

DB52

贵州省地方标准

DB52/T 1496—2020

高速公路隧道照明设计规程

Design code of practice for expressway tunnel lighting

2020 - 04 - 16 发布

2020 - 08 - 01 实施

贵州省市场监督管理局

发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 一般规定 3

6 洞口光环境 4

7 入口段光环境 5

8 过渡段光环境 7

9 中间段光环境 7

10 出口段光环境 10

11 洞外引道段照明 10

12 应急照明 10

13 灯具的选择与布设 10

14 照明控制 14

15 照明供配电 16

16 减光防眩构造物 16

17 轮廓诱导光带 17

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。
请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由贵州省交通运输厅提出。

本标准由贵州省交通标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：贵州高速公路集团有限公司、北京工业大学、贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司、贵州中南交通科技有限公司。

本标准主要起草人：任仁、胡江碧、高小娟、梅世龙、王维利、张平、康可心、江川、吴树森、黄婷、何禄诚。

引 言

随着贵州省隧道通车里程的延长，交通事故呈逐年增长趋势，高速公路隧道影响区域运营风险大，一旦发生交通事故，经济损失和社会影响巨大。对贵州省现役高速公路隧道交通事故致因分析得出，隧道照明光环境光源选择及质量不合理导致驾驶员视觉不舒适或辨清前方道路、交通和环境条件困难是造成隧道行车安全隐患的一个重要致因。同时，全天候的隧道人工照明也给贵州省隧道运行管理部门带来越来越重的经济负担。

隧道照明光源特性指标由色温、亮度和显色指数等多指标体系构成，但目前我国《公路隧道照明设计细则》（JTG/T D70/2-01—2014）中对隧道照明光环境设计要求仅采用光源的亮度量化指标。为使贵州省高速公路隧道光环境设计满足不同时段、天气等不同工况条件下的驾驶员安全、舒适驾驶需求和隧道照明节能需求，2012年至2018年编者人员积极吸收采用新理论、新技术和新设备，在贵州省贵阳尖小高速公路、毕生高速公路、思剑高速公路、三黎高速公路、望安高速公路等隧道路段开展了不同天气、时段等工况条件，不同类型隧道特征段的驾驶安全视认的光环境需求及智慧隧道管控技术、隧道光环境人工照明系统技术等研究，并对部分内容进行反复试验或验证，取得了一系列的研究成果。为此，整理2012年以来的研究结果，开展《高速公路隧道照明设计规程》的研究与制定。

本文件不涉及必要专利。

高速公路隧道照明设计规程

1 范围

本标准规定了高速公路隧道照明设计的术语、定义及符号、一般规定、洞口光环境、入口段光环境、过渡段光环境、中间段光环境、出口段光环境、洞外引道段照明、应急照明、灯具的选择与布设、照明控制、照明供配电、减光防眩构造物、轮廓诱导光带的要求。

本标准适用于贵州省新建和改扩建高速公路隧道光环境工程，在役使用的高速公路隧道光环境工程设计可参照执行。

2 规范性引用文件

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

- JTG D70/2 公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施
- JTG/T D70/2-01 公路隧道照明设计细则
- JT/T 280 路面标线涂料

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隧道光环境 tunnel lighting environment

在隧道影响区域，由所处地理位置、地形、天气和时段等工况条件下的自然光与隧道内主动与被动人造光营造并相互耦合作用于驾驶员安全行车视野中的光环境系统。

3.2

隧道运营工况条件 tunnel operating conditions

隧道外自然光特性发生变化导致驾驶员的视认能力需求改变构成的各种工况条件。

3.3

变色温光源 correlated color temperature light source

光源色温可从低色温到高色温无极变化的光源。

3.4

亮度差 luminance difference

隧道出入口段路面平均亮度与洞外路面平均亮度之差。

3.5

路面亮度均匀系数 uniformity index of road surface luminance

路面所有测点的亮度均方差与路面上最小亮度和平均亮度差的比值。

3.6

检测传感器 detection sensor

可采集洞内外温度、湿度、色温、亮度光感、道路交通流量、洞内空气质量、火险等多种不同信号的采集设备。

3.7

隧道本地自适应控制主机 tunnel local adaptive control host

由通讯采集模块、检测模块、电脑主板、控制模块组成的中间控制主机。

3.8

调光控制器 dimming controller

改变LED灯具光源的光通量、色温及照度水平的装置。

3.9

隧道疲劳唤醒段 tunnel fatigue arousal segment

长隧道中，间隔一定距离在隧道壁面和顶面采用色彩、灯光等景观装饰、变换结构等措施设置的一定长度的特殊行车路段。

3.10

隧道导行反光环 tunnel leading reflection halo

在隧道内，根据隧道的行车条件间隔一定的距离沿隧道检修道以上横断面轮廓安装的反光光环。

4 符号

下列符号适用于本文件。

N : 设计小时交通量。

5 一般规定

5.1 设计原则

- 5.1.1 隧道光环境设计应遵循安全、可靠、经济的原则，积极采用成熟新理论、新技术、新材料和新产品。
- 5.1.2 隧道光环境设计应考虑隧道设计速度（运营阶段考虑隧道限速）、交通量、线形条件、断面条件、路面条件和隧道内外光环境特性等因素。
- 5.1.3 隧道光环境的光源、材料、结构设计应考虑隧道全寿命使用周期安全成本及防灾应急功能。
- 5.1.4 隧道光环境使用材料应具有环保特性，LED 照明灯具应考虑灯具发光芯片技术参数、散热片散热性能、灯具技术、光学性能、配光曲线、电学性能、可靠性、调光性能和易养护等因素。
- 5.1.5 隧道出入口段应设置变色温光源，其他路段宜采用与速度、色温、显色指数相匹配的光源。
- 5.1.6 设置照明的隧道应设置安全智能调光控制系统。
- 5.1.7 隧道照明调光设计应采用调光照明系统，调光设计应包含车流量变化以及洞外色温、亮度等参数。
- 5.1.8 隧道照明应根据隧道外不同光环境进行调亮度、调色温的控制设计。
- 5.1.9 应根据隧道内亮度、色温调控模式对灯具进行供电回路的配置。
- 5.1.10 长度 $L < 200\text{ m}$ 的隧道壁面应设置主动发光诱导灯。
- 5.1.11 长度 $L \geq 200\text{ m}$ 的隧道应设置人工照明，同时设置主动发光诱导灯。
- 5.1.12 隧道光环境设计除应遵守本规程外，尚应符合国家及行业现行有关规程和规范的规定。

5.2 设计指标

隧道光环境设计宜综合照明光源的光谱分布特性、色温和显色指数、光环境质量亮度、亮度均匀度、闪烁和眩光及其对驾驶员动态驾驶视认的生理和心理的影响作为隧道光环境质量控制指标。

5.3 调查和资料收集

- 5.3.1 隧道光环境设计应充分收集隧道土建工程及交通工程设计所需相关资料。隧道光环境系统设计分为初步设计和施工图设计两个阶段，在初步设计阶段应进行以下资料收集和调查：
 - a) 隧道设计交通量、设计速度；
 - b) 隧道所处地理位置、隧道周边地形和气象状况、隧道洞口朝向、洞门结构型式、洞外环境、隧道长度、隧道平纵线形、横断面型式和路面类型等。
- 5.3.2 在施工图设计阶段应对隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 的设计取值进行现场实际检测和评估。

5.4 区段划分

隧道光环境区段可划分为6段：洞口接近段、入口段、过渡段、中间段、出口段、洞外引道段，长度超过5 km的隧道每隔4 km宜设置150 m~200 m长的疲劳唤醒段。

5.5 设计实施顺序

- 5.5.1 初步判定或现场测定洞外色温和亮度，制定洞外减光方案。
- 5.5.2 选择寿命长、易养护、防眩光和节能可调控灯具，确定隧道照明灯具技术参数。结合隧道断面型式、灯具类型及隧道壁面材料等因素确定灯具布置方式和位置。
- 5.5.3 根据隧道各段照明标准，计算各照明段灯具布置间距、路面亮度均匀系数等光环境质量设计参数。

5.5.4 隧道洞口工程完工后，宜对洞外亮度的设计取值进行现场实测修正。

5.6 灯具控制原则

5.6.1 灯具控制应是反逻辑控制。

5.6.2 灯具应选用具有调光功能的灯具，其调光功率在 0~100%之间连续可控。

5.6.3 灯具调光控制装置应设于所控隧道现场，并能与中控室实现通讯。当与中控室通讯中断时，调光控制装置仍可在现场进行调光操作。

5.6.4 灯具色温和亮度智能控制系统上位机监控管理软件需具备显示洞外色温和亮度，洞内色温和亮度，调光参数，车流量和能耗等参数指标值。

6 洞口光环境

6.1 光环境过渡措施

6.1.1 宜对接近段进行植被绿化，可采用削竹式、喇叭式、拱肋式等利于光环境过渡的洞门型式。

6.1.2 洞门采用端墙型式时，端墙墙面宜采用暗色调。

6.1.3 当按隧道入口所处环境预估 $L_{20}(S)$ 取值超过规范规定最大值，或当隧道入口采用增加照明功率能耗大、经济效益低，运营成本增加过大时，宜在隧道洞口设置减光防眩构造物。

6.2 洞口减光

土建设计时宜对洞口山体坡面采用绿化或减光防眩构造物进行减光处理，尽量降低隧道洞口的洞外亮度。

6.3 洞外亮度

6.3.1 在设计之初应对洞外亮度值进行合理预估，待隧道洞口工程完工后通过现场实测确定隧道洞外亮度值。实测宜在夏季（6、7、8月）晴天无云时连续进行3日，每日测读5次（11:00至15:00，时距1小时）。

6.3.2 光环境方案设计阶段，如无实测资料，洞外亮度可按 JTG/T D70/2-01 的规定进行取值。

6.4 洞外色温

隧道洞外色温宜从距隧道洞口中线外一个停车视距，距地面1.2 m高度处，以1 m为间距等间距沿行车方向测点进行测量，直至测量到隧道洞口位置处，测量得到的色温值的平均值即为隧道洞外色温表征值。停车视距要求见表1。

表1 停车视距表

设计速度 (km/h)	60	80	100	120
停车视距 (m)	75	110	160	210

7 入口段光环境

7.1 白天入口段

7.1.1 光源特性及质量指标

光源特性指标采用色温和显色指数，质量指标采用特定色温条件下的路面亮度折减系数指标。亮度折减系数 k 的计算按公式（1）进行。

$$k = \frac{L_{th}}{L_{20}(S)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- k ——入口段亮度折减系数；
- L_{th} ——入口段路面平均亮度 (cd/m²)；
- $L_{20}(S)$ ——入口段洞外亮度 (cd/m²)。

7.1.2 设计要求

7.1.2.1 入口段光环境质量标准应综合考虑洞内外色温、显色指数、亮度、交通流量及设计速度等影响因素。不同洞外亮度、色温水平以及不同交通流量、设计速度下白天入口段亮度折减系数标准按表 2 和表 3 取值。色温、显色指数超出此表范围时应按 JTG/T D70/2-01 的规定取值。

表2 白天入口段亮度折减系数（晴天）

设计小时交通量 N [veh/(h · ln)]		隧道内光源参数		设计速度 (km/h)			
单向交通	双向交通	色温 (K)	显色指数	60	80	100	120
≤350	≤180	3500	70	0.039	0.053	0.071	0.090
		4000	70	0.038	0.052	0.070	0.088
		4500	70	0.037	0.051	0.068	0.086
		5000	70	0.035	0.047	0.063	0.080
		5700	70	0.033	0.045	0.060	0.076
≥1200	≥650	3500	70	0.057	0.074	0.091	0.126
		4000	70	0.055	0.073	0.090	0.123
		4500	70	0.054	0.071	0.087	0.120
		5000	70	0.051	0.066	0.081	0.112
		5700	70	0.048	0.063	0.077	0.106

注1：该表适用于晴天隧道洞外色温低于 6000K。

注2：当交通量在中间值时，按内插考虑。

表3 白天入口段亮度折减系数（阴天）

设计小时交通量 N [veh/(h • ln)]		隧道内光源参数		设计速度 （km/h）			
单向交通	双向交通	色温 （K）	显色指数	60	80	100	120
≤350	≤180	3500	70	0.017	0.025	0.037	0.052
		4000	70	0.017	0.026	0.038	0.053
		4500	70	0.020	0.030	0.044	0.061
		5000	70	0.023	0.034	0.050	0.070
		5700	70	0.030	0.044	0.065	0.091
≥1200	≥650	3500	70	0.025	0.035	0.048	0.073
		4000	70	0.025	0.036	0.048	0.074
		4500	70	0.029	0.041	0.056	0.085
		5000	70	0.034	0.048	0.064	0.098
		5700	70	0.044	0.062	0.083	0.127
注1：该表适用于阴天隧道洞外色温高于 6 000K。 注2：当交通量在其中间值时，按内插考虑。							

7.1.2.2 天气晴朗条件下，当隧道洞外色温低于 6000K，隧道内宜采用接近于洞外色温水平的光源。

7.1.2.3 阴天天气条件下，当隧道洞外色温高于 6000K，隧道内宜采用较低色温水平的光源。

7.1.2.4 雨、雾天气情况下在隧道入口段宜采用低色温光源。

7.2 夜间入口段

7.2.1 光源特性及质量指标

光源特性指标宜采用色温和显色指数，质量指标宜采用路面亮度差指标。亮度差的计算按公式（2）进行。

$$\Delta L = L_{th} - L_{out} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔL ——亮度差（cd/m²）；

L_{out} ——出口段洞外路面平均亮度（cd/m²）。

7.2.2 设计要求

7.2.2.1 入口段光环境质量标准应综合考虑照明光源色温、显色指数、亮度、交通流量和设计速度等影响因素。不同光源色温水平、不同交通流量和设计速度下隧道夜间入口段亮度差标准按表 4 取值。

表4 夜间入口段亮度差 (cd/m²)

设计小时交通量 <i>N</i> [veh/(h·ln)]		隧道内光源参数		设计速度 (km/h)			
单向交通	双向交通	色温 (K)	显色指数	60	80	100	120
≤350	≤180	3000	70	0.05	0.30	0.64	0.99
		4000	70	0.12	0.65	1.42	2.19
		5000	70	0.13	0.71	1.54	2.37
		5700	70	0.18	1.03	2.23	3.44
≥1200	≥650	3000	70	0.11	0.69	1.40	2.21
		4000	70	0.23	1.53	4.09	4.87
		5000	70	0.25	1.65	3.34	5.27
		5700	70	0.37	2.40	4.84	7.65

注：当交通量在中间值时，按内插考虑。

- 7.2.2.2 夜间隧道入口段内宜采用低色温水平的光源。
- 7.2.2.3 夜间隧道入口段照明应与基本照明一致，按同一段设置，其长度为 JTG/T D70/2-01 规定的 TH_1 、 TH_2 两段之和。
- 7.2.2.4 夜间隧道入口外引道照明路灯仅用于应急抢险。

8 过渡段光环境

过渡段亮度与长度按 JTG/T D70/2-01 的规定设置。

9 中间段光环境

9.1 中间段

9.1.1 光源特性及质量指标

光源特性指标宜采用色温和显色指数，质量指标采用路面亮度、路面亮度均匀系数。宜采用路面亮度均匀系数 U 作为表征中间段路面亮度整体离散程度的评价指标。路面亮度均匀系数的计算按公式 (3) 进行。

$$U = \frac{\sigma}{L_{av} - L_{min}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 U ——路面亮度均匀系数；
 σ ——路面所有测点的亮度均方差 (cd/m²) ；
 L_{av} ——路面平均亮度 (cd/m²) ；

$L_{\min}$ ——路面最低亮度 (cd/m^2)。

9.1.2 设计要求

9.1.2.1 亮度

不同色温、显色指数水平，不同交通流量和设计速度下中间段亮度标准按表5取值。色温、显色指数超出此表范围时应按JTG/T D70/2-01的规定取值。

表5 中间段亮度 (cd/m^2)

交通量 N [veh/(h·ln)]		隧道内光源参数		设计速度 (km/h)			
单向交通	双向交通	色温 (K)	显色指数	60	80	100	120
≤350	≤180	6500	70	0.38	0.45	0.97	1.72
		4000	80	0.39	0.47	0.97	1.90
		5000	90	0.52	0.62	1.29	2.23
		5700	70	0.54	0.80	1.40	4.00
		3000	80	0.58	0.84	1.43	4.01
		6500	80	0.59	0.88	1.60	4.01
		3000	90	0.60	0.88	1.70	3.39
		5000	80	0.61	1.05	1.99	3.42
		3000	70	0.85	1.26	2.18	3.44
		5700	90	0.86	1.37	2.36	3.46
		5000	70	0.99	1.37	2.37	3.61
		6500	90	1.01	1.38	2.69	4.07
		5700	80	1.10	1.38	4.08	4.51
		4000	70	1.13	1.53	3.36	4.70

表5 中间段亮度 (cd/m²) (续)

≥1200	≥650	6500	70	0.76	1.05	2.10	3.82
		4000	80	0.78	1.10	2.10	4.22
		5000	90	1.04	1.45	2.80	4.96
		5700	70	1.08	1.87	4.03	6.67
		3000	80	1.16	1.96	3.10	6.69
		6500	80	1.18	2.05	3.47	6.69
		3000	90	1.20	2.05	3.68	7.53
		5000	80	1.22	2.45	4.31	7.60
		3000	70	1.70	2.94	4.72	7.64
		5700	90	1.72	3.20	5.11	7.69
		5000	70	1.98	3.20	5.14	8.02
		6500	90	2.02	3.22	5.83	9.04
		5700	80	2.20	3.22	6.67	10.02
		4000	70	2.26	3.57	7.28	10.44
注：当交通量在中间值时，按内插考虑。							

9.1.2.2 亮度均匀度

不同光源色温水平下中间段路面亮度均匀系数标准按表 6 取值。

表6 中间段路面亮度均匀系数

色温 (K)	亮度均匀系数 <i>U</i>
3000	0.586
4000	0.691
5000	0.753
5700	0.784
6500	0.811

9.2 紧急停车带和横通道

紧急停车带和横通道照明按JTG/T D70/2-01的规定设置。

10 出口段光环境

10.1 白天出口段

10.1.1 光源特性及质量指标

光源特性指标宜采用色温和显色指数，质量指标采用路面亮度差指标。

10.1.2 设计要求

10.1.2.1 出口段照明宜与中间段采用相同的色温、显色指数。

10.1.2.2 出口段亮度与长度按 JTG/T D70/2-01 的规定设置。

10.2 夜间出口段

10.2.1 光源特性及质量指标

光源特性指标宜采用色温和显色指数指标，质量指标采用路面亮度差。

10.2.2 设计要求

10.2.2.1 出口段照明设置应与中间段一致，照明光源宜与中间段采用相同色温和显色指数的光源。

10.2.2.2 出口段长度按 JTG/T D70/2-01 的规定。

10.2.2.3 出口段照明应纳入照明调光控制系统。

11 洞外引道段照明

11.1 当隧道设计速度为 80 km/h、100 km/h、120 km/h 时，夜间隧道出口外引道宜开启路灯，夜间隧道出口外引道路面亮度应与洞内中间段路面亮度一致。

11.2 当设计速度为 60 km/h，交通量较小时，洞外可不设置或开启洞外引道照明；交通量较大时，洞外宜设置或开启洞外引道照明。

11.3 采用一般路灯照明的洞外引道照明宜采用调光控制方式。

12 应急照明

12.1 隧道应设置应急照明逃生系统和配套完善的逃生引导标识。

12.2 应急照明按 JTG/T D70/2-01 的规定设置。

13 灯具的选择与布设

13.1 光源与灯具选择

13.1.1 光源选择原则

13.1.1.1 宜选择发光效率高的光源。

13.1.1.2 紧急停车带、横通道可选用显色性较好的光源。

13.1.1.3 以稀释烟尘作为隧道通风工况控制的隧道，如纵坡 $\geq 2\%$ ，货车交通量 $\geq 50\%$ 时，隧道中间段宜选择透雾性能较好且色温 $\leq 3700\text{ K}$ 的低色温光源；反之，宜选择较高色温的光源。

13.1.1.4 采用固体发光芯片的隧道照明灯具技术参数应符合表 7 中的规定。

表7 灯具发光芯片技术参数要求

功率	发光效率	使用寿命	色温	色温 一致性	光源 颗粒数	最高允许 工作结温
(1W~3W) ±10%	≥130 lm/W	≥60000h 时, 光衰小于 初始值的 30%	2700K~6500K。基本照明 的色温根据隧道长度来选 择	≤350K	根据灯具光通 量选取	≥120 ℃

13.1.1.5 应急照明灯具的选择一般与基本照明灯具同型号规格。独立布线控制，中断启用不得超过 0.3s，维持时间依据隧道长度确定，但不得短于隧道行驶时间的 2 倍。

13.1.2 灯具光学性能要求

灯具光学性能应符合表8中的规定。

表8 灯具光学性能要求

序号	项目	技术要求
1	初始光通量	实测值不低于额定光通量的 90%
2	整灯(含电源) 输出光效	≥95 lm/W
3	初始灯具光效	实测值不低于 90 lm/W
4	额定相关色温	(3000±175) K~(6500±500) K，色温可调
5	显色指数	显色指数不应低于 70
6	防眩光	失能眩光阈值：TI≤15%

13.1.3 LED 灯具可靠性要求

LED隧道照明灯具可靠性应符合表9规定。

表9 灯具可靠性要求

序号	项目	技术要求
1	LED 元器件寿命	$\geq 50\,000\text{ h}$
2	LED 灯具寿命	LED 灯具的 $L_{70} \geq 50\,000\text{ h}$
3	防护等级	灯具外壳及电源外壳防护等级应不低于 IP66
4	驱动装置寿命	驱动装置在 30 000 h 使用寿命期间内失效率不应超过 5%
5	电气性能	额定工作电压：AC220 V 额定绝缘电压：DC500 V 额定频率：50 HZ 额定功率：40 W~200 W 湿态绝缘电阻 ≥ 2 兆欧 湿态介电强度能承受 50HZ、1500V（有效值）试验电压历时 1 分钟的高压测试， 无击穿或闪烁现象 防触电保护类别：I 类
6	全天候正常使用环境条件	环境温度：-30℃~+55℃ 环境湿度：0~95%
7	特殊环境条件	应同时满足隧道实际使用地的环境温度、湿度、腐蚀性和抗震动等要求
8	养护管理	应易清洁、耐冲洗
注： L_{70} ——美国能源之星对灯具寿命测试标准，即光衰变为初始流明值的70%的使用时间。		

13.1.4 灯具调光性能要求

- 13.1.4.1 灯具输出功率应在 0~100%范围内连续可控。
- 13.1.4.2 灯具控制端接受的模拟电压信号与灯具光源的驱动电流应具有一一对应的反向线性关系，即 0V 对应灯具光源的最大驱动电流，即 100%功率；高电压对应灯具光源的最小驱动电流，即可关闭光源。
- 13.1.4.3 灯具控制端的输入电流应小于 10^{-6} A 。

13.2 灯具的布设

13.2.1 布设原则

- 13.2.1.1 当曲线隧道看不到出口或只能看到出口洞口的 30%时，应调整面对行车方向的部分灯具至对面洞壁，对易产生眩光的灯具加装遮挡板。
- 13.2.1.2 当曲线隧道能看到出口洞口的 70%时，应调整面对行车方向的部分灯具的安装角度，向行车方向水平倾斜 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

- 13.2.1.3 当隧道纵坡较大，行车方向光源直射驾驶员眼睛时，宜调整面对行车方向的部分灯具的安装角度，向行车方向水平倾斜 3°～5°。
- 13.2.1.4 隧道出口加强照明按隧道设计长度排列至洞口端面距离小于 10 m 或与洞外自然光重叠距离大于 3 m 时，应调整隧道出口加强照明离洞口端面至 10 m～15 m 外。
- 13.2.1.5 当双向隧道出入口在同一端面时，出口段基本照明灯具应向内收缩；入口洞口应加装反射照明加强洞口灯光的诱导性。

13.2.2 基本照明段

- 13.2.2.1 布设间距宜不大于 10 m。
- 13.2.2.2 应根据灯距选择合适配光（投射角）的灯具。12m 的灯距要求灯具水平投射角≥130°，10m 的灯距要求灯具水平投射角≥125°；垂直投射角两车道≥80°，三车道≥90°，四车道≥100°。整灯中心光强根据路面亮度要求选择。
- 13.2.2.3 在隧道弯道和纵坡路段，灯具的投射面不可正对行车方向，宜在灯具对面加密灯具的布点或改变灯具的安装角度。
- 13.2.2.4 当隧道内按设计速度行车时间超过 20 s 时，照明灯具布置间距应满足闪烁频率低于 2.5 Hz 或高于 15Hz。可按公式（4）和频闪频率范围计算出合理的布灯间距。基本照明段灯具的布置间距不宜在表 10 所列的取值范围内。

$$F = \frac{V}{S} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

F——频闪频率（Hz）；

V——照明设计车速（km/h）；

S——灯具安装间距（m）。

表10 易产生频闪效应的灯具间距范围

设计车速 V_c (km/h)	120	100	80	60	40
灯具安装间距 (m)	4.03～8.33	2.53～6.94	2.02～5.56	1.52～4.17	1.01～2.78

13.2.3 加强照明段

13.2.3.1 入口段和出口段

- 13.2.3.1.1 入口段和出口段的加强照明应在基本照明灯距内加装大功率灯具。
- 13.2.3.1.2 若隧道洞口型式采用削竹式，加强照明灯具从洞口以内 10 m 处开始布设；若采用端墙式，加强照明灯具从洞口处开始布设。

13.2.3.2 过渡段

根据JTG/T D70/2-01的规定，隧道过渡段可分为过渡段1、过渡段2和过渡段3。过渡段照明灯具的布设间距按照过渡段1、过渡段2、过渡段3的顺序逐渐加大，照明灯具可采取对称布置方式或交错布置方式，如果光强达不到要求，还可增加中间布置方式。

13.2.4 应急照明与洞外引道段照明

13.2.4.1 配合启用应急照明，应在洞外 300 m 处设置信号灯或可变信息情报板显示警告信息。

13.2.4.2 在有人行横道的隧道中应设置逃生引导灯。

13.2.4.3 洞外入口不宜设置夜间洞外引道照明，但必需加强入口段洞口限界的反射特性。当隧道入口段是曲线路段，且在一个安全行车视距外看不到隧道入口时，宜在隧道洞口前设置主动诱导标或设置低位照明灯具。

13.2.4.4 隧道出口引道应设置洞外引道照明。从洞内最后一盏基本照明灯具起一个安全行车视距的距离，宜设置低位照明灯具，且路面亮度取值小于等于基本段照明亮度。采用高、中杆照明时应注意与附近信息板的相关视觉需求协调关系。

13.2.4.5 在隧道出口引道 100 m 内的曲线路段，应增加主动诱导标或设置低位照明灯具。

14 照明控制

14.1 设置原则

14.1.1 控制系统应根据洞外亮度和色温、洞内亮度和色温、交通流量、设计速度、天气条件和驾驶员的安全视认等因素制定合理的控制方案。应能对基本照明和加强照明分别进行调光控制。

14.1.2 隧道横通道、紧急停车带的照明控制应符合以下规定：

- a) 车行横通道应实现远程控制和现场手动控制；
- b) 人行横通道照明宜具备感应控制装置；
- c) 横通道灯具应与横通道门的关启实现联动。

14.1.3 照明智能调光变化过程应满足驾驶员对前方障碍物安全视认的驾驶需求，不产生“白洞”或“黑洞”效应。

14.2 控制系统组成与技术参数

14.2.1 系统组成

控制系统一般由洞内外各种检测传感器、调光控制器、隧道本地自适应控制主机、色温和亮度可控型隧道灯、上位机监控管理软件等组成。基于变色温调光照明系统需隧道本地自适应控制主机增加一组色温检测传感器输入端。

14.2.2 控制系统设备信号传输方式

14.2.2.1 隧道本地自适应控制主机与调光控制器的信号传输可采用 RS-485 通讯协议、TCP/IP 通讯协议、电力线载波通信 BPSK 调制技术和无线通信技术等。

14.2.2.2 电压总线控制器与亮度可控型隧道灯采用 DC0-5V、DC0-10V 模拟电压；不同的模拟电压对应灯具不同的发光亮度。其中，0 V 对应最大亮度，中间呈反向线性关系；可调色温灯具的色温调节应根据灯具色温控制曲线，分别调整其高、低色温组的驱动电压配比来实现。

14.2.2.3 隧道本地自适应控制主机与远程监控上位机之间的通讯宜采 TCP/IP 通讯协议专用网络。

14.2.2.4 洞外和洞内亮度检测仪向隧道智能照明系统控制器输出的信号应为 4 mA~20 mA 标准信号；色温检测仪采用 RS-485 标准信号；交通量检测仪采用 RS-485 或者 4 mA~20 mA 标准信号。

14.2.2.5 隧道本地自适应控制主机与洞内传感器之间的信号传递宜采用 RS-485 通讯协议。

14.2.2.6 隧道本地自适应控制主机与车流量检测器之间的通讯宜采用 RS-485 通讯协议。

14.2.2.7 当采用 RS-485 通讯协议时，如通讯距离大于 1000 m 时，应使用光缆。

- 14.2.2.8 当采用 TCP/IP 通讯协议时, 通讯距离不宜大于 80 m。
- 14.2.2.9 当采用电力线载波通信 BPSK 调制技术时, 无需布线。通讯距离大于 1500m 时应加中继放大器。
- 14.2.2.10 本地自适应控制主机发出的控制信号到灯具接受并成功执行指令的速度应小于 2 s。

14.2.3 控制系统功能要求

- 14.2.3.1 隧道本地自适应控制主机应具备接收洞内外亮度与色温信号的能力, 并能根据车流量、洞外亮度、洞外色温、洞内路面亮度与色温对洞内照明灯具进行色温与亮度控制。
- 14.2.3.2 隧道本地自适应控制主机应可独立完成现场的调光任务, 并可与中控室实现通讯, 接受中控室的控制指令和参数设置。
- 14.2.3.3 系统应具有断电检测和响应功能。当控制器发生断电故障时, 照明系统应可在 2s 内自动调至满功率工作状态。
- 14.2.3.4 隧道照明监控软件应可实现对监控隧道单个和系统的实时监控与管理, 具体内容包括:
- a) 不同隧道界面切换, 各隧道当前工作状态显示、故障报警指示、操作提示信息;
 - b) 基本照明参数读取与设置、加强照明参数读取与设置、车流量信息、工作记录查询、故障处理、解除故障和整个隧道系统管理等功能。

14.2.4 控制系统设备性能要求

- 14.2.4.1 控制系统设备应可适应隧道内电气系统的复杂状况, 抵御各种干扰, 工作稳定可靠。
- 14.2.4.2 调光控制器的控制电压输出范围应在 0~10V 之间, 每一路控制信号的输出电流应大于 10 mA, 且最高电压可使灯具输出亮度为 0。
- 14.2.4.3 隧道本地自适应控制主机应可在与上位机通讯中断后独立工作, 平均无故障工作时间大于等于 2 万小时。
- 14.2.4.4 调光控制器应可在与中间控制主机通讯中断后自动调整灯具到最大亮度。全寿命周期故障率小于 2%。
- 14.2.4.5 调光控制器的控制线缆需采用屏蔽线。可调色温控制线缆的二路控制线缆应分色以便安装。
- 14.2.4.6 灯具可调色温控制线缆、防水接头应采用不同颜色的材料以示区别。

14.2.5 检测仪器设置

- 14.2.5.1 应设置有检测洞内外亮度、色温和交通流量的设施。
- 14.2.5.2 亮度检测设施探头探测范围 0~5000 cd/m², 色温检测设施探头探测范围 0~7000K, 探头等级 0.5 级, 防护要求 IP65。交通流量检测器检测范围 1.8m~76.2 m。
- 14.2.5.3 探头应指向入口引道有代表性的区域路面或环境区域, 宜选取洞口外一个停车视距路面, 并与实测 $L_{20}(S)$ 和色温进行比对修正。
- 14.2.5.4 探头安装高度 ≥ 5.3 m, 且与行车道有一定的距离, 防止受车辆碰擦。
- 14.2.5.5 洞外检测设备安装杆超过 3 m 时应设置避雷针。

14.3 隧道调控设计指标

14.3.1 光源指标

- 14.3.1.1 晴天隧道外色温低于 6000 K 时, 隧道内应采用接近于洞外色温水平的照明光源指标。
- 14.3.1.2 阴天隧道洞外色温高于 6000 K 时, 隧道内应采用较低色温水平的光源指标。
- 14.3.1.3 夜间隧道入口段内应采用低色温水平的光源。

14.3.1.4 隧道过渡段光环境照明光源应与入口段采用相同色温和显色指数的光源。

14.3.1.5 白天隧道中间段色温应采用 5500 K，夜间隧道中间段色温应采用 3500 K。

14.3.1.6 隧道出口段光环境照明光源宜与中间段采用相同色温和显色指数的光源。

14.3.2 控制指标

隧道照明调控过程中，每级亮度调控幅度不宜高于 $2\text{cd}/\text{m}^2$ ，每级色温调控幅度不宜高于1000K，每级亮度、色温调控间隔应大于0.2 s。

15 照明供配电

15.1 设置原则

15.1.1 应根据中间控制器的照明回路控制性能与回路控制路数，综合规划照明供电回路。

15.1.2 中间控制器应单独供电，并与配电箱柜一体考虑安装位置。

15.1.3 照明供电回路控制方式应具有三种模式：电力远程监控操作模式、现场自动工作模式和现场手动操作模式。

15.2 照明回路的分配

15.2.1 应根据调光亮度、调色温模式的要求对灯具进行供电回路的配置。至少应有入口加强照明、左侧基本照明、右侧基本照明、出口加强照明和出口引道照明回路。

15.2.2 可调色温照明供电回路必须符合可变色温功能的要求：

- a) 可调色温灯具作为加强照明：长隧道照明入口段和过渡段按左、右侧加强照明分两个回路，出口段两侧为单独一个回路；短隧道时，出口段也可并入入口段和过渡段的左、右侧加强照明两个回路中；
- b) 基本照明采用单一色温灯具时：入口段、过渡段和出口段区域的基本照明按隧道左、右侧分一个回路，中间段区域的基本照明按隧道左、右侧另分一个回路；
- c) 基本照明采用双色温灯具时：当基本照明由控制器进行色温切换时，左、右侧基本照明分两个回路即可；当基本照明由回路开关进行色温切换时，单洞单侧基本照明应分为高、低色温两个回路；
- d) 基本照明采用可调色温灯具时：按单洞隧道分为左、右侧基本照明回路。

16 减光防眩构造物

16.1 设置原则

16.1.1 宜根据隧道洞口方位、地形和经济等情况确定在隧道洞口设置减光防眩构造物。

16.1.2 隧道减光防眩构造物可根据具体情况采用遮光棚、遮阳棚或遮光板等型式。

16.1.3 宜采用 CIE 适应曲线作为减光防眩构造物亮度与长度过渡依据。宜按渐变递减原则划分为 T_1 、 T_2 段，与之对应的亮度过渡可按表 11 进行设置。

表11 亮度过渡设置

分 段	T_1	T_2
亮 度	$k \times L_{20} (S)$	$0.5 \ k \times L_{20} (S)$
注：k的取值应不低于1/3。		

16.2 设置长度

T_1 、 T_2 的长度可按公式（5）计算，其中 D_s 根据设计速度和隧道纵坡按JTG/T D70/2-01的规定取值。

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{2} (1.154D_s - \frac{h - 1.5}{\tan 10^\circ}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 T_1 ——第一过渡段长度（m）；
 T_2 ——第二过渡段长度（m）；
 D_s ——照明停车视距（m）；
 h ——洞口内净空高度（m）。

17 轮廓诱导光带

17.1 一般规定

17.1.1 设置原则

- 17.1.1.1 高速公路隧道内宜设置七条诱导光带，分别为：车行道分界线、两条车行道边缘线、两侧隧道壁设置的反光轮廓标、两侧检修道设置的主动发光诱导标。
- 17.1.1.2 车行道分界线、车行道边缘线采用隧道专用反光标线。
- 17.1.1.3 长度 $L \leq 200$ m的隧道，应增加主动发光诱导标的发光强度。

17.1.2 材料要求

- 17.1.2.1 隧道内路面标线材料除应符合 JT /T 280 中的要求外，还应具有良好的环保、抗污、耐高压水洗、疏水性、反光性和耐久性。
- 17.1.2.2 设置于隧道内的交通标线表面的抗滑性能不宜低于隧道外路段路面标线的抗滑性能。

17.2 轮廓诱导设置

17.2.1 车行道边缘线

应在隧道内设置宽度为20 cm的车行道边缘线，宜采用抗污性良好、污渍容易冲洗掉的反光振动标线。

17.2.2 车行道分界线

- 17.2.2.1 应在隧道入口前一个停车视距至出口后一个停车视距范围内设置白色实线标线，禁止车辆跨越同向车行道，线宽采用 15 cm。

17.2.2.2 隧道群宜分别在第一处分隧道入口前一个停车视距至最后一处分隧道出口后一个停车视距范围内设置白色实线标线，禁止车辆超车。

17.2.2.3 当洞外禁止跨越同向车道分界线长度小于 JTG D70/2 的规定时，宜按 JTG D70/2 的规定设置。

17.2.3 轮廓标

17.2.3.1 应在隧道壁面距检修道 80 cm 高处设置反光轮廓标，隧道检修道侧壁设置主动发光轮廓标。左侧为黄色，右侧为白色，设置位置如图 1 所示。

单位为厘米

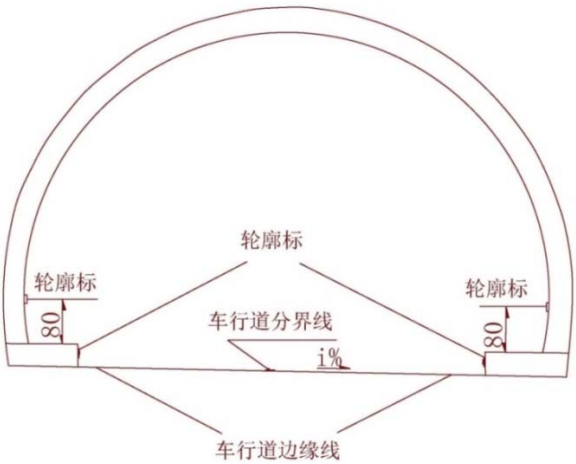


图1 隧道七条诱导光带

17.2.3.2 直线段隧道轮廓标设置间距应按 JTG D70/2 的规定设置，曲线段根据半径不同，设置间距如表 12 所示。轮廓标也可采用主动发光型。

表12 不同曲线半径下反光轮廓标设置间距

曲线半径（m）	800	600	400	300	200	145
设置间距（m）	19	17	14	12	10	8

17.2.4 隧道导行反光光环

17.2.4.1 应在隧道内设置被动发光导行反光光环，反光光环以型钢为支架，宜贴宽为 15cm 的白色反光片，如图 2 所示。

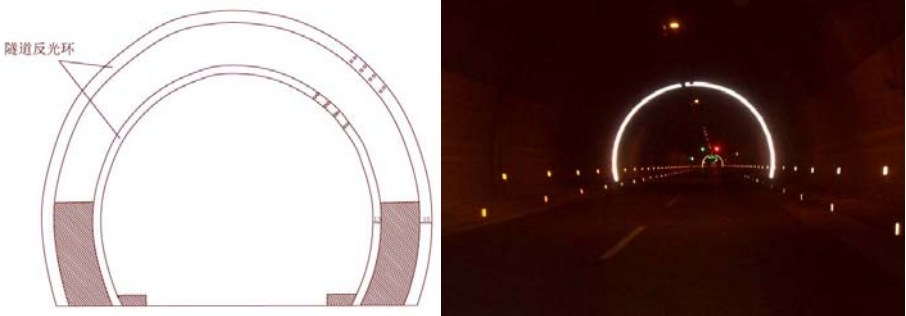


图2 隧道被动式导行光环

17.2.4.2 直线隧道反光光环间距与隧道紧急停车带、车行横通道洞、人行横通道洞统一，应设置于紧急停车带、车行横通道洞、人行横通道洞起点或者终点。

17.2.4.3 曲线隧道内的反光光环应保证在任意位置都能看到连续的3个反光光环，其中最远处应看到不少于1/3个，第二个不少于2/3个，最近处完整。为合理的确定隧道反光光环设置间距，可采用作图法确定。



