

隧道智能照明控制系统研究

黄永飞

(广州市北二环交通科技有限公司)

【摘要】针对公路隧道照明安全与节能之间的矛盾,特别是交通量较少的山区高速公路隧道,文章提出了集交通量、洞外亮度、色温控制于一体的隧道智能照明控制系统。首先收集隧道基本参数,然后根据实时交通量和洞外亮度,确定隧道入口段的折减系数、隧道加强段亮度和隧道基本段亮度。同时采用色温控制技术调节隧道内灯具色温,给驾驶员营造一种和谐的隧道照明光环境。隧道智能照明控制系统的研究及应用不仅可以保证隧道照明安全性,同时可以进一步降低隧道照明能耗,实现根据交通量实时动态的智慧节能照明控制。该系统对提升隧道照明安全和节能水平,推动隧道提质升级和公路交通绿色低碳水平具有积极的促进作用。

【关键词】隧道智能照明控制系统;交通量;洞外亮度;色温

中图分类号:U453.7

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2024.12.039

Research on Intelligent Lighting Control System of Tunnel

HUANG Yong-fei

(Guangzhou Beierhuan Transportation Technology Co., Ltd.)

【Abstract】Aiming at the contradiction between lighting safety and energy saving in highway tunnels, especially in mountainous expressway tunnels with less traffic volume, this paper proposes an intelligent lighting control system for tunnels, which integrates traffic volume, brightness outside the tunnel and color temperature control. Firstly, the basic parameters of the tunnel are collected, and then the reduction coefficient of the tunnel entrance section, the brightness of the tunnel reinforcement section and the brightness of the tunnel basic section are determined according to the real-time traffic volume and the brightness outside the tunnel. At the same time, the color temperature control technology is used to adjust the color temperature of lamps in the tunnel, so as to create a harmonious tunnel lighting environment for drivers. The research and application of tunnel intelligent lighting control system can not only ensure the safety of tunnel lighting, but also further reduce the energy consumption of tunnel lighting, and realize the intelligent energy-saving lighting control according to the real-time dynamic traffic volume. The system plays a positive role in improving the safety and energy saving level of tunnel lighting, promoting the upgrading of tunnel quality and the green and low-carbon level of highway traffic.

【Keywords】tunnel intelligent lighting control system; traffic volume; brightness outside the hole; colour temperature

1 引言

截至2022年底,我国公路隧道总里程已达26784公里,随之而来的是隧道照明能耗的日益增长。在公路隧道的日常运营费用中,隧道照明占整条路运营管理费用的60%以上。隧道照明运营成本已经成为管理者不能承受之重,尤其是交通量较少、隧道较多的山区高速公路。同时,我国大多数高速公路隧道采用传统的隧道照明分级控制方式,控制方法简单,运营成本高。尽管新建隧道已经全部采用LED节能型照明灯具,但目前广泛采用的无极调光控制系统依然不能根据洞外亮度和交通量对隧道照明进行实时调节,发挥不了真正的作用^[1]。为了降低运营成本,急需研究一种隧道智能照明控制系统,可以根据交通量、洞外亮度、色温等因素对隧道照明

亮度进行实时调节。

2 智能隧道照明控制系统

将通过微波车辆检测器进行车流量、车速等采集到的数据和隧道洞外亮度检测仪、色温仪采集到的实时数据传输到智能照明控制模块,对隧道内入口段、过渡段、基本段、出口段的所需亮度进行实时精准预测。结合隧道内照明灯具的布设方案,对隧道内灯具进行精确控制。在满足隧道内运营环境的前提下,降低隧道运营能耗。

3 智能隧道照明控制构成

3.1 交通量监测系统

在《公路隧道照明设计细则》中,隧道入口段的折减系数和基本段亮度的取值都是基于工可预测交

通量进行取值。在实际运营中,实际交通量与工可预测交通量存在很大的区别。因此,本文在隧道口设置微波车辆监测器,采集交通量和车速等数据,通过监控系统软件获取隧道实时交通量^[2]。

3.2 洞外亮度控制系统

隧道洞外亮度直接影响隧道入口段1照明亮度,而入口段1照明亮度又直接影响到隧道入口段2、过渡段1、过渡段2和过渡段3的亮度。因此,可以看出隧道洞外亮度是隧道照明设计中的一个非常重要的参数。隧道洞外亮度取值越高,隧道各加强段照明亮度指标越高,这无疑会导致初期投资和后期运营成本的增加。由于设计时隧道洞口一般不具备现场测量条件,且规范中规定洞外亮度应取一段时间测量的平均亮度。因此,设计时对于端墙式洞门,洞外亮度一般取3500cd/m²,对于削竹式洞门,洞外亮度一般取3000cd/m²。实际运营中,洞外亮度与天气、季节、时间均有密切关系。因此,本文拟在隧道洞内外分别设置洞外亮度仪和洞内亮度仪,对洞内外亮度进行实时采集,由采集的洞外亮度确定符合隧道行车视觉适应性的洞内各区段照明需求,由采集的洞内亮度反馈亮度控制是否满足要求,结合交通量和交通流数据进行满足当前参数下的亮度需求控制。

3.3 色温控制系统

隧道照明灯具主要分为两部分,隧道加强照明灯具和隧道基本照明灯具。本文拟在智能照明控制系统中加入色温控制系统,在洞外距离洞口一个停车视距的地方设置一个色温仪,通过测量到的洞外色温数据,对洞内加强段照明灯具色温进行调整。在隧道内各加强段和基本段分别设置一个色温仪,实时采集隧道各照明段色温,由采集的洞外色温确定符合隧道行车视觉适应性的洞内各区段照明需求,由采集的洞内色温反馈色温控制是否满足要求^[3]。

4 智能隧道照明控制系统策略

4.1 交通量控制策略

根据《公路隧道照明设计细则》,隧道入口段照明宜分两段设置,与之对应的亮度可分别按式1及式2计算:

$$L_{th1} = k \times L_{20}(S) \quad (1)$$

$$L_{th2} = 0.5 \times k \times L_{20}(S) \quad (2)$$

式中: L_{th1} 为入口段1亮度(cd/m²); L_{th2} 为入口段2亮度(cd/m²); K 为入口段亮度折减系数,可按表1取值; $L_{20}(S)$ ——洞外亮度(cd/m²)。

表1 入口段亮度折减系数

设计交通量N (veh/h·ln)		k				
		设计速度vt(km/h)				
单向 交通	双向 交通	120	100	80	60	40
≥1200	≥650	0.070	0.045	0.035	0.022	0.012
≤350	≤180	0.050	0.035	0.025	0.015	0.01

当交通量在中间值时,按内差考虑。

考虑到高速公路隧道行车速度基本都大于80km/h,因此本文给出行车速度在80 km/h、100 km/h、120 km/h三种速度下入口段折减系数计算方法。

隧道行车速度为80km/h,当检测到的交通量小于350时,入口段折减系数取0.025,当检测到的交通量1200≥N≥350时,K值应按照式3进行取值。

$$k = \frac{(0.035 - 0.025)}{850} (N - 350) + 0.025 \quad (3)$$

当检测到的交通量大于1200时,入口段折减系数取0.035。

隧道行车速度为100km/h,当检测到的交通量小于350时,入口段折减系数取0.035,当检测到的交通量1200≥N≥350时,K值应按照式4进行取值。

$$k = \frac{(0.045 - 0.035)}{850} (N - 350) + 0.035 \quad (4)$$

当检测到的交通量大于1200时,入口段折减系数取0.045。

隧道行车速度为120km/h,当检测到的交通量小于350时,入口段折减系数取0.050,当检测到的交通量1200≥N≥350时,K值应按照式5进行取值。

$$k = \frac{(0.07 - 0.05)}{850} (N - 350) + 0.05 \quad (5)$$

当检测到的交通量大于1200时,入口段折减系数取0.07。

4.2 洞外亮度控制策略

根据式3~式5,当洞外亮度变化时,可根据洞外亮度的变化,通过入口段折减系数计算得出入口段亮度,但是在实际调光过程中,为了避免频繁调光干扰驾驶员安全驾驶,应根据洞外亮度的变化对洞外亮度进行分级。将洞外亮度分为1000cd/m²、1500

cd/m²、2000 cd/m²、2500 cd/m²、3000 cd/m²、3500 cd/m²、4000 cd/m²、4500 cd/m²、5000cd/m²等不同亮度等级对隧道入口段亮度进行调光控制^[4],当入口段亮度确定后,各加强段亮度如表2所示。

表2 过渡段亮度

照明段	TR ₁	TR ₂	TR ₃
亮度	$L_{tr1}=0.15L_{th1}$	$L_{tr2}=0.05L_{th1}$	$L_{tr3}=0.02L_{th1}$

4.3 色温控制策略

由于目前在《公路隧道照明设计细则》中没有对灯具色温提出相关控制方法,因此本文参照亮度控制模式,主要依据洞外色温的变化来调整隧道加强照明灯具色温,根据亮度和驾驶员反应时间来调整隧道基本段照明灯具色温,并根据相关研究结果对色温调控间隔进行了规定。

4.3.1 加强段照明灯具色温控制策略

对于太阳光自然照明,隧道洞外色温具备如下特点:①隧道洞外色温随着季节有着明显的变化,夏季色温明显高于冬季色温;②隧道洞外色温与天气变化有着密切的关系,晴天色温明显高于阴天色温;③隧道洞外色温与时间也有着密切的关系,中午色温明显高于早晚色温。

当驾驶员由色温较高的洞外自然光色温环境中,驾车进入隧道内时,应尽量调整隧道内色温与洞外色温保持一致,使驾驶员在行驶过程中,基本不会感觉到色温的明显变化,给驾驶员营造一种舒适、安全的隧道照明光环境^[5]。

4.3.2 基本段照明灯具色温控制策略

根据刘英婴在《LED光源色温对隧道照明入口段和中间段的影响》一文中的相关研究成果可以看出,当基本段亮度为4.5cd/m²时,驾驶员反应时间和色温的关系如表3所示。

表3 驾驶员反应时间与色温对应表

色温(K)	2000K	2500K	3000K	3500K	4500K	5000K	5500K
反应时间(ms)	204	177	178	158	170	164	160

从表3中可以看出,在基本段照明亮度指标下,隧道照明灯具色温在3500K~5000K时,驾驶员反应时间最短,因此隧道基本段照明灯具色温宜调整在3500K~5000K。

4.3.3 色温调控间隔

研究结果表明,在洞外色温较高时,当色温调控间隔为1000K时,驾驶员的视认时间平均百分比提高了20.8%,因此当色温调控间隔为1000K时,驾驶员的视认时间有一定程度的突变,本文采用表4作为色温调控间隔,色温调控分级表如表4所示。

表4 色温调控分级表

级数	色温(K)
一级	3000
二级	3500
三级	4000
四级	4500
五级	5000
六级	5700
七级	6500

5 结语

目前,高速公路隧道中虽然设置了隧道智能照明控制系统,但是由于缺少控制方法和控制策略,隧道智能照明控制系统并没有真正地发挥其作用。针对这一问题,本文提出了一种基于交通量、洞外亮度和色温的智能照明控制系统,并针对交通量控制系统、洞外亮度控制系统和色温控制系统提出了具体的实施办法,给出了各控制系统的控制策略,避免过度照明或照明不足,从而促使隧道照明系统更加安全、节能。

参考文献

- [1] 王希良, 李晓寒, 韩美玲, 等. 高速公路隧道按需照明的节能控制[J]. 照明工程学报, 2020 (1): 113-118.
- [2] 尹力, 史玲娜, 刘贞毅, 等. 低交通量下“与车随行”隧道照明节能控制技术应用研究[J]. 隧道建设, 2019 (8): 1270-1276.
- [3] JTG/T D70/2-01-2014. 公路隧道照明设计细则[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.
- [4] 刘英婴, 张青文, 胡英奎. LED光源色温对隧道照明入口段和中间段的影响[J]. 照明工程学报, 2013 (2): 30-34.
- [5] 刘英婴. 用反应时间研究到了照明光源的相对光效[D]. 重庆: 重庆大学.