

贵阳 - 新寨高速公路牵引式顺层岩质滑坡的治理与施工

卢平

(成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要: 在我国的山区修筑道路工程, 常常形成稳定性较差的岩质顺层边坡, 变形破坏案例频发。以贵阳 - 新寨高速公路开挖道路引起的大型岩石顺层滑坡为研究对象, 通过现场勘查、不良地质环境及人类活动等外界因素的调查, 模拟滑坡的运动特征, 分析滑坡的成因, 并根据牵引式滑坡的特点, 提出相应的工程治理措施。

关键词: 岩质边坡; 顺层滑坡; 牵引式滑坡; 治理; 施工

中图分类号: U416.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428(2013)11 - 0072 - 04

Control of Tractive Landslide in Bedding Rock and the Construction/LU Ping (Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract: In the construction of highway and railway in mountainous areas in China, the slopes with poor stability are often produced, which causes the deformation and failure cases frequently. Take the subject of a large-scale landslide in bedding rock in Guiyang to Xinzhai highway construction, by the field exploration and the investigation on the external factors of unfavorable geological environment and human being activities, the simulation is made on the characteristics of tractive landslide activity and the analysis is made on the causes of the landslide. According to the characteristics of tractive landslide, the corresponding control measures are put forward.

Key words: rock slope; landslide in bedding rock; tractive landslide; control; construction

0 前言

顺层边坡问题是山区铁路、公路建设中常见的工程地质问题。以往的工程实践证明, 顺层边坡失稳速度快、危害大, 由顺层滑坡造成的重大事故屡见不鲜。如, 1963年意大利瓦依昂水库左岸的巨型岩质顺层滑坡, 滑坡体体积2~3亿m³, 造成3000多人死亡的重大事故; 20世纪80年代, 仅广州铁路局怀化分局管内湘黔、焦柳线通过红砂岩顺层地段, 陆续发生了较为严重的红砂岩路堑顺层滑坡灾害, 中断正线行车达413h, 给铁路运输生产造成了巨大的经济损失。

工程中出现了如此多的顺层边坡及其灾害, 促使人们重视顺层边坡破坏机理的研究。胡厚田等^[4]详细研究了层间错动与顺层路堑滑坡的关系后认为, 岩石顺层路堑滑坡的滑动面基本上都是层间错动带发展而来, 层间错动的形成和发展决定着顺层滑坡的发生。徐邦栋^[5]、刘祥海^[6]等对顺层滑坡的性质及机理进行了研究, 将顺层滑坡的滑动过程分为蠕变变形、挤压、滑动和暂时稳定四个阶段。张卓元等^[7]研究了岩体结构类型对应的变形破坏模式, 对顺层岩质边坡变形破坏机制提出了蠕滑 - 压致拉裂、滑移 - 拉裂、滑移 - 弯曲等多种模式, 并

开创了地质和岩石力学分析相结合的时代, 为推动边坡稳定性分析合理建模作出了贡献。

顺层边坡的治理同样面临着诸多问题, 如不易开挖, 直接威胁施工人员安全。而作为牵引式滑坡, 如何保证前部率先失稳岩体的稳定性, 对于边坡的治理至关重要。

本文以贵阳 - 新寨高速公路开挖道路引起的岩石顺层滑坡为例, 根据滑坡形成的规模、变形迹象及现场调查的地质资料, 模拟该滑坡的活动过程, 分析其成因, 提出相应的工程治理措施和施工方法。

1 工程地质概况

该滑坡地段位于贵州省福泉市马场坪境内, 属中低溶蚀峡谷地貌, 峡谷内最低处为一小河沟, 常年有水, 两岸陡岩绝壁, 峡谷左岸陡岩高60~100m, 右岸高约50m。贵阳至新寨高速公路以路堑方式通过右岸陡岩脚小河沟之上。滑坡位于公路右侧边坡及边坡顶外山体上, 其前缘边坡高为8~34m, 面向公路滑坡体左侧为陡岩, 高30~50m, 右侧为单一顺层斜坡。滑坡上植被发育, 植被大部为低矮灌木, 基岩在斜坡上零星出露。滑坡滑动后见图1和图2所示。

收稿日期: 2013 - 03 - 17; 修回日期: 2013 - 07 - 27

作者简介: 卢平(1969 -), 男(汉族), 四川人, 成都理工大学在读博士生、高级工程师, 地质工程专业, 从事铁路建设与管理工, 四川省成都市成华区二仙桥东三路1号, luping7760@163.com。



图 1 K93 + 600 顺层岩石滑坡坡前部



图 2 K93 + 600 顺层岩石滑坡坡脚

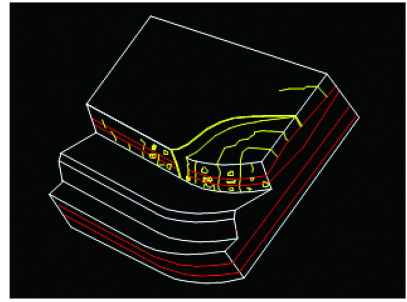


图 5 裂缝进一步发展

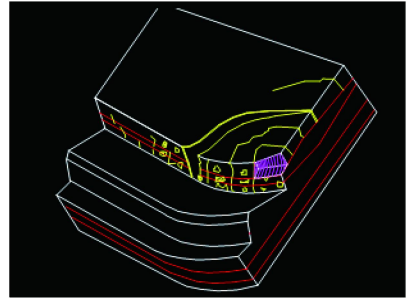


图 6 1999 年 11 月 24 日坍滑 6000 m³

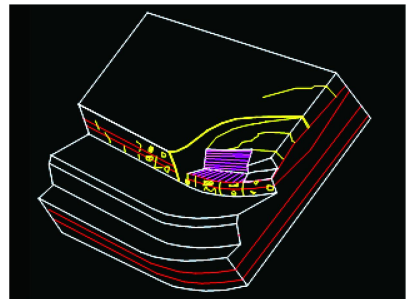


图 7 1999 年 11 月 28 日坍滑 15000 m³

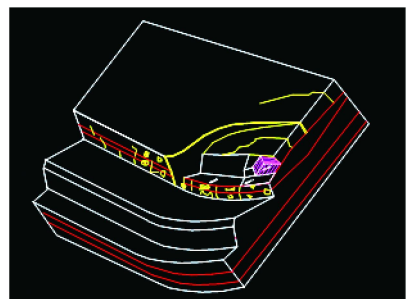


图 8 1999 年 12 月 2 日坍滑 1000 m³

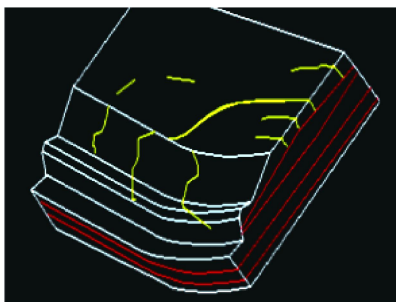


图 3 开挖前的破碎岩体

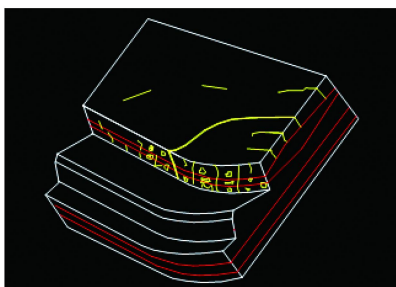


图 4 开挖后应力重分布裂缝发展

2 滑坡特征与性质

2.1 活动特征

该滑坡是在公路开挖切坡过程中,形成高陡临空面而发生的牵引式岩石顺层滑坡。坡体于 1999 年 11 月 24 日发生第一次坍滑约 6000 m³,坍滑体堵塞公路和河道;11 月 28 日发生大规模滑坡,约 15000 m³;12 月 2 日,再次坍滑 1000 m³。据工地施工人员称,坍滑之前听到岩石断裂、相互摩擦发出巨大的声音。

2.2 活动特征模拟

滑坡活动特征模拟见图 3~8。从活动特征中可以看出,整个滑坡牵引式滑动特征明显。

2.3 滑坡形态特征及规模

滑坡为一斜坡,呈弧状,前缘在 K93 + 660 ~ 790 处,从滑坡体上坍滑下来的大块石冲断右侧挡土墙后堵塞竣工公路及河道,堆积在河道的块石土厚 10 ~ 35 m,块石直径 5 ~ 10 m。

(1) 在滑体前缘部分距线路中心线约 47 m(距 K93 + 660 处)有一 C 字形裂缝,与线路相交于 K93 + 790 处,交角为 20° ~ 25°,走向 NW ~ SW,长约 80

m,宽约20 m,深25~34 m,裂缝底为坍滑面。坍滑面上有厚1 m粘土为页岩风化后形成的,褐黄、灰黑色,呈硬塑~软塑状。除此之外,还发育多处裂缝,大部已填充粘土厚0~4 m不等。

(2)在坍滑体陡岩上滑动面之下有一条节理,产状为 $N50^{\circ}E/50^{\circ}SE$,对所在岩层之稳定性有较大影响,该节理与第一条裂缝之间及滑动面以上的区域的未动岩层有许多裂缝,它们可能会进一步发展。

(3)滑坡的规模:该滑坡体长380 m,宽130 m,厚30~40 m,体积约为170万 m^3 ,属于大型滑坡。

3 滑坡成因

根据现场调查,滑坡成因如下:

(1)岩层内部发育倾向公路的页岩软弱夹层,公路切断了顺层岩体;

(2)切断岩层的节理、溶沟、溶槽发育;

(3)公路开挖卸荷作用,边坡面由原来的三向应力状态变成平面应力状态,坡脚岩体被压溃,加剧了不连续面的发展;

(4)距滑坡200 m处,施工开挖采用大爆破,一次性起爆20 t炸药,爆破产生的地震波加速了裂缝的贯通,同时也降低了软弱夹层的力学强度;

(5)雨水影响:坡面水渗入页岩夹层,软化页岩及其风化层,大大降低了页岩夹层的力学强度。

4 工程治理思路

(1)考虑到本次滑坡治理的特殊性,治理方法应尽量减少对上部岩体的扰动,避免爆破开挖施工方法。

(2)清理界限以变形界限为主。清理过程中,主要清除脱离母岩的孤石,留下未变形的岩体。

(3)支护以锚固支护和排水措施为主。对破碎岩石边坡上采用锚索、锚杆和土钉墙,在坡顶设置排水沟,以防地表水流入滑坡内。

5 施工方案

根据治理思路结合边坡自身特点,确定边坡治理的施工工序如图9所示。

5.1 清理孤石

根据工程设计思路,首先进行坡面脱离母岩的孤石处理。孤石清理范围根据变形范围确定,并在清理过程中尽量保持上部岩体的稳定性。在清理过程中严格执行“侧方清理”要求,确保挖掘机的安全。清除 $K93+600\sim 800$ 范围内的已坍滑块石土24031 m^3 ,如图10所示。

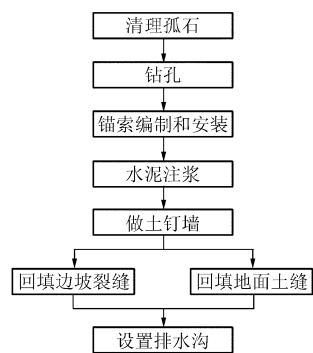


图9 现场施工工序图

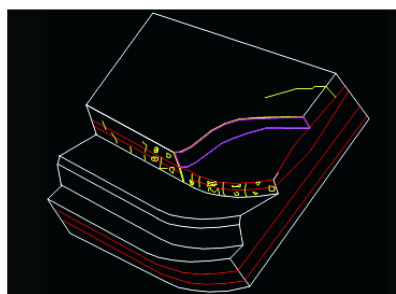


图10 将脱离母岩的孤石清除

5.2 钻孔

在 $K93+600\sim 770$ 右侧,长125 m范围内的斜坡上,采用14排、水平倾角 30° 、75T级的 $6\phi 15.2$ mm预应力锚索加固滑坡,间距和排距均为5 m,锚索长度35~70 m,锚索共计166根、9817延米。其中,5排加固陡岩,9排加固清方后的边坡,锚索均锚固于稳定的地层中。如图11、图12所示。

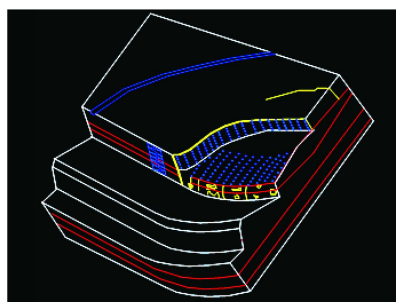


图11 压浆及锚索空间示意图

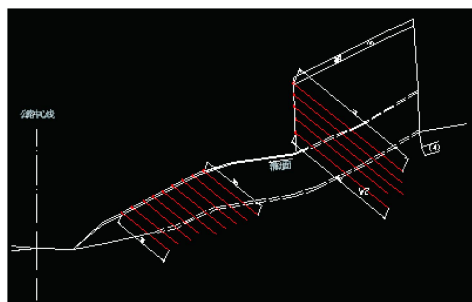


图12 主断面压浆及锚索布置图

为了确保陡岩区的岩体稳定性,钻孔施工首先在陡岩区从下到上进行,以保证牵引式滑坡率先失稳区域的稳定性。完成后再进行清方后区域的钻孔施工。采用XY-2型地质钻机进行 $\varnothing 130$ mm的钻孔施工。

第一步钻孔放样,确定钻孔的方向、钻孔的开孔位,并在孔位处标明锚孔中心点和钻孔编号;

第二步钻机就位,为使钻孔在施工过程中及成孔后其轴线的俯角、方位角符合设计要求,必须保持钻机就位的准确性和稳固性,如果不符合要求,应对钻机进行校正、定位;

第三步跟管钻进、开孔,当钻机每进入10 m的位置,需要对孔斜进行检测,如果孔斜检测不合格,应纠斜后再继续跟管钻进造孔;

第四步跟管钻进至基岩或孔壁能自稳处,可换用常规钻头通过套管继续钻进;

第五步钻机钻进至设计孔深,反向转动钻头,钻头便随钻杆一起从套管中提出钻孔,方可吹孔;

第六步下锚。

在跟管钻进过程中,在遇破碎地层时,容易出现卡钻、掉钻,应采取注浆固结孔壁的措施,待凝后再继续扫孔钻进。

5.3 水泥注浆

充分利用预应力锚索孔,高压注入水泥浆,注浆压力0.2~0.4 MPa,注入水泥总量1562 t,固结滑动面及填充裂缝,使滑坡与基岩形成整体,同时水泥浆液截断地表水下渗通道,保护滑动面不被水软化。锚固浆液为水泥净浆,强度M35,浆液水灰比一般为0.36~0.4。使用ZJ-200型高速搅拌机,按配合比先将计量好的水加入搅拌机中,再将袋装水泥倒入搅拌机中,搅拌均匀,最后加入速凝早强剂,搅拌机搅拌时间 ≤ 3 min。制浆时,按规定配比称量材料,控制称量误差 $< 5\%$ 。采用多次注浆法,除了需要保证锚固段的注浆质量以外,在边坡滑面和节理裂隙密集发育区域,都需要采用高压灌浆加固坡体。

5.4 做土钉墙

在K93+780~860右侧,长80 m范围内的边坡上,设置土钉墙,以稳定前部破碎的岩石边坡,土钉间距均为2.0 m,锚杆采用 $\varnothing 28$ mm,共计554根、3324延米,坡面挂网喷射混凝土厚度150 mm。

5.5 回填裂缝

在裂缝发育处,用C15混凝土回填,若地面为土缝,用粘土回填夯实即可。

5.6 做排水沟

坡顶设截水沟,地表水不流入滑坡体内。

6 工程治理效果

该高速公路近10年的运营经验表明,该滑坡治理后安全可靠,经济合理。

7 结语

通过对贵阳至新寨高速公路K93+600岩石顺层滑坡的治理,得出以下经验体会:

(1)治理岩石顺层滑坡使用预应力锚索技术可最大限度的减小对破碎岩体的扰动;

(2)通过预应力锚索孔实施高压注浆对改善滑动面力学性能、加固破碎岩体、阻止地表水及地下水侵入有显著的效果;

(3)对危及工程结构物的顺层岩体的开挖,应对岩体的稳定性有充分的研究和论证,若开挖将导致滑坡、岩崩等地质灾害,应实施预加固措施,从而避免其发生;

(4)采用主动防护措施锚索和被动防护措施土钉墙,对牵引式破碎岩质边坡进行加固,各自发挥作用,取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] 霍明,王恭先.中国典型工程边坡——交通工程卷[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 刘兴远,雷用,康景文.边坡工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 郑颖人,等.边坡与滑坡工程治理[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [4] 胡厚田,唐永富.层间错动与顺层滑坡的关系[A].滑坡文集(第三集)[C].北京:人民铁道出版社,1982.
- [5] 徐邦栋.岩石顺层滑坡的性质与防治[A].滑坡文集(第三集)[C].北京:人民铁道出版社,1982.
- [6] 刘祥海.顺层滑坡机理及滑动(层)面抗剪强度的研究[A].滑坡文集(第六集)[C].北京:人民铁道出版社,1988.
- [7] 张倬元,王士天,王兰生,等.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1997.
- [8] 田裕甲.岩土锚固新技术及实践[M].北京:中国建材工业出版社,2006.
- [9] 交通部科技教育司,交通部公路司.公路边坡及其环境工程技术交流论文集[C].北京:人民交通出版社,2005.
- [10] 阎莫明,徐祯祥,苏自约.岩土锚固技术手册[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [11] 黄求顺,张四平,胡岱文.边坡工程[M].重庆:重庆大学出版社,2003.
- [12] 滑坡研究与防治编委会.滑坡研究与防治[M].四川成都:四川科学技术出版社,1996.
- [13] 蒋忠信,等.中国山区道路灾害防治[M].重庆:重庆大学出版社,1996.
- [14] 蒋忠信,陈国亮.地质灾害国际交流论文集[C].四川成都:西南交通大学出版社,1993.
- [15] 刘正刚.日本滑坡治理主导思想及统计分析[J].公路,1998,(5).
- [16] Liu zhenggang. Pre-stabilization Technology for Deep Cut Slope [A]. International Slope Conference [C]. Hongkong,2003.