

山区高等级公路边坡岩体分级研究

石豫川¹, 王哲¹, 万国荣¹, 王振宇¹, 陈谦应², 唐胜传²

(1. 成都理工大学 工程地质研究所, 四川 成都 610059; 2. 重庆公路交通科研设计院, 重庆 400067)

摘要: 基于 CSMR 体系, 给出了山区高等级公路边坡岩体分级体系的具体形式; 运用数理统计原理, 给出了 2 种不同结构类型边坡的坡高修正系数计算式; 对不同岩性组合类型提出了相应岩性组合修正系数; 最后, 通过实例对比验证了 HSMR 体系的可靠性。

关键词: 岩石力学; 公路边坡; 岩体分级; 稳定性评价

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)06-0939-06

STUDY OF MOUNTAIN HIGHWAY SLOPE MASS RATING

SHI Yu-chuan¹, WANG Zhe¹, WAN Guo-rong¹, WANG Zhen-yu¹,
CHEN Qian-ying², TANG Sheng-chuan²

(1. Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Chongqing Communications Scientific Design Institute, Chongqing 400067, China)

Abstract: Based on Chinese system for slope mass rating(CSMR), a formula for mountain highway slope mass rating(HSMR) system is established in this paper. With the theory of statistic principle, a revised factor ξ of two different slopes for slope heights are discussed. Moreover, the revised factor η for different multiple lithology combinations, which is ranged from 0.8 to 1.2, is proposed for HSMR. A case study is considered to assess the feasibility of HSMR in the end.

Key words: rock mechanics; highway slope; rock mass rating; stability evaluation

1 引言

随着西部高等级公路建设的突飞猛进, 如何合理地边坡稳定性进行简单有效的评价, 成为公路建设中亟待解决的问题。由于西部山区地形条件复杂, 岩石边坡数量多, 加上勘察阶段工期紧迫, 一般难以在对每一个工点的地质条件及岩体力学特征作详细勘察后进行稳定性计算分析工作。因此, 边坡岩体分级体系因其简便、快速的特点, 在公路边坡稳定性评价领域具有广泛的应用前景。

和隧道围岩分类相比, 针对岩质边坡这一特殊

地质体的边坡岩体分级系统的研究起步较晚这一特点, Romana(1985)在著名的地质力学分类体系(RMR 体系)的基础上, 将边坡结构面产状及坡面产状的组合关系对边坡稳定性的影响量化后纳入评价体系, 提出了边坡岩体分级体系(SMR 体系)。此后, SMR 体系在大量工程实践中, 结合各工程领域的特色, 不断地得到修正和改进。中国水利水电边坡登记小组(1997)针对水电边坡稳定性评价的实际情况, 考虑了坡高和结构面条件对边坡稳定性的影响, 并以修正系数的形式将其纳入 SMR 体系中, 得到了 CSMR 体系^[1](Chinese system for SMR), 其表达式如下:

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

收稿日期: 2003-09-19; 修回日期: 2003-11-21

作者简介: 石豫川(1965-), 男, 1988年毕业于成都理工大学地质工程专业, 现为博士研究生、副教授, 主要从事岩土及工程地质方面的教学与研究工作。E-mail: syczxq@sina.com.

其中,

$$\xi = 0.57 + 34.4/H \quad (2)$$

式中: ξ 为坡高修正系数, H 为边坡高度, 其余符号意义参见文[1~3]。

对于倾倒破坏边坡, 有 $\xi = 1$ 。文[1]在对 40 余个水电边坡统计分析后认为存在一个参考高度 $H_r = 80$ m。当边坡高度为 80 m 时, 不需要进行高度修正; 低于这个高度时, $\xi > 1$, 评分值相应增加; 反之, $\xi < 1$, 评分值降低。

尽管 CSMR 体系的改进思路代表了 SMR 体系的合理发展方向, 但根据以往的工程实践, 由于公路边坡相对低矮, 应用该系统对公路边坡进行分级, 结果与边坡实际状况差异很大, 评分值往往过高, 适用性很差。因此, 本文在对实地采集的 100 余个边坡样本进行统计分析后, 结合公路自身特点, 将 SMR-CSMR 体系改进, 提出了适宜于公路边坡稳定性评价的 HSMR 体系(highway slope mass rating)。

2 HSMR 体系

2.1 坡高修正系数

研究表明^[4], 在岩层倾角、结构面抗剪强度不变的情况下, 边坡稳定性随变形体高度的增大而减小。根据文[1], 坡高修正系数还可以表述为

$$\xi = a + b/H \quad (3)$$

这里, a 和 b 受诸多因素的影响, 理论上并非定值。

研究表明, 不同破坏模式的边坡, ξ 对 $1/H$ 的敏感程度是不同的。与其他破坏模式的边坡比较, 坡脚遭切割临空的滑移型破坏模式的边坡坡高修正系数 ξ 对 $1/H$ 的敏感程度更低。据式(3), 若 a 和 b 恒定不变, ξ 与 $1/H$ 为线性关系。这样, 在对大量边坡样本进行统计分析后, 若能给出不同破坏模式下 a 和 b 的建议值, 并证明 a 和 b 为定值的假定能够满足边坡岩体分级的要求, 坡高修正系数的引入就具有合理性和可行性。

根据文[1], SMR 与安全系数 F 有如下关系:

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

根据野外经验定性判断和部分边坡已有稳定性计算成果, 依据表 1 中 SMR 与稳定系数的对应关系, 作出相应经验分级 ER(experiential rating)体系, 其评价标准如下:

表 1 SMR 与稳定系数对照表

Table 1 Correlation between SMR and stability factor

级别	SMR	稳定系数	稳定性
V	≤ 20	< 0.8	很坏
IV	21~40	0.8~1.0	坏
III	41~60	1.0~1.5	一般
II	61~80	1.5~2.8	好
I	> 80	> 2.8	很好

好—85, 基本没有变形破坏现象;

较好—70, 局部碎落、掉块;

中等—50, 小规模崩塌、表层坍滑;

较差—30, 边坡浅层滑动、倾倒、楔形体破坏;

差—15, 大规模变形破坏、整体失稳。

仿照 CSMR 体系, 设定

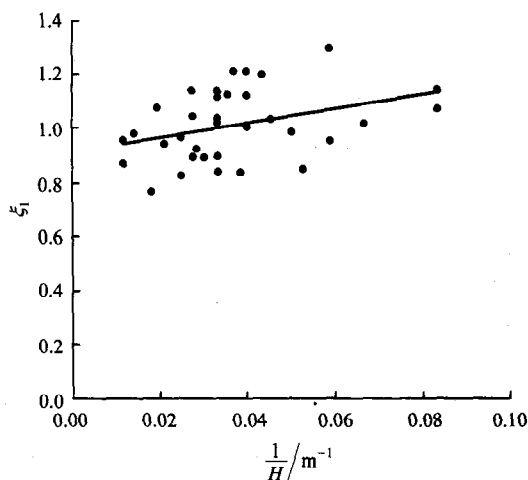
$$HSMR = \xi RMR - \eta \lambda F_1 F_2 F_3 + F_4 \quad (5)$$

式中: η 为岩性组合修正系数, 其值为 0.8~1.2; λ 为结构面条件系数。

HSMR 评分值以 ER 作为依据, 有

$$\xi = \frac{ER + \eta \lambda F_1 F_2 F_3 - F_4}{RMR} \quad (6)$$

依据式(6)求解 ξ , ξ - $1/H$ 关系散点图见图 1, 2。



($\beta < \beta_0$, 且岩层与坡面交角小于 60°)

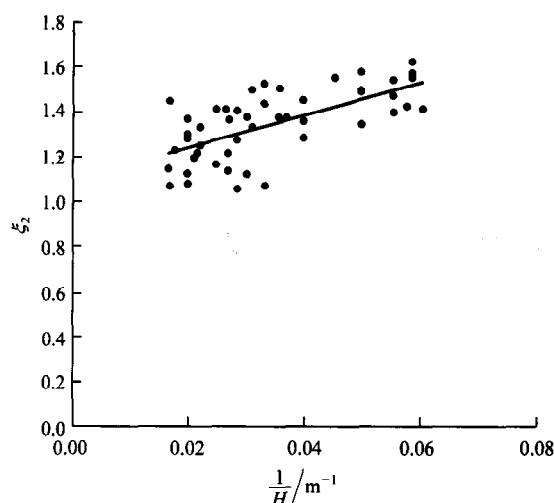
图 1 ξ - $1/H$ 关系散点图

Fig.1 Relationship of ξ - $1/H$ scatter points

以线性方式对 ξ 和 $1/H$ 进行回归分析, 所得坡高修正系数见表 2。

2.2 结构面条件系数

CSMR 体系中建议以结构面条件系数 λ 来体现控制性结构面条件差异对边坡稳定性的影响^[1], 并



($\beta \geq \beta_a$, 或岩层与坡面交角不小于 60°)

图2 ξ_2 - $1/H$ 关系散点图

Fig.2 Relationship of ξ_2 - $1/H$ scatter points

表2 坡高修正系数 ξ

Table 2 Slope height factor ξ

条件	$\beta < \beta_a$ 且 $ \alpha_1 - \alpha_2 < 60^\circ$ 或 $ \alpha_1 - \alpha_2 > 300^\circ$	$\beta \geq \beta_a$ 或 $60^\circ \leq \alpha_1 - \alpha_2 \leq 300^\circ$
坡高修正系数 ξ	$\xi_1 = 0.91 + 2.7/H$	$\xi_2 = 1.10 + 7.3/H$

注: α_1 为边坡倾向, α_2 为控制性结构面倾向, β_1 为边坡倾角, β_2 为控制性结构面倾角。

分别对不同结构面条件进行赋值, 见表3。

表3 结构面条件系数 λ

Table 3 Discontinuity condition factor λ

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

从表3中可以看出, 层面、贯通裂隙结构面条件系数 λ 为0.8~0.9, 具有随机性, 为了减小分级中的操作误差, 考虑到一般情况下层面对边坡稳定性的控制作用较贯通裂隙要显著, 将系数 λ 进行调整, 调整后的结构面条件系数 λ 见表4。

表4 调整后的结构面条件系数 λ

Table 4 Adjusted factor λ of discontinuity condition

结构面条件	层面	贯通裂隙	节理
λ	0.9	0.8	0.7

2.3 岩性组合系数

地质体这个巨大的系统决定了工程地质研究对象的复杂性。对边坡而言, 其岩性往往不是单一的, 常由2种甚至更多的岩组所构成, 岩组之间以分段、

互层或某一岩组占主导地位的形式出现。合理地考虑不同岩性岩组之间的组合关系, 才能使边坡稳定性评价更接近于边坡的实际, 分级更为准确。在野外调查中发现, 结构类型相似的边坡, 其稳定性视岩性组合的具体情况差异很大。不同岩性组合形式对边坡稳定性的影响有以下几条规律:

(1) 软硬岩交替边坡

软硬岩水平交替: 不同岩组物理力学性质的不同导致边坡局部稳定性差异。如某公路边坡, 上行线方向一侧岩性为粉砂岩与泥岩互层, 另一侧为灰岩, 岩质相对坚硬, 以至于边坡两侧稳定性差异很大。砂泥岩段施工期间曾发生滑塌破坏, 而灰岩段稳定性很高, 边坡开挖后仍具有很好的自稳能力。

软硬岩垂向交替: 若软岩下伏于硬质岩体, 形成“软弱基座”, 软岩在上覆岩层的压力作用下, 产生塑性流动并向临空方向挤出, 导致上覆较坚硬的岩层拉裂、解体和不均匀沉陷, 即使岩层平缓, 边坡仍容易发生变形破坏, 平推式滑坡就是这种破坏方式的典型实例; 相反, 若软岩超覆于硬岩之上, 边坡的整体稳定性较好。

(2) 软硬岩等厚互层边坡

水平~缓倾顺向岩层: 受边坡开挖影响, 软岩大面积暴露, 并作为软弱滑移面控制着边坡的稳定性。倘若不及时治理, 软岩长时间暴露于坡外, 坡体沿平缓结构面向坡前临空方向缓慢蠕动, 并于锁固段产生拉张裂隙, 一旦软弱层面遇水软化, 岩体加速变形, 极易导致滑移-压致拉裂或滑移-拉裂型破坏。

中~陡倾顺向岩层: 这类边坡由于岩层倾角较大, 沿岩层层面开挖可以满足边坡设计坡比要求, 所以往往很少因开挖而切穿岩层。若硬岩暴露于坡外, 则边坡稳定性通常较好, 反之稳定性较差。

反向岩层: 边坡不易发生滑动破坏, 但受软岩影响, 小规模崩塌及碎落成为边坡可能的破坏方式。

(3) 软硬岩不等厚互层边坡

顺向岩层: 当边坡由软岩夹硬岩组成时, 硬岩在坡内起到阻隔作用, 减小软岩的连续性, 并控制着软岩内裂隙的延伸, 类似于在软弱材料中加筋, 使材料的强度得到有效的提高; 当边坡由硬岩夹软岩组成时, 软岩控制了边坡的整体稳定性, 当岩层临空时, 极易发生滑移变形, 而硬岩的强度对边坡

稳定的贡献甚微。

反向岩层：边坡的稳定性与软硬岩各自所占的比例密切相关，硬岩的比例越高，边坡相对更稳定。HSMR 体系给出的相应岩性组合系数 η 见表 5。

表 5 岩性组合系数 η

Table 5 Multiple lithology factor η

边坡岩性组合类型	岩性组合描述	划分类型	η 取值
软硬岩交替边坡	软硬岩 软岩下伏	I ₂₋₁	1.2
	垂直交替 硬岩下伏	I ₂₋₂	0.8
	水平~缓倾顺向岩层	II ₁	1.1
软硬岩等厚互层边坡	中~陡倾 软岩暴露于外	II ₂₋₁	1.0(以软岩评价)
	顺向岩层 硬岩暴露于外	II ₂₋₂	1.0(以硬岩评价)
	反向岩层	II ₃	1.0
软硬岩不等厚互层边坡	顺向岩层 软岩夹硬岩	III ₁₋₁	0.8
	硬岩夹软岩	III ₁₋₂	1.2
	反向岩层	III ₂	1.0

注：(1) 软硬岩水平交替时应分段进行评价， η 取 1.0；“断层、夹泥层”按 III₁₋₂ 类取值；(2) 由于软硬岩以层面作为交替组合面，只有在对层面进行评价时，岩性组合系数才适用。

HSMR 评分由 RMR , F_1 , F_2 , F_3 , F_4 及相应的 ξ , η , λ 依据式(5)组合而成。其最大值为 100，最小值为 0，以 20 为间隔，划分为 5 个级别(表 6)。

表 6 边坡稳定性分级描述表

Table 6 Slope stability classification

级别	HSMR	稳定性	破坏形式	加固方式
V	≤ 20	很坏	大型平面或类似土体	重新开挖
IV	21~40	坏	结构面构成平面或大楔形体	大力加固或重新开挖
III	41~60	一般	一些不连续面构成平面或楔形体	系统加固
II	61~80	好	一些块体	点状加固
I	> 80	很好	无	不加固

3 效果验证

对西南几条在建高速公路典型边坡样本进行分级对比后发现，HSMR 评分与边坡实际状况最为接近^[5]。如图 3, 4 所示，SMR-ER 相关点大多分布于 45°线左侧，SMR 评分较实际情况偏低；HSMR-ER 相关点等几率分布于 45°线两侧，说明其评价结果

与实际情况更为接近；而 CSMR 体系应用于公路边坡时，效果要差于 HSMR 和 SMR 体系。边坡综合评分见表 7，其评分往往过高，甚至出现多例边坡评分值大于 100，高于 CSMR 体系的分值上限，不宜以相关统计图展示。实际上，这类边坡也是不可能构成的。

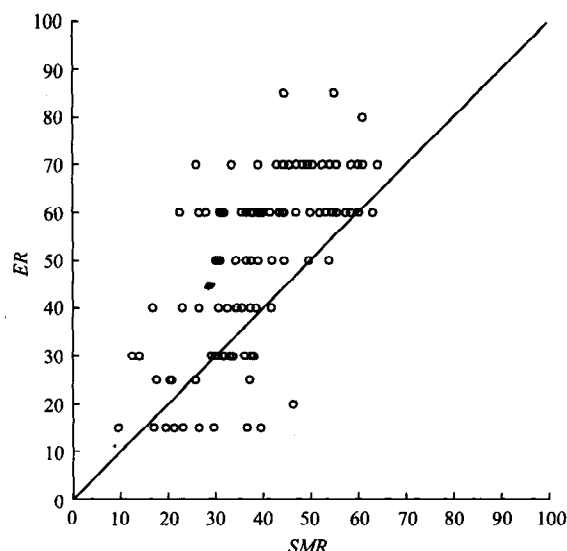


图 3 SMR-ER 相关点分布

Fig.3 Distribution of SMR-ER points

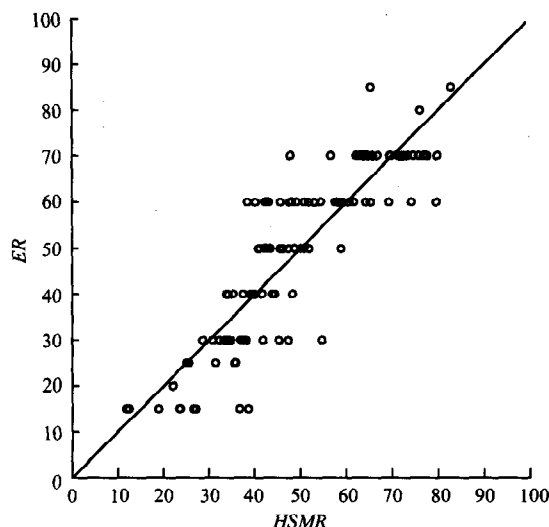


图 4 HSMR-ER 相关点分布

Fig.4 Distribution of HSMR-ER points

前已述及，理论上 a , b 并非为定值，且由于经验判断的偏差、评分过程中的操作误差以及经验分级量化的不连续性，致使部分样本的评价结果具有较大的离散性。这里引入“误判率”指标对比检验 HSMR 体系对边坡稳定性评价的适用性。

表7 边坡综合评分一览表

Table 7 Comprehensive ratings of slopes

编号	工程名称及边坡位置	岩性	坡高/m	岩体质量评分					修正系数取值			SMR	CSMR	HSMR	ER
				RMR	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	ξ	η	λ				
1	昆石高速公路 K32+100 右	弱风化中厚层灰岩夹薄层泥岩	47.2	58.5	0.70	0.40	60	0	0.97	1.2	0.9	41.7	60.9	38.4	40
2	昆石高速公路 K32+100 左	弱风化中厚层灰岩夹薄层泥岩	47.2	58.5	0.15	1.00	0	0	1.25	1.0	0.9	58.5	58.5	73.4	70
3	昆石高速公路 K58+550 右	弱风化薄层泥灰岩夹中厚层灰岩	36.3	51.5	0.40	0.40	60	0	0.98	1.2	0.9	41.9	69.5	40.3	50
4	昆石高速公路 K60+150 右	弱风化中厚层灰岩夹泥页岩	40.0	57.0	0.70	0.85	60	0	0.98	1.2	0.9	21.3	49.4	17.2	15
5	昆石高速公路 K62+210 左	弱风化中厚层泥灰岩夹泥岩条带	40.0	48.5	0.15	1.00	0	0	1.28	1.0	0.9	48.5	48.5	62.2	70
6	昆石高速公路 K63+280 右	弱~强风化中厚层泥岩夹泥灰岩条带	23.0	43.5	0.40	0.15	40	0	1.03	0.8	0.9	41.1	87.7	43.0	50
7	国道 108 线广南段 K24+020	弱~强风化薄~中厚层泥岩与中厚层泥质砂岩互层	32.5	47.0	1.00	0.15	60	0	0.99	1.1	0.9	38.0	68.4	37.8	15
8	国道 108 线广南段 K14+960	弱风化中厚层泥岩夹粉砂岩	23.0	45.5	0.15	0.15	60	0	1.03	0.8	0.9	44.2	92.8	45.8	60
9	国道 108 线广南段 K10+770	弱~强风化中厚层泥岩夹粉砂岩	33.0	40.0	0.70	0.15	60	0	0.99	0.8	0.9	33.7	58.8	35.1	30
10	国道 108 线广南段 K10+770	弱~强风化中厚层泥岩夹粉砂岩	32.0	40.0	0.15	1.00	0	0	1.33	0.8	0.9	40.0	40.0	53.1	60
11	渝黔高速公路 K7+200 左	弱~强风化中~厚层砂岩夹薄层砂岩	16.5	60.5	0.70	1.00	25	0	1.54	1.0	0.9	43.0	144.9	77.6	70
12	渝黔高速公路 K10+800 左	强风化泥岩夹薄层砂岩	17.0	41.5	1.00	1.00	6	0	1.53	0.8	0.9	35.5	102.2	59.2	60
13	渝黔高速公路 K14+050 左	强风化厚层砂岩夹泥岩条带	25.0	55.0	0.15	1.00	6	0	1.39	1.2	0.9	54.1	106.2	75.6	70
14	渝黔高速公路 K23+350 右	弱风化中~厚层砂岩与泥岩互层	20.0	58.5	1.00	1.00	25	0	1.47	1.0	0.9	33.5	111.5	63.2	70
15	渝黔高速公路 K24+050 右	强风化泥岩夹砂岩条带	18.0	37.5	1.00	1.00	25	0	1.51	0.8	0.9	12.5	70.5	38.5	30
16	渝黔高速公路 K24+850 右	弱~强风化泥岩与砂岩互层	20.0	39.0	1.00	1.00	25	0	1.47	1.0	0.9	14.0	66.8	34.6	30
17	渝黔高速公路 K34+600 右	微~弱风化砂岩夹薄层粉砂岩条带	35.0	61.5	0.70	0.85	50	0	0.99	1.2	0.9	31.8	68.7	28.6	30
18	渝黔高速公路 K38+250 左	弱~强风化中~薄层泥岩与中层砂岩互层	37.5	49.5	0.15	1.00	0	0	1.29	1.0	0.9	49.5	49.5	64.1	70
19	渝黔高速公路 K38+250 右	弱~强风化中~薄层泥岩与中层砂岩互层	30.0	48.5	0.70	0.85	25	0	1.34	1.0	0.9	33.6	69.9	51.8	50
20	渝黔高速公路 K46+500 左	弱~强风化泥岩夹中~薄层砂岩	20.0	44.5	0.15	1.00	0	0	1.47	1.0	0.9	44.5	44.5	65.2	85
21	渝黔高速公路 K46+500 右	弱~强风化泥岩夹中~薄层砂岩	23.0	46.5	0.70	0.15	60	0	1.03	0.8	0.9	40.2	90.4	43.2	60
22	渝黔高速公路 K74+080 左	弱风化粉砂质泥岩夹中~薄层砂岩	35.0	44.5	0.70	0.85	60	0	0.99	0.8	0.9	8.8	37.0	18.2	15
23	渝黔高速公路 K74+080 右	弱风化粉砂质泥岩夹中~薄层砂岩	20.0	44.5	0.70	1.00	0	0	1.47	0.8	0.9	44.5	44.5	65.2	60
24	渝黔高速公路 K81+950 左	弱~强风化泥岩夹中~薄层砂岩	25.0	54.5	0.15	0.15	60	0	1.02	0.8	0.9	53.2	104.8	54.5	60
25	广邻高速公路 K26+990	弱~强风化中~薄层泥岩夹泥灰岩	50.0	35.5	0.70	1.00	0	0	1.25	1.0	0.9	35.5	35.5	44.2	40
26	广邻高速公路 K27+320	弱~强风化泥页岩夹薄~中厚层泥灰岩	56.0	32.5	0.70	1.00	0	0	1.23	1.0	0.9	32.5	32.5	40.0	40
27	广邻高速公路 K37+835	弱风化厚层块状长石石英砂岩夹页岩、粉砂岩	46.0	63.0	0.15	1.00	50	0	1.26	1.2	0.9	55.5	76.3	71.2	70
28	广邻高速公路 K38+090	弱风化炭质页岩粉砂质泥岩夹砂岩	28.0	38.0	0.15	1.00	0	0	1.36	1.0	0.9	38.0	38.0	51.7	60
29	广邻高速公路 K39+600	弱~强风化泥岩与薄~中厚层长石砂岩互层	46.0	37.5	0.15	1.00	0	0	1.26	1.0	0.9	37.5	37.5	47.2	30
30	广邻高速公路 K40+235	弱风化泥岩与厚层块状长石石英砂岩互层	50.0	57.0	0.85	0.40	60	0	0.96	1.2	0.9	36.6	53.3	32.9	15
31	渝邻高速公路 K153+380 右	弱~强风化中~薄层粉砂质泥岩夹中厚层砂岩	28.0	43.5	0.70	1.00	0	0	1.36	1.0	0.9	43.5	43.5	59.2	60
32	渝邻高速公路 K156+610 右	弱风化中厚层粉砂质泥岩夹砂岩	33.0	43.5	1.00	1.00	0	0	1.32	1.0	0.9	43.5	43.5	57.5	60
33	渝邻高速公路 K158+060 右	强风化泥岩夹粉砂质泥岩	18.0	30.0	1.00	1.00	0	0	1.51	1.0	0.9	30.0	30.0	45.2	30
34	渝邻高速公路 K159+400 左	弱风化泥质粉砂岩	36.0	44.5	1.00	0.70	50	0	0.99	1.0	0.9	9.5	36.4	12.3	15
35	渝邻高速公路 K170+920 右	弱~强风化中厚层粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩	40.0	49.5	0.15	1.00	0	0	1.28	1.0	0.9	49.5	49.5	63.5	70

注: 由于篇幅所限, 表中未包含图 3、4 中所有边坡样本。

令

$$\text{误判率} = \frac{\text{误判样本数}}{\text{样本总数}} \times 100\%$$

根据 HSMR, SMR, CSMR 体系对调查所搜集的 113 个合理边坡样本的评判结果进行误判率的计算。由于各体系均以 20 作为级差进行分级, 这里选用 20 分作为误差评判阈值, 经计算有

$$HSMR \text{ 误判率} = 4.4\%$$

$$SMR \text{ 误判率} = 28.3\%$$

$$CSMR \text{ 误判率} = 62.3\%$$

$$HSMR \text{ 误判率} < SMR \text{ 误判率} < CSMR \text{ 误判率}$$

若以 10 分作为误差评判阈值, 则有

$$HSMR \text{ 误判率} = 23.0\%$$

$$SMR \text{ 误判率} = 56.7\%$$

$$CSMR \text{ 误判率} = 81.4\%$$

$$HSMR \text{ 误判率} < SMR \text{ 误判率} < CSMR \text{ 误判率}$$

计算结果显示, HSMR 体系评分的误判率远低于 SMR 及 CSMR 体系, 而且, 按照 20 分作为误差评判阈值的误判率低于 5%, 表明 HSMR 体系对于公路边坡岩体分级具有较好的适用性。

4 结 论

(1) 边坡稳定性与坡高有良好的相关关系, 在 SMR-CSMR 体系的基础上, 结合公路边坡自身的特点, 运用数理统计分析手段, 将坡高修正系数进行合理改进, 对 2 种不同结构类型的边坡分别给出相应的坡高修正系数计算式, 使得分级体系中坡高因子的纳入趋于合理化。

(2) 将不同岩性组合对边坡稳定性的影响以岩性组合系数的形式引入边坡稳定性分级系统, 并对结构面修正系数进行局部调整, 结合坡高修正系

数, 提出了针对公路边坡分级的 HSMR 体系。

(3) 对大量边坡样本的检验结果显示, 和 SMR, CSMR 体系相比, HSMR 体系评价结果与边坡实际状况最为接近, 误判率较低, 能基本满足山区高等级公路边坡稳定性初步评价要求。对于系统的适用性, 笔者亦希望能得到更多工程实践的检验。

(4) 系统中尚有需完善之处, 如应针对不同破坏模式的边坡根据其稳定性评价结果作出具有公路特色的防止措施建议。此外, 可以尝试根据 HSMR 体系评分对开挖坡角作出合理建议, 进一步提高系统的应用价值。

致谢 刘汉超教授在工作中给予了关心和指导, 在此表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 孙东亚, 陈祖煜. 边坡稳定性评价方法 RMR-SMR 体系及其修正[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(4): 297 - 304.(Sun Dongya, Chen Zuyu. Modifications to the RM-SMR system for slope stability evaluation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997, 16(4): 297 - 304.(in Chinese))
- [2] Romana M. SMR classification[A]. In: Proc 7th ISRM Congress[C]. [s. l.]: [s. n.], 1991. 955 - 960.
- [3] Bieniawski Z T. Rock mass classification in rock engineering[A]. In: Proc. Symp., on Exploration for Rock Engineering[C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1976. 97 - 106.
- [4] 孙玉科, 牟会宽, 姚宝魁. 边坡岩体稳定性分析[M]. 北京: 科学出版社, 1988.(Sun Yuke, Mou Huichong, Yao Baokui. The Rockmass Stability Analyses for Slope[M]. Beijing: Science Press, 1988.(in Chinese))
- [5] 刁明碧. 理论统计学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1998.(Diao Mingbi. Theory Statistics[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1998.(in Chinese))