

[变电站]

导光管在隧道照明中的应用

文/上海市政工程设计研究总院集团佛山斯美设计院有限公司 徐强武

阐述了隧道照明各标准段长度及亮度计算，然后通过比较采用常规LED光源和采用导光管照明设施参数要求，最后从技术性、经济性以及节能减排等角度进行分析，得出导光管在隧道照明设计中的优越性，具有推广价值。

某城市隧道工程，起点桩号为K0+060，终点桩号为K2+174，路线总长度2.114 km。隧道起点在K0+320，隧道终点位于K1+920，隧道总长度1.6 km，其中暗埋段为K0+670~K1+330，全长660 m。工程规模为双向六车道；道路纵坡为4%，设计车速：60 km/h。隧道顶部规划为城市绿地。

度如表1所示。

表1 隧道照明长度及标准亮度值

名称	入口段 TH1	入口段 TH2	过渡段 TR1	过渡段 TR2	中间段	出口段 EX1	出口段 EX2
长度 /m	24	24	49	67	436	30	30
亮度 /(cd/m ²)	77	38.5	11.55	3.85	2	6	10

隧道各段长度及亮度计算

本工程隧道呈南北走向，隧道照明计算洞外亮度L20按3 500 cd/m²，单向交通1 200 veh/(h·ln)，隧道净空为6 m，该隧道为光学长隧道。根据JTG/T D702—01—2014《公路隧道照明设计细则》相关公式，经计算得出隧道各段长度及亮

隧道照明灯具布置及计算

隧道照明横断面布置图如图1所示，均采用LED灯具。

隧道照明灯具配置如表2所示，根据平均照度计算公式计算，其中利用系数取0.7，维护系数取0.7，灯具综合光效取100 lm/W。

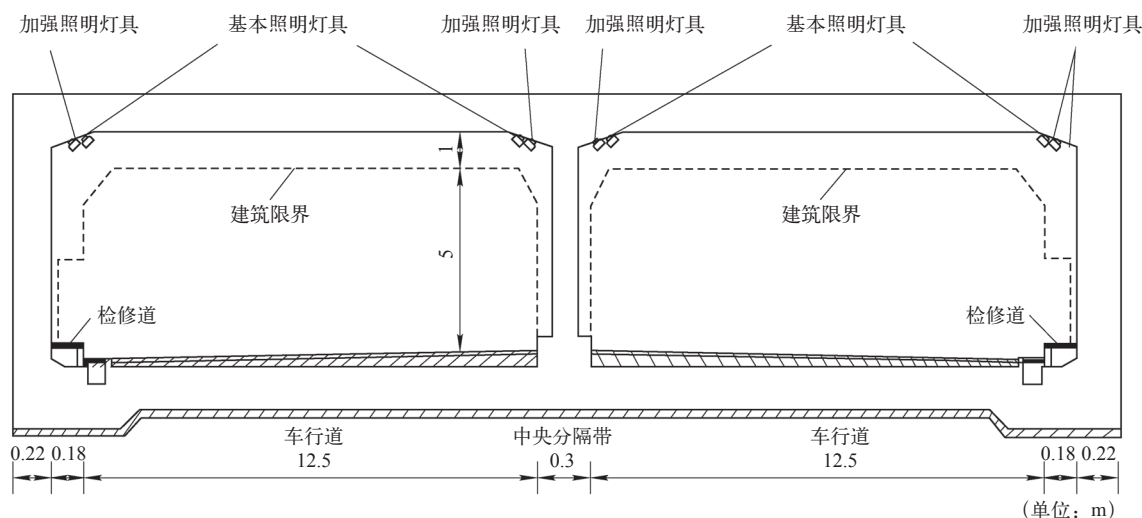


图1 隧道照明标准横断面布置图

表2 隧道照明灯具配置表

区段名称	标准值	计算值	基本照明			加强照明		
	亮度/(cd/m ²)	亮度/(cd/m ²)	灯具功率/W	灯具排数	布灯间距/m	灯具功率/W	灯具排数	布灯间距/m
入口段TH1	77	80.4	30	2	8	150	2	1
入口段TH2	38.5	41.2	30	2	8	150	2	2
过渡段TR1	11.55	11.8	30	2	8	75	2	4
过渡段TR2	3.85	4	30	2	8	30	2	8
中间段	2	2	30	2	8	30	2	8
出口段EX1	6	5.9	30	2	8	60	2	8
出口段EX2	10	9.8	30	2	8	120	2	8

隧道照明灯具布置及计算（导光管）

利用DIALux软件进行仿真，其中利用系维护系数取0.7。本工程入口段TH1和入口段TH2采用直径 $D=750\text{ mm}$ 的导光管，过渡段TR1和出口段EX2采用直径 $D=530\text{ mm}$ 的导光管，过渡段TR2采用直径 $D=250\text{ mm}$ 的导光管，出口段EX1采用直径 $D=350\text{ mm}$ 的导光管；隧道各段所采用的导光管长度均为 $L=3\text{ 000 mm}$ ，导光管的有效采光面积为半球面面积，直径750 mm、530 mm、350 mm和250 mm的面积 $A_{\text{球}}$ 分别为是0.884 m²、0.441 m²、0.192 m²和0.098 m²；集光器采用3 mm厚透明PMMA材料，可见光透射比 $\tau_1=0.92$ ；导光管的传输效率，根据

JGJ/T374—2015《导光管采光系统技术规程》附录C得直径750 mm、530 mm、350 mm和250 mm的导光管查表插值等得，对应TTE分别是0.944、0.924、0.889和0.852。漫射器采用2.5 mm的透明PMMA材料，其可见光透射比 $\tau_2=0.90$ 。根据GB 5033—2013《建筑采光设计标准》第3.0.4条，广东省佛山市属于IV光气候区，室外天然光设计照度值取 $E_s=32\text{ 000 lx}$ 。计算出各种直径导光管对应 ϕ_u 。对于隧道加强照明采用导光管，基本段采用LED灯具，其横断面布置图如图2所示。基本照明采用LED灯具，加强照明采用导光管。隧道各区段LED灯具和导光管配置及亮度计算值如表3所示。

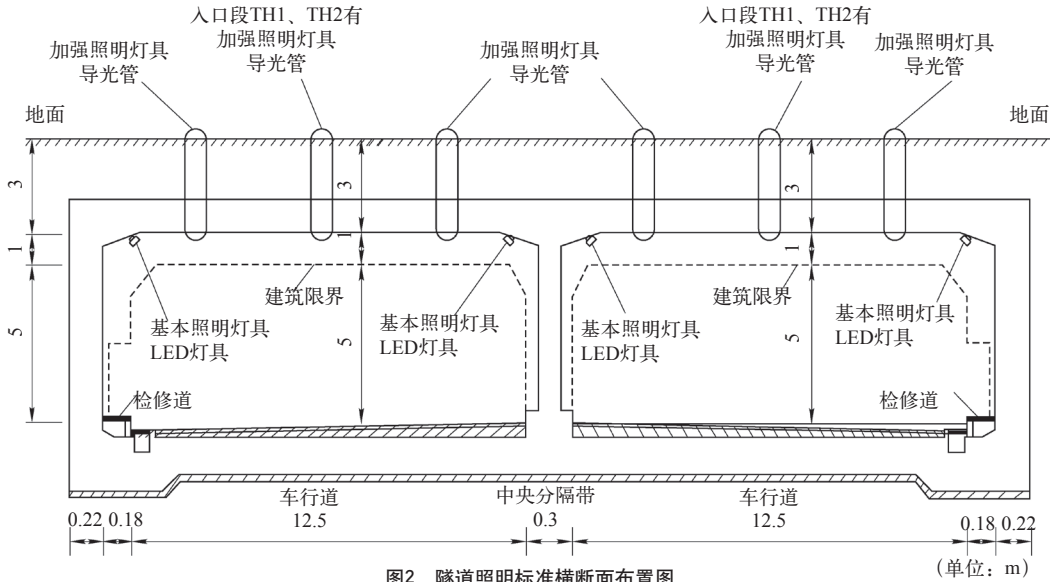


表3 隧道照明灯具配置表

区段名称	长度/m	标准值	计算值	基本照明			加强照明			
		亮度/(cd/m ²)	亮度/(cd/m ²)	LED灯具功率/W	LED灯具排数	LED灯具布置间距/m	导光管总数量/套	导光管直径/mm	导光管布置排数	导光管布置间距/m
入口段TH1	24	77	77.4	150	2	1	30	750	3	2.4
入口段TH2	24	38.5	37.6	180	2	2	15	750	3	4.8
过渡段TR1	49	11.55	11.2	210	2	4	16	530	2	6.1
过渡段TR2	67	3.85	5.8	120	2	8	20	250	2	6.7
中间段	436	2	2	40	2	8	/	/	/	/
出口段EX1	30	6	6.3	75	2	8	10	350	2	6
出口段EX2	30	10	10.5	150	2	8	8	530	2	7.5

加强照明采用导光管仿真结果

为了验证加强照明采用导光管后是否满足亮度要求, 根据计算出的导光管的光通量输入DIALux仿真软件中进行仿真计算。本次仿真为减少建模的工作量, 隧道各段长度均按长度为80 m进行仿真。仿真结果等亮度曲线如图3~图5所示。

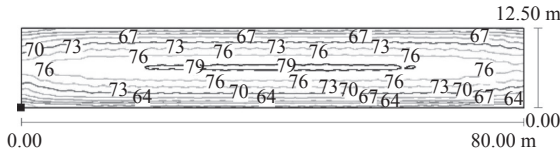


图3 入口段TH1等亮度图

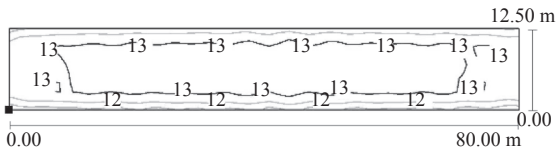


图4 过渡段TR1等亮度图

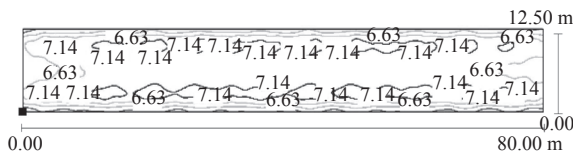


图5 出口段EX1等亮度图

其中平均亮度、最小亮度和最大亮度如表4所示。由表格可知, 加强照明采用导光管时, 各段亮度均能满足规范要求。

表4 隧道照明亮度仿真结果 (单位: cd/m²)

序号	区段名称	平均亮度	最小亮度	最大亮度	亮度均匀度
1	入口段TH1	71	53	80	0.75
2	入口段TH2	36	26	41	0.72
3	过渡段TR1	13	11	14	0.85
4	过渡段TR2	4.28	3.09	4.95	0.72
5	出口段EX1	6.78	5	7.57	0.74
6	出口段EX2	11	8.4	12	0.76

隧道照明灯具控制

隧道照明按基本照明和加强照明分开控制考虑, 基本照明白天和夜间均处于开启模式, 加强照明灯具白天开启, 晚上关闭, 白天可根据洞外亮度和交通量变化进行调节。加强照明调光分级根据《公路隧道照明设计细则》第9.3.4条, 分为夏季晴天、其他季节晴天/夏季云天、其他季节云天/夏季阴天以及其他季节阴天/重阴天等分级。

工程建设技术及经济比较

1. 导光管技术特点比较

采用导光管照明节约了白天照明的电力消耗, 延长了LED灯的使用年限, 可以满足隧道内白天的照明需求, 是理想的节能方案。其技术特

点如表5所示。

表5 导光管技术特点

光环境	通过采光装置可以大量聚集天然光, 经光导管高效率的传输, 由漫射装置均匀扩散到隧道内; 引进隧道内的光线柔和, 无频闪, 显色性好, 给隧道带来舒适的光环境; 光导照明照射面积大, 不会产生局部聚光现象
绿色安全	整套系统无需电力, 极小的热损失, 无电力隐患, 各部件均符合环保回收要求, 真正的零污染、零排放、零辐射, 同时有效地减少电力发电带来的污染, 符合国家低碳节能导向和高性能节能产品指标
使用寿命	具有良好的透光性能, 使用寿命>20年

2. 工程经济比较

(1) 直接节电比较

本工程隧道加强照明采用LED时对应功率为29 250 W。按每天亮灯10 h计算。每年可节约电能为 $29.25\text{ kW} \times 10\text{ h} \times 365 = 106\,762.5\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

每年可节省照明总电费用约为(电费以商业用电1元/kW·h计算)106 762.5元。

导光管寿命按规范要求的20年计算, 导光管寿命年限内可节省电费约为 $106\,762.5 \times 20 = 2\,135\,250$ 元, 即213.525万元。

(2) 节省耗材比价

按LED灯具使用寿命35 000 h (大于规范要求的30 000 h) 计算, 每天亮灯10 h, 在20年内需全部更换一次, 包含初装费共需要58.5万元。

综上1和2所述, 导光管设备费用和电费总费用为 $213.525\text{ 万元} + 58.5\text{ 万元} = 272.025\text{ 万元}$ 。

导光管设备及安装费用约为95万元。采用导光管与LED灯具相比, 在20年内可节省费用约177.025万元。具有非常可观的经济效益。

另外, 电的生产过程中会耗费大量的不可再生资源, 在照明的同时会释放二氧化碳等有害气体, 并伴随着热污染。根据GB/T 2589—2008《综合能耗计算通则》可计算每节约1 kW·h电, 就相应减少了0.122 9 kg标准煤的燃烧。同时减少了二氧化碳、二氧化硫、氢氧化物和碳粉尘的排放。

本项目中, 使用导光管作为加强照明灯具20年可以节约电力能源 $106\,762.5\text{ kW}\cdot\text{h} \times 20 = 2\,135\,250\text{ kW}\cdot\text{h}$, 折算为节省标准煤数量为262.42 t。

由此可见, 隧道照明采用导光管引入自然光的照明系统是一种可见成效的投资, 具有推广价值。EA

(收稿日期: 2019.01.25)

(编辑: 朱金凤)