

国道G105线K2617~K2678段强降雨灾毁路面修复与加固关键技术研究

卢国文

(中山市东升公路养护所, 广东 中山 528400)

摘要: 国道G105线K2617~K2678段位于珠江三角洲冲积平原河网区, 汛期受极端强降雨与外江顶托影响显著, 叠加长期重载交通作用, 路面出现路基软弹沉陷、基层唧泥脱空、面层网裂坑槽等连片水毁病害。依托该路段灾毁恢复工程, 构建“精细化检测-分级处置-结构加固-排水优化”成套修复技术体系, 采用压力注浆、全深式冷再生、挖换补强及土工格栅加筋等组合工艺, 对面层病害实施微创修补与同步罩面, 同时优化排水系统。工程实践表明, 修复后路面结构强度、平整度及抗滑性能均满足规范要求, 路况优良率由72%提升至96%, 抗水毁能力显著增强。研究成果可为珠三角及同类平原河网地区干线公路灾毁修复提供技术参考。

关键词: 城市道桥; 国道G105线; 强降雨灾毁; 路面基层加固; 唧泥脱空; 压力注浆; 全深式冷再生; 病害维修

中图分类号: U412.37

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0348-04

Research on Key Technologies for Pavement Repair and Reinforcement Damaged by Heavy Rainfall on K2617 ~ K2678 Section of National Highway G105

LU Guowen

(Zhongshan Dongsheng Highway Maintenance Station, Zhongshan 528400, China)

Abstract: The K2617-K2678 section of National Highway G105 is located in the river network area of the Pearl River Delta alluvial plain. Affected by extreme heavy rainfall and river backwater during flood seasons as well as long-term heavy traffic load, the pavement shows continuous water damage diseases such as soft and elastic subsidence of the subgrade, mud pumping and voiding of the base layer, and network cracks and potholes on the surface layer. Relying on the disaster recovery project of this road section, a complete set of repair technology system featuring “refined detection - hierarchical disposal - structural reinforcement - drainage optimization” is built. The combined technologies including pressure grouting, full-depth cold recycling, excavation and geogrid reinforcement are adopted to conduct the minimally invasive repair and simultaneous covering for surface layer diseases, and optimize the drainage system at the same time. Engineering practice shows that the structural strength, flatness and skid resistance of the repaired pavement meet the standard requirements, the good road condition rate increases from 72% to 96%, and the flood damage resistance is significantly improved. The results can provide technical references for the disaster repair of trunk highways in the Pearl River Delta and similar plain river network areas.

Keywords: urban road and bridge; National Highway G105; heavy rainfall disaster damage; pavement base reinforcement; mud pumping and voiding; pressure grouting; full-depth cold recycling; disease maintenance

0 引言

珠江三角洲平原河网地区作为我国经济发达区域, 干线公路交通流量大、重载车辆占比高, 且区域内地势平缓、河网纵横、地下水位偏高, 汛期极端强降雨极易引发河道水位顶托、路面内涝积水问题^[1]。

雨水沿路面裂缝、接缝持续下渗, 会逐步软化路基基层结构, 降低基层承载能力, 在行车荷载反复作用下, 会快速诱发基层唧泥、脱空、沉陷及面层网裂、坑槽等复合性病害, 形成“积水侵渗-结构软化-荷载破损-病害扩大”的恶性循环, 严重影响道路通行安全与使用寿命^[2-3]。

国道G105线作为贯穿珠三角地区的重要干线公路, 其K2617~K2678段位于中山市北部平原河网核心区, 2025年6—7月受极端强降雨天气影响, 路

收稿日期: 2026-04-07

作者简介: 卢国文(1989—), 男, 本科, 工程师, 从事公路工程施工与养护、道路灾毁修复技术工作。

段出现大面积灾毁,9—11月实施灾毁修复工程,12月完成验收。本文结合该工程实际,针对平原区公路水毁病害的成因与特点,研发适配的路面基层处置与面层病害维修关键技术,形成成套修复方案,既保障工程修复质量,又提升道路长效抗水毁能力,为同类区域干线公路灾毁修复工程提供实践借鉴^[4]。

1 工程概况与灾毁病害特征

1.1 路段基本条件

国道G105线K2617~K2678段全长61 km,设计为双向八车道一级公路,设计速度80 km/h,原路面结构自上而下为4 cm AC-13细粒式沥青混凝土上面层、6 cm AC-20中粒式沥青混凝土下面层、20 cm水泥稳定碎石基层、15 cm级配碎石底基层,设计荷载等级为公路-I级。

该路段地处珠江三角洲冲积平原,地势平坦,地面海拔-0.5~1.0 m,地下水位埋深仅1.0~2.5 m;区域内河网密布,排水条件较差,属亚热带季风气候,汛期降雨集中,外江水位顶托现象频发,路面结构长期处于水侵与重载荷载耦合作用的劣化环境,极易发生水毁病害^[5]。

1.2 灾毁病害类型及分布

经现场人工普查、探地雷达(GPR)探测、落锤式弯沉仪(FWD)检测及钻芯取样验证,该路段强降雨灾毁病害呈现全域分布、结构贯通、类型复合的特点,具体病害分类如下:

(1)基层结构性病害:基层软弹沉陷132处,累计长度9.1 km,沉陷深度10~30 cm,集中分布于低洼易涝路段,基层受水浸后完全软化,承载力丧失;基层唧泥与脱空96处,总长6.8 km,水泥稳定碎石骨料离析、胶结材料流失,行车荷载作用下泥浆沿裂缝喷出,基层与底基层间形成空隙;基层强度劣化47处,长度3.5 km,受雨水长期浸泡,基层无侧限抗压强度下降40%~60%。

(2)面层功能性病害:坑槽连片集中分布,单块面积0.5~8.0 m²,深度4~10 cm,面层因基层破损出现碎裂、骨料脱落;网裂与泛油病害覆盖率达68%,裂缝宽度2~8 mm,交织成网状,伴随面层泛油,结构整体性丧失;重载路段车辙深度10~20 mm,行车舒适性与安全性大幅下降。

(3)排水及附属设施病害:边沟、截水沟堵塞坍塌0.8 km,急流槽破损36处,路面积水时长可达4~6 h;路肩、边坡冲蚀12处,长度1.7 km,路基侧向稳

定性降低,进一步加剧路面沉陷。

1.3 灾毁成因分析

该路段灾毁病害是自然环境与交通荷载共同作用的结果:一是极端强降雨引发外江顶托,路面积水无法快速排出,雨水沿面层裂缝下渗,持续浸泡软化基层结构;二是路段重载货车占比达45%,反复碾压加速基层结构破损,形成恶性循环;三是平原区地下水位高、排水系统不完善,长期高湿环境导致基层材料性能持续劣化,最终引发大面积连片灾毁。

2 灾毁路面精细化检测与分级评估

针对平原区水毁病害隐蔽性强、深度大的特点,采用“无损检测+局部破损验证”联合检测方案,精准识别病害范围、深度及损伤程度,为分级处置提供依据。具体检测项目如下:

(1)探地雷达(GPR)检测

扫描基层、底基层密实度,定位脱空、唧泥区域,反演基层含水率,绘制病害三维分布图,明确深层病害边界。

(2)落锤式弯沉仪(FWD)检测

测定路面结构弯沉值与弯沉盆参数,评估结构剩余承载能力,区分轻重度损伤路段。

(3)钻芯取样验证

在典型病害段钻取芯样,检测基层厚度、强度及破损深度,验证无损检测结果,确定修复深度。

(4)人工现场核查

详细记录裂缝长度与宽度、坑槽面积、沉陷深度,标注积水路段,建立完整病害台账。

参照《公路沥青路面养护技术规范》,结合平原区水毁特点,将病害分为三级,实施差异化处置^[6]:

(1)Ⅰ级(重度灾毁):基层沉陷>20 cm、大面积唧泥脱空、强度损失>50%,其中破损深度≥25 cm且底基层同步软化失稳路段采用挖换重建工艺;破损深度15~25 cm、底基层基本完好的重度灾毁路段采用全深式就地冷再生工艺;

(2)Ⅱ级(中度损伤):沉陷10~20 cm、局部唧泥、裂缝宽5~8 mm,采用压力注浆加固+局部挖换补强;

(3)Ⅲ级(轻度病害):微裂缝、表层网裂、轻微车辙,采用微创修补+预防性罩面处置。

3 路面基层病害处置关键技术

3.1 重度灾毁段:全深式冷再生+挖换重建

针对基层破损深度15~25 cm、底基层基本完好

的重度灾毁路段采用全深式就地冷再生工艺;基层破损深度 ≥ 25 cm、底基层同步软化失稳路段采用挖换重建工艺,实现旧料100%回收利用,降低工程成本,缩短施工周期。施工流程为:首先铣刨破损面层与松散基层至完好底基层,清理浮渣、泥浆,同步设置轻型井点降低地下水位,防止施工期间基层再次受水浸泡;随后按配合比拌和旧料、3.5%水泥与1.5%乳化沥青,优化配合比确保再生层强度与抗渗性适配高湿环境;采用冷再生机匀速拌和,控制含水量略高于最佳含水量1%~2%,平地机整平后,采用振动压路机与胶轮压路机分层碾压,压实度不低于97%;洒水养生7 d后,喷洒透层油,铺设玻纤格栅抑制反射裂缝,提升基层抗渗性能。

3.2 中度损伤段:压力注浆加固+局部补强

针对基层脱空、唧泥、轻微沉陷的中度损伤路段,采用低压渗透+高压填充双控压力注浆技术,快速恢复基层整体性与承载力。按 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 梅花形布设注浆孔,孔径50 mm,孔深穿透基层至底基层,避开地下管线;选用水泥-水玻璃-膨润土复合浆液,质量配合比为水泥:水玻璃:膨润土=1:0.3~0.5:0.05~0.1,水胶比0.5~0.6,初凝时间30 min、终凝时间2 h,适配高湿环境,提升浆液保水性与固结强度;施工时先以0.2~0.4 MPa低压渗透填充基层空隙,再以0.5~0.8 MPa高压压实密实,稳压后封孔,单孔注浆量控制在50~80 L,避免冒浆;注浆完成后,采用FWD复测弯沉值,钻芯验证浆液填充效果,确保基层与底基层紧密贴合。

3.3 薄弱路段:开槽灌缝+土工格栅加筋

针对基层裂缝及结构薄弱路段,实施裂缝封堵与加筋补强双重处置。宽度 < 5 mm的微裂缝,采用高压吹扫清理后,注入改性沥青密封胶,热融密实,阻断雨水下渗通道;宽度5~8 mm的宽裂缝,先开槽清理,再填充高聚物砂浆,表面粘贴抗裂贴,防止裂缝扩展;在路基薄弱段及新旧路面搭接段,基层顶面满铺双向玻纤土工格栅,抗拉强度 ≥ 80 kN/m,增强基层整体性,有效抑制反射裂缝,提升基层抗水损能力^[7]。

4 沥青面层局部病害维修技术

4.1 坑槽微创修补

采用标准化微创修补工艺,快速修复坑槽病害,缩短交通封闭时间。沿坑槽边缘外10 cm切割方正,切割深度至完好基层,形成垂直立面,避免不规则断

面引发二次破损;彻底清除基底松散料与泥浆,烘干潮湿基面,喷洒改性乳化沥青粘层油,增强新旧结构粘结力;采用AC-13沥青混凝土分层摊铺,每层厚度 ≤ 5 cm,高频振动压实,压实度 $\geq 98\%$;对接缝处涂刷粘层油,热接压实,确保新旧路面平顺无渗水,快速恢复道路通行能力。

4.2 网裂与车辙修复

轻度网裂路段,先打磨清理面层,喷洒沥青再生剂,实施3~5 mm微表处罩面,恢复面层防渗性与抗滑性能;重度网裂伴随车辙路段,铣刨8~10 cm破损面层,铺设玻纤格栅后,重新铺筑AC-20下面层与AC-13上面层;重载交通路段选用高模量沥青混凝土,提升面层抗车辙、抗变形能力,适配重载交通需求。

4.3 全段同步罩面

基层修复完成后,全路段铺筑4 cm AC-13 SBS改性沥青上面层,优化矿料级配,控制沥青含量 $\geq 5.0\%$,提升面层抗水损、抗裂及抗滑性能,全面改善路面平整度与行车舒适性,同时进一步阻断雨水下渗通道,从面层层面防范水毁病害复发。

5 排水体系优化与附属设施修复

针对平原区外江顶托、内涝积水、排水不畅的核心问题,同步重构路面排水体系,从源头阻断雨水入侵^[8]。清淤并重建坍塌、堵塞的边沟与截水沟,增设急流槽与渗沟,控制沟体纵坡 $\geq 3\%$,提升自然排水能力;在低洼易涝路段设置潜水泵强排装置,应对汛期外江顶托导致的积水问题,确保积水快速排出;对冲蚀边坡进行削坡整形,铺设土工格栅并植草防护,重建破损路肩,设置拦水带引导路面径流进入排水系统;更换老化雨水篦子,增设路面排水孔,全面修复防撞护栏与交通标志,恢复道路安全保障功能。

6 质量管控与工程实施成效

6.1 全过程质量管控

建立“检测-方案-施工-验收”闭环质量管控体系,严格把控材料质量与施工工艺。所有进场材料均经第三方检测合格,重点管控注浆浆液、沥青混合料、再生剂等材料性能;施工过程中安排专人旁站,记录注浆压力、冷再生配合比、摊铺温度等关键参数,重点监控高水位环境下基层降水与压实质量;竣工验收时,对FWD弯沉、钻芯强度、平整度、抗滑值4项指标全检,要求平整度 $IRI < 1.8$ m/km,抗滑摆值 $\geq$

45 BPN,弯沉值 $\leq 80(0.01\text{ mm})$,确保工程质量达标。

6.2 工程实施成效

2025年12月工程竣工后,经多项检测与通车检验,各项性能指标均满足规范要求:路面基层强度提升65%,弯沉值由280(0.01 mm)降至75(0.01 mm),结构承载力大幅提升;路况优良率由72%提升至96%,平整度、抗滑性能稳定,无新增沉陷、唧泥病害;经历后续汛期强降雨考验,路面无积水、无破损,排水系统运行顺畅;相较于传统重建工艺,该方案节约投资42%,缩短工期6个月,旧料利用率达100%,兼具经济效益与环保效益。

7 结 语

(1)珠三角平原河网区干线公路强降雨灾毁,是极端降雨、外江顶托、高地下水位与重载交通共同作用的结果,病害呈现复合性、深层化、连片化特点,需采取针对性修复技术。

(2)构建“精细化检测-分级处置-结构加固-排水优化”成套技术体系,对重度灾毁段采用全深式冷再生、中度损伤段采用压力注浆、轻度病害段采用微创修补,处置方案经济高效,修复效果显著。

(3)基层加固与排水体系优化同步实施,是解决平原区公路水毁问题的核心,既能快速恢复路面结构强度,又能从源头阻断雨水侵渗,有效防范二次灾毁。

(4)该工程实践形成的灾毁修复关键技术,适配珠三角平原区气候与地质条件,可为同类地区干线公路水毁恢复与长效加固工程提供可靠的技术参考。

参考文献:

- [1] 黄晓明,郑彬双.沥青路面抗滑性能研究现状与展望[J].中国公路学报,2019,32(4):32-49.
- [2] 郑健龙,张锐.公路膨胀土路基变形预测与控制方法[J].中国公路学报,2015,28(3):1-10.
- [3] 《中国公路学报》编辑部.中国路基工程学术研究综述·2021[J].中国公路学报,2021,34(3):1-49.
- [4] 黄湛军.广东省高速公路设计标准化路基路面排水设计研究[J].中外公路,2018,38(5):35-40.
- [5] 邓广辉,林俊勇,陈海斌.多雨地区透水路面设计关键因素研究及应用[J].城市道桥与防洪,2024(11):74-78.
- [6] JTG 5142—2019 公路沥青路面养护技术规范[S].
- [7] 李峰,黄颂昌,徐剑.沥青路面灌缝胶性能评价及技术要求[J].交通运输工程学报,2009,9(2):7-11.
- [8] 李伊,刘黎萍,孙立军.全厚式沥青路面温度场预估模型[J].同济大学学报(自然科学版),2020,48(3):377-382.

(上接第324页)

- 2024.
- [3] 高扬,闫翔鹏.京哈高速绥盘段改扩建平安百年品质工程创建思考与实践[J].山东交通科技,2024(5):90-94.
- [4] 兰滔.特长公路隧道单层温拌阻燃沥青路面铺装技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [5] 甘敬升.隧道沥青路面压路机碾压轨迹实时远程监控技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.
- [6] 游宇嵩,杨清海,荆留杰,等.隧道建造中遥控信号传输方法研究及实现[J].北京交通大学学报,2025,49(3):171-181.
- [7] 王伟.沥青路面无人化摊铺施工在G15公路嘉浏改扩建项目应用[J].上海公路,2023(3):10-13;216.
- [8] 武博文,薛力戈,朱洪睿,等.路面无人化施工集群装备技术研究[J].建筑机械,2022(1):18-20.
- [9] 王民,周乐,邵珠枫,等.钢桥面沥青铺装无人化碾压集群控制与应用[J].公路交通技术,2024,40(5):126-132.
- [10] 徐工集团工程机械股份有限公司道路机械分公司,武汉万集光电技术有限公司.一种基于激光雷达的实时建图定位方法及装置:中国,202310852789.2[P].2023-11-10.
- [11] 肖利君,许泽宁,王娅蓉.智能化管控技术在滁天高速路面施工中的应用[J].中国建设信息化,2022(13):76-78.
- [12] 全厚发,李东旺,刘金兴,等.高速公路沥青路面施工全过程质量控制关键参数研究[J].交通世界,2020(23):46-49.
- [13] 赵天伟,田红旗,李猛,等.基于信息化管控的沥青混合料拌和质量评价体系[J].公路与汽运,2021(1):144-147.
- [14] 杨勋.ERS在公路沥青路面施工质量控制中的应用[J].物流工程与管理,2009,31(7):115-116.
- [15] 葛洲坝集团交通投资有限公司.一种沥青混合料摊铺碾压信息监测的联动系统:中国,202121813320.0[P].2022-06-14.
- [16] 王宣,唐建亚,邢永忠.基于物联网的智能监控系统在沥青路面施工中的应用研究[J].公路交通技术,2017,33(3):23-28.
- [17] 蒋和友.沥青路面施工现场压实度检测研究[J].工程技术研究,2025,10(18):161-163.