



T/CECS G: ××××—20XX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

高速公路隧道照明低碳运营能效评价标准

(征求意见稿)

Energy Efficiency Evaluation Standards for Low-carbon

Operation of Highway Tunnel Lighting

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

高速公路隧道照明低碳运营能效评价标准

Energy Efficiency Evaluation Standards for Low-carbon

Operation of Highway Tunnel Lighting

T/CECS G: ××××—2024

主编单位：浙江交投高速公路运营管理有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：20××年××月××日

人民交通出版社股份有限公司

北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2024 年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（建标协字[2024]116 号）的要求，由浙江交投高速公路运营管理有限公司承担《高速公路隧道照明低碳运营能效评价标准》（下列简称“本标准”）的制定工作。

编制组在广泛调研、借鉴、吸收了国内外相关标准及最新科技成果，在全面总结以往高速公路隧道照明能效建设、管理经验的基础上，本着“安全优先、绿色低碳、经济高效、技术先进”的原则，完成了本标准的编制工作。

本标准分为 7 章，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 评价方法和流程、5 评价指标体系、6 能效等级划分、7 照明低碳运营改进措施。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由浙江交投高速公路运营管理有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会(地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn)，或浙江交投高速公路运营管理有限公司(地址：浙江省杭州市上城区五星路 199 号；邮编：310016；电子邮箱：XXXXXXXXXX)，以便修订时研用。

主编单位：浙江交投高速公路运营管理有限公司

参编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

北京中交国通智能交通系统技术有限公司

重庆交通大学

交通运输部科学研究院

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

目 次

1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	3
4 评价方法和流程.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 评价方法.....	4
4.3 评价流程.....	4
5 评价指标体系.....	7
5.1 一般规定.....	7
5.2 一级评价指标和权重.....	7
5.3 二级评价指标和权重.....	7
6 能效等级评定.....	10
6.1 一般规定.....	10
6.2 指标评分.....	10
6.3 评价计算.....	11
6.4 能效等级.....	12
7.照明低碳运营提升措施.....	13
7.1 一般规定.....	13
7.2 节能技术措施.....	13
7.3 运营管理措施.....	13
本标准用词用语说明.....	15

1 总则

1.0.1 为规范高速公路隧道照明运营评价体系，降低隧道照明运营能耗和碳排放，促进运营能效水平提升，制定本标准。

1.0.2 本标准适用运营高速公路隧道照明能效评价。

1.0.3 高速公路隧道照明运营能效评价应遵循“安全优先、绿色低碳、经济高效、技术先进”的原则。

1.0.4 高速公路隧道照明运营能效评价方法满足完整性和可操作性要求。

1.0.5 高速公路隧道照明运营能效评价除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 隧道照明低碳运营 Low-Carbon Operation of Tunnel Lighting

在保障隧道行车安全前提下，通过采用高效节能设备与技术、提升低碳管理水平等措施以降低隧道照明运营能耗及碳排放的可持续运营模式。

2.0.2 能效 Energy Efficiency

在满足安全运营前提下，系统实际能耗与根据设计规范要求计算得到能耗的比值。

2.0.3 能效评价 Energy Efficiency Evaluation

依据特定的方法和程序，对隧道固有特性、能源利用效率、碳排放水平及管理体的完备性进行定量与定性相结合的全面分析、评估与等级判定。

2.0.4 能效等级 Energy Efficiency Grade

根据规定的评价方法对其他相关能效指标进行综合评价后，确定能反映其能效水平高低的等级划分。

3 基本规定

3.0.1 公路隧道照明低碳运营能效评价应以照明系统应用效果符合照明设计要求为前提。

3.0.2 公路隧道照明低碳运营能效评价边界应自变压器低压侧出线端起，至隧道内所有照明灯具止，涵盖供电、配电、控制及灯具等全部环节。

3.0.3 公路隧道照明低碳运营能效评价应基于照明相关产品检测报告、能耗核算、实测等数据开展。

3.0.4 公路隧道照明能效评价宜以单座隧道为基本单元，宜每两年开展一次。

3.0.5 高速公路隧道群或同类型隧道照明低碳运营能效评价，可选取有代表性的单座隧道进行测评，其评价结果可作为同类型隧道能效标识依据。同类型隧道的照明能效等级应按抽测评价结果的最低等级确定。

4 评价方法和流程

4.1 一般规定

4.1.1 评价应遵循科学性、系统性和可操作性原则，全面、客观地反映隧道照明系统的实际低碳运营能效水平。

4.1.2 评价工作应以一个完整运营周期（通常为一年）为基本评价期，确保数据能完整反映隧道照明系统在不同季节、天气及交通条件下的能效表现。

4.1.3 评价所依据的基础数据应确保其真实性、准确性与时效性。

4.1.4 评价所需的现场测试，其测试方法应符合国家、行业相关标准规定。

4.2 评价方法

4.2.1 评价方法应采用定量计算为主、定性评定为辅相结合的方法。

4.2.2 评价结果应通过现场进行验证和审核。

4.2.3 评价方法宜采用二级加权综合评价法，每一级的权重系数由结构化指标量化法和专家评分法相结合的方法进行制定。

4.2.4 隧道照明能效等级宜将量化评价结果对照评分划定范围确定。

4.2.5 评价过程中的数据采集应按以下方式获取：

- 1 应通过智能监测设备、现场实测和通过设计文件等方式获得；
- 2 当智能监测设备获取数据有异常时，应通过现场比对数据进行核实；
- 3 当智能监测所得数据不止包含所评价单元时，应提供剥离非评价单元数据的佐证方法和计算过程；
- 4 现场实测方式应按现行规范规定的测量方法进行。

4.3 评价流程

4.3.1 隧道照明能效评价流程应包含评价对象确定、资料收集、现场测试、评价计算、能效等级划分、评价结果反馈等流程，如图 4-1 所示。

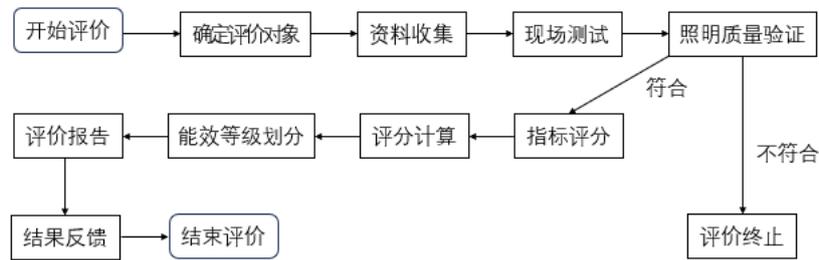


图 4-1 评价流程图

4.3.2 应根据高速公路隧道长度、路段交通量、洞外亮度、节能技术应用等因素选取有代表性的隧道作为隧道照明低碳运营能效评价对象。

【条文说明】

一段高速公路各座隧道通常采用同一设计标准，故隧道设计速度、照明灯具、控制系统、供配电系统等相同。不同之处在于隧道长度、隧址所处洞外亮度、路段交通量以及部分隧道开展了节能技术示范等会对隧道照明能效结果产生影响有差异。因此需统筹考虑确定评价对象，减轻能效评价工作量的同时确保评价结果具有代表性。

4.3.3 能效评价资料收集应包括以下资料：

- 1 隧道照明设计文件；
- 2 灯具参数资料；
- 3 控制方式及运营资料；
- 4 供电方式及相关资料；
- 5 照明运营管理制度；
- 6 隧址电力碳排放因子；
- 7 评价周期内洞外亮度；
- 8 评价周期内交通量；
- 9 评价周期内电费资料。

4.3.4 能效评价现场测试应包括以下工作：

- 1 洞外亮度测试；
- 2 灯具完好率与光衰检测；

3 照明控制、供配电系统运行状态测试；

4 隧道内壁涂层（如有）反射率测试。

【条文说明】

通过现场实测，主要判断灯具、照明控制、供配电系统等是否运行正常。洞外亮度实测可以和所搜集的洞外亮度数据进行对比评判。

4.3.5 根据搜集和现场测试所得资料对各评价指标打分。结合对应评价指标权重系数，加权计算得出隧道能效等级总分数。按照能效等级划分评定出隧道照明低碳运营对应能效等级类别。

4.3.6 应形成评价报告并宜向委托单位反馈隧道照明能效等级评价结果，提出针对性的优化建议。

【条文说明】

向委托单位反馈隧道照明能效等级评价结果并提出针对性的优化建议，有助于直接推动隧道照明能效管理持续向好，确保隧道可持续运营，符合国家能源安全和双碳战略。

5 评价指标体系

5.1 一般规定

5.1.1 评价指标体系应定量评价与定性分析相结合。

5.1.2 高速公路隧道照明低碳能效评价指标体系宜分为一级评价指标、二级评价指标二个层级。

5.1.3 评价指标的权重系数应根据其对隧道照明能耗影响的敏感程度并结合工程实际赋予。

5.2 一级评价指标和权重

5.2.1 一级评价指标应由隧道特性、照明机电、运营管理、碳排放 4 个指标构成。

【条文说明】

隧道特性如长度、路面宽度、设计速度等对决定了洞内所需光环境亮度水平，对照明能效影响显著。照明机电如灯具、控制模式等为直接用能系统。运营管理则可以通过精细化照明控制、运营维护，提升照明能效水平。碳排放则可以用于评价隧道照明碳排放水平。

5.2.2 一级评价指标权重系数应按表 5.2.2 取值。

表 5.2.2 隧道照明低碳运营能效一级评价指标权重系数表

一级指标	隧道特性	照明机电	运营管理	碳排放
权重系数	0.20	0.40	0.30	0.10

【条文说明】

隧道特性如长度、路面宽度、设计速度等对隧道照明能耗影响显著，但为固有特性无法改变，为激发推进照明能效改进动力，适当降低其权重系数。照明机电和运营管理为机电设计和运营单位可发力点，故权重系数较高。碳排放对隧道照明能效影响较小，故权重系数较低。

5.3 二级评价指标和权重

5.3.1 隧道特性应由隧道长度、路面宽度、设计速度、预计交通量、洞外亮度 5 个二级评价指标构成。权重系数应按表 5.3.1 取值。

表 5.3.1 隧道特性所含二级评价指标权重系数表

二级评价指标	隧道长度	路面宽度	设计速度	交通量	洞外亮度
权重系数	0.200	0.155	0.537	0.014	0.094

【条文说明】

通过计算各评价指标对隧道照明能耗的影响程度，如设计速度由 80km/h 提升至 120km/h，隧道照明能耗增幅约 138%；然后分析其敏感指数，最后汇总各评价指标敏感指数并经归一化处理得出对应权重系数。

5.3.2 照明机电应由照明灯具光效、照明控制模式、供配电系统等 3 个二级评价指标构成。权重系数应按表 5.3.2 取值。

表 5.3.2 照明机电所含二级评价指标权重系数表

二级评价指标	照明灯具光效	照明控制模式	供配电系统
权重系数	0.35	0.45	0.20

5.3.3 运营管理应由管理制度、灯具光衰、侧壁清洁度 4 个二级评价指标构成。权重系数应按表 5.3.3 取值。

表 5.3.3 运营管理所含二级评价指标权重系数表

二级评价指标	管理制度	灯具光衰	侧壁清洁度	设备运行状态
权重系数	0.35	0.30	0.15	0.20

【条文说明】

对于运营管理，完善的管理制度是保障隧道照明系统运转正常，实现低碳运营的前提，故权重系数最高。灯具光衰则是维持照明设计能效水平最直接的日常维护，故权重系数次之。设备运行状态是系统可靠性的基础，若存在故障会导致能效策略失效甚至额外能耗。侧壁清洁度对洞内光环境起辅助作用，故权重系数最小。

5.3.4 碳排放应由隧址电力碳排放因子、清洁能源利用 2 个二级评价指标构成。权重系数应按表 5.3.4 取值。

表 5.3.4 碳排放所含二级评价指标权重系数表

二级评价指标	隧址电力碳排放因子	清洁能源供电比例
权重系数	0.1	0.9

【条文说明】

根据资料显示，全国电力平均二氧化碳排放因子 0.5366 kgCO₂/kWh，光伏、水力、风力发电二氧化碳排放因子分别为 0.0545 kgCO₂/kWh、0.0143 kgCO₂/kWh、0.0336 kgCO₂/kWh。通过计算几者之间碳排放因子占比设置上述权重系数。

征求意见稿

6 能效等级评定

6.1 一般规定

6.1.1 隧道照明低碳运营能效等级应基于评价指标体系并结合指标评分计算得出。

6.1.2 能效等级评定应出具评定报告，宜针对得分较低部分提供原因分析及针对性改善建议意见。

6.2 指标评分

6.2.1 二级评价指标评分宜采用 10 分制，分数越高代表该指标在隧道照明能效方面的表现越优。

6.2.2 一级评价指标隧道特性所含二级评价指标评分应按表 6.2.2 取值。

表 6.2.2 隧道特性所含二级评价指标评分表

评价指标	1-3 分	4-6 分	7-10 分
隧道长度	$L > 3000\text{m}$	$1000\text{m} < L \leq 3000\text{m}$	$L \leq 1000\text{m}$
路面宽度	4 车道	3 车道	2 车道
设计速度	$V \geq 100\text{km/h}$	$80\text{km/h} \leq V < 100\text{km/h}$	$V < 80\text{km/h}$
设计交通量	$N \geq 1000\text{veh}/(\text{h} \cdot \text{ln})$	$800\text{veh}/(\text{h} \cdot \text{ln}) \leq N < 1000\text{veh}/(\text{h} \cdot \text{ln})$	$N < 800\text{veh}/(\text{h} \cdot \text{ln})$
洞外亮度	$L_{20} > 4000\text{cd}/\text{m}^2$	$2500\text{cd}/\text{m}^2 < L_{20} \leq 4000\text{cd}/\text{m}^2$	$L_{20} \leq 2500\text{cd}/\text{m}^2$

6.2.3 一级评价指标照明机电所含二级评价指标评分应按表 6.2.3 取值。

表 6.2.3 照明机电所含二级评价指标评分表

评价指标	1-3 分	4-6 分	7-10 分
照明灯具光效	3 级	2 级	1 级
照明控制策略	手动控制	自动控制	智能控制
照明供电方案	基础保障级	经济优化级	系统革新级

【条文说明】

照明灯具光效等级（1 级、2 级、3 级）基于《道路和隧道照明用 LED 灯具能效限定值

及能效等级》（GB37478）查表确定。表中所述手动控制、自动控制、智能控制定义引自《公路隧道照明设计细则》（JTG/TD70/2-01）第 11.0.3 条文说明。照明供电方案中基础保障级表示采用传统交流供电、普通能效变压器等满足供电基本要求，系统综合损耗高；经济优化级表示在基础保障级上通过采用高效节能变压器、自动无功补偿、谐波治理等一定程度降低用电损耗；系统革新级表示采用直流供电、分布式供电、中压深入负荷中心等技术整体降低供电系统能耗。

6.2.4 一级评价指标运营管理所含二级评价指标评分应按表 6.2.4 取值。

表 6.2.4 运营管理所含二级评价指标评分表

评价指标	1-3 分	4-6 分	7-10 分
管理制度	缺失	基本建立	完善
灯具光衰	严重	明显	轻微
侧壁清洁度	严重	一般	洁净
设备运行状态	故障频发	基本正常	稳定

6.2.5 一级评价指标碳排放所含二级评价指标评分应按表 6.2.5 取值。

表 6.2.5 碳排放所含二级评价指标评分表

评价指标	1-3 分	4-6 分	7-10 分
隧址电力碳排放因子	>0.6kgCO ₂ /kWh	0.3(不含)~0.6(含) kgCO ₂ /kWh	≤0.3 kgCO ₂ /kWh
清洁能源供电比例	≤30%	30%(不含)~70%(含)	>70%

【条文说明】

隧址电力碳排放因子评分等级范围基于生态环境部、国家统计局 2024 年 12 月《关于发布 2022 年电力二氧化碳排放因子的公告》划分。

6.3 评价计算

6.3.1 隧道照明低碳运营能效评分应按式 6.3.1-1 计算：

$$TLEEI = 10 \times \sum_{i=1}^4 \left[W_{Bi} \times \left(\sum_{j=1}^{n_i} (w_{cij} \times s_{cij}) \right) \right] \quad (6.3.1-1)$$

式中：

$TLEEI$ ：隧道照明低碳运营能效评分；

i ：一级评价指标序号；

W_{Bi} ：第 i 个一级评价指标权重系数；

w_{Cij} ：第 i 个一级评价指标所含第 j 个二级评价指标的权重系数；

s_{Cij} ：第 i 个一级评价指标所含第 j 个二级评价指标的评分；

n_i ：第 i 个一级评价指标包含的二级评价指标数量；

j ：二级评价指标序号。

6.4 能效等级

6.4.1 隧道照明低碳运营能效等级应划分为三个等级，其中 1 级最高。各等级隧道照明低碳运营能效划分应符合表 6.4.1 规定。

表 6.4.1 隧道照明低碳运营能效等级

能效等级	1 级	2 级	3 级
总得分	$85 \leq TLEEI \leq 100$	$70 \leq TLEEI < 85$	$60 \leq TLEEI < 70$

注： $TLEEI$ 表示隧道照明低碳运营能效评分，满分 100 分。

【条文说明】

参照《照明系统能效评价》（GB/T41014）和《公路机电设施用电设备能效等级及评定方法 第 3 部分：公路隧道照明系统》（JT/T 1431.3）将隧道照明低碳运营能效等级分为三个等级。能效等级 1 级为先进水平，技术领先，全系统深度优化，代表全生命周期成本与能效最佳平衡的工程典范；能效等级 2 级为节能水平，规范达标，重点环节优化，反映整体达到现行节能设计规范的优良水平；能效等级 3 级为基础水平，满足安全，表明有较大的节能改造潜力和空间。

6.4.2 隧道照明低碳运营能效评价总得分低于 60 分的，为不合格，应及时采取措施优化改善。

7.照明低碳运营提升措施

7.1 一般规定

7.1.1 高速公路隧道运营单位可根据能效评价结果及反馈，针对性研究实施照明低碳运营改进措施。

7.1.2 照明低碳运营改进措施可包括节能技术措施和运营管理优化措施。

7.1.3 采取照明低碳运营改进措施后，宜重新开展能效评价。

7.2 节能技术措施

7.2.1 节能技术措施可包括能够降低能耗强度指标、碳排放指标的措施。

7.2.2 降低隧道照明能耗可采用太阳光直接照明技术、高光效灯具、侧壁亮化材料、智能照明控制、直流供电等技术。

7.2.3 可利用风光水等清洁能源参与隧道照明系统供能，减少隧道照明碳排放。

7.3 运营管理措施

7.3.1 运营管理优化措施可包括健全组织管理制度、提升运维水平、加强监测与数据分析的措施。

7.3.2 应结合隧址年度环境特征、交通流量，优化照明控制策略，制定灯具、侧壁清洁周期，形成运营管理实施细则。

7.3.3 应结合隧道照明设施设备建立并执行定期巡检制度，及时维修或更换故障、老化照明设施设备。

7.3.4 应建立基于监测数据的能效持续改进机制，定期分析运行能耗、照明效果等数据，识别能效薄弱环节与管理短板，实施针对性的技术改造或管理优化措施。

附录 A

表 A 隧道照明低碳运营能效等级评分体系表

隧道名称: _____

评价日期: _____

评价单位: _____

评价人员: _____

序号	一级评价指标	二级评价指标	权重系数	评分 (1~10分)	评分结果
1	隧道特性	隧道长度	0.20 × 0.200		
2		路面宽度	0.20 × 0.155		
3		设计速度	0.20 × 0.537		
4		交通量	0.20 × 0.014		
5		洞外亮度	0.20 × 0.094		
6	照明机电	照明灯具光效	0.40 × 0.350		
7		照明控制模式	0.40 × 0.450		
8		供配电系统	0.40 × 0.200		
9	运营管理	管理制度	0.30 × 0.350		
10		灯具光衰	0.30 × 0.300		
11		侧壁清洁度	0.30 × 0.150		
12		设备运行状态	0.30 × 0.200		
13	碳排放	隧址电力碳排放因子	0.10 × 0.100		
14		清洁能源供电比例	0.10 × 0.900		
总评分					
能效等级					

本标准用词用语说明

1 本标准执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本细则的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”；

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。