

全国高职高专基础工程技术专业规划教材

ZUANTAN GONGCHENG JISHU

钻探工程技术

马锁柱 张海秋 主编

 黄河水利出版社

ZUANTAN GONGCHENG JISHU



责任编辑 班培莉
封面设计 谢 萍
责任校对 杨秀英
责任监制 常红昕

ISBN 978-7-80734-748-4



9 787807 347484 >

定价: 25.00 元

全国高职高专基础工程技术专业规划教材

钻探工程技术

主 编 马锁柱 张海秋
副主编 罗仕伍 白聚波 魏继莲

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书为全国高职高专基础工程技术专业规划教材之一。全书共分 11 章,主要包括岩石的物理力学性质,钻探设备、管材及工具,钻进方法,土样及岩(矿)心的采取,钻孔弯曲,钻孔冲洗与护壁堵漏,孔内事故的预防与处理,开孔、终孔及简易水文地质观测,水文地质与水井钻探,岩土工程钻探等。

本书可作为高职高专基础工程钻探工程、工程勘察类专业的教材,也可供相关专业的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻探工程技术/马锁柱,张海秋主编. —郑州:黄河水利出版社,2009. 12

全国高职高专基础工程技术专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 748 - 4

I. ①钻… II. ①马… ②张… III. ①钻探 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. ①P634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 204305 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:13. 75

字数:320 千字

印数:1—4 100

版次:2009 年 12 月第 1 版

印次:2009 年 12 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

前 言

本书为全国高职高专基础工程技术专业规划教材之一,依据高职高专教学的特点,以培养应用型人才为目标,是在明确本教材的教育目标及知识、能力、素质结构前提下编写的。编者在认真研究了各校现行课程教学大纲的基础上,制定了教材编写大纲。

本书共分 11 章,主要内容包括岩石的物理力学性质,钻探设备、管材及工具,钻进方法,土样及岩(矿)心的采取,钻孔弯曲,钻孔冲洗与护壁堵漏,孔内事故的预防与处理,开孔、终孔及简易水文地质观测,水文地质与水井钻探,岩土工程钻探等。

本书由马锁柱、张海秋担任主编,罗仕伍、白聚波、魏继莲担任副主编。第一、十一章由甘肃工业职业技术学院马锁柱编写;第二、五、九章由安徽水利水电职业技术学院魏继莲编写;第三、四章由河北地质职工大学张海秋编写;第六、十章由安徽工业经济职业技术学院罗仕伍编写;第七、八章由石家庄经济学院白聚波编写。全书由马锁柱统编定稿。全书由河南工程学院卢敦华担任主审,进行了细致的审查讨论,提出了宝贵的修改意见,谨致深切的谢意。

本书在编写过程中,得到了参编院校领导和相关教师的大力支持、帮助,还参阅了兄弟院校的一些教材,引用了许多专家学者的研究成果,在此一并致以最诚挚的谢意!

限于编者的知识水平,书中错误和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 10 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 钻探工程技术的基本概念	(1)
第二节 钻探工程技术的分类	(2)
第三节 钻探工程技术的发展	(5)
第二章 岩石的物理力学性质	(7)
第一节 岩石的物理性质	(7)
第二节 岩石的力学性质	(10)
第三节 岩石的可钻性	(18)
第三章 钻探设备、管材及工具	(21)
第一节 钻 机	(21)
第二节 泥浆泵	(31)
第三节 钻探管材及常用工具	(34)
第四节 钻探用动力驱动装置及附属设施	(37)
第四章 钻进方法	(41)
第一节 概 述	(41)
第二节 硬质合金钻进	(43)
第三节 金刚石钻进	(60)
第四节 钢粒钻进	(77)
第五节 冲击、冲击回转钻进	(83)
第五章 土样及岩(矿)心的采取	(94)
第一节 概 述	(94)
第二节 土样、岩(矿)心的采取方法	(98)
第三节 常用的取心工具	(102)
第四节 岩(矿)心的整理、编录与保管	(108)
第六章 钻孔弯曲	(111)
第一节 钻孔弯曲的原因及类型	(111)
第二节 钻孔弯曲的测量	(115)
第三节 钻孔弯曲的预防与纠正	(122)
第四节 定向钻进	(126)
第七章 钻孔冲洗与护壁堵漏	(138)
第一节 概 述	(138)
第二节 泥 浆	(140)

第三节 钻孔护壁与堵漏	(144)
第八章 孔内事故的预防与处理	(149)
第一节 概 述	(149)
第二节 孔内事故处理的基本方法	(151)
第三节 钻具断脱跑事故	(153)
第四节 钻具卡夹钻事故	(154)
第五节 钻具烧埋事故	(157)
第六节 套管事故与孔内落物事故	(158)
第九章 开孔、终孔及简易水文地质观测	(160)
第一节 开 孔	(160)
第二节 终 孔	(164)
第三节 封 孔	(166)
第四节 简易水文地质观测	(170)
第十章 水文地质与水井钻探	(173)
第一节 概 述	(173)
第二节 水文水井钻孔结构	(174)
第三节 水文水井钻进方法	(177)
第四节 水文水井成井工艺	(184)
第十一章 岩土工程钻探	(202)
第一节 工程地质钻探	(202)
第二节 岩土工程施工钻探	(210)
参考文献	(213)

第一章 绪 论

第一节 钻探工程技术的基本概念

一、钻探工程技术的基本概念

钻探工程是指为探明地下资源、地质条件,以及其他目的(地下水开采、工程施工等)而使用一定的工具,在地壳内按照一定的工艺技术破碎岩石形成钻孔的整个施工工程。

钻孔是指根据地质条件或工程要求,在岩石中开凿的圆形断面空间。一般是孔径较小的柱状圆孔。

钻进是指钻入地层形成钻孔的过程。在钻进过程中只有按照一定的工艺技术和施工措施,才能有效查明地质条件,达到工程施工要求的目的。所以,钻探工程技术是一门应用性很强的工艺技术。

所谓钻探工艺,是指钻孔施工所采用的各种技术方法、措施及施工过程。在钻探工程范畴内,各种钻探工艺相互渗透、相互促进。作为各种钻探工艺的知识基础和技能方法,不可避免地涉及地质学、有机化学、物理学及工程力学、水力学及液压技术、电工电子学及脉冲技术、电子计算机原理与应用和其他高新科学技术,以及与上述学科相联系的其他科学技术。所以,钻探工程技术的发展是和其他科学技术的发展分不开的。现代工程技术科学领域的新技术、新工艺、新材料、新方法等已广泛地引入钻探工程,因而也进一步促进了钻探工程技术的发展。

二、钻探工程技术的应用

利用钻机和钻具、钻头在地壳中实施钻进的工作称钻探工作,简称钻探。当今钻探工程应用领域十分广泛,主要有以下三个方面:

(1)勘察领域。以探为主,有目的地勘察地下或海底各类矿产、能源和地下水资源,地质环境灾害形成的可能条件,各类基础工程的地基条件等。如矿产勘探钻探、水文地质钻探、工程地质钻探等。

(2)生产领域。以生产为主,包括各类生产井孔和观测井孔,开采油气、地热、地下水、盐类矿产和其他矿产,处理污水,观测地震、地面沉降与地下水污染等。如油井、水井、盐井等。

(3)施工领域。用钻探技术进行各项岩土工程施工和处理,包括各类桩墙基础、井孔隧涵、管线铺埋、钻孔爆破和注浆处理等。如钻孔灌注桩施工、帷幕注浆施工等。

三、钻探工程的施工

钻探工程的施工过程,就是从平整地基开始,直到钻孔终孔后将设备拆卸完为止的全过程。它包括钻进前准备、钻进过程和终孔三个阶段。

钻探工程的施工过程主要是钻进过程。钻进过程是指钻孔从开孔钻进到终孔的施工过程。在钻进过程中主要工序包括:①钻进破碎岩石。②取心排粉。把破碎后的岩石用取岩心和排除岩粉的形式将其从孔底排出到孔口外,以保证钻进继续进行。③升降钻具。提取岩心或更换钻具。④加固井壁。保证井壁稳定,不坍塌埋卡钻具。⑤测试工作。对钻孔内的各项特征进行测试,以了解孔内情况。如电测、测孔斜、止水等。

第二节 钻探工程技术的分类

钻探工程技术本身是一门应用性非常强的综合性技术。随着科学技术的进步和发展,钻探工程技术也得以迅速的提高和发展,钻探工程的应用范围也越来越广泛。为了达到预期的要求和目的,要选用合适的钻井设备和工具,采取相应工艺措施,以最优的钻进方式、最低的钻探成本钻出一个一定直径和孔深的钻孔。因此,产生了不同类型的钻进方法。按分类依据的不同钻探工程技术有如下分类。

一、按照应用范围分类

(一)地质勘探

(1)普查找矿钻探:在普查找矿工作中,为了探查表土层下基岩的性质、产状,了解地层,探明地质构造,验证物探资料而进行的钻探。在普查找矿中应用的钻探一般为取样钻探或轻便的浅孔钻探。

(2)矿产勘探钻探:随着勘探阶段的加深,对一个矿区需要进一步了解其地质构造,矿层的埋藏深度、存在的产状及矿层的品位,获得有用矿产的储量并圈定其分布的范围,有必要按着一定的勘探线、勘探网进行的钻探。矿产勘探钻探布置的孔相对比较集中,且用较大型钻探设备进行钻探工作。

(3)水文地质钻探:为找水和探明地下水赋存规律、水质、水量及其运动情况而进行的钻探。一般水文地质钻探孔多为探、采结合的钻孔,即在达到勘探任务后,下管成井,钻孔作为供水井用。

(4)工程地质钻探:为探明某些建筑工程的地下基础及地基的承载力而进行的钻探。如查明高层、大型建筑、港口、水库的地基基础或查明路基、坝基、桥基等。

(5)石油、天然气钻探:为勘探石油、天然气等矿层而进行的钻探。一般钻孔较深。

(二)开采矿产资源钻探

开采矿产资源钻探是为了开采液、气体矿产资源而进行的钻探,包括开采水资源——打水井,开采地热资源——打热水井,开采海洋或陆上石油、天然气资源——石油钻探。

(三)工程施工钻探

工程施工钻探是为工程施工而进行的钻探。目前,我国施工建设的项目越来越多,工

作量也越来越大,再加上钻探技术本身简单、易行的突出优点,采用钻探技术施工的领域越来越广泛。例如:钻孔灌注桩孔;整治滑坡、危岩坍塌、泥石流的钻孔锚桩;钻孔注浆处理加固;打各种铺设管道、电线、电缆的技术孔;利用钻探技术打矿山的竖井、通风井及各种辅助井,并可代替开挖隧道打大断面的地下坑道;用于军事工程,如发射导弹的发射井等。

二、根据钻进时取心的特点分类

根据取心的特点,钻探分为岩心钻探和无岩心钻探两大类。

岩心钻探可以从钻孔内取出圆柱形的岩样——岩心。无岩心钻探(或称不取岩心钻探,或称全面钻进钻探),即在钻进过程中将孔底的岩石全部破碎成岩粉(屑)排出孔口。

三、根据钻孔的用途分类

根据钻孔的用途将钻探分为普查测量钻探、勘探钻探、开采钻探及辅助钻探。

在下列情况下进行岩心钻探:①地质测量和普查固体矿产;②在不同的钻孔深处定期采取矿样的普查和勘探液态、气态矿产;③钻进构造填图钻孔和基准钻孔;④工程地质勘察;⑤圈定可采矿层(开采勘探);⑥为了研究地壳深部地质和揭示地球覆盖层而进行的超深孔钻进;⑦在月球和其他星球上采取岩样等。

钻进深度在几米到几千米不等。如油、气勘探和开采的钻孔深度较大,一般在4 000~5 000 m。研究地壳科学的超深井,深度已超过10 000 m。

钻孔直径的大小取决于钻孔的深度、钻孔的用途和地质构造的自然条件。勘探钻孔直径一般为76~146 mm。但特殊用途的钻孔直径则可达5 000 mm。

四、根据钻孔中心线的倾角和方位角分类

根据钻孔中心线的倾角和方位角,地表钻探可以分为垂直孔钻进、倾斜孔钻进和水平孔钻进。

在地下坑道中可以钻进初始倾角为 0° ~ 360° 的钻孔。在现代条件下,有可能借助于钻探的技术手段和钻进工艺来控制钻孔的方向。

除了上述的垂直孔钻进、倾斜孔钻进和水平孔钻进,还可按以下方案进行钻探:

(1)丛状布孔。用安装在一个孔位上的钻探设备钻进几个钻孔,每个钻孔都是在钻机立轴转动一定角度时开始钻进(见图1-1)。

(2)多井筒钻进。用一套钻探设备通过移动天车架上的滑车来钻进两个或两个以上的钻孔。每个钻孔都有其自己的地面起点(孔口)。这种布井方案首先用于石油的开采,并称其为多井筒布井(见图1-2)。

(3)多孔底钻进。由一个从地表钻进的基本井筒中,依次钻出几个附加的孔底,以便多次在不同的水平上穿过矿体(见图1-3)。为了详细勘探固体矿床,以及根据所得岩心材料更可靠地取样时,可采用这种多孔底钻进方法。

五、根据孔位位置分类

根据孔位位置钻探可以分为地表钻探,水上钻探(河上、湖上、海上)和地下坑道

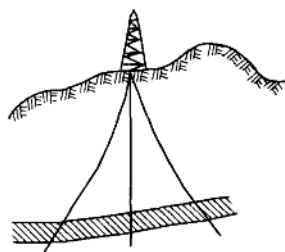


图 1-1 丛状布孔示意图

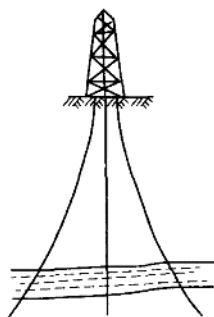


图 1-2 多井筒布井示意图

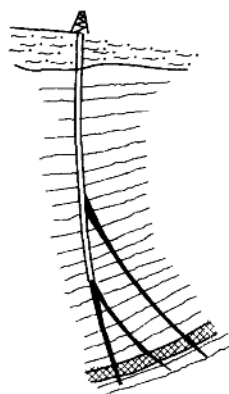


图 1-3 多孔底布孔示意图

钻探。

六、根据破岩形式分类

根据破岩形式钻探方法通常可以分为物理破岩钻进、化学破岩钻进和机械破岩钻进三种。

(1) 物理破岩钻进。①用高温($1\,400 \sim 3\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$)、高压($200 \sim 250\text{ MPa}$)使岩石破碎熔化,高温高速的火焰气流一边破碎岩石一边将岩屑吹至孔外;②用超声波和低声波破碎岩石;③用爆破、高压水射流等方法破碎岩石。

(2) 化学破岩钻进。此法使用较少,例如溶解、软化岩石等。

(3) 机械破岩钻进。这种方法目前应用最广,主要是在岩石中产生很大的局部应力(冲击力、压力和剪力,或者一定频率的振动力)使岩石破碎。机械破岩的钻探方法分类如图 1-4 所示。

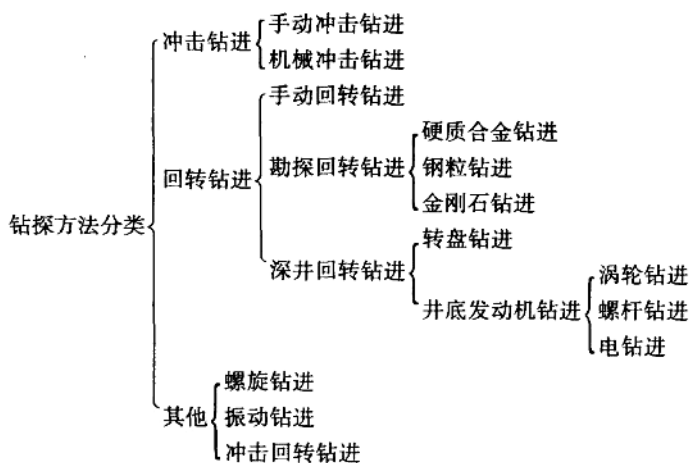


图 1-4 机械破岩的钻探方法分类

七、根据钻进使用的冲洗液分类

目前采用的冲洗液有以下几种钻进形式:

- (1)清水钻进。在孔壁稳定的岩层中钻进时使用。
- (2)泥浆钻进。在弱稳定性岩石或破碎岩石中钻进时使用。
- (3)加重冲洗液钻进。为防止地下水、石油和气体从孔内喷出,为防止弱稳定性岩石从孔壁上塌落,可用加重冲洗液钻进。
- (4)充气冲洗液钻进。为降低冲洗液的比重,减小液柱对孔壁的静液柱压力,为在裂隙和有洞穴的岩石中减少冲洗液的漏失,可用充气冲洗液钻进。
- (5)乳化液钻进。为降低钻具与孔壁的摩擦系数,降低钻具振动、减少钻具回转功率及实现高速钻进等,可用乳化液冲洗钻孔钻进。
- (6)饱和盐溶液钻进。当钻进盐类地层时用同样成分的饱和盐溶液,可以防止岩心和孔壁的溶解。
- (7)冷却压缩空气(气体)钻进。用于永冻地层钻进,对供给孔内的空气进行冷却和脱水处理,吹洗钻进时可以避免岩心和孔壁暖化。

八、根据冲洗液循环方式分类

根据冲洗液循环的方式可分为冲洗液正循环钻进和冲洗液反循环钻进。

- (1)冲洗液正循环钻进。冲洗液或压缩空气通过钻杆柱中间的内孔送到孔底,然后携带孔底已破碎的岩屑沿着孔壁与钻杆柱外表面的环状间隙流回到地表,把岩屑排到地面。这种循环方式称为正循环钻进。
- (2)冲洗液反循环钻进。冲洗液或空气经过孔口的密封装置沿着孔壁与钻杆往外表面的环状间隙送到井底,然后携带孔底的岩屑经过钻杆柱中间的内孔返回到地表,再排除携带的岩屑。这种循环方式称为反循环钻进。除上述循环方式外,还有孔底反循环钻进。

第三节 钻探工程技术的发展

钻探工程是一门古老而又在发展的科学技术。大约在公元前3世纪,汉人便开始在四川南部开挖取盐水的深井,当时这些盐井中不时喷出天然气,从而以“火井”而闻名。最迟在公元前1世纪我们的祖先已开始有组织地钻这种井来采盐水,同时提取地层深处的天然气用于燃烧和照明。先民们用传统的方法于清道光十五年(1835年)钻成了第一口超1 000 m(1 001.42 m)的桑海井,使钻井技术达到了新高峰,该井被联合国教科文组织定为19世纪中期前的钻井世界纪录。在人类历史上,我国勤劳智慧的人民对钻探工程技术的发展作出了杰出的贡献。因此,在美、英、德、俄等国出版的石油钻井教材和钻探手册中,开篇总是介绍一些中国的古代钻探史料。有的学者还将中国这一伟大的创造誉为继指南针、火药、造纸术、印刷术之后中国古代的第五大发明。

随着工业技术的进步,直接破碎岩石的磨料、钻具形式及与之相适应的钻探设备都在不断改进。

19 世纪初期,硬质合金的问世给钻探工程开辟了新时代。以碳化钨为基体的硬质合金比以前各种钢制切削具具有更高的硬度和耐磨性。利用这种切削具做成不同类型的钻头,在 7~8 级以下的岩层中可以有效地进尺。

19 世纪末期,美国工程师提出在硬岩,特别是在裂隙性岩石中使用钢粒钻进。因为钻进这种岩石时,昂贵的天然金刚石钻头消耗量甚大。苏联、东欧和我国在推广人造金刚石钻进之前,也是主要采用钢粒作为磨料来钻进坚硬、研磨性高的岩石。钢粒钻头可以在 8 级以上的岩层中取得不错的钻探效率。即使在金刚石钻进技术已普及的今天,由于成本关系,钢粒钻进仍在硬岩大口径钻进中得到应用。

自 1862 年法籍瑞士工程师莱舒特首先将天然金刚石应用于矿山钻探以来,西方国家的金刚石钻探技术已有百余年的历史。金刚石是世界上最硬的矿物,是钻进深孔和坚硬、强研磨性岩石最理想的磨料。但是,天然金刚石资源有限,价格昂贵,从而制约了它的大面积推广普及。

1953 年、1954 年瑞典和美国通用电气公司分别宣布用人工方法合成了单晶人造金刚石,几年后投入了工业生产,从此世界各国的人造金刚石产业有了突飞猛进的发展。苏联 1966 年开始研制人造金刚石孕镶钻头。我国 1963 年成功地合成了第一颗人造金刚石后,逐渐掌握了人造金刚石钻头的制造技术,20 世纪 70 年代末开始大批量生产。把人造金刚石钻头用于硬岩钻进是我国钻探领域的一大突破,在短短十几年的时间里普及率和生产效率迅速提高,得到了国际上的一致好评。

除碎岩材料的长足进步外,绳索取心工艺、反循环连续取样工艺、多孔底定向钻进技术、钻探和掘进生产过程的自动化与最优化、高分子聚合物材料护壁堵漏技术等方面的技术创新,都在多年的钻探实践中经受了考验,并产生了明显的经济效益。

钻探工艺的技术进步,促进了钻探设备的更新换代。19 世纪中期制造出了可以采取岩心的回转式钻机,这种钻机在基岩中钻进效率高,地质效果好,因而逐渐在地质找矿和工程施工的钻进领域中占据了主导地位。目前各类新型液压钻机、转盘钻机和轻便多功能钻机,无论在功能上、结构上和自动化程度上都与老一代钻机截然不同。

随着科学技术的进步和经济的高速发展,钻探工程一是在技术上向纵深发展,进入高新技术应用阶段;二是在业务上向横向拓宽,进入各种施工领域。特别是在近二三十年以来,在注浆施工和治理自然灾害的过程中,发展更为迅速。现在无论在国内,还是在海外,钻探工程不仅在地质矿产资源和地质环境资源的勘察中广泛应用,而且还在科学研究和建设施工领域越来越得到重视和发展。

第二章 岩石的物理力学性质

钻探工作的对象是岩石。岩石的矿物成分、结构、成因类型不同,其物理力学性质也不同。为了更好地进行钻探工作,提高钻探质量和效率,必须对钻进岩石的物理力学性质进行了解。

岩石固有的属性有比重、密度、裂隙性、含水性、透水性、热胀性和磁性等。岩石在外力作用下表现出来的特性有硬度、强度、弹性和研磨性等。岩石的这些属性和特性,统称岩石的物理力学性质。

岩石的物理力学性质与岩石的矿物成分、组织结构和生成条件等地质因素有关,随着这些地质因素的变化,岩石的物理力学性质的差异很大。不同类型和不同性质的各种岩石对钻进效率、钻孔质量和孔壁的稳定都有很大影响。因此,认识岩石的物理力学性质对更有效地掌握破碎岩石的规律性,进而更好地选择钻探设备和钻进方法,以及采用最优的钻进技术参数等都是很重要的。

第一节 岩石的物理性质

岩石的物理性质是指岩石在生成过程中形成的岩石基本性质。与钻探工程密切相关的物理性质主要有密度、空隙性和岩石的水理性等。

一、岩石的密度、空隙性

(一) 岩石的密度

岩石密度是指单位体积(不包含岩石内空隙的体积)岩石的质量,单位为 g/cm^3 ,在钻探工程中进行冲洗液配置时具有重要意义,其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 ρ ——岩石的密度, g/cm^3 ;

m ——岩石试件的质量, g ;

V ——不包含岩石内空隙体积的岩石体积, cm^3 。

岩石密度分为颗粒密度和块体密度。按岩石试件的含水状态,岩石密度又可以分为干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 和天然密度 ρ 。常见岩石的密度见表 2-1。

(二) 岩石的空隙性

自然界的岩石,无论是松散沉积物还是坚硬的岩石中,都具有大小不一、多少不等、形状各异的空隙。岩石空隙的多少、大小、连通程度及分布状况等性质,统称为岩石的空隙性。

岩石空隙的差异,取决于空隙的成因。由于岩石空隙成因的不同,主要分布在松散岩

石中的是孔隙,主要分布在坚硬岩石中的是裂隙,主要分布在可溶岩石中的是溶隙。

表 2-1 常见岩石的物理性质指标值

岩石类型	颗粒密度 ρ_s (g/cm ³)	块体密度 ρ (g/cm ³)	空隙率 n (%)	吸水率 (%)	软化系数 K_R
花岗岩	2.50 ~ 2.84	2.30 ~ 2.80	0.4 ~ 0.5	0.1 ~ 4.0	0.72 ~ 0.97
闪长岩	2.60 ~ 3.10	2.52 ~ 2.96	0.2 ~ 0.5	0.3 ~ 5.0	0.60 ~ 0.80
辉绿岩	2.60 ~ 3.10	2.53 ~ 2.97	0.3 ~ 5.0	0.8 ~ 5.0	0.33 ~ 0.90
辉长岩	2.70 ~ 3.20	2.55 ~ 2.98	0.3 ~ 4.0	0.5 ~ 4.0	
安山岩	2.40 ~ 2.80	2.30 ~ 2.70	1.1 ~ 4.5	0.3 ~ 4.5	0.81 ~ 0.91
玢岩	2.60 ~ 2.84	2.40 ~ 2.80	2.1 ~ 5.0	0.4 ~ 1.7	0.78 ~ 0.81
玄武岩	2.60 ~ 3.30	2.50 ~ 3.10	0.5 ~ 7.2	0.3 ~ 2.8	0.3 ~ 0.95
砾岩	2.67 ~ 2.71	2.40 ~ 2.66	0.8 ~ 10.0	0.3 ~ 2.4	0.5 ~ 0.96
砂岩	2.60 ~ 2.75	2.20 ~ 2.71	1.6 ~ 28.0	0.2 ~ 9.0	0.65 ~ 0.97
页岩	2.57 ~ 2.77	2.30 ~ 2.62	0.4 ~ 10.0	0.5 ~ 3.2	0.24 ~ 0.74
石灰岩	2.48 ~ 2.85	2.30 ~ 2.77	0.5 ~ 27.0	0.1 ~ 4.5	0.70 ~ 0.94
泥灰岩	2.70 ~ 2.80	2.10 ~ 2.70	1.0 ~ 10.0	0.5 ~ 3.0	0.44 ~ 0.54
白云岩	2.60 ~ 2.90	2.10 ~ 2.70	0.3 ~ 25.0	0.1 ~ 3.0	
片麻岩	2.63 ~ 3.01	2.30 ~ 3.00	0.7 ~ 2.2	0.1 ~ 0.7	0.75 ~ 0.97
大理岩	2.80 ~ 2.85	2.60 ~ 2.70	0.1 ~ 6.0	0.1 ~ 1.0	
石英岩	2.53 ~ 2.84	2.40 ~ 2.80	0.1 ~ 8.7	0.1 ~ 1.5	0.94 ~ 0.96

大多数岩石往往不是完整无隙的。岩石的空隙是由于地质构造作用、外力和内部应力的作用而产生的。岩石空隙又与组成岩石的颗粒形状、大小及性质有关。岩石空隙的多少常用空隙率 n 来表示;空隙率 n 是岩石中空隙的体积 V_n 与岩石总体积 V 之比

$$n = \frac{V_n}{V} \quad (2-2)$$

常见岩石的空隙率见表 2-1。

岩石的空隙率与岩石的块体密度有关,空隙率大的岩石易透水,并能降低岩石的强度及稳定性。一般岩石埋藏越深,岩石的密度越大,其强度和硬度也越大。岩浆岩比沉积岩致密、空隙率小,因而其密度大,强度和硬度也大。

二、岩石的水理性质

岩石的空隙性为水的储存和运动提供了空间条件。岩石在水溶液作用下表现出来的性质,称为岩石的水理性质。岩石的水理性质主要有吸水性、软化性、含水性及透水性等。

(一) 岩石的吸水性

岩石在一定条件下吸收水分的能力,称为岩石的吸水性,常用吸水率来表示。

岩石的吸水率(W_a)是指岩石试件在大气压力和室温条件下自由吸入水的质量(m_w)与岩样干质量(m_s)之比。即

$$W_a = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (2-3)$$

(二) 岩石的软化性

岩石浸水饱和后强度降低的性质,称为岩石的软化性。用软化系数(K_R)表示。 K_R 定义为岩石试件的饱和抗压强度(σ_{cw})与干抗压强度(σ_c)的比值。即

$$K_R = \frac{\sigma_{cw}}{\sigma_c} \quad (2-4)$$

显然 K_R 愈小,则岩石软化性愈强。研究表明,岩石的软化性取决于岩石的矿物组成与空隙性。

(三) 岩石的含水性

由于岩石中有空隙存在,水便会浸入岩体,从而使岩石含水。岩石含水的多少取决于空隙的大小和数量的多少。岩石的含水性一般用湿度或含水率来表示。一般用占干燥岩石质量的百分数来表示。如砂岩为 60%,石灰岩为 2.5%。

岩石的含水性对岩石的强度有影响,空隙大的岩石,水浸后其抗压强度降低 25% ~ 45%,一般也要降低 15% ~ 20%。致密的岩浆岩,由于空隙率小,所以其强度降低最小。水中含有表面活性物质,会使岩石的强度降低。

(四) 岩石的透水性

岩石的透水性是指在一定的水力梯度或压力差作用下,岩石能被水透过的性能,也称岩石的渗透性。衡量岩石透水性大小的指标是渗透系数。它以单位面积和单位时间内通过岩石的水量来表示。一般岩石孔隙度愈大,透水性愈高,岩石的强度和稳定性愈低。由于水是一种溶剂,当水透过岩石时,会溶解岩石中的某些成分而形成大孔隙或溶洞。因此,在透水性强的岩石中钻进,还容易发生冲洗液的漏失。某些小孔隙的岩石,在吸收一定水分后,其体积会膨胀。如高岭土可增加 200%,岩石透水性降低,钻进时易引起缩径、糊钻或憋泵等现象。

三、岩石的松散性和流散性

当岩石从岩体上分开后,岩石碎块的体积比在天然埋藏下原有体积增大的性能称松散性;松散性也是指岩石结构的致密程度,松散性强的岩石其颗粒之间的联结力弱,钻进时容易破碎,但孔壁易坍塌。

岩石的自由面有极力趋向水平的性能称流散性。在流散性强的岩石(如流砂)中钻进时,孔壁极易陷落、淤塞钻孔,使钻进困难。

四、岩石的稳定性

在岩体内钻成钻孔(有自由面)后,岩石不坍塌不崩落的性能称稳定性。所有的岩石

可分为稳定性良好的、稳定性中等的和稳定性差的三类。在稳定性差的岩石中钻进时容易发生孔壁坍塌现象,必须采取措施保护孔壁。

第二节 岩石的力学性质

岩石在机械外力作用下所表现出的力学特征称为岩石的力学性质。与钻探工程有关的岩石力学性质有强度、硬度、弹性、塑性、脆性、导向性、研磨性等。

一、强度

(一) 岩石强度的概念

作用于岩石上的外载荷增大到一定程度,岩石就会发生破坏,破坏时岩石所能承受的最大载荷称为极限载荷,单位面积上的极限载荷称为岩石的极限强度,简称为岩石的强度。

岩石的强度,根据受力条件的不同可以分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯强度等。其中岩石的抗压强度最大,而抗剪强度、抗弯强度和抗拉强度依次减小。

因此,利用岩石的抗剪强度、抗弯强度和抗拉强度弱的特点,找出一种相应的破碎岩石的方法,对提高钻进效率非常有利。

岩石强度的大小取决于岩石的联结力和摩擦力。坚硬岩石和塑性岩石的强度与联结力和摩擦力都有关,而松散岩石的强度主要取决于摩擦力。所谓联结力,是指矿物晶体或其碎屑间的相互作用力,或是矿物颗粒与胶结物之间的联结力。所谓摩擦力,是指岩石颗粒之间的原始接触状态即将破坏而要产生位移时的摩擦阻力。岩石的摩擦力构成岩石破碎时的附加阻力,且随应力状态而变化。

(二) 影响岩石强度的因素

影响岩石强度的因素有两个方面:一个是自然因素,如岩石的矿物成分、结构及构造等;另一个是技术因素,如岩石产生变形的形式。

1. 自然因素

1) 岩石的矿物成分

矿物成分中石英含量越多,则岩石强度越大。但沉积岩的强度取决于胶结物所占的比例及其矿物成分。胶结物所占的比例越大,则胶结物强度对岩石强度的影响越大,被胶结的造岩矿物强度对岩石强度的影响越小。细粒岩石的强度大于同一矿物组成的粗粒岩石。造岩矿物越硬,强度越高;矿物颗粒尺寸越小,强度越高;胶结物所占的比重越大,对岩石强度的影响越大。

2) 岩石的结构构造

具有层状、片状等结构的岩石,其单向抗压强度往往具有明显的各向异性。总的来讲,垂直于岩石结构面方向的抗压强度大于平行于岩石结构面方向的抗压强度。

3) 岩石的容重和空隙率

空隙率大的岩石则强度低,岩石随着埋藏深度的增加,充填密度上升,岩石容重增大,因而强度也增加。