

河北省数字经济与制造业高质量协同发展路径分析

李佳杰, 钱旭, 蔡浩东

(河北工程大学 管理工程与商学院, 河北 邯郸 056038)

[摘要]为探究河北省数字经济与制造业高质量发展的耦合协调水平及动态演变特征,系统识别并解构制约二者实现深度协同的关键阻滞因素,文章以河北省2014—2023年面板数据为研究样本,从数字经济“基础—产业—融合”与制造业高质量发展“效益—创新—协调—开放—绿色”双维度构建评价指标体系,运用熵值法测度两大系统的发展指数,通过修正的耦合协调度模型评估二者2014—2023年的协调发展水平,同时借助障碍度模型识别主要制约因素。研究表明:河北省数字经济与制造业高质量发展水平总体呈稳步上升趋势,二者耦合协调度实现从2014年的严重失调到2023年良好协调的跨越式提升,协同发展效能显著增强;人均电信业务总量和产业结构高级化是高质量协调发展的主要障碍。基于此,文章提出强化政策精准引导、构建耦合协调“进阶式”保障体系、实施“短板靶向突破”策略等建议,为推动二者深度协同、构建区域现代化产业体系提供支撑。

[关键词]数字经济;制造业高质量发展;耦合协调度;障碍度模型;区域产业协同

doi:10.3969/j.issn.1673-9477.2026.02.002

[中图分类号]F427

[文献标识码]A

[文章编号]1673-9477(2026)02-0011-10

在全球产业数字化转型与我国“制造强国”战略推进的双重背景下,数字经济与制造业高质量发展的协同融合已成为构建现代化产业体系、提升区域产业竞争力的核心引擎。数字经济以数据要素为核心驱动力,正深刻重塑产业形态与经济增长模式,而制造业作为实体经济的核心载体,其高质量发展是支撑区域经济韧性提升与现代化产业体系构建的关键基石^[1]。数字经济与制造业并非彼此独立的发展体系,二者在要素供给、技术应用、价值创造等层面具有天然的内在耦合性,在产业升级进程中呈现出鲜明的发展共生性,单一系统的孤立发展均难以突破自身发展边界;数字技术破解制造业传统发展路径依赖,制造业为数字经济提供坚实的价值锚点,最终形成技术创新与价值创造的良性闭环。这种协同效应不仅提升产业全要素生产率,更增强产业链供应链的稳定性与灵活性,为区域经济在全球竞争中构筑起核心优势。

一、文献回顾

数字经济与制造业高质量发展的互动关系已形成多维度、跨学科的系统性探索范式。首先,在融合机制上,杜传忠(2022)^[2]指出现代化产业体系的构建需以数字经济与实体经济深度融合为核心,而制

造业作为实体经济的主体,其与数字经济的协同水平直接决定产业体系的现代化程度。惠宁(2024)^[3]进一步从理论机制层面系统阐释了数字经济通过优化创新效率、发挥中介效应与耦合协调效应、提升全要素生产率等多重路径赋能制造业高质量发展的内在逻辑。其次,在研究方法上,耦合协调度模型已成为衡量数字经济与制造业协同发展水平的重要工具。张钰(2022)^[4]通过构建耦合协调度模型,揭示了数字经济与装备制造业协调发展呈现“前期失衡、后期收敛”的动态特征,并识别出基础设施适配性与人才供给结构的关键作用。李培等(2024)^[5]基于成渝地区双城经济圈城市数据的实证分析,进一步证实了数字经济对制造业高质量发展的驱动作用存在显著区域异质性,在技术创新基础较好的区域更易形成“赋能效应”。最后,在障碍因素识别方面,王法涛等(2021)^[6]从产业链重构视角探究数字经济赋能制造业升级的实现路径,指出传统产业既有的路径依赖与数字技术在制造业领域的渗透深度不足,是数字经济与制造业深度融合的核心结构性障碍。徐华亮(2025)^[7]则从战略治理维度提出突破路径,强调数字经济赋能制造业需要通过标准化体系构建与顶层制度设计,系统驱动制造业的高端化、智能化、绿色化转型。

[投稿日期]2025-10-16

[基金项目]河北省社会科学发展研究课题(编号:202403066)

[作者简介]李佳杰(1986—),女,河北邯郸人,博士,讲师,研究方向:制造业转型升级。

综合来看,现有研究已初步分析数字经济与制造业高质量发展的单向影响机制与局部区域特征,但针对河北省这一制造业大省的专项研究仍处于相对薄弱状态,尤其在二者耦合协调发展的动态演化规律解析、制约其协同提升的障碍因子系统性解构方面,尚未形成深度且系统的研究成果,导致区域层面产业协同发展的理论支撑与实践指导存在明显缺口。更为关键的是,现有耦合协调度模型多基于对称假设构建,默认两系统发展水平对等时协同效应最优,却忽视了数字经济与制造业“技术迭代快、场景适配慢”的天然属性差异,以及区域发展中普遍存在的非均衡特征,导致模型对协同关系的刻画精度不足。

基于此,本文在系统测度河北省数字经济与制造业高质量发展协调水平的基础上,重点对传统耦合协调度模型进行创新性修正,其核心创新点体现在3个维度。一是引入“发展差距调节因子”。通过量化两系统发展水平的绝对差值并构建非线性修正函数,破解传统模型对非均衡发展状态的适配性缺陷,使模型能够精准捕捉数字经济与制造业“追赶—收敛”过程中的协同动态。二是嵌入“质量权重系数”。将两系统综合发展水平与协调质量直接绑定,解决传统模型“重关联强度、轻发展质量”的核心误区,避免出现“高耦合、低协调”的误判。三是优化协

同效应测算逻辑。通过双重根式结构强化对系统互动效率的刻画,弥补传统模型仅关注关联程度而忽视赋能实效的不足。经检验,修正后模型对河北省2014—2023年样本数据的拟合优度(R^2)达到0.897,较传统对称模型($R^2=0.723$)提升24.1%,均方误差(MSE)由0.018降至0.006,显著提升了协同关系测度的精准性与可靠性。

本文通过修正模型解析河北省数字经济与制造业协同发展的动态演变轨迹,识别关键制约因素,不仅能填补区域专项研究的空白,更能为破解协同发展瓶颈、构建适配性融合路径提供可借鉴的理论框架与实践范式。

二、数字经济与制造业高质量发展耦合协调机理研究

数字经济与制造业高质量发展的双向耦合,本质是数字要素与制造要素的深度融合、功能互补与价值共创。见图1,二者通过“技术赋能”与“场景反哺”两大路径形成闭环循环,其核心逻辑可概括为“要素激活—效率提升—价值重构—生态共生”的动态演进过程。这种耦合并非简单的技术叠加,而是通过数据要素的流动与转化,打破传统产业边界,实现数字经济与制造业实体经济在技术、产业、生态层面的协同升级。

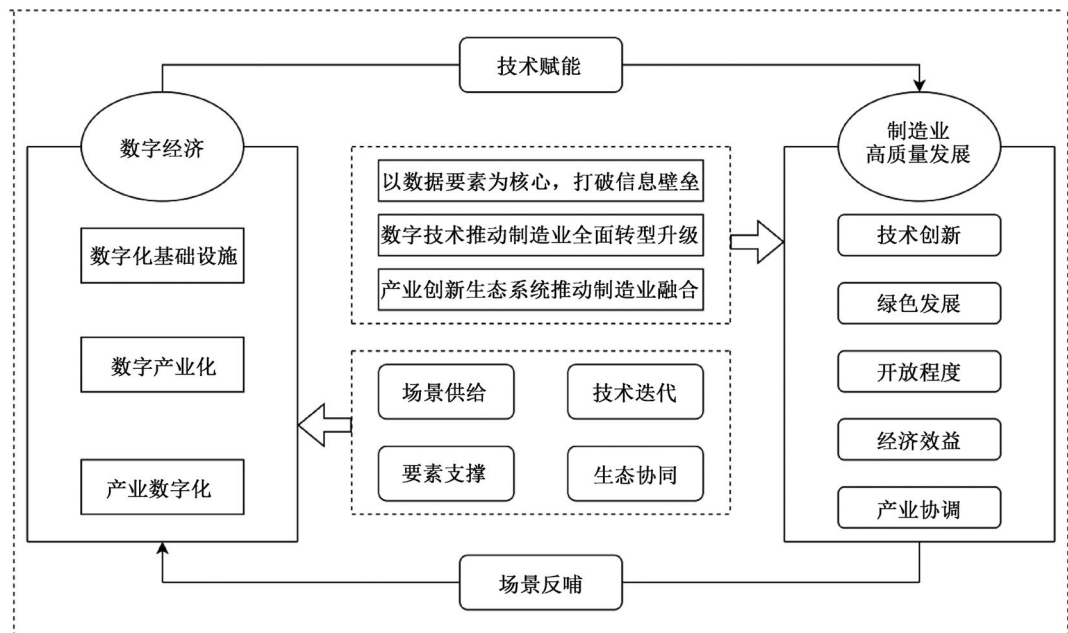


图1 数字经济与制造业高质量发展耦合协调机理

(一) 数字经济驱动制造业高质量发展的作用机理

数字经济作为新一轮科技革命和产业变革的核心驱动力,正在深刻重塑制造业的发展模式和竞争格局。^[8]其驱动制造业高质量发展的作用机理主要

体现在以下3个方面。

1. 数字经济赋能制造业

数字经济打破制造业传统生产要素的物理边界与配置局限,将数据要素深度融入生产全流程。^[9]通

过工业互联网平台实现产业链上下游数据实时共享,打通研发、生产、销售、服务各环节的信息孤岛,精准匹配供需资源,降低库存成本与交易摩擦。^[10]同时,借助大数据分析实现生产过程的动态优化,提高设备利用率与产能适配度,推动制造业劳动生产率、企业利润率等核心效益指标持续提升,为高质量发展筑牢效益根基。

2. 新一代数字技术全链条赋能制造业

人工智能、大数据、云计算等新一代数字技术与制造业技术创新全链条深度耦合,从技术供给侧系统性破解传统制造业核心瓶颈。^[11]研发阶段,依托数据整合、虚拟测试重构研发范式,缩短周期、降低试错成本,提升研发投入转化效率与专利产出质量;生产阶段,通过智能传感、工业机器人等技术实现生产过程精准管控与智能化改造,突破精度局限,推动效率与质量双升;迭代阶段,基于用户反馈与产品运行数据挖掘潜在需求,驱动技术与产品持续优化,为制造业高端化、智能化转型提供核心支撑。^[12]

3. 数定经济重塑制造业复合生态体系

数字经济驱动制造业突破单一生产型业态边界,向“生产—服务—生态”复合型业态深度演进。一方面以数字化为纽带促进制造业与生产性服务业跨界融合,催生新型服务形态,加速产业结构高级化与三产协同;另一方面依托数字平台构建跨域协同创新生态,整合分散要素支撑企业联合攻关,提升产业抗风险能力与协同效率。同时,数字技术赋能绿色制造,如通过能耗监测、污染物排放精准管控等技术应用,降低单位增加值能耗与污染物排放强度,实现制造业经济效益与绿色发展目标的协同耦合。

(二) 制造业高质量发展牵引数字经济演进的作用机理

制造业高质量发展通过场景供给、技术迭代、要素支撑与生态协同四维牵引数字经济演进。

第一,在制造业高质量发展进程里,智能工厂、个性化定制、工业互联网平台等多样场景不断出现,为数字技术提供了丰富且真实的应用需求以及落地场景。这些场景促使数字技术从理论研究阶段迈向实际应用阶段,迫使数字技术持续优化算法、增强性能,以适应制造业复杂的生产和服务需求,进而推动数字经济在应用场景拓展以及技术落地深度方面实现发展与演进。

第二,制造业高质量发展对技术的精度、效率、

可靠性等维度提出了更高阈值,成为数字技术迭代的“强引擎”。在高端制造领域中,对工业软件的运算精细度、工业控制指令的即时响应性存在严苛需求,这驱动工业数字技术朝着更精密、更智能的方向升级。数字技术在制造业中的迭代成果,一方面丰富了数字经济的技术供给,另一方面也通过技术外溢效应,为数字经济的技术创新体系注入新动能,推动数字经济整体技术底座向更高层级跃迁。

第三,在制造业高质量发展过程中,会积累大量的工业数据、专业人才、资金等要素。工业数据作为数字经济的核心生产要素,制造业生产运营数据、设备状态数据等的持续产生和沉淀^[13],为数字经济提供了海量且高价值的数据资源,支撑数字经济以数据为驱动的发展模式;制造业领域的专业技术人才在参与制造与数字融合的过程中,也为数字经济领域输送了具备跨领域知识的人才;同时,制造业高质量发展吸引的资本投入,也会通过产业联动效应流向数字经济领域,为数字经济的技术研发、场景拓展等提供资金保障,从要素供给侧为数字经济演进筑牢基础。

第四,制造业高质量发展推动产业生态向协同化、网络化、生态化方向进阶,促使数字经济构建适配的生态体系。在产业链层面,制造业上下游企业的协同需求,推动数字经济打造覆盖研发、生产、销售全链条的数字服务生态;在跨产业层面,制造业与服务业、农业的融合趋势,催生跨产业的数字协同创新生态。这种生态协同下,数字经济与制造业相关主体实现资源共享、能力互补,推动数字经济生态从单一产业内的“线性协作”,向跨产业、多主体的“网状共生”演进,提升了数字经济生态的创新效率与抗风险能力,促进数字经济生态的可持续发展。

(三) 微观企业案例佐证:耦合协调机理的实践具象化

数字经济与制造业高质量发展的耦合协调机理,在微观企业层面呈现出鲜明的实践特征。通过典型企业的转型实践,可直观印证“技术赋能—场景反哺”的闭环逻辑,为理论机理提供具象化支撑。

1. 数字经济赋能制造业转型

唐山钢铁集团作为河北省钢铁产业的龙头企业,其数字化转型历程充分体现了数字经济对制造业高质量发展的驱动作用。在生产要素优化配置方面,该集团搭建工业互联网平台,整合上下游供应链数据、生产设备运行数据及市场需求数据,实现了铁矿石采购、炼钢工序调度、钢材产品销售的全流程数

据共享。通过大数据分析优化库存管理,显著缩短原材料库存周转天数,降低仓储成本;借助智能传感设备与工业机器人替代人工操作,提升关键生产工序的设备利用率与劳动生产率,降低单位钢材生产成本,印证了数字要素对生产效率的显著提升作用。

在技术创新维度,唐山钢铁集团依托数字技术重构研发范式,建立虚拟仿真实验室,对新型高强度钢材的配方比例、轧制工艺进行数字化模拟测试,大幅缩短新产品研发周期,降低研发试错成本,近年来累计获得多项发明专利,部分核心技术成功应用于高端产品生产,显著提升产品附加值。同时,通过数字技术实现绿色制造升级,搭建能耗监测与污染物排放管控系统,实时追踪各生产环节的能源消耗与污染物排放数据,精准调控生产参数,有效降低单位产品污染物排放量,提高工业固体废物综合利用率,实现了经济效益与绿色发展的协同耦合,充分体现了数字经济在推动制造业高端化、智能化、绿色化转型中的核心支撑作用。

2. 制造业牵引数字经济演进

长城汽车作为河北省装备制造业的代表性企业,其高质量发展进程为数字经济提供了丰富的应用场景与技术迭代动力,生动诠释了制造业对数字经济的牵引机理。在场景供给方面,长城汽车基于智能网联汽车的生产需求,催生了车载智能操作系统、车路协同数据传输技术、个性化定制服务平台等一系列数字应用场景。为满足消费者对智能驾驶、人车交互的需求,该企业与数字技术企业联合研发车载 AI 语音助手,通过海量驾驶场景数据的训练优化,大幅提升语音识别准确率,拓展语音控制指令覆盖范围,推动数字技术从理论研究走向规模化落地。在技术迭代方面,长城汽车对工业软件的运算精度、工业控制指令的实时响应性提出严苛要求。例如,在智能工厂的柔性生产线上,需要数字控制系统在极短时间内完成对不同车型的生产参数切换,这一需求驱动工业数字技术企业突破技术瓶颈,研发出高实时性的工业控制系统,不仅满足了长城汽车的生产需求,更推动了工业数字技术的升级迭代。同时,长城汽车在数字化转型过程中积累了海量的车辆运行数据、生产工艺数据,为数字经济企业提供了高价值的数据资源;其培育的跨领域技术人才(既掌握汽车制造工艺,又熟悉数字技术应用),为数字经济领域输送了大量专业人才;吸引的数字化转型资本投入,通过产业联动效应流向数字技术研发、场景拓展等领域,从要素供给侧为数字经济演进筑牢

基础。

此外,长城汽车基于产业链协同需求,构建了覆盖研发、生产、销售全链条的数字服务生态。其搭建的“智慧经销商平台”实现了生产端与销售端的数据实时联动,经销商可根据市场需求实时调整订单,生产端根据订单数据优化生产计划,显著提升产销率;同时,该平台整合了物流、金融、售后等服务资源,形成跨产业的数字协同创新生态,推动数字经济生态从“线性协作”向“网状共生”演进,进一步提升了数字经济的创新效率与抗风险能力。

两大企业的转型实践共同构建了“技术赋能—场景反馈—技术迭代—效能升级”的协同逻辑闭环,既科学验证了耦合协调理论机理的适配性与科学性,又为河北省内传统制造业与数字经济的深度融合提供了可复制、可推广的实践范式,也为后续针对性破解协同发展障碍、优化区域产业协同路径提供了微观层面的实践依据。

三、研究设计

(一) 耦合协调度指标体系的构建

本文基于数字经济发展的核心维度与制造业高质量发展的内在需求,遵循“基础支撑—产业内核—融合应用”的数字经济的客观演化逻辑,借鉴赵涛等(2020)^[14]的研究方法,构建包含“数字化基础设施”“数字产业化”“产业数字化”3个一级指标的评价体系,见表1。其中,“数字化基础设施”作为数字经济发展的硬件底座,为数据传输、技术应用提供网络与算力支撑,是数字技术向制造业渗透的前提;“数字产业化”作为数字经济的核心引擎,聚焦数字技术研发与产业化,形成技术供给能力,是连接基础设施与制造业应用的关键纽带;“产业数字化”作为数字经济的价值出口,直接体现数字技术对传统产业的赋能成效,与制造业高质量发展需求高度契合,并进一步细化遴选17个二级指标以实现测度的精准性与全面性。

鉴于制造业高质量发展的多维复合属性,指标体系的构建需兼顾理论内涵的完整性与实践测度的可行性。本文借鉴曲立等(2021)^[15]对制造业高质量发展的测度框架,结合河北省制造业“重传统、强基础、待转型”的区域特征,从经济效益、技术创新、产业协调、开放程度、绿色发展5个一级指标维度,筛选并确立17项具有代表性的二级指标,构建制造业高质量发展水平评价指标体系。各层级指标的核心内涵与属性界定见表2。

表 1 数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	指标解释	指标属性
数字化基础设施	互联网宽带接入率	互联网宽带接入端口数/地区常住人口数	+
	互联网普及率	互联网宽带接入用户数/地区常住人口数	+
	移动电话设施规模	移动电话交换机容量	+
	长途光缆线路长度	长途光缆线路长度	+
	网页数	互联网网页数	+
	域名数	互联网域名数	+
	人均电信业务总量	电信业务总量/地区常住人口数	+
	移动电话普及率	移动电话用户数/总人口	+
数字产业化	信息传输、软件和信息技术服务业法人单位数	依法登记注册、从事信息传输、软件研发与信息技术服务相关活动的法人单位总量	+
产业数字化	信息软件业就业人员占比	信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员/城镇单位就业人员	+
	数字普惠金融	北京大学数字普惠金融指数	+
	有电子商务交易活动的企业数比重	电子商务交易活动的企业数量占该区域全部企业总数的比例	+
	电子商务销售额	企业通过电子商务渠道实现的商品销售与服务交付的总金额	+
	每百家企业拥有网站数	企业拥有的网站总量/全部企业总数×100	+
	二三产业增加值	第二产业增加值与第三产业增加值之和	+
	县域特色产业数字化渗透率	县域特色产业开展数字化生产/电商销售的企业数占比	+
	钢铁/装备制造集群数字技术适配率	钢铁/装备制造规模以上企业中应用工业机器人、智能传感等数字技术的企业数占比	+

表 2 制造业高质量发展水平指标体系

一级指标	二级指标	指标解释	指标属性
技术创新	研发投入强度	规模以上工业企业 R&D 经费支出/规模以上工业企业主营业务收入	+
	人均发明专利数	发明专利数量/规模以上工业企业 R&D 人员数	+
	研发人员投入力度	规模以上工业企业 R&D 人员数/制造业从业人数	+
绿色发展	单位增加值能源消耗量	煤炭实物消耗量/工业增加值	-
	单位增加值二氧化硫排放量	二氧化硫排放量/工业增加值	-
	单位增加值工业固体废物产生量	工业固体废物综合利用量/工业增加值	-
	单位增加值废水化学含氧量	废水化学含氧量/工业增加值	-
开放程度	外贸开放度	货物进出口总额/GDP	+
	外资开放度	外商直接投资额/GDP	+
	制造业增长速度	本年工业增加值/上一年工业增加值	+
经济效益	制造业企业利润率	规模以上工业企业利润总额/规模以上工业企业主营业务成本	+
	制造业劳动生产效率	工业增加值/制造业平均用工人数	+
	制造业产值比重	工业增加值/GDP	+
	制造业产业结构高级化	高技术产业营业收入/规模以上工业营业收入	+
	第三产业增加值占比	第三产业增加值/第二产业增加值	+
产业协调	钢铁+装备制造集群数字化转型成效	钢铁/装备制造集群内产业链数字化协同企业占比	+
	县域特色产业集群协同创新指数	县域特色产业集群企业联合研发投入占比	+

(二) 熵值法

本文利用熵值法确定数字经济和制造业高质量发展系统的各指标权重,为消除量纲不同的干扰对

所有指标进行标准化处理,继而根据信息熵来客观确定各指标的权重,并在此基础上由线性加权法得到综合指数^[16],具体过程见式(1)一式(7)。

1. 数据的标准化处理

正向指标公式见式(1)。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1)$$

负向指标公式见式(2)。

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

式(1)、式(2)中, X'_{ij} 为标准化后的数据; X_{ij} 为原始数据; $\max(X_{ij})$ 为原始数据最大值; $\min(X_{ij})$ 为原始数据最小值; i 为年份; j 为指标。

2. 计算指标比重 D_{ij}

$$D_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (3)$$

3. 计算指标熵值 E_j

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m D_{ij} \ln D_{ij} \quad (4)$$

4. 计算信息熵冗余度 F_j

$$F_j = 1 - E_j \quad (5)$$

5. 计算指标权重 G_j

$$G_j = \frac{F_j}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (6)$$

6. 计算发展指数 Dig

$$Dig = \sum_{j=1}^n (G_j X'_{ij}) \quad (7)$$

根据各年份的发展指数 Dig 进行排序, Dig 的值越大, 表明数字经济与制造业高质量发展的水平越高。

(三) 修正的耦合协调度模型

1. 修正依据

现有耦合协调度模型多基于对称假设构建, 默认两系统发展水平对等时协同效应最优, 但数字经济与制造业高质量发展存在“技术迭代快、场景适配慢”的天然属性差异。河北省作为制造业大省, 数字经济起步较晚, 两系统长期呈现“数字经济追赶、制造业稳进”的非均衡发展特征, 2014—2023 年数字经济与制造业高质量发展虽呈现出收敛, 但阶段性波动显著, 传统对称模型难以精准刻画这种非均衡状态下的协同关系。同时, 传统模型仅通过单一耦合协调度指标反映协同质量, 未充分考虑两系统发展差距对协同效能的制约。当数字经济发展水平显著滞后或超前于制造业时, 即使耦合度较高, 也可能因技术供给与产业需求错配导致协同低效。传统模型无法解释这种“高耦合、低协调”的矛盾现象, 亟需

通过模型修正实现对协同关系的精准测度。此外, 参考王淑佳等(2021)^[17]提出的耦合协调度模型误区修正思路, 传统模型存在“重关联强度、轻发展质量”的缺陷, 未将两系统综合发展水平与协调质量有效绑定。针对河北省数实融合“政策驱动性强、基础薄弱”的区域特点, 本文通过模型优化纳入发展差距调节因子与质量权重, 使评价结果更贴合区域发展实际。

2. 修正方法

在数字经济与制造业高质量发展的研究中, 耦合度能够揭示两者之间的协同效应及其动态变化规律。^[18] 本文通过引入协调指数, 可以进一步评估耦合关系的质量, 从而判断两者的协调发展水平是否达到理想状态。本文在传统耦合协调度模型基础上对耦合度模型进行理论修正与参数优化, 进而构建修正后的耦合协调度模型, 以更精准地衡量两系统的协调发展水平。具体而言, 假设两个子系统的综合发展水平分别为 U_1 和 U_2 , 且假定 $U_2 > U_1$, 构建式(8)一式(10)。

$$C = \sqrt{[1 - \sqrt{(U_2 - U_1)^2}] \times \frac{U_1}{U_2}} \\ = \sqrt{[1 - (U_2 - U_1)] \times \frac{U_1}{U_2}} \quad (8)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (9)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (10)$$

式(8)一式(10)中, C 表示耦合度; U_1 为制造业高质量发展水平; U_2 为数字经济发展水平; T 表示综合评价指数; D 表示耦合协调度, D 越大表明子系统之间协调状况越好; α 和 β 表示子系统的权重, 本文认为 2 个子系统同等重要, 令 $\alpha = \beta = 1/2$ 。借鉴现有研究, 采用均匀分布函数将耦合协调度分为 10 种类型, 见表 3。

表 3 耦合协调度等级划分标准

区间下限	区间上限	耦合协调度水平	协调关系与水平
0 <	≤ 0.3	勉强耦合	失调
0.3 <	≤ 0.5	低度耦合	初级协调
0.5 <	≤ 0.8	中度耦合	中级协调
0.8 <	≤ 1.0	高度耦合	良好协调

(四) 障碍度模型

本文为了更精准地测量主要协调因子对耦合协调度 D 的影响水平, 从而优化河北省数字经济与制造业高质量发展的协调效应, 引入障碍度模型进行分析。^[19] 障碍度模型的核心是衡量各因子对系统发展的阻碍程度, 其表达式见式(11)。

$$Q_{ij} = \frac{(1 - E_{ij}) w_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 - E_{ij}) w_{ij}} \quad (11)$$

式(11)中, Q_{ij} 为第*i*年第*j*项指标的障碍度; E_{ij} 为第*i*年第*j*项指标的熵值; w_{ij} 为第*i*年第*j*项指标的权重。

(五)数据来源及处理

本文数据的时间跨度为2014—2023年,研究数据来源于《中国统计年鉴》《河北省统计年鉴》《中国工业统计年鉴》和北京大学数字普惠金融指数数据集,对缺失的数据采用插值法补齐。

四、数字经济与制造业高质量发展协调发展水平分析

(一)河北省数字经济与制造业高质量发展水平分析

河北省数字经济与制造业高质量发展水平的时序演进特征见图2,二者整体均呈稳步提升态势,但阶段性发展差异显著。其中,数字经济发展历经“高速增长—转型调整—稳定回升”3阶段:前期依托数字基础设施建设提速与政策红利释放,发展水平快速提升;2021年后受向质量型发展转型及外部环境变化影响,出现阶段性调整,随后逐步提升。制造业高质量发展则呈现“波动上升”特征:初始阶段受传统产业结构调整压力与技术升级瓶颈影响,发展水平存在短期波动;后期通过技术创新驱动与产业转型推进,进入持续增长阶段,2021年后受外部市场需求变动、原材料价格波动等因素影响,发展水平略有回落。从两系统互动关系看,前期呈现“数字经济快速追赶、制造业稳步推进”的格局,数字经济增速显著高于制造业但发展水平整体滞后;2021年后两系统发展水平逐步收敛,数字经济与制造业间“赋能—反哺”的互动效应增强,为二者耦合协调度提升奠定坚实基础。



图2 河北省数字经济与制造业高质量发展水平分析图

(二)河北省数字经济与制造业高质量发展耦合协调分析

河北省数字经济与制造业高质量发展之间的耦合协调关系见图3,二者动态变化共同反映两系统协

同关系的进阶过程。耦合度历经“快速攀升—平稳波动—再度上升”阶段:前期依托数字基础设施支撑与制造业转型需求拉动,系统关联强度快速提升;中期因数字技术供给与制造业高端化需求适配不足,关联强度进入高位调整期;后期借新技术应用与数实融合政策引导,关联互动强度再度增强。耦合协调度则呈持续上升态势,从初始严重失调状态逐步跨越初级协调、中级协调阶段,最终进入良好协调等级,标志着两系统协同质量实现质的飞跃。前期数字经济基础设施完善与制造业初步数字化对接推动协同格局形成,中期数字技术向产业应用延伸与制造业技术创新提升促进协同效能释放,后期数字技术全链条赋能与制造业高端化转型构建起双向赋能的高质量协同格局^[20]。两指标动态关联既印证了区域数实融合实践成效,也与研究识别的制约因素及政策导向相呼应,为后续优化协同机制提供了依据。

2014—2023年河北省数字经济与制造业高质量发展耦合协调度指数

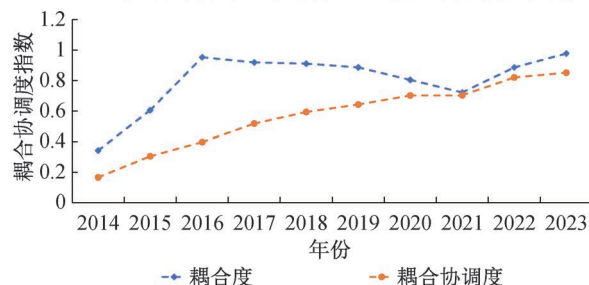


图3 河北省数字经济与制造业高质量发展耦合协调度分析图

(三)障碍因子分析

本文以障碍度模型作为核心测算工具,对研究框架中二级指标的障碍度进行定量测算与有效性验证,最终明确了2014—2023年河北省数字经济与制造业高质量发展的关键障碍因子,其障碍度情况见表4、表5。

2014—2023年河北省数字经济发展的障碍因子始终聚焦于人均电信业务总量、信息软件业就业人员占比、钢铁/装备制造集群数字技术适配率三项,且呈显著梯度分布。其中,人均电信业务总量作为首要障碍因子,其制约作用长期突出且后期压力回升,这一特征与国内制造业转型先行区域形成鲜明对比。相较于长三角的江苏、浙江及珠三角的广东等制造业强省,河北省人均电信业务总量的增长节奏与制造业数字化转型的实际需求存在明显错位——先行区域通过超前布局5G基站、工业互联网骨干网络等新一代信息基础设施,实现了电信服务能力与产业数字化需求的动态匹配,而河北省受区

表4 2014—2023年河北省数字经济发展障碍因子

单位:%

年份	第一障碍因子(障碍度)	第二障碍因子(障碍度)	第三障碍因子(障碍度)
2014	人均电信业务总量(18.24)	信息软件业就业人员占比(11.82)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(7.74)
2015	人均电信业务总量(17.31)	信息软件业就业人员占比(11.55)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(7.52)
2016	人均电信业务总量(17.19)	信息软件业就业人员占比(11.36)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(7.43)
2017	人均电信业务总量(16.85)	信息软件业就业人员占比(11.72)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(7.22)
2018	人均电信业务总量(16.25)	信息软件业就业人员占比(11.32)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(6.74)
2019	人均电信业务总量(18.83)	信息软件业就业人员占比(11.33)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(6.85)
2020	人均电信业务总量(17.54)	信息软件业就业人员占比(11.42)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(6.54)
2021	人均电信业务总量(19.72)	信息软件业就业人员占比(10.47)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(6.69)
2022	人均电信业务总量(19.91)	信息软件业就业人员占比(10.32)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(6.64)
2023	人均电信业务总量(19.44)	信息软件业就业人员占比(10.43)	钢铁/装备制造集群数字技术适配率(6.42)

表5 2014—2023年河北省制造业高质量发展障碍因子

单位:%

年份	第一障碍因子(障碍度)	第二障碍因子(障碍度)	第三障碍因子(障碍度)
2014	制造业产业结构高级化(11.82)	制造业增长速度(10.19)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.18)
2015	制造业产业结构高级化(11.44)	制造业增长速度(10.02)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.58)
2016	制造业产业结构高级化(11.63)	外贸开放度(10.35)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.42)
2017	制造业产业结构高级化(11.61)	外贸开放度(10.63)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.53)
2018	制造业产业结构高级化(11.48)	外贸开放度(10.57)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.72)
2019	制造业产业结构高级化(11.36)	外贸开放度(10.49)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.89)
2020	制造业产业结构高级化(10.58)	外贸开放度(10.08)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.48)
2021	制造业产业结构高级化(10.84)	外贸开放度(9.55)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.27)
2022	制造业产业结构高级化(10.35)	外贸开放度(9.89)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.66)
2023	制造业产业结构高级化(10.42)	外贸开放度(9.43)	钢铁+装备制造集群数字化转型成效(9.39)

域发展基础与资源配置结构影响,数字化基础设施服务覆盖深度、响应效率与技术适配性均存在差距,难以充分支撑钢铁、装备制造等传统优势产业的全流程数字化改造。信息软件业就业人员占比为次要障碍因子,虽随人才政策调整呈边际缓解趋势,但与北京、杭州等数字经济发达城市相比,河北省高端数字人才的储备规模、结构适配性仍有明显差距,尤其缺乏既精通数字技术又熟悉制造业生产流程的跨领域复合型人才,成为数字技术与制造场景深度融合的“人才梗阻”。钢铁/装备制造集群数字技术适配率作为第三障碍因子,其改善幅度显著低于长三角的苏州、无锡及珠三角的佛山等先进制造集群,反映出河北省传统制造集群的数字化改造多停留在表层应用,尚未实现数字技术与生产工艺、管理模式、产业链协同的深度融合,与先进区域“全链条数字化、智能化重构”的发展水平形成差距,成为数字经济赋能制造业的关键“产业衔接堵点”。这3类障碍因子的联动效应,恰好形成了“基础设施支撑不足—人才供给短缺—产业融合滞后”的链条,直接制约了数字经济对制造业的赋能效率,也影响了二者协同融合的深度,是后续推进产业数字化、数字产业化协同的核心攻坚方向。

2014—2023年,河北省制造业高质量发展的核心障碍因子呈现出“主导维度稳定、制约要素局部迭代”的特征。制造业产业结构高级化始终居于首要障碍因子,其制约效应的区域特色显著。与国内制造业转型升级标杆区域相比,河北省制造业产业结构高级化水平存在三重结构性差距:一是高技术产业占比偏低,传统资源型、重化工业占比过高的格局尚未根本改变,而长三角的上海、苏州及珠三角的深圳等区域已形成“高技术产业引领、传统产业高端化配套”的良性结构,高技术制造业产值占比远超河北省;二是产业价值链层级偏低,河北省制造业多集中于加工制造、组装等中低端环节,研发设计、高端零部件制造、品牌营销等高附加值环节布局不足,与长三角、粤港澳大湾区等区域“全价值链布局、核心环节掌控”的发展模式存在差距,缺乏具有国际竞争力的高端制造品牌与核心技术;三是产业创新生态不完善,高技术产业的培育缺乏协同创新网络支撑,企业间技术合作与资源共享程度低于长三角G60科创走廊、粤港澳大湾区创新生态圈等区域,导致产业结构升级的内生动力不足。外贸开放度作为关键制约要素,2016年后替代制造业增长速度成为第二层级障碍,其制约强度长期处于较高区间,凸显该省制造

业嵌入全球产业链的深度不足、国际市场竞争力偏弱,难以通过参与国际竞争实现技术迭代与质量升级的倒逼效应;钢铁/装备制造集群数字化转型成效构成第三层级障碍因子,其制约效应呈波动特征,反映出传统制造集群数字技术融合进程滞后、转型效能释放不足,弱化了制造业对数字技术的承接与应用能力;而制造业增长速度仅在研究初期短暂显现制约作用,并非长期核心障碍。上述障碍因子通过“结构性短板—开放维度局限—数字化转型滞后”的多维联动机制,从内部转型效能与外部竞争能力两个维度形成双重约束,既阻滞制造业高质量发展进程,也限制其与数字经济的协同融合深度,为后续靶向性突破策略的构建提供了逻辑依据。

五、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

本文基于2014—2023年河北省面板数据,通过构建多维度评价指标体系,综合运用熵值法、修正的耦合协调度模型及障碍度模型,分析数字经济与制造业高质量发展之间的协调关系、动态演化路径及主要制约因素,主要研究结论如下。

(1) 时序演进特征表明,河北省数字经济与制造业高质量发展水平呈现持续上升态势,但存在明显的阶段性差异。研究初期,数字经济子系统增速显著高于制造业子系统,体现出技术扩散与政策红利的先发优势;研究后期,制造业子系统通过技术创新与结构优化加速迭代,逐步缩小与数字经济子系统的发展差距,两者呈现收敛态势。

(2) 两系统的耦合协调水平呈现持续进阶特征,2014—2023年期间实现从严重失调状态向良好协调状态的跨越式演进。这一演变过程不仅是量的积累,更是质的飞跃,表明河北省在推动数实融合与产业协同方面取得显著成效,系统间互动关系趋于良性化,彰显了区域数实融合进程中系统互动从无序失衡向有序协调的转变。

(3) 障碍度模型识别结果表明,数字经济的主要障碍因子为人均电信业务总量、信息软件就业人员占比和钢铁/装备制造集群数字技术适配率,反映出基础设施服务能力、高端人力资本储备与产业融合仍存在显著短板;制造业子系统则持续面临产业结构高级化水平不足、外贸开放度偏低、制造集群数字技术融合进程滞后等结构性制约,凸显其在国际化布局、价值链攀升与发展稳定性方面面临的挑战。

(二) 政策建议

基于上述结论,本文提出如下政策建议。

(1) 为促进河北省数字经济与制造业高质量发展水平更为协调、高效地发展,河北省政府应进一步强化政策的精准引导与协同支持,着重加大制造业数字化转型的深度与广度。在研究初期数字经济凭借技术扩散与政策红利快速发展,而后期制造业通过自身努力逐步追赶的背景下,政策应在保持对数字经济适度支持的同时,大力度地向制造业数字化转型倾斜。

(2) 立足于两系统从严重失调到良好协调的跨越,河北省可构建耦合协调进阶式保障体系,推动数实融合从良好协调向更高质量跃升。政策需从推动协调转向优化协调;建立动态协调监测评估机制,以2023年0.852的协调水平为基准,设定向优化协调迈进的分阶段目标,重点监测数字技术渗透深度与制造业转型效能的匹配度,实现波动预警与精准调控;设立协同创新专项计划,支持数字技术企业与制造业龙头企业联合开展关键共性技术攻关,完善“技术研发—成果转化—产业应用”的闭环衔接,进一步强化系统间良性互动,推动耦合协调向更高质量层级演进。

(3) 针对障碍度模型识别出的数字经济与制造业发展短板,河北省可实施“短板靶向突破”策略,破解两系统协调障碍。在数字经济领域,一方面需加大5G基站等新型数字基础设施的投资建设力度,提升人均电信业务总量指标;另一方面应实施数字人才引进专项计划,扩大信息软件服务业就业规模,培育壮大信息技术类市场主体。同时,聚焦钢铁、装备制造等传统产业集群数字技术适配率偏低的产业衔接痛点,规模化推动工业机器人、智能传感器等数字技术装备在传统制造场景的深度应用。在制造业领域,需加快推动产业向价值链高端跃升,提升产业结构高级化程度;积极拓展跨境电商等新型外贸业态,提高制造业对外开放水平;深化制造产业集群数字化转型进程,完善产业链上下游协同发展机制,为数字经济与实体经济深度融合筑牢发展根基。

未来,河北省应进一步强化系统思维与政策协同,着力破解关键障碍因子,推动数字经济与制造业在基础设施共享、技术融合创新、数据要素驱动等领域深度协同,为实现区域现代化产业体系构建与经济高质量发展提供持续动力。

参考文献

- [1] 魏婕,杜欣娱,任保平. 中国产业基础能力的时空演变格局——产业现代化视角的产业基础能力评价与分析[J]. 西部论坛,2021,31(6):49-66.

- [2] 杜传忠. 我国现代化产业体系的特征及建设路径[J]. 人民论坛, 2022(24): 22-25.
- [3] 惠宁, 史明聪. 数智赋能企业新质生产力的价值创造与溢出效应研究—基于中国制造业上市企业的实证检验[J]. 山西师大学报(社会科学版), 2025, 52(1): 20-33.
- [4] 张钰. 辽宁省数字经济与装备制造业高质量发展耦合协调研究[D]. 沈阳: 沈阳大学, 2022: 60-64.
- [5] 李培, 李星, 黄庆华. 成渝地区双城经济圈与长三角一体化发展产业创新协作: 难点、成因及优化路径[J]. 当代金融研究, 2024, 7(2): 82-95.
- [6] 王法涛, 白慧慧. 产业链视角下数字经济促进河北省制造业升级研究[J]. 商业经济, 2021(4): 36-38.
- [7] 徐华亮. 首发经济的驱动逻辑与市场响应[J]. 理论与改革, 2025(2): 173-186.
- [8] 张立宽. 充分发挥人工智能在推动产业转型升级中的关键作用[J]. 中国石化, 2025(3): 17-19.
- [9] 金逸. 制造业企业库存管理主要问题与解决对策[J]. 上海企业, 2025(2): 136-138.
- [10] 谢佳钰. 中国企业数字化转型如何影响其国际化程度[D]. 上海: 上海外国语大学, 2024: 25.
- [11] 汪邀洋. 数字经济对传统产业转型的影响研究[J]. 市场周刊, 2025, 38(19): 73-76.
- [12] 毛俊鹏. 中美贸易摩擦常态化背景下中国制造业高质量发展的路径研究[J]. 对外经贸实务, 2023(3): 27-34.
- [13] 刘小茵, 郭伟龙. 工业场景下的数据价值形成机理与评估方法研究[J]. 数字化转型, 2025, 2(5): 21-28.
- [14] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [15] 曲立, 王璐, 季桓永. 中国区域制造业高质量发展测度分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(9): 45-61.
- [16] 任重, 李燕林. 产业数字化与制造业高质量发展的耦合协调研究[J]. 统计与咨询, 2023(2): 24-27.
- [17] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.
- [18] 刘方慧, 文亚青. 广东省数字经济与制造业高质量发展协调水平评价[J]. 广东石油化工学院学报, 2025, 35(2): 52-57.
- [19] 傅为忠, 刘瑶. 产业数字化与制造业高质量发展耦合协调研究——基于长三角区域的实证分析[J]. 华东经济管理, 2021, 35(12): 19-29.
- [20] 冯凡栩. 河南省新质生产力与制造业升级双向赋能的现实困境与提升路径[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(10): 1-5.

[责任编辑 李 新]

Analysis of Pathways for the Coordination Development of Digital Economy and High-Quality Manufacturing in Hebei Province

LI Jiajie, QIAN Xu, CAI Haodong

(School of Management Engineering and Business, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: This paper takes Hebei's panel data from 2014 to 2023 as samples, and constructs an dual evaluation index system from the dimensions of digital economy and the high-quality manufacturing development, that is, the dimension of foundation, industry, and integration as well as the dimension of efficiency, innovation, coordination, openness, and green growth. In this vein, this paper expects to explore the coupling and coordination level and evolution features of the digital economy and high-quality manufacturing development in Hebei Province, thus systematically identifying and deconstructing the key restrictive factors that hinder the deep integration of digital economy and the high-quality development of Hebei's manufacturing industry. Accordingly, this paper uses the entropy method to measure the development index of the two systems, evaluates their coordination development level from 2014 to 2023 through a modified coupling coordination degree model, and identifies the main restrictive factors with the obstacle degree model. It is found that there is a steady upward trend in term of the coordination level. Besides there is a leap from severe imbalance in 2014 to good coordination in 2023 in terms of coupling coordination degree, with significantly enhanced coordinated development efficiency. It is also observed that per capita total telecommunications business and the upgrading of industrial structure are the main obstacles to high-quality coordinated development. Therefore, this paper proposes suggestions such as strengthening precise policy guidance, constructing a progressive guarantee system for coupling coordination, and implementing a strategy of targeted breakthrough for weaknesses. In this way, this paper expects to further the coordination of digital economy and high-quality manufacturing development and build a regional modern industrial system in Hebei.

Key Words: digital economy; high-quality development of manufacturing industry; coupling coordination degree; obstacle degree model; regional industry coordination