

# 智能工厂中数字化量具系统的构建与实现

朱晓達

宁夏小巨人机床有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要：**随着智能制造技术的蓬勃发展，智能工厂已成为制造业转型升级的核心方向。本文聚焦智能工厂中数字化量具系统的构建与实现，围绕系统构建需求，从硬件选型、软件设计、通信网络搭建三方面提出构建方案。阐述了系统实现过程，包括数据采集传输、数据处理分析、功能实现及测试优化。研究为提升智能工厂生产效率与质量管控水平提供了实践参考。

**关键词：**智能工厂；数字化；量具系统；构建；实现

引言：在工业4.0与智能制造深度融合的背景下，智能工厂对生产过程的精准化、数字化管控需求日益迫切。量具作为质量检测的核心工具，其数字化转型是实现生产数据实时互通、质量追溯与智能决策的关键。传统量具存在数据记录滞后、人工误差大、信息孤岛等问题，难以适配智能工厂的协同化生产模式。并针对智能工厂特点，探讨数字化量具系统的构建需求、技术方案及实现路径，涵盖硬件集成、软件开发、数据流转及系统测试等环节，旨在为智能工厂质量管控体系升级提供可行方案，推动制造业向高效化、智能化转型。

## 1 智能工厂中数字化量具系统的概述

智能工厂中数字化量具系统是智能制造体系下，实现产品质量检测数字化、网络化与智能化的核心组件。该系统以数字化量具为基础，融合物联网、边缘计算、工业软件等技术，构建起覆盖“测量执行—数据采集—信息分析—决策反馈”的全流程管理体系。其核心构成包括具备自动数据输出功能的数字化量具（如数显卡尺、激光测径仪等）、用于数据汇聚的采集终端、支撑信息传输的工业网络，以及实现数据处理与应用的软件平台。通过将传统量具的物理测量信号转化为数字信号，系统可消除人工记录误差，实现测量数据的实时上传与集中管理。作为智能工厂数据链的关键节点，该系统既能为生产执行系统（MES）提供实时质量数据，又能与企业资源计划（ERP）系统联动支撑生产决策，推动质量管控从“事后检验”向“过程预防”转变，为智能工厂的高效运转与质量提升奠定数据基础<sup>[1]</sup>。

## 2 智能工厂中数字化量具系统的构建需求分析

### 2.1 生产过程对量具系统的功能需求

生产过程要求数字化量具系统具备高精度、高实时性的测量能力，能适配多品类零件的尺寸、形位公差等参数检测。需支持数据自动采集，避免人工录入误差，

并可实时显示测量结果，对超差数据即时预警，确保异常问题快速响应。

### 2.2 与智能工厂其他系统的集成需求

数字化量具系统需实现与MES系统的深度集成，实时同步生产工单与测量任务，确保质量数据与生产进度联动；与ERP系统对接，为成本核算、采购计划提供质量数据支撑；与SPC系统协同，实现过程能力分析与质量趋势预测。此外，需兼容CAD/CAM系统的图纸参数，自动生成测量程序，减少人工编程工作量，并通过标准化数据接口（如OPC UA）打破系统壁垒，保障数据在各平台间的无缝流转与一致性。

### 2.3 数据安全与管理需求

系统需建立完善的数据加密机制，对测量数据传输、存储全程加密，防止信息泄露或篡改。同时，实施分级权限管理，限制不同角色的数据访问范围，确保操作可追溯。针对海量历史数据，需构建高效存储架构，支持长期归档与快速检索，并满足工业数据合规性要求（如ISO 27001）。此外，需具备数据备份与灾难恢复功能，避免因设备故障或网络中断导致的数据丢失，保障系统持续稳定运行<sup>[2]</sup>。

## 3 数字化量具系统的构建方案

### 3.1 硬件选型与集成

#### 3.1.1 数字化量具的选择

根据测量场景与精度需求选择。高精度检测场景可选用激光类、坐标测量类量具；常规尺寸检测则考虑数显类量具。优先选择具备自动数据输出功能的量具，以适配自动化测量流程，同时需确保其能与后续数据采集设备兼容，支持主流连接方式，便于实现数据的顺畅传递。

#### 3.1.2 数据采集设备

包含工业数据采集网关、移动智能终端及辅助传感设备。网关负责汇总多类量具数据，需支持多种连接接

口；移动终端适用于非固定工位的测量数据采集，可实现数据的临时存储与上传；辅助传感设备用于监测影响测量的环境因素，保障测量条件稳定。

### 3.1.3 硬件集成方案

采用分层架构集成：底层将数字化量具与辅助设备通过接口连接至采集设备；中层借助工业总线将采集设备与网关相连，实现数据集中管理；上层通过网关将数据接入工厂服务器。集成中需统一接口规范，做好抗干扰处理，并预留扩展空间，以适应未来系统扩展需求。

## 3.2 软件系统设计

### 3.2.1 数据采集与传输软件

负责对接硬件设备，实现测量数据的自动抓取。支持多种接口协议，可适配不同类型的数字化量具和采集设备。具备数据缓存功能，在网络中断时暂存数据，恢复连接后自动续传，保障数据完整性。同时，对采集的数据进行初步格式化处理，为后续传输和分析奠定基础。

### 3.2.2 数据分析与处理软件

接收采集软件传来的数据，进行分类整理。能识别异常数据并标记，通过预设规则判断质量是否达标。可对历史数据进行趋势分析，为生产过程优化提供依据。还能与其他系统共享处理结果，支撑质量管控和生产决策，提升数据的应用价值。

### 3.2.3 用户界面软件

采用简洁直观的设计，便于操作人员快速掌握。展示实时测量数据、设备状态等关键信息，支持数据查询和筛选。设置不同操作权限入口，确保操作安全。提供图形化的数据展示方式，如趋势图、统计图表等，帮助用户直观理解数据含义，提高工作效率。

## 3.3 通信网络搭建

### 3.3.1 有线网络

适用于固定工位的设备连接，采用工业级以太网架构，具备稳定可靠的传输特性。通过交换机、路由器等设备构建星型或环型网络拓扑，减少数据传输延迟。布线时需避开强电磁干扰区域，采用屏蔽线缆增强抗干扰能力，确保数据在关键测量节点间高效传递，为系统提供持续稳定的基础通信支持。

### 3.3.2 无线网络

针对移动测量设备和分散工位，采用工业级无线技术搭建覆盖网络。支持多设备同时接入，具备灵活扩展能力，可根据生产区域调整覆盖范围。通过加密协议保障数据传输安全，采用信号增强措施解决复杂环境下的信号衰减问题，实现测量数据的无线实时上传，提升系统部署的灵活性<sup>[3]</sup>。

## 4 数字化量具系统的实现过程

### 4.1 数据采集与传输

#### 4.1.1 数据采集方式

分为自动采集和手动辅助采集。自动采集由数字化量具结合触发机制完成，测量完成后数据直接上传至系统，无需人工干预。手动辅助采集适用于部分半自动化场景，操作人员通过终端录入关键数据，系统自动关联测量任务信息，两种方式结合可覆盖不同生产场景的测量需求。

#### 4.1.2 数据传输协议

采用工业通用协议确保兼容性，包括适用于设备间短距离通信的协议和支持远距离数据传输的协议。协议需具备良好的适配性，能对接不同品牌的硬件设备，同时支持数据格式标准化转换，保障数据在系统各环节顺畅流转，实现与工厂其他系统的无缝通信。

#### 4.1.3 数据传输过程中的可靠性保障

通过多重机制保障传输可靠，采用校验算法检测数据完整性，发现错误时自动请求重传。设置数据缓存区，在网络波动时临时存储数据，待连接稳定后继续传输。同时建立传输状态监控机制，实时反馈异常并触发告警，确保数据准确、及时到达目标节点。

## 4.2 数据处理与分析

### 4.2.1 数据预处理

数据预处理是保障后续分析准确性的关键环节。首先对原始数据进行全面清洗，通过设定合理阈值，筛选并剔除因设备故障、操作失误产生的无效值和异常波动数据；对于格式不一致的信息，按照系统统一标准进行修正，确保数据格式规范。同时，将测量数据与生产批次、设备编号、操作人员、测量时间等附加信息进行关联，形成完整的数据链条。此外，还需对缺失数据进行合理补全，可采用插值法或基于同类产品历史数据进行估算，在保留数据原始特征的前提下，为后续的数据分析提供高质量的数据源。

### 4.2.2 数据分析方法

数据分析采用多种方法结合的综合策略。统计分析通过计算测量数据的均值、中位数、标准差等指标，明确数据的分布特征和离散程度，快速识别合格与不合格项，并统计不合格率等关键质量参数。趋势分析则通过对连续测量数据进行时序建模，追踪质量指标的变化规律，及时发现潜在的质量波动趋势，如系统性偏差或渐进性漂移。同时，引入对比分析，将当前数据与历史同期数据、标准数据进行比对，找出差异点和共性问题，多维度挖掘数据背后的质量信息，为质量问题诊断提供

全面依据。

#### 4.2.3 质量控制与决策支持

基于数据分析结果构建完善的质量控制体系，实时生成关键质量监控指标，如过程能力指数、不合格品率等，并通过可视化界面动态显示生产过程中的质量状态。当指标超出预设阈值时，系统自动触发声光预警或消息推送，及时提醒相关人员介入处理。同时，将分析结论转化为具体的决策建议，例如针对质量波动点提出调整生产设备参数、优化工艺流程、增加检测频次等措施。

### 4.3 系统功能实现

#### 4.3.1 测量数据实时显示与监控

系统通过可视化界面实时展示测量数据，包括当前测量值、公差范围及合格状态，以不同颜色标注正常与异常数据，便于操作人员快速识别。同时监控各测量工位设备运行状态，如在线/离线、故障报警等信息，支持多工位数据分屏查看与切换。当出现超差或设备异常时，界面自动弹窗提示并闪烁告警，确保异常情况及时被处理，实现对测量过程的动态把控。

#### 4.3.2 数据存储与查询

采用结构化数据库存储测量数据，按生产批次、产品型号、测量时间等维度分类归档，确保数据条理清晰。查询功能支持多条件组合检索，操作人员可通过输入产品编号、日期范围等信息，快速调取所需历史数据及关联的测量详情。系统还提供数据导出功能，支持将查询结果以常见格式保存，方便离线分析与追溯，满足生产过程中数据回溯的需求。

#### 4.3.3 报表生成与打印

系统内置多种报表模板，涵盖质量统计、测量趋势、设备运行等类型，可根据预设周期自动生成报表，也支持手动选择数据范围生成定制报表。报表内容包含关键指标、图表分析及数据明细，直观呈现质量状况。打印功能支持本地打印与网络打印，可设置打印参数调整格式，满足不同场景下的报表留存与汇报需求，提升质量信息传递效率。

#### 4.3.4 系统管理与维护

系统管理模块支持用户账号管理，可分配不同角色权限，限制操作范围以保障数据安全。维护功能包括设备校准记录管理，自动提醒量具定期校准；支持软件版本更新与补丁安装，确保系统功能迭代。同时具备日志记录功能，详细记录用户操作、数据变更及故障信息，便于问题排查与责任追溯，保障系统长期稳定运行。

### 4.4 系统测试与优化

#### 4.4.1 功能测试

对系统各功能模块进行全面验证，包括数据采集的准确性、实时显示的同步性、存储查询的完整性等。通过模拟不同测量场景，检验数据传输协议的适配性，以及报表生成、权限管理等功能是否符合设计要求。测试中记录功能异常点，分析成因并修复，确保各模块协同运行无遗漏，满足智能工厂的实际操作需求。

#### 4.4.2 性能测试

重点测试系统在高负载下的表现，如多量具同时采集数据时的响应速度、大量历史数据查询的耗时等。监测网络波动对数据传输的影响，评估系统的并发处理能力与稳定性。通过持续加压测试，找出性能瓶颈，为后续优化提供依据，确保系统在生产高峰期仍能高效运转。

#### 4.4.3 安全性测试

模拟网络攻击、权限越界等场景，检验数据加密机制的可靠性与访问控制的有效性。核查日志记录的完整性，测试数据备份与恢复功能的实用性。对系统漏洞进行扫描与修复，确保测量数据不被篡改或泄露，符合工业数据安全标准，保障系统长期安全运行。

#### 4.4.4 系统优化措施

针对测试中发现的问题进行针对性优化，如优化数据缓存策略提升查询速度，调整网络配置增强传输稳定性。简化冗余操作流程，提升用户界面的交互效率。定期更新数据分析算法，提高质量预警的准确性。通过持续迭代优化，增强系统的适应性与易用性，更好地服务于智能工厂的生产管控<sup>[4]</sup>。

### 结束语

智能工厂中数字化量具系统的成功构建与实现，是制造业数字化转型的重要一步。它打破传统量具的信息壁垒，凭借硬件、软件与网络的有机结合，构建起高效的质量管控体系，让数据从采集到应用的全流程更精准、高效。这一系统不仅提升了生产质量的把控能力，更助力智能工厂实现协同高效生产。

### 参考文献

- [1] 何德颂, 汪志伟. 关于化工行业智能化应用的展望[J]. 石油化工自动化, 2021, 54(4):34-38.
- [2] 吴青. 智慧炼化建设中工程项目全数字化交付探讨[J]. 无机盐工业, 2022, 50(5):1-6.
- [3] 樊军锋. 智能工厂数字化交付初探[J]. 石油化工自动化, 2020, 53(30):15-17.
- [4] 易轶虎. 石化行业智能制造现状分析与对策研究[J]. 石油化工管理干部学院学报, 2020, 22(1):67-70.