

云母矿石开采与选矿

7

中国建筑工业出版社

本书主要介绍云母矿床的地质特征、地下开采、露天开采、云母矿石机械选矿工艺。着重介绍了开采、破碎、选矿等工艺过程中云母损伤程度的研究测定，并对云母晶体的保护问题提出了见解。

本书可供云母生产企业和设计、科研部门的工程技术人员参考。

本书由刘昌寅（第一章、第五章）、徐秉铎（第三章、第四章）、史家增（第二章）、田桢（第六章）等同志译出。由刘昌寅同志审校。本书在译校过程中新疆非金属矿山设计院曾给予协助和支持。

В.М.Седых М.М.Бочарников
Н.Г.Шувалов К.Н.Костромитинов
Б.Д.Бурлуцкий Л.М.Щербакова
В.И.Щербаков

РАЗРАБОТКА И ОБОГАЩЕНИЕ СЛЮДЯНЫХ РУД
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
МОСКОВА—1965

* * *

云母矿石开采与选矿

刘昌寅 徐秉铎 译
史家增 田 桢

刘昌寅 校

（只限国内发行）

*

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：850×1168毫米 1/32 印张：7 5/8 字数：200 千字

1975年4月第一版 1975年4月第一次印刷

印数：1—3,130 册 定价：0.68 元

统一书号：15040·3198

译 者 的 话

本书是根据苏联1965年《РАЗРАБОТКА И ОБОГАЩЕНИЕ СЛЮДЯНЫХ РУД》一书以及苏联《ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ》杂志1966年第12期、1968年第12期、1969年第5期中有关文章翻译而成的。

书中主要介绍了云母矿床的高效采矿法和云母矿石机械化选矿，着重从保护云母天然晶体的角度，介绍了各种生产过程中云母晶体所受损伤程度的研究和测定方法，并证实了采用高效采矿法及机械化选矿可以提高云母晶体的回收率，介绍了一些云母选矿设备。

遵照毛主席关于“洋为中用”和“排泄其糟粕，吸收其精华”的教导，在译校过程中对书中某些章节和文字作了必要的删节。在译校过程中发现的错误已予以改正，并在译者注中予以说明。

译 者

一九七四年六月

目 录

第一章 云母矿床的矿山地质特征	1
第一节 云母概述	1
第二节 基本概念与术语	3
第三节 云母矿床简要地质特征	4
第二章 云母矿床地下开采	10
第一节 云母矿床开采特点	10
第二节 各种生产过程损伤对云母损失量的影响	10
第三节 云母矿床开拓和采准	19
第四节 矿山巷道	24
第五节 云母矿床采矿方法	26
第三章 云母矿床地下采矿方法经济评价	75
第一节 概述	75
第二节 云母矿床采矿方法的经济评价方法	77
第四章 云母矿床地下开采的热态调节	90
第一节 地下巷道温度观测	90
第二节 矿井空气与岩石热交换过程的水力模型实验	104
第三节 云母矿井热态的若干分析计算方法	114
第四节 矿井空气各种预热方法的经济评价	117
第五章 云母矿床露天开采	121
第一节 开采方法	122
第二节 穿孔爆破	122
第三节 装载运输工作	134
第四节 露天矿排水	135
第五节 云母工业露天矿穿孔爆破工作的改进	136
第六节 在穿孔爆破工作中因晶体损伤造成的云母损失	152
第七节 云母矿床露天开采工艺的改进	164
第八节 露天矿生产的技术经济指标	165

第六章 云母矿石选矿工艺	170
第一节 云母矿石的摩擦分选	171
第二节 云母矿石的形状分选	174
第三节 云母矿石选矿准备工序	178
第四节 苏联各云母矿床矿石的物质组成	187
第五节 影响云母矿石可选性因素	193
第六节 云母晶体通过筛孔的条件	197
第七节 云母矿石选矿工艺流程	199
第八节 选矿厂主要生产工艺参数的确定方法	231
第九节 选矿过程对云母晶体质量的影响	234
参考文献	237

第一章 云母矿床的矿山地质特征

第一节 云 母 概 述

云母是地壳中分布最广的矿物之一。据估计，云母在地壳表层的含量，占岩石总重的2~4%，但世界上云母的工业储量却极为有限。就化学成分而言，云母属碱金属和碱土金属的铝硅酸盐，分为几个亚类：黑云母、白云母和锂云母。黑云母亚类包括：金云母、黑云母、铁黑云母和锰黑云母，其中金云母和部分黑云母具有工业价值。

白云母亚类中包括白云母和钠云母，后者十分罕见且没有工业价值。富含氧化锂的各种云母的细小鳞片属锂云母亚类。

所谓类云母矿物属单独一类，其中蛭石具有实际意义。白云母和金云母有很高的机械性能，但不同矿床的云母，即使是同一种，机械性能亦不相同。云母的硬度按摩氏表计介于2与3之间。白云母硬度（按O.A.索科洛娃和Л.И.加朗诺维奇的方法）为4.04~7.72公斤/毫米^{2〔1〕}。云母薄片有很高的弹性，在无形变的情况下，厚8~9微米的白云母薄片可环绕在3毫米直径的轴上；16~18微米的可环绕在6毫米直径的轴上；22~28微米的可环绕在8.5~12毫米直径的轴上^{〔2〕}。

云母可贵的特性在于能够沿完全解理面剥分成几微米厚度均一的薄片。单位剥分应力即分离云母薄片所需的垂直于极完全解理面方向的应力为：金云母自0.26~0.57公斤/厘米²；白云母自0.41~0.62公斤/厘米²。据一系列实验室试验结果，白云母抗断强度介于3340~4840公斤/厘米²之间；金云母介于2200~3800公斤/厘米²之间。白云母抗压强度为8000~12000公斤/厘米²，金

云母为3000~6000公斤/厘米²^[8]。

在天然晶体中所见之各种缺陷如裂纹、迭皮、针枞体、楔形构造、云母与其它矿物的连生体和气体包裹体等对云母的机械性能影响极大^[4]。云母中最常见的缺陷为各种形式的裂纹，如边缘裂纹、表面裂纹和对穿裂纹等。边缘裂纹从晶体边缘向中央扩展，表面裂纹仅扩展到晶体厚度的一部分上，对穿裂纹则穿透晶体的全厚。一种裂纹分布于云母表面上并无任何规律，而另一种则为呈规则条带的带状裂纹。

迭皮亦为常见的一种缺陷。鳞片状迭皮穿透云母晶体，它是无数小晶体的连生体，这些小晶体与主晶体的完全解理面形成不同的夹角。

云母针枞体是一束特殊的条带，从晶体中心伸向边缘。针枞体的条带约于晶体中心以60度左右的角收敛并形成A字形。

晶体的楔形构造与伟晶岩脉的珠状分异有关，白云母晶体分布于长石带和石英块体之间。白云母于此处形成大块晶体，聚积于或不规则地产于这些晶体中，或是从长石自形晶体的间隙中长出，或是不规则地长到这些间隙中去，并以规则的结晶边界终止于中央石英块体内。在这种情况下，伸到石英端部的云母晶体的顶部的厚度常比其它在长石带中的晶体要厚得多。约束该晶体的解理面虽然平整而且同属一个晶体，但却不平行，并以一定的角度，有时达30~40的角度相交。

在白云母中最常见的矿物包裹体为黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、石英、方解石和电气石等，在金云母中则为方解石、透辉石和磷灰石等。

除矿物包裹体外，云母中亦常见气体包裹体，它们是单个的或是成群的气泡。云母的机械性能如硬度、弹性、剥分性、抗断强度、抗压强度和云母的各种缺陷，在开采云母矿床时具有重要意义，因为它们关系到开采矿石的工业价值和在采掘过程中，设备、机械和岩块等作用于云母引起晶体损伤（主要形成凹坑、擦痕、剥层和断裂）的情况下，晶体保有其自然尺寸的能力。

第二节 基本概念与术语

云母矿石是一种天然矿物材料，在其组成中含有适于加工成制品的、面积不小于3厘米²的云母晶体，如将片状云母加工成电子管零件、电容器片等。

生料：即从毛矿中回收的云母晶体之称。在生料中允许有5%以下的岩屑和5%的云母鳞片。在矿山企业专门车间里将生料加工成工业原料。

工业原料：就是在云母表面上从两面显露的有效面积不小于3厘米²的、任意轮廓、不限厚度的云母晶体。

没有裂隙、穿孔、矿物包裹体、凹痕和其它缺陷的面积视为有效的。揭出有效面积要用刀从晶体表面除掉不合要求的云母片。根据晶体总面积的大小，工业原料分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类。

工业原料的类别取决于在晶体的总轮廓面积内，边长比为1:1至1:3的内接矩形面积值。

工业原料类别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
晶体轮廓中内接矩形面积，厘米 ²	100以上	50至100	3至50

Ⅰ和Ⅱ类晶体通常是大尺寸的云母。

在某些企业中，将Ⅲ类工业原料分为两个亚类，尺寸分别为3～25和25～50厘米²。

在工业原料中，允许带有有效面积不明的晶体：按重量计，在Ⅰ和Ⅱ类中为10%以下，在Ⅲ类中为5%以下。将工业原料划为三类以统一云母原料规格是必需的，这对下一道加工工序极为重要。工业原料与生料之比，以百分比表示，称之为工业原料出成率。出成率变动范围很大，对一部分矿脉和矿床来说，其变化范围为15～70%，如玛姆-楚依型矿床出成率为40%，楚宾斯克型为50%，阿尔丹型为30%。在将生料加工成工业原料的过程中，生产出厚度规整的工业原料和薄片。工业原料晶体的厚度小于1毫米者为薄片。

碎料：是在将生料加工成工业原料时，所剔出的废料。

近年来，为了更好地利用云母原料，某些云母企业改为生产精选原料。

精选原料：即清除了灰尘、岩石边缘、散边和褶边、总面积不小于3厘米²的云母晶体之称。

在玛姆云母托拉斯的研究证明，精选原料的出成率高于工业原料1.2倍，成品的劳动生产率提高5.5倍。与此同时，云母原料的质量由于改为精选原料而降低了48.7%，运输费用显著增长，并使云母加工厂的劳动生产率降低约20%^[5]。

第三节 云母矿床简要地质特征

玛姆-楚依矿床：产于片麻岩和结晶片岩地层中，结晶带长达250公里。

玛姆-楚依结晶岩层大量富集伟晶岩脉，它的分布有某些规律性。称之为富化贯入带的南东部的伟晶岩最为集中。带的这一部分所含之伟晶物质占岩石总体积的30~60%，带的中央部分（正常贯入带）所含之伟晶物质为10~15%，这是玛姆-楚依伟晶岩区的最大含矿地段。带的北亚部分所含伟晶岩量为1~2%，该带被称之为单脉带。

玛姆-楚依区的伟晶岩体以其不论在形态上，还是在结构特征上的复杂多样而著称。此处所见之伟晶岩呈脉状、岩株状、筒状、分枝状和雪茄烟状等（图1a、b、c）。但大部分含云母带在走向上和倾向上连续性均颇良好。

在伟晶岩中云母的分布遍及整个脉体或与一定的富集带有关，该富集带常全部产于上盘接触带（图2，a），或产于石英块体中，在多数情况下云母晶体的富集并不均匀。在急倾斜伟晶岩体中工业矿带常产于岩体的轴部（图2，b），伟晶岩体、穹状褶曲、盲岩枝和短岩枝的顶部可见云母富集。目前该矿床所勘探的含云母伟晶岩体在1000条以上。按云母化带的长度，矿体可划分如

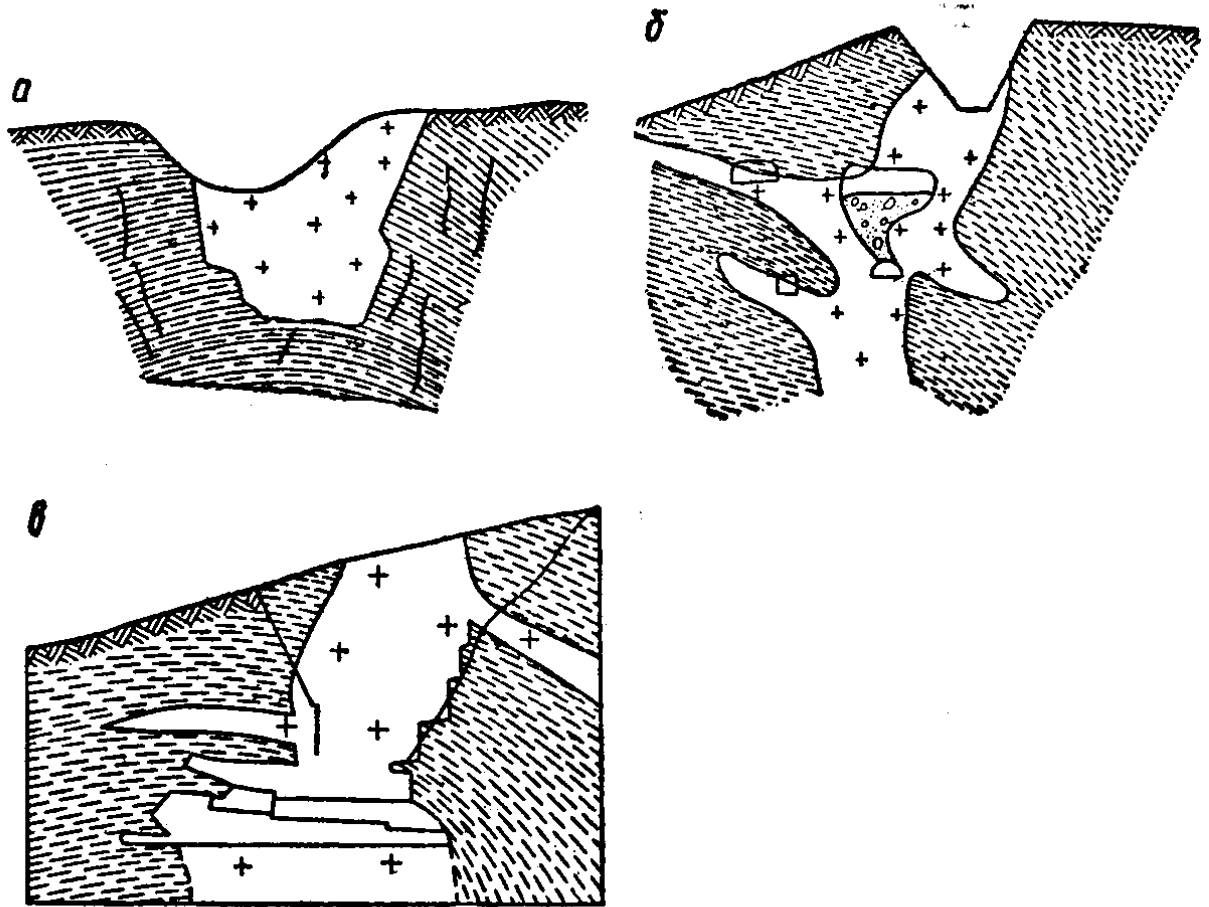


图 1 脉的形态

a—楚依矿山(横剖面), b—索格江顿矿山(垂直走向), v—鲁高夫卡矿山
(垂直走向)

下: 50米以内为22%; 自50至100米为35%; 100至200米为32%; 200米以上为10%。按云母化带的厚度划分: 2米以内为13.5%; 2至5米为47.5%; 5至10米为27%; 10米以上为12%。按倾角: 在30度以下为5.3%; 30至55度为42.0%; 55度以上为52.7%。按勘探矿脉云母化带的分布深度: 小于30米为72%; 小于50米为25%; 50米以上为3%。因此, 玛姆-楚依矿床的工业伟晶岩体的特征是规模不大, 散布于该区的大面积中并且彼此相距甚远。

该区水文地质研究甚少。地下开采的经验证明, 矿井涌水量不大, 并且主要与大气降水有关。

斯柳迪扬卡地区: 在地质上由于太古代变质杂岩系为白岗岩所穿切而复杂化了。

含矿带为南东走向。带的最大宽度0.5公里, 长度在2.5公里

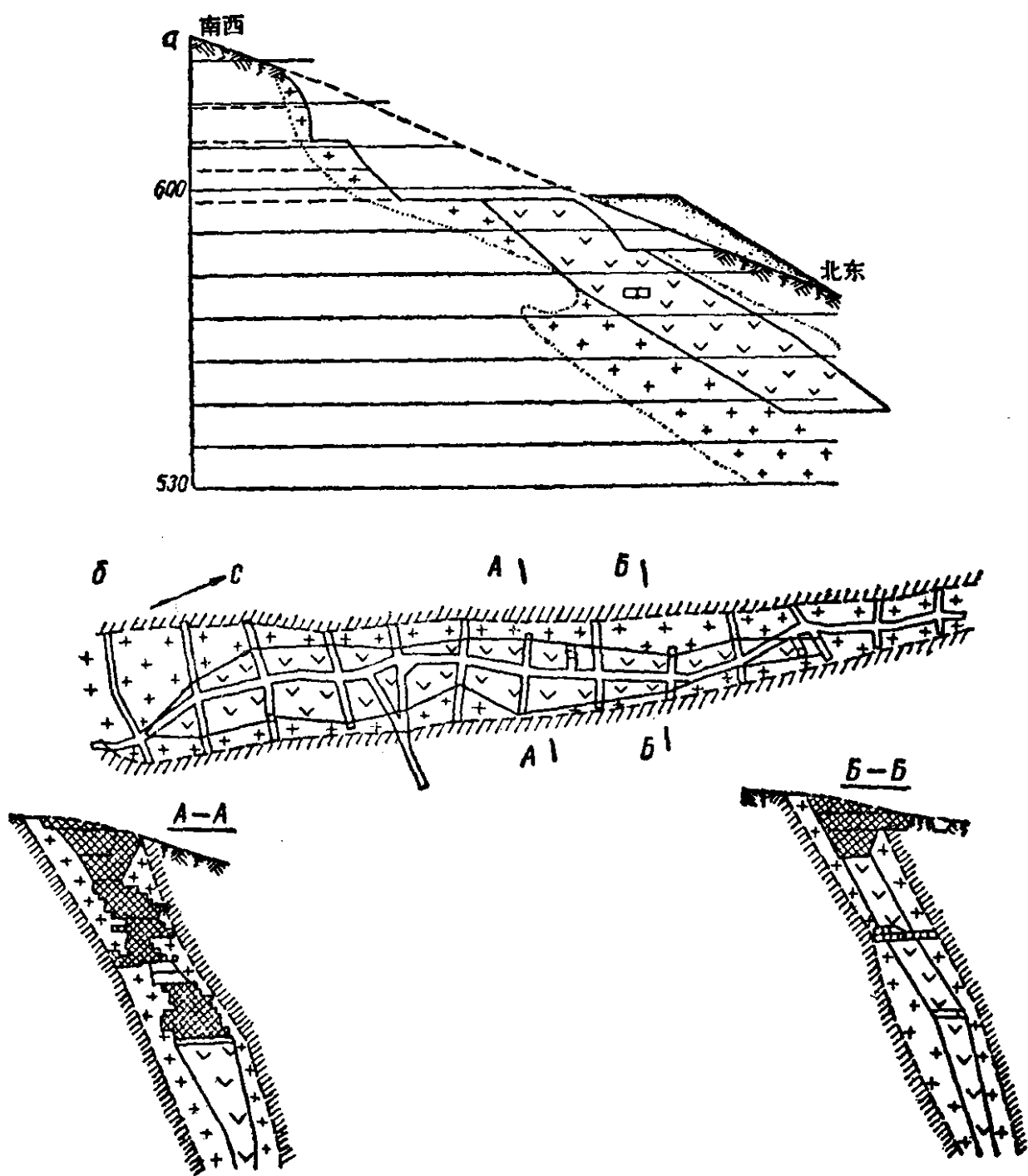


图 2 云母化

α —产于伟晶岩体的上盘； δ —产于伟晶岩体的轴部

以上。云母化几乎均为强烈裂隙脉。斯柳迪扬卡矿床的矿脉最大特征是它们彼此平行，急倾斜（70~90度）并几乎垂直于含矿带分布。矿脉走向长度介于5~55米之间，埋藏深度为6至140米，厚度为0.2至4米。

阿尔丹含云母带;就其含云母岩石的分布范围而言是最大的,产于独特的地质构造单元(文献中称之为阿尔丹地盾)中,面积约200,000公里²。云母的工业聚集体与透辉石岩有关,并出现三种类型云母化:巢状、脉状和分散状。这些聚集体形成厚矿带,走向长度自100至400米;厚为25~70米(图3);倾角为45至90度;埋深达200米。大部分矿带的围岩与矿石稳定和十分稳定。

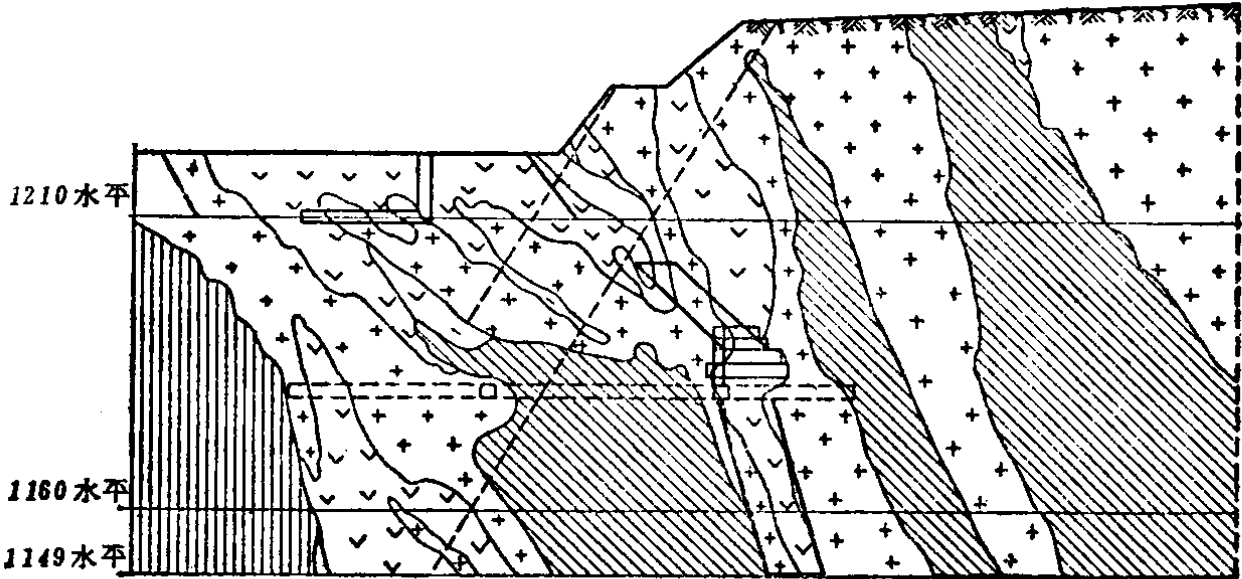


图3 提姆朴汤矿山的工业矿带(垂直走向)

云母矿巢形态不规则,横向尺寸为几厘米至1米。矿脉为透镜状,膨胀处脉厚达3米,脉长1至8~10米。分散型矿化为单一的云母晶体均匀或不均匀地散布于透辉石岩中,并且工业价值不高。

楚宾斯克矿床:基岩为不同矿物组分的片麻岩,属白海太古代杂岩系。该矿床的伟晶岩就其矿物组分和工业意义而言,可分为若干类型。

第一类形态规则并且规模巨大。这些矿脉中的白云母或根本没有,或在裂隙中形成厚度为20~30厘米的细脉。

第二类为急倾斜矿脉(75~90度),厚达15米,走向长约300米。云母含量不高且质量低劣。

第三类矿脉长300~400米,厚10至12米,急倾斜,近于垂

直，尖灭深度为10至150米（通常为50~60米）。此类中云母含量高且质量亦佳（图4）。属于第四类的矿脉，埋藏于基岩和片麻岩的接触带，并且遍布全区。该类矿脉中所见云母甚少。

伟晶岩脉为交错的板状矿体，走向和倾向颇少变化，一般没有急剧膨胀或狭缩。

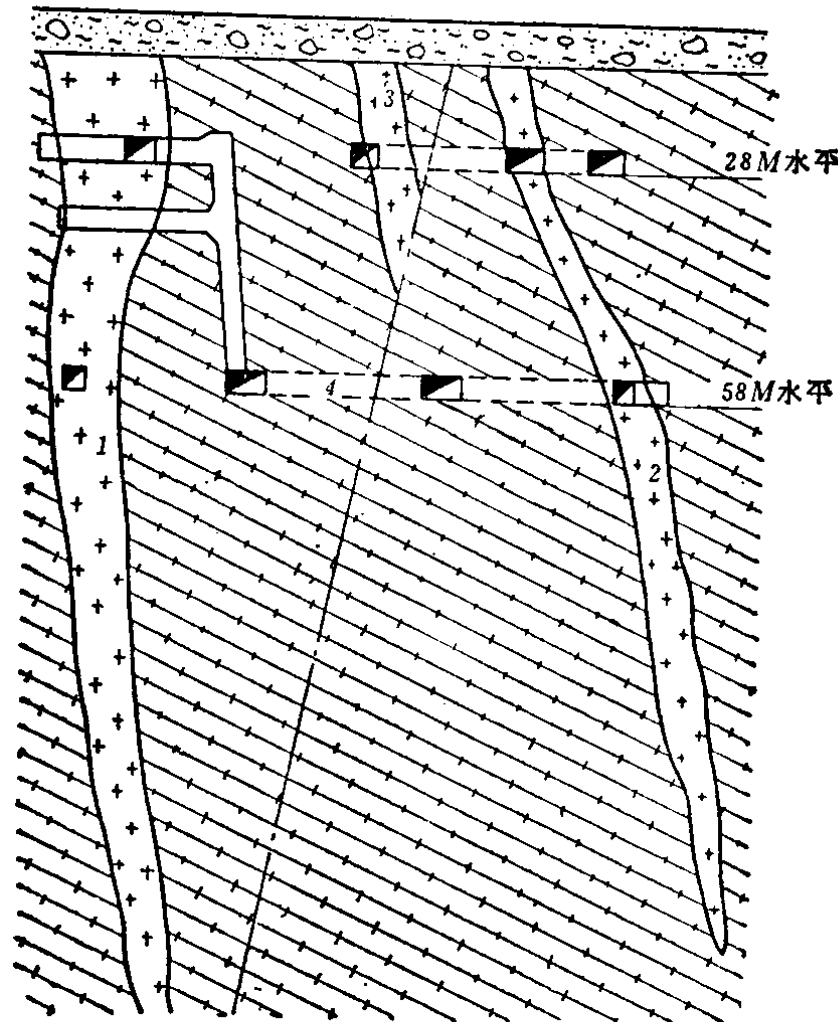


图4 马利诺夫瓦拉卡矿山矿脉类型（剖面垂直走向）
1—4^a号脉；2—4^b号脉；3—2^a号脉；4—5号石门

矿脉与围岩的接触明显，直线状，间有不大的起伏。

各矿脉在结构和成分上彼此颇为相近。大部分矿脉为微斜长石-斜长石成分。云母矿石和围岩坚硬到极坚硬。

耶恩矿床：包括若干单独矿床：利克拉特文斯克、耶恩、维索科等。利克拉特文斯克矿床最大，在利克拉特文斯克片麻岩地层中有四种类型的脉状裂隙。

第一类早期裂隙：为数最多。这些裂隙充填有巨晶伟晶岩，为脉状体，接触不平整，有云母的工业和非工业富集。

第二类所包括的岩墙状伟晶岩体，含有水白云母和绿云母，其富集没有实际价值。

第三类所包括的裂隙充填有细晶岩。它们较为常见，但其厚度不超过几十厘米。

第四类是为数不多的最晚期裂隙，充填有石英。这类脉长不过10米，厚为几厘米。

因此，第一类脉具有实际意义，其中包括该矿床的所有探明的矿脉。

在形态上，所有第一类伟晶岩体均为规则透镜状脉和层状脉，对平均走向和倾向并无大的偏移。它们的规则形态遭到短岩枝、膨胀和狭缩的某些破坏。工业矿脉的长度介于20至270米之间，而厚度为0.3至15米，大多数矿脉长度为50~100米，厚1~3米。

矿脉与围岩（黑云母片麻岩和石榴石黑云母片麻岩）通常为急变接触，且接触清晰。

矿脉的倾角陡，为70~90度。

大部分矿脉集中在利克拉托夫-东达尔山脉的北翼和北西翼。脉体最为集中的地段是几乎在端正的东西方向延伸3.5公里的一个带。伟晶岩脉中常见有棱角完好的云母晶体。云母为褐色，晶体表面平整，很少褶皱，云母的质量并不因深度增加而变差。

目前尚未找到完善的天然云母代用品，因此只有加速开采现有的云母矿床才能满足对云母的日益增长的需求。

与云母原料采掘业发展的同时，合理利用采出的云母，并将云母小块料和鳞片用于工业上成为极其重要的任务。

第二章 云母矿床地下开采

第一节 云母矿床开采特点

云母矿床开采的特点取决于有用矿物本身的性质。工业上使用的是未经任何化学处理的天然形态云母。云母晶体的尺寸愈大，以及它的可用面积愈大，它的价值就愈高，就可用以制造出更多的重要零件。所以，在开采和加工云母矿石的全部过程中，必须保护云母晶体的自然尺寸。

用凿岩爆破法崩落矿石对晶体质量有一定的影响。

探索合理的崩矿方法和凿岩爆破参数，不仅是为了提高每米炮孔的出矿量，降低不合格大块量和爆破材料消耗量，而且还是为了保证云母晶体的损伤最小，这是主要的课题。

在爆破云母矿岩时，大部分云母晶体与岩石和矿石分离而呈游离状态。

云母矿石分为易分离的和难分离的。在难分离的矿石中，有40%的云母是在连生体中，在或大或小的块状岩中。玛姆-楚依矿床的矿石属于此类。在易分离的矿石中连生体内的云母量为2~8%（楚宾斯克，阿尔丹矿床）。

从连生体中回收云母是很困难的，而且作业成效不高。

开采过程中云母晶体的损伤程度取决于云母的物理机械性质和生产工艺特性。所以，开采云母矿床时很重要的是研究不同的生产工艺的损伤对云母损失量的影响。

第二节 各种生产过程损伤对云母损失量的影响

在开采过程中，会产生大量的云母晶体损伤。1953年 А.И.

玛尔阔夫教授曾论证了在生产过程中由于损伤造成的云母损失量的问题。曾用三种方法进行研究。

1) 按采出云母量和从生料到工业原料云母的出成率, 对两个用不同采矿法的矿块的回采结果进行比较的方法。但由于在一个矿块范围内云母的空间分布不稳定和云母质量不稳定而不适用于。

2) 试验工作与地质推断成果的对照法, 这种方法由于地质资料的可靠性不高也不能采用。

3) 晶体“检验”法。晶体“检验”法的基本概念概括如下, 直接在工作面选出100~150个云母晶体, 这些晶体经过检查登记、打上标记后投入生产过程中。晶体经历生产过程后, 从云母总量中选出, 根据试验前后晶体状态的比较, 做出关于该过程由于损伤对云母损失量的影响的结论。

试样中的晶体重量损失为这一生产过程的总损失。这里, 主要不足之处是没有考虑生料的实际组成以及晶体厚度同云母损伤程度的关系。科学技术博士 A. A. 卡布斯金提出了晶体“标记”法。这个方法与晶体“检验”法的概念基本上相同, 前者仅考虑了晶体面积与云母损伤的关系, 而晶体“标记”法考虑了晶体厚度与云母损伤的关系。这极为重要, 因为晶体薄片比厚片在很大程度上易受损伤。

晶体“标记”法系根据每个单独晶体在一定面积上和厚度上的损伤, 用计算方法确定全部晶体损伤。

晶体“标记”法以如下的基本现象为根据:

云母晶体损伤程度取决于生产过程和在生产过程中的云母质量特征;

只是当具有外部损伤时才可能有晶体的内层损伤;

当“标记”晶体的数量足够时, 由于它的损伤而造成的云母损失可能代表全部投入生产过程中的云母。

晶体“标记”法的实质在于如下几点, 在实验室内将专门选择的云母晶体试样, 全部或者部分地涂以抗水彩色油漆作为标记

投入生产过程中。当采集试样时，要用晶体轮廓图准确地标定每个晶体的特征，注明存在的裂纹及其它破坏，称重并测量它的厚度。在生产过程结束之后，选出“标记”晶体并重新进行仔细的分析，以确定晶体发生变化的特征。

从数量上和质量上进行云母损失的评价。

一、晶体试样的选择

云母晶体试样仅在生料中选取。选择的晶体不应具有明显的贯穿裂纹褶边和散边，以及大于晶体直径（非正圆） $1/3$ 的尖角。这些要求是由于晶体沿贯穿裂纹劈裂开，褶边和散边以及突出尖角的损失并不降低工业原料的产量，因为生料的这些缺陷，是在将它加工为工业原料或者其它较高质量的半成品时揭露出来的。

根据晶体面积和厚度选择云母晶体试样。

按“标记”晶体面积的大小分为五个等级。一级晶体的面积为 $3\sim 25\text{厘米}^2$ ；二级为 $25\sim 50\text{厘米}^2$ ；三级为 $50\sim 100\text{厘米}^2$ ；四级为 $100\sim 200\text{厘米}^2$ ；五级为 200厘米^2 以上。每一级按晶体厚度分为五种类型。第一种厚2毫米；第二种2~5毫米；第三种5~10毫米；第四种10~20毫米；第五种20毫米以上。试样中晶体选择的一般流程如图5所示。此种选择流程能很精确地确定由于晶

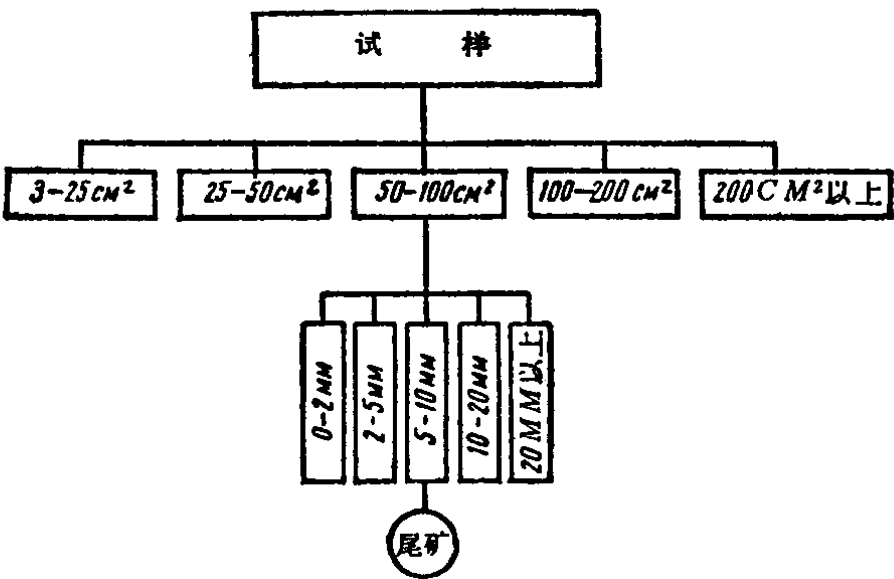


图 5 晶体试样选择流程