

岩土钻掘工程学

杨伟峰 李巨龙 主编

9)
69)
(86)

中国矿业大学资源与环境科学学院
一九九八年六月十七日

目 录

论	(1)
一章 岩土的工程性质	(4)
第一节 岩石的工程性质	(4)
第二节 岩体的工程性质	(8)
第三节 土的工程性质	(13)
第四节 岩石的可钻性	(18)
二章 岩芯钻探工艺	(23)
第一节 岩芯钻探设备及工具	(23)
第二节 岩芯钻探钻进方法	(35)
第三节 钻孔冲洗	(59)
第四节 钻探质量	(69)
第五节 安全钻进	(86)
三章 水文地质及水井钻	(95)
第一节 概述	(95)
第二节 水文地质和水井钻钻孔(井)方法	(100)
第三节 成井工艺	(115)
四章 桩基础工程施工技术	(136)
第一节 概述	(136)
第二节 钻孔灌注桩	(138)
第三节 爆扩灌注桩(爆扩桩)	(145)
第四节 地下连续墙	(148)
第五节 高压旋喷注浆方法(施喷桩)	(151)
五章 油、气井钻探	(156)
第一节 概述	(156)
第二节 钻井设备	(159)
第三节 油、气井钻井设计	(161)
第四节 油、气井钻井的主要工艺过程	(163)
第五节 海洋钻井	(168)
六章 坑探工程	(175)
第一节 总论	(175)

第二节	爆破	(179)
第七章	矿山地质灾害及防治	(185)
第一节	潜蚀	(185)
第二节	滑坡及露天矿边坡稳定	(188)
第三节	井巷工程变形	(195)
第四节	矿区地表沉陷	(200)

绪 论

“岩土钻掘工程”包括“钻探工程”和“坑探工程”两门学科。随着我国经济建设的迅猛发展,这两门学科在实践中得到了更深入、更广泛的应用,它们不仅应用于地质勘探工作中,而且愈来愈多地应用于建设、供水、市政、交通、环境等各方面,形成了一套系统的,涵盖多个领域的应用技术学科。因此,岩土钻掘工程在我国经济建设中占有愈来愈重要的地位。

岩土钻掘工程的主要内容首先是在认识和了解岩土工程条件的基础上,通过各种方案的综合比较和评价,利用钻掘技术,提出改造和利用岩土工程环境的专项设计,以满足工程建设项目的需要。

岩土钻掘工程施工技术主要有以下内容:地质勘探,开采矿产资源,工程勘察,地基处理,岩土体稳定加固,非开挖施工技术,地下水抽汲和回灌。

一、岩土钻掘工程施工技术现状

现代岩土钻掘工程施工,特别是桩(墩)基础、桩地基、勘察及降水大量使用钻孔方法。即根据岩土工程设计要求,选择相应的钻孔设备、钻进方法和工艺、向岩土中钻出不同直径、深度和角度的钻孔,或进一步叠孔成槽。然后按不同的钻孔目的,再采取不同的措施。如降水工程,应在成孔以后下滤管和填砾料,桩基工程应下钢筋笼和灌注混凝土;锚杆和土钉应下入杆(土钉)体和高压注浆等等。

目前钻孔用的工艺方法常见的有:1. 回转钻进、冲击(抓)钻进、复合钻进(如潜孔锤钻进和振动钻进);2. 无冲洗液循环钻进(如螺旋钻进);3. 正反循环钻进(清水、泥浆、空气、泡沫钻进等)。

目前国内用于岩土钻掘工程施工的设备,除一部分是专用设备外,很多是从传统岩芯钻探设备引用而来,尚不能完全满足岩土工程施工的需要。因此急需在改造已有设备的同时,加强新设备的研制。

二、岩土钻掘工程施工技术的发展

岩土钻掘工程施工技术是保证岩土工程设计方案顺利实施的关键,它是随着社会需要而产生和发展的。影响岩土钻掘工程施工技术发展的主要因素有:1. 社会需要的发展;2. 科学技术的进步;3. 社会主义市场经济的建立和发展。

随着我国改革开放的深入,经济建设实力不断增长,岩土钻掘工程的内容和范围也不断向深度和广度发展,其重要程度和复杂程度也越来越大。

岩土钻掘工程施工技术的发展受到许多科学和技术发展的影响。影响较大的有:机械设计与制造业、电子工业、仪器仪表制造、测量技术、工业自动化等。岩土钻掘工程施工技术随科技进步的发展趋势是,使施工技术达到最优化,即安全、高效、高质和低投入。象目前正推广应用的各種新的钻进技术、非开挖施工技术、螺旋钻成孔注浆后插筋技术等,也是随科技进步而产生和发展的。

长期以来,岩土钻掘工程靠国家和行业的指令性计划施工,短时间内还无法形成一个比较合理的市场竞争环境。尚存在单位之间靠降低价格或其它非正常经济手段来承揽工程,而不是靠提高自身的管理水平和技术实力来公平竞争。从而使岩土钻掘工程施工技术停滞不前。

社会的发展,对岩土钻掘工程施工技术的要求越来越严,应用范围也越来越广。从发展眼光看,最终会通过科技进步促进岩土钻掘工程施工技术的发展,以提高市场的竞争能力,获得最好的经济、技术和社会效益。

三、岩土钻掘工程的应用范围

随着我国经济建设的发展,“岩土钻掘工程”这一科学技术将得以迅速提高和发展,其应用范围也越来越广。其主要应用范围如下:

1. 普查找矿钻探

为了揭露地表覆盖层,探察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. 矿产勘探钻探

岩需要查明某一地区某种或若干种矿物的分布、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,常需进行矿产勘探钻探。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

为了查明某地区地下水的赋存情况、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探工作之后,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凿地下水开采井。

4. 油、气田钻探

为勘探石油及天然气等矿产而进行的钻探工作。油、气田钻探通常简称为石油钻井。

5. 工程地质勘察钻

为了查明桥基、地基、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或深为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资比较和评价。现在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芯以便设计开采时的边坡倾角等。

6. 工程施工钻

工程施工包括各种建筑物基础桩钻孔、墙孔槽;市政建设中铺设各种地下管线的水平孔;矿山开采中的大直径竖井和通风、排水、救援钻孔;公路和铁路大桥的桩基工程钻孔种地下构筑物的支撑、防渗、锚固等工程钻孔;边坡工程钻孔;软地基加固工程钻孔等。

随着社会需要的日益增长和科技的不断进步,工程勘察和工程施工在钻探领域所占的工作量比例越来越大,是钻探技术持续发展方向之一。所以加快开发新型工勘和工程钻机,采用新的钻进方法和工艺,提高效率,降低成本,是面临的迫切任务。

(1) 砂卵石层钻进,特别是大口径砂卵石层钻进一直是岩土钻掘工程施工的一个难题。如何克服成孔(槽)困难、施工效率低、孔壁不稳定以及有时需要跟管和取芯等难题,是岩土钻掘工程施工技术急待解决的。

(2) 螺旋钻孔成孔注浆后插筋技术,这是由陶义发明的一种新的灌注桩施工方法,主要用于在富含地下水的砂层中施工灌注桩。

(3) 边坡防护新技术,是由布鲁克(成都)岩土防护工程有限公司提出的“SNS 柔性安全防护系统”。

7. 环境监测

人类生存和发展是依赖地球及其自然环境。当今世界各国都在采取措施,控制和降低社会生产和人类活动造成的污染。例如,监测地下水资源污染的观测井,监测陆地沉降的观测井,取样钻孔等。此外,还有观测自然灾害的监测井,如地震观测等。

8. 非开挖地下管线施工技术

在现代城市建设过程中,经常遇到铺设、更换和维修地下管线的工程项目。传统的施工方法是地面开挖、管线铺设、回填,不仅成本高,且破坏路面,影响交通,破坏环境。新发展起来的非开挖铺设地下管线施工技术可以解决上述问题。它是利用在地表气动矛、导向钻进、夯管锤、顶管、微型坑道等方法在地表不挖槽的情况下,完成地下管线的铺设施工。此项技术在国内已开始发展。

9. 其它施工

传统的能源开发、资源勘探开发、坑探工程等。

四、施工设备的发展

岩土钻掘工程施工设备是指施工中直接应用的机械设备和装置,如钻机、泵、动力机、开槽机、空压机、电焊机及其它辅助设备。施工设备的发展主要取决于岩土钻掘工程施工方法和工艺的发展;各相关行业如材料、机械设计与制造、电子工业、仪器仪表工业等的发展。

根据现代岩土钻掘工程施工技术的发展来看,施工设备的发展趋势是:

1. 小型、轻便化。如轻便土钉机、小型锚杆钻机等。
2. 大型、多功能化。如连云港土力公司生产的 R618 及 R622 型旋挖、螺旋一体机等。
3. 特殊专用化。如国土资源部勘探所生产的 GBS-10 型铺管钻机等。

总之,随着社会发展和科技进步,岩土钻掘工程施工技术也会得以迅速发展,发展总的趋势是:岩土钻掘工程施工技术将会发展成为一门单独的、系统的应用学科。实现最优化施工,要重视利用智能计算机,重视提高施工装备的自动化程度。

第一章 岩土的工程性质

在“岩土钻掘工程”工作范畴中,其工作对象是岩土,即首先要钻掘岩土。对“钻探工程”来说,钻掘岩土就是要钻出一口大小直径和深度不同的孔(井);而对“坑探工程”来说,钻掘岩土就是要掘出一定尺寸和深度的巷道或槽、浅井等。上述两类工程,无论哪种工程施工中,在钻掘的岩土被清除后,都会在地表内留下一个一个空间(孔或井、巷道、槽等),则地表内岩土原有的平衡状态就遭受了破坏,而遭受破坏的地表内岩土,就会随岩土性质的差异和时间长短出现掉块、坍塌等现象,它就要影响各种工程的进程,有的甚至会出现重大事故。因此,对岩土钻掘工程而言,既要研究钻掘岩土的问题,又要研究岩石被破碎形成空洞后的加固问题。

钻掘岩土的难易性,与岩土的各种工程性质有密切的关系,为了钻掘工程的高效、优质、低耗的进行,必须对岩土的各种工程性质有所了解。

第一节 岩石的工程性质

岩石是组成地壳的基本物质,它是由矿物或岩屑在地质作用下按一定的规律聚集而形成的自然体。岩石的工程性质是指与工程建设有关的岩石的物理性质、水理性质和力学性质。

一、岩石的物理性质

1. 结构

岩石的结构是指组成岩石的矿物成分、粒度、形状和矿物颗粒之间的连结方式。岩石的结构不同,它的坚固程度也就不同。组成岩石的矿物颗粒越细,组织越致密,这种岩石就越坚固,在进行钻孔和爆破时也就更易于破碎。例如火成岩中细粒花岗岩的抗压强度为 $26 \times 10^7 \text{Pa}$,而粗粒花岗岩的抗压强度只有 $12 \times 10^7 \text{Pa}$ 。

对于沉积岩,其坚固性除与矿物的成分、粒度和形状有关外,还与胶结物的成分和颗粒间胶结的强弱有关。从胶结物成分看,以硅质成分为最坚固,铁质成分次之,钙质和泥质成分为最差。以颗粒间胶结强弱来看,致密,胶结牢固和孔隙少的岩石,坚固性最好;而胶结不牢固,存在许多薄弱面和孔隙多的岩石,坚固性最差。

对于变质岩,变质程度越高,坚固性越强。

显然,岩石的结构越致密,胶结越牢固,岩石的坚固性则越高,对于钻孔和凿岩爆破则越困难,而对保护孔壁和坑道维护(支护)工作则越有利。

2. 构造

岩石构造是指岩石在生成时和生成后受动力地质作用所形成的层理、节理和裂隙等。

层理是沉积岩的主要构造特征,是指岩石成层状分布,在某些变质岩中,也保留着其原

生岩石所具有层理。

节理是岩石受动力地质作用而发生的断裂,但断裂后沿裂隙面两旁岩石没有发生明显的位移。

无论是层理、节理还是裂隙,都是岩石中连结的薄弱面。它们的存在大大削弱了岩石的坚固性,在外力作用下,岩石首先会沿着这些薄弱面破裂。另一方面又对爆破有害,降低了爆破效果。特别是炮眼布置不当时,爆炸气体产物容易沿着裂隙漏掉,岩石得不到充分的破碎,从而产生大块。

3. 松散性

整体岩石被破碎后,自然堆积的体积比整体岩石的体积增大,这种特性称为岩石的松散性(又称碎胀性)。松散状态的岩石体积与原岩体积之比,称为岩石松散系数。

岩石的松散性,在选择装岩运输设备与提升容器时必须考虑它。常见岩石与土壤的松散系数如表 1-1-1 所列。

表 1-1-1 砂土的松散系数

岩石名称	松散系数	岩石名称	松散系数
砂、壤土	1.1~1.2	粘土质片岩、较软的坚实岩石	1.35~1.45
腐植土	1.2~1.3	中等坚实岩石	1.40~1.60
肥粘土、粗砾石、重壤土	1.24~1.3	硬和极硬的坚实岩石	1.45~1.8
软泥灰岩	1.33~1.37		

4. 孔隙度

单位体积岩石中孔隙的大小,用单位体积岩石中所含孔隙体积的百分比来表示,这个比率称为孔隙度。孔隙度大的岩石,组织结构不紧密,一般易于钻进和爆破,但孔隙度大的岩石,不仅能含水,钻孔时冲洗液漏失,亦能渗透气体,所以,要特别注意在凿岩爆破时的涌水和瓦斯喷出的可能。

5. 密度和容重

岩石的密度是指不包括孔隙体积在内的单位体积岩石的重量。岩石的容重是指包括孔隙体积在内的单位体积岩石的重量。实际上岩石中都包含有一定的孔隙体积,故密度的概念只在计算时使用。

密度和容重大的岩石,钻进和爆破时消耗能量大,几种常见岩石的密度和容重见表 1-1-2。

表 1-1-2 几种常见岩石的密度和容重

岩石名称	花岗岩	砂岩	石灰岩
密度, t/m ³	2.56~2.69	2.59~2.72	2.71~2.88
容重, t/m ³	2.56~2.67	2.11~2.14	2.46~2.68

⑥ 安息角

颗粒间缺乏凝聚力的松散性岩石,堆放时能保持其外形,由于颗粒的自重和颗粒之间摩

擦力的作用而不坍塌,此时其斜面与水平面所夹之角,称为岩石的自然安息角。

岩石安息角的大小,随岩石颗粒的形状与尺寸以及湿度等因素而变化,见表 1-1-3。对颗粒间缺乏凝聚力(如松散岩块和土壤)的岩石称为安息角;而颗粒之间具有凝聚力(致密坚硬岩石)的岩石则称为内摩擦角 φ 。

当确定平巷、竖井与斜井井口的加固方法以及确定探槽的边坡时,必须考虑岩石的安息角或内摩擦角。

表 1-1-3 岩块及土石在不同湿度下的安息角及某些岩石的内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$

岩块及土石名称		干的	湿润的	湿的 (含饱和水的)	岩块及土石名称		干的	湿润的	湿的 (含饱和水的)
安息角	腐植土	40	35	25	内摩擦角 φ	粘土质页岩	65~70	55~65	45~50
	壤土	40~50	35~40	25~30		石灰岩	75~82	55~70	50~55
	粘土	40~45	35	15~20		砂岩	82~85	60~70	50~55
	粗砂	30~35	32~40	25~27		辉绿岩、片麻岩	84~86	55~65	50~55
	中砂	28~30	35	25		赤铁矿岩		65~70	50~55
	细砂	25	30~35	15~20		花岗石	82~85	65~75	60~65
	砾石	35~40	35	25~30		硬石英岩	86~87	65~75	55~60
	无根泥煤	40	25	15					
	各种碎胀 坚实岩石	32~45	36~48	30~40					

二、岩石的水理性质

岩石的水理性质是指岩石对水的渗透性和岩石浸水的软化性、抗冻性、可溶性、膨胀性和崩解性。几种常见岩石的渗透系数、软化系数和抗冻系数的经验值列入表 1-1-4 中。

表 1-1-4 几种常见岩石的渗透系数、软化系数和抗冻系数经验值

岩石名称	渗透系数 $K(m/d)$ $K = \frac{V}{I}$	软化系数 $K_d = \frac{R_b}{R_c}$	抗冻系数 $K_f = \frac{R_c - R_f}{R_c}$
花岗岩	$4.32 \times 10^{-8} \sim 1.73 \times 10^{-7}$	0.78~0.86	0.19 左右
粗面岩		0.59~0.81	
石灰岩	$60.48 \times 10^{-7} \sim 10.37 \times 10^{-4}$	0.68+0.94	0.02 左右
泥岩	$51.84 \times 10^{-4} \sim 17.28 \times 10^{-2}$	0.45~0.88	
砂岩	$1.38 \times 10^{-4} \sim 10.37 \times 10^{-2}$	0.60~0.97	0.21 左右
角砾岩	3.97×10^{-7} 左右		
大理岩		1.00 左右	
片岩		0.63~0.97	

表中: V ——渗透速度, m/d ;

I ——水力梯度；

R_b ——岩石饱和含水抗压强度, KPa；

R_c ——岩石干试样抗压强度, KPa；

R_f ——岩石经过 25 次冻融厚的抗压强度, KPa。

白云岩、石灰岩、石膏、岩盐和硝石等在一定的水质条件下是可溶的。有些粘土矿物含量高的泥岩和页岩具有膨胀性和崩件性。

岩石的水理性质一般通过室内渗透试验, 溶解试验和浸水、冻融抗压试验来测定。

三、岩石的力学性质

岩石的力学性质是指岩石在受载过程中所表现出来的性质, 它取决于岩石的组成和结构, 并与加载方式等外部工艺因素有关。与机械碎岩效果有关的力学性质包括有弹性和塑性, 强度和硬度, 以及岩石的研磨性等。

1. 岩石的强度

岩石强度的定义同固体强度的定义, 可理解为抵抗外载整体破坏的能力。据外载的形式不同, 可以有抗拉、抗压、抗弯等几种强度(如图 1-1-1 所示)。

岩石强度的大小主要取决于其内聚力和内摩擦力。岩石的内聚力表现为矿物晶体或其碎屑间的相互作用力。岩石的内摩擦力表现为颗粒间的原始状态即将破坏而要产生位移时的摩擦阻力。

同样一块岩石其抗拉、抗弯、抗剪和抗压强度的大小是不同的, 例如岩石的抗拉强度最小, 抗弯、抗剪强度次之, 而抗压强度最大。根据有关数据, 我们可以得出这样一比例。若岩石的抗压强度为 1, 则抗剪强度为其 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{11}$; 抗弯强度为其 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{12}$; 抗拉强度为其 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ 。

因此, 利用岩石的抗拉与抗弯强度比较弱的特点, 采用相应的机械破碎方法是可以得到较好的效果。

2. 岩石的硬度

岩石的硬度是岩石表面抵抗工具侵入的能力。由于至今尚无一个统一的确定岩石硬度本质过程的物理模型, 所以测定岩石硬度的方法较多, 甚至最终也不统一。这就造成用不同方法测得的硬度值之间可比性较差。

目前在工程上测定硬度的方法很多, 适于岩石形态变化特点的是以各种不同形状的压模(球体、圆柱体、圆锥体等)压入岩石的方法。取岩石在破碎时所加之外力与压模底面积的比值表示, 单位为 MPa 或 kg/cm^2 。

岩石的硬度对钻探破碎岩石有重大影响, 这是因为利用各种不同形状的压模测定岩石硬度的方法, 在碎岩的局部性上是很相似的。

影响岩石硬度的因素也是多方面的, 它与造岩矿物的成份, 胶结物质的性质, 岩石的结构等有密切关系, 造岩矿物硬度大, 则岩石的硬度也大, 由粘土质胶结的矿物所组成的岩石比灰质、硅质胶结的岩石硬度小, 结晶程度越完善, 结晶颗粒越小, 则岩石硬度越大。

按照压入硬度值的大小, 岩石可分为 6 类 12 级(表 1-1-5)。

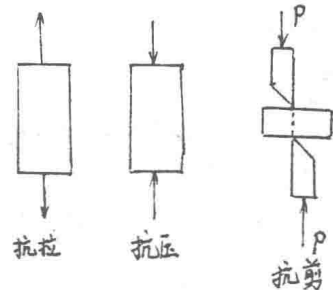


图 1-1-1

表 1-1-5

岩石类别	软		中软		中硬		硬		坚硬		极硬	
岩石级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
压入硬度, MPa	≤100	100~ 250	250~ 500	500~ 1000	1000~ 1500	1500~ 2000	2000~ 3000	3000~ 4000	4000~ 5000	5000~ 6000	6000~ 7000	>7000

3. 岩石的弹塑性及脆性

弹性、塑性和脆性是物体受外力作用后,对变形的不同表现。弹性是固体在卸去所加之负载后,恢复原来状态的性能。当所加之负载卸去后,固体保持其变形的性能称之为塑性(即变形不能随之消失)。

脆性是固体在负载作用下不引起任何残余变形的性能,也就是岩石的弹性极限与强度极限很接近,因此,外载荷达到岩石的弹性极限时,很快出现了固体的完全破碎。

由于岩石是多矿物组成和结构上的复杂性,岩石不是理想的弹性体,不符合虎克定律。

由于多数造岩矿物的塑性都不大,有的基本上无塑性,所以岩石的塑性变形主要是由于矿物颗粒间沿界面所产生的滑动而引起的岩石内部颗粒间相对滑移能力越强(细粒岩石、多晶体岩石),孔隙度和湿度越大,则岩石的塑性越强。

在室温和常压下,当岩石处于简单应力(如单向压缩)状态时,其塑性并不明显(有的学者甚至认为就其自然属性来说,岩石是不具可塑性的)。但是,在复杂应力状态下(比如各向压缩)岩石却表现出很明显的塑性。不言而喻,钻探的对象却是处于各向压缩的地下岩石,因此认真研究岩石的塑性是很有意义的。

在岩石力学中,根据单向压缩时应力—应变曲线所反映的岩石变形特征,常把岩石分为弹脆性岩石、弹塑性岩石和塑性岩石三类。

4. 岩石的研磨性

在用机械方法破碎岩石的过程中,钻头体上的切削具(硬质合金、金刚石、牙轮等)或钻头体本身及其磨料(钻粒)将与岩石产生连续的或间歇的接触和摩擦,有摩擦就有磨损。因而碎岩工具在破碎岩石的同时,也受到岩石的磨损而逐渐变钝、损坏。岩石磨损钻进工具的能力,称为岩石的研磨性。由于目前岩石研磨性测量的方法较多。衡量指标也不统一,常以工具的磨耗量 mg 表示。

岩石的矿物成分、石英含量、颗粒大小和形状,胶结状态,岩石与工具摩擦表面的温度,相对速度及压力等许多因素都在不同程度上影响着岩石的研磨性。

第二节 岩体的工程性质

岩体是地质体的一部分,它位于一定的地质环境之中,是在各种宏观地质界面(断层、节理、破碎带、接触带、片理等)分割下形成的具有一定结构的地质体。这些地质界面,统称为结构面或不连续面。被结构面切割成的岩石块体称为结构体。结构面和结构体的排列组合方式称为岩体结构。

由于岩体在其形成和存在的整个地质历史时期中,经受过各种复杂而不均衡的地质作用,这就使其工程性质变得十分复杂,这种复杂性,表现在以下几方面:

1. 不连续性:由于岩体中存在着各种结构面,因此,从岩体总体来看是不连续的介质(大块、完整的岩体可看成连续介质),岩体的这种不连续性,使岩体力学性质与其他连续介质有很大的差别。

2. 非均质性:指岩体物理力学性质随空间位置不同有较大的差异,岩体的这一特性,使其试验结果常具有较大的离散性。

3. 各向异性:指岩体性质随岩体结构面的取向而有差异的性质。这是由于岩体中结构面的分布往往有一定的方向。因此工程力与结构面的方位之间的关系,对岩体性质有很大影响。

4. 岩体中存在着天然应力场。

5. 岩体赋于一定地质环境之中,岩体中的水、温度、应力场,对岩体性质有较大的影响。

岩体强度就是指岩体结构的强度,它是包含有结构体强度和结构面强度的一个综合指标。岩体变形是岩块(结构体)、结构面及充填物变形的总和,通常情况下,后两者的变形起控制作用。

一、结构面

同结构体相比,结构面的力学强度一般较低,强度较低的结构面称为软弱结构面。结构面按成因分为原生、构造和次生结构面三类。其中,原生结构面包括沉积岩层面、沉积间断面、火成岩接触面、火成岩原生节理面、变质岩片理面;构造结构面包括断层面、构造节理面和劈理面;次生结构面包括风化裂隙面和卸荷裂隙面。结构面按规模分级可参考表 1-2-1。

表 1-2-1 结构面按规模分级

级序	规 模	类 别
I	延伸数公里到数十公里,贯通岩体,宽数米到数十米	较大的断层
II	延伸规模同所研究的岩体的规模相当,宽数厘米到数米	小断层、层间错动面
III	延伸范围较小,十几米到几十米,结构面内有泥膜或不夹泥	大节理、不夹泥的小断层、开裂的层面
IV	延伸范围小,岩体结构面未错动,结构面内不夹泥。	节理、劈理、层面、次生裂隙
V	结构面很小,连续性差	不连续的小节理、隐节理、层面、片理

结构面具有形态特征和分布特征,其中形态特征包括:

1. 结构面的闭合状况:结构面按张开宽度 b 分为紧密闭合的, $b < 0.1\text{mm}$; 闭合的, $b = 0.1 \sim 1.0\text{mm}$; 中等张开的, $b = 1.0 \sim 5.0\text{mm}$; 张开的, $b > 5.0\text{mm}$ 。

2. 结构面的胶结状况:结构面中的胶结物有泥质的、钙质的、铁质的、硅质的以及含可溶盐类矿物的。

3. 结构面中充填物的厚度:分为薄膜,厚度小于 2mm ; 夹泥,厚度小于结构面的起伏差; 夹层,厚度略大于结构面的起伏差; 厚层,厚度为几十厘米至几米。

4. 结构面的粗糙程度和起伏状况:结构面按粗糙程度可分为粗糙的、平滑的和镜面状的。结构面按起伏形态可分为平直的、台状的、波状的和锯齿状的。结构面的起伏差指其凸起和凹陷的幅度,起伏角指凸起(或凹陷)斜面与结构面的平均倾斜面的交角。

5. 结构面的贯通状况:对于所研究的岩体来说,完全分割整个岩体的结构面是贯通性

的,否则为非贯通性的。

结构面的分布特征包括所研究的岩体中结构面的组数,分布间距和产状。

岩体中张开的结构面,常是地下水的渗流通道和储积场所;被不透水或弱透水物质充填或胶结的结构面,常是地下水渗流的阻隔面。沿着张开的结构面流动的地下水,其流速可用下列公式计算:

$$\text{层流: } V = K_f I_f \quad (1.2-1)$$

$$\text{紊流: } V = K_g I_f^\alpha \quad (1.2-2)$$

式中 V ——单个结构面中地下水的流速;

K_f ——层流水力传导系数;

K_g ——紊流水力传导系数;

I_f ——水力梯度在结构面上的垂直投影;

α ——非线性指数:层流时 $\alpha = 1.0$,完全紊流时 $\alpha = 0.5$ 。

水力传导系数可用下列公式计算:

$$\text{层流: } K_f = \frac{K_c \cdot g \cdot b^2}{12VC} \quad (1.2-3)$$

$$\text{紊流: } K_g = 4K_c \sqrt{g \cdot b} \log \frac{d}{\alpha/D} \quad (1.2-4)$$

式中 b ——流渗裂隙的宽度;

g ——重力加速度;

K_c ——裂隙张开面积与裂隙总面积的比值;

α ——裂隙面的绝对粗糙度,即其凹凸高度;

D ——水力直径,按裂隙宽的2倍计算;

c, d ——取决于裂隙相对粗糙度 α/D 的两个系数,当 $\alpha/D > 0.033$ 时, $d = 1.9, c = 1 + 8.8 \left(\frac{\alpha}{D} \right)^{1.5}$ 。

当结构面中充填物质的渗透性高于其两侧岩块的渗透性时,结构面的水力传导系数就相当于充填物质的渗透系数。

结构面的渗透性指标,可以通过室内渗透试验和原位注水、压水和抽水试验来测定。

一般以结构面的抗剪强度和抗摩擦强度,做为结构面的力学指标。结构面的抗剪强度受到多种因素的影响,诸如结构面的张开程度,胶结物性质,充填状况,起伏形态,贯通性状以及裂隙中的水压力等因素都不同程度地影响结构面的抗剪强度。结构面的抗剪强度,可按下列式计算:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1.2-5)$$

式中 τ ——结构面的抗剪强度, KPa;

c ——结构面的内聚力, KPa;

σ ——作用在结构面上的正应力, KPa;

φ ——结构面的内摩擦角,度。

几种常见的结构面抗剪强度参数列入表 1-2-2 中。

结构面的凸凹起伏,增大了其抗剪强度,具有一定起伏度的结构面的摩擦系数可用下列式计算:

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \operatorname{tg}(\varphi + i) \quad (1.2-6)$$

式中 φ_1 ——凸凹起伏的结构面的内摩擦角；
 φ ——平直结构面的内摩擦角；
 i ——结构面的起伏角。

当结构面中软弱夹层的厚度大于起伏差时，结构面的抗剪强度相当于软弱夹层的抗剪强度，此时结构面起伏差对其抗剪强度的影响很小。

表 1-2-2 结构面抗剪强度参数

结构面类型		内摩擦角 φ (度)	粘聚力 C(KPa)
泥化面		10~20	0~0.5
层面	粘土岩层面 泥灰岩层面 凝灰岩层面 页岩层面	20~30	0.5~1.0
	砂岩层面 砂岩层面 灰岩层面	30~40	0.5~1.0
片理面	滑石片岩片理面 云母片岩片理面	10~20	0~0.5
	一般片岩片理面	20~30	0.5~1.0
光滑面		30~40	0.5~1.0
粗糙面		40~48	0.8~3.0

注：本表示包括没有脱开的内层理面、没有脱开的片理面以及已经胶结的破裂面。

裂隙中的水压力，降低了结构面的有效正应力，因而降低了结构面的抗剪强度。充水的结构面的抗剪强度，可按下式计算：

$$\tau = c + (\sigma - u)\operatorname{tg}\varphi \quad (1.2-7)$$

式中 u ——结构面的水压力，KPa；

其余符号意义同前。

结构面在法向应力作用下，可使张开的结构面闭合，或使充填于结构面中的物质压密，从而发生结构面的压缩变形。结构面的压缩变形可用下式计算：

$$W = W_{\max}(1 - e^{-\frac{\alpha}{E_1}}) \quad (1.2-8)$$

式中 W ——结构面的压缩量，mm；

W_{\max} ——结构面可能发生的最大压缩量，mm；

e ——自然对数的底数；

α ——法向应力，KPa；

E_1 ——结构面的法向压缩模量，MPa。

二、结构体

岩体受结构面切割而造成的结构体是多种多样的，但其基本形式为棱体、楔形体、柱体、

块体、锥体等五种(图 1-2-1)。此外,由于岩体的变形及破碎的结果也可形成片状、碎块状、鳞片状、碎屑状等结构体形式。

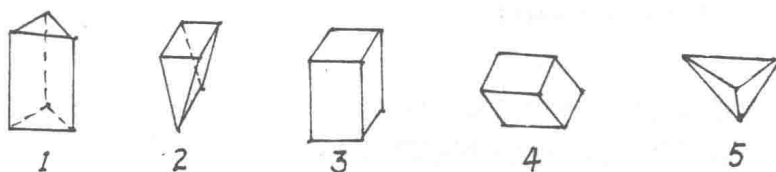


图 1-2-1 结构体形式

1—棱体;2—楔形体;3—柱体;4—块体;5—锥体

结构体现模的变化很大,有的是粒径仅数毫米的岩屑,有的则是块径达数十米的巨大岩块。结构体的工程性质(物理性质、水理性质和力学性质)以组成结构体的岩石的工程性质来表示。

三、岩体

岩体是受到各种性质的软弱面切割面形成的综合体,由于软弱面(结构面)的存在,岩体的强度要低于岩石强度。因而对设置在岩体上或岩体中的各种工程所关心的岩体稳定性问题来说,起决定作用的是岩体强度,而不是岩石强度。

岩体结构是由结构面的发育程度及组合关系,或是结构体的规模及排列形式而决定的。岩体结构类型的划分反映出岩体的不连续性和不均一性特征。岩体结构类型归纳起来可以分为四种类型,列入表 1-2-3 中。

表 1-2-3

岩体结构基本类型

类 型	特 征	亚 类
完整结构	岩体完整或仅有稀疏分布的Ⅳ、Ⅴ级结构面	无裂隙的(愈合型)、有裂隙的
块裂结构	Ⅰ、Ⅱ级结构面将岩石分割为巨大块体	完整块裂、破碎块裂
碎裂结构	数组Ⅲ、Ⅳ级结构面将岩石分割为碎块体	块状碎裂、层状碎裂、镶嵌碎裂
散体结构	多种结构面密集分布,将岩石分割为碎屑、碎片	块状散体、糜棱化散体

注:层理和片理较发育的沉积岩和变岩岩体,可以列为层状结构类型;从岩体的工程技术性质来看,层状结构可以并入块裂结构或碎裂结构。

岩体的物理性质是组成岩体的结构面和结构体在重量、孔隙性、吸水性等方面综合特征。因此,研究岩体的物理性质,先要分别研究结构面和结构体的物理性质,然后再综合评价岩体的物理性质。

岩体的水理性质是组成岩体的结构面和结构体的渗透性、浸水软化性、可溶性、胀缩性和崩解性等方面的综合特征。对于结构体为致密坚硬岩石的岩体,结构面的水理性质对整个岩体的水理性质具有决定作用,特别是岩体的渗透性,主要取决于结构面的渗透性。岩体的渗透性指标,一般通过原位注水、压水和抽水试验来测定。

不同结构类型的岩体,具有不同的水文地质特征,以岩体结构为基础,岩体的水文地质结构分为七种类型,见表 1-2-4。

表 1-2-4

岩体水文地质结构类型

岩体结构	含水体的岩性及其地质特征	岩体的水文地质结构类型
完整结构	致密完整岩石	不透水体
碎裂结构	含水体基本连续分布	碎裂统一含水体
	含水体夹在相对隔水岩石之间	层状碎裂含水体
块裂结构	含水体为充填于结构面中透水性强的物质	脉状裂隙含水体
散体结构	含水体为疏松的岩体	孔隙统一含水体
	含水体为夹在致密岩中的疏松岩体	层状孔隙含水体
空洞结构	含水体为喀斯特化岩体	管状含水体

岩体的力学性质,主要由四个基本因素所决定:结构面的力学性质;结构体的力学性质;岩体结构的力学效应,即结构面的发育组合情况对于岩体强度和变形的影响;岩体的环境因素,特别是岩体中的地应力和地下水的情况。不同的岩体力学介质,其变形和破坏机制也有所差异,其差异性和测试方法列入表 1-2-5 中。

表 1-2-5

岩体力学介质变形破坏机制与测试

岩体力学介质与结构类型	连续介质 (完整结构)	不 连 续 介 质			
		块裂介质 (块裂结构)	碎裂介质 (碎裂结构)	散裂介质 (散体结构)	
变形机制	主要为完整岩石的弹性变形	主要为结构面的压缩和剪切变形	结构面的压缩和剪切变形	散体介质的压密	
破坏机制	完整岩石的拉裂和剪破	沿 I、II 级结构面剪破滑动	沿 III、IV 级结构面剪破滑动	散体介质的剪破滑动	
控制岩体变形、破坏的因素	岩石的力学性质	贯通性的 I、II 级结构面	III、IV 级结构面	散体的密实程度和抗剪强度	
测 试	指 标	岩体强度和变形指标	软弱结构面的强度和变形指标	结构面的强度和变形指标	散体介质的强度和变形指标
	方 法	以室内岩块试验为主	结构面中软弱物质的室内试验和结构面的原位试验	结构面的室内试验和原位试验	以原位试验为主

第三节 土的工程性质

土是由固体(矿物,岩石碎屑)、水和气体组成的质地较松散(同岩石相比较而言)的三相地质集合体。固体颗粒、水和气体之间的比例关系随着周围条件的变化而变化。土固体颗粒的大小、成分及三相之间的比例关系,反映出土的不同性质,如干湿、松密、轻重、软硬等等。它们对评价土的工程性质、进行土的工程分类具有重要意义。

一、土的分类

土按成因、有机质含量、颗粒级配和塑性指数分类列入表 1-3-1 中。

表 1-3-1

土 的 分 类

按成因分类	按有机质含量(Q)分类 %	按 颗 粒 级 配 分 类						按塑性指数分类		
		碎 石 土			砂 土		粉 土		粘 性 土	
		名称	颗粒形状	颗粒级配	名称	颗粒级配	名称	颗粒级配	名称	塑性指数 I_p
残积土	无机土	漂石	圆、亚圆形为主	粒径大于200mm的颗粒超过全重的50%	砾砂	粒径大于2mm的颗粒占全重25~50%	砂质粉土	粒径小于0.005mm的颗粒含量少于土体全重的10%	粉质粘土	$10 \leq I_p \leq 17$
坡积土	($Q < 5$)	块石	棱角形为主		粗砂	粒径大于0.5mm的颗粒超过全重50%				
洪积土	有机质土			卵石	圆、亚圆形为主	中砂				
冲积土	($5 \leq Q \leq 10$)	碎石	棱角形为主			细砂	粒径大于0.075mm的颗粒超过全重的85%	砂质粉土	粒径小于0.005mm的颗粒含量超过土体全重的10%	粘土
淤积土	泥炭质土			圆砾	圆、亚圆形为主					
冰水沉积和冰渍土	($10 \leq Q \leq 60$)	圆砾	圆、亚圆形为主			粉砂	粒径大于0.075mm的颗粒超过全重50%			
风积土	泥炭	角砾	棱角形为主							

注:粉土的塑性指数 $I_p \leq 10$

具有特别工程性质的土称为特殊土,特殊土的种类列入表 1-3-2 中。

表 1-3-2

特殊土的种类

土的名称	主要特征
崩解性土	土在一定压力下浸水时产生的崩解变形超过一定数值
红粘土	碳酸盐岩地区的具有明显的失水收缩性的高塑性红褐黄色粘土
软土	孔隙比大,含水量高,压缩性高,强度低的粘性土和粉土
混合土	粘性土,粉土和碎石土组成的颗粒级配不连续的土
填土	人类活动堆填的土
多年冻土	含有冻结期超过3年的水体的土
膨胀土	在温度和湿度变化时产生明显胀缩变形的土
盐渍土	可溶盐含量较高的土
污染土	由于外来物质的侵入而改变了原有性状的土
湿陷性黄土	在一定力作用下受水浸湿后会发生显著的沉积的土

二、土的物理性质