

# 广东省某省道路路基边坡滑塌处治关键问题 分析及对策

陈刚<sup>1</sup>, 张会荣<sup>2</sup>

(1. 广东冠生土木技术有限公司, 广东 广州 511430; 2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:** 广东省某省道北侧紧邻一物流产业园, 产业园建设须开挖省道右侧边坡。产业园边坡开挖施工后, 2024年该地区连降暴雨, 使得省道 K5+100~K5+600 段出现不同程度的路基下陷、路面开裂、边坡位移, 其中 K5+240~K5+380 段出现滑坡, 最大沉降量约 3.06 m, 最大位移约 5.5 m。详细描述该路路基边坡失稳造成滑坡的过程, 该边坡滑移具有持续时间长、多阶段性、多次位移等特点。分析认为, 造成边坡滑移主要因素为中风化灰岩遇水软化、公路排水设施不完善、产业园边坡施工工序不合理、应急措施不及时。采取降低公路纵断面荷载结合抗滑桩、微型桩加固、完善排水等方案, 并取得良好效果, 为复杂地域环境下路路基边坡处理提供参考。

**关键词:** 省道; 边坡; 滑坡; 减载; 抗滑桩; 微型桩

中图分类号: U417.1; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0089-06

## Analysis and Countermeasures for Key Issues in Treatment of Roadbed Slope Collapse of Provincial Highway in Guangdong

CHEN Gang<sup>1</sup>, ZHANG Huirong<sup>2</sup>

(1. Guangdong Guansheng Civil Engineering Technology Co., Ltd., Guangzhou 511430, China; 2. CCCC Fourth Harbor Engineering Survey and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** A logistics industrial park is adjacent to the north side of a provincial highway in Guangdong Province. The construction of the industrial park must excavate the right slope of the provincial highway. After the slope excavation construction of the industrial park, the continuous rainstorm in 2024 in this area caused the varying degrees of roadbed subsidence, pavement cracking and slope displacement on the sections of provincial highway K5+100~K5+600, in which a landslide occurred in the section from K5+240 to K5+380, with a maximum settlement of approximately 3.06 m and a maximum displacement of approximately 5.5 m. The process of landslide caused by the instability of the roadbed slope is described in detail. The slope sliding is characterized by a long duration, multiple stages and multiple displacements. The analysis shows that the main factors causing slope sliding are the softening of moderately weathered limestone upon contact with water, the incomplete drainage facilities of the highway, the unreasonable construction procedures of the industrial park slope, and the untimely emergency measures. The schemes such as reducing the load on the longitudinal section of the highway in combination with anti-slide piles, micro-pile reinforcement, and improving drainage are adopted and the good effects are achieved, which provides the reference for the treatment of roadbed slopes in complex geographical environments.

**Keywords:** provincial highway; slope; landslide; load reduction; anti-slip pile; micro pile

## 0 引言

随着我国城市化进程的推进, 城市建成区范围不断扩大, 各种建构物毗邻公路建设的现象越发普遍, 对既有公路运营产生了较大的影响。每年4

月至6月是华南地区的前汛期, 降水集中, 在此期间毗邻公路路基边坡施工, 极易产生路基沉降、位移、滑移等现象, 造成较大的安全隐患。公路为线状构造物, 穿越的地形地貌较多, 加之工程地质条件不同以及气象差异, 造成了公路边坡的许多复杂问题。这些问题在广东省表现非常显著, 边坡滑塌、滑移等灾害非常普遍<sup>[1-4]</sup>。近些年, 针对广东省路基边坡灾害的处治加固取得了显著成果<sup>[5-6]</sup>。黄丰发<sup>[7]</sup>分析了顺层岩质边坡, 剖析其滑坡特性、产生滑坡的原因,

收稿日期: 2025-03-11

作者简介: 陈刚(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事路桥施工及管理工作。

通信作者: 张会荣(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事路桥工程设计工作。电子信箱: 156893323@qq.com

并提出治理措施,为相关顺层边坡设计加固提供了重要的依据。魏东旭<sup>[8]</sup>对膨胀岩的工程特性,膨胀岩滑坡的主要影响因素、形成机理以及破坏模式进行了总结,为该类型的边坡设计和灾害防治提供了重要的参考依据。杜建成<sup>[9]</sup>采用强度折减法(SRM)和非线性时序法,对珠海市上部土质下部岩质混合边坡的稳定性进行了深入研究,发现高陡土岩混合边坡的变形主要集中在上部黏性土边坡坡脚处,此类型的边坡潜在滑裂面会出现2条,分别从岩质以及土质边坡坡脚处呈圆弧状向上延伸,暴雨及地震工况下,边坡的稳定性会显著下降,仅为正常工况的70%~80%。董杰华、徐宏等<sup>[10-11]</sup>分析了影响边坡稳定的敏感因素,并进行了排序。李展望<sup>[12]</sup>构建了公路边坡水毁风险等级评价指标体系,采用灰色定权聚类分析法,对公路边坡进行了风险等级评估分析,为边坡水毁预防性养护提供了理论依据。周娟、胡平等<sup>[13-14]</sup>对边坡风险评价体系、风险分级标准、风险处置原则等方面开展了研究,提出了适用于公路边坡风险评价的评价指标。上述研究以路堑边坡为主要对象,填方路基研究多集中在沉降<sup>[15-17]</sup>或特殊土<sup>[18]</sup>路段的稳定等方面,对挖方边坡的研究相对较少。梅大高速路面塌方灾害事故显示,填方路基或半填半挖路基滑移同样可以造成巨大的破坏,应引起设计、施工、监测、管养等各方的重视。本文以广东省某省道K5+100~K5+600段填方路基边坡的滑塌及防治为研究对象,描述该路基边坡失稳造成滑坡的过程,分析边坡产生滑移的机理及原因,并提出了相应的加固措施,为毗邻公路的边坡设计、加固、施工提供参考。

## 1 工程概况

### 1.1 工程现状

该省道的产业园路段(K5+100~K5+600)原设计采用三级公路技术标准,设计速度30 km/h,平面最小平曲线半径 $R=65$  m,纵坡组合为7.25%+1.5%+7.1%,路基宽8.0 m,路面宽7.0 m。省道北侧为一厂矿企业生产基地,南侧毗邻产业园地块。产业园建设需要开挖省道右侧边坡,边坡最大高度约20 m,省道位于边坡顶部,如图1所示。

由于产业园边坡开挖施工的扰动,加之2024年上半年该地区连续暴雨,雨水渗入路基,使得K5+100~K5+600段5月初出现不同程度的路基下陷、路面开裂、边坡位移现象,其中K5+240~K5+380段严重



图1 毗邻省道产业园开挖路基边坡现场实景

塌陷,边坡出现整体滑移,导致交通中断,详见图2、图3和图4。



图2 道路边坡滑移实景



图3 K5+200~K5+360段道路沉降位移实景



图4 K5+360~K5+490段道路沉降位移实景

1.2 边坡地质情况

地质资料显示,场区附近存在次生断裂或褶皱,岩体破碎,存在软弱夹层,场地稳定性较差,场地内地层自上而下为:

(1)填筑土:主要分为填石和一般填筑土,均埋藏于现状省道路面及两侧,深度约 1.0~3.0 m,平均厚度约 2.0 m,主要成分为混凝土路面、填石、粉质黏土及少量砂粒。

(2)坡积粉质黏土:层厚 2.1 m,黄褐色,稍湿,可塑,黏性一般。

(3)残积粉质黏土:层厚 1.0~1.5 m,黄褐色,稍湿,硬塑,黏性差,遇水松散,易软化。

(4)石炭系(C)炭质灰岩:灰色,灰黑色,隐晶质结构,层状构造,按其风化程度的不同,可分为强风化、中风化两个风化带。

a.强风化灰岩:灰黑色,岩石风化强烈,原岩结构已大部分破坏,岩芯呈坚硬土状、半岩半土状,夹少量风化碎石,遇水易软化、崩解,岩质极软。

b.强风化灰岩:灰黑色,岩石风化强烈,岩芯以碎石状、碎块状为主,局部夹半岩半土状和少量中风化岩块,岩质较软-稍硬,遇水易松散、崩解。

c.中风化灰岩:灰色,深灰色,隐晶质结构,层状构造,裂隙普遍发育,岩体总体较破碎-极破碎,岩芯多呈碎块状、短柱状,局部见少量方解石脉,岩质较硬,敲击声稍脆,合金钻具较难钻进。

该段边坡走向 NE82°,边坡倾向 NW352°,最大挖方高度约 26 m。开挖范围内主要为少量素填土及强~中风化灰岩,节理裂隙产状主要有:201°∠35°(密度一般 3~5 条/m),312°∠75°(密度一般 1~2 条/m)。

1.3 原有边坡开挖加固设计方案

产业园厂房规划用地紧邻省道,需要对原有省道进行开挖。开挖采用两级放坡:一级高度 10 m,坡率 1:0.3;二级约 10 m,坡率 1:0.8。采用机械成孔(直径 110 mm)锚杆加固方案,采用 2 根直径 25 mm 钢筋,加固长度为 12 m,锚杆夹角 15°,如图 5 所示。

险情发生时,产业园区正在开挖二级坡,施工开挖的坡率约 1:1.5 至 1:1.8,一级边坡开挖坡率为 1:1,一二级边坡中间设置宽约 5 m 的施工平台,边坡开挖尚未达到设计要求,如图 6 所示。

2 路基沉降、边坡滑移观测及分析

2.1 边坡变形观测

2024 年 5 月 1 发生险情后,对路基边坡变形进行

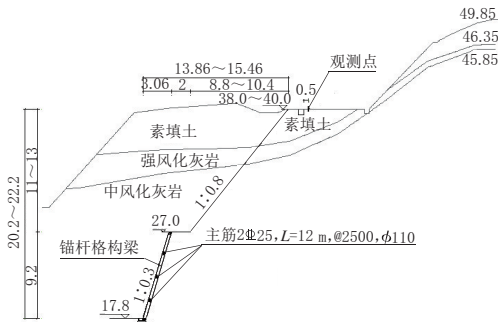


图 5 边坡设计示意图(单位: m)

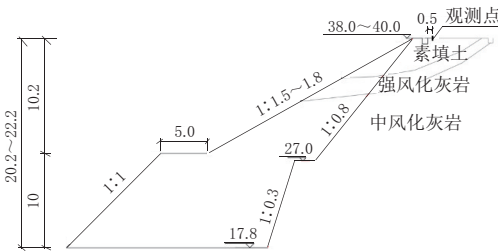


图 6 出险时边坡开挖示意图(单位: m)

了持续监测。选取其中变形最大的 2 个观测点进行分析,其中 BP1 设置在 K5+360, BP2 设置在 K5+250,变形情况如图 7、图 8 所示。

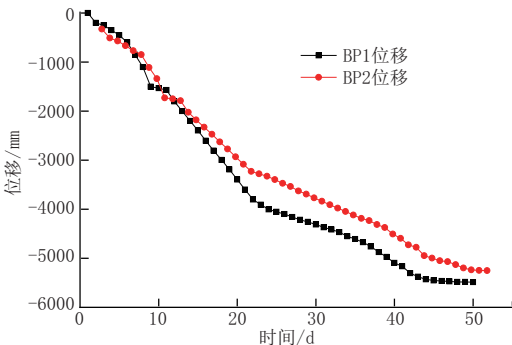


图 7 边坡位移图

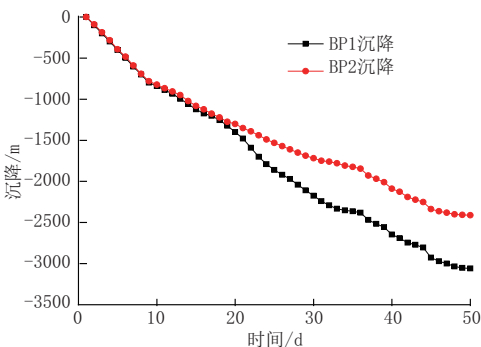


图 8 边坡沉降图

监测数据显示,该路基边坡位移持续 50 d,经历了 4 个显著的变形阶段。

(1)第一阶段,2024 年 5 月 1 日至 5 月 9 日,持续时间 9 d,观测点 BP1 位移达 1 500 mm,日位移量达 150 mm。

(2)第二阶段,2024 年 5 月 12 日至 5 月 22 日,持

续时间11 d,边坡又经历了一轮快速变形,观测点BP1位移约2 300 mm,累计位移3 800 mm,边坡日变形量达350 mm,是该边坡变形速率最大的时段。

(3)第三阶段,2024年5月23日至6月11日,持续时间20 d,边坡变形继续加大,观测点BP1位移约2 506 mm,累计位移5 306 mm,日变形量达75 mm。该阶段持续时间最长,变形量占比最大。

(4)第四阶段,2024年6月12日至6月19日,观测点BP1位移约179 mm,累计位移5 485 mm,日变形量达22 mm,边坡位移较小,边坡基本趋于稳定。

观测点BP1显示,边坡最大沉降达3 060 mm,日平均沉降量约61 mm;观测点BP2显示,边坡最大沉降量2 412 mm,日平均沉降量约48 mm。边坡沉降呈现匀速发展趋势,没有显著的突变现象。

公路路堑边坡滑移具有变形时间短、滑移量大等特点,而观测资料显示,该类路基填方边坡滑移具有持续时间长、多阶段性、多次位移等复杂性特点。

## 2.2 边坡变形分析

造成省道边坡滑移的主要因素有:

(1)陈伟乐等<sup>[19-20]</sup>研究表明,天然岩体遇水后,随着含水量增加,岩体的抗剪指数内摩擦角 $\varphi$ 和黏聚力 $c$ 会显著降低,饱水状态下具有流变性和多次变形的特性<sup>[21]</sup>。广东省2024年上半年降雨量大,远超同期降雨量,雨水浸入路基造成土体含水量饱和、强度降低,是造成滑坡的主要原因。表1为岩土层主要力学参数,采用Geoslope软件计算,得到正常工况下边坡的安全系数1.548。

表1 岩土力学参数表

| 土层名称  | 重度/( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 泊松比  | 黏聚力 $c/\text{kPa}$ | 内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$ | 岩石饱和单轴抗压强度/ $\text{MPa}$ |
|-------|--------------------------------------|------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| 素填土   | 18.0                                 | 0.40 | 10.4               | 11.1                      |                          |
| 强风化灰岩 | 24.0                                 | 0.32 | 30.0               | 18.0                      |                          |
| 中风化灰岩 | 26.0                                 | 0.25 | 78.0               | 21.0                      | 30.45                    |

考虑到中风化灰岩饱水软化,强度折减后边坡处于极限平衡状态,产生滑移,如图9所示,边坡产生滑移的位置、形式与现场基本一致。通过参数反演方式,可得饱水中风化灰岩黏聚力 $c=13.5\text{ kPa}$ ,内摩擦角 $\varphi=14.3^\circ$ ,黏聚力 $c$ 下降55%,内摩擦角 $\varphi$ 下降20%,远大于勘察报告提供的软化系数0.6数值。

(2)省道经过多年运营,道路沿纵向、横向产生了较多不均匀沉降,同时排水沟、截水沟存在破损或

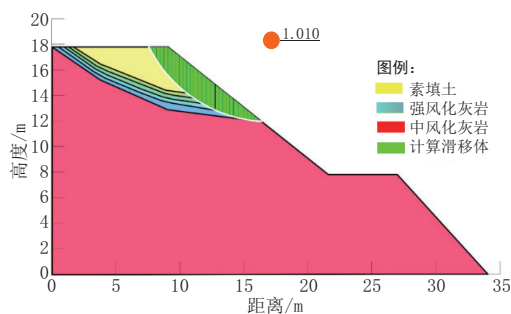


图9 边坡滑移安全系数图

者不均匀沉降,造成公路排水不畅或积水现象,客观上造成雨水浸入路基。

(3)产业园边坡施工时,坡面临时排水设施不完善,没有完整的纵向、横向排水体系,尤其是二级边坡坡脚和5 m平台没有硬化,缺少排水沟,坡面雨水汇集在坡脚处没有排泄,坡脚土体长期处于含水量饱和状态,灰岩遇水软化,抗剪强度降低。

(4)产业园区边坡施工工序不合理,应先进行二级边坡施工并进行坡面防护,然后再进行一级边坡施工。但是,为了满足主体厂房施工需要,产业园区先进行一级边坡部分开挖,然后进行二级边坡施工。该施工方案造成一级边坡坡面和二级边坡坡面均未采取有效防护,未能有效阻止雨水浸入坡体。

(5)边坡发生滑移初期,未能及时对道路、坡面采取封闭,随着边坡裂缝、沉降、位移的扩大,雨水继续沿路基下渗,造成了路基抗剪强度沿深度方向逐渐下降,边坡位移、沉降逐步加大,呈现出蠕变特点。由于施工场地狭窄,边坡坡脚施工便道经雨水浸泡后,大型运输设备难以通行,没有及时采取反压等应急措施,错失了阻止路基边坡发生滑移的机会。

## 3 边坡处理方案

### 3.1 加固方案比选

针对公路路基边坡滑移及产业园区边坡加固方案,进行了多次专家方案论证(见表2)。

通过综合比较,最终采取了公路调坡减载+抗滑桩方案,坡顶采用微型桩加固的修复方案。

### 3.2 公路路线设计

由于两侧用地限制,路线平面沿用原旧路位置,采取拟合旧路线形方案,与原有公路一致。K5+240~K5+380段为严重塌陷路段,该路段原有路基是填方路基,填土高度3~4 m,根据道路塌方的原因分析,纵断面设计拟对该路段实施降低标高处理,使路基位于天然地基上,降低塌方风险,填方降低最大高



(4)滑塌区域边坡治理采用削坡降载+抗滑桩+锚索支护+坡顶微型桩支护方案,过渡区采用削坡降载+锚索格构梁+坡顶微型桩支护方案,并对锚杆、锚索、微型桩、防排水等环节提出针对性设计。

#### 参考文献:

- [1] 邓超文.广东西部沿海高速公路台山段某边坡滑塌机理及整治[J].广东公路交通,2003(4):64-66.
- [2] 王喜.梅河高速公路16合同段K103边坡塌方原因及处理措施[J].铁道建筑,2007(5):55-56.
- [3] 彭浩然,廖小平.广东某高速公路路堑边坡滑塌灾变过程及工程对策[J].公路,2023(3):1-7.
- [4] 蔡晓英,刘廷伟.广东某高速公路K97滑坡成因分析及治理方案设计[J].广东土木与建筑,2012(8):56-59.
- [5] 詹松,汤连生,杨文甫.广东高速公路路堑边坡失稳原因与防治分析[J].工程地质学报,2006,14(2):184-189.
- [6] 刘祥兴,李红中.广东山区高速公路挖方边坡常见病害及防治策略[J].广东公路交通,2017(1):53-57.
- [7] 黄丰发.广东某高速公路岩质边坡滑塌原因分析及治理措施研究[J].路基工程,2018(1):192-195.
- [8] 魏东旭,李帅,赵杰,等.广东某公路膨胀岩滑坡成因分析及处治措施研究[J].路基工程,2019(3):217-222.
- [9] 杜建成,唐昌意,李松,等.高陡土岩混合边坡稳定及变形分析与工程应用[J].公路,2024(3):63-70.

- [10] 董杰华,黄浩,徐中来,等.基于ABAQUS的坡地边坡稳定性影响因素敏感性分析[J].煤炭技术,2021,40(1):62-65.
- [11] 徐宏,夏琼,王旭.边坡安全系数影响因素敏感性分析[J].铁道建筑,2021,61(8):98-101.
- [12] 李展望,何正红,张程.公路边坡水毁风险评价方法研究[J].公路,2023(9):421-426.
- [13] 周娟,王琦.运营公路边坡安全风险评价研究[J].公路,2024(5):96-100.
- [14] 胡平,熊治文,廖小平,等.边坡安全风险评估研究综述.铁道建筑,2023,63(2):108-115.
- [15] 魏道凯,寇海磊.高速公路高填方路基沉降变形数据拟合与预测研究[J].公路工程,2018,43(1):251-255.
- [16] 马学宁,陈玉燕,王旭.高速铁路车站岔区高填方路基沉降组合预测研究[J].铁道学报,2023,45(1):105-113.
- [17] 乔瑞军,栾治军,黄明利,等.洞渣高填方路基沉降影响因素及其控制技术[J].公路,2024,69(3):49-55.
- [18] 刘远程,刘涛,杨杰.深厚软土地区高填方路基边坡稳定分析[J].公路,2019,64(1):73-78.
- [19] 陈伟乐,徐国平,宋神友.风化岩遇水软化的强度试验及力学特性研究[J].岩土力学,2022(增刊1):67-76.
- [20] 曾朝辰,白海波,何世鑫.灰岩单轴抗压特性的浸水效应研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2018(3):82-105.
- [21] 苏白燕,许强,邓茂林.炭质泥质灰岩饱水水流变试验研究[J].工程地质学报,2015,23(1):37-43.

(上接第88页)

研究基于线圈等实时数据的动态评价方法,以更准确地反映分合流区的实时运行状况。

#### (2)附加车道的分合流区计算方法

注意到现有设计方案中部分分合流区采用一段附加车道,而根据HCM2000手册理论——当出入口匝道附加一条车道时,匝道几何条件控制匝道的通行能力,而不像其他验算中是由匝道与快速路的连接点来控制。当双车道出入口匝道附加上一条车道时,就应将连接点归类为主要合、分流区。而目前还没有分析对应合、分流区的有效模型,可深度研究理论模型,提出更合理的分合流区设计方案<sup>[6]</sup>。

#### (3)智能交通系统集成:研究智能交通系统在分

合流区的应用效果,提出具体的实施策略。

#### 参考文献:

- [1] 任福田,刘小明,荣建.交通工程学[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 熊烈强,王富.道路入口匝道连接处通行能力计算模型[J].华中科技大学学报(自然科学版),2006,34(9):91-93.
- [3] 李秀文.城市快速路分合流区通行能力研究[D].北京:北京工业大学,2005.
- [4] 李文权,王莉,王炜.高速公路上匝道合流区通行能力经验模型[J].中国公路学报,2004,4(2):80-84.
- [5] 陈春安,荣建,周晨静,等.分、合流区通行能力分析改进研究[J].道路与安全,2015,15(6):1-5.
- [6] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000[M]. Washington DC:Transportation Research Board, 2000.