

317 国道某填方路基滑坡成因与稳定性分析

邢国林, 沈军辉, 刘毅

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘要: 从坡体结构、变形破裂特征和地质环境条件, 研究该隧道弃渣填方路基, 发现其滑坡为圆弧形破坏。对滑坡体稳定性的定量和定性分析预测, 天然条件下滑坡体潜在不稳定, 地震、暴雨及水库正常蓄水条件下, 将失稳破坏。建议补打钢管桩至滑面以下进行治理。

关键词: 填方路基; 滑坡; 成因; 稳定性; 317 国道

中图分类号: P642; P642.22 **文献标识码:** A

某填方路基滑坡位于 317 国道九架棚隧道出口段, 桩号为 K848+160~K848+240 里程路段。该段公路路基由隧道弃渣填筑而成, 在修建 317 国道时, 采用了挡土墙和钢管桩进行支护, 在挡土墙外侧采用锚索横梁加固^[1]。公路自 2009 年运营以来, 逐渐出现了公路路面沉陷、拉裂下错、路基下部防护构件破坏、挡墙内倾等一系列问题, 并有进一步加剧的趋势。一旦路基边坡发生失稳, 将会阻断交通, 对 317 国道的安全畅通构成严重的威胁。因此, 研究该填方路基滑坡的成因机制, 评价预测滑坡的稳定性, 进而提出相应的治理措施, 对确保公路的安全畅通具有重要意义。

1 滑坡的地质环境条件

该滑坡位于理县沙坝乡境内, 杂谷脑河右岸, 狮子坪水库区内, 公路路面高程为 2 560 m。公路内侧为基岩边坡, 岩性主要为三叠系中统杂谷脑组上段(T_2z^2)的砂岩, 呈陡崖地貌, 坡度大于 70° ; 外侧为人工填土边坡, 下伏部分为崩坡积, 平均坡度为 35° (图 1)。

滑坡所处区域属川西高原气候, 受印度洋季风影响, 具有冬季寒冷、干燥、降雨稀少, 气温日差较大; 夏季多大风、伏旱频繁等特点。全年平均气温 11.4°C , 冬季平均气温 -3°C 左右, 极端最高气温 35.6°C , 极端最低气温 -7.4°C 。全年平均降雨量

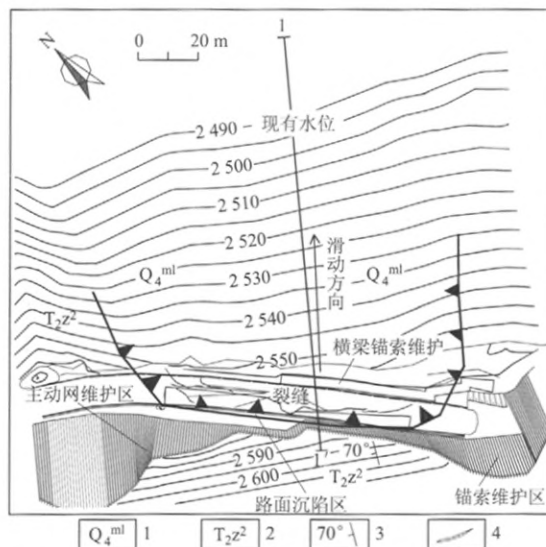


图 1 滑坡工程地质平面图

Fig. 1 Engineering geological plan of the landslide

1. 第四系人工填土层; 2. 三叠系中统杂谷脑组上段;
3. 产状; 4. 裂缝

613.3 mm, 雨季在 5、6 月份, 历史上日最大降雨量为 $59.9\text{ mm}^{[1]}$ 。

地下水主要为孔隙水和基岩裂隙水, 主要靠大气降雨和狮子坪水库补给。由于该区域总体降雨较少, 其动态受库水影响较大^[2], 随库水涨落而升降。狮子坪水库正常蓄水位为 2 540 m, 现有水位为 2 490 m。

研究区在构造上位于北西向鲜水河断裂带与北东向龙门山断裂带之间的金汤弧形构造的北侧,地震基本烈度为Ⅶ度,地震动峰值加速度为0.15g,地震动反应谱特征周期为0.40s。

2 滑坡的基本特征

2.1 坡体结构特征

公路路面高程为2560m,内侧边坡主要为三叠系中统杂谷脑组上段弱-中风化变质砂岩,岩层产状为 $300^{\circ}\angle 70^{\circ}$,为一陡倾横向坡,坡体稳定,呈陡崖地貌。

公路路基主要由第四系松散体堆积层组成,上部为人工填土,平均厚度约为15m,成分以块碎石土为主,块碎石含量 $>70\%$,块石块径一般为20~50cm,碎石粒径一般为5~15cm,岩性主要为变质砂岩,掺有少量板岩。路基填土经碾压相对密实,外部挡墙高约7m,路基外侧堆土较松散,属散体结构^[3];填土下部为崩坡积层,成分以碎石土为主,平均厚度约为7m,碎石粒径一般为5~15cm,呈棱角状,杂乱堆积,胶结差,一般为稍密(图2)。

2.2 滑坡基本特征及变形破坏特征

滑坡位于狮子坪水库的右岸,纵向长约40m,最大宽度约155m,后缘宽度100m,平均深度15m,总体积约 $7.8\times 10^4\text{ m}^3$ (参见图1)。正常蓄水位条件下,路基外侧堆积体大部分将被库水淹没,滑坡体大约有1/5处于该水位以下(图2)。

滑坡左侧以一脊状山梁为界,后缘位于317国道路基沉陷拉裂处,高程约2560m。由于人工填土边坡结构松散,剪出口不明显,但根据其所处的边坡坡形及前方的滑塌现象,推断前缘大致位于滑塌处,高程约2530m,平均坡度约 35° ,滑面为圆弧形(参见图2)。

滑坡变形特征主要表现为公路内侧路面沉降下错,外侧相对抬升,路基下部防护构件严重破坏等。沉陷带沿公路发育长度达82m,平面上略呈弧形;裂缝下错达50cm,未见张开,有后靠迹象;下边坡防护构件被严重破坏(图3),横梁开裂,挡土墙伸缩缝加宽并有相对错动,挡土墙略有内倾,与下边坡相对拉开10~20cm(图4),墙体开裂;钢管桩孔被拉开,拉开约20cm;下部边坡坡体拉裂缝发育,张开约5~30cm。现今这些变形破坏现象与2009年末相比,已有明显的恶化,并有进一步恶化的趋势。

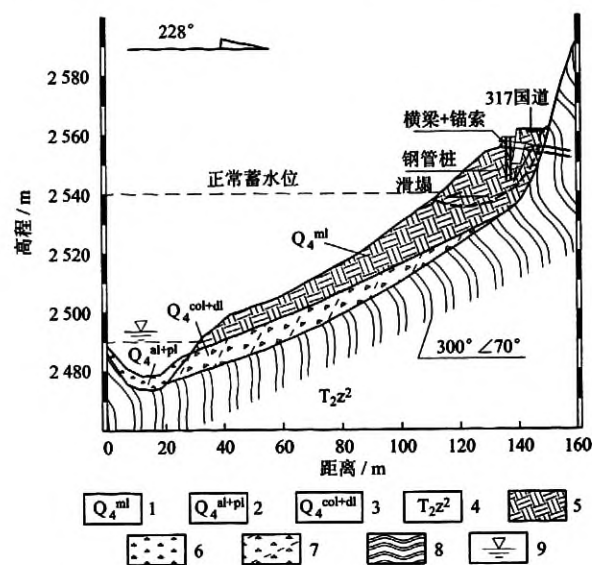


图2 滑坡主滑方向工程地质剖面图

Fig. 2 Engineering geological profile of the landslide in the main sliding direction

1. 第四系人工填土层; 2. 冲洪积层; 3. 第四系崩坡积层; 4. 三叠系中统杂谷脑组上段; 5. 人工填土; 6. 冲洪积物; 7. 崩坡积物; 8. 变质砂岩; 9. 现有水位



图3 下部防护构件破坏

Fig. 3 Damage of the under-part protection components



图4 挡土墙内倾并有抬升

Fig. 4 Inclination and uplift of the retaining wall

3 滑坡的成因机制分析

3.1 滑坡形成的影响因素分析

以上滑坡的变形破坏特征表明,该滑坡的形成与路基边坡的坡形特征、坡体结构、行车荷载、降雨及库水位等因素密切相关。

滑坡的发育处坡体结构为一厚约 30 m 的填方路基边坡,斜坡平均坡度约 35° ,堆积体除路基部位外,总体上结构松散,稳定性差。在降雨条件下,雨水容易渗入坡体使土体含水量提高,降低了土体的物理力学性质,雨水反渗、地下水雍高均对路基填土产生影响,引起路基开裂、沉降变形,是滑坡产生的内因。

317 国道是连接汶川与马尔康重要交通干道,属国家二级公路,重载车较多,路基边坡在行车荷载作用下,增加了坡体的下滑力,同时加大了坡顶张应力和坡脚剪应力的集中程度,降低了边坡的强度,为滑坡形成一大外因。

修建 317 国道时为保证路基的稳定,在路基下部尽管采用了挡土墙和钢管桩进行支护,在挡土墙外侧采用锚索横梁加固,滑坡上部受到一定的约束,再加上形成荷载的施加,使其水平方向的位移受到控制。边坡变形主要以垂直方向位移为主,主要表现为公路内侧沉陷,但由于挡墙和钢管桩的设计埋深较浅,支护作用不能控制变形体现有的变形。锚索为柔性构件,尽管能对滑坡的整体变形起到一定的制约作用,但不能有效地控制堆积体的变形。

水库现有蓄水位为 2 490 m,仅堆积体前缘处于该水位之下,由于库水冲蚀,有可能使堆积体前缘塌岸,但对滑坡的直接影响不大。但随着水库蓄水,库水位逐渐升高,对填方路基边坡的冲蚀作用加剧,边坡前缘塌滑,浮托力增大,前缘抗滑力降低,在一定程度上加剧了蠕滑变形体的发展,对滑坡的稳定性产生一定的影响。

3.2 滑坡形成的力学机制分析

该滑坡为堆积体滑坡,主要由隧道弃渣人工填土组成,性质与土质滑坡、岩质滑坡均不同^[4,5],有其特殊的空间结构特征:该堆积体边坡位于狮子坪水库右岸,前缘临空,主要由块碎石土组成,结构松散,各岩块相互独立,多有架空现象,组成物质的不均匀性和土石比的差异^[2],该堆积体存在自身的潜滑面,对边坡的整体稳定不利。

根据滑坡堆积体的剖面结构特征,其后缘即公路内侧存在一明显的沉陷区,公路外侧相对抬升,圆弧状拉裂缝后靠,前缘出现滑塌,推测滑坡的失稳破

坏方式为圆弧形滑动。其力学机制为:该段 317 国道填方路基竣工后,在水库方向就存在了一个高约 30 m 的临空面,这将导致坡体应力重分布,产生平行于外坡的裂隙,且在坡脚处拉应力集中,而拉应力集中的部位处于正常蓄水位以下,土体的物理力学性质降低,且在其上覆坡体自重和行车荷载等作用下向临空方向发生剪切蠕滑。由于人工填方边坡特殊的空间结构特征,在路面车载等动态荷载作用下,堆积体沿自身潜在的滑面向坡下蠕滑,后缘产生拉应力,出现拉裂缝。随着剪切变形进一步发展,中部剪应力集中部位被扰动扩容,使斜坡下半部分逐渐隆起^[6],滑坡体前缘旋转向外滑移,后缘明显下沉,拉裂面后靠闭合。人工填方边坡结构松散,雨水极易下渗,对外界条件比较敏感,在降雨、地震等外因的影响下,变形体变形将进一步加剧。当斜坡体内积累的剪应力达到潜在滑面的抗剪强度极限时,潜在滑面贯通,边坡失稳,最终演化为滑坡。

在此滑坡形成过程中,由于路基原有的支护设施处于潜滑面以下,即出现“坐船”现象,基本不起作用,随变形体旋转滑动,即出现了路面内侧沉陷、外侧相对抬升、挡土墙内倾、底部相对抬高的现象(图 5)。

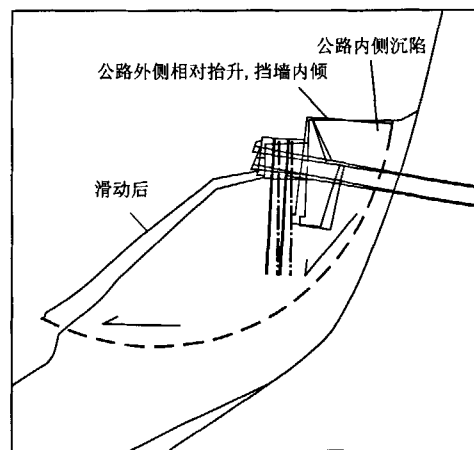


图 5 滑坡整体变形示意图

Fig. 5 Sketch of the Landslide deformation

4 滑坡的稳定性分析

4.1 定性分析

在天然条件下,该边坡已具有滑坡的变形特征,整个坡体和后缘均发现有明显的拉裂缝和路面沉陷等变形破坏特征,处于欠稳定状态^[7,8];在暴雨及地震条件下,滑坡的稳定性进一步降低,有可能失稳破坏;水库现有水位为 2 490 m,仅堆积体前缘处于库水之下,对滑坡的直接影响较小。随着水库进一步

蓄水,坡体中地下水位抬升,堆积体的物理力学性质降低,库水对松散堆积体不断冲蚀及有效孔隙水压力的变化,致使库岸边坡垮塌,从而影响上部坡体的变形稳定。当蓄水达正常蓄水位时,大部分堆积体和滑坡体前缘淹没于库水之下,不仅导致滑坡前缘塌岸趋势加剧,而且直接影响滑坡整体稳定性^[9],导致滑坡失稳。

4.2 定量分析

为了准确全面地评价滑坡的稳定性,采用 Geoslope 对滑坡的稳定性进行定量分析^[9],其岩土体物理力学参数见表 1。

表 1 岩土体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters for the soil-rock mass

状态	$\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	C / kPa	$\varphi / ^\circ$	备注
天然条件	18.5	20	35	
饱和条件	19.5	15	32	

计算模型的建立:主要包括几何模型的建立及材料介质参数输入。由于挡墙和钢管桩基本不起作用,附加荷载只考虑行车荷载与锚索,317 国道为国家二级公路,行车荷载取 15 kN/m^2 。计算工况考虑下列 4 种:工况 I——自重工况;工况 II——自重+暴雨工况;工况 III——自重+地震(地震烈度Ⅶ度,加速度 0.15 g);工况 IV——库区蓄水达正常蓄水位。

采用适合于圆弧形滑面的毕肖普简化法计算滑坡在有锚索支护和未有锚索支护两种情况,锚索长 25 m ,锚固段长 9 m ,间距 2 m ,锚索预应力为 900 kN 。计算结果见表 2。

表 2 滑坡稳定系数

Table 2 Stability coefficients of the landslide

工况	工况 I	工况 II	工况 III	工况 IV
未加锚索时	0.981	0.780	0.747	0.661
有锚索加固时	1.018	0.992	0.986	0.883

计算结果表明:

(1) 在没有锚索加固时,滑坡在天然、暴雨、地震、水库蓄水 4 种工况下,稳定系数均小于 1.0,处于不稳定状态。表明横梁锚索尽管不能有效地控制填方路基的变形滑动,但对滑坡的整体稳定性起到了一定的制约作用,避免了滑坡的失稳破坏。

(2) 在有锚索加固时,滑坡在天然工况下,稳定系数小于 1.05,处于欠稳定状态;在暴雨、地震、水库蓄水工况下,稳定性系数小于 1.0,处于不稳定状态,与定性分析的结果相符。

5 结论

(1) 该滑坡发生于具有一定坡高的隧道弃渣堆积体边坡中,为一松散堆积体填方路基滑坡,有其独特的空间结构特征。该滑坡是在坡体自重、行车荷载及库水位变化等因素的共同作用下,可能失稳破坏方式为圆弧形破坏,表现为公路内侧(滑坡后缘)路面沉降下错,外侧相对抬升,滑坡前缘局部滑移式塌岸。

(2) 路基原来采用挡土墙和钢管桩进行支护,在挡土墙外侧采用锚索横梁加固。但挡土墙和钢管桩都处于滑面以上,对边坡的稳定作用不大;锚索为柔性构件,尽管能对滑坡的整体变形起到一定的制约作用,但不能有效地控制堆积体的变形。

横梁和锚索也有一定程度的破坏,但尚未完全失效,对滑坡的整体稳定性起到了一定的控制作用。

(3) 宏观定性分析和定量评价均表明:在现有的支护条件下,滑坡在天然条件下已处于欠稳定状态,在暴雨、地震及水库蓄水条件下,均可能导致边坡发生整体破坏。

(4) 在对滑坡成因机制的分析研究基础上,综合考虑各种工程措施的技术、经济、施工等诸方面的适宜性,建议采用补打钢管桩至滑面以下的治理方案对滑坡进行加固,同时加强监测。

参考文献

- [1] 刘毅. 317 国道狮子坪水库区改线段公路病害研究[R]. 成都理工大学, 2010.
- [2] 李俊, 彭振斌, 曹佳. 文某高速公路朱雀洞段红层滑坡成因机制分析与整治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(2): 15-18.
- [3] 姜立春, 吴爱祥, 沈慧明. 散体结构边坡体振动波传播机理[J]. 中南工业大学学报, 2003, 34(6): 678-682.
- [4] 杨继红, 董金玉, 陈亚鹏, 等. 某水电站库区堆积体边坡的成因机制分析及稳定性评价[J]. 工程地质学报, 2008, 27(2): 311-318.
- [5] 杨继红, 董金玉, 刘汉东, 等. 某水电站左坝肩上方堆积体成因机制分析及稳定性评价[J]. 岩土力学, 2009, 30(2): 408-413.
- [6] 张倬元, 王兰生, 王士天, 等. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 地质出版社, 1994.
- [7] 李会中, 王团乐, 刘冲平, 等. 百色库区剥隘镇滑坡变形特征与稳定性研究[J]. 人民长江, 2009, 40(17): 608-611.
- [8] 伍保祥, 沈军辉, 刘继国, 等. 金沙江上游藏曲口滑坡成因机制及稳定性分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(1): 12-15.
- [9] GRIFFITHS D V, LANE P A. Slope stability analysis by finite elements [J]. Geotechnique, 1999, 49(3): 387-403.

(下转第 34 页)

APPLYING AUTOMATED REMOTE MONITORING IN STUDYING THE LANDSLIDE AT THE WUSHAN CEMENT PLANT

Liu Guang-ning^{1,2}, Chen Li-de¹, Huang Bo-lin¹, Shao Chang-sheng^{1,2}

(1. Wuhan Centre of China Geological Survey, Wuhan 430205, China;

2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Wireless displacement gauge was used to monitor the landslide to clarify its deformation. The analysis of the data obtained shows that the displacement was increasing at an even pace generally and was accelerated sometimes. Displacement mutations occurred synchronically or after heavy rainfalls. At present the landslide is still in the stage of deformation, but its pace slowed down.

Key words: landslide; displacement; heavy rains; deformation trend

作者简介: 刘广宁(1980—),男,工程师,硕士,主要从事环境地质灾害研究。

(上接第 29 页)

FORMATION MECHANISM AND STABILITY OF A FILLED ROADBED LANDSLIDE ON NATIONAL HIGHWAY 317

Bing Guo-lin, Shen Jun-hui, Liu Yi

(State Key Laboratory of Geo-hazards and Geological Environment Protection,
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The filled roadbed is studied in terms of its structural, deformational and geological conditions, with the discovery of its circular deformation. The quantitative and qualitative analyses indicate that it is potentially unstable under natural conditions and will be destabilized as a rainstorm or earthquake occurs, or the water in the reservoir reaches the normal level. It is proposed that the landslide be treated with steel-pipe piles.

Key words: filled roadbed; landslide; formation mechanism; stability; National Highway 317

作者简介: 郇国林(1985—),女,山东省冠县人,汉族,在读硕士,地质工程专业,主要从事地质灾害评价及岩土体稳定性研究。