

探讨绝缘子自爆检测的无人机电力巡检系统设计

颜奕 吴兰萍

萍乡市华瑞电瓷电器有限责任公司

摘要：电力巡检是电力系统中一项极其重要的工作，为了提升工作效率，强化巡检效果，需要开发一套无人机电力巡检系统，用来监测绝缘子自爆现象，确保电力系统安全运行。文章分析了绝缘子自爆和检测流程，提出了无人机电力巡检系统设计方案，并从无人机电力巡检管理端软件设计和终端模块设计两方面展开了深入探讨，旨在更好地监测绝缘子自爆故障，提升电力巡检效果。

关键词：绝缘子自爆检测；无人机；电力巡查；系统设计

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.05.089

引言

电力系统作为现代社会不可或缺的基础设施之一，对于能源的稳定供应和社会运行至关重要。然而，随着电力设备规模的不断扩大和复杂性的增加，传统的巡检方式逐渐显露出效率低下和安全隐患的问题。为了应对这一挑战，无人机技术在电力巡检领域崭露头角，为巡检任务带来了全新的解决方案，有利于快速发现自爆故障，及时采取解决措施。

一、绝缘子自爆

绝缘子自爆是电力系统中一种常见的故障现象，指的是绝缘子在运行过程中因各种原因导致自身爆裂的现象。绝缘子在电力系统中起到隔离电气设备的作用，因此其正常运行对系统的稳定性至关重要。然而，绝缘子会因为电气因素、机械因素和环境因素等产生自爆现象。电气因素指的是电压暴涨、电弧击穿等，这些因素导致绝缘子内部承受巨大电力压力而发生自爆；机械因素涉及绝缘子的结构强度和材料质量，如果存在制造缺陷或长时间的机械振动，绝缘子可能发生损坏；环境因素如恶劣天气、污染物沉积等也会对绝缘子的性能造成不良影响，从而增加了自爆的风险^[1]。绝缘子自爆主要体现在外观形态的改变，如绝缘子表面出现明显的裂纹、碎裂或变形。此外，系统中可能会出现电压异常、电流波动等电气特征的异常情况。通过对这些特征的观察和监测，可以及时发现绝缘子自爆的迹象，从而采取有效的维修和处理措施，确保电力系统的正常运行。

二、绝缘子自爆检测流程

绝缘子自爆检测流程是为了及时发现和处理绝缘子自爆问题，确保电力系统的正常运行而设计的一系列步骤。该流程主要包括预检测、实时监测和后期处理三个关键环节。首先，预检测是绝缘子自爆检测流程的起始

阶段。在这个阶段，系统会通过定期的维护和巡检来评估绝缘子的整体状况。通过外观检查、红外热像检测等手段，识别绝缘子表面的裂纹、变形或其他异常特征。此外，还可以借助先进的仪器设备，对绝缘子内部进行声波或超声波检测，以提前感知潜在的故障迹象。其次，实时监测是绝缘子自爆检测流程的关键环节。通过在电力系统中部署各类传感器和监测设备，实时监测绝缘子的运行状态。其中，传感器可以测量电气特性如电流、电压的波动，检测温度升高等异常情况，从而迅速响应潜在的自爆风险。同时，利用先进的通信技术，将监测数据传输至中央监控系统，实现对电力系统全局的实时监测^[2]。最后，后期处理是绝缘子自爆检测流程的总结和响应阶段。当监测系统发现绝缘子存在自爆风险时，会及时发出警报，并将详细的故障信息传递给运维人员。运维人员根据预先设定的应急计划，迅速响应并采取必要的维修或更换措施，以降低自爆风险，确保电力系统的连续运行。

三、无人机电力巡检系统设计方案

（一）无人机电力巡检功能

无人机电力巡检系统的功能设计旨在实现对电力设备的高效监测和巡检，确保电力系统的安全和可靠运行。主要功能涵盖了任务制定、数据传输、结果存储和信息呈现等关键步骤，使得整个巡检过程能够协调有序地进行。（1）由管理端向终端发送巡检任务是整个系统的任务制定阶段。通过Web页面，管理人员可以方便地设定巡检任务的具体要求和巡检路径。这一过程利用直观的图形化界面，使得任务设定更加灵活和便捷。制定好的任务将被发送到后端服务器，为后续的任务调度和数据存储提供基础。（2）任务数据的存储和传输是实现任务下发的关键环节。后端服务器采用Mysql数据

库，将任务数据进行存储，以便后续的管理和分析^[3]。借助4G数据网络，任务可以及时传送到终端无人机。这一环节的高效完成对于保障任务的及时性和准确性至关重要，尤其是在应对紧急巡检任务时。（3）终端无人机接收到任务后，将任务数据存储于SQLite数据库。由于在巡检过程中会遇到通信中断的情况，采取这样的设计能提高终端设备的自主性和离线工作能力。同时，SQLite数据库的轻量级特性也有助于减小系统的资源占用，提高运行效率。（4）巡检任务结束后，终端无人机将巡检结果存储于本地的SQLite数据库。这一步骤的设计考虑到了在巡检现场通信不稳定的情况，确保了巡检数据的完整性。随后，巡检结果会通过通信手段传回服务器，为后续的结果分析和维修决策提供依据。（5）服务器将MySQL数据库中存储的结果发送到浏览器中通过Web页面呈现。通过直观的可视化界面，管理人员可以方便地查看巡检结果，分析设备状态，及时发现问题并采取相应措施，这种信息呈现方式不仅提高了数据的可读性，也为运维人员提供了直观的决策支持。

（二）无人机电力巡检架构

无人机电力巡检系统架构包括无人机端、终端设备以及后台服务器，这些设备共同形成了一个紧密协作的体系。首先，无人机搭载各类传感器和相应的飞控系统，具备自主飞行和实时数据采集的能力。采用先进的导航系统，如GPS和惯性导航系统，确保无人机能够精准飞行至指定巡检区域。其次，终端设备包括通信模块、数据存储和传感器等组件。通信模块负责与无人机端进行实时数据传输，确保任务指令的及时下达和巡检结果的即时回传；数据存储模块采用轻量级的SQLite数据库，用于本地任务数据的存储，提高终端设备的自主性和离线工作能力；终端设备搭载必要的传感器，如摄像头和其他环境监测设备，以获取更全面的巡检数据^[4]。最后，服务器端通过分布式计算和大数据处理技术，实现对大量数据的高效处理和分析。服务器负责将最终的巡检结果通过Web页面呈现给管理人员，以便其及时了解设备状态和做出决策。

四、无人机电力巡检系统设计

（一）无人机电力巡检管理端软件设计

1. 软件结构：

在管理端软件的MVC软件架构中，各个层次担负着特定的责任，协同工作以实现无人机电力巡检系统的

有效管理。

表现层（View）：表现层是用户与系统交互的界面部分，负责呈现用户友好的界面，以便用户能够直观地与系统进行互动。在无人机电力巡检系统的管理端软件中，表现层包括任务管理页面、地图展示界面、数据分析图表等。这些界面通过图形化和直观的设计，使得管理人员能够轻松地设定巡检任务、查看巡检进度，并获取系统产生的各类报告和图表。

业务逻辑层（Controller）：业务逻辑层是系统的核心，负责处理用户的操作请求和实现系统的业务逻辑。在管理端软件中，业务逻辑层包括任务调度、用户权限管理、系统配置等功能。当用户在表现层进行操作时，业务逻辑层接收到请求并进行相应的处理，包括任务分配给无人机、巡检数据的处理、异常情况的处理等^[5]。

数据访问层（Model）：数据访问层负责管理端软件与后端数据库的交互，实现数据的读取、写入和更新等操作。这一层次通过定义数据访问接口，屏蔽了底层数据库的细节，使得业务逻辑层能够方便地进行数据操作而不关心数据库类型和结构。在管理端软件中，数据访问层的功能包括从数据库中检索任务信息、保存巡检结果、更新用户信息等。

数据库：数据库是整个系统的持久化存储部分，负责存储任务、用户信息等关键数据。在管理端软件中，数据库包括任务表、用户表、巡检结果表等。通过合理的数据库设计，系统能够高效地进行数据存储和检索。常见的数据库系统如MySQL、PostgreSQL等，通过SQL语言进行数据操作。数据库的设计需要考虑数据的一致性、完整性和安全性，以确保系统数据的可靠性和稳定性。

2. Spring Boot框架：

Spring Boot框架是一种基于Spring框架的快速开发框架，通过提供一系列的开发工具和约定，极大地简化了软件开发的流程。Spring Boot的特点之一是约定优于配置，通过默认配置和自动化处理，减少了开发者需要手动配置的工作量。同时，Spring Boot支持各种常见的开发场景和组件，包括数据库访问、事务管理、安全性等，使开发者能够更轻松地集成这些功能而不必重复造轮子。嵌入式的Web服务器是Spring Boot的又一个亮点，例如内嵌的Tomcat或Jetty。开发者无须单独

配置和部署一个外部的Web服务器，而是直接在应用中嵌入一个轻量级的服务器。

3. 基于Ajax的页面刷新：

Ajax是一种通过异步通信方式与服务器交互数据的技术，其特点是在不重新加载整个页面的情况下更新部分页面内容。通过Ajax，管理端软件能够实现无须刷新整个页面即可获取最新任务和巡检信息的功能。这种异步通信的方式使得用户可以在进行任务管理和监控的同时，不会感受到页面的明显刷新延迟，提升了用户体验的流畅性。此外，Ajax技术允许在后台异步获取数据，从而减少了不必要的网络开销，加速了数据的传输和加载过程。

4. 基于百度地图API的地图实现：

为了直观地展示任务和巡检的地理位置信息，管理端软件集成了基于百度地图API的地图实现。通过地图，管理人员可以清晰地查看巡检任务的分布情况、无人机当前位置以及巡检结果的地理信息。百度地图API提供了丰富的地图服务和交互功能，为用户提供了直观的空间视图，方便管理人员更好地了解和操作系统^[6]。

（二）无人机电力巡检终端模块设计

无人机电力巡检终端模块设计涵盖了多个关键模块，旨在实现对无人机任务的高效执行和数据的及时处理。

一是，用户登录模块。用户登录模块是终端模块设计的入口，通过该模块，巡检人员可以进行身份验证，确保只有授权人员可以访问巡检系统。这一模块通常包括用户名和密码的输入验证，也可以结合多因素认证以提升系统的安全性。成功登录后，用户可以访问巡检任务、查看历史记录等功能。

二是，任务查询模块。任务查询模块使巡检人员能够查看当前任务和历史任务记录。通过这一模块，巡检人员可以获取任务的详细信息，包括巡检区域、巡检时间、设备信息等。任务查询模块还可能提供任务状态的实时更新，确保巡检人员随时了解任务进度和当前状态。

三是，结果上传模块。结果上传模块是终端模块中的核心，通过这一模块，巡检人员可以将采集到的巡检数据、图像或视频等上传至服务器，确保了在巡检过程中产生的关键数据能够及时传送至后台服务器进行处理和分析。结果上传模块需要具备高效的数据传输机制，

以保障数据的实时性。

四是，地图定位模块。地图定位模块是终端模块的辅助部分，通过集成GPS等定位技术，可以实时显示无人机当前的地理位置，帮助巡检人员追踪无人机的飞行路径，确认无人机是否按照预定航线进行飞行。地图定位模块还可以结合任务查询模块，将任务区域和无人机位置直观地展示在地图上，提供更清晰的任务执行视图。

五是，通信模块。通信模块是保证终端与管理端之间实时通讯的核心组件。该模块通过4G、5G或其他通信技术，将终端采集到的数据、巡检结果传送至后台服务器。同时，它也负责接收来自管理端的任务指令和实时监控信息，确保巡检任务的及时调度和监督。

六是，天气查询模块。天气查询模块通过与气象数据源的集成，使巡检人员能够获取巡检区域的实时天气信息。这一模块有助于巡检人员在巡检任务中更好地应对不同天气条件，提高任务的安全性和有效性。

结束语

综上所述，无人机电力巡检系统的设计借助先进的技术和合理的架构，实现了高效、准确的电力设备监测和巡检。绝缘子自爆是电力系统中常见的一种故障现象，通过采取绝缘子自爆检测技术，系统能够及时发现潜在的故障风险。为了进一步提升电力系统的安全运行性能，需要建立一套完整的绝缘子自爆检测的无人机电力巡检系统，以期提升电力设备巡检效率、保障系统安全运行，为电力行业的现代化管理提供重要的解决方案。

参考文献

- [1] 苏凯第. 四旋翼无人机电力巡检智能系统的研究[D]. 山西大学, 2023.
- [2] 卢卓. 基于无人机巡检图像的架空线路绝缘子状态感知[D]. 中国矿业大学, 2023.
- [3] 陈赞, 郭锦超, 廖如超等. 无人机电力巡线风险评估方法研究[J]. 科技通报, 2022, 38(06): 51-54+72.
- [4] 衣晓菲. 机器视觉在无人机电力巡检中的应用研究[D]. 山东大学, 2020.
- [5] 申泽浩. 航拍架空输电线路绝缘子缺陷检测方法研究[D]. 天津工业大学, 2020.
- [6] 吴涛. 基于深度学习的航拍绝缘子缺陷检测研究[D]. 大连理工大学, 2019.