

Design Specifications and Practical Research on Grounding and Lightning Protection Systems in Electrical Engineering

Yangyang Shen

Jiangsu Automobile Technician College, Yangzhou, Jiangsu, 225002, China

Abstract

This paper investigates the design specifications and engineering practices of grounding and lightning protection systems in electrical engineering. It systematically reviews the classification of grounding systems, the composition of lightning protection devices, and key design parameters, while outlining engineering methodologies for controlling grounding resistance, arranging devices, and selecting materials. In accordance with current national standards, the paper provides detailed discussions on surge arrester placement, down conductor design, and hierarchical overvoltage protection configurations, and validates the effectiveness of SPD applications through practical engineering cases. The study aims to provide technical insights for electrical grounding and lightning protection design in building and industrial settings, enhancing system safety, reliability, and cost-effectiveness while complying with regulatory requirements, thereby effectively mitigating the hazards posed by lightning strikes and fault overvoltages to electrical equipment and personnel safety.

Keywords

grounding system; lightning protection design; lightning arrester; down conductor; SPD

电气工程中接地与防雷系统设计规范与实践研究

沈洋洋

江苏汽车技师学院, 中国 · 江苏 扬州 225002

摘要

本文围绕电气工程中接地与防雷系统的设计规范与工程实践展开研究, 系统梳理了接地系统分类、防雷装置构成及关键设计参数, 明确了接地电阻控制、装置布置与材料选取的工程方法。结合现行国家标准, 对接闪器布置、引下线设计及过电压保护分级配置进行详细论述, 并通过实际工程案例验证SPD应用效果。研究旨在为建筑与工业电气接地防雷设计提供可参考的技术思路, 在满足规范要求的前提下, 提升系统安全性、可靠性与经济性, 有效降低雷击与故障过电压对电气设备及人身安全的危害。

关键词

接地系统; 防雷设计; 接闪器; 引下线; SPD

1 引言

在现代电气工程中, 接地与防雷系统是保障电力系统稳定运行、保护人身安全与设备完好的关键环节。接地网系统是接地网, 是对由埋在地下一定深度的多个金属接地极和由导体将这些接地极相互连接组成一网状结构的接地体的总称。它广泛应用于电力、建筑、计算机, 工矿企业、通讯等众多行业之中, 起着安全防护、屏蔽等作用。随着建筑高度提升、电气设备精密化程度提高, 雷击与过电压造成的事故风险显著增加。现行设计需严格遵循国家规范, 综合考虑土壤条件、建筑结构与用电负荷特点, 合理确定接地形式、防雷等级及保护方案。本文从设计基础、实施方法到工程应

用进行全面分析, 结合实际案例总结可行技术措施, 为相关工程设计、施工与验收提供理论依据与实践参考, 提升整体电气安全水平。

2 接地与防雷系统设计基础

2.1 接地系统分类

接地系统按核心功能与防护目标划分为工作接地、保护接地、防雷接地三类, 划分依据为接地在电气系统中承担的运行保障、人身防护、雷电泄放核心作用。工作接地为电力系统正常运行设置, 如变压器中性点直接接地, 用以稳定系统电位、保障零序保护可靠动作; 保护接地将电气设备外露可导电部分与接地体可靠连接, 防止绝缘损坏时外壳出现危险接触电压, 规避人身触电事故; 防雷接地为雷电流提供低阻抗泄放通道, 限制地电位抬升引发的反击故障。低压配电系统分为 TN、TT、IT 三种接地形式, TN 系统电源中性

【作者简介】沈洋洋 (1991-), 男, 中国江苏南京人, 硕士, 助教, 从事电气工程研究。

点直接接地，设备外露可导电部分通过保护线与接地体相连，TN-S 系统零地线完全分开，适用于民用建筑与精密电子设备场景，TN-C 系统零地线合一，仅适用于三相平衡的工业动力场景；TT 系统电源中性点直接接地，设备外露可导电部分设置独立接地体，适用于户外分散供电场景，必须配套剩余电流保护装置；IT 系统电源中性点不接地或经高阻抗接地，设备独立接地，适用于医院手术室等不允许中断供电的高危场所^[1]。

2.2 防雷装置构成

防雷装置由接闪器、引下线、接地装置三部分串联组成，三者必须形成完整的雷电流泄放通路，任一环节失效都会导致整体防雷功能丧失。接闪器是直接承受雷击的金属部件，包含避雷针、避雷带、避雷网、接闪线等形式，核心作用是通过自身高出被保护物的空间位置，将雷电先导吸引至自身完成引雷，避免雷电直接击中受保护的建筑物、设备与线路，其布置需覆盖被保护物全部防护区域，满足《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010 中滚球法的保护范围校验要求。引下线是连接接闪器与接地装置的金属导体，核心作用是为雷电流提供低阻抗、高通流能力的导流路径，避免导流过程中产生过高感应过电压，需沿建筑外墙均匀对称布置，路径尽量短直，减少弯折。接地装置是埋设于土壤中的接地体与连接线总称，核心作用是将雷电流快速泄放入大地，限制地电位抬升，其与引下线需实现可靠电气连接，保证通流截面满足热稳定要求^[2]。

2.3 关键设计参数

接地与防雷系统的核心控制参数包含防雷等级划分、接地电阻限值、雷电流幅值、冲击电流波形四大类，设计全程遵循“参数决定结构”的核心逻辑，所有结构选型与布置均以参数限值为核心依据。防雷等级划分是设计首要前提，依据《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010，建筑物按重要性、使用性质、雷击事故可能性与后果，分为第一、第二、第三类防雷建筑物，第一类为涉及爆炸危险物质的建筑，第二类为国家级重点文物、大型交通枢纽等建筑，第三类为普通民用与工业建筑，不同等级直接决定后续设计指标取值。接地电阻限值是接地系统核心控制指标，依据《交流电气装置的接地设计规范》GB/T50065-2011，低压配电系统工作接地电阻限值不超 4Ω，10kV 配电网保护接地电阻不超 10Ω，共用接地系统按最严格限值执行，通常不大于 1Ω。雷电流幅值与冲击波形是通流能力设计核心依据，工程通用首次雷击波形为 10/350μs，对应一、二、三类防雷建筑幅值分别取 200kA、150kA、100kA，感应雷击采用 8/20μs 波形，用于浪涌保护器选型，设计需通过参数校验导体热稳定截面^[3]。

3 接地系统设计方法

3.1 接地电阻控制

接地电阻是衡量接地系统故障电流泄放与雷电散流能力的核心指标，其数值大小直接决定接地系统的安全防护效

果与长期运行可靠性，设计的核心目标就是通过理论计算与现场工程措施，将接地电阻稳定控制在现行规范规定的限值以内。接地电阻主要受土壤电阻率、接地极长度、接地极直径以及埋设深度等因素影响，其中土壤电阻率受土质、含水量、温度及压实度影响最为显著，是决定接地效果的先天条件；增加接地极长度、适当加大直径可有效降低电阻值，埋设深度一般不小于 0.8m，需避开冻土层、耕作层及强腐蚀表层，保证接地体工作环境稳定。垂直接地极工频接地电阻计算公式为：

$$R = \rho / (2 \pi L) \cdot \ln(4L/d)$$

式中，R 为接地电阻，ρ 为土壤电阻率，L 为接地极长度，d 为接地极直径。工程上常用降阻方式有增设垂直接地极、延伸水平接地体、敷设低电阻接地模块、使用环保型降阻剂、采用深井接地或扩大接地网面积等，所有方案均依据《交流电气装置的接地设计规范》GB/T50065-2011 执行，在满足电阻限值的同时兼顾环保与耐久性，避免因腐蚀或施工不当导致接地性能逐年下降，确保系统在雷击与故障工况下均能可靠工作^[4]。

3.2 接地装置布置

接地装置布置需结合建筑结构、设备布局与土壤条件综合设计，核心目标是实现雷电流与故障电流的均匀散流，控制地电位差，保障全系统等电位联结。工程中常用布置形式分为环形接地、网格接地与放射状接地三类，环形接地适用于独立建筑与小型配电装置，沿建筑外墙闭合布置，可有效降低边角处的接触电压与跨步电压；网格接地适用于大型变电站、工业厂房与高层建筑，采用纵横交错的水平接地体形成均压网格，网格尺寸按防护等级确定，可实现全域地电位均匀分布；放射状接地适用于户外分散设备与小型用电设施，以设备接地点为中心向外辐射布置，施工便捷且针对性强。接地装置需与建筑结构钢筋、设备基础预埋件、电缆沟支架可靠焊接，水平接地体沿电缆沟与设备基础边缘敷设，垂直接地极沿接地体均匀分布，严禁集中布置，多组接地体间需通过均压带连通，避免局部地电位抬升引发的反击故障^[5]。

3.3 接地材料选取

接地材料的选取核心围绕导电性能、耐腐蚀性能、机械强度与工程经济性四大维度，需结合敷设环境、设计使用年限与系统防护等级综合确定，是保障接地系统长期稳定运行的关键。工程中主流接地材料分为热镀锌钢、铜包钢与纯铜三类，热镀锌钢材料机械强度高、采购成本低，是民用建筑与常规工业项目的首选材料，适用于中性与弱碱性土壤环境，需保证镀锌层厚度不小于 85μm 以满足防腐要求；铜包钢材料兼具钢的机械强度与铜的优良导电性能，高频下集肤效应优势显著，防腐性能远优于镀锌钢，适用于雷击冲击电流主导的防雷接地系统与酸性土壤环境；纯铜材料导电与防腐性能最优，但成本高、机械强度低，仅适用于对接地可靠性要求极高的精密电子设备机房、核电站等特殊场景。材料截面尺寸需按热稳定校验结果确定，截面越大，通流能力与耐腐蚀余量越高，设计使用寿命越长，需在全生命周期成本

与运行可靠性之间实现最优平衡，严禁选用低于规范最小截面要求的材料。

4 防雷系统设计与应用

4.1 接闪器布置

接闪器布置严格遵循《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010 要求，核心分为避雷针、避雷带、避雷网三类，需结合建筑防雷等级、高度与结构特点选型布置。避雷针适用于高耸构筑物与独立设备防护，可采用单支、双支或多支联合布置形式；避雷带沿建筑屋角、屋脊、屋檐等易受雷击部位敷设，是民用建筑最常用的接闪形式；避雷网适用于大面积屋面与重要建筑，网格尺寸按防雷等级确定，一类防雷建筑网格不大于 $5\text{m} \times 5\text{m}$ ，二类不大于 $10\text{m} \times 10\text{m}$ ，三类不大于 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 。工程中优先采用滚球法校验保护范围，对应一、二、三类防雷建筑滚球半径分别为 30m 、 45m 、 60m ，通过滚球法可精确定接闪器安装位置、高度与数量，确保被保护物全部处于保护范围内，无防护盲区，接闪器之间需通过避雷带可靠连通，形成整体接闪体系，接闪器保护范围滚球法校验示意图见图 1。

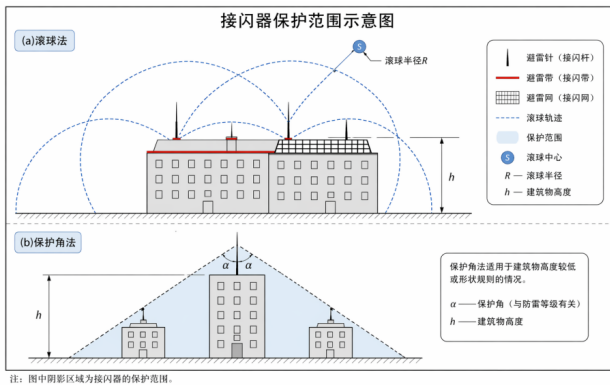


图 1 单支接闪器滚球法保护范围示意图

4.2 引下线设计

引下线设计核心是为雷电流提供低阻抗、高通流的连续导流路径，设计与施工严格遵循 GB50057-2010 规范要求，核心布置原则为路径短直、电气连续、减少弯折，严禁出现直角急弯与向上回弯，避免雷电流通过时因电感增大产生过高的感应过电压。引下线优先沿建筑外墙均匀对称布置，优先利用建筑结构柱内主钢筋作为自然引下线，也可采用热镀锌圆钢或扁钢明敷，一、二类防雷建筑引下线间距不大于 12m 、 18m ，三类不大于 25m ，多根引下线均匀分布可有效降低单根引下线的电流密度，减小感应效应与局部电位升。引下线上端与接闪器可靠焊接，下端与接地装置闭合连通，中间需按规范设置断接卡与均压环，明敷引下线需固定牢固，穿越墙体与楼板时加装保护套管，全程保证电气通路的完整性与可靠性。

4.3 过电压保护配置

电源系统浪涌保护器 SPD 分级配置遵循逐级泄流、逐级限压的核心原则，严格依据《建筑物防雷设计规范》

GB50057-2010 与《低压配电系统电涌保护器第 12 部分：选择和应用导则》GB/T18802.12-2024 执行，按 LPZ0 区到 LPZ3 区的防雷分区，从低压电源进线端到终端设备逐级布置，实现雷电流的分级泄放与过电压逐级限制。本次以二类防雷建筑的综合办公楼配电系统为工程案例，建筑总配电房位于地下一层，地上 12 层为办公区与信息机房，SPD 分级配置位置、核心参数见表 1，各级 SPD 均就近与共用接地网可靠连接，接地引线长度不超过 0.5m ，保证接地回路低阻抗。该系统投运 3 年以来，成功抵御多次感应雷击与电网浪涌冲击，末端设备过电压故障率较改造前下降 98% ，机房精密设备无一次因浪涌损坏，充分验证了分级配置方案的可靠性与有效性。

表 1 SPD 分级配置参数表

分级	安装位置	防雷分区	核心通流参数	电压保护水平 U_p
I 级	地下一层总配	LPZ0A-LPZ1	25kA(10/350 μs)	$\leq 2.5\text{kV}$
	电房低压进线端			
II 级	楼层配电箱进线端	LPZ1-LPZ2	40kA(8/20 μs)	$\leq 1.8\text{kV}$
III 级	机房精密设备电源输入端	LPZ2-LPZ3	20kA(8/20 μs)	$\leq 1.2\text{kV}$

表 1 为 SPD 分级配置参数，遵循“逐级限压、分级泄流”原则，按 LPZ0A-LPZ1 至 LPZ2-LPZ3 分区布置 I、II、III 级 SPD，安装位置从总配电房、楼层配电箱延伸至机房精密设备端。通流参数分别为 $25\text{kA}(10/350\mu\text{s})$ 、 $40\text{kA}(8/20\mu\text{s})$ 、 $20\text{kA}(8/20\mu\text{s})$ ，电压保护水平 U_p 从 $\leq 2.5\text{kV}$ 逐级降至 $\leq 1.2\text{kV}$ ，可有效防护各级浪涌，保障设备安全。

5 结语

本文对电气工程接地与防雷系统的设计规范与实践要点进行了系统性研究，明确了接地分类、装置构成、参数控制及工程实施方法。通过对接地电阻控制、接闪与引下线路径优化、SPD 分级配置的分析，验证了规范设计对提升防雷安全性的重要作用。工程实践表明，合理选用材料、优化布置方式并做好等电位联结，可有效泄放雷电流、抑制过电压。后续设计中应继续严格执行国家标准，结合场地条件精细化设计，持续提高接地防雷系统的可靠性与耐久性。

参考文献

- [1] 张海涛.建筑电气防雷接地系统的设计和防雷措施[J].四川建材,2026,52(03):235-238.
- [2] 陈浩,王刚,渠开发,等.高速公路收费系统防雷接地方案浅析[J].中国交通信息化,2026,(02):139-142.
- [3] 梁正.建筑电气系统防雷接地施工技术[J].安装,2026,(02):39-41.
- [4] 杨浩,刘可欣,夏航,等.分布式光伏发电系统防雷技术体系[J].光源与照明,2026,(01):196-198.
- [5] 张田雨.石油化工装置强电系统防雷接地设计要点及安全性优化[J].石化技术,2026,33(01):158-160.