

典型昔格达地层滑坡变形机制分析及处治研究

郭如雷, 邓小仕

(四川公路桥梁建设集团有限公司勘察设计公司, 四川 成都 610041)

摘要: 攀西地区昔格达地层在开挖时极易形成滑坡灾害, 威胁工程建设工人的安全。以某高速公路典型昔格达地层的挖方边坡变形、破坏后形成滑坡为例, 分析典型昔格达地层滑坡的变形机制, 梳理昔格达地层发生滑坡的关键影响因素, 总结处治昔格达地层滑坡问题的关键要点, 为昔格达地层挖方边坡的工程建设提供参考。

关键词: 昔格达地层; 挖方边坡; 滑坡

中图分类号: U416

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0166-04

0 引言

昔格达地层是第三系上统、第四系更新统时期形成的半成岩地层, 主要分布在我国西南地区, 尤以攀枝花、西昌地区的昔格达地层最为典型。昔格达地层主要为湖相沉积后形成黏土层与细砂层的互层状地层, 其粘土矿物含量丰富^[2]、水敏性高、水稳性差, 干燥时坚硬, 遇水则迅速崩解。由于昔格达地层的工程建设性质较差, 人造边坡受降雨等因素影响后极易形成滑坡灾害。

1 昔格达地层挖方边坡变形特征分析

昔格达地层本身即为易滑地层, 人工改造昔格达地层边坡的过程中对坡体的扰动还会进一步加剧边坡的失稳趋势。

黄绍槟等^[3]对西攀路昔格达地层滑坡进行统计分析, 以昔格达地层中易滑结构面的分类为依据, 将昔格达地层滑坡分为覆盖层滑坡、昔格达基底滑坡以及昔格达组层面滑坡3类。游宏等^[4]分析了地表水系与区域构造活动对昔格达地层挖方边坡的稳定性影响, 认为受昔格达地层半成岩的岩体性质影响, 挖方边坡的变形及破坏特征更加类似于均匀土质坡体的变形及破坏模式, 但边坡部分的变形特征又与土质滑坡的存在明显区别:

(1) 由于昔格达地层半成岩特殊的岩土性质, 昔

格达地层挖方边坡与土质边坡一样, 受地表水、地下水的影 响极大^[5];

(2) 昔格达地层也存在沉积层面, 但根据对挖方边坡的变形规律总结, 昔格达边坡变形时岩层层面对变形模式影响较小, 地层产状与挖方边坡组合为逆向坡时依然可见大规模切层破坏;

(3) 昔格达地层挖方边坡发生变形、滑移后, 滑坡后缘常见坡体整体下挫, 下挫量甚至可超过10 m, 使滑坡后缘形成近似直立陡坎;

(4) 昔格达地层边坡发生变形、滑移的过程中更近似于变形坡体整体往临空向平推变形, 变形过程中昔格达地层层面仍可被较为完整地保存;

(5) 缓倾角的昔格达地层边坡发生变形、滑移时, 会临空向滑移坡体多沿地层层面产生多个次级剪出滑面, 如图1和图2所示。



图1 昔格达地层滑移时的层间错动面

2 针对典型昔格达地层挖方边坡滑坡的分析与处治

G4216线宁南至攀枝花段高速公路2#的避险车道2#K0+125~2#K0+205段路线位于构造剥蚀中山地带, 该段主要以挖方路基通过, 边坡采用1:0.75~

收稿日期: 2023-11-30

作者简介: 郭如雷(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事道路岩土工程设计与研究工作。

通信作者: 邓小仕(1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事道路岩土工程设计与研究工作。电子信箱: 409018102@qq.com



图2 昔格达地层滑移时的多级层间剪出口

1:1的边坡坡率放坡开挖,右侧最大开挖高度约19.8 m,坡面采用喷播植草防护。

边坡开挖完成后,受工程区降雨影响,距坡口线外约32 m处形成多组弧状拉裂缝,缝宽约5~40 cm,部分后缘坡体下挫,形成直立陡壁,高度为2~10 m。滑坡两侧发育出明显纵向剪切裂缝,挖方边坡坡脚的石英闪长岩与昔格达粉砂岩交界面以上的昔格达粉砂岩坡体出现多级剪出口,与石英闪长岩交界处的昔格达粉砂岩坡体在受挤压后顺交界面剪出,并在坡表形成长大鼓胀裂缝。滑动面以粉砂岩、石英闪长岩交界面以上的粉砂岩潮湿层面为主,新鲜滑面富水、呈软塑状,在滑面上有擦痕发育。具体如图1、图3、图4及图5边坡地质断面所示。



图3 滑坡全貌



图4 滑坡侧视图

2.1 滑坡区工程地质环境

(1)滑坡区地表为薄层第四系残坡积粉质黏土及中粗砂,下伏基岩主要为晋宁期(δ_{62})石英闪长岩

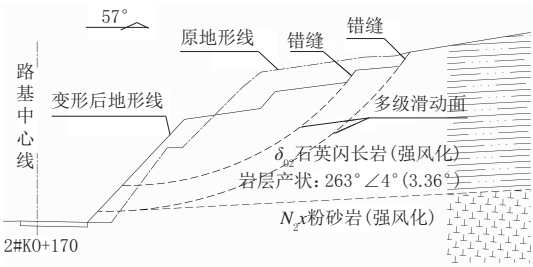


图5 滑坡工程地质断面图

侵入岩与后期第三系上新统(N_{2x})昔格达地层半成岩,两者不整合接触。

(2)滑坡区地震动峰值加速度为0.20g,区域动反应谱的特征周期为0.45 s,相应的地震基本烈度为Ⅷ度,属于强震区。

(3)滑坡区内的昔格达地层主要为成岩性较差的粉砂岩,岩体节理裂隙极为发育,呈全风化状,手捏可碎,取样完成后测得其天然单轴极限抗压强度约0.3 MPa;岩体遇水崩解,无法完成饱和单轴极限抗压试验,为极软岩。粉砂岩的岩层产状为 $241^{\circ}\angle 3\sim 6^{\circ}$,缓倾角顺着倾挖方边坡开挖临空方向。临近坡脚开挖部分可见石英闪长岩在昔格达地层下部出露,石英闪长岩呈强风化至中风化状,岩体有裂隙发育,但整体强度较高,测得岩体的天然单轴极限抗压强度约为2.5~50.0 MPa,与上部昔格达粉砂岩差异较大。根据经验分析,较完整的石英闪长岩渗透系数较小,一般为隔水层^[7]。

(4)滑坡区域为山脊状地形,两侧为自然冲沟或沟槽地形,边坡汇水能力有限。但昔格达地层上部的全风化及强风化层有裂隙发育,地表渗水严重。加之昔格达地层下部的石英闪长岩具有隔水作用,导致滑坡区昔格达地层的地下水较为丰富,边坡土体较为湿润,坡体有点状地下水出露。

(5)滑坡区的高速公路主线及避险车道横穿自然山脊,左右幅均为挖方边坡,滑坡处边坡最大开挖高度约19.8 m,挖方边坡坡口线以外的自然地形平缓。

2.2 滑坡成因分析

(1)滑坡区底层上部为昔格达地层半成岩的粉砂岩,岩体成岩程度低,黏土矿物含量高,易风化,遇水易软化、崩解,水稳性差,是攀西地区典型的易滑地层;下部为强度相对较高的石英闪长岩。地层组合为软-硬组合,下部的硬质岩透水性较差,地下水的径流通道主要在上部昔格达地层粉砂岩内。

(2)避险车道右侧边坡开挖最大高度约19.8 m,避险车道与高速公路主线右幅高差约为3.0 m,边坡整体高度约23.0 m。边坡整体为昔格达地层边坡,为

软质岩高边坡,边坡稳定性较差。

(3)虽然自然地形为山脊地形,地表水、地下水主要向山脊两侧冲沟、洼地径流,但昔格达粉砂岩地层有裂隙发育,且深部中风化层的微节理、微裂隙也十分发育,导致地表水入渗较为顺畅。且底部石英闪长岩形成隔水层造成地下水难以顺畅疏排,在粉砂岩与石英闪长岩的交界面形成富水带,软化粉砂岩,形成潜在滑动面。

(4)工程区的自然坡体为上软下硬的地层分布,存在上部透水、下部隔水的水文特性。公路工程进行开挖、切坡后,使边坡侧向的约束力消失,边坡坡体受到卸荷作用,坡体内部应力重新分配、集中;上部软质半成岩的粉砂岩含水量较高、岩性差,在自身重力作用下最终导致坡面岩土体受压、侧向剪出,后部坡体则拉裂、下挫,最终形成滑坡。

2.3 滑坡稳定性验算

滑坡的稳定性计算按照规范要求分别计算正常工况Ⅰ(天然工况)、非正常工况Ⅱ(暴雨或连续降雨工况)以及非正常工况Ⅲ(地震等荷载作用工况)三种工况下的边坡稳定性,进而进行滑坡处的治支挡计算。

本处滑坡为昔格达地层半成岩的粉砂岩滑坡,粉砂岩岩性差,且节理、裂隙极其发育,导致自身各向性质较为均一。按照以往工程经验,可按照类土质滑坡圆弧形滑动进行分析。

具体计算参数的选取主要根据对滑坡原始稳定状态的反演、室内土工试验、类似工程经验及《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)^[9] 中的要求等综合确定。

首先,选取滑坡的典型原始剖面进行反演,确定滑移面的抗剪强度参数。本处滑坡滑移变形始于滑坡前缘的开挖坡体卸荷,反演坡形选取开挖后前缘剪出口与变形区后缘的拉张裂缝相连的潜在滑面作为计算模型滑面。因在滑坡变形阶段发生了较强降雨,因此反演工况按非正常工况Ⅱ考虑,结合滑坡处于已经变形破坏的阶段,反演稳定系数宜小于1.0。根据岩土试验成果,取滑坡滑体重度 $\gamma=19.5\text{ kN/m}^3$,计算得滑移面在非正常工况Ⅰ下抗剪强度参数为 $C=19.5\text{ kPa}$, $\varphi=18.5^\circ$ 。相比之下,昔格达粉砂岩通过室内试验得到的强度参数为 $C=20.6\text{ kPa}$, $\varphi=18.3^\circ$,与反演结果差异较小。

正常工况Ⅰ及非正常工况Ⅲ下的滑面参数,则参照室内土工试验不同状态下的抗剪强度差值,结

合以往类似工程经验,取 $C=21.5\text{ kPa}$, $\varphi=20.5^\circ$ 。采用反演参数计算不同滑坡断面,得到滑坡在天然工况下稳定系数为1.108,为基本稳定状态,与现场边坡开挖后的情况基本相符,进一步验证了该反演参数具有一定合理性。

根据反演相关岩土参数计算不同工况下的滑坡稳定性,结果如表1所示。

表1 滑坡稳定性计算参数

编号	计算 工况	重度 $\gamma/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	内聚力 c/kPa	内摩 擦角 $\varphi/(^\circ)$	安全 系数 F_{st}	稳定 系数 F_s	稳定性
	I	18.0	21.5	20.5	1.25	1.108	基本 稳定
1-1'	Ⅱ	19.5	19.5	18.5	1.15	0.997	不稳定
	Ⅲ	18.0	21.5	20.5	1.15	0.988	不稳定

根据滑坡稳定性的计算结果统计可知:滑坡整体在天然工况(工况Ⅰ)下处于基本稳定状态,暴雨或连续降雨等非正常工况(工况Ⅱ、Ⅲ)下处于不稳定状态,稳定性计算结果与对现场的宏观分析判断基本一致。

2.4 滑坡治理方案分析

滑坡发生后,为控制坡体不发生进一步变形,确保挖方边坡坡口外的高压铁塔暂时性的安全,根据滑坡区实际情况,决定采用临时反压、截排水等为主的应急工程措施。

(1)在滑坡前缘的高速公路右幅路基坡脚紧急堆土反压,反压体高度不低于滑坡前缘最顶部的次级剪出口标高以上2.0 m,反压体宽度不小于8.0 m,反压体纵向超出滑坡滑动范围不小于5.0 m。

(2)降雨后地表水入渗是发生滑坡的主要诱因。应主要在滑坡后壁以外开挖临时截排水沟、敷设防渗土工布,以截断降雨时坡外地表水流入滑坡区。对于已变形区域,应在坡表敷设隔水毡布,以减小降雨入渗。

(3)在滑坡区及滑坡后壁以外增设临时地表位移监测措施,严密监测滑坡区坡体的进一步变形情况。

实施应急措施后的现场调查及地表位移监测结果反馈出滑坡无进一步变形趋势。在应急措施的基础上,根据滑坡发育特征,将昔格达滑坡类比为近均质土质边坡的变形及滑动以模拟滑动滑面,计算坡体下滑力。选取主滑断面计算暴雨工况下稳定性系数为 $K=1.15$ 时,代表性断面坡脚剩余下滑力为355.562 kN/m,与水平面的夹角为 3.373° ;计算地震

工况下稳定性系数为 $K=1.15$ 时,代表性断面坡脚剩余下滑力为 297.051 kN/m ,与水平面的夹角为 3.373° 。根据不同工况下的滑坡下滑力数值验算支挡结构,考虑到极端工况下滑坡前缘剩余下滑力较大,应在首先对公路右侧滑坡体进行后缘清方减载后,减小剩余下滑力数值;在公路右侧的挖方边坡坡脚增设抗滑桩+桩后反压,限制滑坡侧向变形;增强滑坡工程区截排水措施,减小地表水入渗,提高岩土体力学参数。具体治理措施如下:

(1)考虑到边坡整体坡高有限,在边坡坡脚设置一排桩板墙,桩板墙后按照 $1:2.5$ 的坡率回填透水性材料,反压滑坡前缘;

(2)在滑坡后缘进行削坡减载,减小滑坡下滑力,封堵滑坡后部及后缘张拉裂缝后,在坡表敷设隔水土工布,在土工布上部设置六棱块压坡;

(3)在临时截排水沟的基础上开挖永久性截排水沟。

3 结 语

攀西地区的昔格达地层广泛分布,受该地层岩土特性影响,昔格达地层的滑坡特征具有典型性与规律性,因此对昔格达地层滑坡的防治研究对于在昔格达地层实施工程建设具有重要的参考与指导意义。

(1)昔格达粉砂岩岩体黏土含量高,易风化、水稳性差,是典型的易滑地层。在昔格达高边坡开挖时应注意对边坡坡面的加固,以控制坡体的横向位移,加强坡面及后缘的截排水措施,减小地下水对岩土

体的软化作用。

(2)昔格达地层挖方边坡在半成岩的自身岩土特性及地下水等因素影响下极易产生变形和滑动。考虑昔格达地层的水敏性,对昔格达地层的滑坡处治工程应首先做好对地表水、地下水的疏排工作。根据昔格达地层的性质特征,昔格达地层滑坡可按照均质土层滑坡来模拟计算。对昔格达滑坡的处治措施应加强坡体疏水措施、保持坡体干燥。

(3)昔格达地层边坡在开挖施工过程中应加强信息法施工原理应用,对昔格达地层采用更为严谨、更为谨慎的支挡方案与施工方案,确保昔格达地层边坡开挖施工时的安全。

参考文献:

[1] 刘惠君, 聂德新. 昔格达地层研究综述[J]. 地球科学进展, 2004 (增刊 1):80-82.

[2] 彭盛恩. 昔格达组粘土的工程地质特性研究[J]. 水文地质工程地质, 1986(2):16-18.

[3] 黄邵槟, 吉随旺, 朱学雷, 等. 西攀路昔格达地层滑坡分析[J]. 公路交通科技, 2005(增刊 1):41-44.

[4] 游宏, 姚令侃. 施工期昔格达地层失稳机理分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2007(4):90-94.

[5] 文丽娜, 朱学雷, 白智勇, 等. 西攀高速公路新九地区昔格达地层岩土特性[J]. 公路, 2005(7):145-148.

[6] 徐则民, 刘文连, 黄润秋, 等. 西昌昔格达组物质组成及源区分析[J]. 第四纪研究, 2011, 31(2):378-396.

[7] 成永刚, 王红兵, 王寒罡, 等. 昔格达地层填方路堤滑坡分析与防治[J]. 地质灾害与环境保护, 2018, 29(2):1-6.

[8] 冯兴亮, 范晓燕. 蓉遵高速公路某滑坡机理分析及抢险、治理方案研究[J]. 中外公路, 2021, 41(增刊 2):68-73.

[9] GB 50330—2013, 建筑边坡工程技术规范[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