纳米多功能防护涂层在电力系统中的创新应用

——防覆冰与防污闪综合解决方案白皮书

发布单位： 深圳市捷安纳米复合材料有限公司

发布日期： 2025 年 3 月

执行摘要

本白皮书旨在阐述深圳市捷安纳米复合材料有限公司开发的 JN 系列纳米涂层如何为电力系统提供一套同时解决**覆冰（Icephobic）** 与**污闪（Flashover）** 难题的创新性解决方案。通过应用具备超疏水、超疏油、高耐磨、耐候性强的纳米功能涂层，可显著提升电网、风电、通信等关键基础设施的运行安全性与可靠性，降低运维成本，具有巨大的经济效益和社会效益。

一、 行业双重痛点分析

电力系统暴露在复杂自然环境中，面临两大严峻挑战：

1. 防覆冰（Anti-icing）

- **电网覆冰**：导线、绝缘子、铁塔覆冰会导致重量骤增、弧垂增大，引发倒塔、断线、跳闸等严重事故。（如 2008 年南方冰灾）
- **风电叶片覆冰**：破坏气动平衡，降低发电效率，引发机械载荷异常，冰块抛掷威胁安全。
- **雨衰效应**：雷达、天线罩表面覆雪覆冰，导致信号衰减，影响监测与通信质量。
- **冰凌危害**：桥梁、建筑悬挂冰凌对公共安全构成威胁。

2. 防污闪（Anti-pollution Flashover）

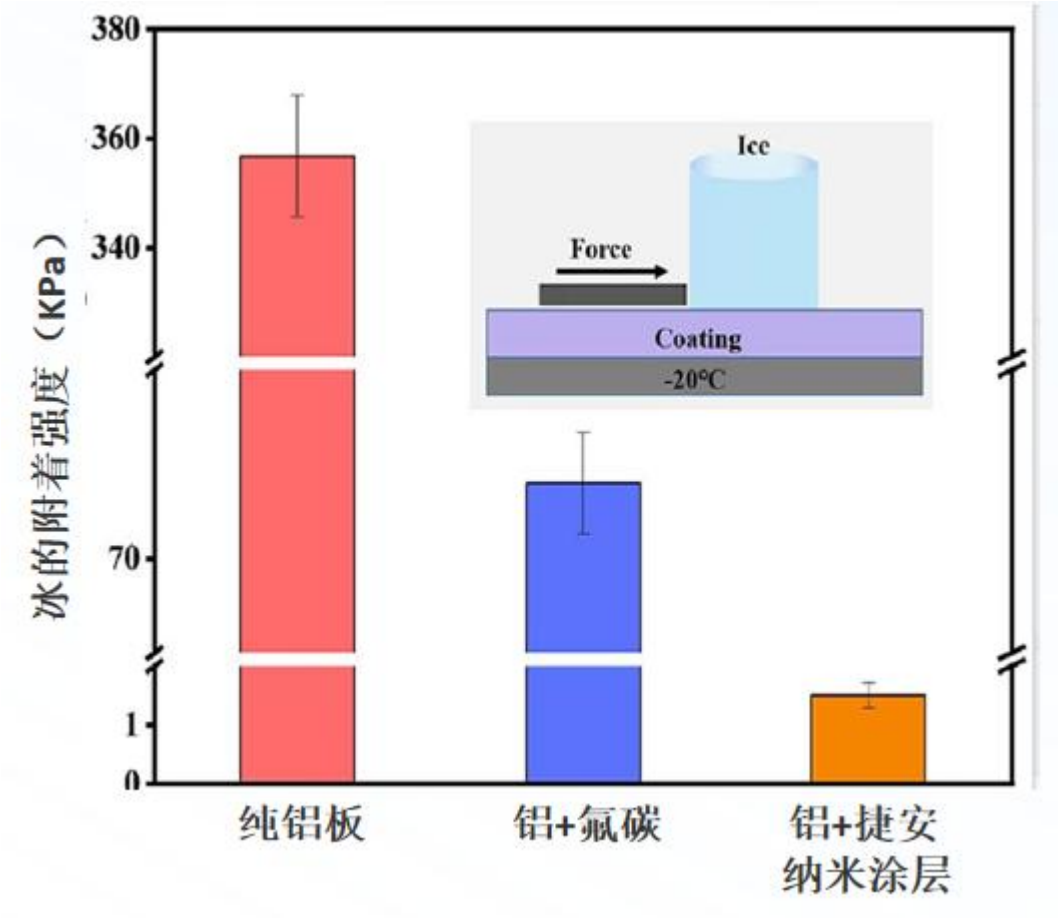
- **机理**：绝缘子表面沉积的污秽物（工业粉尘、盐分、鸟粪等）在潮湿天气（雾、露、毛毛雨）下受潮，形成导电层，导致绝缘强度急剧下降，引发局部电弧并最终发展为沿面闪络，造成停电事故。
- **特点**：污闪事故通常发生在恶劣气象条件下，波及范围广，停电时间长，是电网安全运行的主要威胁之一。
- **传统措施局限**：传统方式如定期清扫（成本高、效率低）、涂覆硅脂/地蜡（有效期短、需重复施工）、更换复合绝缘子（成本高）等，均存在明显短板。

二、 纳米防护涂层技术介绍

我司核心技术是基于**氟改性二氧化硅**的纳米复合材料，通过构建微观纳米结构与低表面能界面，实现多功能一体化防护。

核心技术原理：

1. **疏水性与防覆冰（Superhydrophobicity & Icephobicity）**：
    - 水接触角大于 110°，使水滴难以附着并迅速滚落。
    - 极大降低了冰与基材的接触面积和附着力，冰层易在自然风力或轻微外力下脱落。
2. **憎水性、耐污性与防污闪（Hydrophobicity & Anti-pollution）**：
    - 涂层固有的憎水迁移特性使其表面难以被污秽物浸润。
    - 即使有污物沉积，涂层也能有效阻隔水分与污物的结合，防止形成连续导电水膜，从而大幅提高绝缘子的表面电阻，抑制泄漏电流，从根本上杜绝污闪通道的形成。
3. **涂层特性数据对比**



我们用纯铝板无涂层、铝板涂覆常用的氟碳易除冰材料、铝板加纳米涂层做对比测试。

结论：我们的纳米涂层的**冰层结合强度**是最低的，相对纯铝板降低了约 **90%。**

所以，在超低温结冰场景和低温静止场景能实现易除冰

三、 解决方案与应用场景

1. 电网系统综合防护

- **输电铁塔与金具**：防止结冰负载过载，防止污秽粘结便于清洁。
- **绝缘子（瓷、玻璃、复合）**：
  - **防覆冰**：减少冰闪风险。
  - **防污闪**：提供持久憎水性，有效抑制泄漏电流，是应对污闪的最经济、长效的手段。

- **电缆、汇流排等**：防止冰凌形成，减少电晕损耗。

2. 新能源与通信领域

- **风电叶片、机舱**：防覆冰，保障发电效率与安全。
- **光伏板**：疏水自清洁，提升发电效率。
- **天线罩、雷达**：防水防冰，减轻雨衰效应。

3. 交通与建筑领域

- **桥梁缆索、钢结构**：防冰凌、防腐蚀。
- **地标建筑檐口**：防止冰凌坠落，保障公共安全。

四、 产品优势与价值主张

- **一体化解决方案**：单一涂层同时解决防冰与防污两大难题，简化采购与施工流程。
- **施工便捷**：**单组分、单层**喷涂，室温固化，无需复杂设备。
- **持久耐用**：卓越的耐磨、耐候、耐化学腐蚀性能，提供长达数年的保护周期。
- **经济效益显著**：一次施工，长期受益，大幅减少停电损失、除冰作业和绝缘子清扫频率，综合运维成本（OPEX）极低。
- **安全环保**：提升公共安全与电网可靠性。

五、 市场前景

中国电力系统对可靠性的要求日益提高，防冰与防污是电网安全的两大重点投资方向。

- **防覆冰市场**：仅北方电网铁塔防冰需求预估即在**百亿级别。**
- **防污闪市场**：涵盖沿海、工业区、多雾地区的所有输变电设备，市场容量巨大，且是持续性需求。
- **复合功能趋势**：具备防冰、防污、防腐、自清洁等多功能于一体的先进涂层材料将成为市场主流，技术领先者将获得显著竞争优势。

免责声明： 本白皮书内容仅供参考，数据基于实验室测试与市场调研，实际效果可能因施工条件、环境因素而异。