

受构造影响的公路滑坡成因分析及治理措施

黄星

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:针对眉山环天府新区快速通道位于府君场向斜核部处的边坡滑坡现象进行分析,认为滑坡成因是该边坡地层泥岩发育,且受府君场向斜影响,岩体破碎、完整性差;施工中边坡开挖过陡且受降雨影响等。为确定治理方案,结合土工试验结果和反演结果获得了滑动面参数,进行滑坡稳定性分析及推力计算,最后确定采用适当抬升纵坡后清方的治理方案。

关键词:滑坡;成因分析;构造;治理措施;清方

中图分类号: U417.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)06-0057-04

0 引言

四川盆地及边缘分布有大量的侏罗系(J)和白垩系(K)陆相紫红色砂岩、泥岩构成的红层地层,开挖后坡体自稳能力较差,公路工程在施工期间和施工后,易诱发滑坡、溜塌等地质灾害,导致该地区公路建设施工难度大^[1-5]。

红层地层岩层倾角一般为 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$,多数小于 10° ,近于水平,一般构造运动不发育。但在整个四川盆地范围内不可避免地存在由构造运动形成的断层、褶皱,这些构造结构面对坡体的完整性和稳定性具有构造性作用,一旦坡体在后期改造过程中形成临空面,就极易形成构造结构面滑坡^[6-8]。

环天府新区快速通道位于四川成都盆地红层地区,于K34+300附近穿过府君场向斜,受该向斜影响,沿线发生多处滑坡。本文就该处滑坡的成因及治理措施进行相应的分析。

1 工程概况及滑坡形态特征

1.1 工程概况

环天府新区快速通道K33+640~K34+040段以全断面挖方的形式通过,中心最大挖深约为24.5 m,边坡最高约28.3 m。其中一、二级边坡采用1:0.75的坡率刷坡,三级边坡采用1:1的坡率刷坡。2018年12月底开始进行土方施工,至2019年2月前完成了二级及部分第一级堑坡施工。当一级堑坡距离路面设计标高还剩3.0~6.0 m未开挖时,发现该

段堑坡后方有局部拉裂缝产生,前缘开始出现变形失稳迹象。至2019年4月形成了大小不等、滑动方向有所差异的3个滑坡组成的滑坡群,后受集中降雨影响,滑坡后缘周界局部范围扩大,形成了缝宽0.8~1.5 m、坎高2~4.5 m的长大裂缝,其中最大的II号滑坡已发展至山脊线附近,内部进一步分化,滑坡主滑方向也有所改变,但总体与府君场向斜走向已接近一致(见图1)。

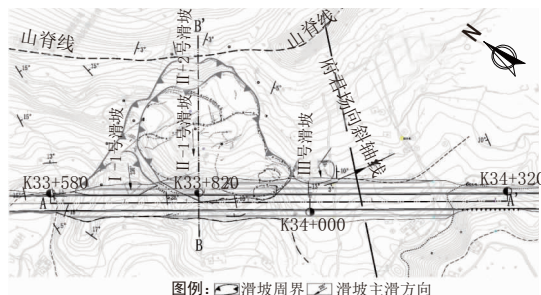


图1 滑坡工程地质平面图

1.2 滑坡形态特征

根据滑坡裂缝分布情况及其圈闭、延伸与发生次序特征,将该滑坡体分成3个:

I号滑坡(K33+620~K33+760左侧):由2条已贯通裂缝控制,该滑坡平面呈圈椅状,纵向长85 m,横向宽125 m,滑坡体厚约7.5 m,主滑方向 230° ,体积约2.7万 m^3 ,属小型中厚层牵引式滑坡^[9]。

II号滑坡(K33+760~K33+970左侧):由多条裂缝确定,其中大部分裂缝已贯通,缝宽0.3~0.6 m,局部已下错0.3~0.5 m不等;结合裂缝变形特征,可将该滑坡划分为II-1主动滑坡区和II-2被动滑坡区。该滑坡平面总体呈簸箕状,纵向长190 m,横向宽210 m,滑坡体厚约14.50 m,主滑方向 235° ,滑坡体体积约40.0万 m^3 ,属大型中厚层牵引式滑坡。

收稿日期:2022-08-31

作者简介:黄星(1968—),男,学士,高级工程师,主要从事岩土勘察工作。

Ⅲ号滑坡(K33+970~K34+040左侧):裂缝已完全贯通,滑坡后缘已形成滑坡陡坎,坎高0.3~0.8 m。该滑坡平面呈猪腰子状,纵向长26 m,横向宽60 m,滑坡体厚约5.5 m,体积约0.9万 m^3 ,主滑方向225°,属小型浅厚层牵引式滑坡。

I号~Ⅲ号滑坡形成的滑坡群总体积约44万 m^3 ,3个滑坡主滑方向虽有所差异,但总体方向接近,与区域向斜走向近似平行,受区域构造控制明显。3个滑坡的滑动面虽未完全贯通,如继续发展,可能会合并形成1个大型滑坡体。本文重点对其中规模最大的Ⅱ号滑坡进行分析。

2 工程地质条件

2.1 地形地貌

滑坡段为丘陵地貌区,林木密集,堑坡顶坡面起伏较大,相对高差超过85 m,自然坡度 $15^\circ \sim 30^\circ$ 、总坡度约 25° ,局部呈陡坎状。

2.2 地层岩性

场区内地层上部为第四系全新统滑坡堆积层(Q_4^{dl})、坡残积土层($Q_4^{\text{pl+dl}}$);下伏岩层为侏罗系上统蓬莱镇组(J_3)砂、泥岩,夹浅灰色薄层状页岩。

滑坡堆积层主要为可塑状黏土,局部软塑、硬塑状;下部为碎块状强风化砂、泥岩。

坡残积土层为可塑状、局部硬塑状黏土。

砂岩为黄绿、紫红色,厚层-巨厚层构造。粉细砂岩为主,钙泥质胶结,饱和抗压强度约9.5 MPa,属较软岩。

泥岩为紫红、红褐色,局部层间发育平行状间隔劈理面,较平直、很光滑,密度为3条/cm。暴露后易风化呈碎屑状、片状,饱和抗压强度约2.5 MPa,为极软岩。

页岩为浅灰色,薄层层状构造为主,裂隙较发育,岩芯破碎,为极软岩。

2.3 地质构造

滑坡段位于府君场向斜核部,向斜轴部与路线K33+840近垂直相交。向斜核部轴向在府君场,长约20 km,走向 $200^\circ \sim 240^\circ$,其西翼与油罐顶构造相连,东翼为仁寿断层所切,保存不全。核部出露蓬莱镇组地层,两翼地层倾角如下:东翼自南而北为 35° 、 15° 、 20° ;西翼自南而北为 21° 、 26° 、 31° 、 42° 。

根据现场测绘,滑坡段岩层倾角较平缓,约为 $5^\circ \sim 10^\circ$,其中近向斜核部位置受构造挤压,岩体十分破碎。Ⅱ号滑坡区域内上部岩芯仅个别钻孔可采取到

呈短柱-长柱状中风化岩芯,大部分钻孔岩芯均较破碎,强风化层厚度大,可达15 m以上,另外受构造作用可见局部泥岩褶曲现象。

2.4 水文地质条件

测区内除丘顶分布灌溉用蓄水池外、无其他地表水分布。

区内地下水以基岩裂隙水为主,主要由大气降水补给。水量受大气降水量控制明显,但总体水量小,勘察过程中仅1个钻孔于堑坡坡脚揭示见地下水,当连续降雨时岩层面可见地下水渗出,持续天晴则较干燥。

3 滑坡基本特征

3.1 滑坡体物质组成

(1)滑体土。上部以黏土为主,红褐、褐黄色,可塑状,夹约5%~10%的角砾、碎块石。钻孔揭露最大厚度7.70 m。下部为强风化砂、泥岩,以紫红色、黄绿色长石砂岩为主,次为紫红、红褐色泥岩。岩芯呈棱角形,一般块径组成为:粒径大于500 mm约5%~10%,500~200 mm约10%~30%,200~20 mm约35%~65%,20~2 mm约15%~25%;余为粉黏粒,土质不均,透水性良好。钻孔揭露厚度一般为2.0~16.5 m。

(2)滑带土。以软塑-可塑状黏土为主,夹砂、泥岩块,另外多个钻孔在相应层位钻进过程中有掉钻现象,或极易钻进,进尺迅速。

(3)滑床。主要为强、中风化泥岩、砂岩,局部夹页岩。

图2为Ⅱ号滑坡地质剖面(B-B'剖面)图。

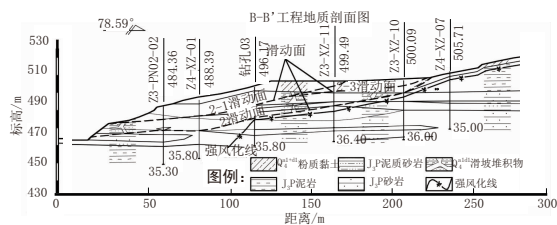


图2 滑坡地质剖面

3.2 滑坡成因分析

(1)构造影响。滑坡段位于府君场向斜核部之西翼仰起端,向斜核部受构造挤压,核部岩体十分破碎,强风化层厚度大,边坡岩体完整性差、等级低;在区域构造运动中,岩层弯滑、弯流作用明显,其中硬岩层难以发生流动,而软岩层相对易于流动,填充了由于层间滑动形成的虚脱空隙,造成场地中厚层砂岩层间泥化现象较发育,局部可见摩擦镜面或韧性

剪切带,因此Ⅰ号、Ⅱ号、Ⅲ号3个滑坡体主滑方向接近,受区域构造作用控制明显。

(2)地层因素。该段边坡上部为粉质黏土,下部为破碎和风化的泥岩、泥质砂岩、页岩,以强风化泥岩为主,为极软岩,稳定性差。土层可见网状裂隙,遇水软化。根据膨胀性试验,粉质黏土自由膨胀率为20.0%~38.0%,平均为29.0%;泥岩自由膨胀率为12.0%~30.0%,平均为19.9%,膨胀力为5.0~35.0 kPa,平均为17.8 kPa,虽达不到膨胀岩级别,但仍有一定膨胀性,为滑坡形成提供了物质基础。

(3)地下水的作用。滑坡区雨量充沛,砂岩为相对透水层,泥岩为相对隔水层,地下水沿砂岩入渗,聚集在泥岩的顶面,导致局部地下水位上升,产生渗透水压力。基岩裂隙水压力增大,并致岩体容重增大,泥岩软化、强度大幅度降低,沿泥岩形成滑动带,这也是形成滑坡的重要原因之一。

(4)沿线开挖边坡坡比过陡。路堑开挖过程中,逐渐揭露堑坡脚前缘嵌固段前缘临空,从而使边坡应力失衡,导致斜坡稳定性逐渐降低以致出现滑坡失稳;施工中缺少监测,没有及时发现堑坡后方的拉裂缝,导致了滑坡规模扩大、处治困难。

4 滑坡稳定性分析

4.1 计算模型及工况

根据滑坡发生的地质背景和形成机制,滑坡可能发生整体滑动或失稳的主导因素是地表水下渗,滑坡充分饱水引起滑面力学参数降低以及地震作用。因此稳定性计算按天然工况、暴雨工况、地震工况这3种工况考虑^[10]。

4.2 计算参数的选取

根据勘察钻孔揭露,滑动面(带)主要为软塑—可塑状黏土夹少量砂、泥岩块。通过试样室内剪切试验(直剪、饱和剪和反复剪),并结合反演滑坡岩土特征及经验参数来综合确定滑坡相关参数。其中主滑动面(B-B'剖面2)反算稳定系数天然工况取1.06,暴雨工况取0.98;B-B'剖面2-1滑动面反算稳定系数天然工况取1.04,暴雨工况取0.98;最终确定滑动面参数如下:天然状态下,滑体重度 $\gamma=20.5$ kN/m³、黏聚力 $c=10.5$ kPa、内摩擦角 $\varphi=7.3^\circ$;饱和状态下,滑体重度 $\gamma=21.5$ kN/m³、黏聚力 $c=10.0$ kPa、内摩擦角 $\varphi=6.8^\circ$ ^[9]。

4.3 滑带土参数反算及推力计算结果

滑坡推力计算采用传递系数法,同时考虑采用

沿次级滑动面清方方案,滑坡剩余下滑推力计算结果见表1。

表1 滑坡剩余下滑推力计算结果

计算剖面	工况	安全系数	剩余下滑力/(kN·m ⁻¹)	备注
B-B'剖面2-1滑动面	天然	1.25	744.883	2-1滑动面
	暴雨	1.2	926.055	
	地震	1.1	948.993	
B-B'剖面2滑动面	天然	1.25	1 778.029	2滑动面
	暴雨	1.2	2 158.312	
	地震	1.1	2 600.674	
B-B'剖面2滑动面	天然	1.25	0	次级滑动面清方
	暴雨	1.2	167.806	
	地震	1.1	359.067	

由表1可知,Ⅱ号滑坡剖面2主滑动面下滑力较大,需要采用抗滑桩等强支护措施;如果采用清方方案,则剩余下滑力可大幅度减少。

4.4 滑坡发展趋势预测

上述计算分析表明,目前阶段该滑坡稳定性差,滑坡中部及右侧部分变形破坏严重,处于欠稳定—不稳定状态。该路堑边坡上部已破坏形成滑坡,下部滑床部分上部仍有较厚的强风化层、岩体破碎,进一步开挖至设计标高时或会在暴雨、地震等作用下加剧边坡变形破坏,并可能进一步向后缘发展,牵引中上部滑坡,形成更大规模的滑动变形,引起滑坡整体滑塌。当对2-1滑动面和2-2滑动面进行清方处置后,则边坡在各工况下稳定性明显提高,剩余下滑力骤减,有利于后期处治。

5 滑坡防治措施及比较

为降低滑坡段继续开挖风险,设计上不再下挖,将纵坡由4.95%调整为5.95%,从而抬升路面标高,在此基础上进行全清方和抗滑桩支挡2个方案比较。

方案一为全清方方案。由于滑坡地形相对平缓,滑坡后缘及周界清晰,因此具备滑坡清方的基本条件。方案如下:(1)正常边坡段按每级高度10 m、坡比1:1.5进行设置,每级边坡之间设置宽5 m平台;(2)第一级边坡下部设置矮挡墙,坡面作菱形网格防护;(3)正常边坡与滑面相交后,沿滑面进行全部清方,坡率为1:4~1:20;(4)滑坡后缘段坡比1:2,滑坡后缘及侧缘边坡坡面设置框架梁锚杆防护;(5)清方后,在坡面上设置鱼骨状截排水沟^[9]。

方案二为部分清方与抗滑桩组合方案。具体如下:(1)第二级平台局部清方,平台宽度10 m,采用

桩板墙进行支挡收坡,桩尺寸为 3 m×4 m,桩间距 6.0 m,桩长 29 m,桩间挡土板宽 6 m,高 1.0 m;(2)第一、二级边坡在维持原设计坡比的前提下,增设全坡面框架注浆锚杆,锚杆长 15 m;(3)桩后采用 1:2.0 坡比再次清方至坡顶,采用挂网植草生态防护。

2 种方案的优缺点对比见表 2。

表 2 清方和抗滑桩支挡方案对比表

方案	优点	缺点
一	1.可有效消除滑坡隐患 2.施工简单、风险较小 3.工期 4~5 个月、工期短 4.增加总投资约 4 100 万元,总费用低	1.清方量大,改变地形地貌、对环境的影响较大 2.增加弃土场面积,征地面积大
二	1.可基本消除滑坡隐患 2.清方量小、不改变地形地貌、对环境的影响较小 3.征地面积小	1.施工受降雨等影响大,工期 7~8 个月,工期长 2.挖孔桩施工有一定风险 3.增加总投资约 6 200 万元,总费用高

经过比较,最终采用方案一,即抬升路面设计高程与清方组合。该方案费用低、施工周期短、可有效消除滑坡隐患。治理后经现场监测,目前该段边坡处于稳定状态。

6 结 语

(1)环天府新区快速通道 K33+640~K34+040 路堑段地层泥岩发育,且受府君场向斜影响,岩体破碎、完整性差、施工中边坡开挖过陡且受降雨影响等,是形成滑坡的主要因素。

(2)滑坡体上部的黏性土层及泥岩有一定膨胀

性,边坡开挖后应及时封闭,并做好截排水工作。

(3)结合土工试验结果和反演结果获得滑动面参数,进行了滑坡稳定性分析及推力计算。计算结果表明,Ⅱ号滑坡主滑动面剩余下滑力较大,需要采用强支护措施,当采用适当抬升纵坡后清方的方案后,则其剩余下滑力大幅减少。适当抬升纵坡后清方的方案费用低、施工周期短、可有效消除滑坡隐患。

参考文献:

[1] 张倬元.王士天.黄润秋.工程地质分析原理[M].北京:北京地质出版社,2008.

[2] 成永刚.公路工程斜坡病害防治理论与实践[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.

[3] 廖小平,朱本珍,王建松.路堑边坡工程理论与实践[M].北京:中国铁道出版社,2011.

[4] 胡泽铭.四川红层地区缓倾角滑坡成因机理研究[D].成都:成都理工大学,2013.

[5] 钟雨奕,苏海,潘皇宋.成仁高速红层分布区开挖边坡变形特征及机制[J].煤田地质与勘探,2017(2):96-100.

[6] 刘雪梅.三峡库区万州区地貌特征及滑坡演化过程研究[D].北京:中国地质大学,2010.

[7] 程强.红层软岩开挖边坡致灾机理及防治技术研究[D].成都:西南交通大学,2008.

[8] 吴玮江.国道 G316 线天水市稍子坡滑坡群成因分析[J].中国地质灾害与防治学报,2003(2):21-25.

[9] 黄星.环天府新区快速通道(G245 至 G213 连接线)K33+600—K34+040 段挖方边坡工程滑坡工程地质勘察报告[R].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2019-12.

[10] JTG/T-3334—2018,公路滑坡防治设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com