

隧道无极调光系统应用分析

刘俊成 黄 资

广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司平南分公司, 广西 贵港 537227

[摘要]随着交通建设的不断发展,隧道的数量和长度持续增加。在我国山区公路建设中,有大量路段为隧道,隧道建成投入使用后消耗相当大的电量,使用成本增加。尤其是在偏远山区,经济不发达,车流量较少,高速公路隧道的灯光照明费用成为管理部门的沉重负担。广西交通投资集团 2024 年工作报告中指出:强化“一切成本皆可控”理念,持续推进节能降耗、增收节支工作。因此,为做好隧道照明系统管理,科学合理节约电能,提高效益,根据规范要求结合实际需求和可用的灯具控制手段动态对隧道照明系统进行控制管理,以达到在满足隧道实际运营需求的情况下,尽最大的限度节约电能的目的。此文旨在深入分析隧道无极调光系统,探讨其工作原理、调光控制方式以及在隧道照明中的应用优势。通过对该系统的研究,为隧道照明的优化提供参考,以实现提高照明质量、降低能源消耗、减少运营成本的目标。同时,希望为隧道照明技术的发展提供有益的思路和方法,推动隧道照明行业的进步。

[关键词]系统原理;评价体系;分析;概念与方法

DOI: 10.33142/sca.v7i11.14179

中图分类号: U45

文献标识码: A

Application Analysis of Tunnel Infinite Dimming System

LIU Juncheng, HUANG Zi

Pingnan Branch of Guangxi Communications Investment Group Wuzhou Expressway Operation Co., Ltd., Guigang, Guangxi, 537227, China

Abstract: With the continuous development of transportation construction, the number and length of tunnels continue to increase. In the construction of highways in mountainous areas of our country, a large number of sections are tunnels. After the tunnels are built and put into use, they consume a considerable amount of electricity and increase the cost of use. Especially in remote mountainous areas with underdeveloped economy and low traffic flow, the cost of lighting in highway tunnels has become a heavy burden for management departments. In the 2024 work report of Guangxi Communications Investment Group, it is pointed out that the concept of "all costs are controllable" should be strengthened, and efforts should be made to continuously promote energy conservation, reduce consumption, increase revenue and save expenses. Therefore, in order to manage the tunnel lighting system well, scientifically and reasonably save electricity, and improve efficiency, the tunnel lighting system is dynamically controlled and managed according to regulatory requirements, combined with actual needs and available lighting control methods, in order to achieve the goal of maximizing energy savings while meeting the actual operational needs of the tunnel. This article aims to deeply analyze the infinite dimming system in tunnels, explore its working principle, dimming control methods, and application advantages in tunnel lighting. By studying the system, reference can be provided for optimizing tunnel lighting to achieve the goals of improving lighting quality, reducing energy consumption, and decreasing operating costs. At the same time, we hope to provide useful ideas and methods for the development of tunnel lighting technology, and promote the progress of the tunnel lighting industry.

Keywords: system principle; evaluation system; analysis; concepts and methods

1 理论基础

1.1 无极调光系统原理

1.1.1 电压控制电流源原理

在部分公路隧道的应用中,电压控制电流源的工作方式主要是通过模拟电平信号改变 LED 驱动器稳流控制环的参考,从而控制输出直流电流的大小,进而有效控制 LED 灯的亮度。这种方式具有明显的优势,它控制实现简单,不需要改变原有恒流驱动器的主电路结构,因此驱动器成本低、效率高。例如,在一些隧道照明中,当车流量较小时,可以降低电压以减小电流输出,从而降低 LED

灯的亮度,实现节能的目的。当车流量增大时,又可以提高电压,增加灯光亮度,确保行车安全。

1.1.2 PWM 调光原理

PWM 调光即脉冲宽度调制,是将电源方波數位化,并控制方波的占空比,从而达到控制电流的目的。在控制 LED 亮度方面,它以通常为几百 Hz 到 1kHz 的斩波频率控制恒流 DC/DC 变换器或 PWM 斩波开关在单位周期内的工作时间,得到不同占空比的方波输出电流,调节输出电流的平均值,进而改变 LED 灯的亮度。其优点是光源的光色不随电流大小变化,人眼在斩波频率在几百 Hz 以上时感

觉不到闪烁或抖动。然而,这种方式也存在一些缺点,它在原有的恒压源基础上增加了一级 DC/DC 变换器或 PWM 斩波开关,增加了电路的成本和主电路的损耗。在相同的平均电流下,LED 光源在 PWM 方波电流下的发光效率比在直流电流下的发光效率低,因此节能效果相对模拟调光要差。

1.2 无级调光概念与实现方法

1.2.1 实现方法解析

无级调光的实现方法主要有控制电阻电压、信号(1~10V 的变压信号)、CPWM 芯片等。控制电阻电压是通过改变电阻的大小来调节电压,从而控制电流大小以实现调光。这种方法适用于一些对调光精度要求不高的场合。信号(1~10V 的变压信号)则是通过改变输入的变压信号来控制调光,常用于一些需要精确控制亮度的场合。CPWM 芯片则是利用芯片的功能来实现精确的脉冲宽度调制,从而控制电流实现调光。在不同的应用场景中,可以根据实际需求选择合适的实现方法。而信号(1~10V 的变压信号)和 CPWM 芯片的方法则更适合对调光精度要求较高的区域,如隧道入口和出口等关键位置。

1.2.2 与传统调光方式对比

与传统的分档调光方式相比,无级调光具有明显的优势。传统调光只能实现几个固定亮度档位的调节,而无级调光可以实现任意亮度的调节,更好地满足不同照明环境下的需求。传统调光灯在进行调节时,容易出现明显的闪烁或跳变现象,对人眼有一定的刺激。而无级调光灯通过精细的电压调控或其他实现方法,可以实现更加平滑的调光效果,对人眼更加友好。此外,传统调光灯在调光过程中会产生比较大的热量,容易损坏灯泡和电路,而无级调光灯通过电子器件进行调光,不会产生大量热量,因此寿命更长,可靠性更高。

1.3 无极调光的触发形式

常见的触发无极调光的形式有利用图像识别、靠光强传感器、线圈传感来触发调光条件。利用图像识别技术,可以通过摄像头采集隧道内的图像信息,分析车流量、车速等情况,从而自动调节灯光亮度。例如,当车流量较大时,提高灯光亮度以确保行车安全;当车流量较小时,降低灯光亮度以节约能源。光强传感器则可以实时监测隧道内的光照强度,根据光照强度的变化自动调节灯光亮度。线圈传感可以通过感应车辆的通过,触发灯光亮度的调节。例如,当车辆进入隧道时,线圈传感器感应到车辆,自动提高灯光亮度;当车辆离开隧道时,线圈传感器感应到车辆离开,自动降低灯光亮度。这些触发形式能够根据隧道内的实际情况自动调节灯光亮度,提高了调光的智能化水平和节能效果。

2 隧道无极调光系统的应用案例

本项目基于某集团下属子公司所管辖路段的隧道进行分析,从中选取三个数据较为完整的案例来说明,以下

公司用甲、乙、丙指代。

2.1 应用案例一

甲公司主要采用了某公司科技研发的调光品牌产品。在实际运营过程中,出现了灯具失控以及回路不匹配的问题。经过细致的排查与分析,可以确认这些问题主要是由于调光控制器故障,信号传输错误所导致的。灯具寿命较短,有效寿命仅有 1 万小时。

2.2 应用案例二

乙公司所采用的是某品牌的调光技术,该技术具备多样化的触发方式,主要包括视频识别、线圈检测以及光强检测等手段,以实现无极调光功能。该技术在多种车况下均能展现出良好的适应性,且其稳定性表现卓越,系统故障发生率相对较低。此外,该调光技术的平均有效寿命长达 5 万小时,确保了长期的可靠运行。

2.3 应用案例三

丙公司所采用的调光设备多为大品牌,其在功能多样性上与案例一中所提供的设备相媲美,均支持多元化的触发机制,包括但不限于线圈结合光强检测、时控模式调光以及微波车检器触发调光等先进技术。就灯具的使用寿命而言,该设备亦展现出良好的耐用性,其平均寿命可达约 5 万小时。

然而,值得注意的是,在实际应用过程中,该调光设备亦暴露出一定的故障问题,主要集中在车检器故障、调光控制器失效、控制线路故障以及洞外亮度检测器故障等方面。此外,针对上述故障问题的售后服务,其质量评价趋于一般,尚有待提升与优化。

3 隧道无极调光系统的评价体系

因为无极调光系统的复杂多样性,在选取方案时,会遇到难以抉择的情况,在此我们结合运营中比较重要的指标制定一个隧道无极调光系统的评价体系,对某个无极调光系统,将其代入,可得到相应的分数,从而进行比较。

3.1 调光触发形式

隧道无极调光系统的调光触发形式多样,不同的触发方式在实际应用中各有优劣。图像识别触发调光,虽然可以根据车辆数量、大小等情况自动调节灯光亮度,但可能会受到图像清晰度、识别算法准确性等因素的影响,存在一定的设备故障和识别错误风险。光强传感触发调光依赖于光强传感器的精度和稳定性,在复杂的环境条件下可能会出现误差。线圈车检器信号输入触发调光同样可能受到线圈的安装位置、车辆磁场干扰等因素影响,可控性相对较弱。因此,这三种触发方式都分别给予单项 20% 的分数。

手动无极调光可控性较强,操作人员可以根据实际情况直接调整灯光亮度,具有较高的灵活性和可靠性,给予单项 40% 分数。若系统存在多种控制方式,如手动无极调光与图像识别、光强传感等组合使用,能够充分发挥不同触发方式的优势,提高系统的可靠性和适应性,包含两种及以上触发方式的系统可给予单项满分 5 分。

3.2 运营成本方面

不同牌子的灯具光效不同,对运营成本有着重要影响。当亮度功率比小于等于 0.1 时,说明灯具的能效较低,在同等的功率下亮度较低,只能得单项 20% 的分数。亮度功率比大于 0.1 小于等于 0.7 时,灯具的能效处于中等水平,得单项 50% 的分数。当功率亮度比大于 0.7 时,灯具的能效较高,只需要较低的功率就能提供所需的亮度,则可得到单项满分 15 分。

在亮度满足运营要求时,电流大小也是衡量运营成本的重要指标。电流小于 10A 时,说明此调光系统的能耗较低,得单项满分 15 分。电流小于 20A 时,得单项 80% 的分数;小于 30A 时,得单项 60% 的分数;小于 40A 时,得单项 40% 的分数;大于 40A 时,能耗较大只能得单项 20% 的分数。

3.3 建设维护费用

建设维护费用是评价隧道无极调光系统的重要指标之一。当前在用的调光控制器故障次数直接影响着系统的维护成本,因故障次数不可确定,我们取五年的平均年故障次数做参考,如果调光控制器平均年故障为 0,说明系统的可靠性非常高,得满分 20 分。故障次数大于 1 次得 16 分,大于 2 次得 10 分,大于 4 次得 4 分。

灯珠寿命也是影响建设维护费用的重要因素。如果灯珠寿命大于 6 万小时,说明灯具的使用寿命长,维护成本低,得满分 20 分。灯珠寿命大于 3 万小时,寿命一般,可得 10 分;小于 3 万小时,寿命较短只能得 6 分。

建设成本与设备更换成本也是需要考虑的因素。建设成本小于 5 万元时,得满分 10 分;大于 5 万元时得 5 分,大于 10 万元时成本较高只能计 2 分。控制器更换成本小于 2 千元,得满分 15 分;大于 2 千元计 7.5 分,大于 5 千元更换代价较高只可得 3 分。

4 结论与展望

4.1 研究结论总结

隧道无极调光系统作为一种先进的照明技术,在隧道照明中展现出了诸多优势。其原理基于先进的电子技术,能够实现灯光亮度的无级调节,满足不同场景下的照明需求。在应用方面,通过与各种传感器和控制技术的结合,实现了智能调光,提高了能源利用效率,降低了运营成本,同时也提升了行车安全性。

该系统的优势主要体现在以下几个方面:首先,能够根据实际情况自动调整灯光亮度,避免了过度照明,节约能源。据统计,采用无极调光系统后,隧道照明能耗可降低 30% 左右。其次,多种触发形式和控制方式提高了系统的灵活性和可控性,为隧道照明提供了更加精准的控制。再者,控制与供电分离的设计以及冗余方案的设置,提高了系统的安全性和可靠性。最后,自适应调整控制和其他子系统联动的功能,提高了隧道管理的整体效率。

然而,本研究提出的无极调光评价体系也存在一定的局限性与不足。例如,在评价指标的选取上可能不够全面,未能涵盖所有影响隧道无极调光系统性能的因素。同时,评价体系中的权重分配可能不够合理,需要进一步优化。此外,由于实际应用中的隧道情况复杂多样,评价体系在不同场景下的适用性还有待进一步验证。

本研究基于当前现状为后续隧道照明系统建设改造提供了重要的参考。在未来的隧道照明系统建设中,可以充分考虑无极调光系统的优势,结合实际情况进行合理的设计和应用。

4.2 未来研究方向展望

为了进一步优化隧道无极调光系统,未来的研究可以从以下几个方面展开:

首先,进一步优化评价体系。可以通过收集更多的实际应用数据,对评价指标进行更加深入的分析 and 筛选,确保评价体系能够全面、准确地反映隧道无极调光系统的性能。同时,合理调整评价指标的权重分配,使其更加符合实际应用的需求。例如,可以增加对系统稳定性、可靠性等方面的评价指标,提高评价体系的科学性和实用性。

其次,探索新的技术和方法来改进无极调光系统。例如,可以研究更加先进的传感器技术,提高系统对隧道内各种参数的检测精度和响应速度。同时,探索新的调光控制算法,实现更加智能、高效的灯光调节。此外,还可以研究新型的照明灯具和材料,提高灯光的质量和效率,降低系统的建设和维护成本。

最后,加强与其他领域的合作与交流。隧道无极调光系统的优化涉及到电子技术、光学、交通工程等多个领域,需要各领域的专家共同合作,共同攻克技术难题。同时,可以借鉴其他领域的先进经验和技术,为隧道无极调光系统的发展提供新的思路和方法。

总之,隧道无极调光系统作为一种具有广阔应用前景的照明技术,在未来的发展中还有很大的潜力可挖。通过不断地优化和改进,相信该系统将为隧道照明带来更加高效、智能、安全的解决方案。

[参考文献]

- [1]黄艳国,倪艳明,许伦辉.公路隧道照明无级调光模糊控制方法[J].广西师范大学学报:自然科学版,2011,29(1):5.
 - [2]李振江.大功率LED道路照明光源调光方案的研究[J].硅谷,2014,7(24):12.
 - [3]马海力.高速公路隧道项目LED照明智能控制系统及应用探讨[J].交通科技与管理,2023,4(14):16.
- 作者简介:刘俊成(2000.3—),男,职称:助理工程师,籍贯:广西蒙山。黄资,男,1989.9.27,助理工程师,广西贺州。