

机械制造企业安全环保管理体系的数字化转型路径研究

龚加富

贵州开磷精细磷化工有限公司 贵州 贵阳 550302

摘要：随着“双碳”目标的提出与工业4.0时代的加速推进，机械制造企业面临日益严峻的安全与环保监管压力。传统以人工记录、纸质台账和经验判断为主的安全环保管理体系已难以满足现代制造业高质量发展的要求。本文基于系统工程理论与数字化转型框架，深入剖析机械制造企业在安全环保管理中存在的典型问题，结合物联网（IoT）、大数据、人工智能（AI）、数字孪生等新一代信息技术，构建了面向机械制造企业的安全环保管理体系数字化转型模型。在此基础上，提出了“顶层设计—基础设施建设—数据融合—智能应用—持续优化”的五阶段实施路径。数字化转型不仅能显著提升企业安全环保管理的效率与精准度，还能推动企业绿色低碳发展，增强核心竞争力。

关键词：机械制造；安全环保管理；数字化转型；工业互联网；智能监控

引言

机械制造业作为国民经济的重要支柱产业，其生产过程涉及高温、高压、重型设备、危化品使用及大量能源消耗，具有高风险、高能耗、高排放等特点。近年来，国家相继出台《安全生产法》《环境保护法》《“十四五”智能制造发展规划》《工业领域碳达峰实施方案》等政策法规，对制造业企业的安全环保管理提出了更高要求。与此同时，全球新一轮科技革命和产业变革加速演进，以5G、人工智能、工业互联网为代表的新一代信息技术正深刻重塑制造业的组织形态与管理模式。在此背景下，机械制造企业亟需突破传统安全环保管理的局限性，通过数字化手段实现从“被动响应”向“主动预防”、从“碎片化管理”向“系统化协同”、从“经验驱动”向“数据驱动”的根本转变。然而，当前多数企业仍停留在信息化初级阶段，缺乏系统性的数字化转型战略，存在数据孤岛、技术集成度低、应用场景单一等问题。因此，系统研究机械制造企业安全环保管理体系的数字化转型路径，具有重要的理论价值与现实意义。

1 机械制造企业安全环保管理现状与挑战

1.1 安全管理的主要痛点

当前，机械制造企业的安全管理在实际运行中暴露出诸多深层次问题。首先，风险识别高度依赖人工巡检和定期检查，不仅效率低下，而且难以捕捉瞬时异常或隐蔽性隐患，导致事故预警严重滞后。其次，在事故发生后，由于缺乏全过程、多维度的数据记录，溯源分析往往流于表面，难以精准定位根本原因，进而影响整改措施的有效性。再者，安全培训普遍采用集中授课形式，内容枯燥、互动性差，员工参与意愿低，培训效果

难以转化为实际操作中的安全行为。此外，应急预案多为静态文档，更新不及时，演练也常流于形式，缺乏与真实场景的动态耦合，导致在突发情况下应急响应能力不足，难以有效控制事态发展。

1.2 环保管理的核心瓶颈

环保管理方面，机械制造企业同样面临系统性困境。许多企业仍采用手工采样配合实验室分析的方式监测废气、废水等排放物，不仅周期长、成本高，且无法实现实时监控，难以满足日益严格的环保监管要求。部分重点排放口甚至缺乏连续在线监测设备，导致排放数据不透明，存在合规风险^[1]。同时，能源与原材料消耗数据采集不完整、不连续，使得企业难以准确核算单位产品能耗与碳排放，节能降耗工作缺乏科学依据。更值得警惕的是，环保法规体系更新频繁，而企业内部缺乏动态跟踪机制，管理策略调整滞后，极易因信息不对称而触碰法律红线，造成经济损失与声誉损害。

1.3 管理体系割裂与数据孤岛

尽管安全与环保同属EHS（环境、健康、安全）管理体系，但在实际组织架构中，二者常由不同职能部门分管，信息系统独立建设、标准不一，导致严重的数据孤岛现象。例如，同一危险源（如油漆库房）在安全系统中被标记为火灾隐患，在环保系统中则被视为VOCs排放点，但两个系统之间缺乏数据互通，无法进行关联分析与综合评估。这种割裂不仅造成重复填报、多头管理的资源浪费，更使得管理层在决策时缺乏全局视角，难以统筹安全投入与环保治理，削弱了整体EHS绩效。长此以往，企业将难以构建统一、高效、智能的现代化安全环保治理体系。

2 数字化转型的技术基础与赋能机制

2.1 核心技术支撑

数字化转型的实现离不开一系列新兴技术的深度融合与协同应用。物联网（IoT）通过在设备、环境、人员等关键节点部署智能传感器、RFID标签和可穿戴终端，实现了对物理世界的全面感知，为安全环保管理提供了实时、连续的数据基础。5G通信与边缘计算技术则解决了海量数据传输的带宽与延迟问题，使现场级快速响应成为可能。在此之上，大数据平台能够整合来自MES、ERP、SCADA、视频监控等多个业务系统的异构数据，构建统一的数据湖，打破信息壁垒。人工智能技术，特别是机器学习与深度学习算法，赋予系统自主学习与预测能力，可用于设备故障预警、排放趋势分析、能效优化等复杂任务。数字孪生技术进一步将物理工厂映射到虚拟空间，支持在数字环境中进行安全演练、环保方案仿真与流程优化。而区块链技术则为关键监管数据（如排放报告、检测记录）提供不可篡改、可追溯的存证机制，增强企业合规可信度。

2.2 赋能机制分析

上述技术共同构成了安全环保管理数字化转型的赋能机制。首先，感知方式从依赖人眼观察转向机器自动采集，实现了7×24小时无死角监控，极大提升了风险发现的及时性与全面性。其次，管理决策从经验直觉转向数据驱动，系统可基于历史数据与实时流数据构建多维风险评估模型，辅助管理者做出更科学、精准的判断^[2]。第三，应急响应从人工干预转向自动化联动，当监测指标超出阈值时，系统可自动触发报警、关闭阀门、启动通风等控制指令，将事故扼杀在萌芽状态。第四，跨部门协作从各自为政转向平台协同，安全、环保、生产、设备等模块在统一数字平台上共享数据、协同流程，形成管理合力。最后，绩效管理从模糊评价转向可视化呈现，通过BI看板实时展示事故率、整改闭环率、单位产值碳排放等关键指标，便于高层监督与持续改进，真正实现管理闭环。

3 安全环保管理体系数字化转型路径设计

基于PDCA（计划—实施—检查—改进）循环与TOGAF架构方法论，本文提出“五阶段”转型路径：

3.1 阶段一：顶层设计与战略规划

数字化转型绝非单纯的技术项目，而是一场深刻的组织变革，必须始于清晰的战略引领。企业应首先将安全环保数字化明确纳入整体智能制造或绿色发展战略，设定具体、可量化、有时限的目标，例如“三年内实现重大安全事故零发生”或“单位产值综合能耗下降15%”。在此基础上，组建由企业高层直接领导的跨职能

转型团队，成员涵盖EHS、IT、生产、设备、财务等关键部门，确保战略意图能够穿透组织层级。同时，需借助成熟的评估工具（如ISO14001/45001标准或NIST网络安全框架）对现有安全环保管理体系进行全面诊断，识别短板与优先级。最终，制定一份详尽的转型路线图，明确各阶段的技术选型、资金预算、人才引进与里程碑节点，为后续实施提供行动纲领。

3.2 阶段二：基础设施与感知层建设

坚实的基础设施是数字化转型的物理根基。企业需在铸造熔炉、焊接工位、涂装车间、危化品仓库、废气排放口等高风险区域系统性部署各类智能传感器，用于实时采集温度、压力、VOCs浓度、PM2.5、噪声、电流电压等关键参数。同时，升级现有网络架构，构建以工业PON为主干、5G专网为补充的融合通信网络，保障海量感知数据的低延时、高可靠传输。在靠近数据源头的车间层面，部署边缘计算节点，对原始数据进行初步清洗、压缩与本地分析，实现毫秒级响应，减轻中心平台负担。此外，为一线员工配备具备定位与身份识别功能的智能工牌或手环，不仅能实现人员在岗状态与活动轨迹的精准追踪，还可与门禁、设备启停等系统联动，从源头防范违规操作。

3.3 阶段三：数据融合与平台构建

有了数据“原料”，还需高效的“加工厂”。企业应建设统一的数据中台，作为安全环保数据的核心枢纽。该中台需具备强大的ETL（抽取、转换、加载）能力，能够无缝接入EHS管理系统、DCS控制系统、视频监控平台、能源计量系统等十余个异构数据源，并对数据进行标准化、去重、补全等处理，最终汇入企业级数据湖^[3]。在此基础上，围绕核心业务需求，构建“风险源数据库”“应急资源库”“排放因子库”等专题数据集，为上层应用提供高质量数据服务。同时，通过开放标准化API接口，实现与政府生态环境部门污染源监控平台、应急管理平台的自动对接，确保监管数据上报的及时性与合规性。在整个过程中，必须同步实施严格的数据安全策略，对敏感信息进行分级分类保护，防止数据泄露或滥用。

3.4 阶段四：智能应用与场景落地

技术的价值最终体现在具体业务场景的解决能力上。企业应聚焦高频、高风险、高价值的痛点，开发一系列智能化应用。例如，利用LSTM等时序预测模型，对关键设备的振动、温度等信号进行分析，提前数天甚至数周预警潜在故障，变被动维修为主动预防。通过部署AI视频分析系统，对监控画面进行实时解析，自动识别

未佩戴安全帽、违规穿越警戒线等不安全行为，并即时推送告警至相关责任人。构建碳排放智能核算平台，自动采集水、电、天然气等能源消耗数据，依据国际标准（如ISO14064）自动计算范围1与范围2的碳排放量，生成合规报告。打造一体化的数字应急指挥中心，集成GIS地理信息系统、应急预案库、应急物资分布、人员实时位置等信息，实现突发事件的一键调度与可视化指挥。此外，引入VR/AR技术开发沉浸式安全培训系统，让员工在虚拟环境中亲历高处坠落、机械卷入等事故场景，大幅提升安全意识与应急处置技能。

3.5 阶段五：持续优化与文化培育

数字化转型并非一蹴而就的项目，而是一个持续迭代的进化过程。企业需建立科学的KPI考核机制，将系统使用率、预警准确率、隐患整改闭环率等指标纳入相关部门及个人的绩效考核，形成正向激励。同时，建立常态化的用户反馈渠道，定期收集一线操作人员、管理人员的意见建议，对系统界面、功能逻辑进行敏捷迭代优化，确保工具真正“好用、管用”。更重要的是，要着力培育全员参与的数字安全文化，通过内部知识竞赛、优秀案例分享、移动端安全知识推送等方式，不断提升员工的数字素养与安全环保意识^[4]。长远来看，企业还可探索将积累的安全环保数据资产转化为新的商业价值，例如参与绿色金融信贷、碳排放权交易等，实现从“成本中心”向“价值中心”的转变。

4 实施障碍与对策建议

尽管数字化转型前景广阔，但企业在推进过程中仍不可避免地会遭遇多重障碍。首当其冲的是高昂的初期投入，对于广大中小企业而言，硬件采购、软件定制与系统集成的费用构成沉重负担。对此，建议企业积极申请各级政府设立的人工智能、绿色制造专项补贴，或采用“云服务+按需订阅”的轻量化模式，降低资金门槛。其次，复合型人才的极度短缺是另一大瓶颈，既精通EHS业务又熟悉IT技术的“桥梁型”人才凤毛麟角。企业可

通过与高校、职业院校开展订单式培养，或在内部选拔骨干进行交叉培训，逐步构建自有人才队伍。此外，组织内部的变革阻力亦不容忽视，部分老员工对新系统存在抵触情绪，担心增加工作负担。这就要求企业加强变革管理，通过充分沟通、试点示范与减负增效的实际效果，赢得员工的理解与支持。最后，行业层面缺乏统一的数据接口标准与成效评价体系，导致系统间互联互通困难。呼吁相关行业协会牵头，尽快制定团体标准或推荐性规范，为全行业的规模化推广奠定基础。

5 结语

本文探讨了机械制造企业安全环保管理体系数字化转型的逻辑、支撑与路径。数字化转型不仅是技术更新，更是管理理念、组织模式与文化的深刻变革。构建“感知—融合—智能—协同—优化”闭环体系，可提升企业风险防控、环保合规及资源利用效率，形成以安全绿色为核心的新质生产力。未来研究与实践空间广阔：一是提升AI模型在小样本、高噪声工业场景的泛化能力；二是安全环保数据与供应链管理、碳足迹深度融合，催生绿色价值链协同；三是元宇宙技术成熟后，沉浸式EHS管理新范式或改变传统培训演练模式。在政策、技术与市场共同推动下，数字化将成为机械制造企业迈向本质安全与可持续发展的核心动力。

参考文献

- [1]王巍,张宇.机械制造企业安全生产标准化与信息化管理体系融合建设的探讨[J].中国战略新兴产业,2025,(21):188-190.
- [2]崔甜强.机械自动化制造技术中成本节约及环保理念[J].时代汽车,2022,(13):31-33.
- [3]刘子齐.基于AI的机械制造企业安全生产应急管理方法分析[J].中国机械,2024,(33):126-129.
- [4]温艳群.智能制造与绿色环保协同发展在机械加工领域的探索[J].绿色中国,2025,(03):160-162.