

Research on maintenance technology and quality control of ultra-thin coating for high speed tunnel

Guixuan Dai

Yunnan Yunling Expressway Engineering Consulting Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650217, China

Abstract

This study is based on the 2025 Qujing Management Office Jiangzhao Expressway Tunnel Cluster Maintenance Project. To address issues such as reduced anti-skid performance and cracking in expressway tunnel asphalt pavements, we explored ultra-thin overlay maintenance techniques and quality control methods. Through analysis of pavement conditions at eight tunnels totaling 5974.7m on the Jiangzhao Expressway, we determined optimal ultra-thin overlay materials and construction parameters, and established comprehensive quality control measures. Experimental results demonstrate that a 2.5cm thick UTO10 porous ultra-thin overlay with flame retardant additives, combined with precision milling techniques, can effectively enhance pavement safety and durability. This approach elevates the pavement's Standardized Resistance Index (SRI) to 85+ while maintaining a Pavement Condition Index (PCI) of 98+, extending pavement lifespan by 5-8 years. The findings aim to provide technical support for expressway tunnel pavement maintenance.

Keywords

high-speed tunnel; ultra-thin coating; maintenance process; quality control

高速隧道超薄罩面养护工艺与质量控制研究

代贵选

云南云岭高速公路工程咨询有限公司, 中国 · 云南 昆明 650217

摘要

本研究以2025年曲靖管理处, 江召高速隧道群养护工程为依托。针对高速隧道沥青路面抗滑性能下降、裂缝等病害, 探索超薄罩面养护工艺, 及质量控制方法。通过对江召高速, 8个总长5974.7m隧道路面状况进行分析, 确定超薄罩面材料和施工参数, 制定全流程质量控制措施。实验证明, 2.5cm厚、添加阻燃剂的UTO10空隙型超薄罩面配合精铣刨等工艺, 可有效提升路面安全性与耐久性, 将路面SRI提升至85+, PCI维持98+, 延长路面寿命5-8年, 以期为高速隧道路面养护提供技术保障。

关键词

高速隧道; 超薄罩面; 养护工艺; 质量控制

1 引言

高速隧道因车辆尾气、光照、高湿度等特殊环境易使抗滑性能降低、产生裂缝等病害, 影响行车安全。以江召高速公路隧道群为例, 2024年检测部分隧道路面SRI最低值67.69, 存在较大安全隐患。超薄罩面养护以2—3cm超薄、施工速度快、对隧道净空影响小等特点, 成为高速公路预防性养护的主要选择。本文以江召高速隧道群养护工程为例, 从超薄罩面养护工艺、超薄罩面养护质量控制措施两方面进行研究, 以期改善隧道路面状况, 提升使用性能。

2 江召高速隧道路面技术状况分析

2.1 工程概况

江召高速公路隧道群共8个隧道, 总长5974.7m, 均为双向四车道, 设计速度80km/h。隧道路面结构自上而下为4cmSBS改性SMA-13细粒式沥青混凝土、中分6cmAC-20C中粒式沥青混凝土(抗车辙剂)、下部8cmAC-25C粗粒式沥青混凝土。2024年11月人工病害调查与检测隧道路面, 主要病害为抗滑性能衰减、局部裂缝, 典型病害路段如表1所示:

2.2 病害成因分析

抗滑性能衰减: 隧道内车辆长时间制动, 轮胎在路面表面磨损严重, 局部出现骨料外露; 隧道内湿度大, 路面易形成水膜, 轮胎与路面摩擦力减小^[1]。隧道2K1655+000~K1656+000段, 雨天水膜厚度可达2mm, SRI值降低到67.69, 易导致车辆打滑。

【作者简介】代贵选 (1990-), 男, 中国云南宣威人, 本科, 工程师, 从事高速公路工程施工与养护研究。

表1 江召高速公路技术状况评定结果一览表(节选)

隧道名称	桩号范围	主要病害	SRI 均值	PCI 均值
隧道1	K1650+000~K1651+000	抗滑性能衰减	80.53	98.75
隧道2	K1655+000~K1656+000	抗滑性能衰减、局部裂缝(缝宽≤3mm)	67.69	97.77
隧道3	K1660+000~K1661+000	抗滑性能衰减	71.66	98.59

裂缝产生: 隧道进出口温差大(15℃), 路面热胀冷缩, 产生温度应力, 导致局部裂缝; 车辆荷载反复作用, 路面结构层疲劳损伤, 形成反射裂缝。隧道3K1660+000~K1661+000存在多处横向裂缝, 宽度≤3mm。

材料老化: 隧道内车辆尾气中的NOx、CO等有害物质加速了沥青的老化, 使沥青变硬、变脆, 路面抗裂性能下降, 局部剥落^[2]。隧道1K1650+000~K1651+000存在路面边缘2m²剥落。

3 高速隧道超薄罩面材料选型

3.1 沥青胶结料

采用SBS改性沥青, 技术指标如下表所示, 其针入度(25℃, 100g, 5s)为50-80(0.1mm), 软化点≥75℃, 5℃延度≥30cm, 135℃运动黏度为1.0-3.0Pa·s。保障材料有良好的高低温性能和粘结性能, 适应隧道内温差变化。

表2: 粘层用改性乳化沥青技术要求

试验项目	技术要求	试验方法
针入度(25℃, 100g, 5s)(0.1mm)	50-80	T0604
延度(5℃, 5cm/min)(cm)	≥30	T0605
软化点(℃)	≥75	T0606
135℃运动黏度(Pa·s)	1.0-3.0	T0625、T0619
闪点(℃)	≥230	T0611

3.2 集料

粗集料: 采用玄武岩, 质地较坚硬, 表面较粗糙, 压

碎值<20%, 洛杉矶磨耗损失<25%, 磨光值>42BPN, 确保超薄罩面具有较好的抗滑性能和耐磨性。江召高速隧道超薄罩面施工中, 粗集料粒径主要控制在4.75mm到9.5mm之间, 占60%到70%。

细集料: 采用石灰岩机制砂, 砂当量值大于或等于65%, 亚甲蓝值不大于2.5g/kg, 确保细集料干净, 无杂质, 可与沥青粘结。

填料: 采用石灰岩矿粉, 表观密度≥2.5t/m³, 含水量≤1%, 粒度符合规范要求, 增强沥青混合料稳定性。

3.3 超薄罩面混合料

采用UTO-10空隙型级配, 矿料级配如下表所示, 空隙率为10%~18%, 确保混合料具有良好的排水性, 避免隧道内形成水膜; 并添加阻燃剂(氢氧化铝), 添加量为沥青质量的3%, 使超薄罩面氧指数≥28%, 满足隧道防火要求。

4 高速隧道超薄罩面养护工艺

4.1 施工准备

原路面病害处治: 对隧道内裂缝、剥落等病害进行预处理(如图1所示)。缝宽≤3mm的裂缝采用加热型密封胶灌缝, 缝宽>3mm的裂缝采用开槽扩缝(15mm×20mm)后灌缝; 剥落处采用铣刨至原沥青中面层底(处治宽度≥2.5m), 铺设玻纤格栅, 喷洒PCR改性乳化沥青, 回填6cm厚SBS改性AC-20C(抗车辙剂)+4cm厚SBS改性AC-13C沥青混凝土。隧道2K1655+000~K1656+000段, 共灌缝500m, 剥落处治25m²。

表3 微表处混合料的矿料级配范围

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)									
	13.2	9.5	7.2	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
MS-3	100	100	83~96	70~90	45~70	28~50	19~34	12~25	7~18	6~12
波动范围	—	—	±4	±4	±4	±4	±4	±3	±3	±2

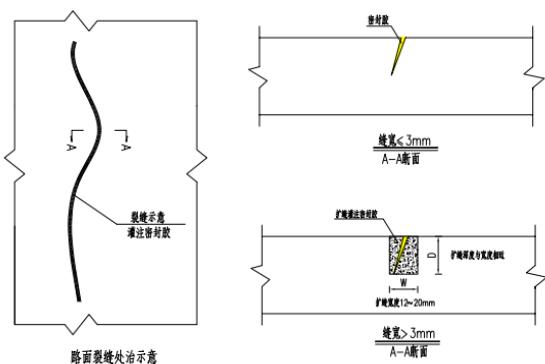


图1: 超薄罩面铺筑前路面纵(横)向裂缝处治

净空测量: 测量隧道净空高度, 确保超薄罩面施工后净空满足规范要求(≥5.0m)。净空不足的隧道, 如K1653+000隧道净空5.05m, 铣刨厚度和新铺厚度一致, 均为2.5cm, 不降低净空; 净空充足的隧道, 如K1650+000隧道净空5.2m, 铣刨1.0cm厚原路面。

材料准备: 提前检测SBS改性沥青、集料、阻燃剂等原材料质量, 保障满足设计要求; UTO-10混合料采用间歇式拌和机拌和, 拌和时间延长5-10s, 拌和温度控制在170-185℃, 储存时间不超过6h。

4.2 精铣刨施工

铣刨参数确定: 用精铣刨机对原路面进行铣刨,

铣刨深度根据净空来定,净空够路段铣刨1.0cm,净空不够路段铣刨2.5cm;铣刨刀间距≤8mm,2m铣刨鼓装1004把刀具,铣刨界面平整,构造深度0.5-0.8mm。K1651+000~K1652+000段铣刨后界面平整度误差≤3mm。

铣刨界面清理:铣刨结束之后,用吸尘车清除界面杂物,再用高压空气机吹净浮灰,使得界面干净、干燥、无污染;铣刨过程中产生的废料集中收集,运往指定地点处置,防止污染隧道环境^[3]。

4.3 同步洒布摊铺

黏层油洒布:用智能型沥青洒布车喷洒SBS改性乳化沥青黏层油,用量0.6~1.0L/m²,洒布温度80~90℃,黏层油均匀,无漏洒、堆积情况。K1654+000到K1655+000段,洒布之后等待乳化沥青破乳(30min左右),再做超薄罩面摊铺。

超薄罩面摊铺:采用专用同步洒布摊铺设备,一次性完成黏层油喷洒、超薄罩面摊铺,时间间隔不大于5s;摊铺温度控制在160℃-170℃之间,摊铺速度2m-3m/min,熨平板预热100℃以上,采用中强夯,初始压实度不小于85%。K1656+000-K1657+000段,摊铺过程中螺旋布料器转速匀速,防止离析。

4.4 碾压施工

碾压设备选型:采用11-13吨双钢轮压路机,禁止使用轮胎压路机,避免出现推移;分初压、复压、终压3步,初压温度≥150℃,复压温度≥140℃,终压温度≥90℃。

碾压工艺参数:初压静压2遍,碾压速度2~3km/h;复压振动碾压3遍,振动碾频率30~50Hz,振幅0.3~0.5mm,碾压速度3~4km/h;终压静压2遍,碾压速度3~6km/h。K1657+000~K1658+000段碾压后超薄罩面压实度≥96%(试验室标准密度),平整度 $\sigma\leq1.5mm$ 。

4.5 养护与开放交通

初期养护:超薄罩面摊铺碾压完成后,严禁车辆、行人通行,养护时间≥4h,确保罩面充分成型;养护期间,开启通风设备降低隧道内湿度,防止罩面早期水损坏,K1658+000~K1659+000段养护期间隧道内湿度控制在60%以下。

开放交通:罩面表面温度低于50℃时开放交通,初期限速60km/h,24小时后恢复正常限速。开放交通后定期清扫路面,避免杂物堆积影响罩面。K1659+000-K1660+000段,开放交通1周内,日均清扫2次。

5 高速隧道超薄罩面质量控制措施

5.1 原材料质量控制

进场检验:原材料进场时,查验出厂合格证、检测报告,对SBS改性沥青、集料、阻燃剂等抽样检测,SBS改性沥青每批检测针入度、软化点、延度等指标,集料每批检测压碎值、磨光值、级配等指标,不合格材料不得进场。如江召高速隧道养护中,共检测沥青批次12次,集料批次8次,

合格率100%。

存储管理:SBS改性沥青储存在带搅拌的储罐中,使用前搅拌均匀;集料分仓堆放,隔墙分隔,避免混料;阻燃剂密封防潮防晒。K1660+000附近料场,集料堆放仓容积≥500m³,隔墙2m,确保存储质量。

5.2 施工过程质量控制

铣刨质量控制:每500m检测铣刨深度、界面平整度、构造深度,铣刨深度允许偏差±0.1cm,平整度误差3mm,构造深度0.5-0.8mm。K1661+000~K1662+000段共检测10个断面,合格率98%。

摊铺质量控制:每隔100m测一次摊铺厚度、温度,摊铺厚度允许偏差为-10%,温度控制在160℃-170℃,采用随机抽样法检测混合料级配、油石比,级配允许偏差为±2%,油石比允许偏差为±0.3%。K1662+000-K1663+000段共随机抽样检测混合料20组,合格率95%。

碾压质量控制:每200m测压实度、平整度,压实度≥96%, $\sigma\leq1.5mm$;钻芯法检测压实度,每1km芯3个。K1663+000~K1664+000段芯检压实度均值97.2%,满足设计要求。

5.3 交工验收质量控制

外观质量验收:检查超薄罩面表面平整、均匀,没有离析、划痕、泛油等现象;接缝处紧密,平顺,高差≤3mm。K1664+000~K1665+000,外观质量合格,没有明显问题。

性能指标检测:检测路面SRI、PCI、RQI(路面行驶质量指数)等指标,SRI≥85,PCI≥98,RQI≥94。如江召高速隧道群养护后8个隧道路面SRI均值88.6,PCI均值98.5,RQI均值94.8,均满足规范要求;检测超薄罩面厚度、抗滑性能、渗水系数,厚度均值2.5cm,构造深度≥0.6mm,渗水系数≤10mL/min。

6 结论

本文依托江召高速隧道群养护工程,探究隧道路面抗滑衰减及裂缝等病害,并对超薄罩面养护工艺及质量控制方法展开研究。实践证实,2.5cm加3%阻燃剂的UTO-10空隙型超薄罩面,精铣刨(刀间距≤8mm)、同步洒布摊铺(160℃左右)、分阶段碾压(压实度≥96%)工艺,可有效治理病害,养护8个隧道SRI均值88.6、PCI均值98.5,使用寿命可延长5年左右,施工对隧道净空影响较小,质量控制措施可为类似工程预防性养护提供参考。

参考文献

- [1] 赵振兴.改性超薄罩面在隧道路面抗滑处治中的应用[J].运输经理世界,2020,(16):105-106.
- [2] 杨耀森.常温超薄罩面在隧道路面养护中的应用[J].运输经理世界,2023,(06):133-135.
- [3] 宁瑞林,崔亚萍,李劲,等.低噪音超薄罩面在长大隧道工程中的应用分析[J].中国公路,2022,(08):104-106.