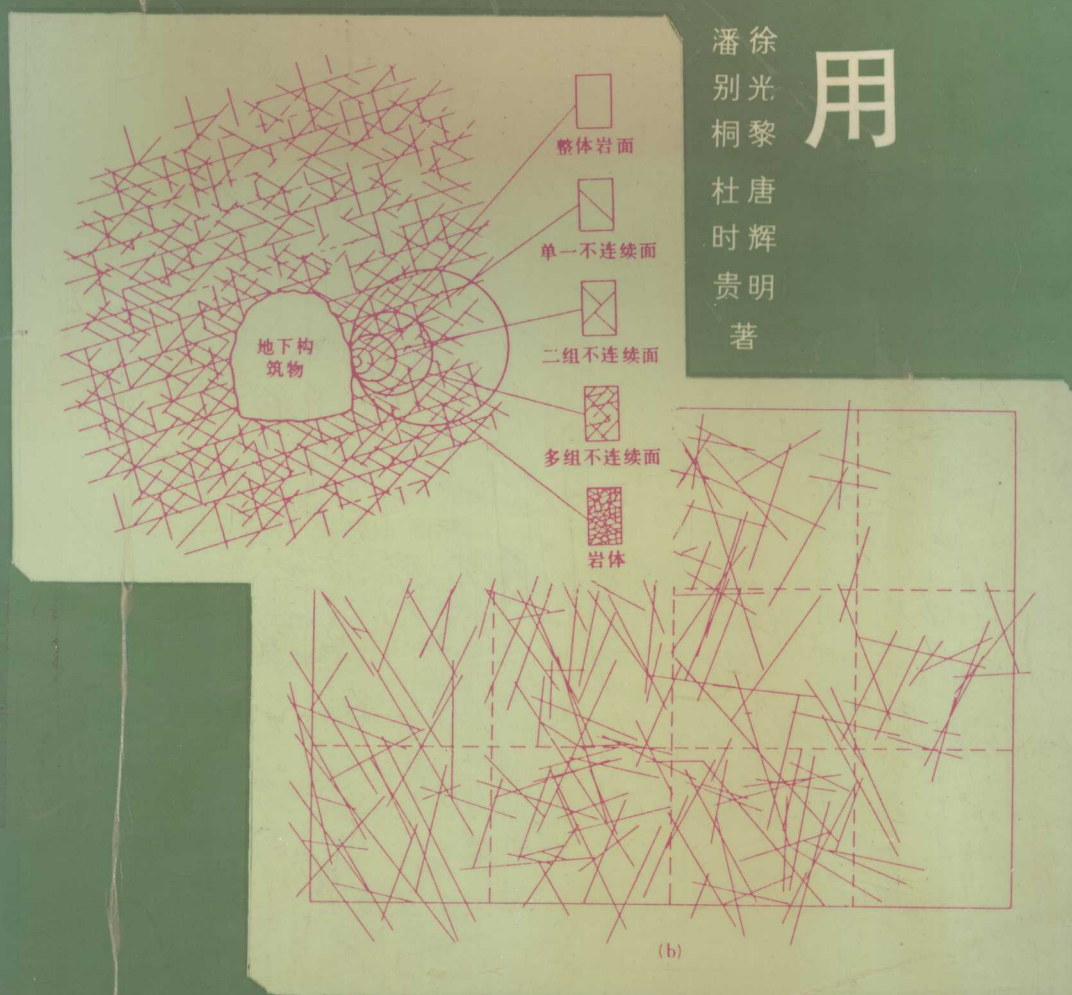


岩体结构 模型与应用

潘徐
别光
桐黎
杜唐
时辉
贵明
著



· (鄂) 新登字第 12 号 ·

· 版权所有 翻印必究 ·

内 容 简 介

作者从岩体结构角度,首次系统阐述了结构面几何特征及其采样建模理论,运用电子计算机仿真原理再现岩体结构概率模型;得出岩体结构的特征参数,并与岩体的强度、变形性质紧密联系,提出用分析分解模型估算岩体力学参数的数字特征,为岩体水力学分析奠定了良好的基础。

本书共分六章,主要论述了岩体结构面的抽样和统计原理;岩体结构概率模型的建立;岩体结构模型在岩体力学、岩体水力学上的探索性应用等三个方面的内容。

书中内容丰富、新颖,充分反映了国内外近年来在这一领域的研究成果和发展动态。本书可供岩土、水利、矿山、地质和水文等部门的技术人员、科学研究人员使用,也可作为高等院校师生、研究生的教材。

岩体结构模型与应用

徐光黎 潘别桐 唐辉明 杜时贵 著

出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 贾晓青 责任校对 徐润英

印 刷 中国地质大学印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 9.75 字数 250 千字

1993 年 9 月第 1 版 1993 年 9 月第 1 次印刷 印刷 1—1000 册

ISBN 7-5625-0846-1/P·292 定价 9.80 元

序

近年来,岩体结构面网络模拟及其几何、力学模型的理论与实践研究取得了长足的发展,这是现代工程地质学、岩体力学与电子计算机技术紧密结合的产物,是工程地质新技术、新理论发展的标志之一。

在工程地质研究的基础上,用统计理论估算岩体几何力学参数是一条很有发展前景的方法,它已在国内外一系列工程活动中得到了广泛的应用。无疑地,这方面的研究对于促进工程地质与岩体力学的不断结合,对于减少野外试验费用、科学合理地进行岩体稳定性分析都具有重要的意义。尤其值得重视的是在结构面网络模拟基础上的岩体力学模型研究,这是具有重要理论和实践意义的基础课题。例如,对于稀疏分布的构造和工程断裂,可以运用岩体断裂力学的理论和方法研究其起始、扩展、终结和相互作用的过程和机制,指导区域岩体稳定性和工程岩体稳定性研究;对于具有随机分布性质的节理、裂隙岩体,则可运用损伤力学和统计断裂理论分析岩体强度和变形破坏规律。

岩体结构模型的理论与实践研究常常必须使用数值模拟技术,有限单元法和边界单元法是常用的方法。如运用边界单元法(不连续位移法)进行断裂参数空间分布的数值模拟就比其他方法更为有效;损伤模型有限单元法比一般有限单元法更能获取岩体变形破坏的真值。因此,岩体力学模型数值模拟的不断完善和发展将是今后研究的又一主攻方向。

我欣喜地看到工程地质教研室的教师和研究人员在本研究领域取得了丰硕的成果,特别在一系列重要工程项目中,将其研究的理论和方法予以完善和发展,对学科的发展作出了贡献。本书体现了他们的部分研究成果,是一本值得推广的好书。

祝愿工程地质事业蒸蒸日上,突飞猛进!

晏同珍

1993年5月于武昌

前 言

岩体的结构特征是控制岩体变形和破坏的决定性因素,而结构面则往往是变形和破坏的关键部位。所以,在岩体工程地质、水文地质和工程建筑设计中,人们越来越重视结构面性状的研究,它一直是现代工程地质、水文地质和岩体力学发展的重要标志和前沿课题之一。

结构面几何特征采样的科学性是结构面研究的前提,而其几何参数的统计分布模型及其统计分析方法的研究一直是国内外探索的热点。它的后续研究主要分为两个方面:一是岩体变形、强度、渗透习性及其它参数的估算,二是岩体变形破坏力学模型及岩体水力学模型的建立。后者已逐渐成为该研究领域的重点和难点,它可以直接应用于解决工程实际问题。

我们的研究工作是从80年代前期开始的,有关研究成果在三峡坝区、湖北荆襄磷矿、洛阳龙门石窟、黄河小浪底水库、河南下汤水库、四川大渡河瀑布沟水库、湖北铜绿山矿等十几个重大工程问题论证中得到了成功的应用。目前,我们的有关研究正在不断深入和发展,其研究重点是断裂化岩体力学模型的完善与发展。

本书是我们研究成果的一部分,其中一些在国内外有关刊物或学术会议上发表过。为了使内容形成完整的系统,也适当融进了部分国内外的研究成果。

作者特别感谢湘潭矿院熊承仁老师,他在结构面网络软件系统的开发方面取得了重要的研究成果,为研究工作做出了特殊的贡献。我们感谢张勇、曹美华、刘丰收、吴旭君及方云、刘佑荣、滕伟福等同志多年来在研究工作中所作出的贡献。我们还要感谢陈崇希教授,我们不断受益于与他进行的学术讨论。

姜同珍教授一直参与或指导了部分研究工作,在本书出版之际,他又欣然作序,体现了老一辈工程地质学家对课题研究的鼓励与促进。在本书初稿完成后,承蒙陶振宇教授、朱瑞骥教授审阅,提出了不少宝贵意见。中国地质大学水工系和工程教研室的不少老师十分关注本书的出版工作,并给予了支持,特此致谢!

书中不妥之处,敬请指正。

作 者

1993年5月于武昌

目 录

第一章 结构面地质特征及其采样原则和方法	(1)
第一节 结构面的地质特征	(1)
第二节 岩体结构类型	(6)
第三节 结构面几何特征的采样原则	(9)
第四节 结构面几何特征精测线量测方法	(9)
第五节 结构面几何特征摄影量测方法	(16)
第二章 结构面几何特征概率统计分析	(20)
第一节 概述	(20)
第二节 结构面形态	(21)
第三节 结构面方位概率统计分析	(22)
第四节 结构面间距和密度概率统计分析	(25)
第五节 结构面规模概率统计分析	(33)
第六节 结构面隙宽概率统计分析	(45)
第七节 岩石块度估算	(48)
第八节 结构面连通性因数估算	(51)
第九节 结构面粗糙度分析	(53)
第十节 优势结构面几何特征概率分析	(58)
第十一节 误差分析	(61)
第三章 岩体结构概率模型模拟	(69)
第一节 随机变量的数字特征	(69)
第二节 随机变量及其概率分布	(71)
第三节 概率分布类型的选择与检验	(75)
第四节 随机数的产生及计算机程序	(78)
第五节 Monte-Carlo 计算机模拟步骤	(83)
第六节 岩体结构计算机模拟	(84)
第四章 岩体力学参数经验估算和岩体破坏概率分析	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 岩体质量评价方法	(91)
第三节 Hoek-Brown 经验判据	(92)
第四节 其他经验判据	(93)
第五节 岩体变形模量经验估算	(98)
第六节 岩体破坏概率分析	(101)
第五章 用分析分解模型估算岩体强度和变形习性	(104)
第一节 概述	(104)

第二节	岩体力学参数的分析分解模型.....	(106)
第三节	确定岩体变形模量的等效应变模型.....	(115)
第四节	展望.....	(125)
第六章	岩体水力学特征.....	(126)
第一节	概述.....	(126)
第二节	结构面连通网络的形成.....	(127)
第三节	岩体渗流的基本方程.....	(129)
第四节	结构面网络渗透率张量.....	(131)
第五节	渗流场与应力场的耦合分析.....	(138)
参考文献		(145)
英文摘要		(147)

CONTENT

CHAPTER 1	GEOLOGICAL CHARACTERISTICS, RULES AND METHODS OF SAMPLING	
	OF DISCONTINUITIES	(1)
Section 1	Geological characteristics of discontinuities	(1)
Section 2	Patterns of rock mass structure	(6)
Section 3	Sampling rules of geometrical characteristics of discontinuities	(9)
Section 4	Scanline sampling method of geometrical characteristics of discontinuities	(9)
Section 5	Photogrammetric method of sampling of discontinuities	(16)
CHAPTER 2	STATISTICAL ANALYSIS OF GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF	
	DISCONTINUITIES	(20)
Section 1	Introduction	(20)
Section 2	Shapes of discontinuities	(21)
Section 3	Statistical analysis of the orientation of discontinuities	(22)
Section 4	Statistical analysis of the spacing and density of discontinuities	(25)
Section 5	Statistical analysis of the size of discontinuities	(33)
Section 6	Statistical analysis of the aperture of discontinuities	(45)
Section 7	Estimation of intact rock dimensions	(48)
Section 8	Estimation of connective coefficient of discontinuities	(51)
Section 9	Analysis of roughness coefficient of discontinuities	(53)
Section 10	Statistical analysis of geometrical characteristics of key discontinuities	(58)
Section 11	Error analysis	(61)
CHAPTER 3	STATISTICAL MODELLING OF ROCK MASS STRUCTURE	(69)
Section 1	Characteristic values of random variables	(69)
Section 2	Random variables and probability distributions	(71)
Section 3	Selection and test of the types of probability distribution	(75)
Section 4	Production of random number and its computer program	(78)
Section 5	Steps of Monte-Carlo simulation	(83)
Section 6	Computer modelling of rock mass structures	(84)
CHAPTER 4	DETERMINATION OF STRENGTH AND DEFORMATION MODULUS BY	
	EMPIRICAL CRITERIA	(89)
Section 1	Introduction	(89)
Section 2	Evaluation of rock mass quality	(91)
Section 3	Hoek-Brown empirical criterion	(92)
Section 4	Other empirical criteria	(93)
Section 5	Empirical estimation of deformation modulus	(98)

Section 6	Probabilistic analysis for stability of rock mass	(101)
CHAPTER 5 ESTIMATION OF STRENGTH AND DEFORMATION MODULUS WITH		
ANALYTICAL DECOMPOSITION MODEL		(104)
Section 1	Introduction	(104)
Section 2	Analytical decomposition model for mechanical parameters of rock masses	(106)
Section 3	Equivalent strain model for the determination of deformation modulus of rock masses	(115)
Section 4	Prospection	(125)
CHAPTER 6 HYDRAULIC CHARACTERISTIC ANALYSIS OF ROCK MASSES		(126)
Section 1	Introduction	(126)
Section 2	Formation of connective networks of discontinuities	(127)
Section 3	Basic flow equations of rock masses	(129)
Section 4	Permeability tensor of discontinuity network	(131)
Section 5	Coupling analysis of flow and stress field	(138)
REFERENCES		(145)
ABSTRACT		(147)

第一章 结构面地质特征及其采样原则和方法

我们所研究的对象——岩体,是赋存于一定地质环境,由各种各样的结构面所切割,且具有一定工程地质特性的岩石综合体,后期不仅经受了不同时期、不同规模和不同性质的构造运动的改造,同时还经受了外营力次生作用的表生演化。在岩体内存在的不同成因、不同特性的地质界面,包括物质分界面和不连续面,如层面、节理、断层、裂隙等统称为结构面或节理面。这些结构面依自己的产状,彼此组合将岩体切割成形态不一、大小不等以及成分各异的岩块,这些由结构面所包围的岩块称为结构体。也即,岩体是由结构面和结构体两个基本单元所组成的(谷德振,1983)。

岩体是有自身结构的。岩体结构控制着岩体力学性质和岩体力学作用,即控制着岩体变形和破坏规律。岩体结构的基本特点是不连续性,或者说,岩体在各种结构面切割下具有一种割裂结构,我们视这种不同类型的岩体结构单元在岩体内组合、排列形式定义为岩体结构。因而,建立正确合理的岩体结构模型是极为重要的。下面首先简述结构面、结构体的地质特征,然后在分级基础上,讨论结构面和现场量测原理和方法。

第一节 结构面的地质特征

一、结构面的成因类型

结构面的工程地质和水文地质性质和它的地质成因和力学成因密切相关。

按地质成因,可以分为原生结构面、构造结构面和次生结构面。

1. 原生结构面

在成岩过程中形成的结构面称为原生结构面。原生结构面的特征与岩体成因紧密相关,按成因又可进一步划分为沉积结构面、火成结构面和变质结构面三类。

原生结构面中,除部分已经分离的结构面外,多有不同程度的连结力和较大的强度。

2. 构造结构面

构造结构面是岩体形成后的构造运动过程中产生的破裂面,如断层、节理、劈理等。

构造结构面大多是脱开的,大多充填有厚度不等的、性质和连续程度相异的充填物,其中部分已泥化,或者已变成软弱夹层。因此,大部分构造结构面,对岩体稳定性、水文地质特性的影响是显著的,所以是重要的研究对象。

3. 次生结构面

次生结构面是岩体形成以后,在外营力作用下产生的那些结构面,如卸荷裂隙、风化裂隙等。

次生结构面的空间分布,往往受地形、水文地质条件、原有结构面发育情况以及岩性岩相

所控制。一般它延续性差,深度不大,方向紊乱,对岩体力学、水力学性质有一定的影响。

鉴别结构面的力学成因,不仅可以推断结构面的强度特性和渗透性能,而且还可以研究岩体在构造应力场作用下,发生变形和破坏的过程,为研究岩体的变形和破坏理论提供重要信息。

根据力学观点,结构面可分为张性结构面和剪性结构面两类。

1. 张性结构面

张性结构面是由张应力产生的破裂面,具有如下特征:

(1)张性结构面产状不甚稳定,延伸不远,单条节理短而弯曲,常侧列产出(图 1-1);

(2)张性结构面粗糙不平,无擦痕;

(3)在胶结不太坚实的砾岩或砂岩中的张节理常常绕砾石或粗砂粒而过,如切穿砾石,破裂面也凹凸不平;

(4)张性结构面多开口,一般被矿脉充填。脉宽变化较大,随深度而减小,壁面不平直;

(5)张性结构面有时呈不规则的树枝状,各种网络状,有时也追踪 X 型节理形成锯齿状张节理、单列或共轭雁列式张节理,有时也呈放射状或同心圆状组合形式。

因此,张性结构面常具有含水丰富、导水性强、抗剪强度高等特征。

2. 剪性结构面

剪性结构面是由剪应力产生的破裂面,具有以下主要特征:

(1)剪性结构面产状较稳定,沿走向和倾向延伸较远;

(2)剪性结构面较平直光滑,有时具有因剪切滑动而留下的擦痕,未被矿物充填时是平直闭合缝,如被充填,脉宽较为均匀,壁面较为平直;

(3)发育于砾岩和砂岩等岩石中的剪节理,一般穿切砾石和胶结物;

(4)典型的剪节理常常组成共轭 X 型节理系,X 节理发育良好时,则将岩石切成菱形,剪性结构面往往成等距排列;

(5)主剪裂面由羽状微裂面组成,羽状微裂面与主剪裂面交角一般为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,相当于内摩擦角的一半(如图 1-2)。

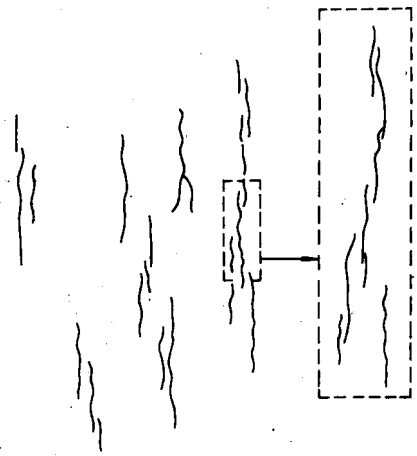


图 1-1 张节理的侧列理象(据马宗晋等,1965)

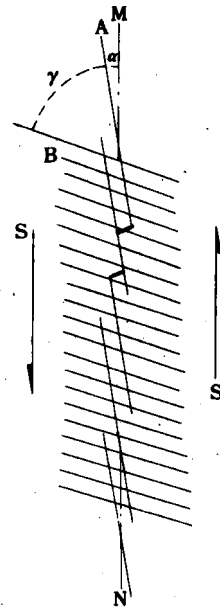


图 1-2 剪切实验形成的两组共轭剪节理 A 与 B^[6]

A 组羽列微剪裂面与主裂面(MN)夹角为 α , 不超过 15°

二、结构面发育的韵律特征

1. 等距性

结构面发育规律中一个十分有意思而又十分重要的现象,就是结构面的等距性,即同一组结构面在一定范围内一定尺度上具一定的间距。它提供给我们研究岩体结构及岩体力学、岩体水力学模型的一个重要依据,可以帮助我们判断和指导寻找隐伏的不同级序的结构面以及各结构面的力学特性。

结构面在很大标度区间都显示出它的等距性。例如小到实验室单轴抗压强度后的破裂情况,也常发现在裂破带周围,剪张破裂将岩石劈成厚度几乎相等的岩片;在板岩夹层内发育的破劈理,亦具有等距性;节理发育的等距性更是常见;大至洋底断裂,在一定区间内,间距也基本相等;陆地上的深大断裂,大体上亦具有等距性(孙广忠,1988)。由此可见,结构面的等距性是地质作用中的一个普遍规律。

结构面的等距性,受以下几种因素影响:

(1)岩石的力学性质 岩石强度大的,结构面比较稀疏,反之,结构面就密集;

(2)应力的强弱 应力作用强,结构面间距小,反之则大;

(3)褶皱断层等构造边界条件所引起的应力集中 在应力集中处,结构面发育密度大,反之亦然;

(4)岩层的厚度 同一种岩层,厚度大者,结构面稀疏,厚度薄者,结构面发育相对密集一些。孙广忠(1988)的资料表明,节理间距大体上等于所切割的岩层厚度的0.5~2倍,多数为1:1,岩浆岩亦有类似规律(图1-3)。拉茨(1962)认为,岩层厚度和结构面平均间距之间的关系具有抛物线特征,即

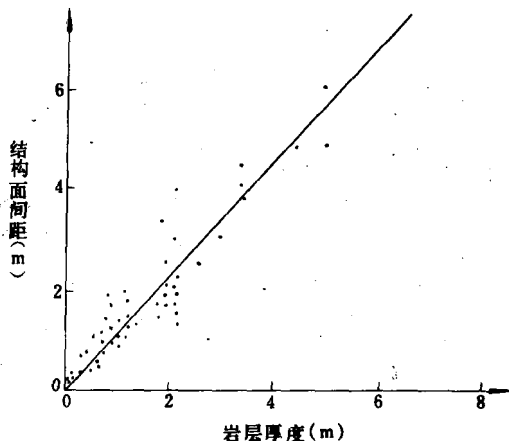


图1-3 结构面间距与岩层厚度关系(据孙广忠,1988)

$$d = bM^k$$

(1-1)

式中: d 为结构面间距; M 为岩层厚度; b 和 k 为比例因数。当对垂直层理计算时, b 和 k 分别等于2.8和0.41;当对倾斜层理计算时, b 和 k 分别等于1.63和0.56。之后,还有人提出了结构面间距与岩层厚度的平方根成正比的结论(舍尔曼,1977)。

2. 韵律性

结构面的发育除了等距性外,还表现了韵律性的特征,即结构面发育疏区(带)和密区(带)相间分布,区(带)与区(带)之间又有一定间距。而且,结构面的疏区(带)和密区(带)大体也呈现等距性的特点。图1-4为湖北荆襄磷矿王集矿中采区135中段结构面发育的韵律特征。图中的断层和大型节理显示出疏密相间的韵律分布,而且,经大量的统计,其中发育的次级结构面也不例外,与波谱传递规律相似。

上述的结构面发育的等距性和韵律性问题,由于自然条件的复杂性,未弄清其形成机制。

目前有两种理论模式:

(1)饱和模式 这种模式认为在变形材料中各个破裂先后形成,但在已形成的破裂构造的最近距离内不可能产生新的破裂,这个过程发展下去使一定范围内岩体的各可能的位置都被结构面占据为止。因此,各相邻破裂之间就保持一定区间的大致相等的间距。

(2)传播模式 即由于材料的非均匀性先产生一个破裂,早生成的破裂激发了邻近的一定距离产生新的破裂。这个过程继续下去就形成了一条又一条新的等间距的破裂(Cobbold 和 Ferguson, 1979)。其实,由于岩石介质的不均质性、地质环境的差异和所处地质构造部位的不同,导致地应力场分布的不均,就可使结构面发育呈韵律规律。

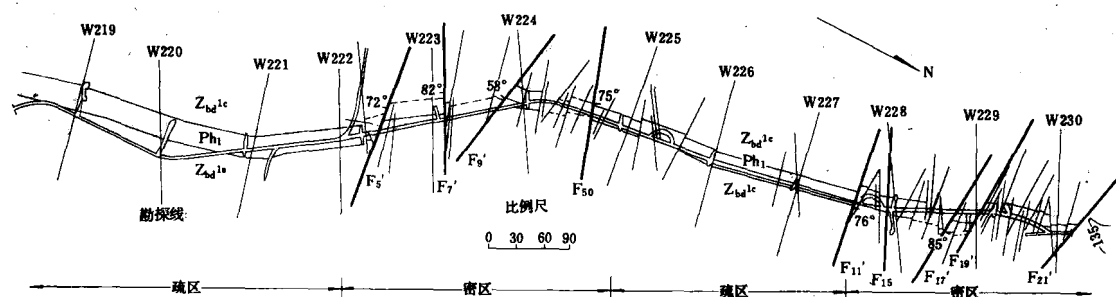


图 1-4 王集矿中采区 135 中段结构面发育的韵律特征

结构面发育的韵律特征,就要求我们在结构面现场量测中,在岩体结构概率模型建模过程中,必须分区、分段地进行,在相对均一的结构区中抽样和建模。如此,建立的岩体结构模型才有针对性,才能反映客观自然特性。否则,采样和统计的规律性就会失真而变得毫无意义。

三、结构面分级

从认识论观点上看,人们对一项具体工程建筑地段所处的岩体工程地质特征的认识和评价,总是由浅到深、由远及近、由大到小的,把区域稳定性评价、山体稳定性评价与工程具体部位岩体的稳定性研究相结合,探讨深大断裂近期活动性,研究各种地质结构面的空间分布及其相互组合对岩体稳定性的影响。而各种结构面随其发育的规模不同,在分析中所处的地位就不同。因此,对结构面的规模及其对岩体性质所起作用进行分级研究,区别对待,有助于在实际工作中能区别主次,做到层次清晰。

谷德振教授(1979)根据结构面的延展性以及其纵深发育和宽度的大小,对结构面作了五级划分。划分如下:

1. I 级结构面

一般泛指对区域构造起控制作用的断裂带,它包括大小构造单元接壤的深大断裂带,是地壳或区域内巨型地质结构面。不仅走向上延伸甚远,一般数十公里以上,纵深方向延伸至少可以切穿一个构造层,而且破碎带的宽度至少也在数米以上。

I 级结构面的存在直接关系到工程所在区域的稳定性,直接控制该区褶皱、断裂的展布规律和格局。因此,应特别重视研究它们尤其是交汇处的力学成因、破碎带宽度、物质成分、碎屑充填物的力学和变形性质和水理性质等等。

2. II 级结构面

一般指延展性强而宽度有限的区域性地质界面,如不整合面、假整合面、原生软弱夹层,也包括延展数百至数千米,延深数百米以上,但宽度1m上下(不超过3~5m的),贯穿整个工程区或切穿某一具体部位的断层、层间错动、接触破碎带、风化夹层等。

I级结构面的存在和组合,往往控制了山体稳定性和岩体稳定性,影响工程的具体布局。因此,应重视它们与I级结构面的相互组合情况及其本身的产状、形态变化、结构面的物质组成和水文地质条件的研究。

3. II级结构面

包括走向上、纵深方向上延伸有限,一般在数百米范围内的断层、挤压或接触破碎带、风化夹层,其宽度1m左右,也包括宽度数十厘米以内的、走向和纵深延伸断续的原生软弱夹层、层间错动等。

II级结构面直接影响工程具体部位岩体的稳定,控制着岩体的破坏,制约着块体滑移的机理。

4. III级结构面

延展性差,无论是走向上还是纵深方向上的发展均是有限的,一般在数米范围内,大者不过20~30m,无明显宽度。即岩体中断续分布的裂隙,主要是节理,也包括层面、片理面、原生冷凝节理和发育的劈理等。它们仅仅在小范围内,局部地把岩体切割成岩块,在岩体中是普遍、大量地存在着。但这些结构面的发育,往往受上述各级结构面所制约。

III级结构面在岩体中,存在数量之大,是任何工程、任一部位都要遇到的。它们的存在不仅破坏了岩体的完整性,直接影响岩体的力学性质和应力分布状态,而且在很大程度上影响着岩体的破坏方式。由于这级结构面发育程度、分布状态和组合排列情况的不同,就构成了岩体工程地质特性不同的分段性。因此,在野外必须广泛、深入、细致地进行研究,弄清它们的特性和展布规律。III级结构面就是本书论述的重点。

5. IV级结构面

延展性甚差、无厚度之别、分布随机、为数甚多的细小的结构面,主要包括微小的节理、劈理、隐微裂隙、不发育的片理、线理、微层理等。它们的发育受上述诸级结构面所限制。

IV级结构面的存在,降低了由III级结构面所包围的岩块强度,即主要影响岩块的强度以及岩块破坏方式。

综上所述,各级结构面对岩体力学性质及稳定性所起的作用是不同的。I级结构面关系到岩体的区域和山体稳定性,若在工程具体部位出现这种规模巨大的结构面,那是十分复杂危险的,所以应尽量避免。I级结构面影响着山体稳定性和工程总布局,控制岩体的稳定性,是岩体力学作用的边界。II级结构面直接影响着工程岩体的稳定性,同样可以构成力学作用的边界,制约着岩体的破坏方式。I、II级结构面之间的彼此组合,构成可能的滑移体,往往威胁着工程的安全。III级结构面的发育情况,直接反映了岩体的完整性,控制着岩体的强度,由于结构面发育程度不同,特性的差异和组合状态的不同,都影响到岩体的工程地质特性和受力后岩体变形、破坏的方式。IV级结构面主要影响岩块强度及岩块破坏方式。

对于I、II和III级结构面而言,在工程岩体具体的部位出露的数量毕竟是极其有限的,因而可以认为这些结构面是具体的、确定性的,可以通过野外细致的研究逐一确定出来。对于IV级结构面,尽管它数量甚多,分布随机,但它主要是影响岩块的强度和变形性质,对岩体不产生直接影响或控制作用,而且这级结构面的影响已在岩块的力学强度和变形性质中得到充分的

体现。所以,从这一角度讲,V级结构面可以不作专门研究。而Ⅳ级结构面,不仅发育的数量巨大,而且相互之间的限制交切关系极为复杂,仅靠野外的露头调查观察,是不可能一一查明的。即可以认为Ⅳ级结构面是不确定的,呈随机分布。因而,我们采用通过现场的Ⅳ级结构面的实地量测,建立起结构面几何参数的概率统计模型,然后由电子计算机模拟再现这样一条研究思路来建立正确的岩体结构模型。

再次重申,由于各级结构面的自然特性、展布密度、岩石性质的不同,使结构体的大小、形态、排列组合及其强度和变形性质都不相同,即不同的区、段的岩体的工程地质特性就不相同。所以,必须在工程地质分区的基础上,分区、分段地进行实地量测和建模,才能反映出客观存在的岩体差异性特征。

第二节 岩体结构类型

在客观岩体中由于其结构不同,所具备的特性不一,因此,所反映的力学性能有很大差别。岩体结构类型的划分,是在对结构面、结构体自然特性及其组合状况研究的基础上进一步的概括。下文首先在结构面分级基础上作相应的结构体分级,然后进行岩体结构分类。

一、结构体分级

结构面规模的不同,它们之间相互组合所切割包围的结构体必然有大小之别。这些大小悬殊的结构体,在岩体稳定性分析中所起的作用也不同,所要研究的重点也不一样。谷德振教授(1979)根据各级结构面的组合,对结构体作了四级划分。

1. I级结构体——地质体或断块体

地质体系指在区域范围内,由I级结构面的相互组合所包围的地质体。它是由不同时代、多种建造类型的岩层组成,其中发育断裂和褶皱。I级结构体中,I级、Ⅱ级结构面普遍发育,而Ⅳ级、Ⅴ级结构面为数无穷,或者说地质体是为数甚多的I级结构体和无数的Ⅱ级、Ⅳ级结构体所组成。

除线路工程、巨型水库等能跨越两个以上的I级结构体外,一般工程总是置于I级结构体范围内的某一具体部位。所以,I级结构体实际上是区域稳定性问题。

2. Ⅱ级结构体——山体

它是在地质体中,由Ⅱ级结构面或Ⅱ级与I级结构面之间的相互组合所包围的山体。它是由不同工程地质岩组所组成的,或者说是由不同时代的、具有不同工程地质特性的岩层所组合。其中,同样发育有断裂和褶皱,Ⅱ级结构面众多,Ⅳ、Ⅴ级结构面数不胜数。换言之,范围较大的山体是许多Ⅱ级结构体和无数Ⅳ级结构体的集合体。

一般具体工程座落于山体之中,有的也可延伸或跨越相邻的Ⅱ级结构体。所以研究山体结构特征,就是研究工程岩体的稳定性。

3. Ⅲ级结构体——块体

块体是指在地质体或山体中,由Ⅲ级结构面之间、或Ⅲ级与I、Ⅱ级结构面之间,甚至可以与Ⅳ级结构面密集带之间所切割包围的岩体。往往是由一个或特性相近、无软弱结构面相隔的相邻的工程地质岩组所组成。

块体及其相邻块体的稳定性问题,实质上就是岩体稳定性问题,有时也波及到山体的稳

定。

4. N级结构体——岩块

岩块是工程岩体的最基本组成单元之一,是岩体中N级结构面之间或N级与I、II级结构面之间相互组合所包围的岩石块体,赋存于上述各级结构体之中。

N级结构面及其切割所包围的岩块,是一般岩体结构类型研究的主要对象。

在结构面分级的基础上所作相应的结构体的分级是非常必要的。实际上,对不同规模的岩体工程地质问题,就是要抓住相应级别的结构面和结构体的评价。对某一特定工程而言,其更大级的结构体的研究给出背景条件,本级的研究给出问题的边界,次一级结构体的研究给出问题的特性参数。这与描述自然界复杂性的分形几何学的思想是完全吻合的。从这一意义上讲,工程岩体的研究范围往往比工程建筑直接涉及的范围更大。

二、岩体结构类型

岩体结构类型的划分,是在对结构面、结构体自然特性及其组合状况研究的基础上进一步的概括,其目的就是进行岩体的稳定性评价。所以,岩体结构类型的划分应反映岩体结构的特性,要充分考虑岩石的组合特征和构造变形程度,依据结构面和结构体组合情况及其接触状态,体现出工程地质特性和工程作用下不同岩体的不同反映,这是进行岩体结构类型划分的最基本原则。

根据工程的实践经验,谷德振、王思敬(1985)将岩体结构划分为整体块状、层状、碎裂结构和松散结构四大类。整体块状和层状结构基本上保持岩石建造阶段形成的原生结构,当然,也会受到一定程度的构造变形和次生变动,但未受本质的改造。破裂结构是受到强烈的构造变形和次生改变作用而形成的。原生结构受到强烈的扰动和破坏,最严重者变为松散结构。在工程应用中,根据结构面的发育程度和组合特征可进一步划分为亚类,它们的特性又有一定的差别(表1-1)。

[例] 湖北王集磷矿的磷块岩产于震旦系陡山沱组碳酸盐岩系地层中,其所处的地质条件如图1-5所示。磷块岩构造层与下伏的前震旦系变质岩基底呈角度不整合接触。具有工业开采价值的是第一和第三磷矿层。第一磷矿层的直接底板是含锰白云岩,厚1m,极易风化氧化,性质软而疏松。第三磷矿层直接顶板0.8~0.9m处,有一沉积间断面,经构造变动作用,发生错动、泥化,工程性质极差。

根据上述,我们作如下划分:

I级结构面和II级结构体:矿区中三层矿顶部中的层间错动面、一层矿底板软弱层和 F_8 、 F_{27} 断层为矿区岩体中的I级结构面。其中 F_8 延伸长度大于2km,宽度达24m,是王集矿与龙会山矿区分界线; F_{27} 断层延伸长度大于1km,宽度7m,是中采区与北采区岩体分界面。由此交切而成的结构体,相当于中、南采区的全部范围,也相当于小天摩岭和上马山的山体范围,故称II级结构体为山体。

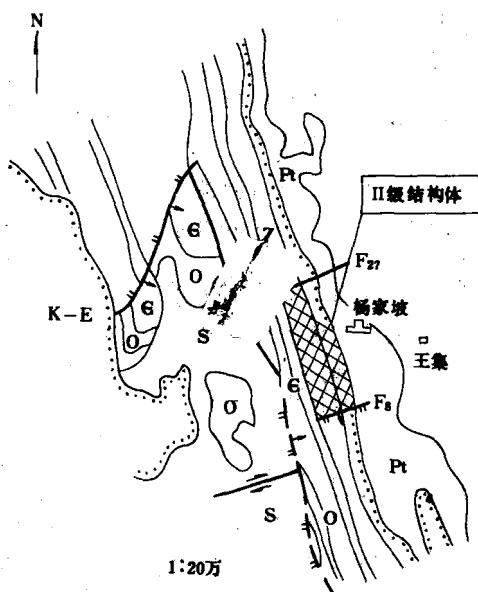


图1-5 王集矿I级结构体范围示意图

表 1-1 岩体结构分类

(据谷德振、王思敬,1985)

岩体结构		地质类型	质量指标		地下工程(跨度 5m)施工措施		
类型	亚类		声波指数 (Zd)	质量系数 (I)	稳定评价	施工方法	支护方法
块状结构	整体	巨厚层及完整层体,节理稀少	20000~50000	2.5~20	稳定良好	全断面开挖 导洞扩挖	局部喷锚
	块状	厚层的岩层及块状层体,节理一般发育	10000~20000	1~10	稳定良好	导洞扩挖 危岩加锚	全部喷层 局部加锚
	裂隙块状	中厚层的岩层及块状岩体中节理交叉切割	2000~10000	0.3~3	稳定良好	先爆导洞扩挖 危岩尽早锚喷	一般喷锚
层状结构	互层	软弱相间的砂、页岩及灰、页岩互层岩体	5000~10000	0.2~3	稳定较好	先爆导洞扩挖及少切层,尽快锚喷	一般喷锚,局部加锚或挂网
	间(夹)层	硬层间夹软层	5000~10000	0.5~5	稳定较好	先爆导洞扩挖,尽量少切层,局部锚固	一般喷锚 局部加锚
	薄层	薄层及片状岩体,片岩,千枚岩	5000~10000	0.1~3	稳定一般	小炮开挖,及时喷层	加强喷锚挂网
	软层	均一软弱沉积岩体,如页岩、粘土岩	5000~10000	0.1~1	稳定一般	小炮开挖,及时喷锚	加强喷锚挂网,局部加喷
碎裂结构	镶嵌	均一坚硬岩体的压碎岩,裂隙张开夹泥	1000~2000	0.2~2.5	稳定一般	小炮开挖,喷锚紧跟	加强喷锚挂网,局部加喷
	碎裂	均一岩体的破碎岩,裂隙张开夹泥	100~1000	0.05~1	稳定较差	小炮开挖,喷锚紧跟,必要时先墙后拱	加强喷锚,局部加网,深锚内衬
	层状碎裂	层状岩体的破碎岩,层面及裂隙张开夹泥	70~500	0.01~1	稳定较差	小炮开挖,喷锚紧跟,必要时先墙后拱	加强喷锚,局部加网,加喷,局部内衬
松散结构	松散	岩体破碎成大小不等的岩块、岩屑和团粒	50~100	0.01~0.1	稳定性差	小炮开挖,喷锚紧跟,必要时特殊施工(如冻结)	稳定差,加强喷锚,加网喷,内衬反拱
	松软	岩体由大泥块、泥团及岩屑、岩粉、碎块构成	50~100	0.002~0.1	稳定性差	小炮开挖,喷锚紧跟,必要时特殊施工(如冻结)	加强喷锚,加网喷,内衬反拱

Ⅲ级结构面和Ⅲ级结构体,如中采区的 F_6 、 F_7 、 F_9 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{15} 、 F_{17} 和 F_{21} 等为Ⅲ级结构面,延伸长度70~330m(图1-4)。由此交切而成的块体,规模大致与采空区扰动范围相当,并直接与采场岩体稳定性有关,故称Ⅲ级结构体为工程岩体。王集矿岩体共有35个Ⅲ级结构体组成。

N级结构面和N级结构体,矿区内普遍发育,延展性差,长度在数米,最长不超过20~30m的,无明显隙宽的结构面为N级结构面,由其交切而成的岩石块体为N级结构体。由于N级结构体内已无宏观的结构面,所以N级结构体可视为完整岩石块体——岩块。王集矿区由无数个N级结构面和结构体组成。

根据表1-1方案,王集矿岩体结构为层状结构中的间(夹)层类结构。

第三节 结构面几何特征的采样原则

结构面几何特征的采样技术和方法各不相同。例如, Rosengren(1968)依靠铅孔岩心测定结构面方位; Eoek 和 Pentz(1968)除了常规测绘技术外, 还采用了 NX 钻孔连拍照相和赤平投影研究岩石表面特性; Ross-Brown 和 Atkinson(1972)、Moore(1974)、Hagan(1978)等人发展了摄影量测方法确定结构面的方位和规模; Jennings(1970)、Piteau(1970)首先提出采用一系列的精测线(scanline)来调查结构面。从统计学上来看, 精测线方法是目前最切实可行的量测方法, 也是最常用的方法。

结构面几何特征的现场采样一般可分为三个阶段:

- (1)采样的可行性;
- (2)周密的计划;
- (3)现场量测实施。

每一阶段的详细程度可视具体工程而变化, 没有作硬性规定的必要。

为了使现场量测到的结果具客观性和成果分析的可靠性, 建立一些原则是很有必要的。

首要原则是划分合理的相对均一的结构区。根据结构面几何特征和岩性组合特征, 划分出一些区域(domains), 我们称之为结构区, 使得在同一结构区内的结构面展布、组合形态具有相似性, 在统计意义上其系统特征相同。这是结构面几何特征采样、统计的前提。因此, 必须充分研究和掌握一个地区的构造地质、工程地质等背景性资料。

除此之外, 在采样中还要遵循以下原则:

(1)最理想的情况是在三个正交方向上布置测线, 以保证把岩体中发育的所有结构面都量到, 可是, 一般情况下, 垂直方面测线难以量测, 即使可以量测, 能量测的距离也很短, 为此, 可以采用几条短的垂直测线连起来的办法;

(2)测量的露头面应平坦, 因为起伏不平的露头面给迹长和间距量测造成困难, 但有时对方位量测不利;

(3)露头面必须新鲜, 未扰动, 不曾受爆破、倾倒破坏、风化剥蚀和植物生长等不利因素影响, 以保证量测数据可靠性;

(4)露头面面积应尽可能大, 以保证足够的数据样本, 尽可能多地测出半迹长;

(5)最理想的量测地点是垂直露头面, 这种垂直露头面能保证量测精度, 而且还可采用统计窗方法进行量测, 结果便于验证, 但垂直露头面上量测难度较大, 因此可以采用大地摄影测量方法把露头面拍成照片, 再进行结果处理;

(6)量测过程中不宜频繁变更人员、设备和方法, 以减小量测误差;

(7)工作区应选择在安全地带, 工作时要戴安全帽, 尤其是采石场, 要注意爆破时间, 并得到有关部门同意后才能进行量测。

第四节 结构面几何特征精测线量测方法

Robertson(1970)、Piteau(1970)是最早介绍结构面精测线量测方法的, 并为许多学者所推广, 如 Bridges、Priest 和 Hudson、Steffen 等人, Barton、Farmer 和 Attewell、Hoek 和 Bray 等人。精测