

建筑电气防雷接地系统的关键技术与工程应用研究

蒲小兵

(上海建工一建集团有限公司安装工程公司, 上海 200080)

摘要 防雷接地系统是建筑电气工程中保障人身安全与设备正常运行的重要组成部分。随着现代建筑规模的扩大和电气系统复杂度的提高, 传统防雷接地系统面临接地电阻降低、等电位连接可靠性提升以及复杂环境下的施工难题等诸多技术挑战。本文基于防雷接地系统的基本原理, 深入探讨了防雷引下线设计优化、接地装置选型与布置、等电位连接实现方法以及智能化监测与维护等关键技术, 并结合不同建筑类型的工程应用案例, 总结关键问题及解决方案。研究表明, 结合新型材料、智能监测技术和大数据分析的现代防雷接地系统, 能有效提高系统的安全性和可靠性。本文对未来防雷接地系统的绿色化、智能化发展方向进行了展望, 以期为相关工程实践提供理论参考与技术支持。

关键词 建筑电气防雷接地系统; 等电位连接; 智能监测

中图分类号: TU89

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.042

0 引言

防雷接地系统是现代建筑电气工程中不可或缺的重要组成部分, 其主要功能是将雷电流通过科学合理的引导和接地装置传导至地面, 避免雷电对建筑物、人员及设备造成危害。随着城市化进程的加速和建筑规模的不断扩大, 建筑电气系统的复杂性与多样性显著提高, 传统防雷接地技术在高层建筑、大跨度建筑及特殊功能建筑中的适用性面临严峻挑战。近年来, 全球范围内雷电灾害频发, 因雷击导致的建筑物损毁和电气设备损坏事件层出不穷, 对生命财产安全构成严重威胁。尽管国内外学者已在防雷接地技术领域开展了大量研究, 并制定了多项标准与规范, 如《建筑物防雷设计规范》(GB 50057-2010)和国际电工委员会(IEC)相关技术标准, 但在工程实践中, 如何有效降低接地电阻、提高等电位连接的可靠性以及解决复杂环境下的施工难题, 仍然是当前研究和工程应用亟需解决的核心问题。基于对防雷接地系统基本原理的深入分析, 本文系统梳理了当前防雷接地系统的关键技术, 包括防雷引下线的设计优化、接地装置的科学选型与布置、等电位连接的实现路径以及智能监测与维护技术。通过实际工程案例, 探讨了不同建筑类型中防雷接地系统的应用现状及常见问题, 总结了相关技术的改进方向和工程优化策略。本研究旨在为建筑电气防雷接地系统的技术升级和工程实施提供理论

支持与实践参考, 推动防雷接地系统向着高效、安全、智能化和绿色环保方向发展, 从而更好地满足现代建筑工程对电气安全的要求。

1 建筑电气防雷接地系统的基本原理

1.1 雷电的成因及危害

雷云中因气流的不断运动, 水滴和冰晶之间产生了剧烈的碰撞和摩擦, 从而导致正负电荷分离。随着电荷的积累, 云层之间或云层与地面之间形成强大的电场, 当电场强度超过空气的击穿极限时, 就会发生放电现象, 形成雷电。雷电以极高的电流强度、巨大的热效应以及强烈的机械冲击力著称, 其破坏力令人瞩目。雷电对建筑物的危害主要体现在三方面: 其一, 强大的雷电流可能通过建筑物结构或电力系统, 对设备造成直接的损坏, 甚至引发火灾; 其二, 雷电释放的巨大能量可能导致建筑结构受损, 如裂缝、脱落等问题; 其三, 雷电的强烈电磁干扰会对建筑物内部的弱电系统, 如通信和信号设备, 产生严重影响。雷电的不可预见性和强破坏性使得防雷接地系统成为建筑电气设计中不可或缺的环节^[1]。

1.2 防雷接地系统的分类与构成

防雷接地系统根据其功能可分为外部防雷系统和内部防雷系统。外部防雷系统旨在直接防御雷击对建筑物造成的破坏, 由接闪器、引下线和接地装置构成。接闪器是外部防雷系统的核心部件, 通过避雷针、避

雷带或避雷网捕捉雷电流并引导至引下线。引下线负责将雷电流传导至接地装置，其布置应尽量垂直且最短，以降低感应电压和阻抗。接地装置是雷电流最终泄放的出口，通过与地面形成低电阻连接，将雷电流迅速分散入地，降低周围环境的电位。内部防雷系统则用于保护建筑物内部设备免受雷电电磁脉冲的影响。其主要组成部分包括等电位连接、屏蔽措施和电涌保护装置（SPD）。等电位连接通过将金属结构、管道、电气设备外壳等联结为一个整体，从而减少雷击产生的电位差。屏蔽措施可以有效削弱雷电电磁脉冲的影响，而电涌保护装置则用于限制过电压的幅度，从而保护电气设备的安全^[2]。

1.3 防雷接地系统的工作原理

防雷接地系统的工作原理可以概括为捕捉、传导和释放雷电流三个阶段。首先，外部防雷系统通过接闪器捕捉雷电流。当雷电靠近建筑物时，接闪器通过其突出位置和尖端效应，将雷电引导至安全的传导路径，从而避免雷电直接击中建筑物的其他部分。接闪器的设计需要综合考虑建筑物的类型、高度以及周边环境的特点。其次，雷电流通过引下线传导至地面。引下线作为雷电流的传输通道，其设计需尽量缩短路径，并避免急转弯或多次分支，以降低雷电流传导时的电阻和产生的电磁干扰^[3]。最后，雷电流通过接地装置泄放入地。接地装置通过与地表形成低电阻的连接，将雷电流迅速扩散至地面，并降低周围土壤的电位，从而保护建筑物和人员的安全。高效的接地装置设计需要满足规范要求，如接地电阻通常不得超过 10 欧姆，以确保雷电流能够迅速而彻底地泄放。

2 建筑电气防雷接地系统的关键技术

2.1 防雷引下线的设计与优化

防雷引下线是连接接闪器与接地装置的关键通道，其作用在于将接闪器捕捉的雷电流迅速传导至地面，避免雷电流在传导过程中对建筑物和设备造成危害。设计中应特别关注引下线的布置路径与电气连续性，以减少雷电流传导的阻抗和电磁干扰。在高层建筑中，为减少雷电流的分流和电磁感应效应，常采用多条引下线均匀分布的方式，并尽量布置在建筑物外墙的垂直方向上。优化引下线设计的关键在于尽量缩短路径、减少急转弯和尖角，以避免雷电流传输过程中产生过大的感应电压^[4]。为了提升系统的耐用性和安全性，引下线的材质通常选用耐腐蚀性强、导电性能好的铜材或镀锌钢材。在施工中需严格保证引下线与接闪器、接地装置的电气连接可靠性，并采用焊接或紧固连接

的方式以确保长期稳定运行。在某些特殊场景下，如高湿度或高腐蚀性环境中，可通过外加防护层或使用特殊涂层材料来增强引下线的抗腐蚀性。

2.2 接地装置的设计要点与选材

接地装置是雷电流最终泄放的出口，其设计直接关系到防雷系统的性能和效率。接地装置的主要功能是将雷电流迅速扩散到地表，并将接地电阻控制在合理范围内。设计中，接地装置的类型选择和结构布置需根据建筑物的功能、场地条件以及土壤电阻率综合确定。在常见的接地装置类型中，水平接地体和垂直接地体的组合是应用最广泛的形式，可有效降低接地电阻并增强接地装置的散流能力。在场地条件较差的情况下，如土壤电阻率较高时，可通过增大接地体尺寸、增加接地体数量或采用接地模块等手段进行优化。

选材方面，接地装置需要具备优异的导电性和抗腐蚀性，常选用镀锌钢材、铜材或铜覆钢材料。在高腐蚀性环境中，应优先选用抗腐蚀能力更强的纯铜材料或经过特殊防腐处理的合金材料。施工中，应确保接地装置的安装深度和周围土壤的密实度，以减少接地装置的接触电阻，并定期检查和维护其工作状态。

2.3 等电位连接技术及其实现路径

等电位连接技术是内部防雷系统的重要组成部分，其主要目的是通过将建筑物内的金属构件、设备外壳和电气系统连接成一个等电位体，以减少雷电流引发的电位差，保护人员和设备的安全。等电位连接分为总等电位连接、局部等电位连接和功能等电位连接三种形式。

在实现总等电位连接时，通常通过在建筑物基础部位设置总接地端子，将接闪器、引下线、接地装置以及建筑物内的主要金属构件和电气系统统一连接起来，确保整体电位的一致性。局部等电位连接则主要应用于建筑物内部的功能性区域，如配电室、机房和卫生间等，通过将局部设备的外壳和金属管道连接到局部等电位端子，实现局部区域的电位均衡。功能等电位连接则针对特殊设备或系统的保护需求，如通信设备和电子系统等，其设计需结合电磁屏蔽措施和过电压保护装置，确保设备的稳定运行。

3 防雷接地系统的工程应用研究

3.1 不同类型建筑的防雷设计案例分析

以高层建筑为例，由于其结构高度较高，直接雷击的风险显著增加，因此防雷设计通常采用避雷针与避雷带结合的形式，确保整个建筑顶部的保护范围覆盖完整。引下线的的设计则以等间距布置为原则，配合

内部金属结构作为自然引下线,以减小雷电流传输的阻抗。一些标志性高层建筑在设计中通常采用多功能接闪器,并通过设置大型水平接地网有效分散雷电流,实现优良的防雷效果。

工业厂房的防雷设计则需重点考虑雷电对内部设备和生产工艺的影响。一些化工厂房中存在易燃易爆物质,雷击可能导致严重的生产安全事故^[5]。针对这一情况,防雷设计不仅需要在外设置可靠的接闪系统,还需加强内部电涌保护装置的布置,确保弱电系统和控制设备的安全运行。对于特殊用途建筑,如医院、数据中心等,其防雷设计除常规保护措施外,还需重点考虑电磁屏蔽与功能等电位连接。如在大型医疗机构的防雷设计中,通过在关键设备区域增设局部等电位连接装置,并采用全方位屏蔽措施,可有效避免雷电电磁脉冲对精密医疗设备的干扰,确保设备运行的稳定性和患者的安全。

3.2 防雷接地系统施工中的关键问题与解决措施

施工是防雷接地系统设计落地的关键环节,其质量直接影响系统的防雷效果。在施工过程中,常见的关键问题包括接地装置安装不规范、引下线连接不牢固以及施工质量受环境影响等。接地装置的施工中,常出现因土壤回填不密实导致接地电阻超标的问题。为解决此类问题,应在施工前进行土壤电阻率的全面测量,并结合现场条件合理选择接地形式和降阻措施。在施工过程中,通过分层夯实回填土壤,并添加降阻剂,能够有效改善接地电阻性能。接地装置与引下线的连接需采用可靠的焊接方式,并使用防腐材料对焊接部位进行处理,以提高系统的长期稳定性^[6]。

引下线施工中,应尽量减少线缆路径的急转弯和分支,同时保证其与建筑物金属构件的良好电气连接。例如:在某项目施工中,由于引下线路径规划不当,导致雷电流分流明显。通过重新优化布线方案,减少弯曲点并增设均压环,成功降低了系统的阻抗并改善了电磁干扰情况。

3.3 应用中的典型问题与优化对策

针对接地电阻升高的问题,通常是由于接地装置受环境变化影响,导致接地体与土壤接触不良或腐蚀严重。解决该问题的关键在于定期对接地装置进行检测和维护,同时在设计阶段加强接地装置的防腐处理,如采用耐腐蚀材料或在接地体外部增加防护层。电涌保护装置的失效通常源于长期使用后元器件老化或雷击作用次数超出其承受范围。对于这种情况,可通过智能监测系统实时监控装置的工作状态,并在必要时

及时更换。此外在选择电涌保护装置时,应根据建筑物的防雷等级和实际需求选择合适的产品,以确保保护效果^[7]。

等电位连接效果不佳的问题多与连接点缺失或连接不牢有关。在实际操作中,应全面检查系统的等电位连接节点,确保连接点的完整性和导通性。例如:在通信设施项目中,通过加强对局部等电位连接的检查和优化布线方案,可有效解决雷电电磁脉冲对通信设备的干扰问题。

4 结束语

建筑电气防雷接地系统作为保障建筑物及其内部设备免受雷击危害的重要屏障,在现代建筑领域中发挥着不可或缺的作用。通过对防雷接地系统基本原理的深入探讨、关键技术的分析以及工程应用的研究,可以清晰地认识到:科学的设计、规范的施工、严格的测试与评估,是确保系统安全性与可靠性的核心所在。随着建筑物功能需求的日益复杂和雷电灾害应对标准的不断提高,防雷接地系统的技术发展也逐步迈向智能化和集成化。在未来的实践中,应进一步加强技术创新与工程应用的结合,通过引入新材料、新技术与新设备,不断优化系统的设计与施工方法,提高系统的防护效果和使用寿命。此外,防雷接地系统作为一项复杂的工程体系,需始终以安全为核心,以科学为基础,强化各环节的协调与管理,从而实现经济性、可靠性与安全性的平衡。通过对关键技术的持续改进与应用案例的总结推广,可以进一步提升建筑电气防雷接地系统的整体水平,为现代建筑电气工程提供更可靠的防护方案,也为建筑物及其内部人员与设备的安全创造更加坚实的保障。

参考文献:

- [1] 牛涛. 浅谈智能建筑电气设备安装技术[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(S1):88-90.
- [2] 杨永康. 建筑电气施工中低压电气安装技术的运用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(34):10-12.
- [3] 刘惠文, 张莹, 邓雅琦, 等. 建筑电气工程中的防雷接地技术及其应用研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(20):36-38.
- [4] 张艳, 朱文昊. 建筑电气在高层建筑中的运用[J]. 建筑科学, 2024, 40(09):203.
- [5] 同[4].
- [6] 曾亮. 建筑电气工程中防雷接地系统的施工技术[J]. 散装水泥, 2024(04):98-100.
- [7] 王奉来. 防雷接地施工技术在建筑电气安装中的应用[J]. 电气技术与经济, 2024(08):140-143.