



GUTI KUANGCHAN ZIYUAN KANCHA
ZUANTAN GONGYIXUE

固体矿产资源勘查

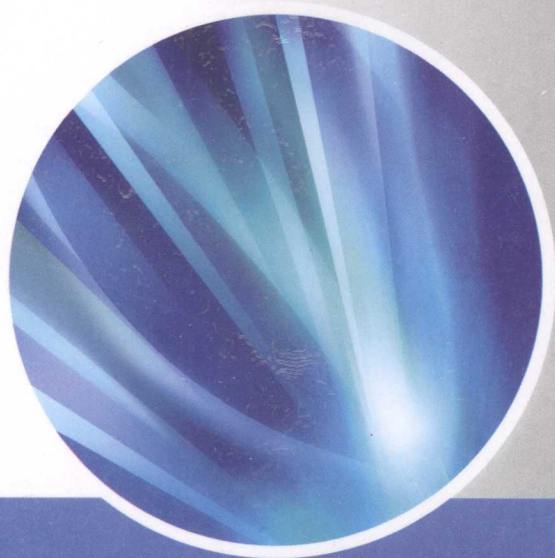
钻探工艺学 (上册)

——钻探工艺方法

主编 姜明和 陈师逊 张海秋



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn



GUTI KUANGCHAN ZIYUAN KANCHA
ZUANTAN GONGYIXUE

固体矿产资源勘查

钻探工艺学

(上册)

——钻探工艺方法

主编 姜明和 陈师逊 张海秋

香 港

高 40%



山东科学技术出版社

前 言

为适应当前矿产资源勘查工作中钻探技术发展的要求,并满足高职高专和职业技术学院钻探工程专业教学,以及地质勘查单位钻探工高级技师、技师等国家职业资格鉴定考试培训教学的需要,特组织长期从事钻探工程教学研究与生产实践的专家编写此书。

全书分上、中、下三册。上册为《钻探工艺方法》;中册为《钻探工程质量》;下册为《钻孔冲洗与护壁堵漏》。

本书在编写过程中,参考有关院校多年使用的内部教材,按照认知规律,结合钻探工程实际,着重基本理论、基本技能、基本原理的阐述,反映先进科学技术和最新成就,内容系统、详实,全面涵盖了固体矿产资源勘查中钻探工程的工艺技术。为有利于读者学习和将理论用于生产实际,书中对基本理论的分析、取材和阐述,努力做到由浅入深、摒弃繁琐的理论推导和数学运算。有关的深入计算及理论推导,读者可以在实践和应用中查阅有关的资料。对于“水文水井钻探”和“地质工程勘查钻探”以及“工程施工钻探”将单独编写成册。

《钻探工艺学》是钻探工程专业重要的专业理论,也是实践性较强的技术。为此,读者在学习过程中要坚持理论联系实际,有意识地培养分析问题、解决问题的能力。要结合生产实践,锻炼独立分析、判断孔内情况的能力,综合运用专业理论指导实践,以达到不断提高理论和实践水平、培养独立工作目标。

本书由姜明和高级工程师、陈师逊高级工程师、张海秋副教授任主编,由周文波高级工程师、王春亭高级工程师、姚海高级工程师、秦昊高级工程师及刘金斗工程师任副主编。本书上册由陈师逊同志审定,中册由张海秋同志审定,下册由姜明和同志审定。全书由姜明和同志统稿。

本书在编写过程中得到了编者所在单位领导和有关专家的热心帮助和大力支持,参考了有关文献资料,引用了相关图表,在此一并表示感谢。

本书可用作高职高专、职业技术学院钻探工程及相关专业教材,还可用作地质勘查单位钻探工高级技师、技师等国家职业资格鉴定培训教材,也可作为钻探工程岗位培训及有关人员自学用书,亦可供有关专业技术人员参考。

由于编者水平有限,加上时间紧,缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	(1)
-----------	-----

第一篇 钻探工艺方法与技术

第一章 岩土的性质及破碎机理	(6)
第一节 岩土的自然性质	(6)
第二节 岩土的力学性质	(13)
第三节 岩石的可钻性及分级	(22)
第四节 岩土破碎的基本理论	(26)
第二章 钻探工程基本理论知识	(35)
第一节 钻具的组成	(35)
第二节 钻杆柱	(38)
第三节 钻探施工的基本过程	(43)
第三章 硬质合金钻进	(49)
第一节 概述	(49)
第二节 硬质合金钻进的井底碎岩过程	(50)
第三节 钻探用硬质合金及硬质合金切削具	(55)
第四节 取心式硬质合金钻头结构要素	(58)
第五节 硬质合金钻头	(65)
第六节 硬质合金钻进规程	(77)
第七节 各类地层的硬质合金钻进	(87)
第四章 金刚石钻进	(90)
第一节 概述	(90)
第二节 金刚石钻头及扩孔器	(101)
第三节 金刚石的碎岩机理及其钻头的选择与使用	(114)
第四节 金刚石钻进的工艺规程及钻进注意事项	(125)
第五节 金刚石绳索取心钻进	(138)
第五章 钻粒钻进	(163)
第一节 概述	(163)
第二节 钢粒及钢粒钻头	(169)
第三节 钢粒钻进规程	(173)



第四节 钢粒钻进的先进经验和技術措施	(179)
第六章 冲击回转钻进	(181)
第一节 概述	(181)
第二节 冲击器	(184)
第三节 冲击回转钻进的碎岩工具	(204)
第四节 冲击回转钻进工艺	(210)
第五节 液动冲击一回轉钻进对钻探设备的要求及应配备的附属装置	(215)
第六节 冲击回转钻进操作注意事项	(220)
第七章 破碎岩石新方法简介	(225)
参考文献	(236)

绪 论

一、钻探工程的发展及其应用领域

(一) 钻探工程的发展

利用机械设备和工具,通过一定的工艺方法破碎岩土,在岩土中形成孔洞,并取出岩土样品以进行分析鉴定和掌握地下地质情况,或者专门用于某种用途,从而满足地质勘探和其他工程需要,为此所进行的全部工作,称为钻探工程。

我国是最早使用钻探技术的国家之一。早在二千二百多年前,我国人民就利用钻探技术开采地下资源了。在四川地区“凿井求盐”就是利用简便的竹弓法进行冲击钻进,形成盐井,并制造了冲击钻进钻头和处理井内事故、修理井壁的工具,这种钻进技术,一直流传到现在,仍具有生命力。而西方直到 19 世纪 20 年代才开始使用这种方法。

随着工业技术的发展,用来直接破碎岩土的磨料、钻具形式及与之相关的钻进设备都在不断地改进。

19 世纪初期,硬质合金应用于钻进技术,可以有效地钻进Ⅶ级以下的岩土。

19 世纪末期,美国工程师提出了在硬岩、特别是裂隙岩层中使用钢粒取心钻进的方法。我国及东欧一些国家在采用金刚石钻进之前,都是用钢粒钻进硬岩。直到现在,由于成本的关系,钢粒钻进仍在得到应用。

1862 年,瑞士工程师莱舒特首先将天然金刚石用于矿山钻探。由于天然金刚石资源有限、价格昂贵,制约了它的推广。直到人工合成金刚石后,这种方法才得到广泛应用。

1963 年,我国研制成功了人造金刚石钻头,并逐渐掌握了热压法、冷压法和电镀法制造金刚石钻头的技术。把人造孕镶金刚石钻头用于钻探施工是我国钻探工程界的一大突破,它得到了国际钻探工程界的一致好评。目前,金刚石钻进已成为我国小口径硬岩钻进的主要方法。为了适应钻进工艺的发展,钻探设备也逐渐地更新换代。19 世纪中期制造了可以采取岩土样的回转式钻机。这种钻机在基岩中钻进的效率高、效果好,在钻探工程施工中占据了主导地位。目前,一些新型的钻机已经出现,如液压式、动力头式、多功能钻机等,这些新型钻机无论在性能上、技术参数上,还是在结构上、外观上都与老一代钻机不同。

与建国前相比,我国的钻探工程得到了长足的发展。已经普及了金刚石钻进,钻进工艺技术日臻完善,形成了金刚石钻进的系列标准(从钻孔口径到钻具级配的),钻探设备和仪表已向轻便化、自动化方向发展。并且,除了小口径钻探外,还形成了为建设工程、农业、交通、工业、矿山、国防等部门提供大口径钻探的工艺方法。设备机械也已形成



系列化、标准化。特殊工程的钻探施工从工艺技术到机械设备已能自足。

(二) 钻探工程的应用领域

钻探工程是获得地下蕴藏的真实地质资料(如岩、矿、地温、地下水等)和直接信息的一种技术方法。它是地质和矿产勘探中不可缺少的一个施工环节。通过钻探工程可对所取得的地质和矿产资源参数作出最终可靠的评价。据统计,为探明一亿吨铁矿,需要有十万米的钻探工作量,为探明十万吨铜矿,亦需钻探数千米;而要生产一千万吨石油,需投入几百万米的钻井工作。十分明显,钻探工程首先是为地质和矿产勘探服务的,而随着地质工作的目的和要求的不同,钻探工程在地质勘探工作中又可能有下列多方面的服务内容:

1. 普查找矿钻探

为了揭露地表覆盖层,探查基岩的性质及实际状况,或为了了解地质构造或验证物探结果等,必须进行普查找矿钻探。一般说来,这类钻孔都较浅,常使用地表取样钻机或轻便浅孔钻机等。

2. 矿产勘察钻探

若需要查明某一地区某种或若干种矿产的分布、产状、品位情况,以求得资源储量,为矿产开采作物质上的准备,常需进行矿产勘察钻探。通常根据地质要求,按勘探网或勘探线而确定孔位。此类钻孔一般属中深钻孔,其钻探工作量亦比较集中。

3. 水文地质及水井钻探

为了查明某地区地下水的赋存状况、水质和水量以及在地下的运动规律等水文地质情况,常需进行水文地质及水井的钻探工作。在钻探中,不仅要取得岩样,还须采取水样和进行许多测水试验等特种工作。有的钻孔完井后留作长期观察孔,成为考察水文地质中的一个点。此外,根据探采结合的精神,按实际需要,在进行了水文地质勘察工作之后,下入井管和相应的过滤管而成为水井,并作为开采水井。在绝大多数情况下,为了开发地下水资源须专门钻凿地下水开采井。

4. 工程地质勘察钻探

为了查明桥基、坝基、路基、港口、大型或高层建筑的地基及其承载能力,须钻凿工程地质勘察钻。工程地质勘察钻一般都较浅,经常为 30m、50m 或深至 100m。为了了解地层的承载能力,除了要求获取原状土样用以进行室内测定外,常需在孔内原地进行动载或静载试验法的实测工作。在工程地质勘察中,国家制订有许多标准规范,作为共同遵守的测试标准以资比较和评价。随着水利和工程建设事业的发展,必须进行边坡稳定勘察和地质灾害勘察。由此,要求对基岩裂隙中的软泥层作重点了解,或要求进行定向采取岩心以便设计露天开采时的边坡倾角等。

5. 工程施工钻探

利用钻探技术的特点直接完成某些工程项目,这为钻探工程开辟了新的工作领域。现在其工作服务项目日益扩展。目前多用于工程基础施工方面。工程施工钻最初被用于大桥桥基建设中以管柱法代替利用沉箱人工直接下到江底开挖,取得了良好的经济和技术效益。现今,它形成一种桥基施工的新方法。现在,工程施工钻多用于基础桩的建造,即先钻成深入基岩的桩孔然后灌注成各类建筑物的基础。看来,利用钻探工程



作为一种施工技术,大有可为。

当今,在石油及天然气的勘探和开采钻井方面已经形成一支强有力的专门的钻井技术队伍。近年来,在该类钻井技术方面已经开发了许多令人瞩目的研究成果和新的技术,它们都值得在固体矿产的钻探工程中加以借鉴和利用。

随着国民经济和科学技术的日益发展,对矿产资源的品种、质量及开发途径都有新的要求和变化。钻探工程技术的覆盖面亦日趋广泛。例如,为寻找新能源,从60年代起,许多国家大力进行了地热勘探和开发,促使地热钻探应运而生,并获得了迅速的发展;为开发海洋资源,开展了滨海钻探和海底地质钻探等工作;为研究大陆地壳的物质及结构开展了深度超过十公里的地壳科学深钻;为了解新地区的地下情况,开始了极地钻探以及月球表层钻探等特种钻探等等。而就其工作范围来说,它也在不断地扩大,例如:为了解各大城市普遍发生的地面沉降,借钻孔技术可设立基岩标和分层标,进行精密测量;为利用自然能源,可钻成专门通道,将冬天的低温水回灌到地下储存,待到夏季抽出作为冷却水降温用;利用钻孔技术加固水坝,增强地基,防止灾害;或被利用于疏通地下水,散发矿层气或用来安设地下电缆,甚至用于修筑地下帷幕等等。总之,钻探工程是用途日益广泛的,大有发展前景的一种应用技术。

二、钻探工程的基本工作内容及钻进方法

一般说来,地表以上的部分,如钻机、水泵、动力机、钻塔等属于钻探设备部分,地表以下,包括孔底破碎岩石的过程、冲洗液循环状态,钻具、钻杆柱、钻孔结构及套管设计等,它们属于钻孔工艺学的研究范围。在实际工作中,地表设备部分与地下钻进工艺是不可分割的。

钻探设备和钻探工艺以地表线来划分,虽显得机械一些,但较简便。当然,钻探机械与钻探工艺是紧密相关的,但其研究的内容则是不同的。

岩心钻探机场由地表的工作机械(钻机及水泵)通向孔底工作面有两条渠道:其一为钻杆柱和钻具及钻头,用以进行钻岩工序;其二为冲洗液,通过钻杆柱中心孔道,流经孔底、由井筒环状间隙返回地面。由这两条渠道连续完成钻井工序。钻塔和绞车(升降机)是完成钻杆柱或其他工具升降的必需设备。动力机是驱动工作机械的动力源,是任何工作机械不可少的,其余部分则属于辅助工具和附属设备。

目前钻探工程中所采用的破碎岩石的方法,归根结底是机械式的碎岩方式。其他物理的或化学的碎岩方法都处于试验阶段,尚未能用于生产。

机械方式碎岩的基本条件是利用某种碎岩工具、并施加一定的外力而作用在岩石上面,使工具着力点处的岩石被破碎下来,达到钻进的目的。

根据碎岩工具所用的材质,可把钻进方法分为:硬质合金钻进、金刚石钻进、钢粒钻进等。

根据施加外力的性质或方式,可把钻进方法分为:冲击钻进、回转钻进、冲击回转钻进等。

十分明显,为向岩土钻进,必须使岩土破碎。如何使岩土破碎就成为钻探工作的一个首要问题。在钻探过程中,破碎下来的岩土(粉、屑)如果仍留在原地的话,就会严重



影响继续破碎岩土,甚至不能钻进。因此,必须把破碎下来的岩土屑清除出钻孔。实践证明,钻孔底面的清洁程度是影响钻进效率的一大因素。随着钻孔的不断向下延伸,其上部钻孔就成为破碎岩土和清除孔底岩土屑的通道,此时,保持上部钻孔孔壁稳定、维持通道畅通是继续进行钻进的必要条件。

为了使钻进工作能够连续不断地进行,使钻孔向地层深部不断地延伸到预定的地点,必须进行破碎岩石、清除岩屑、维护孔壁稳定三项必需的工作环节。因此,这三者乃是钻探工作的基本作业。当然,在不同的地层中钻进,三者的难度是不同的。例如在松软地层中钻进时,破碎岩石较为容易,清除岩屑的工作量就较大,而维护孔壁稳定就成为工作中的难点或重点;而在坚硬完整的地层中钻进时,破碎岩石就成为难点,清除岩屑和维护孔壁稳定就较容易一些。

在完成这三项基本作业中,随着钻孔的不断延伸使钻杆柱逐渐增长。在作业过程中或因需要更换在孔底工作被磨钝的钻头及磨损的钻具;或因需要把钻取的岩心提取上来,就须把孔内的钻杆柱和钻具提出孔外,如需继续钻进时,还需把钻杆柱等又重新放入孔内,此时,必须进行升降操作。这样,钻探工作包括钻进和升降两个必要的基本作业程序或称工序,即或者钻进或者升降,十分分明。钻进工作是实在的生产工序,而升降工作是必不可少的无生产进尺的工序。在钻探工程中,除了上述两项基本工序外,还有许多其他非生产性的辅助性工序也是不可少的。如:设备的搬迁运输、安装及维修,冲洗液的制备。孔内工作还有:测量孔斜、物探测井、水文观察、下入和起拔套管、事故处理等,也是常常要按时完成的工序。但从钻进工作来说,都属于非生产性工序,因为它们没有增加钻孔的进尺。

在钻探工程中,为了取得实体的地质资料,在钻进过程中要求采取岩心或收集岩屑。这是地质勘探钻探的一个中心问题和必要环节。如何保证取得满足地质要求的岩心是钻探工作的一个专门课题。对岩心不仅要求有足够的数量,还要求不受污染地保持原有的质量、准确无误地测得其在孔中的位置。因此,岩心的采取是钻探工作重要的质量指标之一。在钻进作业中,实际钻孔往往偏离预定的钻孔中心,而发生孔位偏差,称为钻孔弯曲或孔斜,它也是衡量钻孔质量的重要指标之一。因此,岩心采取和防止钻孔弯曲同样也是钻探工作的重要内容。

钻探工作进展的速度是一个系统性的技术指标,它取决于一系列的因素。在一定的钻进方法中,钻探工作进展速度与孔底的碎岩状况或所采用的钻进方法和钻进工艺的合理性和先进性、所选用的钻探设备条件与钻进工艺的适应性、计划和组织钻探工作各个环节的科学性以及钻探人员的技能和素质等有着十分密切的关系。

三、新工艺、新技术的应用与展望

随着金刚石钻进技术的普及以及科学技术的发展,钻探技术与工艺也在不断地发展。

在理论研究方面,由于物理力学、岩石力学和断裂力学在钻探技术中的应用,创立了各种钻探方法的井底碎岩过程和岩土破碎机理的理论并被实践所证实。电子显微镜、能谱分析等现代化测试手段用于分析岩屑和钻头磨损,可以从微观上解释岩土破碎机理与



切削具的磨损。

在碎岩工具及切削具方面,除了单晶金刚石(人造、天然)外,聚晶金刚石、聚晶金刚石复合片及其他超硬材料都已应用于钻探工程。与钻头制造有关的金刚石选型及预处理,高温、高压技术、粉末冶金技术,钻头结构参数与水力学设计等内容已逐渐形成一种专门的综合性知识—钻头制造工艺学。除小口径外,大口径钻探工程中已开始使用新型的滚刀钻头。

随着生产发展的需要,以提高钻头寿命、降低辅助时间、满足提高钻探生产效率的要求,已经取得较大进展。为此,一些新技术、新工艺、新方法相继产生:绳索取心钻进技术已得到推广,水力反循环连续取心、不提钻换钻头技术已逐渐用于钻探生产;回转—冲击钻进技术方面,我国已成功地研制了各类液动冲击器用于生产,钻进工艺日趋成熟;组合钻进技术和初级定向孔及分支定向孔钻进技术,正逐步用于钻探工程。

护孔技术方面,推广了低固相、无固相泥浆、乳化泥浆、泡沫泥浆、高分子聚合物乳化剂、处理剂等,已取得成效。随着高分子化学、有机化学、胶体化学等各学科科研成就的引进,以及泥浆流变学、环空水力学、钻头水力学研究的进展。钻探工程护孔与堵漏技术已逐渐形成一门新的课程。电化学护孔技术也得到了较大的发展,并有所应用。

由于钻参仪、计算机及其他新技术的应用,钻探工程已进入了科学施工阶段。我国的高等院校、科研部门和部分施工局、队正在把计算机用于钻探工程施工中的数据采集、处理、钻进参数的优化设计及管理工作中,并取得了可喜的成果。

一些水力破碎及热力破碎岩土的方法,已经有所突破,部分应用于生产。

总之,钻探工程的应用将越来越广泛,其工艺技术将越来越完善。

四、学习本课程的目的和方法

《岩心钻探工艺学》是一门应用性技术课程,是钻探工程专业的一门主要专业课。学习本课程主要应掌握必要的基本概念、基本理论、基本技能。

本课程是一门综合性应用技术,它的实践性很强,它所涉及的内容比较广泛,如基础课数学、物理、化学,技术基础课中的力学、机械等相关知识。在学习过程中,要抓住基本概念、基本原理为重点进行学习。要养成独立分析、独立思考、加深理解的学习习惯,培养自己分析问题、解决问题的能力。避免死记硬背的学习方法,要养成理论联系实际的学习方法,树立辩证的思维观念。

第一篇 钻探工艺方法与技术

第一章 岩土的性质及破碎机理

第一节 岩土的自然性质

一、岩石概述

(一) 岩石的分类和组成

岩石是矿物的集合体,是各类地质作用的产物,是构成地壳的物质基础。岩石可以由一种矿物组成,如大理岩由方解石组成;也可以由几种矿物组成,如花岗岩由石英、长石和云母三种矿物组成。与矿物相比较,岩石的物质成分比较复杂。

岩石根据成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。如果把变质岩分别包括在岩浆岩和沉积岩中,那么地壳内岩浆岩占 95%,沉积岩仅占 5%。但是在地表出露的面积,前者占 25%,后者占 75%。

金属和非金属矿床一般赋存于岩浆岩和变质岩中,而煤和石油等可燃性矿产通常则与沉积岩共存。在某些情况下,某种矿产又可能与上述三类岩石都有关系。因此,在钻探工作中可能遇到各种不同的岩石。

1. 岩浆岩及其组成

岩浆岩是地壳深处的岩浆沿地壳裂隙上升冷凝而成。岩浆是一种高温高压熔融状的硅酸盐物质,其主要成分是二氧化硅,另外还有其他元素、化合物及挥发组分。岩浆活动有两种形式:一种是岩浆上升到一定位置,由于上覆岩层的外压力大于岩浆的内压力,迫使岩浆停留在地壳之中冷凝结晶,形成侵入岩(在浅处形成的侵入岩称浅成岩,在深处形成的侵入岩称深成岩),另一种是岩浆的内压力大于上覆岩层的外压力,使岩浆喷出地表后凝固固化,形成喷出岩。

根据 SiO_2 的含量,岩浆岩可分为:

酸性岩 SiO_2 含量大于 65%,主要矿物有石英、正长石和斜长石。



中性岩 SiO_2 含量为 65% ~ 52%, 主要矿物有斜长石和角闪石。

基性岩 SiO_2 含量为 52% ~ 45%, 主要矿物有斜长石和辉石。

超基性岩 SiO_2 含量小于 45%, 主要矿物有橄榄石、辉石和角闪石。

2. 沉积岩及其组成

沉积岩是在地表条件下母岩(岩浆岩、变质岩或早先形成的沉积岩)风化剥蚀的产物,经搬运、沉积和硬结等成岩作用而形成的岩石。

组成沉积岩的物质成分有颗粒和胶结物两大部分。颗粒包括岩屑和矿物。岩屑是已形成的岩浆岩、变质岩和沉积岩的碎屑,或者是火山喷发出来的碎屑;矿物来自两个方面,一是原有岩石经风化、剥蚀、搬运而来的矿物碎粒,多半为不易风化的石英、正长石和白云母等,二是在沉积作用中形成的新矿物,如方解石、白云石、岩盐、燧石、赤铁矿等。

在沉积物颗粒之间还有胶结物。胶结物对沉积岩的强度有很大的影响。

胶结物按其成分可分为:

泥质胶结物 如泥土或黏土。胶结成的岩石强度小,易碎,断面呈土状。

钙质胶结物 成分为 CaCO_3 。胶结成的岩石强度比泥质胶结的大些,滴稀盐酸于其上能起泡。

铁质胶结物 成分为 FeO 、 Fe_2O_3 或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$,胶结成的岩石强度比前两种都大。

硅质胶结物 成分为 SiO_2 ,所胶结的岩石强度最大。

沉积岩的形成可能是不同沉积作用的结果。以机械沉积作用成岩的叫碎屑岩;以机械沉积作用和胶体化学沉积作用共同成岩的称混合岩或黏土岩;以胶体化学沉积作用和生物化学沉积作用成岩的称生物岩和化学岩。

3. 变质岩及其组成

变质岩是岩浆岩、沉积岩甚至变质岩本身在地壳中受到高温、高压及化学活动性流体的影响而变质形成的岩石。高温来自地热、岩浆热和动力热。温度是变质作用的基本因素。温度增高,大大增加了岩石中矿物分子的运动速度和化学活性,使矿物在不变为流体的状态下发生重结晶作用或重新组成新矿物;压力包括静压力和动压力。静压是上覆岩石对下层岩石的压力,具有一定的方向,可使岩石发生破裂、变形或变质;化学活动性流体主要来自岩浆。由岩浆中分出来的气体和液体可与围岩发生交代作用,生成新矿物。

变质岩的物质成分比较复杂,既有原岩成分,又有变质过程中新生成分。就矿物而言可分为两类:一类是与岩浆岩和沉积岩相同的,如石英、云母、角闪石、辉石等,它们大多数是原岩残留下来的,或者是在变质作用中形成的;另一类是变质岩特有的,如石墨、滑石、蛇纹石、石榴子石、硅灰石等,它们是变质作用的产物。

根据变质因素的不同,变质岩又可分为接触变质岩、动力变质岩和区域变质岩。接触变质岩是由于岩浆的热力作用或与其分化出来的气体和液体交代作用生成的岩石;动力变质岩是由于地壳运动所产生的局部应力使原岩破碎变形而生成的岩石;区域变质岩是地壳深部原岩在高温、高压甚至还有化学活性液体作用下变化而成的岩石,这类岩石往往具有片理性。

(二) 岩石的结构和构造



从钻探角度来看,仅仅了解岩石的成因类型和物质成分是不够的,还需要了解对岩石性质有明显影响的微观和宏观组织特征。

岩石的微观组织特征,即岩石的结构,体现了岩石中矿物或碎屑的粒度、形状和表面性质,反映着岩石的非均质性和孔隙性。

岩石的宏观组织特征,即岩石的构造,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。

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紧密的联系。

岩浆岩是由岩浆冷却凝固而生成的岩石,由于生成环境和冷却速度不同,岩浆化学成分和其中挥发物含量不等,形成不同的结构和构造。

侵入岩往往具有显晶质结构。用肉眼可以辨别矿物颗粒,粒径为0.2~5mm或更大。

如果颗粒尺寸彼此大致相等,则为等粒结构,常见于深成岩;如果颗粒大小不等,但彼此连续,则为不等粒结构或斑状结构,常见于浅成岩。如图1.1-1所示。



图1.1-1 晶体结构的各种类型

喷出岩经常具有隐晶质结构。要在显微镜下才能识别清楚矿物的颗粒,粒径为0.02~0.2mm,有时还会形成非晶质结构,或称玻璃质结构,此种岩石断面光滑。

晶质结构岩石一般强度较高,同时断面粗糙者往往研磨性亦较大。

岩浆岩主要具有块状构造,且组成岩石的矿物分布均匀,但排列方向无一定规律;其次是有气孔状和杏仁状构造,即岩石中分布着大小不等的圆形或椭圆形空洞,甚至空洞中还被硅质物或钙质物所充填;第三是流纹状构造,即岩石中沿一定方向分布着不同颜色的条带、拉长了的气孔或长条状矿物。

岩浆岩的构造特征对钻进破碎岩石没有显著的影响。

沉积岩的成因广泛,因而其结构也比较复杂。碎屑岩是由大小不等、外形极不规则的岩石或矿物碎屑组成。有些处于松散状态,有些胶结在一起。碎屑岩具有碎屑结构,按碎屑的大小又可分为砾状结构(碎屑直径大于2mm)、粗粒结构(碎屑直径2~1mm)、中砂结构(碎屑直径1~0.1mm)和粉砂结构(碎屑直径0.1~0.01mm)。碎屑岩的胶结形式主要有三种如图1.1-2所示:碎屑颗粒彼此不接触,颗粒周围被胶结物布满,称为基底胶结;碎屑颗粒相互接触,碎屑之间为胶结物充填,称为充填胶结;碎屑颗粒接触处才有胶结物存

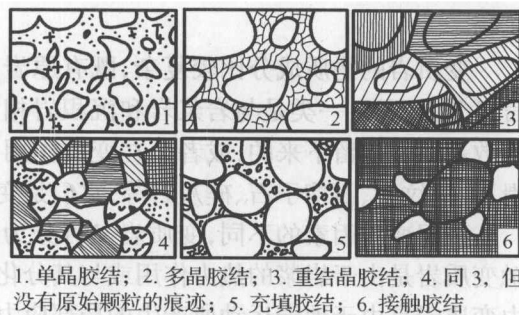


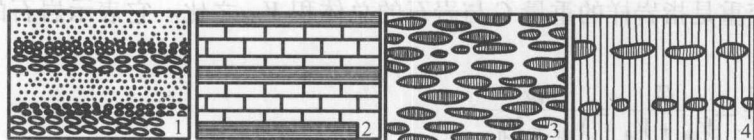
图1.1-2 碎屑结构的各种胶结形式



在,而碎屑之间留有空隙,称为接触胶结。碎屑岩胶结形式对岩石的自然性质和力学性质有着明显的影响。

混合岩或黏土岩具有泥状结构(碎屑直径小于 0.01mm)。化学岩和生物岩是从真溶液或胶体溶液中沉积出来,或者由生物作用而生成的岩石,具有结晶结构或生物结构。

沉积岩经常具有层状构造。这种层状构造是由层理所决定的。层理反映岩石在其垂直方向上成分的变化。这些变化主要表现为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。沉积岩层理的类型如图 1.1-3 所示。层理导致岩石的各向异性。



1. 成分相同,颗粒大小在垂直方向上呈规律变化; 2. 不同矿物成分的相互交替; 3. 颗粒按一定方向排列; 4. 某种颗粒呈规律性分布

图 1.1-3 沉积岩层理的类型

沉积岩也可能具有块状构造。在这种情况下层理不明显,矿物排列无一定规律。有时沉积岩具有页片状构造,岩石中极细粒的矿物相互平行,排列成极薄的层次(层厚 $10 \sim 0.1\text{mm}$)。

变质岩是在高温高压作用下生成的,一般多具有晶体结构。这种结构往往与重结晶现象、粒化作用和部分的化学成分改变有关。

变质岩常具有片理状构造。所谓片理就是岩石沿平行平面分裂为薄片的能力。片理面常常发生在单向压力作用的方向与层理面不一致的地方。片理会引起岩石的各向异性。

各种岩石并非完全致密,在不同程度上都具有裂隙或孔洞,所以裂隙和孔洞也是岩石所具有的一种组织特征。

岩石中的裂隙,有时称作节理。节理按其成因可分为:

原生节理 这是岩石在形成过程中产生的节理。较普遍的有岩浆岩在冷凝过程中因体积收缩生成的节理;沉积岩在成岩过程中由于脱水收缩产生的节理。

风化节理 这是地表岩石受风化而产生的节理,也称风化裂隙。

构造节理 这是在地壳运动过程中岩石受构造作用而产生的节理。变质岩在变质过程中所产生的劈理,也可以说是一种构造节理。

岩石中的孔洞是在冷凝过程中所残存下来的气泡,或者是压实固化过程中岩屑颗粒间留下来的空隙,或者是岩石中某些物质被地下水冲蚀或溶解所留下来的空间。

裂隙和孔洞对岩石性质,特别是岩石的力学性质,有较大的影响。

二、岩石的自然性质

岩石的自然性质是岩石在形成过程中形成的特性。通常也称为物理性质或物理—地质性质。



岩石的自然性质包括:岩石的比重、密度、容重、孔隙率,岩石的水理性质(如含水性、透水性、吸水率),岩石的松散性、流动性和岩石的稳定性。

(一)岩石的比重、密度、容重、孔隙率

1. 岩石的密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$

岩石的密度是指岩样质量 m 与其总体积 V 之比。总体积 V 包括岩样中的固相体积 $V_{\text{固}}$ 与岩样中的孔隙体积 $V_{\text{孔}}$ 。即: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}}}$

2. 岩石的容重 $\gamma(\text{N/m}^3)$

岩石的容重是指岩样的重量 G 与岩石的总体积 $V_{\text{总}}$ 之比。它表示岩石的密度,又称为重力密度。

$$\text{即: } \gamma = \frac{G}{V} = \frac{G}{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}}} = \frac{mg}{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}}}$$

式中 g 为重力加速度

容重与密度的关系是: $\gamma = \rho \cdot g$

岩石的容重与岩石的组成及矿物的结构有关。根据岩石的含水状况不同可分为容重和干容重。对于钻探施工来讲,二者可不予区别。

3. 岩石的比重 (γ_s)

岩石的比重是指岩石中固体物质的重量 G 与固体物质的体积 $V_{\text{固}}$ 之比($V_{\text{固}}$ 无孔隙)。即: $\gamma_s = G_{\text{固}}/V_{\text{固}}$

岩石的比重取决于其组成矿物的比重,并且与岩石的风化程度有关。组成岩石的矿物的比重越大,岩石的比重也越大;岩石的风化程度越重,岩石的比重就越轻。

从容重与比重的计算式可知,岩石的容重常小于其比重。在实际中测定岩石的比重比较麻烦,必须将岩石研磨成粉末,然后放入比重瓶中测量。而测量岩石的容重则比较方便,只要量其体积(一般用水中称重法求体积),再称其重量,便可计算容重。知道岩石的容重后,可按照容重与密度的关系换算出岩石的密度。

岩石密度的变化范围大致从 1400kg/m^3 到 3700kg/m^3 。超基性岩浆岩密度最大,如辉岩密度为 $2700 \sim 3700\text{kg/m}^3$,橄榄岩密度为 $2800 \sim 3400\text{kg/m}^3$ 。岩浆岩随着向酸性过渡,其密度减小。如花岗岩密度为 $2500 \sim 2750\text{kg/m}^3$ 。变质岩密度的变化范围较大,如石英岩为 $2500 \sim 3600\text{kg/m}^3$,变质片岩为 $2500 \sim 3700\text{kg/m}^3$ 。沉积岩密度决定于压实和胶结程度,对同一种岩石来说,变化量可达 $1000 \sim 1200\text{kg/m}^3$ 。例如砂泥质岩系,密度变化范围可从 $1600 \sim 1700\text{kg/m}^3$ 到 $2800 \sim 3000\text{kg/m}^3$ 。

常见岩石密度的大致数值见表 1.1-1。

表 1.1-1 常见岩石的密度

岩石名称	密度, kg/m^3	岩石名称	密度, kg/m^3	岩石名称	密度, kg/m^3
花岗岩	2500 ~ 2750	粗面岩	2440 ~ 2470	石膏	2200 ~ 2300
正长岩	2630 ~ 2900	安山岩	2400 ~ 2570	大理岩	2700 ~ 2900
闪长岩	2720 ~ 2960	玄武岩	2700 ~ 2850	片麻岩	2590 ~ 3660



(续表)

岩石名称	密度, kg/m ³	岩石名称	密度, kg/m ³	岩石名称	密度, kg/m ³
苏长岩	2720 ~ 3020	砾 岩	2000 ~ 2700	石英岩	2500 ~ 3600
辉长岩	2650 ~ 3120	砂 岩	2170 ~ 2700	变质片岩	3500 ~ 2700
辉绿岩	2500 ~ 5110	页 岩	2460 ~ 2860	花岗片麻岩	2600 ~ 2600
斜长岩	2940 ~ 2920	泥质灰岩	2700 ~ 2000	蛇纹岩	2900 ~ 3520
橄榄岩	2500 ~ 3400	石灰岩	2370 ~ 2750	榴辉岩	0340 ~ 3460
流纹岩	2330 ~ 2410	白云岩	2750 ~ 2800	煤	1880 ~ 2070

岩石内通常不会被造岩矿物或岩石碎屑填满。坚硬颗粒之间往往留有孔隙,孔隙中经常充满气体和液体。

4. 岩石的孔隙率(度)

岩石的孔隙率是指岩石中孔隙的体积 $V_{\text{孔}}$ 与岩石的总体积 $V_{\text{总}}$ 之比,用百分数表示。

$$\text{即: } P = \frac{V_{\text{孔}}}{V_{\text{总}}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{或 } P &= \frac{V_{\text{孔}}}{V_{\text{总}}} = \frac{V_{\text{孔}}}{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}}} = \frac{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}} - V_{\text{固}}}{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}}} = 1 - \frac{V_{\text{固}}}{V_{\text{固}} + V_{\text{孔}}} \\ &= 1 - \frac{\frac{G_{\text{固}}}{\gamma_s}}{\frac{G_{\text{固}}}{\gamma_s} + \frac{V_{\text{孔}}}{1}} = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_s}\right) \times 100\% \end{aligned}$$

即岩石的孔隙率可由岩石的密度 γ 和比重 γ_s 求得。

孔隙度是一切坚硬岩石所固有的性质。甚至最致密的岩浆岩、变质岩和沉积岩都具有孔隙。岩石的孔隙率与岩石的风化程度有关。没有受过风化的岩石,孔隙度小,孔隙体积仅占岩石总体积的百分之几。在某些喷出岩中,有较多的孔隙,如粗面岩和凝灰熔岩的孔隙率(度)可达 50% ~ 60%。

影响岩石孔隙率的主要因素有:岩石颗粒的粒径分布、颗粒的形状、颗粒的定向、颗粒的密实情况、岩石孔隙中充填物的数量等。

岩石按孔隙率可分为 4 级:低级(小于 5%),较低级(5% ~ 10%),中级(10% ~ 15%)和高级(大于 20%)

(二)岩石的水理性质

1. 岩石的吸水性

岩石的吸水性用吸水率和饱水率表示。

(1)吸水率(ω)。是指岩石在通常情况大气压下吸入水的重量 $G_{\text{水}}$ 与岩石中固体物质重量(纯重) $G_{\text{固}}$ 之比。

$$\text{即: } \omega = (G_{\text{水}}/G_{\text{固}}) \times 100\%$$

(2)饱水率(ω)。是指岩石在一定的高压下(一般为 150 个大气压)或在真空条件下,吸入水的重量($G_{\text{水}}$)与岩石中固体物质重量(纯重) $G_{\text{固}}$ 之比。



即: $\omega = (G_{\text{水}}/G_{\text{固}}) \times 100\%$

岩石的吸水率主要与岩石本身的孔隙率和裂隙有关。很明显,吸水率小于饱水率。二者的比值称为饱水系数。

2. 岩石浸水的软化性

岩石浸水的软化性是指岩石浸水后,其力学强度将降低的特性。岩石的软化性与岩石的孔隙、矿物成分、胶结物有关。通常用岩石浸水后的强度与浸水前的强度之比表示。

3. 岩石的抗冻性

岩石的抗冻性是指岩石抵抗冻融破坏的能力。这一特性对工程施工有意义。

4. 岩石的可溶性

岩石的可溶性是指岩石在水中溶解的性能。与组成岩石的矿物成分有关,并且与水的成分和运动状态有关。

5. 岩石的含水量和透水性

岩石的含水量和透水性是指岩石的含水性通常用岩石的含水量(或湿度)来表示。岩石的含水量是指岩石中含有的自由水的重量,即在 110℃ 前可以排除而不破坏岩石结构的那部分水的重量。通常采用烘干法测定岩石的含水量,用岩石烘干前后岩石的重量差与干岩样重量之比来表示。

岩石含水量多少与岩石的孔隙大小和孔隙数量(孔隙率)有关。

岩石的透水性是指岩石允许水通过的性能。它主要取决于岩石孔隙的连通程度,连通孔隙发育的岩石,容易透水。用渗透系数表示,渗透系数大,则岩石的透水性强。透水系数的单位是“达西”(darcy),意思是:如果黏度为 1 厘泊(cp)的水,在 1 大气压/厘米(atm/cm)的压力梯度下,以 1 厘米/秒(cm/s)的速度流出岩样,则该岩石的透水系数等于 1 达西。

岩石的孔隙越大,裂隙越多,水对它的影响也越大。在孔隙度很小的岩石中,例如岩浆岩,用水浸透后,强度无明显降低,但是,在孔隙度很大的岩石中,例如石灰岩和砂岩,用水浸湿后,强度显著下降。

(三) 岩石的内聚性

岩石内部颗粒联系的紧密和强弱程度称为岩石的内聚性。按内聚性的大小岩石可分为三类。

1. 坚固的岩石

此类岩石由矿物骨架和微孔组成,具有较大的联结力和内摩擦力,抵抗外力的能力强。

具有晶体结构的多数岩浆岩和变质岩,在晶体之间往往没有任何晶间物质,主要是晶体在空间按一定规律的几何形状排列,由晶粒直接接触所产生的力来联结。晶粒间因接触而产生的相互作用力与晶粒内部的相互作用力,按其本性来说是没有区别的,但是接触面上质点的平均距离大于晶体内部质点的距离,所以岩石往往沿晶粒接触面破坏。

具有非晶体结构的岩石,其中质点的排列通常是没有规律的。至多在一定程度上符合统计规律。大部分沉积岩是由形状不一的矿物和岩石碎屑胶结在一起的,碎屑之间的胶结物不但有数量上的差异,而且还有强弱上的不同。岩石可能沿着组成该岩石的矿物