

石棉

金州石棉矿

877

中国建筑工业出版社

石棉是一种非金属矿物，具有耐高温、绝热、绝缘、防腐等优良性能，广泛用于冶金、机械、化工、交通、电气、建筑、国防以及原子能工业等部门。

本书简要介绍石棉的性质、用途和有关石棉矿床地质、采矿、选矿等方面的生产知识，供从事石棉生产的工人、干部、技术人员以及石棉使用部门有关人员阅读。

* * *

本书由金州石棉矿梁永辉、张玉震和周秉坤执笔，并经金宗哲、古阶祥、沈文华、韩嗣昌、赵桂芝等同志审阅和修改。

石 棉 金 州 石 棉 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：81 千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷

印数：1— 5,530 册 定价：0.25 元

统一书号：15040·3455

毛主席语录

开发矿业

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

第一章 石棉的性能和用途	1
第一节 石棉的主要性能	1
第二节 石棉的用途	5
第二章 石棉矿床地质	10
第一节 石棉的分类	10
第二节 石棉的工业要求	14
第三节 石棉的棉脉类型	20
第四节 石棉矿床类型	24
第五节 石棉的成因	26
第六节 石棉的找矿、勘探及综合评价	29
第三章 石棉矿床的露天开采	31
第一节 露天矿床开拓	31
第二节 露天采矿工程要素	34
第三节 露天开采生产工艺	35
第四节 露天矿的防水和排水	40
第五节 露天矿的损失、贫化及两级矿量	41
第四章 石棉矿床的地下开采	43
第一节 矿床开拓	43
第二节 井巷掘进	48
第三节 井巷支护	52
第四节 采矿方法	55
第五节 运输提升	64
第六节 矿井通风	69

第七节 矿井防水与排水·····	71
第五章 石棉选矿·····	73
第一节 概述·····	73
第二节 石棉选矿的准备作业·····	75
第三节 石棉矿石的分选作业·····	82
第四节 石棉产品的品级标准与检验·····	103
第五节 石棉选矿厂的除尘·····	106

第一章 石棉的性能和用途

第一节 石棉的主要性能

石棉是一种具有纤维结构，可以劈分成极细而又柔韧的纤维矿物的总称。按其矿物成分和化学成分的不同，可以分为蛇纹石石棉和角闪石石棉两大类。不同种类的石棉，其物理化学性能是不相同的。一般来说，蛇纹石石棉纤维的劈分性、柔韧性、机械强度、耐热性和绝缘性均比较好。而角闪石石棉类则以较高的耐酸性、耐碱性和防腐性为其突出特点，尤其是蓝石棉（角闪石石棉的一种）的过滤性能具有防化学毒物和净化被放射性物质污染的空气等重要特性。

一、石棉的主要物理特性

（一）石棉的纤维性

石棉能够劈分成柔韧微细的纤维，是由其结晶构造所决定的，电子显微镜下观察，石棉是由无数彼此平行的微细管状纤维集合体组成。

石棉纤维的长度是评价石棉质量的重要标志之一，纤维越长，其使用价值越高。不同种类的石棉中，纤维的长度是不相同的，一般为几毫米至几十毫米，我国发现的最长石棉为2.18米，是目前世界上最长的石棉。

由于石棉可以劈分为微细的纤维，并且很柔韧，因而石棉可纺成纱、绳、布等制品，在工业中有着重要的用途。

（二）石棉的机械强度

石棉纤维具有较强的抗拉强度，优质的未被破坏的石棉纤维轴向抗拉强度可达 374 公斤/毫米²，而相同断面积的有机纤维仅为 40 至 80 公斤/毫米²，钢丝绳为 213 公斤/毫米²。但是石棉纤维经过数次扭折后，其抗拉强度显著下降。所以，在石棉生产工艺过程中应当尽量保持石棉的原有结构，力求减低其形变程度，以保持其优良特性。

（三）石棉的耐热性

石棉纤维具有良好的耐热性能。

石棉纤维中含有两种水，一种是吸附水，存在于石棉的表面；另一种是结构水，存在于石棉晶体构造之中。石棉受到灼烧，当结构水逸出时，石棉纤维机械强度就受到破坏。因此，通常以失去结构水的温度为石棉纤维的耐热度。温度在 400~500℃ 时，石棉纤维中的吸附水全部析出，这时机械强度有所降低，但在该温度下逐渐冷却时，石棉纤维又可以恢复原来的机械强度。加热至 600~700℃ 时，石棉纤维中的结构水析出，纤维结构被破坏，失去原有的物理特性，使石棉纤维变脆，甚至轻轻揉搓即成粉末。当温度降低后，石棉的强度不再恢复。

在各种石棉中，直闪石石棉的耐热性能最强，在温度 900℃ 时，其物理化学性能仍保持不变，为良好的保温绝热材料。

（四）石棉的导热性能

石棉纤维的导热性能很低，导热系数很小，我国石棉纤维导热系数一般为 0.104~0.260 千卡/米·时·度。仅为钢材的百分之一左右，为热的不良导体，这是由于石棉纤维间具有空隙的原故。

块状石棉纤维的导热性能与纤维的方向有关，平行纤维

延长方向的导热系数约为垂直方向的 1.5 倍。石棉纤维的导热性能亦和纤维的松散程度有关，松散后的石棉纤维，因其间隙中含有大量的空气，使之导热性能大大降低，仅为原来的六分之一左右。此外，石棉的导热系数与温度也有关系，它随着温度的增高而增大。

（五）石棉的导电性

石棉的导电性能很低。根据测定蛇纹石石棉的表面电阻率为 8.2×10^7 至 1.24×10^{10} 欧姆·厘米，体积电阻率为 1.9×10^8 至 4.79×10^9 欧姆·厘米。石棉导电性能取决于石棉纤维中的磁铁矿和氧化铁等杂质的含量及其存在形式，如果铁的氧化物是以细颗粒或以类质同象存在于石棉纤维中，则会使石棉的导电性能增高。

一般碳酸盐岩型石棉矿床中的石棉纤维电绝缘性能较好，其原因是这类石棉纤维中含铁的共生矿物较少。超基性岩型石棉矿床中的石棉纤维，由于含有磁铁矿和赤铁矿，因此其导电性能较高。

（六）石棉的吸附性

物体表面吸取周围介质中其他物质分子的过程称为吸附作用。石棉纤维与其他物质一样，其表面能吸附周围介质的分子。吸附能力大小，主要取决于物质的单位表面积大小。由于石棉是一种几乎可以“无限”劈分成微细纤维的物质，所以其单位表面积值可以很大（纤维直径由 1 毫米劈分到 0.005 毫米时，则纤维总面积值增加约 200 倍）。

石棉纤维单位表面积值一般超过其它物质的数十倍。因此，石棉有较强的吸附能力，能从空气中吸附大量的水蒸汽。石棉纤维与水泥掺合在一起，制作石棉水泥制品时，能吸附大量的溶液，其水化作用很强，故很容易制成石棉水泥

制品，并使之迅速硬化。

二、石棉的化学性质

各种石棉的化学性质是不相同的。蛇纹石石棉耐碱性能较好，几乎不受碱类（甚至是强碱）的腐蚀；但其耐酸性较差，即使是很弱的有机酸（如醋酸）也可以将石棉中的氧化镁析出，从而使石棉纤维的机械强度显著下降。

相反，角闪石石棉类的耐酸与耐碱性能以及防腐性能很强，即使在强酸、强碱中，它的损失量也是很小的。

石棉的耐酸、耐碱性能，一般是用石棉在酸、碱中的损失量来表示。我国几个石棉矿所产的蛇纹石石棉，在相同条件下，其酸失量❶与碱失量❷见表1-1：

蛇纹石石棉纤维的酸、碱失量 表 1-1

矿床名称	酸失量(%)	碱失量(%)	备 注
四川某石棉矿	53.48~92.10	2.76~17.75	
青海某石棉矿	53.93~59.22	2.63~5.63	
辽宁某石棉矿	58.04~58.56	6.55~12.02	
河北某石棉矿	25.41~58.56	24.10~34.68	

角闪石石棉类的耐酸性能大大地超过了蛇纹石石棉类。而石棉中抗酸性能最强的是青石棉，其次是铁石棉。在沸腾情况下各类石棉的耐酸性能相差更大，温石棉在酸中沸腾2小时，其损失达57%；铁石棉在酸中沸腾14小时，损失仅为

❶ 酸失量是将石棉纤维试样置于浓HCl(比重1.19)中煮沸四小时，然后洗净烘至恒重，称其损失量。
❷ 碱失量是将石棉纤维试样置于24%浓度的NaOH中煮沸5小时，然后洗净烘至恒重，称其损失量。

4%，青石棉40个小时则为18%，青石棉可以满足在强酸沸腾条件下制作特殊制品的要求。

第二节 石棉的用途

一、石棉的使用历史

在公元前，人们就已经知道利用石棉制成石棉绳、布等。我国古代，列子书中提到“火浣之布，浣之必投于火，布则火色，垢则布色，出火而振之，皓然疑雪乎”。元史上也有记载：“石绒织为布，火不能烧”。1676年我国商人在英国伦敦皇家协会年会上展出的一块石棉纤维织成的手帕，也就是古代所谓的“浣火布”。

在外国的历史中，也有关于利用石棉的记载，希腊著名的雕刻家奉命在雅典神象足前雕刻神灯一盏，灯光要永远不熄，它的灯芯就是用石棉纤维捻成的。

十八世纪后，石棉工业有了一定的发展。到十九世纪七十年代，石棉的应用跨入了工业生产时期。目前，石棉已成为现代工业和国防上不可缺少的一种重要非金属矿物原料。

二、石棉的工业用途

由于石棉具有前述种种优良物理性能与化学性能，所以在现代工业中被广泛地应用，目前，石棉制品已达三千种，为二十多个工业部门所应用。石棉制品概括起来可分七大类，见表1-2。

（一）石棉水泥制品

石棉水泥制品种类较多，主要有：石棉水泥管，石棉水泥瓦，石棉水泥板等，它们的石棉用量最大，占总消耗量的70%左右。

石棉制品及其用途

表 1-2

序号	类别	制品名称	所用石棉		主要用途
			种类	等级	
I	石棉水泥制品	石棉水泥管、瓦、板等	温石棉	3~6	建筑、电工材料
II	石棉纺织品	石棉纱、线、绳、布	温石棉	1~3	传动、制动、盘根、电解槽布
		石棉手套、鞋、罩衣、帽罩	温石棉	块 1~3	高温、防腐劳保用品
		蓝、青石棉盘根、布	蓝、青石棉	长纤维	耐酸碱、防腐材料
III	石棉保温	各种石棉绳、盘、根、石棉泥等	温石棉	2~7	保温绝热材料、绝缘材料、热塞材料
	绝热制品		铁石棉		
IV	石棉传动、制动制品	橡胶、塑料石棉制动带、离合器片	温石棉	块 1~3	汽车、拖拉机、飞机等传动、制动材料
V	石棉电工材料制品	石棉水泥防弧罩、石棉带	温石棉	3~5	电工材料
VI	石棉沥青制品	石棉沥青砖、毡、漆等	温石棉	5~7	建筑、公路、绝缘、防潮材料
VII	石棉增强塑料制品	石棉陶瓷纤维复合材料、石棉石墨复合材料、石棉金属复合材料、石棉尼龙复合材料	温石棉		火箭、卫星、导弹等的耐热、绝热材料

这些制品的共同特点是：比重和容重小，耐火度较高，导热性能低，导电率低，机械强度高，耐腐蚀性能好，加工

性能好等特点。

石棉水泥管可以作为自来水管，农用深井管，煤气管，下水道管，烟道，油管，通风管以及地下电缆的保护管等；不仅可以代替大量钢材，还可以延长管的使用寿命，节省电力。石棉水泥瓦、石棉水泥板主要用于各种建筑物的屋顶板。

（二）石棉纺织品

石棉和其他有机、无机纤维一样，可以纺织成各种规格的石棉纱，线，然后织成绳、布、带等作为原料或半成品，再进一步制成各种石棉制品。主要有：

1. 石棉布

石棉布除主要用于制造各种耐热、防腐、耐酸、碱等材料外，还用来作为化工的过滤材料，电解槽上的隔膜布，以及锅炉、气包、机件的隔热保温材料。在特殊场所用它作防火幕。凡高温作业，均需用石棉衣，石棉靴，石棉手套等劳动保护用品。

2. 石棉绳及盘根

主要用于包扎蒸汽导管的保温绝热材料，也是化学、炼钢、发电机械等工业以及汽车、火车、船舶，蒸馏釜、干燥炉等隔热、绝缘、密封和衬垫材料。

（三）石棉保温绝热制品

蒸汽锅炉外壁和导管上用石棉作为保温层，可以提高锅炉效率，降低热能消耗，节省燃料，同时也起隔热作用。对于冷藏设施，采用石棉隔热可以提高冷藏效果。对车辆、船舶等交通工具的锅炉室进行隔热，可以降低车厢或船仓的温度。

（四）石棉传动、制动制品

1. 石棉制动带

石棉制动带用于各种汽车、拖拉机、坦克、船舶、飞

机以及升降设备上。

石棉制动衬带大体上可以分为三种类型：

橡胶制动带：是由石棉铜丝线与橡胶和化学原料混合制成。

化胶制动带：由石棉铜丝线与酚醛塑料配合而成。

反白制动带：石棉纤维不经纺织直接与橡胶和化学原料或酚醛塑料混合制成。

石棉本身耐热与耐磨，它与橡胶和塑料混合制成的制动制品，是为了更好的增加其机械强度和摩擦生热时的稳定性。

2. 石棉离合器片

主要用于汽车，拖拉机和其转动机械的离合装置。

石棉离合器片分为橡胶离合器片，化胶离合器片和反白离合器片三种，其组成成分与石棉制动带相同。

（五）石棉电工材料

利用石棉纤维与酚醛塑料混合而制成的各种电工材料，具有不传电、不导热、对油类和各种溶剂的侵蚀具有极强的抵抗能力，并有很强的抗震击、耐高温的性能。在电气工业上用作高压器材的底板，高压开关把手、电话耳机柄及制作配电盘、配电板、仪表板等。

短纤维石棉与玻璃纤维制作夹芯，生产石棉纸，可作电绝缘材料。

石棉用于制造电绝缘材料时，其中铁杂质的含量不应超过2%。

（六）石棉沥青制品

石棉纤维掺合天然沥青或人造沥青制成的成品叫石棉沥青制品。在沥青中加入石棉纤维是为了提高沥青的软化温

度，增高粘性及降低在低温下的脆性。其主要制品有：薄石棉沥青板，石棉沥青布（油毡）、石棉沥青纸，石棉沥青砖，液体石棉漆。和软性嵌填水泥路面膨胀缝用的油灰等。主要用于高级建筑物的防水、保温、防热、嵌填、绝缘、耐酸、耐碱的材料，是现代建筑工业和交通工业上不可缺少的材料。

（七）石棉增强塑料制品

近年来，石棉制品在国防工业和科学尖端技术上的应用越来越重要。石棉与酚醛树脂、聚丙烯、聚胺酯等塑料粘合在一起，制成石棉增强塑料制品，可以做火箭抗烧蚀材料，飞机的燃料箱，机翼导热管，轰炸机的柔性挡火板，火箭尾喷火管以及气象探空火箭，大型雷达折射望远镜的天线等。

石棉与酚醛树脂层压板，具有散内热的性能，可作导弹头部的防热材料。石棉与陶瓷纤维、玻璃纤维、尼龙纤维的复合材料用于火箭与导弹工业上。如石棉与陶瓷纤维制成的复合材料，用于火箭的燃烧室；石棉与石墨的复合材料用作导弹喷发管喉部和导弹的发动机体的封闭绝缘材料；石棉与金属复合材料，用于高温防护；石棉与玻璃纤维增强的复合材料可用来制造火箭的头锥。

石棉与各种橡胶混合模压之后，可以制作精密填料和密封材料。例如，石棉与氯丁橡胶制成热圈可用作液体火箭发动机的连接件密封垫，具有很好的密封性能。

蓝石棉因其具有特殊的性能，在原子能工业上和原子战争防护方面具有特殊的意义，如防毒面具的气体过滤器、过滤层即为蓝石棉制成。

除上述主要用途外，石棉还应用于涂料、填缝料、油灰、颜料、润滑脂、油井泥浆等方面。

第二章 石棉矿床地质

第一节 石棉的分类

目前工业上广泛应用的石棉，按其矿物成分和化学成分的不同，可分成蛇纹石石棉和角闪石石棉两大类，本书以蛇纹石石棉为重点加以叙述。

一、蛇纹石石棉类

蛇纹石石棉(又称温石棉)，是蛇纹石的纤维状异种，它占世界石棉产量的95%，用途最广，是最重要的一种石棉。

(一) 蛇纹石石棉的物理性质

蛇纹石石棉的颜色较多，它的颜色与含铁离子和其他杂质有关。原始结构没有被破坏的蛇纹石石棉呈深绿、浅绿、淡黄、土黄、灰白、白等色，半透明。外观呈纤维束状，具丝绢光泽或珍珠光泽。硬度顺纤维方向为2，垂直纤维方向为2.5。比重为2.49~2.53。

蛇纹石石棉属单斜晶系，层状构造。在电子显微镜下石棉纤维呈空心细管状，各细管平行排列。折光率为1.53~1.57。在紫外线的照射下有发光现象，标准石棉纤维在紫外线的照射下呈明亮的白色；半易碎的石棉纤维发光暗淡；易碎的石棉纤维不发光。

蛇纹石石棉的pH值为9~10。比热为0.266。其熔点约为1550°C。

(二) 蛇纹石石棉的化学成分

蛇纹石石棉系镁的含水硅酸盐类矿物，其理论化学式为： $H_4Mg_3Si_2O_9$ ，或 $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ，其中 MgO 占 43.46%， SiO_2 占 43.50%， H_2O 占 13.04%。常含有 FeO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MnO 、 Cr_2O_3 、 NiO 等杂质，这些杂质，有些直接进入晶格形成类质同象混合物，有些呈机械混合物分布于纤维之间，因此通常蛇纹石石棉的化学成分总是与上述理论值有出入。蛇纹石石棉的主要成分及各种杂质含量比例的变化，对石棉物理性质有很大的影响，例如氧化镁含量高，纤维较脆， H_2O 含量低，纤维柔软性差等。

由于蛇纹石石棉的成因不同，各地产出的石棉化学成分往往有较大差别。产于超基性岩中的石棉，铁的含量较高，而产于碳酸盐类岩石中的石棉含 CaO 较高，含铁较低。

二、角闪石石棉类

这一类石棉中，根据其矿物成分和化学成分的不相同又可以分为两种。即单斜晶系角闪石石棉与斜方晶系角闪石石棉。它们与蛇纹石石棉的不同在于钠、铁的含量较高，而铝的含量相对较低，结晶水少，石棉的颜色一般较深，比重大，耐酸、碱性能强。

（一）单斜晶系角闪石石棉

1. 蓝石棉包括纤铁蓝闪石石棉 $Na_2Mg_3 \cdot Fe \cdot Si_8O_{22}(OH)_2$ 和镁质钠铁闪石石棉（商品称青石棉） $Na_2Fe_3^+Fe_2^{+3}Si_8O_{22}(OH)_2$ 。

块状的蓝石棉纤维束呈独特的浅蓝、深蓝和紫色，具有丝绸光泽。纤维松解后仍保持原来的颜色。其纤维的机械强度不亚于蛇纹石石棉，是角闪石石棉类最高的一种。比重为 3.2~3.3，熔点为 930~1150°C。

蓝石棉属于单斜晶系，链状构造硅酸盐，有很强的耐酸

碱性能。蓝石棉还具有防化学毒物和净化被放射元素污染的空气等重要特性。

2. 透闪石石棉

是透闪石的纤维状异种，属含水的钙镁硅酸盐，其化学分子式为： $\text{H}_2\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{24}$ 。其中部分镁离子总是被两价的铁离子所置换形成类质同象混合物，根据 FeO 的含量多少来定矿物的名称，当 FeO 含量小于5%时，称为透闪石石棉。

透闪石石棉呈短纤维块状集合体，石棉纤维排列极不规则，常呈放射状。纤维为灰白色或草绿色，丝绢光泽或玻璃光泽。比重为2.85~3.14。纤维短而脆硬，不易劈分，强度很低。熔点为1250°C。

3. 阳起石石棉

是阳起石的纤维状异种，属含水钙镁硅酸盐，其化学分子式为： $\text{Ca}_2[\text{MgFe}^{+2}]_3(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ 。是透闪石石棉的变种。当含 FeO 量大于5%以上时称阳起石石棉。其化学成分与透闪石石棉相似，比重为3.1~3.3，石棉纤维呈蓝绿色或褐色，常呈放射状，短而硬脆，无弹性，劈分性能差，机械强度低，用途很少。

(二) 斜方晶系角闪石石棉

1. 铁石棉

为镁铁闪石的纤维状异种，是一种含铁量很高的含水铁镁硅酸盐，化学分子式为： $\text{H}_4\text{Mg}_5\text{Fe}_{1\frac{1}{2}}^{+2}\text{Fe}_{\frac{1}{2}}^{+3}\text{Al}_2\text{Si}_{25}\text{O}_{84}$ 。铁石棉呈浅灰色、淡褐色、淡绿色，少量的呈白色。比重为2.7，折光率为 $N_g=1.630\sim1.702$ ， $N_p=1.663\sim1.675$ ，纤维一般很长，但较脆。熔点为1000~1200°C。

2. 直闪石石棉

是直闪石的纤维状异种，一种含铁镁较高的含水硅酸