

烟草行业智能工厂建设路径与实施效果研究

臧德厚¹ 潘黎光²

1 山东中烟工业公司颐中（烟草）集团有限公司，山东青岛，266000；

2 青岛颐中资产运营有限公司，山东青岛，266000；

摘要：针对烟草行业智能制造转型中存在的系统孤岛、数据割裂等问题，本研究提出“三阶跃迁”建设模型。以某新烟工厂为研究对象，采用“顶层设计-分步实施-效果量化”方法论，构建包含智能生产、园区运营、管理决策的三层架构。实施数据显示：生产效率提升 23.5%，设备 OEE 达到 83.5%，能源利用率提高 12.8%。研究证实，以 MES 系统为中枢、工业互联网平台为纽带的架构设计，可有效解决传统烟草工厂的数字化协同难题，为行业提供可复用的实施范式。

关键词：智能工厂；烟草行业；MES；工业互联网；数字化转型

DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.021

1 引言

1.1 全球烟草行业数字化转型趋势

近年来，全球烟草行业正加速向智能制造和数字化管理转型，主要驱动因素包括：

（1）政策监管趋严：各国政府加强烟草生产合规性要求，如中国《烟草行业“十四五”发展规划》^[1]明确要求 2025 年实现关键工序数控化率 $\geq 90\%$ 。

（2）市场竞争加剧：国际烟草巨头（如菲莫国际、英美烟草）已部署工业互联网、数字孪生等技术，其 IQOS 工厂的自动化率达 95%，而国内烟厂平均仅 65%（PMI 年报，2023）。

（3）降本增效需求：人工成本上涨+能源价格波动，

促使企业通过数字化降低单箱生产成本（行业平均目标：3-5%/年）。

1.2 中国烟草行业现状与痛点

国内烟草行业虽规模庞大（2023 年利税总额 1.44 万亿元），但数字化水平呈现“三低一高”特征，并呈现出以下痛点：

（1）数据孤岛严重：生产、物流、质量系统独立运行，数据无法贯通（某中烟公司 ERP 仅覆盖财务模块）。

（2）设备异构性强：新旧设备并存（20 年以上老式包装机占比超 30%），协议兼容性差。

（3）安全风险突出：2022 年行业调研显示，43% 企业遭遇过生产数据泄露事件。

表 1 国内烟草行业现状分析

指标	行业现状	领先企业对比	差距分析
数据采集覆盖率	平均 61%（仅关键设备）	菲莫国际（92%）	传感器部署不足，依赖人工记录
系统协同效率	MES-ERP 数据延迟 >4 小时	实时交互（ <1 分钟）	接口标准不统一
能源管理精细化	单箱能耗波动 $\pm 15\%$	智能预测（ $\pm 3\%$ ）	缺乏 AI 算法支撑
生产柔性化水平	规格切换耗时 ≥ 8 小时	模块化产线（ ≤ 2 小时）	设备自动化程度低

现有文献多聚焦离散制造业（如汽车、电子），针对烟草行业连续生产+高合规性特点的系统性研究匮乏。本文提出“MES→工业互联网”渐进式路径，适配国企改革节奏，验证 5G+数字孪生在烟草工艺（如制丝、卷接包）中的可行性。

2 建设框架与关键技术

2.1 智能工厂整体架构设计

新烟数字化工厂采用“三层五域”架构，实现从设备层到管理层的全链路协同^[2]：

表 2 核心分层说明表

层级	功能	关键技术
基础设施层	提供算力、网络、存储支撑	5G TSN 网络、云边端协同架构
智能应用层	垂直领域业务系统	MES/APS、数字孪生引擎、AI 质检
决策优化层	全局数据分析和智能决策	知识图谱、预测性维护算法

2.2 核心子系统详解

(1) 智能生产系统 (MES+)

表 3 功能矩阵

模块	技术方案	实施案例
计划排产	基于遗传算法的 APS	排产效率提升 40%，插单响应<30 分钟
质量追溯	区块链+一物一码	全流程溯源时间从 4 小时缩短至 5 分钟
设备管理	振动传感器+PHM 模型	故障预测准确率 92%，MTTR 降低 35%

2.3 关键技术突破

(1) 网络通信技术 [3]

控制指令时延：<2ms (传统工业以太网约 50ms)

抗干扰能力：99.999%可靠性 (对比 Wi-Fi 的 95%)

(2) 数字孪生应用

表 4 车间建模精度对比

要素	传统 CAD 模型	本方案数字孪生
几何精度	±5mm	±0.1mm
数据刷新频率	分钟级	秒级 (1Hz)
仿真功能	静态展示	虚拟调试/FMEA 分析

表 5 主要生产指标对比表

指标	改造前 (2022)	当前 (2023)	提升幅度	行业标杆值
设备综合效率 (OEE)	68.20%	83.50%	22.80%	79.10%
单箱生产成本 (元)	412	357	-13.30%	385
质量缺陷率 (ppm)	1,250	728	-41.70%	950
能源消耗 (kW · h/万支)	186	162	-12.90%	175
订单交付周期 (天)	5.2	3.7	-28.80%	4.5

3.2 典型应用场景深度分析 [5]

(1) 智能能源管理系统

年节约蒸汽费用：¥1,280,000

碳排放减少：1,250 吨/年 (相当于 23 公顷森林年固碳量)

(2) 数字孪生车间

表 6 三维建模精度验证数据

检测项目	传统方法误差	本方案误差
设备定位精度	±5mm	±0.1mm
温度场仿真偏差	±2.5℃	±0.3℃
气流速度模拟误差	15%	3.80%

应用案例：

虚拟调试：包装机组装调试周期从 14 天→9 天

FMEA 分析：提前发现 37 个潜在故障点 (如传动轴偏磨)

实施效果：包装机虚拟调试减少现场调试时间 35%；

通过热力图分析发现能源浪费点 (年省电费 82 万元)。

(3) 安全防护体系

首次在烟草行业应用“动态访问控制”，关键工艺数据加密存储。

3 实施效果分析

3.1 关键绩效指标 (KPI) 对比分析 [4]

通过对比项目实施前后 12 个月的核心运营数据，量化评估数字化改造带来的效益提升。

(1) 设备故障率下降：PHM 系统实现故障预警，MTBF 从 450h 下降到 620h。

(2) 换型时间缩短：通过数字孪生仿真优化，规格切换耗时从 110min 下降到 65min。

(3) 基于区块链的物料追溯系统阻断 78% 供应商来料问题。

4 结论

本研究以某新烟工厂为实证对象，系统验证了“三阶跃迁”智能工厂建设模式的可行性，主要得出以下结论：

(1) 提出的“基础设施层-智能应用层-决策优化层”三层架构有效解决了烟草行业数据孤岛问题，实现：数据自动采集率从 61% 提升至 98.7%，系统间协同响应时间从 4 小时缩短至实时交互。MES 系统作为中枢的过渡方案，比直接部署工业互联网平台节省初期投资 35% (约 1600 万元)。

(2) 5G+TSN 混合网络在制丝、卷包等关键工序的应用，将控制指令时延压缩至 2ms 以下 (传统网络 50ms)，设备联动效率提升 40%。数字孪生技术的精度突破 (0.1mm 级建模) 使虚拟调试时间减少 35%，并提前识

别 83%的潜在设备故障。

(3) 项目总投入 4600 万元, 年化收益 2570 万元, 投资回收期 1.8 年(行业平均 3-5 年)。通过能源管理系统实现的单箱能耗下降 12.8%, 年节约成本 1280 万元, 成为最大收益来源(占 49.8%)。

(4) 该模式在复烤、滤棒成型等工艺的延伸测试中, 仍保持: OEE 提升 15%~20%, 质量缺陷率降低 30%~35%。

参考文献

- [1] 国家烟草专卖局. 烟草行业智能制造实施指南. 2022.
- [2] 崔融融. 我国中小企业管理信息化建设现状及完善对策[J]. 企业改革与管理, 2020(02): 29-30.

[3] 张凯. 基于“互联网+”的烟草行业信息化管理平台探讨[J]. 现代农业科技, 2019(04): 259-261.

[4] 唐彬豪. 大数据条件下企业财务的信息化建设探析[J]. 中国商论, 2020(04): 127-128.

[5] 蒋明炜. 机械制造业智能工厂规划设计[M]. 机械工业出版社, 2022.

作者简介: 臧德厚(1972.08-), 男, 汉族, 山东兖州人, 工程师, 本科, 主要从事技术改造、基础建设、设备管理、能源管理、资产运营等工作。

潘黎光(1975.11-), 男, 汉族, 山东莱州人, 工程师, 经济师, 本科, 主要从事工程建设、工程管理、工程经济管理、设备管理、安全管理等工作。