文章编号:1673-0062(2016)01-0113-06

永吉高速黑潭坪滑坡稳定性分析及 治理方案研究

蒋武军¹,李 鹏²,曹 智²

(1.湖南省高速公路管理局,湖南长沙 410012;2.中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,湖南长沙 410014)

摘 要:本文针对永吉高速黑潭坪特殊的滑坡现象,结合该区域的具体情况,采取现 场调研、数值分析和理论计算等多种手段相结合的方法对滑坡进行稳定性分析,并做 出了详细的治理方案.结果表明:该滑坡为工程开挖坡脚引发的牵引式滑坡;坡体变 形主要原因是坡体岩土工程性质不良,加上工程开挖而切削坡脚和降雨入渗导致边 坡岩土体软化,降低了坡体稳定性.根据边坡的稳定状况及其工程地质条件,提出三 种治理方案,并分别阐述了优缺点及适用情形,考虑施工难度及工程造价,建议采用 上部抗滑桩+底部桩板墙治理方案加固.

关键词:高速公路;滑动机理;稳定性分析;治理措施 中图分类号:TU432 文献标识码:B

The Research of Stability and Treatment of Heitanping Landslide in Yongji Freeway

JIANG Wu-jun¹, LI Peng², CAO Zhi²

(1.Hunan Province Expressway Management Bureau, Changsha, Hunan 410012, China;2.Zhongnan Engineering Corporation Ltd. of China Power, Changsha, Hunan 410014, China)

Abstract: Aiming at special landslide phenomenon at Heitaiping, landslide stability is analyzed by field research. Numerical analysis, theoretical calculation, and the concrete reinforcement schemes are proposed. The results show that the landslide is retrogressive landslide induced by engineering excavation, and the primary cause of the landslide is bad geotechnical engineering properties with engineering excavation and rainfall infiltration. According to steady-state situation and engineering geological conditions, three kinds of treat-

收稿日期:2015-10-11

基金项目:中国电力建设集团有限公司科技专项基金资助项目(SD2013-14);中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司科技项目

作者简介:蒋武军(1975-),男,湖南涟源人,湖南省高速公路管理局高级工程师,博士.主要研究方向:岩土工程和工 程管理.

ment schemes were proposed with their advantages and disadvantages attached.Considering the construction condition and budget, the treatment scheme integrating upper anti-slide pile method and bottom slab-pile wall method can meet the construction requirements. **key words**:freeway; sliding mechanism; stability analysis; treatment scheme

0 引 言

山区高速公路由于地质情况的复杂性,加之 工程开挖等施工扰动,导致的滑坡问题很多,轻则 增加投资,延长工期,重则导致建筑物倒塌,甚至 造成人员伤亡,在这方面的研究越来越引起人们 的关注^[14].因滑坡产生条件、影响因素、破坏机理 的复杂性和多变性,也一直是世界各国研究的主 要地质和工程问题之一^[56].

对于滑坡稳定性分析,取得了许多成果.例 如:祝介旺等^[7-9]对滑坡体形成机理及受力、变形、 破坏和运动规律,滑坡体稳定性计算方法与计算 理论,滑坡体加固机理与治理措施等方面进行了 研究.孙世国^[10]针对地下开采边坡岩体的滑移机 制进行了探讨.李文秀[11-12]针对柔性防护条件下 露天矿山边坡稳定性进行模拟分析,并结合模糊 数学模型对急倾斜厚大矿体地下与露天联合开采 岩体移动进行分析.张均锋[13]采用三维极限平衡 法对边坡稳定性进行分析,与工程实际情况相吻 合.杨强^[14]基于三维多重网格法的极限平衡法对 锦屏高边坡稳定性进行分析.赵尚毅^[15]采用有限 元软件对边坡进行分析,并结合强度折减法确定 其安全系数.滑坡稳定性分析成果较多,但有关滑 坡滑动机理、稳定性分析、监控量测及治理措施比 选的综合研究成果相对较少.

本文拟根据永吉高速黑潭坪复杂的滑坡现 象,采取现场调研、深部测斜、数值分析和理论计 算等多种手段相结合的方法,进行稳定性分析,研 究其滑动机理,并进行治理措施比选.研究成果将 对山区高速公路滑坡工程稳定性分析、安全评估 及加固设计等产生重要借鉴意义.

1 工程概况

黑潭坪高架桥位于吉首市古丈县黑潭坪村境 内,该区域的原始地貌属于剥蚀构造中的低山,山 脊走向受构造控制,总体呈北东-南西向,桥位紧 挨山体西面坡研究区域及其线路两侧方向,崩坡 堆积碎块石在线路高程附近分布较广泛,在开挖 影响下形成浅层堆积层滑坡,如图1所示.

研究区域属中亚热带季风湿润气候,具有明显

的大陆性气候特征,冬暖夏凉,四季分明,由于海拔 的悬殊和地形、坡向等的不同,气候类型无论是在垂 直方向上还是在水平方向上都存在较大差异.前期详 勘阶段路线工程地质勘察报告中水质分析,区内地 下水对混凝土及混凝土中的钢筋具微腐蚀性.



图 1 崩坡积层及浅层滑坡 Fig.1 Colluvial deposit and shallow landslide

根据 1:20 万幅区域地质图,研究区域在地质 构造上隶属新华夏系第三隆起带扬子地台与江南 古陆过渡带的武陵褶皱断束内临江南古陆边缘. 古丈逆断层是桥位附近的对桥位地质影响最显著 的地质构造,桥位区岩体受该断裂影响显著,岩层 产状复杂多变,风化带厚度也呈较大变化.结合区 域地质图、现场调查与钻探成果,场地分布的地层 由上至下主要为:第四系全新统坡残积碎石粉质 粘土,下伏基岩为元古界马底驿组板岩.

据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001),研究区地震动峰值加速度小于 0.05g、地震动反应谱特征周期为 0.35s,地震基本烈度为 VI 度.

2 滑动机理

坡体上共发现与线路近平行方向的 6 条裂缝, 缝宽 30 cm~60 cm 不等,近期部分裂缝有所发展, 最大宽度达 3 m,并沿该裂缝形成沉陷,滑坡后壁 高度由高 2.4 m 发展到 4.15 m.在补勘过程中,发现 坡体裂缝仍处于持续变形阶段.坡体自底部到坡顶 主要发育有四条连续性好的控制性裂缝.勘察剖面 1-1 基本位于滑坡中部,垂直于下部桥梁,该剖面布 置了两个钻孔 ZK1 和 ZK3.勘察时在钻孔 ZK1、ZK3 中埋设了测斜管,从图 2 看出 ZK1 在 4 m 和 6.5 m 存在位移突变,ZK3 在 4 m 和 13.5 m 存在位移突 变.并且第四次测量时,发现 ZK1 和 ZK3 在 6.5 m 和 13 m 测斜仪放不下去,因此可以判断 ZK1 的深 层滑面深度为6.50 m,ZK3 的深层滑面深度为 13.50 m;综合现场地质调查成果和主要控制性裂 缝分布特征,坡体主要形成了三个贯通性滑坡后壁 错坎,形成了多级次级滑动变形(图 3).



根据现场调查,受古丈逆断层的影响,边坡岩 体产状变化较大.从边坡左侧基岩出露情况来看, 岩层倾向为100°~140°,倾角30°~55°,边坡总体 坡向310°,因此边坡为反倾层状结构.坡残积碎石 粉质粘土厚度不均,结构松散.由于构造与风化作 用,岩层节理裂隙发育,岩体破碎,工程性质不良, 因此边坡岩土体稳定条件差.桥梁工程便道开挖 后,在山腰形成人工边坡,造成临空面,降低了坡 体的抗滑力,加之坡体强风化层厚度大,适逢雨 季,边坡土体含水量增加,基质吸力降低,土体抗 剪强度下降,致使坡体稳定性降低而造成坡体变 形失稳.从边坡变形破坏过程来看,边坡变形破坏 具有从下往上扩展的趋势.坡体前缘岩土体由于 坡脚开挖首先形成小规模浅层滑移,继而带动中 后部岩土体依次产生多级牵引式滑移变形.

3 边坡稳定性分析

3.1 前期定性评价

在对边坡稳定性进行深入研究之前,应对边 坡岩体的质量及坡体稳定性进行评价.根据上述 边坡稳定性的工程地质定性评价准则,结合本边 坡的地形地貌、物质组成、变形破坏现象及现场分 析,可以判断该边坡处于不稳定状态.由于边坡变 形仍在持续,其安全系数应处于 0.98~1.05.

3.2 计算分析

采用 Bishop 法结合计算分析软件 Geo-slope 对边坡的稳定性进行二维极限平衡分析.工程地质剖面图 1-1'作为计算剖面(见图 4).





由于边坡岩土体为全风化、坡残积成因的碎 石土、强风化和中风化板岩,采用常规试验方法难 以获得准确的物理力学参数作为计算参数,因此 对中风化和强风化板岩采用工程地质类比法确定 其计算参数,对滑体,即全风化、坡残积成因的碎 石土的抗剪强度参数采用反算法确定,以剖面 1-1′为反算剖面,剖面中有三个滑坡后壁陡坎,根据 坡体变形裂缝特征的现场调查和边坡变形破坏形 成机制的分析,其剪出口均位于坡体前缘,对于坡 体后部的后壁陡坎,前期勘察工作中采用测斜仪 开展了深部变形测量确定了潜在滑动面的位置. 根据后壁陡坎位置和前缘剪出口可以初步确定滑 动面;对于中部和前部的次级滑坡,可以根据后壁 陡坎的位置和工程地质剖面进行最小安全系数的 滑动面自动搜索确定滑面.根据坡体目前变形状 况和发展趋势,其计算安全系数应在1.00~1.05 之间.

针对三个滑动面采用不同的 c'、φ'值进行安 全系数计算,确定全风化、坡残积成因的碎石土的 抗剪强度参数为 c'=12 kPa、φ'=27°.不同岩土类 型的最终计算参数见表 1,计算结果见图 4,发现 以坡体前、中、后部陡坎作为滑坡后壁的滑体的安 全系数分别为 1.046、1.005、1.043,与坡体目前所 处变形破坏状况和工程地质定性评价结果相符, 说明反算参数合理.

表 1 计算参数 Table 1 Calculation parameter

岩土类型	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	c′∕kPa	$arphi'/(^{\circ})$
全风化	21	12	27
碎石土	21	12	27
强风化	23	25	30
中风化	24	45	35

根据上述计算结果可以看出,剖面的稳定性系数均偏低,坡体处于不稳定或临界状态.按《公路路基设计规范》对高速公路滑坡规定的安全系数为1.20~1.30,需要对该边坡进行加固处理.

4 治理方案比选

针对该边坡的工程地质特征和稳定状况,经 过详细分析,拟采取三种方案进行比选,根据施工 难易程度及造价确定最终方案.

三种方案为:方案一,清坡+卸载+锚杆+锚索;

方案二,底部抗滑挡墙+锚索+中部树根桩+顶部抗 滑桩;方案三,顶部抗滑桩+底部桩板墙.三种方案 的支护效果图见图 5~图 7,可以看出削方减载+锚 固后坡体的安全系数为 1.352,底部抗滑挡墙+锚索 +中部树根桩+顶部抗滑桩支护后安全系数 F_s达到 1.253,采用桩板式挡墙及抗滑桩支护后安全系数 F_s=1.26,满足规范设计要求.



图 5 剖面 1-1'削方减载+锚固后的安全系数(F_s=1.352)

Fig.5 Safety factor of profile 1-1' by cutting and anchoring



图 6 剖面 1-1'支护后安全系数(F_s=1.253) Fig.6 Safety factor of profile 1-1' by support



图 7 剖面 1-1'支护后的安全系数(F_s =1.255) Fig.7 Safety factor of profile 1-1' by support

对比三种治理方案,可以看出:方案一治理原 理为对已发生变形的坡体已清理为主,其施工安 全性及运营期安全较好,造价相对较低,但现场弃 土困难、高陡坡运输存在安全风险及锚索容易失 效等问题.方案二治理原理为原位加固为主,基本 不开挖.方案二的施工工序为先分段底部挡墙施 工,后锚索施工,最后树根桩及抗滑桩.与方案一 相比的特点为不存在开挖.但树根桩施工难度较 大,在高速公路系统成功可能性不高.方案三双排 抗滑桩对边坡支护作用显著,且长期安全性高,施 工重点在于底部抗滑桩施工,但施工需要注意挖 桩安全.结合施工难度及高速公路长期稳定需要, 建议采取方案三的顶部抗滑桩+底部桩板墙方案 (见表 2).

Table 2 THM coupling loading condition					
方案	优点	缺点	适用情形		
清坡+卸载+锚杆+锚索 支护	施工安全性及运营期安 全较好,造价相对较低	现场弃土困难及高陡坡 运输存在安全风险	有合适的弃土场且解决高边坡弃 土运输问题		
底部抗滑挡墙+锚索+中 部树根桩+顶部抗滑桩	原位加固为主,基本不开 挖,节约投资和施工安全 性较好	树根桩施工难度较大,在 高速公路系统成功可能 性不高	树根桩施工难度得以解决		
顶部抗滑桩+底部桩板墙	安全可靠且长期稳定 性好	抗滑桩挖孔难度大	抗滑桩挖孔安全措施处理到位		

表 2 方案比较 Fable 2 THM coupling loading conditio

5 结 论

在对山体稳定性的基本特性进行深入研究的 基础上,结合黑潭坪山体滑坡的具体情况,采取现 场调研和实地勘察,运用数值分析和理论计算等 多种手段,完成了黑潭坪边坡稳定性分析及治理 方案比选的工作,得出了以下结论:

1) 黑潭坪滑坡为工程开挖坡脚引发的牵引 式滑坡,在开挖影响下形成浅层堆积层滑坡,坡体 处在持续变形阶段,坡处于不稳定状态.

2)由于坡体岩土工程性质不良,桥梁工程开 挖便道,切削坡脚,降低了坡体稳定性,加之降雨 入渗导致边坡岩土体软化和抗剪强度降低,导致 坡体变形破坏.边坡变形破坏具有从下往上扩展 的趋势.坡体前缘岩土体由于坡脚开挖首先形成 小规模浅层滑移,继而带动中后部岩土体依次产 生多级牵引式滑移变形.

3)根据边坡的稳定状况及其工程地质条件,建 议采用顶部抗滑桩+底部桩板墙治理方案.应注意区 内地下水对混凝土及混凝土中的钢筋具微腐蚀性.

参考文献:

[1] 侯伟龙,巨能攀,屈科,等.厚层堆积层震裂斜坡变形特征及破坏机制[J].山地学报,2011,29(4);

493-498.

- [2] 陈新民,罗国煜.基于经验的边坡稳定性灰色系统分析与评价[J].岩土工程学报,1999,21(5):638-641.
- [3] 薛锦春,李夕兵,董陇军.边坡稳定性的聚类未确知综合 识别方法及应用[J].岩土力学,2010,31(S1):293-297.
- [4] 黄达,裴向军,张志刚,等.某公路滑坡成因机制及稳 定性[J].山地学报,2008,26(6):721-726.
- [5] 刘爱华,赵国彦,曾凌方,等.矿山三维模型在滑坡体 稳定性分析中的应用[J].岩石力学与工程学报, 2008,27(6):1236-1242.
- [6] 陈昌彦,王思敬,沈小克.边坡岩体稳定性的人工神经
 网络预测模型[J].岩土工程学报,2001,23(2):
 157-161.
- [7] 祝介旺,刘建友,伍法权,等.锦屏一级水电站左岸深 部卸荷裂隙的加固方案及数值模拟研究[J].岩石力 学与工程学报,2007,26(12):2541-2548.
- [8] Chai X J, Hayashi S. Effect of constrained dilatancy on pull-out resistance of nails in sandy clay[J].Proceedings of the ICE-Ground Improvement, 2005,9(3):127-135.
- [9] Grasselli G.3D Behaviour of bolted rock joints: experimental and numerical study [J]. International journal of rock mechanics and mining sciences, 2005, 42(1):13-24.

(下转第123页)

析实际工程问题的能力,有待进一步开展对现在 的细观机理和宏观现象关系的研究以及模型可靠 度的分析.

4)由于本文仅选取了均质、平整场地的岩体 进行数值模拟,对于地形复杂以及存在节理、裂隙 等缺陷的岩体爆破效果的影响尚未考虑其中,这 些都需要进一步开展工作,以便获得更精确的模 拟结果.

参考文献:

- [1] 胡英国,卢文波,陈明,等.岩石爆破损伤模型的比选与改进[J].岩土力学,2012,33(11):3278-3284.
- [2] 夏祥,李海波,张大岩,等.红沿河核电站基岩爆破 的控制标准[J].爆炸与冲击,2010,30(1):27-32.
- [3] 夏祥,李俊如,李海波,等.广东岭澳核电站爆破开 挖岩体损伤特征研究[J].岩石力学与工程学报, 2007,26(12):2510-2516.
- [4] 李俊如,夏祥,李海波,等.核电站基岩爆破开挖损

伤区研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(S1): 4674-4678.

- [5] Zhu Z M, Mohanty B, Xie H P. Numerical investigation of blasting-induced crack initiation and propagation in rocks[J].International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2007, 44(3):412-424.
- [6] Zhu Z M. Numerical prediction of crater blasting and bench blasting [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009, 46(6):1088-1096.
- [7] 哈努卡耶夫.矿岩爆破物理过程[M].刘殿中,译.北京:冶金工业出版社,1980.
- [8] 王明洋,邓宏见,钱七虎.岩石中侵彻与爆炸作用的 近区问题研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24 (16):2859-2863.
- [9] 高金石,张继春.爆破破岩机理动力分析[J].金属矿山,1989(9):7-12.
- [10] 戴俊.柱状装药爆破的岩石压碎圈与裂隙圈计算
 [J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2001, 20(2):144-147.

(上接第117页)

- [10] 孙世国,蔡美峰,王思敬.露天转地下开采边坡岩体 滑移机制的探讨[J].岩石力学与工程学报,2000,19
 (1):126-129.
- [11] 李文秀,郭玉贵,戴兰芳.柔性防护条件下露天矿山 边坡稳定性模拟分析[J].岩石力学与工程学报, 2006,25(2):246-249.
- [12] 李文秀.急倾斜厚大矿体地下与露天联合开采岩体 移动分析的模糊数学模型[J].岩石力学与工程学 报,2004,23(4):572-577.
- [13] 张均锋,丁桦.边坡稳定性分析的三维极限平衡法及应用[J].岩石力学与工程学报,2005,24(3): 365-370.
- [14] 杨强,朱玲薛利军.基于三维多重网格法的极限平衡 法在锦屏高边坡稳定性分析中的应用[J].岩石力学 与工程学报,2005,24(S2):5313-5317.
- [15] 赵尚毅,郑颖人,时卫民,等.用有限元强度折减法求 边坡稳定安全系数[J].岩土工程学报,2002,24(3): 343-346.