

工业矿物和岩石

(第四版)

[美] S·J·莱方德 主编

中国建筑工业出版社

TB 32
065 L
1

工业矿物和岩石

(除燃料之外的非金属矿)

(第四版)

[美] S.J. 莱方德 主编

叶立鑫 王伯瑛 莫超仪等译

1601.086

中国建筑工业出版社

本书是根据1975年美国出版的《工业矿物和岩石》第四版选译而成的。

书中介绍了四十七种(类)工业矿物和岩石的有关世界资源、成因、产状、矿床、勘探、评价等地质方面和开采、选矿、应用、产品规格等生产方面的内容。还阐述了什么是工业矿物、工业矿物包括哪些内容、具有什么特点等,供非金属矿地质、矿山、生产及应用部门的生产人员和管理人员参考,科研、设计单位和学校的有关人员也可阅读。

* * *

译者:

叶立鑫、王伯璞、莫超仪、戴长禄、古阶祥、张崇文、戎培康、刘明华、梁继生、张冠英、刘国民。

校审:

金成伟、邓万明、李春庚、韩成、胡兆阳、于延堂、罗家珂、郑飞、段承敬、郑国初、余鸿章、侯向东。

~~Industrial Minerals and Rocks~~

~~4th Edition~~

~~STANLEY I. LEFOND, Editor-in-Chief~~

~~American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum
Engineers, Inc 1975~~

*

工业矿物和岩石

(除燃料之外的非金属矿)

(第四版)

叶立鑫 王伯璞 莫超仪等译

*

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(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 38 字数: 925千字

1984年8月第一版 1984年8月第一次印刷

印数: 1—2,800册 定价: 4.30元

统一书号: 15040·4619

出 版 说 明

《工业矿物和岩石》集非金属矿物的地质、开发、应用资料之大全，反映了这个领域中世界各国的技术现状、生产发展和理论知识，是一部取材广泛、内容丰富的图书。由1937年开始至今已出版四次。在第四版中，原文共包括“绪论”、“按用途分类”、“矿产”、“工业矿物资料来源”四个部分。由于篇幅所限，本版未收入“按用途分类”部分；其余各部分均收入本书，在编辑过程中也有删节，“工业矿物资料来源”中的单位名称按原文列出。

中国建筑工业出版社编辑部

1983年10月

序 言

这本《工业矿物和岩石》第四版，是按1937年以H. DOLBER为首的编辑组编辑的《工业矿物和岩石》第一版的体例编辑的。第二版、第三版也是沿用第一版的格式，即所介绍的矿产按名称的第一个字母顺序排列，并像“规格石材、砂砾”一章那样，在各矿产中掺杂着介绍应用的内容。但第四版中分四大部分，除介绍各矿产外，还有“绪论”、“最终用途”和“工业矿物资料来源”三部分。

“绪论部分”介绍怎样定义工业矿物、工业矿物包括哪些、为什么叫工业矿物等内容。

“最终用途部分”则涉及工业矿物在某些工业部门的应用问题，例如，纯砂在玻璃制造中的必要性，规格石材的技术标准，骨料的标准实验等。

“矿产部分”，虽仍按矿物名称字母顺序排列，但内容上普遍进行了重写和修订，在老内容的基础上增加了新的资料，还增加了新矿种的章节，如“沸石”、“合成石英”，霞石正长岩由过去列入长石中的几节改为独立的一章。

第四版中列出了美国及世界的地质调查资料和有关的机构，这些机构是工业矿物中地方矿床的资料主要来源。这部分里还给出一些工业矿物资料的其它出处。

这一卷书的编成是许多人艰苦努力的结果。1969年第四版的编写工作就开始了。当时，以Robert L. Bates为首的委员会就出版《工业矿物和岩石》第四版必要性问题向委员们征求意见，当一致认为有修定并出版新版本的必要性时，便推选了由Lauren Wright领导的修订委员会，负责对新版本的目的、格式和组织等方面提出建议。以后推选出了顾问委员会，并由该委员会确定了主编和编辑委员会，还对新版本的结构和版式进行指导。美国采矿冶金石油工程师联合会所属的采矿工程师协会的董事会建议，《工业矿物和岩石》第四版在1975年年初或年中出版。随后该联合会的Seely W. Wudd基金会同意这个计划并决定给予财政支助。由Saudford Cole为首的顾问委员会在1971年3月3日开会，选定了主编，并授权他选择编辑委员会成员，由编辑委员会提名作者。

在文章的内容方面，我们力图使其一致，但不坚持每个作者都按一定的格式，也不把他们的文章统成一种风格。总之，每个作者都强调自己文章的重要性和自己的编写方法。我们认为，这样作会使每篇文章更生动易读。我们还想收入最新的价格和生产方面的资料，但由于许多详细的情况我们无法掌握，因此未能实现。

八十六位作者和十一位编辑中的每一位都花费了很多的时间和精力，工业矿物局对他们表示衷心的感谢。我们还感谢一些不知名的秘书为书稿打字，还特别感谢一些图书馆——特别是科罗拉多矿业学院图书馆，他们帮助齐整了文献目录。

我们更感谢Marianne Snedeker的耐心谅解和使本书得以出版所给予的协助。

主编 Stanley J. Lefond

目 录

出版说明

序言

第一部分 绪论..... 1

第二部分 矿产..... 6

石棉..... 6

钡矿物.....43

铝土矿原料.....53

沥青材料.....70

溴.....74

硼和硼酸盐.....77

铬铁矿.....91

粘土.....103

金刚石.....147

硅藻土 (Diatomite)161

长石和细晶岩.....182

萤石和冰晶石.....195

海绿石.....213

石墨.....220

石膏和硬石膏.....232

碘.....241

蓝晶石及有关矿物.....244

石灰.....251

石灰岩和白云岩.....262

锂原料.....286

菱镁矿及有关矿物.....294

锰.....305

块海泡石 (Meerschaum)313

云母.....315

独居石及有关矿物.....326

霞石正长岩.....332

氮的化合物.....353

橄榄石.....358

珍珠岩.....364

磷酸盐岩.....371

钾碱.....390

浮石、浮石岩和火山渣.....410

盐.....412

砂和砾石.....427

二氧化硅和硅.....435

碳酸钠矿床.....443

硫酸钠矿床.....458

十字石.....468

锆.....470

硫.....472

滑石和叶蜡石.....483

钛矿物.....503

硅藻土 (Tripoli)535

蛭石.....543

硅灰石.....549

沸石.....556

锆和铪矿物.....581

第三部分 工业矿物资料来源.....588

第一部分 绪 论

定 义

作为一种地质术语，工业矿物是指“金属、矿物燃料和宝石以外的任何岩石和矿物或其它自然产出的一切具有经济价值的物质，工业矿物是非金属矿物的一种提法”，这至少可以做为一种简单的说明，大概多数地质和工程人员也可以接受这一简单而直接的定义。

但分析具体矿物，总有些例外。例如把工业金刚石和刚玉算工业矿物，而珍贵的宝石金刚石和蓝宝石就不算，这可能有些武断。尽管有这样的说法，但本书还是包括了宝石和宝石材料的内容。

要精确定义什么是金属，什么是非金属时，就会碰到一些问题。铁矾土和钛铁矿理所当然地可以划归在金属之列，然而它们二者又都是重要的非金属原料，因此，本书也包括了它们。地质学家、工程师、矿物经济学家和其它有关人员一致公认的第三个例外是，工业矿物这一术语不仅指岩石和矿物，也包括象水泥、石灰之类的一些制品，甚至还包括一些天然和人工产品的混合材料，例如磨料和耐火材料。因此，工业矿物的中心领域是清楚的，但他们的外围界限很难划分。由于要选定一个能顾及到各种不规则情况的定义是过于复杂的，因此，上述的定义算比较满意的了。

工业矿物这个词，一般就等同于非金属矿物。如果要找更确切的词，那就是本书题目采用的“工业矿物和岩石”了。

工业矿物领域的特点

工业矿物，广义而言是指一类很不相同的材料。确实，我们可以含糊的说，多样性是它们的共同点。这类材料中的一个极端是普通的土质材料，如砂、石，它们的价值大约是3元/吨；而另一极端是金刚石，它的价值大约是1800万元/吨。不论金属类还是燃料类矿物中，没有价格差别达六位数字之高的矿物，即使在人造产品中也几乎没有这种情况。砂和砾除非接近市场，否则几乎没有价值。金刚石和其它一些物质，都具有理想的特性，即使它们产在地球遥远的角落，也不能阻止它们的应用。大部分工业矿物的应用价值和产地价值既不象砂石，也不象金刚石那样的极端，而是介于中间的。

工业矿物已渗入现代工业的各个部门，从基础行业如石油钻探、铁矿石冶炼，到消费品生产的各个方面，因此不存在“工业矿物”工业。用“领域”这个词就比较方便，因为它可以包罗万象。假如某工业的生产实践仅由“提取”和“加工”工艺组成，而不包括“制造”，那么它就属于工业矿物领域，因此，长石的开采和选矿是工业矿物领域，但用其制造陶瓷就不是了。水泥和石灰工业，“加工”包括在“制造”过程中，两者界限不很分明。工厂提取盐作人工盐水，和生产钠、氯化学制品都在一个厂房内进行，也

分不清哪是加工，哪是制造。

许多工业矿物与金属不同的一个方面是，工业矿物的物理性质一直保持到产品的最后应用阶段，如云母、石棉、硅藻土、高岭土和石墨——更不用说建筑石材和碎石——它们的价值取决于从采场采出时就具有的、又一直保持到最后应用时所具有的物理性质。这个事实说明，地质学者和工程人员的工作是紧密联系在一起的，因为他们都与同一材料打交道。

这个领域的一些工业面临着代用和合成的问题。天然磨料已基本被人工磨料代替。砖、瓦、金属和混凝土给规格石材很大的压力。天然金刚石和水晶，就面临被人工合成的同类产品代替的问题。然而，某些工业矿物却基本没有这方面的冲击。例如硅藻土中氧化硅所起的作用是人工不能办到的。

工业矿物的多方面差异，使其整个领域应该表现出的同一性问题显得极其尖锐。珍珠岩学会充当珍珠岩行业的代言人，而全国砂石协会成为砂石企业的代言人，没有哪一个能充当整个工业矿物的代言人。我们学院的地质和矿物工程系例外，这里这个问题不是一个大问题。学校里的矿物工业传统上是指金属的开采，经济地质也是指金属矿床的。许多学校还是被“金属主义”支配着，因此广阔的工业矿物领域的概念，还是不明确的。美国每年消耗的工业矿物价值是金属的二倍，这一点有助于提醒那些对工业矿物还不认识的人。KLINE (1970) 指出，1953~1968年期间，全美国物质生产每年增长4.1%，石、土质物质生产的增长与其一致，而油和气每年平均增长2.2%，金属增长1.6%，煤增加0.6%。

分 类

工业矿物不仅面广而且有多种特性，因此它们的分类比较困难。自前一版《工业矿物和岩石》出版以来，共提出过五种分类办法，简介如下：

BATES 1960

1960年BATES把最终用途和矿物的成因结和起来的分类法，作为工业矿物地质的基础。他根据产量、单位价值、产地价值和国际贸易等经济指标，首先将非金属矿分为工业岩石和工业矿物。每一组再按地质标准细分为火成岩、变质岩、沉积岩和花岗岩矿物、脉状矿物、置换矿物、变质矿物、沉积矿物。这一分类可以比较满意地用于地质研究。

WRIGHT和BURNETT 1962

在一篇论述加利福尼亚工业矿物的探讨文章中，WRIGHT和BURNETT于1962年提出了一种以单位价值和产量为依据的三重分类法：一是价低、量大的建筑材料；二是价昂、量大的化学制品原料；三是价昂、量少的矿物，如长石、萤石、石膏。这种简单的分类法适宜勘探人员和小矿山对工业矿物领域的了解。

FISHER 1969

1969年FISHER提出一种较周密的分类法，他注意到非金属是一组差异很大的矿物群，以单位价值、产地价值、有代表性的产量作为标准，将工业矿物分为六个组：（1）量大的建筑材料；（2）量大的陶瓷原料和石灰及各种工业用矿物；（3）特殊建筑材料和主要耐火材料；（4）工业、化工和化肥原料；（5）特殊等级和贵重的岩石和矿物。FISHER研究了各种矿物，提供了许多补充资料，如厂家的数目、加工成本、销售数据

等，这是所见的最详细的分类。

KLINE 1970

1970年KLINE在他的一篇说明工业矿物重要性的文章中，把工业矿物分成二大组：化学矿物和物理矿物。每一组具有类似的用途。化学矿物作为化学元素的来源，在加工中发生变化，主要用在化学、化肥、陶瓷、涂料工业中。物理矿物在用户使用中不发生化学变化，它们的价值在于粒度组成、亮度、比表面积或其它特性。KLINE指出，许多化学矿物是由最终用户生产的，如盐由碱金属的氯化物厂生产，石灰由钢铁公司生产等等。而物理矿物的应用部门很多，生产也不受限制。

DUNN 1973

1973年DUNN提出一种矩阵分类法，他想在一张图表中把地质和经济的因素联系起来，一个坐标表示用途和加工方法；另一坐标表示岩石类型，在矩阵方图中矿物标上号码，分别列在单独的栏中。这是一种使地质产状和最终用途协调起来、很有创见的想法，而且已被证明是有价值的。

最近的发展

自1960年《工业矿物和岩石》第三版出版以来，工业矿物的领域有了很大的变化，下面就一些主要方面加以回顾。

一个世界性社会的出现

随着人口的增加，对土质材料的需求量也增加了。目前，这些材料来自世界各个角落，国际贸易也不只限于金刚石、云母、石墨等矿种。现在人们可见到，加拿大的铁燧石用希腊的膨润土团球；墨西哥沿岸的钻探泥浆是由爱尔兰的重晶石加重的；由澳大利亚海滨砂矿中回收的氧化钛，用于制造涂料。还可看到佛罗里达水泥厂使用BAHAMAS的文石砂；美国1969年用来生产轻骨料的38%的浮石来自希腊和意大利；成千上万吨的菱镁砂由南斯拉夫进口到美国。这不是一种单方面的交易，美国进入国际市场的矿石有高岭土、硼矿物和磷酸盐矿石。随着贸易的扩大，跨国的和海外的投资活动（无论向美国的或美国对外的）也更活跃。生产能力的改变和供应的调整，如硫、钾工业那样也比过去更显著。至70年代末工业矿物的生产厂、加工厂和消费者在全世界范围内共同经营这一行业。

政府影响的增强

人口增加的另一不可避免的影响是政府对工业矿物领域影响的扩大。这点无论在全国还是在地方，美国还是其它国家，都能反映出来。国有化或向该方向的变革，使斯里兰卡的石墨、印度的云母、土耳其的硬硼钙石、圭亚那的铁矾土等的生产者受到影响，在美国，政府在环保方面的控制，具有深远的影响。在工业矿物的每一个发展阶段（从取得新矿山的开采权到满足日常生产所遇到的新的苛刻的要求），公司都必须与联邦政府和地方政府制定规章的机构打交道。砂砾碎石企业必须在人口高度稠密的地区或附近经营，因此就面临着土地问题。1960年以后，政府更进一步涉入，甚至有人认为要求也越来越严格，越来越专横。这归根结底是因为，在空气、水、土地和矿物资源有限的地球上，人口增加的压力越来越大。

工业矿物领域新经营者的出现

60年代,许多其它领域的公司对工业矿物发生兴趣。石油公司建立了所谓固体矿物分机构;金属开采公司建立寻找和生产非金属矿的子公司;一些历来从事其它业务——如化工或制造业的康采恩,建立了工业矿物的子公司;某些大的联合企业也获取从砂石到昂贵的各种矿物的产权。目前一些主要开采镍和经营药品的公司也从事采石业。

通讯的改进

今天工业矿物领域中情报的交流比12~15年前要好的多了。1969年《工业矿物》月刊(杂志)的出现,是一件很有意义的事情。该刊物在伦敦出版,是一个反映全世界范围情况、以商业性质为主的杂志,他已成为有关人员的重要读物。《采矿工程》杂志的一、二月期刊的“工业矿物年评”已成为权威的资料来源。从1965年以来,每年都举办工业矿物地质讨论,并出版会议录。这些会议集中讨论地质产状及其对矿物回收和应用的影响,产生了很好的效果。由北俄亥俄州地质学会举办的第一次盐的讨论会,是1962年在CLEVELAND召开的。1969年在同一地方及1973年在HOUSTON又先后召开了会议。这些会议及出版的会议录都讨论盐和其它蒸发盐类的地质、地球化学、采矿和岩石力学等问题。大约400名主要来自英国和西欧的地质学者、工程师、化学家、经济学者在1974年7月8~9日第一次在伦敦举行工业矿物会议。会上听取了内容广泛的报告——从尚未开发的矿床地质问题到最终产品的测试,并使与会者有机会正式地交换看法和资料,与会者进行了实地参观,会议组织者——《工业矿物》杂志社组织出版了会议录。今后可望每二年举行一次会议。

勘探方面的发展

历来地质学者与工业矿物矿床的发现关系不大,大部分的工业矿物矿床是由水和油的勘探队伍发现的。60年代,这种情况已有所改变。美国地质调查局的MCKELVEY提出了磷钙土产状的地质模型,该模型涉及古地理学、海洋隆起和大陆飘移之类的学术问题。采用此模型在土耳其找到了磷钙土矿床,在澳大利亚的昆士兰发现了大型矿床。澳地球化学发展到可以用于确定钾矿床的阶段。各种遥感仪器、数据处理、原子吸收光谱、电子显微镜和有关技术都随地质学的发展而有所改善。

工艺的变化

自第三版以来,最能为人们瞩目的变化,也许是在采矿、选矿、装运方面。发展趋势是机械化,设备的大型化和装运的简单化以及降低每吨矿石的成本。在露采方面,容积为200吨的卡车用电铲或索斗铲装运,电铲和索斗铲的铲斗容积不断加大,物料通过大车或矿浆管道运输范围可横跨整个国家,船运可横跨海洋,70年代末海运船舶能力可达十万吨。

总 结

工业矿物领域中的许多公司(从地方性的砾石公司到大型联合公司)所属的采选企业,都是世界性组成的一部分。目前情报,投资、产品比过去任何时候都更易在各国之间流通。政府的条例成为或将成为共同生活中的现实,有远见的人将能更快地适应这个现实的要求。地质、地球物理或地球化学的勘探方法已逐步发展到可以用来预测矿床存在的阶

段。矿石从采场装运到用户的技术正向使用大容量、大规格设备的方向变化。所有这些发展，都是由于要求在成本尽可能低的情况下，满足世界对土质材料越来越多的需要这一现实所造成的。

人们只能通过强调能源、生产活动和发展等课题，才能作出工业矿物领域考查的结论。

ROBERT L. BATES 著

刘国民 译

第二部分 矿 产

石 棉

石棉是一组天然的纤维状硅酸盐类矿物的总称。它们都是不能燃烧、可用机械方法将之分离成不同长度和细度的物质，但是它们的化学成分却互有区别。

石棉分为两大类。第一类仅指称为温石棉的纤维蛇纹石，它占世界石棉产量的94%。第二类为闪石类石棉，包括角闪石系列的五种矿物——青石棉、铁石棉、直闪石石棉、透闪石石棉和阳起石石棉。后两种在商业上不具重要意义。

性 质

物理性质

对石棉的结构已经进行了多年的研究。X射线衍射法已用作石棉鉴定和分类的方法。低角度的X射线衍射技术业已证明，温石棉纤维呈“六方紧密堆集”并互相平行，断面直径波动于 $180\text{\AA}$ 到 $300\text{\AA}$ 之间。而闪石类石棉的断面则比温石棉大许多倍。最常用的几种石棉的电子显微照片如图1所示。图1显示了温石棉的柔软性和弹性，这种石棉适用于纺织制品。

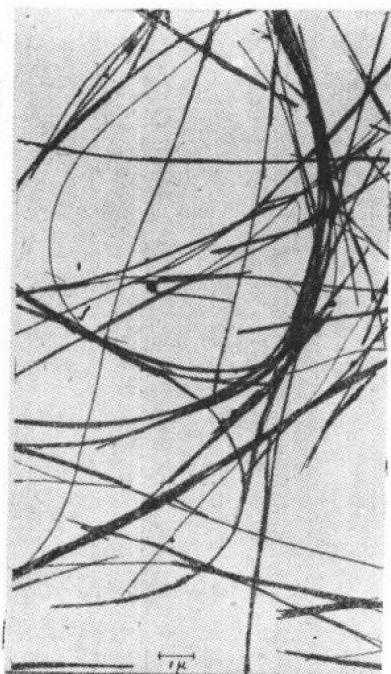


图 1 杰佛雷温石棉的电子显微照片
×8000缩小约33%复制

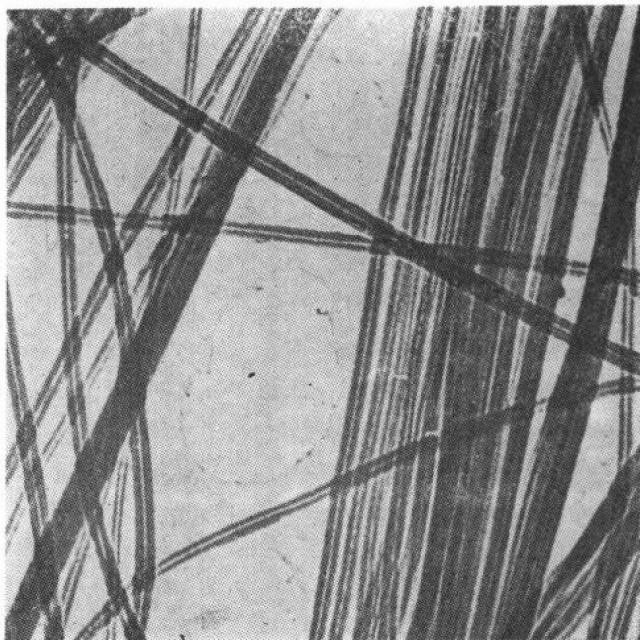


图 2 温石棉×150,000缩小约33%
复制

多年来，在关于温石棉纤维的确切结构方面，产生过许多争论，但是如图2~图3的照片所显示的那样，清楚地表明它是管状构造。纤维的弯曲是由于氧化硅（ Si_2O_5 ）和氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 层的大小配合不吻合的结果，这两个分子层成双结合时，呈一里一外的状态。

化学成分

六种石棉的理论成分如表1所示。由表可以容易地看出，五种闪石类石棉矿物的基本结构是相同的，仅有的区别是所含的金属阳离子的数量和类形不同，因而所有的闪石类石棉是十分相似的，但与温石棉却有实质上的差别。

各种不同类型石棉的理想分子式列入表1，然而由于不同矿床的石棉纤维含有各种不同的杂质，以及化学成分互有区别，所以实际成分是不同的。表2列出了各种商品棉的主要成分。另外，在它们的化学成分中还存在有许多微量元素，但这些微量元素的含量很少在数量上超过0.2%。

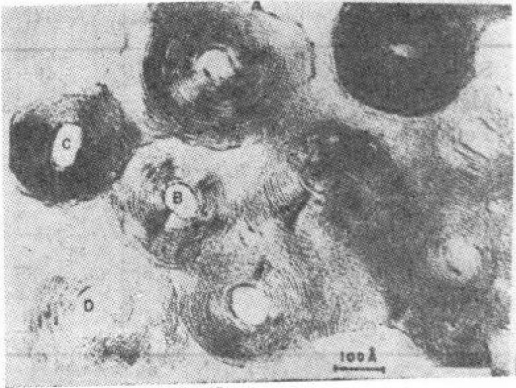


图3 温石棉的高清晰度电子显微照片
缩小约38%复制

石 棉 的 种 类

表 1

种	类	理 论 分 子 式
温 石 棉		$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]_2$
含水的镁硅酸盐		
青 石 棉		$\text{Na}_2\text{Fe}_3[(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
复杂的钠、铁硅酸盐，通常称为青石棉		
铁 石 棉		$\text{MgFe}_3[(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
铁镁硅酸盐，除了它的高铁含量外，与直闪石石棉相同		
直闪石石棉		$(\text{Mg}, \text{Fe})_7[(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
在晶架中含有不同量铁的镁硅酸盐		
透闪石石棉		$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
钙镁硅酸盐		
阳起石石棉		$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
含有不同量铁的钙镁硅酸盐		

温石棉是在一定条件下，在蛇纹岩内发生热液反应的产物，因此存在结晶结构的不完整性和在纤维之间以及靠近围岩的纤维端部含有各种杂质。用机械的方法除去这些杂质是困难的，所以这些杂质就保留在最终产品中。一般说来，这对于石棉的使用没有多大影响，但在少数情况下，例如用于电气和过滤制品，则对杂质的含量就需要加以限制。

青石棉和铁石棉产于变质的硅铁质沉积岩层中。通常纤维是比较长的，可达数英寸。这样长的纤维对于大部分使用来说并非优点，反而降低价值，因为最大量的石棉是用于石棉水泥制品，而这时要求的石棉纤维长度以1/8~3/8英寸最合适。

直闪石石棉低的烧失量可与透闪石石棉相比。它既没有纺织的柔韧性，也不具有石棉水泥工业所要求的抗拉强度。它对化学反应的稳定性为这种纤维质矿物开辟了一个专门的

石棉的化学成分

表 2

化学成分(%)	温石棉	青石棉	铁石棉	直闪石石棉	透闪石石棉
SiO ₂	37~44	49~53	49~53	56~58	53~62
MgO	39~44	0~3	1~7	28~34	0~30
FeO	0~6	13~20	34~44	3~12	1.5~5
Fe ₂ O ₃	0.1~5	17~20	—	—	—
Al ₂ O ₃	0.2~1.5	—	2~9	0.5~1.5	1~4
H ₂ O	12~15	2.5~4.5	2~5	1~6	0~5
CaO	稀少~5	—	—	—	0~18
Na ₂ O	—	4.0~6.5	—	—	0~9
CaO+Na ₂ O	—	—	0.5~2.5	—	—

领域, 用它作为过滤介质和填料。六种不同石棉的主要性质的比较列入表 3。

石棉纤维的性质

表 3

性质	阳起石	铁石棉	直闪石石棉	温石棉	青石棉	透闪石石棉
结构	网格长柱晶体和纤维状	页片状。粗到细的纤维状和石棉状	页片状。纤维石棉状	通常为高度纤维化纤维, 细和易于分劈	铁石中的纤维状	长柱状和纤维集合体
围岩	石灰岩和结晶片岩	结晶片岩等	结晶片岩和片麻岩	接近蛇纹岩的蚀变橄榄岩和邻近基性火成岩接触带的石灰岩	石英片岩中的富铁硅质的厚层泥岩	高镁质岩石蚀变产物的镁质灰岩。变质岩和火成岩
成因	变质作用的结果	变质矿床	变质矿床, 通常为橄榄石变质而成	富含镁质硅酸盐的基性火成岩的蚀变和变质作用	区域变质作用	变质矿床
棉脉	纵纤维和块状纤维	横纤维	纵纤维。不定向和交错的块状纤维	横、纵纤维	横纤维	纵或块状纤维
主要成分	Ca、Mg、Fe的硅酸盐, 含水 5 %	铁和镁的硅酸盐, 铁比直闪石石棉高	含铁的镁质硅酸盐	镁质的含水硅酸盐	含部分水的钠铁硅酸盐	含部分水的钙镁硅酸盐
结晶构造	长和薄柱状到纤维状	柱状, 页片状到纤维状	柱状, 页片状到纤维状	纤维状和石棉型	纤维状	长和薄柱状到纤维状
晶系	单斜	单斜	斜方	单斜 (假斜方?)	单斜	单斜
颜色	浅绿	灰和棕	浅灰白, 棕灰或绿	白、灰、绿、黄	淡紫青, 金属蓝	灰白, 浅绿, 浅黄, 浅蓝
光泽	丝绸	玻璃光泽, 微带珍珠光泽	玻璃到珍珠光泽	丝绸	丝绸到暗光泽	丝绸

续表

性 质	阳 起 石	铁 石 棉	直闪石石棉	温 石 棉	青 石 棉	透闪石石棉
硬 度	6±	5.5~6	5.5~6	2.5~4	4	5.5
比 重	3~3.2	3.1~3.25	2.85~3.1	2.4~2.6	3.2~3.3	2.9~3.2
解 理	110 完全解理	110 完全解理	110 完全解理	010完全解理	110完全解理	110完全解理
光 性	二轴负斜消光	二轴正平行消光	二轴正平行消光	二轴正平行消光	二轴±斜消光	二轴负斜消光
折光率	1.63±弱多色性	1.64±①	1.61±	1.51~1.55	1.7多色性	1.61±
长 度	短到长	2~11 英寸不等	短	短到长	短到长	短到长
纤维质地	硬	粗, 但有的柔软	硬	软到硬; 也呈丝质	软到硬	基本为硬质, 有的也柔软
比 热 (英热单位/磅·°F)	0.217	0.193	0.210	0.266	0.201	0.212
抗拉强度 (磅/平方英寸)	1000及以下	16000 90000	4000及以下	80000 100000	100000 300000	1000 8000
最大灼烧重量损失的温度 (°F)	—	1600~1800	1800	1800	1200	1800
过滤性能	中等	快	中等	慢	快	中等
电 荷	负	负	负	正	负	负
熔 点 (°F)	2540	2550	2675	2770	2180	2400
可纺性	不好	好	不好	极好	好	不好
耐酸碱能力	好	良好	极好	差	良好	良好
磁铁矿含量	—	0	0	0~52	3.0~5.9	0
含有的矿物杂质	钙铁	铁	铁	铁, 铬, 镍, 钙	铁	钙
挠曲性能	差	良好	差	高挠曲性	良好	差

续表

性 质	阳 起 石	铁 石 棉	直闪石石棉	温 石 棉	青 石 棉	透闪石石棉
耐热性能	—	良好, 高温时脆	极好	良好, 高温时脆	差, 熔解	好到良好
电导率 (微姆)	—	1.34	0.58	1.82	0.84	—

① 原文为16.4。

温石棉的热分析在600°C和720°C之间显示了一个宽域的吸热峰, 这个吸热峰与结构水的逸失有关, 并且在800°C处显示了一个向镁橄榄石转化的相变吸热峰。

温石棉的氢离子富集度波动于9.0到10.3, 这取决于它的产状和测量方法, 它的最典型值为9.7。温石棉在不含二氧化碳的蒸馏水中的水解与氢氧化镁相类似。

与其它石棉和类似的天然矿物诸如粘土和滑石相比, 温石棉是独特的矿物, 因为它在水介质中带正电荷(或者说它具有正 ζ -电势)。不同矿床中的温石棉的电荷量是不同的。同样, 来自不同矿床的温石棉, 它们的等电离点或者零电势的氢离子指数(pH)也是不同的。温石棉的等电离点根据不同的矿床和不同的测定方法变动于10.5到11.3之间。

温石棉的密度精确测定值波动范围为2.53~2.58, 其最典型值为2.56。

温石棉表面积的测定取决于采用的测试仪器。工业上一般采用空气透过性测定法测定纤维的松解度。如果要求测定精确的表面积值, 就必须采用气体吸附技术。根据纤维的产地和松解度的不同, 表面积值的波动范围约为0.4~5米²/克, 而用气体吸附法测定的温石棉表面积为4~50米²/克。

石棉的热效应

各类石棉连续加热二小时, 温度从400到1800°F时的重量损失列入表4。

石棉纤维的烧失量

表 4

温 度 (°F)	时 间 (小时)	烧 失 量 (%)				
		铁 石 棉	直闪石石棉	温 石 棉	青 石 棉	透闪石石棉
400	2	0.23	0.05	0.30	0.08	0.04
600	2	0.57	0.24	0.85	0.25	0.08
700	2	0.80	0.30	1.78	0.49	0.13
800	2	0.98	0.38	2.17	0.73	0.22
900	2	1.07	0.41	2.83	0.83	0.26
1000	2	1.16	0.44	3.99	0.86	0.29
1100	2	1.36	0.52	10.38	1.00	0.37
1200	2	1.39	0.54	12.75	1.04	0.37
1400	2	1.43	0.54	13.43	1.03	0.47
1500	2	—	0.64	—	—	0.56
1600	2	1.52	1.12	13.62	0.93 ^①	0.67
1700	2	—	1.73	—	—	1.40
1800	2	1.53	2.39	13.77	0.77 ^①	2.18

① 由于氧化作用而引起的铁的重量的变化。

预料闪石石棉的灼烧重量损失要比温石棉低得多，因为它只有很少的 $(OH)^-$ 作为结构水排出。闪石石棉加热到 $800^{\circ}F$ 时将比温石棉从 $100^{\circ}F$ 加热到 $1100^{\circ}F$ 时更加易碎。

表 5 列出了灼烧温石棉纤维对其抗拉强度的影响。抗拉强度试验用的纤维束是非常小的，这样在 3 分钟的加热时间内，热传导将是有效的。甚至于在加热到 $1200^{\circ}F$ 之后，温石棉仍保持它强度的 32%。

加热对加拿大温石棉原棉抗拉强度的影响

表 5

	抗 拉 强 度 (磅/平方英寸)	为原始抗拉强度的 (%)
原始原棉 不加热	131000	—
600°F 加热 3 分钟	120000	91.6
800°F 加热 3 分钟	96000	73.3
1000°F 加热 3 分钟	78000	59.5
1200°F 加热 3 分钟	42000	32.0

化学稳定性

石棉经常用于化工部门，对于它的耐酸碱性能是极为重要的要求。表 6 列出了在室温长时间浸泡和煮沸条件下各种酸和苛性钠溶液对石棉的影响的资料。由于温石棉是基性的，它可被强酸强烈溶解，所以不应将其暴露于强酸中。温石棉可以耐 25% 的苛性钠溶液，但最新的资料表明，在煮沸条件下，高浓度苛性钠溶液（70%）可以将它溶解。

石 棉 的 溶 解 度

表 6

	HCl	CH ₃ COOH	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	NaOH
在 25% 的酸和苛性钠溶液中煮沸(回流) 2 小时的重量损失(%)					
阳起石	20.31	12.28	20.19	20.38	9.25
铁石棉	12.84	2.63	11.67	11.35	6.97
直闪石石棉	2.66	0.60	3.16	2.73	1.22
温石棉	55.69	23.42	55.18	55.75	0.99
青石棉	4.38	0.91	4.37	3.69	1.35
透闪石	4.77	1.99	4.99	4.58	1.80
在 25% 的酸或苛性钠溶液中，在室温 26°C 的条件下，浸泡 528 小时的重量损失(%)					
阳起石	22.55	12.14	20.10	20.60	9.43
铁石棉	12.00	3.08	11.83	11.71	6.82
直闪石石棉	2.13	1.04	3.29	2.90	1.77
温石棉	56.00	24.04	56.45	56.00	1.03
青石棉	3.14	1.02	3.81	3.48	1.20
透闪石	4.22	1.41	4.89	4.74	1.65

地 质

概述

温石棉大约占目前世界石棉产量的 94%，大部分采自超基性岩的温石棉矿床，小部分温石棉则是从蛇纹岩化白云质灰岩矿床中开采的。在其它各类石棉中，铁石棉和青石棉主