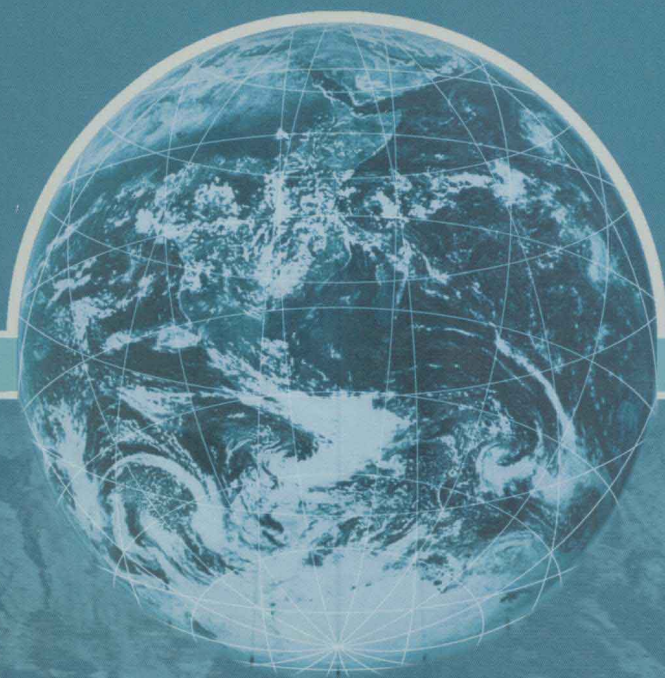


采矿技术

陈国山 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

采 矿 技 术

陈国山 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

本书内容涵盖矿山生产过程的全部技术,包括矿山凿岩技术、矿山爆破技术、矿山井巷施工技术、矿山提升运输技术、矿石回采技术、矿井通风环境检测技术、矿井供水排水技术、露天采矿技术。

本书可作为从事矿山生产的技术人员和管理人员的必备书,也可作为本科及高职院校采矿专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

采矿技术/陈国山主编. —北京:冶金工业出版社,
2011.2

ISBN 978-7-5024-5319-0

I. ①采… II. ①陈… III. ①矿山开采
IV. ①TD8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 017871 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5319-0

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2011 年 2 月第 1 版, 2011 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 24.25 印张; 586 千字; 378 页

49.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

现代科学技术飞速发展，新思想、新方法、新技术不断涌现。近年来，国民经济的高速发展，对矿产资源需求越来越大，为了指导矿山生产、提高矿山技术人员和管理人员的水平，提高矿产资源的回收利用率，我们在多年教学、生产实际经验的基础上编写了本书。

在编写过程中，我们略去了采矿的基本概念和纯理论知识，将重点放在矿山生产过程中所需的生产技术上，突出实用性，目的是为矿山生产技术人员提供一本非常实用的专业参考书。

参加本书编写的有吉林电子信息职业技术学院陈国山、刘兴科、李长权、戚文革、孙文武、王洪胜、包丽娜，吉林昊融集团于文、王世忠，夹皮沟黄金矿业公司张洪龙、马杰，通钢矿业公司陈金奎、宋霁洪，珲春紫金矿业公司何春明、林峰。全书由陈国山教授担任主编，并制定编写计划、主持编写及统稿。

由于编者水平所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010年10月1日

目 录

1 凿岩技术	1
1.1 岩石分级	1
1.1.1 按岩石坚固性分级	1
1.1.2 矿山工程岩石分级法	2
1.1.3 隧道工程分级法	3
1.2 岩石的破碎机理	4
1.2.1 岩石的可钻性	4
1.2.2 凿岩破岩机理	6
1.3 凿岩工具及设备	7
1.3.1 凿岩机械分类	7
1.3.2 凿岩机工作机构	7
1.3.3 凿岩机具	10
1.3.4 气动凿岩机	14
1.3.5 液压凿岩机	17
1.3.6 掘进凿岩台车	17
1.3.7 采矿台车	20
1.3.8 潜孔钻机	22
2 爆破技术	26
2.1 岩石的爆破机理	26
2.1.1 岩石爆破破岩机理假说	26
2.1.2 爆破破岩内部作用和外部作用	27
2.1.3 爆破漏斗与爆破理论	30
2.2 爆破材料	33
2.2.1 起爆材料	33
2.2.2 传爆材料	43
2.3 炸药	50
2.3.1 爆炸与炸药	50
2.3.2 炸药的性能	53
2.3.3 常用炸药	61
2.4 起爆技术	70
2.4.1 电力起爆法	71
2.4.2 非电起爆法	76

2.4.3 爆破仪表	83
3 井巷施工技术	87
3.1 平巷施工	87
3.1.1 凿岩工作	87
3.1.2 爆破工作	87
3.1.3 岩石的装载	88
3.1.4 巷道支护	91
3.2 斜井的施工	107
3.2.1 斜井内设施	107
3.2.2 斜井掘砌	107
3.3 天井的施工	113
3.3.1 普通法掘进天井	113
3.3.2 吊罐法掘天井	114
3.3.3 深孔爆破法掘天井	120
3.3.4 爬罐法掘天井	121
3.3.5 钻进法掘天井	122
3.4 硐室的施工	123
3.4.1 全断面法	123
3.4.2 台阶工作面法	123
3.4.3 导坑施工法	124
3.4.4 留矿法	127
4 提升运输技术	128
4.1 开拓方法	128
4.1.1 竖井开拓法	128
4.1.2 斜井开拓法	130
4.1.3 平硐开拓法	132
4.1.4 斜坡道开拓法	134
4.1.5 联合开拓法	134
4.2 竖井提升	137
4.2.1 竖井提升方式	137
4.2.2 竖井提升设备	138
4.3 斜井提升	156
4.3.1 斜井提升方式	156
4.3.2 斜井提升安全控制	157
4.3.3 斜井提升设备	159
4.3.4 斜井井筒设备的应用	162
4.4 井底车场	163

4.4.1 竖井井底车场	163
4.4.2 斜井井底车场	165
4.5 阶段(中段)开拓与运输	168
4.5.1 中段开拓方式	168
4.5.2 中段运输设备	170
5 回采技术	188
5.1 采矿生产工艺	188
5.1.1 采准工程	188
5.1.2 切割工程	193
5.1.3 回采的主要生产工艺	194
5.2 空场采矿法	202
5.2.1 留矿采矿法	203
5.2.2 房柱采矿法	206
5.2.3 全面采矿法	209
5.2.4 分段落矿阶段矿房采矿法	210
5.2.5 水平深孔落矿阶段矿房采矿法	213
5.3 充填采矿法	217
5.3.1 单层充填采矿法	217
5.3.2 上向分层充填采矿法	219
5.3.3 下向倾斜分层充填采矿法	226
5.4 崩落采矿法	227
5.4.1 无底柱分段崩落采矿法	228
5.4.2 有底柱分段崩落采矿法	232
6 通风技术	235
6.1 掘进工作面通风	235
6.1.1 平巷掘进的通风	235
6.1.2 天井掘进与竖井掘进的通风	237
6.1.3 风筒的应用	237
6.2 井下通风管理	238
6.2.1 井下空气质量与检测	238
6.2.2 井下风流质量与检测	245
6.2.3 井下风流环境与检测	256
6.2.4 矿井风流的管理	263
6.2.5 矿井通风设施的管理	270
7 井下排水供水技术	273
7.1 井下排水技术	273

7.1.1	水仓水泵房	273
7.1.2	排水变电硐室设计	273
7.1.3	水泵的选择	276
7.2	供水	278
7.2.1	供水的一般要求	278
7.2.2	井下供水的用处	278
7.2.3	供水管径的选择	278
7.2.4	调压措施	279
8	露天开采技术	280
8.1	穿孔爆破技术	280
8.1.1	露天凿岩设备	280
8.1.2	穿孔技术	295
8.1.3	露天台阶爆破技术	300
8.1.4	临近边坡爆破技术	308
8.2	露天矿采装技术	313
8.2.1	常用采装设备	314
8.2.2	采装工艺	327
8.3	露天矿运输	338
8.3.1	露天矿铁路运输	339
8.3.2	露天矿公路运输	347
8.4	露天矿排土技术	353
8.4.1	排土方式	354
8.4.2	排土场的建设	360
8.5	露天开采新水平准备	362
8.5.1	新水平准备方式	362
8.5.2	新水平掘进方式	374
8.5.3	出入沟、开段沟的规格	376
	参考文献	378

1 凿岩技术

1.1 岩石分级

由于表征岩石性质的参数较多且较为复杂，为使工程爆破的设计施工人员对岩石的性质有一个整体把握，必须进行岩石分级。岩石分级广泛应用于各种与岩石有关的工程施工中，但由于问题的复杂性、各种类型工程差异性以及各学术派别观点的不一致，有关岩石分级的方法很多，而且目前尚无统一的或比较公认的分级方法，在工程施工中可考虑不同的工程特点参考选用。下面简要介绍几种有代表性的岩石分级方法。

1.1.1 按岩石坚固性分级

按岩石坚固性分级的方法是 20 世纪 20 年代苏联学者普洛吉亚柯夫提出来的。他经过长期的研究，建立了一种岩石坚固性的抽象概念，即岩石的坚固性是凿岩性、爆破性和采掘性等的综合，也是岩石物理、力学性质的体现。岩石坚固性在各种方式的破坏中的表现是趋于一致的。例如，某种岩石在各种破坏条件下，若难于凿岩，也难于爆破，难于崩落、破碎等。普氏用岩石强度、凿岩速度、凿碎单位体积岩石所消耗的功和单位炸药消耗量等多项指标来综合表征岩石的坚固性，并按岩石坚固性系数值的大小将岩石分为 10 个等级，如表 1-1 所示。由于生产力和科学技术的飞速发展，普氏当年采用的多项指标已经不适用，只剩下一个静载抗压强度指标沿用至今，即现在的普氏坚固性系数值直接用岩石的单轴抗压强度来确定。

表 1-1 普氏岩石分级简表

等 级	坚固性程度	典型的岩石	普氏坚固性系数 f
I	最坚固	最坚固、致密和有韧性的石英岩、玄武岩及其他各种特别坚固岩石	20
II	很坚固	很坚固花岗岩、石英斑岩、硅质片岩，较坚固的石英岩，最坚固的砂岩和石灰岩	15
III	坚固	致密花岗岩，很坚固砂岩和石灰岩、石英质矿脉，坚固的砾岩，极坚固的铁矿石	10
IIIa	坚固	坚固的石灰岩、砂岩、大理岩，不坚固花岗岩、黄铁矿	8
IV	较坚固	一般的砂岩、铁矿	6
IVa	较坚固	砂质页岩、页岩质砂岩	5
V	中等	坚固的黏土质岩石，不坚固的砂岩和石灰岩	4
Va	中等	各种不坚固的页岩，致密的泥灰岩	3
VI	较软弱	软弱的页岩，很软的石灰岩、白垩、岩盐、石膏、冻土、无烟煤，普通泥灰岩、破碎砂岩、胶结砾岩、石质土壤	2
VIa	较软弱	碎石质土壤、破碎页岩、凝结成块的砾石和碎石，坚固的烟煤、硬化黏土	1.5

续表 1-1

等 级	坚固性程度	典型的岩石	普氏坚固性系数 f
VII	软弱	致密黏土、软弱的烟煤、坚固的冲积层、黏土质土壤	1.0
VIIa	软弱	轻砂质黏土、黄土、砾石	0.8
VIII	土质岩石	腐殖土、泥煤、轻砂质土壤、湿砂	0.6
IX	松散性岩石	砂、山麓堆积、细砾石、松土、采下的煤	0.5
X	流沙性岩石	流沙、沼泽土壤、含水黄土及其他含水土壤	0.3

$$f = \frac{R}{10}$$

式中 f ——普氏坚固性系数；

R ——岩石的单轴抗压强度，MPa。

普氏岩石坚固性分级方法抓住了岩石抵抗各种破坏方式能力趋于一致的这个主要性质，并从数量上用一个简单明了的岩石坚固性系数 f 表示这种共性，所以在工程爆破中被广泛采用。但是，由于岩石坚固性这个概念过于概括，因而只能作为笼统的、总的分级。实际上有些岩石的可钻性、可爆性和稳定性并不趋于一致。有的岩石易于凿岩，难爆破；相反，有的岩石难凿岩，易爆破。而且以小块岩石试件的静载单向抗压强度来表征岩石的坚固性是不妥当的。

1.1.2 矿山工程岩石分级法

我国目前岩石分级状况，在概念上是普氏分级，而普氏系数 f 值的确定并无统一标准。为了适应现代化生产的需要，东北工学院（东北大学）在综合考虑了爆破材料、工艺、参数等标准后进行了爆破漏斗实验和声波测定，根据爆破漏斗的体积、大块率、小块率、平均合格率和波阻抗等大量数据，运用数理统计多元回归分析以及电子计算机处理，得出了岩石可爆性指数 F 的公式，并按 F 值的大小将岩石划分为五级，如表 1-2 所示。

表 1-2 矿山工程岩石可爆性分级

级 别	F	爆破性程度	代表性岩石
I	I ₁ <29	极易爆	千枚岩、破碎性砂岩、泥质板岩、破碎性白云岩
	I ₂ 29.001 ~ 38		
II	II ₁ 38.001 ~ 46	易 爆	角砾岩、绿泥片岩、米黄色白云岩
	II ₂ 46.001 ~ 53		
III	III ₁ 53.001 ~ 63	中 等	阳起石英英岩、煌斑岩、大理岩、灰白色白云岩
	III ₂ 63.001 ~ 68		
IV	IV ₁ 68.001 ~ 74	难 爆	磁铁石英岩、角闪斜长片麻岩
	IV ₂ 74.001 ~ 81		
V	V ₁ 81.001 ~ 86	极难爆	砂卡岩、花岗岩、矿体浅色砂岩、石英片岩
	V ₂ >86		

$$F = \ln \left[\frac{e^{67.22} K_d^{7.42} (\rho C)^{2.03}}{e^{38.44V} K_p^{1.89} K_x^{4.75}} \right]$$

式中 F ——岩石可爆性指数；

K_d ——大块率, %;

K_x ——小块率, %;

K_p ——平均合格率, %;

ρC ——岩石波阻抗, $10^5 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。

这种岩石爆破性分级方法虽然可在现场进行测定, 具有可行性, 但存在的问题是块度测定工作量及劳动强度都很大, 并有一定的随机性, 求算指数的计算也不够简便, 方法有待于完善。

1.1.3 隧道工程分级法

为适应我国铁路及公路隧道建设发展的需要, 在总结我国隧道围岩分类的基础上, 并参考国内外有关围岩分类的成果, 以 1972 年制定的我国铁路隧道围岩分类法, 该分类法考虑了岩石强度、岩体破碎程度、地下水、风化程度等因素, 以定性为主。增加了完整性系数、体积节理数、岩石质量指标、岩石点荷载强度、岩体声波或地震波纵波速度等定量指标, 又有工程地质条件的定性描述, 提出了以岩体质量数作为划分我国铁路隧道围岩分类法的岩体级别的主要综合性指标的新方案。此外, 表 1-3 还简要叙述各级岩体的毛洞稳定性。将隧道工程岩体(围岩)分成五级, 见表 1-3。我国铁路隧道就是使用这种方法进行岩体(围岩)分级的。

表 1-3 我国隧道工程岩体(围岩)分级法

级 别	主要工程地质特征	岩体质量数 (RMQ)	毛洞稳定状态 (单、双线)
I	极坚硬、极完整岩体, 呈整体或厚层结构, 节理裂隙极不发育, 含少量大间距或分散的节理。 $J_v < 5 \text{ 条}/\text{m}^3$, $R_b > 100 \text{ MPa}$, $V_{pm} > 5.0 \text{ km/s}$	100 ~ 85	极稳定、无塌方, 可能产生岩爆
II	II ₁ 坚硬完整岩体, 呈块状结构或层间结合良好的中厚层状结构, 节理裂隙较发育。 $J_v = 5 \sim 15 \text{ 条}/\text{m}^3$, $R_b > 60 \text{ MPa}$, $V_{pm} > 4.0 \sim 5.5 \text{ km/s}$	85 ~ 65	稳定, 局部有小塌方
	II ₂ 中等坚硬完整岩体, 呈大块状整体或厚层状结构, 节理不发育。 $J_v \leq 5 \text{ 条}/\text{m}^3$, $R_b = 30 \sim 60 \text{ MPa}$, $V_{pm} = 4 \sim 5 \text{ km/s}$	80 ~ 65	稳定, 局部有小塌方
III	III ₁ 坚硬块状岩体, 呈碎裂镶嵌结构, 节理裂隙中等发育, 含小断层, 层状岩体结合力一般。 $J_v = 15 \sim 25 \text{ 条}/\text{m}^3$, $R_b \approx 60 \text{ MPa}$, $V_{pm} = 3.5 \sim 4.5 \text{ km/s}$	65 ~ 45	暂时稳定, 由于局部不稳定块体的坍塌可能引起较大的塌方
	III ₂ 中等坚硬、中等完整岩体, 呈碎裂镶嵌结构或中厚层块状结构和软硬互层结构。 $J_v = 5 \sim 15 \text{ 条}/\text{m}^3$, $R_b \approx 30 \sim 60 \text{ MPa}$, $V_{pm} = 3.4 \sim 4.0 \text{ km/s}$	60 ~ 45	暂时稳定, 有不稳定块体塌落
	III ₃ 软质完整岩体, 呈整体-巨块状结构, 节理裂隙稍发育。 $J_v = 5 \sim 15 \text{ 条}/\text{m}^3$, $R_b = 20 \sim 30 \text{ MPa}$, $V_{pm} = 3.0 \sim 4.0 \text{ km/s}$	65 ~ 45	暂时稳定, 高应力时容易产生塑性变形和剪切破坏

续表 1-3

级 别		主要工程地质特征	岩体质量数 (RMQ)	毛洞稳定状态 (单、双线)
IV	IV ₁	坚硬、中等坚硬、完整性差的岩体, 呈小块状碎裂结构, 或层状结构, 块体间结合力一般, 节理裂隙较发育, 时有小断层。 $J_v = 25 \sim 35$ 条/ m^3 , $R_b \approx 30 \sim 60$ MPa, $V_{pm} = 2.5 \sim 3.5$ km/s	40 ~ 25	稳定性差, 有较多的松动坍塌, 能引起继发性大塌方
	IV ₂	软质中等完整岩体, 呈块状或层状结构, 节理裂隙中等发育。 $J_v = 15 \sim 25$ 条/ m^3 , $R_b \approx 10 \sim 20$ MPa, $V_{pm} = 2.0 \sim 3.0$ km/s	45 ~ 25	稳定性差, 除有松动坍塌外, 容易产生塑性变形和剪切破坏, 能引起继发性大塌方
	IV ₃	老黄土, 有一定胶结的砾石土。 $V_{pm} = 1.5 \sim 2.0$ km/s	45 ~ 25	暂时稳定至极不稳定, 松动坍塌或塑性变形, 可能有较大塌方
V	V ₁	松散或松软结构岩体, 多处破碎或严重风化带, 节理裂隙极发育。 $J_v > 35$ 条/ m^3 , $R_b < 10$ MPa, $V_{pm} < 2.0$ km/s	< 25	不稳定至极不稳定, 松动坍塌或剪切破坏往往形成大的塌方
	V ₂	除 IV ₃ 以外的其他土类围岩		

注: R_b 为岩石饱和抗压极限强度;

J_v 为体积节理数 (条/ m^3);

RMQ 为岩石质量指标 (%);

V_{pm} 为岩体声波或地震波纵波速度 (km/s)。

1.2 岩石的破碎机理

凿岩是指在岩体中穿凿孔眼。凿岩作业是岩石穿爆作业主要工序之一, 工作量较大, 花费时间较多, 对穿爆效率影响很大, 特别是在难钻和特难钻的坚硬岩石中更甚。要提高凿岩效率, 必须对岩石的可钻性及穿孔破岩机理进行分析研究。

1.2.1 岩石的可钻性

可钻性是用来表示岩石钻眼难易程度的指标, 是岩石物理、力学性质在钻眼的具体条件下的综合反映。

凿岩机械的效率取决于穿孔的速度, 而穿孔速度取决于下列因素:

- (1) 在凿岩工具的作用下, 岩石的破坏阻力 (主要因素);
- (2) 凿岩工具的种类、形状及工作方式 (冲击式、回转式等);
- (3) 轴压力和转速;
- (4) 孔径及深度;
- (5) 排渣方式、速度和清渣彻底性。

所有这些因素与凿岩机械的工艺参数有关。而参数的选择,首先与岩石的可钻性有关。

岩石的可钻性取决于岩石本身的抗压和抗剪强度、凿岩工具工作原理及其类型、孔底岩渣的粒度和形状。岩石的可钻性,常用工艺性指标表示,例如,可以采用钻速、钻每米炮孔所需要的时间、钻头的进尺(钎头在变钝以前的进尺数)、钻每米炮孔磨钝的钎头数或破碎单位体积岩石消耗的能量等来表示岩石的可钻性。显而易见,上述工艺性指标,必须在相同条件下(除岩石条件外)来测定,才能进行比较。

下面介绍两种测试岩石可钻性的方法。一种方法是在考虑了压力 σ 、剪切力 τ 及岩石的体积密度 γ 影响因素的基础上,以岩石的钻进难度相对指标 ω 来比较岩石的可钻性。确定 ω 值时可以考虑以下几种情况:

(1) 压力 σ 、剪切力 τ 在钻进过程中具有决定意义。冲击式钻进,压力的破坏作用占主要地位;回转式钻进,以剪切力作用为主。相对评价岩石的难钻性时,压力和剪切力的破坏作用可以认为是相等的。

(2) 确定钻进速度时,岩体的裂隙度可忽略不计,只是在确定岩石坚固性指标时才考虑。

(3) 因为只有经常的排出岩渣才能破坏岩石,所以在评价可钻性时,必须考虑岩石的体积密度 γ 。

这样, ω 值可以用经验公式确定:

$$\omega = 0.007(\sigma + \tau) + 0.7\gamma$$

根据 ω 值,岩石可钻性分为5个等级,25个类别:

I级——易钻的($\omega=1\sim5$);类别:1,2,3,4,5。

II级——中等难钻的($\omega=5.1\sim10$);类别:6,7,8,9,10。

III级——难钻的($\omega=10.1\sim15$);类别:11,12,13,14,15。

IV级——很难钻的($\omega=15.1\sim20$);类别:16,17,18,19,20。

V级——最难钻的($\omega=20.1\sim25$);类别:21,22,23,24,25。

指标 $\omega>25$ 时,属于级外。对于具体的岩石条件,可用指标 ω 来考虑钻机的功率、参数和钻进速度的计算。

另一种方法是从冲击式凿岩中抽象出来的。它是利用重锤(4kg重锤)自由下落时产生的固定冲击功,冲击钎头而破碎岩石,根据破岩效果来衡量岩石破碎的难易程度。其可钻性指标包括两项:

(1) 凿碎比功。即破碎单位体积岩石所做的功,用 a 表示,单位为 J/cm^3 。

(2) 钎刃磨钝宽。即岩石的磨蚀性,用 b 表示,单位为 mm 。

一般来说,凿碎比功是衡量可钻性的主要指标,钎刃磨钝宽是第二位的,两者既有区别又有联系。

凿碎比功的计算,先量出纯凿深 H (为最终深度减去初始深度值),再算出凿孔的体积,于是凿碎比功 a 为:

$$a = \frac{4NA}{\pi d^2 H}$$

式中 d ——实际孔径（一般探钎头直径计），cm；

H ——纯凿深，cm；

N ——冲击次数；

A ——单次冲击功，J。

同一类型的岩石，凿碎比功 a 值与钎刃磨钝宽 b 值的关系是，随着 a 值的增大， b 值也增大。但是实验资料表明，钎刃磨钝宽与岩石种类有很大关系，凿碎比功相同的岩石，（尤其是石英的含量）不同，钎刃磨钝宽有很大的差别。而岩性相近时，岩石越硬，凿碎比功越大，钎刃磨钝宽也相应增大。因此， a 与 b 既有联系，又有区别。它们反映了岩石可钻性的两个不同侧面。 a 值大小，对凿岩速度有明显影响，而反映岩石磨蚀性的 b 值，则在凿岩耗刀率方面有明显影响。因此，在衡量岩石掘进难易程度时，两者应该同时考虑，才能从岩石抵抗破岩刀具和磨蚀破岩刀具的能力的两个方面，说明岩石的可钻性，并预估其凿岩效果。

1.2.2 凿岩破岩机理

凿岩按凿岩工具破碎岩石的原理，可分为冲击式凿岩和旋转式凿岩等。根据岩石的物理性质的不同，可采用不同的凿岩方式。在脆性岩石中一般采用冲击式凿岩，塑性岩石一般采用旋转式凿岩。

冲击式凿岩，就是利用钎子的冲击作用，将岩石凿碎。如图 1-1 所示，当钎头在冲击力作用下凿到岩石上时，钎刃便切入其中。此时，钎刃下方和旁侧的岩石被破坏，形成一条凿沟 $A-A$ ；随后将钎头转动一个角度，再进行下一次冲击，形成第二条凿沟 $B-B$ 。若钎头的冲击力足够大，转动角度适合，两条凿沟之间的扇形岩体，在凿 $B-B$ 凿沟的同时，就会被剪切破坏。上述过程循环往复，钎头便不断凿碎岩石，炮孔就可逐渐加深。但必须及时排除岩粉，并对凿岩机施以轴向推力，使钎刃可靠地接触孔底岩石，才能更有效地破岩。

对于钎刃是如何侵入岩石的，现在的破岩理论都认为，在冲击力 F 的作用下（静力压入也是同样的），岩石在钎刃下方被压成致密的核状，此时侵入深度而不大。但当 F 增大到一定程度、达到岩石的塑性极限时，便产生向两侧作用的推力，使两侧岩石发生剪切破坏，侵入深度就突然增大，故侵入深度呈突跃式，而且破碎坑的体积总比钎头侵入岩石部分的体积大。

这种冲击破岩法，对坚硬岩石的破碎很有效，所需的轴推力不大，钻机机构简单，能在潮湿的条件下可靠地工作，因此被广泛采用。但是它的效率低、能耗大、噪声也大。

旋转式凿岩，就是利用钎子连续地旋转切削破碎岩石的钻孔方法。它的破岩机理如图 1-2 所示。在轴向压力 P 的作用下，钎刃被压入岩石，同时钎刃不停地旋转，由旋转力矩 M 推动钎刃产生切削力 G 向前切削岩石，使孔底岩石连续地沿螺旋线被破坏。由于岩石具有脆性，所以它的破坏是在钎刃前一块接一块地崩落，粉尘颗粒较大。

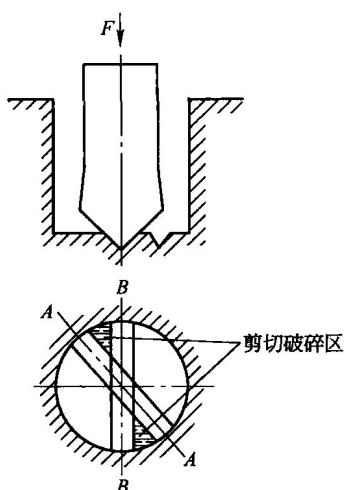


图 1-1 冲击式破岩机理

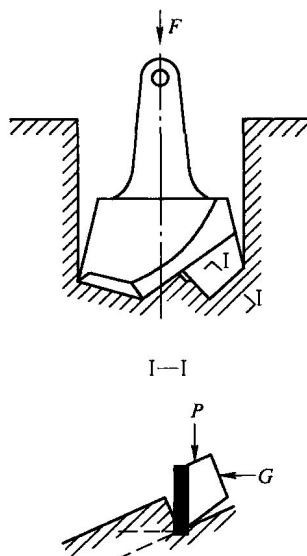


图 1-2 旋转式破岩机理

1.3 凿岩工具及设备

1.3.1 凿岩机械分类

凿岩机械根据应用的动力，可以分为气动（风动）、液压、电动、内燃、水压凿岩机械。气动凿岩机械有：气动凿岩机和气动潜孔钻机；液压的有支腿式和导轨式；电动的有手持式、支腿式和导轨式。按用途可以分为掘进凿岩台车（钻车）和采矿凿岩台车。按行走方式可以分为轨轮式、履带式和轮胎式。按辅助设备可以分为支腿式、钻架式、台车式。

凿岩机械型号应该表示出每种产品的名称、结构形式、用途和主要规格，从而使人们一看到凿岩机的型号就有一个明晰的概念。凿岩机械的型号是按类别、组别、型别分类原则编制的。一般由类别、组别、型别代号与主要参数代号两部分组成。如需增添特性代号时，其特性代号置于类别、组别、型别代号与主要参数代号之间，由类别、组别、型别代号、特性代号、主要参数代号等组成，如表 1-4 所示。

1.3.2 凿岩机工作机构

凿岩要根据炮孔的布置和每一炮孔的深度、角度要求来进行，因此凿岩机由冲击、回转、推进、冲洗、移位等部分组成如图 1-3 所示。

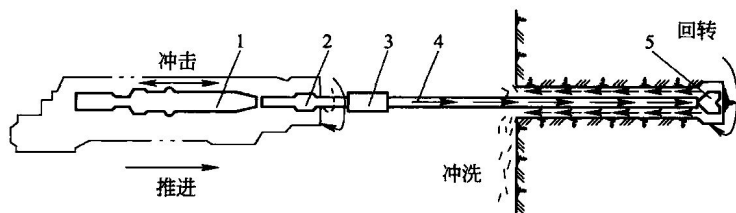


图 1-3 凿岩作业示意图

1—活塞；2—钎尾；3—接杆套；4—钎杆；5—钎头

表 1-4 凿岩机型号标注表

类 别	组 别	型 别	特性代号	产品名称及型号	主要 参 数	
					名 称	单位符号
凿岩机 Y (岩)	风动	手持式	— P (频) C (尘)	手持式凿岩机 Y 手持式高频凿岩机 YP 手持式集尘凿岩机 YC	机器重量 机器重量 机器重量	kg kg kg
		气腿式 T (腿)	— P (频) C (尘)	气腿式凿岩机 YT 气腿式高频凿岩机 YTP 气腿式集尘凿岩机 YTC	机器重量 机器重量 机器重量	kg kg kg
		向上式 S (上)	— C (侧) P (频) D (多)	向上式凿岩机 YS 向上式侧向凿岩机 YSC 向上式高频凿岩机 YSP 向上式多用凿岩机 YSD	机器重量 机器重量 机器重量 机器重量	kg kg kg kg
		导轨式 G (轨)	— P (频) Z (转)	导轨式凿岩机 YG 导轨式高频凿岩机 YGP 导轨式独立回转凿岩机 YGZ	机器重量 机器重量 机器重量	kg kg kg
	内燃 N (内)	手持式	— F (附)	内燃凿岩机 YN 带附缸内燃凿岩机 YNF	机器重量 机器重量	kg kg
	液压 Y (液)	导轨式 G (轨)	—	导轨式液压凿岩机 YYG	机器重量	kg
	电动 D (电)	手持式	—	手持式电动凿岩机 YD	机器重量	kg
		支腿式 T (腿) 导轨式 G (轨)	— —	支腿式电动凿岩机 YDT 导轨式电动凿岩机 YDG	机器重量 机器重量	kg kg
凿岩台车 C (车)	井下	轨轮式 G (轨) 履带式 L (履) 轮胎式 T (胎)	J (掘) J (掘) J (掘)	轨轮式掘进台车 CGJ 履带式掘进台车 CLJ 轮胎式掘进台车 CTJ	名义推进力 装凿岩机台数 装凿岩机台数 装凿岩机台数	kN 台 台 台
凿岩辅 助设备 F (辅)	腿 T (腿)	— 侧向式 C (侧) 下向式 X (下) —	— — — S (水) Y (液) J (机)	气腿 FT 侧向式气腿 FTC 下向式气腿 FTX 水腿 FTS 油腿 FTY 机械腿 FTJ	名义推进力 名义推进力 名义推进力 名义推进力 名义推进力 重量	kN kN kN kN kN kg
	架 J (架)	Z (柱) S (双) Y (圆) D (吊) H (环)	— — — — —	凿岩柱架 TJZ 双柱式凿岩柱架 FJS 圆盘式凿岩台架 FJY 伞式吊架 FJD 环式吊架 FJH	柱架最低高度 柱架最低高度 柱架最低高度 吊架最小支撑直径 吊架最小支撑直径	dm dm dm m m
		注油器 Y (油)	—	注油器 FY	容油量	mL
		集尘器 C (尘)	—	集尘器 FC	容尘量	mL
		磨钎机 M (磨)	—	风动磨钎机 FM	砂轮直径	mm

各类凿岩机中，以气腿式凿岩机在金属矿山中应用最广，其结构具有代表性。现以 YT-23 型（7655）气腿式凿岩机为例，说明风动凿岩机的一般构造。YT-23 型气腿凿岩机外观如图 1-4 所示，由凿岩机、气腿、风管（包括注油器）、水管、钎子等组成。

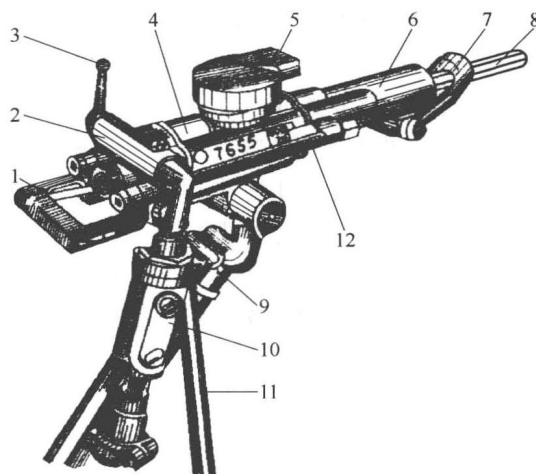


图 1-4 YT-23 型气腿凿岩机外形图

1—手把；2—柄体；3—操纵阀手柄；4—气缸；5—消声罩；6—机头；7—钎卡；
8—钎杆；9—气腿；10—自动注油器；11—水管；12—连接螺栓

YT-23 型凿岩机由柄体 2、气缸 4 和机头 6 等主要部件组成。从安装在柄体 2 上的进风管进入机器的压缩空气，通过操纵阀手柄 3 实现空气的进给、停止以及强力吹扫炮孔。清洗炮孔的水通过入水管 11 进入连接在柄体内的注水机构。柄体、机体、机头三部分用两根螺栓牢固地连接。在机体的排气口上安有消声罩。气缸的下部有气腿连接孔，用以同气腿相连。凿岩机工作时，钎子插在机头内的钎尾套中，由钎卡 7 卡住，用以拔钎。在把手内装有扳机，用以操纵气腿快速缩回。

1.3.2.1 冲击配气机构

冲击配气机构是凿岩机的主要部件，它由气缸、活塞、配气装置及排气系统组成。冲击机构靠配气阀的交替变换位置，适时改变进气方向，将压气分配到气缸的前腔与后腔，推动活塞作高速往复运动；并以一定的动能冲击钎尾，实现凿岩。

1.3.2.2 转钎机构

回转功能能使钎头每冲击一次回转到一个新的位置，进行新的岩石破碎；同时在回转过程中，也可将已发生裂纹的岩石表面部分剥落下来。转角适宜，可以提高凿岩速度。由于钎子与孔底孔壁之间的摩擦、钎子本身的惯性、转钎机构内部的摩擦以及妨碍钎子转动的其他阻力，要求转动机构具有足够的扭矩和转动功率，这样才能确保凿岩机稳定工作。

根据钎杆回转力矩传递方式的不同，凿岩机的转钎机构可以分为外回转、内回转两大类。

1.3.2.3 冲洗排粉

凿岩过程中，炮孔底部的岩石不断被钎头冲击破碎成岩粉，必须及时将它排除，才能继续钻进。冲洗机构是从炮孔内清除被破碎下来的岩屑，如果冲洗不足，炮孔底部将发生重复凿