

中华人民共和国国家标准
工程岩体分级标准

GB 50218—94

条文说明

制订说明

本标准是根据国家计委计标发[1986]28号文和计标函[1987]39号文的要求,水利部负责主编,具体由水利部长江水利委员会长江科学院会同东北大学、总参工程兵第四设计研究院、铁道部科学研究院西南分院、建设部综合勘察研究院共同编制而成,经建设部1994年11月5日以建标[1994]673号文批准,并会同国家技术监督局联合发布。

在本标准的编制过程中,标准编制组进行了广泛的调查研究,认真总结我国各有关行业在岩石工程建设和工程岩体分级(类)方面,以及岩石力学试验研究方面的实践经验,同时参考了国外先进的工程岩体分级(类)方法,并广泛征求了全国有关单位的意见。最后由我部会同有关部门审查定稿。

鉴于本标准系初次编制,在执行过程中,希望各单位结合工程实践和科学研究,认真总结经验,注意积累资料,如发现需要修改和补充之处,请将意见和有关资料寄交水利部长江水利委员会长江科学院(湖北省武汉市黄浦路23号,邮编430010),并抄送水利部科教司,以供今后修订时参考。

目 次

1 总则	(3)
3 岩体基本质量的分级因素	(4)
3.1 分级因素及其确定方法	(4)
3.2 岩石坚硬程度的定性划分	(5)
3.3 岩体完整程度的定性划分	(6)
3.4 定量指标的确定和划分	(8)
4 岩体基本质量分级	(11)
4.1 基本质量级别的确定	(11)
4.2 基本质量的定性特征和基本质量指标	(12)
5 工程岩体级别的确定	(13)
5.1 一般规定	(13)
5.2 工程岩体级别的确定	(14)
附录 A K_V 、 J_V 测试的规定	(18)
附录 B 岩体初始应力场评估	(18)
附录 C 岩体及结构面物理力学参数	(20)
附录 D 岩体基本质量指标的修正	(22)
附录 E 地下工程岩体自稳能力	(24)

1 总 则

1.0.1 随着国家现代化建设事业的发展,水利水电、铁道、交通、矿山、工业与民用建筑、国防等工程中,各种类型、不同用途的岩石工程日益增多。在工程建设的各阶段(规划、勘察、设计和施工)中,正确地对岩体的质量和稳定性作出评价,具有十分重要的意义。质量高、稳定性好的岩体,不需要或只需要很少的加固支护措施,并且施工安全、简便;质量差、稳定性不好的岩体,需要复杂、昂贵的加固支护等处理措施,常常在施工中带来预想不到的复杂情况。正确、及时地对工程建设涉及到的岩体稳定性作出评价,是经济合理地进行岩体开挖和加固支护设计、快速安全施工,以及建筑物安全运行必不可少的条件。

对工程岩体稳定性作分析判断的数值计算和物理模型试验,要求事先进行相当详尽的地质勘察和岩石力学试验研究,花费人力和财力很多。地质条件复杂时,前期工作往往拉得很长,这种方法一般用于大型或重要的工程。

针对不同类型岩石工程的特点,根据影响岩体稳定性的各种地质条件和岩石物理力学特性,将工程岩体分成稳定程度不同的若干级别(一般称之为岩石分类或工程岩体分类,本标准称工程岩体分级),以此为标尺作为评价岩体稳定的依据,是岩体稳定性评价的一种简易快速的方法。这是由于岩体分级方法是建立在以往工程实践经验和大量岩石力学试验基础上的,只需要进行少量简易的地质勘察和岩石力学试验就能据以确定岩体级别,作出岩体稳定性评价,给出相应的物理力学参数,为加固措施提供参考数据,从而可以在大量减少勘察、试验工作量,缩短前期工作时间的情况下,获得这些岩石工程建设的勘察、设计和施工不可少的基本依据,并可在进一步总结实际运用经验的基础上,为制定各种岩石工程施工定额提供依据。

本标准所说的稳定性,是指在工程服务期间,工程岩体不发生破坏或有碍使用的大变形。

自本世纪 50~60 年代以来,在国外提出了许多工程岩体的分级方法,其中有些在我国有广泛的影响,得到了不同程度的应用。在国内,自 70 年代以来,有关部门也在各自工程经验的基础上制定了一些岩体分级方法,在本部门或本行业推行应用。然而,这些分级方法的原则、标准和测试方法都不尽相同,彼此缺乏可比性、一致性。由于至今还没有一个为权威机构制定并受到广泛认可的岩体分级标准,对同一处岩体进行分级评价时难免产生差异和矛盾,从而造成失误。为避免因分级方法不一致造成失误,更好地汇集和总结各行业岩石工程建设的经验,很有必要在总结现有的各行业工程岩体分级方法的基础上,编制出统一的岩体分级标准。

考虑到需要区分的是稳定程度的不同,具有量的差别,是有序的;“分类”一词通常指的是属性不同的类型的区分,如按地质成因岩石可分为岩浆岩、沉积岩、变质岩等,是无序的。而“级”是“等级”的意思,有量的概念,一般将有“量”的划分称为“分级”,因此,本标准采用“分级”一词,而不用以往比较流行的“分类”一词。

此外,本标准采用“工程岩体”一词,旨在明确指出其对象是与岩石工程有关的岩体,是工程结构的一部分,共同承受荷载,是工程整体稳定性评价的对象。至于“岩石”一词,一般多指小块的岩石或岩块,而建设工程总是以一定范围的岩体(并不是小块岩石)为其地基或环境的。只是由于习惯上多称这类工程为“岩石工程”,“岩体工程”的提法少见,故本标准仍采用“岩石工程”一词。

1.0.2 本标准适用于各类型岩石工程,如矿井、巷道,水工、铁路和公路隧洞,地下厂房、地下采场、地下仓库等各种地下洞室工程;闸坝、桥梁、港口、工业与民用建筑物的岩石地基,以及坝肩、船闸、渠道、露天矿、路堑、码头等各类地面岩石开挖形成的岩石边坡。

由于工程建设各阶段的地质勘察、岩石力学试验的工作深度和数量不同,据以确定的工程岩体级别的代表性和准确性也不同。随着设计阶段的深入,获得更多的勘察、试验资料,重复使用本标准,逐步缩小划分单元,使定级的代表性和准确性提高。对于某些大型或重要工程,在施工阶段,还可进一步用实际揭露的岩体情况检验、修正已定的岩体级别。

本标准属于国家标准第二层次的通用标准,适用于各部门、各行业的岩石工程。考虑到岩石工程建设和使用的行业特点,各部门还可根据自己的经验和实际需要,在本标准的基础上进一步作出详细规定,制定行业的工程岩体分级标准。

1.0.3 国内外现有的各种岩体分级方法,或是定性或是定量,或是定性与定量相结合的方法,且多以前两种方法为主。定性分级,是在现场对影响岩体质量的诸因素进行鉴别、判断,或对某些指标作出评判、打分,可从全局上去把握,充分利用工程实践经验。但这一方法经验的成份较大,有一定人为因素和不确定性。定量分级,是依据对岩体(或岩石)性质进行测试的数据,经计算获得岩体质量指标,能够建立确定的量的概念。但由于岩体性质和存在条件十分复杂,分级时仅用少数参数和某个数学公式难于全面、准确地概括所有情况,实际工作中测试数量总是有限的,抽样的代表性也受操作者的经验所局限。本标准采用定性与定量相结合的分级方法,在分级过程中,定性与定量同时进行并对比检验,最后综合评定级别。这样可以提高分级方法的准确性和可靠性。

由于各种类型工程岩体的受力状态不同,形成多种多样的破坏形式,它们的稳定标准是不同的。即使对于同一类型岩石工程(如地下工程),由于各行业(各部门)运用条件上的差异,对岩体稳定性的要求也有很大差别(如地下发电厂与矿山回采巷道),而且各部门的勘察、设计、施工以及与施工技术有密切关系的加固或支护措施,都有自己的一套专门要求和做法。

为了编制一个统一的,各行业都能适用的工程岩体分级的通用标准,总结分析现有众多的分级方法,以及大量的岩石工程实践和岩石力学试验研究成果,按照共性提升的原则,将其中决定各类型工程岩体质量和稳定性的基本的共性抽出来,这就是只考虑岩石作为材料时的属性——岩石坚硬程度,和考虑岩石作为地质体而存在的属性——岩体完整程度,将它们作为衡量各种类型工程岩体稳定性高低的基本尺度,作为岩体分级的基本因素。

至于其它影响岩体质量和稳定性的属性,以及岩体存在的环境条件影响,如结构面的方向和组合、岩体初始应力、地下水状态等等,它们对不同类型岩石工程影响的程度各不相同,也与行业的要求有关,体现了各工程类型和行业的特殊性。所以,所有这些其它因素可以作为考虑各类型工程岩体个性的修正因素,用以为各具体类型的工程岩体作进一步的定级。

因此,本标准规定了分两步进行的工程岩体分级方法:首先将由岩石坚硬程度和岩体完整程度这两个因素所决定的工程岩体性质,定义为“岩体基本质量”,据此为工程岩体进行初步定级;然后针对各类型工程岩体的特点,分别考虑其它影响因素,对已经给出的岩体基本质量进行修正,对各类型工程岩体作详细定级。由此形成一个各类型岩石工程,各行业都能接受、都适用的分级标准。

3 岩体基本质量的分级因素

3.1 分级因素及其确定方法

3.1.1 本标准在确定分级因素及其指标时,采取了两种方法平行进行,以便互相校核和检验,提高分级因素选择的准确性和可靠性。一种是从地质条件和岩石力学的角度分析影响岩体稳定性的主要因素,据以确定分级因素并总结国内外实践经验,综合分析选取分级因素的定量指标;另一种是采用了统计分析方法,研究我国各部门多年积累的大量测试数据,从中寻找符合统计规律的最佳

分级因素。

影响工程岩体稳定的因素是多种多样的,主要是岩体的物理力学性质、构造发育情况、承受的荷载(工程荷载和初始应力)、应力变形状态、几何边界条件、水的赋存状态等。这些因素中,只有岩体的物理力学性质和构造发育情况是独立于各种工程类型的,反映了岩体的基本特性。在岩体的各项物理力学性质中,对稳定性关系最大的是岩石坚硬程度。岩体的构造发育状况,体现了岩体是地质体的基本属性,岩体的不连续性及不完整性是这一属性的集中反映。这两者是各种类型岩石工程的共性,对各种类型工程岩体的稳定性都是重要的,是控制性的。这样,岩体基本质量分级的因素,应当是岩石坚硬程度和岩体完整程度。

至于岩石风化,虽然也是影响工程岩体质量和稳定性的重要因素,但是风化作用对工程岩体特性的影响,一方面是使岩石疏松以至松散,物理力学性质变坏,另一方面是使岩体中裂隙增多,这些已分别在岩石坚硬程度和岩体完整程度中得到反映,所以本标准没有把风化程度作为一个独立的分级因素。

为了应用聚类分析、相关分析等统计方法,根据工程实践经验来研究选取分级因素,收集了来自各部门、各工程的 460 组实测数据,从中遴选了包括岩石单轴饱和抗压强度(R_c)、点荷载强度(I_s)、岩石弹性纵波速度(V_{pr})、岩体弹性纵波速度(V_{pm})、重力密度(γ)、埋深(H)、平均节理间距(d_p) (或 RQD)等七项测试指标,岩体完整性指数(K_v)、应力强度比($\gamma H/R_c$) 二项复合变量作为子样。对同一工程且岩体性质相同的各区段,以其测试结果的平均值作为统计子样。这样,最终选定的抽样总体来自各部门的 103 个工程,其中来自国防 21 个、铁道 13 个、水电 24 个、冶金和有色金属 30 个、煤炭 8 个、人防 1 个和建筑部门 6 个。经过对抽样总体的相关分析、聚类分析和可靠性分析之后,确定岩体基本质量指标的因素的参数是 R_c 、 K_v 、 d_p 与 γ 。在这四项参数中,经进一步分析, γ 值绝大多数在 $23\sim 28 \text{ kN/m}^3$ 之间变动,对岩体质量的影响不敏感,可反映在公式的常数项中;而 K_v 与 d_p 在一定意义上同属反映岩体完整性的参数,考虑到 K_v 在公式中的方差贡献大于 d_p ,并考虑国内使用的广泛性与简化公式的需要,仅选用 K_v 。这样,最终确定以 R_c 和 K_v 为定量评定岩体基本质量的分级因素。这与根据地质条件和岩石力学综合分析的结果是一致的。

3.1.2 根据定性与定量相结合的原则,岩体基本质量的两个分级因素应当同时采用定性划分和定量指标两种方法确定,并相互对比。

分级因素定性划分依据工程地质勘察中对岩体(石)性质和状态的定性描述,需要在勘察过程中,对这两个分级因素的一些要素认真观察和记录。这些资料由于获取方法直观,简便易行,有经验的工作人员易于对此进行鉴定和划分。

分级因素的定量指标是通过现场原位测试或取样室内试验取得的,这些测试和试验简单易行,一般工程条件下都可以进行。在某些情况下,如果进行规定的测试和试验有困难,还可以采用代用测试和试验方法,经过换算求得所需的分级因素定量指标。

对于定性划分出的各档次,给出了相应的定量指标范围值,以便使定性划分和定量指标两种方法确定的分级因素可以相互对比。

3.2 岩石坚硬程度的定性划分

3.2.1 岩石坚硬程度的确定,主要应考虑岩石的成分、结构及其成因,还应考虑岩石受风化作用的程度,以及岩石受水作用后的软化、吸水反应情况。为了便于现场勘察时直观地鉴别岩石坚硬程度,在“定性鉴定”中规定了用锤击难易、回弹程度、手触感觉和吸水反应等行之有效、简单易行的方法。

在本条表 3.2.1 中,规定了用“定性鉴定”和“代表性岩石”这两者作为定性评价岩石坚硬程度的依据。在作定性划分时,应注意作综合评价,在相互检验中确定坚硬程度并定名。

在确定岩石坚硬程度的划分档数时,考虑到划分过粗不能满足不同岩石工程对不同岩石的要求,在对岩体基本质量进行分级时,不便于对不同情况进行合理地组合;划分过细又显繁杂,不便使用。鉴于上述考虑,总结并参考国内已有的划分方法和工程实践中的经验,本条先将岩石划分为硬质岩和软质岩二个大档次,再进一步划分为坚硬岩、软坚硬岩、较软岩、软岩和极软岩五个档次。

3.2.2 岩石长期受物理、化学等自然营力作用,即风化作用,致使岩石疏松以至松散,物理力学性质变坏。在确定代表性岩石时,仅仅说明是那种岩石是不够的,还必须指明其风化程度,以便确定风化后的岩石坚硬程度档次。

关于风化程度的划分或定义,国内外在工程地质工作上,大都从大范围的地层或风化壳的划分着眼,把裂隙密度、裂隙分布及发育情况、弹性纵波速度以及岩石结构被破坏、矿物变异等多种因素包括进去。本条表 3.2.2 关于岩石风化特征的描述和风化程度的划分,仅是针对小块岩石,为表 3.2.1 服务的,它并不代替工程地质中对岩体风化程度的定义和划分。是把岩体完整程度从整个地质特征中分离出去之后,专门为描述岩石坚硬程度作的规定,主要考虑岩石结构构造被破坏、矿物蚀变和颜色变化程度,而把裂隙及其发育情况等归入岩体完整程度这另一个基本质量分级因素中去。

在自然界里,岩石被风化的程度总是从未风化逐渐演变为全风化的,是普遍存在的一个地质现象。本条总结了我国采用的划分方法,并考虑在岩石坚硬程度划分和在岩体基本质量分级时便于对不同情况加以组合,将岩石风化程度划分为未风化、微风化、弱风化、强风化和全风化五种情况。

3.3 岩体完整程度的定性划分

3.3.1 岩体完整程度是决定岩体基本质量的另一个重要因素。影响岩体完整性的因素很多,从结构面的几何特征来看,有结构面的密度、组数、产状和延伸程度,以及各组结构面相互切割关系;从结构面性状特征来看,有结构面的张开度、粗糙度、起伏度、充填情况、充填物水的赋存状态等。将这些因素逐项考虑,用来对岩体完整程度进行划分,显然是困难的。从工程岩体的稳定性着眼,应抓住影响岩体稳定的主要方面,使评判划分易于进行。经分析综合,将几何特征诸项综合为“结构面发育程度”;将结构面性状特征诸项综合为“主要结构面的结合程度”。

本条表 3.3.1 中,规定了用结构面发育程度、主要结构面的结合程度和主要结构面类型作为划分岩体完整程度的依据。在作定性划分时,应注意对这三者作综合分析评价,进而对岩体完整程度进行定性划分并定名。

表中所谓“主要结构面”是指相对发育的结构面,即张开度较大、充填物较差、成组性好的结构面。

结构面发育程度包括结构面组数和平均间距,它们是影响岩体完整性的重要方面。在进行地质勘察时,应对结构面组数和平均间距进行认真地测绘和统计。我国各部门对结构面间距的划分不尽相同(表 1),也有别于国外(表 2)。本条在对结构面平均间距进行划分时,主要参考了我国工程实践和有关规范的划分情况,也酌情考虑了国外划分情况。

表 1 国内有关结构面间距划分情况(m)

结构类型	岩土工程勘察规范, 国标(报批稿)	铁路工程地质 技术规范(TBJ 12—85)	工程地质调查规范 (ZBJ 14003—89)	水利水电工程地质综述 (水利水电工程地质 情报网, 1991年11月)	本标准
完整(整体状)	>1.5	>1.0	>1.0	>1.0	>1.0
较完整(块状)	0.75~1.5	>0.4	0.5~1.0	0.5~1.0	0.4~1.0 >1.0
较破碎(层状)		<0.4	0.3~1.5	0.5~1.0	0.2~0.4 0.4~1.0
破碎(碎裂状)	0.25~0.5	<0.2	<0.3	0.2~0.5	≤0.2 0.2~0.4
极破碎(散体状)					

表 2 国外裂隙间距划分情况(m)

名称	资 料 来 源		
	加拿大岩土工程手册, 1985年 (能源部华北电力设计院, 1990年译)	美国工程师和施工者联合公司 (冶金勘察总公司译, 1979年3月)	ISO/TC182/SC/WG1 《土与岩石的鉴定和分类》
极宽	>6.0		
很宽	2.0~6.0	>3.0	>2.0
宽的	0.6~2.0	0.9~3.0	0.6~2.0
中的	0.2~0.6	0.3~0.9	0.2~0.6
密的	0.06~0.2	0.05~0.3	0.06~0.2
很密	0.02~0.06	<0.05	<0.06
极密	<0.02		

在表 3.3.1 中所列的“相应结构类型”,是国内对岩体完整程度比较流行的一种划分方法。为了适应已形成的习惯,在使用本标准时有一个逐渐过渡的过程,列出这些结构类型以作参考。

本标准各条文表中的有关数据(如本条表 3.3.1),均采用范围值而没有给出确定的界限值,是考虑到岩体(岩石)复杂多变,有一定随机性。这些数据只是从一个侧面反映其性质,评价时必须结合物性特征。在划分或以后定级时,若其有关数据恰好处于界限值上,应结合物性特征作出判定。

3.3.2 结构面结合程度,应从各种结构面特征,即张开度、粗糙状况、充填物性质及其性状等方面进行综合评价。本条规定这几个方面内容作为评价划分的依据,一是因为它们是决定结构面的结合程度的主要方面,再则也是为了便于在进行划分时适应野外工作的特点,工程师在野外观察时凭直观就能判断。将这几方面的情况分析综合,相互搭配,划分为结合好、结合一般、结合差、结合很差四种情况。

张开度是指结构面缝隙紧密的程度,国内一些部门在工程实践中,各自作了定量划分,见表 3 所列。从表中可看出张开度划分界限最大值为 5.0 mm,最小值为 0.1 mm。考虑到适用于野外定性鉴别,对大于 3.0 mm 者,从工程角度看,已认为是张开的了,再细分无实际意义;小于 1.0 mm 者再细分肉眼不易判别。所以本标准确定了本条表 3.3.2 张开度的划分界限。

当鉴定结构面结合程度时,还应注意描述缝隙两侧壁岩性的变化,充填物性质(来源、成分、颗粒粗细),胶结情况及赋水状态等,综合分析评价它们对结合程度的影响。

结构面粗糙度情况,是决定结构面结合程度好坏的一个重要方面。从工程稳定方面看,对于结构面,人们所关心的是其抗滑能力,而结构面侧壁的粗糙度程度,常在很大程度上影响着它的抗滑能力。因此,国内各方面都着力对结构面粗糙度进行鉴别和划分,这些划分方法对粗糙度尚无确切的含义和标准,仅从结构面的成因和形态来划分,较为抽象,不便使用。再者,考虑到本标准系高层次的通用标准,也不宜作繁杂具体的规定。

试验换算单轴饱和抗压强度(R_c)与实测的 R_c 之间偏差系数为 $\pm 10\%$ 左右。

使用公式(3.4.1)时,必须是按下列规定获得的点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 。

(1)试件尺寸:径向加载试验用的岩芯,直径取 $30 \leq d \leq 70$ mm,长度为试件直径的1.4倍。

轴向加载试验用的岩芯,直径取 $30 \leq d \leq 70$ mm,长度为试件直径的0.5~1.0倍。

不规则试件的最短边长 $b = 30 \sim 80$ mm,加荷点间距(D)与最短边长之比 $D/b = 0.5 \sim 1.0$ 。

(2)点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 用下式计算:

$$I_{s(50)} = I_s \cdot K_d \cdot K_{Dd} \quad (1)$$

式中 $I_{s(50)}$ ——直径为50 mm标准试件的点荷载强度指数;

I_s ——非标准试件的点荷载强度指数;

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

K_d ——尺寸效应修正系数;

K_{Dd} ——形状效应修正系数;

P ——破坏时的荷载。

试件尺寸与标准试件尺寸一致时,取 $K_d = 1$ 。在其它情况下尺寸效应修正系数按下式计算,但需将直径 d 的单位用厘米代入式中:

$$K_d = 0.4905 d^{0.4426} \quad (2)$$

试件形状效应修正系数按下式计算:

$$K_{Dd} = 0.3161 e^{2.303[(D/b + \log D/b)/2]} \quad (3)$$

在使用式(1)时,当测试采用圆柱状岩芯,取 $K_{Dd} = 1$;当测试采用不规则试件,取 $K_d = 1$ 。

(3)对每组试件,计算点荷载强度指数的平均值。

由于点荷载试验加荷特点和试件受荷载时破坏特征,该项试验不适用于砾岩和 $R_c < 5$ MPa的极软岩。

在本标准中,宜首先考虑采用单轴饱和抗压强度作为评价岩石坚硬程度的指标,并参与岩体基本质量指标的计算。若用实测的 $I_{s(50)}$ 时,则必须按式(3.4.1)换算成 R_c 值后再使用。

3.4.2 本条表3.4.2给出 R_c 值与岩石坚硬程度的对应关系,是为了将岩石坚硬程度的定量指标 R_c 分成与定性划分相对应的档次,也使定性划分的岩石坚硬程度有一个大致的定量范围值。

国内各部门,多采用 R_c 这一定量指标来划分岩石坚硬程度,参见表5。从表中可知,各部门所划分的档数和界限值虽不尽相同,但都以30 MPa作为硬质岩与软质岩的划分界限。从工程实践来看,这种划分是合适的,为工程界所公认,本标准采用了这个界限值。从工程稳定方面考虑,对坚硬岩,取 $R_c > 60$ MPa就足够了,不需再细分。软质岩分为三档,而未采用大多数有关规范、手册的二档划分,是因为这有利于对不同强度软质岩的稳定性评价。

3.4.3 岩体完整程度的定量指标,国内外采用的不尽相同,较普遍的有:岩体完整性指数 K_v 、岩体体积节理数 J_v 、岩石质量指标RQD、节理平均间距 d_p 、岩体与岩块动静弹模比、岩体龟裂系数、1.0 m长岩芯段包括的裂隙数等等,这些指标均从某个侧面反映了岩体的完整程度。目前国内的诸多岩体分级方法中,大多数认为前三项指标能较全面地体现岩体的完整状态,其中 K_v 和 J_v 两项具有应用广泛、测试或量测方法简便的特点。RQD值国外应用较多,美国迪尔(Deer)在提出这一定量指标时,是有严格规定的,要求用NX钻头(直径 $2 \frac{1}{8}$ in的金钢石钻头),双层岩芯管钻进。在我国工程勘探中,金钢石钻头的使用还未普及,钻具型号也不够规范,有的单位虽尝试获取RQD值,

但缺乏统一性和可比性。因此本标准只选用 K_v 和 J_v 来定量评定岩体的完整程度和计算岩体基本质量指标。

表5 国内岩石坚硬程度的强度划分

名称	硬质岩 R_c (MPa)			软质岩 R_c (MPa)		
	极硬岩	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
建筑地基基础设计规范(GBJ 7—89)	>30			<30		
公路与桥涵地基基础设计规范(JTJ 024—85)	>30			5~30		<5
国防工程锚喷支护技术暂行规定(总参,1984年)	>60	30~60		15~30	5~15	<5
铁道工程地质技术规范(TBJ 12—85)	>60	30~60		5~30		<5
隧道工程岩体分级探讨(铁道部科学研究院西南研究所论文集(第一集),中国铁道出版社,1987年)	>100	60~100	30~60	10~30		<10
工程地质手册(第三版)1992年12月	>60	30~60		5~30		<5
岩土工程勘察规范(国标,报批稿)	>60	30~60		5~30		<5
水工隧洞设计规范(SD 134—84)	>120	60~120	30~60	15~30		<15
水电站大型地下洞室围岩稳定和支护的研究和实践成果汇编(1986年)	>100	60~100	30~60	15~30	5~15	<5
本标准	>60		30~60	15~30	5~15	<5

岩体内普遍存在的各种结构面及充填的各种物质,使得声波在它们内部的传播速度有不同程度的降低,岩体弹性纵波速度(V_{pm})反映了由于岩体不完整性而降低了的物理力学性质。岩块则认为基本上不包含明显的结构面,测得的岩石弹性纵波速度(V_{pr})反映的是完整岩石的物理力学性质。所以, $K_v(K_v = (\frac{V_{pm}}{V_{pr}})^2)$ 既反映了岩体结构面的发育程度,又反映了结构面的性状,是一项能较全面地从量上反映岩体完整程度的指标。因此,本标准规定以 K_v 值为主要定量指标。

岩体体积节理(本标准泛指各种结构面)数 J_v 值是国际岩石力学委员会推荐用来定量评价岩体节理化程度和单元岩体的块度的一个指标。经国内铁道、水电及国防等部门一些单位应用,认为它具有上述物理含意,而且在工程地质勘察各阶段及施工阶段均容易获得。考虑到它不能反映结构面的结合程度,特别是结构面的张开程度和充填物性状等,而这些恰是决定岩体完整程度的重要方面。因此,本条规定 J_v 值作为评价岩体完整程度的代用定量指标,没有用为主要的定量指标。

考虑到工程建设的可行性阶段,某些中、小型工程以及一些缺乏测试手段的单位,尚未或未能开展声波测试工作,无法获取 K_v 值,故本条规定可采用 J_v 值,但须按表 3.4.3 查得对应的 K_v 值后再使用。

对岩体 J_v 值的量测统计,应遵守附录 A.0.2 的规定进行。

国内一些单位对 J_v 与 K_v 的关系作了研究,认为这二者之间有良好的对应关系,例如,表 6(水电部昆明勘测设计院)、表 7(铁道部科学研究院西南分院)中所列。本条的 J_v 与 K_v 对照表 3.4.3,是综合这些科研成果的结果。

表6 J_v 与 K_v 对照表

岩体完整程度	完整	较完整	完整性差	破碎
J_v	< 3	3 ~ 10	10 ~ 30	> 30
K_v	1.0 ~ 0.75	0.75 ~ 0.45	0.45 ~ 0.2(软)	< 0.2(软岩)
			0.45 ~ 0.1(硬)	< 0.1(硬岩)

表7 J_v 与 K_v 对照表

J_v	< 5(巨块状)	5 ~ 15(块状)	15 ~ 25(中等块状)	25 ~ 35(小块状)	> 35(碎块状)
K_v	1.0~0.85(极完整)	0.85~0.65(完整)	0.65~0.45(中等完整)	0.45~0.25(完整性差)	<0.25(破碎)

3.4.4 本条表 3.4.4 给出 K_v 值与岩体完整程度的对应关系,是为了将岩体完整程度的定量指标 K_v 分成与定性划分相对应的档次,也使定性划分的岩体完整程度有一个大致的定量范围值。

国内一些单位根据 K_v 值对岩体完整程度作了划分,如表 8 和表 9 所列。本标准总结和参考了这些划分情况,并根据编制过程中收集的样本资料,在表 3.4.4 中给出了与定性划分相对应的各档次的岩体完整性指数 K_v 值。

表 8 国内岩体完整性系数 K_v 划分情况

名称	完整程度 K_v				
	整体状结构	块状结构	碎裂镶嵌结构	碎裂结构	散体结构
锚杆喷射混凝土技术规范(GBJ 86—85)	>0.75	0.5~0.75	0.3~0.5	0.2~0.3	<0.2
水工隧道设计规范(SD 134—84)	>0.75	0.45~0.75	0.2~0.45		<0.2
坑道工程围岩分类 (总参工程兵第四设计研究所 1985 年部级鉴定)	>0.75	0.45~0.75	0.2~0.45		<0.2
《岩体工程地质力学基础》, 谷德振,科学出版社,1979 年	>0.75	0.5~0.75	0.3~0.5	0.2~0.3	<0.2

表 9 岩体完整性系数 K_v 划分

完整程度 K_v	完整	中等完整	完整性差	破碎
	>0.75	0.45~0.75	0.2~0.45	<0.2

注:此表及表 6 摘自《水电站大型地下洞室围岩稳定和支护的研究和实践成果汇编——围岩稳定的地质研究和围岩分类》,水利电力部昆明勘测设计院,1986 年 12 月。

4 岩体基本质量分级

4.1 基本质量级别的确定

4.1.1 岩体基本质量分级,是各类型工程岩体定级的基础。本条强调应根据岩体基本质量的定性特征与基本质量指标 (BQ) 相结合,进行岩体基本质量分级。

岩体基本质量的定性特征是两个分级因素定性划分的组合,根据这些组合可以进行岩体基本质量的定性分级。而岩体基本质量指标 (BQ) 是用两个分级因素定量指标计算求得的,根据所确定的 (BQ) 值可以进行岩体基本质量的定量分级。定性分级与定量分级相互验证,可以获得较准确的定级。

在工程建设的不同阶段,地质勘察和参数测试等工作的深度不同,对分级精度的要求也不尽相同。可行性研究阶段,可以定性分级为主;初步设计、技术设计和施工设计阶段,必须进行定性和定量相结合的分级工作。在工程施工期间,还应根据开挖所揭露的岩体情况,补充勘察及测试资料,对已划分的岩体等级加以检验和修正。由于岩体的地质条件复杂多变,一个工程所遇到的岩体往往要划分为几个级别。

对岩体基本质量进行分级,需要决定分级档数。可靠性分析的研究成果表明,评级的可靠程度随着档数的增多而降低;但另一方面,当抽样总体中的样本足够时,评级的预报精度却往往随分级档数的增多而增加。因此,应当选择一个适中的档数,既便于工程界使用,又有合理的可靠度与精度。考虑到目前在国内外的分级方法中,多采用五级分级法(表 10),这个档数能较好地满足以上要求,故本标准将分级档数定为五级。

表 10 国内外岩体分级的档数

	名 称	分级依据	分级(类)档数
国 内	隧道工程岩体分级探讨(铁道部科学研究院西南 研究所论文集<第一集>,中国铁道出版社,1987年)	岩体质量分级 RMQ 值	五级
	坑道工程围岩分类(总参工程兵第四设计研究所 1985 年部级鉴定)	岩体质量指标 R_m 或 R_s	五级
	鲁布革水电站(地下厂房围岩分类)	围岩质量 Q	五级
	《岩体工程地质力学基础》谷德振,科学出版社 1979 年	岩石质量系数 Z	五级
	《地下工程》1981 年第 5 期,关宝树	围岩质量 Q 值	六级
国 外	美国 RQD 分类法	RQD 值	五级
	南非别尼威斯基地质力学分级法	节理化岩体的 RMR	五级
	挪威巴顿分类法	岩体质量 Q 值	九级

4.1.2 本条规定了根据基本质量的定性特征作出的岩体基本质量定性分级,与根据基本质量指标(BQ)作出的定量分级不一致时的处理方法。出现定性分级与定量分级不吻合的情况是经常发生的,也是正常的。若两者定级不一致,可能是定性评级不符合岩体实际的级别,也可能是测试数据在选用或实测时缺乏代表性,或两者兼而有之。必要时,应重新进行定性鉴定和定量指标的复核,在此基础上经综合分析,重新确定岩体基本质量的级别。

为了提高定级的准确性,宜由有经验的人做定性分级,定量指标测试的地点与定性分级的岩石工程部位应一致。

对Ⅲ级以下(含部分Ⅲ级)的岩体,应慎重确定级别,以确保工程安全。

4.2 基本质量的定性特征和基本质量指标

4.2.1 本条规定了岩体基本质量定性特征和两个分级因素定性划分的评定方法。岩石坚硬程度和岩体完整程度定性划分后,二者组合成定性特征,进行仔细的综合分析、评价,按表 4.4.1 对岩体基本质量作出定性评级。

4.2.2 根据分级因素的定量指标对岩体质量进行定量分级的方法有上百种,经归纳大致可分为三种:

(1)单参数法。如 RQD 法,就是以修正的 10 cm 以上岩芯长度之和与钻孔总长度的百分比为依据分级的。

(2)多参数法。如东北大学以 R_c 、岩体弹性纵波速度(V_{pm})、平均节理间距(d_p)和围岩位移稳定时间四项参数为依据,通过电算程序进行动态分级的方法。

(3)多参数组成的综合指标法。如总参工程兵第四设计研究院坑道工程围岩分级中,由 R_c 、 K_v 、地下水状态和岩层产状四项参数组成分级指标。也有人提出对 R_c 、岩体完整性、含水情况和风化程度四方面,分别评分,最后给出表示岩体质量的总分。巴顿(Barton)的 Q 分级法也属这一种。

本标准采用多参数法,以两个分级因素的定量指标 R_c 及 K_v 为参数,计算求得岩体基本质量指标(BQ),作为划分级别的定量依据。

计算岩体质量的数学模型有很多种,例如,巴顿(Barton)、谷德振、总参工程兵第四设计研究院等单位在分级中采用的是积商模型;别尼斯基(Bieniawski Z.T.)、水电部昆明勘测设计院、铁道部科学研究院西南分院等采用和差模型。

本标准采用逐步回归,逐步判别等方法建立并检验基本质量指标(BQ)的计算公式,属于和差模型。

由 K_v 和 R_c 所确定的 BQ 值,其计算模式定为:

$$BQ = b_0 + b_1 R_c^\alpha + b_2 K_v^\beta \quad (4)$$

式中 b_0 、 b_1 、 b_2 、 α 、 β ——待定系数。

这一数学模式,用权值系数计算各因素的单值,用和差计算质量总值。最后得出岩体基本质量指标(BQ)的计算公式,见本条式(4.2.2)。

需指出,岩体基本质量指标(BQ)的计算公式,是在现有的抽样总体的基础上确定的。随着在本标准使用中经验和数据的积累,对公式中的系数可能要作一定的调整,但其数学模式、分级档数和分级界限可保持不变。

本条规定了使用式(4.2.2)时应遵守的限制条件,限制条件分别以二个连续函数的形式,规定了该式上下限的使用条件。给出的限制条件之一,是对式(4.2.2)上限的限制,这是注意到岩石的 R_c 过大,而岩体的 K_v 不大时,对于这样坚硬但完整性较差的岩体,其稳定性是比较差的, R_c 虽高但对稳定性起不了那么大的作用,如果不加区别地将原来测得的 R_c 值代入公式,过大的 R_c 值使得岩体基本质量指标(BQ)大为增高,造成对岩体质量等级及实际稳定性作出错误的判断。使用这一限制条件,可获得经修正过的 R_c 值。例如,当 $K_v=0.55$ 时,实测 R_c 值大于79.5 MPa,取用79.5 MPa,否则取用实测值。

本条给出第二个限制条件,是对式(4.2.2)下限的限制,这是针对岩石的 R_c 很低,而相应的岩体 K_v 值过高的情况下给定的。这是注意到,完整性虽好但甚为软弱的岩体,其稳定性仍然是不好的,将过高的实测 K_v 值代入公式也会得出高于岩体实际稳定性或质量等级的错误判断。使用这一限制条件,可获得经修正过的 K_v 值。例如,当 $R_c=10$ MPa时,实测 K_v 值大于0.8取用0.8,否则取用实测值。

5 工程岩体级别的确定

5.1 一般规定

5.1.1 岩体基本质量,反映了岩体质量的最基本的内容,或反映了影响工程岩体稳定的主要方面。

对各类型工程岩体,作为分级工作的第一步或初步定级,在基本质量确定后,可用基本质量的级别作为工程岩体的级别。这里是基于以下几个方面:

(1)初步定级一般是在可行性和初步设计阶段,勘察资料不全,工作还不够深入,各项修正因素尚难于确定,作为初步定级,可暂用基本质量的级别作为工程岩体的级别。

(2)对于小型或不太重要的工程,可直接采用基本质量的级别作为工程岩体的级别。

5.1.2 影响工程岩体稳定性的诸因素中,岩石坚硬程度和岩体完整程度是岩体的基本属性,是各种岩石工程类型的共性,反映了岩体质量的基本特征,但它们远不是影响岩体稳定的全部重要因素。地下水状态、初始应力状态、工程轴线或走向线的方位与主要软弱结构面产状的组合关系等,也都是影响岩体稳定的重要因素。这些因素对不同类型的岩石工程,其影响程度往往是不一样的。例如,某一陡倾角结构面,走向近乎平行工程轴线方位,对地下工程来说,对岩体稳定是很不利的,但对坝基抗滑稳定的影响就不那么大,若结构面倾向上游,则可基本上不考虑它的影响。

随着设计工作的深入,地质勘察资料增多,就应结合不同类型工程的特点、边界条件、所受荷载(含初始应力)情况和运用条件等,引入影响岩体稳定的主要修正因素,对工程岩体作详细地定级。

本条只是原则规定了将地下水状态等项影响因素作为修正因素。还有些对岩体稳定有影响的因素,如洞室跨度与节理密度的关系、边坡高度对边坡稳定的影响、地温引起的应力变化等。有的目前还缺乏足够经验或足够试验依据;有的不是岩体分级能够解决的问题,应在设计、施工中予以

考虑或研究解决;有的需各部门针对不同工程类型的特点引入不同的修正因素,用来确定工程岩体级别。

所谓“工程轴线”,是指地下洞室的洞轴线、大坝的坝轴线;“工程走向线”是指边坡工程的坡面走向线。

5.1.3 参见附录 B 的说明。

5.1.4 某些具有特殊变形破坏特性的岩类,如具有膨胀性强的岩类,易溶蚀的盐岩等,具有某些特殊的性质,影响其稳定性的因素与一般岩类很不相同。本标准分级的方法未反映其特殊性,也无成熟的经验和依据用修正的办法反映其对稳定性的影响。对这些带有特殊性的问题,在考虑它们的影响时,需通过其它途径解决。

规模较大、贯通性较好的软弱结构面,即使只有一、二条,往往也会对工程岩体的稳定性有重要的影响,这种影响不能通过岩体分级得到考虑,应当进行专门研究,例如对重要的或复杂的岩石工程需要用数值模拟或物理模拟进行岩体稳定性分析研究等等。

5.1.5 岩体物理力学参数和结构面抗剪断峰值强度参数,是岩体和结构面所固有的物理力学性质,从量上反映了岩体和结构面的基本属性。

大量的岩石力学试验研究工作表明,岩体的物理力学性质及其参数有一定的分散性和随机性,最有效的办法是有针对性的进行必要的现场和实验室的实测。但由于工程的设计阶段或工作详细程度不同,以及工程的规模、重要性不同,对试验工作量和对参数精度的要求也应该是不同的。岩体初步定级时,是在没有考虑修正因素条件下岩体的级别,即基本质量级别。所以本条规定在初步定级时,可按附录 C 表 C.0.1 选用与岩体基本质量级别相应的物理力学参数。

岩体中存在的结构面,是岩体的弱面,其强度远小于两侧岩体的强度,对工程岩体稳定常常起着控制作用。由于两侧岩体的坚硬程度不同,结构面粗糙程度、张开程度、充填物性状和充填物厚度不同,都会较大幅度的影响其强度值。附录 C.0.2 给出的结构面抗剪断峰值强度,是针对不同结构面的具体情况给出的。

5.2 工程岩体级别的确定

5.2.1 本条规定了地下工程岩体在岩体基本质量级别确定后,作进一步或详细定级时,应考虑的几个修正因素和修正后的定级原则。

在地下工程岩体分级工作中(以往多称为围岩分类),虽然主要是考虑洞室周围的岩体,但勘察、试验工作往往是从上部至下部对整个山体进行研究。基于上述原因,将与地下工程有关的工程岩体定名为“地下工程岩体”。

国内外各方面对地下工程岩体分级,做了大量的探索和研究工作,比其它类型的工程岩体分级,研究的要深入一些,资料也比较丰富。从表 11 可以看出,所有这些分级方法所考虑的因素是比较一致的。本标准分析总结了这些已有的成果,并结合工程实践,将最基本的带共性的岩石坚硬程度(含强度)和岩体完整程度,作为岩体基本质量的影响因素,而把另外几项主要影响因素,即地下水、主要软弱结构面与洞轴线的组合关系、高初始应力现象作为修正因素。

表 11 国内外部分岩体分级考虑因素情况

代表性岩体分级	考虑的主要因素							
	岩石强度	岩体完整程度	地下水	初始应力状态	结构面与洞轴组合关系	结构面状态	声波速度	其它
地下岩石洞室技术措施(建委,1972年)	✓	✓	✓					
隧道围岩强度分类 (〔日〕国铁研究所 1972年)	✓	✓	✓				✓	
岩石结构评价 (G.E.Wickham 1972年)	✓ (A)	✓ (B)	✓ (C)		✓ (B)			
节理化岩体地质力学分类 (Z.T.Bieniazski 1973年)	✓	✓ 节理 间距	✓		✓	✓		
工程岩体分类(Q值) (N.Barton等 1974年)	✓ SRF	✓ RQD J _a	✓ (J _w)	✓ (SRF)		✓ (J _r , J _a)		
《岩体工程地质力学基础》谷德振, 科学出版社,1979年	✓	✓				✓ 抗剪 强度		
围岩稳定性动态分级 (东北工学院 1984年部级鉴定)	✓	✓ 节理 间距					✓	✓ 稳定 时间
国防工程锚喷支护技术暂行规定 (总参,1984年)	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 辅助	✓ 辅助	
坑道工程围岩分类(总参工程兵 第四设计研究所 1985年部级鉴定)	✓	✓	✓	✓	✓	✓ 辅助	✓ 辅助	
铁道隧道设计规范(TBJ 3 1985年)	✓	✓	✓			✓		
铁路隧洞工程岩体围岩分级方法(铁道 科学研究院西南所,1986年院级鉴定)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
锚杆喷射混凝土技术规范(GBJ 86—85)	✓	✓		✓			✓	
水工隧洞设计规范(SD 134—84)	✓	✓	✓		✓	✓		
大型水电站地下洞室围岩分类(水电部 昆明勘测设计院,1988年部级鉴定)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
本标准(国标)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

引入修正因素,对岩体基本质量进行修正后,本条规定仍按表 4.1.1 进行定级。这是因为本标准分级的标准只有一个,只是岩体基本质量指标 (BQ) 和工程岩体质量指标(〔 BQ 〕)所包含的影响因素的内容不同。例如,某地下工程在一个地段的岩体基本质量指标 $BQ = 280$,其基本质量属 IV 级,由于有淋雨状出水,单位出水量小于 $10 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m})$,则修正系数 $K_1 = 0.5$,经修正后的〔 BQ 〕 $= 230$,按表 4.1.1 规定,工程岩体质量应定为 V 级。

5.2.3 地下工程岩体的级别是地下洞室稳定性的尺度,岩体级别越高的洞室在无支护条件的稳定性(即自稳能力)越好,反之亦然。可以将洞室开挖后的实际自稳能力,作为检验原来地下工程岩体定级正确与否的标志。

地下工程岩体的自稳能力,不仅与工程岩体级别有关,还与洞室跨度有关。本标准适用于各,经统计分析给出表 E.0.1(参见附录 E 说明),供检验岩体级别时用。大于 20 m 跨度的工程虽为数不少,但积累的资料还难于作出检验的尺度,这有待在本标准使用过程中总结完善。

对照表 E.0.1,开挖后岩体的实际稳定性与原定级别不符时,应对岩体级别进行调整,调整到与实际情况相适应的级别。当开挖后岩体的稳定性较原定级别高时,由低级调到高级须慎重。

5.2.4 对于大型和特殊的地下工程,往往有特殊要求,加之行业或专业的特点,对工程施工和运行,进而对工程岩体稳定性评价的要求不尽相同,评价时引入的影响工程岩体稳定性的修正因素及其侧重点也不同。如矿山巷道,考虑爆破影响因素;水工引水隧洞,考虑水的作用,地下厂房还要考虑时间效应;国防洞库和其它特殊工程,考虑震动等等。本标准作为通用的基础标准,难于将所有

各种影响因素都考虑进去,更难于全面照顾各行业的特殊需要。有关行业标准的规定更具有针对性,更详细些。国内外在实施岩体分级工作时,往往采用几种分级方法进行对比,对大型和特殊的地下工程,为了慎重这样做是适宜的。考虑到这些情况,本条规定在详细定级时尚可应用有关标准的方法进行对比分析,综合确定岩体级别。

5.2.5 对工业与民用建筑物地基岩体,人们所关心的是地基的承载能力。由于作用在地基上的荷载比较简单,荷载作用深度不大,所以直接用岩体的基本质量级别进行定级。以往通常采用的是以岩石单轴饱和抗压强度(R_c)为依据,确定地基的承载力。岩体基本质量则不仅考虑了 R_c ,还考虑了岩体的完整性。

5.2.6 岩体作为工业与民用建筑物地基,其承载能力很高,一般都能满足设计要求。但随着高层建筑物的兴建,对地基承载能力的要求也越来越高,既要考虑地基的承载能力,也要考虑地基岩体的稳定性。目前国内外有关规范确定地基承载力,大多以评估方法为主,较偏于安全,见表12~表17。

本标准总结了以上情况,并结合我国多年积累的实践经验,根据岩体基本质量级别给出了岩体承载力基本值(f_0),见表5.2.6-1的规定。应用此规定首先要对场地岩体进行定级。

表12 建筑地基基础设计规范(GBJ 7—89)

风化程度 岩石类别	承载力标准值(f_k)(kPa)		
	强风化	中等风化	微风化
硬质岩石	500~1000	1500~2500	≥ 4000
软质岩石	200~500	700~1200	1500~2000

表13 岩石允许承载力(JTJ 024—85)(kPa)

岩石名称	岩石破碎程度		
	碎石状	碎块状	大块状
硬质岩(>30 MPa)	1500~2000	2000~3000	>4000
软质岩(5~30 MPa)	800~1200	1000~1500	1500~3000
极软岩(<5 MPa)	400~800	600~1000	800~1200

表14 水利水电工程地质勘察规范(国标、送审稿)

岩石名称	承载力
坚硬岩石	$\left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25}\right) R_c$
中等坚硬岩石	$\left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}\right) R_c$
较软弱岩石	$\left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}\right) R_c$

表15 国防工程锚喷支护技术暂行规定

岩体级别	I	II	III	IV	V
$R_m = R_c K_v$ (MPa)	>60	60~30	30~15	15~5	<5
$\frac{1}{10} R_m$ (允许承载力)	>6.0	6.0~3.0	3.0~1.5	1.5~0.5	<0.5

注:解放军战士出版社,中国人民解放军总参谋部颁发,1984年。

表16 德国地基规范(DIN—1054)

岩石性质	承载力允许值(MPa)
岩石好	2.0~4.0
岩石差	1.0~1.5

表 17 英国标准实用规范(基础工程)(BS8004,1986 年)

名称	允许承载力	
	kN/m ²	kgf/cm ²
未风化完整的坚硬火成岩及片麻岩	10000	100
未风化坚硬石灰岩和坚硬砂岩	4000	40
未风化片岩和板岩	3000	30
未风化坚硬页岩、泥岩和粉砂岩	2000	20

本标准的地基承载力不但考虑岩体基本质量,还要考虑基岩形态对地基承载力的影响,这是根据大量工程实践经验总结出来的。当然,基岩形态是千姿百态的,本标准从适宜作为建筑物场地的一般条件,给出概括的规定,见表 5.2.6—2。

表 5.2.6—2 的“注”是对反坡型和顺坡型的解释,对于平坦型可不考虑顺坡向和反坡向影响。至于台阶型,常在山麓地带出现,大多为构造简单的沉积岩构成,基岩形态具有陡立边坡及平台,有单阶的,也有多阶的,如乐山大佛附近地貌。利用台阶进行建设时,首先应对台阶稳定性进行评价,只有在台阶稳定的条件下才允许建设。由于台阶高度超过 5m 稳定性评价方法较为复杂,故本标准只限于台阶高度不大于 5 m,且建筑物基础距台阶边缘不宜小于台阶高度,而基岩承载力的基本值修正亦按基岩最不利的形态因素考虑。

在确定各级岩体的承载力标准值(f_k)时,均应选定其相应的 f_0 值,再根据基岩形态选取相应的折减系数(η),修正为 f_k 值。如场地的地基承载力基本值 f_0 为 4.0 MPa,其形态为反坡型,折减系数为 0.9,则修正后的 f_k 值为 3.6(MPa)。

5.2.7 国内外对岩石边坡工程稳定性的研究,大多侧重于对边坡岩体变形破坏的机制、破坏的类型,以及影响其稳定的因素进行分析研究,但对边坡岩体分级的研究甚少。

影响边坡岩体稳定的因素很多,根据国内有关文献资料,认为影响岩石边坡坡度及稳定的因素达十几种之多,见表 18。其中的第 1、2、3、5 项,是决定边坡岩体稳定性的主要因素,已在本标准的岩石坚硬程度和岩体完整程度两项岩体基本质量分级因素中得到考虑,即包含了影响边坡岩体质量和稳定的主要因素,所以边坡岩体的初步定级可直接采用由岩体基本质量确定的级别。

本条只原则规定了在边坡岩体详细定级时,需要考虑的几项修正因素。因为它们对边坡岩体质量影响程度,尚缺乏比较成熟的研究成果和实践资料,难以给出具体修正的方法。

对基本质量 IV 级以上(含部分 IV 级)的边坡岩体,其稳定性明显受到软弱结构面产状与边坡坡面组合关系的影响;基本质量为部分 IV 级和全部 V 级的边坡岩体,其稳定性还在更大程度上受地下水 and 地表水的影响。在详细定级时,应将它们列为主要修正因素。

表 18 影响岩石边坡稳定的因素

序号	因素	铁路	公路	建筑物	水利水电	冶金
1	岩性	✓	✓	✓	✓	✓
2	风化	✓	✓	✓	✓	✓
3	节理(破碎程度)	✓	✓	✓	✓	✓
4	坡高	✓	✓	✓	✓	✓
5	构造带或岩体结构特征	✓	✓	✓	✓	✓
6	结构面产状及延续性	✓	✓		✓	✓
7	地下水	✓	✓	✓	✓	✓
8	地表水		✓		✓	
9	天然斜坡状况	✓				
10	区域地质及地理条件	✓		✓	✓	✓
11	设计施工等人为因素		✓		✓	✓

附录 A K_v 、 J_v 测试的规定

A.0.1 由于声波测试设备及工作条件的不同,岩体弹性纵波速度(V_{pm})的测试方法在国内各部门间不尽相同,主要有跨孔测试法、单孔测井法、锤击法等几种。由于条件限制目前还不能规定统一的方法。不同测试方法结果略有差异,由它们计算得到的 K_v 值,彼此相差约为 $\pm 10\%$,但仍可用来定量地评价岩体的完整程度。所以本附录未明确规定 V_{pm} 的测试以何种方法为主。今后通过深入的分析研究,可以确立由不同方法获得的 K_v 值之间的关系。为此,各工程的勘察试验报告中,应当说明测试方法。

跨孔测试方法所得的 V_{pm} 值,能较好地反映岩体的不完整性,在可能的条件下,宜首先考虑采用此测试方法。若在洞室内进行测试,应注意避开爆破影响。

A.0.2 岩体体积节理数 J_v 值的统计,宜选择在具有三维空间的岩体露头上或工程开挖壁面上进行。测线布置应垂直于被测的一组结构面走向,测线长度不得小于 5m。结构面稀少时,测线宜适当加长。先统计与每一条测线正交的结构面条数,或每一组节理的平均间距,然后按附录 A 的式(A.0.2)计算 J_v 的值。

由于被硅质、铁质、钙质充填再胶结的结构面已不再成为分割岩体的界面,因此,在确定 J_v 时,不予统计。对延伸长度大于 1 m 的非成组分散的结构面予以统计,即需加上分散节理的频率 S_k (条/ m^3),目的在于使计算的 J_v 值更实际。

附录 B 岩体初始应力场评估

岩体初始应力或称地应力,是在天然状态下,存在于岩体内部的应力,是客观存在的确定的物理量,是岩石工程的基本外荷载之一。岩体初始应力是三维应力状态,一般为压应力。初始应力场受多种因素的影响,一般来讲其主要影响因素依次为埋深、构造运动、地形地貌、地壳剥蚀程度等。当然,在不同地方这个主次关系可能改变。

(1)准确地获得岩体初始应力值的最有效方法,是进行现场测试。对大型或特殊工程,宜现场实测岩体初始应力,以取得其定量数据;对一般工程,有岩体初始应力实测数据者,应采用实测值,无实测资料时,可根据地质勘探资料,对初始应力场进行评估。

①在其它因素的影响不显著情况下,初始应力为自重应力场。上复岩体的重量是垂直向主应力,沿深度按直线分布增加。

②历次发生的地质构造运动,常影响并改变自重应力场。国内外大量实测资料表明,垂直向应力值(σ_v)往往大于岩体自重。若用 $\lambda_0 = \sigma_v / \gamma H$ 表示这个比例系数,我国实测资料 $\lambda_0 < 0.8$ 者约占 13%、 $\lambda_0 = 0.8 \sim 1.2$ 者约占 17%、 $\lambda_0 > 1.2$ 者占 65% 以上。这些资料大多是在 200 m 深度内测得的,最深达 500 m。A·B 裴伟整理的前苏联资料, $\lambda_0 < 0.8$ 者占 4%、 $\lambda_0 = 0.8 \sim 1.2$ 者占 23%、 $\lambda_0 > 1.2$ 者占 73%。

国内外的实测水平应力,普遍大于泊松效应产生的 $\gamma H \cdot \nu / (1 - \nu)$,且大于或接近实测垂直应力。用最大水平应力(σ_{H1})与 σ_v 之比表示侧压系数($\lambda_1 = \sigma_{H1} / \sigma_v$),一般 λ_1 为 0.5 ~ 5.5,大部分在 0.8 ~ 2.0 之间, λ_1 最大达 30。若用二个水平应力的平均值($\sigma_{H \cdot av}$)与 σ_v 之比表示侧压系数($\lambda_{av} = \sigma_{H \cdot av} / \sigma_v$),一般 λ_{av} 为 0.5 ~ 5.0,大多数为 0.8 ~ 1.5。我国实测资料 λ_{av} 在 0.8 ~ 3.0 之间, $\lambda_{av} < 0.8$ 者约占 30%、 $\lambda_{av} = 0.8 \sim 1.2$ 者约占 40%、 $\lambda_{av} > 1.2$ 者约占 30%。

③实测资料还表明,水平应力并不总是占优势的,到达一定深度以后,水平应力逐渐趋向等于或略小于垂直应力,即趋向静水压力场。这个转变点的深度,即临界深度,经实测资料统计,大约在1000~1500 m之间。也有人提出,这个临界深度在各国不尽相同,如南非为1200 m,美国为1000 m,日本为500 m,冰岛最浅,为200 m,我国为1000余米。

这样,在目前测试技术和现有实测成果的基础上,本附录规定深度在1000~1500 m为过渡段,1500 m为临界深度是比较合适的。况且,就岩石工程而言,绝大部分工程的埋深远小于1500 m。

④确定初始应力的方向是一个极为复杂的问题,本附录没有具体给出,在使用本附录第(2)款时,可用以下方法对初始应力的方向进行评估。

分析历次构造运动,特别是近期构造运动,确定最新构造体系,进行地质力学分析,根据构造线确定应力场主轴方向。根据地质构造和岩石强度理论,一般认为自重应力是主应力之一,另一主应力与断裂构造体系正交。对于正断层, σ_v 为大主应力,即 $\sigma_1 = \gamma H$,小主应力 σ_3 与断层带正交;对于逆断层, σ_v 为小主应力,即 $\sigma_3 = \gamma H$, σ_1 与断层带正交;对于平移断层, σ_v 是中间主应力,即 $\sigma_2 = \gamma H$, σ_1 与断层面成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的交角,且 σ_1 与 σ_3 均为水平方向。一般地讲,断层带附近应力低,随着远离断层应力值增高,趋向稳定的初始应力值。

(2)高初始应力区的存在,已为工程实践所证实。岩爆和岩芯饼化产生的共同条件是高初始应力。一般情况下,岩爆发生在岩性坚硬完整或较完整的地区,岩芯饼化发生在中等强度以下的岩体。在我国,二滩工程的正长岩、白鹤滩工程的玄武岩、大岗工程的花岗岩、鲁布格工程的白云岩、大瑶山隧道浅变质长石英砂岩、拉西瓦工程的花岗岩以及天生桥二级引水隧洞、渔子溪工程的引水洞、河南省故县工程、甘肃金川矿等,在勘探和掘进过程都有岩爆或岩芯饼化发生,经实测均存在高初始应力。在国外,如瑞典的Victas隧洞,开挖期间在300 m长的地段发生岩爆,该洞段位于高水平应力区,最大主应力为35 MPa,倾角 10° ,方向垂直洞轴线。美国大古力坝,厂房基坑为花岗岩,开挖中水平层状裂开,剥离一层又一层。

一定的初始应力值,对不同岩性的岩体,影响其稳定性的程度是不一样的。为此,用岩石单轴饱和抗压强度(R_c)与最大主应力(σ_1)的比值,作为评价岩爆和岩芯饼化发生的条件,进而评价初始应力对工程岩体稳定性影响的指标。实测资料表明,一般当 $R_c/\sigma_1 = 3 \sim 6$ 时就会发生岩爆和岩芯饼化,小于3可能发生严重岩爆。实际上,洞室周边应力集中系数最小为2,这样高的初始应力值(σ_1),引起洞周边应力集中,从而使得部分洞壁岩体接近或超过强度极限。

考虑到空间最大主应力(σ_1)与工程轴线(如洞室轴线)夹角的不同,对工程岩体稳定的影响程度也不同,只有垂直工程轴线方向的最大初始应力(σ_{\max}),对工程岩体稳定的影响最大,且荷载作用明确。所以本附录表B.0.1采用 R_c/σ_{\max} 作为评价“应力情况”的定量指标。

由于高初始应力对工程岩体稳定性的影响程度,尚缺乏成熟的资料,目前还不能给出更详细的规定,表B.0.1将应力情况定为两种是适宜的。

初始应力各向异性的大小,最大主应力方向与工程主要特征尺寸方位(如洞室轴线、坝轴线、边坡走向等)的关系不同,对工程岩体稳定性的影响也不同,特别是地下工程岩体。由于目前在这方面缺乏足够的依据,无法在分级标准中作出规定,而且这类问题也不是分级工作所能解决的,应在工程设计和施工中根据具体情况给于充分地注意。

附录 C 岩体及结构面物理力学参数

C.0.1 岩体物理力学参数

岩体的物理力学参数反映了岩体的稳定性和质量的高低,它们与决定岩体基本质量的岩石坚硬程度和岩体完整程度密切相关。进行工程岩体基本质量分级的目的之一,就是根据对工程岩体所定的级别,直接且迅速地得到岩体的物理力学参数,而不必大量进行试验。本附录表 C.0.1 对应岩体基本质量的级别,给出了各级物理力学参数值。

国内一些单位和个人在进行岩体分级工作时,给出了各级岩体的物理力学参数值。例如,总参工程兵第四设计研究院(表 19),杨子文、刘承旺、严克强(表 20)等,给出的这些物理力学参数,均是设计采用参考值。

表 19 设计参考用岩体物理力学参数

级别	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	粘聚力 C (MPa)	弹性模量 E_0 (GPa)	重力密度 γ (kN/m^3)	泊松比 ν
I	> 55	3~8	> 25	27~30	< 0.2
II	45~55	1.2~3	15~25	25~28	0.2~0.25
III	35~45	0.4~1.2	4~15	23~26	0.25~0.3
IV	25~35	0.1~0.4	0.8~3	21~25	0.3~0.4
V	< 30	< 0.1	< 1	20~24	> 0.4

表 20 岩体设计指标

级别	质量指标 (M)	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	粘聚力 C (MPa)	变形模量 E (GPa)	纵波速度 (km/s)	泊松比 ν
I (优)	> 3	> 70	> 4	> 20	> 5.5	0.2
II (良)	1~3	45~70	1.5~4	10~20	4.5~5.5	0.25
III (中等)	0.1~1	30~45	0.5~1.5	2~10	3.5~4.5	0.3
IV (差)	0.01~0.1	20~30	0.1~0.5	0.3~2	2.5~3.5	0.35
V (坏)	< 0.01	< 20	< 0.1	< 0.3	< 2.5	0.4

建国以来,国内各单位进行了大量的现场岩体原位试验研究工作,特别是近十几年岩石力学和测试技术的发展,对岩体的物理力学性质有了较深入的认识。合适的分级方法,应该是在收集这些测试数据的基础上,结合被测岩体在测试时对其性状的描述进行统计分析,使得物理力学参数分级能反映这些试验研究成果。在编制本标准时,对所收集的大量岩体抗剪断强度和岩体变形模量原位实测数据,即抽样样品分别进行统计。经统计,这二者大部分样品均小于各自的平均值 \bar{x} ,又注意到中等质量以下的岩体,力学参数的差异,对岩体稳定性影响更敏感,故将小于 \bar{x} 的部分划分三级,大于 \bar{x} 的部分划分二级, \bar{x} 作为一个分级界限值。

(1)岩体抗剪断峰值强度分级。样品总数 60 个,取自 29 个工程,系大型试体双千斤顶法(部分为双压力钢枕)直剪试验成果。其中最大实测内摩擦角 $\varphi = 70.1^{\circ}$ 、粘聚力 $C = 3.02$ MPa(新鲜完整花岗岩);最小测值 $\varphi = 23.7^{\circ}$ 、 $C = 0.02$ MPa(破碎的砂质粘土页岩)。 φ 的 $\bar{x} = 52.6^{\circ}$, φ 值小于 \bar{x} 的样品占总数的 57%、初步分级界限值为 61° 、 52.6° 、 38.7° 、 28.4° 。相应 C 的初步分级界限值为 2.32、1.76、0.89、0.32 MPa。

(2)岩体变形模量分级。样品总数 143 个,取自 47 个工程,系刚性(部分为柔性)承压板法试验成果。其中最大实测值为 90 GPa(新鲜完整闪云斜长花岗岩);最小实测值为 0.17 GPa(软弱破碎页岩)。 $\bar{x} = 21.5$ GPa、小于 \bar{x} 的样品占总数的 60%,初步分级界限值为 34.7、21.5、8.3、1.7 GPa。

根据各样品岩性描述的记载,结合本标准表 4.1.1 各级岩体基本质量的定性特征进行分析,并注意到现场实测值有分散性,将岩体内摩擦角(φ)和变形模量(E)的初步分级界限值略作降低或取整。又注意到粘聚力 C 值的实测值分散性较大,故作了适当降低。分级情况见表 C.0.1,表中给出的各级参数值,相当于现场原位实测值,设计采用时可根据有关行业标准和专业规范的规定,作适当调整。

C.0.2 岩体结构面抗剪断峰值强度。

岩体结构面抗剪断峰值强度,取决于两侧岩体的坚硬程度和结构面本身的结合程度。由于结构面是岩体的弱面,人们在评价和核算工程岩体稳定性时,常对结构面强度给予极大关注。国内各单位都着力对结构面的抗剪强度进行实验研究,特别是现场原位测试,《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(表 21)和水利水电规划设计总院(表 22),给出了结构面抗剪强度参数表,表中所列参数值为设计采用参考值。

表 21 岩体结构面的粘聚力和摩擦系数

序号	类型	摩擦系数	粘聚力(MPa)
1	一般结构面	>0.6	>0.1
2		0.45~0.6	0.06~0.1
3		0.35~0.45	0.03~0.06
4	软弱结构面	0.25~0.35	0~0.02
5		0.17~0.25	0

表 22 结构面抗剪断强度参数表

序号	名称	摩擦系数	粘聚力(MPa)
1	平直刚性结构面	0.5~0.7	0.05~0.1
2	岩块、岩屑型(含泥膜)	0.4~0.55	0.035~0.05
3	岩屑夹泥型	0.3~0.4	0.025~0.035
4	泥或泥夹岩屑型	0.2~0.3	0.005~0.02

本附录是在大量收集结构面原位抗剪强度试验资料(抽样样品)的基础上,对其抗剪断峰值强度参数进行划分的,反映了多年的试验研究成果。统计划分方法见 C.0.1 说明。

结构面抗剪断强度划分:样品总数 94 个,取自 34 个工程,测试方法与岩体抗剪断强度相同,试验剪断面控制在结构面上,其中最大实测内摩擦角 $\varphi = 48.7^\circ$ 、粘聚力 $C = 0.12 \text{ MPa}$ (未风化~微风化闪长花岗岩的裂隙面、闭合、起伏粗糙),和 $\varphi = 45.6^\circ$ 、 $C = 0.16 \text{ MPa}$ (灰岩节理面,新鲜方解石充填);最小实测值 $\varphi = 9.6^\circ$ 、 $C = 0.04 \text{ MPa}$ 和 $\varphi = 10.8^\circ$ 、 $C = 0.01 \text{ MPa}$ (粘土岩泥化夹层)。 φ 的 $\bar{x} = 29.7^\circ$, φ 值小于 \bar{x} 的样品占总数的 63%,初步划分界限值为 38.3° 、 29.7° 、 19.3° 、 13.5° 。相应 C 的初步划分界限值为 0.24、0.12、0.1、0.07 MPa。

根据各样品结构面性状描述的记载,结合本附录表 C.0.2 中各种情况结构面进行分析,并注意到现场实测值有分散性,特别是 C 值的实测值分散性和随机性较大,故将 φ 的初步划分界限值略作降低或取整,将 C 的初步划分界限值作了适当地降低。划分情况见表 C.0.2 给出的参数值,该表中给出的数据,相当于现场原位实测值,设计采用时可根据有关行业标准和专业规范的要求,作适当调整。

附录 D 岩体基本质量指标的修正

D.0.1 本附录规定了对地下水等三项修正因素的修正方法和修正系数取值原则,并给出了相应的修正系数值。

(1)地下水是影响岩体稳定的重要因素。水的作用主要表现为溶蚀岩石和结构面中易溶胶结物,潜蚀充填物中的细小颗粒,使岩石软化、疏松,充填物泥化,强度降低,增加动、静水压力等。这些作用对岩体质量的影响,有的可在基本质量中反映出来,如对岩石的软化作用,采用了单轴饱和抗压强度。水的其它作用在其基本质量中得不到反映,需采用修正措施来反映它们对岩体质量的影响。

目前国内外在围岩分级中,考虑水的影响时主要有四种方法:修正法、降级法、限制法、不考虑。本标准采用修正法,并给出定量的修正系数,这一方法不仅考虑了出水状态,还考虑了岩体基本质量级别。这是由于水对岩体质量的影响,不仅与水的赋存状态有关,还与岩石性质和岩体完整程度有关。岩石愈致密,强度愈高,完整性愈好,则水的影响愈小。反之,水的不利影响愈大。基本质量为 I、II 级的岩体,且含水不多,无水压时,认为水对岩体质量无不利影响,取修正系数 $K_1 = 0$;基本质量为 V 级的岩体,呈涌水状出水,水压力较大时,不利影响最大,取 $K_1 = 1.0$ (即降一级)。对其它中间情况,考虑了在同一出水状态下,基本质量愈差的岩体,对其影响程度愈大,修正系数也随之加大。

修正系数的确定,除考虑上述原则外,还参考了国内近几年的有关研究成果,见表 23。

表 23 地下水影响修正系数汇总表

出水状态	资料来源	岩体基本质量级别				
		I	II	III	IV	V
渗滴水	大型水电站地下洞室围岩分类(水电部昆明勘测设计院)	0	0	0~0.1 (软岩)	0.2~0.4 (硬岩~软岩)	0.4~0.5 (硬岩~软岩)
	隧道工程岩体(围岩)分级(铁道部科学研究院西南研究所)	0	0.1 (硬岩)	0.1~0.25 (硬岩~软岩)	0.1~0.25 (硬岩~软岩)	0.1~0.25 (硬岩~软岩)
	国防工程锚喷支护技术暂行规定(总参,1984年)	0	0	0.1	0.25	0.5
	本标准	0	0	0.1	0.2~0.3	0.4~0.6
淋雨状或线流状出水	大型水电站地下洞室围岩分类(水电部昆明勘测设计院)	0	0~0.1 (硬岩)	0.1~0.25 (硬岩~软岩)	0.3~0.6 (硬岩~软岩)	0.6~0.9 (硬岩~软岩)
	隧道工程岩体(围岩)分级(铁道部科学研究院西南研究所)	0	0.1 (硬岩)	0.1~0.5 (硬岩~软岩)	0.1~0.5 (硬岩~软岩)	0.1~0.5 (硬岩~软岩)
	国防工程锚喷支护技术暂行规定(总参,1984年)	0	0.1	0.25	0.5	0.75
	本标准	0	0.1	0.2~0.3	0.4~0.6	0.7~0.9
涌水	大型水电站地下洞室围岩分类(水电部昆明勘测设计院)	0	0~0.2 (硬岩)	0.2~0.5 (硬岩~软岩)	0.4~0.8 (硬岩~软岩)	0.8~1.0 (硬岩~软岩)
	隧道工程岩体(围岩)分级(铁道部科学研究院西南研究所)	0	0.25 (硬岩)	0.25~0.75 (硬岩~软岩)	0.25~0.75 (硬岩~软岩)	0.25~0.75 (硬岩~软岩)
	国防工程锚喷支护技术暂行规定(总参,1984年)	0	0.25	0.5	0.75	1.0
	本标准	0	0.20	0.4~0.6	0.7~0.9	1.0

注:昆明院和西南所都是用评分法确定岩体质量指标,水的影响采用评分对岩体质量进行修正。表中所列系数是按负分值和级差换算的。

(2)软弱结构面是影响地下工程岩体稳定的一个重要因素,在引入这一因素时,应注意对稳定影响大,起着控制作用的软弱结构面。所谓起控制作用的软弱结构面,是指成层岩体的泥化层面、一组很发育的裂隙、次生泥化夹层、含断层泥、糜棱岩的小断层等。

由于结构面产状不同,与洞轴线的组合关系不同,对地下工程岩体稳定的影响程度亦不同。如成层岩体、层面性状较差,为陡倾角且走向与洞轴线夹角很大时,对岩体稳定性无不利影响。反之,倾角较缓且走向与洞轴线夹角很小时,就容易发生沿层面的过大变形,甚至发生拱顶坍塌或侧壁滑移。再如一条小断层,当其倾角很陡,且与洞轴线夹角很大时,洞室稳定,基本无影响;反之则有很大的影响。这种不利影响在岩体基本质量及其指标中反映不出来。

为了反映这种组合关系对稳定性的影响,本附录仍采用对基本质量进行修正的方法,其修正系数 K_2 见本附录表 D.0.1-2,是根据试验并参考表 24 制定的。所谓“其它组合”,是指结构面倾角 $<30^\circ$, 夹角为任意值;倾角为任意值, 夹角为 $30^\circ \sim 60^\circ$; 倾角 $<75^\circ$, 夹角 $>60^\circ$; 倾角 $<30^\circ$ 、 $>75^\circ$, 夹角 $<30^\circ$ 四种情况。

需指出,这里是指存在一组起控制作用结构面的情况,若有两组或两组以上起控制作用的结构面,组合情况就复杂得多,不能用修正岩体基本质量的方法,而需通过稳定分析解决。

表 24 国内对结构面影响的修正情况

代表性分级	修正系数幅度
水利水电工程地质勘察规范	0~0.6
水工隧洞设计规范	限制法
国防工程锚喷支护技术暂行规定	0~0.5
坑道工程围岩分类	0~0.5
大型水电站地下洞室围岩分类	0~0.6
铁路隧道工程岩体(围岩)分级建议	0~0.6
节理化岩体地质力学分类	0~0.6
岩体结构评价	0~0.6
本 标 准	0~0.6

(3)岩体初始应力对地下工程岩体稳定性的影响是众所周知的,特别是高初始应力的存在(参见附录 B 说明)。岩石强度与初始应力之比(R_c/σ_{max})大于一定值时,可以认为对洞室岩体稳定不起控制作用,当这个比值小于一定值时,再加上洞室周边应力集中的结果,对岩体稳定性或变形破坏的影响就表现得显著,尤其岩石强度接近初始应力值时,这种现象就更为突出。采用降低基本质量指标(BQ),从而限制岩体级别的办法来处理,引入修正系数 K_3 。这里用降低 BQ 值,而不是直接规定降到某一级。

在极高应力地区,基本质量为Ⅲ、Ⅳ级的岩体,岩体将会发生不同程度的塑性挤压,流动变形,基本上没有自稳能力,采取较大幅度地限制岩体的级别。为此进行了如下处理,如:当 $BQ = 351 \sim 450$ 和 $BQ = 251 \sim 350$ 时,均取 $K_3 = 1.0 \sim 1.5$, BQ 值较小时取较大的修正系数(K_3),反之取较小的修正系数。基本质量为Ⅰ、Ⅱ级的岩体,在极高应力区岩体未丧失自稳能力,但明显地影响了自稳性。在高应力地区,初始应力对岩体稳定性的影响大为减小,但仍影响岩体稳定性,故取较小的修正系数(K_3),适当限制其级别。

对初始应力这一修正因素,采用降低岩体 BQ 指标的处理办法,可用于经验方法确定支护参数的设计。若用计算分析方法进行设计时,就不需作上述处理。

按照这种办法进行修正,修正前后可能仍属同一级,似无意义,其实经修正后可能由原来靠近某级上限而变为处于该级中部或接近下限。不仅如此,若单修正水的影响,由某级的上限修正到该级的中部,如果再加上另一影响因素的修正,就可能降一级了。这些对于评价地下工程岩体稳定性

和选用支护等参数是有意义的,因为有关规范中的支护等参数表,每级都有一定的范围值。对 $BQ < 250$ 时也作修正,就是据此考虑的。

附录 E 地下工程岩体自稳能力

岩体基本质量指标修正值〔 BQ 〕确定的地下工程岩体级别与洞室的自稳能力之间,有很好的对应关系,据对 48 项地下工程,416 个区段,总长度 12000 m 洞室的工程岩体质量指标〔 BQ 〕值和塌方破坏关系的统计,〔 BQ 〕 >550 的 52 段无一处塌方,其中最大跨度为 18~22 m 无支护,至今已稳定近 20 年。其它情况见表 25。值得注意的是,表中所列的〔 BQ 〕 <351 地段,所发生的塌方多数是没有按要求及时支护,若长期不支护,可能有 100 % 的地段发生塌方。经工程实践统计分析,本附录给出地下工程岩体自稳能力表。

表 25 塌方情况统计表

项 目	工程岩体级别				
	I	II	III	IV	V
段 数	52	80	81	108	95
发生塌方段数	0	10	14	39	59
塌方段占总段数比	0	12.5 %	17.3 %	36.1 %	62.1 %
最大塌方高度(m)	0	2	3	10	65(通天)

表 E.0.1 所描述的稳定性(自稳能力),包括变形和破坏两方面,是指长期作用的结果。开挖后短时间不破坏并不能说明岩体是稳定的,需通过变形观测和较长时间作用的检验。