

隧道照明设计分析

周明昊

(上海市政交通设计研究院有限公司,上海市 200030)

摘要:近年来随着城市化水平的不断提升,隧道建设项目也不断地增多,隧道照明设计作为隧道建设的重要环节,对城市的道路交通安全意义重大。根据近些年的隧道照明工程设计经验总结和理解,对隧道照明进行了简要的概述,介绍了隧道照明的设计原则,从隧道照明设计标准、灯具光源的选择、灯具的布置方式、应急照明系统、照明配电系统、照明控制方式几个方面,详细分析了隧道照明设计措施。并以昆明呈黄路隧道为例,详细阐述了隧道照明设计思路,以供参考。

关键词:隧道照明;黑洞效应;基本照明;加强照明

中图分类号:U453.7

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)09-0296-04

0 引言

近年来我国公路交通迅速发展,隧道的规模也日益扩大。隧道是一段空间封闭的道路,外部自然光无法照射,全天候24 h都需要人工照明。隧道的照明作为隧道中不可或缺的一部分,受到的研究和设计人员的重视。不同于常规的道路照明,隧道照明具有明显的特殊性。

白天时,洞外的亮度远大于洞内的亮度,车辆驶入,人眼很难很快适应骤降的亮度,形成“黑洞效应”;车辆驶出洞内时,形成“白洞效应”。夜晚存在相反的现象。隧道照明对行车的安全具有重要的影响,隧道照明设计,不仅要解决因隧道内无自然光照而导致的行车安全性问题,还要解决因黑洞、白洞效应的存在而产生的舒适性差的问题。由于隧道的特殊性决定了隧道的明亮程度与洞外的道路不同,隧道照明设计中,将隧道划分为入口段、过渡段、中间段和出口段,并在入口段、过渡段和出口段增加加强照明,解决黑洞白洞效应,给驾驶员提供合理的行车环境,消除视觉和心理障碍,确保交通安全^[1]。

1 隧道照明设计原则

(1)隧道内照明应首先考虑安全性,设一般照明,满足正常通行需求,设应急照明,满足事故发生时的运行要求。

(2)隧道内的一般照明应解决行车过程中明暗变化的适应问题,实现洞内外进出口处光线亮度的缓慢过度。

(3)隧道内灯具的安装方式、光源的选择、照明的控制方式应便于运营和管理。

(4)在保证安全性和舒适性的前提下,应充分考虑设计方案的经济性和合理性,采用节能的绿色照明,节约投资。

2 隧道照明设计措施

2.1 隧道照明设计标准

在隧道出入口设置一段过渡段的照明,解决车辆进出隧道的瞬间出现短暂的视觉暗区的问题,所以隧道照明应按照不同的区域进行划分,在不同区域采用不同的照明标准。隧道内照明划分为出入口段照明、过渡段照明、中间段照明。

确定中间段的照明设计标准是首要工作。《公路隧道照明设计细则》的中间段照明设计标准与隧道设计参数有关,根据隧道的设计速度、设计小时交通量、单双向交通查表所得。《LED城市道路照明应用技术要求》的中间段照明设计标准根据隧道所连接的道路类型进行确定,连接主干路和次干路的亮度标准分别为 6 cd/m^2 和 3 cd/m^2 。设计中可结合周边道路和隧道本身的实际情况,合理选择中间段的照明设计标准。

入口段划分为TH1、TH2两个区域,照明设计标准的选择与洞外亮度的选取有关。设计中,洞外亮度

收稿日期:2023-07-19

作者简介:周明昊(1989—),男,硕士,工程师,从事电气设计工作。

可根据计算得出的天空面积百分比、洞口朝向、设计速度和其他设计参数进行取值。在土建完成后需进行现场实测,确保洞外亮度值的准确性,误差超出了125%~25%时,应调整照明设计。确定洞外亮度后,查表可得入口段亮度折减系数,从而通过公式计算得出入口段的亮度值。

过渡段划分为 TR1、TR2、TR3 三个区域,照明设计标准值与入口段的亮度值有关。

出口段划分为 EX1、EX2 两个区域,照明设计标准与中间段亮度值的选取有关。出口段分为两个照明段 EX1、EX2 长度每段取 30 m。

根据隧道长度采用基本照明和加强照明,中间段采用基本照明,入口段、过渡段、出口段由基本照明和加强照明组成,基本照明和中间段基本照明一致,隧道照明设计流程见图 1。

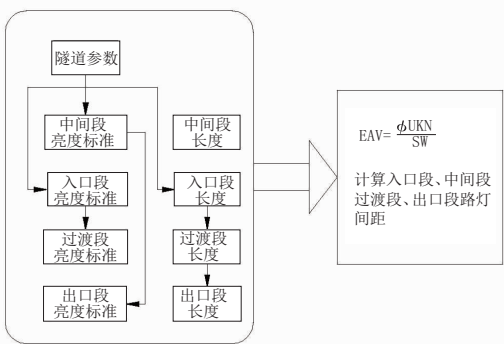


图 1 隧道照明设计流程

2.2 灯具光源的选择

隧道照明光源种类繁多,根据隧道所连接道路照明条件以及隧道内的装修环境和通风条件选择合理光源类型,对隧道的经济性运行与节能环保具有重要的意义。隧道照明目前常用的光源以 LED 灯、高压钠灯和荧光灯灯为主^[3]。

由表 1 可知,隧道 LED 灯具光源光效可达 130 lm/W,灯具寿命可达 5 000 h 以上。对比传统的光源,LED 灯具具有开关响应快、抗冲震性稳定、指向性好、使用寿命长、绿色环保等明显优势^[2],已经初步取代传统光源,成为隧道的基本照明首选。且根据现场运营反馈,隧道 LED 灯具具有明显的节能效果和较低的维修率,即使光源芯片损坏,可只更换损坏的光源模块,未损坏的部分可继续使用。因出入口段需要较大的亮度标准,普通高压钠灯大功率灯管光效高,通常以高压钠灯作为出入口段的加强照明。

2.3 灯具的布置方式

在隧道照明系统的设计过程中,首先分析隧道的断面形式、线型和交汇情况,隧道的宽度和净空,

表 1 隧道照明光源参数

灯具	光效/(lm·W ⁻¹)	显色系数 Ra	平均使用寿命/h
荧光灯	86~104	85	15 000~2 000
高压钠灯	86~120	23	24 000
LED 灯	130~140	≥75	50 000

隧道所接道路的环境,以及日间和夜间的交通流量预测,根据这些参数,在满足设计标准的前提下,以安全、方便、经济为原则,确定隧道灯具的布置方式。隧道与匝道交汇处,断面宽度较大,一般需要进行强化照明,增强驾驶员对隧道交通的分辨度。

隧道常用的布置方式有中线形式、中线侧偏形式、双侧交错布置和双侧对称布置。出入口段的加强照明可从距洞口 10 m 处开始布置,同时基本照明应满足闪烁频率低于 2.5 Hz 或高于 15 Hz 的要求。研究表明,在控制隧道内所有灯具的总功率一定情况下,中线布置和中线侧偏布置方式在路面的亮度值小于两侧布置方式;在功灯具功率和灯具安装间距一定的情况下,两侧对称的布置方式照明效果由于两侧交错布置方式^[4]。在设计过程中,可通过专业的照明设计软件 DIALUX,进行仿真计算,从多个方面进行考虑,选择合理的灯具布置方式。

2.4 应急照明系统

根据规范要求,隧道两侧通道上应设置疏散照明和疏散指示标志。传统做法是应急照明布置于一般灯具中,利用部分基本照明灯具。隧道净空一般低于 8 m,根据《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》要求,应急照明应选择 A 型消防应急照明灯具。应急照明的亮度不小于中间段亮度的 10%,一二类隧道蓄电池电源持续供电时间不小于 1.5 h,三四类隧道不小于 1.0 h。隧道应急照明灯具布置于隧道两侧防撞石上方。

2.5 照明配电系统

隧道内应急照明、基本照明为一级负荷,应急照明为特别重要的负荷。隧道一般设专用变电所,变电所数量根据隧道内用电设备的分布情况和隧道长度进行确定,变电所内设 2 台变压器,互为备用,当一台变压器发生故障时,另一台变压器能够承担全部一级负荷,部分电源不稳定地区,增设柴油发电机作为备用电源。当隧道内需要配备较多的风机、水泵等动力设备时,需要设置照明稳压电源,设于隧道照明配电间内。照明灯具采用 0.38 kV 供电,隧道内间隔 200 m 左右,设置隧道照明配电箱,配电箱进线电源由照明

配电间内的照明配电柜放射式或树干式配出。应急照明设末端双切箱,集中电源或自带蓄电池方式。

2.6 照明控制方式

隧道内出入口的加强照明为了缓解白天进出隧道产生的亮度视觉不适;夜晚时,洞内道路的照度应由相接道路的性质和灯具的布置方式决定。如果加强照明在夜间也开启,洞内外照度会有较大差别,仍然会给人产生较大的视觉不适,且会造成能源的巨大浪费。因此,隧道的基本照明与加强照明需分回路控制,见图2。

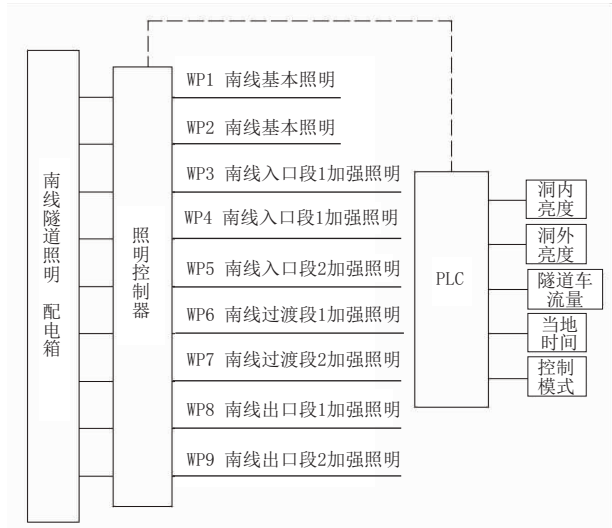


图2 隧道照明控制图

隧道照明一般有三种方式:第一种自动控制,根据隧道洞内外的实时光强度、车流量对隧道灯具进行控制,洞外的光强度降低时,自动调整洞内的亮度,当洞内无车辆通过时,照明控制器关闭加强照明,维持洞内的最低亮度;第二种为时序控制,根据已存储的一年中每天日出日落时间,控制灯具,白天时间,关闭加强照明,开启基本照明,夜晚时间,加强照明与基本照明同时开启,一天中拂晓和傍晚时分亮度变化较大,需要提高隧道灯具调整的频率,约15~30 min调整一次,其他时间段1~2 h调整一次;第三种为,人工手动控制^[5,6]。

时序控制,可以根据自然规律对隧道照明进行控制,具有较高可靠性,但当出现恶劣的天气时,例如中午时分出现了雾霾或阴天,此时时序控制便不能根据实时的天气状况进行照明控制的调整;自动控制可以实现实时的控制,但当照度检测仪出现故障时,系统便无法做出正确控制策略。

3 案例分析

呈黄路(经开区至机场高速段)工程位于昆明空

港经开区,北起于机场高速路大板桥立交,止于空港经济区南部规划范围线,全长约4.485 km,规划等级为城市快速路,设计隧道全长980 m,单洞单向交通。

3.1 收集隧道设计参数

根据建筑、道路、交通等专业提供的条件信息,收集隧道照明设计所需要的参数见表2。

表2 隧道参数一览表

序号	参数类别	设计参数
1	隧道暗埋段长度/m	980
2	设计车速/(km·h ⁻¹)	50
3	隧道路面宽度/m	12.5
4	隧道内净空高度/m	4.5
5	设计小时交通量/[veh·(h·ln) ⁻¹]	2 000~2 200
6	洞外亮度/(cd·m ⁻²)	3250
7	交通特性(单洞)	单向交通
8	平均亮度与平均照度间的系数/[lx/(cd·m ⁻²)]	15
9	纵坡/%	-4%
10	天空面积半分比	10%

3.2 计算隧道照明设计标准

根据表2的设计参数以及《公路隧道照明设计细则》(JTG T D702—2014)查表可得入口段亮度折减系数和照明停车视距。因该隧道设计车速为50 km/h,表中并没有此档的参数,可通过60 km/h和40 km/h的折减系数和停车视距进行差值法计算获得。经计算,入口段折减系数取值0.017,停车视距45.5 m。隧道照明采用7段设计标准,各段的长度和照明标准计算结果见表3。

表3 隧道照明设计标准

项目	长度/m	标准亮度/(cd·m ⁻²)	标准照度/lx
入口段1	17.7	55.3	829.5
入口段2	17.7	27.6	414.0
过渡段1	39.6	8.3	124.5
过渡段2	55.6	2.8	42.0
中间段	789.4	2.0	30.0
出口段1	30.0	6.0	90.0
出口段2	30.0	10.0	150.0

3.3 确定隧道照明方案

本次设计隧道照明灯具采用LED光源,沿隧道两侧腋角双侧对称布置,全段设置基本照明,出入口段增设加强照明,20 W LED灯作为基本照明,30、60、120 W灯具作为加强照明。根据隧道照明设

计标准值,反算灯具的安装间距,并通过设计软件 DIALUX 进行验算,最终确定灯具布置间距见表 4。

表 4 隧道照明设计方案

项目	设计亮度 $I/(cd \cdot m^{-2})$	灯具	间距 /m
入口段 1	62.0	基本照明:LED20 W	7
		加强照明:LED 120 W	1.5
入口段 2	29.7	基本照明:LED20 W	7
		加强照明:LED60 W	1.7
过渡段 1	8.8	基本照明:LED20 W	7
		加强照明:LED 30 W	3.5
过渡段 2	3.8	基本照明:LED20 W	7
		加强照明:LED 20 W	10
中间段	2.2	基本照明:LED20 W	7
出口段 1	6.5	基本照明:LED20 W	7
		加强照明:LED 30 W	5.5
出口段 2	10.0	基本照明:LED20 W	7
		加强照明:LED 30 W	3

4 结 语

随着隧道在道路中的比重越来越来大,隧道的照

明的重要性日渐突出。为避免车辆开进隧道时,亮度的巨大变化,给人的视觉带来的不适应,从而可能会产生的严重后果,设计根据不同路段,采用不同的灯具布置形式,用基本照明与加强照明相结合,尽可能减小眩光,控制在规范要求范围之内。隧道照明设计较道路照明设计复杂,需要设计人员对隧道照明、供配电、应急照明等方面的规范标准有较深入的了解,同时要在设计中不断的思考与学习总结,保障车辆行驶安全。

参考文献:

[1] JTG/T D70/2-01—2014,公路隧道照明设计细则[S].
[2] 郝锋.LED 照明灯具在公路隧道中的应用研究[J].陕西公路,2011(7):167-171.
[3] 胡昭,汪珂,赖金星.LED 与高压钠灯组合使用在隧道照明中的应用[J].公路,2015(2):216-220.
[4] 王希良,刘强,李晓寒.基于路面平均照度的隧道中间段照明节能优化[J].照明工程学报,2019,30(4):70-73.
[5] 方坤,冉斌,李栋林,等.山区高速公路隧道照明节能控制技术研究[J].西南公路,2015(2):216-219.
[6] 王少飞,邓欣,吴小丽.公路隧道照明控制技术综述公路[J].交通技术,2010(4):132-138.

(上接第 295 页)

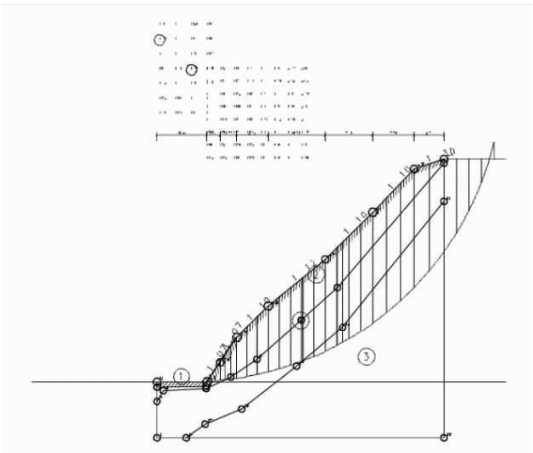


图 15 边坡稳定性计算结果曲线图

打破脚手架传统搭设思维,提高脚手架的稳定性、保障作业人员的安全及顺利推动高陡边坡的治理进

程,为高陡边坡地质灾害治理提供思路和参考。

参考文献:

[1] 陆征然.扣件式钢管满堂支撑体系理论分析与试验研究[D].天津:天津大学,2010.
[2] 王正清.建筑施工脚手架安全事故分析[J].智能城市,2020,6(7):107-108.
[3] 敖鸿斐,罗兴隆.双排脚手架整体稳定极限承载力通用计算方法[J].施工技术,2005,34(3):39-41.
[4] 施小明,王娟玲.满堂扣件式钢管支撑架立杆计算长度的探讨[J].建筑安全,2016,31(4):48-51.
[5] 龚源.危岩崩塌稳定性分析与智能监测及治理——以深圳市新彩隧道口岩质高边坡为例[D].广西:桂林理工大学,2019.
[6] 王超.公路高陡岩质边坡稳定性分析及支护方案优化[D].湖南:长沙理工大学,2019.