

# Application of a High Stability Multi-scene Pressure Controller Measuring Device

Ying Wang

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518100, China

## Abstract

This paper introduces the PDS843MWB-1DS01-A1DC/Z electronic pressure gauge, a high-stability multi-scenario pressure controller measurement device developed to address the limitations of traditional mechanical pressure gauges in nuclear power plants, including insufficient measurement accuracy in low-range areas and susceptibility to mechanical failures. By integrating piezoresistive sensors with microprocessor technology and combining hardware optimization with advanced control algorithms, the device achieves high-precision pressure parameter measurement. Application results demonstrate that this device significantly enhances measurement accuracy and reliability, making it suitable for various industrial scenarios such as nuclear power plants. It provides an effective solution for intelligent replacement of pressure measurement instruments. Meanwhile, the device excels in reducing maintenance costs and extending calibration intervals, offering significant socio-economic benefits and broad prospects for widespread adoption.

## Keywords

pressure controller; electronic pressure gauge; nuclear power plant; intelligent replacement; high stability

## 一种高稳定性多场景的压力控制器测量装置的应用

王颖

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518100

## 摘要

本文介绍了为解决核电厂传统机械式压力表在低量程区间测量精度不足和易受机械故障影响等问题, 采用一种高稳定性多场景压力控制器测量装置——PDS843MWB-1DS01-A1DC/Z型电子式压力表。该压力表采用压阻式传感器和微处理器技术, 通过硬件优化设计和先进控制算法相结合的方式, 实现了压力参数的高精度测量。实际应用结果表明, 该装置显著提升了压力测量的准确性、可靠性, 能够适用于包括核电行业在内的多种工业场景, 为压力测量仪表的智能化替代提供了有效方案。同时, 该装置在降低维护成本与延长校准周期等方面表现优秀, 具有长远的经济效益和推广前景。

## 关键词

压力控制器; 电子式压力表; 核电厂; 智能化替代; 高稳定性

## 1 引言

在核电厂中, 压力测量的准确性直接关系到设备安全运行和事故预防。梳理各电厂不满足现场使用的差压表的历史替代 21 项, 其中大亚湾核电厂 12 项, 宁德核电厂 4 项, 阳江核电厂 4 项, 防城港核电厂 1 项, 涉及到的系统有 EAS、RRI 等, 其典型故障现象及原因详见表 1。

传统压力测量大多使用机械式压力表, 原理是通过膜片感压后经弹簧形变、齿轮传动最终使指针偏转。在核电厂 EAS (安全壳喷淋系统) 和 RRI (设备冷却水系统) 中, 该原理常用于监测冷却水流量等参数, 确保系统压力平衡。但是, 这种机械式压力表存在明显缺点: 在低量程区机械形变

的灵敏度不足, 导致指针长期处于 0 刻度附近, 测量误差较大, 高达  $\pm 1.6\sim 2.5\%$ FS; 同时, 机械部件还易受振动、温度漂移的影响, 弹簧疲劳、齿轮磨损等问题也会使精度更低。

基于以上故障现象, 开放性讨论可得以下几种解决方式, 详见表 2。

综合上述分析, 电子式压力表因高精度、数字化和智能化的特点正逐渐成为替代传统机械式压力表的最佳选择, 在 EAS/RRI 的应用中能够精确测量微小压差并就地指示。智能仪表以微处理器为主体, 结合计算机技术和测量技术<sup>[1,2]</sup>, 能够弥补传统仪表由于硬件本身的缺陷造成的低精度、可靠性等问题。特别是在核电厂等对安全性和可靠性要求极高的环境中, 采用电子式压力表不仅能够提高测量精度, 还能通过数字化信号实现和控制系统的双向通信, 为状态监测和提前维护提供技术支持。

**【作者简介】**王颖 (1999–), 女, 中国黑龙江黑河人, 本科, 助理工程师, 从事仪控仪表替代研究。

表 1 多基地不满足现场使用的差压表故障分析

电厂名称	故障现象	故障原因
大亚湾核电厂	低压无法感知：灵敏度不足	不适当量程使用（如 RRI 系统日常运行期间低压，差压表无显示）
宁德核电厂	示值漂移：弹性元件（波纹管/弹簧管）永久变形或老化	高温介质（如 EAS 喷淋水）导致弹性元件热疲劳；波纹管/弹簧管长期承受压力，产生金属疲劳
阳江核电厂	振动导致轴承损坏或螺丝松动	核电厂高振动环境加速齿轮磨损（如 RRI 泵运行振动）
防城港核电厂	壳体密封不良导致内部结露，影响读数精度	未定期校准或清洁，杂质堵塞导压管路

表 2 解决差压表故障方式

解决方式	工作原理	优点	缺点
电子式压力表替代	压力作用在单晶硅谐振片或压阻元件上，引起其固有频率或电阻值的微小变化，通过检测该电信号变化来精确计算压力值	高精度、可实现数字输出与远程校准、强稳定性与抗干扰能力	需单独配置电池包、现场需轻微改动
隔膜密封式压力表替代	通过化学密封将测量介质与仪表传感器隔离	能有效解决传感器直接接触强腐蚀、高温介质带来的损坏问题	精度、灵敏度低
超声流量替代	通过测量冷却水流速（超声波时差法），推算压力降	无任何接触部件，彻底解决堵塞、腐蚀和磨损问题	价格贵、精度低

针对核电厂压力测量需求，结合国产化形势，现场应用了某国内品牌生产的一种高稳定性多场景压力控制器测量装置——PDS843MWB-1DS01-A1DC/Z 型电子式压力表，该装置通过压阻式传感器、高精度 ADC 转换器和微处理器系统的有机结合，实现了压力参数的高精度测量和智能化处理。同时，装置支持 4-20mA、RS485 和 HART 等多种输出方式，便于与核电厂的分布式控制系统（DCS）或现场总线控制系统（FCS）无缝集成，充分发挥智能仪表在精度、通信和自诊断方面的优势。其与传统的机械式压力表性能对比详见表 3。

表 3：机械式压力表与电子式压力表性能对比

对比维度	机械式压力表	PDS843MWB 电子式压力表
测量精度	± 1.5%~2.5%FS (低量程误差显著)	± 0.05%~0.5%FS (全量程线性误差补偿)
输出方式	指针指示	数字显示
抗干扰能力	易受振动、温度漂移影响	内置温度补偿算法(NTC 热敏电阻)
维护需求	需定期校准(3~6个月)	自诊断功能, 校准周期延长至 12个月
数据追溯性	无历史数据存储	内置 FLASH 存储
电源	无需	自带电池包
长期稳定性	差(机械疲劳)	好(自补偿)

## 2 总体设计原理

PDS843MWB-1DS01-A1DC/Z 型电子式压力表的设计遵循安全、可靠、先进和适用性四大原则。核电厂环境对仪表设备经常会有特殊要求，尤其是在抗干扰性、环境适应性

和长期稳定等方面有其严格的标准。该电子式压力表采用模块化设计理念，各功能模块能够相对独立又能够协同工作，既提高了系统的可靠性，也便于后续设备维护和功能扩展<sup>[3]</sup>。其整体架构包括压力传感模块、信号调理模块、A/D 转换模块、主控模块、显示模块和通信接口模块六部分。

系统工作时，压力传感器首先将压力信号转换为电信号，经过信号处理电路放大和滤波后，送入高精度 A/D 转换器转换为数字信号。主控单元对数字信号进行处理，包括温度补偿等，最终将处理结果送显示模块显示。其系统总体设计框图详见图 1。

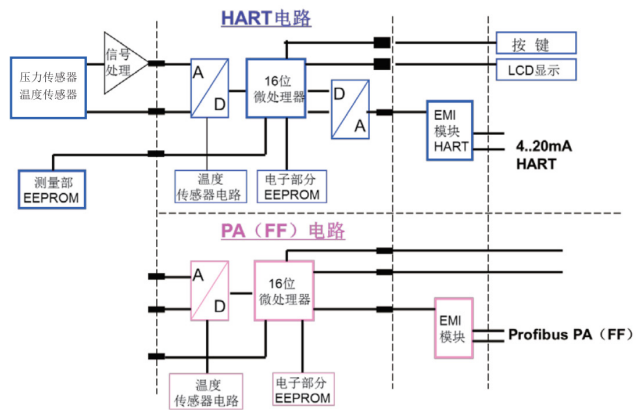


图 1 系统总体设计框图

软件系统采用模块化设计<sup>[4,5]</sup>，主程序流程图如图 2 所示。系统启动后，首先从 EEPROM 中读取传感器标定值和设备配置参数，随后进行数据采集。采集到的原始数据经过数字滤波和温度补偿后送往液晶显示模块进行更新，有效保证了系统响应的及时、稳定。

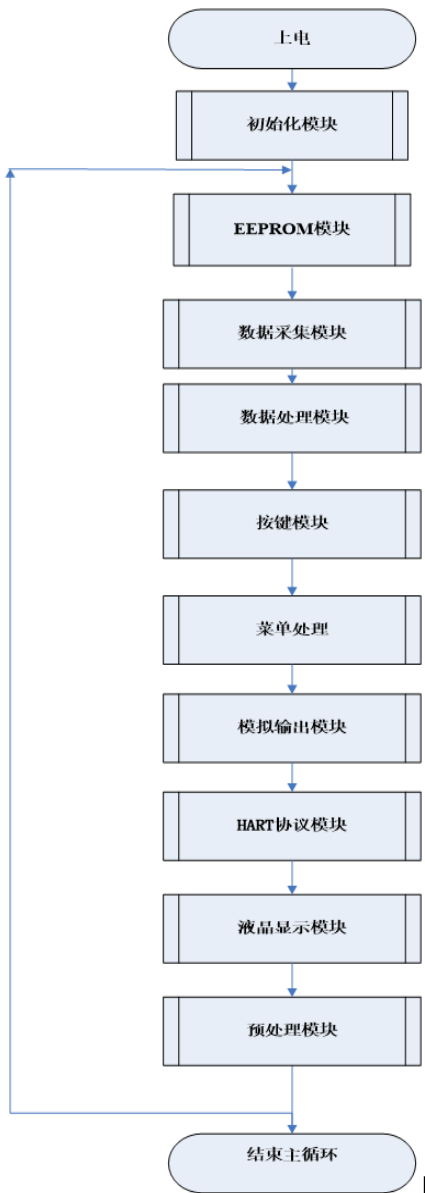


图 2 主程序流程图

### 3 应用效果分析

本压力控制器测量装置在核电厂多个系统中进行了实际应用，包括常规岛循环水系统、辅助冷却水系统和安全厂用水系统等。应用结果表明，装置有效解决了原机械式压力表在低量程区无法准确读数的问题。以安全厂用水系统为例，原机械式压力表量程为 0-1.6MPa，正常运行时压力仅为 0.15MPa（不足量程的 10%），机械表指针指向接近 0 位，难以准确观察；更换为本电子式压力表后，可直接显示 0.15MPa 精确数值，操作人员能清晰掌握系统压力状态。

大亚湾核电厂、宁德核电厂、阳江核电厂、防城港核电厂已完成替代，现场已更换为 PDS843MWB-1DS01-A1DC/Z 型电子式压力表，使用时间约 1C，使用情况良好，暂无不良反馈。其他基地也陆续发起替代，目前已完成替代 21 项。应用结果表明，该装置有效解决了原机械式压力

表在低量程区无法准确读数的问题。

该压力控制器测量装置的推广应用带来了显著的经济效益。从安全方面看，其高精度和可靠性显著提升了核电厂的安全生产水平，降低了因压力测量失误引发的事故风险。从经济方面分析，虽然单台电子式压力表的采购成本高于机械表，但维护成本减少、校验周期延长以及系统自动化水平提高带来的综合效益十分显著。以一座百万千瓦级核电厂为例，使用本装置对 300 台机械式压力表进行智能化替代后，预计每年可减少维护成本约 50 万元，减少定期校验费用约 30 万元，同时因减少停机停堆带来的间接经济效益更加可观。此外，装置提供的预测性维护功能能够提前发现系统隐患，避免潜在的风险，全生命周期成本优势明显。

### 4 结论与展望

本文针对核电厂压力测量需求，应用了 PDS843MWB-1DS01-A1DC/Z 型电子式压力表，其采用先进的硬件设计和控制算法，实现了压力的高精度测量。应用结果表明，装置具有测量精度高、环境适应性强、可靠性好等优点，有效解决了传统机械式压力表在低量程区测量不准确的问题，为核电厂压力测量提供了一种理想的智能化替代方案。

本研究的主要创新点在于：（1）使用了高性能压阻式传感器与先进信号处理技术<sup>[6]</sup>，实现了全量程的高精度压力测量；（2）针对核电环境特点，设计了防护措施和抗干扰技术，保证了系统在恶劣条件下的可靠；（3）通过模块化设计，使装置具备多场景适应能力，增加了压力表应用范围。

未来工作中，我将进一步优化系统性能并扩展应用领域以实现更精准的温度补偿和长期漂移校正，推广压力控制器测量装置在群厂常规环境的应用，并扩展应用领域：一是研究多传感器信息融合技术，通过温度、振动等多个参数协同分析，提升设备状态监测整体水平；二是开发基于人工智能的自适应校准算法<sup>[7]</sup>，以实现更精准的温度补偿和长期漂移校正；三是探索基于物联网技术的远程监控方法，尝试构建压力测量大数据平台，为预测性维护提供数据支持。随着工业 4.0 和智能制造产业的深入推进，高精度智能压力控制器在工业自动化领域将发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1] 雪梅, 朱懿微, 吴茜, 等.智能仪表在H动力装置中的应用[J].科技视界, 2019(6):58-60.
- [2] 智能仪表在H动力装置中的应用[D].人人文库, 2021.
- [3] 多通道压力测量控制器的研制[J].黑龙江交通科技, 2011(3): 104-106.
- [4] 基于VB与AT89C51的多点压力监测系统的设计[D].人人范文, 2022.
- [5] 基于单片机的压力检测系统设计论文[D].人人文库, 2023.
- [6] 基于89C51单片机的冷库数字压力计[D].豆丁网, 2023.
- [7] 投用AI智能读表设备NHD向"无人巡检"时代迈进[N].建设招标网, 2023-02-23.