

文章编号:1005-0523(2011)05-0009-05

高速公路隧道照明自动控制系统

范士娟, 李伟

(华东交通大学载运工具与装备省部共建教育部重点实验室, 江西 南昌 330013)

摘要:为解决隧道照明系统中存在的能源浪费问题,基于无级控制方法设计了一种隧道照明自动控制系统。控制系统主要由车流量采集器、车速采集器、亮度采集器、数据转换器、照明控制计算机、驱动电源和配套的LED隧道灯组成,控制计算机收集各采集器的数据,按照调光控制逻辑和隧道照明控制模型调整洞内LED灯的功率,实现隧道洞内照明亮度的连续调节。对隧道照明控制模型进行了仿真试验,仿真试验数据和理论计算结果的误差小于2%,表明自动控制系统能够满足隧道照明的实际亮度需求。与按最大亮度值考虑的HPS灯和LED灯相比,无级控制的LED灯可分别节能80%和35%以上,比4级控制的LED灯节能20%以上。

关键词:隧道照明;自动控制系统;无级控制方法;连续调光;节能

中图分类号:U459.2;TP273+.2

文献标志码:A

隧道照明是保障公路隧道安全行车和运营的重要组成部分,同时也是隧道内能耗最大的环节^[1],因此,多个国家制定了隧道照明的设计规范,如CIE^[2](commission international d'eclairage),BS^[3](Britain lighting standards)和IES^[4](illuminating engineering society of North America)等。对于隧道照明系统而言,照明控制系统设计的好坏直接决定着整个照明系统的优劣。现有的控制方法主要包括手动控制方法、时序控制方法和自动控制方法。手动控制和时序控制方法易于实施,在实际应用中稳定可靠,但不能根据天气、车流量和车速的变化对洞内亮度进行调节,基本上没有节能效果,存在着很大的电能浪费^[5-7]。自动控制方法按调光的连续性可分为有级调光和无级调光。在LED灯应用于隧道照明之前,我国隧道照明系统大多采用有级控制方式,但也存在着一些问题,主要表现在:①因布线回路的限制只能做到2~4级自动控制,洞外亮度、车流量和车速等参数只是在设计阶段以最大值考虑,最终各段照明亮度也始终是处于最大值状态,照明系统效率偏低,存在着大量的电能浪费;②营运过程中产生与行车安全和隧道监控之间矛盾等问题^[8-9]。本文利用LED灯的优越性能,尤其是它相比于其它照明灯具易于控制的特点,设计一种隧道照明自动控制系统,可根据洞外亮度、车流量和车速的变化动态调整洞内亮度,实现隧道照明的连续调光,不仅保证隧道的安全运营,而且降低隧道的电能消耗。

1 隧道照明系统的整体控制方案

本文设计的应用于隧道照明自动调光系统,主要由车流量采集器、车速采集器、亮度采集器、数据转换器、照明控制计算机、驱动电源和配套的LED隧道灯组成,系统结构如图1所示。车流量采集器、车速采集器和亮度采集器采集到的隧道车流量、车速和洞外亮度信息,经数据转换模块处理后发送给隧道控制室内的照明控制计算机,按照事先设定好的调光控制逻辑,计算出洞内各区段的亮度,并根据隧道各区段亮度

收稿日期:2011-09-10

基金项目:载运工具与装备省部共建教育部重点实验室开放基金项目(09101026)

作者简介:范士娟(1969—),女,副教授,硕士,研究方向为隧道照明节能智能控制。

值及LED灯功率曲线计算出每一节点驱动电源所需输入的控制电压,通过信号传输电缆把调光控制指令发送给各个驱动电源,驱动电源根据得到的指令调整LED灯的功率,并反馈相关信息给照明控制计算机,实现对隧道内照明系统的连续调光。

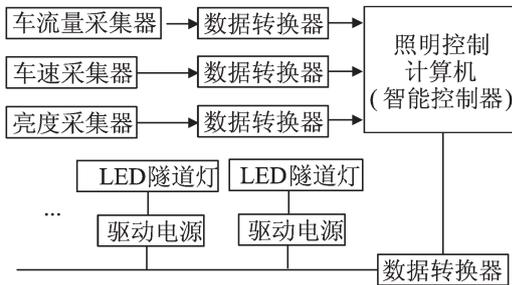


图1 隧道照明自动控制系统结构图

Fig.1 Block diagram of tunnel lighting auto-control system

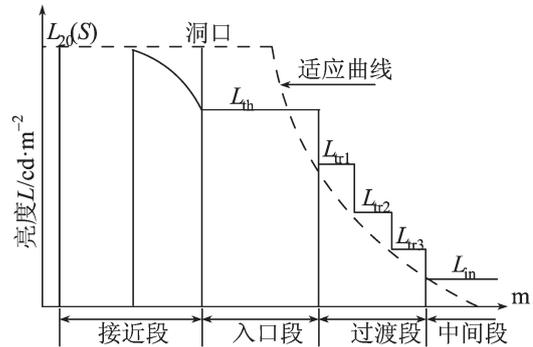


图2 隧道照明的理论需求曲线

Fig.2 Theory demand curve of tunnel lighting

2 隧道照明系统的自动控制策略及亮度计算模型

一般有级调光在设计阶段对环境参数以最大值考虑,没有考虑跟随环境参数的变化去调光,或由于灯具及布线回路的限制只能做到几级调光;无级调光并不是绝对的连续调光,但能够更加精细的划分调光级数,接近于连续控制。

隧道照明系统的控制策略主要依据《公路隧道照明通风设计规范》^[10](以下简称《规范》)中的规范进行设计,其原理为:根据隧道洞内亮度适应曲线、隧道洞外亮度、车流量和车速信息建立隧道各区段亮度数学模型,并根据这些模型对隧道照明灯具进行动态调光控制,使隧道内实际亮度值很好的接近亮度适应曲线,实现隧道的节能。

根据《规范》,长大隧道照明区段可分为入口段、过渡一段、过渡二段、过渡三段、中间段和出口段(见图2)。图中, $L_{20}(S)$ 为洞外亮度, L_{th} 为入口段亮度, $L_{t1} \sim L_{t3}$ 分别为过渡一段~过流三段的亮度, L_{tn} 为中间段亮度。按照规范的设计标准,建立隧道照明各区段亮度的数学模型,每一次调光计算出相应各区段所需的亮度值,换算出LED灯所要调整的功率信息传送给驱动电源。为了满足人眼对亮度的适应要求,对LED灯的控制采用256级对数调光方式,使整个调光区域看起来像线性调节。为了保证隧道内行车的安全,在调整洞内亮度时,采用亮度渐变的控制方式,逐级分段的达到所需的亮度要求,避免亮度的突然变化。过于频繁的触发调光不利于人眼的适应,一定程度上还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3~5 min采集一次洞外亮度、车流量和车速数据,进行一次亮度需求的计算。

隧道各区段亮度的数学模型主要针对洞外亮度 $L_{20}(S)$ 、车流量 Q (辆/小时)和车速 v ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)建立,采用线性回归方法对《规范》中的数据进行数理统计得到。

1) 入口段亮度数学模型:对《规范》中的数据进行一阶线性回归(本文只对双车道单向交通隧道进行设计),可得交通量 $Q \leq 700$ 辆/小时和 $Q \geq 2400$ 辆/小时时的入口段亮度折减系数 k 回归公式;当交通量 700 辆/小时 $\leq Q \leq 2400$ 辆/小时时,采用内插法计算入口段亮度折减系数。

不同交通量和行车速度时的入口段亮度折减系数按式(1)计算。

$$k = \begin{cases} 0.0004v - 0.0085 & Q \leq 700 \\ [0.54v + 0.0002Q(v - 1.1) - 12.91]/1700 & Q \in (700, 2400) \\ 0.0006v - 0.0107 & Q \geq 2400 \end{cases} \quad (1)$$

根据《规范》,入口段亮度计算公式为

$$L_{th} = k \cdot L_{20}(S) \quad (2)$$

2) 中间段亮度数学模型:对《规范》中的数据采用二阶线性回归,可很好的拟合规范中的中间段亮度

值,交通量 $Q \leq 700$ 辆/小时和 $Q \geq 2400$ 辆/小时时的中间段亮度回归公式曲线;交通量 700 辆/小时 $\leq Q \leq 2400$ 辆/小时时,采用内插法计算。不同交通量和行车速度时中间段亮度按式(3)计算。

$$L_{in} = \begin{cases} 0.0013v^2 - 0.135v + 4.95 & Q \leq 700 \\ [(1.58 + 0.0009Q)v^2 - 195.34v + (0.0475 - 0.0488v)Q + 8082.5]/1700 & Q \in (700, 2400) \\ 0.0022v^2 - 0.1838v + 5.425 & Q \geq 2400 \end{cases} \quad (3)$$

3) 过渡段的亮度取决于入口段的亮度,参照《规范》可知过渡段由 L_{tr1} 、 L_{tr2} 和 L_{tr3} 三段组成,其对应的三段亮度分别为 $L_{tr1} = 0.3L_{th}$, $L_{tr2} = 0.1L_{th}$, $L_{tr3} = 0.035L_{th}$ 。

4) 出口段的亮度 L_{out} 可取中间段亮度的5倍,即 $L_{out} = 5L_{in}$ 。

3 控制系统主程序流程设计

隧道照明系统控制程序流程如图3所示。首先对系统各模块进行初始化,读取亮度传感器和车辆传感器采集的信息,判断是否启用手动控制(默认情况下为自动控制);如果是自动控制,判断隧道是否处于正常状态,如果状态不正常,调用特殊状态控制程序,并报警结束程序;如果状态正常,直接调用计算机自动调光控制程序,输出调光指令,完成一次调光;判断是否有外界触发停止程序,如果没有,间隔3~5 min重新采集数据,如果有,结束程序。将建立的数学模型和系统控制流程转化为相应的控制程序,嵌入到照明控制计算机中,即可实现隧道照明系统亮度的自动调控。

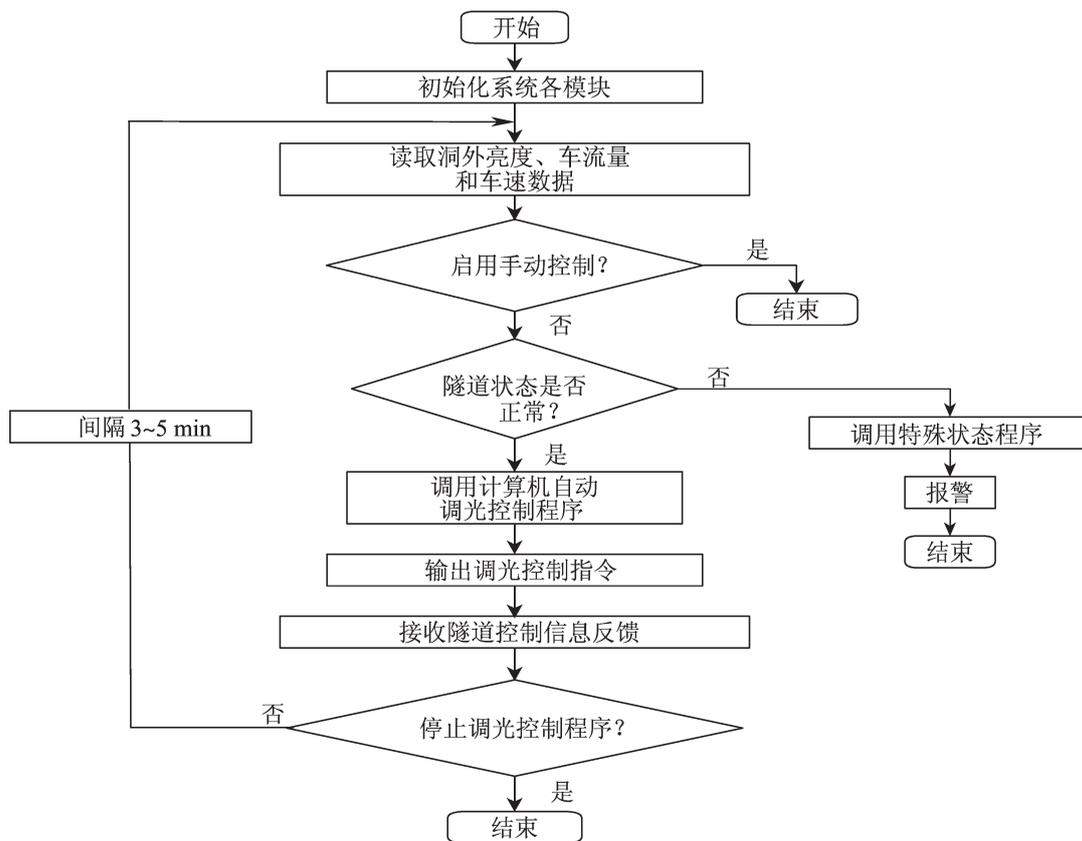


图3 隧道照明系统控制流程图
Fig.3 Flow chart of tunnel lighting control system

4 仿真与分析

在照明设计软件DIALux中建立隧道模型和仿真模型,设定一天不同时间段的洞外亮度、车流量和车速参数值,在此条件下采集各区段亮度的多组样本数据,限于篇幅本文只列出5组样本数据如表1。根据

所建立的各区段亮度数学模型设定的洞外亮度、车流量和车速参数值下计算不同隧道区段的亮度值,即理论照明亮度值,也列于表1,比较可知,仿真调光数据与理论数据很接近,误差基本控制在2%以内。

表1 各区段仿真亮度值/理论亮度值(部分)

$L_{20}(S)/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	车流量/ 辆/小时	车速/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$L_{\text{th}}/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$L_{\text{tr1}}/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$L_{\text{tr2}}/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$L_{\text{tr3}}/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$L_{\text{in}}/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$L_{\text{out}}/\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$
4 000	500	65	70/70	20.6/21	6.8/7.0	2.5/2.5	1.5/1.7	8.4/8.5
4 000	1 000	75	95/95	28.3/28.5	9.3/9.5	3.2/3.3	2.2/2.2	10.8/11.0
3 000	1 500	85	97/97	28.7/29.1	9.6/9.7	3.4/3.4	3.7/3.8	18.7/19.0
3 000	2 500	95	139/139	41.5/41.7	13.6/13.9	4.7/4.9	7.7/7.8	38.6/39.0
2 000	1 500	85	65/65	19.2/19.5	6.4/6.5	2.3/2.3	3.6/3.8	18.5/19.0
2 000	1 000	75	48/48	14.1/14.4	4.5/4.8	1.6/1.7	2.2/2.2	10.6/11.0

图4是白天晴天时隧道照明功率的变化图,从图中可以看出将高压钠灯替换为LED灯,就可以节能45%左右。对LED灯进行无级调光,其节能效果更加明显,相比于只按最大值考虑的高压钠灯和LED灯,分别多节能80%和35%以上。相比于LED灯的四级有级控制,无级调光也能够多节能20%以上。本文设计的隧道照明自动控制系统,不仅有较优的控制效果,保证了隧道的行车要求,同时有很好的节能效果。

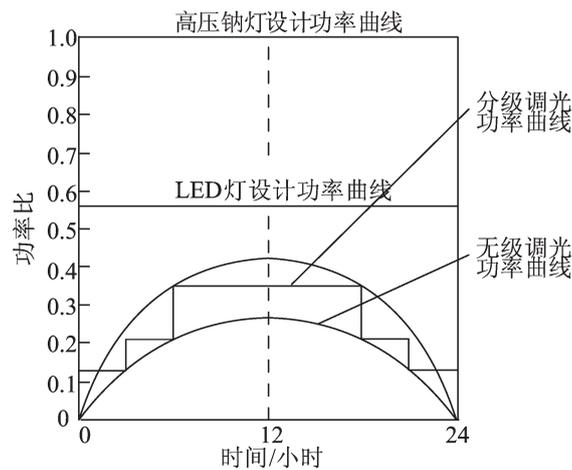


图4 一天中隧道照明功率变化图
Fig.4 Power curves of tunnel lighting in a sunny day

5 结束语

隧道照明是公路交通工程的重要组成部分,照明控制系统的好坏直接影响到隧道内的行车安全和能耗成本。本文利用LED灯的优越性能:①以《规范》为依据,以洞外亮度、车流量和车速为输入参数,建立了隧道所需亮度数学模型;②能够跟随洞外亮度、车流量和车速参数的变化而自动调节洞内亮度,设计了一种隧道照明自动控制系统,该系统在满足照明要求的同时,降低了传统照明控制系统因忽略车流量、车速的影响或只按阶段最大值考虑所造成的电能浪费,节能效果显著。

参考文献:

- [1] 涂耘. 公路隧道节能照明系统研究[J]. 公路交通科技, 2008(6): 117-120.
- [2] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. CIE No 88-2 guide for the lighting of road tunnels and underpasses

- [S]. Vienna: CIE Publication, 1999.
- [3] BRITISH TECHNICAL COMMITTEE. BS 5489-2 code of practice for the design of road lighting of tunnels[S]. London: British Standards Institution, 2003.
- [4] ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. ANSI/IESNA RP-22-96 American national standard practice for tunnel lighting[S]. Washington: American National Standards Institute, 1996.
- [5] 陈仲林,孙春红. 公路隧道照明设计研究[J]. 灯与照明, 2007, 31(3): 32-35.
- [6] 黄凤武,陈勇隧道照明节能控制系统研究与实现[J]. 公路工程, 2008, 33(6): 111-114.
- [7] 郭兰英,梁波,张生瑞. 一种新的隧道照明系统控制策略[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2009, 39(4): 572-574.
- [8] 李韧,傅达,陈朝阳. 隧道照明节能与控制[J]. 公路工程, 2007, 32(5): 204-206.
- [9] 郭兰英,梁波. 公路隧道照明控制系统研究与实现[J]. 微计算机信息, 2009, 25(3): 38-40.
- [10] 交通部重庆公路科学研究所. 公路隧道通风照明设计规范JTJ026.1-1999[S]. 北京:人民交通出版社, 2000.

Auto-control System for Highway Tunnel Lighting

Fan Shijuan, Li Wei

(Key Laboratory of Conveyance and Equipment of Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: To solve the problem of energy dissipation in tunnel lighting system, an automatic control system for tunnel lighting is designed based on stepless control method. The control system is made up of vehicle detectors, luminance detectors, data converters, lighting control computer, dimming controllers and LED (light-emitting diode) lamps. The lighting control computer collects data from the detectors and adjusts the power of interior LED lamps according to dimming logic and tunnel lighting control model to achieve continuous tuning of tunnel lighting luminance. The simulation experiment for the tunnel lighting control model is done, comparison between simulation luminance data and theoretical luminance data calculated shows that the automatic control system can meet the actual luminance requirements in tunnel lighting, the error can be controlled less than 2%. The stepless controlled LED lamps can save more than 80% and 35% energy than HPS (high pressure sodium) lamps and LED lamps respectively while they are used with maximum lighting value, and can save more than 20 % energy than 4-step controlled LED lamps.

Key words: tunnel lighting; automatic control system; stepless control method; continuous light tuning; energy-saving