

隧道智能照明系统

一、技术简介

隧道中传统临时照明方案存在诸多痛点：一是临时照明适配性差，亮度固定且分布不均，掌子面与运输通道亮度反差大，增加机械碰撞风险；二是供电稳定性不足，施工隧道临时供电线路负荷波动大，缺乏电压自适应能力；三是能耗与管理低效，保持满负荷照明，能耗浪费严重；四是与施工工序适配性弱，无法根据爆破作业、材料运输、设备移动等动态场景调整照明范围与亮度，如爆破后烟尘未散时，固定照明穿透力不足，影响清渣作业效率。

该系统以“适应施工工况、保障作业安全、匹配施工节奏”为核心，融合抗干扰、动态调控、应急保障技术，形成施工场景专属技术体系。

（1）抗干扰感知与动态调光技术

实时监测掌子面、运输通道、衬砌作业区等不同区域亮度，配备毫米波雷达传感器，识别施工人员、机械位置与移动轨迹，自动调整对应区域照明亮度，机械作业区亮度提升至 500~800lux，人员通行区保持 200~300lux，闲置区域降至 50~100lux，避免能源浪费；

（2）宽压自适应供电与应急保障技术

采用宽电压范围（AC 160~260V）智能驱动电源，适应施工临时供电电压波动，避免灯具因电压不稳损坏；集成锂电池应急模块（续航 ≥ 4 小时），断电时自动切换应急照明，重点区域（如逃生通道、临时避难点）应急亮度 $\geq 100\text{lux}$ ，同时通过声光报警提醒人员撤离；

（3）模块化灯具与场景适配设计

灯具采用模块化组装（单模块功率 10~30W），可根据施工区域需求灵活组合亮度与照射角度，掌子面采用广角聚光灯具，运输通道采用长条形泛光灯具；灯具外壳采用高强度铝合金，表面喷涂防腐蚀涂层，适应隧道内高湿度与腐蚀性气体环境；

（4）施工协同管理平台

搭建轻量化管理终端，实时显示各区域照明状态、灯具故障位置、能耗数据。对应工序调整照明策略，如衬砌作业前 1 小时，自动提升衬砌区亮度至 600lux；

支持爆破作业联动控制，爆破前 10 分钟自动关闭掌子面灯具电源，爆破后 30 分钟根据烟尘浓度逐步恢复照明，避免灯具因爆破冲击与烟尘损坏。

二、应用场景

（1）隧道开挖阶段

适用于山岭隧道、城市地铁隧道的钻爆法或盾构法开挖作业，掌子面采用动态调光灯具，根据爆破后烟尘浓度自动调整亮度；盾构隧道内，灯具适配盾构机移动轨迹，随盾构机推进同步延伸照明线路，避免照明盲区；

（2）支护与衬砌阶段

在锚杆支护、喷射混凝土、二次衬砌作业中，系统可聚焦作业区域，喷射混凝土时，自动提升喷头周边亮度至 700lux，确保喷射厚度均匀；衬砌模板安装时，照亮模板拼接缝隙，减少安装误差；

（3）隧道临时运输与辅助作业

施工材料运输通道、施工人员通勤通道、临时仓储区域照明，隧道施工中，运输渣土的重型卡车通行时，系统自动拓宽照明范围，照亮道路边缘与会车区域，降低会车事故风险；临时炸药库周边，采用防爆型照明模块（防爆等级 ExdIICT6），确保存储安全；

（4）特殊地质隧道施工

在高瓦斯隧道、富水隧道等特殊场景，系统配备瓦斯浓度联动模块（高瓦斯隧道中，瓦斯浓度超限时自动降低照明功率，避免电火花风险）；富水隧道内，灯具采用防水接线端子（防水等级 IP68），防止渗水导致短路。

三、经济性

（1）能耗成本降低

动态调光与按需照明模式，比传统固定照明节能 40%~60%，以长度 500 米、日均施工 12 小时的隧道为例，传统临时照明（碘钨灯+LED 投光灯）日均耗电量约 800 度，智能系统仅需 320~480 度，按施工用电 1.5 元/度计算，月节省电费 1.44~2.16 万元，施工周期 1 年可节省 17.28~25.92 万元。

（2）运维与灯具成本减少

宽压自适应电源降低灯具损坏率，传统照明灯具月损坏率约 10%~15%，智能系统降至 3%以下，月节省灯具更换费用 0.5~1 万元。

四、效率及品质

(1) 效率

施工场景变化（如机械移动、工序切换）时，系统调光响应时间 <2 秒。人工现场拉线、更换灯具角度，耗时 30~60 分钟。效率明显提升；爆破后根据烟尘浓度自动调整亮度，无需等待人工开启灯具，清渣作业提前 15~30 分钟启动。

(2) 品质

灯具防爆、防水、防尘等级符合施工场景要求，避免环境因素引发安全事故；应急照明续航 ≥ 4 小时，满足断电时人员撤离需求；雷达传感器识别机械与人员位置，避免照明盲区导致的碰撞风险，施工安全事故率降低 30%~40%。

不同施工区域亮度精准控制（掌子面 500~800lux、运输通道 200~300lux），亮度均匀度达 0.6~0.7，无明显明暗死角；色温控制在 5000~6000K（冷白光），提升施工人员对设备、材料、作业面的识别度，减少因视觉误差导致的施工缺陷。