

# 公路隧道 LED 照明设计与施工技术指南

浙江省交通运输厅

2019 年 7 月

# 公路隧道 LED 照明设计与施工技术指南

主编单位：温州市公路管理局

浙江大学

泰顺县公路管理局

温州市交通规划设计研究

浙江省机电设计研究院有限公司

浙江佐通信息技术有限公司

批准单位：浙江省交通运输厅

施行日期：2019 年 7 月

# 目 录

前 言 .....	III
<b>1 总则 .....</b>	<b>1</b>
<b>2 编制依据.....</b>	<b>2</b>
<b>3 术语与符号 .....</b>	<b>4</b>
3.1 术语.....	4
3.2 符号.....	5
<b>4 基本规定.....</b>	<b>8</b>
4.1 公路隧道分级.....	8
4.2 照明评价指标.....	8
4.3 照明系统设置原则.....	8
4.4 照明设计调查和资料收集.....	9
4.5 照明段划分.....	9
4.6 养护系数.....	11
<b>5 灯具及其他设施.....</b>	<b>12</b>
5.1 灯具技术要求.....	12
5.2 灯具结构与安全要求.....	13
5.3 灯具外观材质与重量要求.....	14
5.4 驱动电源技术要求.....	14
5.5 控制器技术要求.....	14
5.6 照明配电设备技术要求.....	15
<b>6 照明设计.....</b>	<b>16</b>
6.1 照明段长度.....	16
6.2 照明亮度.....	16
6.3 照明亮度均匀度.....	18
6.4 照明光色.....	19
6.5 照明灯具布置.....	19
6.6 照明控制.....	20
<b>7 照明施工.....</b>	<b>23</b>
7.1 一般规定.....	23
7.2 设备材料检验.....	23
7.3 照明灯具、照明接线箱安装.....	24
7.4 照明检测与控制设备安装.....	25
7.5 供电线路布置和安装.....	27

7.6 供配电施工.....	27
7.7 调试与检查.....	28
7.8 施工管理.....	28
<b>8 质量检验.....</b>	<b>31</b>
8.1 一般规定.....	31
8.2 检验项目.....	32
8.3 外观鉴定.....	33
<b>附录 A (规范性附录) 复色光烟雾穿透效率因子 <math>E_p</math> 测量方法 .....</b>	<b>34</b>
<b>附录 B (资料性附录) 公路隧道 LED 照明工程质量检验仪器技术要求 .....</b>	<b>35</b>
<b>附录 C (资料性附录) 典型案例：温州市泰顺县 S228 (云寿线) 红岩隧道照明 改造工程.....</b>	<b>37</b>

# 前 言

浙江省公路隧道的数量和里程一直位居全国前列,隧道照明能耗已成为浙江省公路隧道运营期间最主要的开支。LED (Light Emitting Diode) 作为一种半导体照明技术,具有寿命长、能耗低、光效高、环保且易控制等显著优点,采用LED替代隧道传统照明光源具有十分重要的节能减排意义。

浙江省人民政府办公厅发布了《关于推广应用半导体照明的意见》(浙政办发[2014]114号),要求自2015年起,全省公共照明领域新建照明工程原则上应采用LED照明产品。同时,要求到2017年底,隧道LED照明改造率达到60%以上。为此,由温州市公路管理局牵头,与浙江大学等多家单位联合承担了2018年度浙江省交通建设指南计划项目《公路隧道LED照明设计与施工技术指南》(以下简称“本指南”),为我省公路隧道LED照明设计、施工和质量检验提供实施依据。

编制过程中,在充分吸收“公路隧道LED照明光效与视觉功效研究”(2013H48)项目、“公路隧道LED光源照明等效性研究”(2016-2-7)项目主要研究成果的基础上,参编单位对全省20多条已建和在建的公路隧道LED照明工程进行了现场测试和调研,汇总处理了公路隧道照明建设单位、设计单位、运营管理单位及有关专家的意见和建议,分析了国内多家隧道LED照明灯具厂家的产品资料和技术成果,并借鉴国内外隧道LED照明新理论、新方法和新技术,编制完成本指南。

请各有关单位在执行本指南过程中及时将发现的问题和提出的意见、建议反馈至温州市公路管理局(地址:浙江省温州市鹿城区牛山北路56号,邮政编码:325027,联系电话:0577-88608835,电子邮箱:qiandengchao@163.com)以便修订时参考。

请注意本指南的某些内容可能涉及专利,本指南的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本指南由浙江省交通运输厅提出并归口。

编制单位:温州市公路管理局、浙江大学、泰顺县公路管理局、温州市交通规划设计研究院、浙江省机电设计研究院有限公司、浙江佐通信息技术有限公司。

主要编写人:钱登朝 连真毅 陈显春 吴珂 王朝晖 盛国俊

康诚 袁郑棋 吴学健 许东风 何必想 张驰

张天航 陈川 田旭 郑于海 王寿年



# 1 总则

**1.1** 为规范公路隧道LED照明工程的设计、施工和质量检验，使之达到安全可靠、节能环保之目的，特制定本指南。

**1.2** 公路隧道LED照明设计应贯彻国家节能减排政策，本着经济、可靠的原则，积极稳妥地采用新方法和新技术。

**1.3** 本指南包括8章和3个附录，分别为1总则、2编制依据、3术语与符号、4基本规定、5灯具及其他设施、6照明设计、7照明施工、8质量检验，以及附录A、附录B和附录C。

**1.4** 按本指南进行公路隧道照明设计、施工和质量检验，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

**1.5** 本指南适用于公路隧道LED照明工程的设计、施工和质量检验。

## 2 编制依据

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是标注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件，凡是不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5700-2008 照明测量方法

GB 7000.1 灯具 第1部分 一般要求与试验

GB 7000.5 道路与街路照明灯具安全要求

GB 7000.7 投光灯具安全要求

GB/T 7922-2008 照明光源颜色的测量方法

GB 17945 消防应急照明和疏散指示系统

GB 19510.1 灯的控制装置 第1部分 一般要求和安全要求

GB 19510.14 灯的控制装置 第14部分 LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求

GB/T 24825 LED模块用直流或交流电子控制装置性能要求

GB/T 24826 普通照明用 LED 和 LED 模块术语和定义

GB/T 24908-2010 普通照明用非定向自镇流 LED 灯

GB/T 31832-2015 LED 城市道路照明应用技术要求

GB/T 50502 建筑施工组织设计规范

GB 50054 低压配电设计规范

CQC3127-2010 LED 道路/隧道照明产品节能认证技术规范

QX/T 114-2010 能见度等级和预报

JGJ 46-2005 施工现场临时用电安全技术规范

JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范

JTG F80/2 公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程

JTG H30 公路养护安全作业规程

JTG/T D70/2-01-2014 公路隧道照明设计细则

JTG/T F60 公路隧道施工技术细则

JTG/T F72-2011 公路隧道交通工程与附属设施施工技术规范

JT/T 939.1-2014 公路 LED 照明灯具 第 1 部分：通则

LBT 003-2009 LED 隧道灯

LBT 004-2009 LED 道路和隧道照明现场检测及验收实施细则

## 3 术语与符号

GB/T 24826、JTG/T D70/2-01、JTG F80/2 和 JT/T 939.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 术语

#### 3.1.1

##### **色温 Color temperature**

当光源的色品与某一温度下黑体的色品相同时，该黑体的绝对温度为此光源的色温。单位：K。

[GB/T 31832-2015，术语与定义 3.19]

#### 3.1.2

##### **光学长隧道 Optically long tunnels**

距洞口一个停车视距处，在道路中心线、离地面 1.5 m 高位置不能完全看到出口的曲线隧道。

[JTG D70/2-2014，术语与符号 2.1.3]

#### 3.1.3

##### **光通维持率 Luminous flux maintenance**

在规定条件下对灯具进行点燃，在寿命期间内点燃达到特定时间时所发出的光通量与初始光通量的比值，用百分数表示。

[JTT 939.1-2014，术语与定义 3.11]

#### 3.1.4

##### **亮度 Luminance**

单位投影面积上的发光强度。单位： $\text{cd m}^{-2}$ 。

[JTG/T D70/2-01-2014，术语与符号 2.1.2]

### 3.1.5

#### **PWM Pulse width modulation**

脉冲宽度调制技术。

## 3.2 符号

### 3.2.1

#### **$E_p$ ——复色光烟雾穿透效率因子 Efficiency factor of fog penetration for the polychromatic light**

综合考虑烟雾散射作用和人眼真实视效感受的照明光源烟雾穿透性能评价指标。

### 3.2.2

#### **$E_R$ ——灯具投射到路面上的有效光通量比 Effective luminous flux ratio of road surface**

在相同功率条件下，高压钠灯与 LED 灯具投射到路面的光通量之比。

### 3.2.3

#### **$F_{LED}$ ——隧道 LED 灯具功率调整因数 Power adjustment factor of LED lighting lamps in tunnel**

在烟雾环境下，通过调高 LED 灯具功率使路面照度达到正常环境下的路面照度水平， $F_{LED}$  是指 LED 灯具功率的调整倍数。

### 3.2.4

#### **$L_{20(S)}$ ——洞外亮度**

在隧道接近段起点处，距地面 1.5 m 高正对洞口方向 20° 视场实测得到的平均亮度。单位：cd/m<sup>2</sup>。

### 3.2.5

#### **$L70(h)$**

灯具输出光通量衰减至初始光通量 70% 时的灯具正常使用时间。

[JTT 939.1-2014, 术语与定义 3.12]

### 3.2.6

$L_{in}$  ——**中间段亮度** Interior zone luminance

公路隧道中间段路面平均亮度。单位：cd/m<sup>2</sup>。

### 3.2.7

$M$  ——**养护系数** Maintenance factor

照明装置使用一定时期后，受光通量衰减、灯具受污染等影响，该装置提供路面的平均亮度与在相同条件下初装时在同一路面上所得到的平均亮度之比。

[JTG/T D70/2-01-2014，术语与符号 2.1.14]

### 3.2.8

$R_a$  ——**显色指数** Color rendering index

以待测光源与参考光源照射 CIE13.3 指定的颜色试片，以参考光源为 100%，比对同一颜色试片在两光源照射下所呈现之相对颜色差异指数。

[JTT 939.1-2014，术语与定义 3.4]

### 3.2.9

$R_{fp}$  ——**等效烟雾穿透性系数** Ratio of equivalent fog penetration

在某一烟雾浓度条件下，达到相同的路面亮度时 LED 与高压钠灯的功率比。

### 3.2.10

$R_s$  ——**等效安全性系数** Ratio of equivalent safety

以人眼视觉反应与生心理变化特征为指标，实现相同综合视觉功效时 LED 与高压钠灯的亮度比。

### 3.2.11

$S$  ——**布灯间距** Lamps spacing

相邻隧道照明灯具的间隔距离。单位：m。

### 3.2.12

$U_L$  ——**道路路面亮度纵向均匀度** Longitudinal uniformity of road surface luminance

同一条车道中心线上最小亮度和最大亮度的比值。

[GB/T 5700-2008, 术语与定义 3.14]

### 3.2.13

$V_i$  ——**气象能见度 Meteorological visibility**

白天指视力正常（对比阈值为 0.5）的人，在当时的天气条件下，能够从天空背景中看到和辨认的目标物（黑色，大小适度）的最大水平距离；夜间指中等强度的发光体能被看到和识别的最大水平距离。单位：m。

[QX/T 114-2010, 术语和定义 2.1]

### 3.2.14

$\alpha$  ——**灯具纵向光束角 Longitudinal beam angle of luminaries**

在过光束中心线且与行车方向平行的平面上，50%最大光强的两个方向之间的夹角。单位：°。

### 3.2.15

$\beta$  ——**灯具横向光束角 Transverse beam angle of luminaries**

在过光束中心线且与行车方向垂直的平面上，50%最大光强的两个方向之间的夹角。单位：°。

### 3.2.16

$\tau$  ——**隧道中间段亮度增益 Gain rate of luminance in tunnel interior zone**

是指采用中间视觉光度学模型进行亮度修正后，隧道中间段照明亮度的增大比例。单位：%。

### 3.2.17

$\Delta T$  ——**结温升 Junction temperature rise**

LED 灯具芯片结温与环境温度之差。单位：°C。

# 4 基本规定

## 4.1 公路隧道分级

公路隧道分级根据隧道长度和交通量分为五级，可根据图 1 确定隧道相应分级。

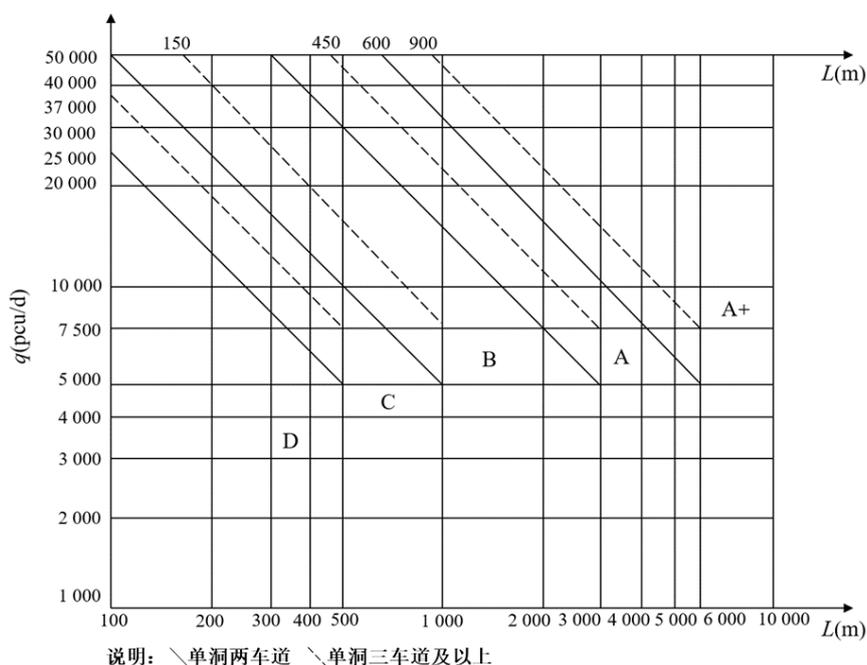


图 1 公路隧道分级图

## 4.2 照明评价指标

公路隧道照明评价指标应包含路面平均亮度、路面亮度总均匀度、道路路面亮度纵向均匀度、闪烁频率的要求。

## 4.3 照明系统设置原则

4.3.1 长度  $L > 200$  m 的高速公路隧道、一级公路隧道应设置照明。

4.3.2 长度  $100 \text{ m} < L \leq 200$  m 的高速公路光学长隧道、一级公路光学长隧道应设置

照明。

**4.3.3** 长度 $L > 1000$  m的二级公路隧道应设置照明；长度 $500 \text{ m} < L \leq 1000$  m的二级公路隧道宜设置照明；三级公路隧道根据隧道长度和交通量情况，可参照二级公路隧道标准执行。

**4.3.4** 有人行的公路隧道，应根据公路隧道长度和环境条件设置满足行人通行需求的照明设施。

## 4.4 照明设计调查和资料收集

**4.4.1** 新建公路隧道照明设计应调查洞口方位及洞外环境，在洞口土建完工后，选择在晴天时对洞外亮度进行现场实测验核，根据检测结果优化完善洞外照明设计。

**4.4.2** 新建公路隧道应根据预测交通量，改建公路隧道应调查交通量变化情况，确定设计年限和各照明段亮度指标。

**4.4.3** 新建公路隧道、改建公路隧道均应调查照明系统控制方式与智能化程度、隧道所在地烟雾天气的能见度与烟雾出现的频率。

## 4.5 照明段划分

**4.5.1** 单向交通公路隧道可划分为入口段照明、过渡段照明、中间段照明、出口段照明以及洞口接近段减光设施。单向交通公路隧道照明系统分段如图 2 所示。

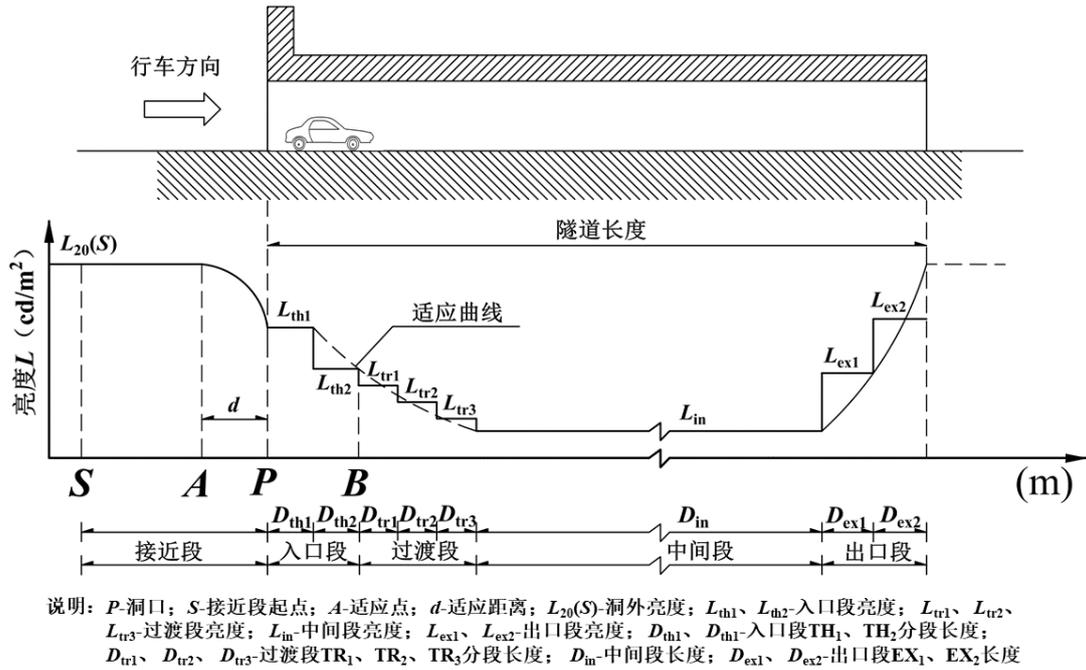


图 2 单向交通公路隧道照明系统分段图

4.5.2 双向交通公路隧道可划分为入口段照明、过渡段照明、中间段照明以及洞口接近段减光设施。双向交通公路隧道照明系统分段如图 3 所示。

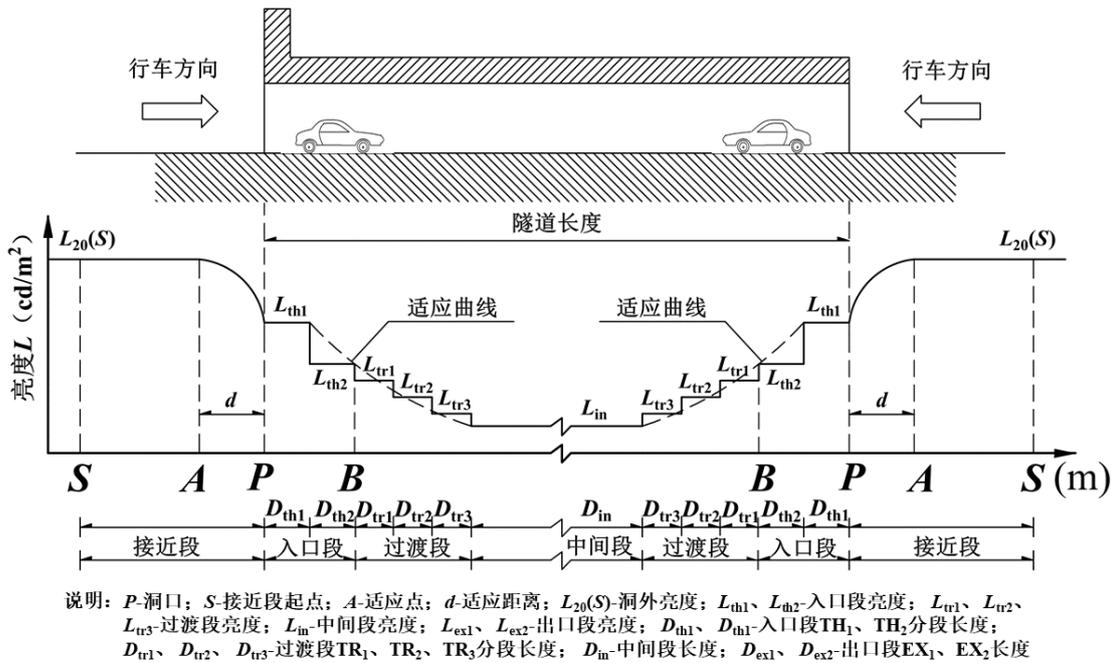


图 3 双向交通公路隧道照明系统分段图

## 4.6 养护系数

公路隧道照明设计应考虑运营期灯具受污状况和养护情况，养护系数  $M$  值宜取 0.7；纵坡大于 2% 且大型车比例大于 50% 的特长隧道养护系数  $M$  值宜取 0.6。

# 5 灯具及其他设施

## 5.1 灯具技术要求

5.1.1 公路隧道LED灯具初始光效不宜低于120 lm/W。

5.1.2 公路隧道LED灯具的初始光通量不应小于额定光通量的90%，且不应大于额定光通量的120%。

5.1.3 公路隧道LED灯具光通量维持率宜满足以下要求：

- a) 灯具持续点亮 3000 h 后，光通量维持率宜大于 97%；持续点亮 6000 h 后，宜大于 94%；持续点亮 10000 h 后，宜大于 90%；
- b) 灯具在照明系统正常规定条件下点亮， $L70(h)$ 宜大于 55000 h。

5.1.4 在公路隧道正常环境温度工作条件下，LED灯具结温升 $\Delta T$ 不宜高于25℃。

5.1.5 公路隧道LED灯具显色指数平均值 $Ra$ 不宜低于70。

5.1.6 公路隧道LED灯具配光宜根据道路路面亮度纵向均匀度 $U_L$ 、布灯间距 $S$ 设计纵向光束角 $\alpha$ ，不同 $U_L$ 、 $S$ 下LED灯具纵向光束角 $\alpha$ 不宜小于表1中值。

表 1 LED 灯具纵向光束角  $\alpha$  建议值/°

道路路面亮度纵向均匀度 $U_L$	布灯间距 $S$ / m			
	6	8	10	12
0.6	37	57	79	106
0.7	39	61	85	117
0.8	42	67	95	132

5.1.7 公路隧道LED灯具配光时宜根据隧道横断面宽度设计横向光束角 $\beta$ ，二车道、三车道公路隧道LED灯具 $\beta$ 不宜小于60°。

**5.1.8** 公路隧道LED灯具散热表面宜具有自洁净功能。

**5.1.9** 公路隧道LED灯具在额定工作条件下的功率因数不宜低于0.95。

**5.1.10** 公路隧道LED灯具宜具备动态调光控制功能，即灯具亮度可根据隧道洞外亮度、车速、车流量等因素进行动态调节。

**5.1.11** 应用于山区公路隧道的LED灯具复色光烟雾穿透效率因子 $E_p$ 值宜大于0.66，其他地区复色光烟雾穿透效率因子 $E_p$ 值宜大于0.48。

## **5.2 灯具结构与安全要求**

**5.2.1** 公路隧道LED灯具结构与安全应符合GB 7000.1《灯具 第1部分 一般要求与试验》、GB 7000.5《道路与街路照明灯具安全要求》、GB 7000.7《投光灯具安全要求》、GB/T 24908《普通照明用非定向自镇流LED灯》、GB 17945《消防应急照明和疏散指示系统》的要求。

**5.2.2** 灯具的驱动控制部件或装置应符合GB 19510.14《灯的控制装置 第14部分 LED模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》的要求。

**5.2.3** 公路隧道LED灯具宜采用三维散热结构，各安装方向下的灯具结温升差异宜小于20%。

**5.2.4** 公路隧道LED灯具防护等级宜为IP66。

**5.2.5** 公路隧道LED灯具安全试验应按照GB 7000.1《灯具 第1部分 一般要求与试验》、GB 7000.5《道路与街路照明灯具安全要求》、GB7000.7《投光灯具安全要求》、GB 19510.1《灯的控制装置 第1部分 一般要求和安全要求》及国家相关标准规定的方法进行。

## 5.3 灯具外观材质与重量要求

5.3.1 公路隧道LED灯具外观材质与重量要求应符合GB/T 24908-2010《普通照明用自镇流LED灯性能要求》中5.2和CQC 3127-2010《LED道路/隧道照明产品节能认证技术规范》中5.2.2的要求。

## 5.4 驱动电源技术要求

5.4.1 隧道LED灯具驱动电源应具备调光控制接口。

## 5.5 控制器技术要求

5.5.1 公路隧道LED照明控制器性能要求应符合GB/T 24825《LED模块用直流或交流电子控制装置性能要求》的要求。

5.5.2 公路隧道LED照明控制器安全要求应符合GB 19510.1《灯的控制装置 第1部分：一般要求和安全要求》的要求。

5.5.3 公路隧道LED照明控制器应具备远程控制功能。

5.5.4 公路隧道LED照明控制器应具备断电保护与应急照明处理功能。

5.5.5 控制器应符合如下技术指标：

- a) 工作环境温度：-20℃~50℃；
- b) 电源电压：165V~285V；
- c) 报警时间误差小于1s；
- d) 能够及时显示测量数据。

5.5.6 单灯控制器应符合如下技术指标：

- a) 接收和执行主控器下发指令；

- b) 遥控灯具点亮与关断；
- c) 具有输出 PWM 灯具调光信号的功能；
- d) 具有监测灯具运行状况、故障报警的功能；
- e) 具备地址编码技术，可实现单灯控制；
- f) 每个单灯控制器都有唯一的用户编码和地址设定功能；
- g) 具备分组控制模式；
- h) 所有设置参数在断电情况下不丢失；
- i) 整体功耗不大于 1 W。

## **5.6 照明配电设备技术要求**

**5.6.1** 公路隧道LED照明配电设备应符合GB 50054《低压配电设计规范》的要求。

# 6 照明设计

## 6.1 照明段长度

6.1.1 公路隧道照明段长度应符合JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中4.3.1、4.3.2、5.0.3、7.0.1和7.0.2的要求。

## 6.2 照明亮度

### 6.2.1 洞外亮度 $L_{20}(S)$

6.2.1.1 新建公路隧道 LED 照明系统设计阶段，如洞外亮度  $L_{20}(S)$ 无实测资料，可参照表 2 获取  $L_{20}(S)$ 初选值。新建公路隧道在洞口土建完成时，应对洞外亮度  $L_{20}(S)$ 进行实测。若实测值与设计值的误差超出 $\pm 15\%$ ，宜按实际测试结果，调整  $L_{20}(S)$ 设计值。

表 2 洞外亮度  $L_{20}(S)/\text{cd m}^{-2}$

天空面积 百分比 <sup>a</sup>	洞口朝向	设计速度 $v_t/\text{km h}^{-1}$				
		20~40	60	80	100	120
35%~50%	南洞口			4000	4500	5000
	北洞口			5500	6000	6500
25%	南洞口	3000	3000	3000	3000	3000
	北洞口	3000	3000	3000	3000	3000
10%	南洞口	3000	3000	3000	3000	3000
	北洞口	3000	3000	3000	3000	3000
0	南洞口	3000	3000	3000	3000	3000
	北洞口	3000	3000	3000	3000	3000

<sup>a</sup> 当天空面积百分比处于表中两档之间时， $L_{20}(S)$ 按线性内插取值。

6.2.1.2 已建公路隧道在照明改造实施前，应对洞外亮度  $L_{20}(S)$ 进行重新实测。若实测值与原设计值的误差超出 $\pm 15\%$ ，宜按实际测试结果，调整  $L_{20}(S)$ 设计值。

## 6.2.2 照明段亮度

6.2.2.1 公路隧道入口段、过渡段和出口段亮度应符合 JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中 4.1.1、5.0.1 和 7.0.1 的要求。

6.2.2.2 公路隧道基本照明亮度可根据照明光源色温按表 3 选取修正亮度，并不再重复计算 JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中 9.2.1 的亮度折减。

表 3 公路隧道基本照明修正亮度<sup>a</sup>/cd m<sup>-2</sup>

亮度 /cd m <sup>-2</sup>	色温/ K					
	3000	3500	4000	4500	5000	5500
1	0.88	0.87	0.84	0.83	0.81	0.79
1.5	1.37	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26
2	1.86	1.83	1.80	1.78	1.76	1.74
2.5	2.35	2.33	2.30	2.28	2.25	2.23
3	2.85	2.83	2.80	2.78	2.75	2.73
3.5	3.36	3.34	3.31	3.29	3.26	3.24
4	3.87	3.85	3.82	3.80	3.78	3.76
4.5	4.38	4.36	4.33	4.32	4.30	4.28
5	4.89	4.88	4.85	4.84	4.82	4.80

<sup>a</sup> 其他亮度条件下，公路隧道基本照明修正亮度可按表中数据内插取值。

6.2.3 已建公路隧道LED照明改造时宜充分考虑光源烟雾穿透性，加强照明LED灯具可按照公式（1）计算 $R_{fp}$ 替换原高压钠灯。

$$R_{fp} \geq 1.29 E_R \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$R_{fp}$ ——等效烟雾穿透性系数；

$E_R$ ——灯具投射到路面上的有效光通量比， $E_R \approx 0.5$ 。

6.2.4 已建公路隧道LED照明改造时宜充分考虑照明安全，基本照明采用LED灯具替换原高压钠灯，两者功率比不宜小于30%。

## 6.2.5 应急照明

**6.2.5.1** 长度 $>500$  m 的高速公路隧道应设置应急照明系统, 并应采用不间断供电系统; 长度 $>1000$  m 的一级、二级公路隧道应设置应急照明系统, 照明中断时间不应超过  $0.5$  s; 三级公路隧道可根据实际情况参照二级公路隧道标准执行。

**6.2.5.2** 应急照明灯具可利用部分基本照明灯具; 应急照明供电电源维持时间不应少于  $30$  min。

**6.2.6** 公路隧道接近段照明应符合 JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中 8.2 的要求。

**6.2.7** 行人与车辆混合通行的公路隧道, 中间段亮度不应小于  $2.0$   $\text{cd}/\text{m}^2$ 。

**6.2.8** 公路隧道路面完工后, 宜对路面平均亮度与平均照度间的换算系数进行实测; 无实测条件时, 沥青路面可取  $15$   $\text{lx}/(\text{cd m}^{-2})$ , 水泥混凝土路面可取  $10$   $\text{lx}/(\text{cd m}^{-2})$ 。

## 6.3 照明亮度均匀度

### 6.3.1 路面亮度总均匀度

公路隧道中间段路面亮度总均匀度应符合 JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中 6.2.2 的要求。

### 6.3.2 道路路面亮度纵向均匀度

宜根据隧道中间段路面亮度  $L_{\text{in}}$  合理设计道路路面亮度纵向均匀度  $U_L$ 。不同  $L_{\text{in}}$  条件下  $U_L$  不宜低于表 4 中建议值。

表 4 道路路面亮度纵向均匀度  $U_L$  建议值

$L_{in}/\text{cd m}^{-2}$	$U_L^a$
1	0.68
2	0.7
3	0.73
4.5	0.76
6	0.8
10	0.88

<sup>a</sup> 其他  $L_{in}$  条件下,  $U_L$  可按表中数据内插取值。

### 6.3.3 闪烁频率

当隧道内按设计速度行车时间超过 20 s 时, 灯具布设间距应满足闪烁频率小于 2.5 Hz 或大于 15 Hz。

## 6.4 照明光色

6.4.1 公路隧道加强照明宜采用 4500 K~5500 K 的高色温光源。

6.4.2 公路隧道基本照明宜采用 3500 K~4500 K 左右的中间色温光源。

## 6.5 照明灯具布置

### 6.5.1 加强照明灯具布置

6.5.1.1 当公路隧道洞口采用正削竹式时, 加强照明灯具宜从距离洞口 8 m~12 m 处开始布设。

6.5.1.2 当公路隧道洞口采用端墙式时, 加强照明灯具宜从距离洞口 8 m~15 m 处开始布设。

6.5.1.3 入口段加强照明灯具宜采用对称布设方式。

## **6.5.2 基本照明灯具布置**

**6.5.2.1** 灯具布置间距应符合 JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中 6.2.1 有关闪烁频率的要求。

**6.5.2.2** 宜采用“低功率、密间距”的照明灯具布置方案。

**6.5.2.3** 公路隧道曲线段照明灯具的布置应符合 JTG/T D70/2-01-2014《公路隧道照明设计细则》中 6.2.4 的要求。

**6.5.2.4** 在公路隧道内分岔口、交叉口等交通复杂路段的照明亮度指标应不低于隧道中间段亮度的 3 倍。

**6.5.3** 宜根据隧道净高、横断面路面宽度、通行方向合理设计灯具安装仰角。

## **6.6 照明控制**

### **6.6.1 控制原则**

**6.6.1.1** 公路隧道照明控制应本着安全可靠、节能环保、经济实用、技术先进的设计原则。

**6.6.1.2** 公路隧道LED照明控制系统宜包括：洞外亮度检测设备、洞内亮度和照度检测设备、交通流量检测器、LED照明灯具、灯具驱动电源、灯具控制器、通信传输设备、上位机照明监控管理软件等。

**6.6.1.3** 应根据公路隧道洞外亮度、车速、交通量等影响公路隧道照明亮度的参数制定合理的照明节能控制方案。

**6.6.1.4** 进行公路隧道LED照明动态调光控制时，应合理控制隧道内各照明段亮度变化幅度、亮度调节频率，在确保行车安全和舒适性的基础上进行节能控制。

**6.6.1.5** 公路隧道照明控制宜采用自动控制为主，半自动控制和人工控制为辅的控制模式。

**6.6.1.6** 公路隧道LED照明控制应根据实际情况采用单灯控制方式或回路控制方式。

## 6.6.2 控制模式

### 6.6.2.1 自动控制模式:

公路隧道 LED 照明系统应根据隧道洞内、洞外亮度检测器的数值,通过调光控制器对 LED 照明灯具输出功率和路面亮度进行动态调光。

### 6.6.2.2 半自动控制模式:

a) 公路隧道 LED 照明系统宜根据隧道洞外亮度  $L_{20}(S)$ 和交通流的变化进行分级设置,并充分考虑季节、天气和隧道洞口方位对  $L_{20}(S)$ 日时序变化的影响。

b) 春季、夏季、秋季和冬季  $L_{20}(S)$ 峰值比例关系为 0.95:1.0:0.95:0.85,  $L_{20}(S)$ 高位持续时长分别为 5 h、6 h、5 h、4 h。

c) 晴、云、阴和重阴天气下  $L_{20}(S)$ 峰值比例关系为 1:0.6:0.18:0.11。

d) 洞口朝向为东向、南向、西向和北向的公路隧道  $L_{20}(S)$ 峰值出现时刻分别为 15:00、12:00、9:00 和 12:00 前后。

6.6.2.3 人工控制模式应符合 JTG/T D70/2-01 《公路隧道照明设计细则》的要求。

6.6.3 公路隧道照明控制模式宜根据隧道照明配电系统合理选择。

6.6.4 烟雾环境下,公路隧道照明调光控制宜考虑实际气象能见度,不同气象能见度烟雾环境下 LED 灯具功率调整因数  $F_{LED}$  宜依据公式 (2) 取值。

$$F_{LED} = \exp(4.26 * 10^{-3} * l * V_i^{-1}) \dots \dots \dots (2)$$

式中:

$F_{LED}$ ——隧道 LED 灯具功率调整因数。

$l$ ——灯具至路面照度计算点距离,单位: m;

$V_i$ ——气象能见度,单位: m。

## 6.6.5 控制软件

6.6.5.1 宜具备用户登录权限管理功能。

6.6.5.2 宜具备用户照明控制模式设置、控制参数读取和设置功能。

**6.6.5.3** 宜具备隧道照明正常工况、应急工况、交通事件异常工况和火灾工况等不同工况条件预先设置功能。

**6.6.5.4** 控制软件界面可显示公路隧道洞内亮度、洞外亮度值、灯具工作状态，操作系统应具备查询照明回路输出电压、电流、功率等参数，并宜具备控制公路隧道LED灯具状态的功能。

**6.6.5.5** 宜具备实时采集和记录照明控制参数信息、统计回路累计点亮小时数等功能，并设置有工作状态和控制参数查询界面。

**6.6.5.6** 宜具备与前端控制设备的远程通信和访问功能，以及通信故障报警功能。

# 7 照明施工

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 公路隧道照明施工内容主要包括隧道设备材料检验、照明灯具、照明接线箱、照明检测与控制设备、供电线路的布置和安装、供配电施工、调试与检查和施工管理。

**7.1.2** 公路隧道照明设施安装应在隧道内喷涂作业完成后进行。

**7.1.3** 封道作业安全，应按照JTG T F60《公路隧道施工技术细则》和JTG H30《公路养护安全作业规程》执行。

**7.1.4** 登高作业安全，应按照JGJ 80《建筑施工高处作业安全技术规范》执行。

## 7.2 设备材料检验

**7.2.1** 公路隧道洞内照明灯具、照明接线箱的进场检查应满足以下要求：

**7.2.1.1** 产品合格证、质量检测报告等资料应齐全，各种参数应满足设计要求。

**7.2.1.2** 灯具电气元件、配件齐全，规格型号应满足设计要求，无机械损伤、变形、防腐层剥落、灯罩破裂等现象。

**7.2.1.3** 灯具底座的调节范围应满足设计要求。

**7.2.1.4** 支撑系统材质、承载能力应满足设计要求。当设计无要求时，支撑系统应能承受所支撑的设备和支撑系统本身重力之和的5倍。

**7.2.1.5** 强电端子对机壳绝缘电阻不应小于50 MΩ。

**7.2.2** 公路隧道洞外照明灯具的进场检查应满足以下要求：

**7.2.2.1** 产品合格证、质量检测报告等资料应齐全，各种参数应满足设计要求。

- 7.2.2.2** 灯杆、灯臂、抱箍、螺栓、压板等金属构件应已作防腐处理。
- 7.2.2.3** 灯具应配件齐全，无机械损伤、变形、防腐层剥落、灯罩破裂等现象；灯具的防护等级应满足设计要求。
- 7.2.2.4** 反光器表面应清洁，已进行抛光氧化或镀膜处理，表面无明显划痕。
- 7.2.2.5** 封闭灯具的灯头引线应采用耐热绝缘管保护，灯罩与尾座的连接应紧密。
- 7.2.2.6** 灯头所固定牢固可调灯头应按设计调整至正确位置，相线应接中心触点端子，零线应接螺纹口端子；灯头绝缘外套应无损伤、开裂。
- 7.2.2.7** 灯头接线应使用额定电压不低于 500 V 的铜芯绝缘线；功率小于 400 W 的灯具，线芯截面不应小于 1.5 mm<sup>2</sup>；功率介于 400 W~1000 W 之间的灯具，线芯截面不应小于 2.5 mm<sup>2</sup>。
- 7.2.2.8** 设备强电端子对机壳绝缘电阻不应小于 50 MΩ。

**7.2.3** 照明检测与控制设备的进场检查应满足下列要求：

- 7.2.3.1** 洞外照明检测设备应配遮光罩，并有减振措施。
- 7.2.3.2** 照明检测设备电气元件、配件应齐全，规格型号应满足设计要求，无机械损伤、变形、防腐层剥落、防护罩破裂等现象。
- 7.2.3.3** 照明检测设备立柱、安装支架的材质、结构、防腐处理应满足设计要求。
- 7.2.3.4** 照明控制设备中时间控制器的定时误差应小于  $\pm 1$  s/d。

## **7.3 照明灯具、照明接线箱安装**

**7.3.1** 公路隧道照明灯具安装应符合下列规定：

- 7.3.1.1** 灯具安装位置纵向偏差不应大于 30 mm，横向偏差不应大于 20 mm，高度偏差不应大于 10 mm。
- 7.3.1.2** 灯具翘片与隧道拱顶的距离宜大于 2 倍的灯具翘片高度。
- 7.3.1.3** 灯具安装应整齐美观、牢固可靠、线形流畅，灯具的安装角度应满足设计要求。
- 7.3.1.4** 应根据照明回路要求接线，宜轮流接入 A、B、C 相，使三相负荷基本平衡；灯具接线应稳固、排列整齐、标识清晰，灯具进出线孔应密封。

**7.3.1.5** 灯具外壳应可靠接地。

**7.3.1.6** 灯具安装时宜同步做好灯具安装角度、调光性能等检查工作。

**7.3.2** 照明接线箱安装应符合下列规定。

**7.3.2.1** 照明接线箱安装位置纵向偏差不应大于30 mm，横向偏差不应大于20 mm，高度偏差不应大于10 mm。

**7.3.2.2** 照明接线箱安装应牢固、整齐、标识清晰。

**7.3.2.3** 照明接线箱箱体应可靠接地。

**7.3.2.4** 箱内接线应稳固、排列整齐、标识清晰，进出线孔应密封。

## **7.4 照明检测与控制设备安装**

**7.4.1** 照明检测设备的检测探头方向应与设计方向一致；立柱结构应满足设计抗风要求，杆体垂直偏差不应大于5 mm/m。

**7.4.2** 检测设备应可靠接地，接地电阻不应大于4 Ω。

**7.4.3** 检测设备的电力电缆、信号电缆接线应牢固、整齐、标识清晰。

**7.4.4** 照明控制设备不宜与低压配电柜、照明控制柜成套组装。

**7.4.5** 公路隧道照明调光信号电缆的宜单独铺设专用管道，条件限制的可利用原供电线路的通道，但需单独穿管。

**7.4.6** 洞外亮度检测设备宜参照图4中流程进行安装与校核，宜参考图5确定洞外亮度检测设备安装位置。

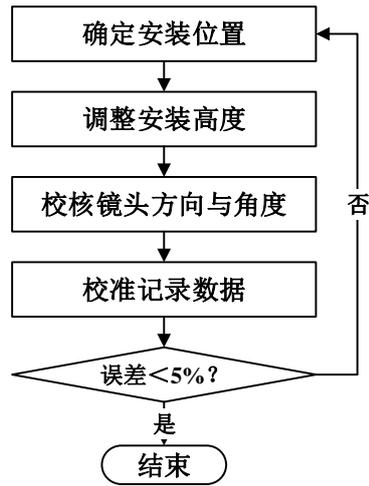


图 4 公路隧道洞外亮度检测设备安装与校核标准操作流程

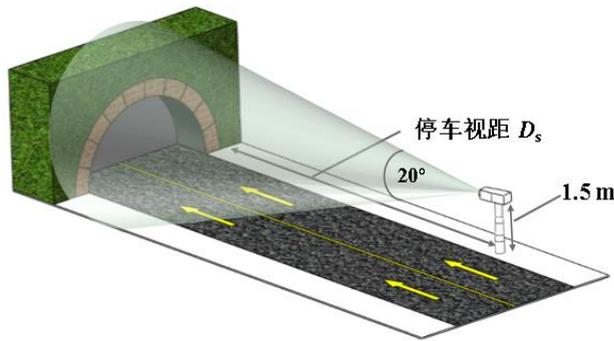


图 5 公路隧道洞外亮度检测设备安装位置示意

#### 7.4.6.1 确定安装位置

公路隧道洞外亮度检测设备宜安装在距离隧道洞口一个停车视距  $D_S$  处，且在不影响车辆行驶的前提下，尽量靠近车道。停车视距  $D_S$  应按照表 5 进行取值。

表 5 照明停车视距  $D_S$ / m

设计速度 / km/h	纵坡/ %								
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
120	260	245	232	221	210	202	193	186	179
100	179	173	168	163	158	154	149	145	142
80	112	110	106	103	100	98	95	93	90
60	62	60	58	57	56	55	54	53	52
40	29	28	27	27	26	26	25	25	25
20~30	20	20	20	20	20	20	20	20	20

#### **7.4.6.2 调整安装高度**

公路隧道洞外亮度检测设备宜设有专门的立柱支架，安装在距地面高 1.5 m~2.5 m 处。

#### **7.4.6.3 校核镜头方向与角度**

公路隧道洞外亮度检测设备探头指向隧道洞口中心方向，探头中心对准隧道洞口中轴线距离地面 1/4 隧道净高度。

#### **7.4.6.4 校准数据**

公路隧道洞外亮度检测设备安装完成后，需进行设备校准与调试。设备校准成像应包含隧道洞口 20°视场内各景物图像。

宜对不同亮度水平下的数据进行多次校准，可选择晴天天气上午 8:30-9:30、中午 11:30-12:30 和下午 16:30-17:30 各测试 1 小时，洞外亮度检测设备获取数据与实际值相差应小于 5%。

## **7.5 供电线路布置和安装**

**7.5.1** 照明和动力电线路安装在同一侧时，应分层架设。

**7.5.2** 电线悬挂高度应满足：400 V 以下大于 2.5 m，6 kV~10 kV 大于 3.5 m。

**7.5.3** 36 V 低压变压器应设在安全、干燥处，机壳接地，输电线路长度不应大于 100 m。

## **7.6 供配电施工**

**7.6.1** 公路隧道供配电设施的施工内容主要包括高低压配电柜（盘、箱）、母线、变压器、柴油发电机组、不间断电源和应急电源装置。

**7.6.2** 公路隧道高低压配电柜（盘、箱）、母线、变压器、柴油发电机组、不间断电源和应急电源的施工应符合 JTG/T F72-2011《公路隧道交通工程与附属设施施工技术规范》中 11.1~11.9 的要求。

**7.6.3** 公路隧道LED照明工程临时用电施工应符合JGJ46-2005《施工现场临时用电安全技术规范》中第5章、第7章、第8章的要求。

## **7.7 调试与检查**

**7.7.1** 通电调试前应检查、核对各设备的安装和接线，每个回路的绝缘电阻不应小于0.5 MΩ；设备接地应满足设计要求。

**7.7.2** 依次开启各照明回路，各回路灯具运行应正常。

**7.7.3** 在断电条件下，由UPS或EPS供电的应急照明回路工作时间应满足设计要求。

**7.7.4** 各照明段照度、路面照度总均匀度、道路路面亮度纵向均匀度应满足设计要求。

**7.7.5** 紧急停车带、人行横通道、车行横通道照度应满足设计要求。

**7.7.6** 照明检测设备输出参数的误差应满足设计要求。

## **7.8 施工管理**

**7.8.1** 科学组织、合理安排，灯具安装、调光线布设、调光测试、控制器安装调试，宜同期进行。

**7.8.2** 施工前应依据GBT 50502《建筑施工组织设计规范》的要求编制施工方案，并建立节点考核机制，有效把控工程质量和进度。

**7.8.3** 施工安全交底应符合下列要求：

**7.8.3.1** 高空作业应佩戴安全帽，挂好安全带，穿防滑鞋，扎紧带好劳动工具。

**7.8.3.2** 施工用电缆线路应保证绝对高度绝缘。

**7.8.3.3** 应架设上下安全梯架、通道，并保证牢固、稳定、安全性。

**7.8.3.4** 空架构造物施工应设置防护栏杆。

**7.8.3.5** 应设置安全警告标志。

**7.8.4** 灯具施工交底应符合下列要求：

**7.8.4.1** 质量要求

- a) 隧道灯具安装位置应符合设计要求和现场实际情况；
- b) 灯具安装牢固、平整，安装偏差应符合设计要求；
- c) 灯具表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀；
- d) 灯具接线整齐、布线平整、固定可靠，标识正确、清楚。

**7.8.4.2** 成品保护

- a) 灯具在搬运和安装过程中，应采取保护措施，避免磨损、划痕；
- b) 灯具安装完成后，其他工种施工时，应有保护措施，防止损坏或污染。

**7.8.4.3** 施工完成离开现场前，将施工现场清理干净。

**7.8.5** 电缆敷设施工交底应符合下列要求：

**7.8.5.1** 电缆敷设前，应对每一盘电缆进行绝缘电阻测试并作记录。

**7.8.5.2** 敷设前应核对电缆规格、型号、电压等级、长度与出厂日期。

**7.8.5.3** 穿线管敷设应注意缆线弯曲半径，避免过小，杜绝扭曲折弯。

**7.8.5.4** 应按照设计要求留足电缆预留长度；

**7.8.5.5** 设备接线、调试前，应对每一根电缆进行绝缘电阻测试，保证电缆在敷设过程中没有损坏绝缘层；

**7.8.5.6** 电缆布线整齐、美观、绑扎牢固，接线端头焊（压）结牢固、平滑，编号标识清楚，预留长度适当、规整。

**7.8.5.7** 电缆测试完毕后，应用橡皮包补密封后再用黑包布包好。

**7.8.5.8** 水平敷设的电缆，应在电缆首末两端及转弯处、电缆接头两端处及每隔10米处设固定点。

**7.8.5.9** 保护管内电缆敷设前，应检查保护管内无积水，且无杂物堵塞；穿电缆时，不得损伤护层；穿入管中电缆的数量应符合设计要求，交流单芯电缆不得单独穿入钢管内。

**7.8.5.10** 切断电缆时不应有金属屑及污物进入电缆。

**7.8.5.11** 施工完成离开现场前，将施工现场清理干净。

# 8 质量检验

## 8.1 一般规定

### 8.1.1 公路隧道LED照明工程质量检验应符合：

- a) JTG F80/2 《公路工程质量检验评定标准（第二册）机电工程技术手册》的要求。
- b) 本指南中相关要求。
- c) 合同文件及相关设计文件和要求。
- d) 相关检测仪器可参照附录 B 要求。

### 8.1.2 公路隧道LED照明质量检验时，应提交下列资料 and 文件：

- a) 工程竣工资料（含全套设计文件、设计图纸、设计变更文件）。
- b) 灯具、芯片等生产厂提供的产品说明书、试验记录、安装图纸等技术文件，以及具有相应资质的第三方产品质量检测合格报告及现场抽检合格报告。
- c) 公路隧道 LED 照明供配电系统提供的产品说明书、试验记录、合格证件及安装图纸等技术文件。
- d) 施工单位提供的施工过程记录及自检报告。
- e) 检测机构出具的公路隧道 LED 照明工程质量检测报告。

**8.1.3** 检验条件应符合JT/T 939.1-2014《公路LED照明灯具第1部分：通则》中7.1.3、LBT 004-2010《LED道路和隧道照明现场检测及验收实施细则》中3.3和LBT 003-2009《LED隧道灯》中6.1的要求。

**8.1.4** 照明灯具进场后，应按一定比例抽样送第三方检测，抽样比例宜 $\geq 1\%$ ；同时应按批抽检，抽检批次宜 $\geq 2$ 。

## 8.2 检验项目

8.2.1 照明机电设施检验内容如表6所示：

表 6 公路隧道 LED 照明机电设施检验项目

项次	检验项目	技术要求	检验方法
1	灯具安装偏差	符合本指南要求	经纬仪或量尺测量
2	绝缘电阻	强电端子对机壳 $\geq 50\text{ M}\Omega$	500 V兆欧表测量
3	控制柜安全保护接地电阻	$\leq 4\ \Omega$	接地电阻测量仪测量
4	防雷接地电阻	$\leq 10\ \Omega$	接地电阻测量仪测量
5	接地联合电阻	$\leq 4\ \Omega$	接地电阻测量仪测量

8.2.2 照明灯具及光效检验内容如表7所示：

表 7 公路隧道 LED 照明灯具及光效检验项目

项次	检验项目	技术要求	检验方法
1	灯具启动时间的可调性	可调控	实际操作
2	启动、停止方式	可手动、自动两种控制方式	实际操作
3	路面亮度总均匀度	符合本指南要求	亮度计测量
4	道路路面亮度纵向均匀度	符合本指南要求	亮度计测量
5	应急照明	符合本指南要求	模拟操作检查
6	光通量维持率	符合本指南要求	按照LBT 003-2009《LED隧道灯》中6.7的要求执行。
7	灯具结温升 $\Delta T$	符合本指南要求	按照JT/T 939.1-2014《公路LED照明灯具 第1部分：通则》中6.8的要求执行。
8	复色光烟雾穿透效率因子 $E_p$	符合本指南要求	按照本指南附录A中检测方法执行。

## **8.3 外观鉴定**

**8.3.1** 照明灯具安装稳固、位置正确，灯具轮廓线形与隧道协调、美观。

**8.3.2** 照明设备的电力线、信号线、接地线端头制作规范；按设计要求采取线缆保护措施、布线排列整齐美观、安装固定符合要求、标识清楚。

**8.3.3** 设备表面光泽一致、无划伤、无刻痕、无剥落、无锈蚀。

**8.3.4** 控制柜内布线整齐、美观、绑扎牢固，接线端头焊（压）结牢固、平滑；编号标识清楚，预留长度适当；柜门开关灵活、出线孔密封措施得当，机箱内无积水、无霉变、无明显尘土，表面无锈蚀。

# 附录 A

## (规范性附录)

### 复色光烟雾穿透效率因子 $E_p$ 测量方法

#### A.1 定义及公式

复色光烟雾穿透效率因子  $E_p$  (Efficiency factor of fog penetration for the polychromatic light) 是综合考虑烟雾散射作用和人眼真实视效感受的照明光源烟雾穿透性能评价指标。 $E_p$  可量化表征 LED 光源的烟雾穿透性能, 表达式如下。

$$E_p = \frac{\sum_{380}^{780} S(\lambda) \cdot \frac{e^{-\mu(\lambda)L} \cdot V(\lambda)}{e^{-\mu(556)L} \cdot V(556)}}{\sum_{380}^{780} S(\lambda) \cdot V(\lambda)} \dots\dots\dots (A-1)$$

式中:

$E_p$ ——复色光烟雾穿透效率因子;

$S(\lambda)$ ——光源光谱功率分布函数;

$\lambda$ ——光源光谱波长, nm;

$\mu(\lambda)$ ——烟雾条件下的消光系数,  $m^{-1}$ ;

$L$ ——烟雾条件下的光源透雾光程, m;

$V(\lambda)$ ——光源光谱光视效率函数;

$\mu(556)$ —— $\lambda=556$  nm 处的消光系数,  $m^{-1}$

$V(556)$ —— $\lambda=556$  nm 处的明视觉相对光谱光视效率。

#### A.2 测量方法

复色光烟雾穿透效率因子  $E_p$  的测量方法如下:

a) 测量光源相对光谱分布, 测量方法按照 GB/T 7922-2008 《照明光源颜色的测量方法》中 4.1.2 的要求执行;

b) 根据式 (A-1) 进行计算。

# 附录 B

## (资料性附录)

### 公路隧道 LED 照明工程质量检验仪器技术要求

**B.1** 检验仪器主要包括：经纬仪或量尺、500 V兆欧表、接地电阻测量仪、全景影像式亮度计、光谱辐射计、激光测距仪、电压计、功率计等。

**B.2** 所采用的检验仪器设备应经过国家计量部门检定，使用前应重新进行标定。如需进行多次测量，宜使用同一台仪器设备进行检测。

#### **B.3** 技术要求

##### **B.3.1** 全景影像式亮度计

- a) 可用于测量隧道洞内外亮度指标；
- b) 宜采用带望远镜头的光亮度计；
- c) 洞外亮度测量应具有 20° 圆锥视场角；
- d) 路面亮度测量水平、垂直方向视角应不大于 2'。

##### **B.3.2** 激光测距仪

- a) 可利用激光对目标的距离进行准确测定；
- b) 测量范围：30 m~5000 m；
- c) 测量误差：±1 m。

##### **B.3.3** 光谱辐射计

- a) 可用于测量显色指数和色度参数；
- b) 波长范围：380 nm~780 nm，测光重复性应在 1% 以内；
- c) 波长示值：≤±2.0 nm；
- d) 光谱带宽：≤ 8 nm；
- e) 光谱测量间隔：≤ 5nm；
- f) 色品坐标测量误差： $\Delta x \leq 0.0015$ ， $\Delta y \leq 0.0015$ 。

#### **B.3.4** 电压计

- a) 电压测量应采用精度不低于 1.5 级电压仪表。

#### **B.3.5** 功率计

- a) 电功率测量应采用精度不低于 1.5 级的数字功率计；
- b) 功率计应有谐波测量功能。

# 附录 C

## (资料性附录)

### 典型案例：温州市泰顺县 S228（云寿线）红岩隧道照明改造工程

#### C.1 工程概况

S228（云寿线）路线起点位于泰顺县司前畲族镇罗溪源林场，接 52 省道泰顺县与丽水景宁县交界处，终点位于泰顺县与寿宁县交界处，接通往乌岩岭国家自然保护区的 X712 县道，穿过龙井隧道、排头隧道、上升岭隧道、水窟隧道和红岩隧道，途经竹里畲族乡和仙稔乡到达终点，是该县连接内外交通的主干线之一，地理位置如图 C.1 所示。

红岩隧道 1998 年建成通车，洞内照明原设计为高压钠灯，隧道已运营 18 年，结构渗水导致洞内照明设备铁制外壳腐蚀、塑料制件老化严重，部分灯具烧毁、损坏等，隧道内老式低压配电屏生锈变形，供电电缆老化严重、接头漏电等，时常故障断电，无法满足正常使用要求。作为交通运输部绿色交通项目，根据《温州市公路管理局关于下达 2017 年温州市普通国省道桥隧维修改造预计划的通知》（温公养【2016】285 号）的部署，将红岩隧道照明节能改造工程本项目列入温州 2017 年普通国省道桥隧维修改造计划中。



图 C.1 地理位置

## C.2 LED 灯具参数优化

红岩隧道照明节能改造工程中，对 LED 灯具技术指标进行明确要求，如下所示。

### a) 灯具要求：

- 1) 寿命：整体灯具满足额定寿命 $\geq 55000$  小时；
- 2) 灯具效率： $\geq 90\%$ ；
- 3) 灯具温升指标 $\Delta T$ ：灯具采用弱方向敏感性的散热结构，灯具 $\Delta T \leq 25^\circ\text{C}$ ；
- 4) 灯具防护等级： $\geq \text{IP66}$ 。

### b) 光源要求：

- 1) 灯具初始光效：应达到 I 级产品要求，初始光效 $\geq 120 \text{ lm/W}$ ；
- 2) 光通量维持率：3000 小时光通量维持率 $\geq 97\%$ ，6000 小时光通量维持率 $\geq 94\%$ ，10000 小时光通量维持率 $\geq 90\%$ ；
- 3) 色温：4500 K  $\pm 200$  K；
- 4) 显色性：显色指数  $R_a \geq 70$ ；
- 5) 纵向配光：长投射，纵向光束角  $\alpha \geq 80^\circ$ ；
- 6) 横向配光：宽配光，横向光束角  $\beta \geq 60^\circ$ ；
- 7) 光源单颗粒 LED 功率 $\leq 1.5 \text{ W}$ ；
- 8) 光源  $E_p \geq 0.66$ 。

### c) 驱动电源性能要求：

- 1) 自适应电网波动、防雷电、过电压保护的要求；
- 2) 电源：AC 220 V，实测功率不超过额定功率的  $100\% \pm 5\%$ ；
- 3) 电源功率因数： $\geq 0.95$ ；
- 4) 可靠性：控制器平均无故障时间  $\text{MTBF} \geq 30000 \text{ h}$ ；
- 5) 时钟校准：照明控制器应具有时钟校准功能，内部时钟在断电情况下运行时间 $\geq 240$  小时。

### d) 信号调光要求：

- 1) 信号采用脉冲宽度调制方式，即 PWM 方式调光；
- 2) 波形电压  $12 \pm 2\text{V}$ ，波形频率不小于 200 Hz；
- 3) 电源输出信号控制在 10%~100% 区间，并具备关闭功能。

### C.3 照明设计

#### C.3.1 布灯方案

红岩隧道照明设计为双车道二级公路标准，照明设计速度 40 km/h，隧道宽度 8.5 m，建筑限界净高 5.0 m，人行道净高：2.5 m，双向双车道行车。

根据《52 省道(云寿线)改建工程竣工图》，红岩隧道原照明设计如下：

入口段 1 长 24 m，采用 250 W 高压钠灯对称布置，间距 2.4m，亮度 60 cd/m<sup>2</sup>；

入口段 2 长 36 m，采用 250 W 高压钠灯对称布置，间距 4 m，亮度 9 cd/m<sup>2</sup>；

过渡段长 144 m，采用 250 W 高压钠灯对称布置，间距 6 m，亮度 5 cd/m<sup>2</sup>；

基本段采用 70 W 高压钠灯对称布置，间距 12m，亮度 1.5 cd/m<sup>2</sup>。

红岩隧道照明节能改造工程中，对原隧道供配电电缆进行了更换，采用“密间距、低功率”的灯具布设原则，具体方案如下：

入口段 1 采用 120 W LED 灯具对称布置，间距 2.5 m，亮度 30 cd/m<sup>2</sup>；

入口段 2 采用 60 W LED 灯具对称布置，间距 2.5 m，亮度 15 cd/m<sup>2</sup>；

过渡段 1 采用 40 W LED 灯具对称布置，间距 5 m，亮度 4.5 cd/m<sup>2</sup>；

基本段采用 40 W LED 灯具对称布置，间距 10 m，亮度 1.5 cd/m<sup>2</sup>。

#### C.3.2 照明光效指标要求

红岩隧道中间段路面亮度总均匀度、道路路面亮度纵向均匀度的设计要求分别为 0.5 和 0.7。

红岩隧道 LED 光源色温的设计要求为 4500 K。加强照明 LED 光源光谱分布中富含波长为 520 nm~600 nm 的黄绿光成分；基本照明 LED 光源光谱分布中富含波长为 380 nm~480 nm 的蓝绿光成分。

#### C.3.3 辅助照明和诱导照明

##### C.3.3.1 隧道侧壁装饰

根据现场调研，红岩隧道原照明设计仅在两洞口段 50 m 范围内设置有装饰层，其余均未设置装饰层，洞内边墙、拱顶漆黑，照明光线反射效果差。为提升隧道照明光效，对隧道侧壁装饰重新涂刷，新设内装饰涂料颜色为奶黄色，涂料类型为聚合物水泥防水涂料。

##### C.3.3.2 检修道缘石涂刷实体标识

红岩隧道路面 2×3.25m(行车道)+2×0.25m(侧宽)，相对较窄，双向行车

较有压迫感。因此在两侧检修道路缘侧石上涂刷实体标识，黑黄斜线相间，提高识别效果。

### **C.3.3.3 隧道拱顶反光诱导标识**

红岩隧道拱部设置环向反光诱导标识（反光环），间距进出洞口段 120 米按 30 米一道，中间段按 50 米一道。反光环组件表面单面黏贴 IV 类反光膜，颜色为白色为主色。每设三处白色反光环即设置一条彩色反光环，彩色反光环颜色依次为橙、黄、蓝。

## **C.4 照明控制**

红岩隧道照明控制系统由洞外亮度检测仪、节能控制主柜、故障检测器、节能管理软件及附属设施构成。隧道照明节能控制系统可实现洞内、洞外光照度的过渡，现场控制柜和控制软件界面如图 C.2、图 C.3 所示。

**C.4.1 洞外亮度检测仪：**隧道洞外安装洞外亮度检测仪，实时将采集的洞外亮度数据传送到配电房主控装置，主控装置根据当前的隧道洞外亮度，结合交通量，通过调光控制器调节隧道灯具亮度，满足照明需求。

**C.4.2 调光控制器：**LED 采用可调恒流电源来驱动，可在 0~100% 范围内调整，可实现无级调光功能，控制器采用电平 0~5 V 或 0~10 V PWM 数字信号，其中 0 V 对应 LED 灯具最大输出功率时的调光信号输出，5 V/10 V 对应 LED 灯具最小输出功率时的调光信号输出。具有触摸显示人机交互界面，可实现值班人员自行修订控制参数。具有远程监控功能。

**C.4.3 故障检测器：**系统设有故障旁路功能，当系统检测到照明线路出现故障时，自动投入旁路线路提供隧道照明。同时，节能主控柜安装通讯模块，与主控系统通过 RS232 端口或其他通讯口进行连接。可通过远程监控平台实现对隧道照明进行遥测、遥控、遥信等功能。



图 C.2 控制柜



图 C.3 控制界面

## C.5 照明施工

红岩隧道照明系统施工相关情况如下：

**C.5.1** 红岩隧道洞口形式为端墙式，加强照明灯具宜从洞口处开始布设，入口段加强照明灯具采用交叉布设方式，如图 C.4 所示。

**C.5.2** 红岩隧道 LED 灯具安装时严格控制翅片与隧道拱顶的距离，现场实测表明两者距离 $>2$  倍的灯具翅片高度。

**C.5.3** 红岩隧道 LED 灯具安装时严格控制仰角，现场实测表明灯具安装仰角 $\approx 25^\circ$ ，指向隧道行车道中线。灯具安装高度和仰角如图 C.5 所示。

**C.5.4** 红岩隧道为单洞双向行车，隧道洞口约 500 m 处设有变电站，并配备安全保护措施。



图 C.4 灯具布设位置



图 C.5 灯具安装高度、仰角

## C.6 质量检验

### C.6.1 交竣工质量检验

红岩隧道照明工程施工完成后，由具有相关资质的第三方检测单位进行质量

检验，检测结果如表 C.1 所示，照明效果如图 C.6 所示。

表 C.1 红岩隧道照明质量检验结果

序号	项目		检测结果		技术要求
			景宁端	泰顺端	
1	灯具安装偏差 (mm)		满足	满足	纵向 $\leq 30$ ，横向 $\leq 20$ ，高度 $\leq 10$ 。
2	绝缘电阻 (M $\Omega$ )		$\geq 50$	$\geq 50$	$\geq 50$
3	控制柜安全保护接地电阻 ( $\Omega$ )		3.01	1.24	$\leq 4$
4	防雷接地电阻 (M $\Omega$ )		$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$
5	灯具启动时间的可调性		可调控	可调控	可调控
6	启动、停止方式		满足	满足	可手动、自动两种控制方式。
7	照度 (lx)	入口段 1	1254.6	1215.1	$\geq 300$
		入口段 2	532.6	477.3	$\geq 150$
		过渡段	219.2	227.9	$\geq 45$
		基本段	105.5	100.6	$\geq 15$
8	路面亮度总均匀度		0.87	0.84	$> 0.4$
9	道路路面亮度纵向均匀度		0.89	0.87	$> 0.7$
10	应急照明		满足	满足	双路供电照明系统，主供电路停电时，自动切换至备用电线路。
11	光通量维持率 (%)		3000 h: 98.1; 6000 h: 95.3; 10000 h: 90.3。	3000 h $\geq 97$ ; 6000 h $\geq 94$ ; 10000 h $\geq 90$ 。	
12	灯具结温升 $\Delta T$ ( $^{\circ}$ )		25		$\leq 25$
13	复色光烟雾穿透效率因子 $E_p$		0.69		$\geq 0.66$



图 C.6 红岩隧道照明改造效果

### C.6.2 长期光效检验

红岩隧道设有 LED 照明光效检验系统，可实现隧道照明长期光效的质量检验与远程监控。系统包括隧道照明智能检测管理系统、中央处理器、协调器、照明检测器、照度检测器等 5 部分组成，操作界面如图 C.7 所示，系统技术指标如下：

**C.6.2.1** 通信方式：检测管理系统→中央处理器：光纤（GPRS）；中央处理器→协调器：485 通信；协调器→照明检测器：485 通信；照度检测器→中央处理器：485 通信。

**C.6.2.2** 具备电流、电压、功率因数、亮灯率、能耗等数据统计功能；

**C.6.2.3** 实现单灯故障（光源、补偿电容、意外亮灭灯、漏电等）监测定位并及时上报，便于及时维修；

**C.6.2.4** 具备自动定时运行模式和远程控制模；

**C.6.2.5** 可对照明系统进行全部运行数据的实时自动监测，也可随时手动巡测、选测，查看系统运行状况，所有数据在系统内都能长期记录、存储。完善的数据监测和记录，有利于管理人员对全系统运行情况，进行全盘的统筹和管理，同时全部操作命令都会在系统内留下记录，对全部操作命令都可进行追溯；

**C.6.2.6** 本系统会对照明系统进行实时的监测，一旦发现有异常，立刻发出告警信息，提醒管理人员处理，尽快排除故障或隐患，告警信息还可以通过 GSM 将报警短信发送到管理人员手机上；

**C.6.2.7** 可针对不同的对象，采集、统计详尽的系统数据，在电能统计方面，可分别对每个照明设施对象进行按照日、月、季度、年的电能使用情况统计，便于管理和做出决策；

**C.6.2.8** 系统自动检测洞内灯具的光照度数据，并可在系统软件设置门限值，当照度低于门限值时，系统自动报警，以提示灯具的光衰已超出相应的标准范围；

**C.6.2.9** 系统具有完善的照明资产管理功能，能够对业主单位拥有的照明资产、设施进行电子化信息化管理，便于业主单位准确掌握自身资产拥有、使用及老化情况。

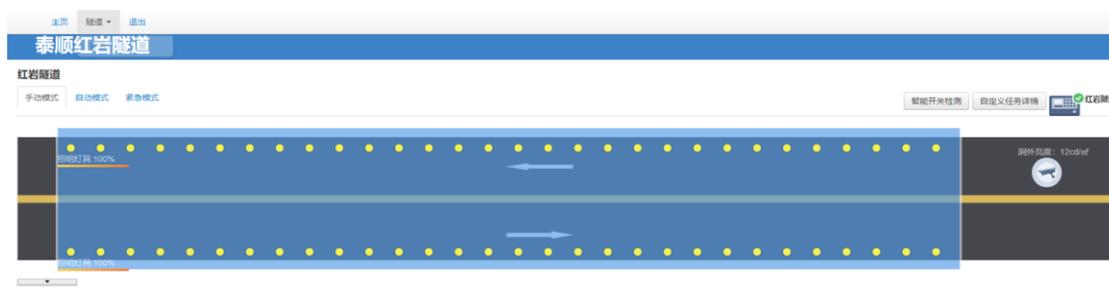


图 C.7 红岩隧道长期光效检验系统界面