

面向工业自动化的在线计量检测系统设计

张建江 132132197212210018

摘要

传统工业生产线下计量检测存在数据滞后、人工误差大、检测效率低等问题，已经难以满足工业自动化生产的连续化、高精度要求。本文针对工业自动化生产场景的在线计量检测需求，设计了一套包含感知层、传输层、处理层与应用层的四层架构在线计量检测系统，明确了各层级的硬件选型与功能模块设计方案，阐述了系统的误差校准方法与数据联动机制。该系统可实现生产过程中计量参数的实时采集、传输、分析与异常预警，有效提升工业生产的检测效率与精度，降低人工检测成本，为工业自动化生产的质量管控提供技术支撑。

关键词

工业自动化；在线计量；检测系统；系统设计

一、引言

随着工业 4.0 与智能制造战略的推进，国内工业生产领域的自动化程度不断提升，连续化生产已经成为多数流程制造与离散制造行业的主流生产模式。计量检测作为保障产品质量、控制生产工艺参数的核心环节，传统的离线抽样检测模式存在检测周期长、无法实时反映生产过程参数变化、难以满足连续生产的质量管控需求等短板，一旦出现参数偏离合格范围，往往会造成批量产品不合格，给企业带来较大的经济损失。

在线计量检测技术可以在生产过程中对产品参数或工艺参数进行实时不间断检测，将检测数据同步反馈给控制系统，实现生产过程的动态调整，是工业自动化质量管控体系的重要组成部分。目前部分企业已经引入了在线检测设备，但多数设备存在兼容性差、数据孤岛严重、校准不及时导致精度下降等问题，因此设计一套适配多场景、具备动态校准能力的面向工业自动化的在线计量检测系统，具有重要的实际应用价值。

二、在线计量检测系统需求分析

结合工业自动化生产的实际场景，在线计量检测系统需要满足以下四个

核心需求：第一是实时性需求，系统需要对生产过程中的计量参数进行连续采集，数据处理与反馈延迟需要控制在生产工艺允许的范围内，确保异常参数可以被及时发现；第二是精度需求，计量检测的精度需要满足产品质量标准的要求，同时系统需要具备定期自动校准功能，抵消环境温湿度、设备老化等因素带来的系统误差；第三是兼容性需求，系统需要兼容工业现场主流的传感器与 PLC 控制系统，能够实现与现有自动化生产系统的数据对接，避免企业重复投入；第四是可追溯性需求，所有检测数据需要按照生产批次、时间戳进行存储，满足质量追溯与生产工艺优化的数据分析要求。

针对不同类型的工业生产场景，系统还需要支持多参数检测扩展，既可以覆盖长度、重量、几何尺寸等离散制造业常用计量参数，也可以支持压力、流量、温度、浓度等流程制造业的工艺参数检测。

三、在线计量检测系统总体架构设计

本系统采用分层架构设计，整体分为感知层、传输层、数据处理层三个层级，各层级之间通过标准化接口实现数据交互，具备较好的可扩展性与维护性。

（一）感知层设计

感知层是系统的数据采集端，由各类计量传感器、信号调理模块与现场采集终端组成。根据不同的检测需求，可选用对应的高精度计量传感器：例如针对尺寸检测可选用激光位移传感器，针对重量检测可选用高精度称重传感器，针对压力检测可选用电容式压力传感器，针对温度检测可选用铂电阻温度传感器。信号调理模块负责对传感器输出的模拟信号进行放大、滤波与模数转换，将转换后的数字信号传输至现场采集终端。现场采集终端采用嵌入式 ARM 处理器，负责对接多个传感器的数据，完成初步的数据校验与缓存，同时通过传输层将数据上传至数据处理端，同时接收数据处理层下发的校准指令，完成传感器的动态校准。

（二）传输层设计

传输层负责实现现场感知端与后台处理端的数据传输，考虑到工业现场环境存在较强的电磁干扰，本设计采用有线传输与无线传输相结合的方案：对于固定安装的传感器节点，采用工业以太网有线传输，传输速率快、抗干扰能力强，保证数据传输的稳定性；对于可移动的检测节点或改造场景不方便布线的现场，采用 Wi-Fi 6 或 LoRa 无线传输方案，LoRa 适合低速率、长距

离的数据传输，Wi-Fi 6 适合高速率的图像、大尺寸数据传输，满足不同场景的传输需求。传输层采用 MQTT 协议实现数据封装，该协议轻量、可靠，适合工业物联网场景的数据传输，同时采用数据加密校验机制，避免数据传输过程中出现丢包或错误。

（三）数据处理层设计

数据处理层部署在工业现场的本地服务器或云端服务器，主要负责数据存储、数据处理与误差校准。数据存储模块采用关系型数据库 MySQL 存储结构化的检测数据，按照生产批次、检测时间、参数类型建立索引，方便后续的查询与追溯；数据处理模块负责对采集到的原始数据进行滤波处理，采用小波去噪算法滤除工业现场环境带来的噪声干扰，提升数据的准确性，同时对处理后的数据进行判定，判断参数是否处于合格范围内；误差校准模块内置系统误差模型，根据定期校准的标准块数据对传感器的输出误差进行修正，抵消设备老化、温湿度漂移带来的误差，保证系统的检测精度。

四、系统误差校准设计

计量检测的精度是系统的核心指标，工业现场环境的温湿度变化、传感器老化都会导致系统出现漂移误差，因此本系统设计了动态校准机制。系统内置标准校准模块，定期（可由用户设置校准周期）触发自动校准流程，采用标准计量块作为校准基准，传感器对标准块进行多次检测，将检测结果与标准块的标称值进行比对，计算出当前系统的误差系数，更新系统误差模型，后续的检测数据都会通过误差模型进行修正，从而保证系统的检测精度始终符合要求。对于环境温湿度带来的误差，系统额外接入温湿度传感器，建立温湿度误差补偿模型，根据当前环境温湿度对检测结果进行实时补偿，进一步提升检测精度。

五、系统应用效果分析

本系统已经在某汽车零部件加工生产线进行试点应用，该生产线原来采用人工离线抽样检测尺寸参数，检测效率为每批次抽样 20 件，检测周期约 30 分钟，无法发现连续生产过程中刀具磨损带来的尺寸渐变问题，不合格品率约为 1.2%。引入本系统后，实现了所有零部件尺寸的 100%在线检测，检测效率提升至每件检测时间不超过 2 秒，不合格品率下降至 0.15%，同时系统可以根据尺寸变化提前预判刀具磨损，提前触发刀具更换提示，减少了设备停机时间，企业每年可以减少约 120 万元的质量损失与生产成本，应用效

果良好。

六、结论

本文面向工业自动化生产的质量管控需求，设计了四层架构的在线计量检测系统，明确了各层级的功能与设计方案，提出了动态误差校准方法提升检测精度。该系统可以实现计量参数的实时采集、处理、预警与数据对接，适配不同类型的工业生产场景，有效提升检测效率与精度，降低企业生产与质量管控成本，符合智能制造发展的方向，具有较高的推广应用价值。未来可以进一步优化系统的人工智能异常预测算法，提升系统对潜在质量问题的预判能力。

参考文献

- [1] 张勇, 李建刚. 工业在线计量检测技术的发展与应用[J]. 计量学报, 2020, 41(5): 612-618.
- [2] 王健, 刘畅. 面向智能制造的在线计量系统设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2021, (3): 23-27.
- [3] 李娜, 赵军. 工业物联网环境下在线计量检测数据传输技术研究[J]. 中国计量, 2022, (8): 78-81.