

JINSHU FEIJINSHU KUANGCHAN KANCHANG
ZUANKENG TAN GONGCHENG ANQUAN YU GUANLI

金属非金属矿产 勘查钻坑探工程

安全与管理

主编 张桃生 龙卿吉 李福良




江西科学技术出版社

JINSHU FEIJINSHU KUANGCHAN KANCH
ZUANKENG TAN GONGCHENG ANQUAN YU GUANLI

金属非金属矿产勘查
钻坑探工程安全与管理

主 编:张桃生 龙卿吉 李福良

 江西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属非金属矿产勘查钻坑探工程安全与管理/张桃生,龙卿吉,李福良主编.

—南昌:江西科学技术出版社,2012.4

ISBN 978-7-5390-4529-0

I. ①金… II. ①张…②龙…③李… III. ①金属矿—矿产勘探—安全技术
②非金属矿—矿产勘探—安全技术 IV. ①P618.208②P619.208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 047310 号

国际互联网(Internet)地址: <http://www.jxkjcs.com>

选题序号:ZK2012007

图书代码:B12003-101

金属非金属矿产勘查钻坑探工程安全与管理

张桃生 龙卿吉 李福良主编

出版	江西科学技术出版社
发行	
社址	南昌市蓼洲街2号附1号
	邮编:330009 电话:(0791)86623491 86639342(传真)
印刷	江西山水印务有限公司
经销	各地新华书店
开本	787mm×1092mm 1/16
字数	430千字
印张	21.75
印数	1500册
版次	2012年4月第1版 2012年4月第1次印刷
书号	ISBN 978-7-5390-4529-0
定价	48.00元

赣版权登字-03-2012-4

版权所有,侵权必究

(赣科版图书凡属印装错误,可向承印厂调换)

《金属非金属矿产勘查钻坑探工程安全与管理》

编委会

主 编:张桃生 龙卿吉 李福良

副主编:黄润根 陈 勇 刘铁强

编 委:方 飞 周小彬 陈意文

欧阳安源 易志豪 郭永晶

韩毅昌 刘陵洪 连绍平

周显彤 王 涛 周云荣

概 述

随着我国经济社会的快速发展以及矿产资源需求的不断增长,当前的地质矿产勘查工作显得相对滞后,导致重要资源可采储量下降,难以满足现代化建设需要,而地质勘查工作在资源勘探、社会发展中具有不可或缺的基础性作用,在维持经济发展、生态安全、资源保障方面具有先行性作用,贯穿于经济社会发展过程的始终,服务于经济社会各个方面。因此,加强地质勘查工作,是缓解资源瓶颈制约、提高资源保障能力的重要举措。通过地质勘查,提高矿产资源的可采储量,可以为经济社会发展提供资源保障。

地质勘查是地质勘查工作的简称,是根据经济建设、国防建设和科学技术发展的需要,对一定地区内的岩石、地层构造、矿产、地下水、地貌等地质情况进行侧重点不同的调查研究工作。地质勘查还包括各种比例尺的区域地质调查、海洋地质调查、地热调查与地热田勘探、地震地质调查和环境地质调查等。

在实际地质工作中,可把地质勘查工作划分为 5 个阶段,即区域地质调查、普查、详查、勘探和开发勘探。在不同阶段,按不同的目的,有不同的地质勘查工作内容。例如,以寻找和评价矿产为主要目的的矿产地质勘查,以寻找和开发地下水为主要目的的水文地质勘查,以查明铁路、桥梁、水库、坝址等工程地区地质条件为目的的工程地质勘查等。

地质勘查的工作方法或技术手段较多,比如测绘、地球物理勘探、地球化学勘探、钻探、坑探、采样测试、地质遥感等等。其中钻探工程和坑探工程是地质勘查的主要工作方法和技术手段。

一、钻探工程

钻探工程是指在地质勘查过程中,用钻机按一定设计角度和方向施工钻孔,通过钻孔采取岩芯或矿芯、岩屑或在孔内下入测试仪器,以探查地下岩层、矿体、油气和地热等资源的钻进工程,是地质勘探的一种重要技术手段。钻探工程又简称钻探,广泛应用于寻找和勘探各种矿产、油气藏(见图 1)、地下水、地热等资源以及为工程建设提供地质资料。

钻探工程按钻孔用途可分为固体矿产钻探、石油天然气钻探、水文地质钻探、地热钻探、工程地质钻探。钻进工艺按破碎岩石的外力作用方式可分为冲击钻进、回转钻

进、冲击回转钻进、振动钻进和喷射钻进等；按钻进时是否取岩(矿)芯,可分为取芯钻进和不取芯钻进；按破碎岩石所使用钻头的磨料,又分为硬质合金钻进、钢粒钻进和金刚石钻进等。

钻探机械主要包括钻机、泥浆泵、动力机和钻塔等。钻机是用于向地下钻孔的最重要的机械设备。泥浆泵又称钻井泵,是向钻孔里输送泥浆或清水等冲洗液的机械设备。

钻塔又称井架,是架设在钻场或井场上方,配合钻机绞车进行升降钻具的塔架。



图1 海上石油钻探实景图

二、坑探工程

坑探工程也叫掘进工程、井巷工程,是探矿工程的重要组成部分,是采矿工程的一个分支,它在地质勘查中具有举足轻重的地位。坑探工程是指在地质勘查工作中,为了揭露地质现象和矿体产状,用人工或机械方式,从地表或地下掘进各类小断面坑道、槽、洞的掘进工程,简称“坑探”。

坑探广泛应用于地质勘查工作各个阶段。在区域地质调查阶段,以施工探槽、浅井为主,用于揭露基岩、追索矿体露头,圈定矿区范围,为地质填图提供直观资料。在矿产普查阶段,以地下工程为主,掘进较短的水平坑道和倾斜坑道(称短浅坑道),查明地质构造,采取岩、矿样,进行地质素描等,以提高地质工作程度,作出矿床评价。在勘探阶段,常需掘进较深的水平、倾斜和垂直坑道(称中深坑道),以探明矿床的类型、矿体产状、形态、规模、矿物组分及其变化情况等,以求得高级矿产储量。

坑探工程除用于金属、贵金属、有色金属等普查勘探外,还用于隧道、采石、小矿山采掘和砂矿探采等领域。与一般的钻探工程相比较,其优点是地质技术人员能进入坑道内直接观察到地质构造和矿体产状,准确可靠,便于素描,尤其对研究断层破碎带、软弱泥化夹层和滑动面(带)等的空间分布特点及其工程性质等,更具有重要意义;可不受限制地从中采取原状岩(矿)样或用作大型原位测试,为探明高级储量,以及为后续的矿山设计、采矿、选矿和安全防护措施提供依据;另外,部分坑道可用于探采结合。坑探的缺点是使用时往往受到自然地质条件的限制,耗费资金大且勘探周期长。

坑探工程的掘进方法,按岩层稳定状况,分为一般掘进法和特殊掘进法;按掘进动力和工具,分为手工掘进和机械掘进;按掘进工艺程序可分为凿岩、爆破、装岩、运输、提升、通风、排水、支护等。

坑探工程的坑道可分为地表勘探坑道和地下勘探坑道两类,其中地表勘探坑道包括探槽、浅井和水平坑道,水平坑道又分沿脉、穿脉、平硐和石门(平巷,见图2);地下



图2 坑探石门(平巷)实景图

勘探坑道包括倾斜坑道和垂直坑道,倾斜坑道又分斜井、上山、下山,垂直坑道又分竖井、天井、盲井。

坑道掘进过程中,使用的凿岩、装岩、运岩、通风、排水等专业设备统称为坑探机械。

目 录

第一部分 钻探工程

第一章 岩石与钻头

第一节 岩石的物理力学特征

第二节 钻头及其碎岩过程

第二章 钻探设备

第一节 钻机

第二节 钻塔

第三节 钻具

第四节 钻探用泵

第三章 钻进工艺

第一节 钻效指标与钻进规程

第二节 回转钻进工艺

第三节 冲击回转钻进工艺

第四节 冲击振动钻进工艺

第四章 岩矿芯采取

第一节 岩矿芯采取的基本要求与影响因素

第二节 常用取心工具

第三节 常用钻进取心方法

第五章 泥浆与护壁堵漏

第一节 钻进泥浆

第二节 护壁堵漏

第六章 钻孔弯曲与测量

第一节 钻孔空间位置要素

第二节 钻孔弯曲的原因与规律

第三节 钻孔弯曲测量

第四节 钻孔弯曲的预防与纠正

第七章 孔内事故的预防与处理

第一节 孔内事故的危害与事故预防的意义

- 第二节 处理孔内事故的基本方法
- 第三节 埋钻事故的预防与处理
- 第四节 烧钻事故的预防与处理
- 第五节 钻具挤夹、卡钻事故的预防与处理
- 第六节 钻具折断、脱落、跑钻事故的预防与处理
- 第七节 其他孔内事故的预防与处理

第八章 钻探工程作业危害与防范措施

- 第一节 钻探机场地基修筑及安全防护设施
- 第二节 钻探设备安装、拆卸、搬迁
- 第三节 升降钻具、钻进与孔内事故安全技术
- 第四节 机场防风、防火、防寒及用电安全
- 第五节 特种钻探安全管理

第二部分 坑探工程

第一章 坑探作业

- 第一节 轻型坑探工程的种类及用途
- 第二节 重型坑探工程的种类及用途
- 第三节 坑钻结合工程

第二章 凿岩作业

- 第一节 凿岩机械
- 第二节 钻眼工具

第三章 爆破作业

- 第一节 工业炸药
- 第二节 起爆方法和器材
- 第三节 炮眼布置
- 第四节 爆破施工
- 第五节 爆破安全技术

第四章 通风、防尘与排水

- 第一节 井下空气与气候条件
- 第二节 通风方法分类
- 第三节 防尘
- 第四节 排水

第五章 装岩、运输与提升

- 第一节 装岩工作
- 第二节 运输

第三节 提升

第六章 支护

第一节 材料

第二节 井巷构件式支架

第七章 井下用电

第八章 坑探工程作业危害及防范措施

第一节 坑探工程作业危害

第二节 主要预防措施

第三部分 地质勘查野外作业安全

第一章 野外作业环境安全

第一节 野外营地安全与作业基本要求

第二节 山区(雪地)注意事项

第三节 林区、草地注意事项

第四节 沙漠、荒漠注意事项

第五节 高原地区注意事项

第六节 沼泽地区注意事项

第七节 岩溶发育及旧矿、老窿地区注意事项

第八节 特种矿产地注意事项

第二章 野外作业危害与避险措施

第一节 自然灾害防范

第二节 动物伤害防范

第三章 野外急救与疾病控制

第一节 野外救护方法

第二节 常见疾病治疗

附录 常用专业术语

第一部分 钻探工程

第一章 岩石与钻头

第一节 岩石的物理力学特征

一、岩石的结构与分类

钻探工程的任务是根据勘探、开发的需要在地下钻(掘)不同方向的孔(井)。工作对象是岩石,一方面要提高岩石破碎的生产效率,另一方面要保证孔(井)壁岩层的稳定,这些都基于对岩石物理力学性质及其破碎机理的认识和了解。

构成地壳的岩石(图1-1)是由一种或多种矿物在一定地质环境中形成的自然集合体,按岩石的成因,可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。地表岩石遭受风化作用后,易溶物质被水溶解而流失,难溶物质及新生的稳定矿物则残留于原地,形成残积物。若残积物的表层富含腐殖质时则成为土壤。既然土壤是岩石的风化产物,所以本书着重讨论岩石的物理力学性质。

岩石的结构反映岩石的微观组织特征,体现了岩石中矿物或碎屑的粒度、形状和表面性质。从钻探工程的角度看,岩石的结构反映着岩石的非均质性和孔隙性。岩石的构造反映岩石的宏观组织特征,它与岩石中矿物或碎屑彼此之间的组合形式和空间分布情况有关。它决定着岩石的各向异性和裂隙性(有时称作节理)。岩石的结构和构造与岩石的成因类型、形成条件及存在环境有密切的联系。

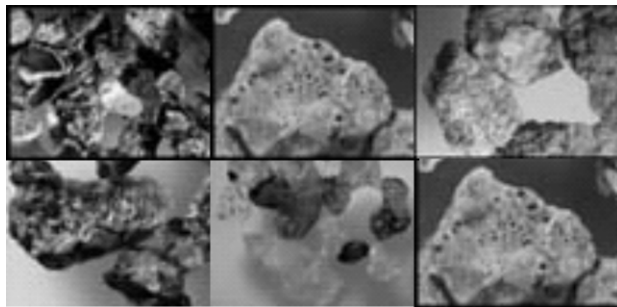


图1-1 各类岩石实景图

岩浆岩主要具有块状结构,其构造特征对钻探破碎岩石没有显著影响。

沉积岩的成因广泛,故其结构也比较复杂。例如,碎屑岩具有碎屑结构,按碎屑的大小可分为砾状结构(碎屑直径>2mm)、粗粒结构(碎屑直径1~2mm)、中砂结构(碎屑直径0.1~1mm)和粉砂结构(碎屑直径0.01~0.1mm)。碎屑岩的胶结形式也对岩石的力学性质有着显著影响。沉积岩通常具有层状构造,它是由层理决定的。层理反映岩石在垂直方向上成分的变化,即岩石颗粒大小在垂直方向上的改变,不同成分颗粒的交替,或者某些岩石颗粒的定向排列。层理导致岩石的各向异性。

变质岩是在高温高压下生成的,一般具有晶体结构、片理状构造。所谓片理就是岩石沿平行平面分裂为薄片的能力。片理也会引起岩石的各向异性。用各向异性系数来表征岩石在不同的方向上力学性质的差异:

$$Ka = x_{\parallel} / x_{\perp} \quad (1-1)$$

式中: x_{\parallel} ——平行岩石层理方向上的力学性质; x_{\perp} ——垂直岩石层理方向上的力学性质。

按粘结状态可把岩石分成以下四个基本类别。

1. 坚固岩石。坚固性岩石的特征在于通常具有高硬度,无论在高压还是湿润条件下,当岩石破碎后,其矿物质点之间的分子连接力都不会恢复。坚固岩石分成含石英和不含石英两类,其中前者硬度高,难以钻探。通常在生产中会遇到完整(无裂纹)的和裂隙性的两种坚固岩石。在完整的坚固岩石中施工时,孔(井)壁稳定不必加固,而在强裂隙性岩石中穿过的孔(井)壁必须加固。

2. 粘结性岩石。粘土、亚粘土、白垩、铝矾土等由粘土矿物或主要由粘土矿物粘结的碎屑岩细粒组成,其特征是:在湿润条件下,粘结状态被破坏之前可以有大的残余变形;质点之间的内聚力,随湿润的程度不同可

以在很宽的范围内变化;在粘结状态被破坏之后,可采取高压和增加湿润的办法使其内聚力得以恢复;某些粘结性岩石(粘土、白垩)具有膨胀性,即在湿润状态下体积膨胀,易造成孔(井)壁缩径或坍塌。

3. 松散性岩石。松散性岩石由相互之间无粘结性的不同形状与尺寸的细粒(砂、砾石、卵石、漂砾等)聚集而成。在这类岩石中钻进时必须加固孔(井)壁,以防止坍塌。

4. 流动性岩石。流动性岩石(或流砂层)由含水的砂质粘土类岩石(细砂、亚砂土)组成。当砂粒之间存在着极细小的粘土颗粒时,这类岩石具有较强的流动性。如果位于上覆岩层形成的高水头压力之下,则流砂会沿着钻孔上涌。因此在这类岩石中施工必须一边钻探一边加固孔(井)壁。

做压入试验时,记录下载荷 P 与侵入深度 δ 的相关曲线。按岩石在压头压入时的变形曲线和破碎特性(图 1-2)可把岩石分成以下三类:

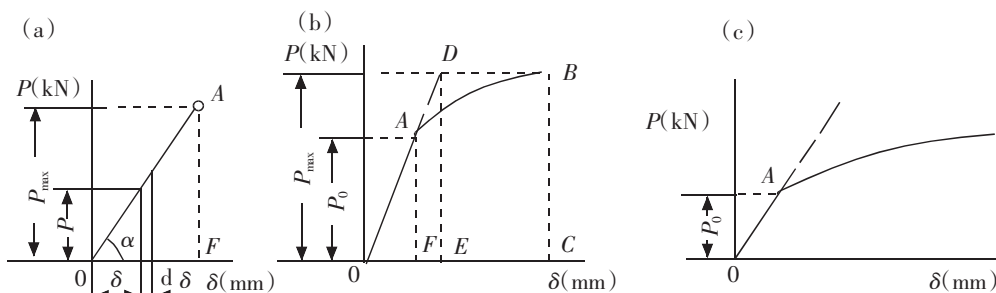


图 1-2 压头压入条件下的岩石变形曲线图

(a) - 弹脆性岩石(石英岩); (b) - 弹塑性岩石(大理岩); (c) - 高塑性岩石(盐岩); P - 压头载荷;
 P_0 - 从弹性变形过渡到塑性变形的载荷; P_{\max} - 岩石产生脆性破碎的载荷; δ - 岩石产生弹性变形的侵深; α - 变形角。

1. 弹脆性岩石。弹脆性岩石(花岗岩、石英岩、碧石铁质岩)在压头压入时仅产生弹性变形,至 A 点最大载荷为 P_{\max} 处便突然完成脆性破碎,压头瞬时压入,破碎穴的深度为 h [图 1-2(a) 和图 1-3(a)]。这时破碎穴面积明显大于压头的端面面积,即 $h/\delta > 5$ 。

2. 弹塑性岩石。弹塑性岩石(大理岩、石灰岩、砂岩)在压头压入时首先产生弹性变形,然后塑性变形。至 B 点载荷达 P_{\max} 时才突然发生脆性破碎 [图 1-2(b) 和图 1-3(b)]。这时破碎穴面积也大于压头的端面面积,而 $h/\delta = 2.5 \sim 5$,即小于第一类岩石。

3. 高塑性和高孔隙性岩石。高塑性(粘土、盐岩)和高孔隙性岩石(泡沫岩、孔隙石灰岩)区别于前二类,当压头压入时,在压头周围几乎不形成圆锥形破碎穴,也不会产生脆性破碎 [图 1-2(c) 和图 1-3(c)], $h/\delta = 1$ 。

二、岩石的力学性质

岩石的物理性质取决于它的物理成分。岩石的力学性质是物理性质的延伸,它在外载作用下才表现出来,通常表现为岩石抵抗变形和破坏的能力,如强度、硬度、弹性、脆性、塑性和研磨性等。

(一) 岩石的孔隙比

$$k_p = v_p / v_c \quad (1-2)$$

式中: v_p —— 岩石中的孔隙体积; v_c —— 岩石中固相骨架的体积。

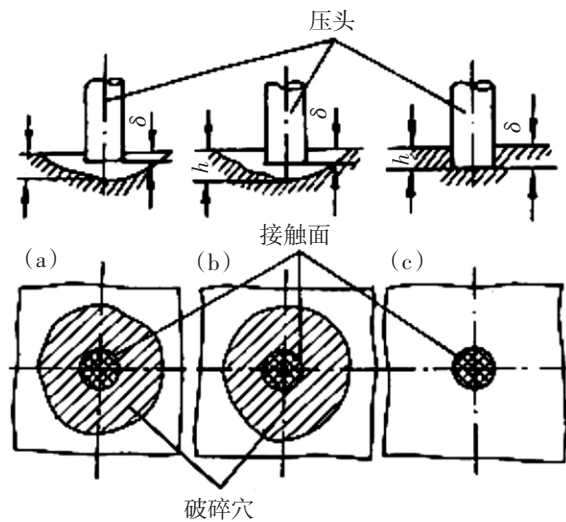


图 1-3 岩石表面的压入与破碎穴

(a) - 弹脆性岩石; (b) - 弹塑性岩石; (c) - 高塑性高孔隙度的岩石;
 δ - 岩石中的最大变形; h - 岩石破碎穴深度

(二) 岩石的孔隙度

$$p = \frac{v_p \times 100\%}{v} = \frac{v_p \times 100\%}{v_c + v_p} = \frac{v_p/v_c}{1 + v_p/v_c} \times 100\% = \frac{k_p}{1 + k_p} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中: v ——岩石的总体积。

岩石的孔隙性削弱了岩石的强度。一般沉积岩具有高的孔隙度(砂岩 55%, 灰岩 0% ~ 45%), 随着埋深的增大, 岩石的孔隙度降低。

(三) 岩石的密度与容重

均质物质的密度为质量与体积之比。但岩石的孔隙中可能充有水或气体, 所以必须分别考虑岩石的骨架密度和体积密度。体积密度指在自然状态下岩石的质量与带孔隙的岩石体积之比。体积密度:

$$\rho_s = \frac{m}{v} = \frac{m}{v_c + v_p} \quad (1-4)$$

岩石的骨架密度 γ_c 是单位体积岩石固相骨架的质量:

$$\gamma_c = g/v_c \quad (1-5)$$

式中: g ——岩石固相骨架的质量。

岩石的容重 γ_s 是单位体积岩石的质量:

$$\gamma_s = \gamma_c(1 - p) \quad (1-6)$$

式中: p ——岩石的孔隙度。

可用岩石容重来计算岩体的压力, 而确定液柱对孔壁的压力时则须用到钻井液的密度。

(四) 岩石的强度

强度是固态物质在外载(静载或动载)作用下抵抗破坏的性能指标。岩石在给定的变形方式(压、拉、弯、剪)下被破坏时的应力值称为岩石的强度极限 σ 。几类岩石在不同受载方式下的强度相对值如表 1-1 所示。

1. 一般造岩矿物强度高者其岩石的强度也高, 但沉积岩的强度取决于胶结物所占的比例及其矿物成分。胶结物所占的比例愈大, 则胶结物强度对岩石强度的影响愈大, 被胶结的造岩矿物的强度对岩石强度的影响愈小。细粒岩石的强度大于同一矿物组成的粗粒岩石。

2. 岩石的孔隙度增加, 密度降低, 其强度则降低, 反之亦然。因此, 一般岩石的强度随埋深的增大而增大。

表 1-1

不同受载方式下的岩石强度相对值

岩石	不同受载方式下的岩石强度相对值			
	抗压	抗拉	抗弯	抗剪
花岗岩	1	0.02 ~ 0.04	0.08	0.09
砂岩	1	0.02 ~ 0.05	0.06 ~ 0.20	0.10 ~ 0.12
石灰岩	1	0.04 ~ 0.10	0.08 ~ 0.10	0.15

3. 岩石的强度具有明显的各向异性。垂直于层理方向的抗压强度最大, 平行于层理方向的抗压强度最小, 在与层理斜交方向上的抗压强度介于两者之间。

4. 岩石的受载方式导致岩石的强度值差异很大。由表 1-1 中数据可见, 岩石在受压时表现出最大的抵抗破坏能力, 而在大多数情况下岩石的抗剪强度极限几乎是抗压强度极限的 10% 左右。因此, 在岩石钻探过程中, 破岩工具应主要以剪切的方式来破碎岩石。

5. 多向应力状态下的岩石强度比简单应力状态下的强度高出许多倍。

6. 加载速度的影响主要表现在两个方面: 一方面, 外载作用速度的增加使岩石的应变速率增大, 大幅度地提高了岩石的强度; 另一方面, 加载速度对塑性岩石强度的影响大于对脆性岩石强度的影响。应该指出, 在当前技术条件下用牙轮钻头破碎岩石时, 其牙齿冲击岩石的速度不大于 5m/s, 这时岩石的力学性质并未呈现出本质性的差异。岩石的单轴抗压强度在液压试验机上测定。抗压强度极限的值按下式计算:

$$\sigma_c = p/f \quad (1-7)$$

式中: p ——岩石破坏瞬时的轴向载荷, N; f ——岩石试样的截面积, m^2 。

由于岩石为非均质物质, 故其抗压强度极限应取多次重复试验的算术平均值:

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{c1} + \sigma_{c2} + \cdots + \sigma_{cn}}{n} \quad (1-8)$$

式中: σ_{cn} ——岩样各次试验的抗压强度极限; n ——岩样试验的次数(对均质岩石, $n=3$; 对非均质岩石, $n=6$)。

(五) 岩石的硬度

岩石的硬度反映岩石抵抗外部更硬物体压入(侵入)其表面的能力。硬度与抗压强度有联系, 但又有区别。抗压强度是固体抵抗整体破坏时的阻力, 而硬度则是固体表面对另一物体局部压入或侵入时的阻力, 因此, 硬度指标更接近于钻探过程的实际情况。因为回转钻进中, 岩石破碎工具在岩石表面移动时, 是在局部侵入(可能非常微小)的同时使岩石发生剪切破碎。由前面的分析知道, 工具压入岩石是很难的, 而压入后剪切破岩却较容易。所以, 硬度对钻探工程而言是一个主要力学性能参数。影响岩石硬度的因素可分为自然因素和工艺因素两大类:

1. 岩石中石英及其他坚硬矿物或碎屑含量愈多, 胶结物的硬度越大。岩石的颗粒越细, 结构越致密, 则岩石的硬度越大。而孔隙度高, 密度低, 裂隙发育的岩石硬度将会降低。

2. 岩石的硬度具有明显的各向异性, 但层理对岩石硬度的影响正好与对岩石强度的影响相反。垂直于层理方向的硬度值最小, 平行于层理方向的硬度值最大, 两者之间可相差 1.05 ~ 1.8 倍。岩石硬度的各向异性可以很好地解释钻孔弯曲的原因和规律, 并可利用这一现象来实施定向钻进。

3. 在各向均匀压缩的条件下, 岩石的硬度增加。在常压下硬度越低的岩石, 随着围压增大, 其硬度值增长越快。

4. 一般而言, 随着加载速度增加, 将导致岩石的塑性系数降低, 硬度增加; 但当冲击速度小于 10m/s 时, 硬度变化不大。加载速度对低强度、高塑性及多孔隙岩石硬度的影响更显著。

在测量岩石硬度的过程中, 应注意区分造岩矿物颗粒的硬度和岩石的组合硬度。前者主要影响钻探工具的寿命, 而后者则对钻进中的机械钻速起重大影响。目前国际上普遍采用如图 1-4 所示的装置测定岩石的硬度值 H_y (通常称为压入硬度):

$$H_y = P_{\max}/S \text{ (Pa)} \quad (1-9)$$

式中: P_{\max} ——在压入作用下岩石产生局部脆性破碎时的轴载, N; S ——压头底面积, 常用的硬质合金压头底面积为 1 ~ 5 ($10^{-6} m^2$)。

通常岩石的压入硬度 H_y 大于其单轴抗压强度 σ_c , 例如抗压强度 σ_c 为 180MPa 的花岗岩, 其压入硬度 $H_y = 600\text{MPa}$ 。这可解释为在压头作用下, 岩石某一点上处于各向受压的应力状态。

我国研制的摆球硬度计如图 1-5 所示, 它是一种冲击回弹式仪表, 实质是观察通过能量转换方式实现的摆球回弹现象, 以回弹次数来确定岩石的硬度。

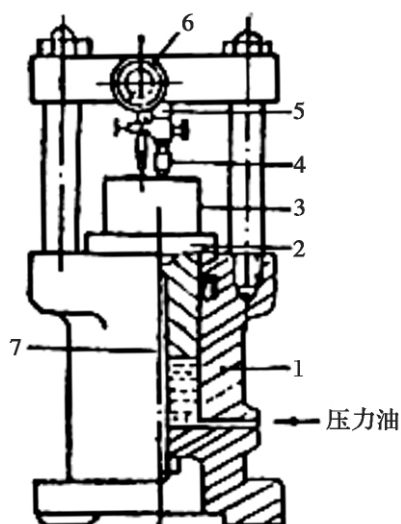


图 1-4 测试压入岩石硬度的装置

1 - 液压缸; 2 - 液压柱塞; 3 - 岩样;
4 - 压头; 5 - 压力机上压板; 6 - 千分表; 7 - 柱塞导向杆

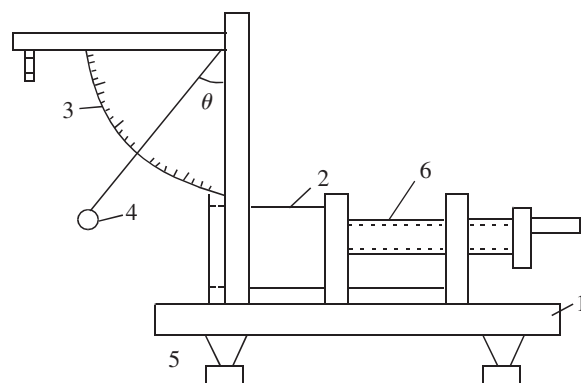


图 1-5 摆球硬度计

1 - 底座; 2 - 岩样; 3 - 刻度盘;
4 - 摆球; 5 - 水平调节螺丝; 6 - 岩样固定器螺杆

(六) 岩石的弹性和塑性

物体在外力作用下产生变形,撤销外力后,变形随之消失,物体恢复到原来的形状和体积的性质称为弹性;而外力撤销后,物体变形不能消失的性质称为塑性。

在弹性变形阶段,应力与应变服从虎克定律。虽然岩石(尤其是沉积岩)并非理想的弹性体,但仍可以用压入试验测出的弹性模量 E 来满足工程施工的需要。弹性模量的表达式为:

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (1-10)$$

用岩石的塑性系数来定量地表征岩石塑性及脆性的大小。

塑性系数 k 为岩石破碎前耗费的总功 A_F 与岩石破碎前的弹性破碎功 A_E 之比。

在图 1-2(a) 中,对于弹脆性岩石,岩石破碎前耗费的总功 A_F 与弹性破碎功 A_E 相等, $k=1$; 对于高塑性岩石,很明显 $k \rightarrow \infty$ 。

而弹塑性岩石的塑性系数:

$$k = \frac{A_F}{A_E} = \frac{OABC \text{ 面积}}{ODE \text{ 面积}} > 1 \quad [\text{参见图 1-2(b)}] \quad (1-11)$$

岩石按塑性系数的大小可分成三类六级,如表 1-2 所示。

表 1-2 岩石按塑性系数的分级

岩石类别	弹脆性	弹塑性				高塑性
		低塑性→高塑性				
级别	1	2	3	4	5	6
塑性系数	1	>1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5	>6 ~ ∞

一般岩浆岩和变质岩的弹性模量大于沉积岩,而塑性系数则相反。影响岩石弹性和塑性的主要因素有:

1. 对岩浆岩和变质岩而言,造岩矿物的弹性模量越高,岩石的弹性模量也高,但后者不会超过前者。沉积岩的弹性模量取决于岩石的碎屑和胶结物及胶结状况。在碎屑颗粒成分相同的条件下,岩石弹性模量由大到小的次序是:硅质胶结最大,钙质胶结次之,泥质胶结最小。

2. 造岩矿物的颗粒越细,岩石越致密,岩石的弹性模量越大。岩石的弹性模量也具有各向异性,平行于层理方向的弹性模量大于垂直于层理方向的弹性模量。

3. 单向压缩时岩石往往表现为弹脆性体,但在各向压缩时则表现出不同程度的塑性,破坏前都产生一定