

Top-Level Design on digital transformation of manufacturing clusters from an End-to-End Perspective

Yunting Tan

China Electronics Science and Technology Group, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

The digital transformation of the manufacturing clusters is a parallel engineering within the Digital Economy. It strategically aims at achieving greening and high-end manufacturing, upgrades manufacturing by digital technologies and strengthens the digital industry synchronously, thereby develops the regional digital economy. Industrial clusters serve as regional economic units, their digital transformation involves stakeholders from multiple levels and various fields. However, identifying digital value in the manufacturing sector from a digital product perspective is challenging. This article analyzes the digital transformation of the manufacturing industry based on a systems architecture methodology. Through trend analysis and stakeholder analysis, it designs a three-tier user profile model aimed at green digital transformation, forms a solution with '1+3+2' architecture.

Keywords

User Profile; digital transformation of the manufacturing clusters; Industrial Internet; digital economy; Top-level Design; architecture design

端到端视角的制造业集群数字化转型顶层设计方案

谭云婷

中电科普天科技股份有限公司, 中国·广东广州 510000

摘要

制造业数字化转型是一项数字经济的并行工程,其战略意图是以制造业绿色化、高端化发展为目标,以数字技术驱动制造业转型升级,同步推进数字产业,实现区域数字经济整体提升。产业集群是一个区域经济单元,其数字化转型涉及多层次、多领域利益相关者,传统的数字产品视角往往难以覆盖产业层面的数字化价值。本文基于体系架构方法论分析制造业数字化转型,通过端到端的总体分析视角,设计一套面向绿色数字化转型的三层用户画像模型,进而通过逐层需求分析,输出“1+3+2”数字化方案架构,形成一套纵向“双碳”达成、横向产业协同、可持续创新推进的顶层设计方案。

关键词

用户画像; 产业集群数字化转型; 工业互联网; 数字经济; 顶层设计; 架构设计

1 制造业数字化转型趋势

1.1 个性化市场驱动柔性化生产能力

制造业的产品生产模式经历了手工生产、大批量生产、大规模定制化生产,目前逐步进入到多品种小批量的大规模个性化生产阶段,在四个阶段的演进中,产品的生产效率与质量稳定性,在大批量生产阶段达到顶峰。丰厚的市场利润引入了更多的市场主体,尤其在供给侧充分竞争的领域,质量成了企业的生命线,制造企业也在多样化产品、定制化服务中寻找更多的增量空间,并以敏捷的市场响应机制,在用户市场占领先发优势。

从制造企业运营创新角度来看,柔性制造能力是多样化的产品、定制化的服务、敏捷响应市场的解决方案。柔性

制造性能力主要体现在两个方向,一是以“事”为导向的柔性组织,围绕产品生命周期构建高效的价值链体系,汇聚设计研发—物料/零部件供应—生产制造—物流配送—营销推广为主线的产业生态,共同推进产品的创新与市场化渗透。另一个方向是以“机”为核心的柔性产能,围绕物料配送、车间工序、质检品控,构建可编排的生产能力,基于共性的生产单元,通过整体编排或物流衔接的方式,构成适应大、小批量生产,兼容多品类产品的柔性生产线。

柔性的组织、柔性的产能可采用平台化、智能化两种数字化能力切入赋能。平台化运营面向产业集群、制造企业,采用网络化协同的方式,共享产业链、供应链资源,推进企业的良性竞合与产业的持续创新。智能化生产面向制造企业,聚焦生产现场的产线、设备推进数字化、网络化、智能化升级,围绕质量、效率、成本三项价值因素挖掘现场的数字化场景创新,构造性价比高、多品类个性化产品的核心竞争力。

【作者简介】谭云婷(1980-),女,中国广东南海人,硕士,高级工程师,从事信息化规划设计研究。

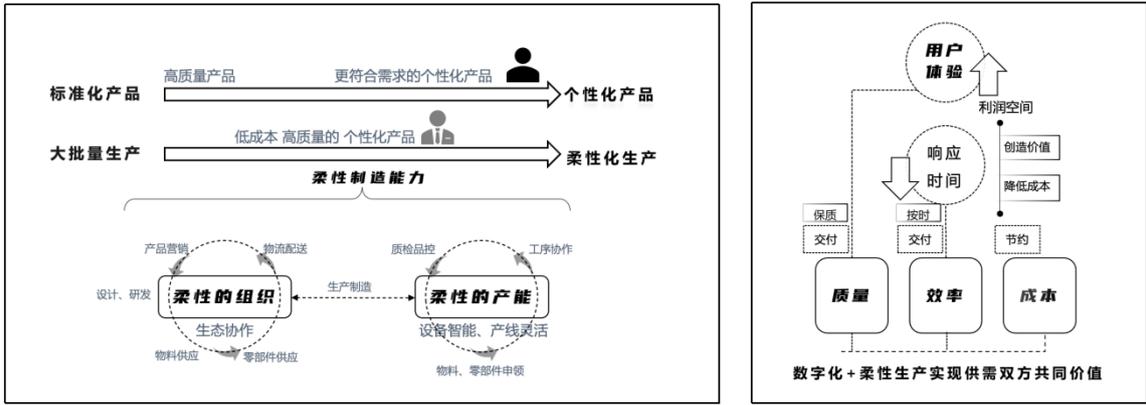


图 1 制造业柔性化升级与制造企业数字化价值的核心三要素

1.2 “双碳”战略下的绿色化转型责任

制造业绿色转型是均衡生产空间与生活空间的主要任务。位于生产空间的工业制造活动从大自然获取生产资料，依赖用电设备制造产品，同时向大自然排放污染，一旦排污超过了大自然的消纳能力，生活空间的土地资源、大气环境、洁净水体受损，将直接影响公众的生活环境。另外，环境影响的另一个因素，是制造业数字化、网络化、智能化的升级的道路上，工业生产设备将越来越多，化石能源为主的供电方式产生大量碳排放，这也是“双碳”战略下制造业发展的一项严峻的挑战。因此，制造业需要走绿色可持续发展之路，通过提升资源利用率、节约减排技术改造、行业配套服务等途径，实现制造业绿色转型升级。

制造业绿色转型的策略是源头节约、末端控排两头并进，辅以资源化利用推进“零”排目标。

政府、协会作为行业监管与服务主体，围绕产业绿色转型升级主要包括治理、服务两方面工作。在治理域，把控制节约型社会、“零”排式生产的总体目标，在资源供给、污染排放两头进行额度控制与均衡调度，动态监测企业用水、用电、排污情况，推进制造企业的绿色转型升级；在创新域，通过平台化服务聚合绿色服务生态，为制造企业提供再生利用、净化排放等环保公共服务，推进制造业绿色产业生态的

创新发展。

制造企业作为资源利用与污染排放的主体，在绿色升级的过程中，围绕材料、水、电、污等治理要素，建立源头节约、资源化利用、末端治理三道关卡，在三个节点中推进场景式的数字化点状创新，最大限度实现企业“零”排。

1.3 绿色的数字化转型方向

制造业数字化转型主要有两个方向，一是柔性生产能力，以智能化升级、平台化服务建立低成本、高质量的敏捷制造能力，迎接个性化定制这一市场发展趋势；二是绿色可持续发展能力，在配额总控的约束性条件下推进源头节约、资源化利用、净化排放的场景化创新，构造“零”排方案，应对日益严峻的环境压力。从产业角度考虑，制造业数字化转型的目标是制造业集群普惠升级与产业绿色可持续发展。

2 制造业数字化转型三层用户模型

面向柔性化生产、绿色化转型的发展趋势，制造业数字化转型的关注主体涉及三个层面的七类核心角色，形成区域、产业、企业三级用户体系，形成区域绿色数字化发展—产业链高效协同—企业智能化生产三层数字化需求，以“绿色化转型+生态化发展”的数字化战略为指引，建立集群数字化生态能力，推进产业链数字化协同，赋能企业数字化转型。

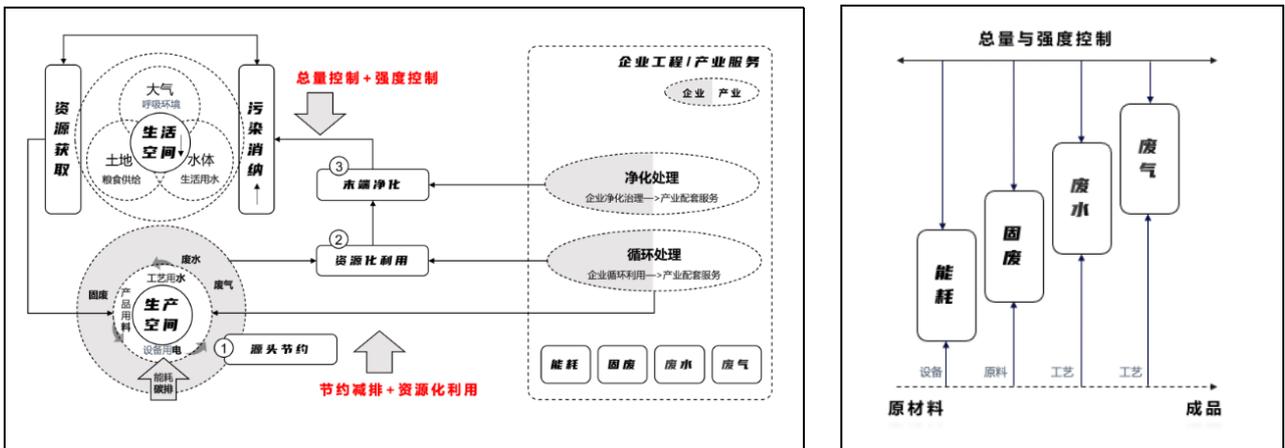


图 2 生产空间与生存空间的平衡发展关系及环境影响因素

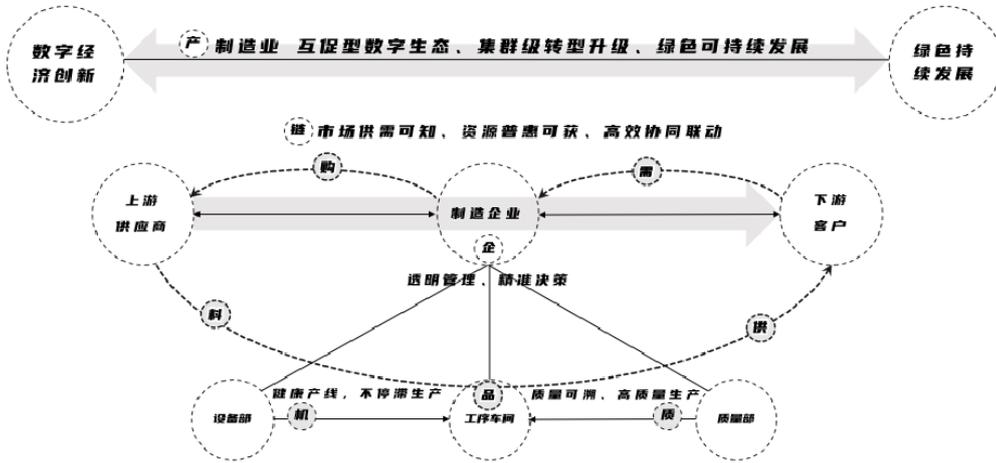


图 3 制造业数字化转型三级用户画像

区域绿色数字化战略。区域级用户角色以政府为主，聚焦数字经济、“双碳”可持续发展的目标推进产业集群数字化转型，打造区域绿色智能的制造业品牌。集群级用户的目标是培育区域智能化生产、平台化服务的数字服务生态，推动区域制造业数字化、绿色化转型，形成数字产业化、产业数字化的良性发展态势。

产业链网络化协同。产业链用户角色以制造企业为中心，向上、下游分别延伸供应链企业与下游市场客户，形成三类用户角色，构成一条供需闭环。制造企业以订单为载体，积极响应市场需求，向上游供应商采购产品加工所需的原材料，形成需求链；在产品制造过程中，企业以工单为载体启动生产，获取上游原材料进行制品加工、成品包装与运输，为下游客户提供产品服务，形成供给链。此环节通过二次供需链条，完成原材料→产品→服务的价值递增。

企业级智能化生产。企业级用户主要指制造企业内产品制造相关的核心部门，涉及管理部门、工序车间、设备部门、质检部门四类用户。在管理部门综合管控下，以工序车间为核心，上、下延伸至设备部门、质量部门，形成四类用

户角色。技术、生产、环保等综合性部门统一归为管理部门，下发工作要求，实时监测生产动态，调度各方资源保障生产，各工序部门协作完成产品制造，通过质检部门的过程、最终检验通过后，为下游客户提供高质量的产品服务，同时，设备部门做好设备日常维护与应急检修，确保一条生产“不停滞的健康产线”。

3 制造业数字化转型痛点与需求分析

3.1 数字化需求分析概述

在数字化推进过程中，政府、企业构成三层用户体系具有不同的目标诉求，也存在不同视角的痛点需求。政府在数字经济的推进中，面临环境与经济的权衡难点，以及数字化需求牵引无力的问题，需要建立一个可持续发展的绿色数字化生态；制造企业在数字化转型中，在横向协作方面，面临上游议价难、中游成本高、风险追溯难等问题，需要一个供需可知、资源可获、高效协同的能力平台，在垂直管控方面，需要建立透明管理能力解决生产管控盲区问题，实现外部高效协同，对内质效可控、优质交付。

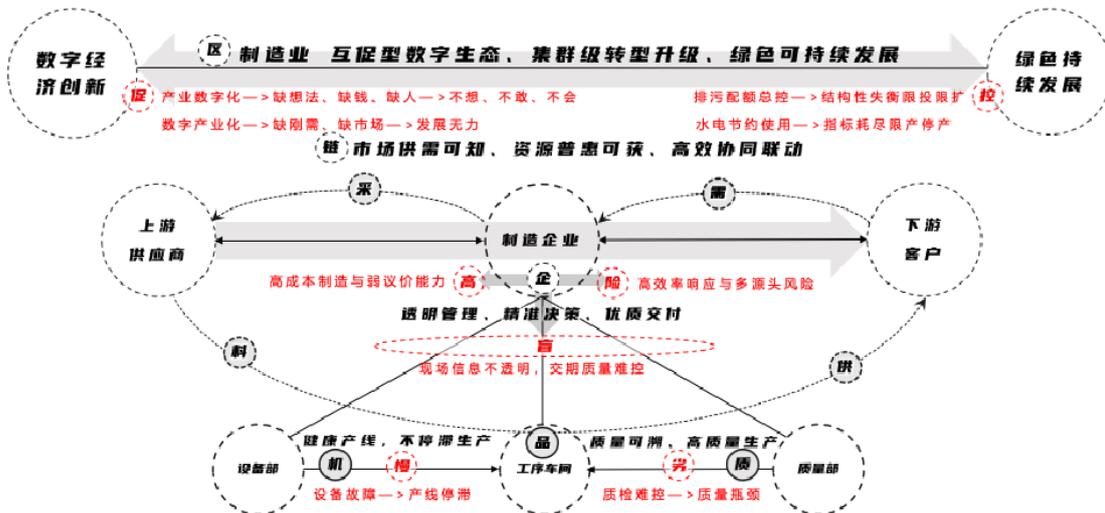


图 4 基于三级用户画像的痛点与需求分析

3.2 政府“促”与“控”的痛点与需求

在产业集群绿色数字化转型战略中,政府以“促”与“控”的方式,通过政策引导推进制造业数字化转型与区域环境资源保护。在促进面,以数字化转型为创新主动力发展数字经济,推动制造业转型升级的同时,发展数字产业;在控制面,围绕节约型社会与“双碳”目标,采用配额调控的方式,以最小的环境与资源代价,推进制造业整体均衡发展、全面稳步上升。政府在数字化、绿色化推进过程中,主要面临两项挑战。

3.2.1 区域产业升级痛点分析

①产业环境协调失衡。

水、电是制造业的核心资源,自动化产线、清洗或化学工艺为主的制造业具有高能耗、高水耗、高排放的产业特征,政府对水、电、污进行配额治理一直存在决策权衡的难点,如果配额不足会限制新项目投产、扩产,而超额分配则会导致总量不足,甚至是存在环境风险。

②数字化需求牵引无力。

数字化是长周期的投入型项目,大部分企业,尤其是尚处于生存阶段的中小企业,在缺资金、缺技术、缺人才的情况下,数字化投入的意愿较低,也难以形成需求充足的数字化市场,从而难以依托“供需互促”的方式进一步孵化数字化技术与生态。

③数字化创新不持续。

在数字化创新推进中,缺少普惠便捷的数字化基础设施与高价值数字化场景,大、中、小企业创新能力不平衡。大企业投入数字化、绿色化设施设备,持续提升生产效率、质量与清洁生产能力,沉淀了有价值的数字化、绿色化成果,由于定制化要求高,未能普及中小企业,行业数字化、绿色化呈现设施不完善、能力未覆盖、创新不持续的情况。

3.2.2 区域绿色数字化发展需求

政府层面的数字化需要建立产业集群绿色数字化综合治理与服务能力,包括绿色数字化、数字普惠化、创新可持续三项能力。从绿色数字化方向切入,推动区域、企业绿色转型发展;在数字普惠化方面,政府推动区域数字化基础设施、数字化生态体系的建设,配套资金、人才等产业数字化公共服务,实现制造业“数字惠企”;维护区域数字生态与产业集群良性互动与健康发展的数字环境,保障创新可持续。

3.3 产业链“供”与“需”的痛点与需求

从产业链视角观察,制造企业作为实体经济的价值中心,沿产业链向上、下游拓展,进一步延伸上游供应商、下游客户两类角色。制造企业既是供给侧,也是需求侧,从需求牵引角度出发,制造企业作为供给方,面向需求市场,持续建设自身交付、创新能力,提升市场竞争力,作为需求方,围绕市场订单寻求价格合理、质量保障、稳定供给的原材料与设备供应商。

3.3.1 产业链协同的痛点分析

①高成本制造与弱议价能力。

定制化产品议价能力低、品控难,制造成本高。个性化市场的驱动下,定制化产品成为市场热点,以创新持续推进市场满意度,从而驱动了供应链的整体价值提升。定制化产品一般采用多品类、小批量的制造模式,难以形成规模效应,从而削弱了上游原材料的议价能力,制造过程、品控难度也进一步加大,从而增加制造成本。

②高效率响应与高风险库存。

库存可提升交付效率,也增加了投入的成本与风险。市场关注产品供给的时效性,产品从原材料开始,到半成品、成品,最后触达市场的过程中,往往设置有合理的冗余库存,有效应对需求激增、上游缺料、运输中断等突发情况,避免下游断供风险,一旦市场预测失准,将导致库存成本过高、滞销产品等问题。

③风险溯源面对多环节参与主体。

产品缺陷涉及多环节主体,责任难追溯。产品从原材料、制品、成品、走向市场的过程中,质量、碳足迹问题贯穿产业链各环节的加工制造、仓储运输过程,下游出现的质量、环保等问题难以溯源、追责,将增加责任成本。

3.3.2 产业链高效协作需求

为了应对高成本制造、高库存风险、多环节溯源的问题,产业链建立市场感知、供需对接、集成采购、跟踪溯源的产业链数字化协作能力,解决议价不公平、库存不可控、产品难溯源等问题,实现产业链各环节价值最大化。

3.4 企业“质”与“效”的痛点与需求

3.4.1 企业管控的痛点与需求

①管控盲,车间信息不透明,交付效率难把控。

管控难以深入车间生产现场,成本效率难管控。生产活动位于车间现场,依赖生产设备开展生产制造,也是能耗、水耗、排污集中区域,车间生产设备、生产过程的聋、哑、盲现象将形成车间协作、生产实况等信息的断点、堵点,上层管理无法实时掌握现场生产进度、合规情况,采用粗放管理、滞后管理的方式存在交付、环保风险。

②品控难,人、机、物问题难溯源,质量难追责。

产品缺陷涉及内、外部多环节、多来源,问题定位追责难。在制造过程中,产品质量的问题可归纳为人、机、物三方面问题,人为操作失误、机器运行故障、原材料缺陷导致均可导致产品缺陷问题的产生。其中,原材料的质量问题来源于上游供应商,也存在仓储环境引起的材料问题,人为问题、机器问题在各工序车间中产生。

3.4.2 企业透明管理需求

透明管控能力包括生产管控与绿色管控两项能力,涉及横向透明管理与纵向透明管理。纵向打通从管理到执行层面的信息流,保障生产目标进度、生产指令等信息的上传下达;横向贯穿产品生命周期建立车间级、产线级、设备级实

时信息能力，监测效率、质量、环保等问题。及时发现、解决生产堵点，提升产品的交付、品控能力，同时推进绿色品牌建设，提升企业的市场竞争力。

4 制造业数字化转型顶层视角方案

4.1 “1+3+2” 数字化方案架构

从产业集群数字化转型的角度观察区域、产业、企业的三级问题，自上而下归纳为产业环境失衡、发展不均衡、创新不持续三类问题，涉及区域产业经济、产业数字化转型、数字化产业发展三个范畴。围绕环境、产业、创新三类问题，可搭建“1+3+2”绿色数字化平台体系，从顶层绿色切入、

中层平台共享、底层创新支撑三个方向搭建产业集群数字化能力，推进制造业绿色健康发展、能力普惠覆盖、持续创新升级。

“1+3+2”绿色数字化方案架构，以一个数字底座，承载能源与资源治理、产业链供需服务、数字化公共服务三项数字化子系统，结合数字化人才培养、数字化生态创新两翼能力，形成可迭代成长的创新态势，实现区域绿色数字化、产业数字化服务、数字化基础设施与可持续创新三项能力，持续推进产业集群绿色转型、资源普惠共享、大中小企业共同成长、协同共创。

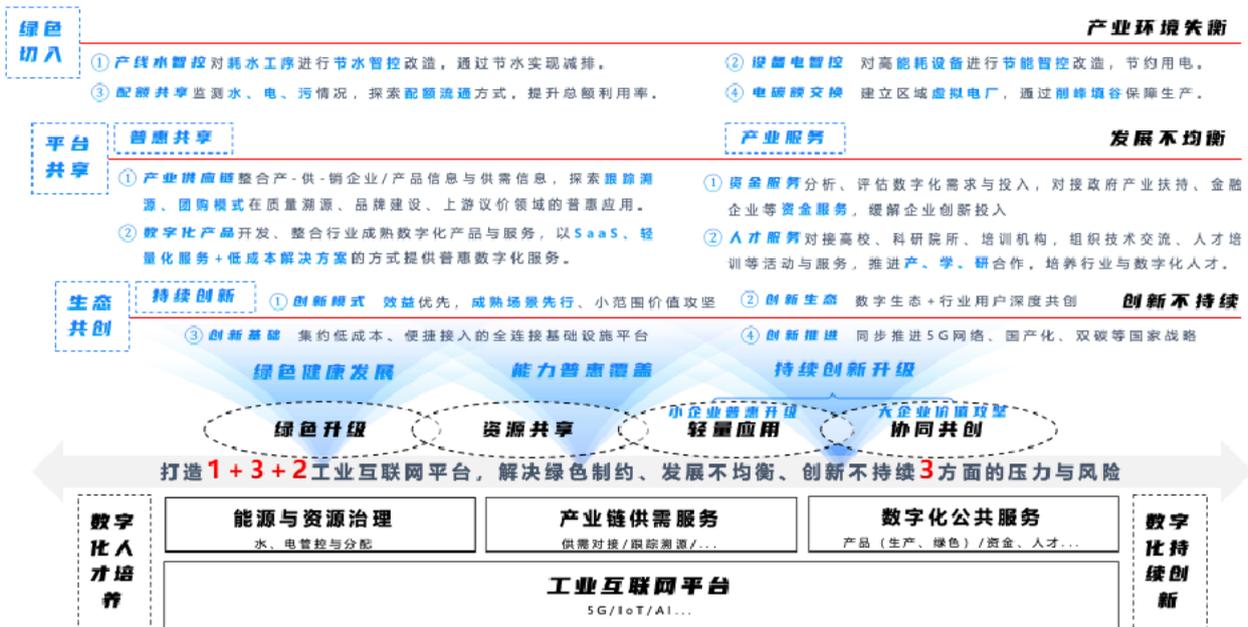


图 5 “1+3+2” 绿色数字化方案与三层数字化能力建设

4.2 绿色数字化切入区域产业升级

顶层能力区围绕国家“双碳”推进目标，推进绿色数字化能力建设。聚焦政府对区域资源最大化利用、企业对生产过程最小成本投入的共同价值，从水、电两个方向切入区域级、企业级的数字化升级，包括区域级能源与资源治理，企业级节水、节能数字化改造，上下共进，有序衔接，共同推动产业绿色化转型。

在建设策略上，政府建设能源与资源治理平台，实时监测配额与产业运行状态，合理分配资源，并探索配额流通方式，提升区域水、电、污配额的综合利用率；为数字化运营企业提供虚拟电厂等区域级公共服务平台，提供削峰填谷、电碳额交换等服务，帮助企业降低生产成本；企业聚焦耗能、耗水、排污等高成本、高风险场景，开展设备级、产线级、企业级数字化接入与改造。

4.3 产业数字化推进平台共享服务

中层能力区以平台共享的模式推进产业资源的普惠覆盖，基于产业链供需服务平台、数字化公共服务平台，推进

供应链资源与数字产品的普惠共享，同时匹配人才、资金等数字化公共服务，支撑大中小企业公平享有数字化转型能力。

4.3.1 产业链供需服务平台

建立产业链供需服务平台，整合产—供—销全链条供需信息，以及设备、产线、仓库等闲置资产信息，采用集成采购模式充分对接供需双方，实现产业链价值最大化；持续积累的市场大数据，提供日益准确的市场情报服务，支撑企业开展生产决策；建立基于物码对应的产品跟踪与溯源系统，向上游溯源质量、碳足迹等，向下游跟踪时效、用户体验等信息。

4.3.2 数字化产品服务

引入行业成熟的数字化产品与服务商，聚焦数字化生产现场、全过程绿色生产两个方向，整合设备级、产线级、企业级数字化产品，为企业提供低成本、轻量化的产品解决方案，帮助企业快速落地有价值的数字化场景。

4.3.3 数字化配套服务

围绕普惠共享的目标，面向中小企业提供咨询、资金、

人才等配套服务，通过财税补贴、金融服务等方式，扶持成熟数字化场景的普惠覆盖与创新场景的价值攻坚。

4.4 数字化基础设施推进生态共创

底层能力区侧重数字化能力底座与数字化创新生态的建设。面向制造业赋能，搭建一个含5G、IoT、AI等新一代信息技术的云网数字底座，数字化生态基于“效益优先、成熟场景先行、价值场景最小范围攻坚”的方式开展数字化创新，实现高价值场景研发、稳定性运行、低成本赋能、全行业覆盖的良性创新循环。可围绕数字化生产现场、全过程绿色生产两条主线推进数字创新，持续赋能制造企业。

4.4.1 数字化生产现场

面向生产透明管控需求，保障一条“不停滞的健康产线”。对现场生产设备进行数字化、网络化改造，逐步击破现场信息盲点，搭建现场级数字底座；以“按时交付”为目标，建立计划、物料、设备、质量、环保部门与工艺车间的联动信息库，提升跨部门协作效率；以问题为导向，实时监测预警生产现场异常信息，发现生产堵点，联动生产调度系统，建立发现问题、解决问题的应对机制。

4.4.2 全过程绿色生产

面向绿色透明管控的需求，推进上下一体的“绿色工厂”。面向水耗、能耗、排污等生产过程，通过设备升级、

数字化改造等方式推进清洁生产；衔接国家“双碳”目标，建立车间、产线级绿色绩效模型，探索企业一车间一产线的绩效联动方式，共同推进绿色生产。

5 结论

在国家“双碳”发展、“数字经济”的总体推进下，制造业数字化转型呈现柔性化生产、绿色可持续的总体发展趋势，政府、企业在数字化进程中具有不同的目标导向。匹配区域一产业一企业三层架构的用户模型，聚焦用户痛点，从产业环境失衡、发展不均衡、创新不持续三类问题切入，进一步梳理绿色数字化发展、产业链高效协作、企业透明管理三层数字化能力需求。建立“1+3+2”架构的绿色数字化解决方案，形成区域绿色数字化、产业公共服务、数字化基础设施与可持续创新能力，形成“数字化生态联合创新，产业数字化普惠覆盖”的可持续发展态势，科学推动区域制造业绿色数字化升级。

参考文献

- [1] 官迅伟. 供应链战略顶层设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2024年.
- [2] 陈晓华. 数字经济大变革[M]. 北京: 电子工业出版社, 2023年.
- [3] 曹立. 数字时代的碳达峰与碳中和[M]. 北京: 新华出版社, 2022年.