

基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统在线检测与预警技术研究

文 / 孙琳 南京昆仑防雷装置检测中心有限公司

摘要：本文围绕基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统进行探讨，从系统构建、核心技术到在线检测与预警路径进行了系统梳理。重点分析了雷电电流监测、电场强度感知、接地电阻检测、环境参数采集、异常数据识别及雷电活动预测等关键技术环节，展示其在提升建筑防雷精度、响应速度及预测能力方面的优势，数据案例显示该系统在雷电预警准确率、响应时效性及设备状态感知等方面均表现出良好效果，显著提升了智慧建筑的安全管理水平，文章旨在为智慧城市建设背景下的防雷系统设计提供技术参考与实践启示，推动建筑安全从静态防护向动态智能升级。

关键词：物联网；大数据分析；智慧建筑；防雷系统

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.032

引言

随着智慧城市建设的不断推进，建筑防雷系统面临着更高的智能化与精准化要求，传统防雷系统多依赖于被动防护与定期巡检，存在反应滞后、预警能力弱、维护成本高等问题，物联网与大数据分析技术的融合应用，为智慧建筑防雷系统的创新提供了强大支撑，通过部署传感器网络实时监测雷电电流、电场强度、接地电阻等关键参数，系统能够实现动态感知和预警；同时大数据平台可对历史雷击数据、环境参数进行多维度分析，优化防雷策略与设备布局，提升建筑整体安全水平，此类系统不仅实现了从“事后处置”向“事前预警”的转变也为建筑设施管理提供了数据支撑和智能决策基础，是智慧建筑安全体系的重要组成部分。

一、基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统的概述

基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统是融合现代信息技术、传感器网络与智能分析模型构建的新型安全防护体系，该系统通过在建筑关键节点部署电磁场传感器、电流传感器、接地监测装置等设备，实时采集雷电活动数据及建筑电气参数，并通过物联网技术实现数据的高速传输与远程监控，系统平台可对采集数据进行实时处理，识别潜在的雷击风险，自动触发预警机制，如警报提示、电源切断、人员疏散指令等，保障人员和财产安全，同时该系统具备远程可视化管理功能，便于运维人员对设备状态、报警记录和防雷设施的运行效率进行动态掌控，大幅提升响应速度与管理效能。在大数据分析的支撑下，智慧防雷系统能够对历史雷击事件、气象变化、地理特征等多源异构数据进行深入挖掘与建模，实现精准的风险评估与预测，例如通过对不同季节雷电频发区域的数据分析可优化避雷针布设与接地系统设计，提升防护效果；通过机器学习算法分析建筑物防雷设施长期运行数据，可发现隐患趋势，提前预警设备

老化或故障，此外该系统支持与智慧城市平台互联互通，实现气象局、电力系统等多部门数据共享，为城市整体防灾减灾工作提供支持，总体而言基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统不仅提升了建筑防雷的科学性与智能化水平，也标志着建筑安全管理模式的数字化、智慧化转型^[1]。



图1 智慧建筑防雷

二、基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统在线检测与预警技术分析

（一）雷电电流监测

在智慧建筑防雷系统中，雷电电流监测是实现在线检测与预警的核心环节之一，该技术依托物联网架构，在建筑物避雷引下线、接地体等关键位置布设高精度雷电流传感器，如罗氏线圈或分流器式电流传感器，实时采集雷击瞬时电流值，通过无线或有线方式将数据传输至中央处理系统实现对雷电流强度、波形、持续时间等关键特征的动态监测，例如在某大型商业综合体试点项目中系统部署了12个电流传感器，监测数据显示该区域在5月至9月间累计记录雷击事件21次，最大电流峰值达58kA，通过对实时数据的收集与分析系统不仅可以识别是否发生雷击，还能精确定位雷击点，并判断防雷

设施是否正常工作，有效提升了防护反应的时效性和针对性，依托大数据平台对雷电电流数据的深度分析能够为建筑防雷策略优化提供决策支持^[2]。通过对采集的电流幅值、冲击次数、时间间隔等参数建立数据库，并应用聚类分析、回归模型等算法，可以揭示雷击的时空分布规律，例如通过对近3年某地区建筑雷击电流数据的统计分析发现，雷电流峰值在35kA以下的雷击占比超过70%，但造成设备损坏的雷击多集中在50kA以上，这为调整建筑防雷系统的承载能力和响应机制提供了科学依据，此外电流监测数据还能与气象数据叠加分析，实现雷击高发时间段的预测预警，从而提前激活相关防护机制如断电、警报和人群疏散等，有效降低人员伤亡与财产损失，因此雷电电流监测不仅是智慧防雷系统的技术基石，更是推动防雷从“静态防护”向“动态感知与主动预警”转型的关键环节。

(二) 电场强度感知

电场强度感知是智慧建筑防雷系统中实现提前预警的重要技术环节，该技术主要依赖安装在建筑顶部或周围区域的电场强度传感器，用以监测大气中电场变化情况，尤其是在雷电天气来临前出现的强电场异常，传感器通过高频采样（如每秒10次以上），实时记录电场强度的绝对值与变化率，并将数据通过物联网平台传送到中央控制系统，系统会依据设定的阈值自动识别电场异常，例如当电场强度持续超过±10kV/m且增长速率高于50V/m/s时，系统即判定为潜在雷暴临近信号，在某写字楼试点中通过部署5个电场传感点，系统在2024年夏季成功捕捉17次雷暴前兆，平均提前预警时间达6分钟，为相关电力系统切换及人员疏散赢得了关键反应窗口^[3]。通过对大量电场强度历史数据进行归集与建模分析，可以有效提升雷电预警的准确性与提前量，数据分析表明不同类型雷暴系统（如积雨云、高空寒流）所引起的电场变化模式各异，系统可通过训练支持向量机（SVM）、决策树等机器学习模型，对不同电场变化曲线进行分类识别，例如在分析某沿海城市2023年4月至10月的雷电数据时发现，电场异常从-8kV/m快速上升到+12kV/m，并伴随1分钟内波动频率超过25次的情形，80%以上在10分钟内触发实际雷击，系统基于此模型可将预警准确率从原有的75%提高至92%以上，显著增强了防雷响应的科学性与及时性，综上电场强度感知不仅为智慧建筑防雷系统提供了关键预判依据，更通过与大数据分析技术融合，推动了防雷技术由“被动响应”向“主动预警”的根本转变。

(三) 接地电阻检测

在智慧建筑防雷系统中，接地电阻检测是确保雷电流快速疏导并保障设备安全运行的重要技术环节，传统检测方式依赖人工定期测量不仅周期长且存在监测盲区，而基于物联网的在线检测系统则可实现接地电阻的

连续动态监控，该系统通过安装在接地装置上的电压电流监测模块，采用三极法或电桥法原理，在不影响正常防雷功能的前提下，对接地系统的阻值进行实时检测，并将数据同步传输至云平台^[4]。以某高层住宅楼为例，在部署6组接地电阻在线监测装置后，系统实现了对每小时接地电阻值的采样记录，数据显示7月份雷雨频繁期间，有3次接地阻值异常上升至42Ω，远高于安全上限的10Ω，随后系统自动报警，提醒运维人员检查接地极腐蚀情况并进行更换，通过对接地电阻变化数据进行长周期、多维度的大数据分析可有效建立起建筑防雷系统的预警模型与隐患识别机制。大量案例分析表明，建筑物接地电阻呈现明显的季节性波动，尤其在夏季高温多雨时期，由于土壤含水量变化与电解腐蚀加剧，接地电阻易发生骤变，在某写字楼三年监测数据中，系统采集的电阻数据表明，接地电阻在湿润季节平均为6.3Ω，而在干燥季节上升至15.7Ω，个别老化接地网甚至超过30Ω，通过趋势分析与预测模型（如ARIMA模型）结合使用，系统能够提前预判接地性能退化的风险点，实现预警推送与检修建议，避免因接地失效引发雷击次生灾害，因此接地电阻在线检测不仅是防雷系统运行状态监控的基础，也是实现建筑安全运维智能化、数据化管理的核心技术支撑。

	湿润季	干燥季节	个别老化接地网
接地电阻	6.3 Ω	15.7 Ω	30 Ω

表1 电阻数据

(四) 环境参数采集

在智慧建筑防雷系统中，环境参数采集是实现多维度风险识别与精准预警的重要基础，通过在建筑周边部署温湿度传感器、气压传感器、风速风向仪、降雨量计、光学雷电探测器等多种感知设备，系统可对可能影响雷电活动的环境因素进行实时监测，采集的数据通过物联网平台实现统一汇聚与上传，构建起覆盖全天候、多点位的环境感知网络，例如在某智慧园区布设的25个环境监测节点中，每分钟平均采集数据量达50MB，涵盖气象六要素及电磁背景噪声指标，系统可实现1秒内数据同步率高达98%，通过对雷暴发生前的气压快速下降、空气湿度急剧上升及风速突变等指标进行综合分析，系统可以判断雷暴临近趋势，为后续的雷电预警赢得关键响应时间。基于采集的海量环境参数数据，结合大数据分析技术，系统能够构建多元气象特征与雷击风险之间的预测模型，提升预警的科学性与前瞻性，例如在对某沿海城市2021至2023年雷暴期间的环境数据分析中发现，雷击事件在气温28℃以上、相对湿度超过80%、气压下降幅度大于5hPa/小时的条件下发生概率提升了73%，在此基础上系统利用决策树与神经网络算法构建风险评

分模型，实时计算建筑周边雷击可能性得分，并将预警等级划分为“低一中一高”三级，系统一旦模型输出值超过设定阈值将联动触发其他监测模块如电场强度感知与雷电电流检测模块，形成协同预警机制，显著提升响应效率与准确率，由此可见环境参数采集不仅为雷电监测提供外部支撑数据，更通过与大数据模型融合，实现了防雷系统由“被动监测”向“主动预测”的战略升级。

(五) 异常数据识别

在智慧建筑防雷系统中，异常数据识别技术是保障预警系统准确性与及时性的关键环节，由于系统中涉及的数据类型多样、采集频率高，包括电流、电压、电场强度、接地电阻、环境气象参数等，必须通过智能化手段及时识别潜在异常，以避免预警失效或误报，系统通常采用基于规则匹配与机器学习算法相结合的方法进行识别，例如通过设定电场强度上限（±15kV/m）、雷电流峰值上限（100kA）等阈值，当实时数据超出安全范围时自动标记为异常，同时引入孤立森林（Isolation Forest）、K-means 聚类算法，对高维传感器数据进行无监督学习建模，从而发现不符合常规模式的隐含异常。在一项对某综合体 2023 年 7 月—10 月采集的超过 300 万条数据分析中，系统自动识别出约 2.6 万条电场变化突发异常记录，平均每日触发预警机制 5 次，误报率控制在 1.3% 以内，对异常数据进行深度分析不仅有助于提升系统自适应能力，也为防雷设施维护和风险决策提供重要依据。通过统计异常数据的分布特征可以判断设备是否存在稳定性问题，或外部环境是否处于异常状态，例如通过对雷电电流异常数据的聚类分析发现高频率小电流异常（小于 10kA）集中出现在建筑物靠近高压变电站区域，经现场核查为电磁干扰造成，从而调整算法参数，排除非雷击异常，有效减少误报；另一方面利用时间序列分析工具如 LSTM 神经网络，对异常趋势进行预测，可以提前识别潜在风险事件的演化路径，例如某次预测模型在连续 3 天发现电场异常上升趋势后，准确预判了局地雷暴生成，并提前发出橙色预警，因此异常数据识别不仅是智慧防雷系统智能化核心的体现，也推动预警技术由“被动监测”向“智能学习”进化。

(六) 雷电活动预测

在智慧建筑防雷系统中，雷电活动预测是实现超前预警与风险规避的关键技术，该技术依托物联网平台采集的多源数据，包括电场强度、雷电流、接地电阻、气温、湿度、气压等参数，结合气象卫星、雷达图像和历史雷击记录，构建起多维度的数据模型，系统通过数据融合与特征提取可采用时间序列分析（如 ARIMA）、回归模型、贝叶斯网络等方法，对雷电活动的时间、强度与空间分布进行预测，在某智慧产业园区的试点系统中接入了国家气象局的实况雷暴数据和本地实时传感数据，通过模型训练，雷电发生前 15 分钟的预警准确率由传统模型的

76.5% 提升至 91.2%，此外系统还能识别不同类型的雷电活动（如云地闪、云间闪），实现更具针对性的建筑防护响应策略，雷电活动预测不仅依赖实时数据处理，还需对大量历史数据进行建模分析，从而掌握雷电的时空分布规律与诱发条件。通过对过去五年某南方城市雷电天气的监测数据分析发现，雷击事件集中发生于 5 月至 9 月，且高发时段多为下午 14:00 至 18:00 之间，占全年总雷电事件的 63%。在此基础上，系统采用支持向量机（SVM）与深度学习算法（如 LSTM）构建雷电风险评估模型，对即将到来的雷暴进行概率预测，并将结果输出为多级风险预警（低、中、高、极高），例如在 2024 年 8 月的某次雷雨过程前 3 小时，系统通过异常电场增强、气压快速下降和湿度上升三重指标组合，预测雷暴形成概率达 87%，最终提前发布黄色预警，为现场配电系统断电及疏散准备赢得充足时间，由此可见雷电活动预测技术不仅提升了防雷系统的主动性和智能性，更为智慧建筑的整体安全防护提供了有力的数据支撑与决策依据。

	传统模型	现有模型
雷电发生前 15 分钟的预警准确率	76.5%	91.2%

表 2 预警准确率

结语

随着智慧城市和建筑智能化进程的加快，传统防雷体系已难以满足复杂环境下的安全管理需求，基于物联网与大数据分析的智慧建筑防雷系统不仅突破了“被动防御”的技术瓶颈，更实现了“主动感知、智能预警、动态防控”的现代化转型，通过多维传感器实时采集雷电流、电场强度、接地电阻及环境参数，系统能够精准识别风险源，并依托大数据分析技术构建预测模型，为防雷策略优化提供科学依据，在提升建筑物防雷安全系数的同时也显著增强了系统的管理效能和响应速度，未来随着算法持续优化与技术融合加深，该类系统将在城市建筑、电力基础设施、高端园区等关键领域发挥更大价值，为公共安全保驾护航。

参考文献

[1] 王彬彬, 戴天鹰, 顾凯华, 等. 基于物联网的智慧建筑能效管理技术 [J]. 建筑电气, 2020, 39(5): 5.
 [2] 洪福成. 基于物联网技术的智慧城市应用探讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022.
 [3] 张栋, 任会峰. 基于云雾边的智慧低碳建筑信息系统设计 [J]. 设计, 2023, 8(2): 8.
 [4] 何纪杨, 陈童. 物联网技术在智能建筑中的应用研究 [J]. 中国新技术新产品, 2023(2): 59-61.

作者简介: 孙琳, 1987.8, 女, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 防雷检测。