

在建高速公路路堑边坡垮塌成因分析及处治措施

席称心^a, 陈磊^b

(长安大学 a. 公路学院; b. 地质工程与测绘学院, 西安 710064)

摘要:针对西南山区修建高速公路路堑边坡垮塌问题,依托贵州省某在建高速公路路堑边坡垮塌实体工程,通过边坡下滑力计算和现场勘探调研分析,针对特定条件下的工程地质背景,从施工、环境因素、排水和地质勘探等方面详细分析了路堑边坡垮塌病害产生的成因,并以此为基础,根据“削坡顶,强坡腰,稳坡脚”的边坡防护原则,提出系统的、具有针对性的处治措施。为了观测边坡加固效果,采用后期跟踪监测,结果表明,边坡工程处治结果达到安全、经济、美观等预期效果,为同类路堑边坡工程病害预防与治理提供科学参考和借鉴,极具工程实用价值。

关键词:路堑边坡;垮塌;成因分析

中图分类号:TU457

文献标志码:A

引言

在山区修筑高等级公路不可避免需要进行深挖高填,会形成大量的高陡路堑边坡或者路堤边坡。由于岩土体原有的地质环境平衡被打破,客观上为这些边坡的坍塌、滑动等地质灾害创造了地质条件。工程实践表明,在我国已修建的山区高等级公路中,几乎是“无路不坍、无路不垮”,特别是在雨季,公路的坍方、滑坡更为普遍。因此,进行路堑边坡垮塌成因分析已十分必要。

目前相关学者在关于边坡稳定性分析方面已做了大量研究工作,并取得了一定的研究成果^[1-4]。高文学^[5]等人通过分析爆破对路堑边坡稳定性影响,探讨了边坡动力稳定性的分析方法和安全评价标准。程强^[6]通过对某高速公路深挖路堑边坡工程施工监测,施工过程中实行动态设计与总结分析,提出了公路深挖路堑边坡工程动态设计方法。胡晋川^[7]通过离心模型试验对非扰动黄土阶梯状高路堑边坡进行研究,并采用 ANSYS 对阶梯状高路堑边坡稳定性进行数值分析,得出非饱和黄土阶梯状多级矮坡在发生破坏前会发生明显的侧向变形。刘悦^[8]利用离心模型试验对黄土路堑边坡在开

挖过程中的变形破坏特征进行了系统的研究,开挖前,坡体变形以自重应力作用下的竖向变形为主;开挖后,堑坡坡体中后部土体以垂直向下变形为主。成永刚^[9]对顺层挖方边坡的稳定性及后续加固工程的稳定性进行数值模拟分析,证明了数值模拟顺层挖方边坡治理工程的有效性。宋东日^[10]通过地质调查、变形迹象分析、岩土体应力-应变分析及数值模拟等方法对某高速公路牵引式滑坡进行分析,指出了具体的破坏机制并讨论了引起牵引式滑坡的工程地质特征。王玉峰^[11]通过离心模型试验对黄土高边坡在无支护、全断面土钉支护、上部土钉下部预加固桩复合支护模式下的变形特性进行研究得出桩-钉复合支护能有效提高滑坡体稳定性。郭子仪^[12]从边坡稳定性有限元分析方法和极限平衡法基本原理入手,提出了适合于边坡稳定性分析的有限元极限平衡法,并分析了边坡内应力和变形特征及渐进破坏的发展过程。以上研究均是针对路堑边坡的稳定性或变形机理进行的理论研究,且取得的研究成果均有一定的局限性。

本文将依托贵州省某在建高速公路路堑边坡垮塌病害实例,探讨在特定工程背景下的边坡垮塌成因,并

收稿日期:2014-12-11

作者简介:席称心(1989-),男,河南开封人,硕士生,主要从事公路岩土工程方面的研究,(E-mail):xichenxin9@126.com

在此基础上提出具有针对性的处治措施,以供同类工程病害参考借鉴。

1 工程概况

该边坡垮塌路段位于贵州省某在建高速公路 YK230+900~K231+380 段,全长 480 m,其中 YK230+900~YK230+971 段路堑边坡高度较小,最大边坡高度约为 8 m;其余段边坡高度较大,最大边坡高度约 20 m。设计汽车荷载:公路-I 级。路面宽 12.25 m。该边坡为永久性边坡,边坡形式单一,坡率为 1:0.75,边坡防护形式为框架梁防护,边坡工程重要性等级为一级。

1.1 工程地质环境

经过现场钻孔勘探,得出边坡所处地段主要为然弱岩土体,其岩石风化严重,地表覆盖有 2 m 左右的覆盖层,下部是杂填土层,基岩主要为炭质泥岩夹灰岩。岩土体参数见表 1、表 2。

表 1 强风化炭质页岩物理力学指标

重度 γ / (kN/m^3)	抗压强 度/MPa	抗剪强 度/kPa	粘结强 度 c /kPa	内摩擦 角 φ / $^\circ$	泊松 比 μ
24.6	30	490	198	31	0.3

表 2 结构面物理力学指标及其它设计参数

粘聚力 c /kPa	内摩擦角 φ / $^\circ$	边坡坡率	安全系数 K_s
10	9	1:0.75	1.3

(1) 覆盖层

亚粘土 (Q^{el+dl}):黄色、褐黑色,含少量灰岩、炭质页岩碎块及植物根系。零星分布于坡体上部位置,厚度变化:0~2.4 m。

杂填土 (Q^{mc}):原贵新二级公路施工弃渣,主要成分为灰岩、炭质页岩弃渣堆积,粒径约 1~200 cm,大小不等。分布在 YK230+900~YK230+971 段路基位置,宽约 20~60 m,厚约 0~19 m,堆积较松散。

(2) 基岩

该边坡下伏基岩石炭系下统大塘阶旧司组 ($C1d1$) 炭质泥岩夹灰岩组成。根据地表调绘及物探资料,按风化程度分为:

① 强风化层

炭质页岩:灰黑色、黑色,岩体切割节理和风化裂隙发育,岩石极软、岩体破碎,风化呈薄片状、土状,岩石极软,岩体较破碎。厚 12.37~17.46 m,全场分布。

灰岩:灰色、中厚层状,透镜状,节理裂隙极发育,岩石风化强烈,岩石较硬、岩体较破碎。厚 12.37~17.46 m,全场分布。

② 弱风化层

炭质页岩:灰黑色、黑色,岩石节理较发育,岩石较软、岩体较完整。全场分布。

灰岩:灰色、中厚层状,透镜状,节理裂隙较发育,较硬,岩体较完整。全场分布。

从地质资料可以得出,路堑边坡所处地段地质条件为地表浅层、底层较软弱,易失稳;地下基岩相对较稳定。

1.2 水文环境

边坡地表水发育,地表无泉点出露,主要为大气降雨沿低洼部位向路基方向排泄。局部地段形成水塘。

边坡地处亚热带季风湿润气候区,冬无严寒,夏无酷暑,据独山县气象站 1981~1990 年气象资料,年平均气温 15°C ,极端最高气温 33.7°C ,最低气温 -5.3°C 。年平均降雨量 1236.8 mm,多集中在每年的 5~8 月间,占全年降雨量的 55%~60%,平均无霜期 353 天/年,年平均相对湿度 82%,年平均风速 2.5 m/s。区内由于下伏基岩为炭质页岩与灰岩互层,岩石透水性极弱,地下水主要为第四系松散层中的孔隙水和基岩风化裂隙水,流量小,主要为降雨补给。水文地质条件较简单。

2 边坡垮塌成因分析

在建高速公路已接近建设收尾阶段,各种防护设施以修建完成,原设计中挖方边坡采用框架梁防护措施进行防护,但由于坡面后期养护不到位,施工方未严格按照相关规范进行跟踪养护,边坡在经历一场大雨后发生严重垮塌,造成严重的经济损失和不良的社会影响(图 1),边坡垮塌示意图如图 2 所示。经过现场勘探调查发现,垮塌边坡成整体性坍塌且事件发生在 7 月份、滑动面清晰可见、边坡土体较松散、且未设置坡面排水设施等。



(a) 边坡垮塌实景图

(b) 边坡垮塌实景图

图 1 边坡垮塌

2.1 边坡滑动面下滑力计算

传递系数法又称不平衡推力法,具有计算简单,且方便适用等优点,故本文采用传递系数法对边坡垮塌处坡体下滑力进行计算。

在滑体中取第 i 块土条,假定第 $i-1$ 块土条传来的推力 p_{i-1} 方向平行于第 $i-1$ 块土条的底滑面,而第 i 块

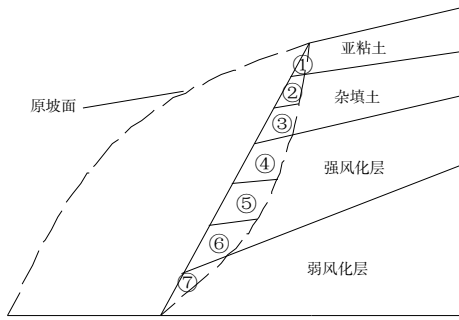


图 2 边坡垮塌示意图

土条传递给第 $i+1$ 块土条的推力 p_i 平行于第 i 块土条的底滑面。即,假定每一分界上推力的方向平行于上一土条的底滑面。第 i 块土条承受的各种作用力如图 3 所示。将各作用力投影到底滑面上,其平衡方程:

$$P_i = (W_i \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i) - \left[\frac{c_i L_i}{K_s} + \frac{(W_i \cos \alpha_i - U_i L_i - Q_i \sin \alpha_i) \tan \varphi}{K_s} \right] + P_{i-1} \Psi_{i-1}$$

其中:

$$\Psi_{i-1} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \tan \varphi_i \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) / K_s$$

P_i —第 i 块滑体剩余下滑力;

P_{i-1} —第 $i-1$ 块滑体剩余下滑力;

W_i —第 i 块滑体的自重;

Q_i —土条的水平作用力,这里取 0;

U_i —第 i 块孔隙应力,这里取 0;

N_i —第 i 块滑床反力;

α_i —第 i 块滑体滑面的倾角;

C_i, φ_i —第 i 块滑体滑面的抗剪强度指标;

K_s —边坡稳定安全系数;

Ψ_{i-1} —传递系数;

L_i —第 i 块滑体的滑面长度;

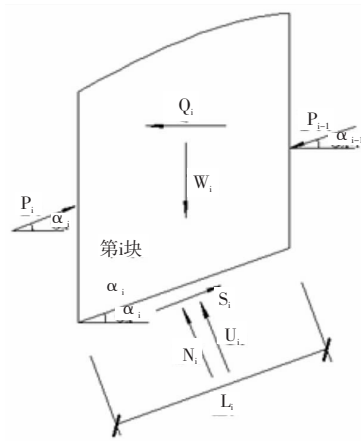


图 3 第 i 块土条受力示意图

各潜在滑动面层分块依据:土块分得越多,计算的结果越精确,划分土块尽量接近规则形状便于计算。滑动体土块划分如图 2 所示。

安全系数取 1.3,因为滑动面为直线,所以传递系数 $\Psi_i = 1$,结构面抗剪强度指标: c 为 10 kPa, φ 为 9° 。由公式:

$$P_i = W_i \sin \alpha_i - \left(\frac{W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i}{K_s} + \frac{c_i L_i}{K_s} \right) + P_{i-1} \Psi_i$$

计算出滑坡各断面的剩余下滑力,计算结果见表 3。最大剩余下滑力为 279.85 kN/m,边坡处在不稳定状态。

表 3 剩余下滑力计算表

编号	W/kN	c/kPa	$\varphi/^\circ$	L/m	$\alpha/^\circ$	K_s	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\tan \varphi$	P/(kN/m)
1	132	10	9	1.1	17	1.3	0.29	0.96	0.157	14.01
2	145	10	9	2.3	18	1.3	0.31	0.95	0.157	23.87
3	156	10	9	2.1	19	1.3	0.32	0.95	0.157	40.45
4	476	10	9	4.3	19	1.3	0.32	0.95	0.157	107.22
5	478	10	9	4.6	20	1.3	0.34	0.94	0.157	181.52
6	379	10	9	3.4	21	1.3	0.36	0.93	0.157	249.75
7	142	10	9	1.4	24	1.3	0.40	0.92	0.157	279.85

2.2 边坡垮塌成因

经过理论计算,并综合现场勘探情况,得出导致边坡垮塌的原因如下:

(1) 由于施工产生废弃物随意堆放在坡面上,坡体上有大体积堆积物、松散石且未及时清除,或受施工机械振动影响,使边坡内剪切应力增大,最终导致边坡自平衡状态破坏,边坡发生垮塌,如图 4 所示。

(2) 由边坡剩余下滑力计算结果可知,原设计中边

坡设计过陡,已处在不稳定状态,且仅采用框架梁结构对边坡进行防护,不能有效抵抗坡体下滑力。

(3) 未及时修筑完善的边坡排水设施,大暴雨时水流直接冲刷边坡,雨水进入坡体,边坡内部土体湿化,粘聚力降低,从而造成边坡失稳坍塌。

(4) 地质勘探资料与实际工程地质情况存在偏差,原地勘报告中未发现基岩中的强风化层,说明地质勘探资料不准确,导致公路路堑边坡设计坡度过陡。



图4 坡面堆载

3 处治方法

针对挖方路段边坡垮塌病害,结合当地工程地质情况,综合考虑安全、经济等因素,提出以下处治措施:

(1)重新进行地质勘探,合理布设钻孔位置,尽可能准确掌握边坡垮塌段地质信息。

(2)及时清除塌方体及坡面堆载,用块石填砌或由下而上分层回填2:8或3:7灰土嵌补,土坡面接触部位作成台阶式搭接,使接合紧密。

(3)将坡顶线后移或削坡减载,将边坡形式从以及边坡改为两级边坡,边坡坡率自上而下为1:1调整为1:1.25,二级平台宽度为2.0 m。

(4)坍塌处回填以后,采用C20混凝土对坡面及滑动面位置处进行喷护,及时封闭坡面,防治边坡发生二次垮塌。

(5)在边坡垮塌段修筑完善的拦排水设施,在坡顶处修筑截水沟用以拦截边坡上部的水源;在坡面修筑集水沟用于汇集坡面上的雨水,防治冲刷坡面;在坡体内部修筑排水管用与汇集边坡内部地下水。

(6)稳固坡脚,在坡脚处修筑小型挡墙用于加固坡脚,防治坡脚处失稳。

4 结论与建议

经过以上处理,垮塌边坡达到预期处理效果。处理措施既抑制了边坡垮塌继续扩大的趋势,又节约了处理费用,同时保证了边坡垮塌处理质量,为以后同类工程病害提供参考借鉴,经过综合分析本工程实例,得到以下3点结论与建议:

(1)依据野外地质勘察并收集相关资料后,进行路堑边坡预设计。再根据边坡工程施工实施进程,结合施工现场揭露坡体地层实际情况及其他相关环境背景条件变化,以及各阶段坡体变形情况和发展趋势等信息,

对边坡进行必要的动态调整、补充和完善设计,以达到经济、合理且安全可靠的目标。

(2)工程中绝大多数病害与降雨有关,故施工期应尽量避开雨季,如若无法避开,应严格做好防护措施,保证工程顺利进行,避免不必要的经济、人员损失。

(3)针对特殊地质条件下的路堑边坡,需要专门组织相关人员,定期对边坡的变形、支挡结构应力情况进行监测,以保证及时掌握边坡稳定性。

参考文献:

- [1] 刘杰,赵晓.某高速公路边坡成因机制分析与稳定性评价[J].水土保持研究,2006,13(3):88-92.
- [2] 龚文惠,王平,陈峰.顺层岩质路堑边坡稳定性的敏感性因素分析[J].岩土力学,2007,28(4):812-817.
- [3] 刘红军,郭颖.土质路堑边坡冻融失稳及植被护坡机理研究[J].岩土工程学报,2011,33(8):1197-1204.
- [4] 冯守中,闫澍旺.严寒地区路堑边坡破坏机理及稳定计算分析[J].岩土力学,2009,30(s1):155-160.
- [5] 高文学,刘宏宇,刘洪洋,等.爆破开挖对路堑高边坡稳定性影响分析[J].岩石力学与工程学报,2010,29(s1):2982-2988.
- [6] 程强,黄绍斌,周永江.公路深挖路堑边坡工程施工监测与动态设计[J].岩石力学与工程学报,2005,24(8):1335-1341.
- [7] 胡晋川,谢永利,王文生.黄土公路阶梯状高路堑边坡稳定性研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(s1):3093-3101.
- [8] 刘悦,黄强兵.黄土路堑边坡开挖变形机理的离心模型试验研究[J].水文地质工程地质,2007,12(3):59-66.
- [9] 成永刚,王玉峰.顺层挖方边坡松散区及稳定性数值模拟分析[J].地下空间与工程学报,2013,9(4):848-854.
- [10] 宋东日,任伟中,沈波,等.牵引式滑坡的破坏机制及其加固措施探讨 - 以某高速公路牵引式滑坡为例[J].岩土力学,2013,34(12):3587-3594.
- [11] 王玉峰,程谦恭,黄英儒.不同支护模式下黄土高边坡开挖变形离心模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(5):1032-1047.
- [12] 郭子仪,范振华,朱云升,等.边坡稳定性分析中的有限元极限平衡法[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2014,38(1):79-85.

The Causes Analysis and Treatment Measures of Cutting Slope Collapse in Constructing Highway

XI Chenxin^a, CHEN Lei^b

(a. School of Highway; b. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Aiming at the cutting slope collapse issues of highway constructed in the southwest mountainous area, relying on the entitative engineering of cutting slope collapse in a constructing highway in Guizhou province, through the calculation of slope decline force and field exploration and researching analysis, aiming at specific engineering geological environmental background, the reasons for the collapse disease of cutting slope are analyzed in detail from the construction, environmental factors, drainage and geological exploration and so on, and based on this, according to the slope protection principle of "cut a hill, sloping back strong, steady toe", the systemic and targeted treatment measures are proposed. In order to observe the effect of slope reinforcement, post-tracking and monitoring method is used, and the result shows that the treatment results of slope engineering have reached the expected results such as safety, economic and artistic and so on. It can provide scientific reference for similar projects in disease precaution and control, and has significant engineering practical value.

Key words: cutting slope; collapse; causes analysis



(上接第 80 页)

- [3] 庄卫林,陈乐生.汶川地震公路震害分析[M].北京:人民交通出版社,2013.
- [4] 裴来政,刘应辉,庄建琦.汶川地震震后都汶公路的恢复与重建[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(增):141-146.

- [5] 李汇玖.论公路水泥混凝土路面水损害[J].淮北职业技术学院学报,2010,9(3):20-21.
- [6] 李志勇,王江帅,李彦伟,等.道路防排水技术[M].北京:人民交通出版社.
- [7] 王江勇.公路沥青路面裂缝修补技术研究[J].交通标准化,2014,42(8):4-6.

Study on the Maintenance Materials of the Water Damaged Road in Earthquake-prone Areas

XIE Yuanxin^{1,2}, WANG Ze³, LUO Zhongxian⁴, WANG Wenqi^{3,4}, WANG Chonghui⁵

(1. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. Chongqing Pengfang Road Technology Research Institute, Chongqing 400030, China; 3. School of Architectural and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China; 4. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610039, China; 5. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The earthquake makes the pavements crack and forms water infiltration, which can cause the water damages to the roads, substratum and roadbeds. In order to solve these problems, the means of cementation of fissures is applied to repair the cracking pavement. In the paper, the production, construction technology and properties of the caulking materials made by powdered rock phosphate emulsified asphalt are elaborated. This material has good pavement functions such as the bonding strength, and can meet the requirement for emulsified asphalt caulking material applied in cement concrete pavement. The cost on the materials is very competitive, and it is convenient for storing, transporting and constructing.

Key words: water damage; caulking material; cement concrete pavement; earthquake