产品质量与检测技术

文章编号：1002-6150（2026）09-043-04

# 反射比的测量方法及其在道路照明中的应用研究

徐 威[1]，秦大为[2]

（1. 无锡照明股份有限公司，江苏 无锡 241000；
2. 盐城师范学院电光源检测技术研究所，江苏 盐城 224002）

**摘要：**反射比是衡量材料光学性能的重要指标之一，在道路照明领域中直接影响路灯照在路面上的视觉效果和整体能耗。本文参考了最新的GB/T 5699—2025《采光测量方法》和道路照明相关标准，阐述了反射比的基本理论和测法，分析了它在路灯照明领域所起的作用。通过研究发现，只要把材料的反射比控制好，亮度均匀度能提高30%以上，从而使驾驶人员和行人对路面的视觉效果更好，有效避免了夜间交通事故的发生。

**关键词：**道路照明；反射比；测量方法；影响因素

**中图分类号：**U491.5+3 **文献标志码：**A **DOI:** 10.3969/j.issn.1002-6150.2026.09.008

# Research on the Measurement Method of Reflectance and Its Application in Road Lighting

*XU Wei*[1], *QIN Dawei*[2]

(1. Wuxi Lighting Co., Ltd., Wuxi 241000, China;
2. Institute of Electric Light Source Testing Technology, Yancheng Teachers University, Yancheng 224002, China)

**Abstract:** Reflectance is a key metric for evaluating the optical properties of materials, and in the field of road lighting, it directly influences the visual effects and overall energy consumption of street lamps on the road surface. Drawing upon the latest GB/T 5699—2025 Method of Daylighting Measurements and relevant road lighting standards, this paper explains the fundamental theories and measurement techniques of reflectance, while analyzing its specific role in street lighting. Research indicates that by effectively controlling the reflectance of materials, the brightness uniformity can be improved by over 30%. This enhancement provides drivers and pedestrians with superior visual clarity, effectively helping to prevent nighttime traffic accidents.

**Keywords:** road lighting; reflectance; measurement method; influencing factors

## 0 引言

在道路照明中的路面反射比是指路面材料在特定光照下，反射光通量占入射光通量的比例，在道路照明测量领域，路面的反射比是一个重要参数，它影响到路面亮度和均匀度，直接影响驾驶员和行人的视觉效果，这对预防交通事故来说非常重要。本文旨在提供一种基于常用亮度计 / 照度计的、抗干扰能力强且低成本的现场测量方案，为工程验收中快速评价路面反射性能提供方便可靠的测量方法，供相关工程设计与现场检测技术人员提供参考。

## 1 反射比的基本理论

### 1.1 物理定义

根据GB/T 5699—2025《采光测量方法》，反射比（$\rho$）指在入射光线的光谱组成、偏振状态和几何分布指定条件下，反射的光通量与入射光通量之比。

**作者简介：**徐威，高级工程师。长期从事城市照明技术与管理工作。
**通讯作者：**秦大为，教授。主要从事城市照明教学与科研工作。

中国知网 https://www.cnki.net

该参数无量纲，取值范围为 0 ~ 1，数值越大表明材料反射光线的能力越强。

### 1.2 计算公式

反射比的计算基于光通量的比值关系，核心公式如式（1）：

$$\rho=\frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (1)$$

式中，$\rho$ 为被测表面的反射比；$\Phi_r$ 为反射光通量，被物体表面反射出来的总光通量，单位：lm；$\Phi_i$ 为入射光通量，照射到物体表面的总光通量，单位：lm。

### 1.3 亮度转换模型

在道路照明计算中，路面亮度 $L$ 不仅取决于反射比 $\rho$，更取决于亮度系数 $Q_0$。根据 CIE 140:2000，其基本关系式为式（2）：

$$L=Q_0\cdot E \quad (2)$$

其中 $Q_0$ 受入射角与观测角影响。在工程实践的简化计算中，对于漫反射特征明显的材料，可近似认为 $Q_0\approx k_0\cdot\rho$[1]。

## 2 反射比的测量方法

### 2.1 亮度计与标准白板测量法

该方法适用于路面、墙面、顶棚等饰面材料的反射比测量，通过对比标准白板与被测表面的亮度计算反射比，如式（3）。

$$\rho=\rho_\omega\cdot\frac{L}{L_\omega} \quad (3)$$

式中，$\rho$ 为被测表面的反射比，$\rho_\omega$ 为标准白板的反射比（一般 0.90 ~ 0.99），$L$ 为被测表面的亮度（单位：cd/m²），$L_\omega$ 为标准白板的亮度（单位：cd/m²）。

具体操作步骤如下：

1）选择无直射光的漫反射代表性表面，清除表面灰尘、污渍等干扰因素；

2）将标准白板紧贴被测区域，使用符合 JJG 211 一级要求的亮度计（如图 1 所示），测量白板亮度 $L_\omega$；

3）移走标准白板，在同一位置、同一测量角度下测量被测表面亮度 $L$；

4）将测得的 $L_\omega$ 和 $L$ 代入式（3）计算反射比，每个被测表面均匀选取 3 ~ 5 个测点，取平均值作为最终结果[2]。




**图 1 XYL-Ⅲ型亮度计外形图**
**Fig.1 Outline drawing of XYL Ⅲ luminance meter**

### 2.2 照度计测量法

该方法适用于大面积表面（如道路路面、大型建筑地面）的反射比测量，通过测量入射照度与反射照度计算反射比，如式（4）。

$$\rho=\frac{E_r}{E_i} \quad (4)$$

式中，$\rho$ 为被测表面的反射比，$E_r$ 为反射照度（单位：lx），$E_i$ 为入射照度（单位：lx）。

具体流程为：

1）如图 2 所示，采用符合 JJG 245 一级要求的照度计，将照度传感器紧贴被测表面（如路面），测量入射照度 $E_i$；

2）保持测量位置不变，将照度传感器感光面转向被测表面，逐渐平移离开至照度稳定，读取反射照度 $E_r$；

3）将测得的 $E_i$ 和 $E_r$ 代入式（4），测点间距根据表面面积确定，面积 ≤20 m² 时间距取 0.5~1 m，面积 >50 m² 时间距取 2~4 m，被测表面均匀选取 3~5 个测点，取平均值作为最终结果[3]。




**图 2 TES 数位式照度计外形图**
**Fig.2 Outline drawing of TES digital illuminance meter**

### 2.3 测量不确定度评定

参照 JJF 1059.1—2012，本研究对测量过程中的亮度计法和照度计法的结合进行了评估。主要分量包括：

1）A 类分量：重复性测量引入的不确定度。对同一

中国知网 https://www.cnki.net

R2 沥青样点进行 5 次重复测量，标准偏差 $S$≈0.008。

2）B 类分量：①标准白板标称值不确定度：±0.005。② XYL- Ⅲ型亮度计一级精度误差 (≤±4%)。③照度计余弦响应偏差。

本方法在干燥路面条件下的扩展不确定度 $U$≈0.02，符合 GB/T 5699—2025 的标准要求。

### 2.4　道路照明场景测量要点

结合 GB/T 15240—1994《室外照明测量方法》，测量路面反射系数时，要注意以下几点：

1）阴雨天气环境不进行测量；

2）避免汽车车灯等干扰光源的影响；

3）避开行道树树冠对光源的影响；

4）光源点亮后十分钟以上（即光源稳定工作后）进行测量。测量现场工作图片如图 3 所示。

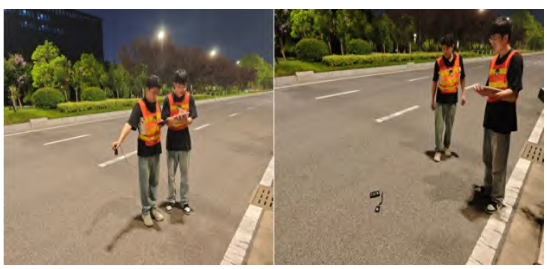


**图 3　道路照明与路面反射比测量作业现场图片**

**Fig.3　Photograph of road lighting and pavement reflectance measurement on site**

## 3　路面反射特性对道路照明质量的影响分析

路面反射特性是连接道路照明设计与实际视觉效果的重要指标。本章将从路面材料物性出发，定量分析反射比及亮度系数如何影响路面的亮度水平、均匀度以及在特殊环境下的照明质量。

### 3.1　路面材料与反射比的关联性分析

道路表面的反射特性主要取决于其物理组成（路面材料）及表面纹理。根据 CIE 标准及 CJJ 45—2015《城市道路照明设计标准》，路面通常分为 R1 至 R4 四类。经过反复测量，得出表 1 中的结论。

### 3.2　反射比对路面亮度水平的定量影响

根据道路照明理论与 CIE 标准相关规定，路面亮度系数 $Q_0$ 与路面反射比 $\rho$ 呈线性关系，在相同光源照度与观测条件下，路面反射比越高，路面亮度水平越高。

通过对比实验发现，在相同的灯具配光和安装条件下，将路面由 R3 类更换为 R1 类，其路面平均亮度 $L_{av}$ 可提升 30% 至 50%。这意味着，为了达到相同的亮度标准，高反射比路面可以允许更低的照明功率密度，这为节能降耗提供了理论支持。

**表 1　不同类别路面反射比参考表**

**Table 1　Reference table of pavement reflectance for different categories**

| 类别 | 典型路面材料 | 反射比 $\rho$ | 物理含义 |
|---|---|---|---|
| R1 | 水泥混凝土 | 0.20~0.35 | 漫反射成分较高，眩光风险低 |
| R2 | 含粗骨料的深色沥青 | 0.05~0.21 | 漫反射为主，镜面反射较弱 |
| R3 | 普通沥青 | 0.05~0.21 | 漫反射与镜面反射均衡 |
| R4 | 新铺沥青 | 0.05~0.25 | 镜面反射占比高 |

### 3.3　反射比对亮度均匀度的影响

对于漫反射路面，高漫反射的路面能把光线散到各个角落，填补了灯光照不到的死角。使路面亮度分布更平缓，提升了均匀度，对驾驶员的视觉疲劳也有缓解。

对于镜面反射较强的路面，由于镜面反射成分偏高，比如磨光的沥青路，它会让光线形成明显的“亮带”。观察者看过去，亮的地方太亮，灯具之间又成了暗区，均匀度指标直接被拉低。

### 3.4　环境湿度对反射特性的干扰影响

路面反射特性具有动态变化的特点，其中湿度是最大的变量。

尤其是当路面存在积水时，原本的漫反射被水面的镜面反射所取代。此时，光源在水面形成的镜像亮度极高，容易产生强烈的失能眩光。湿路面环境下，路面背景亮度分布极端不均，导致障碍物与背景之间的亮度对比度减小，严重威胁行车安全 [4]。

2025 年 5 月，课题组于盐城开放大道（R2 类路面）进行实测，环境温度 22 ℃，湿度 45%。使用 TES 数位式照度计测得干燥路面平均 $\rho$=0.12；人工洒水模拟潮湿状态后，测得 $\rho$ 升至 0.213。两种测量方法在同一测点的偏差均在 ±5% 以内，证明了两种方法在现场测量中的稳定性。具体数据如表 2 所示 [4]。

**表 2　R2 类沥青路面在干燥与潮湿状态下的反射比测得值对比**

**Table 2　Comparison of measured reflectance values for R2 asphalt pavement in dry and wet conditions**

| 测量状态 | 测点编号 | 亮度计法测量结果 | 照度计法测量结果 | 平均值 |
|---|---|---|---|---|
| 干燥状态 | 1 | 0.122 | 0.118 | 0.120 |
| | 2 | 0.119 | 0.123 | |
| | 3 | 0.125 | 0.120 | |
| 潮湿状态 | 1 | 0.205 | 0.218 | 0.213 |
| | 2 | 0.212 | 0.208 | |
| | 3 | 0.220 | 0.215 | |

中国知网　https://www.cnki.net

## 4 反射比在道路照明工程中的应用及影响因素

道路照明的核心目标是为驾驶员和行人提供良好的视觉条件，道路表面反射比的数值变化直接关联交通安全。

路面反射比的数值变化是由路面自身属性与外部环境条件共同决定，已有研究表明，存在五类核心影响因素，对反射比的波动起主导作用，具体如下：

1）路面湿度（核心驱动因素）：干燥路面以漫反射为主，反射比稳定；潮湿或积水时形成水膜，反射比变为干燥时的 1.5 ~ 2 倍；结冰、积雪时反射比可大幅升至 70% ~ 90%。

2）路面自身属性（本底决定因素）：水泥混凝土反射比高于普通沥青路面；磨损程度上，长期碾压的路面更光滑，反射比更高，潮湿时差异更明显。

3）表面污染物覆盖（外部干扰因素）：灰尘、泥沙会降低反射比；落叶、杂物会直接改变局部反射特性。

4）光照条件的影响：入射光角度越垂直，反射比越高，清晨、傍晚测量值通常低于中午；路面对不同波长光的反射、吸收也不同，会影响测量结果。

5）值得提及的是，当路面局部积水时所产生的路面镜向反射比过高而容易产生眩光，影响驾驶员视觉。

## 5 结论

反射比作为建筑材料的重要光学参数，在道路照明领域发挥着重要的作用。本文通过系统研究反射比的基本理论、测量方法及应用规律，得出以下结论：

1）路面的反射比测量方法需根据应用场景选择，现场测量以亮度计法和照度计法为主，测量精度受仪器性能、环境条件等因素影响；

2）道路照明中，路面反射比应按道路级别控制在 0.05 ~ 0.35，平衡路面亮度、均匀度与眩光控制，提升交通安全水平；

3）材料特性、环境条件是影响反射比的关键因素，通过优化材料选型、加强施工维护、提升测量精度，可实现反射比的有效控制。

未来研究可聚焦新型高反射、低衰减路面材料的研发，结合智能照明系统实现反射比与照明参数的动态匹配，进一步提升光环境质量与能源利用效率，从而提高车辆和行人的出行安全。

## 参 考 文 献


[1] 秦大为 . 道路照明测量技术 [M]. 南京：南京大学出版社 ,2021 :160–165.

[2] 任军军 , 曹刚 , 秦大为 . 道路照明的亮度测量方法 [J]. 灯与照明 ,2008, 32(4): 8–11,15.

[3] 秦大为 . 道路照明的照度测量方法 [J]. 电工技术 ,2005(7): 1–3.

[4] CJJ 45–2015 城市道路照明设计标准 [S].


（上接第 35 页）


[3] 张辉 . 影视照明技术与艺术虚拟仿真实验教学研究 [J]. 灯与照明 ,2023,47(4):44–48.

[4] 刘阿男 . “影视照明”课程实践教学探究——以武汉传媒学院影视摄影与制作专业为例 [J]. 中国传媒教育观察 ,2023:86–89.

[5] HALL S.Representation: Cultural Representations and Signifying Practices[M].London:SAGE Publications,1997.

[6] KRESS G,VAN LEEUWEN T.Reading Images: The Grammar of Visual Design[M].3rd ed.London:Routledge,2021.

[7] Elliot A J,Maier M A.Color–in–Context Theory[J].Advances in Experimental Social Psychology,2012,45:61–125.

[8] EPIC GAMES.In–Camera VFX Overview in Unreal Engine[EB/OL].[2026–08–01] .https://dev.epicgames.com/documentation/unreal–engine/in–camera–vfx–overview–in–unreal–engine.

[9] SOCIETY OF MOTION PICTURE AND TELEVISION ENGINEERS.Color Management for On–Set Virtual Production[EB/OL].2023[2026–08–01] .http://www.smptedetroit.org/smpte–ris–update–color–management–for–on–set–virtual–productionc6eb.html

[10] Abdellatif R,Hala E W.Assessing creative outcomes in studio–based learning: a comparative assessment of analytical rubrics[J].International Journal of Design Creativity and Innovation,2025,13(1):41–66.

[11] HARRIS D,COLEMAN K,COOK P J.Radical rubrics: Implementing the critical and creative thinking general capability through an ecological approach[J].The Australian Educational Researcher,2023,50(3):729–745.

[12] Ezennia I S,Agbonome P C.Advances in design studio critique techniques: a narrative review on innovative critique models and lessons for improving architecture education[J]. Discover Education,2025,4(1):369.


中国知网 https://www.cnki.net