支柱复合绝缘子
维护、诊断及维修指南

江苏神马电力股份有限公司

国家能源电力绝缘复合材料重点实验室
Key Laboratory of Composite Materials on Electrical Insulation , National Energy Administration

地址：江苏如皋市神马电力工业园
网址：www.shenmapower.com

目　录

目　录 2
1　总则 1
1.1　目的 1
1.2　适用范围 1
2　支柱复合绝缘子结构组成与主要失效模式 1
2.1　结构组成 1
2.2　主要失效模式及机理 1
3　维护 3
3.1　维护分类与周期 3
3.2　巡视检查项目与方法 3
3.3　例行停电检修项目 3
3.4　维护记录与档案 4
4　诊断 4
4.1　带电检测 4
4.2　停电检测与试验 4
4.3　实验室诊断 5
4.4　状态评估与分级 5
4.5　诊断记录与报告 6
5　维修与更换 6
5.1　现场可修复缺陷及工艺 6
5.2　不可修复缺陷与更换判据 6
5.3　更换作业流程与安装 6
5.4　返厂处理与报废 7
5.5　维修后验收与评价 7
6　储存、运输与到货验收 7
6.1　储存要求 7
6.2　运输要求 8
6.3　到货验收 8
7　记录与档案管理 8
7.1　台账管理 8
7.2　记录表式 8
7.3　档案要求 8
附录 A　检修与检测记录表 8
附录 B　常见缺陷与处置对照表 10
附录 C　引用标准清单 10

1 总则

1.1 目的

本指南旨在规范支柱复合绝缘子在运行过程中的维护、缺陷诊断与维修更换工作，明确巡检、检修、检测、状态评估、缺陷处置与更换的作业要求和判据，及时发现并消除设备缺陷，防止支柱复合绝缘子故障引发设备损坏或电网事故，保障变电站、换流站设备安全可靠运行。

1.2 适用范围

本指南适用于标称电压高于 1000V 的站用支柱复合绝缘子，涵盖交流系统（1000V 及以上）和直流系统（±1500V 及以上）中电气装置或设备所用的支柱复合绝缘子。

2 支柱复合绝缘子结构组成与主要失效模式

2.1 结构组成

支柱复合绝缘子由芯棒、伞套和端部装配件三大部分组成，其外绝缘性能主要由硅橡胶伞套提供，机械承载能力主要由芯棒承担。

（1）芯棒：由环氧树脂浸渍玻璃纤维制成，承受拉伸、弯曲等机械负荷，是决定绝缘子机械强度的关键部件。

（2）伞套：为高温硫化硅橡胶制成，包裹芯棒形成护套，并向外延伸形成伞裙以增大爬电距离。硅橡胶具有优良的憎水性及憎水迁移性，可显著降低污闪风险。

（3）端部装配件：一般由铸铁或钢等金属制成，通过压接、胶装或机械连接等方式与芯棒端部固定，用于与母线、导体或设备连接并传递机械负荷，其连接部位有密封结构以防水汽侵入。

2.2 主要失效模式及机理

支柱复合绝缘子在长期运行中可能出现的失效模式主要包括以下几类，其产生机理应作为维护与诊断的重点关注内容。

表 2-1 支柱复合绝缘子主要失效模式

失效模式	产生机理与危害
芯棒脆断	水分侵入芯棒并在电场和机械应力共同作用下，使玻璃纤维发生应力腐蚀而脆性断裂，常无明显征兆，危害最大
端部装配件滑移或脱开	压接不良、载荷超限或材料疲劳导致端部金属件与芯棒相对位移或分离，影响机械连接可靠性
密封失效进水	端部密封老化、破损或密封胶失效，导致水分沿芯棒与护套界面侵入，诱发内部放电与芯棒劣化
伞裙开裂、老化	紫外线、温度、放电等作用使硅橡胶老化变脆、粉化、开裂，降低外绝缘与憎水性能
憎水性下降或丧失	污秽、化学侵蚀、放电等因素导致硅橡胶表面憎水性降低或永久丧失，增大污闪风险
漏电起痕与电蚀	表面污湿和电场共同作用下产生局部放电，形成碳化通道或烧蚀穿孔，可能引发绝缘失效
界面击穿	芯棒与护套界面因水分侵入或存在缺陷，在电场作用下发生沿界面放电击穿
金属件腐蚀	端部装配件在污湿环境下发生电化学腐蚀，影响机械强度与连接可靠性

3 维护

3.1 维护分类与周期

支柱复合绝缘子的维护工作按性质与周期分为日常巡视和例行检修。维护周期应结合设备电压等级、运行环境、污秽程度、运行经验及状态评估结果确定，并满足 DL/T 2439.2—2024 及设备运行规程的规定。

表 3-1 维护分类与周期

维护类别	周期	主要内容
日常巡视	常规巡视时同步进行	外观、放电、异响、倾斜、松动等直观检查
例行检修	按检修周期（一般为一年一次或按规程）	停电清扫、紧固检查、憎水性检测、电气试验等

3.2 巡视检查项目与方法

巡视检查是发现支柱复合绝缘子早期缺陷的主要手段，主要项目包括：

（1）外观检查：检查护套、伞裙有无开裂、破损、粉化、变形、下垂现象，伞裙表面有无放电痕迹、烧蚀、漏电起痕或电蚀痕迹；

（2）表面放电检查：在潮湿、污秽或夜间条件下，观察伞裙表面有无电晕、局部放电或闪络现象，必要时结合紫外成像仪进行带电检测；

（3）倾斜与机械状态检查：检查绝缘子是否倾斜、端部装配件有无松动、移位或滑移迹象，连接金具是否紧固、有无锈蚀；

（4）异响与异常气味检查：监听有无放电异响，嗅辨有无异常气味，异常时需进一步带电检测；

（5）密封与端部检查：检查端部装配件与芯棒连接处密封是否完好，有无裂缝、进水或渗漏迹象。

3.3 例行停电检修项目

例行停电检修应在保证安全的条件下开展，主要项目包括：

（1）停电清扫：对伞套表面进行清扫，清除污秽、积尘、鸟粪等附着物，防止污闪；

（2）紧固与机械检查：检查并紧固端部装配件与连接金具，校核机械连接可靠性；

（3）憎水性检测：按 GB/T 22079—2019 及 DL/T 2439.2—2024 的规定对伞套表面憎水性进行分级检测，评估憎水性能变化；

（4）密封检查：检查端部密封结构是否老化、开裂时；

（5）电气试验：按需要开展绝缘电阻、泄漏电流或工频耐受电压等试验，判断绝缘状况。

3.4 维护记录与档案

每次维护作业均应形成记录，包括维护时间、人员、维护项目、发现的问题、处置措施与结果等。维护记录应及时归档，作为设备状态评估与检修决策的依据。记录表式见附录 A。

4 诊断

4.1 带电检测

带电检测可在不停电条件下及时发现绝缘子异常，是状态检修的重要技术手段，主要包括以下方法：

表 4-1 带电检测方法

检测方法	检测对象	主要作用
紫外成像检测	检测电晕与局部放电产生的紫外辐射	发现表面放电、电晕及放电发展迹象
红外测温检测	检测绝缘子表面温升	发现局部放电、内部缺陷引起的异常温升

带电检测应在满足安全距离要求的前提下进行，检测结果应结合设备运行工况与环境条件综合分析。发现放电、异常温升等征兆时，应缩短检测周期并列入状态跟踪。

4.2 停电检测与试验

停电检测与试验在设备停电状态下开展，用于对绝缘子绝缘状况和机械状态作出判定，主要包括：

（1）绝缘电阻测量：测量绝缘子整体绝缘电阻，评估绝缘状况；

（2）泄漏电流测量：施加试验电压测量表面泄漏电流，评估污秽与受潮状况；

（3）工频耐受电压试验：对绝缘子施加规定工频电压，检验其耐受能力，试验电压与判据按 DL/T 1048—2021 及相关规定执行；

（4）憎水性分级检测：按 GB/T 22079—2019 规定的方法测定伞套表面憎水性等级；

（5）外观与密封检查：对伞套、伞裙、端部装配件及密封结构进行详细检查并记录。

4.3 实验室诊断

对停电试验难以判明或怀疑存在内部缺陷的绝缘子，可抽取样品送实验室进行专项诊断，包括芯棒材料分析与强度试验、伞套材料老化分析、芯棒与护套界面检查、扫描电镜（SEM）分析、憎水性恢复特性试验等。实验室诊断结果作为缺陷判定和更换决策的重要依据。

4.4 状态评估与分级

综合巡视、带电检测、停电试验和运行历史信息，对支柱复合绝缘子的状态进行评估，并按缺陷严重程度分为四级：

表 4-2 状态评估与分级处置

状态分级	主要判据	处置原则
正常	外观完好、憎水性正常、检测结果无异常	按正常周期开展维护与检测
注意	存在轻微缺陷（如轻度污秽、憎水性下降）	加强监视，缩短检测周期，择机处理
异常	存在明显缺陷（如伞裙开裂、端部松动、放电迹象）	限期安排停电检查与处理
严重（危险）	存在危及安全运行的缺陷（如芯棒脆断征兆、密封失效进水、憎水性永久丧失）	立即停电，隔离并更换

4.5 诊断记录与报告

诊断结果应形成检测报告，内容包括设备信息、检测方法、检测数据、判据、缺陷分析与评估结论及处理建议。检测报告应及时归档，作为状态评估和检修决策的依据。

5 维修与更换

5.1 现场可修复缺陷及工艺

对运行中发现的、不影响绝缘子结构完整性和机械强度的缺陷，可采用现场修复方式处理，主要包括：

（1）污秽清扫：清除伞套表面污秽，恢复外绝缘性能；

（2）金具紧固：对松动、位移的端部装配件及连接金具进行紧固，恢复连接可靠性；

现场修复应制定作业方案，保证修复工艺满足相应技术要求，修复后应进行外观检查和必要的验证试验。

5.2 不可修复缺陷与更换判据

出现下列情况之一的支柱复合绝缘子，应予以更换：

（1）整支绝缘子憎水性丧失且无法恢复；

（2）伞套或伞裙根部破损、开裂，或存在漏电起痕、电蚀等影响外绝缘的损伤；

（3）端部装配件与芯棒连接处密封失效、出现裂缝、滑移或相对位移；

（4）芯棒存在脆断征兆、界面进水或怀疑内部绝缘损坏；

（5）经试验判定绝缘性能或机械性能不满足运行要求。

更换判断应结合设备电压等级、运行环境、缺陷严重程度和风险评估综合确定，必要时咨询制造商或专业检测机构。

5.3 更换作业流程与安装

支柱复合绝缘子的更换应在设备停电并采取安全措施后进行，一般流程如下：

（1）办理停电工作票，完成隔离、接地、验电等安全措施；

（2）解除绝缘子端部与母线或设备的连接，拆除旧绝缘子并记录原安装位置、角度与连接方式；

（3）对新绝缘子进行到货检查，核对规格、型号、出厂试验报告与外观状态；

（4）按制造商要求和规定力矩安装新绝缘子，保证端部连接可靠、受力均匀；

（5）安装完成后进行外观检查、垂直度校核及必要的电气试验；

（6）恢复送电前完成验收，更新设备台账。

5.4 返厂处理与报废

对需进一步分析原因或存在争议缺陷的绝缘子，可返厂或送专业机构检测处理。对判废绝缘子应按相关管理规定办理报废手续，报废绝缘子应妥善处置，防止误用。

5.5 维修后验收与评价

维修或更换完成后，应按 DL/T 2439.2—2024 及相关规程进行验收，验收内容包括外观状态、安装质量、连接可靠性及必要的试验结果。验收合格后方可投入运行，并更新维护档案。

6 储存、运输与到货验收

6.1 储存要求

支柱复合绝缘子应存放在通风、干燥、遮阳、无腐蚀性气体和化学品的场所，避免阳光直射和长期高温，远离热源与强电场。绝缘子应直立放置或按制造商要求平放并加垫支撑，防止受压变形。储存期间应定期检查外观，防止伞套老化、污损和金属件锈蚀。

6.2 运输要求

运输时应采用专用包装，防止碰撞、挤压、翻滚和倾倒。装卸应轻拿轻放，严禁抛掷、拖拉。运输途中应防止绝缘子相互碰撞损伤伞套和端部装配件，防止受潮进水。运输到货后应及时检查包装完好性与设备状态。

6.3 到货验收

到货验收应核对绝缘子的规格、型号、数量与合同要求一致，检查产品合格证、出厂试验报告、技术文件等资料齐全，检查外观无裂纹、破损、变形、污损等缺陷。验收记录应及时归档。

7 记录与档案管理

7.1 台账管理

应建立支柱复合绝缘子设备台账，登记设备安装位置、规格型号、生产厂家、出厂编号、投运日期、关键技术参数及历次维护、检测、维修、更换记录，实现设备全寿命周期管理。

7.2 记录表式

维护、检测、诊断与更换工作应使用统一的记录表式，完整记录作业时间、人员、项目、数据、发现问题与处置结果。常用记录表式见附录 A。

7.3 档案要求

设备档案应包含产品技术资料、出厂试验报告、到货验收记录、历次维护与检测记录、诊断报告、缺陷与更换记录等。档案应长期保存、集中管理、便于查询，作为设备状态评估与检修决策的依据。

附录A 检修与检测记录表

本附录提供支柱复合绝缘子维护与检测的常用记录表式，供各使用单位结合实际情况调整使用。

表 A-1　支柱复合绝缘子巡检记录表

巡检项目	检查内容	巡检结果	发现问题	处理措施	备注
外观	伞套/伞裙开裂、破损、粉化、变形				
放电	表面放电、电晕、放电痕迹				
机械状态	倾斜、端部松动、滑移、锈蚀				
密封	端部密封开裂、进水、渗漏				
异响/气味	放电异响、异常气味				
其他	污秽、鸟害、异物附着				

表 A-2　支柱复合绝缘子停电检测记录表

检测项目	检测条件/方法	检测数据	判据/参考值	判定结果	备注
绝缘电阻					
泄漏电流					
工频耐受电压					
憎水性分级					
外观/密封检查					

表 A-3　支柱复合绝缘子缺陷与处置台账

设备编号	缺陷发现时间	缺陷描述	缺陷等级	处置方式	处置时间	处置结果

附录B　常见缺陷与处置对照表

表 B-1 给出支柱复合绝缘子常见缺陷与推荐处置方式的对照，供现场判断参考。具体处置应结合设备实际情况和相应规程确定。

表 B-1　常见缺陷与处置对照表

常见缺陷	主要危害	推荐处置	状态分级
表面污秽/积尘	污闪风险增大	清扫；必要时涂覆防污闪涂料	注意
憎水性下降	防污闪性能降低	检测分级；涂覆 RTV/PRTV；加强监视	注意/异常
伞裙开裂/破损	外绝缘性能受损	评估损伤程度；严重时更换	异常/严重
漏电起痕/电蚀	存在绝缘失效风险	停电检查；严重时更换	异常/严重
端部装配件松动/滑移	机械连接可靠性下降	紧固；无法恢复时更换	异常/严重
密封失效进水	芯棒劣化/脆断风险	补密封；必要时更换	严重
芯棒脆断征兆	可能突发断裂	立即停电隔离并更换	严重
憎水性永久丧失	失去防污闪能力	更换	严重

附录C　引用标准清单

本指南涉及的主要引用标准清单见表 C-1，标准现行有效版本以正式发布为准。

表 C-1　引用标准清单

标准编号	标准名称
DL/T 2439.2—2024	标称电压高于 1000V 站用支柱绝缘子使用导则 第 2 部分：支柱复合绝缘子
DL/T 1048—2021	电力系统站用支柱复合绝缘子——定义、试验方法及接收准则
GB/T 22079—2019	户内和户外用高压聚合物绝缘子 一般定义、试验方法和接收准则
IEC 62217:2012	Polymeric HV insulators for indoor and outdoor use — General definitions, test methods and acceptance criteria
GB/T 19519—2014	架空线路绝缘子 标称电压高于 1000V 交流系统用悬垂和耐张复合绝缘子 定义、试验方法及接收准则
IEEE Std 957—2024	IEEE Guide for Monitoring, Managing, and Cleaning of Contaminated Insulators