

漳(州)一龙(岩)高速公路石崆山高边坡稳定性评价

简文彬¹ 姚环¹ 焦述强¹ 彭功勋¹ 廖光平²

(¹福州大学岩土工程与工程地质研究所 福州 350002) (²核工业华南工程勘察院 龙岩 364000)

摘要 福建漳州—龙岩高速公路龙岩段石崆山 II 号高架桥经过工程地质条件复杂的岩质高边坡地段。该边坡岩体发育有 3 组优势结构面 J1, J2, J3, 分别以单结构面与边坡面组合、两组优势结构面共同与边坡面组合, 以及 3 组优势结构面共同与边坡面组合进行赤平投影分析, 综合判定自然边坡基本稳定。对自然边坡及拟开挖的人工边坡进行 SARMA 极限平衡分析, 定量判别该高边坡整体处于稳定状态。

关键词 岩体优势结构面, 极限平衡法, 高边坡, 稳定性评价

分类号 TU 418 **文献标识码** A **文章编号** 1000-6915(2002)01-0043-05

1 工程概况

漳州—龙岩高速公路龙岩段位于龙岩市南东侧约 28 km 的适中镇溪柄村, 东与漳州市和溪镇相邻, 里程桩号为 K65+730~K70+000。沿线山高坡陡, 构造活动强烈, 岩体节理裂隙发育。经多种方案比较, 拟采用高架桥方案。全线含高架桥 6 座, 即石崆山 I 号高架桥、石崆山 II 号左线高架桥、石崆山 II 号右线高架桥、建安关高架桥、九沙溪高架桥、如山头高架桥。其中石崆山 II 号高架桥经过的地段工程地质条件最为复杂, 需对天然边坡、高架桥施工开挖产生的人工边坡及桥墩稳定性进行评价。

2 边坡工程地质条件分析

2.1 边坡地形地貌条件

漳州—龙岩高速公路龙岩段石崆山 II 号右线高架桥 5[#]~6[#] 墩地段(K66+430~K66+630), 为较坚硬的花岗岩岩质边坡。走向近东西向, 延伸长约 150 m。坡向基本向南倾, 通过测绘获得的该边坡几何形态的 13 个剖面资料, 综合概化为 4 个有代表性横剖面。边坡的天然坡度较陡, 且在水平延伸方向及垂向高度上有一定的变化, 坡角为 51°~68°, 其中西段即 14[#]~6[#] 墩(左 K66+544.67~右 K66+595)的坡度较陡, 坡角多为 65°~68°; 而东段

即 5[#]~13[#] 墩(右 K66+480~左 K66+514.67)的坡度较缓, 坡角多在 51°~59°, 坡面形态呈阶梯状上凸形, 在海拔 564.7 m 有一明显的转折部分, 坡高大 于 110 m。该边坡属于“V”字型深切沟谷的谷坡, 谷底河床基岩裸露, 巨大滚石、漂石散乱堆积。它是新构造运动较大幅度的抬升、运动过程伴随着强烈的深切侵蚀破坏作用所形成的窄谷边坡, 属正处于活跃发展的较年轻的边坡地貌单元。

2.2 边坡岩性及岩体结构特征

边坡岩体为燕山晚期岩浆二次侵入形成的深切侵入岩, 局部呈弱风化状, 深部岩芯呈较新鲜状。岩石呈浅肉红色, 中粒结构, 块状构造, 为中粒黑云母花岗岩。岩石质地较致密、均匀、坚硬, 抗风化侵蚀破坏能力强, 为该边坡的稳定提供了较好的岩性条件。

通过点、线、面相结合的现场工程地质调查测绘可知^[1]: 该边坡岩体发育有 5 组主要的结构面。它们的产状如下: (1) 倾向东 90°~105°, 倾角 55°~72°; (2) 倾向东南 120°~140°, 倾角 40°~50°; (3) 倾向南 160°~220°, 倾角 65°~80°; (4) 倾向北东(与坡向相反)倾角 50°~65°; (5) 倾向南西 210°~230°, 倾角 50°~60°。经统计分析并绘制出结构面(裂隙面)产状的玫瑰花图和极点等密值图, 如图 1, 2 所示。其中(1), (2), (3)组结构面为张裂隙, 泥质充填, 裂隙长度多大于 5 m, 最长达 30 m 以上, 裂隙平均间距多大于 1 m, 裂隙

2000年8月7日收到初稿, 2000年9月24日收到修改稿。

作者 简文彬 简介: 男, 1963年生, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程与工程地质专业的教学与科研工作。

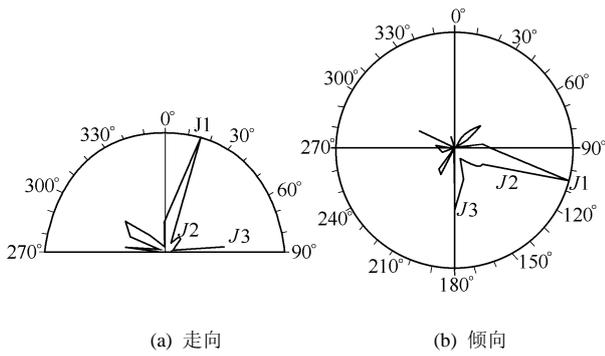
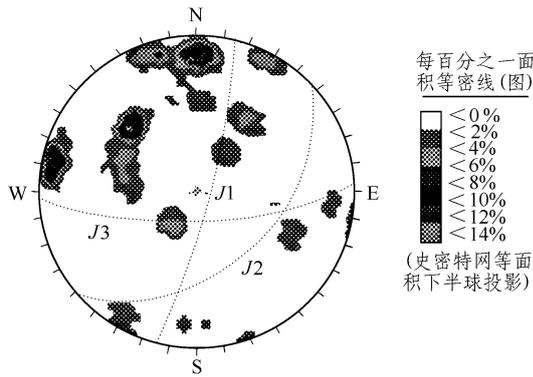


图 1 节理玫瑰花图

Fig.1 Rose diagram of joint



(J1, J2, J3 分别代表三个节理优势面大圆弧)

图 2 节理极点等密图

Fig.2 Pole diagram of joint

面宽度多为 0.1~0.5 cm, 倾向基本与边坡面倾向一致或斜交, 对边坡稳定不利; (4), (5)组结构面为走向 300°的一组共轭剪节理, 野外测量仅见 8 条, 其延伸长度小、间距大, 呈闭合状态, 倾向与坡向相反或相交。根据岩质边坡优势面控坡理论^[2], J1, J2, J3 结构面具有性质优势、数量优势以及产状优势, 因此, 把 J1, J2, J3 结构面作为该岩质边坡的优势结构面。其优势产状分别为: J1 优势面, 倾向 104°(东偏南), 倾角 84°; J2 优势面, 倾向 133°(南偏东、南东), 倾角 44°; J3 优势面, 倾向 180°(向南倾、与坡向相同), 倾角 78°。

边坡岩体主要赋存基岩裂隙水, 受大气降水的补给, 向沟谷排泄, 雨季在边坡面出露成泉。地下水不利于边坡岩体的稳定。

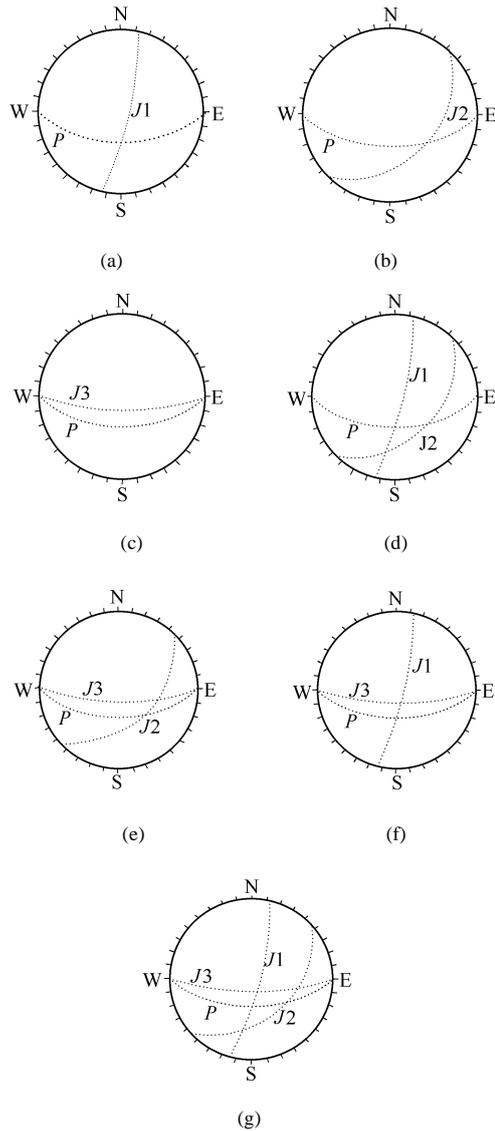
3 边坡岩体优势结构面与边坡稳定性分析与评价

将上述经统计分析得到的边坡岩体 3 组优势结构面 J1, J2 及 J3, 分别以单结构面与边坡面组合、

两组优势结构面共同与边坡面组合以及 3 组优势面共同与边坡面组合进行赤平投影分析, 从而对结构(裂隙)面与边坡面的 3 个层次的组合特征与稳定性进行定性分析评价^[3]。

3.1 单组优势结构面构成的边坡及其稳定性评价

图 3(a), (b), (c)分别为优势结构面 J1, J2, J3 单独与边坡面的组合状态的赤平投影。依据倾向的相互关系及倾角大小的相互关系, 可判别这 3 种单组结构面构成的边坡均为基本稳定或稳定结构。



(a) J1 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(稳定结构)
 (b) J2 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(基本稳定结构)
 (c) J3 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(基本稳定结构)
 (d) J1, J2 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(不稳定结构)
 (e) J2, J3 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(稳定结构)
 (f) J1, J3 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(稳定结构)
 (g) J1, J2, J3 优势面与坡面 P 的组合赤平投影(不稳定结构)

图 3 各优势面与坡面的组合赤平投影

Fig.3 Stereographic projection combining slope plane with dominant structural plane, respectively

3.2 两组优势结构面构成的边坡及其稳定性评价

图 3(d), (e), (f) 分别为 $J1+J2$, $J2+J3$, $J1+J3$ 分别与坡面 P 的 3 种组合赤平投影图。可判别这 3 种 2 组优势结构面构成的边坡有 2 种属于稳定结构, 1 种属于不稳定结构。

3.3 三组优势结构面构成的边坡及其稳定性评价

图 3(g) 反映了 $J1$, $J2$, $J3$ 3 组优势结构面共同与坡面 P 的组合状态的赤平投影。可判别这是一种不稳定结构组合构成的边坡。

3.4 结构面(裂隙面)构成的边坡稳定性综合定性分析评价

综合分析并统计上述 3 种组合情况的优势结构面构成的边坡稳定性的判别结果, 可得到以下 3 点定性的判别结论:

- (1) 属于稳定结构边坡和基本稳定结构边坡的优势度为 0.74。
- (2) 属于不稳定结构边坡的优势度则为 0.26。
- (3) 多组结构面构成的自然边坡的整体稳定性, 综合判定为基本稳定。

4 边坡稳定性的极限平衡理论(SARMA 法)计算分析与评价

4.1 计算方法及计算用的边坡岩体特性参数的选择

Sarma 法是极限平衡分析方法的最新发展, 是一种对岩质边坡尤为适用的定量评价方法^[4, 5]。根

据以上对边坡岩体结构类型及岩体结构面特性的分析评价结果, 可认为边坡岩体的潜在滑动破坏机制及力学模型与 Sarma 法假定的滑动破坏形式及力学模型基本相似。因此, 本文采用 Sarma 法进行计算。

进行现场采样和室内试验工作, 共完成岩块试样 63 组的试验工作, 并进行统计分析计算, 求得岩石物理、水理及力学特性参数。考虑到岩体的物理及力学特性与岩石(块)的相应特性的差异, 以及在进行理论计算中很难把对边坡稳定性不利的所有因素都完全客观地植入计算, 必须进行一定的模型以及参数概化。因此, 在实际计算中除根据室内试验结果外, 还进行了极限平衡反分析, 并考虑到地下水及结构面性质的影响, 对岩体及结构面的参数进行综合取值, 作为 Sarma 法计算参数, 如表 1 所示。

4.2 边坡概化剖面的 Sarma 法计算结果

依据对边坡几何形态实测获得的 13 个剖面资料, 并考虑到计算分析的重点是右 5[#]、右 6[#]、左 13[#]、左 14[#] 墩位边坡的稳定性, 将边坡概化为 4 个横断剖面图, 即 5[#] 墩剖面、13[#] 墩剖面、14[#] 墩剖面及 6[#] 墩剖面, 设定前述的边坡岩体内的优势结构面 $J2$ 及 $J3$ 作为边坡可能产生滑移的潜在滑动面。将上述确定的计算参数用 Sarma 法程序计算, 得如表 2 及图 4(a)~(d)所示的结果。

4.3 边坡稳定性的 Sarma 法分析评价

从表 2 所示的结果数据特征可知:

表 1 极限平衡(Sarma)法计算采用的岩体特性参数表

Table 1 Parameters of rock mass used in SARMA calculation

剖面 编号	桩号	岩体优势结构面		结构面		天然容重 γ/kNm^{-3}	软化系数 K_c	饱和抗压强度 R_c/MPa	弹性模量 $E/10^4\text{MPa}$	泊松比 μ
		产状/(°)		强度参数						
		倾向	倾角	c/kPa	$\omega/(^\circ)$					
5 [#]	右 K66+480	180	78	35	30	26.5	0.69	85	3.5	0.20
		133	44	180	35					
		104	84	220	40					
6 [#]	右 K66+595	180	78	35	30	26.5	0.66	87	3.6	0.22
		133	44	180	35					
		104	84	250	40					
13 [#]	左 K66+514.7	180	78	35	30	26.5	0.65	92	4.0	0.20
		133	44	200	35					
		104	84	210	40					
14 [#]	左 K66+544.7	180	78	35	30	26.5	0.68	86	3.5	0.24
		133	44	180	35					
		104	84	190	40					

表 2 边坡稳定性的 Sarma 法计算结果表

Table 2 Results calculated by SARMA limit equilibrium method

剖面编号	桩号	自然边坡			预挖边坡			稳定性评价	
		安全系数 (有地下水)	安全系数 (无地下水)	平均坡角 /(°)	安全系数 (有地下水)	挖进深度 /m	坡角 /(°)		坡率
5#	右 K66+480	1.597	2.059	51	1.441	5	58	1:0.62	稳定
13#	左 K66+514.7	1.377	1.596	59	1.268	10	60	1:0.58	稳定
14#	左 K66+544.7	1.690	1.796	65	1.631	10	60	1:0.58	稳定
6#	右 K66+595	1.603	1.732	68	1.618	3	65	1:0.47	稳定

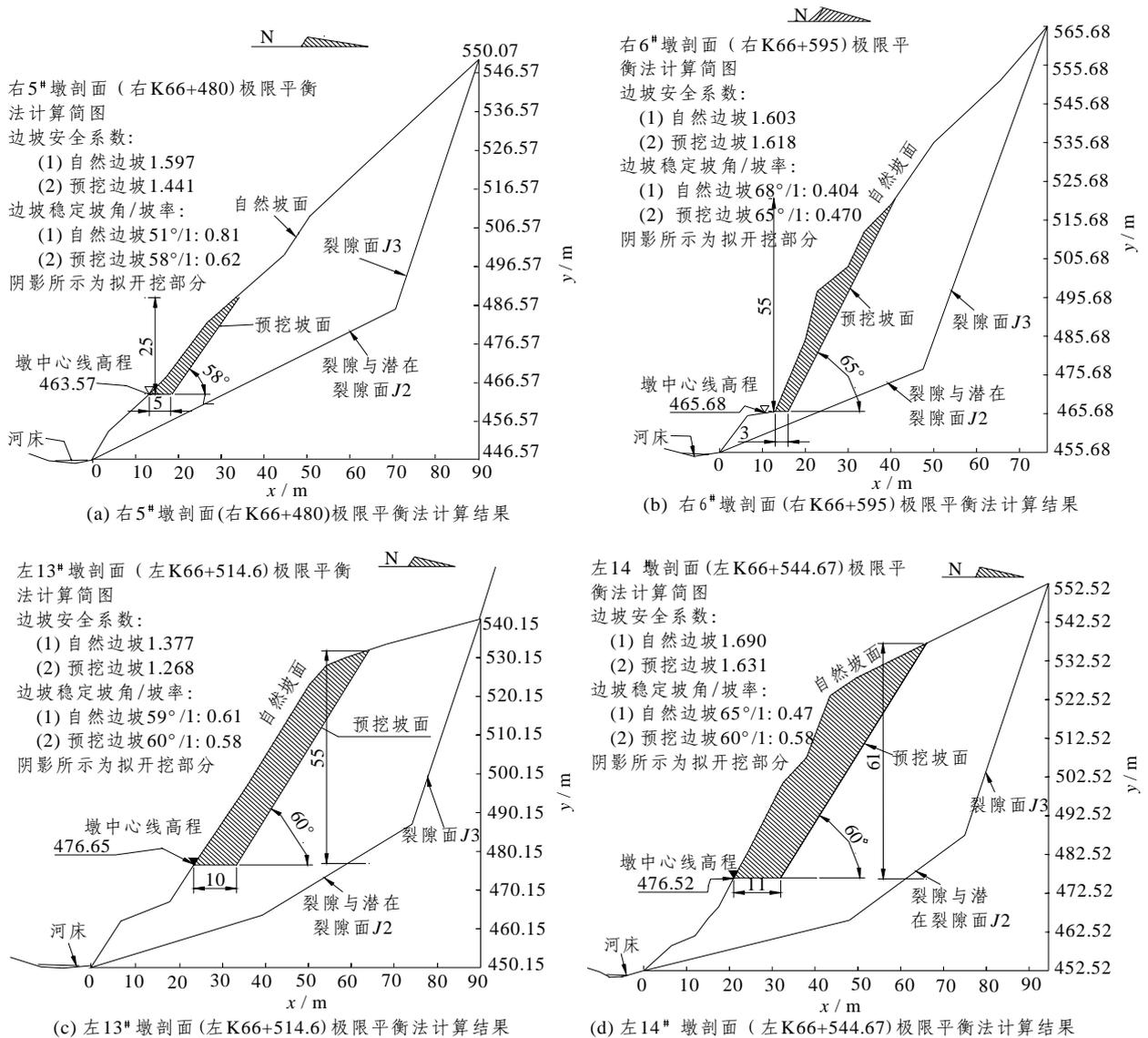


图 4 极限平衡 SARMA 法计算结果(单位: m)

Fig.4 Section charts calculated by SARMA limit equilibrium method(unit: m)

(1) 自然边坡稳定性较高。考虑地下水作用下各剖面安全系数最大 $K_{max}=1.69$, 最小 $K_{min}=1.38$, 平均值 $K=1.57$ 。评价其为稳定边坡。

(2) 预挖后边坡的稳定性普遍有降低, 但幅度

不大。且预挖后的稳定安全系数大小受自然边坡的稳定安全系数大小控制, 即自然边坡安全系数高的, 预挖后的边坡安全系数也高。

(3) 预挖后的边坡各剖面安全系数最大 $K_{max}=1.63$,

最小 $K_{\min}=1.27$, 平均值 $K=1.50$, 稳定坡角的平均值为 60.75° , 稳定坡率的平均值为 $1:0.563$ 。

(4) 有无考虑地下水(裂隙水)的作用, 边坡的稳定性差别较大; 显然, 有地下水作用的存在, 边坡的稳定性普遍较大幅度降低。

5 结 论

(1) 该段边坡较陡, 坡高较大(大于 110 m), 为深切“V”字型沟谷谷坡, 属于正处活跃发展中的斜坡地貌。该段边坡的组成岩石为中粒花岗岩, 呈弱风化-微风化状态, 具有较高的抗风化、抗变形能力。它为该段边坡的稳定提供了较高的岩质(岩性)条件。

(2) 该段边坡岩体发育多组结构面(裂隙面), 从结构面(裂隙面)的特性看, 该边坡岩体的结构类型属于块状结构。边坡岩体的卸荷裂隙较发育, 与构造裂隙面交汇组合在一起, 形成结构面和结构体, 使得边坡岩体的浅表层较破碎, 在高陡坡上形成一些危石, 因此, 在边坡的局部存在崩塌或危石滚落等地质灾害问题。

(3) 依据赤平投影图解法原理, 将统计分析确定的 3 组优势结构面(裂隙面)与边坡的坡面进行 3 个层次的组合判别分析, 得到的定性结论是: 该块状结构边坡的整体是基本稳定的。

(4) 依据 Sarma 法定量计算分析成果, 该段边坡目前在自然状态下整体是稳定的; 对一定的边坡开挖坡角, 开挖削坡后形成的人工边坡整体也是稳定的。

(5) 综合分析定性与定量评价结果, 该段岩质边坡整体是稳定的, 一般情况下不会产生整体破坏性失稳问题。但对可能产生的局部岩块崩落及楔形体滑动应采取一定的措施予以加固。

(6) 地下水的存在降低了边坡的安全系数。边坡内与周边的地下水和地表水的活动可以诱发边坡的局部出现失稳滑动破坏, 应引起足够的重视。

参 考 文 献

- 1 核工业华南工程勘察院, 福州大学岩土工程与工程地质研究所. 漳州—龙岩高速公路和溪至新祠段龙岩市境高架桥路段工程地质勘察报告[R]. 1999
- 2 罗国煜. 岩坡优势面分析理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1992
- 3 手册编写委员会. 岩土工程手册[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- 4 黄运飞, 冯 静. 计算工程地质学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992, 339~344
- 5 王庚荪. 边坡的渐进破坏及稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(6): 29~33

EVALUATION FOR HIGH SLOPE STABILITY OF SHIKONGSHAN IN ZHANGZHOU—LONGYAN EXPRESSWAY

Jian Wenbin¹, Yao Huan¹, Jiao Shuqiang¹, Peng Gongxun¹, Liao Guangping²

⁽¹⁾ Institute of Geotechnical Engineering and Engineering Geology, Fuzhou University, Fuzhou 350002 China)

⁽²⁾ Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, Longyan 364000 China)

Abstract The viaduct No.II of Shikongshan in Zhangzhou—Longyan expressway is located at a high slope with a complicated engineering geological condition. There are three sets of dominant structural plane J_1 , J_2 , J_3 developed in the high slope rock mass. The combined slope plane with single dominant structural plane of rock mass, two sets of dominant structural plane and three sets of dominant structural plane, is analyzed by Stereographic projection respectively. The result shows that the natural slope is basically stable. Furthermore, the stability of slope to be excavated and natural slope is evaluated by SARMA limit equilibrium method, the high slope is also considered steady.

Key words dominant structural plane of rock mass, limit equilibrium method, high slope, stability evaluation