

基于直流集中供电的第二代LED智能照明系统解决方案

文/深圳市地铁集团有限公司 谢伟

城市轨道交通照明系统现状分析

当前，每一盏LED灯具都需要配备一个AC-DC电源模块去驱动LED光源。其功能是EMC、整流和滤波、功率驱动、逆变降压、稳压稳流和功率因数矫正等，使得LED灯具的控制电路复杂，元器件多，成本高。

众所周知，AC-DC电源模块的寿命很大程度上受制于模块中的电解电容。一般电源模块的设计寿命不会超过1万h，这与LED光源10万h的寿命相差甚远。在日常运营和维护中，经常会发生因驱动电源故障而导致照明中断的现象。这不仅缩短了LED灯的寿命，影响照明系统的可靠性，还大大增加了运营维护的成本。当前存在的主要问题包括供电环境复杂、点多面广、AC-DC电源模块发热引发的安全防护问题，驱动电源的稳定性、可靠性及寿命问题和引入智能应用所面临的问题。

同时，传统DALI调光系统存在电源故障维修困难，LED灯具80%故障来自AC驱动电源，DALI调光系统可靠性差的特点。

直流集中供电系统

直流集中供电技术是近几年发展起来的第二代LED驱动和控制技术。它将传统LED灯具内的AC-DC控制器统一前置在单元集中柜中，大幅提高了系统可靠性，整合了监控模块和大功率电源模组，扩展大数据采集功能，提升用户程控体验，强化了信息安全机制。直流集中控制柜采用均流冗余技术，总线回路监控电流和电压，触摸屏集中时序控制，感应器灵活变换等多种功能。

直流集中供电系统的设计思路是将传统LED灯的AC-DC驱动电源分成AC-DC和DC-DC两部分。AC-DC实现交流220V转换成直流240V；DC-DC实现直流240V转换成LED灯所需要的电压等级。把AC-DC集中到配电箱，并做N+X冗余，而DC-DC仍然保留在LED灯具中。

(1) 直流集中供电控制柜

直流集中供电控制柜实现交流到直流的转换，为LED灯提供稳定的直流电源。一台控制柜通常可以控制几十盏LED灯具。

直流集中供电控制柜首先将交流电变换为直流电，通过电源模块调节输出的直流电压的大小来对LED灯具统一进行开关及调光，也可以对每盏LED灯具单独进行智能控制。控制柜的电源模块可分为单个大功率电源模块或多个小功率电源子模块的组合。

DCU作为主控单元（Domain Control Unit），是直流集中供电系统的集中监控核心。DCU监控着集中柜内各功能单元器的运行，全面掌控系统的工作模式和运行状态，如照明控制、输入电量计量、亮灯率估算、漏电监控、模块异常报警和防雷器失效报警等。如DCU本身发生故障，由其管控的模块还可脱机运行，不会造成系统崩溃。

应用直流集中供电控制柜后，通过无级线性调光曲线中可以观察到直流母线的电压平滑可控；可实现灵活多样、简易可靠的主动配电和智能照明策略；实现无级线性调光、阶梯调光、准线性调光、直流电力广播调光和直流电力载波单灯控制等功能。

(2) 方案比较

1) 布线。直流集中控制系统：2条（正、负线）；交流+DALI系统：5条（L/N/E，A/B）。

2) 安装成本。直流集中控制系统：低，可使用原有灯具电源线路控制；交流+DALI系统：高，需单独布置通信线路。

3) 信号。直流集中控制系统：无衰减，可达1~3 km；交流+DALI系统：信号传输距离短（不超过300 m）。

4) 可靠性。直流集中控制系统：线路节点少，元器件少，电源温升小，故障率低；交流+DALI系统：线路节点多，元器件多，电源温升高，故障率高。

5) 性能。直流集中控制系统：驱动效率高（94%），直流线损小，电线用量省；交流+DALI系统：驱动效率低（91%），交流线损大。

6) 结构。直流集中控制系统：回路分组，划分小区域控制；交流+DALI系统：单灯地址，造成控制工作极为烦琐。

7) 调光性能。直流集中控制系统：定时开关、调光、统计功耗和灯具故障反馈；交流+DALI系统：调光。

在安全性方面，直流智慧照明的一个显著优点是直流母线与大地隔离，这种浮地结构提高了照明配电线路的安全性。理想情况下，直流母线是“绝对浮地”的，即正/负极对大地无电势，用万用表测量显示近似为0 V。

在实际工程中，需要引入绝缘监测模块检测线路中是否有因绝缘损坏的破坏浮地。引入绝缘监测模块后，会使直流母线变为“相对浮地”。

“相对浮地”情况下，用万用表可测得正/负极对地电势，此值与绝缘检测模块内部采样时间和间歇频率有关。工程上，建议限制检测周期不小于1 h（即检测频率不大于1/3 600 Hz），任一检测周期内，每次间隔时间不低于4 s，满足此标准，则认为是“有效浮地”。

智慧照明智能控制的优点包括直流浮地供电设计，系统安全性高；成本低，可靠性高，易维护；模块化设计，便于系统维护和扩展；智能调光，程控管理，按需照明，实现二次节能；实时监测，便于用户管理；远端后台、智能APP轻松实现远程控制；可再生能源和储能设备灵活接入；提高节电率（在实施了LED改造的基础上，根据用户的设置，可以实现30%~50%的二次节

电）；采用直流智慧照明系统方案，初步估算，在一次投资中，每个站节可节省10~15万元，即直流智慧照明控制系统的初始建设成本优势明显，较传统DALI节省10%~15%。

考虑到直流智慧照明系统结构得到充分简化，直流LED灯具寿命更长，可靠性更高，系统故障点极少，显著节省运维成本，这一比较优势将在长期的运营和维护过程中逐步显现。

结束语

直流智慧照明系统解决方案在城市轨道交通中的各种典型照明场景具有极强的实用性和比较优势，具有以下显著优势。

1) 稳定、可靠，寿命长。纯直流驱动创新设计，LED灯具拥有10万h的理论使用寿命，实测使用寿命已达到8年以上，元朝各种传统灯具。

2) 结构简单，成本低，运维方便。相比传统交流供电+DALI控制方案优势明显。

3) 照明品质高。纯直流LED照度均匀，无频闪，亮度线性可控，显色性比传统照明灯具高，应急照明切换无闪变，全方位提升地铁内的照明品质。

4) 智能控制精度高，实际节能效果好。平均有75%以上的节能率（结合二次调光）。

5) 安全性好。直流浮地供电（与大地隔离无回路），具有高精度漏电检测能力。

6) 融合“互联网+”元素，方便管理。具有远程监控，故障自动检测与申报，图形化显示，数据统一管理，全面的固定资产管理等功能。

7) 具有完全自主的核心知识产权，可完全替代进口，解决大型公共设施信息安全风险。

8) 安装、调试简便，兼容性好，功能迭代与升级方便，人机交互友好。

集中直流供电技术将传统LED灯具内的AC-DC控制器统一前置在单元集中柜中，大幅提高了系统可靠性。结合了监控模块和大功率电源模组，扩展大数据采集功能，提升用户操控体验，强化信息安全机制。集中直流控制柜采用均流冗余技术，总线回路监控电流电压，触摸屏集中时序控制，感应器灵活变换等各种功能。轨道交通系统优选采用直流LED智慧照明解决方案，不仅可以节省大量电费和线缆费用，还可显著减少运行维护费用，并全面提升照明体验。EA