

# 高速公路机电隧道照明系统施工技术

许婷琴

江西方兴科技股份有限公司, 中国·江西南昌 330000

**摘要:** 高速公路机电隧道照明系统, 是提高车辆安全通行性以及通过效率的重要基础。为提升高速公路机电隧道照明系统的施工效率, 确保各项系统能够稳定进行。文章分析高速公路机电隧道照明系统的基本功能, 同时在探讨照明系统施工要求的基础上, 对常见的施工技术进行深入探讨, 以期通过本文论述, 能够给同类高速公路机电隧道照明工程提供技术参考。

**关键词:** 隧道照明; 机电工程; 施工技术; 照明分区

## Construction technology of electromechanical tunnel lighting system for expressway

Xu Tingqin

Jiangxi Fangxing Technology Co., Ltd., China Jiangxi Nanchang 330000

**Abstract:** The electromechanical tunnel lighting system on expressways serves as a crucial foundation for enhancing the safe passage and efficiency of vehicles. To improve the construction efficiency of this system and ensure its stable operation, this article analyzes its basic functions and delves into common construction techniques based on the discussion of construction requirements. Through the discussion in this article, it is hoped that technical references can be provided for similar electromechanical tunnel lighting projects on expressways.

**Keywords:** Tunnel lighting; Electromechanical engineering; Construction technology; Lighting zoning

## 0 引言

高速公路隧道属于封闭式交通空间。这对行车视觉适应性提出特殊的要求。照明系统属于机电工程的重点组成部分, 照明系统运行效果的稳定与否, 直接与驾驶员的视觉舒适度以及行车安全有着紧密的联系。目前, 随着隧道建设规模扩大和通行标准提升, 照明系统在亮度过渡、能效控制与环境适应性方面面临更高要求。高速公路机电隧道照明系统施工时, 需要做好设计意图的理解, 并且严格根据不同施工位置。进行施工方案的调整以及优化, 从而确保整体工程的安装效果能够达到设计方案要求, 以此提升高速公路机电隧道照明系统运行的稳定能力。

## 1 高速公路机电隧道照明系统功能分析

### 1.1 视觉适应引导功能

高速公路机电隧道照明系统通过科学合理布局, 其采用入口段高亮度、过渡段逐级衰减、中间段稳定照亮的方案, 使驾驶员从外部自然光平滑过渡到隧道内。这一功能防止驾驶员进入到隧道存在“白洞效应”或“黑洞效应”导致瞬时视觉障碍, 使驾驶员具备较强的前方路况辨识能力。而在高速公路机电隧道不同区域亮度设定时, 需要综合分析隧道的长度、朝向、车速、外部光照条件等形成连续光环境引导路径, 确保车辆行驶中具备较强的视觉连续

性和安全感<sup>[1]</sup>。

### 1.2 行车安全保障功能

高速公路机电隧道照明设计使其利用充足且均匀的路面照度, 增强驾驶员对车道线、障碍物标志标线以及前方车辆的辨识能力。照明系统设置时防止存在眩光或频闪, 能够有效避免因为视觉疲劳或误判风险引发交通事故。而对于高速公路机电隧道的紧急停车带、横通道等位置增强照明, 能够使驾驶员在应急条件下具备较强可视性。该功能使隧道内部照明系统提供全时段、全天候视觉保障, 确保隧道具备主动安全性, 能够防止驾驶员因为光线不足造成追尾或偏离车道事故。

### 1.3 应急疏散支持功能

高速公路机电隧道照明系统在火灾或断电情况下, 立即启动应急照明子系统, 从而使救援、人员疏散有良好的光照环境。隧道内部疏散指示灯沿着车辆行驶方向低位部设, 采用自发光或蓄电维持能力较强的照明灯具满足紧急处置需求。

## 2 高速公路机电隧道照明系统施工要求

### 2.1 环境适应性要求

高速公路机电隧道内主要特点是粉尘积聚、高湿度、汽车尾气腐蚀, 照明系统及其安装备件应满足 IP65 以上的

防护等级。照明设备外壳具备耐老化、抗腐蚀性要求，照明系统电缆使用低烟、阻燃、无卤型的设备类型，并在接头位置采取密封处理措施，而金属支架需进行防腐处理以延长使用寿命。

## 2.2 安装精度控制要求

高速公路机电隧道照明系统灯具安装时高度、间距、仰角执行设计方案，保证其偏差控制在  $\pm 10\text{mm}$  内。而照明系统支架固定点位和隧道衬砌结构稳定连接，能够有效防止照明系统因为振动导致位移。同时，在照明系统安装阶段线槽平直度、弯曲半径符合技术标准，转弯位置设置过渡弧以达到平滑过渡。此外，灯具采用激光水准仪校准，并确保多灯具组成照明带达到视觉连续性。

## 2.3 电气安全与接地要求

照明系统选用 TN-S 接地形式，确保照明系统的支架、金属外壳、线槽等使用黄绿双色 PE 线可靠连接接地干线。照明系统接地线路电阻在  $4\Omega$  以下，需要在每 200m 区间内设置测试点。照明系统电缆敷设防止和强干扰源平行设置，确保现场作业过程中达到安全性要求。

# 3 高速公路机电隧道照明系统施工关键技术

## 3.1 隧道弧形顶板灯具支架安装技术

(1) 高速公路隧道顶部测量数据后进行照明设备安装，确保照明设备安装契合隧道顶面结构形式。照明系统底座使用钢板冲压成型，其曲率半径和隧道衬砌表面一致，且偏差在  $\pm 2\text{mm}$  内。隧道顶部支架安装时使用电锤钻孔，通过衬砌表面标记定位点提高安装精度。而钻孔时保证钻孔孔径、孔深符合化学锚栓或膨胀螺栓规格要求，锚固深度应在 100mm 以上。锚栓植入后按照设计说明静置固化，并且底座与锚栓的紧固力矩值在  $35\text{N}\cdot\text{m}$  左右，再涂抹防锈漆延长使用寿命<sup>[2]</sup>。

(2) 照明系统支座本体包含立柱、万向调节节、灯具安装板组成，其选择镀锌钢板材质制作。万向节的调节范围为垂直  $\pm 10^\circ$ 、水平  $\pm 15^\circ$ ，使用球铰结构调整后固定螺栓。灯具安装板开孔和灯具底座孔保持匹配，孔径偏差 H12。相邻照明系统支架沿着隧道纵向间隔 3~6m 设置，高差不超过 5mm。支架表面镀锌层厚度超过  $85\mu\text{m}$ ，外露螺栓加装 ABS 材质防腐盖帽。而在隧道顶部弧形段和直线段交接位置设置厚度 6mm 的三角形加筋肋板，使其与主支架满焊连接增强稳定性。

(3) 隧道弧形顶板灯具支架设计方案采用 BIM 模型展开碰撞检查，确保支架和监控线槽、通风管道、消防喷淋等设施距离在 150mm 以上。BIM 模型模拟灯具支架受

力状态，确保锚固点位置和数量达到要求。而在安装阶段从隧道一侧向另外一侧安装，每完成 100m 进行一次三维坐标复核。此外，灯具支架的选型与布置严格依据隧道断面形式与装饰层厚度确定，确保安装后灯具底面与弧形顶板贴合紧密。支架本体采用热浸镀锌钢构件，连接件与锚栓均按抗震与抗风振要求配置。施工前对隧道顶板混凝土强度及内部钢筋分布进行无损检测，避免钻孔损伤主筋。安装过程中使用激光定位仪辅助放线，保证支架轴线与隧道中心线平行。所有支架焊接部位进行防锈处理，螺栓连接处加设防松垫片。

## 3.2 防水型电缆接头密封处理技术

(1) 高速公路机电隧道照明系统防水型电缆接头采用密封处理措施，通过专用剥线钳剥除外保护套，长度根据端子压接要求确定，通常在 80~120mm 之间。电缆接头剥切完成后将表面氧化层清理干净，并使用无纺布蘸取工业酒精擦拭，晾干后再涂抹导电膏。铜端子使用黄铜压接，压模规格和电缆截面保持匹配，压接次数 2 次以上、压痕间距 20mm。

(2) 防水型电缆接头密封处理时，内层为防水胶带、中层为热熔胶内衬管、外层为聚烯烃热缩管。其中，防水胶带从端子根部半叠包覆至电缆外护套搭接率、拉伸率及其他施工参数见表 1 所示。热熔胶内衬管套入后定位居中，外层热缩管覆盖接头区域长度超过电缆外护套各 30mm。该环节使用液化气枪加热，火焰距离热缩管 150mm 沿电缆轴向移动。

表1 防水胶带施工参数

类别	参数项	技术要求	单位
夹具安装	距配电箱距离	$\geq 300$	mm
电缆芯线	预留长度	400	mm
	盘绕直径	$> 80$	mm
绝缘检测	仪器规格	500V	兆欧表
检测环境	湿度限值	$\leq 85\%$	RH
	温度要求	需记录	$^\circ\text{C}$
防水密封	内层材料	防水胶带	-
	中层材料	热熔胶管	-
	外层材料	聚烯烃热缩管	-
	胶带施工温度	5-40	$^\circ\text{C}$

(3) 防水型电缆接头接线和出口安装黄铜防水格兰头，确保格兰头与电缆外径保持匹配，锁紧后电缆能够有效承受轴向拉力、无位移。接线和内部接头排列间距在 20mm 以上，电缆预留弯曲半径需要超过其直径的 10 倍。电缆接头密封完成后经过 0.3MPa 气压测试，确保电缆接头置于密封腔体内充气保压 10min，压力下降控制在

0.02MPa 以内<sup>[3]</sup>。

### 3.3 分区照明回路敷设与隔离技术

(1) 隧道照明系统回路根据功能分为基本照明、加强照明、应急照明，每种照明设施独立设置。线路电缆型号 WDZB-YJY-0.6/1 kV，应急回路需要设置耐火层。而在照明回路设计中，其敷设回路沿隧道侧壁或顶部金属线槽设置，线槽规格根据回路总截面积 40% 填充率确定。照明系统内各回路电缆在线槽内分层设置，其按照从上到下依次为应急回路、基本照明、加强照明，并在各结构层布置镀锌钢板。线槽间隔 1.5m 设置固定支架，并保证转弯位置半径在 300mm 上，内侧安装间距 200mm 的尼龙滑轮组。

(2) 电缆在线槽内使用间距 500mm 以上的尼龙绑扎，转弯位置密度增加到 250mm。扎带朝向一致，预留 5mm 余长剪平。电缆需要穿越隧道沉降缝或伸缩缝时，穿入直径 50mm 的不锈钢波纹管，软管两端伸出缝区各 500mm，内侧电缆成  $\Omega$  型弯曲余量 300mm。

(3) 电缆终端进入配电箱前 300mm 处设置 L 型镀锌钢夹具，夹具内部安装橡胶衬垫。电缆芯线预留长度 400mm，盘绕直径超过 80mm。上述回路在通电前使用 500V 兆欧表检测相间及对地绝缘电阻，具体执行要求可按照表 2 执行<sup>[4]</sup>。

表2 电缆回路绝缘电阻检测参数

参数类别	具体参数项	技术要求值	单位
夹具安装参数	夹具安装位置（距配电箱）	$\geq 300$	mm
	夹具材质	镀锌钢	-
	夹具内衬材质	橡胶	-
电缆芯线参数	芯线预留长度	400	mm
	芯线盘绕直径	$> 80$	mm
绝缘检测参数	检测仪器规格	500V	兆欧表
检测环境要求	环境温度记录要求	需记录	$^{\circ}\text{C}$
	环境湿度限值	$\leq 85\%$	RH

### 3.4 LED 灯具调光控制线路集成技术

(1) 高速公路机电隧道照明系统调光控制信号线使用屏蔽双绞线，选择绞距 200mm 的多股镀锡铜丝材质。屏蔽层覆盖率超过 90%，选择铝箔 + 钢网复合结构形式。信号线和电源线按照间距 300mm 以上分槽敷设方式，如果存在路径交叉时，按照  $90^{\circ}$  垂直穿越，交叉点两侧 500mm 范围内加装镀锌钢管保护装置。控制线槽内不能设置强电电缆，并保证控制线在槽内独立设置且转弯半径超过 150mm。

(2) 隧道照明系统控制模块与灯具距离 2m 以内，并将其布置的 IP54 以上的防护接线盒内，壳体材质为 PC。信号线端子使用弹簧压接，端子压接后安装防松卡扣以增强牢固性。照明系统控制模块使用 0~10V 模拟调光协议，确保线路终端并联  $10\text{k}\Omega$  匹配电阻；如果控制系统为 DALI 协议，则控制终端需安装终端电阻。

(3) 照明系统调光控制线路敷设结束后，通过网络测试仪进行通断测试，导通电阻在  $0.5\Omega$  以下。该环节选用 LCR 数字电桥测量线路特性阻抗，0~10V 线路阻抗  $100\Omega \pm 10\%$ ，DALI 线路为  $120\Omega \pm 5\%$ 。在测量阶段重点进行首端、末端、中间各 100m 处测试，并且掌握线缆长度、阻抗值、回路编号<sup>[5]</sup>。

### 3.5 接地系统与防雷装置施工技术

(1) 高速公路机电隧道照明系统接地干线沿隧道整体长度铺设，选择镀锌层厚度  $65\mu\text{m}$  热镀锌扁钢安装。扁钢连接位置搭接长度超过 80mm，采用焊缝高度 5mm 三面围焊的搭接焊连接方式。接地干线焊接结束后需要将焊渣清理干净，并且涂刷两道环氧富锌底漆。镀锌扁钢通过 L 型支架固定在隧道侧壁，且支架间距 1m 以内，转角位置距离缩小到 0.5m。镀锌扁钢通过伸缩缝时弯曲成 U 型膨胀弯，弯曲半径 200mm，两端距接缝中心各 500mm。接地干线 U 型弯内侧设滑动卡箍，使其纵向位移在  $\pm 30\text{mm}$  以内。

(2) 灯具外壳、金属支架、线槽均通过  $6\text{mm}^2$  黄绿双色铜缆连接至接地干线。铜缆两端压接 OT 型铜端子，端子孔径和连接螺栓保持匹配。而在接地线连接环节使用不锈钢螺栓紧固，并且与铝合金材质连接时选用铜铝过渡端子，再在接触表面涂抹导电膏。接地干线连接结束后外露部分包裹厚度 1mm 的自粘性绝缘胶带，且在隧道洞口和外部接地网采用  $50 \times 5\text{mm}$  扁钢接通连接，其焊缝长度超过 100mm。

(3) 高速公路机电隧道洞口顶部设置避雷针引下线，使用热镀锌圆钢沿侧壁引入接地网，并间隔 1m 布置固定卡。隧道防雷引下线和接地干线焊接点位 2 个以上，以增强牢固性。配电箱输入端安装模块式电涌保护器，型号  $I_n=40\text{ kA}$ ， $U_c=385\text{ V}$ ，接地线采用  $10\text{mm}^2$  铜缆，长度不超过 0.5 m，走线平直无弯折。

## 4 结语

高速公路机电隧道照明系统是保证道路交通安全性的关键，其安装施工涉及到多项技术。根据照明系统施工需求选择适宜工艺方案，需要在施工阶段严格落实各项技术

措施,从而确保照明系统运行正常,能够有效提升高速公路机电隧道运行安全性与可靠性。

**参考文献:**

[1] 刘明林. 地铁隧道区间照明系统改造研究[J]. 通信电源技术, 2019,36(11):71-73.

[2] 于立军. 高速公路隧道机电系统安装工程施工研究[J]. 中华建设, 2021,(01):147-148.

[3] 韩燕. 地铁隧道施工中的绿色节能技术与实践研究

[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024,(03):116-118.

[4] 王鑫. 公路隧道机电设备施工技术[J]. 中国水运, 2025,(08):58-59+148.

[5] 李成松. 高速公路特长隧道照明系统节能设计与施工技术研究[J]. 交通科技与管理, 2025,6(13):111-113.

作者简介:许婷琴(1987.04-),女,汉族,江西省南昌市人,本科,工程师,从事高速公路机电施工技术工作。