

# Application of Painting Safety Quality Improvement in East Tianshan Tunnel

Qipeng Ye Hua Fan

China Communications First Public Bureau Group Co., Ltd., Beijing, 100024, China

## Abstract

As a control project in the cold area of Tianshan Mountains and a scenic spot, the construction and operation quality of the East Tianshan Tunnel directly affects the construction and operation quality of the G575 Barkun-Hami Expressway, and its safety and quality improvement optimization design and guidance the construction and operation will provide safe, energy-saving and intelligent technical support for the tunnel to connect the south and north of Hami Mountain, and it will become a beautiful scenery line of G575 line.

## Keywords

tunnel construction; painting; quality improvement

## 东天山隧道涂装安全品质提升的应用

叶齐鹏 樊华

中交一公局集团有限公司, 中国·北京 100024

## 摘要

作为天山寒区兼为风景名胜区的控制性工程, 东天山隧道建设和运营品质直接影响到G575线巴里坤至哈密高速公路的建设及运营质量, 对其进行安全与品质提升优化设计并指导建设与运营, 将为该隧道连接哈密山南山北、互联互通提供安全、节能与智慧的技术保障, 并成为G575线亮丽的风景线。

## 关键词

隧道施工; 涂装; 品质提升

## 1 工程概况 (引言)

东天山隧道是 G575 线巴里坤至哈密高速公路关键性控制工程, 为分离式四车道特长隧道, 隧道左线长 11740m, 右线长 11760m, 全线设有车行横通 17 处, 人行横通 31 处, 紧急停车带左右两线共 34 处。隧道横穿天山山脉, 最高点位于里程 K13+700 处, 向两侧高程逐渐降低, 天山以北的进口坡面较为平缓, 为削竹式洞门, 天山以南的出口坡面较陡, 为端墙式洞门。

## 2 隧道涂装设计的安全与品质提升

随着材料技术的发展, 目前隧道涂装在防火阻燃、环境亮化、防污耐污性能上有了很大的提升。因此, 结合隧道本身的安全节能等品质化以及景观亮化等多方面的要求, 因隧制宜开展隧道涂装优化设计可达到多功能综合性提升的

效果, 具体优化方向如下。

### 2.1 防火阻燃耐污亮化材料选型

根据前期大量的技术研究和调研, 目前用于隧道涂装的材料除了防火涂料外, 主要有丙烯酸涂料、环氧树脂涂料、陶瓷涂料、氟硅涂料、光催化涂料、纳米硅负离子涂料、有机硅涂料以及蓄能发光多功能涂料等, 不同涂料具有不同的耐污耐久性等, 实验和调研结果如表 1 所示。

研究表明, 隧道涂装耐污性主要受材料性能影响, 同时也与施工工艺有关; 环境增光增亮效果主要由材料及表面颜色决定。

此外, 不同的材料在材料价格和施工价格上差别较大, 根据不同材料的耐污亮化程度不同, 后续养护费用亦不同。就初期投资而言, 不同材料的材料单价和施工单价有一定差异, 由于不同材料的耐污性不同, 对后期的清洗养护费用影响不同, 加之不同材料的反射率和增光增亮效果不同, 对后期的照明运营电费节约效果不同, 综合工程应用的建设成本和后期运营成本, 应用 2.5 年以上, 纳米硅涂料具有明显的

【作者简介】叶齐鹏 (1979-), 男, 中国河北三河人, 本科, 工程师, 从事隧道施工现场安全管理研究。

经济性优势<sup>[1]</sup>。

表 1 不同材料属性

| 序号 | 分类         | 耐污易洁性     | 耐磨耐久性                            | 不燃阻燃性          | 增光增亮度                    |
|----|------------|-----------|----------------------------------|----------------|--------------------------|
| 1  | 瓷砖 / 瓷板    | 耐污性一般     | 强度低, 碰撞易碎, 耐磨 / 强度大, 防撞性能高       | 不燃阻燃           | 反射率 75% 以上               |
| 2  | 水 / 油性环氧涂料 | 耐污性好 / 一般 | 硬度高, 抗划性能好                       | 不燃阻燃 / 稀料油性为可燃 | 反射率 65%                  |
| 3  | 丙烯酸涂料      | 耐污性较差     | 硬度低, 易划伤                         | 不燃阻燃           | 哑光, 反射率 60%              |
| 4  | 陶瓷涂料       | 耐污性一般     | 硬度高, 抗划性能好 (聚硅氧烷 + 硬化剂)          | 不燃阻燃           | 平光, 反射率 75%; 哑光, 反射率 60% |
| 5  | 有机硅涂料      | 耐污性较好     | 硬度中等, 易划伤                        | 耐腐蚀性好          | 平光, 反射率 70%              |
| 6  | 蓄能发光多功能涂料  | 耐污性好      | 硬度高, 涂抹致密性好                      | 不阻燃            | 自发光, 反射率 90%             |
| 7  | 氟硅涂料       | 耐污性较好     | 硬度次于陶瓷涂料 (氟硅改性树脂 + 氟化聚硅氧烷 + 固化剂) | 不燃阻燃           | 反射率 75%                  |
| 8  | 纳米硅涂料      | 耐污性好      | 硬度高, 抗划性能好                       | 不燃阻燃           | 反射率 72%                  |
| 9  | 氟碳涂料       | 疏水疏油, 易清洗 | 耐磨, 寿命长达 20 年                    | 受配方影响          | 反射率 65%                  |
| 10 | 光催化涂料      | 氧化污染物自洁性好 | 硬度高, 抗划性能好                       | 不燃阻燃           | 反射率 70%                  |

## 2.2 安全诱导与警示提升

基于隧道涂装表现形式的多样性, 可以重点安全管控区域进行安全诱导和警示提升, 并通过良好的隧道线形涂装提高整体线性诱导性, 具体体现如下。

### 2.2.1 进 / 出口通过涂装减少“黑 / 白洞效应”

根据研究表明, 在相同照明前提下, 在隧道内进行环境亮化涂装可以有效改善进出口的“黑 / 白洞效应”, 其原理为墙面亮化反射起到一定的背景光补偿作用, 减小了进出口的亮度差, 在相同隧道相同视觉下因有了隧道涂装使出口外的车辆及环境较涂装前有明显改善, 从而提高隧道进出口的行车安全性。

### 2.2.2 人行 / 车行横通通过涂装提高安全疏散加强诱导性

在紧急情况下, 人行 / 车行横通道作为隧道内人员疏散

的重要通道, 应满足行人应急条件下的生理心理视觉适应性需求, 通道位置应警示醒目, 并具备较好的位置方向引导性。现有人行 / 车行横通区域大都未做较大范围的疏散方向性提示, 或警示标志不明显, 特别是与周边环境未做区域明显区分, 在紧急情况下不易分辨最便捷逃生通道。

根据应急条件下的人员生理心理特征, 并考虑到火灾等突发紧急情况下隧道内视觉环境差的特点, 在人行和车行横通道区域内进行加强警示及诱导涂装优化设计, 提高紧急情况下安全疏散逃生效率。

### 2.2.3 紧急停车带加强辨识安全警示提升设计

紧急停车带作为隧道内供车辆临时发生故障或其他原因紧急停车使用的临时停车地带, 应具有警示、醒目、轮廓线形边界清晰的特点。如果不进行针对性安全提升优化设计, 存在紧急停车带边界轮廓或环境不清晰情况, 在紧急状态下容易错入驶入紧急停车带最佳时机或易发生安全事故。

为提升紧急停车带的安全区域提醒和警示加强作用, 根据紧急状态下司乘人员的视觉需求和行车行为特点, 采用亮化涂装方式对紧急停车带进行安全提升优化设计, 从色彩的选择、形式的设计等方面进行优化, 并标识醒目的机电控制分区, 可通过监控系统与智能管控平台相通, 实现紧急突发事件的分区自动识别与上报。

### 2.2.4 长大隧道应急情况位置分区警示提升设计

根据长大隧道突发紧急事件位置第一时间获取需求, 一般司乘人员无法准确获知事故现场所在准确位置, 特别在紧急事件下光线较暗时更是无法辨识所在区域, 缺乏必要的安全逃生导向, 影响逃生效率。因此, 以周期性形式在隧道壁面上涂装隧道分区位置标志, 所用材料具备自发光功能, 保证在浓烟及能见度低情况下位置分区标志清晰可辨。

## 3 隧道涂装品质提升设计

由于东天山隧道作为长度为超 11km 的长隧道, 长时间隧道内行车极易造成视觉疲劳存在一定行车安全隐患, 加之特长隧道在紧急情况下的安全逃生需求, 可利用涂装技术进行重点区域如人行 / 车行横通道、紧急停车带、隧道墙面或拱顶进行安全警示诱导以及舒缓疲劳等亮化设计, 另一方面也可利用特长隧道特有的内壁空间打造新疆独特的景观文化长廊, 作为天山内部的人文风线, 具体设计方案如下:

①根据隧道内壁亮化对隧道照明亮化提升和线性诱导加强功能, 在隧道两侧 3m 以内进行浅色涂装, 中心高度和顶部涂设蓝色或绿色或橙色诱导腰线, 建议所用材料均为耐污易清洗的纳米硅负离子材料, 形成涂层后反射率大于 70%, 可有效提高隧道路面亮度达 15% 以上, 既满足整体环境亮化功能, 又可减少后期清洗养护费用。

②在隧道入口段 80m, 出口段 60m 进行全断面涂装, 以减弱隧道进出口的“黑 / 白洞效应”, 涂装颜色与内部整体颜色选择一致, 并在全断面与内部分界处设置高反光膜的白

色或黄色反光环,提高隧道轮廓界线辨识性和整体美观性。

③为提高人行横通道在紧急情况下较远距离内的可辨识性,洞门采用加框凸起设计并以上下不对称的弧形结构提升整体美观度,在门框前方可加装蓄能发光多功能球或可控制闪烁频率的指示灯,提高突发紧急情况下的位置和方向指引性。在人行横通道门两侧采用绿色或蓝色矩形带箭头引导区域重点涂装,既提高突发紧急情况下人行横通区域的位置可高亮显示,又可以周期性地涂装颜色变化减缓司乘人员的长隧道行车视觉疲劳性。

④为提高紧急停车带区域位置警醒作用,避免司乘人员在紧急情况下错过最佳驶入时机,保证至少一倍停车视距处可以辨识该区域的位置及界限,在行车方向近端侧面进行至少20m带方向区域性大范围涂装,在紧急停车带的迎车面上亦采用与侧面涂装不同的颜色以提高远距离行车视距范围内的边界区分性,颜色选择与隧道内涂装整体色系搭配协调,并具有安全提升和舒缓宁静意境的色系。

⑤目前隧道内位置分区标志分布往往集中在隧道右侧壁面,左侧少有标明隧道位置的标志,并且普遍存在标志面积小,在突发紧急情况下不直观等问题。根据隧道突发紧急情况下人员应急反应需求,需要有直观容易辨识事件位置的醒目标志。因此,利用涂装技术实现方式的多样性,在隧道壁面上以周期性形式实施带有大范围具备明显隧道位置分区与报警内容等信息的壁面标志,所用材料具备自发光功能,保证在浓烟及能见度低情况下位置分区标志清晰可辨。标志在形式和色系选择上兼有景观提升功能,与整体隧道涂装色系选择相协调。

#### 4 隧道洞内涂装优化对安全与节能的提升作用

根据研究表明,隧道内内壁涂设高反射率材料可以有效提高隧道路面亮度在15%以上,并有效提高亮度均匀度,提高驾驶员的安全辨识能力,从而提高驾驶员以隧道环境的辨识度,进而提高隧道整体照明品质。由于隧道墙面的涂装有效提高了隧道路面及环境亮度,意味着在达到相同亮度水平时,可适应降低电光照明达到相同的照明效果,即高性能隧道涂装的应用是一种保证隧道行车安全与品质有效运营节能的方式<sup>[2]</sup>。

#### 5 安全与品质提升效益分析

①降低隧道运营能耗费用:通过综合应用公路隧道洞

口安全与品质提升技术、洞内涂装安全与品质提升技术、智能通风技术、智能照明控制技术等节能技术,可大大降低隧道运营的能耗费用,达到隧道运营能耗费用降低超30%。

②降低隧道运营人力成本:通过应用高速公路隧道一体化智能管控平台,可精简监控人员配置、巡查人员配置以及养护人员配置,减少隧道运营管理和维护的人力成本支出,隧道运营人力成本降低超40%。

③降低隧道设备运维费用:通过应用高速公路隧道一体化智能管控平台,可实现隧道机电设施全生命周期管理,同时对隧道机电设施部署优化,可有效提升隧道的使用寿命,减少隧道机电设备的故障率与更换频率,降低隧道设备运维费用,隧道设备运维费用降低超20%<sup>[3]</sup>。

#### 6 结论

①公路交通技术发展日新月异,不同技术之间存在优势互补,建议采用综合性方案进行不同安全与品质提升技术的统筹策划与应用,以实现东天山隧道品质工程建设效益最大化。采用新型耐污亮化材料进行景观提升与安全提升的隧道内部涂装设计,并开展隧道洞口与洞身景观提升设计,与智慧运营管控平台相结合,可实现一种创新的综合性能提升建设和运营方法,有效提高东天山隧道运营安全和品质水平,提高智慧化运营管理效率,降低运营成本,从而提升东天山隧道建设和运营创新型科技水平。

②将隧道监控软件的应急安全管控功能设计与隧道安全与品质提升涂装优化设计紧密结合,根据事件的位置自动地进行隧道疏散分区划分,在安全管控系统上实时显示对疏散安全警示涂装区域的实时监控及自动识别,并对隧道内通风、照明、广播、应急疏散指标标志等设施进行统筹管理与及时联动控制,为疏散逃生提供良好环境和最优路线,提升疏散逃生的效率和有效性。

#### 参考文献

- [1] 陈晓利.高速公路隧道群营运安全管理技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.
- [2] 赵红月.基于全寿命周期的路面养护费用控制技术研究[D].西安:长安大学,2013.
- [3] 赵友功.高速公路隧道速度特性分析及安全策略研究[D].西安:长安大学,2011.