

四川某一级公路滑坡成因分析及处治研究

伍洋洋

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:山区公路建设过程中易发生边坡滑坡地质灾害,严重影响公路的推进进度,并增加项目总投资,因此开展研究公路滑坡成因及处治方案至关重要。结合四川某一级公路路堑开挖过程中出现的边坡整体失稳,从地形地貌、气象水文、地层岩性、地质构造等方面对滑坡成因进行分析,采用传递系数法对天然、暴雨及地震三种工况下滑坡体剩余下滑力计算,定量评价滑坡稳定性。根据分析、计算结果,综合考虑处治费用、施工周期、施工风险、运营风险和环境影响等因素,最终采用抬升路面设计高程、清方、坡面支挡防护与防排水等工程措施组合的综合处治方案。目前,该滑坡体处治基本完成,处治后边坡稳定,为今后类似工程提供借鉴。

关键词:一级公路;滑坡;传递系数法;稳定性评价;综合处治

中图分类号: U418.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)12-0047-04

0 引言

交通在促进国民经济发展中发挥举足轻重的作用。随着国家西部大开发、交通强国、乡村振兴等一系列战略的实施,山区公路的建设成为我国公共基础设施建设的重要组成部分^[1-2]。边坡滑坡是山区公路建设中常见的地质灾害,并对公路建设进度和投资造成较大的负面影响。因此,开展山区公路滑坡成因及处治方案相关研究显得非常重要。

国家相关规范^[3-4]对公路滑坡处理原则、滑坡剩余下滑力、处治措施等均有规定。相关学者和从业人员研究了滑坡的成因机理,并结合工程实践总结滑坡治理经验。涂美珍等^[5]对目前公路边坡稳定性分析常用方法的基本原理、特点及其适用范围进行了归纳分析,阐述了预防边坡失稳破坏的主要技术措施。马东北^[6]从理论上分析了公路滑坡机理,并总结排水与截水措施、刷方减载措施、挡土墙与抗滑桩、坡面绿化与加固防护等公路滑坡的处治对策及适用范围。王东等^[7]针对G4216仁沐新高速公路项目在新市互通区出现的巨型滑坡,采用清方减载实现整体稳定,前缘设桩加固次级滑面,后缘锚杆(索)加固清方形成的高边坡,小截面抗滑桩支挡顶部中小型滑坡,结合坡面截排水措施共同防护的方案。刘凯等^[8]分析云南某高速公路滑坡,从地形、地貌、地质、水和施工等多方面因素分析滑坡成因及稳定性,并

针对该滑坡的特征提出了多个治理比选方案。在综合考虑节约造价和保证施工进度的前提下,采用从两个相互垂直方向进行堆土反压方案,同时做好截、排水措施,较好地完成了滑坡处治的目标。

综上,目前关于滑坡成因和处治措施理论成熟、工程经验丰富,然而公路边坡滑坡成因复杂,且工程实践中所面临的地质条件、制约因素等不尽相同,故不同项目的处治方案需因地制宜,经充分论证后形成。本文正是基于前人研究成果和滑坡处治经验,结合本工程自身特点,形成合理的处治方案,为今后类似工程提供借鉴。

1 工程概况

四川某一级公路K33+600~K34+040以全断面挖方路堑形式通过,左侧边坡最高约28.9 m,设计为三级边坡并采用框架锚杆进行防护。施工过程中遇不可预见地质灾害,在开挖至第一级堑坡时,堑坡后方有局部拉裂缝产生。堑坡前缘K33+700处出现小型土质滑坡,堑坡前缘K33+900处出现小型岩质崩塌,K33+700~K33+960段路堑坡顶及其坡表出现近平行于道路中线的间断贯通的张拉裂缝,新建截水沟损坏,出现变形失稳迹象,如图1所示。为减少裂缝、阻止滑坡体进一步发展,防止出现安全事故,提出在现状裂缝外侧3~5 m设置临时排水沟,采用黏土填充裂缝,整平滑坡体表面积水池、洼地等,实时监控贯穿裂缝,滑坡现场封闭禁止无关人员出入等临时处理措施。

收稿日期: 2023-02-08

作者简介: 伍洋洋(1991—),男,硕士,工程师,从事道路交通相关工作。



图1 滑坡全貌

2 场地工程地质条件

2.1 地形地貌

滑坡区处于丘陵地貌区,沟谷与丘坡间隔分布,地面现状标高在435~520 m(国家高程系统),相对高差达85 m,地面横坡较陡,为 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。地表植被较发育,分布有经济作物、松树等。

2.2 气象水文

滑坡区属于典型的亚热带季风湿润气候,气候温和,雨量充沛。年均气温约 17.4°C ,无冰冻季节。年平均降雨量约1 010 mm,有明显的雨季和枯水期。雨季分布在每年5—9月,且以7—8月雨量最多。枯水期一般为12月—次年2月,降雨量相对较少。区域除顶部分布农用灌溉用蓄水池外,未发现其他地表水。

2.3 地层岩性

场地内经地调及钻探揭露,地层土层依次为第四系全新统滑坡堆积层(Qdel4)与坡残积土层(Qel+dl4)等,下伏岩层依次为侏罗系上统蓬莱镇组(J3p)之砂、泥岩,夹浅灰色薄层状页岩。本次滑坡体主要发生在堆积土层中。

2.4 地质构造

滑坡区处于府君场向斜核部的西翼仰起端,工程区内岩层整体较平缓,倾角一般为 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。受岩层形成过程和构造作用,岩层出现不同程度的褶曲现象。由于核部地层为互层状产出的脆性砂岩和韧性岩层泥岩,受纵弯褶皱作用压扁,K33+950附近脆性岩层砂岩有挤入泥岩的现象。现场主要表现为砂岩构造透镜体分布于泥岩中。

3 滑坡成因分析

根据现场对开挖堑坡进行调查,堑坡坡顶所覆土层较厚,层厚达7.7 m,下伏基岩岩性较复杂,以砂岩、泥岩及页岩为主,岩层强风化层厚度大,岩芯呈碎块状。路堑开挖过程中,边坡临空面不断加大,土中应力释放超出土体抗剪切强度,且施工期间恰逢

雨季,进而导致边坡稳定性逐渐降低至欠稳定状态,进而出现滑坡失稳。此外,随着滑坡变形破坏,坡顶出现贯穿裂缝,丘顶现状调蓄蓄水池破坏拉裂,池水不断下渗,滑坡体土体力学指标下降,滑坡推力增加,加剧了滑坡体稳定性降低。随着时间的推移,泥化膜逐渐贯通形成软弱面(带),发生滑移形成工程滑坡。

4 滑坡稳定性分析

4.1 定性分析

该滑坡平面呈簸箕状,其纵向长约245 m,横向宽最大约210 m,主滑方向 258.59° 。滑坡体积约为40万 m^3 ,滑坡体平均厚约14.5 m,属大型中厚层牵引式滑坡。滑体以强风化砂、泥岩为主,次为表层2.5~7.7 m厚堆积土,局部夹含5%~10%碎块石。滑坡体边界清晰,其两侧均以天然冲沟为界,前缘为在建公路挖方堑坡面,后缘已形成贯穿裂缝,且出现明显错台。公路路堑为三级边坡,每级坡高10 m,坡比为1:1。堑坡顶自然坡度 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$,坡面起伏较大,局部呈陡坎状,且坡面植物较茂密,分布大量枇杷树等小型乔木。从现场已开挖堑坡面调查和钻探样芯分析来看,该滑坡具多个滑面,后续治理中应重点分析最不利滑动面。目前,该滑坡整体已处于欠稳定状态,持续的强降雨及临时截排水措施不足,将是使滑坡体继续沿该滑坡不稳定滑坡滑面(带)发生滑移。

4.2 定量分析

根据上述滑坡体的地形地貌和成因分析,滑坡可能发生整体滑动或失稳的主要诱因是地表水下渗,包括雨水和蓄水池水,滑坡体充分饱水后,滑面力学参数降低,滑坡体自重力增大。根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2015),稳定性计算主要分以下3种工况:

第一种工况(工况Ⅰ),正常工况:边坡处于天然状态下,只考虑滑坡体自重力产生的下滑分力。

第二种工况(工况Ⅱ),边坡处于暴雨或者连续降雨状态下的工况,考虑最不利的情况考虑,按完全饱和水计算。

第三种工况(工况Ⅲ),边坡处于地震等荷载作用状态下的工可,结合本工程的具体位置,按七度设防区标准的地震加速度计算剩余滑坡推力。

本次勘察对滑坡共布设7条剖面,钻孔856.6 m/25个(利用详勘阶段85.00 m/4孔),如图2所示。钻孔

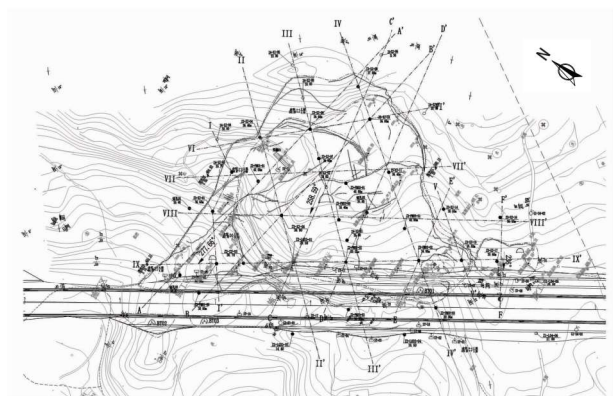


图 2 钻孔布置平面图

揭露结果显示,滑动面(带)主要为软塑-可塑状黏土,夹少量砂岩和泥岩块。

通过钻芯采取土试样做剪切试验(直剪、饱和剪及反复剪),定性分析评价,通过反演滑坡岩土特征及经验参数综合确定滑坡相关参数。根据滑坡目前稳定状态、滑坡体中前后缘变形破坏情况,滑坡整体处于欠稳定性状态,滑坡右侧局部处于基本稳定状态。因此,综合考虑 C-C'剖面 2-1 滑动面反算稳定系数天然工况取 1.07,暴雨工况取 0.99;D-D'剖面 2 滑动面反算稳定系数天然工况取 1.06,暴雨工况取 0.98;D-D'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;E-E'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 0.95。综合确定的滑坡相关参数见表 1。

表 1 滑动面(带)参数反算及滑坡稳定性计算结果汇总

剖面	设计工况	稳定系数	滑体参数 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	滑带土抗剪强度参数	
				c/kPa	$\varphi/(\text{°})$
C-C' 剖面 2-1 滑动面(Ⅱ号滑坡)	天然工况	1.07	20.50	10.5	7.3
	暴雨工况	0.99	21.50	10.0	6.8
C-C' 剖面 2 滑动面(Ⅱ号滑坡)	暴雨工况	1.2	21.50	10.0	6.8
	暴雨工况	1.2		3.2	9.5
D-D' 剖面 2-1 滑动面(Ⅱ号滑坡)	天然工况	1.04	20.50	11.0	7.5
	暴雨工况	0.98	21.50	10.4	7.0
D-D' 剖面 2 滑动面(Ⅱ号滑坡)	天然工况	1.063	20.50	10.5	7.3
	暴雨工况	0.984	21.50	10.0	6.8
	暴雨工况	1.150		3.2	9.5
E-E' 剖面 2-1 滑动面(Ⅱ号滑坡)	天然工况	1.04	20.50	11.4	8.5
	暴雨工况	0.95	21.50	10.5	7.97

本工程滑坡地质条件复杂, 稳定安全系数按规范取相对较大值。滑坡推力计算采用规范的传递系数法, 通过理正岩土边坡稳定性分析系统(6.0 版)进行分析和计算, 推力计算结果见表 2。

4.3 稳定性评价

该段路线以路堑形式在滑坡体前缘通过,根据定性分析和定量分析结论,现阶段边坡稳定系数小,出现了失稳迹象,安全储备严重不足。受暴雨、地震等不利因素影响,将可能进一步对滑坡形成扰动,引发滑坡整体滑塌,造成严重后果,急需对该滑坡体进行处治。

5 处治方案设计

5.1 总体方案

为减少继续向下开挖带来的不利影响,滑坡处治中结合路面抬升进行综合处治,经专家论证,将该段进行局部限速,设计车速由 80 km/h 降低至 60 km/h,纵坡由 4.95%调整为 5.95%,使滑坡区段

减少开挖深度约 6 m。在抬升路面设计高程基础上,根据滑坡体稳定性分析结果,对“清方方案”和“方形抗滑桩”两个方案进行同深度比选论证。该滑坡段地形较为平缓,滑坡后缘及周界清晰,具备滑坡清方处治的基本条件。综合考虑处治费用、施工周期、施工风险、运营风险及环境影响等因素,该滑坡处治总体方案采用清方方案,清方坡面以最底层滑动面为基础,上部进行全部清方减载,下部部分清方,坡比按 1:1~1:1.25 设置。同时,清方后,坡面采用框架梁锚杆防护,并设置网格状截排水沟。滑坡处治平面图如图 3 所示。

5.2 具体措施

一级、二级边坡坡比采用 1:1~1:1.25 清方,边坡分级高 10 m,平台宽 5 m,第一级坡面采用 4 m×3 m C25 锚杆框架梁防护,锚杆长 9 m,锚杆框架梁第一道横梁设置于坡脚。滑坡后缘段坡比按 1:2 设置,采用拱形护坡;清方侧面 120 m 范围采用框架锚杆防护。

表2 滑坡剩余下滑推力计算结果

计算剖面	荷载组合	安全系数	剩余下滑力 / (kN·m ⁻¹)	备注
C-C'剖面 2-1 滑动面 (Ⅱ号滑坡)	天然	1.25	625.791	2-1 滑动面
	天然	1.20	445.483	
	暴雨	1.20	780.127	
	暴雨	1.15	590.713	
	地震	1.10	872.005	
	地震	1.05	655.918	
D-D'剖面 2-1 滑动面 (Ⅱ号滑坡)	天然	1.25	744.883	2-1 滑动面
	天然	1.20	543.787	
	暴雨	1.20	926.055	
	暴雨	1.15	708.925	
	地震	1.10	948.993	
	地震	1.05	711.196	
D-D'剖面 2 滑动面 (Ⅱ号滑坡)	天然	1.25	744.883	2 滑动面
	天然	1.20	543.787	
	暴雨	1.20	926.055	
	暴雨	1.15	708.925	
	地震	1.10	948.993	
	地震	1.05	711.196	
D-D'剖面 2 滑动面(Ⅱ 号滑坡)(次 级滑动面清 方分析)	天然	1.25	744.883	2 滑动面(次 级滑动面清 方分析)
	天然	1.20	543.787	
	暴雨	1.20	926.055	
	暴雨	1.15	708.925	
	地震	1.10	948.993	
	地震	1.05	711.196	
E-E'剖面 2-1 滑动面 (Ⅱ号滑坡)	天然	1.25	744.883	2-1 滑动面
	天然	1.20	543.787	
	暴雨	1.20	926.055	
	暴雨	1.15	708.925	
	地震	1.10	948.993	
	地震	1.05	711.196	

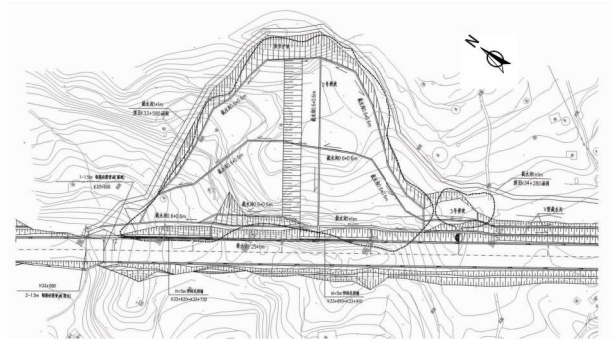


图3 滑坡处治平面图

滑坡区域外围设置 1 m × 1 m C20 梯形截水沟, 滑坡区域内部设置纵横交错的 0.6 m × 0.6 m C20 梯

形截水沟,边坡平台设置 1 道 V 形截水沟。对清方卸载后形成的侧坡,预留一定数量直径 1 m 的仰斜式排水孔工程,根据清方后坡面情况酌情使用(坡面出现渗水点或潮湿区)。

为确保边坡长期安全稳定运营,及时动态掌握堆积体整体运行安全状态,处治措施中考虑了施工过程和运营阶段的监测方案,主要包括地表位移监测、深部变形监测和降雨量监测。

6 结 语

通过对四川某一级公路路堑边坡工程地质条件、滑坡成因分析、稳定性评价和处治方案设计的研究,主要得出以下结论,为今后类似工程提供借鉴。

(1)对于滑坡类路基病害,应遵循预防为主、防治结合的原则。总体设计时,应尽量避免长距离高填深挖段。当条件受限不可避免时,需高度重视勘察测量等基础资料的准确性和完整性,为边坡稳定设计与验算提供保障。

(2)高度重视对边坡区域内水的处理。水是诱导滑坡产生的主要因素之一,一方面,雨水会增加土体重度,增大下滑力;另一方面,随着雨水下渗,土体之间的黏聚力和摩擦角均会减小,特别是遇软弱结构面时,将导致抗滑力大大减少。从对该段滑坡定性稳定性结果可以看出,暴雨工况剩余下滑力是天然工况剩余下滑力的 1.6~1.8 倍。通过合理布设排截水沟、急流槽等,确保雨水及时排出边坡区域,避免因雨水下渗及冲刷边坡而产生的边坡失稳。

(3)滑坡处治措施通常为综合处治方案。对于已发生的滑坡体,需探明滑坡周界、滑动面、主滑方向等,定性定量分析滑坡成因,结合项目特点,遵循“经济合理、安全可靠”的原则,经充分论证后,选用坡脚反压、坡体清方减载、支挡加固、防排截水等措施进行组合,形成综合处治方案。

(4)滑坡处治设计和施工应遵循动态控制原则,设计中需考虑施工过程和运营阶段的监测,一旦出现紧急异常情况,以便及时采取有效预防方案和治理加固方案,最大限度降低堆积体失稳对公路安全运营产生的人员和财产损失。

参考文献:

[1] 李彦斌,崔炳谋,孔艳娜. 加快建设综合运输体系促进西部公路交通发展[J].交通标准化,2008,178(6):122-126.
[2] 于江霞. 中国西部公路网规模研究[D].西安:长安大学,2006.
[3] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].
[4] JTG C20—2011,公路工程地质勘察规范[S].

(下转第 69 页)

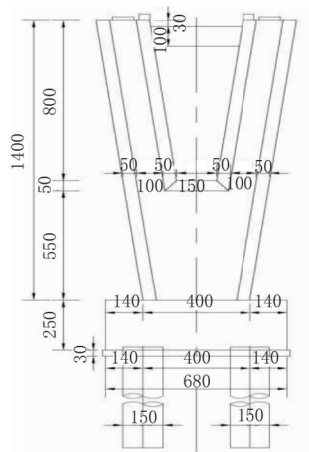


图 14 桥主墩一般构造图(单位:cm)

全,增强了桥梁整体的景观效果。

5.4 结构分析

桥梁与其他建筑形式相比,功能明确,结构有比较清晰的逻辑。桥梁在方案设计阶段适合整体上采用参数化的方法建模^[9]。本桥主桥上部结构分析采用 MIDAS 程序进行计算,模型采用梁单元。计算中按有关规范规定对各种荷载进行不同的荷载组合,对结构的强度、刚度、稳定性做了验算。全桥结构有限元模型如图 15 所示。

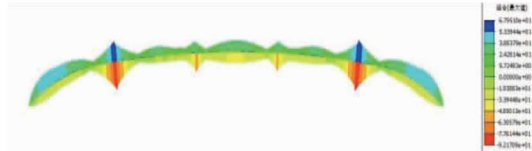


图 15 内侧人行桥钢梁应力图(单位:MPa)

外侧人行桥活载挠度为 53 mm,小于 $75\,000/500=150\text{ mm}$;内侧人行桥活载挠度为 56 mm,小于 $125\,000/500=250\text{ mm}$,满足规范要求,如图 16 和图 17 所示。

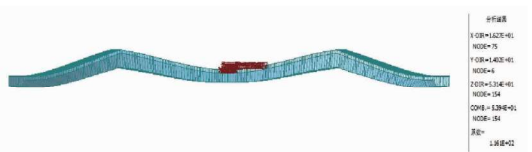


图 16 外侧人行桥活载最大挠度(单位:mm)



图 17 内侧人行桥活载最大挠度(单位:mm)

6 结 语

随着我国城市建设的发展,人们对桥梁美学重视程度的加强,将桥梁作为承载城市地域文化的载体,让桥梁留住历史、彰显城市文化、宣扬时代精神,并使之成为当今城市文化中新的增长点。是城市规划和建设者的重要诉求,这一诉求为桥梁美学设计提供了新的思路 and 方向^[10]。本桥将桥梁功能与建筑美学很好的结合在一起,在满足控制因素结合环境条件的前提下,做到了功能优先、结构合理,造型美观,可对类似工程有借鉴作用。

参考文献:

[1] 徐利平.城市桥梁美学创作[M].上海:同济大学出版社,2017.
[2] 唐寰澄.桥梁美的哲学[M].北京:中国铁道出版社,2011.
[3] 清华大学.世界建筑[M].北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2001.
[4] 陈海云.桥梁景观的艺术设计[J].价值工程.2017,36(36):174-177.
[5] 王毅娟,郭燕萍.现代桥梁美学与景观设计研究[J].北京建筑工程学院学报,2004(3):47-50.
[6] 郭靖,唐志刚.跨河桥梁夜景照明设计浅析[J].2012,23(3):86-91.
[7] 孙志彬.天津海河桥梁照明设计及工程的研究和探讨[D].北京:中央美术学院,2013.
[8] 韩大章,戴捷,李正,等.南京青奥标志——“南京眼”青奥公园步行桥设计[C].江苏省公路学会 2014 年学术年会论文集.南京:江苏省公路学会,2014:122-126.
[9] 王鹏,肖汝诚.桥梁结构的参数化建模[C]//第二届全国桥梁学术会议论文集(上册).武汉:中国土木工程学会桥梁及结构工程分会,2012:437-444.
[10] 宋福春,王厚宇,马梓乔.基于地域文化的景观桥梁美学设计[J].公路,2019(3):182-186.

(上接第 50 页)

[5] 涂美珍,张正雄,任超.公路边坡稳定性分析与防护方法综述[J].西部交通科技,2015(7):52-55
[6] 马东北.公路滑坡机理分析及处治对策 [J]. 交通世界,2020(24): 35-36.
[7] 王东,张婧,等. G4216 仁沐新高速公路新市互通区巨型滑坡处治方案[J]. 西华大学学报(自然科学版),2019,1(38):40-45.
[8] 刘凯,李群.云南某高速公路路堤滑坡形成机理与处治措施研究[J].路基工程.2019(2):139-143.