

石棉选矿

石 棉 选 矿

湖北建筑工业学院选矿教研室

金 州 石 棉 矿

• 限 国 内 发 行 •

中国建筑工程出版社

这是一本专门阐述石棉选矿理论与实践的书。书中介绍了我国石棉选矿的生产经验、技术革新、科研成果和国外有关的生产情况和发展动向。

全书共分九章，分别介绍石棉的性质、用途；矿床、矿石，石棉矿石的破碎、筛分、干燥、分选、分级等主要工艺的方法、流程和设备，石棉选矿过程的技术检查，防尘、尾矿处理等内容，供从事石棉选矿的生产、科研、教学人员参考。

石 棉 选 矿

湖北建筑工业学院选矿教研室

金 州 石 棉 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：12 3/16 字数：274 千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷

印数：1—2,030册 定价：0.88元

统一书号：15040·3386

前 言

石棉是若干种矿物的总称。凡在蛇纹石类和角闪石类两大类矿物中能分裂成纤维状的耐火矿物，统称为石棉。

石棉具有纤维性、抗张性、隔热性、绝缘性及耐化学腐蚀性等优良性能，因而在国民经济各部门得到广泛的应用。

我国石棉资源丰富。但在旧社会，石棉工业却很落后。解放后，我国对石棉矿进行了大量的地质勘探、矿山建设、技术改造等工作，使石棉工业有了很大的发展。目前工艺流程日臻完善，许多矿山采用先进设备，基本上实现了机械化，除采用常规的风选系统外，还应用了我国工人阶级发明创造的反流筛分选系统；防尘工作得到加强，劳动条件有了改善；我国石棉产量、质量大大提高，1973年产量为文化大革命前1962年的5.6倍，为解放初期1949年的162倍。

为适应石棉工业蓬勃发展的需要，湖北建筑工业学院和金州石棉矿的工人、技术人员、教员在党委领导下，组成“三结合”编写小组，编写了《石棉选矿》这本书。

在编写中，我们力求比较全面地总结建国以来我国石棉选矿的生产经验、技术革新和科研成果，同时也介绍一些国外石棉选矿的生产情况和发展动向。由于我们思想和业务水平低，书中的错误一定不少，恳请读者批评指正。

本书在编写中，得到有关矿山、设计及研究单位的大力支持和协助。四川石棉矿的蓝悦先师傅为本书编写了“悬臂式风机”部分；四川石棉矿、新康石棉矿、涪源石棉矿、608

矿、朝阳石棉矿、四川非金属矿山设计院、陕西陶瓷非金属矿研究所等单位参加了审稿会或提供了资料，在此一并致谢。

编 者

1976年11月

目 录

第一章 石棉的性质与用途	1
第一节 石棉及其分类	1
第二节 石棉的性质	10
第三节 石棉的用途及制品	18
第二章 石棉矿床和矿石	27
第一节 石棉矿床	27
第二节 石棉矿石	38
第三章 石棉选矿的准备作业	42
第一节 破碎	42
第二节 筛分	54
第三节 干燥与冷却	67
第四章 石棉矿石的分选	92
第一节 矿石的初步富集	93
第二节 石棉纤维的解离	102
第三节 石棉矿石的粗选	128
第四节 石棉粗精矿的精选	212
第五章 石棉选矿工艺流程	230
第一节 矿石准备作业流程	230
第二节 选矿工艺流程	243
第三节 选矿工艺流程实例	259
第四节 长棉选矿工艺流程	274
第六章 石棉选矿厂的技术检查	277
第一节 取样	277

第二节 制样	283
第三节 石棉选矿厂的技术检查	286
第七章 石棉选矿厂的防尘	320
第一节 概述	320
第二节 密闭吸气防尘	324
第三节 集尘设备	332
第四节 集尘系统和集尘管网	352
第八章 石棉选矿的尾矿业务与综合利用	364
第一节 尾矿业务	364
第二节 石棉尾矿的综合利用	368
第九章 角闪石石棉选矿	379

第一章 石棉的性质与用途

第一节 石棉及其分类

石棉是能分裂成纤维状的矿物。按其矿物成分和化学成分不同，可分为蛇纹石类和角闪石类两大类。

一、蛇纹石石棉

蛇纹石石棉即温石棉，矿物学上称为纤维蛇纹石，它的产量占世界石棉总产量的95%，其用途最广，是最重要的一种石棉。

1. 化学成分

温石棉的化学式为 $H_4Mg_3Si_2O_9$ ，系含水的镁硅酸盐，是蛇纹石的纤维状变种。它的化学式亦可改写为 $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ 以体现其结构特征。其中各主要成分的理论含量： MgO 为38.35%， SiO_2 为39.62%， H_2O 为12.02%。此外，还含有少量的铁、铝、钙、镍等元素的氧化物。各地温石棉的化学成分如表1-1。

应该指出，不同矿床，甚至同一矿床不同地段的石棉，其化学分析成分与理论值往往会有不同。

各种混入成分常形成下列矿物：磁铁矿、磁性赤铁矿、铬铁矿、菱镁矿、方解石等，它们在石棉纤维中成为杂质。

研究表明：温石棉的化学成分与其物理、化学性能有一定的关系。其中 MgO 、 CaO 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 H_2O^+ 的含量及其相关关系直接影响到石棉的有关性能： MgO 与 SiO_2 的

蛇纹石石棉化学成分表1-1

产地 氧化物含量 (%)	四川	茫崖	金县	涞源	大安	彭县	苏联 巴热诺夫	加拿大 塞特福德	美国 阿里佐纳	澳大利亚 茹格特
	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿	石棉矿
SiO ₂	36.52	38.88	41.02	32.67	41.19	37.65	42.10	39.62	41.56	41.24
MgO	39.09	38.63	38.60	37.78	38.45	38.52	41.99	39.73	42.05	38.43
Al ₂ O ₃	1.54	1.31	0.35	0.09	0.64	1.66	0.53	0.81	1.27	0.06
Fe ₂ O ₃	3.94	3.17	0.44	0.05	3.10	4.52	1.30	4.52	—	4.56
FeO	0.88	0.05	0.11	0.40	0.44	1.24	0.24	1.90	0.64	—
CaO	1.45	1.27	3.41	4.80	1.77	1.26	微量	微量	—	—
结构水	13.16	13.40	12.46	18.69	9.43	—	12.99	13.32	12.92	15.42
吸附水	1.92	1.32	2.05	1.82	2.54	0.94	1.42	0.43	1.39	—

含量比通常在 0.92~1.07，大于此值，即 MgO 的含量高，说明矿床水镁石化强烈，在强烈的水镁石化石棉中，纤维的耐酸、耐碱性能均差。

SiO₂、MgO、结构水含量正常时，纤维抗拉强度大，弹性好；而 FeO、CaO 的含量高时，则抗拉强度小，弹性差。尤其是 CaO 的含量增高，说明矿床的碳酸盐化强烈，纤维粗硬而脆弱，其抗拉强度与弹性大大降低。

随着 MgO 含量的提高，石棉的耐热性增强，而纤维中的碳酸盐机械夹杂物则不影响其耐热性能。

矿石中的氧化铁将影响纤维的绝缘性能。此外，Fe₂O₃ 含量高时，矿石的比重将偏高。

2. 结晶构造

温石棉晶体属单斜晶系，具有层状构造的硅酸盐。单位晶胞为硅氧四面体，其阴离子根为 [Si₂O₅]²⁻。四面体互相以三个公共顶点连接，组成连续向二度伸长的平面层，状如六方形的面网。见图1-1。

在面网上，每一个硅氧四面体只剩下一个活动性的氧离子，靠这些氧离子与“氢氧镁层”——Mg(OH)₂相结合组成温石棉中的构造层，如图1-2。并且每一构造层与另一构造层彼此与“氢氧镁层”相对。

由于硅氧四面体面网与氢氧镁层面网大小略有不同，连结不完全吻合。前者原子间的距离较小（晶格常数 $a = 5.0$ ，

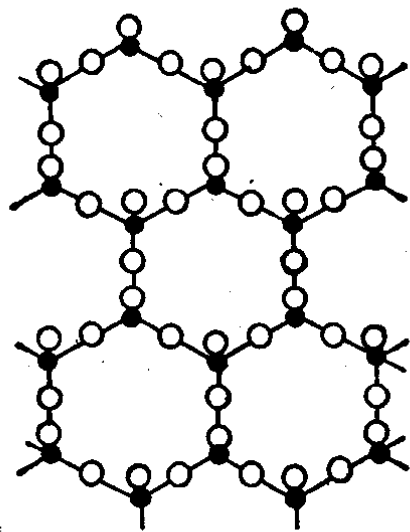


图1-1 层状硅氧四面体群

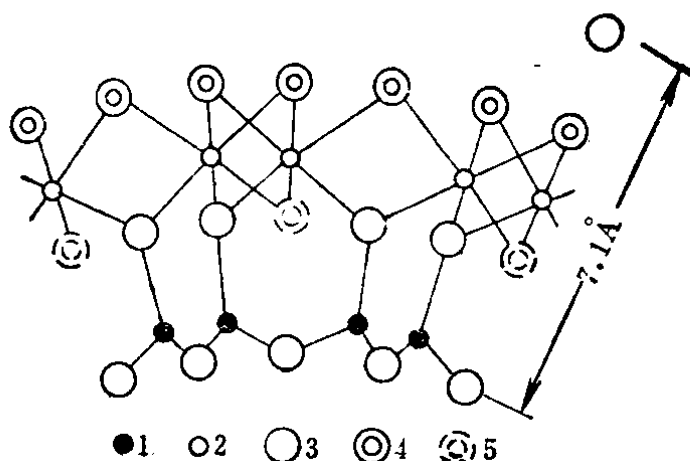


图1-2 温石棉硅氧四面体面网与氢氧镁层面网配合图

1—硅原子；2—镁原子；3—氧离子；4—氢氧离子；
5—另一高度的氢氧离子

$b = 8.7$)，后者较大 ($a = 5.4$, $b = 9.3$)，故纤维在结晶过程中逐渐形成卷曲状。晶体继续生长，进而形成空心筒状，如图1-3。

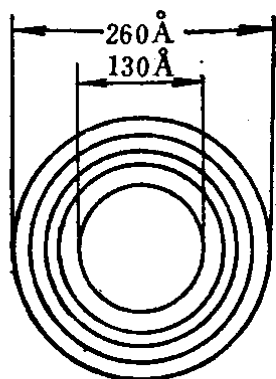


图1-3 石棉纤维的空心筒状

根据测定，空心筒内径为 130 Å，外径为 260 Å

3. 物理性质及鉴定特征

温石棉为白色及带绿的黄色，半透明，丝绢光泽，硬度为 2~2.5（顺纤维方向为 2，垂直纤维方向为 2.5）。为一组解理极完全，可劈分为极细纤维的矿物。比重为 2.49。是非磁性、非导体。具耐火、耐

碱等性能。

由于温石棉具明显的纤维状结构并且耐火，根据这一特征，它与非纤维状或呈纤维状但不耐火的矿物不难进行鉴

定。又因它不耐酸，在酸中溶解度很大，借此可与角闪石类石棉相区别。

二、角闪石石棉

这一类石棉是由钠、铁、钙等成分组成的复杂含水硅酸盐。在化学成分上与温石棉不同之处在其铁含量很高并有相当数量的钠。镁和结构水的含量大大低于温石棉。

它具有以硅氧四面体为基础的双链状晶格。当联结硅氧四面体链的阳离子发生更换时，矿物的种类及光学、物理性质、技术特性随之发生变化：当阳离子以 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 为主时，为直闪石——镁铁闪石石棉（直闪石石棉，铁质镁铁闪石石棉，铁石棉）；以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 为主时，为钙质角闪石石棉（透闪石石棉、阳起石石棉）；当以 Na 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 为主时，则是俗称的蓝石棉。

现将各类角闪石石棉的化学成分列于表1-2。

从表 1-2 可看出，角闪石类石棉中氧化铁含量特别高，氧化镁的含量较低、结构水在 3.5% 以下，因此，其物理化学性质与温石棉大不相同。角闪石石棉比重大（一般为 3.1~3.4），颜色深；而温石棉比重小（一般为 2.4~2.6），颜色浅，一般为白色或绿黄色。温石棉 MgO 的含量高，所以耐酸性能差；角闪石石棉耐酸性强。角闪石石棉含结构水少，所以在灼烧后损失量小，因而在同样高温条件下，角闪石石棉比起温石棉来不易引起结构上的破坏而降低其性能，故它常被用来做高温时的耐酸制品。

现将它们的有关性能对比如表1-3。

在结晶构造方面，角闪石类石棉与温石棉是不同的。角闪石石棉的硅氧四面体是呈双链状排列的，如图1-4，系双链硅酸盐。

表1-2

角闪石石棉化学成分

角闪石石棉 氧化物 含量 (%)	蓝(青)石棉	-铁 石 棉	直闪石石棉	透闪石石棉	我国有关蓝石棉		
					湖 北 某 矿	四 川 某 矿	河 南 某 矿
SiO ₂	50.66~51.94	47.04~50.24	51.0~59.0	52.0~59.0	52.99~55.62	55.66	54.90
Al ₂ O ₃	0.00~0.20	4.20~7.02	0.70~2.80	0.0~4.0	1.08~1.92	1.37	0.60
Fe ₂ O ₃	18.64~22.64	2.43~7.80	0.50~1.20	0.4~1.0	16.51~17.35	18.67	16.35
FeO	17.05~19.39	26.10~36.60	6.0~25.0	2.0~11.0	3.21~6.35	0.63	7.47
MgO	1.37~2.28	3.96~5.80	16.0~31.0	10.0~30.0	9.55~13.0	15.95	10.90
CaO	0.01~0.19	0.77~10.84	0.50~3.40	10.0~17.0	0.96~1.62	2.21	0.93
Na ₂ O	5.15~6.07	微量~2.12	0.20~0.40	0.70~3.50	5.12~6.00	7.14	6.50
K ₂ O	0.04~0.09	—	0.20~0.40	0.70~3.50	0.10~0.18	—	0.15
结 构 水	2.50~2.62	1.05~3.00	2.30~2.60	0.20~3.50	1.00~2.99	2.53	1.72
吸 附 水	0.15~0.96	0.35~0.45	—	—	0.55~1.36	—	0.25

角闪石石棉与温石棉性能对比

表1-3

石棉名称	纤维湿度 (%)	比 重	沸腾两小时化学稳定性		备注
			酸溶度(%) (25%的HCl)	碱溶度(%) (25%的NaOH)	
角 闪 石 石 棉	1 ~ 3	3.2~3.3	7 ~12	8 ~12	蓝石棉
湖北某地角闪石石棉	0.66	3.20	8.4	8.13	蓝石棉
四川某地角闪石石棉	0.94	3.18	6.4	8.96	蓝石棉
温 石 棉	1 ~ 3	2.4~2.6	57	2	

在本类石棉中，其晶格常数和物理性能亦各不相同：

1) 蓝石棉 $H_6Na_4Fe_6^{2+}Fe_4^{3+}Si_{17}O_{51}$

蓝色的角闪石石棉，也叫青石棉。它呈独特的淡紫蓝色，属单斜晶系，二轴晶光率体 $N_g=1.706$ ； $N_m=1.699$ ； $N_p=1.698$ 。纤维轴方向的晶格常数 $C=5.2\sim5.4\text{\AA}$ 。比重为3.2~3.3。容易劈分为很细的纤维。非洲产的纤维的抗张强度不次于温石棉，为角闪石石棉强度最高者。

我国的蓝石棉除具有很强的耐酸性能外，有的还具有防化学毒物和净化原子污染的空气等重要性能，它是军事上的特殊防御材料，可做耐高温防原子的薄膜轻质制品。

蓝石棉按其化学成分上的差别，可分为几种，其中纤铁蓝闪石石棉和镁质钠铁闪石石棉具防原子和防化学污染性能。

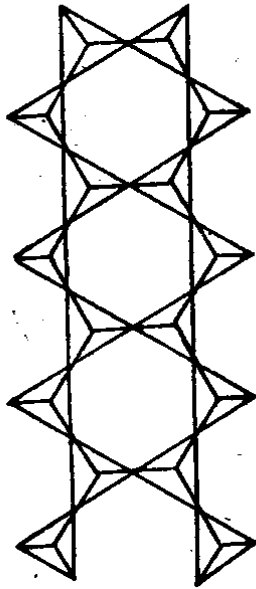


图1-4 角闪石石棉的双链构造

纤铁蓝闪石石棉的化学式为 $\text{Na}_2(\text{Mg} \cdot \text{Fe}^{2+})_3\text{Fe}_3^{3+}(\text{Si}^4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ 其中 Na_2O 的含量为 6.50%， Na_2O 与 Fe_2O_3 、 FeO 的合计含量为 30.32%，钠铁含量之高是蓝石棉区别于其他石棉的主要标志。纤铁蓝闪石石棉比重为 3.12。负延性；消光轴 $C \parallel N_p$ ； $N_g = 1.6716$ （紫灰）， $N_p = 1.6592$ （蓝绿），据此可对其进行光学鉴定。

纤铁蓝闪石石棉化学成分中的 Na、Fe 离子数增加，则折光率和比重增大，颜色加深，性能变好；Ca 离子数增加，颜色变浅，性能变坏。

此外，具有相同化学成分而纤维直径不同的蓝石棉，性能亦不同。直径细而柔软的纤维，分散效果好，性能稳定；直径粗纤维硬者，分散效果差，过滤性能减低，性能变坏。

2) 铁石棉 $\text{H}_4\text{Mg}_5\text{Fe}_{12}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}\text{Al}_2\text{Si}_{25}\text{O}_{84}$

是一种含铁量很高的铁镁铝质含水硅酸盐。呈浅棕、淡褐、淡绿色，少数为白色，松解后纤维仍保持原色。属单斜晶系。顺着纤维轴的光率体 $N_g = 1.680 \sim 1.702$ ， $N_p' = 1.663 \sim 1.675$ 。晶格常数 $C = 5.12 \text{ \AA}$ 。铁石棉的比重为 3.1~3.25，纤维一般很长，但很粗硬，可劈分性能差，变形后机械强度大大降低，不能用于纺织。

3) 直闪石石棉 $\text{H}_2\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{24}$ 或 $(\text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$

也是铁镁质含水硅酸盐。属单斜晶系。光率体 $N_g = 1.630 \sim 1.640$ ， $N_p = 1.611 \sim 1.616$ 。比重为 3.02。纤维呈细柱状或针状。纤维短，劈分性能差，机械强度低，变形后强度更低，故不宜用于纺织品。但直闪石石棉既耐酸又耐碱，其耐酸性高于其他角闪石类石棉。

4) 透闪石石棉和阳起石石棉 $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$

角闪石类石棉性能比较

表1-4

项 目 性 能 名 称	耐 酸 性	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)			纤维可劈性 (细度:微米)	耐 热 性 (熔点:°C)	绝 缘 性	吸 附 性	备 注
		未变形 的纤维	折一次 的纤维	扭转 五次的 纤维					
蓝 石 棉	强。在王水 中煮沸一昼 夜, 损失率 仅为2~3%	330	180	160	好。细度可 达0.0683微 米, 平均为 0.328微米, 且易分散于水 中	较好。熔点 为930~ 1150°C	好	很强	具防化学 毒物及净 化原子污 染的性能
铁 石 棉	较弱	300	70	经受不 住拉力	0.7~0.2	好。熔点为 1100~1200°C	很差	中等	—
直 闪 石 石 棉	最强	263~138	139~68	41~19	差。纤维粗、 脆	很好。熔点 为1300°C, 高温时仍稳 定	差	中等	常做高温 耐酸制品
透 闪 石, 阳 起 石 石 棉	很强	很低	—	—	纤维短, 可劈 性能差	好。熔点为 1250°C	较差	弱	可做滤酸 制品

均属钙镁质的含水硅酸盐。单斜晶系。其中部分镁原子总是被两价的铁原子所置换而含 FeO 。视 FeO 含量的多少来定矿物的名称： FeO 含量小于 5 % 的叫透闪石石棉；大于 5 %（波动范围为 6 ~ 13 %）叫阳起石石棉。比重为 2.85 ~ 3.14。

透闪石石棉一般为银白色。 $N_g = 1.63 \sim 1.68$, $N_p = 1.60 \sim 1.67$ 。纤维短，机械强度低，不宜纺织，但耐酸性很强，在化工上常用来制造滤酸制品。

阳起石石棉因含铁量较高，颜色带绿。纤维多呈放射状。

角闪石类各种石棉的性能见表 1-4。

从表 1-4 可看出，蓝石棉具有高度的可劈性，具胶体溶液固体分散相性质。由于其成分中 Na^+ 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的存在，分子键及离子键很活跃，因而分散在水中。在干后蓝石棉的薄膜具有静电作用，对放射性微尘粒子及毒菌等具吸附和过滤作用。

它在强酸强碱中的损失率很小，在酸、碱、海水和高温、高压、真空中性能稳定，并能隔热、隔音、绝缘，故在航海、化学、冶炼工业中有其重要的用途。

此外，它与铁、水泥、橡胶、塑料等能够很好的结合。蓝石棉做以上制品的填料，可增加制品的强度。在塑料制品中还能促进有机分子的结合。

第二节 石棉的性质

一、石棉的物理性能

温石棉在国民经济中可供利用的主要物理性能有：机械性能、纤维性、耐热性和绝热性、吸附性、电绝缘性等。