

## 修正 Z 系统在坝区岩体质量分级中的应用

谢怀前<sup>1</sup>, 许模<sup>1</sup>, 叶志平<sup>2</sup>, 魏云杰<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059;  
2. 中国水电工程顾问集团华东勘测设计研究院, 杭州 310014)

**摘要:** 在综合分析国内外几种常用的坝区岩体质量分级体系的基础上, 以大量现场地质勘察、弹性波检测和室内外岩石力学试验为依据, 提出修正 Z 系统, 并对相关参数的取值作了初步分析。结合金沙江某水电站坝区岩体质量分级实例, 以地质因素为主导因素, 为该分级方法参数之间的换算提供了物质基础。研究表明: 修正 Z 系统对水电站坝区复杂工程岩体质量分级比较适合, 具有较为广宽的研究空间和应用前景。

**关键词:** 修正 Z 系统; 岩体质量分级; 岩体结构; 坝区

中图分类号: P585

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)04-0203-03

## Application of Modified Z-system in Rock Mass Quality Classification in Dam Region

XIE Huai-qian<sup>1</sup>, XU Mu<sup>1</sup>, YE Zhi-ping<sup>2</sup>, WEI Yun-jie<sup>1</sup>

(1. National Professional Laboratory of Geo-hazards Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. East China Investigation and Design Institute of Chinese Hydropower Engineering Consulting Corp, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Based on analyzing synthetically several representative domestic and international rock mass quality classification systems in dam region, and relying on massive situ-in geological investigation, elastic wave test and rock mechanical situ-in experiments and indoor test, modified Z-system was put forward. It also did some primary research on how evaluate the correlative parameters. Coupled with the example of rock mass quality classification of one of Jinsha River hydropower station, the geological information was make as dominant factor. It provides practical basement for the conversion between all kinds of parameters of this classification system. Research result indicates that modified Z system is fit for complicated engineering rock mass quality classification in dam region comparatively. So it possesses wide research space and engineering outlook relatively.

**Key words:** modified Z-system; rock mass quality classification; rock mass structure; dam region

### 1 引言

目前, 国内外对工程岩体质量(稳定性)评价颇为流行的做法是对工程岩体(质量)进行分级, 并且正在由单因素定性分级向多因素、多指标的定性和定量综合模式发展。单一定性分级具有较大的主观性, 缺乏统一分级标准; 另一方面, 影响岩体质量的因素常具有不确定性、复杂性和模糊性等特征, 用少数几个固定的评价指标和简单的数学表达式难以准确全面地概括所有情况, 岩体质量的完全定量化分级只能具有数学意义。尽管主要的岩体质量评价分级方法的应用和侧重点不同, 其目的都是试图定量或半定量地反映工程岩体结构复杂性, 但这类方法所需的相关参数在工程实践中往往不能准确提取, 从而不能精确地为工程岩体(尤其是拱坝建基岩体)质量分级提供依据。因此, 只有以定性分析为基础, 结合定量或半定量分析, 才能在工程实践意义上充分有效地综合评价岩体质量发育特征。

本文尝试利用修正 Z 系统工程岩体质量分级法对某水电站坝区岩体作较为精细分级。

### 2 修正 Z 系统

Z 分类法是由谷德振等人于 1979 年提出, 他在基于岩体的完整性系数, 主要结构面的摩擦系数, 岩块坚强性系数决定了岩体质量的优劣程度的认识上, 将岩石单轴抗压强度, 岩体结构系数, 岩体完整性系数, 和透水性系数的乘积作为判据, 其表达式为:

$$Z = R \cdot T \cdot K_v \cdot \omega_k \quad (1)$$

式中:  $R$ ——岩石单轴抗压强度;  $T$ ——岩体结构系数, 由  $J_r / (J_a \cdot J_v)$  求取,  $J_r$ ——节理粗糙系数,  $J_a$ ——节理蚀变系数,  $J_v$ ——体积节理数;  $K_v$ ——体完整性指数;  $\omega_k$ ——岩体透水性系数。

#### 2.1 修正 Z 系统简介

修正 Z 系统是将挪威 Palmström 等人于 1995 年提出的

\* 收稿日期: 2005-11-29

作者简介: 谢怀前(1980-), 男, 在读硕士生, 主要从事水电站岩体结构特性方面研究; 通讯作者: 许模, 教授, 博导, 从事工程地质水文地质方面的教学与研究。

RMi(Rock Mass index)法与谷德振等人于 1979 年提出 Z 系统有效地结合起来,即用 RMi 法中的节理参数 JP 代替 Z 系统中的岩体结构系数 T 同时引进 JP 值的精确算法,从而得到修正 Z 系统中 [Z] 的表达式为:

$$[Z] = R \cdot JP \cdot K_v \cdot \omega_k \quad (3)$$

式中:R、T、K<sub>v</sub>、ω<sub>k</sub> 与谷德振等人提出 Z 分类法中的各参数意义相近;节理参数 JP 由岩体节理体积因子 Vb 和节理状态因子 jC 获得,即

$$JP = Vb \cdot jC \quad (3)$$

根据式(2)求得的 [Z] 值,按 Z 系统中岩体质量指标 Z 值分级区间,仍将工程岩体划分为 5 级。

### 2.2 节理体积参数 Vb 取值

对于主要三组节理之间夹角分别为 λ<sub>1</sub>、λ<sub>2</sub> 和 λ<sub>3</sub> 的岩体的节理体积参数 由下式计算:

$$Vb = \beta \times Jv^{-3} \frac{1}{\sin\lambda_1 \times \sin\lambda_2 \times \sin\lambda_3} \quad (4)$$

式中:β——岩石的几何外形因子,其估算值表达式为:

$$\beta = 20 + 7\alpha_3/\alpha_1 \quad (5)$$

其中 α<sub>1</sub> 和 α<sub>3</sub> 分别为岩块几何形状最长和最短。

$$Vb = \beta \times Jv^{-3} \quad (6)$$

式(4)中为岩体体积节理数,可按下式精确求取:

$$Jv = Na \times ka \quad (7)$$

节理频数(Na)是表征工程岩体中节理密集程度及规模的一个变量,应该在节理密集且属于同类型的区域测取相关参数,也必须将大的测面分割成若干较小的具有代表性的测面(测窗)或者含有随机短小裂隙的构造节理测面,整个测面的节理发育特征正是基于对该测面上若干测窗内节理的观察与测量的。在进行水电站坝区工程岩体质量分级时,采用 2 m×2 m 测窗法,即在各勘探平洞中的某一固定洞壁采用间隔 10 m 的 2 m×2 m 精测网(测窗)。在任一测窗内将任何长度大于 0.05 m 的节理的产状、性状和位置都精确描述并记录,以此作为节理的频数(Na)以及节理参数 JP 中其它各项因子的取值依据。

$$Na = (1/\sqrt{A}) \sum(n\alpha_i \times L_i) + N\alpha_i \quad (8)$$

式中:n<sub>i</sub>——第 i 条未延伸出某测面节理长度;N<sub>i</sub>——延伸出该测面的节理数目;A——该测面的面积;ka——1~1.25 之间的关联因子,取平均值 ka= 1.5,当测面与主节理面时取最大值 ka= 2.5。

### 2.3 节理状态参数 jC 取值

式中 jC 由节理长度系数 jL、节理粗糙系数 jR 和节理蚀变系数 jA 获取,其表达式为:

$$jC = jL \times jR / jA \quad (9)$$

式(9)中所涉及的各种参数在参照谷德振等人提出的 Z 分类法中相关参数取值基础上,并作了某些必要的改进而获得。

## 3 工程应用

拟建水电站位于金沙江下游河段,水库正常蓄水位为 820 m,总库容 188 亿 m<sup>3</sup>,初定坝型为混凝土双曲拱坝,最大坝高 275 m,装机容量 12 000 MW。坝区主要出露地层有:二叠系峨眉山玄武岩(P2<sup>β</sup>);下伏二叠系下统灰岩;上覆三叠系下统飞仙关组砂页岩。第四系松散堆积物主要分布于河床、阶地及缓坡台地上。岩性主要由微晶~隐晶玄武岩、杏仁玄武岩和变玄武质角砾熔岩等玄武岩和凝灰岩组成。

其中,玄武岩中存在由缓倾角的层间、层内错动带和陡倾角的断层、玄武岩柱状节理、裂隙构成的复杂岩体结构体系,它们之间的交切组合关系控制着坝区岩体结构的基本状况。

### 3.1 岩石单轴抗压强度 R 提取

与其它工程岩体质量分级体系类似,修正 Z 系统中岩体的工程质量好坏也主要取决于岩体强度大小。本次主要对水电站坝区重要工程部位的两个勘探平洞(PD36, PD38)揭露的岩体作初步分析,各平洞基本情况如表 2 所示。

表 1 节理状态参数 jC 中各节理因子的取值

	平直	轻微起伏	起伏	很起伏	阶坎	
j <sup>R</sup>	很粗糙	2	3	4	6	
	粗糙	1.5	2	3	4.5	
	光滑	1	1.5	2	3	
	镜面光滑	0.5	1	1.5	2	
j <sup>A</sup>	微裂纹	无张开或充填石英、绿帘石等			1	
	无充填	面壁新鲜	张开、无蚀变、无充填		1	
		面壁蚀变	轻微蚀变		2	
			严重蚀变		4	
	j <sup>L</sup>	薄充填	角砾	砂、方解石、无粘土		3
			岩屑和泥	粘土、绿泥石、云母		4
		角砾	砂、方解石、无粘土		8	
厚充填		岩屑	砂、方解石、无粘土		5-10	
		岩屑和泥	砂、方解石、含粘土		12	
		泥	粘土		13-20	
节理类型	长度/m	连续性节理 jL 值		非连续性节理 jL 值		
原生型	< 0.5	3		6		
j <sup>L</sup>	无充填构造型	0.1-1	2		4	
		1-10	1		2	
		10-30	0.75		1.5	
充填型	> 30	1.5		1		

表 2 勘探平洞情况简表

编号	位置	高程/m	洞向	构造	岩性
PD36	左岸拱坝中	675.7	N85°W	101 m 处,层内	以隐晶~微晶玄武岩为主,柱状节理发育
	拱轴助线			错动带 Sh7	
PD38	右岸拱坝中	733.9	N88°E	93 m 处,断	微晶~隐晶玄武岩;其余为杏仁玄武岩
	拱轴助线			层 F38-1	

研究中对 PD38 采用现场点荷载试验和回弹测试试验,将两种方法测试结果作一元二次回归分析(见图 1),得到岩石单轴湿抗压强度和回弹值相关性方程。

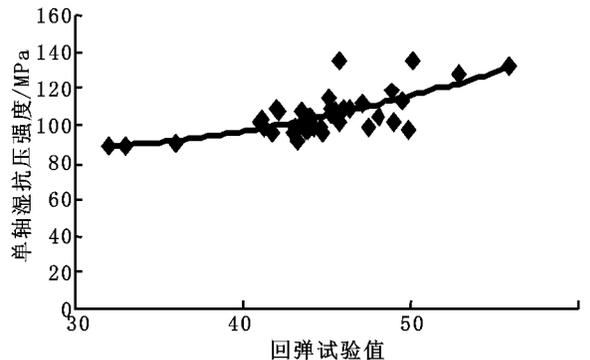


图 1 岩石单轴湿抗压强度与回弹值相关性分析图

$$Y = 0.0517X^2 - 2.7406X + 123.86 \quad (10)$$

由于试验中影响两种测试结果准确性的因素较多, 因此其相关性系数较小( $r = 0.7471$ )。尽管如此, 对于大型水电工程的某些非重要性工程部位的勘探平硐岩体的初步分级仍然比较适用。

### 3.2 基于 VB 语言的系统开发

介于修正 Z 系统岩体质量分级法涉及诸多数值计算, 因此在熟悉该法提出的各种数学运算表达式意义的基础上, 应用 Visual Basic 语言开发了水电站工程岩体质量分级系统, 其用户界面如图 2 所示。该系统不仅能在掌握大量准确而丰富现场地质资料的基础上较为方便地计算坝区岩体修正 Z 系统值, 还能用基于水电网岩分类法、工程岩体分级标准(GB50218-94)和 Z 分类法的各种岩体质量评分值, 可以更方便地比较不同分级分类方法之间的差异性, 从而更好地为水电站工程实践服务。

### 3.3 结果分析

在拥有大量扎实的现场地质勘察资料的基础上, 应用不同的工程岩体分级分类方案对该水电站拱坝中拱轴部位的勘探线左右岸不同高程的两个勘探平硐进行岩体质

量分级研究, 其分析结果如表 3 所示。由表中分级结果可知: 修正 Z 系统计算结果较为接近工程岩体分级标准(GB50218-94)分级结果。但与之不同的式修正 Z 系统涉及更多较为精确的客观数值计算, 从而使工程岩体分级分类不再是主要依靠经验丰富的岩土工程师现场主观判断。



图 2 基于 VB 语言的 Z 系统程序界面

表 3 不同岩体质量分级分类法计算结果对比表

编号	硐深/m	9~ 11	19~ 21	29~ 31	39~ 41	49~ 51	59~ 61	69~ 71	79~ 81	89~ 91	99~ 100	109~ 111	119~ 121
PD36	[BQ]值	295.96	354.46	392.41	428.768	444.576	460.384	476.192	492	592.36	428	566.35	588.72
	国标分级												
	Z 值		3.07		5.87	5.62	6.89	11.52	10.42	15.75	3.56	18.65	21.5
	Z 分级												
	[Z] 值		0.98		5.02	6.56	7.06	15.6	19.82	35.62		35.62	39.56
PD38	[Z] 分级												
	[BQ]值	325.6	356.8	388	379.5	375.2	364.8	384.88	455.3	破碎带	582.1	585.49	566.8
	国标分级												
	Z 值		1.3	7.07	7.02	6.89	6.51	6.32	5.59		30.55	27.15	19.87
	Z 分级												
PD38	[Z] 值		0.62		6.02	5.27	5.36	4.98	6.58		39.53	42.25	40.38
	[Z] 分级												

注: 表中空白为因某些相关数据无法实测而致。

## 4 结 语

本文提出的基于 Z 分类法的修正 Z 系统工程岩体质量分级法, 既充分利用了已有权权威分级方法的经验和可靠性, 又充分考虑了节理化岩体的不均匀性, 改进了过去对岩体质量评价时只能按平均值进行计算评价的缺点, 其评价结果基本符合坝区工程岩体的实际情况。另外, 采用更为科学的参考文献:

算复杂节理化岩体体积节理数  $J_v$  方法, 从而为各种工程岩体质量分级分类法向量化目标发展迈进了较为重要的一步。与次同时, 由于尚该法处于初级研究阶段, 仍然存在诸如岩石单轴抗压强度的取值、节理岩体的精细描述、以至地下水及地应力如何对分级结果产生影响等方面的问题, 因此, 该分级方法将具有较为广阔的研究空间和工程应用前景。

[1] Palmström A. RMI - a system for characterization of rock masses for rock engineering purposes[D]. Norway: Department of Geology faculty of mathematics and natural sciences Univ. of Oslo, 1995.

[2] Bieniawski Z T. Engineering rock mass classifications[M]. New York: John Wiley & Sons, 1989. 251.

[3] Barton N. Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q- system[A]. In: Proc. Symp. Rock Class. Eng. Purp. ASTM Special Technical Publication 1984[C]. Philadelphia: [s. l.], 1988. 59- 88.

[4] GB50218- 94, 工程岩体分级标准[S].

[5] 黄润秋, 许模, 等. 复杂岩体结构精细描述及其工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[6] 谷德振. 岩体工程地质力学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1979.