

浅埋铁路隧道下穿营运高速公路路基的安全管控研究

——以新独山隧道为例

余海龙

(贵州高速公路集团有限公司都匀营运管理中心, 贵州 黔南州 558000)

摘 要: 铁路隧道下穿营运高速公路涉及建设、施工、监测及公路营运等多个管理主体, 施工期间的组织协调和安全管控要求较高。特别是在隧道浅埋、围岩破碎及岩溶发育等不良地质条件下, 开挖扰动可能引起高速公路路基沉降、路面开裂和排水设施损坏, 并对车辆通行安全造成影响。以黔桂铁路增建二线新独山隧道下穿兰海高速独山互通匝道路基工程为背景, 从高速公路营运管理单位角度分析下穿施工面临的主要风险及管理难点, 提出涵盖施工方案审查、既有道路调查、施工信息报送、自动化监测、人工巡查、分级预警、交通管制和恢复评估等环节的全过程管控体系。结合隧道与高速公路的交叉关系、围岩条件及交通组织要求, 明确施工前、施工期间及施工完成后的管理重点, 建立监测异常、工程处置与交通管控相衔接的联动机制。通过综合分析施工信息、监测数据和现场巡查结果, 并加强各参与单位之间的协同处置, 提高铁路隧道下穿施工期间高速公路营运风险的主动防控能力。研究认为, 高速公路营运单位应由施工信息的被动接收方转变为工程安全管理的全过程参与方, 将路基结构安全、车辆通行安全和施工风险控制纳入统一管理。相关管理方法可为铁路隧道、市政隧道及其他地下工程下穿营运高速公路的安全管理提供参考。

关键词: 铁路隧道; 高速公路营运; 安全管理; 监测预警; 交通组织

中图分类号: U455 **文献标识码:** A **文章编号:** 3134-9803(2026)04-0010-03

1 工程概况及运营风险

1.1 工程交叉情况

黔桂铁路增建二线新独山隧道进口里程为YDK375+180, 出口里程为YDK375+605, 全长425 m。隧道YDK375+536~YDK375+554段下穿兰海高速独山互通匝道路基, 下穿长度约18 m, 隧道轴线与高速公路近似垂直相交, 交叉角约90°。高速公路下穿位置为互通匝道路基, 采用沥青路面, 路宽约18 m。隧道拱顶距高速公路地面约4.87~5.58 m, 属于浅埋近接施工。下穿段围岩等级为V级, 主要岩性为灰岩、白云质灰岩、白云岩及泥质灰岩夹页岩。岩体节理裂隙较发育, 局部页岩夹层遇水容易软化。钻探、孔内电视及声波测井结果表明, 岩体完整性指数约为0.33, 整体完整程度为破碎。隧址区岩溶中等至强烈发育, 地下水主要为岩溶裂隙水, 预测正常涌水量约250 m³/d, 最大涌水量约625 m³/d。

1.2 路基结构风险

由于下穿段隧道埋深较小, 开挖引起的围岩扰动容易向上覆路基传递。当超前注浆加固效果不佳、开挖进尺控制不当、实际围岩条件与地质勘察资料存在偏差, 或初期支护未能及时封闭成环时, 拱顶

围岩可能产生松弛变形, 进而导致上覆高速公路路基发生沉降。路基变形不仅表现为整体下沉, 还可能因地质条件及结构部位差异产生不均匀沉降。其中, 隧道轴线上方、路基边缘、填挖交界处及岩溶破碎带分布区域往往对施工扰动较为敏感, 容易产生局部变形。

1.3 地下水及岩溶风险

下穿段岩溶裂隙水较发育, 隧道开挖和注浆可能改变地下水原有流动路径。当施工揭露富水裂隙、溶洞或破碎带时, 可能发生涌水、涌泥和岩土细颗粒流失。此类风险具有较强的隐蔽性。路基内部局部脱空形成初期, 地表未必立即出现明显病害; 随着车辆荷载持续作用, 可能进一步发展为路面沉陷。因此, 洞内涌水量、注浆量、出水浑浊程度及强降雨后的路基状态均应纳入风险研判范围。

1.4 交通运行风险

该工程位于高速公路互通匝道范围, 车辆运行过程中存在转弯、加减速以及汇入、汇出等特点, 对路面平整度和横坡稳定性要求较高。当施工扰动导致路面出现局部沉陷、横坡变化或排水不畅时, 可能对车辆的侧向稳定性、制动性能及行驶舒适性产生不利影响。若下穿施工期间继续维持匝道通行,

车辆荷载将与隧道开挖引起的地层扰动共同作用于路基,可能进一步加大局部变形及病害发展的风险。

2 下穿工程运营管理难点

2.1 多主体协同治理难度较大

铁路隧道下穿高速公路涉及铁路建设、设计、施工、监理、第三方监测、高速公路营运及交通管理

等多个单位,各方管理职责和关注重点存在差异。铁路参建单位主要关注隧道围岩稳定、支护结构及施工安全,营运单位则侧重路基路面状态、交通安全和道路服务水平。若施工前未对信息报送、预警确认、停工封路及应急处置等职责作出明确约定,发生异常时易出现信息传递不及时、处置意见不统一等问题。

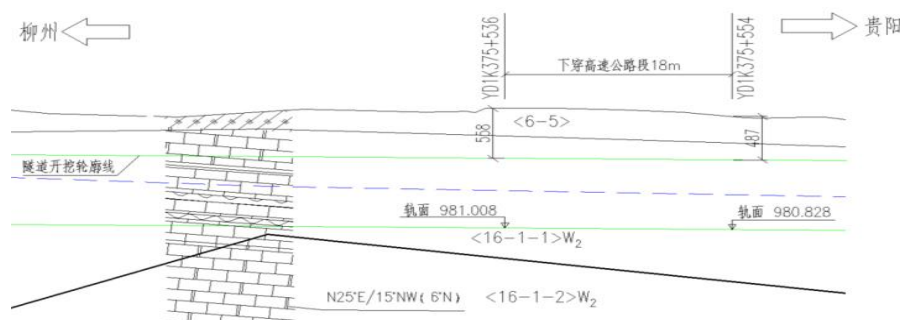


图1 新独山隧道下穿兰海高速独山互通匝道路基纵断面示意图

2.2 施工信息与运营监测衔接有待加强

营运单位通常能够获取地表沉降监测数据,但对掌子面位置、开挖进尺、围岩揭示、洞内涌水及注浆情况掌握不足,仅依靠单一地表监测结果难以准确判断异常原因及发展趋势。同时,监测数据还可能受车辆荷载、测点扰动和设备故障等因素影响。因此,应将施工进度、洞内监测、地表变形及道路巡查结果进行综合分析,提高风险研判的准确性。

2.3 工程处置与交通管理联动有待加强

监测异常后,施工单位通常采取缩短开挖进尺、加强支护、补充注浆或暂停施工等工程措施,营运单位则根据道路风险实施限速、限道、封闭和车辆分流。若工程处置与交通管控缺乏统一的分级响应机制,可能造成处置措施不同步。此外,掌子面通过高速公路下方后,受围岩后续收敛、地下水变化等因素影响,路基变形仍可能继续发展。因此,营运单位不宜仅以开挖结束作为解除管制和终止监测的依据,还应设置必要的观察期,并开展路基路面专项检查 and 恢复评估。

3 高速公路营运单位全过程管控体系

高速公路营运单位应提前参与涉路工程设计和施工方案审查,重点核查隧道与路基的空间关系、最小埋深、围岩及岩溶水文条件、超前支护与注浆范围、监测布置、异常停工措施和交通组织方案。对于浅埋、V级围岩及岩溶发育段,应组织专项技术论证,并将营运单位提出的路基安全、交通管控

和恢复验收要求纳入施工方案。施工前应对隧道影响范围内的既有道路开展基础调查,记录路面高程、横坡、裂缝、沉陷、车辙及修补情况,同时检查排水沟、路缘石、防撞护栏、挡墙和边坡等附属设施。调查范围应适当向下穿段两侧延伸,成果采用文字、照片、视频和测量数据共同留存,并由铁路建设、施工及高速公路营运单位共同确认,为施工后病害判定和道路恢复提供依据。施工期间应建立信息报送和联合研判机制。施工单位定期报送掌子面里程、开挖进尺、围岩揭示、洞内涌水、超前预报、注浆及支护完成情况。当掌子面进入高速公路影响区,或出现岩溶、富水破碎带、涌水突增及支护异常时,应及时向营运单位报告。营运单位则根据施工进度、监测数据和现场巡查结果,对道路风险进行动态判断,避免隧道施工信息与公路运营管理相互脱节。

4 结论

浅埋铁路隧道下穿营运高速公路兼具岩土工程风险与道路运营风险,多单位协同壁垒、施工与运营信息割裂等问题显著增大安全管理难度。本文结合新独山隧道实际工程案例,识别下穿施工诱发的各类运营风险,剖析运营管理突出难点,提出贯穿施工前期与施工阶段的全过程管控举措。相关管理思路能够填补下穿工程中高速公路营运方管控方法的不足,可为同类下穿工程运营安全管理提供借鉴。后续可依托更多实测案例优化预警指标体系,持续完善多方协同应急处置机制。

参考文献:

- [1] 施成华, 彭立敏, 刘宝琛. 浅埋隧道开挖对地表建筑物的影响 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, (19): 3310-3316.
- [2] 王志, 杜守继, 张文波, 等. 浅埋铁路隧道下穿高速公路施工沉降分析 [J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(3): 531-535+572.
- [3] 唐艳. 铁路隧道下穿高速公路工程风险评估管理方法研究 [J]. 现代隧道技术, 2022, 59(3): 220-226.
- [4] 郑俊杰, 包德勇, 龚彦峰, 等. 铁路隧道下穿既有高速公路隧道施工控制技术研究 [J]. 铁道工程学报, 2006, (8): 80-84.
- [5] 叶飞, 丁文其, 熊冬才, 等. 公路隧道下穿已运营铁路隧道施工及安全监控 [J]. 现代隧道技术, 2006, (3): 31-34+41.

Safety Management and Control for a Shallow-Buried Railway Tunnel Undercrossing an Operating Expressway

——A Case Study of the New Dushan Tunnel

(Duyun Operation Management Center, Guizhou Expressway Group Co., Ltd., Qiannan Prefecture, Guizhou 558000)

Abstract: The construction of a railway tunnel beneath an operating expressway involves multiple stakeholders, including project owners, contractors, monitoring organizations, and expressway operators, and therefore imposes stringent requirements on inter-organizational coordination and construction safety management. Under unfavorable geological conditions characterized by shallow overburden, fractured surrounding rock, and well-developed karst features, excavation-induced disturbance may result in expressway subgrade settlement, pavement cracking, and damage to drainage facilities, thereby posing potential risks to traffic safety. Taking the New Dushan Tunnel of the additional second-track project of the Guizhou - Guangxi Railway, which passes beneath the ramp subgrade of the Dushan Interchange on the Lanzhou - Haikou Expressway, as a case study, this paper analyzes the principal risks and management challenges associated with undercrossing construction from the perspective of the expressway operator. A comprehensive safety management framework covering construction scheme review, pre-construction investigation of existing road conditions, construction information reporting, automated monitoring, manual inspection, and tiered early-warning management is proposed.

Keywords: railway tunnel; expressway operation; safety management; monitoring and early warning; traffic organization