

[物联网]

基于物联网技术的采油厂供配电系统远程控制方法

文/盖峰

大庆油田有限责任公司第一采油厂

物联网技术通过智能传感器、远程控制与大数据分析等手段，可以大幅提升供配电系统的监控与管理效率，从而保证能源供应的连续性与安全性。全面分析物联网技术在采油厂供配电系统中的应用需求，详细阐述基于物联网的远程控制方法，包括远程监控技术、系统设计、数据采集及安全管理策略，并通过技术测试验证这些方法的有效性与实用性。

在当代采油产业中，供配电系统的稳定性与高效性直接影响能源的连续生产与安全管理。随着物联网技术的迅速发展及广泛应用，其在工业领域特别是能源行业中的作用日益凸显。物联网技术的核心在于通过高度自动化的传感器与执行器，实时收集并处理数据，进而实现对设备的远程监控与控制，这对于采油厂的供配电系统来说尤为重要。采油厂的供配电系统需要高度的可靠性和安全性，因此其远程控制技术的研发与应用不仅能够有效提升能源管理的智能化水平，还能大幅度提高生产效率与环境安全性。

物联网技术概述

物联网技术是一种综合信息感知、网络传输和智能处理的技术体系，已广泛应用于工业自动化和远程控制领域，尤其在采油厂供配电系统的远程控制中表现出独特的优势和潜力，该技术通过将传感器、执行器与设备连接至互联网，实现数据的无缝传输和处理，从而有效提升供配电系统的运行效率与安全性。

采油厂供配电系统的需求分析

采油厂供配电系统是石油生产的关键基础设施，其设计与运维需满足高可靠性和安全性的要

求，确保生产活动的连续性和效率。在此背景下，采油厂供配电系统的需求分析需考虑复杂的工业环境、恶劣的天气条件及地理位置的偏远特性，这些因素共同决定系统必须具备高度的稳定性与自适应能力。物联网技术的引入可根据远程监控与控制优化供配电系统的性能，降低因人为操作错误或设备故障导致的风险。具体而言，供配电系统需实时监控电压、电流、频率及温度等关键参数，确保运行参数符合安全生产的标准，同时系统应具备故障检测与预警功能，根据数据分析预测潜在故障，及时调整或维修，以避免供配电中断或设备损坏。此外，考虑到采油厂的地理分布广泛和环境复杂，供配电系统还需具备良好的环境适应性和物理强度，能够抵御极端天气和地质条件的影响。远程控制系统则需支持多点操作与中心管理，实现供配电调度的集中化和自动化，以提升供配电效率和响应速度。

基于物联网技术的采油厂供配电系统远程控制方法

1. 采油厂供配电系统的远程监控技术

采油厂供配电系统的远程监控技术在物联网的支持下，通过精确的数据收集、实时的状态监测和

高效的故障诊断，实现对整个供配电网络的有效管理。采用基于卡尔曼滤波的算法，该技术能够优化状态估计过程，从而提高供配电系统的监控准确度和可靠性。考虑到供配电系统的动态特性，卡尔曼滤波算法应用于电压和电流的实时估计，可以表示为

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k \quad (1)$$

式中， x_k 为第 k 时刻的状态变量（如电压或电流）； F_k 为状态转移矩阵； B_k 为控制输入矩阵； u_k 为控制向量； w_k 为过程噪声。

这个模型能够描述供配电系统状态的时间序列变化，为远程监控提供数学基础。

状态的预测和更新是卡尔曼滤波的核心。在预测步骤中，系统的未来状态通过以下公式估计

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1} + B_k u_k \quad (2)$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (3)$$

式中， $\hat{x}_{k|k-1}$ 为没有观测新数据之前对 k 时刻状态的预测； $P_{k|k-1}$ 为预测状态的协方差； Q_k 为过程噪声的协方差。

这一步涉及通过先前的状态来预测未来状态，为实时监控提供前瞻性的数据支持。

在更新步骤中，新的观测数据被用来校正预测结果，以增强准确性，公式为

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \quad (4)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1}) \quad (5)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (6)$$

式中， K_k 为卡尔曼增益； H_k 为观测矩阵； z_k 为 k 时刻的实际观测值； R_k 为观测噪声协方差。

通过这些公式，卡尔曼滤波算法能够结合历史数据和新的观测数据，动态调整状态估计，从而实现对采油厂供配电系统中关键参数的准确监控。

2. 物联网架构在供配电系统中的应用设计

在物联网架构的设计中，采油厂供配电系统的实时监控与控制尤为关键。此架构集成高准确度传感器、先进的数据处理单元及实时数据传输技术，确保对关键供配电参数的持续监控与管理。物联网架构允许采油厂供配电系统通过分布式传感网络实时采集各种电气参数，如电压、电流、电量、功率因数和频率等，这些数据被传输至中央控制系统以进行进一步的分析与决策。采油厂供配电系统中传感器可采集的部分数据见表1。

表1 物联网技术的应用数据

传感器ID	站场名称	采集位置	参数	实时数据	状态	时间戳
101	转油放水站A	1#进线柜	电压/V	380	运行正常	2024-10-12 08:00:00
102	转油放水站A	2#进线柜	电流/A	607.7	运行正常	2024-10-12 08:00:00
103	转油放水站A	1#变压器	电压/V	5940	运行正常	2024-10-12 08:15:00
104	转油放水站A	2#变压器	电流/A	38.9	运行正常	2024-10-12 08:20:00
105	污水站A	配电室1#馈线柜	有功功率/kW	416.46	运行正常	2024-10-12 08:05:00
106	污水站A	配电室1#馈线柜	无功功率/ (kV·A)	341.6	运行正常	
107	污水站A	1#变压器	功率因数 (%)	50.2	运行正常	2024-10-12 08:25:00
108	污水站A	2#变压器	功率因数 (%)	0	备用	2024-10-12 08:30:00

通过这种方式，物联网架构为采油厂供配电系统提供了一个全面、实时的监控平台，使得供配电系统可以在任何异常情况出现之前做出快速响应，优化供配电性能，保障系统稳定运行。此外，通过数据的长期积累与分析，可以进一步优化能源管理策略，提升能源使用效率，降低运营成本，同时通过预测性维护降低设备故障率，延长设备寿命。

3. 智能传感器与数据采集技术的融合

在采油厂供配电系统中，智能传感器与数据采集技术的融合是实现高效远程控制的关键环节，此技术通过精确地监控和实时地传输关键性能指标，

为系统的可靠运行提供支持。采用离散傅里叶变换（Discrete Fourier Transform, DFT）算法，能够从传感器收集的时间序列数据中提取频域信息，从而识别供配电系统中的异常频率成分，这一处理对于早期故障检测尤为重要。智能传感器将模拟信号转换为数字信号，然后应用DFT算法进行频域分析，其数学表达为

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \quad (7)$$

式中， $X(k)$ 为第 k 个频率分量的幅值； $x(n)$ 为时间序列中的第 n 个样本； N 是样本总数。

该公式通过对时间序列数据的傅里叶变换，将其从时域转换到频域，分析其频谱组成。

对于频谱分析的结果，可以进一步计算其功率谱密度（PSD），提供更深入的能量分布信息。PSD的计算公式为

$$P(k) = \frac{1}{N} |X(k)|^2 \tag{8}$$

式中， $P(k)$ 为频率 k 处的功率谱密度，它反映了该频率分量在信号中的能量大小，对于监控电压波动和电流异常具有重要作用。

通过这些计算，智能传感器不仅可以实时监测电流、电压等关键指标的实时状态，还可以通过频域分析发现可能的异常，如谐波干扰或频率偏移，这些信息对于采油厂供配电系统的稳定运行至关重要。

4. 远程控制中的安全管理策略

在设计远程控制系统时，首要考虑的是系统的信息安全和物理安全，采用多层次的安全防护措施以防止数据泄露和未经授权访问，包括强化身份认证和访问控制机制，实施加密技术保护数据传输，以及部署入侵检测系统以防止和识别潜在的安全威胁。身份认证通常采用多因素认证机制，强化安全性，确保只有经授权的人员能访问关键控制系统。

技术应用测试

在本次测试中，基于物联网的采油厂供配电系统远程控制方法的测试是通过一组连续的实验周期来执行的，以确保结果的准确性和可重复性。测试流程如图1所示。

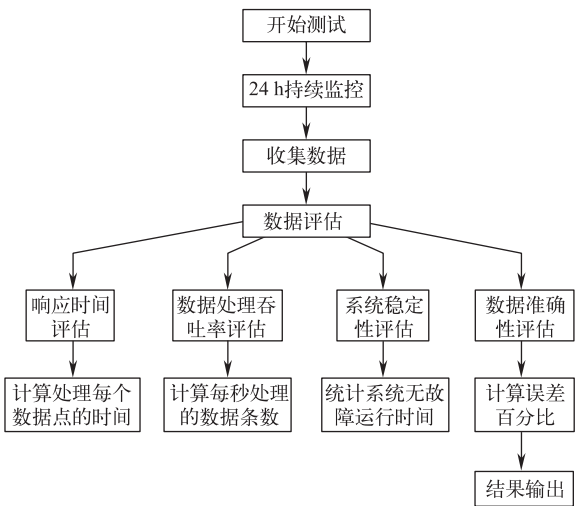


图1 测试流程

整个测试持续了24 h，测试期间，没有对数据进行分组，而是选择连续监控的方式来模拟真实的工作环境，以此来测试系统在持续运行条件下的表现。这种方法允许全面评估系统的稳定性和效能，无需担心由于分组产生的变量可能对结果造成影响。设定的测试指标包括响应时间、数据处理吞吐率、系统稳定性和数据准确性。具体来说，响应时间是测量系统处理每个数据点所需的时间，是系统效率的直接指标；数据处理吞吐率是衡量系统每秒能处理的数据条数，反映系统的处理能力；系统稳定性以系统无故障运行的小时数来评估，是判断系统可靠性的关键指标；数据准确性通过计算实际输出与预期输出之间的误差百分比来确定，这是评估系统性能的重要方面，结果见表2。

表2 测试结果

传感器ID	测试指标	测试结果
1	响应时间/s	0.14
	数据处理吞吐率（条/s）	1 500.28
	系统稳定时间/h	24.00
	数据准确性（%）	99.88
2	响应时间/s	0.13
	数据处理吞吐率（条/s）	1 500.16
	系统稳定时间/h	24.00
	数据准确性（%）	99.90

从表2可以看出，系统的响应时间极短，表明其能迅速处理传入的数据。数据处理吞吐率保持在较高水平，说明系统具备处理大规模数据的能力。系统稳定性为满分，显示出系统在持续运行过程中极高的可靠性。数据准确性接近100%，表明系统能够非常精确地处理和反馈数据。这些结果表明，系统在实时监控和控制采油厂供配电系统方面表现出色，具备实际应用的可行性和有效性。

结束语

综上所述，物联网技术在采油厂供配电系统远程控制中的应用，以其高度的集成性和自动化水平，为采油厂供配电系统的稳定运行与高效管理提供了新的解决方案。通过对现有技术的改进与新技术的引入，能够显著提升系统的可靠性与操作灵活性，确保能源供应的持续性，同时为能源行业的未来发展开辟新的道路。EA

（收稿日期：2025-06-25）