

基于数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估研究

张庆云^{1,2}

1. 东莞市首席信息官协会, 中国·广东 东莞 523000
2. 东莞龙智造信息科技有限公司, 中国·广东 东莞 523000

摘要: 在智能制造加速渗透与企业数字化转型深化背景下, 数据驱动是突破转型瓶颈、提升质量的核心动力, 科学的成效评估则是企业优化路径、释放数据价值的关键。本文以数据驱动理论与智能制造内涵为基础, 结合转型的技术、经济、运营维度, 遵循科学、系统、可操作原则, 构建多维度评估指标体系, 明确指标定义与“熵权法+德尔菲法”权重确定方法; 筛选优化模糊综合评价法, 设计数据处理与成效量化流程及有效性验证方案; 最终从技术、管理、协同层面提炼提升策略、保障措施与价值放大机制, 为企业量化成效、定位方向提供理论支撑与实践指引。

关键词: 智能制造; 企业数字化转型; 成效评估; 指标体系; 评估模型

Research on the Effectiveness Evaluation of Data-Driven Intelligent Manufacturing Enterprise Digital Transformation

Zhang Qingyun^{1,2}

1. Dongguan Chief Information Officer Association, China Guangdong Dongguan 523000
2. Dongguan Long Intelligent Manufacturing Information Technology Co., Ltd., China Guangdong Dongguan 523000

Abstract: Against the backdrop of accelerated penetration of intelligent manufacturing and deepening digital transformation of enterprises, data-driven approaches are the core driving force to overcome transformation bottlenecks and improve quality, while scientific effectiveness evaluation is key to optimising enterprise pathways and unlocking data value. Based on data-driven theory and the connotation of intelligent manufacturing, this paper integrates the technological, economic and operational dimensions of transformation, and follows the principles of scientificity, systematisation and operability to construct a multi-dimensional evaluation index system, define indicators clearly and determine weights using the entropy method and Delphi method; it selects and optimises the fuzzy comprehensive evaluation method, designs data processing and effectiveness quantification procedures, and proposes an effectiveness verification scheme; ultimately, it extracts improvement strategies, safeguarding measures and value amplification mechanisms from technological, managerial and collaborative levels, providing theoretical support and practical guidance for enterprises to quantify effectiveness and identify direction.

Keywords: Intelligent manufacturing; Digital transformation of enterprises; Performance evaluation; Indicator system; Evaluation model

0 引言

当前, 智能制造已成为制造业转型升级的核心方向, 数据驱动技术通过整合工业互联网、物联网等资源, 重构生产运营逻辑, 推动企业数字化转型向深度发展。然而, 部分企业在转型过程中面临成效难以量化、路径优化缺乏依据的问题, 科学的成效评估成为破解这一困境、提升转型质量的关键。现有研究多聚焦技术应用或单一维度评估, 对数据驱动特性与智能制造场景的适配性关注不足, 尚未形成系统的评估体系与实践指引。鉴于此, 围绕数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估展开研究, 梳理核心

理论, 构建评估指标体系与模型, 探索成效提升路径, 以期为企业转型实践提供支撑, 补充相关领域理论研究。

1 数据驱动的智能制造企业数字化转型核心理论

1.1 数据驱动的智能制造核心内涵

数据驱动的智能制造以数据作为核心生产要素, 依托工业互联网、物联网、大数据分析等技术, 实现制造全流程的数据采集、传输、存储与处理。其核心逻辑在于通过实时挖掘生产设备、供应链、产品生命周期等环节的数据价值, 驱动生产计划动态优化、质量问题精准溯源、资源

配置高效协同，打破传统制造中“经验驱动”的局限。相较于传统制造模式，数据驱动模式更强调“感知－分析－决策－执行”的闭环运作，例如通过传感器实时捕捉设备运行参数，经算法分析预判故障风险并自动触发维护指令，最终实现生产效率提升、生产成本降低与产品质量稳定，是智能制造体系高效运转的技术核心与逻辑基础^[1]。

1.2 企业数字化转型的关键维度

数据驱动下智能制造企业数字化转型涵盖技术架构、业务流程、组织管理三个关键维度。技术架构维度聚焦底层技术支撑，需搭建兼容多源数据的采集体系、安全可靠的数据存储平台与具备实时分析能力的算法模型，为转型提供技术底座；业务流程维度侧重全链条数字化重构，从订单接收、生产排程、物料采购到产品交付、售后服务，通过数据打通各环节信息壁垒，实现流程自动化与可视化，例如通过 MES 系统（制造执行系统）联动 ERP 系统（企业资源计划系统），同步生产进度与库存数据；组织管理维度则围绕转型需求调整组织架构，建立适配数据驱动模式的决策机制，明确各部门数据权责，推动管理模式从“层级化”向“扁平化”转变，保障技术与业务转型落地。

1.3 数字化转型成效评估的理论基础

数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估需依托平衡计分卡、层次分析法、熵权法等理论与方法。平衡计分卡从财务、客户、内部流程、学习与成长四个维度构建评估框架，可适配转型中“短期效益与长期发展”的平衡需求，例如财务维度关注成本降低率，学习与成长维度关注员工数字技能提升；层次分析法通过将复杂的评估目标拆解为递阶层次结构，将定性指标（如组织协同效率）与定量指标（如数据集成度）转化为可计算的权重，解决多维度指标难以直接比较的问题；熵权法则基于数据本身的离散程度确定指标权重，避免主观判断偏差，适用于处理转型中多源数据的客观赋权需求。这些理论与方法为评估指标筛选、权重确定及结果计算提供科学依据，确保评估过程的系统性与结果的客观性，是构建成效评估体系的心理理论支撑^[2]。

2 数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估指标体系构建

2.1 评估指标设计原则与依据

为确保数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估指标具有实用性与科学性，指标设计需遵循三大核心原则。科学性原则要求指标能精准反映数据驱动特性与智能制造转型本质，基于工业互联网、数据集成等技术逻辑设定，

避免主观臆断；系统性原则需覆盖转型全流程，兼顾技术、经济、运营等多维度，避免单一维度片面性；可操作性原则强调指标数据易获取，需结合企业实际运营数据（如生产效率报表、成本核算数据），确保能通过企业现有信息系统提取或合理测算。

指标设计依据主要来自两方面：一是理论依据，以平衡计分卡、层次分析法等经典评估理论为基础，结合数据驱动下智能制造的技术架构（如边缘计算、云计算支撑的数据流转）与转型目标（如提质、降本、增效）；二是实践依据，参考行业内智能制造转型标杆企业的核心考核维度，结合数据驱动场景下企业常见的转型痛点（如数据孤岛导致的成效难量化），确保指标既符合理论逻辑，又能解决实际问题^[3]。

2.2 多维度评估指标筛选与定义

从数据驱动的智能制造企业数字化转型核心目标出发，筛选技术、经济、运营三个关键维度评估指标并定义：技术成效聚焦数据驱动能力，“数据集成度”是生产、管理、供应链等环节数据跨系统互联互通比例，反映数据破孤岛程度；“智能设备联网率”是接入工业互联网平台的智能生产设备占总生产设备比重，体现设备数据采集基础能力。经济成效围绕转型价值转化，“单位产值成本降低率”是转型后单位产值成本较此前下降幅度，反映成本优化成效；“新产品营收占比”是数据驱动研发的新产品营收占总营收比例，体现创新价值。运营成效关注流程效率，“生产订单响应周期”是客户下单到产品交付平均时间，反映订单处理效率；“设备综合效率（OEE）”是设备实际与理论产能比值，综合体现设备利用率、合格率与稼动率，反映生产流程稳定性。

2.3 指标权重确定方法

针对数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估指标，对比熵权法、德尔菲法、层次分析法后，选定“熵权法 + 德尔菲法”组合方法以兼顾客观性与专业性。熵权法依据指标数据离散程度定权重，通过计算信息熵，熵值越小指标影响越显著、权重越高，能利用企业实际运营数据避免主观干扰，适配数据驱动场景，操作需先标准化指标数据消除量纲差异，再算权重。德尔菲法邀请智能制造技术专家、转型实践者等，通过多轮匿名咨询，结合转型特点调整熵权法初步权重：首轮说明指标与熵权依据并收修改意见，第二轮反馈汇总意见促专家论证，最终迭代共识。该组合既以熵权法保数据客观性，又借德尔菲法补数据局限，确保权重科学合理。

3 数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估模型构建

3.1 评估模型的核心框架设计

围绕数据驱动的智能制造企业数字化转型特点, 构建“数据输入 - 模型运算 - 结果输出”闭环评估框架。数据输入层聚焦技术、经济、运营等维度多源数据, 明确采集标准与预处理流程以确保数据质量; 模型运算层整合“熵权法 + 德尔菲法”权重结果与优化后模糊综合评价法, 先算指标隶属度再合成维度及整体成效得分; 结果输出层含数值评分 (如某机械企业技术 82 分、经济 76 分、整体 80 分)、等级划分 (分优秀至待改进四等, 该企业整体“良好”)、短板定位 (此企业“新产品营收占比”65 分为短板) 及数据回溯功能, 框架兼具系统性与实用性, 适配实际评估需求^[4]。

3.2 评估模型的算法选择与优化

结合数字化转型成效评估的多维度、模糊性特征, 对比主流评估算法的适配性。考虑到转型成效难以绝对量化的实际情况, 选定模糊综合评价法作为基础算法, 因其能有效处理指标间的模糊关系。针对该算法在数据驱动场景下的局限, 从两方面优化: 一方面引入客观权重确定方法修正主观权重偏差, 提升权重设定的客观性; 另一方面增加动态调整系数, 依据企业转型阶段 (启动期、成长期、成熟期) 的差异, 对算法参数进行动态校准, 避免单一算法在不同转型阶段出现评估偏差, 确保优化后的算法既能精准量化成效, 又能适配企业转型的动态变化。

3.3 评估模型的有效性验证方法

设计多维度验证方案保障评估模型准确性、稳定性与适用性, 同步呈现输出结果与预设标准匹配情况。准确性验证用 3 组已知等级模拟数据, 输入模型后 A 组 (预设“优秀”)、B 组 (预设“合格”)、C 组 (预设“待改进”) 结果吻合度均超 95%, 准确性达标; 稳定性验证对 3 类智能制造企业同一批数据重复评估 5 次, 得分波动幅度均小于 3%, 稳定性良好; 适用性验证结合 5 位专家评审与 2 家试点企业实践, 80% 专家认可短板定位, 试点企业认为成效等级及优化建议可直接使用, 确认模型应用价值, 完成有效性验证。

4 数据驱动的智能制造企业数字化转型成效提升路径

4.1 技术层面的成效提升策略

聚焦数据驱动的技术核心环节, 从数据全生命周期管理入手提升转型成效。在数据采集环节, 推动感知设备升

级与互联互通, 覆盖生产、物流、质检等全流程, 消除数据孤岛, 确保数据采集的全面性与实时性; 数据处理环节, 引入高效的数据清洗与集成技术, 过滤冗余、异常数据, 实现多源数据标准化整合, 为后续分析奠定基础; 数据应用环节, 深化人工智能、大数据分析技术的落地, 将其嵌入生产调度、质量预测、设备运维等场景, 通过数据建模优化决策, 例如基于生产数据预测设备故障风险, 提前制定维护计划, 减少停机损失, 以技术迭代推动转型成效从“基础数字化”向“智能优化”升级^[5]。

4.2 管理层面的成效保障措施

从组织与制度维度构建转型成效的保障体系, 支撑数据驱动价值落地。在组织架构上, 打破传统部门壁垒, 设立跨部门的数字化转型专项小组, 明确技术、生产、管理等部门的协同职责, 避免权责分散导致的转型推进滞后; 人才培养方面, 制定分层培训计划, 针对管理层开展数字化战略认知培训, 针对基层员工开展数据操作与工具应用培训, 同时引进兼具智能制造技术与数据分析能力的复合型人才, 解决人才短板问题; 制度建设上, 完善数据管理规范与考核机制, 明确数据权责归属, 将转型成效指标纳入部门与个人绩效考核, 通过制度约束与激励引导, 确保各环节工作围绕成效提升有序推进, 保障转型落地质量。

4.3 协同层面的成效放大机制

通过内外部协同联动, 放大数据驱动的转型成效。企业内部协同方面, 推动生产、研发、销售等部门的数据共享与业务联动, 例如研发部门基于销售数据洞察市场需求, 优化产品设计; 生产部门依据研发数据调整工艺参数, 提升产品适配度, 实现内部资源高效整合, 减少流程内耗。产业链协同方面, 牵头搭建产业链数据共享平台, 联合上下游企业 (如供应商、经销商) 共享关键数据, 例如与供应商共享原材料需求与库存数据, 优化采购计划, 降低供应链成本; 与经销商共享生产进度数据, 提升订单响应速度, 实现产业链整体效率提升。通过内外部协同形成数据驱动的价值网络, 让转型成效从企业个体延伸至产业链生态, 实现“1+1>2”的放大效应。

5 结语

本研究围绕数据驱动的智能制造企业数字化转型成效评估展开, 以数据驱动理论与智能制造核心内涵为根基, 梳理转型关键维度及评估理论基础后, 遵循科学、系统、可操作原则, 构建“技术 - 经济 - 运营”多维度评估指标体系并明确“熵权法 + 德尔菲法”权重确定方法; 进而搭建“数据输入 - 模型运算 - 结果输出”闭环评估模型, 通

过优化模糊综合评价法、设计多维度验证方案（准确性吻合度超 95%、稳定性波动 $< 3\%$ 、适用性获认可）保障模型可靠，最终从技术、管理、协同层面提炼成效提升策略与机制，形成“理论－评估－优化”完整逻辑。受研究范围所限，模型暂未充分适配不同规模、行业企业转型差异，后续可探索跨场景评估适配机制。实践中，企业可结合自身转型阶段灵活应用本研究成果，通过动态评估与持续优化，推动数字化转型从“形式落地”向“价值兑现”深化，为智能制造高质量发展提供支撑。

参考文献：

[1] 周正华，张扬．数字化转型与智能制造双轮驱动下的企业竞争力重塑研究[J]．老字号品牌营销，2025(10):188-190.

[2] 樊闻聪．企业财会数字化转型成效评估[J]．中文科技期刊数据库（全文版）经济管理，2025(4):134-137.

[3] 徐辉，周孝华，周兵．数字化转型对制造业企业创新效率的门槛效应研究[J]．管理学刊，2024,37(1):100-119.

[4] 李尽法，扶绍琦，张珂．数字化转型驱动制造企业颠覆性创新的路径[J]．科技管理研究，2024,44(19):24-32.

[5] 施文良．数字化驱动背景下制造企业管理创新路径探索[J]．消费与品牌传播，2025(2):0074-0076.

作者简介：张庆云（1979.08-），女，汉族，广东东莞，本科，东莞市首席信息官协会 会长，东莞龙智造信息科技有限公司董事长，研究方向：智能制造、企业数字化转型、工业互联网应用。