

基于 PLC 的风电机组箱变状态监控系统设计与实现

赵长江, 相童巍, 李忠义, 王乐

华能新能源股份有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050011

DOI:10.61369/EPTSM.2026050008

摘 要 : 针对风电机组箱变运行环境复杂、传统监控手段存在实时性不足等问题, 本研究设计并实现了一套基于 PLC 的箱变状态监控系统。系统以西门子 S7-1500 系列 PLC 为核心, 通过高精度传感器实时采集温度、电压、电流等关键参数, 采用双冗余通信架构确保数据传输的可靠性。系统在华能新能源某风电场实际应用表明, 其能够实现箱变运行状态的全面监测与智能预警, 显著提升了设备运维效率和安全性, 为风电场的稳定运行提供了可靠保障。

关 键 词 : 风电机组; 箱式变电站; PLC; 状态监控

Design and Implementation of Wind Turbine Box Transformer Condition Monitoring System Based on PLC

Zhao Changjiang, Xiang Tongwei, Li Zhongyi, Wang Le

Huaneng New Energy Co., Ltd. Hebei Branch, Shijiazhuang, Hebei 050011

Abstract : In view of the complex operating environment of wind turbine box-type transformers and the insufficient real-time performance of traditional monitoring methods, this study designs and implements a box-type transformer status monitoring system based on PLC. The system takes the Siemens S7-1500 series PLC as its core, collects key parameters such as temperature, voltage and current in real time through high-precision sensors, and adopts a dual-redundant communication architecture to ensure the reliability of data transmission. The practical application of the system in a certain wind farm of Huaneng New Energy shows that it can achieve comprehensive monitoring and intelligent early warning of the operating status of box-type transformers, significantly improving the efficiency and safety of equipment operation and maintenance, and providing a reliable guarantee for the stable operation of the wind farm.

Keywords : wind turbine unit ; box-type substation; PLC; status monitoring

引言

在华能新能源股份有限公司的风电场运行管理中, 箱式变电站作为连接风机与电网的关键设备, 其运行状态直接影响着整个风电场的发电效率和设备安全。这些箱变设备通常分布在广阔的场区内, 长期暴露在复杂多变的自然环境中, 面临着高温、低温、潮湿、盐雾、沙尘等多重考验。传统的箱变监控方式主要依靠定期的人工巡检和简单的本地仪表指示, 这种方式存在明显的局限性: 信息获取不及时, 异常状态难以及时发现; 故障判断依赖个人经验, 缺乏科学的数据支持; 维护响应滞后, 往往在故障发生后才能进行处理。特别是在恶劣天气条件下, 巡检工作难以开展, 设备运行状态几乎处于监控盲区。

面对这些挑战, 我们急需一种能够实现远程、实时、智能化监控的解决方案。在对比了多种技术方案后, 我们最终选择了基于 PLC 的监控系统方案。PLC 以其出色的可靠性、强大的抗干扰能力和灵活的可扩展性, 非常适合在风电场的复杂环境中长期稳定运行。西门子 S7-1500 系列 PLC 更是以其卓越的性能和完善的功能, 为构建高可靠性的监控系统提供了坚实的技术基础。本文结合在华能新能源某风电场的实际应用, 详细介绍这套监控系统的设计理念、实现方法和应用效果。

此外, 随着“双碳”目标的推进, 新能源场站的数字化转型已成为必然趋势。国家能源局发布的《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》明确指出, 要推动能源基础设施数字化, 促进新一代信息技术与能源产业深度融合。本项目的实施不仅是解决具体技术问题的尝试, 更是响应国家政策、提升企业核心竞争力的战略举措。通过构建智能化的箱变监控体系, 我们旨在打破数据孤岛, 实现从经验判断向数据化运维的跨越。

作者简介:

赵长江, 职称: 助理工程师, 研究方向: 新能源发电集控运行;

相童巍, 职称: 助理工程师, 研究方向: 电力人工智能;

李忠义, 职称: 助理工程师, 研究方向: 新能源发电集控运行;

王乐, 职称: 助理工程师, 研究方向: 新能源发电运行。

一、系统设计的整体思路

我们的设计目标是建立一个集数据采集、智能分析、远程监控于一体的箱变状态监控系统。这个系统不仅要能实时监测箱变的关键运行参数，还要具备故障预警和智能诊断的能力，最终实现从被动维修向主动预防的转变。

在整体架构设计上，采用了分层分布式的设计理念。系统分为三个层次：最底层是现场采集层，负责采集各类传感器数据；中间层是控制处理层，以 PLC 为核心进行数据分析和逻辑控制；最上层是远程监控层，实现数据的集中展示和远程管理。这种分层设计使得系统结构清晰，便于维护和扩展。

通信可靠性是系统设计的重点考虑因素。风电场环境复杂，通信线路容易受到各种干扰，为此我们专门设计了双冗余通信架构。每个箱变的 PLC 都通过两条独立的通信链路 with 监控中心连接，当主通信链路出现故障时，系统会自动切换到备用链路，确保监控数据不间断传输。这种设计大大提高了系统的可靠性，即使在某条通信线路出现问题时，监控工作也不会受到影响。

二、系统的硬件设计与配置

硬件是系统稳定运行的基础。我们在硬件选型和配置上充分考虑了风电场的特殊环境要求，所有设备都选用工业级产品，确保在恶劣环境下能够长期可靠工作。

核心控制器选用西门子 S7-1500 系列 PLC，这款 PLC 具有强大的数据处理能力和丰富的通信接口，完全满足箱变监控的需求。我们根据每个箱变的监控点位数量，配置了相应的输入输出模块，包括数字量输入模块用于采集开关状态信号，模拟量输入模块用于采集温度、电流等模拟信号，通信模块用于与各类智能仪表进行数据交换。

在传感器配置方面，我们针对箱变的关键参数进行了精心设计。温度监测采用多点布置的方式，在变压器绕组、电缆接头、箱体内部等关键位置都安装了温度传感器，实时监测各部位的温度变化。电气参数监测选用高精度智能电表，能够准确测量电压、电流、功率等参数，并通过通信接口将数据传输给 PLC。状态监测则包括了开关位置、门禁状态、水浸报警等多个方面，确保对箱变运行状态的全面掌握。

在温度监测方面，我们特别选用了 PT1000 铂电阻传感器，其测温范围覆盖 -50°C 至 $+200^{\circ}\text{C}$ ，精度达到 0.1°C ，完全满足箱变在极端气候下的测温需求。对于变压器绕组温度，我们采用了光纤光栅测温技术，该技术抗电磁干扰能力强，测温精度高，能够直接反映绕组的热点温度，比传统的油温监测更为准确。

考虑到风电场经常面临雷击等恶劣天气，我们在防雷保护方面做了特别设计。所有信号线都采用了屏蔽电缆，并在进线端安装了防雷保护器。监控柜本身也具有良好的密封性能和防护等级，确保内部设备不受外界环境的影响。供电系统采用双电源设计，并配备了不间断电源，即使在主电源故障的情况下，监控系统也能继续工作一段时间，保证数据的完整性。

在柜体设计上，我们采用了 IP54 防护等级的户外专用控制柜，柜内安装了温湿度自动控制器和加热除湿装置。当柜内湿度过高或温度过低时，系统会自动启动加热或除湿设备，确保 PLC 和电子元件始终工作在适宜的环境温度 (0°C -45°C) 和湿度 ($<90\%\text{RH}$) 范围内。电源系统采用冗余配置，一路取自箱变低压侧，另一路取自市电（或配置 UPS），并通过自动切换开关实现无缝切换，彻底消除了单点故障隐患。

三、软件系统的开发与实现

软件系统是监控系统的“大脑”，决定了系统的智能化水平。我们在软件开发中注重实用性和可靠性，力求使系统既功能强大又操作简便。

PLC 程序开发采用模块化设计思路，将不同的功能分成独立的模块，便于调试和维护。数据采集模块负责定期读取各传感器的数据，并对数据进行初步处理和校验，确保数据的准确性和完整性。故障诊断模块是系统的核心，我们根据箱变的运行特点，设计了多种故障判断逻辑，不仅能够识别明显的故障，还能发现一些潜在的异常趋势。比如在温度监测方面，我们不仅设置了固定的报警阈值，还设计了温升速率报警，当温度上升速度异常时及时发出预警。

远程监控软件基于组态平台开发，界面设计直观友好。主监控画面以图形化的方式展示全场箱变的运行状态，不同颜色代表不同的运行状态，运行人员一目了然。详细监控画面则展示单个箱变的所有运行参数和实时曲线，便于深入分析。报警管理系统采用分级分类的方式，重要的报警立即弹出提示，一般的报警记录在报警列表中，避免对运行人员造成干扰。

数据分析功能是软件系统的亮点之一。系统能够自动记录历史数据，并生成各种运行报表，包括日报、月报、年报等，为设备管理和维护决策提供数据支持。趋势分析工具可以帮助运行人员分析参数的变化规律，预测设备的发展趋势。我们还开发了远程控制功能，在必要且安全的情况下，运行人员可以在监控中心对箱变进行远程操作，大大提高了应急处理效率。

为了进一步挖掘数据价值，我们在软件中引入了大数据分析算法。通过对历史数据的挖掘，系统可以建立箱变运行的“健康档案”。例如，通过分析变压器油温与环境温度、负载电流的长期关系，建立数学模型，一旦实际运行数据偏离模型预测值，系统即判定为异常，提示维护人员进行检查。这种基于数据驱动的预测性维护模式，相比传统的定期维护，能够更早地发现潜在故障，大幅降低维护成本。

四、系统的测试与应用效果

系统开发完成后，我们在华能新能源某风电场进行了全面的测试和应用。测试工作分为几个阶段进行，首先在实验室进行模拟测试，验证系统的基本功能；然后在现场进行安装调试，确保系统与现场设备的匹配；最后进行长期运行测试，考核系统的稳

定性和可靠性。

在功能测试中，我们模拟了各种运行工况和故障情况，系统均能正确响应。特别是在通信冗余测试中，我们手动断开主通信链路，系统在毫秒级时间内自动切换到备用链路，监控数据没有出现中断。在性能测试中，系统的数据刷新速度、报警响应时间等关键指标都达到了设计要求。

系统投入运行后，很快展现出了其价值。最明显的变化是运维模式的转变，运行人员不再需要频繁前往现场巡检，大部分时间可以在监控中心掌握设备运行状态。系统多次成功预警潜在故障，比如有一次系统发现某箱变电缆接头温度异常升高，及时通知检修人员处理，避免了一次可能发生的设备故障。在夏季高温期间，系统通过温度监测及时启动通风设备，有效控制了箱变内部温度，保障了设备安全运行。

经过一年的实际运行，系统表现出良好的稳定性。数据采集准确可靠，通信系统运行稳定，软件功能完善实用。运维人员通过系统提供的数据和分析工具，能够更加科学地制定维护计划，

提高了维护工作的针对性和有效性。设备故障率明显下降，非计划停机时间显著减少，为风电场带来了实实在在的经济效益。

五、结语

基于 PLC 的风电机组箱变状态监控系统，通过先进的技术手段解决了传统监控方式的不足，实现了箱变运行状态的实时监控和智能管理。系统设计充分考虑了风电场的实际需求，硬件配置合理可靠，软件功能实用智能，在实际应用中取得了良好的效果。这套系统的成功应用，不仅提升了箱变设备的监控水平，也为风电场的智能化运维探索了一条可行之路。随着技术的不断发展，我们还将继续完善系统功能，比如引入人工智能算法进行故障预测，开发移动终端应用方便现场工作等。我们相信，通过持续的技术创新和实践积累，风电场的运维管理水平必将不断提升，为新能源事业的发展做出更大贡献。

参考文献

-
- [1] 姚辉. PLC 技术在风电机组控制器国产化研制中的应用 [J]. 电气技术与经济. 2025 (12): 154-156.
- [2] 杨帆; 陈海浪; 余颖. 风电机组箱变布置及等电位电缆优化分析 [J]. 安徽电气工程职业技术学院学报. 2023, 28 (04): 56-61.
- [3] 杨明; 袁乙专; 赵红; 袁乐心; 毛启武. 平原型风电机组用箱变雷击损坏探讨 [J]. 机电工程技术. 2022, 51 (12): 297-300.
- [4] 谢祥. 基于 PLC 的直驱永磁风电机组机械谐振自动控制方法 [J]. 流体测量与控制. 2023, 4 (01): 35-39.