

基于工业物联网的焊接车间 数据采集与监控系统研究

聂瑞金

(广东宏拓工业工程服务有限公司, 广东 肇庆 526000)

摘要 工业物联网技术的深度融合为焊接车间的数字化转型提供了新路径。本研究针对多品牌设备协同、异构数据治理及实时监控等核心问题, 构建了一套基于工业物联网的焊接车间数据采集与监控系统。通过工业以太网架构与多源数据整合设计, 实现焊机运行状态、工艺参数及机器人作业数据的统一采集与贯通。系统采用分层式网络拓扑与非侵入式数据采集策略, 打通 PLC、文件服务器与 MES 系统间的数据链路, 形成覆盖设备管理、质量追溯及工艺优化的闭环体系。实际应用表明, 该系统能够有效提升焊接过程的透明度与可控性, 为智能车间的高效运行提供技术参考。

关键词 工业物联网; 焊接车间; 数据采集; 监控系统

中图分类号: TP311; TG4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.011

0 引言

随着智能制造技术的快速发展, 焊接车间正面临设备异构化、数据碎片化及工艺控制实时性不足等挑战。本研究以多源异构设备的协议兼容为切入点, 提出一种基于工业物联网的分层式数据采集与监控架构。通过工业网络通信技术、分布式数据存储及实时监控机制的设计, 实现焊接设备运行状态、工艺参数及机器人作业数据的全流程贯通。系统以多品牌设备协同场景为应用背景, 旨在构建可扩展、高可靠的数据治理框架, 为焊接车间的智能化升级提供实践参考。

1 系统总体架构设计

在智能制造领域的实践探索中, 系统总体架构的设计需兼顾网络基础架构的可靠性与数据采集层次的高效性。例如: 北京实耐固连接技术有限公司基于其在焊装车间机器人及焊机数据采集的成熟经验, 提出了一套涵盖工业网络架构与多源数据整合的解决方案^[1]。该方案以 6 000 平方米工厂规模的工程实践为基础, 结合西门子、GE 及 Rockwell 等国际领先厂商的工业自动化技术, 构建了高可用性的网络架构体系, 为 2016 年超过 1.5 亿元规模的焊装生产线项目提供了关键支撑。系统总体架构如图 1 所示。

1.1 网络架构基础

工业级 Ethernet 通信网络构成系统核心传输层, 采用分层式拓扑结构实现设备级、控制级与管理级的

纵向集成。针对汽车焊装车间的多品牌机器人协同场景(包含 ABB 机器人、小原焊机等), 系统通过冗余环网设计保障数据传输的实时性与连续性。机器人控制器通过 FTP 协议完成文件指令交互, 实时获取并处理焊点坐标、焊钳压力等核心参数, 形成每秒级的数据响应能力。文件服务器作为关键节点, 支持非认证模式的 Windows 文件共享机制, 确保机器人寄存卡中的工艺参数文件可被高效提取与备份^[2]。

1.2 数据采集层次结构与系统集成

数据采集体系分为运行状态流与工艺参数流双通道架构, 其中 PLC(选择西门子 1500 系列)模块负责焊接设备启停信号、故障代码等状态数据的毫秒级采集, 数据峰值处理能力达到单线 150 台设备并发。工艺参数采集层通过群控系统对接焊机控制器, 将电流电压、焊接时长等关键参数写入关系型数据库, 形成结构化工艺知识库。机器人端采用非侵入式采集策略, 通过专用软件周期性抓取 USB 寄存卡中的日志文件, 经文件服务器中转后推送至 MES 系统进行 SPC 分析。系统集成层面突破多品牌设备协议壁垒, 实现 ABB 机器人数据收集软件与群控系统的数据双向互通, 构建覆盖生产管理、质量追溯及设备健康评估的数字化闭环^[3]。

2 焊接数据采集方案

2.1 焊机数据采集

焊机数据采集依托工业级群控系统实现多维度工艺参数的动态获取与分析, 包含运行状态数据和关重参数。

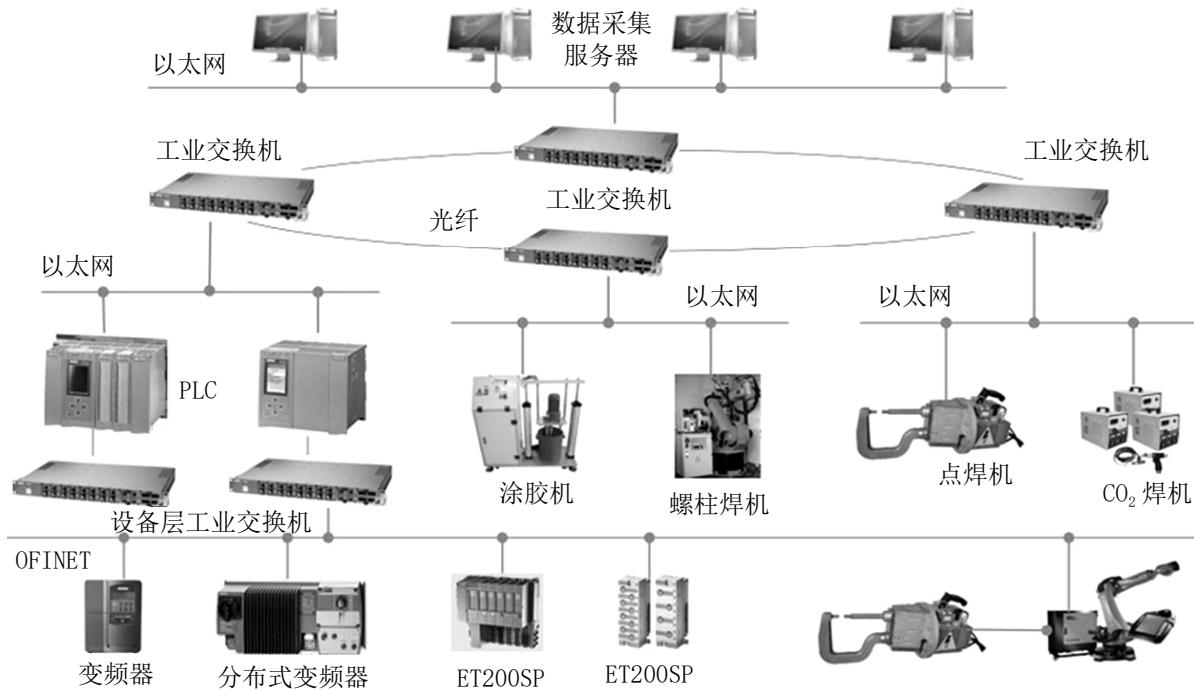


图1 系统总体架构

运行状态具体的数据包含：机器人 / 焊机、生产线、物流系统等相关信号及状态。在汽车焊装车间的应用场景中，系统通过集成 PLC 模块实时采集焊机的启停状态、故障代码及运行信号，形成毫秒级响应能力，确保设备状态的可视化监控。

关键参数具体的数据包含焊接电流、焊接电压；焊接时间、通电时间；电极驱动行程；焊点计数；报警状态。焊机工艺参数通过群控系统集中存储至关系型数据库，并基于统计过程控制（SPC）方法进行趋势分析与阈值报警。针对质量问题，系统支持补焊返修流程的实时触发，通过质量点下线机制减少产线停线风险，同时将返修数据与工艺参数关联追溯，构建工艺优化闭环^[4]。

2.2 机器人数采集

机器人数采集采用非侵入式文件交互模式，以 ABB 机器人控制器为核心，通过专用软件周期性抓取存储于 USB 寄存卡中的焊点坐标、焊接时间及压力日志等关键数据。机器人端基于 FTP 协议完成文件列表获取、重命名及下载操作，数据经本地收集后推送至中央文件服务器，利用 Windows 非认证文件共享协议实现跨系统传输。运行状态数据通过 PLC 实时采集，而工艺参数则沉淀至关系型数据库，形成设备健康度评估与质量分析的联合数据底座，满足多品牌机器人协同场景下的数据统一治理需求^[5]。

3 数据流程与监控机制

焊接数据流程以多层异构系统的协同运作为核心，构建端到端的数据贯通体系。焊机运行状态数据通过分布式 PLC 网络实时采集启停信号、故障代码及设备告警信息，并以毫秒级延迟推送至车间监控系统进行动态可视化展示。工艺参数流依托群控系统，将电流、电压、焊接时长等关键指标持久化存储至关系型数据库，同时基于工业通信协议与 MES 系统实现双向数据同步，支撑工艺合规性验证及参数回放追溯。机器人侧的数据流程采用异步文件传输模式，控制器内 USB 寄存卡中的焊点坐标、焊钳压力等日志文件经 FTP 协议批量下载至本地采集终端，再通过 Windows 非认证文件共享机制自动上传至中央文件服务器，最终由 MES 系统完成非结构化数据的解析与结构化存储。

监控机制设计聚焦异常工况的快速响应与数据闭环管理。实时监控层通过人机界面动态映射设备运行状态，对超出设定阈值的电流波动、焊接时间偏差等参数触发 SPC 报警，并联动声光警示装置。质量监控模块内嵌补焊返修逻辑，当焊接质量点检测到参数超标时，系统自动生成返修工单并引导操作人员离线处理，确保主产线持续运行。在数据闭环层面，工艺参数库与质量追溯系统深度耦合，支持基于时间序列的焊点参数反查，并将返修数据反向标注至原始工艺记

录，形成“采集—分析—优化”的迭代链路。跨系统数据交互采用工业协议转换中间件，实现 PLC、文件服务器与数据库间的无缝衔接，确保焊接全链路数据的完整性与一致性。

4 基于工业物联网的焊接车间数据采集与监控系统实施与界面展示

系统实施依托汽车焊装车间的实际场景，以工业以太网为核心搭建车间级通信网络，实现 ABB 机器人、小原焊机等多品牌设备的协议兼容与数据贯通。网络架构采用分布式部署模式，通过三层交换机划分功能区域，支撑 150 台级设备并发通信。机器人数据采集模块通过文件服务器与专用软件（如 ABB 机器人数据收集工具）对接，每日定时抓取 USB 寄存卡中的焊接日志文件，单台机器人日均生成约 500 组焊点参数记录。焊机群控系统集成 PLC 模块与关系型数据库，实现每秒 20 次以上的工艺参数采样，支持毫秒级报警响应，确保焊接过程数据无遗漏存储。

监控界面以工业可视化平台为基础，设计工艺参数实时跟踪模块，动态展示电流、电压、焊接时间等关键指标，并基于 SPC 算法生成质量波动趋势图。界面布局采用多视图联动模式，操作人员可同时查看设备运行状态、参数超标报警列表及历史数据比对结果。针对补焊返修流程，系统嵌入引导式操作界面，自动生成包含焊点编号、缺陷类型及修正参数的返修工单，降低人工干预复杂度。工艺参数记录界面支持按时间、设备型号或批次号筛选数据，并导出结构化表格（如焊接参数记录表样例），满足离线分析与审计需求。通过 Andon 看板与声光报警装置联动，车间管理端可实现异常工况的快速定位与协同处置，提升产线整体可用性。

5 基于工业物联网的焊接车间数据采集与监控系统应用效果分析

汽车焊装车间通过机器人及焊机数据采集系统的部署，构建了覆盖生产全流程的数字化管理闭环。

1. 在生产管理层面，系统基于焊机群控与机器人数据协同采集能力，实现了焊接工艺参数的全局可视化与动态追溯，支持车间管理人员对设备运行状态及工艺合规性进行实时研判。

2. 在质量管理方面，依托工艺参数库与质量点补焊返修流程的联动机制，系统在不影响主线运行的前提下，大幅降低了焊接缺陷的漏检率，同时通过参数超标报警与反向追溯功能，缩短了质量问题根因分析周期。

3. 在设备管理方面，系统通过机器人焊钳参数标准的数据化存储与周期性比对，为电极磨损评估及焊钳维护计划提供了量化依据。能源管理模块与焊机群控系统的深度集成，优化了空载状态下的能耗管控策略，减少了非必要电能损耗。

4. 在数据利用率方面，多品牌设备协议的兼容性设计突破了传统焊装车间的信息孤岛，通过文件服务器与 FTP 协议的高效协同，实现了 ABB 机器人、商科焊机等异构设备数据的统一治理。

可视化看板与 Andon 系统的结合，增强了车间异常事件的协同处置能力。工艺参数监控界面通过 SPC 趋势图与实时数据面板的融合展示，使操作人员能够快速定位电流、电压等参数的异常波动。生产报表模块基于标准化的焊接参数记录表模板，自动生成批次级的质量分析报告，提高了数据汇总效率。系统实施后，焊装车间的数据驱动决策能力显著增强，工艺优化与技术迭代周期进一步缩短，为智能制造转型提供了实践经验。

6 结束语

本研究提出的工业物联网架构为焊接车间数据采集与监控提供了系统性解决方案。通过分层式网络设计、多协议兼容策略及数据闭环管理机制，有效解决了设备异构性与数据碎片化的核心问题，实现了工艺参数可追溯、异常工况快速响应的目标。系统在焊装车间的实际应用验证了其在提升生产效率、优化质量管理及降低运维成本方面的综合价值。未来研究可进一步探索边缘计算与人工智能技术的深度融合，以增强焊接工艺的自主优化能力，推动工业物联网在智能制造领域的深度应用。

参考文献：

- [1] 彭忠全,赵春美,朱昌洪.基于物联网技术的空气质量检测系统设计[J].电子技术,2024,53(05):106-107.
- [2] 赵雅楠.大型结构件焊接车间现场改善与应用[D].南京:南京理工大学,2024.
- [3] 董传阳,王珍珍,戚晓晨,等.面向现代焊接车间的物联网数字终端技术研究[J].焊接技术,2023,52(10):101-104.
- [4] 李显.基于数字孪生的车间可视化系统研究与实现[D].大连:大连工业大学,2023.
- [5] 刘世强.基于转向架焊接产线数字化的机器人智能集控关键技术[J].专用汽车,2023(05):61-63.