

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7 月 5-8 日, 2025

福建 厦门

**D31-超/特高压直流 GIL
与电缆关键电工材料及技术**
**D31-Key Electrical Materials and
Technologies for Ultra/Extra-High
Voltage DC GIL and Cable**

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D31. 超/特高压直流 GIL 与电缆关键电工材料及技术

分会主席：别朝红、李盛涛、李文鹏、彭向阳

D31-01**控形控性一体化的 GIS/GIL 盆式绝缘子小型化设计与验证**

张冠军*

西安交通大学

气体绝缘金属封闭开关设备/输电线路（GIS/GIL）因其结构紧凑、可靠性高、配置灵活、易于维护等优点，在高压输电系统中得到广泛应用。本文针对某厂家 550kV 盆式绝缘子开展小型化设计，以减少气体使用量，降低生产成本，并提高绝缘子可靠性。分别采用几何形状优化、介电分布优化与缩比模型验证。通过对盆体凸面、凹面轮廓以及两端厚度的形状优化，可使得沿面电场分布更加均匀，盆体中心导体侧及低压法兰处的机械应力集中现象得到大幅缓解。进而引入介电功能梯度材料的理念，开展盆式绝缘子材料介电分布优化设计。针对接地法兰附近盆体表面电场畸变严重的问题，以均化接地法兰处电场为目标，基于拓扑优化方法构建了盆式绝缘子材料介电常数空间分布优化模型，并讨论了密度函数因子、梯度惩罚权重、介电常数上限等算法参数对于介电梯度形式及电场优化效果的影响。仿真结果表明，优化后绝缘子外法兰附近凸面一侧出现高介电常数区域，呈近似菱形的几何轮廓。即使绝缘距离较原始结构减小 15%，接地法兰处的电场集中现象仍可得到大幅改善。提出了 3D 打印+浇注固化的小型化介电梯度盆式绝缘子制造方案，采用 3D 打印结合环氧树脂浇注工艺制备了 1:10 缩比绝缘子。实验表明，相同绝缘距离下，几何形状/介电分布联合优化绝缘子的闪络电压较常规绝缘子提高 13.8%。结果表明，几何形状/介电分布联合优化绝缘子具有显著的绝缘优势。

D31-02**直流 GIS/GIL 中金属微粒诱发沿面闪络的机理研究与抑制策略**

卢武

上海电力大学

D31-03**碳化硅先进封装及全铜化材料技术**

叶怀宇

南方科技大学

D31-04**交通电气化中的电机绝缘系统关键技术研究**

王鹏

四川大学

D31-05**高压功率模块封装绝缘失效测试与机制**

王亚林

上海交通大学

D31-06**高压大功率电力电子器件封装弛豫电场建模及研究进展**

李学宝

华北电力大学

高压大功率电力电子器件是电力电子装备的核心元器件，随着器件电压等级的提升，器件内部封装绝缘已成为器件自主研制的关键制约。不同于传统的电力装备，器件内部承受着正极性重复方波电压，电压上升率快，频率范围宽，器件内部电场的准确分析需要考虑封装绝缘材料及结构体系的宽频介电弛豫特性，本报告结合电磁场分析理论，给出了器件内部弛豫电场建模与计算方法的整体进展，并针对未来更高电压等级的器件电场以及绝缘设计需求给出了一些研究建议。

D31-07**两相反常稳定结构实现有机硅凝胶热传导与电绝缘性能协同提升**

吕泽鹏

西安交通大学

D31-08**Investigation on Failure Analysis of Zinc Oxide Varistor under Multiple Lightning Strikes**Bowen Wang¹, Jiazheng Lu¹, Zhiyao Fu¹, Jiantao Long¹, Xin Shi¹, Tianyu Lin^{2*}

¹ State Key Laboratory of Disaster Prevention & Reduction for Power Grid, Changsha University of Science & Technology, State Grid Hunan Electric Power Company Disaster Prevention and Reduction Center, Changsha, China, 410129

² State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, 710049

*Email: ltyyy0927@xjtu.edu.cn

Metal oxide arresters (MOAs) with zinc oxide varistor ceramics as core components serve as critical overvoltage protection devices in power systems. However, multiple lightning strikes can accelerate the aging rate of zinc oxide varistors, reduce their service life and electrical performance, and even cause direct rupture failures of the arrester due to impact aging and thermal collapse. Therefore, it becomes imperative to establish a multiple lightning strike experimental platform and conduct experimental and simulation studies on the impact aging characteristics of zinc oxide varistors under repetitive lightning strikes. This research investigates the failure mechanisms of zinc oxide varistors after multiple lightning strikes through analyzing dielectric performance variations and internal microstructural parameter evolution.

First, through simulation calculations of circuit inductance and implementation of a multi-channel shared discharge switch topology, a compact multiple lightning strike experimental platform was designed to generate quintuple lightning currents with a maximum amplitude of 150 kA and a minimum interval of 5 ms. Subsequently, multiple lightning current impact experiments were performed on zinc oxide varistors, measuring their DC voltage-current characteristics and temperature rise curves under different impact counts. Finally, by integrating finite element simulations with the current-temperature characteristics of varistors, the evolution patterns of potential barrier height and depletion layer width at zinc oxide grain boundaries under progressive impacts were systematically investigated. The results reveal that: 1) Under multiple lightning current impacts, the variations in DC voltage-current characteristics and temperature rise curves of zinc oxide varistors are more pronounced compared to single impacts with equivalent energy; 2) Surface flashover caused by localized overheating and

glaze layer melting is identified as the predominant failure mode. These findings provide a theoretical basis for evaluating the impact aging resistance of zinc oxide varistors under multiple lightning strikes and predicting their operational reliability.

D31-09

水分在电缆中间接头中的扩散行为及其对电场分布影响研究

施皓天¹, 何佳迅², 张亚², 程明亮², 曹亮^{1*}, 何高辉¹, 赵仲勇¹, 唐超¹

¹ 西南大学工程技术学院, 重庆 400715

² 重庆泰山电缆有限公司, 重庆 401125

Email: liangcao2020@swu.edu.cn

受运行环境、材料老化及施工工艺等因素的影响, 电缆中间接头内部的绝缘状态可能随时间发生劣化, 其中水分入侵被认为是导致绝缘性能退化乃至绝缘击穿的关键因素之一。本文首先测试了水分在交联聚乙烯材料中的扩散特性, 分析了不同水分扩散时间下交联聚乙烯的介电性能变化, 基于测试结果仿真分析了不同水分扩散程度下电缆接头内部电场分布特性。结果表明: 交联聚乙烯样片中含水量在 9 天左右达到饱和, 且电阻率降低、介电常数增加、击穿场强下降; 交变电场作用下, 水膜周围场强畸变程度可达 27.8%, 且水分侵入会造成电缆接头附近 XLPE 层的场强略微增加, 而 SIR 层的场强有所降低。

仅发表论文

D31-PO01

MCA 电机故障诊断技术的研究与应用

牛志钧、王鑫*

中车永济电机有限公司

匝间短路和转子导条断裂是交流鼠笼电动机的常见故障。现有电机检测方法中的匝间短路高频浪涌波形测试法过度灵敏且测试设备不便携, 导条断裂检测需电机解体探伤无法在线检测。提出引入 MCA 技术, 将电机看作包含电感、电阻的复杂等效电路, 通过便携的 ALL - TEST 7 PRO 电机故障检测仪对电机施加高频正弦波, 得到阻抗、倍频值、相位角 3 个核心参数。利用电机对称性原理, 对测量结果横向、纵向比较分析, 将电机的微小缺陷放大数千倍, 实现电机在线检测并对故障部位快速准确定位, 降低维修成本。试验证明, 该技术可提高电机故障诊断的准确率。