

基于物联网的CTT试验动力源远程状态监控系统设计

自动化2101班：贺鑫 指导教师：刘海龙 论文类型：毕业论文

摘要：核电站安全壳整体密封性试验（CTT）是验证安全壳完整性的关键环节，其动力源（压缩空气系统）的压力稳定性直接影响试验可靠性。传统人工监测存在效率低、误报率高（5%-8%）、响应滞后等问题。本文设计一套基于物联网的压力远程监控系统，以STM32F103C8T6微控制器为核心，集成高精度MSP20压力传感器（量程0-160kPa）、ESP8266无线模块及OLED显示屏，通过MQTT协议将数据实时上传至OneNET云平台，并开发网页、小程序及APP三端交互界面。系统实现压力数据秒级采集、超限报警、远程可视化及查询历史数据，有效提升核电站安全性和运维效率。

关键词：CTT动力源；远程状态监控系统；STM32；物联网；OneNET云平台

1 研究背景

核电厂安全壳整体试验（CTT）依赖压缩空气系统作为动力源，传统人工监测存在显著缺陷：强噪声环境（>90分贝）导致语音通信误报率达5%-8%，压力突变（>0.5bar/min）时响应滞后易超安全阈值，引发12%的试验异常事件（其中3%触发安全壳保护动作）。此外，人工监测需配置大量人员，延长试验周期20%-30%，年均增加人力成本超50万元。这些局限具有行业普遍性——核电压力监测普遍存在数据采集不连续（5-10分钟/次）、缺乏实时分析能力、监测点位僵化等问题，国际原子能机构报告指出全球15%的核电站异常停机与此相关。

针对上述问题，本研究开发了基于物联网的动力源远程监控系统。通过部署高精度传感器网络实时采集压力数据，结合嵌入式处理器实现毫秒级边缘计算（延迟<1秒），异常数据通过WiFi上传至云平台并触发即时报警，同时支持远程可视化分析。该系统实现三大突破：安全层面将异常识别准确率提升至99%，有效防控结构损伤风险；经济层面降低60%人力成本并避免试验中断损失；行业适配性上可扩展至核电站其他系统及工业领域，满足IAEA对实时监测的新要求。该技术为核安全提供了智能化支撑，推动工业监测向高可靠性方向演进。

2 发展现状

核电厂安全壳试验（CTT）动力源监控技术发展呈现明显的阶段性。早期（1950s-1970s/国内1980s-1990s）主要依赖机械仪表和人工操作，响应延迟达数小时甚至数天，国内初期（如秦山一期）采样间隔长达4-6小时。1980s-1990s国外引入计算机化数据采集（SCADA雏形），但形成“数据孤岛”；国内则在21世纪初开始数字

化转型（如秦山三期采样提至1次/分钟），但远程传输覆盖率很低（2009年仅12%）。2000-2010年国外数字化程度提升，但仍受远程传输瓶颈制约（如俄罗斯装置响应超6小时）；同期国内处于追赶阶段。2011年福岛事故成为转折点，全球启动物联化进程（国外如美国ARG-US，国内如福清核电部署ZigBee），但共同面临协议异构（国内系统成本增30%）、电磁干扰/屏蔽（丢包率约15%）以及智能化不足等挑战。2019年以来，技术加速升级：国外聚焦云边协同（如美国实现秒级识别）与5G通信，前沿转向AI与极端环境适应性研究；国内依托5G和边缘计算（如国电投云平台预警准确92%），实现端侧延迟<50ms及多终端协同，并获得庞大蜂窝物联网用户基础（2023年超23亿）支撑。当前国内外共同面临传输可靠性优化与算法泛化能力提升的挑战，未来发展趋势集中在多模态监控融合、空天地一体化传输及自主决策演进。

3 系统设计

3.1 系统架构

本文所设计的气体压力参数远程监测系统主要由气体压力检测设备、物联网云平台和客户端三个部分组成，整体结构框架如图 3.1 所示。

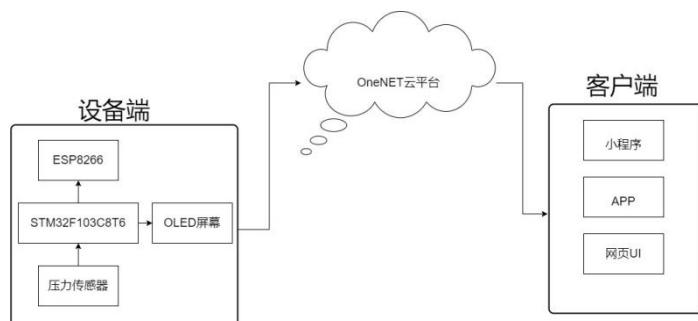


图 3.1 系统设计结构框图

MSP20传感器实时采集安全壳关键点压力数据，经STM32的A/D模块转换为数字信号。ESP8266模块建立WiFi连接，通过MQTT协议将数据上传至OneNET云平台。OneNET云平台存储与分析数据；客户端三个监控界面提供实时数据和折线图、历史曲线。

3.2 硬件设计与实现

系统硬件以STM32F103C8T6为主控芯片，集成MSP20压力传感器（0-160kPa量程，惠斯通电桥结构）采集模拟信号，通过ESP8266-01S模块实现54Mbps高速云端通信。人机交互端配备128×64分辨率OLED屏实时显示数据，并设计声光报警模块（蜂鸣器+LED）在超阈值时触发。基础电路采用AMS1117稳压输出3.3V，结合复位电路与8MHz晶振确保运行稳定性，最终经PCB设计、焊接组装完成硬件部署。系统硬件实物图如图3.2所示。

3.3 软件设计

系统软件流程图如图3.3所示。

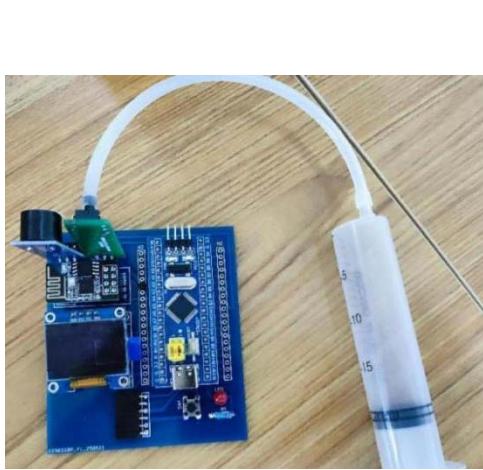


图 3.2 实物图

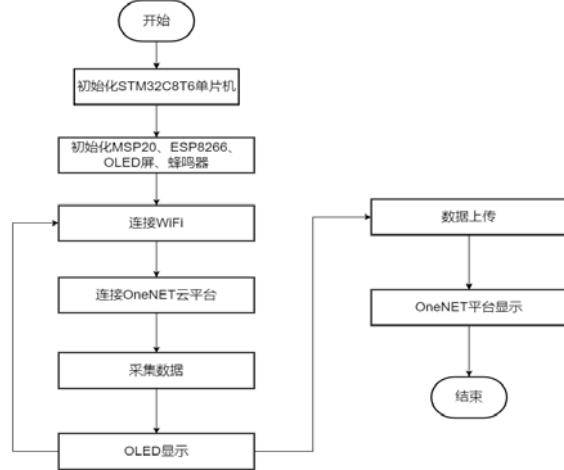


图 3.3 系统软件流程图

系统通过STM32以50ms间隔采集压力数据，经50次均值滤波处理得到Y，经过公式3.1、3.2计算后，便可得到气压值P。处理过的数据由ESP8266-01S模块通过AT指令配置为透传模式，基于MQTT协议上传至OneNET云平台。程序设计如图3.3流程图所示。

$$V = \frac{Y}{12.42}. \quad (3.1)$$

$$P = 4.8471 \times V + 4.41668. \quad (3.2)$$

云平台开发包含三个核心环节：首先创建产品；设置电压和气压物模型；创建设备。如图3.4所示。在OneNET云平台的设备属性模块中，用户可实时查看硬件设备所采集的实时数据以及历史数据记录。

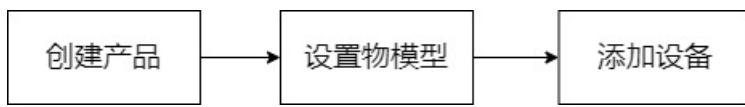


图 3.4 系统软件流程图

本系统开发了三个远程监控界面：利用OneNET View 3.0构建网页实现实时数据与可视化曲线展示；通过HBuilderX开发的小程序支持实时监测及动态折线图绘制；采用Android Studio开发的移动应用程序（APP）提供实时数据查看与历史数据按日查询功能，共同构成完整的“端-云-端”闭环监控体系。

3.4 系统测试

完成软硬件设计后，进行设备上电检测。依次测试MSP20、ESP8266及报警模块，设备成功实现数据采集与上传。当气体压力超过阈值（120 kPa）时，系统触发报警（蜂鸣器鸣响，指示灯点亮，见图3.5）。

随后，推注针筒改变气压，测试远程监控界面。三个界面均能实时显示数据。对比云服务器与各界面数据，验证了系统可靠性。通过对数据点、变化曲线及图形形态高度一致，表明网页端具备实时数据处理与图形化能力，用户可及时掌握设备状态，如图3.6所示。

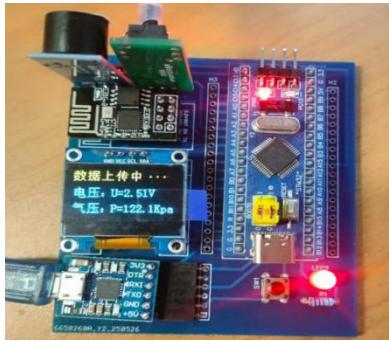


图 3.5 报警图



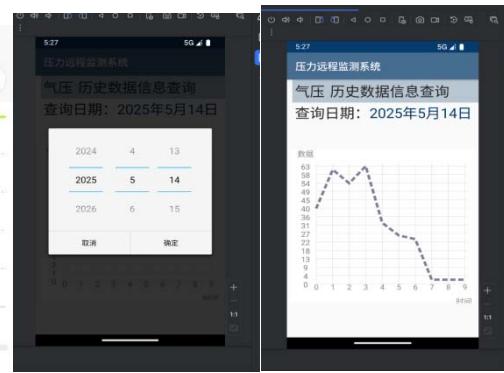
图 3.6 远程监测网页界面

微信小程序折线图（见图3.7）与 OneNET 平台历史数据因采样时刻差异，图形呈现略有不同，但核心数据点、趋势及形态一致。



(a) 电压折线图 (b) 气压折线图

图 3.7 小程序折线图



(a) 日期选择 (b) 历史曲线

图 3.8 APP历史曲线图

将APP查询历史曲线(见图3.8)与同天的OneNET云平台历史曲线进行对比，发现完全重叠，数据完全一致，APP查询准确无误。电压查询同上所述。

测试结果表明，远程监控界面成功实现了预设功能。三个平台协同工作，使用户能够根据实际需求灵活选择监控界面。

4 研究结论及优化建议

4.1 研究结论

本文设计实现了一套基于STM32F103C8T6单片机的压力远程监控系统，通过MSP20传感器采集气体压力数据，经ESP8266模块传输至OneNET云平台，同步开发网页/小程序/APP三端监控界面。设备端集成OLED屏与蜂鸣器实现异常声光报警，并且测试验证系统有效解决核电站CTT压力远程监测需求。

4.2 优化建议

系统存在三方面优化空间：首先升级无线传输至5G技术，突破距离限制并增强复杂环境适应性；其次采用BP神经网络优化报警系统，实现异常预测功能并增设调试静音按键（仅亮指示灯）；最后强化监控平台，网页端集成声光报警模块，移动端开发实时异常推送功能，同步提升物模型与数据流管理能力，构建全方位监控体系。