

“技术突破创新”与“智造转型”何以兼得： 基于京东方复杂产品系统的纵向案例研究

赵林汐¹, 邵云飞², 陈燕萍³, 王思梦⁴

(电子科技大学经济与管理学院, 四川 成都 611731)

摘要:我国复杂产品系统技术突破创新取得长足进展,却常受制于智造转型不足带来的问题。对京东方半导体生产线复杂产品系统进行探索性案例分析,发现数字化制造贯穿转型全过程,网络化制造后期以平台赋能为主,与智能化制造融合较深,智造转型与技术突破创新呈现长期动态耦合状态。

关键词:智能制造;复杂产品系统;动态能力理论;半导体生产线;技术发展路径

中图分类号:F426.6; F49

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2024)11-0161-11

How to achieve “technological breakthrough and innovation” and “intelligent manufacturing transformation”: A longitudinal case study based on BOE’s complex product system

ZHAO Linxi, SHAO Yunfei, CHEN Yanping, WANG Simeng

(School of Management, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: China has made significant progress in technological breakthroughs and innovation in complex product systems, yet it is often hindered by issues arising from insufficient intelligent manufacturing transformation. This paper conducts an exploratory case analysis of the complex product system in BOE’s semiconductor production line and finds digital manufacturing permeates the entire transformation process. In the later stages of networked manufacturing, platform empowerment becomes the main focus, deeply integrating with intelligent manufacturing. The transformation towards intelligent manufacturing is in a long-term dynamic coupling state with technological breakthroughs and innovation.

Key words: intelligent manufacturing; complex product system; dynamic capability theory; semiconductor production line; the developing path of technology

复杂产品系统,涵盖半导体生产线、高速列车及航空航天等高技术、高成本、高价值的定制大型系统^[1],是信息技术与电子系统的核心基石,亦是国际科技竞争的焦点。尽管中国半导体技术在重重封锁下实现显著突破,但智造转型滞后成为制约因素,导致资源浪费与市场响应迟缓,与技术突

破创新之间出现脱节。智能制造,作为信息技术与工业深度融合的典范,备受政府重视与扶持,习总书记亦多次强调加快推动传统产业向智能化、高端化、绿色化迈进与信息化和工业化深度融合。截至2022年年底,我国制造企业智能制造能力成熟度水平普遍偏低,仅少数企业达到较高级别^[2],

收稿日期:2024-06-21 修回日期:2024-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(72172024,72372017,71872027)。

作者简介:赵林汐(2000—),女,黑龙江哈尔滨人,电子科技大学经管学院硕士研究生。通信作者:邵云飞。

智造转型之路仍任重道远。当前研究在探讨我国复杂产品系统企业的智造转型路径上尚存空白。鉴于技术瓶颈的长期困扰,大多学者聚焦技术突破和创新路径^[3-7]以及不同技术追赶模式的分析^[8-14],鲜有研究新一代信息革命对复杂产品系统在“提质增效”“组织协同”等方面作用。此外,我国智造转型起步较晚且基础薄弱,但研究已从理论探讨逐步深入到案例研究^[15-19],总结出智造转型的范式与规律^[20],但结合具体企业案例的深入探究与创新拓展仍显不足,中国情境下的智造转型范式研究亟待加强。

综上所述,如何把握新一代科技革命契机,加速复杂产品系统智造转型,是我国实践与学术界亟待破解的难题。本文在动态能力视角下,采取探索性案例方法结合复杂产品系统和智能制造理论,回答如下研究问题:我国复杂产品系统智造转型路径是什么?复杂产品系统能否实现技术突破创新与智造转型兼得?若能,何以兼得?本文以京东方半导体生产线复杂产品系统为研究对象,深入剖析其突破技术瓶颈并迈向智能制造的转型之路。

一、文献回顾与理论基础

(一) 智能制造及转型研究

智能制造根植于信息技术的不断革新之中,其影响力随技术渗透工业界而迅速扩张。我国智能制造的探索与实践历程可概括为三大阶段:初期聚焦于智造概念、现状、前景及工科应用^[21-25]的初探;继而,借助“工业互联网”“机器人”等前沿技术^[16],在家电、医疗、航空等多领域实现智造转型,模式上亦从单体企业探索转向平台赋能与创新生态构建^[15,27],研究从理论探讨拓展至案例与定量分析。我国智造实践与理论紧密互动,学者提出诸如智能设计、生产、管理及制造“四维同步”或技术、过程、产品、工厂“渐进发展”的范式^[28-30]。鉴于我国工业化与信息化起步较晚,未与国际顶尖智造国家同步,采取数字化、数字化网络化、数字化网络化智能化的融合、渐进发展模式更符合国情^[20]。

(二) 复杂产品系统、智能制造与动态能力理论

1. 复杂产品系统与智能制造转型

复杂产品系统最早研究起源于 Mike Hobday 对

复杂产品系统及其与大批量生产的显著差别的讨论。我国复杂产品系统研究主要从创新^[3-4,6-7]、利益相关者管理^[31]、知识管理^[32]和影响因素^[7]等子话题展开,聚焦于复杂产品系统跟随^[8-11]、并行^[12-13]和赶超^[14]技术发展模式,相对忽略智造转型的必要性,未能将其与技术突破创新融合探究。此外,复杂产品系统与现代工业休戚相关,种类繁多,既有研究包含高铁^[33-34]、飞机^[9]、盾构机^[13]等行业,以及海洋工程装备^[14]和高档数控机床^[10]。我国半导体行业突破了国际技术封锁,实现了从无到有的技术跨越,对实践研究具有重要启示意义。技术革新仅为半导体业发展的起点,复杂制造、多元需求及国际环境动荡加剧供应链不确定性。但智能制造的数据分析与自动化技术能够提升效率与品质,增强供应链灵活透明,有效应对挑战与风险。

2. 动态能力理论与复杂产品系统和智能制造转型

在复杂多变的市场环境中,动态能力被视为企业获取长期竞争优势的关键。尽管现有动态能力理论的研究已拓展至企业绩效^[35-36]、数字化转型^[37-38]、技术创新^[39-40]等领域,以下 3 个方面仍值得深入讨论。一是当前研究多聚焦于传统大规模生产,而复杂产品系统因其独特性、创新全过程和组织复杂性^[1],其动态能力的特性与规律尚待明晰。现有文献多围绕创新绩效^[6]、创新国际化^[5,41]及项目组织动态能力^[42-43]进行,却鲜少触及我国关键核心技术“卡脖子”及“脱钩”等议题。二是尽管有“并行演进、融合发展”的转型路径提议^[44],但缺乏详细的阶段划分与持续策略分析,且未能充分融合动态能力视角,探讨技术、创新与智能制造的深度融合。新兴技术作为驱动力,对提升复杂产品系统效能意义重大^[20],此交叉领域的探讨尚显不足。虽已有研究结合复杂产品系统技术创新案例丰富动态能力维度^[5,41],但在技术突破与智能制造转型的双重背景下,动态能力维度的创新性划分及其演变路径探究仍显稀缺,未能全面反映该领域动态发展的复杂性与多维度性。

二、研究设计

(一)方法选择

本文的研究目的是阐释动态能力视角下,复杂产品系统如何实现智造转型以及其与技术突破和创新存在怎样关系。鉴于现有研究动态能力视角下复杂产品系统智造转型的理论相对匮乏,当探究相对较新的研究话题或该领域研究仍存在空白时,单案例研究方法对复杂现象成因和内在规律阐释归纳更具有针对性和研究价值^[46]。纵向案例研究从长期视角出发,有利于探究核心技术突破和创新以及智能制造转型的长期规律和范式,建立内在逻辑关系和因果链条。因此,本文采用纵向单案例研究方法,探究一家初创时期复杂产品系统技术突破困境且数智化制造程度显著不足的企业,如何实现技术突破和创新与智能制造转型双重跨越。

(二) 案例概况

本研究旨在探究复杂产品系统如何在实现技术突破和创新过程中,完成制造到智造的转型跨越,根据理论抽样的方式选择京东方科技股份有限公司(以下简称京东方)作为案例分析对象^[47],原因可归纳为以下几点。①典型性:京东方以收购韩国现代 TFT-LED 业务为跳板,经消化、吸收与再创新,投建北京 5 代线,终结了中国无自主液晶显示屏的历史。公司持续深耕技术突破与

创新,拓展产品线至成都 4.5 代、合肥 6 代及北京 8.5 代等多条 TFT-LCD 生产线,为打破半导体技术壁垒。同时,京东方自 2005 年起,逐步推进数字化制造转型,引入信息系统;2011 年后,更是前瞻性地布局传感事业,构建工业互联网平台,带动产业上下游协同发展。2015 年,智能传感器在福州 8.5 代线的成功试点,标志着京东方智能制造的新篇章。京东方在半导体复杂产品系统领域的技术创新与智能制造转型实践,充分彰显了其作为本研究典型案例的代表性。

②启发性:我国半导体产业长期面临技术瓶颈,京东方通过跨国并购策略,成功引入并消化吸收国际先进技术,如 AMOLED 面板、氧化物半导体及低温多晶硅等,进而实现自主创新,摆脱对旧有产业链的依赖。此过程不仅促进了技术层面的飞跃,还推动了企业间合作模式与组织结构的革新,为复杂产品系统领域的后发企业树立了技术突破的典范。在激烈的市场竞争与信息技术日新月异的背景下,京东方展现出卓越的动态能力,灵活应对环境变化,持续推动数智化生态建设,实现共赢局面。其辉煌成就正是技术不懈创新与智能制造深入实施的结果(见图 1),为业界提供了宝贵的经验与启示。本文认为,京东方在动态能力作用下同步实现技术突破和创新与智造转型推演的实践路径能为中国其他制造业,特别是复杂产品系统企业提供一定的借鉴。

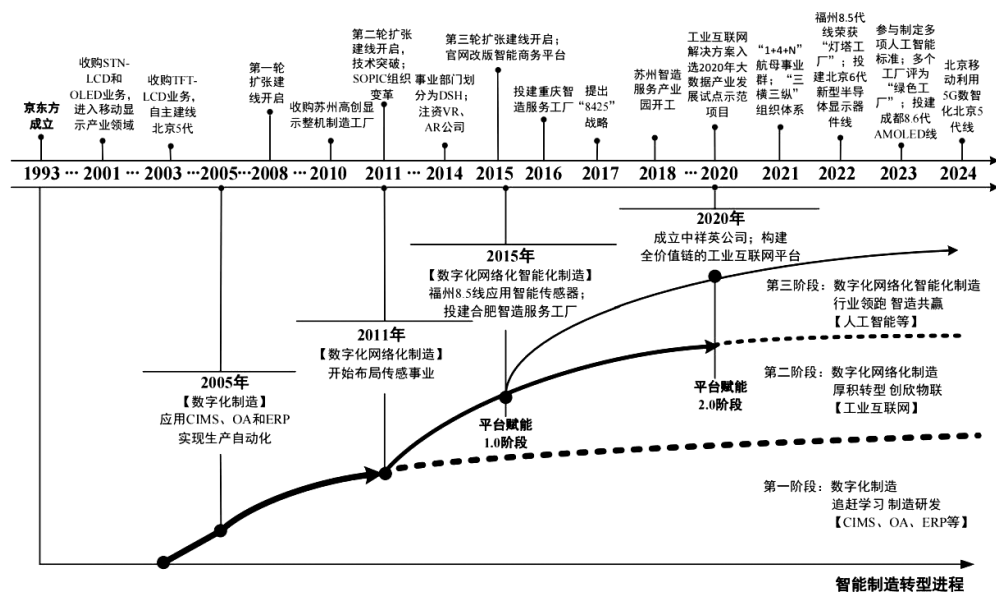


图1 京东方半导体技术突破和创新以及智能制造转型历程

(三)数据收集

本文采用正式、非正式访谈获得企业一手资料(如表 1),并以现场观察、档案文件和数据以及二手资料等其他方式进行资料补充完成“三角验证”^[48],以提升研究结果真实性和可靠性。我们深入访谈了京东方内部中高层管理、高级技术人员及一线工人,聚焦集团成长历程、智能制造转型及半导体技术突破等核心议题。同时,纳入京东方长期合作伙伴与关键客户视角,丰富访谈维度,

增强内容的真实与全面。此外,研究团队还开展了实地调研,亲身体验半导体生产线与智造服务工厂的运作,并通过多种渠道广泛搜集信息。一是研读《光变:一个企业及其工业史》,把握企业发展脉络;二是现场走访成都、重庆、绵阳等地生产线与智造工厂;三是精选 41 篇高质量案例报道与人物访谈,确保话题相关性与内容独特性;四是整合搜索引擎、企业官方渠道等多源信息,累计获取有效数据逾 39 万字,为研究提供了坚实的数据支撑。

表 1 案例数据与来源编码

数据分类	数据内容			编码	字数 /万字	时长 /小时
深度访谈	来源	访谈对象	访谈内容			
	内部	中高层管理者	集团发展历程和智能制造转型	JF01	2	7
		高级技术人员	技术突破、创新和应用	JF02	6	15
		技术工人	半导体生产线及车间	JF03	8.3	19
	长期合作伙伴		智能制造转型对合作影响	JF04	5	6
	关键客户		产品在市场销售和推广	JF05	3	5
实地考察	通过实地参观半导体生产线和智造工厂			XG	2.8	
二手资料	通过阅读和整理企业专著			ZZ	6	
	通过阅读和筛选案例相关报道和人物采访			BC	3.7	
	通过收集搜索引擎、官方公众号、其他报道和官网			SG	8.2	

(四)数据处理与编码过程

本文的数据处理过程是按照收集整理数据信息、文献阅读、构念涌现与已有理论^[49]进行反复对比的 3 个主要阶段。第一阶段是数据的筛选和整理以及对重大事项标记。团队将不同来源资料对比,剔除不一致、显著不可靠的信息,形成原始数据文本,提炼出与研究主题与目的密切相关的关

键事件进行阶段划分,对每阶段的集团发展历程和事项、半导体技术突破和创新以及智能制造转型历程进行详细梳理和标记,与既有文献对比和细化,形成初步构念。同时,将构念进行横向逻辑推敲和区分,增强阶段间相似构念的差异性和逻辑性,最终形成本研究如何在技术突破和创新的同时,实现智造转型“因素驱动:动态能力:智能制造”逻辑框架。

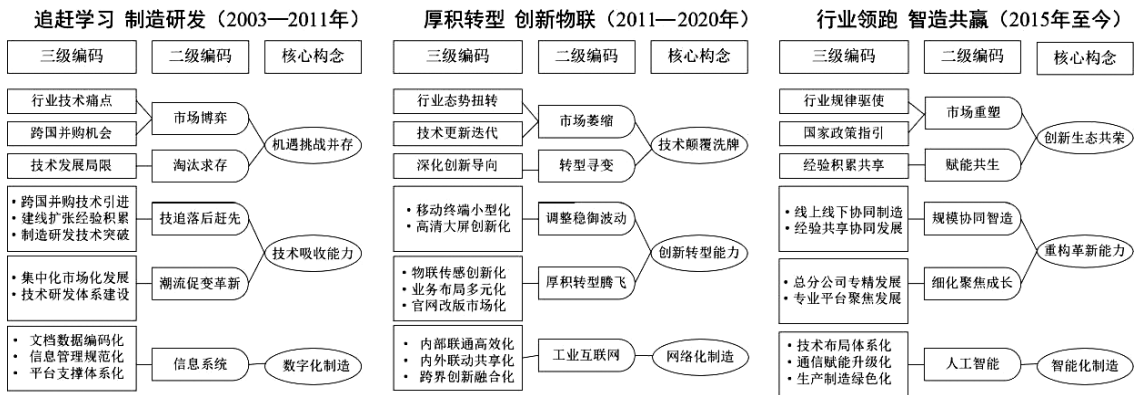


图 2 数据分析结构

三、案例发现

京东方自创立以来,半导体生产线历经 3 次战略转型,本文基于此划分为 3 大阶段。2003 年并

购韩国 TFT-LCD 业务,正式涉足显示领域,依托信息系统优化数据管理,实现自动化生产,迈出数字化制造的第一步。2011 年,公司前瞻布局传感器

业务,依托工业互联网强化内外部信息流通与协同制造,推动生产模式向网络化制造演进。智能传感器技术 2015 年全面融入半导体生产线,借助工业互联网平台,将智造转型的深厚积累转化为对产业链上下游的赋能。

(一) 追赶学习 制造研发(2003—2011 年)

机遇挑战并存是本阶段市场环境典型特征。中国彩电工业虽通过引进外资技术构建完整产业链,并以成本优势进军国际市场,但技术创新不足使其在技术变革中遭遇重创,印证了吸收内化外部知识是跨国并购技术保持技术长期竞争优势的关键^[50]。北京电子管厂因产品结构单一难以适应市场需求,面临淘汰危机。京东方敏锐洞察,毅然进军 TFT-LCD 领域,恰逢韩国 HYDIS 出售相关业务,把握住了转型升级的契机。

企业通常会采取简化策略管理复杂产品系统,搜寻整合外部资源^[51],京东方超越单纯技术并购,实施“扎根战略”,吸收韩国技术资源和管理经验并自主投建北京 5 代线,建立了规范的技术团队和全套生产设施,随后展开 3 轮集中建线以扩大产

业基础,满足市场多样化需求。同时,自主研发 AMOLED 面板等国际前沿技术,摆脱了对产业链中已有技术的依赖,打破国际技术垄断。复杂产品系统后发企业的追赶路径是技术和组织、战略等非技术要素耦合的结果^[52-53]。跨区域建线扩张中,传统工厂化架构的局限性凸显,难以高效整合资源。王东升董事长借鉴韩国模式,创新构建战略、组织、流程、信息系统、内控协同运作的多维度运营体系,确保扩张中的标准高效管理与技术创新体系的规范化建设,为半导体技术的突破与创新筑牢了组织基石。

此阶段智造转型显著标志为信息系统的深度应用^[20]。京东方在并购中汲取信息管理“编码化”精髓,实现数据标准化与结构化。携手惠普,打造自动化生产系统与企业管理信息化平台,强化 5 代线运营效能与产线灵活性,构建起 CIMS、ERP、OA 3 大平台联动的信息管理体系,分别聚焦于生产流程优化、企业资源统筹及日常办公高效处理,三者既独立又互补,通过数据接口无缝链接,驱动大规模定制化生产,展现智能制造新高度。

表 2 “追赶学习 制造研发”阶段典型引用语举例及编码结果

核心构念	二级编码	三级编码	典型引用语举例	来源
机遇挑战并存	市场博弈	行业技术痛点	中国彩电工业凭借“技术引进”带来的短暂繁荣难以应对复杂多变的技术环境被市场淘汰	JF01
		跨国并购机会	2003 年,韩国 HYDIS 向外出售 TFT-LCD 业务	JF02
	淘汰求存	技术发展局限	电子管厂长期生产军工产品,难以满足“彩电热”下的百姓需求	JF01
技术吸收能力	技追落后赶先	跨国并购技术引进	2003 年跨国并购韩国 HYDIS 的 TFT-LCD 相关业务,实施“扎根战略”,展开技术学习	SG
		建线扩张经验积累	2009 年京东方展开第一轮扩张投建北京第 8.5 代等。2011 年展开第二轮扩张投建鄂尔多斯第 5.5 代 AMOLED 等	JF02
		制造研发技术突破	第二轮扩张实现了 AMOLED 面板、氧化物半导体和低温多晶硅等国际前沿技术的突破	JF02
	潮流促变革新	集中化市场化发展	工厂制管理模式转变为专业化组织架构;构建了生产、设计和 IT 等部门(“OPI”),并于 2011 年将此战略升级为“SOPIC”	JF01
		技术研发体系建设	2009 年 4 月,中国第一个 TFT-LCD 工艺技术国际工程实验室设立于京东方,京东方依次为契机,成立技术创新体系	JF02
数字化制造	信息系统	文档数据编码化	模仿学习韩国“codified”(编码化)经验扎实基础包括工作程序与方法 and 数据库	JF01
		信息管理规范化	京东方联合生产制造自动化系统与企业管理信息化系统上线	ZZ
		平台支撑体系化	ERP 运营支撑平台,OA 协同办公平台和 CIMS 计算机集成制造协同合作实现自动化制造	XG

(二) 厚积转型 创新物联(2011—2020 年)

技术颠覆洗牌是技术发展成熟的必然结果^[51],中国大陆面板企业的迅猛崛起,不仅大幅扩容市场供给,更在价格战与金融危机的双重冲击下,加速了 OLED 等新兴技术对传统液晶面板的替

代,重创了日韩台传统三强。移动互联网的浪潮引领显示技术向小型化转型,技术更迭的频繁,映射出复杂产品系统生命周期中持续演进的特性^[54]。在此背景下,京东方依托市场洞察与技术积淀,明确了服务、应用与跨界三大创新转型方向。

京东方以创新转型为舵,紧盯市场需求,灵活调整生产线布局。王东升提出小型化、增值化、柔性化产品战略,如 8~15.6 英寸新品,契合移动互联网趋势,巩固了其在中高端智能设备及专业显示市场的地位,有效应对了大屏需求下滑的挑战。随后,京东方前瞻布局,以 8K 引领超高清潮流,替代 4K,推行“8425 战略”,淘汰 2K,依托 5G,于合肥与武汉投建 10.5 代线,专攻大屏电视面板。同时,携手中国移动、联通、华为等 5G 巨头,共谋“5G+8K”未来,持续推动产业升级。市场格局剧变促使

京东方寻求面板业务新增长点,融合互联网与“屏”技术,积极布局物联网转型。技术上,京东方果断进军传感领域,成立独立事业部与技术公司,专攻传感器技术突破。战略上,构建“1+4+N”航母级事业群,以显示器件为核心,辐射物联网、创新业务、传感器、MLED 及智慧医工等多领域。组织架构上,实施“三横三纵”整合策略,打破壁垒,灵活应对物联网市场需求^[52-53]。同时,官网全面升级,转型为智慧商务平台,汇聚丰富产品信息与行业方案,促进产业链伙伴间交流与合作。

表 3 “厚积转型 创新物联”阶段典型引用语举例及编码结果

核心构念	二级编码	三级编码	典型引用语举例	来源
技术颠覆洗牌	市场萎缩	行业态势扭转	传统面板行业产能过剩面临亏损,“日、韩和台湾”三大面板商三足鼎立局面颠覆	ZZ
		技术更新迭代	2011 年移动互联网兴起激发小尺寸移动终端需求;2018 年市场高清大屏电视和国际赛事转播需求使 8K 取代 4K 占据显示市场	JF02
	转型寻变	深化创新导向	2011 年公司坚持“坚持客户导向和 SOPIC 创新变革,加快产品和技术创新,增强专业基础能力,提升产品竞争力和产线盈利力,确保全年盈利”年度经营工作方针	JF01
创新转型能力	调整稳御波动	移动终端小型化	王东升提出对生产线进行小型化、增值化和柔性化转型。合肥 6 代线、北京 8.5 代线实现产线小型化改造和产品切换,提升了移动类面板产能比重	BC
		高清大屏创新化	2013 年,京东方陆续推出了全球领先的尺寸 98 英寸 8K 超高清显示屏、全球首款 65 英寸氧化物显示屏、55 英寸超高清裸眼 3D 显示屏	JF05
	厚积转型腾飞	物联传感创新化	自 2011 年开始布局传感事业,2015 年成立传感器独立事业部,2017 年成立北京京东方传感技术有限公司	JF01
		业务布局多元化	2014 年,京东方运营模式从矩阵式管控管理转变为适配物联网转型战略的“三横三纵”授权赋能型组织运营体系	JF01
		官网改版市场化	官网(www.boe.com)于 2015 年改版成智慧商务平台	JF01
网络化制造	工业互联网	内部联通高效化	京东方工业互联网在福州 8.5 代线的应用,达到了平台数据终端有采集、数据管理有协同、数据分析有模型、互联互通无孤岛、业务应用有场景成效	JF03
		内外联通共享化	陈炎顺表示,显示作为信息交互的核心端口,在打破疫情造成的物理隔阂,助力各行各业数字化转型方面发挥了重要作用	JF04
		跨界创新融合化	分别与中国移动、中国联通和华为达成战略合作,共同推动“5G+8K”联合发展;注资海外 VR 和 AR 公司,学习技术进行积累,调整生产线生产结构顺应市场态势	JF04

在此阶段,智造转型与物联网紧密联系,体现为工业互联网的应用推广和技术跨界合作^[20]。企业内部,工业互联网实现数据高效采集、协同管理、动态排程与智能排产,缩短排产时间 7 小时;大数据分析预测系统整合生产调度,产品缺陷率锐减至 25%。企业间,工业互联网平台在疫情期间促进信息共享,简化流程,助力 300 余家产业链伙伴复苏,凸显物联网在危机管理中的价值。物联网还促进了技术交流与合作,如京东方投资 Meta 进军 VR/AR 领域,掌握关键技术;并携手中国移动、联通、华为,依托“8425 战略”,在面板制造、5G 技术、网络运营及市场渠道等方面形成优势互补。

(三)行业领跑 智造共赢(2015 年至今)

半导体产品市场需求从批量向个性化定制转变,产品生命周期缩短,倒逼企业灵活应对客户需求^[54],新一代信息技术革命的兴起为制造转型升级带来了契机,2015 年政府工作报告和《中国制造 2025》等号召加速数智化转型进程。京东方已实现数字化与网络化制造的成功转型,将人工智能等机器学习技术广泛应用于半导体生产线和智造服务工厂运行中,亟待智造技术对生产经营的优化升级与赋能产业链,将技术优势转化为服务优势。

信息系统与工业互联网的紧密协作,极大地推动了技术合作、量产与品质提升,但在批量定制

业务方面仍存局限。京东方探索自主设计制造领域,引导客户通过线上 iMaker 平台或线下创客工坊,将创意转化为个性化订单。智能制造工厂则依托先进的信息管理软件和 AI 技术,实现生产流程的全面智能化排产。转型中,京东方积累的丰富经验为业务模式的多元化拓展奠定了坚实基础,正式步入平台赋能 2.0 时代,携手更多企业共

同应对转型挑战。为响应战略调整,京东方拆分 IT 业务并成立了北京中祥英科技有限公司,将内部优势转化为对外服务能力,依托京东方在制造业 30 年的行业知识和新一代通信技术并持续自主创新研发新技术,开发了不同解决方案,并搭建 BOE 工业互联网平台,拓展了中祥英技术成果和解决方案的应用场景,形成了“主体 + 平台”良好协作。

表 4 “行业领跑 智造共赢”阶段典型引用语举例及编码结果

核心构念	二级编码	三级编码	典型引用语举例	来源
创新生态共荣	市场重塑	行业规律驱使	陈炎顺说:“以前我们企业主要服务大客户,现在面对的是定制化、碎片化、动态化市场,客户分散在各行各业中,必须扎根客户到客户需要的地方去不能做老爷生意。”	BC
		国家政策指引	2015 年政府工作报告以及 2018 年“新基建”定义等突出强调新一代信息技术重要性	SG
	赋能共生	经验积累共享	京东方渐进融合的智能制造转型过程中积累的丰富经验为业务模式拓展奠定了扎实基础	JF03
重构革新能力	规模协同制造	线上线下协同制造	搭建个性化定制服务体系,给用户全新智能制造服务体验	JF01
		经验共享协同发展	京东方发展至今已逐步完成数字化、网络化和智能化制造的阶段跨越,积累了智能制造转型中丰富的经验	JF01
	细化聚焦成长	总分公司专精发展	京东方拆分 IT 业务,成立中祥英公司,依托多年积累的制造业信息化和数字化经验,对外提供服务	JF01
		专业平台聚焦发展	开发 BOE 工业互联网平台,将积累的智能制造等相关经验赋能产业链上下游,协同发展	JF04
智能化制造	人工智能	技术布局体系化	2015 年将人工智能技术应用于半导体生产线逐步形成以“软硬融合”、“智能物联”和“场景赋能”的 AIoT 技术创新体系	JF02
		通信赋能升级化	2024 年年初,北京移动和京东方合作,利用 5G 技术让京东方第 5 代 TFT-LCD 生产线实现智能化,设计全新数智化生产运营平台	JF04
		生产制造绿色化	京东方创立 30 周年之际,旗下 16 家工厂均已获得国家级“绿色工厂”称号。	JF02

复杂产品系统智能制造转型体现为人工智能技术的拓展应用^[20]。京东方融合 AI 数据处理与 IoT 设备互联优势,构建了“软硬协同:智能物联;场景驱动”的 AIoT 创新生态,深度赋能半导体研发、生产管理等核心制造环节。北京移动则携手 5G 与 AI 技术,对 5 代线实施数智化升级,实现仓储智能化、运输精准化及微米级视觉检测,即时预警安全隐患,并优化数据回传与实时分析流程。此外, AI 能源管理系统通过精细化管理,节能减排效果显著,废水回收率跃升至 90%,废弃物综合利用率高达 97%。此外,推广电子价签等绿色替代品,引领终端消费向环保生活迈进。

四、案例讨论

从生产军工产品的北京电子管厂到如今全球创新型物联网公司的伟大转型,动态能力贯穿始终并持续影响京东方半导体核心技术突破和智造

转型的创新决策和战略行为。基于此,我们构建了半导体生产线智造转型的过程演进模型(见图 3),进一步把核心发现与动态能力、复杂产品系统和智能制造理论结合演绎,分析智能制造转型的内在机理与现实路径。

(一)环境因素驱动下的动态能力演化过程

在内外环境的交织影响下,动态能力持续引领企业制定适应环境变化的战略决策。中国彩电工业曾因依赖技术引进、缺乏自主创新而迅速衰退,同时,韩国现代因金融危机重负,抛售前景广阔的 TFT-LCD 业务,市场博弈加剧。一家源自电子管厂的企业,技术产品结构落后,面临市场淘汰边缘^[51]。随后,该企业凭借技术吸收能力,通过跨国并购 TFT-LCD 技术并成功内化,自主建线,彰显了跨国并购中吸收能力对维持长期竞争优势的关键作用^[50]。进入创新物联时代,技术革新与产能过剩导致面板价格暴跌,产品系统技术展现长期流

动性^[54],传统面板业萎缩。企业技术储备增强后,探索有限多元扩张路径,以“转型求变”为定位,寻求新增长点。步入智造共赢阶段,批量生产方式已难以满足市场多元化、定制化需求,新兴技术推动企业深度升级经营模式,市场环境随之重塑。京东方

秉持“赋能共生”理念,将技术优势转化为服务优势,依托工业互联网平台提供多场景解决方案,促进产业链协同发展。通过新一代信息技术赋能生产线,实现规模扩张与成本优化,成功转型为制造服务商,展现了其重构革新与赋能发展的强大能力。

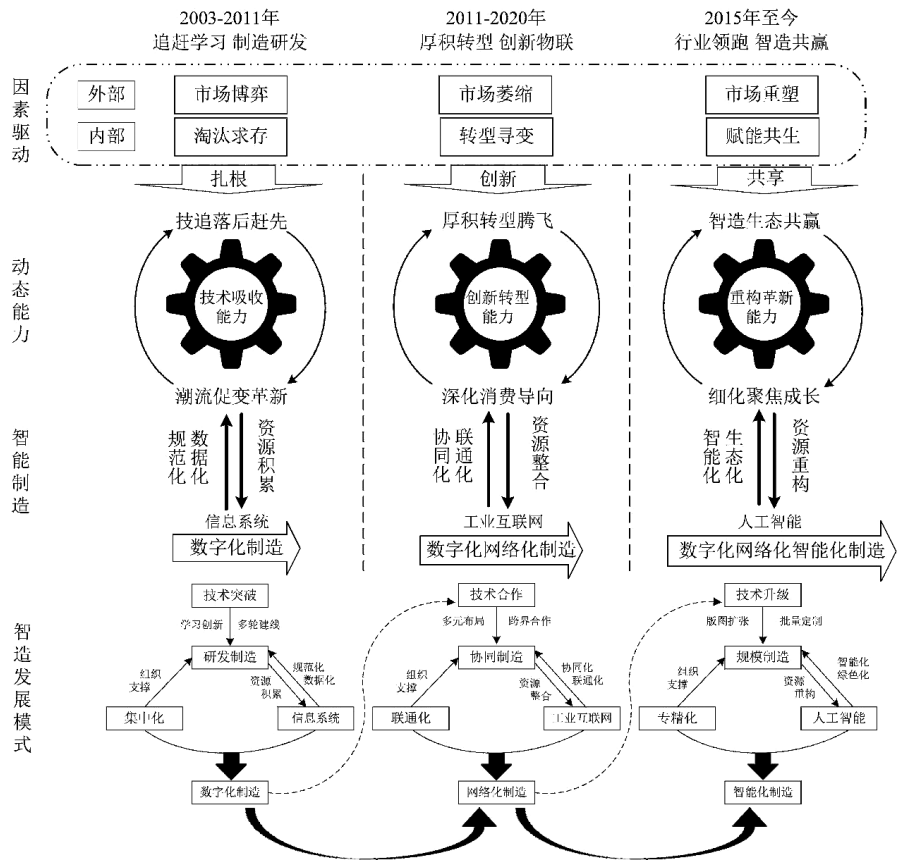


图3 京东方半导体技术突破创新和智造转型演进模型

(二)复杂产品系统技术突破和创新与智能制造的耦合作用

京东方自创立以来,技术突破与创新便是其生产制造的核心驱动力,与智能制造转型相辅相成。初期,通过技术革新与产能扩建,积累了丰富生产资源,但地域分散与资源不均促使数据信息的网络化、互通化成为关键。信息系统^[20]的引入,实现了生产流程的自动化与信息化,优化了资源配置,为持续创新与网络化制造奠定了技术基石。进入创新物联阶段,移动终端需求井喷,技术跨界合作蔚然成风,要求企业间加强资源整合与协同制造。工业互联网^[20]的应用,促进了信息流通与冗杂资源的高效管理,为智能化制造阶段拓展业

务模式、赋能产业链上下游奠定了基础。如今,在智造共赢阶段,面对市场需求的定制化与多样化趋势,京东方通过线上线下定制设计与智能制造服务的深度融合,开创了智造新模式,实现了对资源更精准高效的管控。同时,人工智能与物联网^[20]等技术的深度融合,构建了坚实的技术支撑体系,推动了制造的高效与绿色发展。高效绿色发展。

(三)智能制造发展范式

智能制造作为新一代科技革命与工业相结合的产物,以其革命性和紧迫性得到实践和研究领域的关注^[2,15-16,19-20,22-26,29],但我国工业化发展起步较晚,智造转型与国际工业领先国家的发展

程度和范式大相径庭,呈现渐进、融合式的发展特征^[44]。本研究在既有融合渐进式的智造转型发展范式基础上,发现复杂产品系统智能制造转型呈现以下特征。一是复杂产品系统技术革新与智能制造转型相辅相成,动态融合。京东方自2003年跨国并购TFT-LCD生产线起,历经内化创新,于2005年步入数字化制造阶段,实现数据自动化管理。2011年,技术飞跃带动生产扩张,网络化制造强化技术协同,加速转型步伐。至2015年,AI融入半导体生产线,智能化制造启航并持续演进。2020年,网络化制造迈入平台赋能2.0阶段。二是智造转型三大阶段展现后期加速与融合并进的态势。2005—2011年,京东方依托信息系统助力产能扩张与品质提升,奠定坚实的数字化制造基石。2011年起,京东方前瞻布局传感事业,加速向物联网时代技术前沿迈进,智能制造转型提速。相较于数字化制造的7年深耕,2015年人工智能及机器学习技术迅速融入半导体生产线与服务工厂,开启智能化新篇章。工业互联网作为物联网在制造领域的核心体现,不仅促进了企业内外的协同制造,更在2020年通过BOE工业互联网平台赋能2.0阶段,将京东方的发展精髓对外输出,成为行业服务的新标杆。

五、研究贡献、局限与展望

(一)理论贡献

本文深入探讨了动态能力理论、复杂产品系统与智能制造三大领域,其理论贡献如下。首先,本研究验证了我国渐进式智能制造转型范式^[20],对该范式进行了创新性的拓展。数字化制造作为基石,贯穿转型始终,奠定坚实基础^[44]。网络化制造初期聚焦于工业互联网驱动的企业内外数据联通与协同制造^[20],后期则演化为平台赋能模式,技术知识商业化,带动产业链协同发展。智能化制造加速与网络化深度融合,共同推动转型深化。其次,本文创新性地将复杂产品系统的技术突破创新与智造转型过程紧密相连,打破了以往研究中两者的割裂状态。既往文献多独立探讨复杂产

品系统的技术创新^[5,10-14,34,41]或聚焦于大规模制造产品的智造转型^[15,18,19]。而本文研究揭示,半导体生产线等技术突破与其智造转型过程呈长期动态耦合,技术演进驱动资源积累、整合与重构需求,同时智能制造技术为解决复杂产品系统发展中的资源调配、协同合作等难题提供了有效路径,促进了系统的提质增效。最后,本文将动态能力理论的应用边界拓展至复杂产品系统技术突破与智能制造转型的共同演进中,提出内外环境驱动下的“扎根、创新、共享”动态能力演绎路径,以及“技术吸收能力、创新转型能力、重构革新能力”的递进模式,深化了动态能力理论的应用与实践。

(二)实践启示

本文结论对于我国复杂产品系统发展提供实践指导意义。首先,智造转型循序渐进,非一蹴而就,企图跨越式直达智能化制造既不现实亦非明智之举。数据信息演进路径清晰,从企业内部流通,拓展至企业间乃至整个行业共享;技术则从单一技术突破到技术合作,最终迈向技术共享;制造方式则沿研发制造、协同制造,逐步向智造转型。企业应立足自身发展实际,稳步推进智造转型。再者,智能制造远非信息技术与制造业的浅层融合,涉及技术创新与组织结构重塑,如传统工厂经营模式转向SOPIC多元化战略下的部门重组,直至构建适应物联网发展的三维组织架构。最后,智能制造实为制造业发展的手段,聚焦于生产效率与运营模式的优化升级,核心竞争力根植于自主研发与创新能力,无法替代复杂产品系统中技术的核心引领角色。全球化经济浪潮与国际竞争的白热化背景下,技术发展路径多元,无固定范式可循。跨国并购虽为技术引进一途,技术内化与创新路径的开辟方为关键。

(三)研究局限与展望

虽然本研究回答复杂产品系统如何实现技术创新与智造转型的双重飞跃并得到了启发性结论,但仍存在一些不足之处期待未来研究继续完

善优化。本文聚焦半导体显示行业,由于行业特征和企业独特发展方式,研究结论可能较为局限,对复杂产品系统其他相关行业并不完全适用。另外,本文采用单案例的研究方法,虽然具有针对性,但单案例研究方法也使研究结论的普适性受到限制,未来可以结合大样本实证检验结论的可推广性。

参考文献:

- [1] HOBDAI M. Product complexity, innovation and industrial organisation [J]. Research policy, 1998, 26(6): 689-710.
- [2] 人民网. 报告显示:我国智能制造能力成熟度水平稳步提升 [Z]. 2022
- [3] 陈劲,周永庆. 复杂产品系统创新的过程模型研究 [J]. 科研管理, 2005(2): 61-67.
- [4] 陈劲,桂彬旺. 复杂产品系统模块化创新流程与管理策略 [J]. 研究与发展管理, 2006(3): 74-9,107.
- [5] 苏敬勤,刘静. 复杂产品系统制造企业的动态能力演化:一个纵向案例研究 [J]. 科研管理, 2013, 34(8): 58-67.
- [6] 崔森,苏敬勤,王淑娟. 后发复杂产品系统制造企业的技术演化:一个探索性案例研究 [J]. 南开管理评论, 2012, 15(2): 128-35,42.
- [7] 周永庆,陈劲,许冠南. 中国复杂产品系统创新关键成功影响因素研究 [J]. 研究与发展管理, 2006(1): 6-12.
- [8] 杨凯瑞,班昂,史可,等. 中国芯片产业政策“目标—工具”匹配研究:基于文本量化分析 [J]. 科技进步与对策, 2024, 41(8): 85-95.
- [9] 王晟锴,李春发,孙雷霆,等. 军民融合战略背景下中国航空制造业如何进行技术创新追赶:基于全球创新网络视角 [J]. 科技进步与对策, 2020, 37(1): 65-73.
- [10] 刘云,郭栋,黄祖广. 我国高档数控机床技术追赶的特征、机制与发展策略:基于复杂产品系统的视角 [J]. 管理世界, 2023, 39(3): 140-158.
- [11] 曾德麟,欧阳桃花. 复杂产品后发技术追赶的主供模式案例研究 [J]. 科研管理, 2021, 42(11): 25-33.
- [12] 赵耀升,宋立丰,毛基业,等. “北斗”闪耀:初探中国卫星导航产业发展之道 [J]. 管理世界, 2021, 37(12): 217-237.
- [13] 欧阳桃花,曾德麟. 拨云见日:揭示中国盾构机技术赶超的艰辛与辉煌 [J]. 管理世界, 2021, 37(8): 194-207.
- [14] 郭艳婷,郑刚,刘雪锋,等. 复杂产品系统后发企业如何实现快速追赶?:中集海工纵向案例研究(2008—2021) [J]. 管理世界, 2023, 39(2): 170-186.
- [15] 吕文晶,陈劲,刘进. 工业互联网的智能制造模式与企业平台建设:基于海尔集团的案例研究 [J]. 中国软科学, 2019(7): 1-13.
- [16] 肖静华,毛蕴诗,谢康. 基于互联网及大数据的智能制造体系与中国制造企业转型升级 [J]. 产业经济评论, 2016(2): 5-16.
- [17] 钱雨,张大鹏,孙新波,等. 基于价值共创理论的智能制造型企业商业模式演化机制案例研究 [J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(12): 123-141.
- [18] 陈旭升,梁颖. 二元驱动下智能制造发展路径:基于本土制造企业的多案例研究 [J]. 科技进步与对策, 2020, 37(10): 71-80.
- [19] 韦影,周梦祎. 智能制造转型背景下企业动态能力的演化:海尔 1992—2017 年纵向案例研究 [J]. 科技管理研究, 2019, 39(22): 261-267.
- [20] 周济,李培根,周艳红,等. 走向新一代智能制造 [J]. Engineering, 2018, 4(1): 28-47.
- [21] 杨叔子,丁洪. 智能制造技术与智能制造系统的发展与研究 [J]. 中国机械工程, 1992(2): 18-21.
- [22] 路甬祥. 走向绿色和智能制造:中国制造发展之路 [J]. 中国机械工程, 2010, 21(4): 379-86,99.
- [23] 祁国宁,车宏安,陈之航. 计算机集成制造(CIM)的背景、现状和发展 [J]. 自然杂志, 1995(4): 193-198.
- [24] 乔兵,朱剑英. 多 Agent 智能制造系统研究综述 [J]. 南京航空航天大学学报, 2001(1): 1-7.
- [25] 屈平. 柔性制造:未来大趋势 [J]. 精密制造与自动化, 2004(4): 6-7,26.
- [26] 蔡元龙,陈玉宝,邬学礼. 面向敏捷制造的智能制造单元框架结构的研究 [J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 1999(4): 26-29.
- [27] 汤临佳,郑伟伟,池仁勇. 智能制造创新生态系统的功能评价体系及治理机制 [J]. 科研管理, 2019, 40(7): 97-105.
- [28] 左世全. 我国智能制造发展战略与对策研究 [J]. 世界制造技术与装备市场, 2014(3): 36-41,59.
- [29] 周济. 智能制造:“中国制造 2025”的主攻方向 [J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.

- [30]王影,冷单.我国智能制造装备产业的现存问题及发展思路[J].经济纵横,2015(1):72-76.
- [31]盛亚,尹宝兴.复杂产品系统创新的利益相关者作用机理:ERP为例[J].科学学研究,2009,27(1):154-160.
- [32]陈占夺,汪克夷.复杂产品系统的复杂性对知识管理的影响探讨[J].科学学与科学技术管理,2007(5):101-105.
- [33]江鸿,吕铁.政企能力共演化与复杂产品系统集成能力提升:中国高速列车产业技术追赶的纵向案例研究[J].管理世界,2019,35(5):106-25,99.
- [34]路风.冲破迷雾:揭开中国高铁技术进步之源[J].管理世界,2019,35(9):164-94,200.
- [35]苏汝劫,常宇豪.经济新常态下多元化与企业绩效:基于动态能力的视角[J].宏观经济研究,2019(7):136-147.
- [36]李晓宇,陈国卿.信息技术投入、技术创新动态能力与企业绩效关系研究[J].科技进步与对策,2019,36(16):100-107.
- [37]焦豪,杨季枫,王培暖,等.数据驱动的企业动态能力作用机制研究:基于数据全生命周期管理的数字化转型过程分析[J].中国工业经济,2021(11):174-192.
- [38]钱晶晶,何筠.传统企业动态能力构建与数字化转型的机理研究[J].中国软科学,2021(6):135-143.
- [39]简兆权,王晨,陈键宏.战略导向、动态能力与技术创新:环境不确定性的调节作用[J].研究与发展管理,2015,27(2):65-76.
- [40]杜俊义,崔海龙.互补知识对技术创新动态能力的影响:以组织学习作为调节变量[J].技术经济与管理研究,2019(9):45-52.
- [41]苏敬勤,刘静.复杂产品系统创新的动态能力构建:基于探索性案例研究[J].研究与发展管理,2014,26(1):128-135.
- [42]宋砚秋,杨岚.基于系统动力学的复杂产品系统动态能力研究[J].科研管理,2017,38(10):150-160.
- [43]乔黎黎,韩小涛,刘中全.基于重大科技基础设施建设迈向一流大学的路径分析:复杂产品系统动态能力演化视角[J].科技进步与对策,2021,38(23):10-9.
- [44]钟志华,臧冀原,延建林,等.智能制造推动我国制造业全面创新升级[J].中国工程科学,2020,22(6):136-142.
- [45]王玉泽,罗能生,刘文彬.什么样的杠杆率有利于企业创新[J].中国工业经济,2019(3):138-155.
- [46]毛基业.运用结构化的数据分析方法做严谨的质性研究:中国企业管理案例与质性研究论坛(2019)综述[J].管理世界,2020,36(3):221-227.
- [47]EISENHARDT K M. Building theories from case study research[J]. Academy of management review, 1989, 14(4): 532-550.
- [48]毛基业,陈诚.案例研究的理论构建:艾森哈特的新洞见:第十届“中国企业管理案例与质性研究论坛(2016)”会议综述[J].管理世界,2017(2):135-141.
- [49]GIOIA D A, CORLEY K G, HAMILTON A L. Seeking qualitative rigor in inductive research: notes on the gioia methodology[J]. Organizational Research Methods, 2013, 16(1):15-31.
- [50]王诗翔,魏江,路瑶.跨国技术并购中吸收能力与技术绩效关系研究:基于演化博弈论[J].科学学研究,2014,32(12):1828-1835.
- [51]陈劲,黄建樟,童亮.复杂产品系统的技术开发模式[J].研究与发展管理,2004(5):65-70.
- [52]LEE K, MALERBA F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems[J]. Research policy, 2017, 46(2):338-351.
- [53]肖静华,吴小龙,谢康,等.信息技术驱动中国制造转型升级:美的智能制造跨越式战略变革纵向案例研究[J].管理世界,2021,37(3):161-79,225,11.
- [54]DAVIES A. The life cycle of a complex product system[J]. International journal of innovation management, 1997(3):229-256.

(本文责编:默 黎)