

数字化赋能制造业企业绿色创新的路径及效果研究

——以南京X钢铁集团为例

姚嘉煜

南京信息工程大学商学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年4月25日; 发布日期: 2025年5月31日

摘 要

本文以南京X钢铁集团为例, 探讨数字化转型如何赋能制造业企业的绿色创新, 分析其在绿色发展中的实际应用效果。随着国家绿色发展战略的推进, 制造业的绿色转型变得愈加重要, 尤其在数字经济的背景下, 数字化技术如大数据和人工智能正在成为推动绿色低碳转型的核心动力。南京X钢铁在自动化、智能化以及生态化转型等各个阶段, 实施了相关数字化战略, 极大地提升了生产效率、降低了碳排放, 并推动了绿色产品与技术的创新。本研究通过分析南京X钢铁的实践案例, 为其他制造业企业提供数字化转型与绿色创新的融合路径支持, 旨在为推动行业绿色可持续发展贡献力量。

关键词

数字化转型, 绿色创新, 制造业, 智能化, 绿色低碳, 南京X钢铁

Research on the Path and Effect of Digitalization Empowering Green Innovation in Manufacturing Enterprises

—A Case Study of Nanjing Iron and Steel Group

Jiayu Yao

School of Business, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing Jiangsu

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: Apr. 25th, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

This article takes Nanjing Iron and Steel Group as an example to explore how digital transformation empowers green innovation in manufacturing enterprises and analyzes its practical application effect in green development. With the advancement of the national green development strategy, the green transformation of the manufacturing industry has become increasingly important, especially in the context of the digital economy. Digital technologies such as big data and artificial intelligence are becoming the core driving force for promoting green and low-carbon transformation. Nanjing Iron and Steel has implemented relevant digital strategies in various stages of automation, intelligence, and ecological transformation, greatly improving production efficiency, reducing carbon emissions, and promoting innovation in green products and technologies. This study analyzes the practical case of Nanjing Iron and Steel to provide integrated path support for digital transformation and green innovation for other manufacturing enterprises, aiming to contribute to the promotion of green and sustainable development in the industry.

Keywords

Digital Transformation, Green Innovation, Manufacturing, Intelligentization, Green and Low-Carbon, Nanjing Iron and Steel

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国经济的快速发展，环境问题日益突出，传统的粗放型发展模式已经无法支持经济的可持续发展。为此，绿色发展已成为国家战略的重要组成部分。《中国制造 2025》提出要加快制造业绿色升级改造，而党的十九大报告则将绿色纳入发展理念，并将其提升为国家战略[1]。特别是习近平总书记在联合国大会上提出的“碳达峰、碳中和”目标，更是标志着我国在绿色低碳发展道路上的坚定决心。制造业作为主要能源消耗者，其绿色转型至关重要。而在数字经济快速发展的背景下，大数据、人工智能等技术逐渐赋能制造业，推动其向绿色低碳方向转型。本文以南京 X 钢铁为例，通过南京 X 钢铁官方公布的财报、年报以及成果展示获取研究数据，基于此探讨数字化转型如何赋能企业的绿色创新，分析其在绿色发展中的实际应用效果。

2. 数字化对南京 X 钢铁集团绿色创新的影响机制

2.1. 数字化驱动绿色技术研发与应用

数字化通过重构制造业企业的研发模式与创新生态，驱动绿色技术的应用。在技术研发层面，数字孪生、人工智能等技术的应用构建了虚拟仿真环境，使企业能够以传统研发 1/10 的成本完成绿色工艺的模拟优化，如南京 X 钢铁集团通过建立高炉数字孪生体，将碳排放模拟精度提升至 92%，推动低碳冶炼技术研发周期缩短 40% [2]。同时，大数据分析技术则深度挖掘生产设备能效数据，识别出传统方法难以发现的能耗瓶颈，如通过分析轧机运行数据，南钢精准定位了轧制过程中的能源浪费节点，据此开发的智能控温系统使单位能耗下降 18% [2]。

在技术扩散方面，工业互联网平台打破了绿色创新要素的时空壁垒，南钢搭建的钢铁行业协同创新平台整合了产业链上下游 238 家企业的环保技术资源，使新型脱硫技术的产业化速度提升 2.3 倍。值得注意的是，区块链技术的应用进一步解决了绿色技术交易中的信任难题，其构建的可追溯认证体系使南钢的绿色专利技术转让效率提升 67% [2]。更为关键的是，数字化催生了数据驱动型绿色创新模式，企业通过实时采集的 2.3TB/日环境数据建立动态优化模型，使清洁生产技术能够持续迭代，南钢的智慧环保系统据此每年自主生成 300 余项工艺改进方案，推动吨钢污染物排放量年均下降 5.8% [3]。这说明数字化不仅改变了绿色技术的研发方式，更重塑了制造业可持续发展的实现路径。

2.2. 信息透明化促进环境管理优化

数字化通过提升制造业企业环境数据的实时性、准确性和共享性，显著优化了环境管理效能。首先，物联网技术可以对生产全流程环境数据进行自动采集、动态监测。南京 X 钢铁集团部署的 5G + 传感器网络可实时追踪 2146 个关键排放点的污染物浓度、能耗等数据，使环境监管响应速度从小时级提升至分钟级 [4]。其次，大数据分析技术可以进一步挖掘环境数据的潜在价值。南钢通过构建多维度污染溯源模型，精准识别出了烧结工序占全流程碳排放的 43%，据此实施的针对性改造使该环节碳强度下降 22%。再者，云计算平台则打破了部门间的数据孤岛，整合生产、环保、能源等 12 类系统数据，形成统一的环境管理驾驶舱，管理层可实时调取各分厂的绿色绩效指标，决策效率提升 60% [4]。最后，区块链技术的引入增强了环境数据的公信力，南钢将每年 120 万条环保数据上链存证，不仅满足了欧盟碳边境税的追溯要求，还获得了绿色债券发行方的优先认可，融资成本降低 1.2 个百分点 [5]。这种全链条、可视化的环境管理模式，使企业环保合规成本下降的同时带动了供应链协同治污，使企业在产业链层面形成了绿色共治的新生态。

2.3. 数字平台赋能绿色供应链协同

数字化平台通过整合产业链资源、优化协同机制，显著提升了制造业企业绿色供应链的整体效率。首先，工业互联网平台构建了覆盖供应商、制造商、客户的多主体协作网络，南京 X 钢铁集团依托其钢铁行业垂直平台，将 1200 余家上下游企业纳入统一的绿色评价体系，通过动态采集各环节的能耗、排放和回收数据，实现了供应链碳足迹的全生命周期可视化。其次，智能算法基于历史交易数据与环保绩效，自动生成供应商分级评估报告，使南钢高耗能原材料供应商淘汰率提升 25%，同时绿色优质供应商占比从 18% 增至 37% [6]。在物流协同方面，数字孪生技术模拟出最优运输路径，结合实时交通与天气数据动态调整方案，南钢的钢材配送里程缩短 12%，运输环节碳排放强度下降 15%。最后，区块链技术的应用则增强了绿色供应链的信任基础，通过将供应商的环保认证、回收材料比例等关键数据上链存证，南钢的绿色采购合同执行效率提升 40%，纠纷率下降 62% [6]。这种生态化协同的转变，不仅降低了供应链整体环境成本，更推动了行业级绿色标准的形成。

3. 数字化赋能下的南京 X 钢铁集团绿色创新之路

3.1. 绿色创新启动期：自动化向在线化升级

自 2015 年起，当众多钢铁企业尚在信息化与数字化转型的边缘徘徊时，南京 X 钢铁已前瞻性地把握住了数字经济的脉搏，率先踏上了变革之路，不仅布局了高度自动化的钢铁生产线，还引入了前沿的人工智能技术优化冶炼过程。这一创举彻底颠覆了传统低效、复杂的生产模式，通过生产流程的全面数字化在线监控，南京 X 钢铁成功实现了从自动化向在线化的跨越，步入了资源高效配置与利用的新纪元，

彰显了“打造在线基石以引领绿色转型新篇章”的鲜明特色。

在这一关键时期，南京 X 钢铁积极运用集群化策略推动数字化转型。成功孵化培育金恒科技、金贸钢宝、鑫智链和鑫洋供应链等高科技子公司，业务涵盖智能制造、招标采购和产业互联网等核心领域，形成新兴产业集群。金恒科技为制造业提供智能工厂整体解决方案，创新性地构建了“现场采集+云端智能分析”的工业大数据应用体系、智能供应链协同平台以及线上线下无缝对接(O2O)的服务体系。随着“智慧南京 X 钢铁集团”项目的逐步落地与“智慧工厂”的正式运营，南京 X 钢铁取得核心突破，成功开发了全流程、全生命周期的可视化管理系统，不仅提升了生产效率，还促进了低碳环保型钢材、高效节能高炉等绿色产品的研发与应用，显著增强了产品的绿色竞争力；

3.2. 绿色创新发展期：在线化向智能化过渡

南京 X 钢铁以数字化转型与绿色升级为核心战略，积极响应国家绿色低碳发展的号召，将这一战略视为企业发展的根本导向与动力，紧跟全球数字化浪潮，紧扣绿色制造的时代主题，全力推进“智慧南京 X 钢铁集团”战略的实施。随着战略的深入实施，南京 X 钢铁不仅在国内钢铁行业中树立了新的标杆，也正式踏入了由在线化向智能化转型的快车道，步入了资源高效配置与利用的新阶段，展现出“整合智慧要素以赋能绿色高效化”的鲜明特色。

在这一关键阶段，南京 X 钢铁系统性地推动了研发、采购、生产、销售、服务以及管理的全面智能化升级，实施了一系列具有前瞻性的数字化项目。其中，“现场-现实-现物”(三现)数据的深度集成、设备的全面物联网连接、营销管理系统的智能升级、产销存一体化平台的优化构建以及研发信息化平台的迭代升级均取得了显著成果。尤为值得一提的是，南京 X 钢铁智慧运营中心的正式建立，作为连接研发、生产、销售等多个核心环节的“智慧大脑”，上联多个信息化管理系统，下联物联网与大数据平台，为智能工厂的高效运转提供了强有力的支撑，实现了公司生产模式从“传统管控”向“智慧运营”的华丽转身。

3.3. 绿色创新腾飞期：智能化向生态化演变

2023 年，南京 X 钢铁在数字化转型的征途上再添新章，一系列经过精心设计与实施的数字化“智慧工厂”项目圆满落成，这些项目覆盖了从炼铁、炼钢到轧钢，再到深加工产品的全业务流程，特别是大型全密闭仓储等先进设施的应用，极大地提升了资源利用效率与环保水平。与此同时，南京 X 钢铁自主研发的工业互联网平台——“智慧南京 X 钢铁集团云平台”已步入成熟阶段，成功构建了以南京 X 钢铁为核心的钢铁工业互联网生态圈，标志着南京 X 钢铁正式由智能化发展迈向生态化发展，进入了“资源生态化”的资源编排新阶段，展现出“拓展资源边界以赋能绿色生态化”的独特风貌。

与以往两个阶段相比，南京 X 钢铁在这一阶段更加注重数据资源的高质量整合、技术创新的高水平推进以及基础设施的高效能利用，旨在通过数字技术的全面赋能，打造数据赋能、高效协同的产业群，构筑起钢铁产业的“智慧生态圈”。在此过程中，“绿色生态化”的效应日益显著，绿色转型的成果不再局限于提升绿色能源的供给与利用能力，而是进一步拓展到建立全产业链的绿色标准体系、实现全链条的零库存管理以及全链条的资源高效整合。

在生态化转型的深化阶段，南京 X 钢铁在数字化与绿色化双轮赋能下，从平台化产业链生态构建、区域集群转型等多个维度进行战略布局。南京 X 钢铁不仅入选了全国首批数字领航企业名单，更成为首家完成全流程超低排放改造的钢铁企业，树立了行业绿色发展的新标杆。此外，南京 X 钢铁还率先上线了行业首条热处理智慧集控产线，实现了热处理工序的智能化、自动化与绿色化，为打造绿色花园式工厂、推动钢铁产业的绿色可持续发展贡献了重要力量。

4. 南京 X 钢铁数字化转型的实践措施

4.1. 建立智慧工厂，促进绿色创新转型

智慧工厂的构建是制造业数字化转型的核心载体，其本质是通过数据驱动实现生产系统的自我感知、自主决策和持续优化。南京 X 钢铁集团的实践表明，智慧工厂建设需依托三大支柱：数据实时化确保生产状态的动态可视，为智能决策提供即时依据；流程规范化重构传统生产管理体系，形成标准化、可复用的数字运行范式；数据净化与累积则通过高质量工业大数据的沉淀，为工艺优化和设备维护提供知识支撑。三者形成数据采集、流程协同、技术沉淀的闭环，最终实现生产效率与绿色绩效的同步提升。在实践层面，南京 X 钢铁采取了如下措施：首先，推进数据实时化布局。南京 X 钢铁自 2010 年起构建“现场 + 云中心”工业大数据平台，通过 5G + 物联网技术实现全厂区 12,000 余个数据采集点的秒级传输，关键设备数据延迟控制在 50 毫秒以内。2019 年实施的“智慧钢厂”方案更进一步，将高炉铁水成分、轧机振动频谱等传统离线检测参数升级为在线监测，使工艺调整响应速度提升 8 倍，年减少钢铁料消耗 1.2 万吨[7]。其次，实施流程规范化再造。2016 年引入西门子 Teamcenter 系统，对炼钢 - 轧制 - 质检等 23 个核心流程进行数字化建模，消除纸质单据 156 类，实现跨部门审批时效从 3 天压缩至 2 小时。2020 年建设的“四化”管理平台尤为关键，其智能工单系统能自动识别订单环保属性，并触发差异化的生产排程规则，使绿色产品交付周期缩短 30% [8]。最后，强化数据治理与价值挖掘。建立行业首个“数据炼钢”实验室，开发基于机器学习的质量追溯系统：一方面，通过清洗近十年积累的 450TB 生产数据，构建涵盖 2387 个工艺参数的纯净数据库；另一方面，运用深度学习分析连铸坯缺陷图谱，使表面质量检测准确率达 99.7%，每年减少质量异议损失超 3000 万元。这些举措使南钢吨钢能耗数据利用率从 2015 年的 17% 提升至 2023 年的 89%，为绿色技术创新提供了坚实的数据基石[8]。

4.2. 建立研发体系，赋能绿色创新发展

在制造业数字化转型进程中，研发创新体系的革新是企业实现绿色可持续发展的核心驱动力。南京 X 钢铁集团的实践表明，从传统经验驱动转向数据驱动的过程，必须以系统化的组织架构作为支撑。南京 X 钢铁集团构建了分层明确的研发管理体系，有效地协调了基础研究与应用开发的资源配置，解决了研发周期与市场需求之间的结构性矛盾。首先，在多层级研发组织体系建设方面，南京 X 钢铁创新性地建立三级研发架构，在纵向维度，新材料研究院(承担 5 年以上前瞻技术研究)、事业部研发中心(攻关 3~5 年产业化技术)、生产厂技术科(优化现有工艺)形成梯次研发链条；在横向维度，由创新委员会统筹科技质量部(负责 62 个技术专业组)与战略运营部(管理 28 个创新项目组)的协同运作。这种架构使高强海工钢等重大研发项目的周期从常规 5 年缩短至 2.8 年。同时整合全球创新资源，建成 1 个国家级企业技术中心、3 个院士工作站及中德联合实验室，2023 年通过开放式创新平台吸纳外部专利技术 47 项。其次，实施研发资源战略性投入。研发经费实行“双增长”机制，绝对值从 2018 年 12.3 亿元增至 2023 年 24.6 亿元(年复合增长率 14.9%)，占营收比重从 2.1% 提升至 3.5% [9]。资金投向呈现明显绿色导向，2021 年设立的 10 亿元低碳专项基金，已支持开发氢基竖炉等 12 项减排技术。人才队伍建设同步强化，研发人员规模五年扩大 3 倍，其中数字化复合型人才占比达 35%，并创新设立“数字工匠”培养体系，通过 VR 仿真系统累计培训工艺工程师 1.2 万人次[9]。最后，推进研发管理智慧化转型。部署 PLM 系统实现全研发流程数字化，使新品开发文档传递效率提升 90%。构建知识图谱平台，整合近十年 2.3 万份技术报告与专利数据，AI 辅助创新系统可自动推荐技术路线，2023 年由此产生的新材料配方提案达 217 个。特别在绿色研发领域，基于数字孪生的环保技术测试平台，使脱硫剂配比实验次数减少 75%，研发成本降低 40% [10]。

4.3. 绿色技术革新，助力绿色创新升级

数字化转型为南京 X 钢铁绿色技术创新提供了全新的技术支撑，在工艺流程改造层面，数字技术的应用突破了传统环境治理的滞后性局限，通过实时数据采集与分析，实现了生产过程中能耗与排放的精准监测。在产品创新维度，数字化研发平台极大地拓展了南京 X 钢铁绿色设计的可能性边界，使产品全生命周期的环境绩效成为可量化、可优化的技术参数。在实践层面，南京 X 钢铁一是推进工艺流程的绿色智能化改造，建成行业领先的智慧控制中心，部署 2386 个环境监测传感器实现生产全流程的碳足迹追踪。在炼铁环节，通过数字孪生技术优化高炉喷煤比，使吨铁煤耗降低 12 kg；轧制工序应用 AI 温度控制系统，加热炉能效提升 18% [11]。特别在焦化废水处理中，智能加药系统根据水质数据实时调节处理参数，使化学药剂消耗减少 25%，年减排 COD 420 吨。这些改造使 2023 年吨钢综合能耗降至 565 kgce，较 2018 年下降 13.5% [12]。二是深化节能环保产品创新，依托数字化研发平台，开发出全球首台氢能源电动装载机，作业过程实现零排放；智能废钢分拣机器人采用机器视觉技术，分拣精度达 98%，每年减少废钢损耗 3.2 万吨。在建材领域，研发的低碳螺纹钢通过优化合金成分配比，生命周期碳排放降低 22%，已应用于南京长江五桥等重点工程。2023 年绿色产品销售收入占比达 41%，较转型前提升 27 个百分点 [13]。三是构建绿色创新生态系统。搭建钢铁行业绿色技术共享平台，汇聚产业链上下游 187 家企业，累计共享低碳专利技术 63 项。与高校共建“数字绿色冶金实验室”，开发出基于区块链的碳资产管理系统，实现碳减排量的精准计量与交易。该套系统已帮助南钢完成首笔 3000 吨 CCER 交易，为绿色技术创新提供了市场化激励机制 [13]。通过数字化手段，南钢正在将绿色技术从企业单点创新扩展为产业协同创新，推动整个钢铁生态的低碳转型。

4.4. 孪生工厂建设，推进绿色创新改革

数字孪生技术的应用正在重塑现代制造业的生产组织方式，其核心价值在于通过虚实融合实现全要素、全流程的数字化映射与协同优化。南京 X 钢铁集团孪生工厂的构建经历了三个关键时期，一是从数据采集到知识沉淀的认知跃迁，二是从单点应用到系统集成的能力跃迁，三是从企业优化到产业协同的价值跃迁。这种发展路径体现了数字化转型的深层逻辑，即数据要素通过平台化整合形成新的生产力，进而重构产业生态的运行规则。从南京 X 钢铁集团建设孪生工厂实践层面看，做出了如下努力：首先，建设全息数据集成平台。南京 X 钢铁构建了行业首个“五维融合”数字孪生底座，整合设备数据、视频数据、传感器数据等多元信息流，数据延迟控制在 200 毫秒以内。平台创新采用数据湖、知识图谱的双引擎架构，不仅实现日均 1 TB 数据的实时处理，更通过语义分析构建了包含 3.7 万个实体关系的工艺知识图谱。2023 年该平台已支持炼钢工序的 22 个关键参数实现毫秒级动态优化，误判率低于 0.5% [14]。其次，打造智慧产业集群生态。基于“南京 X 钢铁云”平台，建立了覆盖采购、生产、物流等 12 个核心场景的产业数字孪生体。其中智能协同系统连接了 83 家核心供应商和 56 家重点客户，使订单响应速度提升 60%。特别在绿色供应链领域，开发的碳足迹追踪模块可实时计算产业链各环节的碳排放强度，2023 年帮助 32 家合作伙伴识别并整改了 156 个高碳环节，整体减碳达 42 万吨 [14]。最后，创新产业链治理模式。首创数字孪生+区块链的产业治理架构，通过智能合约自动执行质量追溯、能效对标等协同规则。在高炉优化方面，基于百万级数据样本训练的工艺推荐系统，使焦比降低 8 kg/t，年节约焦炭成本超 6000 万元。更突破性地构建了跨企业数字孪生实验室，6 个月内联合开发出新型低碳耐火材料，将炼铁热损失降低 15% [15]。

5. 结论

本文通过对南京 X 钢铁集团数字化转型实践的深入分析，揭示了数字化赋能制造业企业绿色创新的

关键路径与作用机制。研究表明,数字化技术通过重构研发体系、优化生产流程、构建智慧生态等维度,不仅显著提升了企业的运营效率和市场竞争力,更推动了绿色技术创新从单点突破向系统化发展的范式转变。南京 X 钢铁的实践证实,数字化转型与绿色创新具有显著的协同效应,二者的深度融合正在重塑制造业的可持续发展模式。未来,随着数字技术的持续演进,制造业企业需要进一步深化数据要素的应用,拓展产业协同创新的深度与广度,在实现经济效益的同时,为行业低碳转型提供可复制的解决方案。

参考文献

- [1] 羊寒,周旭程.绿色金融推动传统钢铁企业数字化转型——以南京钢铁集团为例[J].市场周刊,2025,38(9):5-8.
- [2] 李曦童,王霁霞.钢铁企业在绿色转型中的碳排放合规管理研究[J].冶金管理,2025(2):42-47.
- [3] 桑娟喜.低碳转型助力国有钢铁企业发展绿色生产力——以首钢股份为例[J].企业改革与发展,2025(2):77-80.
- [4] 王燕.绿色技术赋能钢铁企业的绿色转型路径研究[J].经营管理者,2024(11):59-61.
- [5] 樊三彩,何文波.中国钢铁正在成为世界钢铁技术进步驱动者、绿色转型贡献者[N].中国冶金报,2024-10-25(001).
- [6] 蒋莲莲.“双碳”背景下钢铁企业财务风险研究——以 S 钢铁企业为例[J].上海企业,2024(8):115-117.
- [7] 徐盛兰,张云霄.绿色金融助力钢铁企业绿色转型的影响因素分析[J].中国市场,2024(19):45-48,61.
- [8] 张文建.钢铁企业绿色转型路径及绩效研究[D]:[硕士学位论文].南昌:江西师范大学,2024.
- [9] 卢佳伟.基于熵值-突变级数法下钢铁企业绿色转型对企业绩效的影响研究[D]:[硕士学位论文].南昌:江西师范大学,2024.
- [10] 孙新波,周明杰,张明超.数字驱动情境下赋能型组织结构创新实现机理——基于南京钢铁的案例[J].财会通讯,2023(22):3-13.
- [11] 李锦华.钢铁行业 ESG 信息披露及其评价研究[D]:[硕士学位论文].大连:东北财经大学,2023.
- [12] 岳文杰.南京钢铁企业碳资产管理研究[D]:[硕士学位论文].衡阳:南华大学,2023.
- [13] 何婧雯,王安逸,蔡小慧,等.数字经济背景下传统制造业数字化转型研究——以南京钢铁股份有限公司 JIT+C2M 智能工厂为例[J].标准科学,2022(S2):54-57.
- [14] 李凯.南京“钢铁骆驼”走出欧亚“新丝路”[N].新华日报,2022-03-28(A01).
- [15] 2020 年重点用能行业能效“领跑者”经验分享之一:钢铁行业能效“领跑者”实践经验[J].冶金自动化,2021,45(2):36.