

# 变电站避雷器爆炸故障分析与处理措施

朱 杰

宁波市镇海国创高压电器有限公司 浙江 宁波 315207

**摘 要:** 随着电力系统规模扩大, 变电站避雷器爆炸事故频发。本文聚焦变电站避雷器爆炸故障展开分析。先阐述避雷器的结构组成与工作原理, 为后续分析奠定基础。接着深入剖析导致避雷器爆炸故障的多种原因, 涵盖密封失效受潮、内部元件劣化、系统过电压影响、制造工艺缺陷以及安装与维护不当等方面。最后针对这些故障原因, 提出加强密封检测与处理、优化运行监测、完善系统防雷设计、规范安装工艺以及强化运维管理等处理措施, 旨在提高变电站避雷器运行的稳定性与安全性, 保障电力系统的可靠运行。

**关键词:** 变电站; 避雷器; 爆炸故障; 处理措施

引言: 在电力系统中, 变电站作为关键枢纽, 其安全稳定运行至关重要。避雷器作为变电站重要的防雷保护设备, 能有效限制过电压, 保护电气设备免受雷击或操作过电压的损害。然而, 在实际运行过程中, 避雷器爆炸故障时有发生, 这不仅会损坏避雷器自身, 还可能引发连锁反应, 导致相邻设备受损, 严重影响变电站的正常运行, 甚至造成大面积停电事故, 给社会经济带来巨大损失。因此, 深入分析变电站避雷器爆炸故障的原因, 并探寻有效的处理措施, 具有重要的现实意义和紧迫性。

## 1 避雷器的结构与工作原理

### 1.1 避雷器的结构组成

避雷器结构因类型不同而有所差异。常见的金属氧化物避雷器(MOA)主要由主体元件、绝缘底座、接线盖板和均压环(220kV以上等级配备)等组成。主体元件采用氧化锌电阻片, 其由金属氧化物(主要为氧化锌)制成, 是避雷器的核心部件。内部还设有内绝缘杆, 用于固定串联的氧化锌阀片, 压力弹簧则压紧阀片, 确保良好电接触。部分避雷器在电阻片与外套间填充特制石英砂, 消除空气间隙, 提高耐压与防闪络能力。阀式避雷器由装在密封瓷套中的火花间隙和非线性电阻阀片组成。火花间隙由多个圆盘形铜质电极串联, 每对间隙用云母垫圈隔开; 非线性电阻阀片由特殊碳化硅制成, 颗粒间接触面小, 电阻随电流变化显著。管型避雷器由产气管、内部间隙和外部间隙构成, 产气管由纤维、有机玻璃等制成, 内部间隙装在管内, 外部间隙装在避雷器与线路之间。保护间隙则由主间隙和辅助间隙组成, 主间隙为角形镀锌圆钢, 辅助间隙串联在主间隙下方<sup>[1]</sup>。

### 1.2 避雷器的工作原理

避雷器通过“精准动作-快速恢复”实现过电压保护。

当系统正常运行时, 避雷器与地绝缘, 仅流过微小电流。以金属氧化物避雷器为例, 其氧化锌电阻片在工频电压下呈高阻值, 有效抑制工频电流。当雷电过电压或操作过电压侵入时, 电压达到避雷器动作阈值, 电阻片阻值骤降, 避雷器击穿放电, 将过电压电荷通过接地装置导入大地, 限制电压幅值, 保护设备绝缘。电压恢复正常后, 电阻片迅速恢复高阻值, 阻断工频续流, 恢复绝缘状态。阀式避雷器通过火花间隙与非线性电阻阀片配合实现保护。正常电压下, 火花间隙为高阻值, 类似关闭阀门, 阻止工频电流通过; 过电压时, 间隙击穿, 电阻阀片阻值降低, 雷电流顺利通过并泄入大地; 雷电流过后, 工频电流使阀片恢复高阻值, 火花间隙阻断电流, 系统恢复正常。管型避雷器则依靠内外间隙击穿和产气管产气灭弧实现保护, 保护间隙通过主、辅助间隙配合, 在过电压时击穿放电, 但需与自动重合闸装置配合使用以提高供电可靠性。

## 2 避雷器爆炸故障的原因分析

### 2.1 密封失效导致受潮

避雷器密封结构至关重要, 若密封失效, 外界湿气会侵入内部。在长期运行中, 橡胶密封件易老化、开裂, 失去弹性, 无法有效密封。同时, 密封工艺若存在瑕疵, 如密封胶涂抹不均匀、密封面有杂质等, 也会降低密封性能。一旦湿气进入, 避雷器内部绝缘材料会受潮, 其绝缘性能大幅下降。在电压作用下, 局部放电加剧, 产生大量热量, 使内部气体压力迅速升高, 最终导致避雷器爆炸, 严重影响电力系统的安全稳定运行。

### 2.2 内部元件劣化

避雷器内部元件在长期运行中会逐渐劣化。氧化锌阀片是避雷器核心元件, 在过电压反复冲击下, 其非线性特性会发生变化, 伏安特性曲线偏离正常范围, 导致

泄漏电流增大。持续的泄漏电流会使阀片发热，加速其老化进程。此外，内部弹簧等金属元件在长期受力、高温环境下，弹性会减弱，无法为阀片提供稳定的压力，影响避雷器的电气性能。这些元件劣化会破坏避雷器内部平衡，引发爆炸故障。

### 2.3 系统过电压影响

电力系统运行中，过电压情况时有发生，如雷电过电压、操作过电压等。雷电过电压幅值高、能量大，当雷电击中输电线路或变电站时，强大的雷电冲击波会沿线路传入变电站，使避雷器承受远超其额定电压的冲击。操作过电压则是在开关操作、故障切除等过程中产生，虽幅值相对较低，但频率较高，也会对避雷器造成损害。频繁过电压冲击会使避雷器内部元件疲劳损伤，加速绝缘老化，最终引发爆炸故障<sup>[2]</sup>。

### 2.4 制造工艺缺陷

避雷器制造工艺的优劣直接影响其质量。若在生产过程中，阀片压制工艺不当，会导致阀片密度不均匀，内部存在气隙或杂质，降低其电气性能和机械强度。密封环节工艺粗糙，如密封结构设计不合理、密封材料质量不佳等，会使避雷器密封性能不达标。此外，装配过程中若元件安装不牢固、连接不紧密，会在运行中产生松动，引发局部放电等问题。这些制造工艺缺陷会使避雷器在运行中容易出现故障，甚至发生爆炸。

### 2.5 安装与维护不当

避雷器安装不规范会埋下安全隐患。如安装角度不符合要求，会使避雷器受力不均，在长期运行中导致结构变形；接地装置安装不良，接地电阻过大，无法有效泄放雷电流，会使避雷器承受过高电压。维护方面，若未定期进行巡检，不能及时发现避雷器外观损伤、密封泄漏等问题；未按时进行预防性试验，无法掌握其电气性能变化情况。长期缺乏有效维护，避雷器内部隐患会逐渐积累，最终引发爆炸故障，影响电力系统的正常运行。

## 3 避雷器爆炸故障的处理措施

### 3.1 加强密封检测与处理

(1)要建立严格的密封检测制度。在避雷器生产阶段，生产厂家应配备专业的密封检测设备，对每一台避雷器进行全面的密封性能测试，如采用氦质谱检漏仪等高精度仪器，确保密封性能符合标准要求。在避雷器入库前和投入运行前，电力部门需再次进行密封检测，防止有密封缺陷的产品进入电力系统。(2)定期开展运行中避雷器的密封检查。制定详细的巡检计划，安排专业人员定期对避雷器的密封部位进行外观检查，查看密封胶圈是否有老化、开裂、变形等情况，密封面是否存在渗漏痕

迹。同时，利用红外热成像仪等设备检测避雷器各部位的温度分布，若发现局部温度异常升高，可能是密封失效导致内部受潮，引起局部放电发热，需进一步深入检查。(3)对密封失效的避雷器及时进行处理。一旦发现密封问题，若情况较轻，可对密封胶圈进行更换，重新进行密封处理，并再次进行密封检测，确保处理后密封性能达标。若密封失效情况严重，内部元件已受潮损坏，则需立即更换整台避雷器，避免故障扩大，保障电力系统的安全稳定运行。同时，要对密封失效的原因进行分析总结，采取针对性措施防止类似问题再次发生<sup>[3]</sup>。

### 3.2 优化避雷器运行监测

(1)完善监测指标体系。除常规的监测避雷器动作次数、泄漏电流等参数外，还应增加对避雷器运行环境参数的监测，如环境温度、湿度、气压等。因为这些环境因素会直接影响避雷器的性能，例如高温会加速内部元件老化，高湿度可能导致密封失效受潮。通过全面监测各项指标，能更精准地掌握避雷器的运行状态。(2)采用先进的监测技术。引入在线监测系统，利用传感器实时采集避雷器的各项数据，并通过无线通信技术将数据传输至监控中心。监控中心运用大数据分析和人工智能算法，对数据进行深度挖掘和分析，及时发现避雷器的潜在故障隐患。同时，配备便携式监测设备，方便运维人员在现场对避雷器进行快速检测，提高监测的灵活性和及时性。(3)建立动态评估机制。根据监测数据，定期对避雷器的健康状况进行评估，划分不同的健康等级。对于健康状况较差的避雷器，增加监测频率，加强跟踪检查。同时，结合电力系统的运行计划和设备检修周期，合理安排避雷器的检修和更换工作，确保避雷器始终处于良好的运行状态，有效预防爆炸故障的发生。

### 3.3 完善系统防雷设计

(1)要做好全面的雷电活动调研。在电力系统规划前期，需对安装避雷器区域的雷电活动规律进行深入研究，包括雷电日数、雷电强度、雷电分布等参数。通过分析这些数据，准确评估该区域遭受雷击的风险等级，为后续的防雷设计提供科学依据，确保防雷措施能够有针对性地应对当地的雷电威胁。(2)合理规划防雷布局。根据雷电活动调研结果，结合电力系统的拓扑结构和设备分布情况，科学规划避雷器的安装位置和数量。在变电站的进线端、变压器、开关设备等关键位置，应按照防雷设计规范合理配置避雷器，形成多层次的防雷保护体系。同时，要考虑避雷器之间的保护范围和配合系数，避免出现保护盲区，确保整个电力系统都能得到有效的防雷保护。(3)优化接地系统设计。良好的接地是防雷设计的

重要环节。要确保接地装置的接地电阻符合标准要求,采用合适的接地材料和施工工艺,降低接地电阻,提高雷电流的泄放能力。此外,还应考虑接地系统的均压和屏蔽效果,减少接地故障时产生的地电位差,防止因地电位反击而损坏电气设备,进一步提高电力系统的防雷可靠性。

### 3.4 规范避雷器安装工艺

(1)严格把控安装前准备工作。安装人员要仔细研读避雷器的安装说明书与技术规范,熟悉安装流程与关键点。对安装现场进行全面勘察,确保安装位置符合要求,远离热源、强腐蚀环境与易受机械损伤的区域。同时,对避雷器及其配件进行严格检查,查看外观有无损坏、零部件是否齐全,利用专业检测设备对避雷器的电气性能进行初步测试,保证其质量合格,杜绝不合格产品进入安装环节。(2)规范安装操作流程。在安装过程中,要严格按照标准工艺进行操作。安装避雷器本体时,确保其垂直安装,固定牢固,避免因安装倾斜或松动导致运行中受力不均而损坏。连接引线时,要保证连接紧密、接触良好,采用合适的连接方式和工具,防止出现接触电阻过大引发热问题。同时,注意引线的走向和间距,避免与其他设备或线路产生干扰。接地装置的安装也至关重要,要确保接地线连接可靠,接地电阻符合设计要求。(3)做好安装后的检查与调试。安装完成后,对避雷器进行全面细致的检查,查看安装工艺是否符合规范,各部件连接是否牢固,有无遗漏或错误安装的情况。然后进行电气性能调试,通过专业仪器测量避雷器的各项参数,确保其性能指标满足运行要求,为电力系统的安全稳定运行提供可靠保障。

### 3.5 强化避雷器运维管理

(1)制定科学运维计划。依据避雷器的类型、运行环境及重要程度,制定详细且合理的运维周期与项目清单。对于运行在雷电活动频繁、环境恶劣区域的避雷器,适当缩短巡检周期,增加检查项目。明确日常巡检、定期检修及特殊巡检的内容与标准,日常巡检重点关注外观、连接部位及运行状态指示;定期检修开展全面电气性能测

试与内部检查;特殊巡检在遭遇恶劣天气、系统异常后及时进行,确保运维工作有序开展。(2)提升运维人员专业素养。定期组织运维人员参加专业培训,涵盖避雷器原理、结构、常见故障及处理方法等知识。开展实操演练,模拟避雷器故障场景,让运维人员熟练掌握检测设备使用与故障排除技巧。鼓励运维人员交流经验,分享运维过程中遇到的问题及解决方案,不断提升团队整体技术水平与应急处理能力。(3)建立运维档案与数据分析机制。为每台避雷器建立独立运维档案,详细记录安装信息、历次巡检与检修结果、故障处理情况等。运用大数据分析技术,对运维数据进行深度挖掘,分析避雷器性能变化趋势,提前预测潜在故障风险。根据分析结果,及时调整运维策略,对存在隐患的避雷器采取针对性措施,保障电力系统安全稳定运行<sup>[4]</sup>。

### 结束语

变电站避雷器作为保障电力系统安全稳定运行的关键设备,其爆炸故障的危害不容小觑。通过深入分析密封失效、元件劣化、系统过电压、制造工艺缺陷以及安装运维不当等引发爆炸故障的原因,我们明确了问题所在。而加强密封检测处理、优化运行监测、完善系统防雷设计、规范安装工艺以及强化运维管理等一系列针对性处理措施,为预防和解决避雷器爆炸故障提供了有效途径。未来,我们需持续关注避雷器运行状态,不断优化处理措施,提升电力系统防雷水平,确保变电站安全可靠供电。

### 参考文献

- [1]黄伟东.220kV变电站避雷器爆炸故障分析与处理措施[J].电工技术,2021(9):88,93.
- [2]李晓晨,陈昌雷.基于变电站避雷器事故接地研究[J].电瓷避雷器,2022(2):130-133
- [3]高光耀,赖道明.变电站避雷器泄漏电流在线监测系统运行性能评估[J].通信电源技术,2025,42(19):59-61.
- [4]李正权,李磊,杨垒臣,等.变电站避雷器在线监测系统设计探讨[J].电力系统装备,2021(23):29-30.