

Discussion on the choice of street light grounding mode in urban roads

Desheng Li

Shenzhen Mingzhihui Smart Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Urban road lighting systems constitute a vital component of municipal infrastructure, serving dual roles as both “navigation markers” for nighttime traffic guidance and critical facilities ensuring pedestrian safety while maintaining urban operations. Their safe and stable operation directly impacts traffic order, pedestrian safety, and the efficient functioning of city services. As a “safety barrier,” grounding systems fulfill multiple missions: rapidly dissipating fault currents to prevent electric shocks and protect personnel; channeling lightning-induced overvoltages into the ground to prevent damage to LED fixtures; suppressing stray current electromagnetic interference to ensure coordinated operation with surrounding monitoring and communication systems. The scientific selection of grounding methods is crucial in determining the effectiveness of this “barrier.” Its rationality not only directly affects the implementation of safety protection measures but also influences the system’s long-term reliability and maintenance costs.

Keywords

urban road lighting; landscape cultural tourism lighting; building flood lighting

城市道路路灯照明接地方式的选择探讨

李德胜

深圳市明之辉智慧科技有限公司，中国·广东 深圳 518000

摘 要

城市道路路灯照明系统是城市基础设施的重要组成部分，既是夜间交通疏导的“导航标”，也是保障行人安全、维系城市运转的关键设施，其安全稳定运行直接关系交通秩序、行人安全及城市功能高效发挥。接地系统作为“安全屏障”，肩负多重使命：快速导泄故障电流防触电，守护人员安全；将雷击过电压引入大地，避免 LED 灯具等设备损毁；抑制杂散电流电磁干扰，保障与周边监控、通信设施协同运行。而接地方式的科学选择，是决定这道“屏障”效能的核心，其合理性直接关乎安全防护落地效果，更影响系统长期可靠性与运维成本。

关键词

城市道路照明；景观文旅灯光；楼宇泛光照明

1 引言

本文将从接地方式的分类、选择影响因素、具体选择标准、典型场景应用及优化策略等方面，系统阐述城市道路照明系统接地方式的选择逻辑，为工程实践提供全面参考。

2 城市道路照明系统接地方式的核心分类与特性

城市道路照明接地方式基于电气安全理论和电网制式划分，主流为 TT 系统、TN 系统（含 TN-S、TN-C-S 等）、联合接地三类，其技术特性决定适用场景。

【作者简介】李德胜（1976-），男，中国广东深圳人，本科，工程师，从事城市道路照明、景观文旅灯光、楼宇泛光照明、喷泉等专业的设计施工运营研究。

2.1 TT 系统接地

TT 系统指电源中性点直接接地，照明设备外露可导电部分（灯杆、灯具外壳等）通过独立接地极与大地连接，且该接地极与电源中性点接地极无电气连接。核心特性：

- 安全性：设备与电源接地独立，单相接地故障电流较小，需配套剩余电流动作保护器（RCD），确保故障时 0.3 秒内切断电源防触电。

- 适应性：对电网依赖性低，适用于电网中性点接地不稳定或土壤电阻率较高区域，广泛应用于农村道路、城郊结合部等电网复杂场景。

- 局限性：需独立设置接地装置，增加施工成本；潮湿环境中接地电阻偏高可能导致 RCD 误动作，影响系统稳定性。

2.2 TN 系统接地

TN 系统核心是电源中性点直接接地，设备外露可导电

部分通过保护线(PE线)与电源中性点接地极连接,形成“保护接零”。按PE线与中性线(N线)关系,分TN-S、TN-C、TN-C-S三种,城市道路照明常用以下两种:

•TN-S系统:PE线与N线全程分离,从电源端到灯具终端均独立。特性:安全性上,故障时短路电流大,断路器可 ≤ 0.4 秒切断电源,防触电效果优于TT系统,且PE线独立避免N线带电影响设备外壳;抗干扰性强,减少中性线电流对设备的电磁干扰,适合LED路灯等敏感电子设备;需匹配电网TN-S制式,适用于新建城区、主干道、商业区等电网完善、人员密集区域。

•TN-C-S系统:前段(电源端)PE线与N线共用(PEN线),后段(设备端)分离。特性:兼顾经济性与安全性,前段共用减少线缆成本,后段分离确保接地可靠,但需在分离点重复接地以防PEN线断裂导致设备外壳带电;适用于旧城区改造、次干道等对成本敏感且电网为TN-C制式的场景。

2.3 联合接地

联合接地将照明设备接地、防雷接地、弱电系统接地(如交通监控设备)等共用一组接地装置,通过统一接地极连接大地。核心特性:

- 集成性:减少重复建设,节省土地和成本,适用于路灯、交通信号灯等多设施共址路段。
- 防雷性:快速泄放雷击电流,降低设备损坏风险,多雷地区优势显著。
- 技术要求:接地电阻需满足各类最低要求(通常 $\leq 4\Omega$,防雷有时 $\leq 10\Omega$,取最低值);需等电位连接防反击电压。

3 接地方式选择的核心影响因素

接地方式选择需综合电网特性、环境条件、安全需求、设备类型及规范要求等,忽略任一因素可能导致系统隐患。

3.1 电网系统制式的匹配性

接地方式必须与当地公共电网制式一致,这是首要前提。我国低压电网主要为TT系统和TN系统(以TN-S为主),两者技术原理差异显著,强行混用会导致保护装置失效或安全事故:

- 电网为TT系统时,照明设备误用TN-S方式(接PE线),因PE线与电源中性点无可靠连接,设备外壳带电时无法形成有效回路,RCD无法动作,存在严重触电风险。
- 电网为TN-S系统时,照明设备采用TT方式(独立接地),单相接地故障电流需经设备接地极和电网中性点接地极形成回路,电流值可能不足触发过电流保护,需额外配置高灵敏度RCD(剩余动作电流 $\leq 30\text{mA}$),增加系统复杂性。

选择前需明确当地电网制式,可咨询供电部门或现场测试确认。

3.2 环境条件的适应性

户外环境直接影响接地装置效能和寿命,需针对性

选择:

气候因素:

- 多雨、潮湿地区(如南方沿海):土壤含水量高,接地电阻较低,但设备外壳易凝结水汽,增加触电风险。优先选TN-S系统,利用其快速切断故障电流特性;若用TT系统,需严格控制RCD动作电流($\leq 30\text{mA}$),定期检测接地电阻。
- 干旱、高土壤电阻率地区(如西北戈壁、山区):土壤电阻率常达 $100\Omega\cdot\text{m}$ 以上,独立接地极难满足 $\leq 4\Omega$ 要求。可采用联合接地,通过扩大接地网、添加降阻剂(膨润土、焦炭)或深井接地极降低电阻;避免选TT系统,其独立接地成本会显著增加。
- 多雷地区(如西南山区):雷击易损坏设备和线路,优先选联合接地,将照明与防雷接地共用,利用防雷接地低阻抗特性快速泄放雷电流;需确保接地电阻 $\leq 10\Omega$ (防雷要求),灯具电源端加装浪涌保护器(SPD)。

地理与土壤特性:

- 沿海或工业区:土壤含盐分、腐蚀性气体(如二氧化硫),加速接地极腐蚀。无论选何种方式,均需用防腐材料(铜包钢、镀锌角钢),缩短检测周期(建议每2年一次);联合接地时,接地极防腐等级需高于单一接地。
- 城区与郊区差异:城区地下管线密集,独立接地极施工受限,易形成杂散电流,优先选TN-S系统(利用现成PE线)或联合接地(与附近建筑物接地网连接);郊区空间开阔,可依电网制式灵活选择,需注意农田、林地土壤电阻率变化。

3.3 安全防护等级的要求

不同路段人员活动密度和风险等级不同,对接地方式安全性能要求各异:

- 人员密集区域(主干道、商业区步行街、学校周边):行人、车辆活动频繁,触电风险后果严重,需选安全等级最高的TN-S系统。其PE线独立接地可确保设备外壳带电时,短路电流迅速触发断路器跳闸,切断电源时间 ≤ 0.4 秒,远低于人体触电安全耐受时间(50mA电流持续1秒以上可能致命)。
- 人员稀疏区域(城郊快速路、工业园区周边):人员接触灯具概率低,可在满足规范前提下选TT系统,但必须配套RCD(动作电流 $\leq 30\text{mA}$,动作时间 ≤ 0.3 秒),定期检查RCD有效性。
- 特殊场所(桥梁、隧道):金属结构密集,易形成杂散电流,需采用TN-S系统并实施等电位连接(将灯具外壳、钢结构、护栏等连接成整体),避免不同金属部件间电位差导致触电或设备腐蚀。

3.4 设备类型与技术特性

新型设备电气特性对接地方式选择影响显著:

- LED路灯:含驱动电源等电子元件,对电磁干扰(EMI)和过电压敏感。TN-S系统PE线与N线分离,可减少中性

线电流电磁耦合,降低对LED驱动的干扰;若用TT系统,需确保接地极与电源接地极距离 $\geq 5\text{m}$,避免杂散电流干扰。

- 智能照明系统:含通信模块(LoRa、NB-IoT),弱电部分($\leq 36\text{V}$)需与强电接地隔离,避免地电位差导致通信故障。建议采用独立接地(弱电单独接地)与联合接地结合方式:强电用TN-S或联合接地,弱电单独设接地极,两者距离 $\geq 20\text{m}$,或通过隔离变压器隔离。

- 传统高压钠灯:对电磁干扰不敏感,但启动时可能产生较大冲击电流,若用TT系统,需确保RCD额定电流大于冲击电流,避免误动作。

3.5 规范与标准的强制性要求

接地方式选择必须遵循国家及地方规范,确保系统合法安全:

国家标准:

- 《低压配电设计规范》(GB 50054):明确TT、TN系统适用条件,如TN-S系统PE线不得接入开关或熔断器,TT系统必须配置RCD。

- 《城市道路照明工程设计标准》(CJJ 45):规定道路照明接地电阻 $\leq 4\Omega$,防雷接地电阻符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057)要求(通常 $\leq 10\Omega$)。

- 《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》(GB 50169):对接地极材质、埋深($\geq 0.6\text{m}$)、连接方式(焊接或压接)等规定详细,如镀锌钢材最小规格:扁钢 $\geq 40\text{mm} \times 4\text{mm}$,角钢 $\geq 50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。

地方规范:不同地区依气候、电网特点制定补充要求,如深圳规定沿海接地极需用铜质材料,防腐年限 ≥ 20 年;新疆允许高海拔路段接地电阻放宽至 10Ω (因土壤电阻率极高)。

工程设计中需将规范要求转化为具体参数(接地电阻限值、材料选型等),确保符合强制性条款。

4 不同场景下接地方式的选择策略

结合城市道路功能分类(主干道、次干道、支路等),制定针对性选择策略:

4.1 城市主干道与快速路

- 场景特点:车流量大、人员集中(两侧有人行道)、电网完善(多为TN-S系统)、多为LED路灯,可能与交通信号灯、监控设备共址。

- 选择策略:优先采用TN-S系统,理由:与电网TN-S制式匹配,可直接利用市政PE线,减少独立接地成本;故障时快速切断电源,满足人员密集区域安全要求。多雷地区可采用“TN-S+联合接地”:灯具接PE线,灯杆与道路两侧防雷接地网连接,接地电阻 $\leq 4\Omega$ (取最小值)。

- 注意事项:PE线截面与相线匹配(如相线 10mm^2 铜缆,PE线不小于 6mm^2);桥梁、隧道等金属结构路段,需将灯具外壳与结构钢筋等电位连接。

4.2 次干道与支路

- 场景特点:车流量中等,人员较少,部分路段可能为TT系统电网(如旧城区),设备混用LED与传统灯具。

- 选择策略:电网为TN-S系统时,采用TN-S系统,简化施工、降低维护成本;电网为TT系统时,采用TT系统+RCD(动作电流 30mA ,动作时间 0.1 秒),接地极用镀锌角钢(2根以上,间距 $\geq 5\text{m}$),确保接地电阻 $\leq 4\Omega$,高土壤电阻率区域可加降阻剂;混合场景(部分TN-S、部分TT)需在交界处设隔离装置(如隔离变压器),避免制式冲突故障。

4.3 城郊与农村道路

- 场景特点:电网可能为TT系统,土壤电阻率较高(农田、山地),人员稀疏,防雷需求高(开阔区域易受雷击)。

- 选择策略:优先采用联合接地,将路灯、防雷接地与附近建筑物接地网连接,降低电阻;无可利用接地网时,采用“独立接地极+降阻措施”(如 6m 长镀锌钢管接地极,周围填降阻剂)。必须配套RCD(无论TT或TN系统),因维护周期长,需通过RCD主动保护。设备避免用电磁干扰敏感的智能灯具,或额外加浪涌保护器。

4.4 特殊区域道路

- 沿海与工业区道路:高腐蚀性环境,接地极易锈蚀。采用TN-S系统(减少接地极数量),接地极选铜包钢(耐腐蚀性优于镀锌钢材),增大截面(铜缆 $\geq 16\text{mm}^2$);每1-2年检测接地电阻,确保 $\leq 4\Omega$ 。

- 多雷山区道路:雷击频率高,易损坏设备和线路。采用联合接地(与防雷接地共用),接地电阻 $\leq 10\Omega$;灯具电源端加装二级浪涌保护器(SPD, $I_{\text{max}} \geq 40\text{kA}$),灯杆顶部装避雷针(保护范围覆盖灯具)。

5 接地方式选择的优化与验证

接地方式确定后,需通过技术优化和验证确保效能,避免理论与现场脱节:

5.1 技术优化措施

- 接地电阻优化:施工前用四极法测土壤电阻率,依结果调整接地极数量和布置(如电阻率 $> 100\Omega \cdot \text{m}$ 时,接地极长度增至 8m);高电阻率区域将降阻剂与接地极混合埋置,可降阻30%-50%,需选环保型降阻剂(避免污染土壤)。

- 防腐与耐用性优化:沿海、工业区用铜包钢接地极(防腐年限 ≥ 30 年),普通区域用热镀锌接地极(锌层厚度 $\geq 85\mu\text{m}$),焊接处涂防腐漆;PE线穿PVC管埋地敷设(埋深 $\geq 0.7\text{m}$),避免机械损伤和腐蚀。

- 安全冗余设计:重要路段(医院周边、交通枢纽)采用双重接地,灯具外壳同时接PE线和独立接地极,形成“双保险”;RCD多级保护,配电箱端RCD动作电流 500mA (防线路总故障),灯具端 30mA (防触电),实现分级保护。

5.2 验证与检测

- 接地电阻测试：施工后用接地电阻测试仪（如 ZC-8 型）测量，确保符合设计值（如 TN-S 系统 $\leq 4\Omega$ ）；多雷地区雷雨季节前后各测一次，观察电阻变化。
- 故障模拟测试：人为制造单相接地故障（如相线与灯杆短路），检测保护装置动作时间（TN-S 系统 ≤ 0.4 秒，TT 系统 + RCD ≤ 0.3 秒）。
- 长期监测：运行系统每 3-5 年全面检测，包括接地极腐蚀、PE 线导通性、RCD 动作性能等，及时更换老化部件。

6 结论

城市道路路灯接地方式选择是系统性工程，需坚持安全优先，综合电网制式、环境条件、设备特性及规范要求，平衡技术可行性与经济合理性。TN-S 系统适用于电网完善、

人员密集的城区主干道；TT 系统适合 TT 制式电网的城郊及农村道路；联合接地在多雷、多设施共址场景优势明显。实际应用中应避免“一刀切”，经现场勘察、土壤测试和规范核查制定针对性方案，通过技术优化与后期检测保障长期可靠运行，结合城市发展与自然环境发挥“安全屏障”作用。

参考文献

[1] 李华, 张伟. 城市道路照明接地系统安全性能对比研究 [J]. 照明工程学报, 2023, 34 (2): 112-118.

[2] 住房和城乡建设部. 城市道路照明工程施工及验收规范 (CJJ 89-2012) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[3] 王磊, 陈刚. 多雷区路灯联合接地系统设计与应用 [J]. 中国市政工程, 2024, 42 (3): 78-82.