

文章编号:1005-0523(2018)02-0073-07

# 高速公路隧道照明系统节能技术的发展

杨超,李敏,杨晓霞,李灵飞

(华东交通大学机电与车辆工程学院,江西 南昌 330013)

**摘要:**隧道照明系统不仅影响隧道通行安全,同时又是能否降低公路隧道建设成本及运营成本的关键所在。在保证隧道通行安全的前提下,有效降低照明功耗是非常必要的。本文对隧道照明节能灯具、基于参数优化的隧道照明节能研究,以及基于智能控制的隧道照明节能研究进行了总结和分析,提出一种更加节能的方案,即在隧道照明满足安全通行的前提下,隧道各段 LED 灯的布灯参数以节能为目的进行优化,对布灯参数优化后的照明系统,进行无极调光控制,最后,采用 CAN 总线对各段照明灯具的功率进行控制和管理,实现隧道照明系统的最大化节能。

**关键词:**高速公路隧道;照明系统;节能;参数优化;CAN 总线

**中图分类号:**U459.2

**文献标志码:**A

我国内陆面积广、东西南北纵深较长,公路运输是主要的运输方式。据相关数据统计<sup>[1]</sup>,到 2016 年底,全国公路总里程已达到 4.696 3×10<sup>6</sup> km,规模已经位于世界前列,且还处于发展阶段。公路隧道是山区高速公路的重要组成部分,可大大降低公路运输成本。据统计<sup>[2]</sup>,截止到 2016 年底,全国公路隧道达 15 181 处、14 039.7 km,其中特长隧道 815 处、3 622.7 km,长隧道 3 502 处、6 045.5 km。

照明系统是公路隧道的重要组成部分,为隧道通行提供安全保障。但是,由于隧道照明系统的不合理设计等原因,高速公路隧道存在严重的过度照明现象,大大增加了隧道运营成本。钱卫建<sup>[3]</sup>对 2015 年舟山跨海大桥、甬台温高速甬台段及台金高速 4 条高速的水电费进行统计,全程路段的水电动力费达 2 687 万元,其中隧道用电费用为 1 630 万元,占总费用的 60.66%。隧道照明系统是主要的用电系统,因此,减少高速公路隧道照明能耗是降低高速公路运营费用的有效途径。国内外许多学者对隧道照明节能展开了相关研究,主要研究有节能灯具的研制、智能照明控制技术研究以及隧道布灯参数优化等,但是依然未能实现隧道照明的最佳节能状态。本文在总结现有隧道照明节能研究成果的基础上,提出一种基于优化的布灯参数和 CAN 总线的智能控制技术,实现隧道照明的自动控制,达到隧道节能最大化的目的。

## 1 隧道照明节能灯具

在照明节能研究中,节能光源是节能研究的重要方面。我国公路隧道照明灯具经历了白炽灯、荧光灯、低压钠灯、无极灯、高压钠灯、LED 灯等光源阶段。隧道照明节能光源的研究主要在两方面:其一是通过对比不同光源性能来选择合适的照明灯具;其二对隧道照明光源的配光曲线进行研究实验或设计。陈文成<sup>[4]</sup>对电磁感应灯与高压钠灯应用于九景高速雁列山隧道进行了改造和对比试验,试验表明电磁感应灯的隧道照明性能比高压钠灯好,但是两者的节能效果并未探讨。郗锋<sup>[5]</sup>对 LED 灯与普通的高压钠灯进行对比分析,研究结果表明 LED 灯比传统高压钠灯省电 50%~60%。林俊<sup>[6]</sup>通过对上海地区隧道使用的三基色荧光灯、高压

收稿日期:2017-09-15

基金项目:国家自然科学基金项目(61463015)

作者简介:杨超(1969—),男,教授,工学博士,研究方向为隧道照明节能优化与节能控制。

钠灯、无极荧光灯的性能进行了测试和对比,结果显示无极荧光灯更节能省费。季佳俊<sup>[7]</sup>对公路隧道照明灯具进行了配光实验研究,实验利用常规的高压钠灯与逆光高压钠灯进行对比,检验其节能效果。Wei Lai<sup>[8]</sup>依据隧道照明需求逆向设计灯具的光分布来实现节能的研究,通过建立光源模型来设计隧道所需的照明配光曲线,最终仿真实验表明,依据配光曲线设计的LED比传统的LED节能12%。

## 2 基于参数优化的隧道照明节能研究

隧道灯具的安装参数对灯具光通等的有效利用有影响。隧道布灯参数优化的目的是通过优化不同布灯方式的布灯参数(单灯功率、安装高度、角度、间距等),使照明系统在常规控制方式下达到节能的目的。《公路隧道照明设计细则》<sup>[9]</sup>在照明系统构成、隧道各照明段的长度与亮度、照度的计算方法以及布灯方式等方面给出了详细说明,可作为布灯参数优化的依据。隧道布灯参数对照明节能的影响,国内学者经过对现有隧道的试验,不断探索布灯参数对其是否具有影响以及影响程度。Angel<sup>[10]</sup>曾以照明功耗最小为目标对隧道照明和街道照明灯具的配光曲线进行了优化。Lai<sup>[11]</sup>也以照明功耗最小为目标对隧道各区段照明灯具的配光曲线进行了优化,给出了隧道各区段优化的配光曲线形状。皮亮<sup>[12]</sup>依靠1:1实体隧道开展对比实验,实验分析可得隧道灯具的安装高度对路面平均照度等参数具有一定的影响。任神河<sup>[13]</sup>对隧道LED灯的安装高度和角度进行了节能对比实验研究,得出了LED灯的最优安装方式。但是该研究没考虑LED灯的配光数据,对于不同的隧道以及不同的LED灯,其最优安装方式需要进行实验确定。范士娟<sup>[14]</sup>利用DIALux软件对不同的布灯方式进行仿真,通过仿真实验结果得出中央布灯方式的照明效果最佳。纪思美<sup>[15]</sup>采用DIALux和Skyvision软件对隧道布灯参数进行仿真及计算,研究自然光与LED混合照明的效果。由于DIALux操作比较繁琐,薛保勇<sup>[16]</sup>采用具有简单的Ecotect仿真软件对隧道3种布灯方式进行仿真计算,并对仿真数据定量分析来探讨不同布灯方式对照明效果的影响。杨超<sup>[17]</sup>建立了九景高速公路雁列山隧道中间段中央布灯的参数优化模型,对灯具安装高度、纵向安装间距和单灯功率等参数进行优化,布灯参数优化后的照明系统比原来的照明系统节能超过40%,并采用DIALux软件验证了优化结果。吴绍明<sup>[18]</sup>采用DIALux软件对隧道两侧对称和交错布灯形式进行建模优化,并且通过该模型分析灯具的发光轴线与竖直面角度对隧道照明环境的影响。随着隧道布灯参数研究的推进,日后隧道在布灯方面将形成系统化、规范化的设计准则,使得未来的隧道在布灯方面处于最佳状态。

## 3 基于智能控制的隧道照明节能研究

智能控制技术在隧道节能中的应用,主要在智能控制算法、智能通信方式等方面。

### 3.1 隧道照明节能的智能控制算法

随着自动控制技术的快速发展以及推广,国内外在隧道照明控制方面的研究也随之发展。传统的隧道照明大部分是手动控制,少量的半自动控制,而在日后大量的隧道照明控制研究中,许多研究者提出了智能化控制方案。李列<sup>[19]</sup>提出采用多级调光控制策略实现隧道照明节能的目标,但不能根据隧道的周围环境(洞外亮度、车速、车流量等)实现智能控制。Mohamed Salah Musa<sup>[20]</sup>对隧道采用三级控制策略,并且测量隧道照度以及车流信息,通过自适应调整方法来达到闭环控制效果,其节能为22.1%。隧道照明智能控制系统,不仅需要采集隧道周围环境信息,而且需要与智能算法相结合。Hong Zeng<sup>[21]</sup>以交通信息和隧道外部环境为参数,采用模糊控制算法对浙江省某高速公路隧道实现照明控制,实验结果表明其节能达到87%。但是模糊控制算法不具备学习自适应能力。为此,肖华<sup>[22]</sup>提出模糊控制理论与神经网络相结合,将其应用于隧道照明控制系统中,但该系统只通过理论分析得到其在建设及能源节约效果。王茜<sup>[23]</sup>通过灰色神经网络算法对隧道所需要的照明亮度进行预测,利用预测数据对隧道灯光配置进行调整,从而实现按需照明的节能效果。李春杰<sup>[24]</sup>提出基于优化模糊神经网络的隧道照明节能系统,该控制算法在承秦高速公路秦

皇岛段槐尖山隧道中应用,其节能达到 40%左右的效果。秦莉<sup>[25]</sup>以 PID 闭环反馈控制算法作为隧道照明控制策略,该控制系统通过该算法调节隧道内路面的实际亮度与所需的照明亮度保持一致,从而使得隧道处于最佳照明状态。陈瑞琦<sup>[26]</sup>提出应用模糊 PID 控制算法对隧道照明进行控制,该方法在陕西 2 条高速公路隧道进行试用,其节能分别为 34%与 45.8%。申喜芹<sup>[27]</sup>综合考虑洞外亮度、车速、车流量、时间、能见度 5 个参数,采用 PWM 调光技术,在河南少新高速公路上的邵源隧道进行实验,其节能达到 29.15%。周庆华<sup>[28]</sup>利用神经网络算法拟合洞外亮度、交通量等参数,同时结合多层阶梯式无极调光策略对隧道实现仿真实验,实验结果表明其节能达到 50%。

### 3.2 隧道照明节能研究的智能通信

在隧道建设中,隧道通信方式的选择对隧道的建设成本具有一定的影响,同时其还将影响隧道的智能化程度。由于不同的通信方式,其信息传输的有效性、快速性、稳定性等方面都不一样,因此,在隧道智能控制研究中,其显得尤为重要。目前国内外的隧道照明通信网络主要有简洁的 LonWorks 总线、传统的 RS485 总线、高效的 CAN 总线以及无线或者物联网等。电力线不仅可以为照明系统提供电源,同时也可作为通信网络的传输介质,如此,照明控制系统就不需额外铺设通信线,从而减少了隧道照明系统建设成本<sup>[29-30]</sup>。He Yi<sup>[31]</sup>利用 RS485 总线作为 LED 隧道照明控制系统的通信网络,将中央控制器、区域控制器以及各种探测传感器连接而成,从而使得隧道系统能够快速传递信息。对于 RS485 而言,其通信网络支持最多的节点数是 32 个、最大通信距离为 1 219 m<sup>[32]</sup>,但在长隧道(或特长隧道)中的应用存在严重的局限性。CAN 总线具有传输距离远、通信速度快以及网络节点数多等特点,因此,目前国内有学者对其在隧道中的应用展开相应的研究,如乔冠<sup>[33]</sup>对应用 CAN 总线于隧道照明控制系统进行探讨,而研究从理论的角度分析隧道在该网络下的框架。孔祥春<sup>[34]</sup>采用 CAN 总线对丁家坞隧道照明系统进行改造并实验,实验结果表明,改造后的照明系统比原来的系统节能 20%。随着 CAN 总线的应用及开发,CAN 总线目前尚未形成统一的高层协议<sup>[35]</sup>,而对于不同的高层协议,其通信能力(传输速度、节点数、通信距离等)各不一样。因此,随着 CAN 总线的发展,CAN 高层协议是未来隧道通信协议研究的重点方向。

由于无线网络具有通信稳定、速度快且铺线少等优点,能满足中短隧道的通信需求。为了研究其在隧道中通信效果,潘峰<sup>[36]</sup>采用 ZigBee 无线网络对隧道照明系统进行组网,通过仿真研究表明,无线网络可以降低隧道建设成本,并且其在后续的维护更加便捷。

## 4 基于优化布灯参数和 CAN 总线的隧道照明智能控制节能方案

不管是使用照明灯源节能,还是优化参数节能以及智能控制节能,在隧道照明节能方面都起到一定效果。但是这些节能研究相对单一,多种节能技术的融合将使隧道照明具有更大的节能空间。范士娟<sup>[37]</sup>使用 Dialux 软件对雁列山隧道的中间段选用灯具节能进行仿真,仿真实验表明 LED 灯比高压钠灯节能 51%。而杨超<sup>[38]</sup>在此基础上进行布灯参数优化节能研究,并且同时对 LED 照明灯具进行智能控制,实现第 3 次节能目的,比只进行优化的 LED 照明系统至少节能 38%。该研究只是对隧道的中间段进行了优化智能控制,未实现整个隧道照明系统布灯参数的优化和智能控制。

本文在文献[34-35]的基础上,提出一种基于布灯参数优化和 CAN 总线的隧道照明智能控制节能方案。根据《公路隧道通风照明设计规范》<sup>[39]</sup>可知,对于中长、特长高速公路隧道,将照明系统分为 4 段:入口段、过渡段、中间段和出口段;每段分别建立布灯参数优化模型,通过优化获得各段节能的布灯参数,实现一次节能;在布灯参数优化的基础上,依据文献[39],分别建立隧道各段需求亮度模型,依据此模型和实测的洞内亮度,采用无级调光控制技术,自动实现隧道 LED 灯的无级调光,使隧道照明系统实现“按需照明”,这样,布灯参数优化与智能控制相结合,就能在布灯参数优化带来 1 次节能的基础上,再通过智能控制实现第 2 次节能,从而实现节能的最大化。技术路线如图 1 所示。

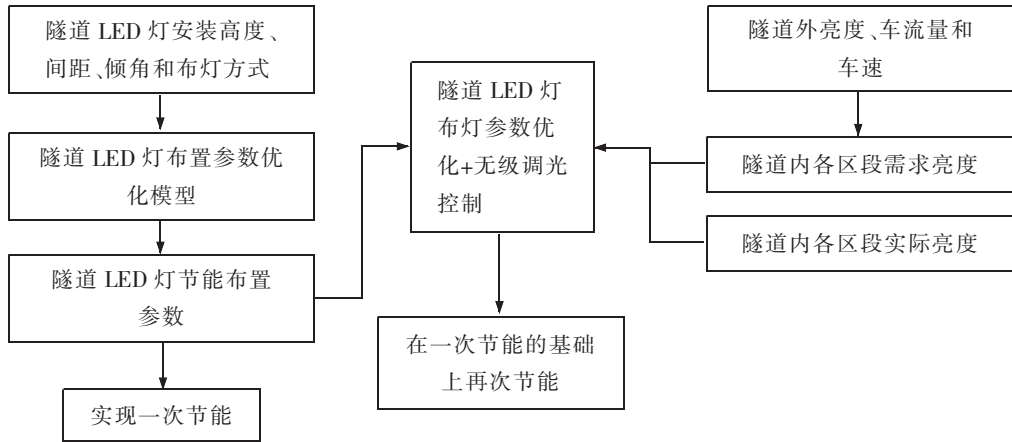


图1 技术路线示意图

Fig.1 Diagram of technical lines

隧道入口段、过渡段以及出口段应满足照明适应曲线。以入口段、过渡段为例,按照两侧对称布灯方式,可建立布灯参数优化模型:

$$\min P = 2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} 5 \leq \text{高度} \leq 7 \\ \text{灯具闪烁频率 } s/v \leq 2.5 \\ \text{相邻灯具光线有重叠} \\ \text{隧道侧面 } 2 \text{ m 以下亮度} \geq 0.6 \times \text{路面平均高度} \\ 0.95 E_{\text{curve}} \leq \text{路面中线照度} \leq 1.05 E_{\text{curve}} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $P$ 为 $2n$ 个灯具的总功率, $W$ ;  $n$ 为单侧灯具数量; $P_i$ 为单侧单灯功率, $W$ ;  $E_{\text{curve}}$ 为根据隧道亮度适应曲线<sup>[39]</sup>及测量点到路口距离和隧道路面情况计算得到的路面需求照度, $lx$ 。

同理,可建立隧道出口段布灯参数优化模型。文献[40]建立了隧道中间段照明系统5种布灯方式的布灯参数优化模型,通过仿真试验验证了各优化模型的节能有效性。隧道入口段、过渡段和出口段布灯参数优化模型的节能效果有待进一步研究。

文献[38]对隧道中间段照明采用模糊控制方法,仿真实验表明,对经过优化的隧道中间段照明系统进行智能控制,可在布灯参数优化节能的基础上,再节能15%以上。隧道入口段、过渡段和出口段布灯参数优化后再进行智能控制的节能效果有待进一步研究。

本方案采用PWM(pulse width modulation:脉宽调制)调光方式控制电源的平均输出电流,来实现隧道LED灯的无级调光。按照设定的时间间隔,通过亮度传感器、车流量采集器、车速采集器分别采集隧道洞外亮度、隧道洞内亮度、车流量和车速等数据,由照明控制计算机根据所测数据和隧道各区段需求亮度模型,自动计算隧道内的需求亮度,与隧道内的实际亮度比较,并根据隧道LED灯的功率曲线,自动计算出隧道各段各节点LED灯调光控制器所需输入的调光量,通过PWM方式调整LED灯的电流,完成调光,实现隧道“按需照明”。

对于中长和特长隧道,由于隧道各段所需最小亮度各不一样,因此需要对隧道照明分段控制。除此之外,隧道照明系统还需要节点数较多的通信网络以满足隧道长度需求。本方案选用CAN总线构建隧道照明通信网络,实现隧道各段不同照明的目标。经隧道布灯参数优化后可得隧道各区段需求亮度模型,而该模型依据传感器测量的车速、车流量以及洞外亮度值,通过照明控制计算机计算出隧道内各区段所需照明亮度。

由于隧道 LED 灯存在光衰,随着使用时间的延长,LED 灯实际照明亮度将小于所需照明亮度,为此,通过检测隧道洞内各区段亮度,结合隧道 LED 灯光衰曲线,对隧道各段 LED 灯实际照明功率进行调整。照明控制计算机通过 CAN 总线将照明控制指令传输至照明系统的各个灯具节点,各节点依据 CAN 控制器节点编码判断该指令是否符合接收要求,CAN 控制器将接收的照明控制指令传输至灯具节点对应的调光控制器,调光控制器根据照明控制指令控制 LED 驱动器,从而实现对 LED 灯的无极调光控制。隧道 LED 灯的调光控制方案如图 2 所示。

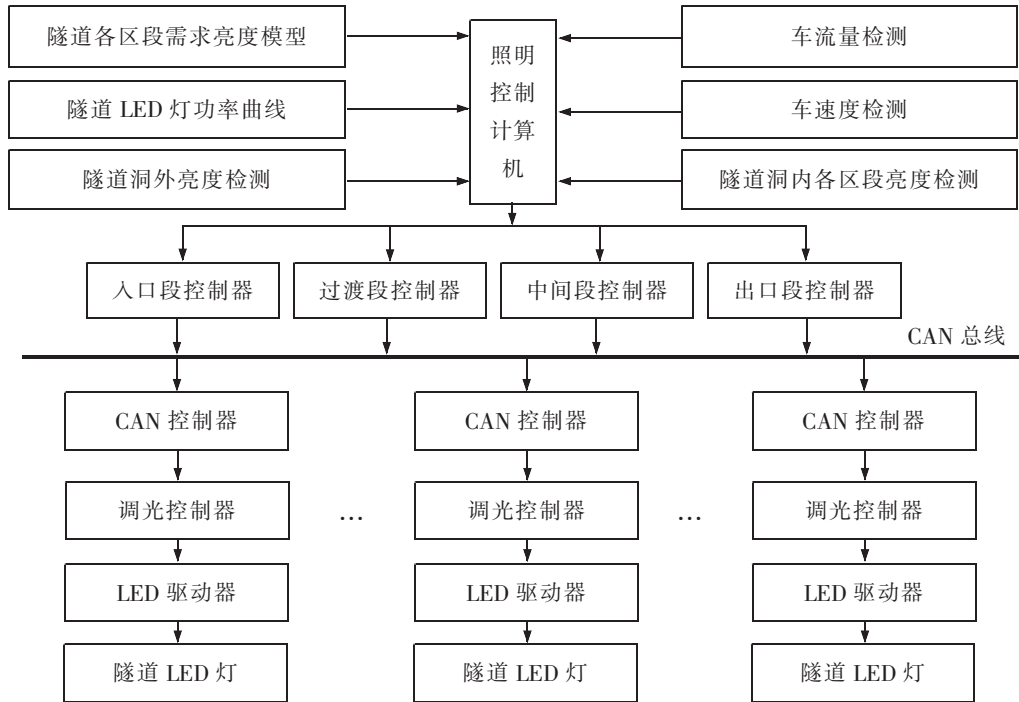


图 2 隧道 LED 灯的无极调光控制方案

Fig.2 Stepless dimming control schemes for tunnel LED

为了隧道内行车安全,必须考虑隧道各区段亮度变化自然、均匀,以满足人眼对亮度的适应要求。在调整洞内亮度时,采用亮度渐变的控制方式,逐渐达到所需的路面照明要求,避免因亮度突然变化威胁交通安全。过于频繁的触发调光不仅不利于人眼的适应,而且一定程度上会降低灯具的使用寿命,所以控制过程中采用时间触发方式,每过 20~30 s 采集一次洞外亮度、洞内亮度、车流量和车速数据信息,进行一次需求亮度的自动计算和调光控制。文献[38]仿真验证了所用调光控制方案的节能有效性,本控制方案依然采用文献[38]所用的调光控制方案。

## 5 结束语

国内设计的隧道照明系统普遍存在较大的电能浪费,为此,开展了针对隧道照明系统节能的研究。本文从隧道照明节能灯具、基于参数优化的隧道照明节能研究,以及基于智能控制的隧道照明节能研究等方面,对目前的隧道照明系统节能技术和研究成果进行了总结,分析得出,任何单一的节能方式,都很难使得隧道照明达到最佳节能效果。为了实现隧道照明系统节能最大化,提出了一种新的方案,即在隧道照明系统布灯参数优化的基础上,对(布灯参数优化后的)照明系统进行无极调光智能控制,按需照明,并利用 CAN 总线对隧道各段照明灯具的功率进行统一控制和管理,从而达到隧道照明系统节能最大化的目的。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2005年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. [2006-05-18]. [http://www.moc.gov.cn/fenixgongbao/hangyegongbao/201510/t20151013\\_1894750.html](http://www.moc.gov.cn/fenixgongbao/hangyegongbao/201510/t20151013_1894750.html).
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 2016年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. [2017-04-17]. [http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhghs/201704/t20170417\\_2191106.html](http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhghs/201704/t20170417_2191106.html).
- [3] 钱卫建. 高速公路隧道照明节能减排对策研究[J]. 中国交通信息化, 2016(4): 127-129.
- [4] 陈文成, 陈大华, 陈育明, 等. 电磁感应灯应用于雁列山隧道照明的探讨与实践[J]. 照明工程学报, 2005, 16(1): 51-55.
- [5] 郗锋. LED照明灯具在公路隧道中的应用研究[J]. 铁道建筑, 2011(5): 131-133.
- [6] 林俊. 无极荧光灯在上中路隧道照明的应用[J]. 光源与照明, 2014(2): 25-28.
- [7] 季佳俊, 王晓雯, 陈建忠. 公路隧道照明灯具配光的实验对比[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30(6): 1314-1317.
- [8] LAI WEI, LIU XIANMING, CHEN WEIMING, et al. optimization optical design for tunnel lamps with LED source[C]//Solid State Lighting (SSLCHINA), 2014 11th China International Forum on, 2014(12): 20-26.
- [9] 交通部重庆公路科学研究院. JTJ 026.1\_1999公路隧道通风照明设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [10] ANGEL PACHAMANOV, DESSISLAVA PACHAMANOVA. Optimization of the light distribution of luminaries for tunnel and street lighting[J]. Engineering Optimization, 2008, 40(1): 47-65.
- [11] LAI WEI, LIU XIANMING, CHEN WEIMIN, et al. Light intensity distribution optimization for tunnel lamps in different zones of a long tunnel[J]. Optics Express, 2014, 22(19): 22952-22961.
- [12] 皮亮, 季佳俊, 陈建忠. 公路隧道照明关键参数的实验分析[J]. 交通科技与经济, 2012(3): 24-26.
- [13] 任神河, 韩凯旋. LED隧道灯最优安装方式的实验研究[J]. 物联网技术, 2012(7): 30-32.
- [14] 范士娟, 杨超. 布灯方式对隧道照明的影响[J]. 井冈山大学学报: 自然科学版, 2013, 34(3): 50-53.
- [15] 纪思美, 高英明, 张竞辉, 等. 自然光与LED混合照明系统在隧道照明设计中的应用[J]. 照明工程学报, 2013, 24(3): 53-57.
- [16] 薛保勇, 周根耀, 李雪, 等. 隧道照明布灯方式 Ecotec 仿真及分析[J]. 公路交通科技, 2014(11): 131-133.
- [17] 杨超, 黄传茂. 高速公路隧道中央布灯照明参数优化研究[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(S2): 817-821.
- [18] 吴绍明, 吴梦军, 马非, 等. 三车道公路隧道照明灯具布置参数研究[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(S1): 471-475.
- [19] 李列. 基于灰色理论的隧道照明多级亮度智能控制策略研究[J]. 照明工程学报, 2011, 22(4): 7-10.
- [20] MOHAMED SALAH MUSA, PERUMAL NALLAGOWNDEN, KEVIN WILLIAM CHIU, et al. Design and development of intelligent adaptive tunnel lighting system[C]//2015 IEEE conference on Energy conversion, 2015(12): 19-20.
- [21] ZENG HONG, QIU JIAN, SHEN XINGFA, et al. Fuzzy control of LED tunnel lighting and energy conservation [J]. Tsinghua Science and Technology, 2011(12): 576-582.
- [22] 肖华, 黎福海, 程栋, 等. 基于模糊神经网络的无线隧道照明节能控制系统[J]. 计算机技术与应用, 2009(7): 128-131.
- [23] 王茜, 段中兴. 基于灰色神经网络的隧道照明智能控制策略研究[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(6): 46-47.
- [24] 李春杰, 王建平. 基于优化模糊神经网络的隧道照明节能系统设计[J]. 中国交通信息化, 2015(1): 125-127.
- [25] 秦莉, 董丽丽, 许文海, 等. 隧道照明闭环反馈智能控制系统[J]. 光学精密工程, 2015, 23(9): 2473-2481.
- [26] 陈瑞琦. 模糊PID控制在公路隧道照明节能系统中的应用[J]. 公路交通技术, 2016, 32(3): 138-140.
- [27] 申喜芹. 基于五元参数法的隧道LED照明智能控制技术[J]. 中国交通信息化, 2016(3): 120-124.
- [28] 周庆华, 贾晨, 李曙光. 基于神经网络的隧道照明无极调光节能控制算法研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(8): 8-12.
- [29] 黄天成, 罗璠, 刘超. 基于LonWorks总线的隧道灯光控制系统[J]. 测控技术与仪器仪表, 2007(8): 86-88.
- [30] 汪一旺, 张波, 吴铄. 基于电力载波通信的LED隧道照明控制器设计[J]. 电源技术, 2011(4): 985-987.
- [31] HE YI, LI CHANGBIN, WU AIGUO, et al. LED lighting control system in tunnel based on intelligent illumination curve[C]//2012 Fifth International Conference on Computation Technology and Automation, 2012(1): 12-14.
- [32] 王明生. RS-485通讯在窑炉测控系统中的应用[J]. 砖瓦, 2012(5): 28-31.
- [33] 乔冠, 段中兴. 基于CAN总线隧道智能照明控制系统的研究[J]. 能源与环境, 2010(6): 9-19.

- [34] 孔祥春,陈晓阳. 基于 CAN 总线的 LED 智能控制系统在隧道照明中的应用研究[J]. 公路交通技术,2014(4):132-134.
- [35] 王灿,李良荣. CAN 高层协议在隧道照明节能控制系统中的应用探索[J]. 照明工程学报,2016,27(5):58-62.
- [36] 潘峰,曾璐,谢晓尧. 基于无线传感器网络的隧道照明控制系统[J]. 传感器与微系统,2014,33(6):111-113.
- [37] 范士娟. 公路隧道照明中央布灯参数优化研究[J]. 华东交通大学学报,2016,33(4):67-72.
- [38] 杨超,程翠,徐一航. 基于布灯参数优化的隧道照明节能控制[J]. 华东交通大学学报,2017,34(2):128-133.
- [39] 中华人民共和国交通运输部. JTG T D70.2.01.2014 公路隧道通风照明设计规范[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [40] 黄传茂. 高速公路隧道照明系统布灯参数优化研究[D]. 南昌:华东交通大学,2016.

## Development of Energy-saving Technology of Highway Tunnel Lighting System

Yang Chao, Li Min, Yang Xiaoxia, Li Lingfei

(School of Mechatronics & Vehicle Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The tunnel lighting system not only affects the safety of tunnel traffic, but also is the key to reducing the construction and operation cost of highway tunnel. Under the premise of ensuring the safety of the tunnel traffic, it is necessary to effectively reduce the power consumption of lighting system. Energy-saving studies based on energy-saving tunnel lighting lamps, parameters optimization of tunnel lighting system, and intelligent control were summarized and analyzed. A more energy-saving and efficient scheme was proposed, i.e. optimizing the installation parameters of LED luminaires of all sections of tunnel with the purpose of saving energy, under the condition of tunnel lighting meeting the traffic requirements, then, stepless dimming control was carried out through the installation-parameter-optimized lighting system. Finally, CAN bus was used to control and manage the power of every LED luminaire, so as to maximize the energy saving of the tunnel lighting system.

**Key words:** highway tunnel; lighting system; energy saving; parameters optimization; CAN bus