



石 墨

南 墅 石 墨 矿

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

56.57318
390

石 墨

南 墅 石 墨 矿

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

石墨是一种非金属材料，具有耐高温、导热、导电、润滑、可塑和抗腐蚀等优良性能，广泛的用于冶金、机械、化工、电气、原子能及国防等工业部门。

本书主要介绍石墨的性质、用途和有关地质、开采、选矿、提纯以及粉碎加工等方面的生产知识，供从事石墨生产的工人、干部、技术人员及应用石墨的部门有关人员阅读。

石 墨

南 墅 石 墨 矿

*

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：3 5/8 字数：78千字

1975年10月第一版 1975年10月第一次印刷

印数：1—8,330册 定价：0.28元

统一书号：15040·3252

前 言

石墨是碳的结晶体，具有耐高温、导热、导电、润滑、可塑和抗腐蚀等性能。

石墨作为工业材料应用已有近 150 年的历史，由于其性能优良，应用很广泛。用其作为耐火性的导电材料，可制成电极、电刷、电弧碳极等；利用其化学稳定性，可以单质或复合体的形式作耐腐蚀材料；利用其固体润滑性作机械传动材料；利用其耐高温性能作窑业材料；用作原子反应堆的减速剂和防射线材料以及火箭、导弹的隔热材料等。

我国石墨资源丰富。在党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线指引下，石墨工业正在蓬勃发展，采矿、选矿及制品加工的技术水平不断提高。无产阶级文化大革命以来，石墨战线的广大职工遵照毛主席“开发矿业”的伟大教导，大搞技术革新，使石墨和石墨制品的产量有很大提高，质量达到世界先进水平。

为了适应石墨生产发展的需要，我们根据自己在生产和试验中的一些体会，学习有关单位的经验，编写了这本小册子，供从事石墨生产的工人、干部、技术人员以及应用石墨的部门有关人员阅读。

由于我们水平有限，缺点错误之处，希广大读者批评指正。

作 者

1975 年 1 月

31830

毛主席语录

开发矿业

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 录

第一章 石墨的性质和用途	1
第一节 石墨的性质	1
第二节 石墨的用途	4
第二章 石墨矿床地质	8
第一节 石墨的鉴定方法	8
第二节 石墨矿石类型	9
第三节 石墨矿床成因类型	13
第四节 鳞片石墨矿床的成矿规律及找矿标志	15
第三章 石墨矿床的露天开采	20
第一节 石墨矿床露天开采的类型	20
第二节 露天开采阶段工作面要素	21
第三节 石墨矿体露天开拓	25
第四节 石墨矿床露天开采生产工艺	30
第五节 露天矿坑的防水及排水	40
第六节 在采矿过程中应注意的几个问题	41
第四章 石墨矿石的选矿及提纯	44
第一节 石墨矿石的选矿	44
第二节 石墨选矿厂主要设备	57
第三节 石墨选矿的操作	76
第四节 石墨的提纯	81
第五节 石墨的粉碎加工	87
第六节 石墨制品工艺简介	104
第五章 石墨产品的检验	108

第一章 石墨的性质和用途

第一节 石墨的性质

石墨，色泽银灰，具有金属光泽。质软，用手指甲即可划出痕迹。富滑腻感，能污染纸张。比重 $2.1\sim 2.3$ ，莫氏硬度为1，熔点在 $3,000^{\circ}\text{C}$ 以上。

石墨是碳的结晶体，属六方晶系，具有层状解理面。每层间距为 $3.35\text{ \AA}$ ①，同一层中碳原子的间距为 $1.42\text{ \AA}$ 。见图1-1。

石墨具层状结构，其同一平面内原子间的键较平面之间的键稳固，而平面之间比同一平面内原子间的结构力弱。因此，石墨具有断裂性和可压缩性。

石墨的特殊原子结构，使其具有如下优良的特性：

一、耐高温

石墨是目前已知的、最耐高温的轻质材料之一。在 $7,000^{\circ}\text{C}$ 的超高温电弧下加热10秒钟，石墨的重量损失为0.8%，而碳化硅（ SiC ）的重量损失 $1.7\sim 6.3\%$ ，高铝刚玉

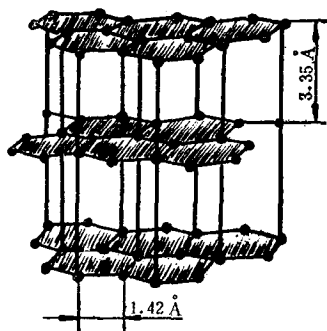


图 1-1 石墨晶体结构示意图

● $\text{\AA}$ (Angstrom) = 10^{-8} 厘米 (又称埃)

(Al_2O_3) 重量损失6.9~13.7%，莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)重量损失8.2%，最耐高温的金属锆(Zr)的重量损失则为12.9%。在一般的耐高温材料中，石墨的损失量是最小的。

石墨的耐高温性能和一般材料不同，当温度升高后，不但不熔软，强度反而增高。在 $2,500^\circ\text{C}$ 的高温下，一般材料早已熔化或变成气体，而石墨的抗拉强度反而比室温时提高一倍。

石墨之所以能耐高温，除因石墨本身的晶体结构特殊和热膨胀系数低之外，还由于它具有良好的吸热性能。其吸热性能仅次于耐高温的增强酚醛塑料，大于金属铍(Be)。每公斤增强酚醛塑料可吸收热量20,000~22,000千卡，每公斤石墨吸收的热量为16,500千卡，而每公斤金属铍(Be)只吸收9,700千卡的热量。

二、特殊的抗热震性能

在耐高温的金属、非金属和陶瓷中，石墨的抗热震性能是很突出的。在温度骤变的情况下，石墨体积变化不大。对几种耐高温材料的测定结果是，当温度升高华氏一度时，氧化铍(BeO)的热膨胀系数为 5.2×10^{-6} ，碳化钛(TiC)的热膨胀系数为 4.1×10^{-6} ，锆(Zr)的热膨胀系数是 2.2×10^{-6} ，而石墨的热膨胀系数只是 1.2×10^{-6} 。石墨的热膨胀系数低，因而具有良好的热稳定性，因此，石墨能抵抗急冷急热的变化，在温度剧烈变化时，不会产生裂纹。

三、导热和导电性

石墨虽属非金属材料，但具有金属的某些性能。最值得提出的是导电和导热性能。石墨的导电、导热性能不亚于金属，它比不锈钢大4倍，比碳素钢大2倍，比铝大3~3.5倍，比其它非金属约大100倍左右。

石墨的导热性能和一般金属材料不同。一般金属的导热系数随温度的升高而增大，石墨则相反，在室温下具有非常高的导热系数，但温度升高后，导热系数反而下降，在极高的温度下，石墨则趋向于绝缘。

石墨具有优良的导电导热性能，主要是因为石墨晶体中存在着容易运动的电子。这种运动的电子能传送电流。

四、润滑性

石墨的润滑性类似于二硫化钼和四氟乙烯，摩擦系数在润滑介质中小于0.1。石墨的润滑性随鳞片的大小而改变。鳞片越大，摩擦系数越小，润滑性越好。因此，鳞片石墨的润滑性最好，致密结晶状石墨次之，隐晶质石墨较差。

五、可塑性

石墨具有可塑性。可软可硬，软时可展成薄片，薄至0.2微米时能透光透气；高强石墨却很硬，甚至金刚石工具都几乎无法加工。

石墨有粘附固体表面的能力，当用石墨涂抹固体表面时，能形成附着薄膜，尤其是当石墨颗粒小到 $5\sim 10\mu$ 时，其粘附力更高。因此，可压制成任何复杂形状，并可车、钻、刨、锯，还可以用胶结剂胶结。

六、化学稳定性

石墨在常温下具有很好的化学稳定性，不受任何强酸、强碱及有机溶剂的侵蚀。但高温时却非常活泼，在 500°C 开始氧化， 700°C 时竟耐不住高温水蒸汽的侵蚀，到 900°C 连不大活跃的 CO_2 气体也对它有侵蚀作用。

石墨的这种化学侵蚀现象，通常被称为“剥片侵蚀现象”。石墨的这种特殊性能，是由于物质可以渗入石墨分子层的空间所致。所以“剥片侵蚀现象”多是在石墨的片层之

间发生。如果将石墨于 420°C 的温度下长时间地放在氟气流中，则生成灰色的固体产物 CF ，其比重 2.4，不导电、不与酸、碱的水溶液起反应。如果将石墨与硝酸、硫酸、过氯酸等强氧化剂在高温下作用时，则石墨体积将膨胀。如石墨与浓硫酸（在小量强氧化剂的存在下）混合，加热至 $800\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ ，能生成蓝色的石墨酸（ $\text{C}_6\cdot\text{H}_2\text{SO}_4$ ），体积将迅速膨胀 26 倍。

第二节 石墨的用途

石墨作为工业材料应用约有 150 年的历史。在原子能工业的发展过程中，人们发现石墨是原子能工业的优良减速剂，因此，石墨的用途就进入了一个新的阶段。随着我国工业的迅速发展，石墨的应用不但日益广泛，目前还作为新的高效能材料正日益扩大其应用范围。石墨主要用于以下几个方面：

（一）在冶金工业上主要用于制造石墨坩埚，冶炼有色金属和特种钢。制造坩埚所用的石墨为鳞片状石墨，一般均采用 $0.18\sim 0.3$ 毫米，即 80 目和 50 目石墨。这是因为鳞片越大，强度越高，耐温性能越好，坩埚的使用寿命长。

此外，在电炉炼钢工业中，石墨被广泛用于渗碳和钢锭模的涂复剂；在铸造工业上，石墨又被大量用作铸模涂料和防锈涂料。

（二）在机械工业中石墨常被用作机械润滑剂。石墨润滑剂的品种很多，常见的有水剂、硅剂、粉剂胶体石墨和矿物油及植物油的各种油剂胶体石墨以及润滑脂。水剂胶体石墨是难熔金属钨、钼拉丝及金属压延的重要润滑剂，油剂胶

体石墨是玻璃器皿制造和航空、轮船、高速运转机械的润滑剂。硅剂胶体石墨又是现代电子工业示波管和高真空阴极射线管内外部的涂覆剂。粉剂胶体石墨则是染料、火药的研磨剂。

石墨与石棉纤维或植物纤维合在一起，可制成密封的盘根和充填制品，又可与金属制成无油润滑轴承以及石墨密封圈，广泛用于深井水泵以及用作航空、轮船、车辆、汽缸等机械传动润滑剂。

除此，在纺织机械和食品机械制造中，由于不能使用液体润滑剂，而往往采用石墨作润滑剂。

用作润滑剂的石墨，要求纯度高，粒度细。一般含碳应在99%以上，粒度在2~10微米。

（三）石墨在电气工业上的用途特别广泛，主要被用做制造各种电碳制品件。包括电弧炉、电解用的电极石墨，发电机、电动机及整流、集电用的电刷石墨，原电池和碱性蓄电池用的电池石墨以及电影机、探照灯发光用的电灯碳棒和焊接发热用的碳精棒，电滤器和电炉用碳管等。

近几年来，石墨在电气工业上还被制成特殊碳素制品，应用在通讯器材如作电话机零件，水银整流器的阴极以及集电插板、轴承垫圈、无感电阻传导涂覆剂和电接触器的充填剂等。

电气工业上所用的石墨，质量要求较高，粒度控制也很严格。一般要求含碳90%以上，碱性蓄电池和特殊电碳制品件则要求含碳99%以上。粒度控制在150目(0.1毫米)、200目(0.075毫米)和325目(0.042毫米)的范围。有害杂质主要是制品中的金属铁，应控制在1%以下。

（四）石墨是化学工业的优良耐腐蚀材料。由于石墨具

有良好的化学稳定性，能抗酸、碱、盐、有机溶剂的腐蚀，因此，被制成各种类型的石墨热交换器、石墨耐腐蚀管材、管件、阀门及衬砌块材等。而广泛的应用在造纸等工业部门，石墨被用作蒸煮锅、酸洗槽、压热器的衬里和输送氨气及氯化氢气的耐腐蚀管材及石墨热交换管材等方面。

应用在化学工业上的主要石墨制品是不透性石墨。这种不透性石墨制品，除具有化学稳定性耐腐蚀性能外，同时具有良好的热稳定性，在温度骤变的情况下，能保持体积不变形、不裂纹。导热系数高，传热效果好。其导热性能仅次于铜、铝，比不锈钢大5倍。质轻易加工、成型、密度高，对气体和液体的渗透性很小，不污染介质，不结垢，纯度高。

不透性石墨在制造高纯度化学物品中，起了很大作用，而且节约了大量的不锈钢材和贵重的有色金属合金。近几年来石墨与纤维合在一起制成的石墨纤维布和多孔质碳素，已被有效地用作化学液体及气体的过滤和作吸附剂。

（五）石墨在民用工业中的用途广泛，含碳95%以上，细度10微米以下的鳞片石墨是制造高级铅笔的重要原料。

在玻璃和造纸工业中，石墨被用作磨光剂和防锈剂。石墨涂料涂在金属烟囱、屋顶、桥梁、管道上可作防腐剂。此外，在染料工业中，石墨又是颜料、黑色复写纸、黑色印油及黑色油漆的主要原料。

（六）在原子能技术和国防工业中，石墨有着特殊的用途。石墨被用作原子反应堆中的减速剂和防射线材料。在国防工业中，石墨又被用作火箭、导弹的隔热和耐热材料。国外采用高强石墨制作火箭发动机的喷嘴。这种喷嘴，可承受2,700°C的瞬时高温。

近几年来，我国的石墨生产及其制品工业在党的社会主

义建设总路线的指引下，有了很大的发展。高纯石墨棒被大量用于半导体工业中拉单晶硅、多晶硅的加热器和保温罩。石墨盒、石墨环、石墨舟也被用于可控硅烧结工艺上。同时高速运转机械也大量利用高纯石墨制作端面密封环、轴向密封环、石墨活塞环、导向环。除此，高纯石墨片亦成为人造金刚石的主要原料。光谱纯石墨粉又可代替白金坩埚用于化学试剂熔融。

总之，石墨是一种特殊的非金属材料，由于它兼有金属、非金属以及有机塑料许多优良的性能，已在冶金、机械、电气、化工、纺织、原子能等工业部门获得广泛应用。

第二章 石墨矿床地质

第一节 石墨的鉴定方法

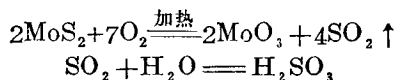
石墨是一种非金属矿物。它常与石英、长石等共生，组成含石墨的岩石。含石墨的岩石在质量上达到了现代工业所能利用的程度时，就叫做石墨矿石。

在自然界中，纯粹的石墨极少单体存在，一般都以石墨片岩、石墨片麻岩、含石墨砂卡岩以及变质页岩等矿石产出。石墨含量一般为3~30%，脉石矿物通常为石英、长石、云母、方解石、角闪石、黄铁矿等，也往往伴生其他有用矿物可供综合回收。

石墨鉴别的最普通方法是利用石墨在纸张上刻划能留下银灰色条痕，或用指甲摩擦时能在指甲上生成镜面。这是一种较简便可靠的方法，但自然界中有一些矿物很象石墨，如辉钼矿（ MoS_2 ）、铁云母（又称镜铁矿 Fe_2O_3 ）、黑云母 $[\text{K}(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_3 (\text{AlSi}_3\text{O}_{10}) (\text{OH})_2]$ 等。区别它们，还必须采用物理的和化学的方法。

一、石墨与辉钼矿的鉴别

这两种矿物在低温加热时，石墨不起任何变化，而辉钼矿则能分解，析出白色三氧化钼的薄层以及逸出二氧化硫气体。将逸出的气体导入水中，则生成亚硫酸。



二、石墨与铁云母的鉴别

将两种矿物在条痕板上进行条痕比较,石墨为银灰色条痕,而铁云母是赤色条痕。另外在硝酸、盐酸溶液中低温加热,在长时间作用下石墨不发生变化,而铁云母则逐渐溶解。

三、石墨与黑云母的鉴别

石墨在常温下,不受任何强酸强碱侵蚀,而黑云母能被浓硫酸所分解,析出二氧化硅,同时铝、铁、镁、钾等元素的氧化物在溶液中沉淀。

上述鉴别方法仅适用于野外找矿时辨认石墨矿物。在生产石墨的企业中,须采用化学分析方法评价石墨矿石的质量,石墨矿石中有益成分为固定碳,铁和硫为有害杂质,确定它们的含量,并以此作为石墨矿石质量评价的依据。

石墨矿石的质量要求,如下表:

石 墨 矿 石 品 位 要 求

表 2-1

品 级	晶 质 石 墨	土 状 石 墨
一 级 品	固 定 碳 $\geq 5\%$	固 定 碳 $\geq 80\%$
二 级 品	固 定 碳 $\geq 3\%$	固 定 碳 $\geq 65\%$

第二节 石 墨 矿 石 类 型

一、石墨的工业分类

工业上根据石墨的结晶形态分为两类,即晶质石墨和土状石墨。

晶体直径大于一微米的鳞片状和块状石墨称晶质石墨,

矿石质量较好，用途广。但品位较低，工业上需经选矿加工后才能利用。

土状石墨又称隐晶质或非晶质石墨，石墨晶体直径小于一微米，在显微镜下也难以辨认出晶形的致密石墨集合体。矿石品位较高，但可选性较差，目前工业上可在手选后磨成粉末使用，或经简单浮选工序处理后使用。它的工业性能比晶质石墨差。

二、石墨矿石的分类

石墨矿石类型的划分，主要根据矿石中石墨的结晶形态（与工业分类一致）而分成两类，即晶质石墨矿石和土状石墨矿石。

（一）晶质石墨矿石特征

晶质石墨矿石中的石墨，按其结晶的形状可分为两种：形状呈颗粒状的叫作致密块状石墨矿石，形状呈鱼鳞状的叫作鳞片状石墨矿石。前者矿石稀少，知名的仅有斯里兰卡和苏联波托果尔两处，这里，对其特征不做介绍。鳞片状石墨矿石，为我国重点石墨资源，介绍如下：

1. 鳞片石墨矿石类型

鳞片石墨矿石多产于片麻岩、片岩、结晶石灰岩以及矽卡岩中。组成矿物以石墨、斜长石、石英、透辉石、透闪石为主，其次尚有云母、绿泥石、黄铁矿、方解石等。石墨为晶质鳞片状，鳞片一般2~3毫米，最大达5毫米。

矿石一般呈青灰色，风化后呈黄褐色或灰白色。细粒至中粒，鳞片花岗变晶结构、粒状变晶结构、纤维鳞片变晶结构等。片麻状构造和浸染状构造。矿石多受强烈混合岩化作用，由于长石、石英质的加入，往往使矿石品位降低。

工业上一般又以鳞片石墨矿石的产出形态，将其划分为

片麻岩型及石墨矿脉。也可按矿石的成分分类，如长石、石英质矿物占总量65~85%者称长石、石英型；透辉（闪）石含量占20~30%者称透辉（闪）石型。在生产中也有按矿石颜色分类的，如将地表风化矿称黄矿石，地下原生矿称青矿石，对个别绿泥石化较重的称绿矿石等。

2. 鳞片石墨的矿物组成

晶质鳞片状石墨矿石中共生矿物多达20余种，其中主要有石墨、长石、石英、透闪石、透辉石等，含量较稳定。其次有蛇纹石、黑云母、绢云母、绿泥石、绿帘石、石榴石等，含量变化较大。副矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、磷灰石、锆石、榍石、金红石、褐铁矿等，含量变化极大。其中：

石墨：黑色或钢灰色，鳞片状或叶片状，主要赋存在长石、石英或透辉石、透闪石颗粒间，具明显的定向排列，与层面方向一致。石墨鳞片一般为 $1.0\sim 2.0\times 0.5\sim 1.0$ 毫米，片厚 $0.02\sim 0.05$ 毫米。最大鳞片可达4~5毫米，最小为 $0.5\sim 1.0\times 0.25\sim 0.5$ 毫米，为矿石中主要矿物。石墨含量一般为3~10%，个别可达20%。

石英：白色，半透明。粒状，少数呈细脉状。前者为原生变质矿物，后者为后期岩浆岩侵入的脉体矿物。石英含量不均，一般为5~35%。

长石：白色或肉红色，粒状或短柱状。酸性斜长石表面多绢云母化、黝帘石化，含量为5~10%。微斜长石为粒状，具格子状双晶，为斜长石变质而来，含量5~40%。长石多系原生变质矿物，仅有少数为混合岩化后期侵入的脉体。

透辉石：白色或淡绿色，柱状或短柱状，有时是颗粒状，含量变化不均，在不同类型矿石内含量不同。