国 内 发 行)

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

这是一本专门阐述石墨选矿理论和实践的图书。书中介绍了我国石墨选矿的生产经验、技术革新、科研成果和国外的有关资料。

全书共分八章，内容包括石墨性质和用途；矿床和矿石；石墨选矿及选矿前矿石的破碎、磨矿，选别后产品的脱水、干燥、分级、提纯、加工等主要工艺过程、方法和设备；石墨选矿厂的生产检验和控制、防尘以及产品输送等方面，供从事石墨选矿的生产、科研、教学人员参考。

石 墨 选 矿

武汉建筑材料工业学院选矿教研室

南 墅 石 墨 矿

(限国内发行)

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：11 1/8 字数：250 千字

1979年6月第一版 1979年6月第一次印刷

印数：1—3,740册 定价：0.90元

统一书号：15040·3557

目 录

第一章 石墨的性质和用途	1
第二章 石墨矿床和矿石	6
第一节 石墨矿床	6
第二节 石墨矿石	10
第三节 石墨资源分布	12
第三章 石墨选矿	15
第一节 概述	15
第二节 准备作业	20
第三节 石墨的浮选	31
第四节 鳞片石墨的其它选矿法	90
第五节 隐晶质石墨的选矿和加工	100
第四章 石墨选别产品的处理	103
第一节 石墨选别产品的脱水	103
第二节 石墨选别产品的干燥	120
第三节 石墨产品的分级	131
第四节 石墨产品的包装	149
第五章 石墨选矿厂的除尘和产品输送	154
第一节 石墨选矿厂的除尘	154
第二节 石墨产品的风力输送	165
第三节 石墨选矿厂的矿浆输送	188
第六章 石墨产品的提纯和粉碎	204
第一节 石墨的提纯	205
第二节 石墨的粉碎加工	216

第七章	石墨选矿厂生产检验和控制	245
第一节	取样和制样	245
第二节	石墨矿石和产品中固定碳的测定	250
第三节	粒度分析	267
第四节	石墨选矿厂的生产检测和控制	270
第八章	石墨选矿实践	301
附录一	石墨及其伴生矿物的特性	345
附录二	石墨浮选常用药剂	347
附录三	常用标准筛制	348
附录四	矿浆浓度换算表	351

第一章 石墨的性质和用途

一、石墨的性质

石墨是碳的结晶矿物之一，色泽银灰，质软，能污染纸张，莫氏硬度1~2，比重2.1~2.3。

石墨矿物结晶属六方晶系，具层状构造。每一网层间距为 $3.354 \text{ \AA}$ ●，同一网层中碳原子间距为 $1.42 \text{ \AA}$ ，见图1-1所示。上一层面网六边形的一个角正好位于下一层面网六边形的中心，如图1-2所示。网层间以分子键联结，具有天然疏水性。

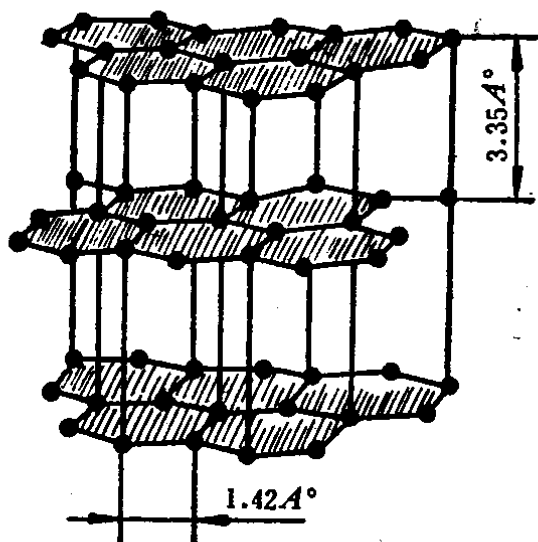


图 1-1 石墨晶体结构示意图

的中心，如图1-2所示。网层间以分子键联结，具有天然疏水性。

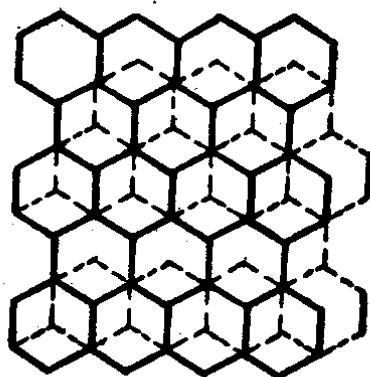


图 1-2 石墨晶体层构造示意图

石墨的特殊原子结构，使其具有一系列特性，晶体结构愈是完整，规则、特性愈突出。它们是：

(一) 耐高温

石墨是目前已知的最耐高温的材料之一。在 2000°C 以上

● “ $\text{\AA}$ ”为测量可见光波长的单位 $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ 厘米

时，一般材料早已化为气体，或熔融状态，就是一些难炼的金属在2500°C左右也会失去强度。如钨是已知的金属中熔点最高的，达3600°C，但在此温度下（还原气氛中）石墨是不会熔化的。把各种耐高温的材料置于7000°C超高温电弧下10秒钟，石墨的损失量最小。按重量计，石墨损失0.8%，尼龙纤维增强酚醛塑料损失1.2%，碳化硅损失1.7%，高铝刚玉损失8.2%，最耐高温的金属氧化物——氧化锆损失12.9%。由此可见，石墨的耐高温性能是很突出的。

一般的材料在高温下强度逐渐降低，而石墨在加热到2000°C时，其强度反而较常温时提高一倍。但石墨的耐氧化性能差，随着温度的提高，氧化速度逐渐增加。在450°C的热空气中，或在700°C的蒸汽中，或在900°C二氧化碳气流中，每经过24小时，石墨的重量损失为10%左右。

（二）特殊的抗热震性能

石墨具有良好的抗热震性能，即当温度突然变化时，热膨胀系数很小，体积变化不大。由于石墨的热膨胀系数小，因而具有良好的热稳定性，在温度急冷急热的变化时，不会产生裂纹。

（三）导热性和导电性

石墨具有良好的导电性和导热性。虽然石墨的导电性不能与铜、铝等金属相匹敌，但与一般的材料比，其导热导电性是相当高的，如比不锈钢高4倍，比碳素钢高2倍，比一般的非金属高100倍。

石墨的导热性，不仅超过钢、铁、铅等金属材料，而且随温度升高，导热系数降低，这和一般金属材料不同，一般金属的导热系数随着温度的升高而增大。在极高的温度下，石墨甚至趋于绝热状态。因此，在超高温条件下，石墨的

隔热性能是很可靠的。

（四）润滑性

石墨的润滑性能类似于二硫化钼，摩擦系数小于 0.1。其润滑性随鳞片大小而变，鳞片愈大，摩擦系数愈小，润滑性能愈好。

（五）可塑性

石墨具有可塑性，可展成透气透光薄片，但高强石墨硬度很大，以至用金刚石刀具都难以加工。

（六）化学稳定性

常温下石墨具有良好的化学稳定性，能耐酸、耐碱，耐有机溶剂的腐蚀，但高温时易氧化。

二、石墨的用途

由于石墨具有许多优良的性能，因而在冶金、机械、电气、化工、纺织、国防等工业部门获得广泛应用。

（一）作耐火材料

石墨及其制品具有耐高温、高强度的性质，在冶金工业中主要用来制造石墨坩埚。石墨坩埚比其他耐火材料坩埚，使用寿命长，其寿命与石墨鳞片大小有关，鳞片越大，强度愈高，耐高温性能越好，坩埚寿命越长。一般制造坩埚均采用 50 目或 80 目（0.3~0.18 毫米）石墨。

在炼钢工业中，常用石墨作钢锭之保护剂，石墨在这方面用量较大。其它如冶金炉的内衬，熔炼贵金属和稀有金属用的坩埚也用石墨制作。作为耐火材料使用的石墨制品，一般不应在氧化气氛中使用，因为石墨在氧化气氛中容易烧蚀。

（二）作导电材料

石墨在电气工业中广泛用来作电极、电刷、碳棒、碳

管、水银整流器的正极、石墨垫圈、电话零件、电视机显像管的涂层等等。其中以石墨电极应用最广，在冶炼各种合金钢、铁合金时，使用石墨电极，这时强大的电流通过电极导入电炉的熔炼区，产生电弧，电能转化为热能，温度升高到2000°C左右，从而达到熔炼或反应的目的。此外，在电解金属镁、铝、钠时，电解槽的阳极也用石墨电极。生产金刚砂的电阻炉也用石墨电极作炉头导电材料。

电气工业中所使用的石墨，对粒度和品位要求很高。如碱性蓄电池和一些特殊的电碳制品，要求石墨粒度控制在150~325目（0.1~0.042毫米）范围内，品位90~99%以上，有害杂质（主要是金属铁）要求在10%以下。电视机显像管所用的石墨，粒度要求在0.5微米以下。

（三）作耐磨和润滑材料

石墨在机械工业中常作为润滑剂。润滑油往往不能在高速、高温、高压的条件下使用，而石墨耐磨材料可以在-200~2000°C温度并在很高的滑动速度下（100米/秒）不用润滑油工作。许多输送腐蚀介质的设备，广泛采用石墨材料制成活塞环、密封圈和轴承，它们运转时，勿需加入润滑油。石墨乳也是许多金属加工（拔丝、拉管）时的良好的润滑剂。

（四）作耐腐蚀材料

石墨具有良好的化学稳定性。经过特殊加工的石墨，具有耐腐蚀，导热性好，渗透率低等特点，它大量用于制作热交换器、反应槽、凝缩器、燃烧塔、吸收塔、冷却器、加热器、过滤器、泵设备，广泛应用于石油化工、湿法冶金、酸碱生产、合成纤维、造纸等工业部门，可节省大量的金属材料。

（五）作铸造、翻砂、压模及高温冶金材料

由于石墨的热膨胀系数小，而且能耐急冷急热的变化，可作为玻璃器皿的铸模，使用石墨后，黑色金属得到的铸件尺寸精确、表面光洁、成品率高、不经加工或稍作加工就可使用，因而节省了大量金属。生产硬质合金等粉末冶金工艺，通常用石墨材料制成压模和烧结用的舟皿。单晶硅的晶体生长坩埚、区域精炼容器、支架、夹具、感应加热器等，都是用高纯石墨加工而成的。此外，石墨还可作真空冶炼的石墨隔热板和底座，高温电阻炉炉管、棒、板、格栅等元件。

（六）用于原子能工业和国防工业

石墨具有良好的中子减速性能，最早作为减速剂用于原子反应堆中，铀—石墨反应堆是目前应用较多的一种原子反应堆。作为动力用的原子能反应堆中的减速材料应当具有高熔点、稳定、耐腐蚀的性能，石墨完全可以满足上述要求。作为原子反应堆用的石墨纯度要求很高，杂质含量不应超过几十个 ppm (ppm 为百万分之一)，特别是其中硼的含量应小于 0.5ppm。在国防工业中还用石墨制造固体燃料火箭的喷嘴，导弹的鼻锥，宇宙航行设备的零件，隔热材料和防射线材料。

（七）作防垢防锈材料

石墨能防止锅炉结垢，有关单位试验表明，在水中加入一定量的石墨粉（每吨水大约用 4~5 克），能防止锅炉表面结垢。此外石墨涂在金属烟囱、屋顶、桥梁、管道上可以防腐和防锈。

（八）其他

石墨可作铅笔芯，颜料，抛光剂。石墨经过特殊加工以后，可以制成各种特殊材料用于有关工业部门。如不透性石墨，定向高密度石墨，石墨纤维布等。

第二章 石墨矿床和矿石

第一节 石 墨 矿 床

形成石墨矿床的条件有三：一是碳元素富集；二是较高的温度、压力；三是还原环境。外生作用可以使碳富集，但温度、压力均低，而且是氧化环境为主，不能使碳结晶形成石墨。又因石墨比重小、硬度低、也不能形成有工业价值的砂矿，因此石墨不存在次生矿床，而只有内生和变质成因的两种类型。目前发现的石墨矿床中，以变质矿床的规模和工业意义最大。

根据工业意义的大小，石墨矿床可分为五个类型，其中以结晶片岩中的石墨矿床和变质煤层中的石墨矿床为主要。

一、结晶片岩中的似层状石墨矿床

这类矿床大多产于片麻岩、片岩或大理岩等变质岩系中。系由含大量有机质的沉积岩，经过中深程度的区域变质作用，使含有机碳的气体逸出，经过迁移和富集，在适宜的地质条件下冷却再结晶而成。此类型矿床，一般矿区地质构造复杂，矿床附近往往有花岗岩、伟晶岩石英脉等侵入体存在。矿体多呈层状、或透镜状。矿体倾角较大，有时直立，厚度可达十余公尺以上，长度一般几十公尺，有的可达几公里。石墨鳞片较大，但品位不高，一般3~5%，最高达20~25%。

共生矿物主要有长石、石英、透辉石、透闪石，其次是

云母、绿泥石、方解石、黄铁矿、金红石等。石墨与脉石矿物呈黑白相间，定向排列，构成明显的花岗变晶结构，片麻状构造。

这类矿床规模大，质量好，分布广，是主要的石墨矿床类型。马尔加什，西德的巴伐利亚，苏联的查瓦里耶，我国的南墅、兴和、柳毛、金溪、宜昌等石墨矿均属此类型。

南墅石墨矿矿床位于古老的变质岩系中，区内露出有前震旦纪的片麻岩、结晶灰岩、云母片岩、石墨片岩等地层，此外还有花岗岩，伟晶岩脉等侵入。石墨矿体主要产于大理岩与斜长角闪片麻岩或柘榴斜长片麻岩之间，呈似层状或透镜状。矿体走向东西，向南倾斜，倾角 $20^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ，局部因受构造影响，呈直立或倒转，产状基本上与围岩一致。共生矿物有20余种，主要是长石、石英、透辉石、透闪石，其次是蛇纹石、黑云母、绢云母、绿泥石、绿帘石、石榴石等，此外还有黄铁矿、黄铜矿、磷灰石、金红石、锆石、榍石等。

石墨呈鳞片状，鳞片大小一般为 $1.0\sim 2.0\times 0.5\sim 1.0$ 毫米，片厚为 $0.02\sim 0.50$ 毫米。鳞片最大可达 $3\sim 5$ 毫米，最小为 $0.5\sim 1.0\times 0.25\sim 0.5$ 毫米。品位 $3\sim 10\%$ ，个别高达 20% 以上。此外还有囊状和不规则脉状隐晶质石墨充填于围岩破裂带或围岩片理中，这部分石墨因品位低，可选性差，暂未利用。

二、变质煤层中的石墨矿床

矿床产于含煤变质页岩或石英岩中，系由煤层受到接触变质作用或区域变质作用而生成。矿体为层状或透镜状，厚度可达几十米，延长几百米至几公里以上。矿床中常见有石墨逐渐过渡到无烟煤的现象。石墨晶体直径小于1微米，在显微镜下也难见到晶形。石墨含量一般为 $60\sim 80\%$ 。共生矿

物有黄铁矿、方解石、少量磷灰石、金红石和磁黄铁矿。

这类矿床规模大、品位高、储量大，是主要的石墨矿床类型之一，但质量不好，我国鲁塘等石墨矿属此类型。国外朝鲜、墨西哥、苏联等也有这类矿床。

我国湖南鲁塘石墨矿，矿区地层由二迭纪煤系岩层组成，主要为砂质页岩、石英砂页、碳质页岩及煤层等。本区构造成北北东——南南西走向之向斜，花岗岩侵入向斜之东翼含煤系地层内。石墨矿床分布在向斜之东翼，与花岗岩接触之变质煤系内，矿体呈层状、透镜状，共分两层，厚0.2~2米，长达数米至40米。倾向北西，倾角 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。石墨晶体细小，为隐晶质石墨。矿石品位一般76%以上，最高达92.24%。

三、霞石正长岩中的石墨矿床

这类矿床产于霞石正长岩体内，系岩浆中的 CO_2 或当岩浆与含有机质的沉积岩接触时，经过岩浆的分异作用或同化作用，使 CO_2 浓度大大提高，在还原条件下， CO_2 被分解，成致密结晶状石墨。矿体呈株状、巢状、凸镜状、细脉状或分散于整个岩体内。矿体往往成群出现，但单个的矿体规模都不大，最大直径不超过数十米。石墨为细鳞片状集合体，一般品位为60~80%，手选后可得高品级石墨。这类矿床在世界上分布不广，规模也较小，典型的代表是苏联的波托果尔石墨矿床。

苏联波托果尔石墨矿位于伊尔库茨克城以西，矿区附近的地层由变动剧烈的前寒武纪结晶片岩及大理岩组成。北部主要是结晶灰岩，南部则以云母片岩、硅质片岩和绿泥石片岩为主，霞石正长岩侵入这些地层，岩体中常见石灰岩之捕虏体。在与石灰岩接触带中，灰岩转变为硅灰石硅卡岩，

含有少量鳞片石墨。有工业意义的矿床，产在霞石正长岩的中心部分，矿体呈巢状或株状，单个矿体直径为2~25米，长可达50米。已知的矿体有20个，石墨呈微晶片状散布于正长岩体内，鳞片大小为0.25~1毫米，很少大于3毫米。品位60~85%，在个别正长岩地段，还有浸染状低品位石墨矿产出。

四、矽卡岩中的石墨矿床

该矿床多产于石灰岩与火成岩接触交代形成的透辉石石榴石矽卡岩内。矿体呈透镜状，巢状，厚20~30米，长100~150米。有粗鳞片和细鳞片两种类型，品位一般10~20%，最高可达60~80%。这类矿床质量好，储量往往也很大，但比较稀少。著名的有加拿大的安大略魁北克和英国的阿达隆达克矿床。

五、结晶片岩中的脉状石墨矿床

矿床产于结晶片岩的构造裂隙中，石墨是由岩浆期后的CO₂充填裂隙结晶而成。常聚成巨大的矿床。矿体呈脉状、树枝状和网脉状。矿体倾角一般较陡，厚度数厘米至数十米，大多数矿脉中石墨含量较高，有时高达97~98%。共生矿物有石英、黄铁矿、方解石、磷灰石、辉石、金红石、磁铁矿和钙镁硅酸盐等矿物。石墨晶体垂直于矿壁生长，晶粒粗大，质地优良，是极好的坩埚材料。这类矿床较少见，以斯里兰卡石墨矿床最为典型。我国这类矿床往往与区域变质石墨矿床伴生。

根据储量划分的各类型石墨矿床的规模，如表

石墨矿床规模 表 2-1

矿 床 规 模			矿 石 储 量 (万吨)
巨	大	型	>5000
大		型	1000~5000
中		型	100~1000
小		型	<100

2-1所示。

第二节 石 墨 矿 石

一、石墨矿石类型

石墨的工艺特性，主要决定于它的结晶形态。结晶形态不同的石墨，其工业价值和用途及其选矿方法都不同。工业上根据石墨的结晶形态不同，将石墨矿石分为两类：晶质石墨矿石和隐晶质石墨矿石。

（一）晶质石墨矿石

晶质石墨矿石又可分为致密结晶状石墨矿石和鳞片石墨矿石。

致密结晶状石墨矿石又叫块状石墨矿石，主要由致密结晶石墨和斜长石、石英、透闪石和绿泥石组成。此类石墨结晶明显，晶体肉眼可见，颗粒大于0.1毫米，晶体排列杂乱无章，呈致密结晶状构造。这种石墨矿石的特点是品位高，通常含碳量为60~65%，有时高达80~90%以上，但其可浮性，可塑性和滑腻性都不及鳞片石墨。这种矿石分布较少，以斯里兰卡所产的石墨为典型。

鳞片石墨矿石，主要由鳞片状石墨、长石、石英、透辉石、透闪石和云母等矿物组成。该石墨呈鳞片状或叶片状，并有大鳞片和细鳞片之分。我国的南墅、兴和、柳毛等石墨矿均属此类型。此类石墨矿石的特点是品位不高，一般3~5%或10~25%之间，但可浮性好，是目前自然界中可浮性最好的矿物之一。其可塑性及滑腻性均较其它类型的石墨优越，技术性能较好。

（二）隐晶质石墨矿石

该石墨主要由隐晶质石墨、绢云母、石英、黄铁矿、方解石、褐铁矿、粘土等矿物组成。

隐晶质石墨又称土状石墨，石墨晶体较小，一般小于一微米，是微晶的集合体，只有在电子显微镜下才能见到晶形。这类矿石的特点是表面呈土状，缺乏光泽，润滑性也差，但矿石品位较高，一般60~80%，少数高达90%以上，可浮性较差，浮选只能起到初步富集作用，通常将精矿和尾矿都作为产品以不同的价格出售。

这类矿石类型，在石墨矿床中占有很大比重，世界总产量一半以上的石墨均来自该类型矿石。朝鲜、奥地利、苏联等国是隐晶质石墨的主要生产者。我国湖南、吉林等地均有开采。

二、石墨矿石的工业要求

鳞片石墨可浮性好，品位在2~3%就可以开采。

隐晶质石墨可选性差，工业上对原矿品位的要求较高，品位小于65%者，一般不予开采，品位在65~80%之间的矿石，经过选别后，可以利用。原矿品位大于80%者，可以直接利用，通常将石墨磨细，然后出售。

目前，我国石墨矿石的一般工业要求如表 2-2 所示。矿石中的有害杂质，随工业用途而异，通常，应对矿石中的

石墨矿石的工业要求 表 2-2

矿石类型	品 位 （固定碳）			可采厚度(米)		夹石剔除厚度 (米)
	边界品位 (%)	贫矿品位 (%)	富矿品位 (%)	倾 角 <45°	倾 角 >45°	
晶质石墨	2.5	3~5	≥ 5	1	1	1
隐晶质石墨	60	65~80	≥80	0.4~0.5	0.6	0.2~0.05

磷、二氧化碳、灰分、铁、铅、锌、铜等的含量进行测定。同时对石墨的结晶形态、晶体大小、导电性等应进行研究，以便确定选矿方法及其用途。

第三节 石 墨 资 源 分 布

世界石墨矿床分布较广，多集中在亚洲、非洲、欧洲，除少数国家有大型矿床外，其它国家多属中小型。国外生产天然石墨较多的国家有，苏联、朝鲜、马达加斯加、斯里兰卡、奥地利、墨西哥、捷克、挪威、巴西等国。

亚洲最大的石墨矿床在朝鲜，但斯里兰卡的矿床也很重要，以质量优良闻名于世。欧洲主要的石墨矿床在苏联、奥地利及其边陲的西德、捷克斯洛伐克、意大利等国。非洲主要的石墨矿在马达加斯加，其次是肯尼亚和坦桑尼亚。

苏联是世界上石墨储量和产量最多的国家之一。第二次世界大战前，苏联石墨产量占世界石墨总产量的40%以上。鳞片石墨主要分布在乌克兰结晶岩带的克什提姆——穆尔津片麻岩中，查瓦里耶、彼得洛夫斯克、普里阿莫尔省的索尤兹诺耶以及乌拉尔的泰金，穆尔津都有大鳞片石墨矿床。其中以查瓦里耶为最大。东部边境的波托果尔也是世界较大的致密结晶状石墨产地。库列依斯克和诺金斯克石墨矿床品位高达96%以上，但因离消费地较远，故而影响其使用价值。

朝鲜是天然石墨的主要产地之一，资源丰富，分布较广。朝鲜南半部生产规模较大，隐晶质石墨的产量占世界总产量的一半以上，其中多为煤和石墨的过渡产物，品位较高，手选后可达85~90%以上。另外还有一些晶质石墨，品位约为13%。