全球数字生产力跃升的新范式与前瞻路径

■ 吴红

进入21世纪以来，以大数据、人工智能、物联网等为代表的数字技术迅猛发展，推动全球经济从“工业化”迈向“数字化”。在这一进程中，依托数字技术将数据转化为价值创造能力的新型生产力形态的数字生产力，逐渐成为国家与企业竞争力的核心要素。与传统生产力相比，数字生产力具有数据驱动、智能协同、动态演进等特征，其发展水平直接影响一国在全球价值链中的地位与话语权。本文旨在系统探讨数字化转型如何重塑全球生产力格局，并对其未来发展路径提出思考。

数字化转型驱动数字生产力的三重机制

数据要素化：重构生产函数。当今，数据已成为继土地、劳动力、资本、技术之后的第五大生产要素。它不仅具备边际效益递增、非竞争性等特征，更能通过与其他要素的协同联动，优化资源配置，提升全要素生产率。例如，在智能制造场景中，实时数据流可驱动生产设备自主调整工艺参数，实现“数据优化制造”，显著提升良品率与设备利用率。

技术融合化：赋能生产流程。数字技术并非孤立存在，而是通过“云—边—端”协同、“人—机—物”互联，形成系统化赋能体系。数字化转型提升制造业生产率的三重机制包括：一是生产环节优化——借助物联网、数字孪生等技术实现过程透明化与控制精准化；二是业务模式创新——依托平台经济、共享模式重构价值创造逻辑；三是组织架构重构——打破部门壁垒，构建敏捷型、网络化组织。

组织敏捷化：激发创新活力。数字化转型不仅是技术升级，更是组织能力与文化的深刻变革。企业需构建“客户中心、数据驱动、开放协同”的新型组织模式，才能将技术潜能转化为实际生产力。

制造业数字化转型的实践路径与成效

作为实体经济的主体，制造业是数字化转型成效最显著的领域。研究表明，中国制造业通过嵌入全球数字价值链，正逐步从“劳动密集型”向“技术—数据双密集型”跃迁。典型实践包括：智能化改造——通过部署工业机器人、AI视觉检测等技术，实现关键工序的自动化与精准化；平台化运营——构建工业互联网平台，打通设计、生产、服务全链条，实现跨企业协同；服务化延伸——依托设备数据开展预测性维护、远程运维等增值服务，拓展利润空间。这些举措不仅提升了企业生产效率，更增强了其应对市场波动与供应链风险的韧性，彰显了制造业数字化转型的实际价值。

数字生产力的未来趋势与发展挑战

数字生产力的未来趋势主要体现在三个方面：其一，绿色化融合，即数字技术与绿色制造深度融合，推动产业低碳转型；其二，人工智能普及，即AI从辅助工具演进为核心生产力，尤其在复杂决策与创意生成领域发挥关键作用；其三，全域数字化，即数字化从制造业向农业、服务业延伸，形成跨行业数字化生态，呈现多维度融合发展的特征。

数字生产力发展面临的挑战主要包括三个方面：一是数据治理滞后，数据权属、交易与安全机制尚未完善；二是数字鸿沟加剧，中小企业数字化转型面临技术、资金与人才瓶颈；三是就业结构冲击，传统岗位缩减与新兴技能短缺并存，结构性矛盾凸显，亟待多方协同破解。

为充分释放数字生产力潜能，政府与企业可从五个方面协同发力：第一，加快建设数字基础设施，重点推进5G、工业互联网、算力中心等新型设施建设；第二，完善数据要素市场体系，明确数据权属，促进数据合规流通与价值化；第三，支持中小企业数字化转型，通过平台赋能、技术补贴、试点示范等方式降低转型门槛；第四，构建数字人才培育体系，推动高校、企业与培训机构协同培养复合型数字人才；第五，积极参与全球数字治理，在标准制定、跨境数据流动等领域增强话语权，形成推动数字生产力发展的合力。

数字化转型是一场涉及技术、组织与制度的系统性革命，其根本目标在于通过提升数字生产力，实现经济高质量发展与全球竞争力跃升。未来，随着技术演进与制度创新的双向驱动，数字生产力有望成为引领全球经济增长的核心引擎，推动人类社会迈向更加智能、绿色、包容的发展新阶段，为全球经济发展注入持久动力。

（作者单位：汉口学院）

老工业基地的数字化转型路径探索

■ 曹志涛

在高质量发展与新一轮科技革命交汇融合的时代背景下，老工业基地转型升级已成为我国推进区域协调发展、构建现代化产业体系的关键命题。探索老工业基地的数字化转型路径，需立足历史积淀，直面现实约束，在技术、数据、人才等要素协同革新的基础上系统推进，以智能化、绿色化、服务化为方向，实现从传统工业范式到现代产业生态的系统性跃迁。

传统工业的厚积与沉淀

规模化生产与体系化布局的成型。我国老工业基地在计划经济时期和改革开放初期，依托国家集中投入与统筹规划，逐步形成了以大型国有企业为主体、配套企业相配合的产业格局。这种系统化、规模化的产业体系，有效降低了生产与流通成本，提升了资源利用效率，满足了国民经济关键部门对基础工业品的大量需求，为国家工业体系建立与早期经济建设奠定了坚实基础，也为后续发展积累了宝贵的资本、技术与产业工人队伍基础。

工艺传承与设备迭代的持续优化。依托科研院所的技术支持，老工业基地在长期生产实践中积累了丰富的工艺经验，并不断推进设备更新与技术改造。这种“师徒相承、代际升级”的模式，形成并固化了一整套适应当时技术条件的生产操作规范与质量控制方法。与此同时，受不同时期技术与资金条件限制，相关企业的生产设备从完全依赖人力、半机械化阶段，逐步向初步机械化、部分自动化阶段过渡。这种渐进式改良在短期内有效维持了生产系统的稳定运转，提升了产能与部分环节的效率。

区域辐射与全国网络的全域覆盖。老工业基地作为国家工业摇篮，不仅服务于本地及周边区域的经济社会发展，还通过国家计划调控与后续市场网络，将产品、技术标准与管理经验输送至全国各地，构建起辐射全国的供应链网络。同时，老工业基地作为全国工业经济循环的枢纽，带动了上下游相关行业的发展，强化了自身产业布局，其影响力由此在全国范围内形成辐射效应。

增长动能衰减与转型迫近

产能过剩与成本攀升的双重挤压。随着市场需求从基础工业品向多样化、高质量产品升级，加之技术进步推动生产效率普遍提升，部分传统工业领域出现全国性乃至全球性的产能过剩。与此同时，资源环境约束日益趋紧，劳动力、土地、能源、原材料等生产要素价格持续上涨，环境保护、安全生产等合规成本也不断增加，极大压缩了企业盈利空间，导致许多企业生存压力逐步加大。

单一产业依赖与价值链低端的固化。长期以来，不少老工业基地经济结构集中于钢铁、煤炭、化工、普通机械制造等少数传统重工业部门，这种单一产业结构削弱了区域经济的抗风险能力。此外，大部分产业企业长期处于全球价值链的加工、制造、组装等低附加值环节，在研发设计、品牌运营、市场营销、供应链管理等高端环节缺乏控制力与议价能力，导致产业升级面临路径依赖与低端锁定等问题。

技术迭代滞后与人才断层的双重制约。随着新产业革命的到来，老工业基地产业在新技术应用、新工艺开发、先进装备投入等方面均存在反应迟缓的问题，导致企业技术改造内生动力不足。同时，传统产业不景气致使本地区培养的高素质技术人才、研发骨干与青年技能劳动者持续外流，而外部人才引进又面临困难，造成人才紧缺局面。技术滞后与人才队伍结构性失衡相互交织，形成了制约老工业基地产业转型升级的顽固瓶颈，使其在新产业竞争中逐渐失去优势，转型压力日益凸显。

数字赋能与生态再造

智能制造与工业互联网的深度融合。智能制造依托先进技术实现生产流程的自动化与智能化，从而提升生产效率与产品质量；工业互联网搭建起设备、产品、人员等要素之间的连接桥梁，推动数据流通与共享。二者的深度融合，不仅能增强老工业基地的市场竞争力，更能带动整个产业集群的智能化升级，形成协同高效、动态灵活的智能制造生态体系。

服务化延伸与绿色化转型的协同推进。服务化延伸与绿色化转型的协同推进，是老工业基地转型的必然选择。服务化延伸推动老工业基地从单纯制造产品向提供全生命周期服务转变，有助于提升产品附加值、拓展利润空间，使其成为更具活力的创新主体；绿色化转型则通过节能减排、资源循环利用，有效降低对环境的影响。二者有机结合，既能助力老工业基地提升经济效益，又能实现生态效益最大化，为其可持续发展注入双重动力。

区域协同与全球链接的开放化发展。老工业基地的数字化转型离不开区域内部的协同联动，也离不开与全球创新网络的紧密连接。在区域协同层面，老工业基地可整合区域资源，与周边地区在技术研发、人才交流、市场开拓等领域深化合作，形成产业集群，共同提升区域产业竞争力。同时，借助数字化平台链接全球，与国际先进企业开展合作，引进前沿技术与管理经验，进一步增强自身创新能力，推动老工业基地在开放环境中实现数字化转型，在全球产业格局中占据更高地位。

老工业基地的数字化转型是从历史积淀中汲取力量、在现实挑战中寻求突破、以数字技术驱动系统性再造的深刻变革。这一过程打破了传统工业的路径依赖与空间壁垒，构建起数字经济时代的新型产业生态。未来，唯有保持信心、持续探索，才能让老工业基地借助数字浪潮实现深刻转型、再造辉煌，为我国经济高质量发展持续贡献力量。

（作者单位：包头师范学院）

“双碳”目标下的新型电力人才培养模式创新研究

■ 杨脱颖

为了应对“双碳”目标下新型电力系统建设对人才培养提出的全新挑战，本文系统探索并实践了一条以人工智能技术深度融入为特征的专业教育改革路径。研究聚焦当前高校电力专业人才培养与产业需求之间存在的理论滞后、实践薄弱与创新能力不足等结构性矛盾，构建了以“教学内容重构—实践体系再造—师资能力升级”三位一体、协同推进的系统性改革框架。通过建设智能化教学资源库、深化产教融合育人机制，形成了一套可操作、可推广的育人范式，为有效弥合人才供给与行业需求之间的差距提供了实践参照，对推动工程教育数字化转型、支撑能源电力领域新质生产力发展具有重要价值。

产业变革对电力人才能力结构提出全新要求

新一代电力系统呈现“源网荷储”互动化、运行控制智能化、市场交易多元化等特征。据国家能源局数据，我国能源转型正加速推进。截至2025年第三季度，全国可再生能源装机容量已突破22亿千瓦，占总装机比重近六成，电力结构绿色化转型取得决定性进展。其中，风电与光伏作为主力军，合计装机容量超过16.7亿千瓦。与此同时，为支撑高比例新能源的稳定消纳，新型储能产业实现规模化发展，装机容量已跃升至约9500万千瓦。

2025年，国家发展改革委、国家能源局研究制定了《新型储能规模化建设专项行动方案(2025—2027年)》，到2027年，新型储能装机规模预计将达到1.8亿千瓦以上。这一结构性变革对电力人才能力提出全新要求，不仅要掌握经典电力系统理论，更须具备运用人工智能、大数据等前沿技术解决新能源消纳、电网稳定控制、负荷精准预测等复杂工程问题的能力。

“AI+电力”融合教育模式的系统构建

知识体系重构：从经典理论到智能前沿的有机融合。要让AI（人工智能）技术真正发挥作用，需将机器学习、智能优化等核心能力，与潮流计算、稳定分析等经实践检验的经典理论深度融合、灵活运用，绝非简单叠加，而是要构建起理论为基、智能为翼的复合型知识体系，打通理论与应用的壁垒。例如，讲解“潮流计算”时，专门设置AI优化实践板块，引导学生对比分析数据驱动模型在计算效率、不确定因素处理等方面相较于传统方法的优势；探讨“系统调度”时，则结合强化学习实际案例，教授学生如何在复杂约束条件下制定更智能的调度方案。通过这种扎实的融合教学，学生能学会客观看待各类方法的优劣，面对新型复杂工程问题时，可灵活选用、组合先进工具，提出更可靠的解决方案。

实践平台建设：从仿真验证到决策博弈的范式升级。构建“决策性博弈”实践体系，依托AI技术打造高保真电网虚拟环境，将传统实验升级为“人在回路”仿真推演，突破物理实验场地、设备成本的限制，实现多场景、高难度的实践训练全覆盖。学生以调度员、交易员等角色，在新能源波动、突发故障等动态场景中处理限电、保供等复杂问题。AI作为“智能副驾”提供实时数据与策略支持，引导学生自主决策。该模式显著提升了学生在不确定条件下的工程决策能力、风险意识和系统思维，让学生在校园中就能积累贴近产业实际的工程实践经验。

师资队伍转型：从专业教师到“双师型”团队的协同发展。搭建高校教师与企业专家双向交流通道，着力打造一支既精通电力专业知识又擅长运用人工智能技术的复合型教学队伍，打破高校与产业间的知识壁垒，实现教学与实践的同频共振。通过教师赴企业实践、工程师入校授课、校企联合研发等方式，确保教学内容紧跟技术发展最新趋势。这支团队在电力负荷智能预测等关键技术上取得实际成果，并与多家行业企业合作落地应用，真正实现了教学成果向产业实践的转化，也为师资队伍的持续发展搭建了长效成长平台。

改革成效与推广价值

学生专业能力和综合素质提升。课程改革实施后，学生的专业实践能力和创新思维能力均有显著进步。在各类全国性专业竞赛中，参与改革试点班级的学生表现更为突出，竞争力更强，获奖级别和数量较以往均有明显提升。毕业生的就业质量也一直在持续向好，得到了电力行业重点企业的普遍认可。

教学资源系统化建设成效显著，形成了可借鉴的改革模式。改革实践中梳理出的智能教学案例、虚拟仿真实验模块、开放教学平台等一系列教学资源，已在实际教学中历经检验与完善。这些资源兼具系统性与可拓展性，能够满足不同院校的教学需求，为同类课程改革提供了具体的参考路径。

产教融合形成良性循环，搭建起协同育人的长效机制。改革推动校企合作机制不断深化，形成了稳定的协同育人模式。通过共建实践基地、联合开展课题研究，实现了产业需求与教学内容的动态匹配。我们还建立了能力认证衔接机制，使人才培养标准更好地对接行业用人需求，为学生在专业领域的职业发展提供了有力支撑。

人工智能与电力专业教育深度融合，形成“理论－实践－师资”三位一体方案，为破解人才培养与产业需求脱节难题提供了可行路径。改革聚焦教学内容对接行业前沿，提升学生解决复杂工程问题的能力，深化产教融合以建立人才供需动态对接机制。实践证明，改革既提升了学生的学习成效与就业竞争力，又形成了可推广的教学资源建设模式和校企协同育人机制。其中，模块化设计适配不同院校需求，制度化合作则保障人才培养质量的持续提升。

（作者单位：渭南师范学院物理与电气工程学院）

基于3D打印的工业产品个性化定制生产模式创新

■ 李晨程 陈胜发

目前，我国制造业正处于从标准化批量生产向柔性定制生产深刻转型的关键时期。传统生产模式因受模具依赖、流程刚性等因素制约，难以满足消费者对产品独特功能的需求。3D打印技术凭借数字化逐层构建的特性，突破了这些障碍，实现了设计与制造的无缝衔接，催生出个性化定制的全新模式。该模式不仅赋予工业产品更强的适应性，更以用户为导向重塑了产业链条。本文将分析3D打印驱动下的四项生产模式创新，揭示其在设计响应、结构突破、互动调整及融合扩展等方面的系统价值。

原型验证即时响应的生产模式创新。3D打印技术重塑了工业产品开发的起点，使原型验证从漫长等待转变为即时反馈的动态过程。在传统模式中，设计师需要通过手工或机械加工反复试制样件，每一轮迭代都消耗大量时间与资源。而3D打印借助数字模型的直接切片与材料沉积，可在数小时内生成物理实体。这一机制的核心在于操作流程的简化：建模软件输出层序数据后，设备自动控制喷嘴路径，逐层固化热塑材料或粉末，形成可检验的原型。由此，设计师能在开发早期发现设计缺陷，通过调整几何参数优化功能布局。这一创新进一步延伸至迭代闭环的构建——设计师嵌入拓扑优化算法，自动去除冗余结构，同时预览力学模拟，确保原型完成初步性能验证。凭借这种即时响应路径，生产模式转变为循环优化模式，显著加快了开发节奏。此外，该模式为企业的敏捷决策注入活力，使其能依据用户反馈实时微调设计，避免后期返工。原型即时响应为个性化定制奠定了基础，推动生产链条向高效方向演进。

复杂几何无模具成形的生产模式创新。3D打印为工业产品制造提供了突破性的自由度，它摒弃传统模具的刚性限制，采用复杂几何形状的无缝成型路径。这一创新源于技术的增材特性：激光束或喷头根据模型数据选择性烧结材料，可构建内部空腔、嵌套结构或有机曲面，无需拆分组件或进行辅助成型。传统工艺常因模具成本与加工难度简化设计，导致产品功能受限；而3D打印的逐层堆积机制可同步实现从微观纹理到宏观框架的多尺度特征，一次性完成成型。这一路径还推动了结构优化的深度融合：设计阶段，软件集成生成算法，确保悬垂部分稳定成型，同时允许通过后处理精炼表面。例如，航空构件、汽车内饰等工业产品借此演变为轻量化实体，既提升了效能，又增强了美观度。此外，无模具成型提高了生产的弹性扩展能力——企业可根据订单变化切换打印参数，实现从小批量到中试件的平稳过渡。这一创新降低了初始投入成本，让复杂几何形状成为工业定制的常态。

参数化用户共创的生产模式创新。3D打印技术将用户从被动消费者转变为设计伙伴，通过参数化界面开启了共创式生产模式。这一创新的核心在于数字平台的交互性：用户输入体征数据或偏好参数后，软件实时生成变异模型，打印设备再根据模型调整材料路径，最终形成独一无二的产品。在传统模式中，定制需以设计师为中介，沟通链条冗长；而参数化机制可直接嵌入尺寸比例、纹理密度等变量，确保输出与需求精准契合。基于此，共创路径进一步发展为动态模拟支撑的模式：平台运用曲面拟合算法重建用户场景，预先判断产品在实际使用中的形变情况。例如，在手提包设计中，通过调整模块排列实现弯曲适应性。凭借这种用户主导的循环机制，生产模式转变为协作生态。此外，该模式还扩展至多场景的普遍应用：从消费品到功能配件，用户可自定义颜色梯度或功能模块；打印过程能兼顾柔韧性与耐用性，既提升了产品独特性，又重塑了供应链的响应机制。

跨领域材料融合的生产模式创新。3D打印正推动工业产品向多材料协同方向转型，催生出跨领域融合的全新生产模式。这一创新的核心在于技术的材料兼容性——树脂、金属粉末、复合纤维等不同介质可在单一制造流程中逐层交织，形成具备梯度性能的实体结构。传统制造常将材料处理环节割裂，导致产品功能分层；而3D打印的路径控制技术能精准嵌入染色剂或增强纤维，实现从表面纹理到内部强度的无缝衔接。不仅如此，该技术还显著提升了功能集成度：在服装或医疗配件设计中，打印喷头可依据预设程序实时调节材料浓度与密度，生成动态响应结构，如渐变色带与弹性支撑的复合层，使产品兼顾美学表现与实用属性。这种跨领域融合模式更推动了产业链的生态重构——企业借鉴生物仿生原理，研发出可回收基底的打印配方，支持从原型到成品的连续迭代；同时，拓展了应用边界，通过材料库的共享与优化，为制造过程注入可持续智慧，最终推动工业产品向多元未来稳步迈进。

3D打印催生的工业产品个性化定制生产模式创新，借助原型响应、几何成形、用户共创与材料融合这四维路径，突破传统规模化生产的局限，实现生产柔性与产品价值的高度统一。这一变革重塑了工业设计的边界，为制造业注入用户导向的创新活力，引领制造业迈向高效、智能、可持续的新纪元。未来，随着算法持续深化与硬件技术不断升级，该模式将推动工业产品在全球产业链中释放更多创新可能，展现无限发展潜力。

（作者单位：厦门理工学院现代工程训练中心）