

高速公路隧道照明节能技术与控制研究

黄文摄

深中通道管理中心 广东中山 528400

摘要: 隧道设计是高速公路建设中的重要环节, 因此, 保障隧道内照明系统设计的科学性, 能够有效地降低交通事故的发生率, 保障高速公路的行驶畅通。而做好照明系统的节能控制, 能够避免能源浪费和无效照明, 对于促进高速公路建设具有十分重要的现实意义。基于此, 本文从分析隧道照明节能控制入手, 结合高速公路隧道照明节能控制系统存在的问题, 提出了节能措施。

关键词: 高速公路; 隧道照明; 节能技术; 控制研究

Research on energy-saving technology and control of highway tunnel lighting

Wenshe Huang

Shenzhen China Channel Management Center, Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract: Tunnel design is an important link in expressway construction. Therefore, ensuring the scientific design of the lighting system in the tunnel can effectively reduce the incidence of traffic accidents and ensure the smooth running of the highway. And do a good job of lighting system energy saving control, can avoid energy waste and ineffective lighting, to promote the highway construction has very important practical significance. Based on this, this paper from the analysis of tunnel lighting energy saving control, combined with the highway tunnel lighting energy saving control system's existing problems, put forward the energy saving measures.

Keywords: highway; tunnel lighting; energy-saving technology; control research

引言:

在高速公路建设发展的过程当中, 很多路段存在隧道, 隧道建设是高速公路建设不可缺少的一环。因此, 想要提高隧道内照明系统建设的科学性, 就应当根据隧道的实际环境、路况环境、光照环境等, 因地制宜的设置照明系统, 合理选择灯具以及控制方式, 加强照明系统的节能控制, 实现绿色照明可持续发展。

一、隧道照明节能控制

1. 高速公路隧道按需照明节能控制要素

随着交通建设的不断发展, 我国高速公路的数量逐渐增多, 特别是道路建设技术的不断发展, 高速公路缩

短了路程, 同时出现了许多高速公路隧道, 所以隧道照明在交通道路建设当中所占作用十分重要。因此, 在高速公路隧道照明节能控制过程中, 应充分考虑人眼在光线变化时会为了适应光线的明暗变化, 以保障视觉的清晰度而进行的光亮调节, 人眼的这种控制能力是通过人眼结构以及人体神经系统来实现的, 瞳孔的放大和缩小, 可以调节人眼光亮, 让人眼获取最佳光线和最清晰的视觉信息。通常人们在高速公路行驶时突然进入隧道, 会由于光线减弱, 人眼瞳孔放大调节光亮, 而驶出隧道时, 瞳孔也会做出相应调整, 适应光线变换, 这一过程被称为暗适应和亮适应, 在驶入高速公路隧道的过程当中, 光线前后差别越大, 人眼所需要的适应时间也就越长, 所以隧道照明节能控制系统的关键因素是人眼适应曲线^[1]。

2. 高速公路隧道照明节能控制原理

高速公路隧道照明的最基本特点就是要保证司机出入隧道时要达到最适宜的光照变化, 并由此来减少对灯光明暗适应的时间, 从而保证行车安全, 所以高速公路

通讯作者简介: 黄文摄, 出生年月: 1986.10.06, 民族: 汉族, 性别: 男, 籍贯: 广东湛江, 单位: 深中通道管理中心, 职位: 主管, 职称: 交通工程工程师, 学历: 大学本科 (在读研究生须注明博士研究生或硕士研究生), 邮编: 528400, 研究方向: 高速公路交通工程。

隧道灯光的节能管理系统就必须贯彻优化计算照明要求和合理调节灯光输出的准则。并且,优化计算照明需求就是要针对隧道内灯光控制系统的照明要求来做出最合理的估计,因为高速公路隧道灯光需要是呈现一个曲线变化规律的,而这个曲线变化规律就是从两段向中间逐步降低。其有效光照输出功率,需要根据司机进入隧道内不同阶段所需要的光照明后,确定整个照明及节能系统的光照输出功率,并针对司机对于不同光照的需求量,确定人眼的照明需要,从而实现动态调光处理,以确保隧道内的有效光照度。

3. 高速公路隧道照明节能控制要点分析

高速公路隧道灯光控制系统的设计的终极目的是保证司机可以得到充足的照明,增加行车过程中的安全。因此,在进行灯光节能的设计上,必须要做好隧道内部灯光的转换与衔接,给司机提供良好的驾驶与视野条件,在行驶过隧道时可以更好的适应隧道内部的灯光条件,保证高速公路的通行效率与行车流量。但在设计隧道入口段照明时,必须充分考虑到白天司机进入隧道后,隧道内部的灯光亮度与外界的差异较大,所以驾驶员在进入隧道时人眼会形成视觉滞后^[1]。因此,在设计高速公路隧道口的灯光照明应当较为柔和,为驾驶员提供更好的视觉环境,而过度照明段应当不断提高照明亮度,基本照明段是隧道照明最长的部分,应当根据隧道建设的实际情况,进行选择。如果隧道较长,汽车尾气消散较慢,隧道内会形成一定烟雾,不仅会吸收光线,而且会导致光线散射,降低光照度和能见度,应当充分考虑到隧道的实际情况,选择适合的灯具,确定合理的亮度。

二、高速公路隧道照明节能控制中存在的问题

虽然我国在高速公路建设上逐渐重视起隧道照明系统设计,但是在实际运营的过程当中还存在一些问题需要解决,例如,在高速公路隧道内对照明度值的要求有所不同,所以也应当根据隧道的走向,墙壁的反射情况,高速公路路面情况等进行照明系统设计。隧道内照明系统设计具有一定的复杂性,现阶段在照明系统节能设计过程当中,存在投资成本较大,运营费用较高,而且后期维护复杂的问题。并且,由于一些社会发展的需求,在经济落后和人口不足的地区也会建有高速公路^[4]。这些地区的高速公路上常常有许多公路隧道,其中绝大多数都是长隧道。但交通流量较小,尤其是到了晚间基本上都没有汽车。如果使用传统的开灯方式虽然可以保障视觉效果,降低安全事故,但是会造成不可估量的电能浪费,制约了节能设计的发展。

三、高速公路隧道照明节能设计分析

1. 光源

在选择高速公路隧道照明灯具时,设计人员需要重

点考虑照明灯具耗能情况以及可使用最佳期限等影响因素,LED灯有一个很显著的特点是光线的定向性,光功率向固定的某些方向投射,光功率可以充分利用,而不是像高压钠灯那样四处散射,因此LED的光功率可以集中向我们所需要照明的路面进行投射,避免光功率的浪费。这导致采用LED照明的利用系数非常高甚至可以达到0.9以上,普通高压钠灯的利用系数只有0.4。

LED的发光照度与电流呈近似的正比例关系,而且电流连续可调,这个特性使得路灯可以根据路面的照度需要进行实时地照度调整,完全可以做到按需调光,这样可以使照明能耗更低。照度的调整也同时使灯具不会始终工作在满负荷条件下,从而降低结温,减弱光衰,提高使用寿命。而普通的高压钠灯可调电压的范围很小,且工作前有大约十分钟的启动过程,无法做到实时连续调整。而LED不受启动温度限制,可暂态启动,一般为几个毫秒,且能暂态达到全光通量输出。

所以隧道采用LED灯具相比采用高压钠灯节能48%左右,具有应用价值。

2. 照明控制技术

高速公路隧道照明节能设计效果达到预期,设计人员必须在保障行车安全以及舒适的前提条件下,选择合适的照明灯具增强照明效果。选用更低能耗的灯具、采用分级调控技术控制灯具功率输出、将回路划分出较多工况采用亮度、交通情况等检测信号自动控制切换回路及采用照明节电柜等设备。采用新型的控制技术以及配套的可变功率灯具,是较为高级的隧道照明节能方法。利用环境监测传感数据,来判断当前的实际情况,来调节灯具输出的功率,整体降低或升高亮度曲线。

采用至少两层的通信架构,底层为集中控制器,对区域内的灯具控制器进行统一管理和控制,同时接收环境监测设备和交通量监测传感设备采集的信息,上层为中心控制器对各个区域的集中控制器进行统一调度管理和共享传感器数据,以便底层集中控制器根据传感器的测量信息,分别对区域内的灯具进行亮度控制和调整。系统结构如图1所示。

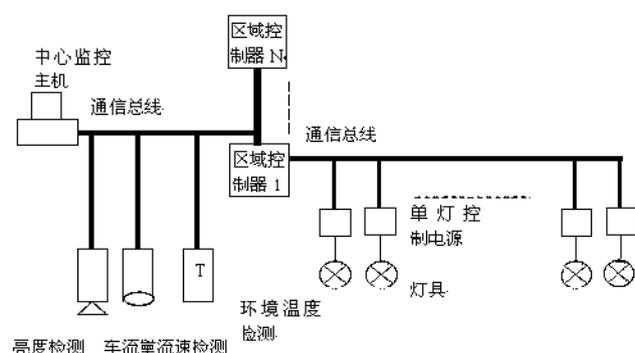


图1 隧道照明控制系统结构示意图

如图1所示,中心监控主机采用工控机,运行中心监控管理软件和通信接口软件。左侧的通信总线为上层通信总线,可以选用带光纤扩展的485总线或者是带光纤扩展的以太网。右侧通信总线为底层连接灯具节点的通信总线,可以选用RS485总线或者CAN总线等。亮度检测器和温度传感器通常输出4-20mA电流信号,通过信号转换模块转换成RS485或者以太网的数字通信信号,传送给集中控制器,并转发给中心控制器。交通量检测系统输出通常为RS232接口,通过RS232-RS485或者RS232转以太网的信号转换模块与集中控制器通信,也转发到中心监控主机。中心监控主机通过以太网或者RS485通信接口,把区域控制指令下发到各个区域控制器,再通过区域控制器的通信总线分别对系统的所有灯具进行控制,进行调光,并能对每台灯具的实时工作状态(亮灯,灭灯,亮度给定等)进行查询,并显示在软件监控界面上。

区域控制器的电路原理如图2所示,DSP通过上层的RS485接口或者以太网接口,与中心监控主机通信,并通过多串口扩展芯片扩展多个串口,再通过RS485或者CAN接口芯片与底层的单灯控制电源通信。区域控制器负责中转中心监控中心的命令和查询信息,并在上层通信失效时,采用定时控制的方式,负责控制该区域下管理的所有单灯控制电源,调整该区域灯具的亮度。

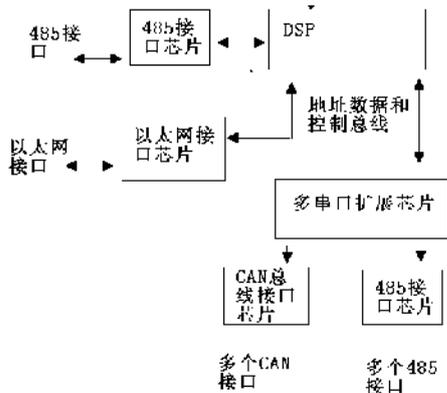


图2 区域控制器电路原理图

四、高速公路隧道照明节能措施

1. 在隧道照明灯具中选用LED照明灯

(1) 应用LED灯具的意义

随着现代化科学技术的发展,隧道照明系统也在发生着改变,更加注重节能照明工具的使用。可见,要想强化科学合理的照明系统设计,就要加强对照明灯具的合理配置^[2]。通常来讲,照明灯具的实际设置于布局方式不同,整体上所要求的灯具类型与数量也不尽相同,并且还需要进行相关的维护或是养护等实际工作。为此,科学技术的使用在其中就发挥了十分重要的作用,其能够更好地发挥隧道照明灯具的作用,使其在技能的基础

上,具有更高的寿命与更高的舒适度,较为常见的就是LED新能源灯光的应用。这是因为其具有较高的显色成效,整体的光线呈现更加接近自然光。一定程度上来说,这类灯具可以更好地缩短行驶车辆进出隧道的实际时间,降低不必要的时间消耗,也能使其很好地适应隧道内的光线,保障行驶车辆的自身安全。值得注意的是,这类工具还可以降低工作中的电压损耗,进一步减少隧道运营中的成本消耗。

(2) LED照明灯的特点

LED照明灯在结构、开启时间、使用寿命和耗电量等方面都有着独有的特征,具体表现在以下几个方面:第一,LED照明灯结构相对简单、体积小巧,在安装过程中非常方便,能够按照高速公路隧道具体组织结构与要求等条件进行个性化的组合。第二,由于LED照明灯在使用期间的操作比较方便,因此其使用寿命相对较长,通常情况下能超过10万个小时,可以有效降低高速公路隧道照明工作的实际运营成本。第三,聚光性非常强。现阶段,我国大部分LED照明灯使用得都是二极管结构,所发出的光线可以汇聚到一块,有着相对强大的聚光性能。当高度公路隧道中开启照明系统的时候,所有光源都会直接集中到指定位置,大大提高了我国高速公路隧道行驶的安全性。第四,耗电量非常低。在实际使用过程中,LED灯的电能几乎全部都转化成了隧道照明使用的光源,因此它的照明时间通常情况下都比一般的高速公路隧道节能灯要长,而且耗电量相对较低,可以有效提高电能的实际利用率^[5]。第五,显示性相对较强。LED照明灯在高速公路隧道照明工作中的应用使高速公路隧道的实际光线与日常光线非常相近,使进入到高速公路隧道的人不会因眼睛被过强的灯光刺激而引起安全事故。第六,故障问题相对较少。LED照明灯中的二极管元件不存在可以引发故障问题的相对敏感的部件。因此,在实际使用期间,LED的应用性较强,出现故障问题的次数相对较少,能够大大降低高速公路隧道照明的实际工作量。第七,频闪问题较少。LED照明灯在开启的过程中,所需要的电压相对较低,为直流电源,一般情况下不会出现频闪的问题,能够在一定程度上确保行驶安全。

2. 在隧道照明中应用自适应控制模式

传统的智能照明自动控制模式已不能满足现今高速公路隧道的多样性和节能的要求,这时候就需要合理应用自适应光照控制系统。而应用自适应智能控制模式,要具备足够强大的数据库,不能根据设定的程序进行执行,要跟据外部因素和环境因素进行调节,基于数据库照度曲线的隧道LED照明自动控制方法,包括下列步骤:

(1) 检测洞外亮度,获得洞外亮度值,对该亮度值

折减后得到洞口0m的亮度;

(2) 建立一个专家库, 对输入的隧道长度、隧道高度、洞外亮度、行车速度、交通流量、以及交通方式的信息进行推理, 采用正向链接推理控制策略, 调整相应的入口段、各过渡子段、中间段和出口段的亮度基准值;

(3) 由专家系统生成完整动态的亮度需求曲线;

(4) 根据亮度需求曲线, 设定对各个LED隧道灯所

在位置的亮度进行反馈调节的给定值, 根据洞内部分亮度检测值实现对整体LED隧道灯的亮度反馈调节。

作为优选实施方式, 该控制方法在第(4)步生成了亮度需求曲线后, 还包括如下的前馈控制方式: 前馈与反馈结合的控制策略, 使实际灯具产生的亮度能符合亮度需求曲线。

控制原理框图如图3所示。

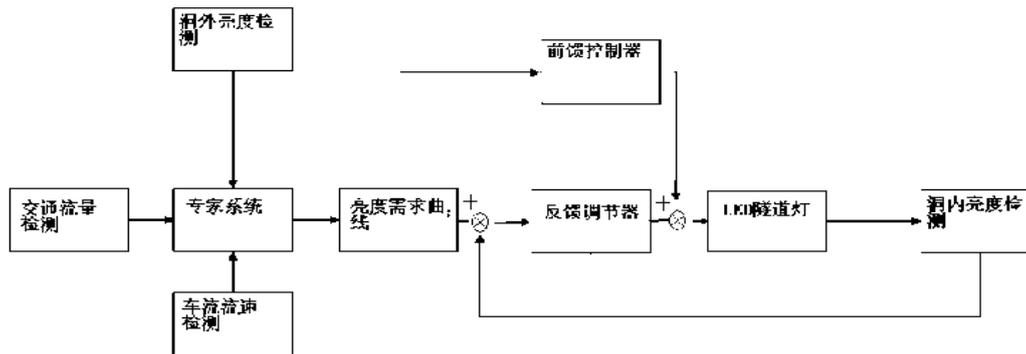


图3 控制原理框图

给定照度需求曲线后, 有平均照度公式:

$$E_{av} = \frac{\eta \cdot \phi \cdot M \cdot N}{W \cdot S} \dots\dots\dots (1)$$

E_{av} 是平均照度, ϕ 为光通量, η 是利用系数, N 是灯具排列模式, M 是维护系数, W 是马路宽度, S 为灯具间隔, 可以得到:

$$\phi = \frac{W \cdot S \cdot E_{av}}{\eta \cdot M \cdot N} \dots\dots\dots (2)$$

η , N , M , W 在隧道里通常是常数, 而 S 作为灯具间隔, 在隧道内不同段而不同, 给定的亮度需求曲线为以隧道长度为横坐标的连续的曲线。以隧道内的位置为参数, 代入亮度需求曲线, 得到对应位置的 E_{av} , 再将该位置对应隧道段的灯具间隔 S 以及 E_{av} 代入式(2), 即可求得所需计算位置的灯具的平均光通量 ϕ , 再根据该位置的灯具的满光通量, 计算该处灯具的调光百分比, 从而确定该处灯具的控制量的大小。因此, 可以通过式(2)计算每个灯具所需要的调节亮度, 进行前馈控制。由于前馈控制是在平均值的基础上计算, 而灯具的实际功率等级可能不一样, 因此, 该前馈控制有一定的偏差, 在此基础上, 可通过增设隧道内亮度检测器, 检测隧道内照度, 反馈调节器比较照度需求曲线和实际检测到的隧道内照度, 对灯具的亮度进行修正。从而, 保证隧道内的实际亮度符合亮度需求曲线。

针对隧道照明系统, 采用LED灯具进行重新设计、替换和改造, 提出了采用数据库系统的方法, 检测洞外亮度、洞内亮度、交通状况等参数, 并结合安全运营低能耗的隧道照度需求曲线, 生成动态的隧道内的照度需

求曲线。然后采用前馈结合反馈的控制策略, 根据生成的照度需求曲线, 对隧道内的所有灯具的照度进行控制和调节, 使得隧道内的照度能够实时的跟随实际的照度需要, 优化照明系统的安全节能运行, 延长了灯具的使用寿命和减少光衰, 并能大大节约了能耗。

五、结论

综上所述, 在我国社会经济高速发展的背景下, 公路隧道工程数量不断增多, 为了有效保障行车安全, 需要高度重视隧道照明系统的建设, 但过去忽略了对照明系统节能控制设计, 造成隧道运营出现严重的开支浪费。因此, 应科学合理的制定一系列节能控制措施, 包括更换节能照明灯具, 加强自适应控制模式等, 进而达到有效节能降耗的目标, 为公路系统的可持续发展作出重要保障。

参考文献:

[1]倪红强.高速公路隧道照明综合节能控制系统技术研究与应用[J].云南水力发电, 2020, 36(07): 117-119.
[2]张磊.高速公路隧道照明节能控制措施研究[J].运输经理世界, 2022(09): 122-124.
[3]张笑歌.高速公路隧道照明节能技术的研究[J].南方农机, 2020, 51(13): 180+183-184.
[4]王才, 于群松, 殷展庆, 张友春, 陈梅.蒙文砚高速公路隧道照明节能技术应用研究[J].公路, 2018, 63(10): 214-216.
[5]张伟刚, 瞿少成, 秦天柱, 黄芝龙, 刘高.高速公路隧道照明节能模糊控制系统[J].电子测量与仪器学报, 2017, 31(12): 2049-2055.