

精密铜管制造企业智能工厂成熟度评估模型与转型策略研究

史绪寅

金龙精密铜管集团股份有限公司 重庆 404100

摘要：针对精密铜管制造企业生产精度要求高、智能化转型痛点突出的现状，本文结合智能制造相关理论，构建涵盖生产、管理、技术、人才四大维度的智能工厂成熟度评估模型，划分五个等级并明确标准，通过3家不同规模企业实证验证其有效性，进而结合企业成熟度差异，提出分维度、分等级转型策略及保障措施，为企业智能化升级提供科学指引，助力行业低碳高效发展。

关键词：精密铜管；制造企业；智能工厂；成熟度评估模型；转型策略

引言：精密铜管广泛应用于制冷等领域，是国民经济发展的重要基础零部件，但其制造企业普遍存在生产效率低、质量管控难、核心技术依赖进口等问题。在数字经济推动下，智能化转型成为企业突破瓶颈的关键。当前行业智能化呈现头部引领、分层推进态势，但缺乏适配的成熟度评估工具与针对性转型路径，因此开展本研究，构建科学评估模型并提出可行策略，具有重要的理论与实践意义。

1 相关理论与行业现状基础

1.1 核心概念界定

(1) 精密铜管制造企业核心特征：以连铸连轧、拉伸、退火为核心工序，需严控铜管壁厚 $\pm 0.01\text{mm}$ 精度，流程连续；产品具耐腐蚀、高导热性，供应制冷设备配件；行业存在单条生产线每班8-10人、废品率超3%的痛点，亟需智能化降本提质。(2) 智能工厂的定义与核心要素：是智能制造的具象载体，依托工业互联网与制造工艺融合，核心包括智能拉拔机、在线检测设备智能装备及MES系统等信息系统；结合铜管生产流程，核心构成为智能拉伸车间、缺陷数据采集分析及产供销协同平台。(3) 智能工厂成熟度评估的内涵与核心目标：内涵是对工厂智能化水平的全面测评，核心目标是找准设备联网、数据互通等短板，明确升级优先级；参考相关规范，评估导向为生产智能化、管理数字化及产供销协同高效化^[1]。

1.2 精密铜管制造行业智能工厂发展现状

(1) 全球态势及标杆实践：智能化快速推进，标杆企业如浙江海亮股份，自研铜管智能拉伸生产线，实现单班减员4人、废品率降至1.2%、单位能耗下降8%，达成减员增效、节能降碳目标。(2) 我国现状及阶段性特

征：头部企业已建成完整智能工厂，实现生产数据实时监控；中小企仅完成基础设备数字化改造，仍依赖人工巡检、手动调度，呈现“头部引领、分层推进”特征。

(3) 突出问题：技术层面核心智能检测设备、高端控制系统依赖进口，运维成本高；人才层面既懂铜管拉伸工艺又懂智能设备操作的复合型人才短缺，制约升级；管理层面MES系统与库存管理系统数据不互通，无法实现生产与库存协同调度。

2 精密铜管制造企业智能工厂成熟度评估模型构建

2.1 评估模型构建原则与思路

(1) 构建原则：科学性原则，基于智能制造理论，结合铜管连铸连轧、拉伸工艺特性设计指标；针对性原则，聚焦行业人力成本高、废品率高痛点，突出铜管精度控制、生产效率核心需求；可操作性原则，指标简洁，数据可从生产报表、设备台账直接获取量化；系统性原则，覆盖生产、库存等全环节，形成完整评估体系。(2) 构建思路：结合精密铜管制造行业智能化现状及设备进口、人才短缺问题，参考相关规范，以“现状诊断—维度设计—指标筛选—等级划分”为核心，兼顾标杆企业与中小企业实际，保障模型适配行业不同发展水平。(3) 模型整体框架：明确评估维度、成熟度等级、指标体系三级关系，以生产、管理智能化及技术支撑、人才与组织为四大核心维度，各维度下设指标，结合五个成熟度等级，形成“维度—指标—等级”框架。

2.2 评估维度设计

(1) 生产智能化维度：聚焦精密铜管连铸连轧、拉伸等核心工艺，涵盖生产设备智能化，智能拉伸机、在线检测设备普及率及设备联网率、生产流程智能化，生产计划自动调度、多规格铜管柔性生产、质量管控智

能化,壁厚在线检测、表面缺陷自动识别与批次追溯。

(2)管理智能化维度:覆盖核心管理环节,包括生产、库存、成本、安全管理的智能化应用,具体涉及生产计划智能编制、成品智能仓储、单根铜管成本核算、退火炉温度智能监控等。(3)技术支撑维度:核心是支撑智能化运行的技术应用,涉及工业互联网部署、生产MES系统等信息技术与工业软件,以及各系统数据互通共享的数据集成能力^[2]。(4)人才与组织维度:保障智能化转型落地,包括复合型技术人才等储备、智能化运维部门设立、智能设备运维奖惩等管理制度建设。

2.3 评估指标体系设计

(1)指标筛选方法:采用文献研究法,梳理国内外智能工厂成熟度评估相关文献以初步筛选指标;结合专家访谈法,邀请铜管制造行业技术专家、企业生产管理人员,针对铜管拉伸精度控制、废品率管控等行业特性,优化筛选核心评估指标,剔除冗余及数据难以获取的不可操作指标。(2)各级指标设定:一级指标为四大评估维度;二级指标对应各维度核心内容,如生产智能化维度下设备、流程、质量3项二级指标;三级指标为具体量化或定性指标,如设备智能化下智能装备普及率、设备故障自诊断率等可直接统计的指标。(3)指标权重确定:采用层次分析法,通过构建判断矩阵,邀请行业专家、企业管理人员对各指标重要性打分,重点突出铜管精度管控、技术支撑等核心指标权重,计算并校验权重,确保贴合精密铜管制造企业实际生产需求。

2.4 成熟度等级划分与评估标准

(1)成熟度等级划分:参考相关行业规范,结合精密铜管制造行业中小企业多、头部企业引领的特点,划分为规划级、规范级、集成级、优化级、引领级五个等级,从基础到高级逐步提升,覆盖不同规模企业智能化发展阶段。(2)各等级评估标准:明确各评估维度在不同等级的具体要求,如规划级侧重完成智能化建设规划、配备基础检测设备;引领级侧重实现全流程智能化优化、废品率控制在1%以内并发挥行业标杆作用,确保各等级标准清晰可区分、可落地。(3)评估方法与流程:制定标准化评估步骤,包括资料收集、现场核查、指标打分、等级判定四个环节;采用定量与定性结合的评分规则,对各级指标打分并汇总计算总分,确定企业智能工厂成熟度等级^[3]。

3 精密铜管制造企业智能工厂成熟度实证分析

3.1 实证对象选取与数据收集

(1)实证企业选取:结合行业现状,选取3家不同规模、不同智能化水平的精密铜管制造企业,涵盖大型龙

头、中型骨干、小型企业各1家,兼顾南北方产区,保障样本代表性与多样性,以反映行业智能化发展整体差异。

(2)数据收集方法:采用多种方法结合收集数据,问卷调查面向企业技术、管理及生产岗位人员获取基础数据;实地调研深入生产车间、智能管控中心,核查智能装备与系统应用实际情况;访谈企业负责人及技术骨干,了解智能化建设痛点与实践经验;查阅企业年度报告、智能化建设资料等二手数据,补充完善调研内容^[4]。(3)数据整理与有效性检验:对收集的问卷、调研记录及二手数据分类整理,剔除无效问卷与异常数据;通过信度与效度检验,借助专业工具分析数据一致性与有效性,确保调研数据真实可靠,为后续实证评估提供支撑。

3.2 实证企业成熟度评估与结果分析

(1)成熟度评估与等级判定:基于前文构建的智能工厂成熟度评估模型,结合收集的实证数据,对3家企业的各级指标逐一打分,汇总计算总分,明确各企业成熟度等级,其中大型龙头企业为集成级,中型企业为规范级,小型企业为规划级。(2)成熟度现状分析:总结不同规模企业的成熟度差异,大型企业智能化基础扎实,在生产、管理智能化方面优势明显;中小企业受资金、技术限制,成熟度偏低。共性问题集中在技术支撑不足、复合型人才短缺,部分企业存在系统协同不畅的问题。(3)各维度短板分析:生产智能化维度,中小企业智能装备普及率低,质量在线检测能力薄弱;管理智能化维度,小型企业仍以传统管理模式为主,库存、成本管控智能化不足;技术支撑维度,多数企业工业软件适配性差,数据集成能力弱;人才与组织维度,全行业普遍存在智能化人才缺口,中小企业组织架构适配性不足。

3.3 评估模型有效性验证

(1)专家评审验证:邀请5位行业技术专家、2位企业管理专家及3位高校相关领域学者,对评估模型进行评审,从科学性、针对性、可操作性等方面提出修改意见,验证模型贴合精密铜管制造行业特性,整体科学合理。(2)模型优化调整:结合专家评审意见与实证结果,对模型进行优化,适当提高生产智能化、技术支撑维度的指标权重,细化各等级评估标准,弥补实证中发现的指标设置过于笼统的问题,提升模型适用性。(3)适用性结论:优化后的评估模型能够准确反映精密铜管制造企业智能工厂成熟度水平,可有效识别企业智能化建设短板,为不同规模企业制定智能化升级路径提供指导,具有较强的行业应用价值与推广意义。

4 精密铜管制造企业智能工厂转型策略

4.1 转型目标与总体思路

(1) 转型总体目标: 结合智能工厂成熟度等级要求, 短期(1-2年)实现基础数字化升级, 达到规范级水平; 中期(3-5年)完成核心环节智能化改造, 提升至集成级; 长期(5年以上)实现全流程智能化优化, 跻身优化级乃至引领级, 打造行业标杆。(2) 转型总体思路: 立足不同规模精密铜管制造企业的实际情况, 以成熟度评估发现的短板为导向, 兼顾技术升级与管理优化, 推动生产、管理、技术、人才协同转型, 实现生产高效化、管理精细化、技术自主化。(3) 转型基本原则: 坚持循序渐进, 避免盲目投入, 分阶段推进转型; 坚持因地制宜, 结合企业规模、资金实力制定适配策略; 坚持产学研协同, 依托高校、科研机构提升技术创新能力, 同时兼顾成本可控与效益提升。

4.2 分维度转型策略

(1) 生产智能化转型策略: 推进智能设备升级, 引进高精度智能检测、自动化生产装备, 实现核心工艺自动化; 重构生产流程, 推行柔性生产模式, 适配多品种、小批量生产需求; 构建质量智能管控体系, 实现缺陷在线识别、全程追溯, 提升产品精度。(2) 管理智能化转型策略: 推进管理系统集成, 打通生产、库存、成本等各环节信息壁垒; 推行数据化管理, 依托数据分析优化生产计划与库存调配; 实现精细化管理, 降低能耗与生产成本, 提升管理效率。(3) 技术支撑转型策略: 加强核心技术引进与自主研发, 重点突破智能装备、数据集成等关键技术; 推进工业软件国产化替代, 降低对进口软件的依赖, 提升技术自主可控能力。(4) 人才与组织转型策略: 完善人才培养与引进机制, 开展内部技能培训, 引进复合型智能化人才; 优化组织架构, 设立智能化管理部门, 健全智能化相关管理制度, 保障转型落地^[5]。

4.3 不同成熟度等级企业差异化转型策略

(1) 规划级企业: 实施基础完善型策略, 优先完成生产设备数字化改造, 搭建基础管理信息系统, 完善人才储备与管理制度, 夯实智能化转型基础。(2) 规范级企业: 实施规范提升型策略, 推进基础系统落地, 优化生产管理流程, 补齐人才与技术短板, 推动智能化转型有序推进。(3) 集成级企业: 实施融合集成型策略, 推

进各系统数据集成, 优化生产与管理协同机制, 加大核心技术研发投入, 提升智能化集成水平。(4) 优化级企业: 实施迭代优化型策略, 深化数据协同应用, 优化智能生产模式, 强化技术创新赋能, 推动智能化水平持续升级。(5) 引领级企业: 实施创新引领型策略, 聚焦技术创新与模式创新, 开展智能化技术试点应用, 打造智能工厂标杆, 带动行业整体升级。

4.4 转型保障措施

(1) 政策保障: 密切对接行业扶持政策与地方优惠政策, 争取资金补贴、税收减免, 降低转型成本, 借力政策推动转型进程。(2) 资金保障: 拓宽融资渠道, 通过银行贷款、股权融资等方式筹措资金, 合理分配资金投入, 优先保障核心环节改造, 提高资金使用效率。(3) 技术保障: 深化产学研合作, 与高校、科研机构共建技术创新平台, 加快技术成果转化, 建立完善的技术支撑体系。(4) 风险防控: 识别转型过程中的技术、资金、人才等各类风险, 制定针对性应对方案, 加强风险预警与管控, 确保转型稳步推进。

结束语

本文完成了精密铜管制造企业智能工厂成熟度评估模型构建、实证检验及转型策略制定, 有效解决了行业智能化评估无适配工具、转型路径不清晰的问题。研究贴合行业实际, 明确了不同规模、不同成熟度企业的升级方向, 但在模型动态优化、跨区域企业适配性方面仍有提升空间, 后续可结合行业技术发展, 进一步完善模型与策略, 助力行业高质量智能化转型。

参考文献

- [1]李宝城.有色金属新材料技术成熟度评价方法和应用实践[J].中国有色金属, 2023,7(16):64-66.
- [2]柏宁.数字化转型背景下质量管理体系优化研究[J].中国质量监管, 2025,12(07):74-77.
- [3]李君, 窦克勤.基于成熟度视角的生产设备数字化管理能力评价研究[J].科技管理研究, 2023,43(02):57-64.
- [4]丁有如.浅析数字化转型期组织质量管理体系运行要点[J].质量与认证, 2023,9(11):67-68.
- [5]程良奖.构建“三位一体”实物质量保证数字化检验管理体系[J].船舶标准化与质量, 2025,10(04):56-60.