

数字化转型背景下机械加工企业标准体系重构研究

游华玲

重庆红宇精密工业集团有限公司, 重庆 402760

[摘要]数字化转型背景下, 机械加工行业如今正处于从传统生产模式转向智能工厂的重要阶段, 当下企业在用的整套标准规范, 大多是早年规模化生产阶段制定出来的, 存在更新慢、文件形式单一、各板块互不衔接等短板, 跟不上数字化转型里数据共享、工艺匹配、各软件设备打通联动的实际需求。本文结合系统工程与标准化相关理论, 梳理智能制造转型过程中现有标准体系存在的结构冲突, 搭建一套基于数据赋能、可随时更新、全业务打通的全新重构架构。细分出数字化通用基础、智能设备与加工工艺、工业数据规范化管理、数字孪生落地应用、工业网络安全防护五大分支标准体系, 同时给出基于模型系统工程(MBSE)搭配知识图谱协同推进的搭建思路。研究表明, 重新搭建行业标准体系是机械加工企业实现数字化升级、稳步高质量发展的关键制度保障。

[关键词]数字化转型; 机械加工; 标准体系重构; 数据治理; 数字孪生

DOI: 10.33142/mem.v7i4.20273

中图分类号: F270.721

文献标识码: A

Research on the Reconstruction of Standard System for Mechanical Processing Enterprises under the Background of Digital Transformation

YOU Hualing

Chongqing Hongyu Precision Industry Group Co., Ltd., Chongqing, 402760, China

Abstract: Under the background of digital transformation, the mechanical processing industry is now in an important stage of shifting from traditional production modes to intelligent factories. The entire set of standards and specifications currently used by enterprises are mostly formulated during the early stage of large-scale production, with shortcomings such as slow updates, single file formats, and lack of connection between various sectors, which cannot keep up with the actual needs of data sharing, process matching, and software equipment linkage in digital transformation. This article combines the theories of systems engineering and standardization to sort out the structural conflicts in the existing standard system during the transformation of intelligent manufacturing, and builds a new reconstruction architecture based on data empowerment, real-time updates, and full business integration. Subdivide into five major standard systems: digital general foundation, intelligent devices and processing technology, standardized management of industrial data, digital twin landing application, and industrial network security protection. At the same time, provide a construction approach based on Model Based Systems Engineering (MBSE) combined with knowledge graph collaborative promotion. Research has shown that rebuilding the industry standard system is a key institutional guarantee for mechanical processing enterprises to achieve digital upgrading and steady high-quality development.

Keywords: digital transformation; machining; standard system reconstruction; data governance; digital twin

引言

当下全球科技革新、产业升级步伐持续加快, 数字化转型已经成制造业守住竞争优势的核心办法^[1]。机械加工是装备制造的根基产业, 数字化转型是覆盖产品研发、车间生产、内部管理、售后服务整条产业链的全方位改造。国内机械加工领域虽说已经搭建起一套完整标准, 能覆盖设计、加工工艺、产品质检、企业管理各个环节, 但这些

标准大多还是早年机械化生产时期制定的, 在数字化转型背景下, 企业生产资料、作业流程与经营管理均实现线上化、数据化转型^[2], 然而当前存在诸多痛点, 技术指标更新滞后于行业发展, 工业软件难以自动解析标准内容、缺少通用统一的数据接口规范, 各业务系统数据无法互通互联^[3]。所以, 文章结合整个行业通用运行规律, 构建一套逻辑自洽、结构清晰、可操作性强的标准体系重构理论框

架与方法论。

1 传统机械加工企业标准体系的结构性困境

1.1 载体形态的非结构化与机器可读性缺失

以往传统机械加工相关标准大多都存成纸质文件、PDF 或者 Word 文档，内容全靠文字描述，缺乏规整统一的标准化格式。现在数字化车间中的 MES、ERP、PLM 这类管理系统，运行都需要规整好、能直接调用的参数和固定执行规则，可现有的行业标准没法转成 XML、JSON-LD 这种机器能直接读取识别的格式，系统没办法自动识别解析标准里的内容，这就造成标准文件和车间业务系统完全脱节、互不兼容。工艺员编写加工程序、安排生产计划的时候，只能手动翻各种文档，很容易输错数据，工作效率低下，影响了车间数字化、自动化生产水平的进一步升级^[4]。

1.2 体系架构的垂直割裂与横向协同匮乏

目前机械加工企业在用的标准体系是按各部门职能纵向分开搭建的，各个细分标准体系之间衔接不畅、配合度低。但数字化生产里业务流程要跨多个环节打通，管控零部件质量时还得调用不同领域的标准内容。缺乏统一的数据基础和统一的专业表述互通规则，还经常出现理解偏差，没法实现依靠数字化模型全程协同生产^[5]。

1.3 演化机制的静态刚性与敏捷迭代需求冲突

机械加工领域数字化改造进程持续加快，各类智能算法、精密传感设备与工业软件的更新换代速度显著提升，迭代间隔大幅压缩。反观现行标准化管理体系，传统标准制修订流程环节繁琐、耗时偏长，一项国家标准或行业标准从立项到落地通常需要 3~5 年，企业标准虽实行年度复核机制，但整体管理模式依旧固化。这种滞后、僵化的标准管控方式，直接造成大量新兴技术、新型工艺缺少对

应合规标准参照，企业实操时常出现无标可循、按新工艺生产却与现有标准相悖的情况。

1.4 价值导向的合规本位与数据资产化脱节

传统机械加工行业原有标准围绕产品达标、零件通用互换两大核心搭建，工业数据已然成为核心生产资源，数据资产的运营能力也成为企业拉开竞争差距的关键，可当下配套标准体系尚不完善，缺少统一规范约束数据采集、数据质量评判、权属界定流转、算法可靠性校验等全流程治理工作^[6]。企业在开展工业数据挖掘工作时，普遍面临各类设备采集口径不统一、原始数据缺少有效标注，导致大量信息变成无法利用的闲置暗数据等现实问题。

2 数字化转型背景下标准体系重构的理论逻辑

在数字化时代，标准不再是纸上的文字条款，而是能被电脑计算、识别和执行的数字知识资源。所以，重构机械加工标准体系，首先要做的就是将标准内容转化为数字化模型，提炼核心概念、特征和规则，搭建全领域知识图谱。重构需聚焦三大核心方向：一是从“重文档”转为“重数据”，把标准拆成最小的“数据元”和业务对象，把标准化规范转化为机器可读信息，打通各系统间的数据互通壁垒。二是融入 MBSE 方法，用 SysML 语言把标准变成可仿真的模型，提前验证是否适配，让标准和实际生产流程结合，实现从事后依规校验，转变为生产过程中实时赋能业务。三是坚持开放和动态更新，对接国家及供应链标准，通过数据收集实际执行情况，依托大数据对标准落地成效进行量化评估，自动触发修订，实现标准与技术、业务同步迭代，适配数字化生产的动态需求。

3 机械加工企业数字化标准体系架构设计

基于上述理论逻辑，构建适应数字化转型需求的机械加工企业新型标准体系架构，具体架构及核心内容见表 1。

表 1 机械加工企业数字化标准体系架构及核心内容

子体系名称	核心定位	核心涵盖内容	数字化转型适配价值
数字化基础通用子体系	体系基石，统一语言与规则	术语与分类编码、数据元与主数据、互操作性与接口、数字化成熟度评价标准	消除语义歧义，打通 IT 与 OT 层壁垒，为全域协同奠定基础
智能工艺与装备子体系	核心业务载体，支撑数字化生产	数字化工艺设计、智能装备互联互通、自适应加工控制、工装夹具数字化管理标准	替代传统二维图纸，实现装备智能互联与工艺自适应优化，提升生产柔性
工业数据治理与资产管理子体系	数据价值释放的制度保障	数据采集与存储、数据质量管理、工业算法模型验证、数据安全与隐私保护标准	规范数据全生命周期管理，破解“暗数据”难题，支撑数据资产化运营
数字孪生与虚实融合子体系	数字化转型高级形态支撑	多维建模、虚实同步与映射、仿真验证与优化、沉浸式交互标准	实现物理实体与数字孪生体精准映射，支撑虚拟调试与工艺优化，降低试错成本
网络安全与韧性保障子体系	数字化系统稳定运行底线	工控安全防护、供应链安全、业务连续性标准	构建纵深防御体系，防范网络安全风险，保障生产系统连续稳定运行

3.1 数字化基础通用子体系

这套子体系是数字化标准体系的基础，相当于数字化领域通用沟通语言，把各类生产资源、业务流程的规则统一起来，消除不同系统、不同业务板块之间的数据不通、信息割裂问题。具体包含四大板块：一是统一物料、设备等各类物资的专业术语与编码规则，让各类实物对象叫法、标识统一；二是明确数据单元和核心主数据的标准要求，保证数据从创建到归档全流程不会出现前后矛盾；三是规范工业通信对接接口，打通企业信息化系统和现场生产控制系统的数据通道；四是建立可量化的数字化成熟度评价指标，给企业自身和上下游供应链数字化转型提供评判标准与落地执行思路。

3.2 智能工艺与装备子体系

这套子系统是机械加工数字化生产的核心平台，主要围绕工艺规划、设备维护、现场生产落地搭建统一标准，助力生产线实现智能化改造升级，整体内容分为四大板块：第一部分为数字化工艺设计相关规范，统一MBD三维模型标注、PMI信息嵌入以及轻量化查看的相关标准，用三维模型直接替代传统二维图纸；第二部分是智能设备互联互通规范，明确机床、机械臂、AGV小车的数据采集、指令传递和边缘设备布置要求；第三部分为自适应加工控制规范，统一传感器参数调节、设备防撞撞程序以及质量检测模型对接接口；第四部分是工装数字化管理规范，制定好工装识别编号、使用寿命预判和自动调配相关规则，完成工装从使用到报废全流程数字化管控。

3.3 工业数据治理与资产管理子体系

这套子体系是盘活工业数据价值、落地数据资产运营的关键制度依托，统一管控数据从产生到销毁全流程的标准化工作，主要涵盖四部分内容：第一，统一数据采集与存储要求，把传感器采样方式、数据压缩方式、时序数据库选用以及冷热数据分开存放的相关规则都明确清楚；第二，建立完整的数据质量规范，设置多维度评判标准，配套数据清洗、修复操作流程，清理企业里没法直接使用的无效暗数据；第三，出台工业算法校验相关标准，统一数据加工场景下模型训练、测试、效果评估和版本留存的全套管理规定；第四，补齐数据安全与隐私保护相关准则，细化数据分级分类、访问权限管控、数据加密手段以及跨境流通合规要求。

3.4 数字孪生与虚实融合子体系

这套子系统是机械加工厂往高端数字化升级的关键载体，整体以数字孪生落地规范为搭建主线。多维建模标准统一机床、加工零件等高精度建模方式，同时规范多物

理场仿真的校正流程；虚实映射标准定好数据实时同步规则，还有误差修正的整套处理机制；仿真优化标准给出虚拟调试、产能预估对应的验证评判要求；沉浸式交互标准明确AR、VR用于设备运维、零件装配时的画面渲染、信号延迟以及人机操作舒适度相关指标。整套标准落地后能做到虚拟场景和真实生产精准对应、协同运转，帮助工厂压缩成本、提升生产效率。

3.5 网络安全与韧性保障子体系

该子体系是保障数字化生产系统稳定运行、防范安全风险的底线，落实纵深防御架构，规范生产区域隔离、白名单机制、漏洞管理及应急响应流程，防范工控系统网络攻击。同时，对软硬件供应商的代码审计、开源组件许可、后门检测等提出明确要求，从源头防范供应链安全风险。此外，定义数字化系统故障下的降级运行模式、数据备份恢复的RTO（恢复时间目标）、RPO（恢复点目标）指标及应急演练频次，保障生产业务的连续稳定运行。

4 标准体系重构的实施路径与关键机制

4.1 建立“业务-数据-标准”三位一体的联动机制

改变以往各标准化部门各自单独推进标准搭建的传统模式，整合业务、数据、标准三类人员成立跨领域专项小组，实现三方协同联动。同步梳理业务流程、排查数据断层、补齐现有标准缺失内容；参照行业标杆开展数据治理工作，优化完善各项管理规范；在制修订各类标准时，同步核查业务适配度与数据实际可用情况。依靠业务、数据、标准三位一体联动机制，避免标准制定和实际业务、数据脱节，让标准贴合日常生产实操，解决一线业务中的各类难题。

4.2 推行“标准数字化”与“数字化标准”双向转化机制

优先选用日常生产频次高、技术参数繁杂的生产工艺与检验规范，借助自然语言处理技术搭配人工复核校对，将零散无固定格式的纸质、文档类标准，整理成条理清晰的标准化知识库、能直接运行的操作脚本以及设备可识别的模型文件，完成整套标准数字化升级。数字化项目启动前做好标准前置审核工作，项目立项阶段就评估新项目是否会对现有整套标准体系产生影响，梳理清楚需要新增、修改标准的需求并写入项目交付清单，避免出现不符合规范的独立系统、互不连通的数据隔离问题，让数字化项目和企业标准体系同步落地、配套适配。

4.3 构建基于绩效反馈的标准有效性评价机制

不再沿用过去固定周期、一刀切的静态标准复审方式，搭建可视化绩效数据看板，通过标准被调用频次、工序达

标率、产能产出效率等关键数据，实时判断各类标准落地后的实际效果。系统会自动筛选出很少被使用、频繁引发生产问题的标准，统一整理到修订废止清单里，及时删掉过时没用的条款；针对能提升产品质量、提高生产效率、节约成本的优质标准，总结可行做法，在公司内部和上下游合作厂商中复制推广。依靠数据持续循环反馈，让整套标准体系随时更新优化，跟上业务发展和新技术升级的节奏。

5 结论

搭建一套包含数字化通用基础、智能加工设备、工业数据管理、数字孪生落地、网络安全防护五大板块的全新标准整体框架，再搭配 MBSE、知识图谱、数据闭环反馈这类前沿思路和配套运行机制，能很好解决传统标准体系跟不上数字化生产需求的核心冲突，夯实机械加工厂数字化升级标准化底层基础，为后续智能制造、数字管控落地筑牢根基。未来，相关研究可以重点针对不同细分行业定制调整方案，比如航空航天高精度加工、新能源汽车零件生产等赛道，结合各自行业特点优化标准框架和具体内容，

助力国内机械加工行业的标准化建设再上一个台阶。

[参考文献]

- [1]谢松.安全规范要求下的施工机械标准化管理模式优化[J].中国机械,2026(11):143-146.
- [2]刘铭.完善机械制造企业标准化生产管理助力运营效率提升[J].品牌与标准化,2026(2):253-255.
- [3]刘占省,李孟婷,王泽强.面向建筑工程施工碳排放的数字孪生仿真建模与优化控制体系[J].土木建筑工程信息技术,2025,17(5):19-23.
- [4]朱斌.机械产品再制造标准体系建设研究[J].中国标准化,2024(12):79-82.
- [5]陈文奇.集成设计参数和制造参数的工件机加工能耗建模及优化研究[D].重庆:重庆大学,2019.
- [6]曹亚文.浅谈机械行业企业标准体系的建立与实施[J].机械工程与自动化,2012(6):161-163.

作者简介：游华玲（1978—），女，汉族，重庆人，工程师，本科，南京理工大学，火箭武器专业，研究方向为标准化技术。