

高等学校教学用书

# 金属矿床露天开采

冶金工业出版社

高等学校教学用书  
**金属矿床露天开采**  
李宝祥等 编

冶金工业出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 17 插页 1 字数 409 千字  
1979年8月第一版 1979年8月第一次印刷  
印数00,001~7,400册  
统一书号: 15062·3450 定价 1.95 元

## 前 言

《金属矿床露天开采》是采矿专业的教材。本书主要介绍露天矿的生产工艺、设计的基本原理和电子计算机在露天矿的应用等有关内容。其中露天矿运输着重介绍汽车运输，而露天矿床开拓主要介绍汽车运输开拓和胶带运输开拓。电子计算机在露天矿的应用，重点介绍露天矿境界的确定。书中还反映了适应大型露天矿床开采的多排孔微差挤压爆破、胶带排土机排土以及分组台阶开采等工艺和方法。

本书编写时，考虑了与有关课程之间的衔接和配合，并尽可能避免重复，同时还保持了本课程的系统性。

关于胶带输送机运输和露天矿边坡稳定的内容，分别在《矿山运输及提升》和《岩体力学》教材中论述，本书不予重述。

本书是由北京钢铁学院李宝祥主编，参加编写人员有：中南矿冶学院汪锦璋、武汉钢铁学院汪银标、江西冶金学院曾其萃、西安冶金建筑学院云庆夏、广东矿冶学院陈天乙和北京钢铁学院刘琦。

在编写过程中，曾得到有关矿山、设计、科研单位和高等院校大力支援和帮助，特别是张永高、徐鼎、牛成俊、杨福海等同志还对教材内容提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

由于我们水平有限，书中的缺点错误在所难免，望读者予以批评指正。

编 者

一九七八年十一月

# 目 录

绪 论 .....	1
第一章 穿孔爆破 .....	6
第一节 穿孔工作 .....	6
第二节 爆破工作 .....	15
第二章 采装工作 .....	29
第一节 概述 .....	29
第二节 工作面参数 .....	33
第三节 挖掘机生产能力 .....	37
第三章 露天矿运输 .....	42
第一节 概述 .....	42
第二节 矿用自卸汽车运输 .....	44
第三节 电动轮自卸汽车 .....	69
第四节 铁路运输 .....	80
第四章 排土工作 .....	101
第一节 概述 .....	101
第二节 排土工艺 .....	102
第三节 排土场的建设及其病害防治 .....	112
第五章 露天矿防水与排水 .....	118
第一节 概述 .....	118
第二节 露天矿防水与疏干 .....	120
第三节 露天矿排水 .....	130
第六章 露天开采境界 .....	136
第一节 概述 .....	136
第二节 经济合理剥采比的确定 .....	139
第三节 确定露天开采境界的原则 .....	146
第四节 境界剥采比的计算方法 .....	150
第五节 露天开采境界的确定方法 .....	153
第七章 露天矿床开拓 .....	160
第一节 概述 .....	160
第二节 公路运输开拓 .....	160
第三节 铁路运输开拓 .....	167
第四节 胶带运输开拓 .....	170
第五节 平峒溜井开拓 .....	175
第六节 斜坡箕斗开拓 .....	179
第七节 开拓方法选择 .....	181
第八节 掘沟工程 .....	184
第八章 露天矿生产能力与采掘进度计划 .....	193
第一节 露天矿生产能力 .....	193
第二节 露天矿采剥关系 .....	202
第三节 露天矿基建工程与分期开采 .....	213
第四节 露天矿采掘进度计划的编制 .....	217
第九章 电子计算机在露天矿的应用 .....	225
第一节 概述 .....	225
第二节 地质储量的计算 .....	226
第三节 露天矿境界的确定 .....	236
第四节 进度计划的编制 .....	254
第五节 露天矿装运过程的随机模拟 .....	258

# 绪 论

## 一、露天开采的地位及其发展趋势

矿床开采分为地下开采、露天开采和海洋开采。而露天开采又分为机械开采和水力开采。

水力开采是用水枪放出高压水流冲采矿石并用水力冲运。此法多用于开采松软的砂矿床。

机械开采的露天矿是用一定的采掘运输设备,在敞露的空间里从事开采作业。为了采出矿石,需将矿体周围的岩石及其覆盖岩层剥掉,通过露天沟道或地下井巷把矿石和岩石运至地表。这种开采方法可用于开采金属矿、煤矿和冶金辅助原料、建筑材料、化工原料等矿床。

采掘工业是向自然界索取为发展国民经济所需要的矿产品。从农业到工业,从人民生活的需要到科学技术的发展,无不与采掘工业有关。因此,它是国民经济的基础工业。

随着国民经济向现代化迈进,基础工业的主导作用越来越显著。发展基础工业,必须大力加强采掘工业,使其适应经济建设高速度发展的需要。尤其要重视发展露天开采,因为它可以为冶金工业提供更多的原料。为此我国在一九八五年前,要建成若干个大型现代化露天矿。目前,我国铁矿石的产量85%以上是用露天开采的,有色金属矿山露天开采的比例也在不断增加,作为冶金辅助原料的石灰石全部用露天开采。显然,露天开采对加速发展冶金工业特别是钢铁工业占有重要地位。

近年来,国外用露天开采的比例也有所增加。表1为几个国家用露天开采占总开采量的比例。

几个国家用露天开采的比例

表 1

国 名	铁 矿 石 (%)	有 色 金 属 矿 石 (%)
美 国	96	88
苏 联	80	60~70
加 拿 大	96	63
英 国	85~90	—

国内外广泛应用露天开采的主要原因是它比地下开采有着突出的优点:

(1) 受开采空间限制较小,可采用大型机械设备,有利于实现自动化,从而可大大提高开采强度和矿石产量。

(2) 劳动生产率高,地下开采的劳动生产率仅为露天开采的1/5~1/10。

(3) 开采成本低,一般比地下开采低2~3倍,因而有利于大规模开采低品位矿石,若用地下开采将使开采成本显著增加。

(4) 矿石损失贫化小,损失率不超过3~5%,废石混入率不超过5~10%,因而地下资源可以充分回收。

(5) 对于高温易燃的矿体，露天开采比地下开采更为安全可靠。

(6) 基建时间短，约为地下开采的一半，因为金属矿山地下开采受工作条件和井巷掘进技术的限制。年产一吨矿石的基建投资比地下开采低。

(7) 劳动条件好，工作比较安全。

上述优点，对于大力发展冶金工业，加速实现四个现代化是非常有利的。

但是，用露天开采也带来一些问题：

(1) 在开采过程中，穿爆、采装、汽车运输、卸载以及排土时粉尘较大，汽车运行时排入大气中的碳化氢多，排土场的有害成分流入江河湖泊和农田等，对大气、水和土壤的污染，将危及人民身体健康，影响农作物和生物的生长和繁殖。

(2) 露天开采需要把大量的剥离物运往排土场排弃，因此排土场占地面积，影响农业的发展。

(3) 气候条件如严寒和冰雪、酷热和暴雨等，对露天开采有一定影响。

露天开采虽然在经济上和技术上的优越性很大，但它不能取代地下开采。随着露天开采深度的增加，剥岩量不断加大，以致于达到某一深度后继续使用露天开采会带来经济上的损失，在这种情况下就应转用地下开采。

目前国外金属露天矿装备水平比较高。穿孔设备在大型露天矿主要是用牙轮钻，孔径一般为310~380毫米，最大为440毫米。潜孔钻机因孔径较小，延米爆破量少，故多用于中小型露天矿。装载设备主要是用单斗挖掘机，斗容依所用汽车载重量而变化，多数大型露天矿采用的斗容为11.5米<sup>3</sup>左右，最大不超过20米<sup>3</sup>。斗轮挖掘机在金属露天矿仅适于剥离松软的覆盖层。前端装载机在大型露天矿多作为辅助设备，主要用于清理工作面、临时代替挖掘机作业，也有用于排土工作的；在中小型露天矿可用作独立的装运卸设备。运输设备主要是用汽车运输，而铁路运输所占的比例很小。在大型露天矿已普遍使用了载重量为85~120吨的电动轮自卸汽车，150~170吨级的电动轮自卸汽车也在推广使用，有的矿山还采用了200吨级以上的电动轮自卸汽车。胶带运输机运输也被用于金属露天矿，并成为开采深露天矿具有发展前途的一种运输方式。排土设备则采用大功率的推土机和高效率的排土机排土。

采用大型新设备，可提高露天矿生产能力和劳动生产率，降低单位投资和开采成本。因此，国外一些大型露天矿的生产规模是很大的，如美国的明塔克露天铁矿矿石产量为5700万吨/年，加拿大卡罗尔露天铁矿为4500万吨/年，澳大利亚惠尔巴克露天铁矿和帕拉布杜露天铁矿均为4500万吨/年。

电子计算机已成功地用于解决露天矿设计、生产管理以及研究露天矿边坡稳定性等问题上。它标志着露天开采已进入应用电子计算机的新阶段。

总之，在国外露天矿，生产规模是向大型化方向发展，采用大型高效率设备和自动控制。

在我国，露天开采技术和装备水平，还不能适应我国国民经济高速度发展的需要。为在本世纪内把我国建设成为伟大的社会主义现代化强国，应尽量采用先进技术，扩大生产规模，在大型露天矿使用高效率的大型设备，提高操作技术和生产管理水平。

## 二、露天开采的基本概念

根据矿床埋藏的地形条件，露天矿分为山坡露天矿和凹陷露天矿。它们是以露天开采

境界封闭圈划分的，封闭圈以上为山坡露天矿，封闭圈以下为凹陷露天矿。

露天开采所形成的采坑、台阶和露天沟道的总和称为露天矿场（图1）。

露天开采时，通常是把矿岩划分成一定厚度的水平分层，自上而下逐层开采，并保持一定的超前关系，在开采过程中各工作水平在空间上构成了阶梯状，每个阶梯就是一个台阶或称为阶段。台阶是露天矿场的基本构成要素之一，是进行独立剥采作业的单元体。台阶构成要素如图2所示。

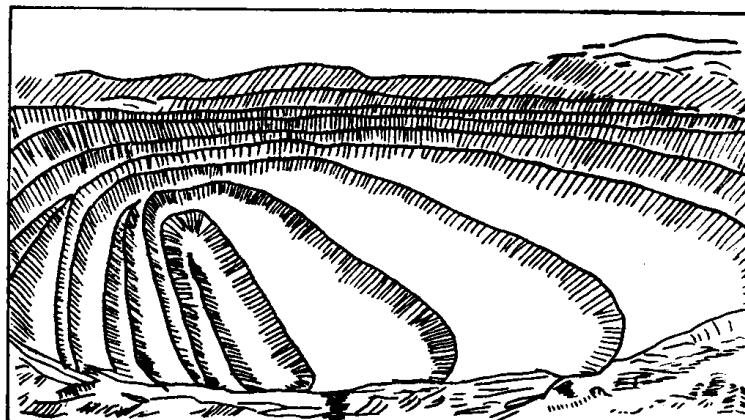


图1 露天矿场示意图

台阶的上部平盘和下部平盘是相对的，一个台阶的上部平盘同时又是其上一台阶的下部平盘。台阶的命名，通常是

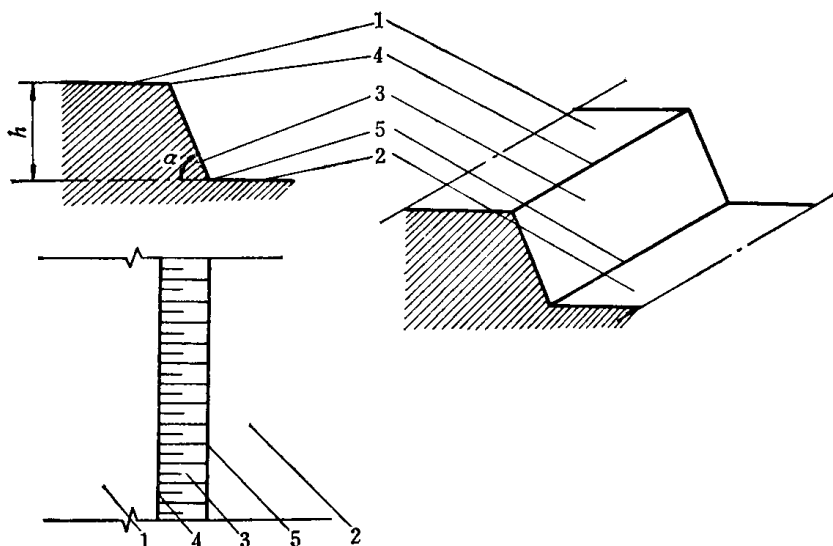


图2 台阶构成要素

1—台阶上部平盘；2—台阶下部平盘；3—台阶坡面；4—台阶坡顶线；5—台阶坡底线； $\alpha$ —台阶坡面角； $h$ —台阶高度

以开采该台阶的下部平盘（即装运设备站立平盘）的标高表示，故常把台阶叫做××水平，如图3所示。开采时，将工作台阶划分成若干个条带逐条顺次开采，每一条带叫做采掘带。

由结束开采工作的台阶平台、坡面和出入沟底组成的露天矿场的四周表面称为露天矿场的非工作帮或最终边帮（图4中的AC、BF）。位于矿体下盘一侧的边帮叫做底帮，

位于矿体上盘一侧的边帮叫作顶帮，位于矿体走向两端的边帮叫做端帮。

正在进行开采和将要进行开采的台阶所组成的边帮叫做露天矿场的工作帮（图4中的DF）。工作帮的位置是不固定的，它随开采工作的进行而不断改变。

通过非工作帮最上一个台阶的坡顶线和最下一

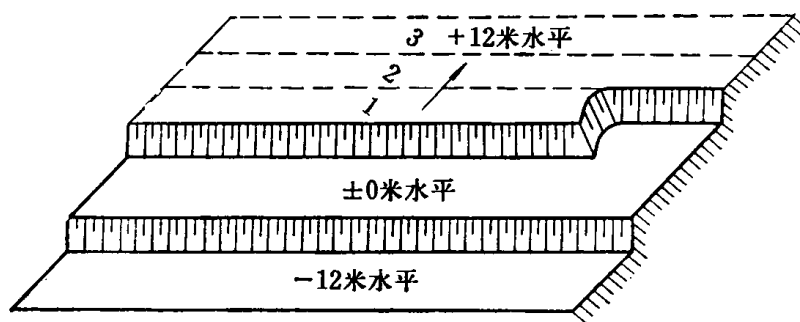


图3 台阶的开采和命名

个台阶的坡底线所作的假想斜面，叫做露天矿场的非工作帮坡面或最终帮坡面（图4中的AG、BH）。该帮坡面是代表露天矿场边帮的最终位置，在分析研究问题时，用它代替边帮的实际折线，可使问题简化并保证有足够的准确性。最终帮坡面与水平面的夹角叫做最终帮坡角或最终边坡角（图4中的 $\beta$ 、 $\gamma$ ）。

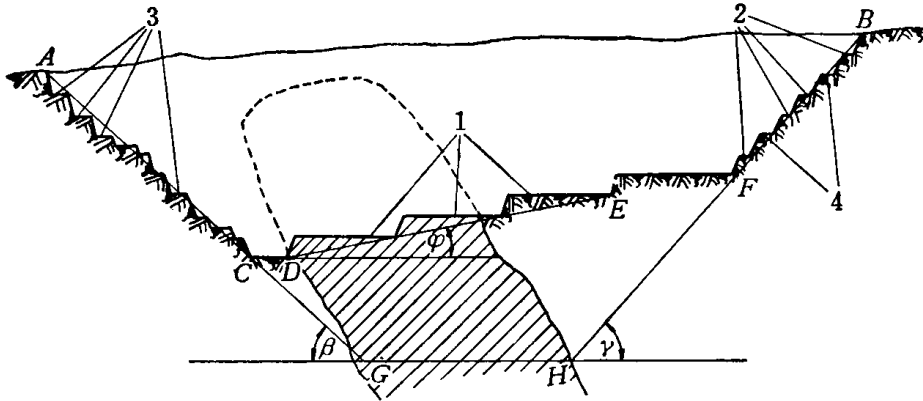


图4 露天矿场构成要素

通过工作帮最上一个台阶坡底线和最下一个台阶坡底线所作的假想斜面叫做工作帮坡面(图4中的DE)。工作帮坡面与水平面的夹角叫做工作帮坡角(图4中的 $\varphi$ )。工作帮的水平部分叫做工作平盘(图4中的1)，即工作台阶构成要素中的上部平盘和下部平盘，它是用以安置设备进行穿爆、采装和运输工作的场地。

最终帮坡角和工作帮坡角在设计和生产中的意义，将分别在第六章和第八章介绍。

最终帮坡面与地表的交线为露天矿场的上部最终境界线(图4中的A、B点)。最终帮坡面与露天矿场底平面的交线为下部最终境界线，或底部周界(图4中的G、H点)。上部最终境界线所在水平与下部最终境界线所在水平的垂直距离为露天矿场的最终深度。

非工作帮上的平台，按其用途可分为安全平台，运输平台和清扫平台。

安全平台(图4中的2)是用作缓冲和阻截滑落的岩石，同时还可用作减缓最终帮坡角，以保证最终边帮的稳定性和下部水平的工作安全。它设在露天矿场的四周边帮上。安全平台宽度一般约为台阶高度的1/3。

运输平台(图4中的3)是作为工作台阶与出入沟之间的运输联系的通路。它设在与出入沟同侧的非工作帮和端帮上，其宽度依所采用的运输方式和线路数目决定。

清扫平台(图4中的4)是用于阻截滑落的岩石并用清扫设备进行清理。它又起安全平台的作用。每隔2~3个台阶在四周的边帮上设一清扫平台，其宽度依所用的清扫设备而定。

在露天矿，为了采出矿石，一般需要剥离一定数量的岩石。剥离的岩石量与采出矿石量之比，即每采出一吨矿石所需剥离的岩石量叫做剥采比。其单位可用吨/吨、米<sup>3</sup>/米<sup>3</sup>(或米<sup>3</sup>/吨)表示。

露天开采通常包括：地面的场地准备、矿床的疏干和防排水、矿山基建工作以及生产期间和生产结束时地表的恢复利用等步骤。

地面准备工作是排除开采范围内和建立地面设施地点的各种障碍物，如砍伐树木、河流改道、疏干湖泊、迁移房屋、道路改线等。



在开采地下水很大的矿床时，为保证露天矿正常生产，必须预先排除一定开采范围内的地下水，即进行疏干工作，并采取截流的办法隔绝地表水的流入。矿床的疏干排水不是一次完成的，要在露天矿整个开采期间进行这项工作。

矿山基建工作是露天矿投产前为保证生产所必需的工程，包括掘进出入沟和开段沟、剥离岩石、铺设运输线路、建设排土场以及修建工业厂房和水电设施等。

出入沟是建立地面与工作水平之间以及各工作水平之间的倾斜运输通路。开段沟是在每个水平上为开辟开采工作线而掘进的水平沟道。

剥离工作是为了揭露矿体而进行采掘围岩和表土的工作。随着岩石的剥离进行矿石的回采工作。

地表的恢复利用就是把露天开采所占用的农田，在生产结束时或在生产期间进行复土造田。

掘沟、剥离和采矿是露天矿在生产过程中的三个重要矿山工程。它们的生产工艺过程基本上是不同的，一般包括穿孔爆破、采装和运输工作。此外，还有为堆置岩石的排土工作。

在凹陷露天矿，由上而下进行掘沟、剥离和采矿工作，上部工作水平顺次地推进到境界，下部水平顺次地开拓和准备出来，旧的工作水平不断结束，新的水平陆续投产。这是露天矿在整个开采期间的客观规律。掘沟、剥离和采矿三者之间是相互依存和相互制约的。为了保证露天矿正常持续生产，它们在空间和时间上必须保持一定的超前关系，必须遵循“采剥并举，剥离先行”的方针组织生产。如果违背了这个方针，露天矿的正常生产必然遭到破坏，造成采剥失调，剥离欠量，掘沟落后，生产下降的被动局面。这在一些露天矿中有着很深刻的教训。因此，在生产中必须有计划地组织好各项矿山工程的进行。

# 第一章 穿孔爆破

## 第一节 穿孔工作

### 一、概述

穿孔工作是金属矿床露天开采的第一个工序，其目的是为随后的爆破工作提供装放炸药的孔穴。在整个露天开采过程中，穿孔费用大约占生产总费用的10~15%。穿孔工作的好坏，对其后的爆破、采装等工作有很大影响。特别是我国的冶金矿山，矿岩坚硬，穿孔技术又不够完善，它往往成为露天开采的薄弱环节，约束了矿山的生产。因而，改善穿孔工作，可强化露天开采，对我国露天矿具有现实意义。

露天开采中使用的穿孔设备，主要有：

(1) 牙轮钻机；(2) 潜孔钻机；(3) 火钻；(4) 凿岩台车；(5) 钢绳冲击钻机。

此外，国内外还在探索一些新型的穿孔方法，如频爆凿岩、激光凿岩、超声波凿岩、化学凿岩等等。不过，它们离实际应用还有一段距离。

### 二、常用的穿孔设备及其选择

在上述五种穿孔设备中，以牙轮钻机使用最广，潜孔钻机次之，火钻和凿岩台车仅在一些特定条件下使用，而钢绳冲击钻机已被淘汰。

1. 牙轮钻机 牙轮钻机是五十年代中期兴起的一种新型设备，随着牙轮钻机和钻头的日益完善，它已广泛用于国内外的大型露天矿。例如，加拿大、美国的大型金属露天矿，几乎都采用这种穿孔设备；苏联1975年在露天矿使用牙轮钻机的比例已达75%。我国许多大型露天矿，近年来也采用这种高效率设备。表1-1为国内外常用牙轮钻机的技术性能。当前，国内矿用牙轮钻机和钻头还在不断改进中，因而引进了部分先进的国外设备。

牙轮钻机是一种高效率的穿孔设备。按穿孔进尺计算，牙轮钻机的穿孔速度一般是4000~6000米/月，最高达10000米/月以上；若按台年穿爆量计算，一般是400~600万吨，最高可达1200~1400万吨。这样的效率，大约是钢绳冲击钻机的4~5倍。例如，某铁矿用三台45-R型牙轮钻机取代13台BC-1型冲击钻机，1976年台年效率达600万吨矿岩。

牙轮钻机的穿孔速度比潜孔钻机约高40~100%，再加上前者的穿孔直径( $\phi 250\sim 310$ 毫米)大于后者( $\phi 200\sim 250$ 毫米)，所以按台年爆破量比较，牙轮钻机大致是潜孔钻机的2~4倍。例如，南芬铁矿的73- $\phi 200$ 型潜孔钻机，1977年平均台月进尺1441米，台年效率117万吨矿岩；而60-R(Ⅲ)牙轮钻机的相应数字是2392米/台月和319万吨矿岩/台年。

从经济效果衡量，牙轮钻机的穿孔成本也是最低的，大约为钢绳冲击钻机的75%，为潜孔钻机的70%。应该指出，在牙轮钻机的穿孔成本中，钻头费用占40~50%。例如，大孤山铁矿1975年的统计表明，牙轮钻头费用占穿孔成本的55.8%，大石河铁矿则占40%。因此，随着钻头质量的不断改进，牙轮钻机穿孔成本还会进一步降低。

国内外常用的牙轮钻机技术性能

表 1-1

性能	型号	KY-250C (即HYZ-250C)	KY-310	45-R	60-R (Ⅲ)	GD-120	M-5	CELI-250	BAII-320
钻孔直径(毫米)		225~250	250~310	170~270	230~380	250~380	380	214~269	269~320
钻孔角度(度)		90	90	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90	90
最大轴压(吨)		42	45	32	50	54	54	30	90
推压方式		封闭链条-齿 条-电机	同左	同左	同左	封闭链条- 齿条-液压; 马达	三倍链轮组- 液压马达	四倍钢绳滑 轮组-液压 缸	钢绳-液压 缸
钻具提升速度(米/分)		9.8	17.9	27	27	34	30.5	9	19.2
回转方式		交流电机	直流电机	同左	同左	同左	双直流电机	直流电机	底部回转 直流电机
钻具回转速度(转/分)		62	0~100	0~100	0~145	0~120	0~100	0~150	0~250
空压机能力(米 <sup>3</sup> /分)		22	40	28	37	42	2×37	25	2×25
钻杆直径(毫米)		159、203	219、278	140~219	184~324	197~343	273		
电机容量(千瓦)		383.3	375.5					384	715.5
其中: 回转电机		40	54	48	52	78	2×78	60	100
空压机		185	225	112	2×149	186	2×149	200	2×200
提升行走电机		75	54	37	52	78	149	2×32	
钻机工作尺寸(米)									
长		11.9	13.67	11	13	13.11	13.6	8.63	11.25
宽		4.8	5.705	5.6	5.8	5.97	6.2	4.96	5.6
高		17.9	18	17.5	23.4~ 27.9	23.8~28.7	25.3	15.31	17.19~ 24.7
钻机重量(吨)		84	116	65	93	113	86	65	120
生产厂家		中 国	中 国	(美) B-E公司	(美) B-E公司	(美) G-D公司	(美)M公司	苏 联	苏 联

表1-2为国内几个矿山穿孔效率及穿孔成本的比较, 从中可以明显看出牙轮钻机在技术上和经济上的优越性, 这也正是它被广泛应用的根本原因。由于牙轮钻机穿孔效率高, 钻孔直径也较大, 加之设备昂贵, 所以它主要用于大型矿山。

国内外几个露天矿的穿孔效率和成本

表 1-2

钻机类型	使用矿山	钻孔直径 (毫米)	延米爆破量 (吨/米)	穿孔效率			穿孔成本			
				进尺 (米/月)	穿爆量 (万吨/ 台年)	数据来源 年月	按进尺 (元/米)	按矿岩量 (元/吨)	数据来源 年月	
牙 轮 钻	HYZ-250C	大孤山	250	102~127	1110	114	1977	9.98	0.083	1975
	同上	大石河	220	88.7	2306	245.5	1975	7.33	0.082	1975
	45-R	大孤山	250	102~127	3360	436	1977			
	同上	东鞍山	250	103~128	3330	447	1977			
	同上	弓长岭	250	102~106	2760	284 ①	1977(2号)			
	60-R(Ⅲ)	南芬	310	124~131	2392	319	1977			
同上	大孤山	250~310	120~160	6050	730 ①	1977(7号)				
潜 孔 钻	φ-200	南芬	200	68~73	1441	117	1977	12.22	0.127	1972.10
	QZ-250	弓长岭	230	102~106	2630	250 ①	1977(7号)	8.84	0.07	1974.6
冲 击 钻	BC-1	大孤山		142	508	72		15.4	0.11	

① 计算数字。

2. 潜孔钻机 潜孔钻机也是五十年代兴起的一种新设备, 在六十年代它首先取代了笨重的钢绳冲击钻机而居首位。以后, 由于牙轮钻机的发展而退居第二。表1-3为国内常用潜孔钻机的技术性能。相对于牙轮钻机而言, 我国的潜孔钻机的性能比较稳定, 并已能满足矿山生产的需要。

国内的潜孔钻机技术性能

表 1-3

性 能 \ 型 号	KQ-150A (即YQ-150A)	KQ-200 (即73- $\phi$ 200)	KQ-250 (即QZ-250)
钻孔直径(毫米)	150	200~220	230~250
钻孔角度(度)	60、75、90	60~90	90
钻具转速(转/分)	60	13.5/17.9/27.2	22.3
推进轴压(公斤)	0~1200	0~1530	0~3000
回转扭矩(公斤·米)	113	592/491/440	862
提升速度(米/分)	16	12.7	13.4
钻杆直径(毫米)	108	168	180、230
压气消耗量(米 <sup>3</sup> /分)	11~13		
主空压机容量(米 <sup>3</sup> /分)		22	22
电机容量(千瓦)		311	
其中: 回转电机	7.5	10/11/15	22
提升电机	5	11	55
行走电机	22	2×30	与提升共用
空压机电机		185	185
工作时外形尺寸(长×宽×高)(米)	5.83×3.45×11.75	9.76×5.74×14.33	11.2×5.93×15.33
钻机重量(吨)	12	41.6	45

总的来说, 潜孔钻机不如牙轮钻机, 但是, 前者也有一些独特的优点, 譬如:

(1) 孔径小( $\phi$ 150~200毫米), 能钻凿斜孔, 爆破的矿岩块度也小, 便于用小型挖掘机采装;

(2) 设备简单, 易于制造, 价格便宜;

(3) 设备效率发挥得较好, 台月进尺约2000米, 台年穿爆矿岩量约60~150万吨。

上述这些优点, 使潜孔钻机特别适用于中小型矿山。例如, 英国的采石工业, 90%的穿孔工作由潜孔钻机完成。我国许多中小型露天矿, 也广泛使用这种设备。当前, 由于我国牙轮钻机和钻头都不够完善, 在一些大型露天矿中潜孔钻机仍占有相当地位。

3. 火钻 火钻是借高温(1600~3000°C)高速(1100~1800米/秒)的火焰喷向岩表面, 使岩石在热力作用下骤热、膨胀、碎裂、剥落而成孔。火钻穿孔的机理, 就是建立在岩石受热产生不均匀变化的基础上。因而它适用于热容量小, 导热性差、膨胀性大的岩石, 特别是石英含量很大的矿岩, 如石英岩、含铁石英岩、石英花岗岩等。

火钻在石英类坚硬矿岩中, 有很高的穿孔效率, 远远超过钢绳冲击钻机。例如, 我国姑山铁矿在 $f=18$ 的石英岩中, 火钻的穿孔速度曾达6米/小时, 湖南711矿在石英岩中也达6~10米/小时, 相应条件下的冲击钻机只有0.1~0.15米/小时。加拿大、美国的JPM火钻, 台年穿爆矿岩量可达350~450万吨。

火钻最大的缺点, 是需要消耗大量柴油和氧气(或压气), 穿孔成本很高。表1-4为苏联英古列茨露天矿在 $f=18\sim 20$ 的磁铁石英岩中牙轮钻和火钻穿孔的比较。从表中可以看

出，虽然这时牙轮钻头寿命只有34.9米，但无论是穿孔速度还是穿孔成本，牙轮钻均优于火钻。当然，在极坚硬的石英类矿岩中，火钻还是有一定的优越性，美国认为在抗压强度

达5600公斤/厘米<sup>2</sup>的铁燧岩中使用火钻才适宜。为了更合理地使用火钻，国外推荐用火钻在钻孔中扩壶，借此扩大孔网参数，如图1-1所示。

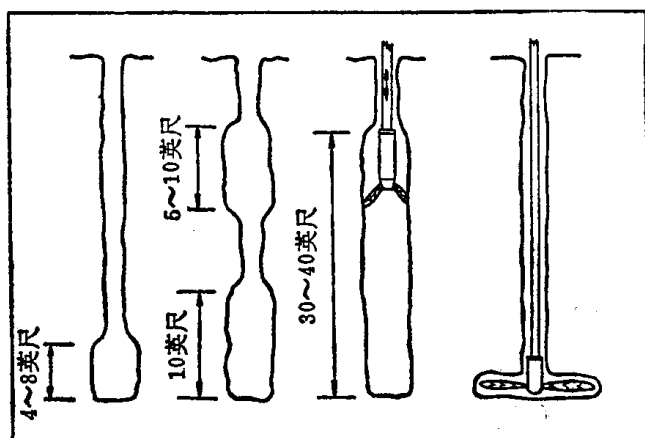


图 1-1 火钻扩壶情况

火钻另一致命的弱点，就是它对矿岩有严格的要求。它只能用于石英含量很大的致密矿岩，对于那些充满裂隙，含2~4%以上粘土的岩石则不能使用。

4. 凿岩台车 凿岩台车是使用导轨式重型风动凿岩机的穿孔设

备，由于它设备简单，孔径小，故适用于小型矿山或处理山头、平台、清理边坡等辅助作业。

牙轮钻和火钻的比较

表 1-4

穿孔设备	穿孔速度 (米/台班)	穿孔成本 (卢布/米 <sup>3</sup> )	钻头寿命 (米/个)
CBLLI-250牙轮钻	23.7	0.354	34.9
CBO-160/20火钻	20.1	0.539	

### 三、提高牙轮钻机穿孔效率的途径

牙轮钻机的台班生产能力，可按下列式近似计算：

$$A = 0.6vT\eta \quad (1-1)$$

式中  $A$ ——牙轮钻机的生产能力，米/台班；  
 $v$ ——牙轮钻机的机械钻速，厘米/分；  
 $T$ ——班工作时间，小时；  
 $\eta$ ——工作时间利用系数。

机械钻速  $v$ ，又可近似用下式表示：

$$v = 3.75 \frac{Pn}{Df} \quad (1-2)$$

式中  $P$ ——轴压，吨；  
 $n$ ——钻头转速，转/分；  
 $D$ ——钻头直径，厘米；  
 $f$ ——岩石坚固性系数。

虽然公式(1-2)的计算结果和实际有一定的差距，但是我们可以利用上述两个公式，在选定钻机、钻头的前提下，探讨提高牙轮钻机穿孔效率的途径。

1. 轴压( $P$ ) 轴压 $P$ 与钻速 $v$ 大致成正比，但却不是严格的直线关系，具体取决于钻头单位面积上的作用力 $P/F$ ( $F$ ——钻头与岩石的接触面积)和岩石抗压强度 $\sigma$ 之间的

关系，有图1-2所示的四种情况：

(1) 当轴压 $P$ 很小， $P/F$ 小于 $\sigma$ 时，岩石仅以表面磨蚀的方式进行破碎。此时，轴压 $P$ 与钻速 $v$ 呈直线关系（图中 $ab$ 段）。

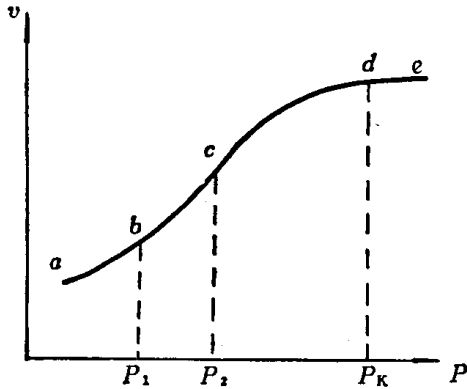


图 1-2 轴压 $P$ 与钻速 $v$ 的关系

从上面分析可知，轴压 $P$ 不能太小，也不宜过高，大小要适宜。合理的轴压，可参照下式计算：

$$P = fK \frac{D_9}{D} \quad (1-3)$$

式中  $f$ ——岩石坚固性系数；  
 $K$ ——系数，1.4；  
 $D_9$ ——9号钻头直径，214毫米；  
 $D$ ——使用的钻头直径，毫米。

2. 转速( $n$ ) 从公式(1-2)中可以看出，转速 $n$ 和机械钻速 $v$ 之间成正比关系。其实，它们之间也不是一个简单的线性关系，具体关系如图1-3所示。

图中直线1表示当轴压 $P$ 较小时转速 $n$ 与钻速 $v$ 的关系。这时，岩石以“表面磨蚀”的方式破碎，随着转速 $n$ 的增加，钻速 $v$ 也相应加大，两者呈直线关系。

图中曲线2表示轴压力 $P$ 增大后，转速 $n$ 与钻速 $v$ 的关系。此时，岩石呈体积破碎，初始时随着转速 $n$ 的增大钻速 $v$ 也提高，但当超过极限转速 $n_1$ 后，钻速 $v$ 却随转速 $n$ 的增加而降低。这是因为转速 $n$ 太大，轮齿与孔底岩石的作用时间太短（小于0.02~0.03秒），未能充分发挥轮齿对岩石的压碎作用。此外，由于转速 $n$ 过大，也加速了钻头的磨损和钻机的震动，给穿孔带来不良的影响。实际生产中，对于软岩常选用70~120转/分的转速，中硬岩石用60~100转/分，硬岩用40~70转/分。

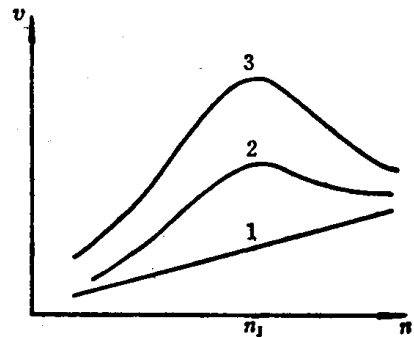


图 1-3 转速 $n$ 对钻速 $v$ 的影响

图中曲线3表示轴压力 $P$ 继续增大后转速 $n$ 对钻速 $v$ 的影响，其情况和曲线2差不

多。从曲线1、2、3之间的关系可以看出，钻速 $v$ 受轴压 $P$ 及转速 $n$ 两者的综合影响，需要统筹兼顾。在国内外的牙轮钻机穿孔中存在两种工作制度：1) 强制钻进。采用高轴压（30~60吨）和低转速（150转/分以内）；2) 高速钻进。采用低轴压（10~20吨）和高转速（300转/分）。显然，无论从合理利用能量还是从提高钻头、钻机的使用寿命来衡量，高速钻进的工作制度有许多缺点，特别在硬岩中更是如此。我国的牙轮钻机，正是沿着强制钻进这条途径发展的。目前普遍使用的 HYZ-250C 型及 KY-310 型钻机，其轴压分别为 32 吨和 45 吨，而转速都控制在 100 转/分以内。

3. 排碴风量 ( $Q$ ) 公式 (1-2) 是在及时排碴、没有重复破碎的前提下得出。为了彻底排碴，要求压气有足够的风量，使孔壁与钻杆之间的环形空间形成适宜的回风速度，从而对岩碴颗粒产生一定的升力以排除出孔。若风速太小，升力不足，岩碴在孔底反复被破碎，既减低钻孔速度，又加剧钻头的磨损，甚至会造成卡钻事故；若风速过大，则浪费空压机功率，也加剧钻杆的磨损。最小的回风速度  $v$ ，可按下式计算：

$$v = 134 \left( \frac{\gamma}{\gamma + 3.9 \times 10^3} \right) D_1^{0.6} \quad (1-4)$$

式中  $\gamma$ ——岩石容重，克/厘米<sup>3</sup>；

$D_1$ ——岩屑直径，米。

最小风速  $v$  确定后，排碴风量  $Q$  即可按下式选取：

$$Q = \frac{60\pi(D^2 - d^2)}{4} v = 47v(D^2 - d^2) \quad (1-5)$$

式中  $v$ ——最小风速，米/秒；

$D$ ——炮孔直径，米；

$d$ ——钻杆外径，米；为了便于排碴，应使  $D - d = 20 \sim 40$  毫米。

目前，国内外都趋于加大排碴风量，借以提高钻头寿命和钻孔速度。表 1-5 列举的数据表明，苏联几个矿山把排碴风量从 18 米<sup>3</sup>/分增加到 27 米<sup>3</sup>/分后，穿孔速度能提高 14~20%。

苏联几个矿山增大排碴风量的效果

表 1-5

矿 山 名 称	钻 机 型 号	钻头寿命增加 (%)	穿孔速度提高 (%)
奥列涅戈尔斯克铁矿	БАНН-250	21.6	14
英古列茨采选公司	СБАНН-250	13.0	16
乌恰林斯克公司	СБАНН-250	60.0	18~20

4. 钻孔直径 ( $D$ ) 从公式 (1-2) 中可知，当轴压  $P$  和转速  $n$  固定时，钻孔直径  $D$  与钻速  $v$  成反比。实际上，当钻孔直径  $D$  增大后，钻头的直径和强度也加大，只要相应采用更大的轴压和转速，钻孔速度  $v$  并不会降低。另一方面，当钻孔直径增大，爆破孔网参数也可扩大，从而提高延米爆破量和钻机台年穿爆矿岩量。表 1-6 为大孤山铁矿和美国采用不同孔径时的延米爆破量，从中可以看出大孔径的优越性。实践表明，用大孔径穿孔，是国内外牙轮钻机的一致趋势，目前国外孔径有达 380~400 毫米，它往往是用锥形扩孔器将钻孔进一步扩大而成。

钻孔直径与延米爆破量的关系

表 1-6

延米爆破量(吨/米) 矿山	孔径(毫米)		
	220	250	310
大 孤 山	110	130	160
美 国	130	147	170

当然，钻孔直径和孔网参数增大后，矿岩爆破后的块度也会增加，这就要求采装、运输及粗碎设备要与之相适应。

5. 工作时间利用系数 ( $\eta$ ) 上面讨论的四个因素，都是与机械钻速  $v$  有关。从公式 (1-1) 可以看出，为了提高牙轮钻机的效率，另一个重要因素就是提高钻机的工作时间利用系数  $\eta$ 。

表1-7是大石河铁矿使用 HYZ-250C 型牙轮钻机的标定结果。从表中可以看出，国内牙轮钻机的工作时间利用系数是不高的，台日工作时间利用系数仅71.6%，而国外可达85~90%，这说明大有潜力可挖。影响工作时间利用系数的因素主要有两方面：一是组织管理缺陷所带来的外因停歇；另一是钻机本身故障所引起的内因停歇。当前，我国牙轮钻机和钻头的质量还不够理想，后一个因素更显得重要。表 1-7中不计外因停歇的台时利用系数仅62%，说明钻机本身故障不少。事实上，在HYZ-250C型的钻孔成本中，钻头成本占40%、维修费占21.3%，这也反映继续改善钻机和钻头的必要性。

大石河铁矿使用 HYZ-250C 型的工时利用情况

表 1-7

停电	待孔位	待水	避炮	待钻具	计划检修	其它	待修	维修	事故检修	交接班	台时利用系数	歇系 不的数 计台 外时 因利 停用	台日 利用 系数
11%	10%	8%	3%	23%	17%	27%	—	—	100%	—			
外因停歇占总停歇的47.8%							内因停歇占总停歇的52.2%				46%	62%	71.6%

为了强化牙轮钻机穿孔，国外正在试用自动控制技术，借各种传感器配合操作程序控制，使钻机的工作参数及时随岩层条件而变化，这样既保护了设备，也提高了钻机的效率。

总之，牙轮钻机还是一种发展中的新型设备。为了提高它的穿孔效率，今后应该继续从钻机、钻头、工作参数和组织管理四方面进行改革。

#### 四、提高潜孔钻机穿孔效率的途径

类似于牙轮钻机，潜孔钻机的台班生产能力可按式计算：

$$A = 0.6vT\eta \quad (1-6)$$

式中符号同公式 (1-1)。

上式中的机械钻速  $v$ ，可近似用下式表示：

$$v = \frac{4ank}{\pi D^2 E} \quad (1-7)$$

式中  $a$  —— 冲击功，公斤·米；



- $n$ ——冲击频率，次/分；  
 $D$ ——钻孔直径，厘米；  
 $E$ ——岩石凿碎功比耗，公斤·米/厘米<sup>3</sup>；  
 $k$ ——冲击能利用系数，0.6~0.8。

下面依据公式(1-6)和(1-7)，详细分析提高潜孔钻机效率的途径。

1. 冲击功( $a$ )与冲击频率( $n$ ) 从公式(1-7)中可以看出，为了提高机械钻速 $v$ ，希望同时增加冲击功 $a$ 和冲击频率 $n$ 。然而，在潜孔钻进的风动冲击器中，冲击功 $a$ 和冲击频率 $n$ 是两个相互制约的工作参数。欲增大冲击功，就需要增加活塞重量和活塞行程，相应地就使冲击频率减少。反之亦然。

对待这两个参数，过去存在着两种不同的技术观点：一是大冲击功(单位刃长上的冲击功是0.8~1.0公斤·米/厘米)低频率(850~1300次/分)；另一是小冲击功(0.55~0.7公斤/厘米)高频率(1900~2500次/分)。实践证明，前一种技术观点比较合理，因为岩石只有在足够大的冲击功作用下才能有效地进行体积破碎，若冲击功不足，单纯提高冲击频率无非使岩石疲劳破碎而已。我国大孔径的冲击器(J-200、W-200、FC系列等)都是按照大冲击功、低频率的要求设计的。在选用冲击器时，首先就要注意这两个技术参数。

2. 风压 潜孔钻机的冲击器是一种风动工具，为了达到额定的冲击功 $a$ 和冲击频率 $n$ ，风压是一个重要因素。表1-8为73- $\phi$ 200潜孔钻机效率随风压的变化情况。随着风压的增大，穿孔速度和钻头寿命都有不同程度的提高。正是由于这个原因，目前大孔径潜孔钻机都自带空压机，以减少管路压降。

风压对潜孔钻机效率的影响

表 1-8

压气压力(公斤/厘米 <sup>2</sup> )	钻头平均寿命(米)	平均穿孔速度(米/小时)
3~3.5	9.3	2.1
4	13.8	2.5
4.5~5	46.0	4.5

为了进一步提高潜孔钻机的效率，国内外正着手把风压提高到14公斤/厘米<sup>2</sup>，还有的高达17~21公斤/厘米<sup>2</sup>。表1-9是苏联在这方面的试验数据，它说明把风压增至11公斤/厘米<sup>2</sup>能成倍地增加穿孔速度。英国霍尔曼公司生产的VR型潜孔钻机和冲击器，大多高压作业，风压达14公斤/厘米<sup>2</sup>。当然，高压冲击器要求其零部件的强度和質量也很高。近年来，伴随液压凿岩机的发展，国外也出现一些工作液压达150公斤/厘米<sup>2</sup>的液压冲击器，比风动冲击器效率高2倍以上。

高压风的效果

表 1-9

压气压力(公斤/厘米 <sup>2</sup> )	7.5	7.6	9.1	11.0
穿孔速度(米/小时)	3.6	3.6	4.3	6.1

3. 钻孔直径( $D$ ) 类似于对牙轮钻机的分析，我们也不要墨守公式(1-7)来观察