

# 基于纳米涂层的灯具外壳自清洁技术研究

瞿宏伟, 吴胜红, 陈叶烜

(浙江尧亮照明科技有限公司, 浙江 绍兴 312300)

**摘要** 本文聚焦于纳米涂层在灯具外壳自清洁技术方面的研究, 指出纳米涂层可有效降低污垢附着情况, 提升灯具的使用寿命以及光效, 通过对涂层微观结构的调控, 形成亲水性或者疏水性特性, 促使污物可轻易地被水流带走, 并对涂层材料的选择、性能、应用工艺以及自清洁性能测试方法展开研究分析, 结果表明, 经过优化的纳米涂层在不同环境条件下呈现出良好的自清洁效果。

**关键词** 纳米涂层; 灯具外壳; 自清洁技术; 涂层性能

**中图分类号**: TB383; TS956

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.001

## 0 引言

随着环境污染以及气候变化不断加剧, 传统灯具所面临的维护成本以及光效衰减问题变得日益严峻, 为提升灯具的耐用程度并且降低维护成本, 研究人员开始探索自清洁技术在灯具外壳方面的应用<sup>[1]</sup>。纳米涂层凭借其出色的表面特性, 如疏水性或者亲水性, 可有效避免污垢附着, 并且借助雨水或者水流实现自清洁效果。本文探讨纳米涂层在灯具外壳上的应用优势、材料选择、工艺优化以及自清洁测试方法, 以期对灯具外壳提供一种可持续的清洁解决办法。

## 1 纳米涂层自清洁涂技术在灯具外壳上的应用优势

由于环境因素不断变化, 灯具长时间暴露在户外, 容易遭受雨水、灰尘以及污染颗粒的侵蚀, 使光衰加速且维护成本提高, 合理选择涂层材料, 能让其拥有出色的疏水性或者亲水性, 使污染物难以附着或者更容易被水流冲刷干净, 和传统清洁方式不同, 自清洁涂层依靠表面能调控技术, 在不额外消耗能源的情况下维持灯具外壳的清洁状态。自清洁特性不仅能减少人工维护的频率, 还可以降低清洁剂的使用量, 减少化学物质对环境的影响。纳米涂层的广泛运用为灯具的耐久性和功能性提升提供了新的解决方法, 在复杂环境中依旧可保持良好的光学性能。

## 2 纳米涂层的材料选择与性能分析

### 2.1 洁纳米涂层的主要材料

应用于自清洁技术的纳米涂层要拥有特殊的表面特性, 让污染物不容易附着或者便于去除。二氧化钛凭借其优良的光催化性能, 被大量运用在亲水性自清洁涂层中, 经紫外线照射可分解有机污染物并且降低

表面能, 使水在表面形成均匀水膜, 带走污垢, 含氟聚合物因其表面能极低, 经常被用于疏水性涂层, 在形成稳定薄膜后可让水滴呈球形状态滚落, 携带灰尘和颗粒物离开表面。二氧化硅纳米颗粒可构建粗糙的微纳结构, 借助物理效应提高涂层的疏水特性, 还可以提供额外的耐磨性。复合型材料融合了无机纳米颗粒和有机聚合物的优势, 在维持良好自清洁能力的同时具有更高的附着力和耐久性。材料的选择需全面考量环境适应性、耐候性以及制造成本, 保证长期稳定的自清洁效果<sup>[2]</sup>。

### 2.2 亲水性与疏水性涂层的作用机制

亲水性涂层一般是通过降低表面能, 促使水在涂层表面延展成为均匀的水膜, 在遭遇雨水冲刷或者空气湿度相对较高的环境情况下, 有机污染物以及灰尘可随着水流从表面脱离。光催化技术可对这一效果起到强化的作用, 涂层在紫外光的作用之下可分解污染物, 减少附着残留, 疏水性涂层依靠超疏水表面结构, 使水滴在接触表面时保持较大的接触角, 如此形成滚珠效应, 把附着于表面的灰尘以及颗粒带离。微纳结构的构建对于疏水性能而言非常关键, 借助控制纳米颗粒的排列方式, 可形成空气层, 降低水与固体表面的接触面积, 提高疏水效果。两种不同机制的涂层适用于不同的应用环境, 亲水性涂层在频繁暴露于光照的区域会表现得更为出色, 而疏水性涂层在少雨或者高污染环境更具优势<sup>[3]</sup>。

### 2.3 纳米涂层的耐候性与稳定性

长期用于户外环境的纳米涂层需要拥有较高耐候性, 以此应对复杂气候条件给材料性能造成的影响, 紫外线辐射有可能使涂层材料出现降解, 影响表面结

构的完整性。光催化材料在持续照射时容易产生光腐蚀现象,使自清洁功能降低,湿度和温度发生变化可能引发涂层膨胀收缩,造成附着力下降甚至出现裂纹,影响长期使用寿命。在酸雨、工业污染等环境中,材料要有较强的抗腐蚀能力,以防表面性能下降,选择合适的纳米填料和高分子基底,可提升材料的抗老化能力,让涂层在长时间使用后依旧保持稳定的微观结构。优化施工工艺也可提高耐久性,合理的固化和交联方式可以提高材料的内部结合力,使其在极端环境下仍然维持优异的自清洁性能。

### 3 纳米涂层在灯具外壳自清洁技术中的应用工艺

#### 3.1 灯具外壳表面预处理技术

表面预处理直接决定了涂层与基底材料间的结合力,金属或者灯具外壳等物体经常存在油污、氧化层以及表面不均匀等情况,使涂层粘附性降低,对自清洁性能产生影响。化学清洗方式可将油污和氧化物去除,借助酸洗或者碱洗工艺,可提高表面活性。物理打磨或者喷砂处理可以提高表面粗糙度,让涂层在结构上达成机械嵌合。等离子体处理技术在改善表面能时会形成活性基团,提高颗粒与基底的结合效果。合理控制表面清洁度、粗糙度以及活性,可提高涂层的附着力与耐久性,让后续工艺更稳定。

#### 3.2 纳米涂层的制备工艺

溶胶-凝胶法属于一种被广泛运用的技术,该方法是在液态前驱体当中引入纳米颗粒,经过水解以及缩合反应形成均匀的涂层。喷涂工艺可实现大面积涂布的效果,对喷涂压力、速度以及喷嘴角度加以控制,可对涂层厚度以及均匀度进行有效调节<sup>[4]</sup>。旋涂法适用于在平滑表面制备精密涂层,借助离心力把纳米溶液均匀铺展于基底之上,形成致密的薄膜结构,热固化和紫外固化工艺可提升涂层的稳定性,还可以提高其抗磨损以及耐候性,表1为不同制备工艺对涂层性能的影响,其中涉及涂层厚度、附着力以及表面粗糙度等参数。合理选择制备工艺并对参数进行优化,可在保证自清洁效果的同时提升涂层的耐候性以及机械强度。

表1 不同纳米涂层制备工艺对性能的影响

| 制备工艺   | 涂层厚度 (nm) | 附着力 (MPa) | 表面粗糙度 (nm) | 自清洁效果 |
|--------|-----------|-----------|------------|-------|
| 溶胶-凝胶法 | 100 ~ 500 | 8 ~ 12    | 5 ~ 10     | 优良    |
| 喷涂工艺   | 200 ~ 800 | 6 ~ 10    | 15 ~ 20    | 良好    |
| 旋涂工艺   | 50 ~ 300  | 10 ~ 15   | 3 ~ 8      | 优良    |
| 热固化法   | 300 ~ 700 | 9 ~ 14    | 8 ~ 12     | 良好    |

#### 3.3 纳米涂层的施工方法

涂层的施工工艺会对涂层的均匀性以及附着力产生直接影响,喷涂工艺借助高压喷枪把纳米溶液均匀地雾化,让其覆盖于灯具表面,依靠对喷嘴角度以及喷射速度进行调整,可对厚度和粒子分布加以控制。涂涂工艺是把灯具外壳完全浸入纳米溶液中,然后缓慢提升,使得涂层均匀地附着在基材表面。采用喷涂技术可利用电场作用,让带电颗粒在灯具表面形成稳定且致密的涂层,在施工时,要严格控制环境湿度与温度,防止涂层因挥发速度过快而出现气泡或者裂纹。

#### 3.4 纳米涂层的固化与稳定化工艺

固化以及稳定化工艺通过恰当的温度以及时间控制,推动纳米颗粒于基底表面构建紧密结合。热固化工艺借助高温烘烤,让涂层中的溶剂充分挥发,提高纳米颗粒间的化学交联。紫外光固化工艺凭借特定波长的紫外光照射,使光敏剂生成自由基,触发聚合反应,形成高强度涂层。等离子体处理技术可以在低温环境中,激发纳米颗粒表面活性,并且提高其与基底的物理和化学结合。在固化过程中,通过精确控制温度梯度以及固化时间,可防止涂层收缩和开裂,提升耐候性以及自清洁效果。

### 4 纳米涂层自清洁性能测试

#### 4.1 自清洁性能测试方法

自清洁性能的评估覆盖了多种实验手段,不同的测试方法可获取涂层在各异污染环境下的表现。接触角测量可直观地呈现表面润湿性,测定水滴在涂层表面的接触角大小,可判断其是否有出色的疏水性或者亲水性,较小的接触角意味着涂层更易于形成均匀的水膜,而较大的接触角则有利于水滴迅速滚落,减少污染物的残留。水滴滚动角测试可验证表面的抗污能力,当水滴在倾斜角度较小时便能滚落,说明表面具有良好的自清洁特性。污染物附着实验是模拟真实使用环境的方法,常见的测试包括粉尘、油污以及泥水污染,在实验过程中,将污染物均匀地撒布或者喷洒到涂层表面,随后用水冲洗并记录污染物的去除率。

光学显微镜与扫描电子显微镜用于观察污染物在表面的粘附状态以及涂层微观结构的变化,分析自清洁效果是否受到表面形貌的影响。耐候性试验箱用于模拟紫外线照射、高温高湿等环境,测量涂层长时间暴露后性能的变化,评估其稳定性,实验数据可借助图像处理软件对污渍去除率进行定量分析,并且结合多次重复试验提升数据的可靠性。通过对不同测试方法的综合分析,可准确地评估涂层的自清洁能力,为优化工艺提供可靠的依据<sup>[5]</sup>。

#### 4.2 实验变量与环境影响因素

影响纳米涂层自清洁性能的因素包括材料自身性质、涂层制备工艺以及外部环境状况等方面。涂层配方中纳米颗粒的类型、浓度以及分散均匀程度决定了表面微观结构,影响疏水性或者亲水性。表面粗糙度对接触角有着重要作用,微米级与纳米级结构共同发挥作用可形成超疏水或者超亲水界面,让涂层拥有更出色的自清洁性能。外部环境条件对涂层自清洁效果也会产生直接影响,空气湿度的改变会影响水滴在涂层表面的铺展行为,影响污染物的去除能力,温度变化会影响涂层的物理化学特性,比如在低温环境中,水滴可能会结冰,使污染物难以去除。而在高温环境下,部分有机污染物可能更容易被降解,紫外线照射对含有光催化材料的涂层影响较为明显,在适量紫外线作用下,光催化效应可降解表面有机污染物,提升自清洁能力。在实验设计阶段,通过控制单一变量,保持其他条件不变,可以剖析不同因素对自清洁效果的影响,实验数据需要结合统计分析方法来处理,保证不同环境因素对涂层性能影响的可重复性和可靠性,优化配方和施工工艺。

#### 4.3 不同工艺参数对自清洁性能的影响

施工工艺对纳米涂层的自清洁性能有着决定性的作用,如喷涂方式、固化温度以及涂层厚度等因素。在喷涂过程中,压力和喷嘴类型会对涂层表面的均匀性产生影响,不同的喷涂方式会改变纳米颗粒的排列,使表面形成各异的微观结构。涂层厚度是影响自清洁性能的一个关键参数,较薄的涂层可能无法形成完整的微观结构,而过厚的涂层则有可能降低表面的疏水性或者亲水性,影响自清洁效果。固化温度决定了涂层的稳定性以及表面形态,合适的固化温度可提高纳米颗粒的结合力,提高机械强度以及耐候性。实验数据说明,固化温度在 80℃ 时,污渍去除率为 60%,提高到 100℃ 时,去除率达到 85%,而在 120℃ 时,去除率提升至 92%,具体情况如表 2 所示。

表 2 不同固化温度对纳米涂层自清洁性能的影响

| 固化温度 (°C) | 接触角 (°) | 污渍去除率 (%) |
|-----------|---------|-----------|
| 80        | 45      | 60        |
| 100       | 25      | 85        |
| 120       | 15      | 92        |

实验得出的结果显示,相对较高的固化温度对提升自清洁性能会有一定帮助,然而如果温度过高的话,有可能对涂层的性能产生影响。在选择参数时,要把自清洁能力和耐久性综合起来考量,以此获取最为优良的性能。

#### 4.4 试验结果分析

通过对不同实验变量以及工艺参数展开测试分析,可较为全面地了解纳米涂层的自清洁性能。接触角测试所得结果显示,表面微观结构对润湿性存在影响,带有纳米颗粒提高的涂层呈现出更为优异的疏水性或者亲水性。污渍去除实验的数据说明,喷涂压力、固化温度以及表面修饰技术都会对污染物的清除能力造成影响。耐候性实验说明,涂层在长时间的紫外线照射以及高湿度环境中依旧可维持稳定的自清洁特性。污染物附着实验说明,经过优化处理的涂层在油污和污染环境中都呈现出较高的去污效率。优化后的纳米涂层于各种环境条件下都有优异的自清洁性能,为外壳的长期使用提供了保障<sup>[6]</sup>。

#### 5 结束语

纳米涂层的灯具外壳自清洁技术能减少污垢附着、延长灯具使用寿命、提高光效,选择适宜的纳米涂层材料并优化涂层工艺,可有效提升涂层自清洁性能。实验结果表明,纳米涂层在复杂环境下能保持稳定自清洁效果,减少人工维护频率,降低清洁成本,此技术为灯具行业提供了高效且环保的解决办法。

#### 参考文献:

- [1] 杨建卫,王忠明.纳米自清洁涂层在光伏电站的应用研究[J].山西电力,2022(06):29-31.
- [2] 董慧芬,刘嘉祺.助航灯具干冰清洗多目标参数混合优化[J].表面技术,2022,51(06):390-398.
- [3] 薛鹏飞,张艳彬.光伏纳米双成膜涂层自清洁材料研究[J].计量与测试技术,2022,49(04):9-12.
- [4] 王雨桐,吴明明,张静,等.光热杂化粒子基超疏水防霜涂层及多功能应用[J].印染,2025,51(02):49-53.
- [5] 解迎千,胡华友,吴云来,等.纳米涂层光伏组件的清洗效果及清洗周期研究[J].太阳能,2024(09):97-104.
- [6] 李正强.光伏纳米涂层检测方法研究[J].计量与测试技术,2022,49(05):51-54.