

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250623

山区高速公路深路堑滑坡处治方案探讨

万靠靠

(华设计集团股份有限公司,江苏 南京 210014)

摘要:以云南某山区高速公路服务区B匝道“BK0+779.295”~“BK1+019.928”段右侧深路堑为例,根据路基滑坡变形破坏特征,综合考虑安全、经济、用地等因素,对滑坡处提出2种边坡设计方案,分别为“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑桩”和“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑挡墙”;将2种方案进行比选,提出以“十字锚+后缘抗滑桩+前缘抗滑桩”为主的深路堑防护整治方案,并对施工后的情况进行变形监测。结果显示:以“十字锚+后缘抗滑桩+前缘抗滑桩”为主的深路堑防护整治方案,可有效解决边坡滑坡变形问题,为类似的深路堑边坡失稳处置提供一定参考。

关键词:边坡工程;深路堑;抗滑桩;滑坡

中图分类号: U416;TU997 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2026)04-0181-05

Discussion on Treatment Scheme of Deep Road Cut Landslides of Mountainous Expressways

WAN Kaokao

(China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: Taking the deep road cut on the right side of the BK0+779.295 ~ BK1+019.928 section of the Ramp B in a mountainous expressway of Yunnan Province as an example, based on the deformation and damage characteristics of roadbed landslides, and considering factors such as safety, economy and land use, two slope design schemes are proposed for the landslide site, which are "cross anchor + rear edge anti-slide pile + slope foot anti-slide pile" and "cross anchor + rear edge anti-slide pile + slope foot anti-slide retaining wall". After the two schemes are compared, it is proposed that the "cross anchor + rear edge anti-slide pile + slope foot anti-slide pile" is the main scheme for the protection and improvement of deep road cuts, and the deformation after construction is monitored. The results show that the "cross anchor + rear edge anti-slide pile + slope foot anti-slide pile" as the main scheme for the protection and improvement of deep road cuts can effectively solve the problems of slope landslide and deformation, providing a certain reference for the treatment of similar deep road cut slope instability.

Keywords: slope engineering; deep road cut; anti-slide pile; landslide

0 引言

近年来,山区公路建设工程日益增多,由此产生大量的边坡。在不利的地形地貌、地层岩性及持续降雨等因素的作用下,边坡极易形成滑坡,造成安全事故。其中,高速公路深挖路堑造成的影响尤其明显。由于路堑边坡开挖打破了自然状态下边坡的内部平衡,在自然降雨及人工扰动等综合因素的影响下,边坡极易产生失稳破坏,危及行车安全,并导致严重的经济损失^[1-4]。

1 工程概况

服务区B匝道“BK0+779.295”~“BK1+019.928”

段右侧深路堑原设计为3级边坡,第一级、第二级边坡采用锚杆框格梁护坡,第三级边坡采用现浇拱形骨架防护。该工程平面图如图1所示。

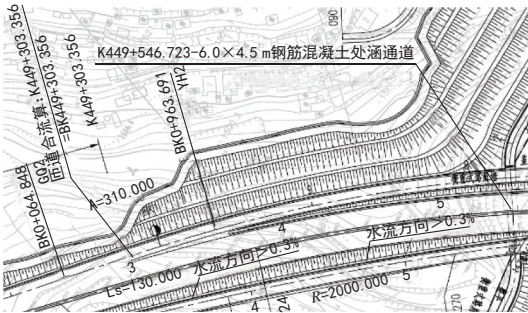


图1 工程平面图

2 工程地质条件

2.1 地形地貌

滑坡体位于云南省某山区高速服务区B匝道

收稿日期: 2025-06-17
作者简介: 万靠靠(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事道路设计工作。

“BK0+779.295”~“BK1+019.928”段右侧,高程为1 473~1 508 m,相对高差为35 m,属于构造侵蚀剥蚀低中山地貌,路段区域的斜坡地势陡峻,地形起伏较大,地表多为旱地,边坡上方为村庄。

2.2 地层岩性

根据地质调绘和钻探的结果,该深挖路堑段分布的地层岩性主要为第四系残坡积层(Q4dl+el)粉质黏土、侏罗系中统花开左组上段(J2h2)粉砂质泥岩及灰岩。

根据地勘资料及相关工程经验,设计团队推荐场区岩土体的物理力学指标如表1所示。

表1 推荐岩土体物理力学指标参数表				
岩土名称	试验值/经验值			
	工况	重度 γ / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 c / kPa	内摩擦角 φ /($^{\circ}$)
粉质黏土	正常工况	18	30	20
	暴雨工况	18.5	27	17.5
全风化粉砂质泥岩	正常工况	19	28	23
	暴雨工况	19.5	25	19.5
滑动面	暴雨工况	—	25	14

2.3 水文地质条件

滑坡路段附近未见地表水分布。该滑坡位于村庄下坡侧,村庄的生活用水长期向边坡流淌、渗漏。雨季时节,大气降水沿着山坡向沟谷低洼处汇集。

滑坡体的地层岩性主要为第四系坡残积层(Q4dl+el)粉质黏土、侏罗系中统花开左组上段(J2h2)粉砂质泥岩,地下水类型主要为孔隙水、基岩裂隙水和岩溶水。

2.4 地震

根据地勘资料,工程区地震动峰值加速度值为0.3g,地震动反应谱特征周期为0.45 s,对应的地震基本烈度为Ⅷ度。

3 设计方案

3.1 原设计

服务区B匝道“BK0+779.295”~“BK1+019.928”段右侧深路堑原设计为3级边坡,第一级边坡的坡率为1:1,采用锚杆框格梁加固,锚杆长8 m;第二级边坡的坡率为1:1.25,采用锚杆框格梁加固,锚杆长8 m;第三级边坡的坡率为1:1.5,采用现浇拱形骨架防护。

3.2 动态设计

第二级边坡的防护形式由锚杆框格梁变更为锚索格梁,锚索长30 m;第三级边坡的防护形式由现浇

拱形骨架变更为锚索格梁,锚索长20 m;在第一级边坡的坡脚处增设路堑矮墙,墙高4 m。

2023年7月31日—8月5日,连续降雨导致坡体出现松动。8月5日,边坡出现轻微裂纹。8月8日,第三级边坡最大位移向右侧位移了8 cm,路堑墙对应的沉降缝发生开裂,最大裂缝宽度为4 cm,并且移位6 cm。

经现场查看,村庄内部出现裂痕,村户地坪出现裂纹,裂缝宽度最大为7 cm,影响了3户民房安全,共涉及9口人,民房与边坡顶面位置的距离为20 m。

为保证滑坡后缘不会威胁到村庄民房的安全,目前施工单位采用如下应急措施:一是在坡脚进行反压回填,反压高度至第一级边坡第二格框格梁顶,反压宽度根据现场实际情况确定;二是用水泥浆灌注边坡坡面及后缘裂缝,灌注后用薄膜覆盖;三是在每一级边坡上增加疏干孔,以排出边坡内的水,同时疏通每一级边坡的排水系统;四是滑坡后缘顶部地形正好位于村庄低洼汇水地带,流经村庄的降雨多汇集于此,并从边坡面排走;因此,设置排水设施,引导滑坡后缘低洼处的汇水从滑坡范围外的两端排走;五是为保障村民的人身安全,滑坡后缘3户村民暂时搬离;同时,加强对边坡变形位移的监测,并根据监测数据对滑坡及村民进行安全预警。

边坡滑坡全貌如图2所示。

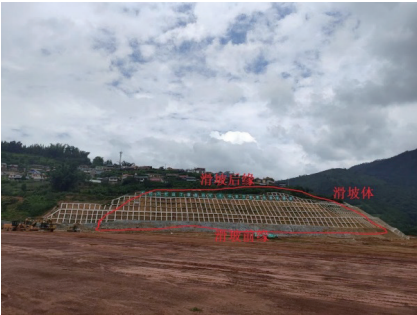


图2 边坡滑坡全貌

4 滑坡破坏特征及稳定性分析

4.1 滑坡边界、规模和破坏特征

该滑坡后缘标高为1 508 m,前缘标高为1 473 m。根据施工单位提供的信息,滑坡出现时,坡脚挡墙沉降缝出现明显变形,在紧急采取埋土回压措施后,滑动明显变缓甚至趋于暂停。由此判断滑坡体前缘位于坡脚,滑动带下伏岩性为粉砂质泥岩及灰岩,滑体物质为黏性土及全风化粉砂质泥岩,成分较杂,横向宽度约为200 m、纵向长度约为70 m,滑体平均厚度

约为 8.5 m，面积约为 14 000 m²，坡体体积为 119 000 m³。该滑坡属中型中层滑坡。滑坡变形破坏现场情况如图 3 至图 5 所示。



图 3 滑坡后缘土体沉降



图 4 滑坡边界裂缝

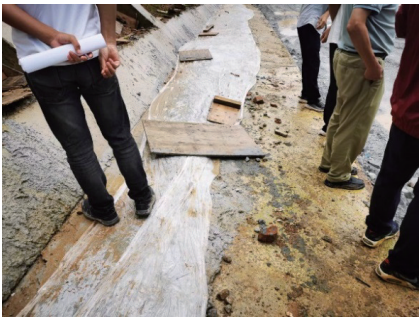


图 5 滑坡前缘挡墙开裂

4.2 滑坡原因分析

4.2.1 地形地貌

滑坡区为山体单缓坡地带，且后缘局部位于村庄低洼聚水地带，雨季大量的地表水通过斜坡及村庄内的排水沟渠汇至滑坡区内，进而渗入滑体，降低滑体的物理力学参数，并软化滑动带，使滑动带的强度指标降低，为滑坡的滑动变形提供了基础。

4.2.2 地层岩性及构造作用

滑坡区主要为粉质黏土及全风化粉砂质泥岩，土体松散，均匀性差，渗水性强。土层厚度较大，遇水易软化，导致抗剪强度降低。由于山体富含水分且易于渗水，在持续强降雨的不利因素影响下，大量地表水下渗，降低了土体强度，进而减小土体间的摩擦力，为滑坡的产生提供了物质基础^[5-6]。

4.2.3 地表水

本段边坡正好位于村庄低洼汇水地带，流经村庄的降雨多汇集于此，并从边坡面排走。村庄地表汇水对滑坡产生较大的不利影响。

4.2.4 强降雨作用

本年内区域降雨较为频繁，且多发生暴雨，降雨导致大量的地表水下渗坡体，降低岩土体的物理力学参数，是滑坡产生的主要原因。

4.2.5 人工因素

边坡坡脚开挖后出现临空面。

综上所述，在不利的地形地貌、地层岩性及结构、地表汇水、持续强降雨及人工扰动等因素的综合作用下，坡体产生滑动变形。

4.3 滑坡稳定性分析计算

根据《公路滑坡防治设计规范》(JTG/T 3334—2018)和《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)的要求，滑坡稳定性分析分为 3 种工况：工况 1 为边坡处于天然状态下；工况 2 为边坡处于暴雨或连续降雨情况下；工况 3 为边坡处于地震作用影响下。

根据地勘资料，本项目位于高烈度区，同时考虑到本项目为高速公路且边坡上方有村庄，安全系数取值如表 2 所示。

表 2 安全系数取值

工况	安全系数
自然工况 1	1.25
暴雨工况 2	1.15
地震工况 3	1.05

5 滑坡处置方案

根据路基滑坡变形破坏特征，综合考虑安全、经济、用地等因素，设计团队对“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑桩”和“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑挡墙”2 种方案进行比选。

5.1 方案一

方案一为“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑桩”，如图 6 所示。具体内容包括以下 5 点。

(1)在堑顶后缘设置 1 排圆形抗滑桩，桩径为 2.2 m，桩间距为 5 m，桩长为 20 m，共设 22 根抗滑桩。抗滑桩低于原地面约 1 m，回填根植土后还原为菜地。

(2)在第一级坡脚现状路堑矮墙后设置 1 排圆形抗滑桩，桩径为 2 m，桩间距为 5 m，桩长为 10 m，共设 33 根抗滑桩。桩顶设置冠梁连接。

(3)在坡面增设十字锚。为尽量减小坡脚下

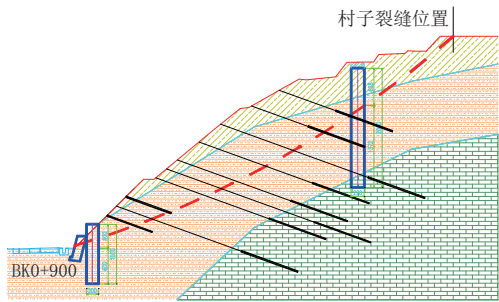


图6 “十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑桩”方案

力,设计在第一级边坡内增设1排十字锚,在第二级边坡第一、第三框格梁处各增设1排十字锚,共设置3排十字锚。其中,第一排十字锚锚索长32 m,第二、第三排十字锚锚索长36 m。十字锚穿越全风化粉砂质泥岩层,直至锚固段进入中风化泥灰岩层内。

(4)对原坡面开裂的框格梁进行修补完善,将破损严重的框格梁清除后,重新设置新的框格梁。

(5)完善边坡截排水设施。结合临时应急措施,设计对坡顶村庄排水系统进行梳理,引导村庄内的汇水从边坡两侧排出;对原边坡截水沟、边坡各级平台排水沟及急流槽等排水设施进行修复完善。

5.2 方案二

如图7所示,方案二为“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑挡墙”。具体内容包括以下5点。

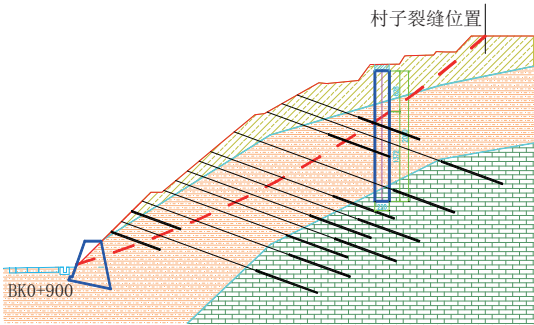


图7 “十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑挡墙”方案

- (1)在堑顶后缘设置1排圆形抗滑桩,桩径为2.2 m,桩间距为5 m,桩长为20 m,共设22根抗滑桩。抗滑桩低于原地面约1 m,回填根植土后还原为菜地。
- (2)在前缘坡脚处设置抗滑挡墙,并在第一级边坡坡脚路堑挡墙拆除后,重新设置抗滑矮墙。抗滑挡墙墙高为6 m,埋深为2 m,顶宽为2.5 m,采用C20片石混凝土浇筑。
- (3)在坡面增设十字锚。为尽量减小坡脚下滑力,设计在第一级边坡内增设2排十字锚,在第二级边坡各排框格梁处增设1排十字锚,在第三级边坡增设1排十字锚,共设置6排十字锚。其中,第一、第二排十字锚锚索长32 m,第二~第六排十字锚锚索长

36 m,十字锚穿越全风化粉砂质泥岩层,直至锚固段进入中风化泥灰岩层内。

(4)对原坡面开裂的框格梁进行修补完善,将破损严重的框格梁清除后,重新设置新的框格梁。

(5)完善边坡截排水设施。结合临时应急措施,设计对坡顶村庄排水系统进行梳理,引导村庄内的汇水从边坡两侧排出;对原边坡截水沟、边坡各级平台排水沟及急流槽等排水设施进行修复完善。

依据相关规范^[7-8],设计选取“BK0+900”断面作为主滑断面,并采用Bishop法计算2种滑坡处置方案的边坡稳定性系数(见表3)。

表3 滑坡处置稳定性计算结果

方案	典型断面	计算工况	稳定性系数	安全系数
方案一	BK0+900	正常工况	1.32	1.25
		暴雨工况	1.25	1.15
		地震工况	1.13	1.05
方案二	BK0+900	正常工况	1.30	1.25
		暴雨工况	1.21	1.15
		地震工况	1.10	1.05

5.3 2种方案的对比

2种方案的边坡稳定性系数均满足规范要求。方案一的新增造价为772.7万元,方案二的新增造价为974.8万元,方案一比方案二的新增造价更低,处置效果更好。在方案二中,坡脚采用抗滑挡墙支挡,需拆除原挡墙并开挖挡墙基础,不利于施工且存在施工安全风险;挡墙基础埋深较浅,可能未能穿过滑动面;抗滑挡墙的整体抗滑能力比抗滑桩弱,可能存在边坡再次滑动的隐患。经综合对比,建议采用方案一进行处置。推荐方案的抗滑桩布置平面图、边坡处置方案立面图、抗滑桩布置横断面图分别如图8至图10所示。

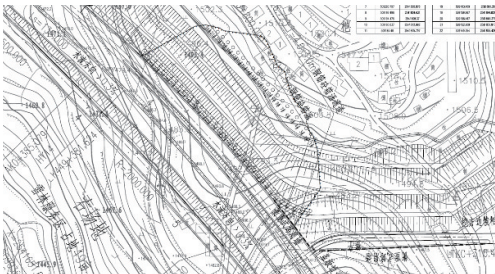


图8 推荐方案抗滑桩布置平面图

5.4 2种方案的监测

为了准确掌握滑坡变形的动态,更好地指导施工,需要对可能出现的不良工程问题作出预报,并提前处理。因此,设计团队在边坡坡顶、边坡平台设置变形监测点。监测项目包括抗滑桩桩顶位移、支挡

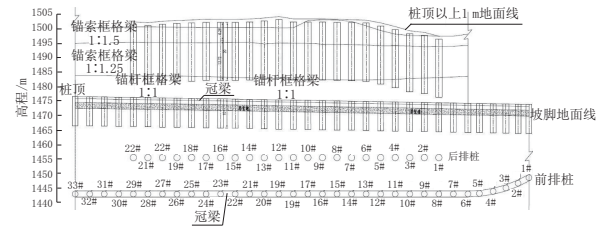


图 9 推荐方案边坡处置方案立面图

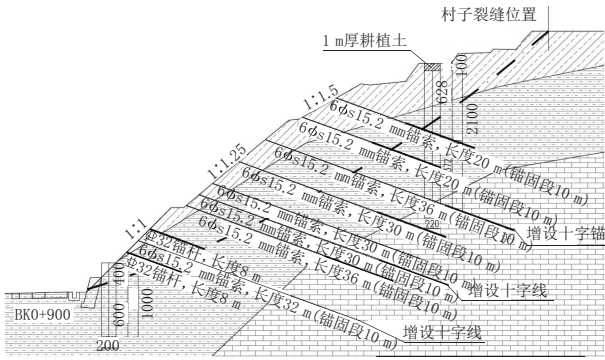


图 10 推荐方案抗滑桩布置横断面图

结构(挡墙)变形、锚杆(锚索)框格梁开裂脱空、地下水与降雨的关系等^[9]。

该处现场抗滑桩、抗滑挡墙、框格梁等已施工完毕,通过数月观察,边坡整体较为稳定,未见明显的滑塌、变形等情况,处置效果好。处置后的边坡现状如图 11 所示。



图 11 处置后边坡现状

对于已治理完毕的深路堑边坡,要重视以下 5 点:第一,加强重要工点的日常巡检及灾害天气前

后的重点巡查;第二,持续监测重要工点的路基、边坡、挡墙等的沉降及变形情况;第三,及时修复沿线损毁或开裂的边沟、截水沟,在缺失路段增设排水设施;第四,疏通挡墙泄水孔及仰斜式排水孔等;第五,在坡面渗水的路段增设仰斜式排水管。

6 结 语

(1)在不利的地形地貌、地层岩性及结构、地表汇水、持续强降雨及人工扰动等因素的综合作用下,坡体产生变形并导致滑坡。

(2)根据路基滑坡变形破坏特征,综合考虑安全、经济、用地等因素,设计团队对“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑桩”和“十字锚+后缘抗滑桩+坡脚抗滑挡墙”2 种方案进行比选。经综合对比,以“十字锚+后缘抗滑桩+前缘抗滑桩”为主的深路堑防护整治方案,有效解决了边坡滑坡问题。该案例可为类似的深路堑边坡失稳处置提供一定参考。

参考文献:

[1] 李原宝,徐剑.高速公路深路堑高边坡防护工程设计比选分析[J].四川水泥,2023(3):268-270.
[2] 赵云峰.山区高速公路深挖路堑边坡失稳治理探讨[J].北方交通,2024,9(6):65-68.
[3] 杨文博.公路高边坡治理设计及稳定问题分析[J].交通科技与管理,2024(5):158-160.
[4] 宋运超.某高速公路十级高边坡稳定性分析及防护研究[J].西部交通科技,2024(8):15-18.
[5] 王二赞.公路路基高边坡防护的设计核心探究[J].河南科技,2020,39(28):118-120.
[6] 姜晓敏.锚杆—框格梁在城市道路高边坡防护中的应用[J].城市道桥与防洪,2024(5):185-188.
[7] JTG/T 334—2018 公路滑坡防治设计规范[S].
[8] JTG D30—2015 公路路基设计规范[S].
[9] 钟少明.某高速公路右侧路堑边坡滑塌处置方案探讨[J].公路与汽运,2024(1):82-86.