

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2024.02.11

工业制造车间离散计量设备的数据感知与可视化系统

杨鹏, 陈欢, 楼伟民

(浙江省计量科学研究院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为解决工业制造车间存在的计量设备分布离散、计量数据难以统一采集且利用率低、设备后期维护成本高等问题, 建立工业制造车间离散计量设备的数据感知与可视化系统。通过搭建数据转换协议仓, 实现多种类型、多种品牌计量设备的多协议通讯兼容, 解决设备离散分布时, 数据的统一采集和集中管理难题。数据转换协议仓集成在客户端软件中, 具有成本低、易部署、协议拓展方便等优点。此系统结合数据分析和可视化技术, 实时感知车间计量设备数据变化, 为管理者直观、清晰地展示数据及分析结果, 帮助管理者快速了解车间计量设备工作状况, 提升了车间计量设备的整体运行效率。该系统实现了计量数据的实时采集和分析处理, 提高了数据利用效率, 为生产决策提供了重要保障。

关键词: 数据感知; 可视化; 多协议; 计量数据

中图分类号: TB9; TN91; C931 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5795 (2024) 02-0099-08

Data perception and visualization system for discrete metrology equipment in industrial manufacturing workshop

YANG Peng, CHEN Huan, LOU Weimin

(Zhejiang Institute of Metrology, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A data perception and visualization application system for workshop discrete measurement equipment is established to solve the problems of scattered distribution of measurement equipment, difficulty in unified collection and low utilization rate of measurement data, and high cost of equipment post maintenance in industrial manufacturing workshops. By building a data conversion protocol repository, multi-protocol communication compatibility for various types and brands of measuring equipment can be achieved, and the problem of unified data collection and centralized management of the discretely distributed equipment can be solved. The data conversion protocol repositories are integrated in client software, which has such advantages as low cost, easy deployment, and convenient protocol expansion. The system combines data analysis and visualization technology to perceive real-time changes in workshop measurement equipment data, providing managers with intuitive and clear display of data and analysis results, helps managers quickly understand the working status of workshop measurement equipment, and improves the overall operational efficiency of workshop mea-

收稿日期: 2024-03-27; **修回日期:** 2024-04-13

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(2023MK225); 浙江省市场监督管理局科研计划项目(ZC2021A007)

引用格式: 杨鹏, 陈欢, 楼伟民. 工业制造车间离散计量设备的数据感知与可视化系统[J]. 计测技术, 2024, 44(2): 99-106.

Citation: YANG P, CHEN H, LOU W M. Data perception and visualization system for discrete metrology equipment in industrial manufacturing workshop[J]. Metrology & Measurement Technology, 2024, 44(2): 99-106.



surement equipment. The system realizes real-time collection, analysis and processing of measurement data, improves data utilization efficiency, and provides important guarantees for production decision-making.

Key words: data perception; visualization; multi-protocol; measurement data

0 引言

随着“工业4.0”和“中国制造2025”国家战略的持续推进,制造业正经历重大变革,传统制造业向高质量、高要求的智能化工业转变。产品质量数据的感知和利用对于实现智能化制造具有重要意义,国内外科研工作者针对工业数据感知和智能可视化分析开展了探索与研究。

张睿健^[1]基于企业现场使用的 ZigBee、Wifi、Modbus 等网络,利用硬件组件分布式网络中心实现数据的分布感知,但需要使用大量硬件,增加了成本,且后续维护工作量大。汤宇航^[2]针对制造业的数据呈现离散型和流程型等特点,研发针对不同设备的采集站,实现设备数据的采集,但设备后期拓展性较差。方水良等人^[3]设计了基于 XBee 无线通讯模块的车间现场设备参数采集系统,但该系统易受现场复杂环境干扰,且不适用于离散分布设备的数据采集。FAROOQUI A 等人^[4]运用甘特图方法,实现了汽车制造流水线机器人数据的可视化分析,但该方法数据采集对象单一,无法对离散分布的设备进行数据采集。KOVALEV I 等人^[5]提出了一种获取数控系统数据的方法,并在云平台上实现了数据可视化,但该方法存在局限性,只能实现 OPC UA 协议设备的数据感知,无法实现现场多品牌离散设备的数据感知。CHIÒ E 等人^[6]基于产线设备提出了一种数字孪生方案,该方案通过实时监控设备状态数据,实现数字孪生模拟产线和实际产线设备状态匹配,但无法实现离散分布的多品牌设备的数据采集,且数据利用率不高。

目前的研究多以硬件设计实现不同设备的数据采集,但此类方法的弊端在于企业设备更新后,需要对硬件进行升级,成本高、维护难度大^[7];针对加工、制造设备的数据利用研究较多^[8],但缺少针对工业制造车间离散计量设备的数据感知和可视化分析利用研究。针对上述问题,本文设计了工业制造车间离散计量设备数据感知与可视化系统,搭建数据感知框架,并建立多协议数据转换

协议仓,实现对现场多品牌离散分布设备的数据感知,并结合可视化技术,实现工业制造车间中各类计量设备的数据感知和统计分析,帮助企业降本增效。

1 系统功能架构设计

离散计量设备数据感知和可视化应用系统结构如图1所示,包括硬件支持层、软件支持层和应用系统层。硬件支持层为整个系统提供硬件支撑,包括现场设备、计算机硬件、通信网络等。软件支持层为整个系统的运作提供软件保证,包括网络管理系统、数据库系统、操作系统、信息标准及管理规范、信息安全系统等。应用系统层包括融合多种协议的数据感知客户端软件、数据可视化应用服务器软件。

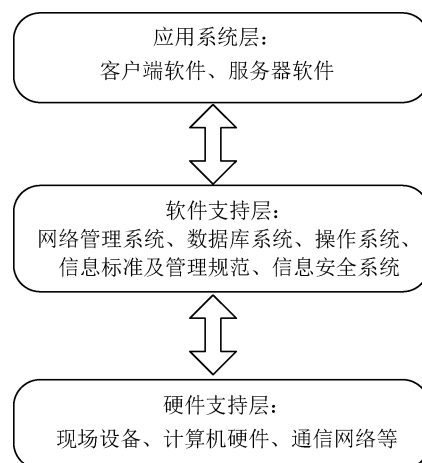


图1 离散计量设备数据感知和可视化应用系统结构

Fig.1 Structure of data perception and visualization application system for discrete measurement equipment

1.1 计量数据的感知和感知架构设计

工业车间现场涉及多种计量设备,需要实现计量资源的动态感知、设备状态动态监测、工作进度动态同步、异常事件实时响应,并对感知到的数据进行合理利用分析^[9]。依照上述需求,本文设计了面向工业制造车间的计量设备数据感知架构,如图2所示,该架构可分为计量数据物理感知

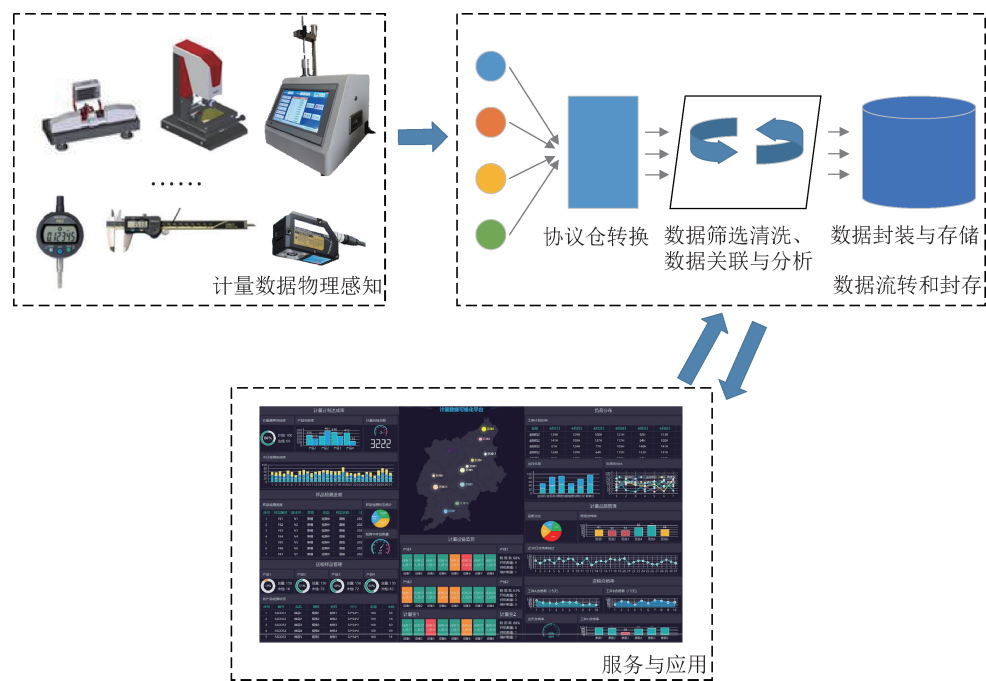


图2 计量数据感知架构
Fig.2 Measurement data perception framework

模块、数据流转与封存模块和服务与应用模块。

1) 计量数据物理感知模块

该模块是整个计量数据感知架构的基础硬件，通过传感器、设备数据接口等实现车间计量设备数据、资源数据、人员数据和车间环境数据的智能感知。

2) 数据流转与封存模块

利用数据转换协议仓对物理感知到的数据进行预处理，再根据感知对象进行二次分类。标记数据后，进行数据筛选清洗、数据关联和数据分析操作，并选择以太网等通讯技术进行信息流转，完成数据的封装与存储。

3) 服务与应用模块

根据数据统计分析结果，结合数据可视化技术，绘制数据交互界面，实现对计量设备资源的动态感知、设备状态动态监测、工作进度动态同步、异常事件实时响应等。

1.2 数据转换协议仓架构设计

车间内不同品牌计量设备使用的协议不尽相同，因此本文设计了数据转换协议仓，如图3所示。通过数据转换协议仓转换设备数据，然后利用统计方法进行后续分析处理，经数据流转和封存后，传输至服务器数据库。数据转换协议仓具

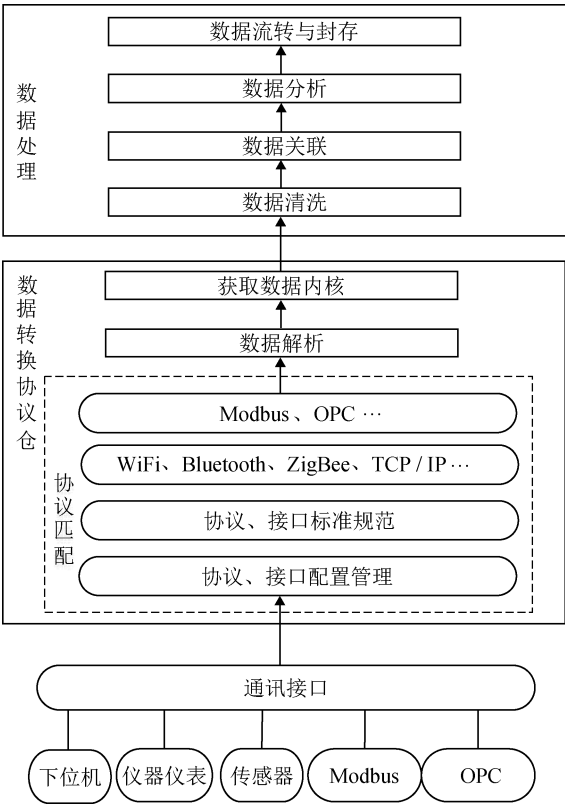


图3 数据转换协议仓架构设计
Fig.3 Architecture design of data conversion protocol warehouse

有协议可扩充、接口灵活定义等优点，支持现场多种类自动控制设备及传感器实现数据感知需求，

以动态链接库封存,可有效满足实际应用需求。

1.3 计量数据可视化框架设计

随着产品设计的更新和产品质量要求的提升,对计量的要求也发生着改变。计量数据可视化需

要满足计量车间实际应用要求,本文从工作进度可视化、设备监控可视化、品质管理可视化和样品管理可视化4个方面进行设计。计量数据可视化平台设计框架如图4所示。

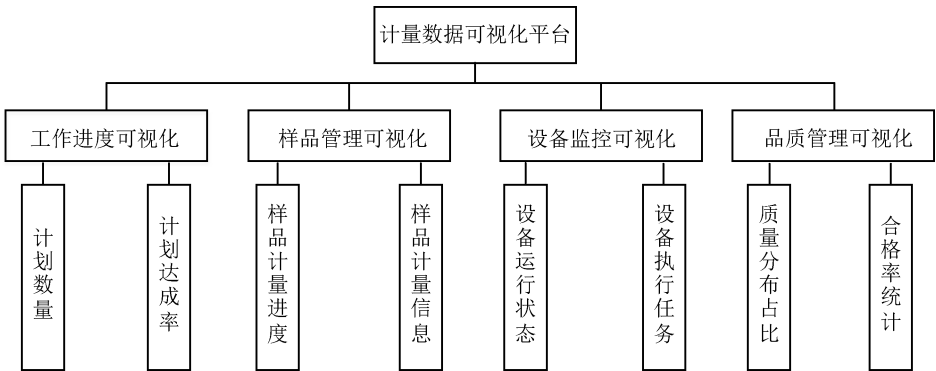


图4 计量数据可视化平台设计框架

Fig.4 Design framework of metrological data visualization platform

1) 工作进度可视化

计量进度需要与产品生产进度匹配,传统计量车间通过人工统计管理,定期关注产品计量进度,存在反馈滞后、管理人员工作量大、计划调整不匹配等问题^[10-11]。对于加急重点产品,会出现加工人员跟踪催促计量人员的状况。因此,工作进度可视化模块需要实现计量任务完成情况的统计分析、计划进展跟踪等功能。

2) 设备监控可视化

传统计量车间中,各种设备离散分布,设备的使用情况由实际操作人员自行调整,而管理人员无法准确了解每台设备的运行情况,不利于设备的合理、高效利用,易造成设备资源闲置浪费。设备监控可视化模块需要对设备运行情况、执行任务情况、操作人员情况等进行展示。

3) 品质管理可视化

计量数据量庞大,管理人员需要耗费大量时间从数据报表中分析归纳出所需信息,数据统计分析不够直观,容易出错,不利于管理人员快速掌握产品质量情况,难以实现整体把控^[12]。因此,品质管理可视化模块需要实现对产品计量数据结果的汇总分析。

4) 样品管理可视化

计量车间每天需处理大量送检样品,而目前很多中小企业依旧采用人工跟踪记录方式,无法

实现不同检定报告数据的汇总统计,管理人员无法第一时间了解产品计量信息。因此,样品管理可视化模块需要实现样品跟踪、流转信息记录和结果匹配等功能。

2 数据感知与可视化分析

2.1 数据感知

根据通讯方式的不同,可将计量车间的设备分为不具备通讯功能设备和具备通讯功能设备两类,并采用不同方式感知数据。

1) 不具备通讯功能设备的数据感知

通过给不具备通讯功能的设备加装传感器、数据感知卡等方式实现数字化,结合软件实现设备的数据感知;或者在客户端软件中输入设备计量数据并上传至服务器^[13-14]。

2) 具备通讯功能设备的数据感知

通过集成控制系统自带的程序接口进行下位机控制设备的数据感知;通过可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)自带的通讯功能访问PLC寄存器、线圈等,获取当前设备运行数据;根据设备厂商提供的软件开发工具包实现自动化集成设备的数据访问^[15]。

2.2 建立数据转换协议仓

通过设计的数据转换协议仓实现多设备、多协议的数据感知和转换。数据转换协议仓连接设

备和服务器，主要包括信息配置模块、数据处理模块、通信支撑模块，如图5所示。信息配置模块实现对现场设备的信息感知，包括设备所在位置、设备名称等。通信支撑模块实现对接入设备不相同协议的匹配和协议解析。数据处理模块实现原始数据筛选、数据清洗和数据格式转换封装。数

据转换协议仓基于信息配置模块实现设备基本信息的感知，然后接收设备数据流，经通信模块处理，完成对数据流的协议提取与解析，再经过数据筛选后，统一封装。利用数据转换协议仓进行数据转换，无需对设备进行改动，成本较低，且具有普适性。

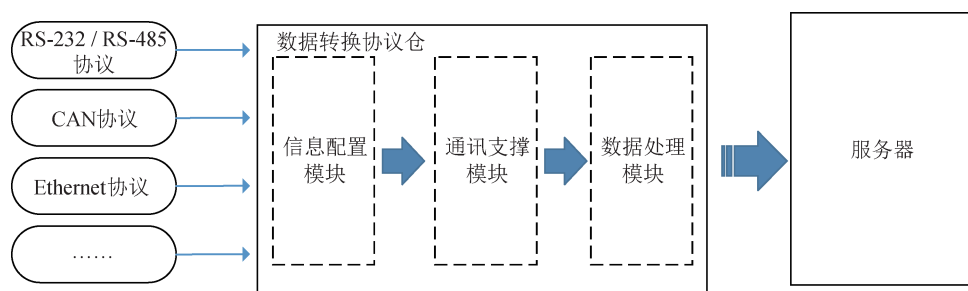


Fig.5 Functional modules of data conversion protocol warehouse

1) 信息配置模块

信息配置模块支持多种硬件层通讯协议的接入，包括但不限于RS-232 / 485、CAN、Ethernet等，能够满足不同设备的通讯需求。接入RS-232 / 485协议时，需要配置对应的通讯端口号、波特率、数据位、停止位等参数；接入CAN协议时，需要完成波特率等参数设置；接入Ethernet协议时，需要设置IP地址、子网掩码、默认网关等参数；接入Bluetooth协议时，需要设置设备地址、波特率、工作模式等参数。信息配置模块根据不同协议进行分类，提供所需参数设置。采用多线程技术实现通讯，为每台接入设备分配线程，通过调度器查看已创建的线程池中是否空闲线程，如果有则直接调度执行，如果没有则将其放于缓冲队列中。同时，管理线程会周期查询线程池状态，若线程数量少于设定目标值，则增加线程。

2) 通讯支撑模块

通讯支撑模块是数据转换协议仓的一个关键部分，负责不同数据协议的匹配和解析。该模块能够解析常见设备通讯协议，包括MODBUS RTU协议、MODBUS TCP协议、OPC UA协议、CANopen协议等，且支持部分提供软件开发包的设备数据解析，可根据实际需求选择支持的协议类型。因不同协议之间存在差异，通讯支撑模块采用命令头首字符与接收字符依次匹配的方式匹配协议头。

待匹配成功后，进行命令字符长度判断，若命令字符长度与匹配字符长度相等，则开始接收数据，直至匹配到结束字符后结束数据接收。之后，根据对应协议解析提取数据部分。

3) 数据处理模块

数据处理模块对数据结构、格式、含义进行分析，结合业务需求去除重复、去除噪声，实现数据清洗；然后，对数据进行转换、汇总，实现数据聚合；最后，将数据封装为SQL语句发送至数据库。

2.3 数据可视化系统

可视化系统使用Qt语言开发，后台连接SQL Server数据库。控件绘制基于QCustomPlot库实现，QCustomPlot库可用于创建静态、动态、交互式的2D图形，适合实现数据分析和可视化应用。SQL Server数据库是微软公司的一种关系数据库系统，具有较好的拓展性，专为分布式客户机/服务器计算而设计。

通过使用QSqlDatabase类建立数据库连接，使用QSqlQuery类执行SQL语句，检索存在数据库中的数据信息。将查询到的数据提取至数据结构体中，以便通过QCustomPlot绘图时调用。然后，创建QCustomPlot实例调用数据，绘制折线图、柱状图、散点图等图形。

可视化系统为计量管理者提供了直观的分析管

理工具,可根据可视化系统的反馈及时调整管理策略。可视化系统具备计量计划达成率、样品计量进

度、送检样品管理、计量设备监控、负荷分布、计量品质管理和送检合格率分析等功能,如图6所示。

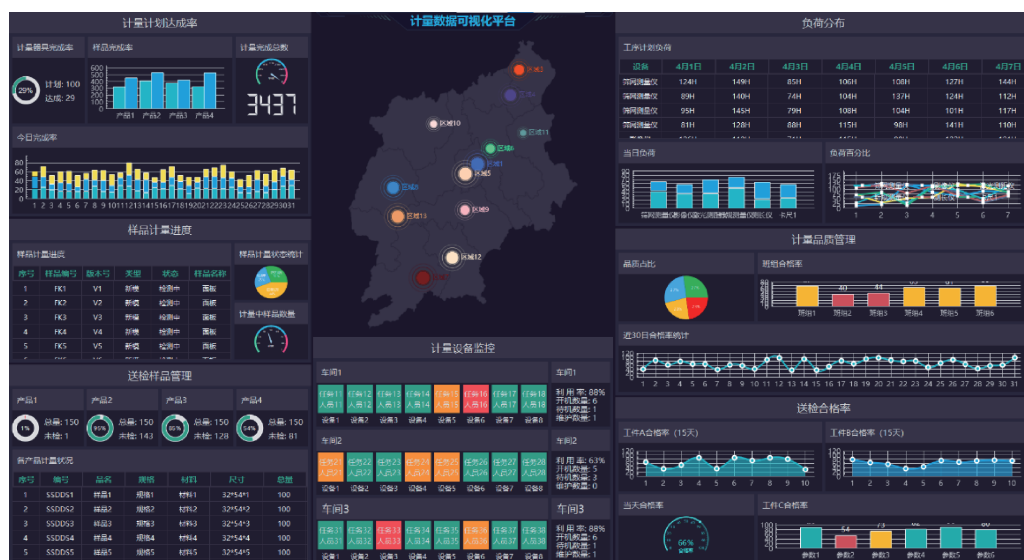


图6 计量数据可视化分析系统界面

Fig.6 Interface of measurement data visualization analysis system

1) 计量计划达成率模块: 统计分析计量器具完成率、产品完成率、计量完成总数、今日完成率等,通过读取后台数据库进行数据更新。

2) 计量进度模块: 实现样品计量进度、样品计量状态、计量中样品数量等信息的统计分析。

3) 送检样品管理模块: 实现指定样品计量情况和各产品当前计量状况的管理。可展示指定产品的计量情况,当前已完成、未完成和总量情况;显示各送检产品的具体信息和当前完成情况。

4) 计量设备监控模块: 对各指定区域(每个地点可包含两个区域)的设备利用情况进行统计,并显示设备的运行状态和利用率。

5) 区域分布模块: 起背景显示作用,用于展示设备所在区域的分布情况,可根据需求定制。

6) 负荷分布模块: 统计分析设备对应的工序计划负荷、当日负荷和负荷百分比等信息。

7) 计量品质管理模块: 统计分析品质占比、班组合格率和近30 d合格率等信息。

计量可视化系统的优势: ①有助于加强产品计量管控,加快信息流转进程,进而提高生产效率;②实时显示统计报表、任务进展、样品库存等信息,以便管理者准确把握计量过程;③实时显示设备作业状态,如有特殊情况相关负责人员

可及时介入,保障作业进度,利于管理者决策。

结合某制造加工企业车间的计量数据管理需求,进行项目开发设计。首先,根据用户需求调研,实现客户需求的定量描述,形成设计需求;然后,将初步设计方案交给客户沟通讨论,并进行相应调整;最后,建立工业制造车间离散计量设备的数据感知与可视化系统,完成现场调整测试后,交给客户使用。系统实物图如图7所示。客户利用该系统能够更加准确地了解计量过程,提高计量数据的管理及利用效率。

3 结束语

建立了工业制造车间离散计量设备的数据感知与可视化应用系统,通过设计的数据转换协议仓,实现多种品牌、多种类型计量设备的多协议通讯兼容和数据感知;利用数据分析和可视化技术,实时感知车间计量设备数据变化,满足实际车间计量数据管理需求。该系统有助于管理者准确、快速、清晰地了解计量进度情况,对于提升数据利用效率、保障工作进度具有重要意义。虽然数据转换协议仓集成了多种计量设备通讯协议,但车间内仍有部分使用其他种类通讯协议的设备,后续将进一步拓展该系统的通讯协议类型,并对



图7 离散计量设备的数据感知与可视化系统实物图

Fig.7 Data perception and visualization system for discrete metrology equipment

框架进行升级,提高应用普适性。此外,未来可结合大数据分析技术加强对计量数据的利用,建立工业产品性能预测模型,实现工业产品性能预判。

参考文献

- [1] 张睿健. 面向智能工厂的数据感知及网络互联互通研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2019.
ZHANG R J. Research on data acquisition and network interconnection for smart factory[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2019. (in Chinese)
- [2] 汤宇航. 基于工业互联网的设备管理平台数据可视化设计研究[D]. 南京:东南大学, 2022.
TANG Y H. Research on data visualization design of equipment management platform based on industrial internet[D]. Nanjing: Southeast University, 2022. (in Chinese)
- [3] 方水良, 王加兴. 基于XBee的无线数据采集系统开发和应用[J]. 机电工程, 2010, 27(3): 53-55.
FANG S L, WANG J X. Development and application of an XBee-based wireless data collection system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2010, 27(3): 53-55. (in Chinese)
- [4] FAROOQUI A, BENGTSSON K, FALKMAN P, et al. From factory floor to process models: a data gathering approach to generate, transform, and visualize manufacturing processes[J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2019, 24: 6-16.
- [5] KOVALEV I, ISSA A, NIKISHECHKIN P, et al. Development of a data collection system for a CNC system using cloud FRED technology and OPC UA specification[C]// MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2020.
- [6] CHIÒ E, ALFIERI A, PASTORE E. Change-point visualization and variation analysis in a simple production line: a process mining application in manufacturing[J]. Procedia CIRP, 2021, 99: 573-579.
- [7] 徐利谋. 离散车间制造物联网及其关键技术应用研究[J]. 产业创新研究, 2023, 7(16): 117-119.
XU L M. Research on the application of IoT and its key technologies in decentralized manufacturing[J]. Industrial Innovation, 2023, 7(16): 117-119. (in Chinese)
- [8] 黄少华, 郭宇, 查珊珊, 等. 离散车间制造物联网及其关键技术研究与应用综述[J]. 计算机集成制造系统, 2019(2): 284-302.
HUANG S H, GUO Y, CHA S S, et al. Review on internet-of-manufacturing things and key technologies for discrete workshop[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019(2): 284-302. (in Chinese)
- [9] 兰玉明, 赵敦悦, 李晓平. 5G物联网技术在取水口计量数据监控中的应用[J]. 品牌与标准化, 2024, 45(2): 126-128.
LAN Y M, ZHAO M Y, LI X P. Application of 5G internet of things technology in water intake metering data monitoring[J]. Brand and Standardization, 2024, 45(2): 126-128. (in Chinese)
- [10] 陈晓媛. 基于大数据的计量数据采集与存储系统设计[J]. 集成电路应用, 2024, 41(1): 122-123.
CHEN X Y. Design of measurement data collection and storage system based on big data[J]. Application of IC, 2024, 41(1): 122-123. (in Chinese)
- [11] 杨国昌. 利用数字计量云平台实现自动化数据采集与

- 处理探讨自动化技术在计量检测中的优势与应用[J]. 大众标准化, 2023, 44(17): 182-184.
- YANG G C. Discussion on the advantages and applications of automation technology in metrology and testing by using digital metrology cloud platform to realize automated data acquisition and processing[J]. Popular Standardization, 2023, 44(17): 182-184. (in Chinese)
- [12] 杜泽翰, 杨永军, 姜延欢. 基于5G技术的智慧计量变革[J]. 计测技术, 2020, 40(5): 53-57.
- DU Z H, YANG Y J, JIANG Y H. Intelligent measurement transformation based on the 5th-Generation mobile communication technology[J]. Metrology & Measurement Technology, 2020, 40(5): 53-57. (in Chinese)
- [13] 梁志国, 刘渊, 尹肖, 等. 关于多通道同步数据采集的探讨[J]. 计测技术, 2021, 41(4): 1-6.
- LIANG Z G, LIU Y, YIN X, et al. Discussion on multi-channel synchronous data acquisition[J]. Metrology & Measurement Technology, 2021, 41(4): 1-6. (in Chinese)
- [14] 张弛. 基于数据采集的电能计量装置远程在线检测方法[J]. 电气技术与经济, 2022, 23(6): 158-161.
- ZHANG C. Remote online detection method for electric energy metering device based on data acquisition [J]. Electrical Equipment and Economy, 2022, 23(6): 158-161. (in Chinese)
- [15] 侯成虎. 基于物联网的计量仪表数据采集系统设计应用[J]. 机械研究与应用, 2022, 35(4): 95-97.
- HOU C H. Design and application of measurement instrument data acquisition system based on internet of things [J]. Mechanical Research & Application, 2022, 35(4): 95-97. (in Chinese)

(本文编辑: 刘圣晨)



第一作者: 杨鹏(1994—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事计量数据可视化分析应用、长度光学仪器计量、几何量精密测量以及轴承产业专用、通用设备和系统研究。