

农村公路路基全寿命周期沉降分析及防治措施

何 勇

(简阳市公路工程质量监督站, 四川 成都 641400)

摘 要: 为揭示农村公路路基全寿命周期内沉降的核心原理, 优化适配农村公路的低成本、易操作防治措施, 以A市快速路为参考样本, 聚焦路基设计、施工、运营全寿命周期, 分析沉降病害的具体表现与次生危害, 提炼针对性处治技术与全寿命周期防治措施, 并结合农村公路实际情况进行适配调整。明确路基沉降主要表现为反射路面深度裂纹、边坡滑移型沉降和面积持续沉降3类, 会引发结构安全风险与养护成本激增等问题, 针对不同沉降类型形成了适配农村公路的低成本处治方案。提出的设计阶段轻量化勘察与参数优化、施工阶段质量管控及运营阶段简易养护观测等措施, 可有效降低农村公路路基沉降风险, 为乡村振兴提供可靠交通保障。

关键词: 农村公路; 全寿命周期; 路基沉降; 防治措施; 案例应用

中图分类号: U416.1; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0371-06

Analysis and Prevention Measures for Full-Life-Cycle Settlement of Rural Highway Roadbed

HE Yong

(Jianyang Highway Engineering Quality Supervision Station, Chengdu 641400, China)

Abstract: To reveal the core principles of settlement of rural highway roadbeds within full life cycle and optimize the low-cost easy-to-operate prevention measures suitable for rural highways, taking the expressway in City A as a reference sample, and focusing on the full life cycle of roadbed design, construction and operation, the specific manifestations and secondary hazards of settlement diseases are analyzed, and the targeted treatment technologies and full-life-cycle prevention measures are refined and adjusted according to the actual conditions of rural highways. It is clarified that the roadbed settlement mainly manifests in three types of deep cracks reflected on the pavement, slope sliding settlement and large-area continuous settlement, which can lead to structural safety risks and a sharp increase in maintenance costs. Low-cost treatment schemes suitable for rural highways have been developed for different types of settlement. The proposed measures including lightweight geological investigation and parameter optimization in the design stage, quality control in the construction stage, and simple maintenance and observation in the operation stage can effectively reduce the risk of rural highway roadbed settlement and provide the reliable transportation support for rural revitalization.

Keywords: rural highway; full life cycle; roadbed settlement; prevention measures; case application

0 引 言

农村公路作为乡村振兴战略实施的重要交通基础设施, 是连接城乡和镇街、农产品运输、便利群众出行的“毛细血管”, 其路基稳定性直接决定了公路的使用寿命与通行安全性。然而, 受建设资金有限、施工技术水平偏低、建设条件有限、地质条件复杂以及养护资源不足等多重因素影响, 路基沉降成为农村公路普遍面临的突出病害。路基沉降不仅会引发

路面裂缝、边坡滑移等显著问题, 还会带来结构安全隐患加剧、养护成本激增等连锁反应, 严重制约农村公路服务功能的正常发挥, 甚至影响乡村经济社会的持续发展。

当前, 学界对农村公路路基沉降的研究多聚焦于单一环节或局部病害, 缺乏全寿命周期系统分析, 同时, 有针对性、成本低、适应性强的防治措施较为缺乏。A市快速路虽为高等级公路, 但与农村公路在路基沉降核心诱因、病害演化规律上具有共性。该项目在建设及交工验收阶段暴露的各类路基沉降问题, 以及积累的处置经验, 为农村公路路基沉降研究提供了宝贵的参考样本。

收稿日期: 2025-12-02

作者简介: 何勇(1989—), 男, 学士, 工程师, 从事公路项目质量安全政府监督工作。

基于此,本文以A市快速路为研究案例,深入剖析路基全寿命周期内沉降病害的具体表现与次生危害,系统溯源沉降产生的施工、地质环境及设计等核心因素,提炼适合农村公路的差异化处治技术与全周期防控体系。研究成果旨在为农村公路揭示路基沉降内在原理、优化防治策略提供切实可行的理论支撑与实践借鉴,对提升农村公路路基稳定性、延长使用寿命、降低养护成本具有重要的现实意义。

1 案例工程概况

A市快速路作为该市东部片区快速骨干路网的重要组成部分,其设计标准要远高于农村公路,但路基沉降问题的核心诱因具有共性,可作为农村公路路基沉降研究的参考样本。

项目全长约12.7 km,其中新建段10.4 km采用双向六车道一级公路技术标准(兼城市配套),主道设计速度80 km/h,辅道40 km/h,全线采用沥青混凝土路面,包含14座桥梁(大桥8座、中桥6座),桥梁设计荷载为公路-I级。从结构设计看,项目路基与路面结构远优于农村公路:新建段路基宽度为64 m,主道路面结构层厚88 cm为“4 cm SMA-13+6 cm AC-20C+8 cm AC-20C+2层25 cm水泥稳定碎石层+20 cm级配碎石垫层”,辅道及互通匝道路面结构虽略有简化,但基层、底基层厚度仍达25 cm,远超农村公路常规15~20 cm的基层厚度设计^[1]。

项目于2019年2月开工,2021年6月主线完工,2021年8月附属工程及辅道完工,2021年9—12月开展交工验收检测、外观质量检查和内页资料审查,其间发现的路基沉降问题,对施工周期更短、技术水平更有限的农村公路具有重要警示意义^[2]。

2 案例中路基沉降问题

2.1 沉降病害的具体表现

从现场情况看,该项目路基沉降问题发生于两个标段,呈现“多类型、广分布”特征,与农村公路常见的沉降病害具有高度相似性。

2.1.1 路基沉降反射路面深度裂纹

某标段K41+180主道及辅道等6路段,因路基沉降反射路面深度裂缝,裂缝宽度均超过5 mm,部分裂缝还有发展趋势,这与农村公路“沉降反射路面裂缝”的典型病害类型完全一致。检测数据表明,这些路段路基弯沉代表值207.07(0.01 mm),虽未超出设计值210.0(0.01 mm),但个别测点弯沉值已达205

(0.01 mm),接近临界值,充分反映出路基承载力已处于濒临不稳定状态,这一情况在农村公路中也较为常见。

2.1.2 路基边坡滑移型沉降

某互通标段,有F等4条匝道发生路基边坡轻微滑移,引起路面出现纵向裂缝,通过观测,平均滑移量达3~5 cm。此类轻微滑移而导致的沉降开裂现象在农村公路中时有发生,尤其在山区农村公路中更为普遍。

2.1.3 大面积持续沉降

项目交工验收前,某标段主线左幅K39+236~K39+384等17处路段出现持续性沉降,通过3个月连续观测,其中,最大沉降量达8 cm,且沉降尚未收敛。经组织行业专家开展多轮论证,施工单位暂采用开普封层技术,但需待沉降稳定后重新铣刨加铺路面结构层。这种“临时处置+后期修复”的模式,与农村公路因资金不足导致的“被动养护”现状极为相似。

2.2 沉降病害的次生危害

该项目作为高等级公路,其沉降危害的次生危害对农村公路具有较大参考价值。

2.2.1 结构安全风险

沉降导致“3背(墙背、涵背、台背)”路基回填出现不均匀变形,如K35+001高速跨线桥左辅道第1联,外观检查时已出现雨水积存情况,长期下来可能影响桥梁支座使用寿命。虽然农村公路桥梁数量不多,但小型构造物(如涵洞、挡墙)台背沉降同样会导致路面开裂,将对公路整体结构安全和通行安全产生严重影响。

2.2.2 养护成本激增

17处沉降路段的临时处置(开普封层)费用已达120万元,后续铣刨加铺预计还需投入800万元,占该标段合同额(53 190.19万元)的1.7%。按照农村公路三级公路造价(约150万元/km)计算,若农村公路出现类似沉降,1 km沉降路段的修复费用可达20~30万元,远超常规养护预算(年均2万~3万元/km)。农村公路养护资金本就紧张,沉降问题带来的高额修复成本,将进一步加剧农村公路养护资金短缺的困境,影响农村公路养护工作的正常开展。

3 案例沉降原理溯源

3.1 施工因素

该项目虽为国企投资的重点工程,但施工环节的各种问题仍成为沉降主因,与农村公路“重进度、

要固投”的问题本质一致。

3.1.1 填料质量不达标

统计数据显示,填料含泥量每超出规范限值(15%)1个百分点,路基工后1年内沉降量平均增加0.5~0.8 cm。根据现场和试验检测报告,个别点位取样试验含泥量达18%,此时沉降量较含泥量达标路段增加2.1~2.4 cm,尽管压实度抽检合格率达100%(46点全合格),但填料质量差为路基沉降埋下质量隐患。农村公路更是就地取土模式,更容易出现填料指标超标(如超过最佳含水率8%~10%)、含腐殖质等问题,沉降风险更高^[3]。

3.1.2 沉降期不足

有研究表明,沉降期每缩短1个月,沉降量平均增加0.4~0.6 cm,该项目从开工到主线完工仅28个月,其中路基施工周期仅12个月,远短于一级公路常规18~24个月的施工周期(含自然沉降期)。观测数据显示,某标段填方路基填筑高度普遍达16~22 m,未经工后沉降和完整自然沉降(规范要求填筑完成后自然沉降6~12个月或1个雨季),主线完工后1年内沉降量达8 cm。农村公路建设通常面临工期紧、任务重的情况,为按时完成建设任务,往往缩短甚至取消自然沉降期,导致路基在通车后持续沉降,影响公路使用性能^[4]。

3.1.3 排水系统施工滞后

通常情况,排水系统未按设计施工或堵塞率达30%以上时,雨季路基沉降量较排水正常路段增加30%~50%。交工验收时发现“部分上边坡截水沟未设置或设置不合理”,如K35+500~K37+700段因土地规划调整,截水沟未按设计施工,导致雨季雨水直接冲刷路基边坡,加速土体失稳。农村公路更易出现排水设施缺失问题,如某农村公路仅50%路段设置边沟,且30%边沟存在堵塞,雨水渗入路基引发沉降^[5]。

3.2 地质与环境因素

该项目的地质与环境条件虽优于农村公路,但仍暴露了“特殊地质+气候变化”对路基的影响,为农村公路建设提供了参考。

3.2.1 特殊地层影响

项目沿线部分路段(如某标段K41+150~K41+190)存在粉质黏土夹层,该土层含水率随季节变化波动幅度大(雨季达30%,旱季降至15%),导致路基土体出现弹簧现象,加速路基沉降。农村公路经常出现穿越湿陷性黄土、膨胀土的路段,此类

问题更为突出^[6]。

3.2.2 极端天气诱发沉降

2021年A地区雨季降雨量较常年增加20%,检测显示降雨后路基弯沉值平均上升12%,从146.28(0.01 mm)升至163.8(0.01 mm),反映雨水渗入导致路基强度下降。农村公路因路面等级低(多为水泥混凝土路面,裂缝多)、排水差,雨水更易渗入路基,极端天气下沉降风险呈倍数增加^[7]。

3.3 设计因素

该项目设计虽符合规范,但部分参数未充分考虑实际条件,与农村公路“照搬标准、脱离实际”的设计问题如出一辙。

3.3.1 交通荷载预估不足

项目按日均交通量为1.2万辆(标准车)进行设计,但通车后实际日均交通量达1.8万辆,超载车辆占比更是达15%(设计允许5%),导致路基长期超负荷运行。农村公路还要服务于农业生产,农用货车发挥了重要运输作用,然而农村公路超载问题严重且普遍,设计时若未充分考虑这一实际情况,将导致路基承载能力不足,加速路基沉降^[8]。

3.3.2 边坡防护设计保守

新建段路基边坡设计坡率为1:1.5(规范允许值),但某标段高填方路段(填筑高度大于5 m)未采取有效措施(如增加土工材料),导致边坡滑移。农村公路高填方路段(如山区路段填筑高度3~5 m)多采用1:1.25的陡边坡,且无防护措施,滑移风险更高。农村公路建设过程中,为节省建设成本,往往简化边坡防护设计,采用陡边坡,且不设置防护设施,在外界因素影响下,极易发生边坡滑移,引发路基沉降^[9]。

4 案例处治措施

4.1 针对性处治技术

该项目针对不同沉降类型采取的差异化措施,可直接为农村公路提供技术参考。

4.1.1 裂缝型沉降:注浆+铣刨加铺

对该项目6处路面深度裂缝路段,采用“钻孔压浆(压力0.4~0.8 MPa)+上面层铣刨加铺(4 cm SMA-13)”技术,压浆材料选用水泥浆液(水灰比1:1),检测显示处治后路段弯沉值降至135(0.01 mm),合格率从96.4%提升至100%,处置具体方式见图1。农村公路可简化为“低压注浆(压力0.4~0.6 MPa)+水泥混凝土面板修复”,成本仅为该项目的1/3,适合资金

有限的场景^[10]。

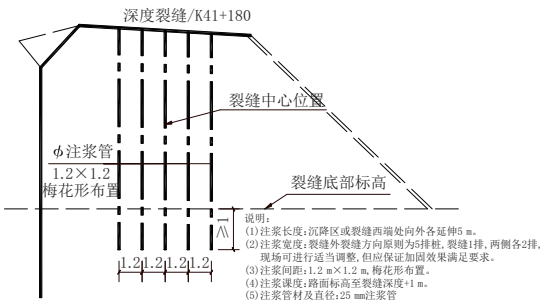


图1 案例中K41+180处裂缝注浆处治示意图

4.1.2 滑移型沉降:钢花管桩+坡脚防护

某标段4处边坡滑移路段采用“钢花管桩(直径108 mm,间距1.2 m,深度10~14 m)注浆加固”措施,处治后边坡稳定性系数从1.15提升至1.35(规范要求不小于1.25),处置方式见图2。农村公路可采用“木桩(直径15~20 cm,间距2 m)+编织袋装土反压”,成本更低,适合小型滑移路段。

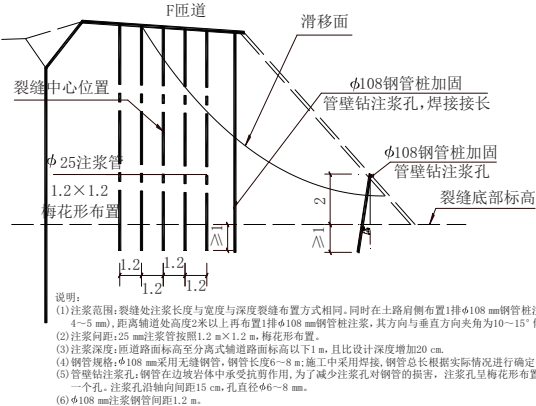


图2 案例中F匝道钢管桩注浆加固示意图

4.1.3 持续型沉降:临时处置+长期观测

对17处未收敛沉降路段,先采用开普封层(厚度1.2 cm)临时处治,封层材料选用乳化沥青+碎石(粒径7~8 mm),检测显示封层后路面摩擦系数达81.8(规定值不小于54),满足临时通行要求;同时布设沉降观测点(间距50m)见表1,采用GNSS监测(精度±2 mm),待沉降速率小于0.5 mm/月后再铣刨加铺。农村公路可采用“沥青表处(厚度0.8 cm)+人工沉降观测(每月1次)”的方式,成本仅需2万元/km,兼顾经济性与实用性^[11]。

表1 案例观测点位表

序号	区域	里程桩号(含高度信息)
1	A 主线右幅	(K40+970,回填高度11 m)
2	A 主线右幅	(K41+020,回填高度21 m)
3	A 主线右幅	(K41+070,回填高度22 m)
4	A 主线右幅	(K41+120,回填高度18 m)
5	A 主线右幅	(K41+170,回填高度14 m)

续表

序号	区域	里程桩号(含高度信息)
6	A 主线左幅	(K40+970,回填高度14 m)
7	A 主线左幅	(K41+020,回填高度21 m)
8	A 主线左幅	(K41+070,回填高度22 m)
9	A 主线左幅	(K41+120,回填高度18 m)
10	A 主线左幅	(K41+170,回填高度11 m)
11	A 主线左幅	(K41+199,回填高度9 m)
12	A 主线左幅	(K41+199,回填高度8 m)
13	A 主线左幅	(K40+704,回填高度4 m)
14	A 主线左幅	(K40+728,回填高度7 m)
15	A 主线左幅	(K40+758,回填高度12 m)
16	A 主线左幅	(K40+792,回填高度13 m)
17	B 主线	(JK33+660,回填高度15 m)
18	B 主线	(JK33+710,回填高度20 m)
19	B 主线	(JK33+760,回填高度19 m)
20	B 主线	(JK33+810,回填高度17 m)
21	B 主线	(JK33+860,回填高度20 m)
22	B 主线	(JK33+910,回填高度19 m)
23	B 主线	(JK33+960,回填高度17 m)
24	B 主线	(JK34+230,回填高度12 m)
25	B 主线	(JK34+280,回填高度19 m)
26	B 主线	(JK34+330,回填高度20 m)
27	B 主线	(JK34+380,回填高度19 m)
28	B 主线	(JK34+362,回填高度19 m)
29	B 主线	(JK34+408,回填高度17 m)
30	B 主线	(JK34+441,回填高度13 m)
31	B 主线	(JK34+417,回填高度18 m)
32	B 主线	(JK34+443,回填高度8 m)
33	B 主线	(JK34+461,回填高度13 m)
34	B 主线	(JK34+639,回填高度14 m)
35	B 主线	(JK34+638,回填高度14 m)
36	E 匝道	(EK0+230,回填高度11 m)
37	E 匝道	(EK0+280,回填高度12 m)
38	E 匝道	(EK0+330,回填高度12 m)
39	E 匝道	(EK0+380,回填高度9 m)
40	E 匝道	(EK0+430,回填高度13 m)
41	E 匝道	(EK0+480,回填高度18 m)
42	E 匝道	(EK0+184,回填高度13 m)
43	E 匝道	(EK0+185,回填高度13 m)
44	E 匝道	(EK0+221,回填高度13 m)
45	F 匝道	(FK0+280,回填高度6 m)
46	F 匝道	(FK0+330,回填高度15 m)
47	F 匝道	(FK0+380,回填高度18 m)
48	F 匝道	(FK0+430,回填高度21 m)
49	F 匝道	(FK0+480,回填高度20 m)
50	G 匝道	(GK0+110,回填高度20 m)
51	G 匝道	(GK0+160,回填高度20 m)
52	G 匝道	(GK0+210,回填高度20 m)
53	G 匝道	(GK0+260,回填高度19 m)
54	G 匝道	(GK0+310,回填高度18 m)

续表

序号	区域	里程桩号(含高度信息)
55	G 匝道	(GK0+360, 回填高度 19 m)
56	G 匝道	(GK0+410, 回填高度 16 m)
57	G 匝道	(GK0+460, 回填高度 13 m)
58	G 匝道	(GK0+510, 回填高度 14 m)
59	H 匝道	(HK0+110, 回填高度 20 m)
60	H 匝道	(HK0+160, 回填高度 19 m)
61	H 匝道	(HK0+210, 回填高度 18 m)
62	H 匝道	(HK0+260, 回填高度 12 m)
63	H 匝道	(HK0+310, 回填高度 12 m)
64	A 右侧辅道	FD(K41+215, 回填高度 4 m)
65	A 右侧辅道	FD(K41+188, 回填高度 6 m)
66	A 右侧辅道	FD(K41+172, 回填高度 9 m)
67	A 右侧辅道	FD(K41+116, 回填高度 17 m)
68	A 右侧辅道	FD(K41+064, 回填高度 22 m)
69	A 左侧辅道	KZ(K41+170, 回填高度 14 m)
70	A 左侧辅道	KZ(K41+200, 回填高度 11 m)

4.2 系统性防控体系

该项目建立的全周期防控体系,对农村公路具有“降维适用”价值。

4.2.1 施工管控

该项目要求填料含泥量不大于 15%,压实度采用“双指标控制”(重型击实标准+现场压实度检测),每层碾压后需加强监理验收,建设单位和质监机构应加大检查频次。农村公路可简化为“填料含水率控制在最佳含水率±2%以内,压实度采用灌砂法抽检(每 200 m 1 点)”,确保压实度不小于 93%(路床)。通过加强施工过程中的填料质量和压实质量管控,从源头上降低农村公路路基沉降风险。

4.2.2 排水优化

针对截水沟缺失问题,该项目后期补建浆砌片石截水沟(断面尺寸 40 cm×40 cm),并在试运营期建立“清理、雨季巡查”制度。农村公路可采用“土质边沟(断面 30 cm×30 cm)+清理”的方案,该方案成本低且易维护,同时在高边坡路段增设急流槽,防止雨水冲刷路基边坡,减少雨水对路基的破坏。

4.2.3 观测预警

该项目建立“施工期(每 7 d 1 次)+试运营期(每 30 d 1 次)”的沉降观测体系,当沉降速率大于 3 mm/月时启动应急响应(限速、封闭车道)。农村公路可建立“简易观测体系”:采用水准仪每月观测 1 次,当沉降量大于 5 cm 时及时修复,避免病害扩大。通过建立简易可行的观测预警体系,及时发现和处理农村公路路基沉降问题,防止病害进一步发展。

5 农村公路路基全寿命沉降防治的启示

5.1 设计阶段

5.1.1 地质勘察

借鉴该项目“详细勘察+重点路段加密”的思路,农村公路可采用“钻探(每 500 m 1 孔)+人工探坑(每 200 m 1 个)”的轻量化勘察方案,重点查明软土、湿陷性黄土等特殊地层分布,避免因勘察疏漏导致设计缺陷。

5.1.2 参数设计

参考该项目“交通荷载修正”经验,农村公路设计时应考虑农用货车超载因素,将路基承载能力提高 10%~15%;边坡坡率根据填筑高度调整,高度大于 3 m 时采用 1:1.5,避免陡边坡设计^[12]。

5.2 施工阶段

5.2.1 填料质量

学习该项目“填料取样检测(每 5 000 m³ 1 组)”制度,农村公路可采用“肉眼鉴别+简易筛分”方法,禁止使用腐殖土、“弹簧土”,含水率超标时采用晾晒或掺灰(石灰掺量 3%~5%)处理,降低沉降风险^[13]。

5.2.2 压实过程

参考 A 市快速路“压实度双指标控制”的经验,结合农村公路“小型设备为主”的施工条件,采用“分层碾压+高频抽检”模式:选用 12 t 以下小型压路机(农村狭窄作业面),每层填筑厚度不大于 30 cm,碾压次数不少于 6 遍;路床压实度必须不小于 93%(低于此标准立即补压)^[14]。

5.2.3 施工周期

借鉴该项目“自然沉降期不足导致沉降”的教训,农村公路应在施工计划中预留 3~6 个月的自然沉降期,高填方路段(大于 3 m)沉降期延长至 6 个月,避免“抢工期”埋下隐患。

5.3 运营阶段

5.3.1 日常养护

汲取 A 市快速路边坡滑移的教训,农村公路日常养护需以防、排、截水为核心:每季度组织护路员或养护工清理截水沟、边沟与急流槽,雨季前集中检查排水设施;发现路面裂缝(宽度大于 3 mm)时,及时采用乳化沥青简易灌缝(每 m 成本仅 5 元,操作简单),阻止雨水通过裂缝下渗至路基^[15]。

5.3.2 沉降观测

建立“设计-施工-运营”数据共享台账,设计阶段地质勘察数据作为施工阶段质量控制的基准,施工阶段沉降数据作为运营阶段观测的初始值。同

时,设计阶段勘察孔、施工阶段沉降观测点、运营阶段永久观测点尽量重合。农村公路建立简易观测机制:用红漆标记固定观测点(标注高程),由村路监督员(每村1名,培训1 h即可上岗)每月用水准仪观测1次,记录高程变化;当单次沉降量大于3 cm或累计沉降量大于5 cm时,立即上报乡镇交管站,启动简易处置(如裂缝灌缝)^[16]。

5.3.3 应急处置

针对A市快速路持续沉降临时处置的经验,农村公路需储备低成本应急物资:每个乡镇交管站储备500条编织袋、20根木桩、1 t乳化沥青(总储备成本约1万元),当发生边坡轻微滑移或局部沉降时,立即组织村民开展应急处置——边坡滑移用“袋装土反压坡脚+木桩固定”,局部沉降用“乳化沥青表处临时封闭”,待条件成熟后再实施永久修复^[17]。

6 结 语

快速路作为高等级公路,其路基沉降问题虽在规模与危害上远超农村公路,但核心原理(施工缺陷、地质影响、排水不足)与农村公路高度一致,防治措施也具有适配的可行性。农村公路在借鉴该案例经验时,更要立足“低成本、易操作、本土化”原则,从设计、施工、运营全周期优化防控措施,才能有效减少路基沉降病害,延长公路使用寿命,为乡村振兴提供可靠的交通保障。同时,该案例也警示:无论公路等级高低,“质量优先”都是避免路基沉降的核心前提。

(上接第295页)

援^[16],建议在隧道适当位置增加微型消防站并配备企业消防队,每年至少组织2次应急疏散演练。

参考文献:

- [1] 沈婕青.以消防性能化设计思路优化双线隧道间人行横通道的设置[J].隧道与轨道交通,2017(3):9-13;61.
- [2] 杨武广.浅析钱江隧道疏散通道设置问题[J].中外建筑,2017(11):155-162.
- [3] GB 50016—2014 建筑设计防火规范(2018年版)[S].
- [4] DG/TJ 08—2033—2017 J11197—2017 道路隧道设计标准[S].
- [5] 黄益良,崔扬扬,耿学丽.盾构隧道楼梯间距设计参数研究[C]//中国消防协会科学技术年会论文集.北京:中国消防协会,2023:244-248.
- [6] 邹瑞.长大高速公路单隔墙隧道火灾人员疏散模拟与策略[J].城市与减灾,2025(3):36-41.
- [7] 欧阳卫华.超大特长盾构隧道消防设计研究[J].消防技术与产品信息,2018,31(11):20-24.
- [8] 奚学东,姜学鹏.公路盾构隧道纵向疏散口间距设计[J].科技通

参考文献:

- [1] JTG D30—2015 公路路基设计规范[S].
- [2] JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[S].
- [3] 张国栋.农村公路路基不均匀沉降的成因与处治方法[J].公路交通科技(应用技术版),2021,17(6):189-191.
- [4] 赵磊.农村公路路基施工质量控制与沉降防治[J].交通世界,2019(36):126-127.
- [5] 李明.农村公路路基沉降机理及防治技术研究[J].交通标准化,2023(8):78-81.
- [6] 黄丽.公路路基沉降预测与防治措施研究[J].中国建材科技,2018(4):145-146.
- [7] 卢青峰.高速公路软土路基工程施工及质量控制分析[J].科技创新与应用,2023,13(16):162-165.
- [8] 田久广.农村公路改扩建路基差异沉降影响因素分析[J].交通世界,2024(13):19-21.
- [9] 刘芳.农村公路边坡差异化防护设计与沉降控制研究[J].工程技术研究,2024,9(3):142-145.
- [10] 佚名.农村公路路基病害产生的原因与应对策略[J].大科技,2021(15):105-106.
- [11] 周健.农村公路路基沉降预测模型及智慧监测技术应用[J].测绘通报,2023(7):128-132.
- [12] 王捷,李昶.山西农村公路路基路面整体设计与关键技术研究[D].南京:东南大学,2022.
- [13] 周明.农村公路路基填料改良技术应用研究[J].路基工程,2022(3):198-202.
- [14] 刘军.农村公路路基施工中常见问题及解决对策[J].北方交通,2022(7):89-91.
- [15] 王丽.基于全寿命周期的农村公路路基养护策略研究[J].交通节能与环保,2021,17(5):132-134.
- [16] 郑伟.农村公路路基沉降观测技术优化及应用[J].测绘与空间地理信息,2021,44(8):210-212.
- [17] 张强.山区农村公路路基边坡稳定性分析及防护措施[J].工程技术研究,2023,8(12):156-158.

报,2015,31(8):254-258.

- [9] 赵建龙,韩荣.基于BIM技术的特长隧道火灾烟气扩散模拟及防控策略[J].智能建筑与智慧城市,2025(8):102-104.
- [10] 肖荣.消防设施有效性对城市交通隧道内人员可用安全疏散时间的影响研究[J].今日消防,2024,9(10):8-10.
- [11] 王明年,田源,于丽,等.基于隧道火灾蔓延下的车辆引燃时间预测研究[J].中国安全科学学报,2018,28(12):46-51.
- [12] 蔡鑫.基于事故树的水下隧道火灾概率风险分析[J].城市道桥与防洪,2019(9):192-196.
- [13] 李远哲,安文娟,谢耀华,等.公路隧道人员疏散速度与个体属性相关性研究[J].公路交通技术,2022,38(3):131-137.
- [14] SFPE handbook of fire protection engineer, 5th edition[S].
- [15] 魏有军.浅谈特长隧道运营节能与安全保障措施[J].交通节能与环保,2025,21(4):23-26.
- [16] 赵强,郭淞,毕强.公路隧道疏散救援关键技术:以北京东六环特长盾构隧道为例[J].隧道建设(中英文),2021,41(增刊2):429-437.