

基于物联网的储罐原油容量计重远程监控技术

史高兴 刘胜民 曹利恒（黄岛检验认证有限公司，山东 青岛 266000）

摘要：随着物联网技术发展，储罐原油容量计重远程监控愈发重要。本项研究涉及多功能远程数据探测终端、传感器等设备。通过无线 Zigbee 模块组网及多种传感器采集数据，经 A/D 转换、处理后利用 GPRS 模块上传至服务器。结果实现精准远程监控，提高安全性与效率，推动物联网在该领域应用发展。

关键词：物联网；储罐原油；容量计重；远程监控

0 引言

在石油工业中，储罐原油容量计重的准确监控是确保生产运营高效、安全的关键环节。传统的监控手段在数据实时性、准确性及远程管理方面面临诸多挑战，难以满足现代石油产业智能化发展需求。通过构建基于物联网的系统，能够实现数据的实时采集、传输与处理，突破传统监控的局限，实现储罐原油容量计重的精确远程监控，提升原油存储管理水平。

1 物联网远程监控系统架构

1.1 多功能远程数据探测终端设计

多功能远程数据探测终端是物联网监控系统用于原油储罐相关参数的采集和初步处理。终端集成了高精度压力传感器、液位传感器、温度传感器和无线示功仪等多种探测设备，可捕获储罐内的压力、温度、液位和质量等关键参数。终端设计中采用嵌入式处理器作为数据处理核心，配备模数转换模块以将模拟信号转化为数字信号，并通过实时操作系统实现多任务处理^[1]。终端还配备 Zigbee 模块实现局域数据传输，并通过 GPRS 或 NB-IoT 模块将数据上传至远程服务器。终端设备的防护等级达 IP67 标准，能够适应石油工业现场恶劣环境。

1.2 传感器与数据采集终端配置

液位传感器主要采用超声波传感器或雷达液位计，其测量精度可达毫米级，适合监测储罐中原油液面的微小波动。压力传感器选用电容式或压阻式传感器，能够测量储罐内的静压，以间接推算出原油的容量和质量。温度传感器采用高灵敏度的热电偶或热电阻，用于补偿因温度变化引起的原油密度变化对计重的影响。采集终端内嵌高速模数转换模块（如 ADS1256），能够实现高精度信号采集，且通过信号调理电路（如滤波器和放大器）保证采集信号的稳定性和准确性。采集终端采用模块化设计，可根据需求扩展传感器种类与数量。

1.3 数据传输网络构建

局域传输采用 Zigbee 或 LoRa 等低功耗无线通信协议，构建传感器与数据探测终端之间的通信网络，支持点对点或网状拓扑结构，确保数据在多传感器环境下的稳定传输。广域传输通过 GPRS、NB-IoT 或 4G LTE 模块实现，负责将采集到的储罐数据上传至远程服务器。为了提高数据传输的可靠性，网络构建中加入自动重传请求机制和数据包校验算法，确保数据在传输过程中不会因干扰或丢包而失真。传输协议使用或以支持轻量化、高效的数据传输，适合大规模节点的接入。服务器端通过 TCP/IP 协议接收数据，并使用负载均衡技术提升网络吞吐能力，保证监控系统在高并发场景下的稳定运行。

2 原油容量计重数据采集技术

2.1 压力与流量数据采集原理

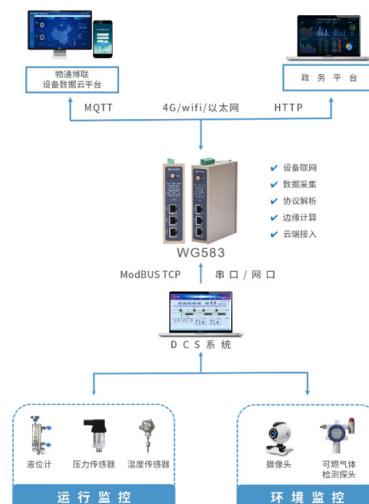


图 1 储罐液位数据采集远程监控系统

压力与流量数据采集是储罐容量计重的重要组成部分。压力数据的采集通常基于静压测量原理，利用压力传感器（如压阻式或电容式传感器）监测储罐底部液体静压，结合液体密度和重力加速度，通过公式 $P = \rho gh$ 计算液体高度，推算储罐内液体的总体积。流

量数据的采集则依托差压式流量计或涡街流量计等设备，利用伯努利方程和涡流原理计算单位时间内原油的流动量，为动态计量提供支持^[2]。数据采集终端内嵌模数转换芯片和信号调理电路，以提高信号的采集精度和抗干扰能力。通过数字滤波和非线性校正算法提升压力与流量数据的准确性。储罐液位数据采集远程监控系统（图1）。

2.2 温度对容量计重影响及数据处理

温度变化对原油容量计重的影响主要体现在液体的热膨胀效应和密度变化。为了实现精确计量，系统需实时采集储罐内部温度数据，并对测量结果进行温度补偿处理。温度数据采集采用高灵敏度热电偶或热电阻，结合采集终端的精密测温模块进行数据的线性化处理和多点标定。数据处理过程中，利用热膨胀系数公式 $\Delta V = \beta v_0 \Delta T$ 和密度校正公式 $\rho_T / \rho_0 (1 + \beta \Delta T)$ ，动态调整容量与质量的计算结果，确保最终数据的准确性。通过温度分层模型能够捕捉储罐不同高度的温度梯度，进一步优化容量与质量的测算精度。

2.3 无线示功仪数据获取与应用

无线示功仪是数据采集系统中的重要设备，广泛应用于实时获取原油储罐中的动态压力和机械动作数据。其核心功能是利用高精度传感器和无线通信模块记录储罐内液面波动、压力脉动及设备运行状态。无线示功仪的采集过程依托嵌入式微控制单元进行信号采集与处理，通过低功耗蓝牙或 LoRa 无线通信协议传输至数据终端。为了保证数据高效稳定，设备内部嵌入 FFT 快速傅里叶变换算法，用于对采集信号进行频域分析，提取液体波动的特征参数。

3 数据传输与处理机制

3.1 无线数据传输模块特性与优化

无线数据传输模块是系统的通信核心，其性能直接影响数据传输的实时性与稳定性。Zigbee 模块以其低功耗、高节点容量的特性成为局域传输的首选，支持组建网状拓扑结构，提升网络的抗干扰能力和覆盖范围。GPRS 和 NB-IoT 模块在广域通信被广泛采用，其中 GPRS 模块支持较高的带宽和数据吞吐量，而 NB-IoT 模块以其超低功耗和深度覆盖优势适应复杂工业环境。优化无线模块性能的措施包括：通过动态功率控制提升信号质量；引入自适应调制编码技术优化数据速率与误码率；结合频谱分集和空时分集技术增强信号传输的稳定性。为确保无线传输的安全性，模块内置 AES-128 加密算法，通过加密数据帧与校验

码保护通信过程中的数据完整性与保密性。

3.2 数据校验与解析算法

数据校验与解析是保证数据传输准确性和处理效率的重要技术环节。在数据校验方面，采用循环冗余校验算法对传输数据进行完整性验证。通过生成与验证 CRC 校验码，可以有效检测和定位数据帧中的传输错误。在解析环节，数据包按自定义协议格式进行解码，包括帧头解析、数据段提取和校验字段验证。解析算法结合状态机模型设计，确保数据解码过程的逻辑性与鲁棒性。高频采集数据的解析采用多线程处理与缓存队列机制（如环形缓冲区）提高数据解析的实时性。在异常数据处理上，通过卡尔曼滤波算法消除噪声数据的影响，同时结合异常检测算法（如 DBSCAN 聚类或基于统计的 3σ 法）识别和剔除不合理数据点，确保解析数据的高精度和高可信度。

3.3 数据备份存储策略

数据备份与存储是保障系统数据安全性与可追溯性的核心环节。服务器端采用分布式数据库进行数据存储，以实现海量数据的高效管理与快速查询。数据备份策略结合实时备份与周期性全量备份，通过主从复制和快照技术实现实时存储系统的高可靠性与容灾能力。在本地终端设备中，使用闪存作为临时存储介质，通过循环冗余备份保证在网络中断情况下数据的完整性。为满足长期数据存储需求，引入冷热分离存储架构，将历史数据归档至冷存储介质（如磁带或光盘）以降低存储成本。

4 远程监控功能实现

4.1 实时数据监测与分析

实时数据监测与分析功能依托物联网架构的多传感器网络和云计算平台，通过高频数据采集和云端智能分析实现储罐运行状态的全面感知。系统实时监测的参数包括储罐液位、压力、温度及质量，并由多任务处理机制实现对多维数据的同步采集。数据传输至服务器后，利用时序数据库存储并通过数据可视化工具实现动态显示。分析环节采用机器学习算法（如随机森林或 LSTM）进行趋势预测与异常检测，识别潜在的隐患或系统偏差。通过 FFT 快速傅里叶变换分析储罐液体的动态特性，结合回归分析与多变量统计模型，系统能精准评估储罐运行效率与容量计量的准确性。

4.2 安全报警与异常处理

安全报警与异常处理功能旨在确保储罐运行过程中的安全性与可靠性。系统内置多层次报警机制，包括预警、警报和紧急报警，通过预设的阈值与规则（如

温度变化率、压力波动范围)实时监测关键参数。一旦超出设定范围,系统通过蜂鸣器、LED警示灯、短信或电子邮件向管理人员发出报警通知。异常处理模块引入故障树分析和基于规则的推理系统,对异常事件的原因进行快速诊断,并提供优化处理建议。为防止误报警或漏报警,系统结合滑动窗口技术和卡尔曼滤波对实时数据进行平滑处理与误差修正。

4.3 远程操作与权限管理

远程操作与权限管理是物联网远程监控系统实现用户交互和资源保护的关键功能。远程操作功能通过云平台或移动端应用程序实现,支持对储罐状态的实时监控、设备的启停控制以及参数的在线调整。操作命令采用双向加密传输协议和数字签名验证机制,确保通信过程的安全性与完整性。权限管理功能采用基于角色的访问控制模型,根据用户身份分配不同的操作权限,例如管理员权限可进行系统配置与策略调整,普通用户仅限于状态查询与基本操作。系统支持多因子认证和动态令牌机制提升访问安全。

5 系统性能评估与优化

5.1 监控准确性测试与分析

监控准确性的测试和分析主要针对系统采集数据的精确性、测量误差范围和模型校正能力展开。测试阶段通过高精度的标准参比设备对压力、液位、温度等关键参数进行标定,将系统采集数据与参比设备结果进行对比分析,计算出误差范围和标准偏差,评估系统的测量性能。在压力和液位数据测试中,利用储罐静压与液位关系公式,通过压力传感器的实际测量值推算液位和容量,结合不同温度和液体密度条件分析系统误差范围。为降低传感器测量中的抖动误差,采用多次数据采样平均技术,通过曲线拟合对传感器输出进行线性调整。温度数据测试系统使用分层测温技术,通过分布在储罐不同深度的温度传感器采集梯度温度数据,利用热膨胀校正公式对温度变化补偿容量偏差。采用多传感器数据融合算法提升数据精度和一致性,通过对去除噪声数据和异常值优化测量结果,确保系统在各种工况下的监控精度。

5.2 数据传输稳定性评估

数据传输的稳定性是远程监控系统实现高实时性和可靠性的重要保障,评估内容包括数据丢包率、传输延迟和带宽利用率等指标。通过网络分析工具对传输链路中的数据包进行捕获和分析,统计发送数据包和接收数据包的数量差异,计算出数据丢包率。在实际运行中,采用自动重传请求机制和前向纠错技术,

确保在网络中断或干扰条件下仍能可靠传输数据。传输延迟评估通过测量每个数据包从采集终端到远程服务器的时间差进行分析,结合网络中不同节点的延迟分布,定位可能的延迟瓶颈并优化。通过引入动态路由优化技术和低延迟协议,缩短数据在网络中的传输路径,提高传输效率。在带宽利用率方面,使用动态带宽分配技术,根据数据流量的实时需求调整带宽资源分配,并结合网络负载均衡策略,在高并发情况下均衡网络压力,保障数据传输的稳定与连续性。

5.3 系统响应时间优化措施

系统响应时间是远程监控系统实时性能的核心指标,其优化涉及数据处理、通信链路和系统架构的多方面改进。在数据处理环节,采用边缘计算技术,将部分数据分析和处理任务转移至采集终端设备,减少数据传输和云端处理的延迟,提升响应速度。在通信链路优化中,采用自适应调制技术,根据实时网络状况调整通信速率和信号强度,同时引入低延迟通信协议和优先级队列调度机制,加快关键数据的传输速度。在高实时需求下优化链路协议栈,减少通信中冗余步骤,提高整体效率。在系统架构优化中,采用事件驱动架构,替代传统轮询机制,通过异步事件触发减少系统资源占用和响应延迟。结合缓存优化策略,使用环形缓冲区和双缓冲机制实现数据的快速缓存与处理。最后,通过性能测试工具对系统响应时间进行多轮验证与调整,确保在高并发和复杂环境下的快速响应能力。

6 结语

基于物联网的储罐原油容量计重远程监控技术以高精度传感器、无线数据传输、智能数据处理为核心,实现对原油储罐状态的实时监控和高效管理。系统通过精准数据采集、多维度的分析方法及可靠的传输与存储策略,有效解决传统监控手段在实时、准确和远程管理问题,为石油工业的智能化管理提供了坚实保障。

参考文献:

- [1] 董润泽,赵庆磊,张春蕾.进口原油船舶容量计重控制措施研究[J].质量与认证,2021(7):48-50.

作者简介:

史高兴(1980—),男,汉族,河南项城人,本科,毕业于山西大学,中级工程师,研究方向:检验鉴定。刘胜民(1988—),男,汉族,山东庆云人,本科,毕业于西南科技大学,中级工程师,研究方向:检验鉴定。曹利恒(1988—),男,蒙古族,辽宁朝阳人,本科,毕业于云南师范大学,中级工程师,研究方向:检验鉴定。