

# 装配式中型路灯无基础结构设计与应用分析

王德智 崔小龙 张绪嵘

芜湖城光路灯亮化工程有限公司 安徽 芜湖 241000

**摘要：**针对传统路灯混凝土基础施工周期长、成本高、环境破坏大等问题，本文系统研究装配式中型路灯无基础结构设计与应用。通过创新结构选型、优化力学计算、改进节点构造，提出重力式、锚栓式及组合式等无基础结构形式。设计要点涵盖荷载分析、稳定性验算、模块化施工与智能监测。实际应用表明，该结构在城市道路、新区建设、老旧街区改造及特殊环境区域展现显著优势，为城市照明工程提供绿色高效的解决方案。

**关键词：**装配式中型路灯；无基础结构设计；要点；应用

**引言：**随着城市化进程加速，传统路灯基础施工方式已难以满足现代城市建设需求。装配式中型路灯无基础结构设计作为新技术，通过革新结构形式与施工工艺，减少对传统基础的依赖，成为解决上述问题的关键。本文旨在深入分析该结构的设计理论、技术要点与应用场景，探索其在城市照明工程中的推广价值，推动城市道路照明领域的技术升级与可持续发展。

## 1 装配式中型路灯无基础结构设计概述

随着城市建设的快速发展，传统路灯混凝土基础施工存在工期长、对环境破坏大、成本高等问题，已难以满足现代城市道路照明工程的需求。装配式中型路灯无基础结构设计应运而生，该设计通过创新结构形式与施工工艺，减少对传统混凝土基础的依赖，实现路灯的快速安装与绿色建造。在设计过程中，核心内容涵盖结构选型、力学分析、节点构造与材料选择等多个关键环节。结构选型综合考虑安装环境与地质条件，常见的重力式、锚栓式及组合式结构各有优势：重力式结构通过配重块提供抗倾覆力，适用于地质条件良好区域；锚栓式结构利用地埋锚栓增强稳定性，在软土地基或强风地区表现出色；组合式结构则融合两者优点，适应复杂工况。力学分析需精准计算风荷载、自重荷载与地震作用等，确保结构在各类工况下的安全性。节点构造设计关乎整体稳定性，立柱与基座、配重块之间的连接节点需具备高强度与高可靠性，同时满足快速装配需求。材料选择方面，优先采用高强度钢材与高性能混凝土，并注重防腐处理，以提升结构耐久性。相较于传统设计，装配式中型路灯无基础结构具有显著优势。施工效率大幅提升，现场安装时间可缩短60%以上，有效减少对交通的影响；通过工厂预制构件，减少现场湿作业，降低建筑垃圾产生，符合绿色施工理念<sup>[1]</sup>。

## 2 装配式中型路灯无基础结构设计要点

### 2.1 结构选型与适应性设计

装配式中型路灯无基础结构的选型需基于使用场景和地质条件进行针对性设计。重力式结构通过预制混凝土配重块提供抗倾覆能力，适用于地质条件较好、风荷载较小的区域。设计时需精确计算配重块的质量与重心位置，确保其产生的抗倾覆力矩满足规范要求。例如，在某城市主干道改造项目中，采用模块化配重块设计，单个配重块质量为2吨，通过3个配重块组合，使整体抗倾覆安全系数达到1.8。

锚栓式结构则通过地埋锚栓与土体的锚固作用实现稳定，适用于软土地基或风荷载较大的地区。锚栓的直径、长度及间距需根据土体力学参数进行计算，一般采用M24-M30规格的高强度化学锚栓，埋深不小于1.2米。组合式结构结合了重力式与锚栓式的优点，在复杂地质条件下具有更好的适用性，但其设计需协调两种结构形式的受力分配。

### 2.2 力学分析与计算要点

#### 2.2.1 荷载组合与工况分析

在装配式中型路灯无基础结构设计中，准确分析各类荷载是保障结构安全的前提。风荷载作为最主要的控制因素，其大小受地区气候、路灯高度和安装环境影响显著。例如，沿海地区常受台风侵袭，10米高的路灯承受的风压可达内陆地区的2倍以上，设计时需着重考虑强风引发的倾覆风险。自重荷载计算则需全面考量路灯立柱、灯具、配重块等部件重量，尤其要关注偏心安装导致的受力不均问题，避免结构因重心偏移产生倾斜。地震作用也是关键工况，需根据安装地抗震设防等级，采用底部剪力法或振型分解反应谱法，模拟地震时结构受到的水平冲击力，为结构抗震设计提供依据。

#### 2.2.2 稳定性验算

结构稳定性是无基础路灯设计的核心指标。抗倾覆验算需确保路灯在极端荷载下不会倾倒,通过对比结构自身抵抗倾覆的能力与外部荷载产生的倾覆作用,验证设计安全性。抗滑移验算则聚焦于结构在水平荷载下的稳固性,根据基座与地面接触材料的摩擦特性,评估路灯是否会因风力或地震发生滑动。对于锚栓式结构,还需专门验算锚栓的抗拔能力,防止其在强风或地震作用下从地基中拔出。

### 2.3 节点构造设计

#### 2.3.1 立柱与基座连接节点

在装配式中型路灯无基础结构中,立柱与基座的连接是确保整体稳定性的关键环节。法兰盘连接作为最常用的方式,其核心在于8.8级高强度螺栓的合理布置与紧固。螺栓间距控制在200mm以内,是基于结构力学中剪力分布原理,避免间距过大导致法兰盘局部应力集中,引发连接失效。实际工程中,可通过有限元模拟分析不同螺栓间距下的应力云图,优化螺栓布局。为进一步提升连接可靠性,定位销或榫卯结构的应用尤为重要。定位销通过精确的孔洞配合,在吊装过程中快速校准立柱位置;榫卯结构则借鉴传统建筑智慧,利用凹凸契合实现预定位,二者均可将立柱垂直度误差严格控制在1/1000以内,保障路灯安装的精度与稳定性。插接式连接凭借其快速安装优势,在工期紧张的项目中应用广泛。预制凹槽与凸榫的尺寸精度需控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,通过工厂化预制确保匹配度。接缝处的橡胶止水条采用三元乙丙材质,其压缩永久变形率不超过20%,能有效抵御雨水侵蚀与温度变形,防止因水分渗入导致钢结构锈蚀或混凝土劣化,延长连接节点的使用寿命。

#### 2.3.2 配重块连接构造

重力式无基础结构中,配重块的连接直接影响结构整体协同受力性能。预埋钢板焊接时,焊缝长度不小于80mm、焊脚尺寸不小于6mm的要求,是依据《钢结构焊接规范》(GB50661)对受拉焊缝的强度验算得出。在实际操作中,采用多层多道焊工艺,每层焊缝厚度控制在3-4mm,可有效减少焊接变形与残余应力。螺栓连接则需搭配弹簧垫圈与防松螺母,防止长期振动导致螺栓松动。为增强配重块间的协同工作能力,创新性地采用钢筋连接件与微膨胀混凝土填充组合方案。钢筋连接件通常选用直径12mm的HRB400钢筋,呈梅花形布置,间距不大于500mm,通过植筋技术锚固于配重块内。微膨胀混凝土采用硫铝酸盐水泥配制,膨胀率控制在0.02%-0.05%,既能填充连接缝隙,又能在硬化过程中产生预压应力,消除因收缩导致的连接薄弱环节。

### 2.4 施工工艺适配设计

装配式路灯的快速装配依赖于科学的施工工艺设计。构件模块化设计遵循“少规格、多组合”原则,基座与配重块采用3种标准尺寸,通过组合可适配不同荷载需求。尺寸误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内,是基于起重机吊装精度与连接节点公差配合要求确定,确保现场安装时无需二次加工。立柱分段长度限制在6米以内,综合考虑了运输车辆限高(4米)与吊装设备起升高度(通常8-12米),同时便于通过狭窄施工通道。现场施工流程采用“三机协同”作业模式:叉车负责构件水平运输,汽车吊完成立柱与配重块吊装,电动扭矩扳手精准控制螺栓紧固。某市政道路改造项目中,通过该模式将单盏路灯安装时间从传统工艺的6小时缩短至2小时,施工效率提升66%。引入BIM技术进行施工模拟,提前预判碰撞问题,优化吊装顺序与场地布置,进一步缩短工期。

### 2.5 耐久性与维护设计

无基础结构长期暴露于户外环境,其耐久性设计需兼顾材料防护与智能监测。钢结构防腐采用“热镀锌+氟碳漆”双重防护体系:热镀锌层厚度不小于 $85\mu\text{m}$ ,形成电化学保护屏障;氟碳漆涂层采用三涂两烤工艺,膜厚达到40-60 $\mu\text{m}$ ,其耐候性通过QUV加速老化测试验证,可确保15年以上不出现粉化、剥落。在智能监测方面,关键节点布置光纤光栅应变传感器与倾角传感器。光纤光栅传感器分辨率达 $1\mu\epsilon$ ,可实时监测结构应力变化;倾角传感器精度 $0.01^\circ$ ,能捕捉微小倾斜趋势。监测数据通过NB-IoT网络传输至云平台,利用AI算法分析结构健康状态,当应力超过预警阈值或倾斜角度大于 $0.5^\circ$ 时,系统自动报警并生成维护工单<sup>[2]</sup>。

## 3 装配式中型路灯无基础结构设计的具体应用

### 3.1 在城市道路照明系统的应用

在城市道路照明体系中,装配式中型路灯无基础结构设计其模块化的构件设计使得运输便捷,各部件可拆分后通过普通货车运输,降低运输成本。现场安装时,采用螺栓连接等快速装配方式,无需大型起吊设备长时间作业,减少对道路交通的影响。如在城市主干道的拓宽改造项目中,由于道路施工期间需维持一定交通流量,传统路灯基础施工的长时间占道作业会加剧交通拥堵。而装配式中型路灯无基础结构可在短时间内完成安装,施工周期较传统方式缩短约60%。其结构设计充分考虑了城市环境中风荷载、车辆震动等因素,通过合理的配重与力学计算,确保路灯在复杂工况下的稳定性,为城市道路提供稳定可靠的照明服务<sup>[3]</sup>。

### 3.2 在城市新区与开发区建设的应用

对于城市新区和开发区这类大规模新建区域,时间与成本控制至关重要。装配式中型路灯无基础结构设计契合了快速建设与高效投入使用的需求。工厂预制构件可在项目前期同步生产,不受现场施工进度制约。现场安装简单高效,能与新区道路、管网等基础设施建设同步推进,加快整体建设进程。以某新兴产业园区建设为例,采用装配式中型路灯无基础结构,从路灯采购到安装通电仅耗时一个月,相比传统路灯安装节省了两个月时间,使园区能提前投入运营,吸引企业入驻。无基础结构减少了现场混凝土浇筑等湿作业,降低建筑垃圾产生,符合新区绿色、环保的建设理念,同时节约了因基础施工产生的材料与人工成本,综合成本降低约25%。

### 3.3 在城市老旧街区改造工程的应用

在城市老旧街区改造中,空间狭窄、地下管线复杂是常见难题。装配式中型路灯无基础结构无需大规模开挖地面进行基础施工,可有效避免对地下原有管线的破坏,降低施工风险与修复成本。其轻巧灵活的结构设计,能适应老旧街区狭窄的人行道与不规则的道路布局。比如在某历史文化街区改造项目中,传统路灯基础施工可能对街区地下文物与原有排水管线造成破坏,而装配式中型路灯无基础结构通过在现有地面上进行快速装配,巧妙避开了地下复杂管网,在保护街区历史风貌与基础设施的同时,实现了照明系统的升级改造,提升了街区夜间照明质量与安全性。

### 3.4 在特殊环境区域照明应用

#### 3.4.1 在软土地基区域的应用

在软土地基区域,传统路灯基础易出现沉降、倾斜等问题,影响路灯使用寿命与照明效果。装配式中型路灯无基础结构通过采用锚栓式或重力式结构,结合特殊的地基处理措施,如铺设土工格栅、换填砂石等,增强结构稳定性。例如在沿海滩涂地区的道路照明项目中,采用锚栓式无基础结构,将高强度锚栓深入稳定土层,利用土体锚固力支撑路灯,有效解决了软土地基承载力不足的问题,路灯安装后经过长期监测,未出现明显沉降与倾斜现象,保障了照明系统的正常运行。

#### 3.4.2 在强风地区的应用

强风地区对路灯结构的抗风性能要求极高。装配式中型路灯无基础结构在设计时,通过优化立柱截面形状、增加配重块重量与合理布局,提高路灯的抗风能力。如在台风频发的东南沿海城市,部分路段选用重力式无基础结构的装配式中型路灯,加大配重块尺寸,使路灯整体重心降低,增强抗倾覆能力;同时对立柱进行流线型设计,减少风阻,经风洞试验与实际运行验证,可抵御12级以上强风,确保在极端天气下为城市道路提供持续照明<sup>[4]</sup>。

#### 3.4.3 在地震多发区域的应用

地震多发区域的路灯需具备良好的抗震性能。装配式中型路灯无基础结构通过采用柔性连接节点、设置减震装置等措施,提高结构在地震作用下的变形能力与耗能能力。在某地震设防烈度为8度的城市,路灯采用榫卯式连接节点,在地震发生时,节点可通过微小变形耗散地震能量,避免结构整体破坏;同时在立柱与基座间设置橡胶减震垫,进一步增强路灯的抗震性能,经模拟地震试验与震后实际观测,该路灯结构在地震中表现出良好的稳定性,有效保障了震后道路照明,为抢险救援工作提供了便利。

结束语:配式中型路灯无基础结构设计通过技术创新,实现了城市路灯建设从传统模式向高效、绿色模式的转变。其在设计理论与施工工艺上的突破,有效解决了传统路灯建设的痛点,在各类工程场景中展现出良好的适应性与经济性。面对极端环境与复杂工况,仍需进一步优化结构性能与监测技术。

### 参考文献

- [1]李焯君.智能路灯控制器的研究与设计[D].贵州:贵州大学,2021,13(02):11-12.
- [2]刘雪芹,朱颖,张剑云,等.基于ZigBee自组网Mesh网络的智慧路灯系统设计[J].现代电子技术,2023,46(13):19-24.
- [3]唐亮.高光效LED灯珠及路灯的优化设计与开发[D].浙江:浙江大学,2023,11(02):18-19.
- [4]尹健文.城市道路照明智能控制系统设计与实现[D].浙江:浙江大学,2021,10(03):16-17.