

DOI: 10.11779/CJGE201508027

改进 CSMR 法在露采矿山边坡中的应用

曹平, 刘帝旭

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 针对传统 CSMR 法没有考虑露采矿山边坡出露频率快、存在周期长和边坡高度差异大对岩体质量等级的影响, 引入时间影响系数 ψ , 修正不连续面与坡面倾角间关系调整参数 F_3 和坡高修正系数 ξ , 提出改进 CSMR 法, 对一般露采矿山的不同高度边坡岩体进行质量分级, 提高其分级适用性。边坡实例分析表明, 改进 CSMR 法比传统质量分级 SMR 法和 CSMR 法更加符合工程实际, 运用改进 CSMR 法对露采矿山边坡岩体质量分级更加合理。

关键词: 改进 CSMR 法; 时间影响系数; 露采矿山边坡; 岩体质量分级

中图分类号: TU457 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2015)08-1544-05

作者简介: 曹平(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土工程和采矿工程等方面的教学和科研。E-mail: pcao_csua@sina.com。

Application of improved CSMR method to opencast mining slopes

CAO Ping, LIU Di-xu

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In traditional CSMR method, the influences of fast exposed frequency, long existing cycle and large height difference of opencast mining slopes on the rock mass quality classification are not considered. The time influence factor is introduced firstly, and the angles between discontinuities and slope adjustment parameter and slope height coefficient are corrected. An improved CSMR method is put forward to classify the slopes of opencast mining with different heights, so as to increase the scope of application. The investigation of opencast mining slopes shows that the improved CSMR method is better than the traditional SMR and CSMR in practical situations, so that the improved CSMR is more reasonable for the classification of rock mass quality opencast mining slopes.

Key words: improved CSMR method; time influence factor; opencast mining slope; rock mass quality classification

0 引言

露采矿山边坡岩体质量分级是边坡稳定性分析、工程地质勘察、施工安全等方面的重要依据。科学合理的岩体质量分级对边坡工程的后期治理至关重要。国内外岩体质量分级方法主要包括《工程岩体分级标准》国标 BQ 法、Deere 的 RQD 值法、Bieniawski 的 RMR 法、Barton 的 Q 法、Romana 的 SMR 法和我国水利水电边坡工程登记小组提出的 CSMR 法等^[1-10]。上述岩体质量分级方法可以对部份岩体进行准确的评价, 但各自也存在一些不足的方面: BQ 法划分等级过于粗略, 对特定工程岩体分级不够细致; RQD 值法评价因素只有一个; RMR 法不适用于强烈抗压破碎岩体、膨胀岩体、极软弱岩体; Q 法定性指标多, 需要专业人员参与; 传统 SMR 法则没有考虑坡高、气候等参数的影响。

传统 CSMR 法适用于边坡岩石完整性较高, 节理

分布较少的水利水电边坡工程, 没有考虑露采矿山边坡出露频率快、存在周期长和边坡高度差异大等特性对岩体质量等级的影响, 为提高边坡岩体质量分级准确性, 考虑《水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程》和刘发祥等^[11]在对岩质边坡稳定性评价中对传统 CSMR 法的改进措施, 引入时间影响系数 ψ , 修正不连续面与坡面倾角间关系调整参数 F_3 和边坡高度修正系数 ξ , 提出改进 CSMR 法对露采矿山边坡岩体进行质量分级。

1 CSMR 法及其改进

1.1 基本理论

传统 CSMR 法是在岩体质量分级 RMR 和 SMR

基金项目: 国家自然科学基金项目(51274249); 教育部博士点基金项目(20120162110009)

收稿日期: 2014-11-27

表 1 修正指标的取值原则

Table 1 Adjusting factors for discontinuity

条件	$ \alpha_j - \alpha_s $ $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $ /($^\circ$)	F_1	$ \beta_j $ /($^\circ$)	P		T		F_3	开挖方式	F_4
				F_2	F_2	$(\beta_j - \beta_s)$ /($^\circ$)	$(\beta_j + \beta_s)$ /($^\circ$)			
很有利	>30	0.15	<20	0.15	1	>10	<110	0	欠缺爆破	-8
有利	30~20	0.40	20~30	0.40	1	10~0	110~120	6	机械开挖	0
一般	20~10	0.70	30~35	0.70	1	0	>120	25	光面爆破	8
不利	10~5	0.85	35~45	0.85	1	0~-10	—	50	预裂爆破	10
很不利	<5	1.000	<45	1.00	1	<-10	—	60	天然边坡	15

注: P 为平面破坏, T 为倾倒破坏, α_j 为不连续面倾向, α_s 为边坡倾向, β_j 为不连续面倾角, β_s 为边坡倾角。

表 2 F_3 的修正

Table 2 Correction of F_3

破坏方式	倾角间关系	数值范围				
P	$(\beta_j - \beta_s) / (^\circ)$	>10	10~0	0	0~(-10)	<(-10)
T	$(\beta_j - \beta_s) / (^\circ)$	<110	110~120	>120		
只发生其一	F_3	0	6	15	30	40

评价体系上, 由中国水利水电边坡工程专项小组于 1997 年建立起来的质量分类体系^[12]。其基本表达式为

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

式中, RMR 为 Bieniawski 提出的岩体地质力学分类方法的岩体质量总评分值, 为岩石强度、RQD、节理间距、节理条件、地下水条件的得分相加; F_1 是边坡中不连续面倾向与边坡倾向间关系调整参数, F_2 是不连续面倾角大小调整参数, F_3 是不连续面与坡面倾角间关系调整参数, F_4 是边坡开挖方法, 其取值原则见表 1; ξ 为边坡高度修正系数; CSMR 的分级标准: CSMR 为 0~20, 21~40, 41~60, 61~80, 81~100, 等级分别为 V, IV, III, II, I。 λ 为结构面条件系数: 断层、夹泥层为 1.0, 层面、贯通裂隙为 0.8~0.9, 节理为 0.7。

传统 CSMR 法对水电边坡具有很强的适用性, 但也存在一些不足的地方, 需要对其进行修正:

(1) 露天矿山开采过程中, 出于边坡面出露频率快、存在周期长和边坡高度差异大的特点, 对边坡稳定性要求更高。

(2) F_3 的取值不合理, 每当结构面倾角比边坡倾角小 10° 时, 取值都会减去 60 分。

(3) 露天矿山低高度边坡的岩体质量分级过于安全, 甚至会超出原 CSMR 法的评分上限 (100 分), 无法进行正确的质量评级。

针对上述不足, 分别通过引入时间影响系数 ψ 、修正 F_3 和边坡高度修正系数 ξ , 对传统 CSMR 法加以改进。

1.2 时间影响系数 ψ

传统 CSMR 法对岩体进行质量分级时, 没有考虑露采矿山在开采过程中具有边坡面出露频率快、存在周期长的特点, 显著影响了露采矿山边坡岩体质量分级的准确性。

大量露采矿山边坡开挖过程显示, 边坡出露的前几天有明显的碎石滑落, 少数边坡出现失稳现象; 至一个月左右, 边坡出现少量碎石剥落现象; 再之后, 如未遇大降雨、地震等自然灾害, 边坡趋于稳定。基于上述工程现状, 改进 CSMR 法建议引入时间影响系数 ψ , 体现边坡面出露频率快和存在周期长的影响程度。建议边坡面出露 7 d 以内, ψ 取 0.80; 出露 8~30 d 时, ψ 取 0.90; 30 d 以上时, 认为时间效应失效, 即 ψ 取为 1.00。

1.3 F_3 的修正

露采矿山边坡不连续面产状和边坡产状组合关系复杂, 造成岩体质量分级困难。在保证开采和施工安全的要求下, 考虑李胜伟等^[13]在边坡岩体质量分类体系的 CSMR 法及应用中对 F_3 取值的调整, 结合城门山铜矿采边坡的现状, 对 F_3 作如下修正: 当边坡倾角大于不连续面倾角 10° 以上时, F_3 取为 40; 当边坡倾角大于不连续面倾角, 且 10° 以内时, F_3 取为 30; 当边坡倾角等于不连续面倾角时, F_3 取为 15, 具体结果见表 2。

1.4 ξ 的修正

传统 CSMR 法中坡高修正系数 ξ 的确定, 依据于水利水电工程中的边坡样本, 其具有边坡岩体的岩性

较单一，岩石完整性较高，节理分布较少等特征。而大量露采矿山的岩体完整性差，节理分布密集，边坡台阶多，坡高从数米跨越到数百米，传统方法对低高度边坡岩体的质量分级过于安全，甚至出现超出原CSMR法的评分上限（100分）的现象，不能进行质量评级，传统CSMR法中不同坡高的 ξ 取值：高度为5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 m时，相应 ξ 为7.45, 4.01, 2.86, 2.29, 1.95, 1.72, 1.55, 1.43, 1.33, 1.26, 1.20, 1.14, 1.10, 1.06, 1.03, 1.00。

其中，坡高小于20 m时， ξ 的取值大于2.29，此时坡高修正系数 ξ 取值过于畸高，扩大了整个质量评分的倍数，造成传统CSMR评分过高，甚至超过评分值上限，导致无法对岩体质量进行分级；坡高介于60~80 m时， ξ 的取值接近1，几乎没有坡高修正的作用。周波等^[14]在 F_3 权值缩小及高度修正对边坡分级影响的探讨中对边坡高度小于80 m时，不对其进行边坡高度修正，即取 $\xi=1$ ，完全忽略了边坡高度对质量分级的影响。考虑上述不足及岩质边坡发生平面和倾倒破坏模式，对 ξ 作出如下修正：

当 $H > 80$ m时，按下式计算坡高修正系数 ξ ，

$$\xi = 0.57 + 0.43 \frac{H_r}{H} \quad (2)$$

式中， H 为边坡高度， $H_r=80$ m。

当 $H \leq 80$ m或边坡发生倾倒破坏时，建议 ξ 的修正：高度为0~20, 20~60, 60~80 m时，修正 ξ 为1.10, 1.05, 1.00。

1.5 改进CSMR法

改进CSMR法是在传统CSMR法的计算基础上，在原边坡高度修正系数 ξ 前引入时间影响系数 ψ 并修正 F_3 和 ξ 而建立的露采矿山边坡岩体质量分级方法，其具体表达式为

$$[\text{CSMR}] = \psi \xi \text{RMR} - \lambda F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4 \quad (3)$$

2 合理性分析

为验证改进CSMR法的准确性，采用城门山铜矿和文献资料的19个边坡实例进行合理性分析，由简化Bishop法计算边坡实例的安全系数 F ，按下式计算其“等效SMR”，即ESMR^[15]。

$$\text{ESMR} = 100 - \frac{52.5}{F - 0.15} \quad (4)$$

考虑文献[16]的处理方法，将边坡资料的分析结果置于直角坐标系中进行验算，横轴为CSMR评分，纵轴为ESMR评分。由于ESMR评分是由边坡的安全系数 F 通过式(4)得出的，能够反应边坡的实际稳定状态，而CSMR评分是由公式推导出的理论计算

值。因此，合理的评分结果应为两者1:1等值对应，即所有的点应该分布在直线 $y=x$ 上。边坡实例的CSMR-ESMR和改进CSMR-ESMR相关点分布见图1, 2。

从图1, 2可看出，传统CSMR法分析得出的CSMR-ESMR相关点少数分布在 $y=x$ 直线附近，大多数位于 $y=x$ 直线的右侧，表明传统CSMR评分值明显高于边坡的实际评分，这是由于传统CSMR法没有考虑边坡面出露频率快、存在周期长和边坡高度差异大对岩体质量等级的影响。引入时间影响系数 ψ 、修正 F_3 和坡高修正系数 ξ 后，改进CSMR-ESMR相关点大多数分布在 $y=x$ 直线附近，表明改进CSMR评分值与实际评分接近，评价结果趋于合理。

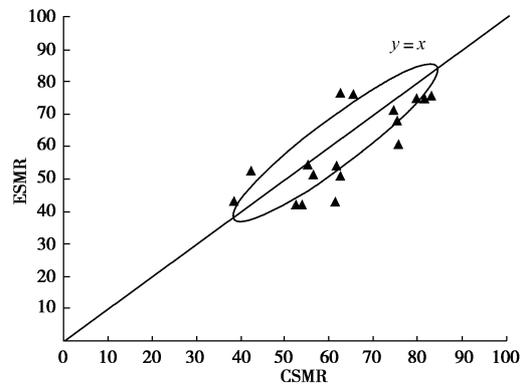


图1 CSMR-ESMR相关点分布

Fig. 1 Distribution of relevant points of CSMR-ESMR

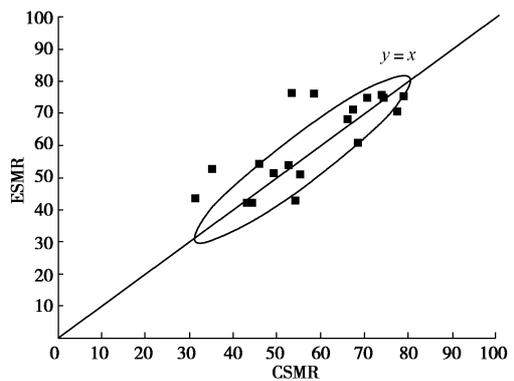


图2 改进CSMR-ESMR相关点分布

Fig. 2 Distribution of relevant points of improved CSMR-ESMR

3 工程实例分析

城门山露采铜矿属矽卡岩型和斑岩铜矿矿床，矿区工程地质条件复杂，矿岩风化强烈，发掘形成的边坡稳定性强弱不均，边坡岩体质量判断难度大，现以其北坑6个露采边坡为例，采用改进CSMR法对边坡岩体进行质量分级，其岩体质量评价指标取值和分级结果见表3。

表 3 岩体质量评价指标评分和分级结果

Table 3 Scores of rock mass quality evaluation indexes and classification results

编 号	完整岩 石强度	RQD	节理 间距	节理 条件	地下水 条件	F_1	F_2	F_3	F_4	λ	ξ	ψ	SMR		CSMR		改进 CSMR	
													评分	等级	评分	等级	评分	等级
1	2	17	8	20	15	0.15	1.00	0	0	0.70	0.86	1.00	62	II	53.3	III	53.3	III
2	4	17	5	10	10	0.15	1.00	0	0	0.85	0.95	0.80	46	III	43.7	III	35.0	IV
3	4	13	8	10	7	0.40	0.40	0	0	0.85	1.05	1.00	42	III	55.9	III	44.1	III
4	2	13	8	0	15	0.40	1.00	6	0	0.70	1.05	0.90	35.6	IV	66.7	II	34.2	IV
5	2	17	8	10	10	0.15	0.15	0	0	0.85	1.10	0.90	47	III	206.3	—	46.5	III
6	2	17	10	20	10	0.15	0.40	0	0	0.70	1.10	1.00	59	III	146.3	—	64.9	II

从表 3 可以看出: 传统 CSMR 法对编号 5, 6 边坡的质量评价超过 100 分, 无法进行岩体质量分级, 这是由于该两处边坡的坡高偏低, 造成坡高修正系数 ξ 取值畸高, 扩大了整个质量评分的倍数, 具有明显的不适用性。相比 SMR 法, 改进 CSMR 法对编号 1, 2 边坡的质量评价降低一级, 对编号 3, 4, 5 边坡的质量评级一致, 所有边坡岩体质量评分均有所降低, 编号 6 边坡的质量评价上调一级。这是由于改进 CSMR 法增加了时间影响系数 ψ , 修正了传统方法的 F_3 和坡高修正系数 ξ , 体现了方法改进后的适用性。工程现场中, 编号 2, 4 边坡出现了节理构成的平面或大楔体滑坡, 符合 IV 级质量边坡的破坏模式, 现场吻合度很高。

4 结 论

(1) 改进 CSMR 法通过引入时间影响系数 ψ , 修正传统 CSMR 法的不连续面与坡面倾角间关系调整参数 F_3 和坡高修正系数 ξ , 提高了质量分级的适用性和准确性。

(2) 工程实例应用表明, 相比于 SMR 法和传统 CSMR 法, 改进 CSMR 法对露采矿山边坡岩体质量分级结果更符合实际情况, 评价方法具有很强的工程适用性, 为工程人员对相似露采矿山边坡岩体质量评价提供参考。

(3) 改进 CSMR 法能解决露采矿山边坡岩体质量分级的普遍性问题, 但由于样本数据偏少, 且没有考虑岩体本身存在的卸荷回弹等特性, 还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 邱恩喜, 谢 强, 石 岳, 等. 修正 SMR 法在红层软岩边坡中的应用[J]. 岩土力学, 2009, **30**(7): 2109 - 2113. (QIU En-xi, XIE Qiang, SHI Yue, et al. Application of modified SMR to redbed soft rock slopes[J]. Rock and Soil Mechanics,

2009, **30**(7): 2109 - 2113. (in Chinese))

- [2] 李秀珍, 孔纪名, 王成华. 岩质边坡稳定性分级方法的连续函数修正及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, **29**(增刊 1): 3439 - 3446. (LI Xiu-zhen, KONG Ji-ming, WANG Cheng-hua. Modification of rock slope stability classification systems by continuous functions and its applications[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, **29**(S1): 3439 - 3446. (in Chinese))
- [3] 张元才, 黄润秋, 赵立冬, 等. 天山公路边坡岩体质量评价 TSMR 体系研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, **29**(3): 617-623. (ZHANG Yuan-cai, HUANG Run-qiu, ZHAO Li-dong, et al. Study of Tianshan slope rock mass rating TSMR system[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, **29**(3): 617 - 623. (in Chinese))
- [4] 沈小辉. 复杂地质条件下山区公路边坡稳定性评价及加固方法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2012: 80 - 96. (SHEN Xiao-hui. Slope stability evaluation and reinforcement method for mountainous roads with complex geological conditions[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012: 80 - 96. (in Chinese))
- [5] 戴自航, 卢才金. 边坡失稳机理的力学解释[J]. 岩土工程学报, 2006, **28**(10): 1191 - 1197. (DAI Zi-hang, LU Cai-jin. Mechanical explanations on mechanism of slope stability[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, **28**(10): 1191 - 1197. (in Chinese))
- [6] ROMANA M R. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes[C]// International Symposium on the Role for Rock Mechanics. Zacatecas: ISRM, 1985: 49 - 53.
- [7] ROMANA M R. A geomechanical classification for slopes: slope mass rating[J]. Comprehensive Rock Engineering, 1993, **3**: 575 - 599.
- [8] CHEN C S, LIU Y C. A methodology for evaluation and

- classification of rock mass quality on tunnel Engineering[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2007, **22**(4): 377 - 387.
- [9] BIENIAWSKI Z T. Engineering classification of joint rock masses[J]. The Civil Engineer in South Africa, 1973, **15**(12): 335 - 343.
- [10] 冯树荣, 赵海斌, 蒋中明. 节理岩体边坡稳定性分析新方法[J]. 岩土力学, 2009, **30**(6): 1639 - 1642. (FENG Shu-rong, ZHAO Hai-bin, JIANG Zhong-ming. A new method of stability analysis of jointed rock slop[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, **30**(6): 1639 - 1642. (in Chinese))
- [11] 刘发祥, 杨朝发. 评价岩质边坡稳定性的改进 CSMR 法[J]. 土工基础, 2014, **27**(4): 99 - 103. (LIU Fa-xiang, YANU Chao-fa. Discussion on the modified CSMR method in the rock slide stability evaluations[J]. Soil Engineering and Foundation, 2014, **27**(4): 99 - 103. (in Chinese))
- [12] 李云, 刘霁. 基于模糊集理论与 CSMR 的岩质边坡稳定性分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, **43**(5): 1940 - 1946. (LI Yun, LIU Ji. Assessment of rock slope stability using fuzzy set and CSMR[J]. Journal of Central of South University: Science and Technology, 2012, **43**(5): 1940 - 1946. (in Chinese))
- [13] 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. (LI Sheng-wei, LI Tian-bin, WANG Lan-sheng. Application of the CSMR system for slope stability evaluation[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2001, **12**(2): 69 - 72. (in Chinese))
- [14] 周波, 张菊连. F_3 权值缩小及高度修正对边坡分级影响的探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2009, **5**(增刊 2): 1833 - 1836. (ZHOU Bo, ZHANG Ju-lian. Influence of F_3 reduction and height correction on the slope rock mass classification[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, **5**(S2): 1833 - 1836. (in Chinese))
- [15] 孙东亚, 陈祖煌, 杜伯辉, 等. 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, 1997, **16**(4): 297 - 304. (SUN Dong-ya, CHEN Zu-yu, DU Bo-hui, et al. Modifications to the RMR SMR system for slop stability evaluation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997, **16**(4): 297 - 304. (in Chinese))
- [16] COLLEDO N, GILL R. A geological study for highway 420[M]. Barcelona: University Pol de Catalunya, 1990.