

文章编号: 1000-7598-(2005)增刊-095-04

锦屏一级水电站左坝肩边坡岩体质量 CSMR 分类

张文杰, 周创兵, 荣冠

(武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

摘 要: 系统地介绍边坡岩体质量评价分类的 CSMR 法, 结合锦屏水电站左坝肩边坡工程的实例, 根据结构面性质的不同细化了结构面修正系数, 并引入了结构面连通率, 对 CSMR 分类进行了修正。分析结果表明, 修正后的 CSMR 分类更加合理。

关 键 词: 边坡岩体质量分类; CSMR 系统; 边坡稳定

中图分类号: TU457 文献标识码: A

Application of the CSMR system to slope stability evaluation for Jinping First Cascade Hydropower Station

ZHANG Wen-jie, ZHOU Chuang-bing, RONG Guan

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The CSMR method of slope rock mass quality evaluation is introduced with a practical example of the left abutment slope at the Jinping First cascade Hydropower Station. The system has been amended by refining the compensation factor of rock discontinuity structure and introducing its connectivity rate. It is proved that the method is practicable.

Key words: slope rock mass quality evaluation; CSMR system; stability evaluation

1 引 言

边坡岩体质量分类与评价早已成为国内外有关学者的一个研究热点。边坡岩体质量分类的最终目的是为了进行边坡岩体稳定性分析, 其依据是岩体的结构特征。由于岩体结构分类能充分反映边坡的地质特征, 因而边坡岩体质量评价能有效的用于边坡的稳定性分析, 为工程设计提供一种定量数据, 并具有一定的指导意义^[2]。

2 边坡岩体质量分类方法的选择

水电边坡工程中最常用的岩体质量分类方法有水利水电工程地质勘察规范中提出的分类、RMR 分类、Q 系统 3 种分类方案。水利水电工程围岩分级是针对洞室围岩的, 虽然既考虑了地应力条件, 又考虑了结构面的影响, 可做为边坡岩体质量的分类的方法, 但其忽略了结构面产状及边坡高度、施工方法对边坡稳定的影响。Q 分类考虑了地应力因素及支护所需的参数, 但未直接考虑结构面的方

位, 它基本上是一个定性的分析方法, 主观随意性比较大。RMR 分类较为重视结构面的影响, 分类中的一些指标易于获得, 且在不少工程中经过检验, 在国际上应用较广。在 RMR 分类基础上改进的 CSMR 分类, 考虑了结构面产状及施工方法对边坡稳定性的影响, 并引入了边坡高度修正系数和结构面条件系数。因此, 以 CSMR 分类方案所得出的边坡岩体质量类型作为建议类型, 水电分类及 Q 分类法可作为边坡岩体质量分类的比较方案。

3 CSMR 分类法及其修正

3.1 CSMR 分类法

CSMR 分类体系是在 RMR-SMR 体系的基础上, 引入高度修正系数和结构面条件修正系数提出的一种用于边坡岩体质量的评价方法——CSMR 分类体系。其具体表达式如下:

$$CSMR = \xi RMR - \lambda (F_1 F_2 F_3) + F_4 \quad (1)$$

式中 RMR 为比尼威斯基(Bieniawskizt)提出的岩体质量得分; F_1 为结构面走向与坡面走向间角距关系的修正系数; F_2 为节理倾角的修正系数; F_3 为坡面倾角与结构面倾角关系的修正系数, 取值见表 1;

ξ 为高度修正系数, $\xi=0.57+0.43 (H_r/H)$, 其中 H 为边坡高度, $H_r=80$ m; λ 为结构面条件系数, 取值见表 2; F_4 为边坡开挖方法的影响调整参数。取值见表 3。

表 1 不连续面产状调整值

Table1 Adjustment rating of discontinuity attitude

条件	很有利	有利	一般	不利	很不利	
P	$\left \alpha_j - \alpha_s\right $					
$T/(^{\circ})$	$\left \alpha_j - \alpha_s - 180\right $	>30	30~20	20~10	10~5	<5
P/T	F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
$P/(^{\circ})$	$\left \beta_j\right $	<20	20~30	30~35	35~45	>45
P	F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F_2	1	1	1	1	1
$P/(^{\circ})$	$\beta_j - \beta_s$	>10	10~0	0	0~(-10)	<-10
T	$\beta_j + \beta_s$	<110	110~120	>120		
P/T	F_3	0	6	25	50	60

表 2 结构面条件系数 λ Table 2 Discontinuity condition factor λ

结构面条件	断层、夹层泥	层面、贯通裂隙	节理
λ	1.0	0.9~0.8	0.7

表 3 边坡开挖方法调整值

Table 3 Adjustment rating of slope cutting methods

开挖方法	自然边坡	预裂边坡	光面爆破	一般开挖或机械开挖	欠缺开挖
F_4	+15	+10	+8	0	-8

由式(1)组合后即得到 $CSMR$ 的值。以 20 分为间隔, 划分 5 个级别, 即得到如表 4 所示的 $CSMR$ 值及稳定性等级分类。在实际工作中应首先对边坡进行区段划分, 根据每一个区段内研究边坡的风化卸荷与岩体结构特征, 判别岩体边坡的优势结构面, 再分别对每一组优势结构面, 计算其对应的 $CSMR$ 值。把获得的最小的 $CSMR$ 值, 作为该段边坡的最终 $CSMR$ 值。最后参照 $CSMR$ 分类体系推荐的分级描述表, 结合工程实际可进行边坡稳定性评价, 根据 $CSMR$ 分类体系推荐的加固方法, 进行边坡加固方案设计。

表 4 $CSMR$ 分级描述表Table 4 Slope stability classification using $CSMR$ system

级别	$CSMR$	稳定性	加固
V	<20	很坏	重新开挖
IV	21~40	坏	大力加固或重新设计
III	41~60	一般	系统加固
II	61~80	好	点状加固
I	>81	很好	不需

3.2 CSMR 分类法的修正

$CSMR$ 法存在以下不足: F_3 所占的权重过大, 即当边坡角比结构面倾角大于 10° 时, 无论岩石和结构面的强度多高, 岩体均要降低 60 分 (3 个级别), 这是不符合实际的^[3]。 λ 的取值未考虑结构面的起伏粗糙程度对边坡稳定性的影响, 也未考虑结构面连通性的影响。本文在总结以往边坡岩体质量分级的实际经验的基础上, 结合锦屏一级水电站坝肩槽边坡的实际情况, 对 $CSMR$ 分类法进行了结构条件系数 λ (表 5) 和对 F_3 取值(表 6)的调整。

表 5 结构条件修正系数 λ Table 5 Discontinuity condition factor λ

结构面条件	断层、层间错动带		节理裂隙		
	断层泥	破裂岩构造角砾岩	平直光滑张开, 无填充	起伏粗糙, 填充岩屑、岩块	闭合无填充
λ	1.0	0.95	0.9	0.8	0.7

表 6 F_3 取值修正Table 6 Adjustment rating of F_3

$P/ (^{\circ})$	$T/ (^{\circ})$	P/T
$\beta_i - \beta_s$	$\beta_i + \beta_s$	F_3
>10	<110	0
10~0	110~120	6
0	>120	10
0~(-10)		25
<-10		30

对式 (1) 进行连通率的修正, 修正后的 $CSMR$ 计算公式为

$$CSMR = \xi RMR - \lambda \mu (F_1 F_2 F_3) + F_4 \quad (2)$$

式中 μ 为结构面的连通率。

4 岩体质量 CSMR 分类

4.1 左岸拱肩边坡基本地质条件^[1]

左岸坝肩边坡地形总体上完整, 无大的深切沟谷发育, 山体雄厚, 谷坡陡峻, 主要的破坏模式为拉裂滑动破坏。发育有 F_5 , F_8 断层及煌斑岩脉, 深部裂缝、 F_2 断层、顺层挤压错动带及倾向坡外的缓倾角裂隙, 这些均构成控制左坝肩抗滑稳定的主要边界条件。

控制左坝肩抗滑稳定的侧向切割面(侧滑面)主要有 F_5 , F_8 断层、煌斑岩脉、深部裂缝及其它局部地段发育的小断层。控制左坝肩抗滑稳定的底滑面主要有走向 NE, 倾 NW(倾山里)的 F_2 断层和层间挤压错动带, 缓倾山外的结构面主要为短小裂隙, 局部可见长大裂隙, 但总体不太发育。

从边坡的滑移模式分析, F_2 断层或层间剪切带均是反倾结构, 与 F_5 断层或 h 煌斑岩脉的组合可能滑

移块体的交棱线都以较平缓的倾角倾向上游, 且略微偏山里, 滑动可能性小。坡体中下部 N29°E/SE∠25°缓倾河床裂隙剪断各类岩体的单滑组合形式中, 组合可能滑移块体的交棱线以比较小的倾角倾向下游, 对抗滑稳定不利。坝肩及抗力体范围内发育的小断层、III(IV)级深部裂缝、浅表部卸荷裂隙与其它结构面组合, 构成局部可能小滑移块体。

4.2 左岸拱肩边坡质量的 CSMR 分类

从边坡的滑动模式来分析, F_5 断层倾角大于坡面倾角, 不会发生沿着 F_5 断层的单面滑动, 缓倾裂隙可能构成最可能的底滑面, 因此以缓倾角裂隙为不利结构面对坝肩自然边坡进行岩体质量 CSMR 分类。坡体中下部 N29°E/SE∠25°缓倾河床裂隙走向与边坡走向间的夹角小于 5°, 则 $F_1=1$; 结构面的倾角 $\beta_i=25^\circ$, 则 $F_2=0.6$; 对于自然边坡 ($\beta_i - \beta_s$) < -10°, 则 $F_3=30$, 对于自然边坡 $F_4=15$, ξ 取 0.74, 结构面为节理裂隙, 则 λ 取 0.7, 其连通率为 6%, 代入式(2)得到边坡岩体质量分类结果见表 7。

表 7 锦屏一级水电站左岸拱肩边坡的 CSMR 分类

Table 7 Rock mass quality classification of the left abutment slope at the Jinping First sCascade Hydropower Station

边坡类型	岩体	RMR	F_1	F_2	F_3	F_4	CSMR	类别	稳定性评价
自然边坡	强卸荷	33	1	0.6	30	15	39	IV	局部不稳
	弱卸荷	42	1	0.6	30	15	45	III	整体稳定, 局部坍塌
	深卸荷	53	1	0.6	30	15	53	III	较稳定

由表 7 可见, 拱肩边坡强卸荷岩体为 IV 类岩体, 弱卸荷为 III 类岩体, 深卸荷也为 III 类岩体, 说明出口边坡整体比较稳定, 但局部可能发生沿顺坡裂隙的拉裂滑动破坏。

4.3 合理性分析

为了验证上述建议方法的合理性, 文[4]对已在水利水电工程边坡登录工作中登录的 34 个边坡进行了分析, 并根据其实际稳定状态给出了经验安全系数 F , 而安全系数又按下面的经验公式转换成“等效 SMR”, 即 $ESMR$ ^[4]。

$$ESMR = 100 - \frac{52.5}{F_s - 0.15} \quad (3)$$

则也可以由 $ESMR$ 推求出相应的等效安全系数 F_s' :

$$F_s' = \frac{52.5}{100 - EMSR} + 0.15 \quad (4)$$

由式(3)可以推算出自然边坡强卸荷岩体的 CSMR 评分为 39, 则由(4)式其相应的等效安全系数 F_s' 为 1.01, 处于基本稳定状态, 而 RMR 分类评分为 0.93, 处于不稳定状态, 与实际不符。因此引入修正后边坡 CSMR 评分非常接近实际状态, 可以认为修正体系对该工程是适宜的, 对类似工程也应是合理的。

5 结 论

本文系统地介绍了边坡岩体质量分级的 CSMR 方法。本方法在 RMR 岩体质量评分的基础上, 考虑了结构面产状及施工方法对边坡稳定性的影响并引入了边坡高度修正系数 ξ 和结构面条件系数 λ , 根据分级结果可初步判断边坡的稳定性情况。结合锦屏一级水电站左岸坝肩边坡的工程实例, 对其进行了结构面条件系数的细化和进入了结构面连通率的修正, 得到的结论切合实际, 且方法简便易行, 值得进一步研究和推广应用。

参 考 文 献

- [1] 国家电力公司成都勘察设计研究院. 雅砻江锦屏一级水电站可行性研究报告(3): 工程地质[R]. 成都: [s.n.] , 2003.
- [1] 李胜伟,李天斌,王兰生. 边坡岩体质量分类体系的 CSMR 法及应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 12(2): 69—72.
- [2] 周创兵,孙万和. 白水峪水电站右岸坝下游边坡岩体的 RMR-SMR 分类及稳定性评价 [J]. 工程地质学报,1997,5(3): 224—230.
- [3] 孙东亚, 陈祖煜. 边坡稳定评价方法 RMR-SMR 体系及其修正[J]. 岩石力学与工程学报,1 997, 16(4): 297—304.