

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.03.017



实测确定公路隧道洞外景物亮度的方法

邓敏, 张飞

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 武汉 430056)

摘要:分析比较了查表法、环境简图法和黑度法3种确定洞外亮度的方法,发现3种方法均未完全考虑隧道所处区域的环境和光气候条件。为了能快速准确地确定隧道洞外景物亮度,以从莞高速公路的7座隧道为测量对象,通过现场实测,建立了洞外景物亮度与水平面照度之间的关系。在对当地光气候数据进行统计分析的基础上,确定隧道洞外景物亮度标准值、东莞地区隧道洞外典型景物亮度设计参考值,并得到了东莞地区4个朝向隧道洞外典型景物亮度值。

关键词:隧道照明;洞外亮度;景物亮度;水平照度;光气候

中图分类号:TU113.19;U459.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2016)03-0118-05

Method obtaining scenery luminance outside tunnel portals with in-situ testing

Deng Min, Zhang Fei

(CCCC Second Highway Consultants Co. Ltd, Wuhan 430000, P. R. China)

Abstract: Three methods used to determine luminance at tunnel portals were analyzed and compared. The three methods were look-up table method, environment diagram method and blackening method. But these methods didn't fully consider the regional environment of tunnel and luminous climate. In order to rapidly and accurately determine scenery luminance at tunnel portals, measurements were conducted in seven Congguan highway tunnels. Based on the onsite measurements, the relationship between scenery luminance at tunnel portals and horizontal illuminance were established. Statistical analysis on local light climate data were carried out to confirm standard value of luminance at tunnel portals L_s and the design reference value of typical scenery luminance at tunnel portals in Dongguan. And typical scenery luminance values of four towards in Dongguan area could be determined.

Keywords: tunnel lighting, adaptation luminance, scenery luminance outside tunnel portals, horizontal illuminance, luminous climate

隧道洞外亮度通常指驾驶员在隧道接近段起点处正对隧道洞口 20° 视野中景物的平均亮度,一般通过在接近段起点处距地面1.5 m高、正对洞口方向

测量 20° 视场环境的平均亮度值得到,即 $L_{20}(S)$ 。隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 受地理位置、季节、天气等因素的影响难以实际测量得到,因此,不同的组织、国家和

收稿日期:2015-11-21

基金项目:国家自然科学基金(51278507);广东省交通运输厅科技项目(科技-2012-04-11)

作者简介:邓敏(1981-),男,主要从事交通安全与节能减排研究,(E-mail)deng_min2008@126.com。

Received:2015-11-21

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 51278507); Science and Technology Project of Transportation Department of Guangdong Province(No. 2012-04-11)

Author brief: Deng Min (1981-), main research interest: traffic safety and energy conservation and emission reduction, (E-mail) deng_min2008@126.com.

地区采用查表法、环境简图法、黑度法等方法来确定洞外景物亮度和洞外亮度 $L_{20}(S)$ 的值。隧道洞外景物亮度是隧道照明设计过程中确定洞外亮度的基础与前提,为了准确确定隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$,需要首先确定隧道洞外景物亮度。

查表法是指根据驾驶员 20° 视野中天空所占百分比、洞口朝向、环境明暗情况、设计行车速度等因素,查表确定 $L_{20}(S)$ 值。日本^[1]、国际照明委员会^[2]以及欧盟^[3]、英国^[4]、美国^[5]等都推荐使用该方法。该方法只需要依据隧道洞口的几个基本参数,就可快速查表得到洞外亮度参考值,因而在一定时期内得到广泛应用。但此方法仅简单考虑了隧道的几个基本参数对洞外亮度的影响,而没有考虑隧道所处区域的光气候特征、地理位置、季节、天气以及洞口形式、洞外植被种类等众多因素的影响,且不同地点的天空亮度差别很大,洞外不同景物的反射率差别也很大。所以,用该方法仅能得到近似的设计参考值,有时用该方法得到的洞外亮度值甚至可能与实际洞外亮度值相差较大^[6]。环境简图法是根据 20° 视场内天空、路面等各种景物的亮度及它们在 20° 视场内所占面积百分比来确定 $L_{20}(S)$ 值。隧道洞外景物亮度是用环境简图法确定隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 的必需参数。为了准确确定隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$,需要首先准确确定隧道洞外景物亮度。CIE 发布的 CIE 88-1990 和 CIE 88:2004 都给出了相同的洞外景物亮度的参考值^[7],中国现行公路隧道设计规范《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1—1999)^[8]也参照 CIE 88-1990 给出了隧道洞外景物亮度参考值。采用 CIE 88—1999 中推荐的景物亮度仅能进行粗略计算并且会产生较大误差,CIE 88—1990 给出的景物种类也有限。因此,要想用该方法快速准确得到洞外亮度 $L_{20}(S)$,首先应该根据隧道所在地的光气候参数,通过实测的方法确定隧道所在地的隧道洞外景物亮度参考值。用黑度法确定洞外亮度时应在一年中日照最强的季节、一天中最亮的时间段进行测量^[9]。中国处于北半球,夏季的中午洞外亮度最高,所以 JTJ 026.1—1999 规定实测应在夏季(6、7、8月)晴天无云时连续进行3天测试^[8]。但是用黑度法测量洞外景物亮度看似是精确的方法,但受到所选测试时间的天然光状况及数码相机光学特性等因素的影响,实际上其测量结果的误差比较大。由此可见,现行3种确定 $L_{20}(S)$ 值的方法均存在不同程度的问题,难以精确的得到特

定区域隧道的洞外景物亮度和洞外亮度 $L_{20}(S)$ 。

笔者通过对丛莞高速上7座隧道现场实测,建立典型洞外景物亮度与水平照度之间的关系,通过对当地光气候数据的统计分析,提出通过现场实测快速准确确定洞外景物亮度的方法。

1 洞外景物亮度

洞外景物亮度的参考光气候条件是指考虑和计算洞外景物亮度时需要考虑的参考光照水平和参考天空状况。隧道照明规范中关于洞外景物亮度的取值原则是“考虑最不利条件”下的景物亮度,那么对于洞外视野内的天空最不利条件是天顶亮度最大值,按照 CIE 88:2004 的相关规定,取累积频率 75 h 的天顶亮度最大值,但是天顶亮度最大并不意味着除天空要素之外的其他隧道洞外景物的表面照度最大^[10]。

隧道洞外主要景物要素除了天空之外,更多的是被照表面。在整个视觉范围内其他被照表面(包括路面、端墙、绿化、岩壁、广告牌等)所占比例远大于天空在视野范围内所占比例,因此,被照表面亮度的累积频率最大值应该以景物表面的最大照度为主要考察依据。

由于累积频率出现 75 h 的最大水平面照度,均出现在夏季正午晴空条件下,其对应的参考天空条件与参考水平面照度值的参考天空条件基本一致。因此,某一地区计算隧道洞外视野范围内天空亮度的参考天空条件为:该地区累积频率 75 h 最大水平面照度所对应的天顶亮度平均值和夏至日正午晴空。

对于有较长时间的天顶亮度观测数据的地区,可以直接对天顶亮度的观测数据进行筛选,找到累积出现频率 75 h 的最大水平面照度所对应的天顶亮度平均值作为隧道洞外天空亮度计算的参考天空条件。但是由于天空亮度基础研究缺乏,对于没有长期天顶亮度观测记录的地区,可以用光气候观测资料中的照度资料计算换算。

2 东莞地区的光气候数据

要确定洞外亮度 $L_{20}(S)$ 必须先掌握该地区的光气候特征,同时还需要天空亮度、洞外景物亮度和路面亮度之间的对应关系。东莞市属亚热带季风气候,长夏无冬,一年中 2、3 月份日照最少,7 月份日照最多^[11]。

中国的气象站目前都不对天然光照度值进行观测记录。为了研究光气候数据,中国气象科学研究院等单位于1983年1月1日至1984年12月31日在包括广州在内的全国14个城市气象站,连续测量了每天从日出到日落的逐时照度值,即从日出到日落,每隔1h记录一次照度值,中午12:00前后每0.5h记录一次^[12]。这次14个城市连续2a的光气候测试数据是近年来研究中国光气候的基础数据^[13]。中国现行《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013)也是基于这些观测数据进行光气候分区。在缺少照度观测资料的情况下,GB 50033—2013利用各地区多年的辐射观测资料及辐射光当量模型来求得各地的总照度和散射照度;根据273个站近30a的逐时气象数据,并利用辐射光当量模型,得到典型气象年的逐时总照度和散射照度;根据逐时照度数据,得到各地区的年平均总照度,从而绘制中国的总照度分布图,并根据总照度的范围进行光气候分区^[14]。

《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013)将中国划分为I、II、III、IV、V共5个光气候区,包括广州、东莞在内的整个广东省都属于IV区^[14]。这说明:从全国范围来看,广东地区属于光照较少的地区;从广东省的范围来看,整个广东省都属于光气候分区的IV区,广东省内各地的日照情况差别不大,即东莞地区和广州地区的光照情况差别不大。虽然研究的隧道位于东莞地区,但可以采用位于广州的气象站在1983—1984年观测到的光气候数据进行分析计算。

按照CIE 88:2004提出的将一年中至少出现75h的景物最大亮度为基础计算洞外亮度,需要统计广州地区在1983、1984年观测到的每年至少出现75h的最大照度值。经对广州地区在1983、1984年观测到的逐时照度值统计分析,得到广州地区每年至少出现75h的最大照度值为106klx。该照度值将作为所研究隧道洞外亮度的计算基准。

3 从莞高速公路洞外景物亮度设计参数现场实测

研究对象为从莞高速上的7座隧道,均为双向隧道;测试时应在距洞口一个安全停车视距(以设计时速80km/h为例,对应的安全停车距离为100m)处测试。

3.1 测试对象

分别对从莞高速公路上的走马岗隧道、旗岭1

号隧道、旗岭2号隧道、观音山隧道、石山隧道、石头岭隧道和罗马村隧道共7座隧道的入口段情况进行实测。所测试的7座隧道均为双向隧道,故每个隧道应对右线入口和左线入口分别测试。石头岭隧道和罗马村隧道由于实地地形条件和施工进度限制,只测试了左线入口的洞外景物亮度。

3.2 测量要求

3.2.1 测试方法 根据隧道照明设计的需要和中国现行行业规范《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1—1999)的规定,隧道洞外亮度的实测一般应在夏季,即每年的6、7、8月份进行,但受实际工程进度的影响,往往大量工程在这个时间段不具备测试条件。因此,提出在合适的条件下通过现场实测获取洞外各种景物的亮度和现场的水平面照度,建立洞外景物亮度与水平面照度之间的关系;然后对在当地长期实测得到的水平照度值进行统计分析,获得一年中至少出现75h的最大水平照度值,进而计算出一年中至少出现75h的最大景物亮度;在此基础上计算各隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 值,作为隧道照明设计的基础。采用该方法确定隧道洞外景物亮度,可以不受测试必须在夏季进行的时间限制,也不必严格要求测试时天空无云。

3.2.2 测试场地 测试应在距洞口一个安全停车视距(以设计时速80km/h为例,对应的安全停车距离为100m)处,但由于现场地形条件和工程施工进度的限制,大多数被测隧道外都不具备测试所需的现场条件。测试时,根据各隧道洞外施工场地的具体情况,测试地点选择尽可能靠近100m处。由于测试地点、特别是对隧道洞口拍照不是严格在距隧道洞口100m处,由此带来的误差,在后期数据处理时可以根据拍照点距洞口的距离及相应的投影关系进行修正。

3.3 测量步骤

1)隧道洞外典型景物的亮度测量。将亮度计用三脚架固定在安全停车视距处后,调整焦距以较为清晰地容纳各景物要素,然后将镜头依次瞄准隧道洞口的构筑物和环境要素,快速准确地读数^[15]。从莞高速上各隧道洞外的典型景物主要有:洞口、混凝土端墙、混凝土护壁、岩石、裸露黄土、植被绿化、天空、路面等。

2)照度测量。对照度计与测量洞外景物亮度的亮度计同时读数,得到与景物亮度对应的水平面照度。

4 测量结果及分析

4.1 洞外景物亮度与水平面照度的关系

测量得到了各隧道洞外各种景物亮度值 L 和对应的水平照度值 E ,将洞外景物亮度与水平面照度的测试数据通过 Datafit 软件拟合出来的结果为一 条直线,说明洞外景物亮度与水平面照度之间的线 性关系,按照式(1)可以计算得到水平照度 E 与各 景物亮度 L 之间的比例系数 k_E 。

$$k_E = \frac{E}{L} \quad (1)$$

4.2 隧道洞外景物亮度标准值 L_S 的确定

根据对 1983、1984 年观测到的逐时照度值的统 计分析得到的照度标准值 $E_S = 106 \text{ klx}$,将 E_S 和各 隧道洞外各景物对应的 k_E 代入式(2)即可得到各隧 道洞外各景物亮度的计算标准值 L_S 。

$$L_S = \frac{E_S}{k_E} \quad (2)$$

4.3 东莞地区隧道洞外典型景物亮度设计参考值

为了方便公路隧道照明设计,需要确定隧道洞 外景物亮度设计参考值。由于所测 7 座隧道的 12 个洞口朝向各异,无法直接根据所测数据获得东、 西、南、北四个朝向的隧道洞外景物亮度设计参考 值。如果已知东、西、南、北 4 个朝向的隧道洞外景 物亮度值,则可以通过插值的方法获得非东、西、南、 北朝向的隧道洞外景物亮度值。按照该插值方法思 想,利用实测得到的洞外景物亮度设计基准值,通过 插值的方法得到东莞地区东、西、南、北 4 个朝向隧 道洞外典型景物亮度设计参考值,见表 1。

表 1 东莞地区隧道洞外景物亮度参考值
Table 1 Reference values of scenery luminance at tunnel portals in Dongguan area kcd/m^2

洞口 朝向	洞口	天空	路面 ^①	植被	浅色 混凝土	深色 混凝土
南	0.8	16.0	5.0/2.8 ^②	2.0	11.0	5.8
东、西	0.6	21.0	6.0/3.8 ^②	1.9	7.9	3.5
北	0.4	26.0	7.0/4.8 ^②	1.8	4.8	1.1

注:①现场实测时尚未完成路面工程,没有测到路面亮度值,北向隧 道洞外的路面亮度值按照路面亮度与路面照度之间的换算关系 计算得到,南向隧道洞外路面亮度取为比北向隧道洞外路面亮 度低 $2.0 \text{ kcd} \cdot \text{m}^{-2}$,东、西向隧道洞外路面亮度取南、北项隧道 洞外亮度的平均值。②左侧数据为路面亮度高值(路面照度与 亮度之间按 $15 \text{ lx}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ 的换算关系得到的路面亮度计算 得到的值),右侧数据为路面亮度低值(路面照度与亮度之间按 $22 \text{ lx}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$ 的换算关系得到的路面亮度计算得到的值)。

CIE 88-1990 和 CIE 88:2004 都给出了相同的 洞外景物亮度的参考值,中国现行公路隧道设计规 范《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026. 1— 1999)也参照 CIE 88-1990 给出了隧道洞外景物亮 度参考值,见表 2。

表 2 规范建议的洞外景物亮度参考值

Table 2 Reference values of scenery luminance at tunnel portals that recommended by specification kcd/m^2

洞口朝向	天空	路面	岩石	植被	建筑
南	8	3	3	2	8
东、西	12	4	2	2	6
北	16	5	1	2	4

对比表 1 和表 2 可以发现,东莞地区隧道洞外 景物亮度参考值中路面、植被等的参考值与规范建 议的洞外景物亮度参考值中路面、植被等的参考值 差别不大,由此可说明实测确定公路隧道洞外景物 亮度的方法获得的隧道洞外景物亮度参考值是具有 可信度和切实可行的。但对比两表可以发现,东莞 地区隧道洞外天空的设计参考值与规范推荐的设计 参考值存在明显差别,这也说明了隧道洞外景物亮 度随地理位置、所在地的光气候条件差别显著。分 析其原因,规范中的“建议参考值”来源于北欧地区 的光气候观测数据,北欧地区地处北半球的高纬度 地带,其光气候条件与地处南亚热带与中亚热带分 界的中国广东地区差异显著,因此,其天空亮度分布 状况相差较大。另外,广东地区大气中的气溶胶密 度相对较大,造成天空光的散射程度远大于北欧地 区。因此,广东地区的隧道照明工程设计如果直接 应用规范中的建议参考值,将与实际情况产生较大 偏差。

上述分析表明,实测公路隧道洞外景物亮度的 确定方法具有以下优越性:隧道洞外亮度实测一般 应在夏季(6、7、8 月)进行,但受实际工程进度影响 往往大量工程在这个时间段不具备测试条件;该方 法是通过现场实测获取洞外各种景物的亮度和现场 的水平面照度,建立洞外景物亮度与水平面照度之 间的关系;然后对在当地长期实测得到的水平照度 值进行统计分析,获得一年中至少出现 75 h 的最大 水平照度值,进而计算出一年中至少出现 75 h 的最 大景物亮度;可见该方法不受测试时间的限制,也不 必严格要求测试时天空无云。

5 结 论

提出了一种全新的确定隧道洞外景物亮度的方法,该方法不受测试时间的限制,并考虑了隧道所处地区的光气候数据与特征,因此,与传统方法相比具有快速、准确地确定隧道洞外景物亮度的优越性。

通过现场实测数据和东莞地区的光气候数据得到的东莞地区东、西、南、北 4 个朝向隧道洞外典型景物亮度设计参考值。该方法得到的数据与规范中建议的参考值相差不大,说明了该方法的可信性,同时考虑隧道所处地区的光气候特征,使所得数据更符合当地的实际隧道照明要求。

参考文献:

- [1] Japanese Standards Association. Light of tunnels for motorized traffic: JIS Z 9116—1990 [S]. Japanese Standards Association, 1991.
- [2] CIE. Guide for the lighting of road tunnels and underpasses: CIE 88-1990 [R]. CIE Central Bureau, 1990.
- [3] CEN. Lighting applications—Tunnel lighting: CR 14380-2003 [S]. European Committee for Standardization, 2003.
- [4] BSI. Code of practice for the design of road lighting—Part 2: Lighting of Tunnels [S]. London, UK, 2008.
- [5] ANSI. American national standard practice for tunnel lighting: ANSI/IESNA RP-22-05 [S]. 2005.
- [6] 胡英奎. 基于视觉适应的公路隧道入口段亮度研究 [D]. 重庆:重庆大学,2013.
Hu Y K. Study on the luminance of road tunnel threshold zone based on drivers' visual adaptation [D]. Chongqing: Chongqing University, 2013. (in Chinese)
- [7] CIE. Guide for the lighting of road tunnels and underpasses: CIE 88-2004 [R]. CIE Central Bureau, 2004.
- [8] 公路隧道通风照明设计规范:JTJ 026.1—1999 [S]. 中华人民共和国交通部, 1999.
Specifications for design of ventilation and lighting of highway tunnel: JTJ 026.1—1999 [S]. Ministry of Transport of the People's Republic of China, 1999. (in Chinese)
- [9] 孙春红, 陈忠林, 杨春宇. 用数码相机研究隧道洞外景物亮度[J]. 照明工程学报, 2012, 21(6):19-22.
SUN C H, CHEN Z L, YANG C Y. Research on environment luminance at tunnel portal with digital camera [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2012, 21(6): 19-22. (in Chinese)
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑采光设计标准: GB 50033—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for daylighting design of buildings: GB 50033-2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012. (in Chinese)
- [11] 东莞 [EB/OL]. http://baike.baidu.com/subview/26226/15748465.htm?fr=aladdin#2_3, 2015-11-02.
Dongguan [EB/OL]. http://baike.baidu.com/subview/26226/15748465.htm?fr=aladdin#2_3, 2015-11-02. (in Chinese)
- [12] 张婷, 翁季. 利用光气候数据确定隧道洞外景物亮度的方法[J]. 灯与照明, 2014, 38(2):25-31.
ZHANG T, WENG J. Method of acquiring the luminance of typical elements at tunnel portals based on data of luminous climate [J] Light & Lighting, 2014, 38(2):25-31. (in Chinese)
- [13] 张青文, 杨春宇, 胡英奎, 等. 重庆地区的光气候研究 [J]. 照明工程学报, 2011, 22(5): 21-28.
ZHANG Q W, YANG C Y, HU Y K, et al. Study on daylight climate of Chongqing [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2011, 22(5): 21-28. (in Chinese)
- [14] 孙春红. 基于光气候理论的隧道洞外景物亮度研究 [D]. 重庆:重庆大学,2011.
SUN C H. Research on the luminance of typical elements at tunnel portals based on theory of luminous climate [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011. (in Chinese)
- [15] LM-3/LM-2 瞄点式亮度计[Z]. 杭州:远方光电信息股份有限公司, 2012.
EVERFINE Corporation. LM-3/LM-2 Luminance meter [Z]. Hangzhou: EVERFINE Corporation, 2012. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)