

# 地下金属矿山

## 采矿方法选择及应用

### 主办单位

中国有色金属工业总公司  
冶金工业部  
核工业总公司

编辑·出版·发行

《世界采矿快报》总编辑部  
分设：

长沙矿山研究院分编辑部  
马鞍山矿山研究院分编辑部  
核工业第六研究所分编辑部

### 要目

第一部分

采矿方法选择

第二部分

采矿方法及其工艺设计

第三部分

采矿方法及工艺实例



第八卷 专辑

1992.12

23  
29  
1

《世界采矿快报》专辑

# 地下金属矿山采矿方法选择及应用

编 审 人 员

主 编	娄富昌			
副 主 编	王大勋	罗建川		
编审人员	刘维震	姚必鸿	罗声运	尹健生
	王 坚	胡爱华	聂辉成	曹连喜

---

**总 编 编** 黄业英  
**副总编辑** 李公照  
王桂林  
王维德

**《世界采矿快报》总编辑部**  
**地 址** 湖南省长沙市麓山南路长沙矿山研究院内  
**电 话** 83091-3367      **电 报** 4282  
**邮 码** 410012      **传 真** (0731)851231

---

国内统一刊号：CN43-1141/TD

湖南省期刊增刊许可证第45号

# 前 言

地下开采的金属矿床矿种很多,有铜、铅、锌、金、银、铁、锡、钨、钼等。不同的矿种其价值不同,它们的赋存条件和形态各异,这就要求采矿工作者必须根据它们的特点和客观存在条件,正确选择采矿方法,才能使矿山获得较高的经济效益。众所周知,采矿方法选择应用是否正确,是一个直接影响到矿山能否正常生产的核心问题,是矿山产前设计时,乃至矿山投产后都必须十分重视研究的一个关键问题。

为了使矿山设计部门和矿山的工程技术人员能够根据各自矿山的条件正确选择应用采矿方法,我们收集了近10年国内外在地下金属矿床开采方面的文章共44篇汇编成册供参考。本专辑分为三个部分:第一部分收入怎样选择采矿方法方面的文章8篇;第二部分收入各种采矿方法及其工艺设计方面的文章18篇,介绍了怎样作矿山规划与设计、地质技术模型在矿山设计中的应用、采矿工程的计算机评价、铅锌矿床残留矿石地下溶浸开采等新技术、新工艺和新方法的内容;第三部分收入一些矿山应用不同的采矿方法及工艺取得成功的实例。我们希望本书对采矿工作者在选择应用采矿方法时有所帮助。

本书可供从事采矿的科研、设计人员和大专院校采矿工程专业的师生参考。

由于编译人员水平和时间有限,不妥之处难免,敬请读者批评指正,希望同仁们能够喜读它。

主编 娄富昌

1992年11月13日

# 目 录

## 第一部分 采矿方法选择

露天开采或地下开采的选择·····	(1)
地下采矿方法的选择·····	(27)
采矿方法及其选择·····	(47)
采矿方法的选择·····	(61)
采矿方法选择的数值法·····	(74)
地下大量采矿法的选择·····	(91)
缓倾斜矿体采矿方法的选择·····	(108)
奎斯塔矿采矿方法的选择·····	(113)

## 第二部分 采矿方法及其工艺设计

矿山规划与设计·····	(119)
地质力学模型及其在矿山设计中的应用·····	(123)
采矿工程的计算机评价·····	(135)
确定地下矿山阶段高度方法的比较评价·····	(137)
金属矿床地下开采新工艺和技术装备·····	(139)
瑞典基律纳试验矿山空场采矿法的设计·····	(146)
崩落采矿法·····	(159)
高矿块阶段强制崩落法·····	(182)
三步骤回采的阶段矿房采矿法·····	(186)
急倾斜矿体的特高矿房胶结充填法开采·····	(189)
大暴露面高房间矿柱的稳定性和回采问题·····	(192)
人工支护采场结构研究·····	(196)
充填系统的计算机辅助设计·····	(213)
薄矿体开采技术·····	(220)
板状薄矿体充填系统的设计和生产指导原则·····	(227)
不稳固倾斜薄矿体的开采工艺·····	(234)
铅锌矿床地下溶浸开采设计·····	(236)

完善矿用振动放矿机的途径.....	(239)
-------------------	-------

### 第三部分 采矿方法及工艺实例

芬斯奇矿.....	(244)
黄铜矿床开采过渡带有效回采工艺的探讨.....	(249)
克玛矿区的联合开采——减少生态损失的途径.....	(252)
机械化分段空场法在维汉蒂矿的应用.....	(256)
凡口矿大直径深孔采矿新技术.....	(261)
芒特艾萨公司的采矿活动.....	(274)
安德森湖矿采矿方法的过渡.....	(286)
洪都拉斯埃尔·莫基托矿圣胡安矿体开采实践.....	(294)
用电化学方法监测捷克利铅锌矿胶结充填料的制备.....	(305)
在胶结充填体中形成通道方法的工业试验.....	(307)
塔什塔戈尔矿地下采矿工艺的改进.....	(311)
铜矿峪矿高阶自然崩落法放矿控制.....	(316)
粗粒级水砂充填及其应用.....	(340)
卡尔纳苏尔特矿采矿效率的提高.....	(361)
米尔加利姆赛铅锌矿薄矿体开采中崩矿参数的改进.....	(364)
阿利马克爬罐在多姆矿窄矿脉开采中的应用.....	(370)
马卡萨脉金矿天井钻进应用成功.....	(374)
马格涅季特铁矿用胶结充填法开采保安矿柱的经验.....	(382)

# 露天开采或地下开采的选择

采矿就是用凿岩和爆破方法将岩石崩落和装运出来,而且往往还要将矿石破碎成合格的块度。这些作业可在露天矿或地下矿进行,还可在较小范围的海洋条件下进行。在各种建筑工程中,即道路、水电站等也采用类似作业方法。在进行涉及是用露天开采还是地下开采以及在哪一位置应由露天开采转为地下开采或与此相反的诸因素的具体经济分析之前,先对一些一般因素加以讨论是有益的。

## 露天矿与地下矿比较

### 产量

表1所列为1973年露天矿和地下矿采出的矿石估计量。仅西方世界采矿工业所采矿量约为30亿吨/年。矿山总数达数千座。这意味着世界上人均每年约可分摊1立方米矿石。在美国和瑞典这些国家,人均每年约为4立方米。

不同的金属矿石由不同的采矿方法开采。铁矿石和铜矿石多数用露天法开采,而黄金、镍、铝和锌矿石则常用地下法开采。

各国采用露天法采出的原矿石量的比例有所不同。美国约有85%金属矿产量来自露天矿,但在瑞典仅为30%左右。

表2所列为西方世界矿石产量超过15万吨/年(不包括煤矿)的矿山数量分布状况。此表所列矿山的产量约占世界矿山总产量的90%。在1968~1977年期间,世界矿山的产量约由19亿吨/年增加到约25亿吨/年。

表2还表明,开采量的增加并非由于矿山数量的增加而是由于矿山开采规模的增大所致。大型矿山数量增加了,而同期中小型矿山数量却相当稳定或略有减少。这种趋势,露天矿尤为明显。

表1 1973年采矿和建筑工程中采出的矿岩量

采矿:	10 <sup>6</sup> 米 <sup>3</sup>	%
露天矿	1550	41
地下矿	620	17
建筑工程:		
露天	1450	39
地下	130	3
合计	3750	100

表 2 西方世界露天矿与地下矿的比较

	1968年	1977年
<b>地下矿</b>		
>300万吨/年	29	56
100~300万吨/年	144	140
50~100万吨/年	116	119
30~50万吨/年	108	121
15~30万吨/年	166	157
小计	563	593
<b>露天矿:</b>		
>300万吨/年	102	138
100~300万吨/年	109	142
50~100万吨/年	81	64
30~50万吨/年	68	53
15~30万吨/年	61	61
小计	421	459
总计	984	1052

大型露天矿数量的增加有两个原因：一是增加的产量大部分来自新矿山，特别是在发展中国家，那里的露天矿一开始就以高生产率进行开采；二是回采率、品位控制、经济性、机动性、安全性和工作环境等方面，一般认为露天开采优于地下开采。

### 生产率的发展

在最近几十年中，技术的快速发展引起了生产率的迅速提高。大型矿山的生产率较小型矿山的高，而露天矿又比地下矿高得多。在露天矿山，采用高生产力的大型机器几乎不受限制，而在地下开采中却受窄巷道的限制。

图 1 表示一个典型的露天开采国家——美国的生产率与一个典型的地下开采国家——瑞典的生产率的比较。

此图表示每个矿工的年产

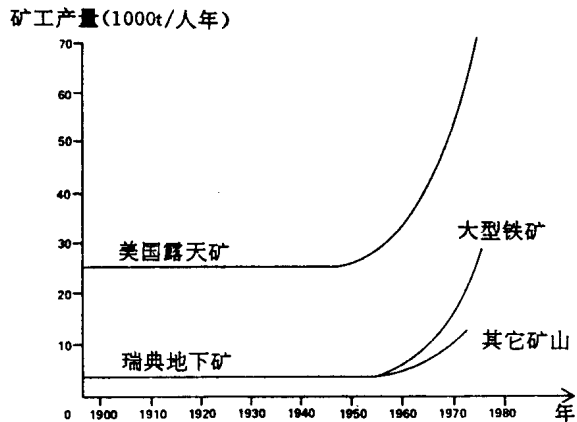


图 1 美国露天矿开采与瑞典地下矿开采生产率比较(1974年采矿生产率讨论会的资料)



量,露天矿比地下矿高得多,但地下矿在增长速率方面则较快。本世纪以来,露天矿的生产率增长了 250%,而地下矿则增长了 350%,同时,大型地下矿生产率开始增长的时间比小型矿山早。

分析一下瑞典两座可资比较的铁矿山(一座露天矿、一座地下矿)的生产率的发展,就能更清楚地了解这种趋向。先讨论露天开采。

在 60 年代中期,用三辆 40 吨汽车配套的一台挖掘机的产量约为 3500 吨/班。8 年以后,随着所用设备的加大,班产量超过 5000 吨,这相当于生产率每年上升约 5%(图 2)。未来所用的设备可能还要大,但铁矿迄今尚无理由引进更大的设备。然而,铜矿目前采用了运输能力达 200 吨以上的汽车。

现在讨论瑞典地下矿山。在 60 年代初期,使用蟹爪式装载机和容量很小的梭车进行装运。逐步地,电动梭车被柴油汽车取代,最后,铲运机取代了整个装运系统。

目前,这种装载机在较短运距方面约占全部装载机的 90%。这使瑞典铁矿在 10 年中的台班产量从 700 吨左右增加到 1700 吨左右。考虑到这一因素,1960~1970 年期间工班生产率每年约增长 10%(图 3)。

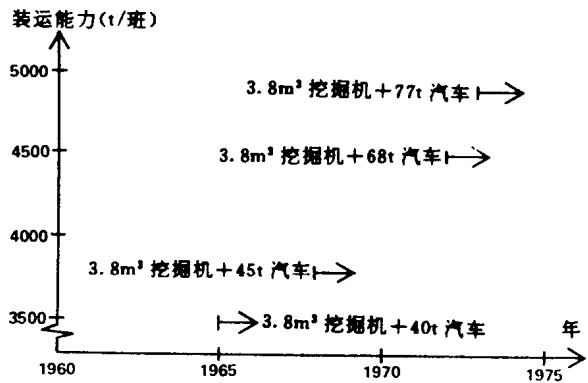


图 2 露天铁矿装运能力(运距 1500 米)

运输方面的发展情况也相类似。在 60 年代初,曾使用容量为 200 吨的列车,而 20 年后的今天使用了容量为 500 吨的列车。目前,在主运输平巷列车不用驾驶员,而是由集中遥控计算机系统操纵。

凿岩和爆破作业的发展速度也是如此。总的来说,地下矿生产力发展速度略快于露天矿。

### 成本和成本的改善

露天开采成本一般要比地下开采成本低得多。其确切的关系取决于露天矿要采出多少废石和地下矿的采矿方法等。

采用高生产力的露天设备意味着成本低。由于露天矿开采的矿石量大,这为大量制造露天设备提供了机会,从而可降低生产成本。由于露天设备还能作其它用途,如筑路、水电站施工等等,所以露天设备市场是很大的。地下采矿则要求更专用和价格高的设备。

当然,采矿成本也因矿山而异,它决定于采矿方法、矿体条件等等。比较一下露天矿的成本和地下矿的成本是有益的。

表 3 所列为一座假想露天矿和一座假想地下矿的估计开采成本比较;前者年产矿石 650 万吨,废石量大致相等;后者采用房柱采矿法,矿石年产量为 200 万吨。

表 3 所列数值表明,即使不同矿山的成本大不相同,但地下矿的开采成本都高于露天

矿。

由于露天开采成本较低,所以不宜用地下方式开采的矿床,可用露天开采;同时,露天矿的边界品位也比地下矿的小。

即使地下矿生产率发展速度令人满意,但一般认为,地下开采成本的上升速度比露天开采的快。其原因有二:露天矿比地下矿能多增加产量;为提高生产率所必需的地下设备,按单位容量计算,比对应的露天矿设备更贵。

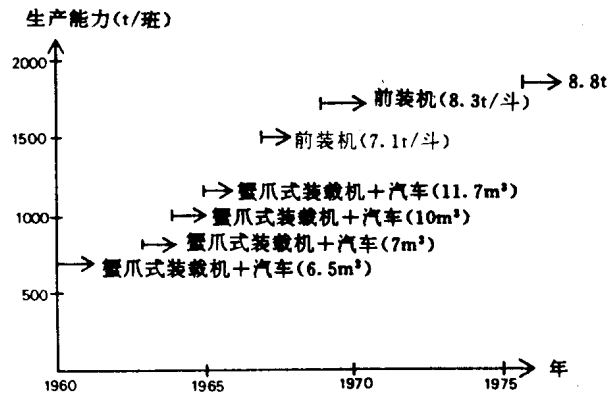


图3 地下矿山装运能力(运距为125米)

表3 露天矿和地下矿采矿成本

年产650万吨的露天矿	
投资额:2500万美元	
主要费用:2500万美元×0.13=	325万美元/年
工资:130×20000美元=	260万美元
能源费用:650万吨/年×10千瓦/吨×0.02美元/千瓦=	130万美元/年
其它费用:650万吨/年×1美元/吨=	650万美元/年
总计:	1365万美元/年
每吨矿石成本 1365/650=	2.1美元/吨
年产200万吨的地下矿	
投资额:650万美元	
主要费用:650万美元×0.13=	845万美元/年
工资:275人×20000美元=	550万美元/年
能源费用:200万吨×25千瓦/吨×0.02美元/千瓦=	100万美元/年
其它费用:200万吨/年×1美元/吨=	200万美元/年
总计:	1895万美元
每吨矿石成本 18.95/2=	9.50美元/年

### 事故的危險性

一个重要的问题是关于露天矿和地下矿事故的危險性。对于每个矿工来说,每工时的事故发生率是他首先关心的事。

图4表示上面提到的瑞典露天矿和地下矿每100000工时的事故发生率。这些数学表明露天矿开采比较有利。

但对一家采矿公司或对整个社会来说,更关心的是每开采一吨矿石的事故发生率。图5表示每吨矿石的事故发生率。从这一点上看,数字表明地下开采不利。此外,地下矿的事

故比露天矿更为严重。

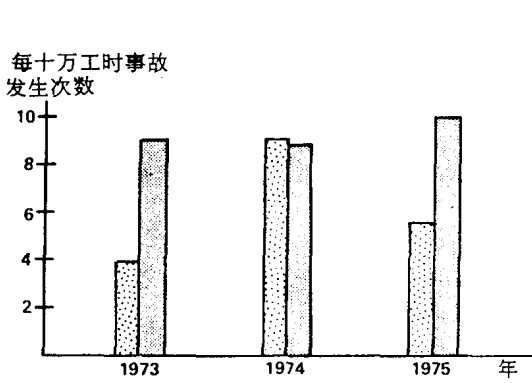


图4 每100000工时代事故次数  
(同年的左侧为地下开采,右侧为露天开采)

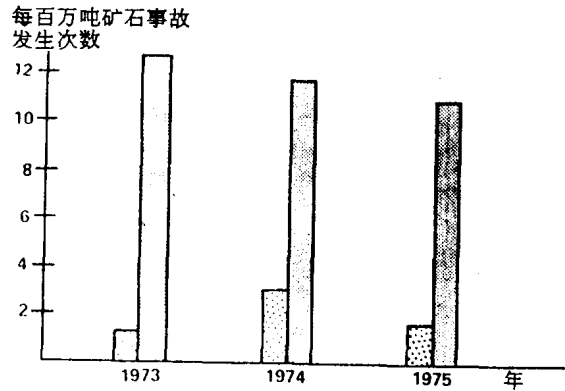


图5 每100万吨矿石事故次数(同年的  
左侧为地下开采,右侧为露天开采)

### 能源需求

矿山的凿岩、爆破、装载、初碎、往地面运输矿岩、通风及排水等作业都需要动力。有的矿山(特别是地下矿)要破碎矿岩。表4所列为所耗电力和燃料以及炸药和钻头钻杆的总计。

表4 露天开采和地下开采所需能耗

露天开采	5~10 千瓦/吨原矿
地下开采	20~50 千瓦/吨原矿
破碎(80%小于15毫米)	2~5 千瓦/吨(处理过的矿石)

### 环境问题

在露天矿,人员和设备都直接受气候条件变化的影响。在地下矿,存在的问题有:通风、爆破和柴油废气、粉尘、氮排放物、潮湿以及通常人们对井下作业的厌恶感。对于改善环境(特别是井下)的要求,今后将日趋紧迫。

然而,露天矿对环境的影响比地下矿大。露天矿废石和选矿厂尾矿等都必须堆放起来,这种堆积物对于一个采矿工程师来说,可能是美丽的,而对大多数人来说,也并非是不幸的事。在那些没有利用当地居民从事采矿事业的地区,关于新矿山对环境问题的讨论特别激烈。在许多地区,如在国家公园和山区的某些地区,是不许进行开采的。

一座今天被认为有碍于环境的矿山,明天可能变成一处吸引旅游者的地方。在瑞典最大的基鲁纳矿,每年有成千上万的旅游者观赏这座矿山的景色,如果那里没有一个露天矿,则这座山就象其它许多矿山一样,很少有人来此旅游。

### 安全地带

为防止受爆破伤害,必须经常确立颇大的安全地带。这是露天矿的一件大事。根据矿山检查员的规定,瑞典的露天矿周围留有宽为1公里的安全地带。在此安全地带内,实际上不可能再行开采。

图 6 所示为露天矿的岩石最大抛掷距离与炮孔直径的关系。

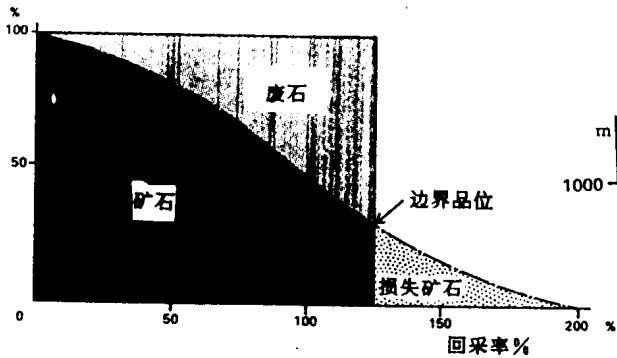


图 6 露天矿岩石最大抛掷距离与炮孔直径的关系

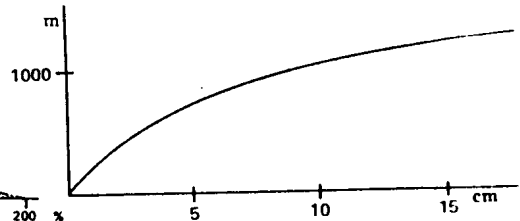


图 7 深孔分段崩落法回采率曲线

### 矿石损失

必须考虑,地下开采的矿石损失是比较大的,从而影响了矿山服务年限。露天矿通常能回采 90~95% 的矿石;其余矿石,可能与废石一起被运往堆积场。

地下开采的矿石损失决定于所用采矿方法和有关回采副产矿石的费用。采用分层充填采矿法,矿石损失少。采用房柱采矿法,必须留支撑矿柱,损失率通常最高达 40%。

为说明回采率如何影响采矿成本,现举例研究一下分段崩落法。采用分段崩落法时,最初装运的矿石量比废石多得多。随着岩石崩落量的增多,废石的混入量增多,与此同时,回收的总矿量也会增多(图 7)。

装载的比例越高,由于必须运出的废石量大,年度作业费用也越高,同时,回采水平的服务时间增长。换言之,这将延长整个矿山的的服务年限。

通过对矿床不同回采率的资本价值的计算,就能获得一个最佳值。如果公司拥有极大量的矿石,则可根据比矿石储量有限时更低的回采率进行计算(图 8)。

数值表明,从采矿公司的一般而言也是从国家的观点来看,试图用分段崩落法回采全部矿石是不经济的。

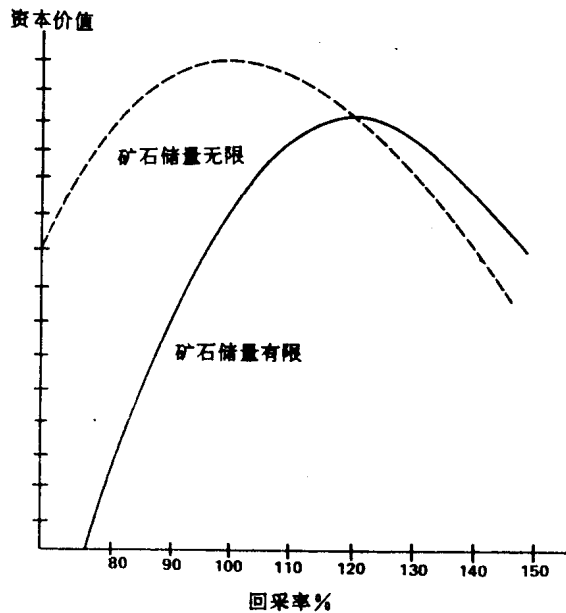


图 8 不同条件下最佳回采率

由于矿石成本不同和收益不同,所以不同矿山将得出不同的计算结果。然而,通常取15%~20%的损失率最为经济。

如前所述,由于露天开采成本比地下开采低,故用露天开采法有可能开采那些不宜用地下开采的矿床。用露天法开采,由于可降低边界品位,故可更多地回收矿床所含金属量。

### 心理学因素

决策和工艺技术的开发经常受主观因素的影响。如果站在露天矿边缘,观看下面的活动,就将得到一种有秩序、灵活和高产的印象,而要了解地下矿内的活动,则要困难得多。因此,露天开采占有心理上的优势。人们常常会遇到一种消极对待地下开采的态度和常常对地下开采所形成的比较有利的环境这种情况不了解。

## 露天矿最佳深度的确定

必须实际考虑的矿床有四类:一类是只适于露天开采;一类是初期适于露天开采,后期宜用地下开采;一类是埋藏深度过大明显不宜用露天开采;一类是先用地下法开采,而后,由于工艺技术和价格的变动而适于用露天法开采。某些矿床,虽需要进行详尽的经济分析,但其类别是很明显的。

### 最佳化的基础

在确定一矿体露天开采的最终边界和深度时,必须设想一个目标。因为采矿公司往往要在从矿石中得到收益前许多年需投资剥离废石,所以公司必须计算资本的时间价值。这就是说,其目标必须是:采用公司用于其它投资的利率,选用一个能使矿体的现在资本价值达到最大限度的露天矿深度。

金钱的时间价值往往未加计及,这种目标将导致露天矿深度会超过采用纯现值法的深度。最佳深度与各种因素(包括所取用的利率)的关系将在后面部分讨论。

在作出正确决定时,必须确定下列情况哪个是适用的。如果有利于地下开采的条件由于矿体形状、矿石品位等关系而不复存在,如果公司所在地不利于开采其他处的矿石,那么,露天开采应持续多久?如果存在有利于地下开采的条件,那么应在哪一点及时地过渡到地下开采?

计算第一个情况可能最容易。但在许多场合下,为确定第一个还是第二个情况适合,必须进行计算。在第一种情况下,只要露天矿最后一吨采出的矿石成本不超过对应的收入,则可继续进行开采。在第二种情况下,只要最后一吨矿石的成本不超过地下开采最后一吨矿石所需成本,则露天开采可以进行。

露天开采深度决定于剥采比、金属含量、边坡角、成本等,它在不同横断面(决定于各种宽度)上是不同的。为更好地掌握如何达到优化设计,下面将详细地讨论一个例子。

### 一座假想的矿床

假定芬赛(Fancy)铁矿床(图9和10)按设计要求向生产能力为300万吨/年的一座现有团矿厂提供矿石。矿床长度为1.0公里,平均宽度为100米,深度为500米,含铁量为40%,矿石总储量约为17500万吨。矿床倾斜65°。按此含铁量,每年约需开采500万吨矿石。

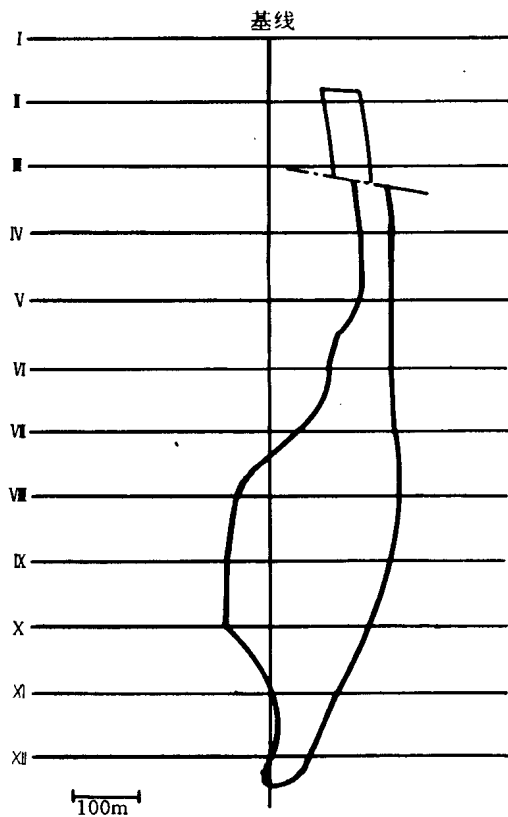


图9 芬赛铁床平面图

正确求出露天开采终止点,就必须考虑各种可供选择的露天矿深度。

假定有四个不同的露天矿,其平均深度各为100、150、200和250米。这些比较方案如图11中4种断面所示,地下开采所需设备也要叙述。有关问题将详述于后。

设  $d$  是露天矿深度,  $b$  是台阶高度,  $w$  是矿体宽度,并设边坡角为  $45^\circ$ ,则每种方案最后一个台阶内废石与矿石体积之比大致可用下式表示:

$$\frac{\text{废石}}{\text{矿石}} = \frac{(d+b)^2 - d^2}{w \times b}$$

设  $b=10$  米,  $w=100$  米,最后一个台阶的  $d=100、150、200$  和  $250$  米,则每立方米矿石大致要剥离  $2、3、4$  和  $5$  立方米废石。而后,将这些比值换算为吨。

### 矿石量和废石量

表土剥离:如果有完善的矿体横断面图,就有可能正确地计算废石和表土量。如果没有,则可利用矿体和露天矿的数学模型(图12)。

在此例中,矿体近似层状,其长度为  $1000$  米,宽度为  $100$  米,深度为  $500$  米。首先假定

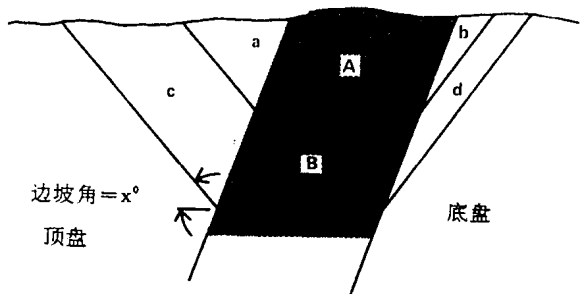


图10 芬赛铁矿床的典型横断面

暂时假定,在各个横断面上,含铁量都是相同的,随后,再讨论含铁量变化的影响。首先设想一座厚度均匀的矿体,其面积、平均宽度等大致与芬赛矿床相同。

实际上,研究一个厚度均匀的矿体时所确定的系数,只能用来求算大致的结果。详细分析芬赛矿床,应包括露天矿若干不同深度的设计。然后,应准备剥离废石的施工设计,并对各种方案进行经济分析。但研究一个简化的均质矿体,通常只是了解一下用露天开采法能采出多少矿石。为了正

在各个截面和深度上宽度是相同的。

设计的露天矿必须剥离的面积和必须挖掘的废石量,决定于边坡角。

必须剥离的面积可用下列方法求出,式中:

d —— 露天矿的深度,

x —— 边坡角,

L —— 矿体长度,

W —— 矿体宽度,

表土厚度=10米,

斜坡运输道宽度=20米,

斜坡道倾斜度=1:10,

表土比重=2.0

- 1) 矿体上部面积是长和宽之乘积,  $L \times W$ ;
- 2) 沿矿体表土剥离面积是  $L$  和  $2d \operatorname{tg}(90-x)$  之乘积;
- 3) 矿体两端表土面积是宽度  $W$  和  $2d \operatorname{tg}(90-x)$  之乘积;
- 4) 四角表土剥离面积是一圆或  $\pi d^2 \operatorname{tg}^2(90-x)$ ;
- 5) 斜坡运输道上方的剥离面积为  $20 \times 10 \times d$ 。

然后,用深度和比重乘总面积,即可求出设计的露天矿上部的表土剥离量。按例中方案1,必须剥离的表土量为(假定  $x=45^\circ$ , 比重 2):

矿体上部——  $1000 \times 100 \times 10$  米  $\times 2$  吨/米<sup>3</sup> = 200 万吨;

沿矿体——  $2 \times 1000 \times 100 \times 10$  米  $\times 2$  吨/米<sup>3</sup> = 400 万吨;

矿体两端——  $2 \times 100 \times 100 \times 10$  米  $\times 2$  吨/米<sup>3</sup> = 40 万吨;

矿体四角——  $100 \times 100$  米  $\times \pi \times 10$  米  $\times 2$  吨/米<sup>3</sup> = 60 万吨。

斜坡运输道上方——  $20 \times 1000 \times 10$  米  $\times 2$  吨/米<sup>3</sup> = 40 万吨。

总共=740 万吨。

如果估算不同边坡角条件下各种方案的表土量,则可得(百万吨):

	45°	55°	65°
方案 1	7.4	5.9	4.5
方案 2	10.3	7.7	5.8
方案 3	12.8	9.5	7.0
方案 4	17.4	12.4	8.8

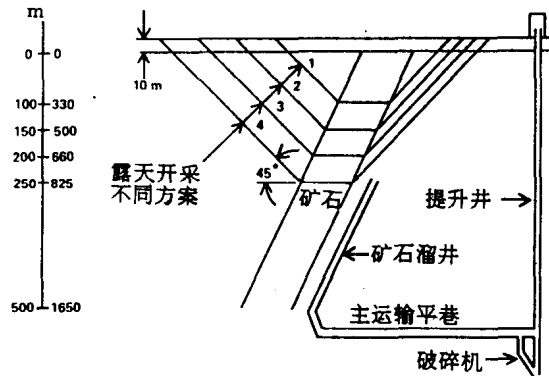


图 11 用横断面表示的露天矿不同方案

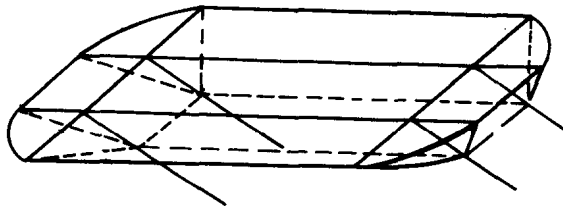


图 12 矿体和露天矿的数学图象

表土量与露天矿深度和边坡角的关系如图 13 所示。

废石剥离量：在估计必须剥离的废石量时，可将露天矿的开采空间划分成一个锥体及许多三角体和矩形体。

矿体断面表示，废石面积等于底边  $2tg(90-x)d$  和高度为  $d$  的三角形面积，当  $x$  为边坡角， $d$  为露天矿深度时，此面积为：

$$\frac{1}{2}[2dtg(90-x)]d$$

体积为此式乘以矿体长度  $L$ 。

矿体纵断面表示矿体两端必须剥离的废石面积，也可用上式求得。

其体积为此式乘以矿体宽度  $w$ 。

矿体四角必须剥离的废石合并体积等于高度为  $d$ 、半径为  $dtg(90-x)$  的锥体的体积，由此得出体积为：

$$[d^3tg^2(90-x)]\frac{\pi}{3}$$

最后，为斜坡运输道而必须剥离的废石需计算至露天矿的设计底部。假定斜坡运输道宽度为能进行双向运输的 20 米。若倾斜度为 1:10，长度为  $10d$ ，则这部分废石体积是  $10d^2 \times 20/2$ 。

采用方案 1 (假定  $x = 45^\circ$  和比重为 2.8) 所必须剥离的废石量为：

沿矿体——  $1000 \times 100 \times 100$  米  $\times 2.8$  吨/米<sup>3</sup> = 2800 万吨。

矿体两端——  $100 \times 100 \times 100$  米  $\times 2.8$  吨/米<sup>3</sup> = 280 万吨。

矿体四角——  $100 \times 100 \times 100$  米  $\times 3.14 \times 2.8$  吨/米<sup>3</sup> / 2 = 290 万吨。

斜坡道—— (20 米)——  $20 \times 100 \times 1000 \times 2.8$  吨/米<sup>3</sup> / 2 = 280 万吨。

总计 3650 万吨。

图 14 所示为废石量与露天矿深度和边坡角的关系。

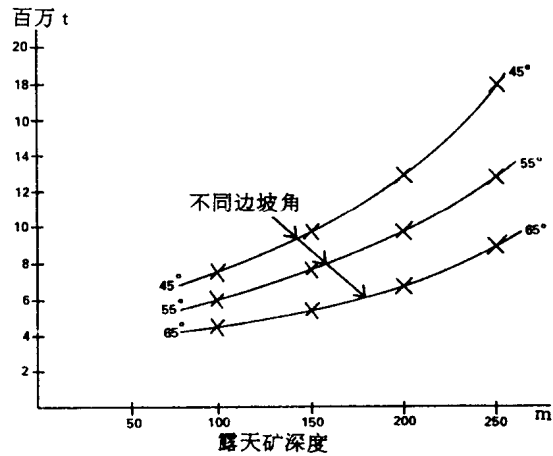


图 13 表土剥离量与露天矿深度和边坡角的关系

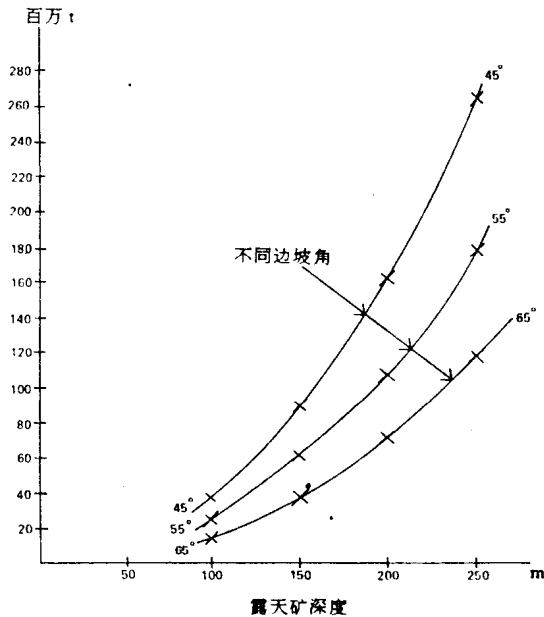


图 14 废石剥离量与露天矿深度和边坡角的关系



如果在其它方案中用同样方法估算废石量(百万吨),则得:

	45°	55°	65°
方案 1	36.5	25.8	17.7
方案 2	86.4	60.1	40.9
方案 3	157.6	108.8	73.6
方案 4	255.8	174.6	117.1

矿石回采率:露天矿各方案的矿石量为:

方案 1(深度 100 米): $1000 \times 100 \times 100 \text{ 米} \times 3.5 \text{ 吨/米}^3 = 3500 \text{ 万吨}$ 。

方案 2(深度 150 米): $1000 \times 100 \times 150 \text{ 米} \times 3.5 \text{ 吨/米}^3 = 5250 \text{ 万吨}$ 。

方案 3(深度 200 米): $1000 \times 100 \times 200 \text{ 米} \times 3.5 \text{ 吨/米}^3 = 7000 \text{ 万吨}$ 。

方案 4(深度 250 米): $1000 \times 100 \times 250 \text{ 米} \times 3.5 \text{ 吨/米}^3 = 8750 \text{ 万吨}$ 。

## 一座露天矿的生产计划

假定团矿厂的年生产能力为 300 万吨。当矿体含铁量为 40%时,每年约需回采 500 万吨铁矿石。

因此,露天矿的服务期限为:(矿石量单位:百万吨)

方案 1  $35.0/5=7.0$  年。

方案 2  $52.5/5=10.5$  年。

方案 3  $70.5/5=14.0$  年。

方案 4  $87.5/5=17.5$  年。

这说明露天矿每年延深约 15 米。

图 15 表示一座露天矿的各项开采活动:最终边坡角设计、矿石回采及废石剥离。

露天矿在开始开采前或刚开始开采后,通常须将所设计的露天矿上部的表土剥离掉。在此例中,假定在露天矿开采的第一年开始就必须将全部废石量剥离掉,这往往只是一种假设,但废石的剥离应尽可能延长,以避免支付利息。

图 15 表示如何剥离废石。在每个台阶上,所需空间取决于所

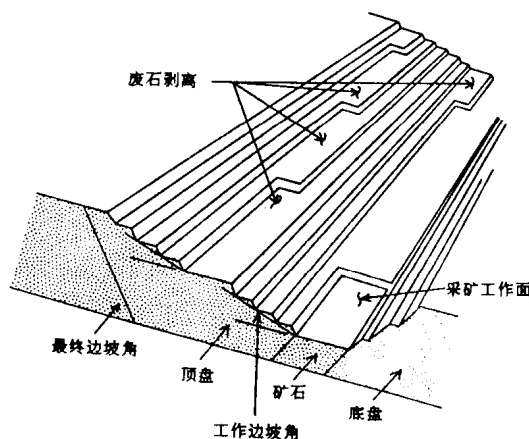


图 15 露天矿的各种开采活动