

# 工厂电气设备防雷与过电压保护设计

李 良 崔春辉

华晨宝马汽车有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘 要:** 本文围绕工厂电气设备防雷与过电压保护展开设计研究, 阐述雷电与过电压的基本概念、危害及防护原理, 结合相关标准, 分析工厂电气系统现状及现有防护体系存在的装置老化、设计不合理、管理不到位等问题, 探究问题产生的技术与管理原因, 提出直击雷、感应雷、侵入雷及内部过电压的分层防护方案, 实现对工厂电气设备的全方位保护, 保障电气系统稳定运行, 降低安全事故与经济损失, 为工厂防雷过电压防护设计提供实践参考。

**关键词:** 工厂电气设备; 防雷; 过电压; 保护设计

**引言:** 工厂电气系统是生产运营的核心支撑, 涵盖配电、控制、输电等各类设备, 其稳定运行直接关系到生产安全与经济效益。雷电及过电压易击穿设备绝缘、引发供电中断, 甚至诱发火灾、触电等安全事故, 严重威胁设备、生产系统及人员安全。当前部分工厂防护体系存在诸多隐患, 防护效果不佳。基于此, 本文结合工厂实际场景与相关规范, 开展防雷与过电压保护设计, 解决现有问题, 为工厂电气安全提供可靠保障。

## 1 工厂电气设备防雷与过电压相关理论基础

### 1.1 雷电与过电压的基本概念

(1) 雷电的形成与传播: 雷云形成源于大气对流过程中水汽凝结与电荷分离, 正负电荷在云层内积聚形成电位差, 当电位差突破空气绝缘极限时, 发生雷电放电。雷电放电分为先导放电、主放电两个核心阶段, 传播路径优先选择电阻小的通道, 如高耸建筑物、输电线、金属构件等, 易对工厂外露电气设施造成冲击。(2) 过电压的定义与分类: 过电压是指电气设备正常运行电压超出额定值的异常电压现象。内部过电压由电力系统内部操作、故障或谐振引发, 其中操作过电压源于断路器分合闸、变压器投切等操作, 谐振过电压由系统电感与电容参数匹配不当产生; 外部过电压又称雷电过电压, 包括直击雷(雷电直接击中设备)、感应雷(雷电感应的过电压)、侵入雷(雷电通过线路侵入厂区内外部)<sup>[1]</sup>。

### 1.2 工厂电气设备的雷击与过电压危害

(1) 对电力设备的危害: 过电压会击穿设备绝缘层, 导致变压器、断路器、互感器等核心电气设备内部短路, 部件烧毁、老化加速, 严重时造成设备报废, 破坏电力供应的稳定性。(2) 对生产系统的危害: 雷击与过电压易引发工厂供电中断, 导致生产线停运、生产数据丢失, 影响生产进度; 同时可能引燃电气线路、易燃物料, 引发火灾、爆炸等安全事故, 造成巨大经济损失。(3) 对人

员安全的危害: 雷电及过电压会使设备外壳带电, 产生触电风险, 威胁工厂作业人员的生命安全; 若发生雷击事故, 还可能对现场人员造成直接伤害。

### 1.3 防雷与过电压保护的核心原理

(1) 雷电防护原理: 遵循接闪、引流、泄流、均压的核心逻辑, 通过接闪装置拦截雷电, 引流装置将雷电流引导至泄流通道, 经接地装置导入大地, 均压装置平衡设备间电位差; 电子雪崩理论可解释绝缘击穿机制, 为设备绝缘保护设计提供理论支撑。(2) 过电压保护原理: 核心是限制过电压幅值、引导过电压安全泄放, 通过安装避雷器、浪涌保护器等防护装置, 阻断过电压向设备内部侵蚀, 避免设备因电压异常受损。

### 1.4 相关标准与规范依据

(1) 国家相关标准: 《建筑物防雷设计规范》明确工厂建筑物及附属电气设施的防雷设计要求, 《电力系统二次设备防雷运行维护规范》规范了电力设备防雷保护的技术标准, 为工厂防雷设计提供基础遵循。(2) 行业规范与设计准则: 针对工厂电气设备的专项防护规范, 明确了不同类型设备的防雷过电压保护要求, 同时规定了防护装置的选型、安装、调试及维护的技术标准, 保障防护措施落地见效。

## 2 工厂电气设备防雷与过电压保护现状分析及问题诊断

### 2.1 工厂电气系统概况

(1) 工厂电气设备组成: 工厂电气设备涵盖配电、控制、输电及终端用电四大类, 配电设备包括变压器、配电柜等, 主要集中在配电室, 负责电能的分配与转换; 控制设备如PLC控制器、继电器等, 多分布于生产车间控制岗, 保障生产设备有序运行; 输电线路分为室内电缆与室外架空线路, 连接各设备节点, 室外线路易暴露在雷电环境中; 终端用电设备涵盖生产机床、风机、照明等, 分

布于车间各区域,运行负荷各异,部分精密设备对电压稳定性要求极高<sup>[2]</sup>。(2)工厂电气负荷特性:工厂电气负荷具有明显的集中性,核心生产车间的设备负荷占比达70%以上,集中在生产时段运行;同时负荷波动性较强,受生产班次、设备启停影响,负荷峰值与谷值差异较大。由于工厂生产流程连续性强,任何供电中断或电压异常都可能导致生产停滞,因此对供电稳定性、可靠性要求极高,需有效规避雷击与过电压带来的供电波动。

## 2.2 现有防雷与过电压保护措施调研

(1)现有防护装置配置:工厂现有防雷过电压防护装置主要包括接闪器、避雷器、接地装置三类。接闪器多为避雷针、避雷带,安装于厂房屋顶及室外输电线路杆塔;避雷器选用普通阀型避雷器,安装在配电室及关键设备进线端,部分老旧设备仍沿用传统型号;接地装置多为镀锌扁钢接地网,分布于配电室及厂房周边,部分区域接地体因长期使用出现锈蚀,运行状态不稳定。(2)现有防护方案执行情况:现有防护措施基本能覆盖核心设备,但落实效果参差不齐,室外输电线路防护存在盲区;日常维护与检查流程较为简单,多为季度常规巡检,主要检查装置外观是否完好,未开展专业的性能检测,对隐藏的设备隐患未能及时发现,部分故障防护装置未能及时更换,影响整体防护效果。

## 2.3 现有防护系统存在的问题

(1)防护装置问题:部分防护装置使用年限过长,出现老化、破损现象,绝缘性能下降;部分装置选型不当,与工厂实际负荷、雷电环境不匹配,防护精度不足,无法有效拦截不同等级的过电压;少数避雷器、接地装置动作不可靠,遭遇雷电冲击时无法及时启动泄流,起不到防护作用。(2)系统设计问题:现有防护方案缺乏系统性,未根据工厂设备分布、负荷特性设计多级分层防护体系,核心设备与普通设备防护标准一致,防护重点不突出;接地系统不完善,部分区域接地电阻超标,雷电流无法快速有效泄放,易引发电位反击,威胁设备安全。(3)管理与维护问题:缺乏完善的防雷过电压防护管理制度,未明确各岗位维护责任;员工防护意识不足,对防雷过电压危害认知不够,日常操作中未重视防护装置的保护;维护检查不到位,未建立专业的检测机制,隐患排查不全面、不深入,维护频次与质量无法满足防护需求<sup>[3]</sup>。

## 2.4 问题产生的原因分析

(1)技术层面:防护方案设计初期,未充分结合工厂生产场景、电气负荷特性及区域雷电活动规律,盲目套用通用设计标准,导致技术应用与设备实际防护需求不匹配;对新型防护技术、设备了解不足,未及时更新

升级防护装置,技术水平滞后于设备运行需求。(2)管理层面:企业管理层对防雷过电压防护重视程度不足,责任分工不明确,未指定专门部门或人员负责防护工作;维护资金投入不足,无法及时更换老化、不合格的防护装置,也难以开展专业的检测维护工作;缺乏专业的技术维护人员,现有人员专业能力不足,无法应对复杂的防护系统故障与检测需求。

## 3 工厂电气设备防雷与过电压保护方案设计

### 3.1 设计原则与目标

(1)设计原则:本次防雷与过电压保护方案设计严格遵循安全性、可靠性、经济性、实用性相结合的核心原则,全面契合《建筑物防雷设计规范》《电力系统防雷保护规程》等国家及行业相关标准规范,兼顾工厂电气系统整体防护的协调性与连贯性。设计过程中既优先保障防护效果,杜绝防护盲区,又避免过度设计造成的资源与资金浪费,充分结合工厂生产场景、设备分布、负荷特性及区域雷电活动规律,确保方案可落地、可执行、可维护,适配工厂长期稳定运行的实际需求。(2)设计目标:通过科学合理的分层防护设计,有效抵御直击雷、感应雷、侵入雷及各类内部过电压冲击,最大限度降低电气设备绝缘击穿、部件烧毁、线路短路的概率,显著减少因雷击与过电压导致的生产线中断、生产数据丢失、设备报废及火灾、触电等安全事故,保障工厂电气系统连续、稳定、安全运行,降低经济损失。同时为工厂作业人员提供安全的作业环境,实现防护效果与生产需求的精准匹配,提升电气系统防雷过电压防护的整体水平。

### 3.2 直击雷防护设计

(1)接闪器设计:结合工厂建筑物高度、结构及设备布局,合理选型与布置接闪器。厂房屋顶采用避雷带与避雷网相结合的方式,网格间距控制在 $5 \times 5\text{m}$ 以内,覆盖整个屋顶;室外高耸设备及输电杆塔顶部安装避雷针,避雷针高度根据保护范围计算确定,确保覆盖所有外露关键设备;接闪器选用热镀锌圆钢,直径不小于 $12\text{mm}$ ,安装牢固,与引下线可靠连接,适配工厂露天设备与厂房的防护需求。(2)引下线设计:引下线选用热镀锌扁钢,截面积不小于 $25\text{mm}^2$ ,或热镀锌圆钢直径不小于 $10\text{mm}$ ,材质与接闪器、接地体保持一致,避免异种金属连接产生腐蚀。引下线沿建筑物外墙垂直布置,间距控制在 $18\text{m}$ 以内,复杂建筑间距不超过 $24\text{m}$ ,安装时远离门窗及人员通道,引下线与接闪器、接地体采用焊接连接,焊接长度不小于扁钢宽度的2倍,确保雷电流能够顺畅引流,无接触不良隐患<sup>[4]</sup>。(3)接地系统设计:接地体选用热镀锌角钢或扁钢,角钢规格为 $50 \times 50 \times 5\text{mm}$ ,埋

设深度不小于0.8m,根据工厂场地大小合理布置接地网,采用环形接地与放射式接地相结合的方式,覆盖配电室、厂房及室外设备区域。接地电阻严格控制在 $4\Omega$ 以内,核心配电设备区域接地电阻不超过 $1\Omega$ ,通过添加降阻剂优化接地效果,确保雷电流能够快速、可靠泄放入大地,避免电位反击。

### 3.3 感应雷与侵入雷防护设计

(1) 线路防护设计:室外架空线路在导线上方加装避雷线,避雷线与导线间距不小于0.5m,两端可靠接地,减少雷电感应产生的过电压;电缆线路采用穿钢管敷设,钢管两端接地,电缆终端头加装电缆护层保护器,避免雷电波通过电缆侵入室内设备;架空线路与电缆线路连接处加装避雷器,拦截侵入雷过电压,防止雷电波沿线路传播损坏设备。(2) 设备端口防护设计:针对配电设备、控制设备的电源端口、信号端口,合理配置浪涌保护器(SPD),注重级间能量与距离配合,明确冲击电流 $I_{imp}$ 、电压保护水平 $U_p$ 选型计算,控制SPD间线路距离,避免“盲点保护”。总配电房电源进线端安装一级SPD,选用8/20 $\mu$ s波形、额定电压适配工厂供电电压的产品;生产线配电箱安装二级SPD,终端精密控制设备端口安装三级SPD,参数匹配设备要求。(3) 屏蔽与等电位连接设计:对工厂内精密控制设备、信号线路采用金属屏蔽罩、屏蔽电缆进行防护,屏蔽层两端可靠接地,减少雷电感应干扰;将工厂内所有金属构件等进行等电位连接,接地网可通过降阻剂、深井接地等措施确保接地电阻 $<4\Omega$ ;增设SPD劣化、接地电阻在线监测,实现从定期检修到状态检修升级,保障防护有效性。

### 3.4 内部过电压防护设计

(1) 操作过电压防护:选用灭弧性能优良的真空断路器,减少断路器分合闸过程中产生的操作过电压;在变压器、断路器等关键设备进线端加装金属氧化物避雷器,抑制操作过电压幅值;优化设备操作流程,规范断路器分合闸操作顺序,避免频繁操作引发过电压,同时定期对操作设备进行维护,确保操作可靠性,从源头抑

制操作过电压产生。(2) 谐振过电压防护:针对工厂电气系统可能出现的谐振现象,采取有效的消谐措施,在电压互感器二次侧加装消谐器,抑制铁磁谐振;合理配置无功补偿装置,根据工厂负荷变化动态调整补偿容量,避免系统电感与电容参数匹配不当引发谐振,同时定期检测系统参数,及时调整设备配置,防止谐振过电压产生<sup>[5]</sup>。(3) 多级分层防护设计:构建“总配电房—生产线配电箱—终端设备”的三级分层防护体系,总配电房一级防护拦截大范围、高能量浪涌,生产线配电箱二级防护进一步泄放浪涌能量,终端设备三级防护精准保护设备端口,各级防护装置协同工作,分级泄放浪涌能量,形成全方位、多层次的内部过电压防护网络,确保不同等级的过电压都能得到有效抑制。

### 结束语

工厂电气设备防雷与过电压保护是保障生产安全、降低经济损失的关键举措,需兼顾技术合理性与实践可操作性。本文设计的分层防护方案,契合工厂设备分布与负荷特性,有效弥补现有防护体系短板,可全面抵御各类雷电与过电压冲击。后续需严格落实防护装置的安

### 参考文献

- [1]申勇.工厂供电系统过电压保护优化研究[J].科技创新导报,2022,17(15):102-105.
- [2]庞勇伟.工厂供电网络高低压侧过电压保护系统优化与应用研究[J].科技创新导报,2023,16(22):129-132.
- [3]冯川.工厂供电系统过电压保护分析[J].科技风,2021,26(03):195-198.
- [4]袁钢.试议工厂供电无功补偿技术[J].山东工业技术,2023,34(11):176-179.
- [5]刘锟.对工厂供电系统存在问题的改进[J].机电信息,2023,9(27):83-85.