

• 高等学校教学用书 •

多金属矿床地下开采

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

多金属矿床地下开采

赵树莉^附等译

冶金工业出版社

(京) 新登字036号

内 容 简 介

本书分析了多金属矿石开采技术和开采工艺、主要生产工序和辅助工序的机械化和自动化、生产组织和劳动组织等的现状,论述了采矿方法与矿石连续式回采工艺所用工具和施工方法的主要改进方向,介绍了矿床联合开采和二次开采条件、适用范围和组织工作,列出了综合利用地球资源的建议和环境保护方面的资料。

本书可供高等院校师生使用,也可供有色和黑色冶金系统地下矿山工程技术人员参考。

高等学校教学用书

多金属矿床地下开采

苏联И.Е.耶洛弗耶夫 等著

赵树莉 等译

冶金工业出版社出版

(北京朝阳区大屯嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 9 5/8 字数 252 千字

1992年5月第一版

1992年5月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN 7-5024-0970-X

TD·162 (课) 定价3.00元

译者前言

金属矿床尤其是有色金属矿床，矿山地质条件千差万别，加之矿床所处地区人文和自然条件差异极大，开采矿床的技术设备的型号、规格更是种类繁多、日新月异，因此，矿床开采方法几乎无一完全雷同。于是，曾有人戏称：有多少矿体（采区），就有多少种采矿方法。

当然，千百种采矿方法，按其基本原理例如按采场支护原理，还是可以归纳为几种基本类型的，这就是采矿方法的分类。学习金属矿床地下开采这门课程，首先要掌握其基本理论，这是最主要的。在这个基础上，才能针对矿床的具体条件，灵活运用所学知识，选择和设计出合理的采矿方法，然后在生产实践中加以运用。

然而，采矿工程这门学科，仅仅掌握其基本原理还远远不足。它不象其它精密学科，理论推导在精密学科的发展中占据主导地位。采矿工程属工艺性质的学科，要在掌握基本理论的基础上，靠生产实践来发展，靠借鉴、类比去理解和应用。况且，作为大学本科学生，学好一门本专业主要专业课，就不能完全囿于一本教材，尚需适当阅读一些参考书籍。

他山之石可以攻玉。翻译这本《多金属矿床地下开采》的目的是为采矿工程专业的学生提供一个开拓思想，扩展视野的机会，也希望此书能对从事矿山生产实践的工程技术人员起到一定参考价值。

参加本书翻译的人员有赵树莉、贯鸿林、复生、李瑞芝等。全书最后由赵树莉同志负责校对和统一。

原书中个别地方有些印刷错误，译者在翻译过程中均力所能及地加以改正。

译文难免有不妥甚至错误之处，望读者批评指正。

一九九一年七月十日

前 言

苏联1986~1990年直至2090年社会和经济发展规划的主要内容之一是以超前速度发展有色金属矿山基地以及铝、稀有金属、金和金刚石开采工业，改善地下资源的保护和矿物资源的综合利用，降低在有用矿物开采和加工中的损失等；该规划还确定矿山企业应转向高速发展的道路，并在此基础上加速经济增长。规划确定，社会劳动生产率应提高1.3~1.5倍。

用地下方法开采多金属矿床，要完成上述任务，只有借助于矿床开采工艺的改善、主要生产过程和辅助工作的综合机械化、劳动和生产组织的改进。

近10~15年，多金属矿床在进行地下开采时，保证储量最大限度地回收和使地下资源得以保护的充填采矿法、高效率的房式采矿法和大量崩落采矿法得到了广泛应用；柴油机和电力驱动的自行机械、KПB型爬罐和KB型天井联合钻进机的广泛应用是生产过程机械化的主要方向；按承包方式和按劳动最终成果付酬而组成的综合工作队和专业工作队，是进行回采和掘进工作的最有效的劳动组织形式。

本书总结了苏联和国外多金属矿床地下开采的经验，对主要生产过程和辅助工作的机械化现状进行了分析，列出了掘进和回采工作利用自行设备的主要资料，矿石回收指标(损失和贫化)，矿山工人的劳动生产率和巷道掘进及矿石开采费用。

根据对矿石开采现状的分析，提出了改进采矿工艺和技术最有效的几种途径，以保证在10~15年的时间内把劳动生产率提高1~2倍。在矿床开拓和采准布置、材料运输机械化、巷道支护方法、凿岩爆破和充填工作等选用最佳方案等方面，也提出一些建议。

作者希望本书对有色及黑色冶金的科技人员，在制定提高地

下矿山笨重作业综合机械化和采矿效益这样一个科学技术问题上，有所裨益。本书可作为高等矿业院校教师 and 学生的教学参考书。

第4、6章及结束语由И.Е.耶洛弗耶夫编写，第3和5章由И.М.尼柯佛洛夫编写，第7和第8章由И.Е.耶洛弗耶夫和И.М.尼柯佛洛夫共同编写，第1和2章由И.П.切尔卡索夫和С.М.法布里奇诺夫共同编写。

目 录

前言

1 多金属矿床及其开采条件	1
1.1 多金属矿床的地质特征	2
1.2 多金属矿床开采的现状	18
2 矿床的开拓和采准	42
2.1 矿山的参数	42
2.2 开拓方法	43
2.3 多金属矿床开拓实例	45
2.4 矿床的采准	54
2.5 采准巷道掘进的综合机械化	56
2.5.1 水平巷道的掘进	57
2.5.2 天井掘进	61
2.5.3 巷道支护	65
2.5.4 改进采准巷道掘进的主要建议	73
3 采矿方法	76
3.1 空场采矿法	77
3.1.1 全面采矿法	77
3.1.2 横撑支柱上向梯段采矿法	82
3.1.3 房柱采矿法	84
3.1.4 自分段平巷(横巷)落矿的采矿方法	88
3.1.5 爆力运搬采矿法	99
3.1.6 阶段矿房采矿法	102
3.2 留矿采矿法	116
3.3 充填采矿法	123
3.3.1 水平分层充填采矿法	125
3.3.2 矿房回采后充填采矿法	128

3.4	加强横撑支柱采矿法	135
3.5	崩落采矿法	137
3.5.1	分层崩落法	137
3.5.2	分段崩落法	141
3.5.3	阶段崩落采矿法	152
4	凿岩爆破	162
4.1	浅孔和深孔的钻凿	162
4.2	炮孔的装药和爆破	172
4.3	凿岩爆破工序最佳参数的选择	175
4.4	凿岩爆破的主要发展方向	184
4.4.1	凿岩	184
4.4.2	爆破、落矿的质量控制和落矿效率问题	187
5	出矿和矿石运搬	189
5.1	自重运搬和放矿	189
5.2	矿石的电耙运搬	190
5.3	爆力运搬	192
5.4	矿石用自行设备运搬和装载	193
5.5	振动出矿和振动运搬	199
5.6	出矿和矿石运搬的发展方向	203
6	充填工程	207
6.1	充填材料及对充填材料的要求	207
6.2	充填料及其性质	209
6.3	充填工艺	210
6.3.1	充填料的制备	211
6.3.2	充填料的输送	215
6.4	灰浆和充填混合料的活化问题	218
6.5	充填工作的技术经济水平和提高其效率的主 要几个方向	223
7	辅助工序机械化问题	230
7.1	巷道的安全检查	230

7.2 爆破工序的综合机械化·····	233
7.3 巷道的锚杆和喷射混凝土支护·····	237
7.4 人员运送、材料和设备运输与繁重劳动机械 化问题 ·····	241
8 国外多金属矿床开采工艺的现状和发展趋势 ·····	253
8.1 多金属矿石的资源和开采现状·····	253
8.2 采矿作业的机械化·····	256
8.3 矿石开采工艺的发展·····	272
结束语 ·····	287
参考文献 ·····	297

1. 多金属矿床及其开采条件

苏联广大地区均有多金属矿床分布，如阿尔泰矿区、中哈萨克和南哈萨克地区、东西伯利亚、苏联远东地区、塔吉克共和国以及北高加索地区。

多金属矿床开采的地区的经济地理条件各不相同，有的在工业发达、交通运输条件好、能源供应有保障的地区开采，有的在远离工业中心和交通干线的地区开采。矿床开采所处的环境，对矿石开采和加工的主要技术经济指标包括产品成本和企业盈利水平，有很大影响。

如果该地区有与工业中心方便的交通联系，有廉价的建筑材料、燃料和电能，并设有建筑和修理工厂、加工车间以及其他设置等，则有可能开采品位较低的贫矿石且还可获得盈利。反之，缺少上述条件，则可能成为开采富矿或中等价值矿石效益不好的原因之一。采掘企业经营指标，还受到劳动力来源、当地农业发展水平以及劳动人民物质文化保障状况的重大影响。

阿尔泰矿区条件优越，因此开采多金属矿床，促进了该地区大型采掘企业的建立，这些大型企业可以有盈利地开采和加工品位相对低的矿石。

东西伯利亚和苏联远东地区的多金属矿床所处的地区，条件较差。这些地区开采和加工矿石所以能有盈利，主要是因为矿石中有用组分含量高。

矿床的自然气候条件和地形水文条件也是千差万别：从亚热带、温带到大陆性、强烈大陆性气候；从多雨地区到干旱地区，从森林地带到半草原、草原地带；从平原地区到崇山峻岭地带。它们的直接影响表现在，严寒地区建筑成本增加，边远和高山地区的工人工资高，室内取暖费用、燃料、材料和设备的运输费用需多支付；间接的影响表现在，饮用水和工业用水的费用要多

支出些，严寒和高山条件下设备的效率和可靠性均有降低，等等。

哈萨克南部、塔吉克和北高加索地区的矿床，处于自然气候条件最有利的地区内。该地区冬季短，全年大部地区温度在零度以上，这些条件有利于基建费用和经营费用的降低。

如果地形起伏，可以采用效率最高的平硐开拓方案。如果地区内水利条件良好，可以减少饮用水和工业用水供应的费用。

矿床开采的效益亦取决于矿山地质条件。如果矿床埋藏不深，可采用效率最高的露天方法开采或用较浅的竖井开采。许多工序的工时和矿石开采成本，随着采矿作业深度的增加而增涨。这是因为随着开采深度的增加，地压加大，矿体厚度减小，矿石品位降低，矿石和围岩的稳固性降低，冲击地压的危险性增大，矿岩提升、排水和通风等变得更加复杂，等等。基于上述原因，尽管不断改进开采技术设备和开采工艺，提高生产工序机械化程度和改善劳动组织，许多金属矿床的技术经济指标仍然逐年降低。

必须指出，大多数金属矿床（如阿尔泰矿区和远东地区）的开发，为许多地区工业和经济的发展建立了基础。兹良诺夫铅联合企业、列宁诺戈尔斯克和阿奇赛多金属联合企业、“远东多金属”联合企业，可成为例证。新矿床（沙尔基亚、乌多坎、戈列夫斯阔耶）的开采，将为建立新的工业中心奠定基础。

1.1 多金属矿床的地质特征

多金属矿床埋藏的地质和水文地质条件极其复杂多变，工业矿体延深可达1000m或更深。

矿体形态可呈层状、透镜状、柱状、块状或单一矿脉以及复合脉状赋存。矿体倾角从 0° 变化到 90° ，厚度从很薄变化到很厚，沿走向的尺寸达到3~5km或更长。矿体常受大断距和小断距地质构造破坏，矿石和围岩的普氏坚固性系数变化范围很大，可从6~8波动到16~18，而它们的稳定性可从弱和不稳定到很稳定

的范围内波动。

矿石成分很复杂并且是多组分的。多金属矿石中的主要成分是铅和锌。除主要金属外，多金属矿石还含有大量伴生元素，其中有很多有价值的黄铁矿、重晶石、硫和其他化合物及矿物。在锡矿石中除锡之外，常含有铅、铜和锌等其它元素。

水文地质条件同样是复杂多样的。巷道内地下水的涌水量从 $200\sim 300\text{m}^3/\text{h}$ （索尔涅奇采选联合企业的矿山）到 $1500\sim 2000\text{m}^3/\text{h}$ （列宁诺戈尔斯克联合企业所属矿山）的很大范围内变化，在个别情况下（米尔加利姆赛矿床）达 $15000\text{m}^3/\text{h}$ 。

金属含量沿矿层平面和厚度的分布通常是不均匀的。工业矿石常与表内矿量和岩石夹层相交混一起，与围岩没有明显的界限。因此，矿体的轮廓在大多数情况下，是按最低工业品位和边界品位圈定的。

多金属矿石工艺性质多种多样，故所采用的采矿方法和再加工（选矿）方案也是多种多样。平衡表内矿石的总价值，在大多数情况下，大大地超过开采矿石和再加工的费用，因此多金属矿床的开采是高盈利的。某些矿床多金属矿石的总价值中，主要组分与伴生组分所占的比重列入表1.1。

表 1.1

矿 石	金 属 比 重, %	
	主 要 成 分	伴 生 成 分
铜-锌矿石	65~70	35~30
铅-锌矿石	65~70	35~30
铅-重晶石	55~60	45~40
多金属矿石	65~80	35~20
黄铁矿型多金属矿石	60~70	40~30
含锡多金属矿石	45~55	55~45

平衡表内矿石的综合利用率为48~70%。

多金属矿床可以分为6类^[29]：

矽卡岩型，如中亚卡拉玛扎尔山区的矿床（坎赛、卡普赛、卡普塔尔汉、东卡尼曼苏尔等）和远东捷秋欣斯克矿（“韦尔赫涅耶”、“尼科普耶夫”、帕尔季赞和萨多沃耶等矿床）；

接触交代型，如碳酸岩型矿床（布拉戈达特斯克、沃兹德维任斯克、萨温斯克5号、北阿卡图耶夫斯克、卡达因斯克、米哈伊洛夫等矿床）；

脉矿型，如大高加索山脉北坡上的萨东-兹吉德矿区。

黄铁矿型，如阿尔泰矿区的矿床（列宁诺戈尔斯克、季申斯克、奥尔洛夫和佐罗图申斯克等矿床）。

层状型，如哈萨克南部的矿床（阿奇赛、米尔加利姆赛、沙尔基等矿床）。

变质作用型，如戈尔耶夫斯克、霍洛德宁斯克等矿床。

所有的锡矿床可分为三种类型：伟晶岩型；锡石-石英型，其中包括云英岩和石英热液成因的矿床；以及包括其它热液成矿的锡石硫酸盐型。矿体均聚集在侵入体中、侵入体附近或侵入体上以及喷出带中。

在“共青团”矿区和卡瓦列罗夫斯克矿区，电气石和绿泥石型的锡矿体聚集在侵入岩体的上部。属于同样类型的矿床还有后贝加尔地区的哈普切兰金斯克和舍尔沃洛戈尔斯克矿床。

兴安-奥洛诺斯克矿区（兴安矿床和其他矿床）属于喷出带型矿床，亚罗斯拉夫斯克和布拉戈达特年斯克矿区属于近侵入矿床。

按锡矿床有用组分的含量可分为四类：锡矿床、锡钨矿床、锡-多金属矿床和铜锡矿床。在所有这些矿床中，锡石所含有的锡是主要的有用组分。

兹良诺夫多金属矿床是一个部分区段含有连续硫化物的宽广浸染矿石带。

矿体形态复杂是该矿床的特点。个别透镜形矿体又有分枝和外形弯曲以及矿体内出现岩枝和夹杂废石，使矿体形态更加复杂。按尺寸，矿体从小透镜变化到巨大的工业矿带，工业矿带的

走向长度可达几百米，而厚度达百米以上。各种组分含量不均匀的浸染状矿石占绝大部分，矿体没有明显的边界，因此需按边界品位划分工业开采边界。

围岩是石灰岩型粘土、绢云母粘土和角页岩、残斑岩和玢岩。在该地下矿山的范围内，基本储量主要是原生硫化物矿石，按矿化特征它又可分为致密状矿石和浸染状矿石两类。

致密状和浸染状硫化矿石的成分本质上是相同的，仅在金属矿物和非金属矿物的数量比例有所区别。金属矿物内闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿分布广泛，而黝铜矿分布很少，磁黄铁矿、砷黄铁矿、辉钼矿等分布则更少；非金属矿物有石英、绢云母、碳酸盐、绿泥石、方解石和数量不多的重晶石。氧化的矿石成分复杂，所含的次生矿物有白铅矿、菱锌矿、蓝铜矿、孔雀石等。

矿石中主要有用组分是铅、锌和铜。

岩石和矿石具有不同的坚固性和稳定性。除坚硬和稳定的细粒石英岩以外，还有软弱的、非常容易冒落的绢云母片岩和绿泥石片岩。细粒花岗岩的坚固性系数为14~17，玢岩和残斑变岩为10~13，致密硫化矿为13，硫化页岩矿石为9，石英碳酸岩8~10，粘土页岩10~13，绢云母页岩4，氧化矿和混合矿石为6~12。

该矿床的东和南东区段水文地质条件复杂。在东翼古生代岩石的顶板内，埋藏着含水量很大的砂砾沉积物岩层，预计其涌水量可达 $500\sim 600\text{m}^3/\text{h}$ ，南东段分布在位于基岩上的含水砂砾沉积岩层之下，矿体的个别区段处在冲积层之下。

里捷尔-索柯里矿床集中在三个中段。第一含矿中段（临界的）分布在细粒石英岩含矿层的上部，直接在粉砂岩和页岩之下。矿床圆顶部分分出很多透镜状矿体，这些矿体是由带致密状和浸染状硫化矿石的石英重晶石岩组成的，矿体的埋藏大多呈水平和倾斜状。第二含矿中段叫做副中段，它位于第一含矿中段和浸染硫化矿之下。第三含矿中段位于距地表下深500~700m处，其矿化程度比副中段高，并具有相当鲜明的接触边界，其透镜状

和层状矿体是由贫铜锌矿石组成的。

按工艺性质该矿床的矿石可分为氧化型矿石、混合型矿石、致密硫化型矿石、浸染铅锌型矿石和铜锌型矿石。

混合型矿石含10~50%的氧化铅、锌，而氧化型矿石中氧化铅、锌含量大于50%。

致密硫化型矿石在所有的含矿水平都可以遇到，但在第一中段最发育。

第二中段铜锌矿石的特点是，铜含量高和铅含量低。

按矿物组分，所有矿石均是具有恒定的铜、铅、锌相关比例含量的典型的多金属矿石。平衡表内和平衡表外矿石的成分大致相同，而表外矿石不同点仅在于有用组分的含量比较低，金属矿物的浸染比较细和有较高的坚固性。闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿是主要的金属矿物，非金属矿物有石英、碳酸盐和重晶石。

矿石的基本有用组分是铅、锌、铜。

该矿床的特点是矿体形状不规则和厚度变化大，矿石和围岩的稳定性随深度增加而降低，工业矿石与平衡表外矿石呈互层，下部水平的有用组分含量降低等。

第一中段的上覆岩石是坚固性系数为4~8的泥质页岩，在大多数情况下它们是稳定的，可允许有很大的暴露面。第二中段的岩石是坚固性系数为12~14的凝灰岩和热液变质岩。

矿床的水文地质条件不复杂。位于菲利波夫卡和贝斯特鲁哈河河床下第四纪松散地层中的巷道内，涌水量很大。矿山总涌水量为1100~1250m³/h。

季申斯克黄铁矿多金属矿床是由一些急倾斜透镜体组成。氧化矿石含有孔雀石、蓝铜矿、菱锌矿、白铅矿、褐铁矿、水赤铁矿。原生硫化矿石中的主要矿物是闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和黄铁矿。在非金属矿物中间分布有石英、绢云母、绿泥石和碳酸盐。按所含主导矿成分矿石可分为多金属型、硫黄型、钼黄铁矿型，个别区段还分出铜锌型矿石。

致密的多金属矿石占总矿量的30%。闪锌矿是该矿石中的主要矿物，黄铁矿的含量波动在2~17%之间。浸染矿石占主矿床储量的70%。铜和硫黄铁型致密的和细脉浸染矿石分布不广，黄铁矿和黄铜矿是这些矿石中的主要金属矿物。

矿石的主要有用组分是锌、铅、铜。

围岩和矿石是坚固和稳定的。岩石的坚固性系数从4~8变化到10~14，硫化矿从8~10变化到12~14。致密硫化矿的容重为 4t/m^3 ，细脉浸染矿与混合矿的容重为 3.14t/m^3 ，氧化矿为 2.5t/m^3 。

矿床的平均含硫量为18%，在个别情况下致密的硫黄铁矿含有42~44%的硫。含有如此多的硫的矿床区段是有火灾危险的。

该矿区有波兹诺帕洛夫卡河流过以及受乌利巴地下河的影响，水文地质条件复杂。

由额尔齐斯联合企业开采的多金属矿床，分布在别廖佐夫卡-别洛乌索夫卡矿区的近额尔齐斯挤压带内。

矿石的特点是铜、铅、锌含量高，属于高价值的矿石；矿床的特点是矿体形状很复杂。

别洛乌索夫卡矿床含有7条复杂的脉状矿体，这些矿体以小厚度大长度的形式分布，矿石的有用成分有硫化铁、铜、铅和锌，主要成矿矿物有黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和黝铜矿。

矿石坚硬而稳定。围岩稳定性较差，但掘进巷道可以不支护。矿石坚固性系数为8~18，围岩为11~16，矿石和围岩的容重波动在2.7到 4.3t/m^3 。矿石中含硫14~17%，二氧化硅的含量为41%。

别廖佐夫卡矿床正好在挤压带内，并处于强烈变质页岩中。矿床由五个透镜状和脉状的矿体组成：主矿体、东南矿体、西南矿体、平行矿体和中间矿体。

围岩是炭质砂页岩，大理岩，基性型、混合型 and 氧化型凝灰岩，斑岩；脉系的岩石是斜长花岗岩、斑岩、石英斜长斑岩、辉绿岩及其它变种岩等。

按结构构造特征, 矿石可分为块状和带状构造的致密块状和浸染状硫化矿石。致密状矿石相当稳固, 坚固性系数为10~12。浸染状矿石是变质页岩, 内含以细脉浸染、小透镜体和不规则形状析出的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和黄铁矿。矿化页岩的坚固性系数为6~10, 绢云母石英页岩的坚固性系数为6~8。围岩的平均容重 $2.8\text{t}/\text{m}^3$, 矿石为 $3.4\text{t}/\text{m}^3$, 矿石中的石英含量为30~40%。最大涌水量为 $120\sim 150\text{m}^3/\text{h}$, 预计矿床回采结束时的涌水量为 $190\sim 230\text{m}^3/\text{h}$ 。

额尔齐斯矿床是由几个透镜状矿体组成。主矿体最大, 在这个矿体的顶底盘内发现很多小的透镜体, 其中许多有工业开采价值。矿石的成分中包括如下矿物: 黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、方铅矿等。非金属矿物中有石英、重晶石、方解石、绢云母、绿泥石和钠长石。致密浸染富矿占绝大多数, 与围岩有明显的接触界限。

主矿体底盘强烈片理化的岩石稳定性差, 而顶盘围岩则具有中等稳定性。矿石中硫的含量平均16.3%, 最大23%, 故有弱火灾危险, 而按氧化硅的含量, 矿石具有矽肺的危险。额尔齐斯矿的最大涌水量为 $170\text{m}^3/\text{h}$ 。

奥尔洛夫黄铁矿型多金属矿床分布在阿尔泰矿区。

在矿带范围内, 众所周知的有两个大矿床, 包括三个矿体的“主”矿床和由两个大矿体组成的“新”矿床。

矿体与围岩整合埋藏。矿体具有复杂的透镜状, 走向长度很大, 其产状从倾斜变化到急倾斜。

矿体含有铜黄铁矿(占总储量的59%)、重晶石多金属矿石(31%)和铜锌矿石(10%)。按结构特征, 矿石可分为块状型(占总储量的60~65%)和细脉浸染型(35~40%), 细脉浸染型矿石集中于底盘内和热液变质岩中。矿石的主要成矿矿物是黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿, 其次是黝铜矿、炭黑质的硫化铁、磁铁矿和砷黄铁矿。非金属矿石中比较发育的是重晶石、石英、萤石和钠长石, 方解石、白云石、绢云母和绿泥石等则比较