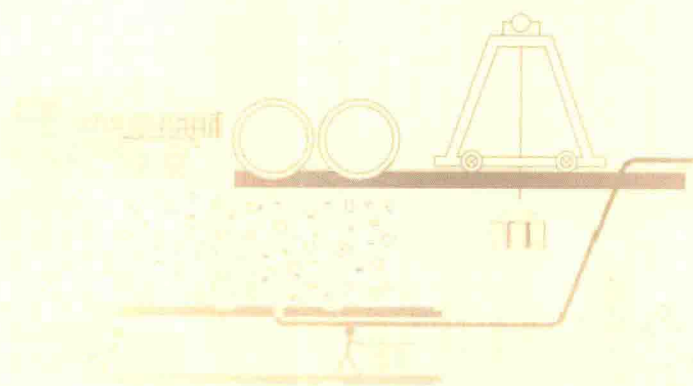
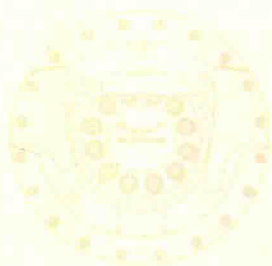


地下建筑工程专业本科生教材

地下 建筑工程施工

● 葛克水 张宏洲 编著



地质出版社

业本科生教材

地下建筑工程施工

葛克水 张宏洲 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内容简介

本书以在地层中构筑建筑物为目的,研究解决地下工程修建中的技术方案和措施,地下工程在各种地质条件下的施工方法、手段、工艺和工程实施中的技术、计划、质量、经济和安全管理措施。本书系统介绍了地下建筑各种开挖方案、方法及开挖方式,岩土地层各种开挖和支护的设计与施工方法,锚喷支护的设计及施工,特殊地层施工、安全和劳动条件,编制工程施工组织设计说明书的方法等。在编写过程中主要围绕三个方面进行论述,即洞室开挖工程、洞室支护工程和地下建筑施工组织与方法。

本书可供土木工程专业的学生使用,也可以供从事土木工程工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下建筑工程施工/葛克水,张宏洲编著.—北京:
地质出版社,2014.6
ISBN 978-7-116-08824-5

I. ①地… II. ①葛… ②张… III. ①地下工程-工
程施工 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 111208 号

Dixia Jianzhu Gongcheng Shigong

责任编辑:肖莹莹
责任校对:王洪强
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083
电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324589(编辑室)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
传 真:(010) 82310983
印 刷:北京地大天成印务有限公司
开 本:787mm×1092mm¹/₁₆
印 张:13.75
字 数:330 千字
版 次:2014 年 6 月北京第 1 版
印 次:2014 年 6 月北京第 1 次印刷
定 价:48.00 元
书 号:ISBN 978-7-116-08824-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

地下建筑，顾名思义，就是修筑在地下的建筑物和构筑物，如巷道、管道、隧道、油库及人防工程等。为有效保护地面上的生态环境，开发利用地下空间资源并营建新世纪的地下长城，在新的 21 世纪里将会建造更多的地下工程以满足人们生产生活的各种需求。由于地下建筑具有显著的不同于地上建筑的特征，所以其施工方式也与地上建筑有着较大差异。

《地下建筑工程施工》是土木工程专业一门主要课程。它是以在地层中构筑建筑物为目的，研究解决地下工程修建中的技术方案和措施，地下工程在各种地质条件下的施工方法、手段、工艺和工程实施中的技术、计划、质量、经济和安全的管理措施。

本书编写的主要目的是：使学生能够掌握地下建筑各种开挖方案、方法及开挖方式；掌握岩土地层各种开挖和支护的设计与施工方法；锚喷支护的设计及施工；特殊地层施工、安全和劳动条件；能编制工程施工组织设计说明书。所以，本书在编写过程中主要围绕三个方面进行论述，即洞室开挖工程、洞室支护工程和地下建筑施工组织与方法。

本书由北京市级土木工程特色专业建设项目资助。她凝聚着中国地质大学（北京）几代教育工作者的心血，第一、二、三、四、五、六、七、十二、十三、十四、十五、十六章由中国地质大学（北京）葛克水编写，第八、九、十、十一章由廊坊师范学院张宏洲编写。

因编者水平有限，以及客观条件和时间精力等限制，书中缺点与错误在所难免，希望广大读者不吝赐教。

编 者

2014 年 1 月

目 录

第一章 概论	1
第一节 地下建筑类型	1
第二节 地下建筑成洞方法分类	3
第三节 地下建筑工程的组成及基本施工顺序	3

第一篇 洞室开挖工程

第二章 钻孔爆破法的基本作业	5
第一节 钻孔	5
第二节 爆破	8
第三节 出碴	10

第三章 开挖阶段的洞室稳定与临时支护	15
第一节 开挖阶段的洞室稳定问题	15
第二节 临时支护的作用和类型	17
第三节 常用的几种临时支护	18

第四章 岩石洞室的开挖方案	22
第一节 导洞及洞口的开挖	22
第二节 水平洞室的开挖	25
第三节 斜洞开挖	33
第四节 竖井开挖	35
第五节 罐室开挖	37

第五章 岩石洞室的爆破方案	41
第一节 爆破法开挖岩石洞室的基本原理	41
第二节 导洞的爆破方案	44
第三节 洞室扩大爆破方案	48
第四节 控制爆破	49
第五节 台阶法、全断面法开挖洞室的爆破方案	52

第六章 不良地质地段的施工措施	54
第一节 破碎松散地层	54
第二节 多水地层	57

第三节	膨胀性地层	58
第四节	塌方的处理	59
第七章	应用掘进机械开挖水平洞室	60
第一节	掘进机法	60
第二节	盾构法施工	71
第八章	沉管隧道施工技术	85
第一节	概述	85
第二节	沉管隧道的基本结构	88
第三节	管节预制	90
第四节	基槽浚挖技术及设备	94
第五节	管段的出坞、沉放及水下对接	97
第六节	管段的水下对接	103
第七节	沉管基础处理与覆土回填	106
第九章	顶管法施工	112
第一节	概述	112
第二节	顶管法施工工艺	114
第三节	顶管工作坑	119
第四节	顶管法主要工程技术	123
第五节	长距离顶管措施	127
第十章	施工辅助作业	130
第一节	施工通风与防尘	130
第二节	压缩空气供应	135
第三节	施工供水工艺与排水工艺	139
第四节	施工供电与照明	141
第十一章	地下工程施工监控量测	145
第一节	概述	145
第二节	监控量测内容与方法	147
第三节	监控量测数据处理与信息反馈	155
第四节	监测工作安全、质量、环境保护保障措施	160

第二篇 洞室支护工程

第十二章	装配式衬砌结构	162
第一节	概述	162

第二节	喷射混凝土的原材料及其组成	164
第三节	喷射混凝土施工机具	166
第四节	喷射混凝土施工工艺	168
第五节	钢筋砂浆锚杆	174
第六节	预应力锚索	176
第七节	树脂锚杆	178
第十三章	整体式衬砌施工	180
第一节	整体式衬砌施工的工艺过程	180
第二节	模板工程	180
第三节	钢筋工程	183
第四节	混凝土工程	184
第五节	罐室、竖井衬砌的施工	191
第六节	背部回填及压浆	195
第十四章	防水隔潮工程施工	196
第一节	防水隔潮的主要技术措施	196
第二节	涂料防水	197
第三节	卷材防水	198
第四节	堵漏	198
第五节	防水隔潮工程中存在的问题	201
第三篇 地下建筑施工组织与方法		
第十五章	地下建筑施工组织的任务与内容	203
第一节	地下建筑施工组织的任务	203
第二节	组织地下建筑施工的程序和工作内容	204
第十六章	地下建筑施工组织设计	207
第一节	地下建筑施工组织设计的编制原则	207
第二节	地下建筑施工组织设计的编制依据	208
第三节	地下建筑施工组织设计的主要内容	208
主要参考文献		213

第一章 概 论

第一节 地下建筑类型

随着我国城市化进程的加快，城市面积不断扩大，土地减少、住房和能源短缺、城市交通拥堵、环境恶化及备战防灾方面等诸多问题，都亟待解决。因此，国家除急需建造大量的地面建筑外，还需要建造和开发地下空间。20世纪以来，现代地下空间的开发主要用于建造各种隧道、水利水电工程、大型地下公用设施和地下能源储库等。近些年来城市地下空间的开发利用成了人们关注的热点。典型过程反映在城市地铁、地下公路、地下车库、地下人防及地下公用设施等。可以预见，随着经济、科技的继续发展，我国的地下空间的开发利用即将进入一个蓬勃发展的新时期。

地下空间指在岩石和土层中天然形成或人工开挖形成的空间。天然地下空间如各种地下洞穴等。人工地下空间分两类：一类是开发地下矿藏形成；一类是因工程建设需要开凿的地下洞室。

地下建筑（underground buildings and structures）指建造在岩层或土层中的各种建筑物（buildings）和构筑物（structures），是在地下形成的建筑空间，称为地下建筑。

地下工程（underground engineering）指建造在地下的各种工程设施称为地下工程。

一、按用途分类

按照用途分类，地下建筑可以分为：

- (1) 生产性地下建筑。如地下工厂、动力站、矿山井巷。
- (2) 交通运输及输水隧道。如铁路、公路、航运隧道、城市地下铁道、给水排水、泄洪灌溉隧道。
- (3) 人防工程。如为满足战备及人民防空要求的掩蔽部、疏散干道及平战结合的地下生产和公用设施：通信中心、地下医院、地下商业服务网点等。
- (4) 底下贮库。如防爆、防火、战备物资或器材、放射性材料的仓库、冷藏库、城市地下车库。
- (5) 军事用途的地下建筑。如指挥中心、人员掩蔽部、飞机库、舰艇库、火炮掩体等。
- (6) 其他特殊用途的地下建筑。如为满足科研、试验或某一特定要求的地下建筑。

二、按位置分类

按位置不同，可分类为：

- (1) 山体内的地下建筑。如各种铁路隧道等。

- (2) 城市街道下的地下建筑。如地铁、地下商场等。
- (3) 海底及河底下的地下建筑。如英吉利海峡隧道。

三、按工程所在地层性质分类

按工程所在地层性质，可分为：

- (1) 土质土层中的地下建筑。
- (2) 岩石地层中的地下建筑。

四、按洞室的体型分类

按洞室的体型不同，可分为：

- (1) 平洞。地下建筑中最常见的洞室体型即为平洞，按断面形式可分为：矩形、梯形、曲墙（或直墙）、拱形、圆形；按洞室断面尺寸间的相对比例不同可分为：大跨度、高边墙、普通型。
- (2) 斜井。与地面直接相通的倾斜巷道，其作用与竖井和平洞相同。不与地面直接相通的斜井称为暗斜井或盲斜井，其作用与暗竖井相同。
- (3) 竖井。作为与地面和地下建筑工程连接的通道，与地面近于垂直，故称为竖井。断面形状有矩形和圆形。

五、按埋置深度分类

按埋置深度不同，可分为：浅埋式、深埋式。

浅埋式和深埋式的判定依据：考虑覆盖层厚度或视覆盖层厚度与洞室断面尺寸间的关系确定。可根据经验公式判定，属于深埋的条件为：

$$H > 1.5(b+h) \text{ 或 } H > 5b$$

式中： H 为埋深，即洞顶距地面的垂直距离； b 为洞室宽度的一半； h 为洞室高度。

在以上分类中，地下建筑物的用途决定了建筑的埋深和工程所在的位置，工程位置又客观地决定着地层的性质，进而决定洞室的体型。上述综合因素影响施工条件。

根据长期实践，决定和影响地下建筑施工方法，特别是成洞方法的主要因素包括客观因素和主观因素。

(1) 客观因素。主要有：

洞室围岩性质（施工对象的性质决定施工方法）；

围岩：洞室开挖后，其周围产生应力重分布范围内的岩体或洞室开挖后对其稳定性产生影响的那部分岩体。

洞室的体型特征（断面形式、尺寸、平面和立体布置），有的洞室单一，体型为等断面，如各种交通隧道，有些则很复杂。

(2) 主观因素。主要为施工条件（施工技术装备和水平）。

由此看出，地下建筑没有一个通用的、定形不变的施工方法，需因主客观方面条件（围岩性质、洞室体型、施工条件）的不同而异。

第二节 地下建筑成洞方法分类

地下建筑类型很多,工程特点各异,相应的成洞方法也不相同,据目前的技术条件,地下建筑采用的成洞方法概括为以下几类。

1. 暗挖法

(1) 坑道开挖法。按破岩方式可分为钻孔爆破法、掘进机法及其他方法(如高压水破裂法)。按成洞方式可分为分部开挖法(包括导洞开挖和台阶开挖)、全断面开挖法。

(2) 盾构法。

(3) 顶进结构法。

(4) TBM 掘进机法。

2. 明挖法

(1) 基坑法(敞开口,简单,成本低)。

(2) 工字钢桩法(适用于地面有建筑物、地层松软含水、基坑壁需要支撑)。

(3) 地下连续墙法(适用于挖槽机械)。

3. 盖挖法

适用于城市附近浅埋隧道或地铁。深层水泥搅拌桩技术(水泥、石灰、地基土)。

4. 沉放结构法

适用于河、海底隧道的施工。当前,地下建筑的开挖,主要是采用钻孔爆破法。掘进机法在我国已有一定的应用,但尚处试验发展阶段。其他破岩方法,如高压水射流、激光、超声等破岩方法以及使岩体软化溶解的化学破岩方法尚处研究和试验阶段。

第三节 地下建筑工程的组成及基本施工顺序

工序:洞室开挖工程—洞室支护工程—洞内建筑及防、排水工程—专业设备安装工程—洞口及配套工程。

洞室开挖工程:根据设计,在岩体内进行开挖成洞的作业。

洞室支护工程:为增强稳定,保证安全。方式一般包括喷射混凝土、锚杆、喷锚、整体式衬砌、装配式衬砌。

洞内建筑及放排水工程:包括洞内衬套及房屋、放排水、设备基础工程、门窗粉刷油漆等装饰工程、地面工程。

专业设备安装工程:工艺设备、运输设备、动力、照明、通信、供热、给水、排水、消防等管线设施。

洞口及配套工程:洞门、洞口护坡、泄洪排水、道路、洞外必需的配套设施。

第一篇 洞室开挖工程

洞室开挖是地下建筑施工的一项主导工程，在当前技术条件下，钻孔爆破法是开挖岩石洞室的常规方法。主要包括：钻孔、爆破、出碴三项施工过程。这三项作业，决定和控制着开挖工程的进度和工期，所以被称为基本作业。

相继完成这三项作业后，开挖洞室就向前推进一段。完成这三项基本作业，即称为一个开挖循环。向前推进一段长度，就叫做一个循环开挖进尺，简称循环进尺。

开挖工程除上述三项主要作业外，还有临时支护、测量、供气、供水、通信、防尘等。这些作业是为主要作业创造正常工作条件或是改善劳动条件，所以称为辅助作业。

钻孔爆破法的基本作业为钻孔、爆破、出碴（装碴、运输、卸碴等）；辅助作业为临时支护、测量、供气、供电、供水、通风、防尘、照明、排水等。

第二章 钻孔爆破法的基本作业

第一节 钻 孔

钻孔在洞室开挖工程中是工时消耗多，劳动强度大的一项基本作业。钻孔所需的时间一般占开挖循环时间的40%~50%，因此，合理选择钻孔方式和使用好钻孔设备，对于缩短钻孔时间，加快开挖进度具有重大意义。

一、钻孔的机具设备

1. 凿岩机

按凿岩方式不同可分为：旋转式、冲击式、旋转冲击式。

(1) 旋转式：在轴推力作用下，靠旋转切削岩石而成孔。适用于煤矿、中硬以下岩石。

(2) 冲击旋转式：在轴推力作用下，靠冲击旋转或旋转冲击剪切岩石而成孔。

(3) 冲击式凿岩机的动力形式有：风动、液压、内燃、电动。在冲击式凿岩机中，由于电动、内燃、液压均有它们各自的缺点，所以广泛使用的就是风动式凿岩机。

风动式凿岩机按推进方式和用途不同可以分为：

(1) 手持式：重量轻，人力推进，水平，倾斜， $<3\text{m}$ 。用于路堑、洞口等小量工程。

(2) 气腿式：较重，气腿推进，水平，倾斜， $<5\text{m}$ 。常用于隧道及小量露天爆破工程（图2-1）。

(3) 向上式：带有上下伸缩的推进气缸，专用钻凿 $60^\circ\sim 90^\circ$ 向上孔，常用于地下采矿工程。

(4) 导轨式：重量大，中、重型，安装在台车或台架上，水平，倾斜，可达30m。

2. 凿岩台车

凿岩台车是将一台或多台液压凿岩机连同推进装置安装在钻臂导轨上，并配以行走机构，使凿岩作业实现机械化，并具有效率高、机械化程度高，可打中深孔眼，钻眼质量高等优点。近十几年来，隧道施工机械化水平不断提高，台车式钻车越来越多地使用了带有行走装置及操纵机构，架设重型凿岩机的台架。

根据行走方式不同可分为：轨道式、轮胎式、履带式。轨道式适用于单一断面无交叉，轮胎履带式则比较灵活。



图2-1 气腿工作原理

1—钎子；2—主机；3—水管；4—压风软管；5—气腿

6 ▶▶ 地下建筑工程施工

根据臂的数量不同可分为：单臂、多臂，常用 2 臂或 3 臂。

3. 凿岩机配置

- (1) 小型断面 $< 10\text{m}^2$ ，配 2~3 台凿岩机；
- (2) 中型断面 $< 50\text{m}^2$ ，配 4~6 台凿岩机；
- (3) 大型断面 $> 50\text{m}^2$ ，至少配 6 台凿岩机。

4. 钎子和钎头

1) 钎子

风钻的直接工作部分是钻钎，它由钻头、钻杆、钎尖、钎尾组成。

钎子分为：可卸式（常用）、整体式。

钎杆用直径 22~32mm 六角或圆形空心钢制成。中心孔供吹洗炮孔用的压力水，用以吹出岩粉。75cm, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m。

2) 钎头

活头（可拆式）钎子的钻头。其钻刃现多采用镶硬质合金刀片或硬质合金柱。

根据钻刃数目和排列形式可分为：①一字型：适用于完整岩体。②十字型：适用于节理裂隙。③X型：适用于节理裂隙、炮孔规整，较圆。④柱齿：适用于受力均匀，效果好。

二、影响纯钻速的因素

纯钻速是指凿岩机有效钻进时的速度。岩石、凿岩机一定时，纯钻速与以下因素有关：

1. 风压 P

风压的大小直接影响活塞的冲击功和冲击频率，从而影响凿岩机破岩做功的能力。风压与钻速 (v) 的关系如图 2-2 所示。

2. 单次冲击功 A

当破碎单位体积岩石所消耗的功（比功 a ）为常数时，则凿岩速度与单次冲击功成正比。但是，试验表明，实际情况并非如此，实测的冲击功与比功的关系如图 2-3 所示。

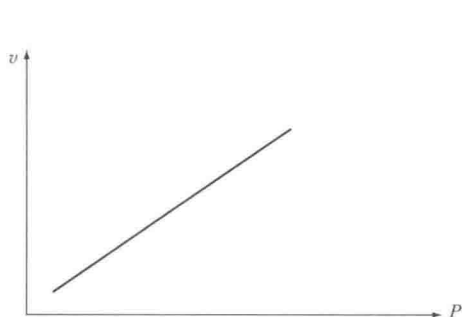


图 2-2 风压与钻速的关系

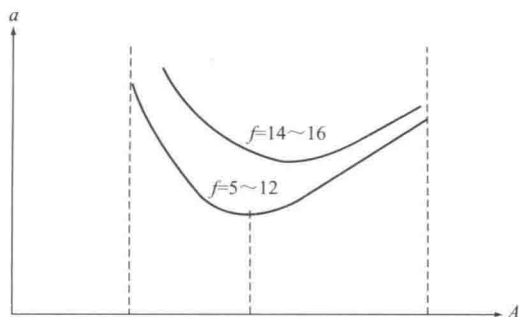


图 2-3 冲击功于比功的关系

从图 2-3 可知,比功的大小并非常数。对破碎某一岩石而言,其冲击功有一合理的范围。如果冲击功小于这一范围时,由于冲击功主要消耗与岩石的弹性变形,或使岩石产生局部压碎,不足以形成剪切破碎,所以,比功很大而凿岩速度不高;如果冲击功大于这一范围,虽然凿岩速度可能提高,但比功增大了,从能量利用率的观点来看是不经济的。也就是增加的这部分冲击功并没有全部消耗在岩石的破碎上,而有一部分消耗在已破碎岩碴的重复破碎上。

从图 2-3 中还可以看出,合理的冲击功范围随着岩石坚固性的增强而增大。由此可见,为保证较高的凿岩速度和较小的比功起见,凿岩机的冲击功不宜过大或过小。我国气腿式凿岩机的冲击功范围为 58.8~68.8J。

3. 支架轴推力 F

在凿岩过程中,必须对凿岩机施加一定的轴推力,以克服凿岩机的后坐力和减小凿岩机的振动以及钎子的前后窜动,使钎刃经常与孔底岩石接触,从而保证凿岩机的冲击能量有效地用于破碎岩石,提高凿岩速度。但是,轴推力过大,钎子的回转阻力增加,转速降低或转不动,甚至会使活塞冲程缩短,冲击功和冲击频率降低,凿岩速度下降。因此,在一定条件下,各类凿岩机均有相应的最优轴推力,其值主要正比于凿岩机的气缸直径和使用的风压。

4. 冲击频率 N

当岩石坚固性和凿岩机的冲击功一定时,可以认为活塞每冲击一次所破碎岩石的体积是相同的,因此,随着冲击频率的提高,凿岩速度也就提高。

但是,通过实验所得冲击频率与凿岩速度的关系曲线(图 2-4)表明,冲击频率不得无限地增大。当冲击频率达到某一临界频率 N_0 。(即对应于最高凿岩速度的冲击频率)之前,凿岩速度与冲击频率成正比,若超过了临界值以后,凿岩速度不仅不会继续提高,反而会下降。此种现象之所以会产生,一般认为是由于凿刃作用于岩石面上的时间过于短促,致使岩石破碎范围还来不及扩展到可能的程度就承受了下一次的冲击,消耗了部分冲击功,从而导致凿岩速度下降。据测定,临界频率为 $6 \times 10^5 \sim 8 \times 10^5$ Hz。

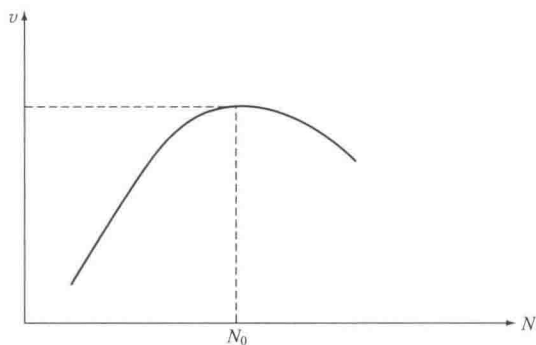


图 2-4 凿岩速度与冲击频率的关系

5. 回转扭矩和回转角度 β

回转扭矩是凿岩机中的活塞与套在活塞中心的落选帮之间相互扭转时所产生的力

矩；回转角度是凿岩机的活塞冲击一次后，回程时带动钎子旋转的角度。在冲击过程中，为使钎子能在相邻两次凿击岩石之间造成扇形岩块的有效剪切，就要求凿岩机具有适当的回转扭矩和回转角度。足够的回转扭矩是保证使一定质量钎子转动一定回转角度所必需的，但是过大的扭矩没有必要，徒然浪费钻机的能力。回转角度过大则不能有效地剪碎扇形岩块，而过小的回转角度也不能充分利用能量从而影响凿岩速度。

图 2-5 表示实验所得凿碎岩石的比功 a 与回转角度 β 的关系。可以看出，最优回转角度与最小比功相对应；若不在最优回转角度下工作时，比功要增加 20%~30%。

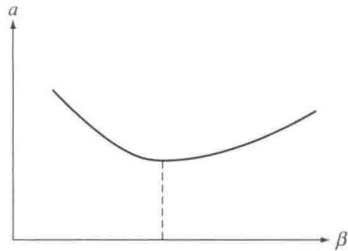


图 2-5 回转角度与比功的关系

6. 钎头的型式和质量

根据不同岩石选不同型式，选择优质钻头。

7. 孔径、孔深

随着孔径、孔深的增加，无疑地凿岩速度就要下降，究其原因，一方面是因为深孔的断面增大，需要破碎的岩石增多，能量消耗也多；另一方面是因为钎刃长度增大，则均摊在单位刃长上的冲击功能量就小，破碎岩石的效率降低，凿岩速度下降。因此应根据风压、机型确定深度、工作循环时间。

8. 供水量及水压

合适的水量及水压，才能保证岩粉呈稀乳状顺利地由钻孔中排出，以利于凿岩。

第二节 爆 破

一、常用的工业炸药

1. 硝铵类炸药

(1) 铵梯炸药：TNT5%~10%；硝酸铵 80%~85%；木粉 10%。

(2) 铵油炸药：硝酸铵 90%~92%；柴油 4%；木粉 4%。

(3) 安松腊炸药：硝酸铵 92%；松香 2%；石蜡 1%；木粉 4%，柴油 1%。

2. 硝化甘油炸药

(1) 主要成分：硝化甘油（13°）硝化棉吸收，硝酸钡或硝酸铵作氧化剂，加少量木粉，加适量硝化乙二醇。

(2) 特点：冻结点 -22°C 。爆炸威力大，防水性能好。

3. 浆状炸药

(1) 主要成分：硝酸铵饱和水溶液+敏化剂+胶联剂。

(2) 特点：防水性好，感度较低，一只8#雷管不能起爆，需使用起爆弹起爆。

4. 水胶炸药

水胶炸药是在浆状炸药的基础上发展起来的，采用水溶性甲基铵硝酸盐作敏化剂。

特点：防水性好，感度较高，可用一只8#雷管起爆。

5. 乳化炸药

(1) 主要成分：硝酸铵和硝酸钠的过饱和水溶液作氧化剂+燃料油+乳化剂+敏化剂。

(2) 特点：密度可调范围较宽，爆速高，起爆感度高，抗水性强，但爆力较低。

二、起爆器材

(1) 雷管：火雷管、电雷管、导爆管雷管。其中导爆管雷管和电雷管分为瞬发和延期(s、ms)两种。

(2) 导火索：用于传递火焰，引爆火雷管，火雷管再引爆炸药。

(3) 导爆索：可直接引爆炸药。

(4) 导爆管：配以导爆管雷管可直接引爆炸药。

三、装药

按聚能方向分为：正向装药，反向装药。

按结构分为：连续装药，间隔装药，不耦合装药。

四、起爆

1. 火雷管

用以引爆火雷管的导火索长度 $L(\text{m})$ 为：

$$L=(t_1+t_2)v+1$$

式中： t_1 为全部炮孔点燃所需时间； t_2 为撤离至安全地点所需时间； v 为燃速(0.5m/min)。

2. 电雷管

(1) 起爆电源：电池、火力电、起爆器。

(2) 连接方式：串联、并联、串并混联。

3. 导爆索

主要用于光面爆破、预裂爆破、露天深爆破以及洞室大爆破；工程上主要和导爆管联合使用，导爆索用于起爆炸药或导爆管，导爆管用于分段或起爆炸药。

4. 导爆管

主要用于各种隧道爆破、露天爆破。可单独使用(隧道爆破)，也可和导爆索联合使用。

第三节 出 碴

出碴是开挖工程中另一项费时费工的基本作业。在一般情况下，出碴作业所需时间约占开挖循环时间的35%~50%。为提高开挖速度，就必须快速出碴，出碴主要包括：装、运、卸。

一、装碴

为实现快速装碴，必须采用高效率的机械设备，提高机械化程度。

1. 装碴机械

1) 铲斗式

按行走方式分为：①轨道式，适用于中小型隧道，需转载。②履带式，适用于大中型隧道。③轮胎式，适用于中大型隧道。

按卸载方式分为：①正装正卸式，净空间要求大，适于中型以上断面。②正装后卸式，适用于中小型，对碴径有要求。③正装侧卸式，卸载方便，效率高，适用于大中型。

按装车方式分为：①直接装车式，受调车组织的影响。②间接装车式，带伸缩式皮带，转载设备。

2) 蟹爪式（连续式）

蟹爪式装碴机如图2-6所示。

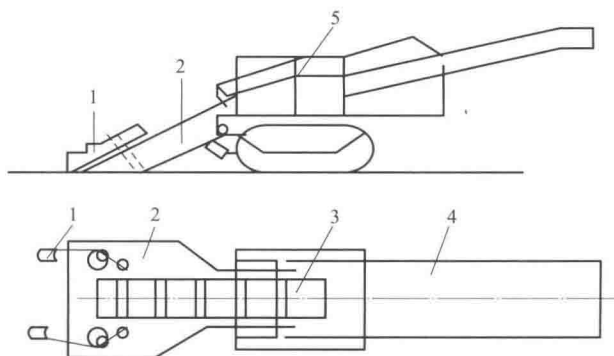


图 2-6 蟹爪式装碴机示意图

1—蟹爪；2—受料盘；3—料板输送机；4—带式输送机；5—机身

3) 立爪式

立爪式装碴机图2-7所示。立爪式装碴机前方、左右两侧方向耙碴，效率高。

4) 装运卸机

带斗—装运机，不带斗—铲运机。

5) 短臂挖掘机

面积750m²，洞宽7.0m，全断面开挖，核心开挖。