

柴油发电机组电气故障辅助诊断系统设计

王德朋

中国山东省青州市范公亭南街12号高新技术研究所, 山东 青州 262500

DOI:10.61369/EPTSM.2026040022

摘 要： 针对柴油发电机组电气故障诊断效率低、主观性强、故障定位不准等问题，结合发电机组电气故障特点与工程实际需求，设计一套柴油发电机组电气故障辅助诊断系统。本文明确系统设计目标与核心需求，完成硬件选型布局、软件模块开发及诊断算法优化，通过系统测试验证其可行性与实用性。该系统可实现电气故障的实时监测、精准识别与快速定位，有效降低人工诊断难度，提升故障处置效率，为柴油发电机组电气系统安全稳定运行提供技术支撑，具有较高的工程应用价值。

关 键 词： 柴油发电机组；电气故障；辅助诊断系统；硬件设计；软件开发

Design of an Auxiliary Diagnostic System for Electrical Faults in Diesel Generator Sets

Wang Depeng

High-Tech Research Institute, No. 12 Fanggongting South Street, Qingzhou, Shandong 262500

Abstract： In response to issues such as low efficiency, strong subjectivity, and inaccurate fault localization in electrical fault diagnosis for diesel generator sets, an auxiliary diagnostic system for electrical faults in diesel generator sets is designed by integrating the characteristics of electrical faults in generator sets with practical engineering requirements. This paper clarifies the system design objectives and core requirements, completes hardware selection and layout, software module development, and diagnostic algorithm optimization, and verifies its feasibility and practicality through system testing. The system enables real-time monitoring, precise identification, and rapid localization of electrical faults, effectively reducing the difficulty of manual diagnosis, improving fault handling efficiency, and providing technical support for the safe and stable operation of the electrical system in diesel generator sets. It holds significant engineering application value.

Keywords： diesel generator set; electrical fault; auxiliary diagnostic system; hardware design; software development

引言

柴油发电机组属于备用电源和独立供电的核心设备，在电力、通信、数据中心、矿山等各个领域都有应用，其运行可靠性直接影响相关行业的正常运转。电气系统是柴油发电机组的重要组成部分，主要完成电能的产生、传输和控制，受运行环境、使用年限、操作规范等因素的影响，容易发生电池故障、绕组绝缘损坏、控制系统异常等电气故障。目前传统的电气故障诊断大多依靠人工经验，存在诊断效率低、故障定位不准、操作人员的专业水平要求高、容易漏掉隐性故障等缺点，不能满足现代化机组的运行需要。因此设计出一套高效的、准确的电气故障辅助诊断系统，对提高柴油发电机组的运维水平、保证设备的安全稳定运行有重大的工程意义和实用价值。

一、系统总体设计与核心需求

（一）系统设计目标

本系统设计以精准、高效、便捷、可靠为目标，以柴油发电机组常见电气故障辅助诊断为方向，实现三个主要目的，即实时监测发电机组电气系统三相电压、电流、绕组绝缘电阻、电池电压等参数，发现参数异常，为故障诊断提供依据，对常见电气故障进行自动识别和准确定位，包括电池故障、绕组故障、控制系

统故障等，优化后的诊断准确率达到97%以上，缩短故障排查时间，具备数据存储、故障报警、历史查询等功能，支持就地操作和远程监控，减轻运维人员的工作负担，提高运维管理的规范化水平，适应不同的场景下发电机组运维的需求^[1]。

（二）核心功能需求

根据柴油发电机组电气故障诊断的工程实际情况，系统主要功能需求有四个方面，即参数监测功能，可以实时采集发电机组电气系统的电压、电流、绝缘电阻、温度等主要参数，并对参数进行

阈值自定义设置,当出现异常参数时能及时发出预警;故障诊断功能,根据所采集到的参数数据,采用诊断算法判断故障种类、确定故障部位并给出相应的处置意见;数据管理功能,对故障数据、参数曲线、诊断记录等进行保存,具备历史数据查询、导出和分析的能力,为运维改进提供支撑;交互控制功能,具有本地触控操作和远程终端访问的权限,界面简洁明了,操作方便,可以实现故障报警信号远程推送,方便运维人员及时处理故障^[2]。

(三) 性能指标要求

为了保证系统的正常运行以及诊断的准确性,对系统的各项性能指标做出如下要求:参数采集精度,电压、电流采集误差 $\leq \pm 1\%$,绝缘电阻采集误差 $\leq \pm 5\%$,满足工程监测精度的要求;诊断响应速度从参数异常到故障识别完成的响应时间 $\leq 3s$,保证故障快速反馈;系统稳定性连续运行72h无故障,抗干扰能力符合工业级标准,可以适应高温、粉尘、电磁干扰等复杂的运行环境;兼容性支持不同功率等级柴油发电机组的适配安装,可以与现有的监控系统集成对接,降低工程改造成本;操作可靠性具有故障自诊断功能,出现系统异常时可以自动报警并记录故障信息,方便后期维护^[3]。

二、系统硬件设计

(一) 硬件总体架构

1. 架构整体设计

系统硬件采用“采集层、传输层、处理层、显示控制层”四个层次的模块化结构,整体设计以分层独立、协同联动为原则,各个层次都有明确的功能定位和独立运行的能力,而且用标准接口来实现数据交换和指令传递,从而构建起闭环管控体系,保证电气参数采集、传输、处理、管控全过程的高效、可靠、稳定。该架构既简洁又可扩展,可以根据不同的功率等级柴油发电机组应用需求,灵活地对各个层次的组件进行配置,适应工业现场各种运维场景的要求,为系统功能的全面实现打下硬件基础。

2. 各层功能详解

采集层是数据采集前端的核心,主要对柴油发电机组电气系统中的关键参数进行实时采集,主要由各种工业级传感器和多通道数据采集模块组成,可以全面采集三相电压、电流、绕组绝缘电阻、电池电压等主要电气参数,为之后的故障诊断提供准确、完整的原始数据。传输层主要完成数据中转的工作,使用有线以太网和无线4G混合传输方式,既保证本地传输稳定又保证远程传输方便,保证采集到的数据可以迅速无失真地传送到处理层。处理层是硬件系统的中枢,使用高性能微控制器,主要完成采集数据的滤波、解析、运算,故障诊断逻辑运算、系统指令下发等工作,是实现故障精准识别的重要环节。显示控制层主要用于与操作人员互动的显示以及故障处理,可在本地和远程监控端口使用,可随时显示参数、故障信息并发出报警提醒,实现本地和远程双重控制,方便运维人员操作。

(二) 核心硬件选型与布局

1. 关键硬件选型

核心硬件选型严格遵守性能可靠、适应性强、成本合理的三

大原则,主要围绕系统功能实现需求展开,重点完成各个关键部件的选择工作。数据采集模块使用高精度模拟量采集卡,可以实现多通道同步采集,可以根据系统性能指标的要求灵活地适配电压、电流、绝缘电阻等各种类型的电气参数,采集精度达到系统性能指标的要求;传感器全部采用工业级高稳定性产品,电压传感器采用霍尔式传感器,具有测量范围广、抗干扰能力强的特点,电流传感器采用罗氏线圈传感器,适配大电流测量场景,绝缘监测采用高压绝缘监测仪,测试电压可达2500VDC,保证采集数据的准确性和可靠性。微控制器采用STM32系列单片机,运算速度快、功耗低、接口多,可以完成数据处理、故障诊断和逻辑控制等工作,传输模块用以太网模块和4G模块相结合的方式,在保证本地有线传输稳定的基础上又可以实现远程无线传输的方便性,显示控制模块采用工业级触控屏,可以清楚地显示参数数据、故障信息,支持操作输入和故障报警,符合工业现场使用要求^[4]。

2. 硬件布局设计

硬件布局采用集中式控制柜形式,根据柴油发电机组电气系统安装空间和运维要求,将各种主要的硬件合理地布置在控制柜内,使布线合理、调试方便、后期维护方便。将微控制器、数据采集模块、传输模块等核心控制部件集中安装在控制柜内部的中层,利于信号对接、线路梳理;传感器接口、电源接口等都集中在控制柜侧面,使用标准化接口,方便传感器与外部设备的连接;工业触控屏安装在控制柜正面,高度满足运维人员操作的角度要求,可以随时查看参数和操作控制。同时控制柜内部留有适当的散热空间,设置散热风扇,防止硬件长时间工作温度过高造成性能下降;布线采用分类整理、屏蔽防护的方式,强弱电线路分开布置,减少信号干扰,保证硬件系统正常工作,布局简洁规范、实用性强。

(三) 硬件接口与抗干扰设计

1. 硬件接口设计

硬件接口设计既考虑通用性又考虑扩展性,根据系统各个模块的功能要求来创建标准的、可以扩展的接口体系。微控制器留有串口、以太网接口、GPIO接口等多种标准接口,可以灵活地和传感器、数据采集模块、传输模块、显示控制模块以及柴油发电机组自身的控制系统进行连接,有利于后期功能的扩展和系统的升级,降低工程改造的难度。采集模块和传感器之间用专用屏蔽线缆连接,接口处设有防反接、过压、过流保护电路,使用防水、防尘接头,可以减少信号传输过程中产生的干扰,防止由于接线错误、电压异常造成硬件损坏,提高接口连接的可靠性。同时接口使用标准化的设计,具有明显的接口标识,便于安装、调试、后期维护,保证各个硬件模块之间的信号传输畅通、稳定。

2. 硬件抗干扰设计

根据工业现场高温、粉尘、电磁干扰等复杂环境的特点,从电源、信号、电磁三个方面进行硬件抗干扰设计,保证系统的正常工作。电源抗干扰上采用隔离电源模块,把电网电压和系统内部供电隔离开来,消除电网杂波干扰和电压波动,保证系统的供电稳定,在电源输入端加上滤波电容,消除电源干扰;在信号抗干扰上对采集的模拟信号做多级滤波处理,用低通滤波器去除高

频干扰信号，对数字信号做光电隔离处理，改善信号纯度，防止信号失真影响故障诊断精确度，电磁抗干扰上控制柜采用金属屏蔽外壳，能有效地屏蔽外部电磁辐射干扰，内部元器件按功能分区合理布置，强弱电路分开布置，避免电磁耦合干扰，对关键线路进行屏蔽包裹，进一步提高系统的抗干扰能力，使系统在复杂的工业环境下连续稳定工作^[5]。

三、系统软件设计与诊断算法优化

（一）软件总体设计

系统软件使用模块化的设计思想，用 C 语言和 Python 语言作为主要的开发语言，分成数据采集模块、数据处理模块、故障诊断模块、数据管理模块以及人机交互模块五个主要模块。各个模块各自独立封装，可以分别独立完成自己的主要任务，同时又可以很好地协调工作的过程，从而有效地降低了系统后期的维护和功能更新所面临的问题，使得系统更加具有可扩展性以及可维护性。数据采集模块主要完成发电机组电气参数的实时采集和初步处理，保证数据的及时性和完整性；数据处理模块对采集到的原始数据进行滤波、校准、归一化等处理，剔除异常数据，得到有效的特征值，为故障诊断提供数据支持；故障诊断模块使用优化过的算法来实现故障识别和定位，并给出相应的处置建议；数据管理模块用来保存各种数据，方便查询、导出、备份，给运维优化提供依据；人机交互模块以操作方便、实用为目标，完成参数显示、操作输入、故障报警等功能，保证系统方便的运维、高效的管控。

（二）核心软件模块开发

核心软件模块开发以实用性和高效性为主，数据采集模块用中断采集的方式设置采集频率为 10Hz 来保证参数采集的实时性，加入数据校验机制剔除无效数据保证数据的真实性，数据处理模块使用滑动窗口滤波算法有效去除随机干扰，对采集到的参数进行准确校准提高数据精度，提取电压偏差、电流波动、绝缘电阻等主要特征参数，数据管理模块使用 SQLite 数据库可以保存参数数据、故障记录等，可以按照时间、故障类型等条件查询，可以导出 Excel 格式文件方便后期分析，人机交互模块设计简洁直观的操作界面包含参数监测、故障报警、系统设置等功能，支持本地操作和远程终端访问，故障发生时会自动弹出报警提示并推送

远程信号，方便运维人员及时处理。

（三）诊断算法优化与实现

为了提高传统诊断算法的准确率以及抗干扰性，本文提出使用 CNN-BiLSTM 并行网络诊断算法，并且使用自适应小波包变换技术来提高故障诊断的准确性以及抗干扰性。首先同步采集柴油发电机组的三相电压、电流和绝缘电阻信号，对原始信号做数据清洗、异常值剔除、滑动窗口分割处理，得到标准化多维时间序列矩阵；其次用自适应小波包变换技术对矩阵进行多尺度分解，得到各个频带的有效特征，把各个频带重构系数和原始信号通道数据结合起来，得到高维增强特征张量；接着用 CNN-BiLSTM 并行网络对特征张量进行深层次挖掘，提取出信号之间的关联特征，采用自适应加权融合策略对两个网络输出的特征进行动态融合，提高故障识别的准确性；最后将融合后的特征输入多层全连接分类器中，完成故障类型的判定，可以识别出电池故障、绕组故障、控制系统故障以及它们的组合故障，并且经过实际测试，优化后的诊断准确率达到 97% 以上，响应速度完全满足设计要求，很好地解决了传统算法抗干扰能力差、诊断精度低的问题。

四、结语

本文根据柴油发电机组电气故障诊断工程实际需要，对电气故障辅助诊断系统进行了总体方案设计、硬件选型和布局、软件模块开发以及诊断算法优化，成功创建出一个包含参数实时监测、故障准确诊断、数据规范管理、远程协同控制等功能的智能化辅助诊断系统。该系统很好地解决了传统的人工诊断模式效率低、故障定位不准、隐性故障容易被忽略等突出问题，依靠高精度的电气参数采集技术和改进后的智能诊断算法，实现了对发电机组电气故障的快速识别、精确定位和科学处理，可以大大降低运维人员的专业门槛和工作强度，提高发电机组电气系统的运维效率和管理水平。可以继续提高诊断算法识别精度和抗干扰能力，扩大复杂工况下故障诊断种类，不断加强系统的兼容性和可扩展性，使该系统在电力、通信、矿山等众多领域的柴油发电机组上得到大规模的应用，给柴油发电机组电气系统安全、稳定、高效运行提供更加坚实的支撑。

参考文献

- [1]徐凯锐,宋世哲,闫兵,黄燕,华春蓉.柴油发电机组启动过程联轴器异常碰撞故障分析[J].内燃机学报,2025,43(06):559-568.
- [2]姚晓山,占伟强,刘颖,杨明攀,唐睿.柴油发电机组电气故障辅助诊断系统设计[J].移动电源与车辆,2025,56(03):13-20.
- [3]薛萌,何鹏,周运来,衣奎先,胡尚波.核电厂应急柴油发电机安全级电气保护配置研究[J].高科技与产业化,2024,30(09):72-73.
- [4]张飞.柴油发电机组故障维修及保养探析[J].中国机械,2024,(19):137-140.
- [5]陈志勇.柴油发电机工作原理及电气典型故障分析[J].农村电工,2021,29(03):45-46.