

石棉矿石选矿

M. B. 舍德林斯基

〔苏联〕 A. B. 沃列戈夫 著

Э. К. 繆列尔

耿光斗等译

中国工业出版社

石棉矿石选矿

M. B. 舍德林斯基
〔苏联〕 A. B. 沃列戈夫 著
Θ. K. 繆列尔

耿光斗 林雄陆 王凡 田鈞 刘圣治等 译

耿光斗 校

中国工业出版社

本书簡述苏联和其他国家的石棉性质、石棉矿床地质、产状和开采方法。

书中討論了石棉矿石选矿的各个工序和所用的设备，推荐有选择和計算选矿工艺流程的方法，闡述了生产檢驗問題。

本书的对象是石棉工业技工和工程技术人员。它还可以用作設計单位和选矿专业学生的参考书。

М. В. Шедринский, А. В. Волегов, Э. К. Мюллер

ОБОГАЩЕНИЕ АСБЕСТОВЫХ РУД

ГОСГОРТЕХИЗДАТ

Москва 1962

* * *

石棉矿石选矿

耿光斗 林雄陆 王凡 田鈞 刘全治等 译

耿光斗 校

*

建筑工程部图书編輯部編輯(北京西便门大街)

中国工业出版社出版(北京德胜门内大街10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张8·字数196,000

1965年4月北京第一版·1965年4月北京第一次印刷

印数0001—1,270·定价(科四)1.00元

*

統一书号: 15165·3684(建工-439)



前 言

石棉具有数种珍贵性质，它是不少工业部门生产许多制品时必不可少的原料。

随着生产规模不断扩大，石棉工业必将采用高生产能力的新型机械和更臻完善的工艺流程，以期更为充分地利用原料并且使生产过程最大限度地机械化和自动化。

本书编写过程中得到了石棉科学研究院和以瓦赫鲁舍夫命名的斯维尔德洛夫矿业学院选矿教研组的大力协助和支持，作者借此机会仅向他们致谢。

书中第一章和第二章是在A.C.奥格涅夫和M.A.别洛夫两位工程师的参加下编写的。

本书作者非常欢迎读者予以批评和指正。

本书作者

16133/10

目 录

前 言

第一章 石棉的化学性质和物理性质	1
§1. 蛇紋石石棉	1
§2. 角閃石石棉	13
第二章 石棉矿石的采掘	17
第三章 石棉矿石选矿术语及其定义	19
第四章 矿石的技术条件	27
§3. 蛇紋石石棉矿石	27
§4. 直閃石石棉矿石	28
第五章 石棉工业发展史	29
第六章 石棉矿石的可选性	31
第七章 石棉矿石选矿的主要方法	35
§5. 吸选法	36
§6. 离心式空气选分机选矿	39
§7. 气动选分机选矿	41
§8. 溜棉板选矿	43
第八章 蛇紋石石棉矿石选矿	45
§9. 主要选矿过程和工序	45
§10. 普通矿石选矿	47
§11. 含高級石棉的矿石的选矿	72
第九章 直閃石石棉矿石选矿	80
第十章 石棉选矿产品的规格	82
第十一章 破碎粉磨设备	88
第十二章 干燥设备	116
第十三章 篩分设备	122
第十四章 溜棉板	142
第十五章 选分机	143

VI

第十六章	气动运输设备	151
第十七章	辅助设备	167
第十八章	石棉选矿厂工艺流程的选择和计算	171
第十九章	蛇紋石石棉普通矿石的选矿工艺流程	175
§ 12.	破碎筛分车间	175
§ 13.	矿石干燥	179
§ 14.	选矿车间	184
第二十章	高级级矿石选矿	203
第二十一章	直閃石石棉矿石选矿	204
第二十二章	石棉选矿厂工艺过程的檢驗和工艺指标的 计算	206
第二十三章	試样的加工和研究	212
第二十四章	工艺指标的計算	224
第二十五章	选矿厂除尘和尾矿处理	230
第二十六章	生产調度	240
第二十七章	劳动保护和安全技术	241
第二十八章	国外石棉的开采和选矿	244
第二十九章	加拿大石棉矿石的选矿	245
第三十章	加拿大石棉选矿厂的現代化設備	248
参考文献		250

第一章 石棉的化学性质和物理性质

凡能劈裂成細而柔韌的纖維并能搓捻成綫繩的蛇紋石类和角閃石类矿物，总称为石棉①。

石棉矿物分为蛇紋石② 石棉和角閃石石棉两类，这两类石棉均呈有規則的纖維状和紊乱的纖維状产出。

石棉矿物的化学成分为含水的硅酸盐类，其中大部分是硅酸鎂和硅酸鉄，少部分是硅酸鈣和硅酸鈉。

各种石棉中以蛇紋石石棉的工业价值最大，产量最高。世界石棉总产量95%为蛇紋石石棉。

§1. 蛇 纹 石 石 棉

化学成分和結構

蛇紋石石棉为鎂质含水硅酸盐，其理論化学式为 $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ；其中 MgO 占 43.45%， SiO_2 占 43.5%， H_2O 占 13.5%。

由于天然蛇紋石石棉中經常含有 FeO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 ，有时还含有少量的 CaO 、 Cr_2O_3 、 NiO 、 MnO 等杂质，其实际成分与理論成分稍有不同（表 1）。

硬蛇紋石俗称作《山皮》或《山軟木》，它是蛇紋石石棉的一种变种。硬蛇紋石的纖維，表面粗糙、不易劈分且强度很低，其长度均在500毫米以下，沿岩石裂隙产出，目前尚无工业价值。

● 石棉——希腊文为 *asbestos*，原意为长燃不息的，轉意为永恒的、永久的。

● 蛇紋石——希腊文为 *chrysos tilos*，原意为金色的毛发；*chrysos* 为金子，*tilos* 为毛发。

天然蛇紋石石棉的化学成分(%)

表 1

氧 化 物 名 称	苏 联					加拿大	美国	南
	巴热諾夫		哲特	基耶	阿斯	(塞特福德)	(阿里佐納)	非
	正常强度石棉	易折石棉	加腊	姆拜	帕加什			
SiO ₂	42.10	41.70	44.41	44.69	42.01	39.62	41.56	41.15
MgO	41.99	37.62	39.33	39.86	40.63	39.73	42.05	40.76
Al ₂ O ₃	0.53	0.95	0.84	0.30	0.28	0.81	1.27	0.58
Fe ₂ O ₃	1.30	1.76	1.88	1.54	0.60	4.62	—	1.45
FeO	0.24	2.34	0.49	0.42	0.05	1.90	0.64	0.96
CaO	微量	2.45	微量	微量	0.77	微量	—	—
Na ₂ O + K ₂ O	微量	微量	微量	微量	微量	—	—	—
H ₂ O + ①	12.99	12.99	12.03	12.10	12.02	13.32	12.92	13.11
H ₂ O - ②	1.42	1.42	0.80	0.70	1.63	0.43	1.39	0.92

① H₂O+——化合水。② H₂O-——吸附水。

苏联学者 K.B.瓦西里耶夫, 首先对蛇紋石石棉能劈裂为强度极高的柔韧的纖維这种性质作了解释, 他于1927年拍制了烏拉尔石棉的第一張伦琴射綫照片。

因为蛇紋石石棉呈纖維状构造, 它究竟属于哪一个晶系, 很久以来一直没有确定下来。根据最新的伦琴射綫研究資料, 它可能属于单斜晶系。根据烏奥連和布利格两位学者的意見, 其結晶格子的尺寸为: $a=14.66$ 埃^①, $b=18.5$ 埃, $c=5.33$ 埃。

伦琴射綫研究証明, 纖維状矿物(石棉)为多晶集合体。

巴多列、雅戈德津斯基和巴格希三位学者进行了电子显微鏡研究, 他們确定, 蛇紋石纖維是空心的, 很象是一根极細的管子。細管内径为130埃, 外径平均为260埃。各个細管之間排列的平行程度是极高的。

蛇紋石折光率 $N_{cp}=1.53\sim 1.57$ 。蛇紋石石棉比重为 $2.49\sim$

① 埃——测量长度的单位, 1埃等于 10^{-8} 厘米。

2.53. 沿纖維方向的硬度为 2，与纖維垂直方向的硬度为 2.5。熔点約为 1550°C。耐酸性弱。蛇紋石石棉的导热系数小，因此其隔热性能很高。

机 械 强 度

对蛇紋石石棉质量作评价时，测定其机械强度是极为重要的。

未折損的石棉纖維，其抗拉强度是很高的（表 2）。选矿过程中的折損使其强度降低为原来强度的一半到三分之一。

蛇紋石石棉抗拉强度(公斤/毫米²)

表 2

矿 床 产 地	未折損的纖維	折損后的纖維	长度为 3.5 毫米的、 扭轉 5 圈后的纖維
苏联(巴热諾夫)	317	210	163
加拿大(塞特福德)	304	190	160
南非	270	170	80

石棉纖維长度一般在 40 毫米以下。

断面面积为 1 平方毫米的有机纖維的拉断負荷为 40~80 公斤，同样断面面积的鋼絲的拉断負荷为 213 公斤，而同样断面面积的石棉纖維的拉断負荷在 300 公斤以上。机械作用下蛇紋石石棉能分裂为极細的、机械强度极高的纖維，这是它的最可貴的性質。

在抗拉机械强度方面，石棉分为三类：正常强度的、低强度的和易折的①（表 3）。扭轉后纖維强度降低到原强度的四分之一。

易折的石棉（厚度 0.5~1 毫米）受折两三次（折角 90°）后就会断裂。同样厚度的低强度纖維，可折到 180° 而不断裂，松手

① 应当把易折的蛇紋石石棉和《石质》石棉区分开来，后者不具有細纖維結構。

各种强度的蛇紋石石棉的抗拉强度(公斤/厘米²) 表 3

石 棉 种 类	未折損的纖維	受折一次的纖維	扭轉 5 圈的纖維
正常强度的石棉	300	200	150
低强度的石棉	200	150	50
易折的石棉	200	30	經不起扭轉 5 圈

后仍恢复原来的形状，即它具有弹性。易折石棉手摸时有粗糙感，从一块纖維上掰下一綫石棉纖維时，不产生纖維細絲。在正常强度石棉块上掰下一綫石棉纖維时，会产生許多纖維細絲。正常强度的石棉，松散状态时呈白色，块状时呈銀白色、蜜黃色、黃綠色、碧綠色，少数情况下呈粉紅色。易折石棉呈黃綠色，少数情况下呈淺黃色。

易折的蛇紋石石棉的化学成分与正常强度的石棉不同。根据 B. Я. 麦林可夫的資料，易折石棉中結晶水和氧化鎂含量較低，而氧化亞鐵和氧化硅的含量較高。

热 性 质

当强烈加热时，蛇紋石石棉失去其化合水，此时其纖維机械强度下降，极易粉碎。加热过程中，石棉在开始析出化合水以前，其机械性质就已经开始变化。

根据 Ф. В. 塞罗米亚特尼可夫的資料，蛇紋石石棉加热时，其强度在溫度高于 70°C 时就开始降低。强度降低这一現象与析出吸附水有关。在 110°C 的溫度下，約析出三分之二的吸附水^①。

溫度升高到 400°C 以上时，开始析出化合水。溫度达到 700°C 时，化合水全部析出，蛇紋石結構被破坏并形成鎂橄欖石（其成分为 Mg_2SiO_4 ）。

加热到 400°C 时石棉的机械强度降低 23%，加热到 500°C 时降

① 此处所指的溫度是石棉本身的溫度，不是其介质的溫度。

低 33%，加热到 600°C 时，其机械强度损失约为原天然强度的 77%。折损过的纖維与未折损的相比，加热对前者强度的影响要大得多。

在对巴热諾夫矿床的蛇紋石石棉加热（加热到 1090°C）时获得的曲线上，Φ. B. 塞罗米亚特尼可夫发现了两个吸热反应和两个放热反应。第一个吸热反应（70~100°C）相当于析出大量的吸附水。

約在 400°C 的温度下，发生有两个放热反应：碳质物质的燃烧和氧化亚铁的氧化。对在 550°C 和 575°C 的温度下脱水后的试样进行伦琴射线研究时，没有发现它们的结构发生任何变化，因此 Φ. B. 塞罗米亚特尼可夫认为此水可能具有沸石性质。第二个放热反应（約在 600~800°C 的温度下发生的）与析出化合水或结晶水有关系，此时蛇紋石的结构完全破坏并形成镁橄榄石。

电 性 质

蛇紋石石棉纖維的导电性很低，它取决于石棉中磁铁矿杂质的含量。蛇紋石石棉中的磁铁矿，多呈細柱状和假纖維状产出。用机械方法清除过磁铁矿杂质的品級石棉中，在其极細的单体纖維之間仍会留有一部分磁铁矿。同晶置换 MgO 的少量 FeO 对导电性也有一定的影响。

胶 体 性 质

虽然蛇紋石石棉具有結晶构造，但它还表現出一系列胶体性质：极为明显的吸附能力、在結晶吸附水方面有滞后现象。在这方面石棉纖維与有机纖維是相同的。

蛇紋石石棉有吸水膨胀的性质（表 4）。較长的纖維的膨胀程度較小。蛇紋石石棉的膨胀系数波动在 1.08 到 1.63 之間。蛇紋石石棉对水蒸汽、水和某些其他液体有良好的吸附性能。当巴热諾夫蛇紋石石棉水蒸汽吸附几乎达到飽和时，其中水蒸汽含量为 1.95~8.0%。块状石棉的吸附水量平均为 2.68%，細碎后的石

棉的吸附水量平均为3.26%。蛇紋石石棉的比表面积（即表面积与重量的比值）约为160米²/克，这就是它吸附能力大的原因。纖維松散过程中，其比表面积显著增长。根据索可洛夫的资料，当纖維由1毫米松散到0.005毫米时，纖維总的表面积值大约增长200倍。

蛇紋石石棉的物理机械性质

表 4

矿床名称	比重	吸水量	瞬时抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	弯曲时的 弹性模量	化合水析出温度 (度)
巴热諾夫					
高强度纖維	2.50	1.57	290	10.73×10^5	700
易折纖維	2.55		234	2.96×10^5	725
依尔奇尔	2.51	1.62	285	3.83×10^5	699
哲特加腊	2.61	—	280~290	—	700
基耶姆拜	2.63	—	275~290	8.07×10^5	720
阿斯帕加什	2.43	1.08	245	8.55×10^5	694

耐酸性和耐碱性

蛇紋石石棉不受碱类（甚至强碱）腐蝕，但是它不耐酸，甚至很弱的有机酸（醋酸）也会将蛇紋石石棉中的氧化鎂析出，此时其强度和柔韌性显著降低。

下面引有耐酸度資料（用浓度为25%的盐酸溶液处理蛇紋石石棉时，其重量損失的百分数）。

处理時間，昼夜.....	1	3	7	28
重量損失，%.....	15	38	51	55

矿床类型

由于生成蛇紋岩的母岩成分不同，蛇紋石石棉矿床可分为两类：一类是成因与超基性岩（純橄欖岩、橄欖岩、輝岩）有关的矿床，另一类是生成在白云岩化石灰岩厚层內的蛇紋岩中的矿床。

前一类型的矿床是最常见的。

与超基性岩有关的矿床

大多数大型的蛇纹石石棉工业矿床，其成因都与超基性岩有关，分布在与花岗岩相接触的地带。原岩石发生剧烈的蛇纹岩化过程，这是接触变质和花岗岩岩浆喷气对超基性岩体作用的结果。石棉生成过程是与蛇纹岩化这一接触变质作用有关系的。

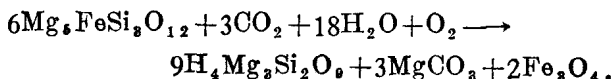
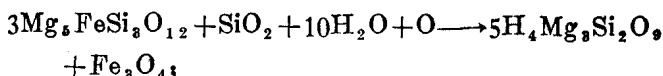
生成石棉的铁硅镁质的溶液（造棉溶液）是含有碳酸的热液对超基性岩发生作用时产生的。热液和造棉溶液在原岩石裂隙里循环流动。超基性的原岩石内起初生成的裂隙，有的是岩石冷却过程中产生的压力造成的（收缩性裂隙），有的是构造破坏造成的（构造裂隙），有的是蛇纹岩凝胶在晶出作用后体积减小这一过程造成的。

当热液运动时，蛇纹岩岩石裂隙的两壁被溶解，这提高了热液中镁、铁、硅的含量。

较高的温度和压力、以及有碳酸存在，这使得热液具有很大的活性。

造棉过程初期，热液具有足够的流动性。随着溶液浓度不断提高，其流动性逐渐降低。当蛇纹石石棉从溶液中结晶析出的时候，溶液处于完全静止状态中。

造棉过程的反应如下：



在含硅镁的凝胶状物质晶出过程中，析出蛇纹石石棉时在裂隙两壁上出现无数个结晶中心。在这些极为微小的管状纤维晶胚中，与裂隙两壁垂直分布的晶胚生长发育得最快。

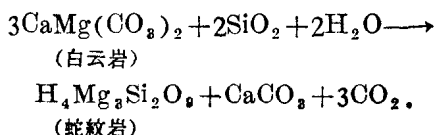
在这一过程刚刚开始的时候，不与裂隙两壁垂直的晶胚就已经停止发育。因此，蛇纹石石棉纤维排列的平行程度和可劈裂程

度是极高的。

白云岩化石灰岩中的蛇紋石石棉矿床

造棉蛇紋岩是与岩浆侵入有关的热液对白云岩化石灰岩作用的产物。当热液沿构造裂隙和层理裂隙流动时，裂隙两侧一定距离内的石灰岩被蛇紋岩置换。石灰岩中这样生成的蛇紋岩带，通常含有许多组相互平行排列的厚度相差悬殊的蛇紋石石棉夹脉。

此时，蛇紋岩化过程的反应如下：



与白云岩化石灰岩有关的蛇紋石石棉矿床的规模是不大的。

含 棉 型 式

所有蛇紋石石棉矿床中，矿脉中的石棉纖維絕大部分均垂直于裂隙两壁分布。根据矿脉构造和其在脉石中的分布情况，蛇紋石石棉矿脉的含棉型式可分为五种：

鑲式单脉（图1）。鑲式单脉产于蛇紋岩化程度不高的超基性岩石中，矿脉两侧鑲有致密的蛇紋岩带，而且蛇紋岩带厚度为矿脉厚度的2.5~2.8倍。鑲式矿脉的矿床中，矿脉有时呈封闭的环网状，有时呈带状伸延数十米。

鑲式单脉中含有长纖維石棉，可是其石棉总含量較低（0.5~2%）。

鑲式复脉（图2）。鑲式复脉与鑲式单脉的区别在于，被蛇紋岩带鑲包的不是一条矿脉，而是数条相互平行的、被致密蛇紋岩隔开的矿脉，而且其中厚度較大的总是分布在两侧。鑲式复脉也产于橄欖岩中，它經常与鑲式单脉共生。

鑲式复脉的厚度可达50~70厘米，其长纖維含量低于鑲式单脉。矿脉石棉总含量为2~4%，在个别矿块中石棉总含量可达

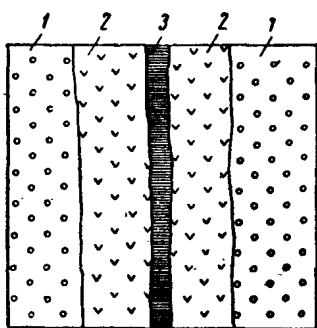


图 1 鑲式单脉

1—橄欖岩；2—蛇紋岩；3—石棉脉

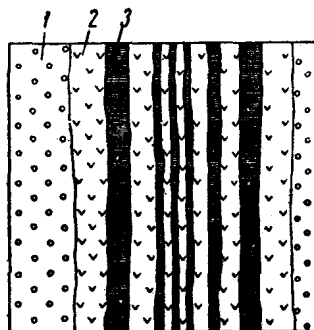


图 2 鑲式复脉

1—橄欖岩；2—蛇紋岩；3—石棉脉

10~12%。

网状脉 (图 3)。石棉脉与蛇紋岩和蛇紋岩化程度較弱的橄欖岩呈各种方向相互交錯构成不同密度的网格的矿脉，称为网状脉。根据矿脉厚度和网格密度的不同，网状脉带可分为大网状脉和小网状脉。

小网状脉带中，纖維长度可达12毫米；大网状脉带中，纖維长度可达20毫米。矿石中石棉含量为3~8%，个别矿块可达15~20%。



图 3 网状脉

1—橄欖岩；2—蛇紋岩；3—石棉脉

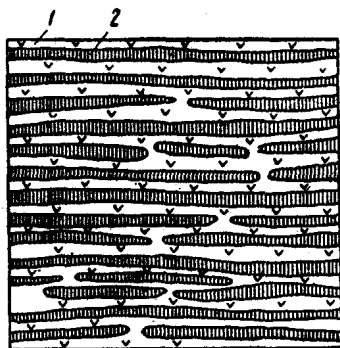


图 4 細夹脉

1—蛇紋岩；2—石棉脉

細夾脉(图4)。細夾脉是由許多相互平行排列的、厚度不大且大致相等的石棉細脉构成的。蛇紋岩中的細夾脉型矿脉伸延很长并且其厚度也相当大(可达12米)。各个石棉脉間的距离为数毫米至数厘米(有时甚至达数十厘米)。纖維长度可达5~6

毫米,平均长度为1~3毫米。矿石中石棉含量波动范围为1%至10~15%。

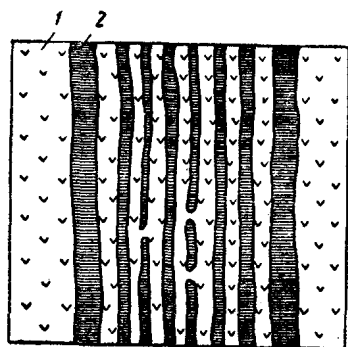


图5 单体脉

1—蛇紋岩; 2—石棉脉

单体脉(图5)。脉状蛇紋岩带中含有許多相互平行排列的石棉脉时,称作单体脉。单体脉与細夾脉或鑲式复脉相似。

单体脉型含棉带厚度可达两米。含棉带中石棉含量波动范围为百分之几到40~50%;但是因为各个含棉带之間距离甚大,单

体脉型矿石中石棉总含量仅为1.5~8%。

除上述五种含棉型式外,在蛇紋岩岩块間的滑动裂隙里,充满有纵纖維蛇紋石石棉。这一含棉型式的矿石中,石棉含量为1.5~8%。

与超基性岩有关的蛇紋石石棉矿床,由于含棉型式的表现形式不同,还可以分作三个分类:巴热諾夫类、拉宾类和卡拉恰依类。

巴热諾夫类矿床的特点是,鑲式单脉、鑲式复脉、网状脉和細夾脉同时存在。

这一类矿床的矿体厚度很大(20~100米)、急傾斜、在走向方向伸延长度为100~2000米。属于这一类的有:巴热諾夫矿床、克拉斯諾烏拉尔矿床、阿拉帕依矿床、哲特加腊矿床、依里奇尔矿床和一些其他矿床。

拉宾类矿床的含棉型式为单体脉。矿带厚度为数厘米到两米。属于这一类的有:拉宾矿床、普先琴矿床和一些其他矿床。

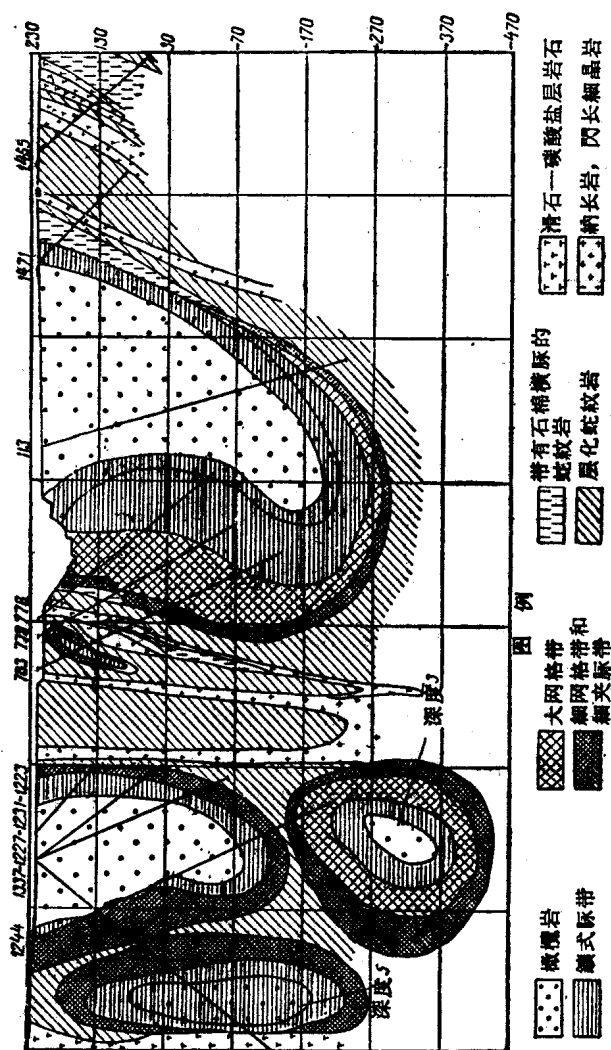


图 6 巴热诺夫类蛇纹石石棉矿体的原则构造图