

沈明祥, 罗红明. 贵州省六盘水至威宁高速公路弃土场稳定性评估[J]. 中国岩溶, 2019, 38(4): 559-564.
DOI: 10. 11932/karst20190413

贵州省六盘水至威宁高速公路弃土场稳定性评估

沈明祥¹, 罗红明², 刘志鹏³, 穆日盛¹, 彭坤杰³

(1. 中交二公局第六工程有限公司, 西安 710075; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所/岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071; 3. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 武汉 430056)

摘要:以贵州省六盘水至威宁高速公路K89+250右侧140 m弃土场为研究对象,通过现场调查和计算分析对弃土场的排水能力、拦渣墙和边坡的稳定性进行了复核和验算,综合评估了弃土场的稳定性。结果表明:弃土场的洪峰流量为 $0.874 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,小于截排水沟的最大泄水能力 $1.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;弃土边坡在正常运用条件下的局部稳定性系数为1.404,整体稳定性系数为1.360,在非常运用工况条件下局部稳定性系数为1.303,整体稳定性系数为1.172;拦渣墙的抗滑稳定性大于1.3、抗倾覆稳定性大于1.5,基底应力小于地基承载力250 kPa。因此,弃土场的截排水沟尺寸能够满足弃土场排水要求,不同工况条件下弃土场边坡是稳定的,拦渣墙的抗滑移、抗倾覆及地基承载力均能满足稳定安全要求,建议对覆土边坡进行植草绿化,完善弃土场截排水,以减小坡面水土流失。

关键词:高速公路;弃土场;排水系统;拦渣墙;稳定性评估

中图分类号:U416 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)04-0559-06 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

随着我国经济建设步伐的加快,基础建设不断向山区、丘陵区延伸,高速公路建设必然存在大量的深挖边坡和长大隧道,挖方和隧道洞渣量大,同时受施工道路限制,运距较远且运输费用较高等原因,挖填方难以平衡,便会产生大量永久弃方,必然要设置弃土场来处置弃土^[1]。

弃土场是山区高速公路建设的线外附属工程,设计和施工单位往往重视程度不够,选址及结构设计简单,施工中经常乱堆乱弃、弃而不管,也出现容量不足、拦挡与截排水工程防洪标准低、弃土场稳定性差等问题,往往容易诱发滑坡、泥石流等严重地质灾害^[2],给当地的环境、经济以及人民的生产和生活都带来了相当不利的影响。

目前,对弃土场稳定性评估方面的研究不多,许有飞等^[3]提出山区高速公路弃土场的设计原则和思路,肖鸿等^[4]采用专家调查法开展了高速公路弃土场安全风险评价,彭立等^[5]对山区高速公路的选址进行了分类,并采用Bishop法对弃土场坡体进行了稳定性分析,蒋成海等^[6]指出了高速公路建设弃土场存在的问题,张华明等^[7]提出了高速公路弃土弃渣防治技术。以上文献对弃土场设计、风险评价、坡体稳定性及防治技术等方面进行了研究,但缺乏全面的探究。因此,有必要对弃土场开展稳定性综合评估,以掌握弃土场的稳定状况与发展趋势,这对避免由于弃土而产生的次生地质灾害、减少水土流失具有重要意义。

本文以贵州省六盘水至威宁(黔滇界)高速公路K89+250右侧140 m弃土场为研究对象,通过现场调

基金项目:国家自然科学基金项目(41402318)

第一作者简介:沈明祥(1984—),男,主要从事项目施工全生命周期管理工作。E-mail:171416215@qq.com。

通信作者:罗红明(1980—),男,博士,主要从事岩土体稳定性评价及灾害处治技术研究。E-mail:hmluo@whrsm.ac.cn。

收稿日期:2019-04-30

(1)原设计拦渣墙顶第一级坡高 9.4 m,坡比 1:2.0,平台宽度 5.2 m;第二级坡高 7.0 m,坡比 1:1.9,平台宽度 5.0 m;第三级坡高 4.4 m,坡比 1:2.3,平台宽度 5.0 m。

(2)实际上拦渣墙顶第一级坡高 9.4 m,坡比 1:1.8,平台宽度 5.2 m;第二级坡高 7 m,坡比 1:1.9,平台宽度 5.0 m;第三级坡高 6.9 m,坡比 1:2.3,平台宽度 4.4 m。

(3)与设计进行对比,弃土场现状坡比略陡于设计坡比,弃土直接从后往前进行倾填,未经碾压,压实度未达到 85% 的设计要求。

2 现场调查

2.1 拦渣墙

弃土场坡脚拦渣墙按设计图已施作(图 3)。从现场来看,拦渣墙直接坐落在硬塑土层上,拦渣墙前采用大块石进行反压,墙身既无滑移变形又无倾覆变形,部分泄水孔有出水迹象,其他泄水孔不能排水。从以上调查情况来看,拦渣墙目前处于基本稳定状态。



图 3 弃土场拦渣墙现状

Fig. 3 Current situation of retaining wall in spoil ground

2.2 弃土场排水系统

弃土场右侧的排水沟已施作(图 4),左侧排水沟未施工,未设平台截水沟,平台也没封闭处理。总体上来说弃土场排水系统不完善,在强降雨期间弃土场上方的汇水从弃土场左侧自然沟排走,对左侧的弃土产生冲刷,同时大量降雨渗入弃土场填筑体,对弃土场边坡的整体稳定性不利。



图 4 弃土场右侧排水沟

Fig. 4 Drainage ditch on the right side of spoil ground

2.3 弃土场边坡稳定性

该弃土场上下高差较大,采用多级边坡和平台组合的断面形式(图 5)。根据现场实测,拦渣墙顶以上大致由 3 级边坡组成,坡高 27.4 m,调查未发现有任何变形迹象。从以上调查情况来看,弃土边坡目前处于基本稳定状态。



图 5 弃土场边坡现状

Fig. 5 Current situation of spoil ground slope

综合现场调查情况来看,该弃土场的拦渣墙、弃土边坡目前处于基本稳定状态,排水系统不够完善。这仅是从定性角度对弃土场的稳定性进行了初判,还必须从定量方面,采用理论分析方法对弃土场的稳定性进行复核和验算^[8]。

3 稳定性评估

弃土场排水系统的排水能力、拦渣墙的稳定性以及弃土边坡的稳定性是涉及弃土场安全的关键问题,应复核和验算截排水系统、弃土边坡稳定性以及拦渣墙的稳定性,以综合评估弃土场的稳定性。

3.1 截排水系统验算

3.1.1 洪峰流量分析

弃土场永久性截排水措施的排水设计标准采用3年一遇至5年一遇5~10 min短历时设计暴雨^[9]。弃土场排水沟设计流量验算采用小流域面积设计流量公式^[10]：

$$Q = 16.67 \psi q_{p,t} F \quad (1)$$

式中：各符号意义及有关参数取值见《公路排水设计规范》(JTG/T D33-2012)。

通过现场地形圈定，该弃土场汇水面积 $F=0.0254 \text{ km}^2$ 。根据式(1)计算出弃土场的洪峰流量为 $0.874 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.1.2 排水沟水力计算

计算排水沟泄水能力：

$$Q = vA \quad (2)$$

式中： v 为沟内平均流速； A 为过水断面面积(内截面积)， m^2 。

计算沟内平均流速(v)：

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中： n 为沟壁的粗糙系数； R 为水力半径； I 为水力坡度。

弃土场周边设计有M7.5浆砌片石梯形排水沟，断面内截面尺寸为底部60 cm，顶部120 cm，高60 cm，两侧沟壁坡度为1:0.5，厚度为30 cm，底部厚度为30 cm。根据式(2)、(3)计算出沟内平均流速为 $3.615 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，排水沟最大泄水能力为 $1.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。弃土场现有排水沟泄水能力($Q=1.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)，大于弃土场汇水区域设计峰流量($0.874 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)。因此，截排水沟尺寸能够满足弃土场排水要求。

3.2 边坡稳定性复核

3.2.1 计算模型

根据弃土场的实际弃土情况，结合实际地形、弃土填筑厚度与弃土面坡度，参考原弃土位置路基勘察相关成果，选取弃土边坡最危险的剖面建立弃土场的工程地质模型，并采用GeoStudio软件建立弃土边坡稳定性计算模型(图6)。

3.2.2 计算工况与参数

弃土场所在区域属于地震基本烈度Ⅵ度区，地震反应谱特征周期为0.35 s，地震动峰值加速度为 $\leq 0.05 \text{ g}$ 。根据有关规范规定^[8]，该弃土场边坡不用验算抗震稳定性。因此该弃土计算工况只考虑以下两个计算工况^[11]：(1)正常运用工况；(2)非常运用工况。

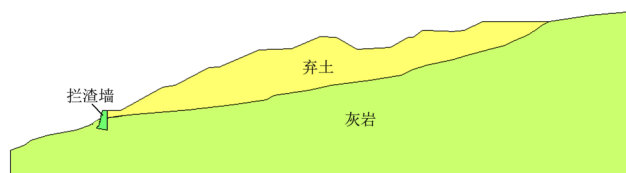


图6 弃土场边坡计算模型

Fig. 6 Calculation model of spoil ground slope

弃土参数通过现场试验和室内大型直剪试验获得，原地表层覆盖残积含碎石粉质黏土参数为由该位置勘察设计成果提供的岩土参数(表1)。

表1 弃土边坡稳定性计算参数

Table 1 Calculation parameters of stability for spoil ground slope

序号	岩土类型	密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		粘聚力/kPa		内摩擦角/°	
		天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
1	弃土	1 860	1 900	21.5	17.5	18.4	16.0
2	含碎石粉质黏土	1 720	1 780	28.0	22.0	20.0	18.5

3.2.3 局部稳定性复核

本弃土场类型主要为灰岩和第四系残坡积层混填，根据弃土场地层结构及弃土类型，弃土边坡可能发生的局部破坏为在弃土场内产生圆弧形滑动。因此，采用圆弧滑动法、考虑圆弧滑动面的Bishop法对弃土边坡进行局部滑动面搜索和稳定性计算分析，稳定性计算结果见表2。

表2 弃土边坡局部稳定性计算结果

Table 2 Calculation results of local stability for spoil ground slope

计算工况	计算方法	稳定性系数	稳定安全系数
正常运用工况	Ordinary	1.404	1.15
	Bishop	1.494	
非常运用工况	Ordinary	1.303	1.05
	Bishop	1.331	

从表2可看出，弃土边坡局部滑移面在正常运用条件下的稳定性系数为1.404，在非常运用工况条件下的稳定性系数为1.303，均大于允许稳定安全系数。

3.2.4 整体稳定性复核

由于弃土与原地表岩土的物理力学性质存在差异，一旦岩土界面浸水，易形成软弱层，当弃土与原

地表岩土接触面之间的抗剪强度小于弃土内部的抗剪强度时,弃土边坡可能沿原地产生折线形整体滑动。因此,采用考虑任意形状滑动面的 Janbu 法、Morgenstern-Price 法对弃土边坡的整体稳定性进行计算分析,计算结果见表 3。

表 3 弃土边坡整体稳定性计算结果

Table 3 Calculation results of overall stability for spoil ground slope

计算工况	计算方法	安全系数	稳定安全系数
正常运用工况	Janbu	1.360	1.20
	Morgenstern-Price	1.458	
非常运用工况	Janbu	1.172	1.05
	Morgenstern-Price	1.258	

从表 3 可看出,弃土边坡整体滑移面在正常运用条件下的稳定性系数为 1.360,在非常运用工况条件下的稳定性系数为 1.172,均大于允许稳定安全系数。

综合以上弃土边坡局部稳定性和整体稳定性的计算结果分析,弃土场边坡在正常运用工况和非常运用工况的整体和局部稳定性均满足稳定性的安全要求。因此,弃土场边坡是稳定性的,既不会在弃土场内发生局部圆弧形滑动,也不会沿原地表发生折线形整体滑动。

3.3 拦渣稳定性验算

3.3.1 拦渣墙尺寸

本弃土场拦渣墙高 7.0 m(表 4),采用 C20 片石混凝土砌筑。

表 4 拦渣墙尺寸

Table 4 Dimensions of retaining wall

墙高 (H) /m	顶宽 (B) /m	底宽 (B1) /m	面坡 倾斜 率	背坡 倾斜 率	墙底 倾斜 率	台阶	台阶	面积 (A) /m ²
						尺寸 (△ b1)/ m	尺寸 (△ h1)/ m	
7.0	5.0	4.3	1 : 0.25	1 : 0	0.2 : 1	0.5	0.8	22.3

3.3.2 抗滑稳定性验算

计算拦渣墙抗滑稳定性系数:

$$K_c = \frac{(W + E_y) \cdot \mu}{E_x} \geq 1.3 \tag{4}$$

式中: K_c 为抗滑稳定性系数; W 为拦渣墙自重, $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$; E_y 、 E_x 为作用于拦渣墙上的库伦土压力 E 在 y 方向和 x 方向的分力, $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$; μ 为拦渣墙底与地基间的摩擦系数。

根据式(4)计算出拦渣墙沿地面滑动稳定性系数为 1.602,大于允许安全系数(1.3)。因此,拦渣墙的抗滑稳定性满足设计要求。

3.3.3 抗倾覆稳定性验算

计算拦渣墙抗倾覆稳定性系数:

$$K_0 = \frac{WZ_w + E_yZ_x}{E_xZ_y} \geq 1.5 \tag{5}$$

式中: K_0 为抗倾覆稳定性系数; Z_w 为拦渣墙重力作用点距墙底外侧点的水平距离,m; Z_x 为作用于拦渣墙上库伦土压力 E 在 y 方向的分力作用点距墙底外侧点的水平距离,m; Z_y 为作用于拦渣墙上库伦土压力 E 在 x 方向的分力作用点距墙底外侧点的垂直距离,m。

根据式(5)计算出拦渣墙相对墙趾点的倾覆稳定性系数为 6.845,大于允许安全系数(1.5)。因此,拦渣墙的抗倾覆稳定性满足设计要求。

3.3.4 地基承载力验算

作用于拦渣墙的基底应力在 $e \leq B/6$ ^[12]时,采用下式计算:

$$\sigma_{\max,\min} = \frac{(W + E_y)}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq [\sigma] \tag{6}$$

式中: B 为拦渣墙基础宽度,m; e 为拦渣墙作用力距墙底外侧点的水平距离,m。

拦渣墙基底岩土层进行埋深修正后的地基容许承载力 $[\sigma]=250\text{ kPa}$,根据式(6)计算出拦渣墙踵部应力为 172.85 kPa,趾部应力为 102.66 kPa,平均应力为 137.76 kPa,均小于地基容许承载力,满足地基承载力要求。

综合以上拦渣墙抗滑移、抗倾覆及地基承载力验算结果分析,拦渣墙的稳定性满足稳定性的安全要求。

3.4 稳定性综合评估

通过对弃土场排水系统的排水能力、弃土边坡的稳定性及拦渣墙的稳定性进行复核和验算,结果表明:截排水沟尺寸能够满足弃土场排水要求,弃土场边坡在正常运用工况和非常运用工况的整体和局部稳定性均满足稳定性的安全要求,拦渣墙抗滑移、抗倾覆及地基承载力均能满足稳定性的安全要求。因此,弃土场是稳定的,不会发生滑坡等地质灾害,满足水土保持的安全要求。

4 结论与建议

(1)弃土场的洪峰流量为 $0.874 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,小于截排水沟的最大泄水能力($1.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),因此,截排水沟的尺寸是能够满足弃土场排水要求的。

(2)弃土边坡在正常运用条件下的局部稳定性系数为1.404,整体稳定性系数为1.360,在非常运用工况条件下局部稳定性系数为1.303,整体稳定性系数为1.172,均大于允许稳定安全系数。因此,弃土场边坡在正常运用工况和非常运用工况是不稳定的,既不会在弃土场内发生局部圆弧形滑动,也不会沿原地表发生折线形整体滑动。

(3)通过验算拦渣墙的抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性及地基承载力,拦渣墙的抗滑移、抗倾覆及地基承载力的稳定性均满足稳定安全要求。

(4)建议根据地形尽快施作弃土场左侧的排水沟,其尺寸应满足弃土场上方山体排洪要求,并对弃土场进行植草绿化,减小坡面水土流失。

参考文献

[1] 中华人民共和国水利部.GB 50433—2008《开发建设项目水

土保持技术规范》[S].北京:中国计划出版社,2008.

- [2] 刘传正.深圳红坳弃土场滑坡灾难成因分析[J].中国地质灾害与防治学报,2016,27(1):1-5.
- [3] 许有飞,张兴来.山区高速公路弃土场设计原则与思路探讨[J].公路交通技术,2010(5):20-23.
- [4] 肖鸿,王开洋.基于专家调查法的高速公路弃土场安全风险评价[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(12):294-296.
- [5] 彭立,黄伟伟,徐希武,等.山区高速公路弃土场选址分类方法及其稳定性分析[J].铁道科学与工程学报,2011,8(6):75-79.
- [6] 蒋成海,彭立,李宏泉,等.高速公路建设弃土场存在的问题及处治措施探讨[J].公路工程,2011,36(5):47-50.
- [7] 张华明,彭冬水,奚同行.高速公路弃土弃渣防治技术探讨[J].水土保持研究,2005(4):235-236.
- [8] 张华,游宏,黄晚清.山区高速公路高填斜坡弃土场工后稳定性评估的实例分析[J].成都大学学报(自然科学版),2017,36(3):307-310.
- [9] 中华人民共和国水利部.GB 51018-2014《水土保持工程设计规范》[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [10] 中华人民共和国交通运输部.JTG/T D33-2012《公路排水设计规范》[S].北京:人民交通出版社,2012.
- [11] 中华人民共和国交通运输部.JTG B02-2013《公路工程抗震规范》[S].北京:人民交通出版社,2013.
- [12] 中华人民共和国交通运输部.JTG D30—2015《公路路基设计规范》[S].北京:人民交通出版社,2015.

Stability assessment of the spoil ground on the Liupanshui-Weining expressway in Guizhou Province

SHEN Mingxiang¹, LUO Hongming², LIU Zhipeng³, MU Risheng¹, PENG Kunjie³

(1. CCCC-SHB Sixth Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075 China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Science, Wuhan, Hubei 430071, China;

3. CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430056 China)

Abstract Taking the 140m spoil ground on the right side of K89+250 from Liupanshui to Weining expressway in Guizhou Province as research object, the drainage capacity, the stability of retaining wall and slope are evaluated by site investigation and calculation and the stability of the spoil ground is evaluated. The results show that the peak discharge of the spoil ground is $0.874 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, which is less than the maximum discharge capacity of $1.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ of the drainage ditch. The local stability coefficient of the spoil ground slope is 1.404 and the overall stability coefficient is 1.360 under normal operating conditions. The local stability coefficient is 1.303 and the overall stability coefficient is 1.172 under abnormal operating conditions. Anti-sliding stability of the retaining wall is greater than 1.3, anti-overturning stability is greater than 1.5, and the base stress is less than 250 kPa of foundation bearing capacity. Consequently, dimensions of drainage ditches can meet the drainage requirements of the spoil ground. The overall and local stability of the spoil ground slope under different working conditions can meet the requirements of stability and safety, and the anti-sliding stability, anti-overturning stability and bearing capacity of retaining wall also can meet the requirements of stability and safety. It is recommended to plant grass on the slope to improve the interception and drainage of the spoil ground and reduce the soil erosion on the slope.

Key words expressway, spoil ground, drainage system, retaining wall, stability assessment

(编辑 黄晨晖)