

制造业合理比重与先进制造业锻造

——智能化、绿色化、融合化的协同逻辑

□ 杨虎涛

[摘要] 本文从制造业结构变迁、技术扩散以及能力跃迁三个维度出发,分析了制造业合理比重、智能化、绿色化、融合化与先进制造业建设的理论基础及相互联系。制造业的结构决定制造业比重变化的速度和幅度,合理比重是指结构合理基础上的比重,规模与结构相互支撑:规模为技术积累提供基础,合理结构保障规模可持续,且对现代智能化、绿色化产业发展至关重要的稀有金属所具有的伴生性特征,也需要相应的制造业规模作为支撑。由于数字时代技术扩散呈现周期缩短、生态协同增强与间接网络效应突出的新特征,融合化应成为智能化与绿色化有效落地的关键路径,智能化、绿色化、融合化三者构成“技术—边界—载体”自增强体系。中国正处于从相关多样化向非相关多样化跃迁的关键阶段,在复杂技术能力积累不断突破的背景下,需通过保持制造业规模基础、强化技术扩散与加快先进制造业体系构建,实现从“量的扩张”到“质的跃升”的结构性跨越。

[关键词] 先进制造业;制造业合理比重;智能化;绿色化;融合化

[中图分类号] F424 [文献标识码] A [文章编号] 1006-6470(2026)01-0047-13

[作者简介] 杨虎涛,中国社会科学院经济研究所教授、中国社会科学院大学经济学院教授

引言

《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》明确提出,要坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,以智能化、绿色化、融合化为方向,加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国,保持制造业合理比重,构建以先进制造业为骨干的现代化产业体系。与党的二十届三中全会相比,党的二十届四中全会再次强调实体经济重要性的同时,明确要求保持合理比重,并将

三中全会提出的智能化、绿色化、高级化改为智能化、绿色化、融合化。强调先进制造业是现代产业体系的骨干。制造业合理比重、“三化”与先进制造业锻造,三者构成一个基础—方向—目的指向明确、环环相扣的战略部署。

改革开放以来,中国制造业实现了跨越式发展。从1978年占全球制造业增加值的1.4%跃升至2022年的30.2%,形成了门类齐全、独立完整的工业体系,成为全球第一制造业大国。按照配第一克拉克定律,随着经济发展水平提升,产业结构会呈现出

收稿日期:2025-11-20

本文系国家社科基金重大项目“促进数字经济与实体经济深度融合的政治经济学研究”(项目编号:23ZDA043)的阶段成果。

“退二进三”的变化。这一规律在发达国家的工业化进程中得到了普遍验证,绝大多数发达国家制造业增加值占 GDP 比重已降至 20% 以下。在中国,配第一克拉克定律也开始有所表现:2011 年之后,中国服务业增速明显高于制造业增速,以 2015 年本币不变价格计算,2008—2018 年,中国服务业国内生产总值占比从 43% 上升到 52%,制造业占比从 31.6% 下降到了 29%。在此期间,服务业平均年增速达到 9.6%,远超过制造业年均增速 7%。^①

为什么在服务业快速发展的今天,党的二十届四中全会要强调保持制造业合理比重? 何谓合理比重? 在实体经济的发展方向上,为什么又要强调以智能化、绿色化、融合化为方向? 为什么将先进制造业置于现代产业体系的核心位置? 这一系列论述有何内在关联性? 要深入回答这一系列问题,需要跳出单纯的产业比重变化表象,从工业化规律、制造业产业结构、数字时代产业特征以及中国国情等多个维度进行系统性分析,这不仅有助于我们准确把握制造业的历史定位与时代变化,更能为落实党的二十届四中全会部署、推动制造业高质量发展、构建现代产业体系提供理论支撑和实践指引。

余文安排如下:首先对制造业比重变化进行理论分析和经验检验,其次对制造业合理比重与制造业产业升级的关系进行讨论,分析制造业“规模基础”与“质的提升”之间的关系,继而对智能化、绿色化、融合化的必要性和可能性进行分析,最后结合中国国情,对提升先进制造业的政策体系和制度保障进行探讨。

事实上,关于中等收入—技术—产业陷阱的大量研究都强调了产业升级的重要性。在发展理论中,对制造业的引擎作用也存在高度共识。与这些研究相比,本文的观点创新主要有两点:第一,党的二十届四中全会所强调的制造业合理比重,并不是单纯侧重于规模占比,合理规模并不是“不能过高也不能过低”这种含糊指向。“合理”二字,更强调的是结构合理。而合理结构的制造业之所以要保持合理比重才能实现先进制造业方向上的产业升级,是因为产

业升级需要生产能力和技术能力之间的协同发展。与此同时,智能化、绿色化的发展对关键稀有金属有很高的依赖性,而这些稀有金属的成本和供应稳定性依赖于制造体系的完备性,这是保持制造业比重并强调融合化发展的关键原因。第二,与党的二十届三中全会相比,党的二十届四中全会将之前的高级化调整为融合化,既契合中国作为全球制造业大国的现实国情,更顺应了数字时代技术扩散的新特征。由于新一轮技术的相关技术扩散更快、技术周期更短和技术之间的依赖性更强,只有通过“融合”才能加速智能化、绿色化技术的扩散。而且智能化、绿色化和融合化三者本身就存在着不可分离的关系,智能化为绿色化提供关键技术支持,绿色化为智能化设定可持续边界,避免智能技术进步导致能耗和排放总量增加的“杰文斯悖论”,而融合化可以为智能化与绿色化提供载体,是二者协同效应充分释放的关键路径。

一、制造业占比演变:倒 U 型规律与结构异质性

(一)卡尔多典型事实与配第一克拉克定律

长期以来,卡尔多典型事实一直具有经验意义:制造业产出增长与平均国内生产总值增长正相关;制造业产出增长与制造业生产率正相关;制造业产出增长和经济总体生产率正相关^②。制造业作为实体经济的核心组成部分,是兼具多重关键功能的综合性发展引擎。从产业关联视角看,制造业的规模化、标准化和可贸易化,使其具有很强的分工可能性,能够带动上下游众多产业协同发展。从技术创新视角看,制造业也是技术创新的主要载体和扩散平台。发展中国家的技术进步大多源于制造业领域的技术引进、消化吸收与自主创新,制造业的技术突破能够通过产业链传导至其他产业,推动整体技术水平提升。从就业与收入视角看,制造业能够吸纳不同技能水平的劳动力,通过劳动生产率提升带动居民收入增长。从国家能力视角看,制造业发展需要基础设施完善、产业配套能力提升,是国家综合实

力提升的重要基础。也正因如此,长期以来,制造业一直被视为发展的引擎。经济史的研究也表明,除中东少数石油国之外,绝大多数高收入国家在其发展过程中都经过了“制造业富国”这一阶段。高峰时期制造业占高收入国家国内生产总值的 25%—35%。发达国家制造业吸纳的就业人员占全社会就业人员的比重峰值一般在 30%以上,德国在 20 世纪 70 年代曾达到了 40%。^③

不同于发达国家普遍经历了制造业引擎的长期拉动,部分发展中国家发展过程中出现了“过早去工业化”现象,即尚未完成工业化进程,制造业增加值占 GDP 比重就过早下降至较低水平。这一点在拉美和东南亚部分国家中表现尤为突出,典型如巴西和泰国。过早去工业化主要呈现三大特征:一是制造业占比下降速度过快,且不可逆;二是制造业内部结构低端化,劳动密集型产业占比过高,资本密集型和技术密集型产业发展滞后,缺乏核心竞争力;三是制造业与服务业发展脱节,服务业以低附加值的传统服务业为主,无法为制造业提供高端生产性服务支撑,也难以吸纳制造业转移出来的劳动力。过早去工业化带来的主要后果,就是使国家人均 GDP 长期停滞在中等收入水平区间,难以向高收入国家迈进。产业层面,制造业发展不足导致产业结构单一,过度依赖初级产品出口或低端服务业,经济抗风险能力弱,容易受到外部市场波动的冲击。就业层面,制造业无法提供足够的高质量就业岗位,导致居民收入增长缓慢。能力建设层面,制造业发展滞后使得国家缺乏技术创新能力和产业配套能力,难以形成完整的产业体系,国家综合实力提升受限。

与卡尔多事实并存的,则是配第一克拉克定律。威廉·配第 1672 年在《政治算术》中基于收入弹性差异提出的产业间收入差异规律和 1940 年克拉克在《经济进步的条件》中通过对 40 多个国家和地区劳动力分布数据的分析在结论上具有一致性,即:随着经济发展和人均收入提升,劳动力会依次从第一产业向第二、第三产业转移。与之相关的研究还包括库兹涅兹曲线和鲍莫尔成本假说等。工业革命以来,

配第一克拉克定律反复得到验证,因此被视为产业结构变动的铁律。例如,20 世纪 60 年代,西方发达国家制造业部门雇用劳动力的比例占到了就业的 40%左右,但当前发达经济体的整体制造业就业份额则普遍在 10%—25%之间。^④

作为都得到经验验证的理论假说,卡尔多典型事实和配第一克拉克定律的长期并存,意味着两者的交集只能通过“倒 U 型”得到解释。“倒 U 型”的前半程,卡尔多典型事实表现更明显——制造业是发展的引擎。但制造业的引擎功率不可能无限放大,资本替代劳动必然存在边际替代率下降,制造业增长最终受边际成本上升和边际收益递减制约而衰减。因此,在倒 U 型的后半程,就会出现配第一克拉克定律所指出的制造业占比下降与劳动力向服务业转移的现象。这也就是说,在超过某个特定的收入门槛或发展阶段之后,“去工业化”就会作为一个自然趋势而呈现。

(二)结构决定规模

但是,倒 U 型作为一个抽象的过程描述,并不存在一个固定模式。在不同时代,一国制造业占比峰值达到多少、需要多长时间以及制造业占比下降的速度,存在显著差异。即使同一国家的不同部门,“去”增加值或就业份额也不是“均匀”发生的,不同类型的制造业达峰时间和衰减速度存在明显差异。因此,一国制造业的占比变化,其实取决于其制造业内部的结构特征:是不同的产业结构和行业技术属性在决定制造业“引擎”持续的时间以及去工业化的速度、路径和方式。

按照帕维特分类法,基于供应链垂直分工,制造业可以分为上游行业的科学基础型(SB, Science Based)和专业供应商型(SS, Specialised Suppliers),其中,科学基础型(SB)提供核心技术(如半导体),专业供应商型(SS)提供专用设备(如半导体生产机械),二者共同构成技术供给端;而中游行业的规模密集型(SI, Scale Intensive)则通过大规模生产将上游技术转化为标准化产品(如用半导体和机械生产汽车),属于规模转化端;而下游的供应商主导型

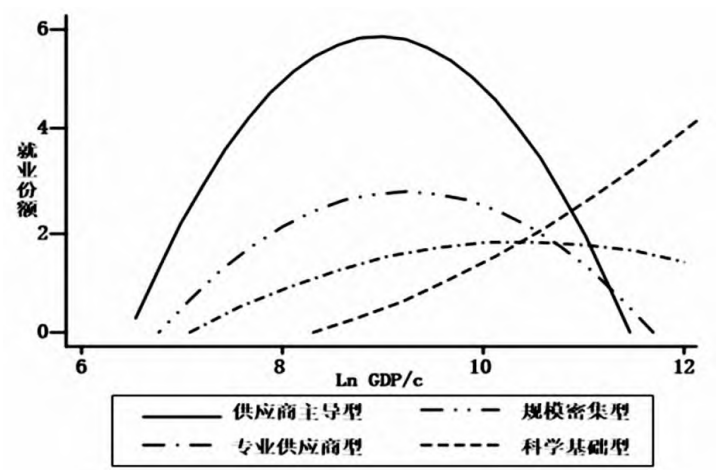


图 1 不同类型的制造业的就业份额变化

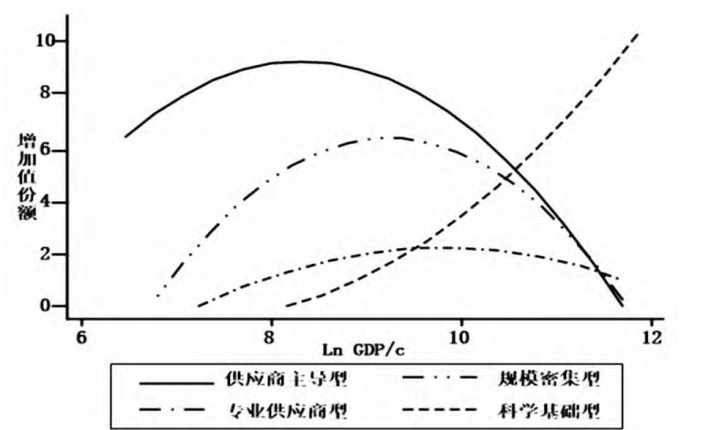


图 2 不同类型的制造业的增加值份额变化

(SD, Supplier Dominated)行业则主要依赖中游提供的设备去生产低附加值的产品(如用纺织机生产服装),是终端应用端。这种分工定位决定了各行业的 技术复杂度与附加值——越靠近上游,技术壁垒与 附加值越高;越靠近下游,越依赖外部技术与规模。

基于帕维特的产业分类,多西等人对 173 个国 家在 1963—2015 年期间的制造业占比变化进行了 考察。结果表明,随着经济发展,不同类型制造业的 就业份额和增加值份额的变化形态存在显著差别: 供应商主导型呈现典型倒 U 型,低收入阶段快速上 升,中高收入阶段快速衰退,其就业份额的倒 U 型 明显,增加值的衰减则更为剧烈。规模密集型也呈 现出倒 U 型,但峰值明显滞后于供应商主导型,就 业份额和增加值份额的衰退速度都较为平缓。但是, 专业供应商型无明显倒 U 型,高收入阶段仍保持稳

定增长。科学基础型完全是线性增长,不存在峰值 然后下降的现象,就业和附加值份额都随收入水平 持续上升(见图 1、图 2)。^⑤

如果将 1971 年视为计算机化的开始,2011 年 视为快速全球化时代的结束,1971—2011 年期间, 发达国家和发展中国家的制造业变化情况存在显著 差别。福克斯(Fuchs, E. R. H.,)等人的研究表明,这 一时期,无论是对比就业份额还是附加值份额的变 化,发达国家都呈现出供应商主导型制造业的份额 大幅下降,但科学基础型和专业供应商型的制造业 份额却显著上升,结构升级明显。而发展中国家则 是供应商主导型制造业的份额下降更剧烈,规模密 集型制造业的附加值份额上升但就业份额停滞。与 此同时,发展中国家的科学基础型和专业供应商型 的制造业增长缓慢,结构升级滞后。在全球化背景

下,发达国家实际上是通过产业升级实现了“质量型去工业化”,而发展中国家则陷入“低端去工业化”或低端工业化的陷阱。这也说明,如果制造业结构中成本敏感型的行业占比过高,不仅会导致过早、过快去工业化,而且结构缺陷又会进一步削弱产业升级的基础,形成“去工业化—产业升级停滞—中等收入陷阱”的恶性循环。也正因如此,中等收入陷阱也普遍被视为中等技术陷阱或中等产业陷阱,其本质是无法从低附加值、低知识溢出效应和低关联效应的行业跃迁到更高附加值、更广产业关联和大范围知识溢出效应的产业。

这也意味着,即使进入倒 U 型的后半程,也不能认为制造业已不再重要。从制造业比重下降的过程看,发达国家历史上的“退二”过程往往较为稳定且历时较长。自 2000 年以来,美国在全球制造业增加值(MVA)中的份额有所下降。但美国的制造业增加值实际增长速度甚至高于德国或日本等主要制造业国家,美国在全球制造业增加值中的份额下降,在很大程度上是由于中国制造业增加值世界占比的大幅增长。从国内规模看,美国制造业在其国内生产总值(GDP)中的占比下降是毋庸置疑的,但要考察其历时时长和结构变化。1997 至 2015 年期间,美国制造业的实际增加值增速滞后于服务业和金融业,这是美国被普遍认为金融化和空心化的原因。但从降速看,美国制造业占 GDP 的比重从 1997 年的 16.7%降至 2015 年的 12.1%,历时 18 年;就业占比从 1982 年的 19%降至 2019 年的 8.5%,历时 37 年。进入 21 世纪以来,美国仍长期维持着较为稳定的制造业规模:美国制造业占 GDP 比重从 2001 年的 13.9%降至 2023 年的 10.2%,22 年下降 3.7%,从 2010 年的 11.9%降至 2023 年的 10.1%,13 年下降 1.8%。^⑥从结构上看,美国制造业仍高度集中于少数领域,且始终保持高研发投入。2015 年,制造业贡献了美国 66%的工业 R&D 支出,其中制药、半导体、航空航天等五大高 R&D 子行业占比达 64%^⑦。这种高研发份额与低制造份额并存的结果,一方面是使美国企业可以通过高端技术控制产业链和价值链,

另一方面则是美国国内就业和收入结构的极化。

在从中等收入阶段迈向高收入阶段的过程中,保持制造业规模稳定也十分必要。如果将拉美陷入中等收入陷阱的国家和东亚成功的后发赶超经济体作为对照,在人均 GDP10000 美元到 20000 美元的阶段里,“成功组”如日、韩等国的制造业占比相当稳定,呈现出“稳二进三”的发展态势:日本在 1966—1991 年的制造业占比仅从 19.4%下降至 19.2%,韩国在 1991—2004 年期间制造业占比甚至从 19%上升至 24.4%。与之相反,“失败组”如巴西、墨西哥等国在人均 GDP 一万美元到两万美元的阶段里的制造业占比则呈现出典型的“退二进三”态势。^⑧其中,巴西的制造业变化尤其具有代表性。根据 Almeida & Balanco(2024)的研究,巴西的制造业占 GDP 比重从 20 世纪 80 年代高峰期的 25%降至 2010 年的不足 15%,尽管巴西在 1995—2010 年期间的经济增速并不低,但主要动力并不是来自技术进步与知识积累。巴西制造业发展的典型特征是高技术产品依赖进口、国内产业链断裂和资本品制造业虚弱,呈现典型的“增长未伴随能力积累”的现象。而这种虚弱的制造业导致巴西进口依赖大幅增加、贸易结构由多样化转向初级商品主导、汇率波动加剧产业不稳定性,成为典型的“外部约束型去工业化(external constraint-driven deindustrialization)”的代表^⑨。

二、合理比重:结构优化与规模支撑的协同

(一)结构合理性与规模稳定性的互构关系

前述分析表明,制造业的结构与制造业规模变化密切相关。如果一国的制造业高度集中于供应商主导型,这类更接近于下游的行业不仅对成本变化更为敏感,而且也往往缺乏需求弹性,其技术进步带来的成本下降往往不能带来更大幅度的利润实现。而成本不仅取决于本国,还取决于同类型商品生产国的成本变化,这是供应商主导型的制造业往往更快出现峰值也更快衰减的主要原因。在这类制造业衰减的过程中,如果缺乏相应规模的科学基础型

和专业供应商型产业乃至规模密集型产业的相应增长,那么制造业的引擎功能就会衰减。与之相反,如果一国在产业升级的过程中可以实现科学基础型和专业供应商型行业的发展,即使出现供应商主导型甚至规模密集型产业的衰减,科学基础型和专业供应商型产业仍可以通过发挥更强的知识外溢效应,如技术研发向上下游渗透、管理经验跨产业复用等,使制造业继续发挥引擎作用。与此同时,基于复杂知识生产和应用的科学基础型和专业供应商型产业也具备衍生新的规模密集型产业和供应商主导型产业的能力,如,芯片技术可催生出消费电子等产业、医疗设备制造可带动复杂零部件加工等产业。这种“高进低退”的结构调整,就可以使制造业在引擎动能切换的过程中保持规模上的“稳二进三”。

从这一意义而言,是制造业的合理结构,决定了制造业规模的长期变化趋势——只有向高复杂度产业跃迁,才能避免总量的持续性萎缩。随着经济发展水平的不断提高,制造业结构调整应当从简单的、成本敏感的供应商主导型或规模密集型产业跃迁到复杂的科学基础型和专业供应商型。但反过来,制造业的一定规模,又对制造业的结构升级有着不可替代的支撑作用。因为要实现从供应商主导或规模密集型制造业,向更复杂的科学基础型和专业供应商型的制造业跃迁,绝非仅靠技术研发就能完成,而需要以持续的生产规模为基础,积累结构升级所需的能力、资金与应用场景,同时科学基础型和专业供应商型行业的形成初期,也需要供应商主导型产业或规模密集型产业提供稳定的需求来促进自己的孵化和成长。

从各国发展经验看,在原有制造业基础上“提炼”先进制造业的关键,在于保持生产能力与技术能力的协同演化,二者在不同阶段相互作用,协同发展,才能持续推动结构跃迁。^⑩在产业升级的早期阶段,生产规模是技术能力积累的基础。低附加值的供应商主导型和规模密集型行业虽以“know-how”(操作经验)为主,但大规模生产实践能带来两重关键价值:一是通过“干中学”积累基础产业能力,例如

纺织业的规模化生产可培育工人的标准化操作素养、供应链的协同管理经验,这些能力可成为后续向高端制造业转型的基础;二是通过规模效应实现资金积累——供应商主导型和规模密集型行业虽然利润率低,但庞大的生产规模能形成稳定现金流,为后续升级科学基础型和专业供应商型行业的研发投入提供稳定资金。缺乏这一阶段的规模积累,技术能力就没有足够的生产实践场景,技术研发也难以与真实需求结合。而缺乏持续的资金支撑,长期研发投入也无法维系。进入产业升级的中期阶段,生产规模又可以为技术能力突破提供试错与反馈。一般而言,当供应商主导型或规模密集型产业达到一定规模后,企业会面临更复杂的生产挑战,如大规模定制化需求、全球供应链协同难题等,这些挑战倒逼企业将生产经验转化为技术创新动力。例如,汽车制造业的规模化生产催生了流水线自动化技术,电子组装的大规模需求推动了表面贴装技术(SMT)的迭代。此时,生产规模与技术能力就能形成正反馈:规模扩大带来的新需求,为技术研发提供方向;技术突破带来的效率提升,又进一步支撑规模扩张,形成“生产—研发—再生产”的良性循环。在这一阶段中,如果生产规模不足,技术能力便会陷入“停滞陷阱”。例如,如果仅维持小规模汽车组装,便难以产生对高端自动化设备的需求,也无法承担研发自动驾驶技术的成本,最终只能长期停留在低技术组装环节,无法向汽车研发和新型汽车制造等领域跃迁。

到知识驱动的跃迁阶段,生产规模则成为技术能力向新领域拓展的“杠杆”。当科学基础型和专业供应商型行业初步形成后,需要足够的生产规模需求来提高技术的商业化可行性、降低单位研发成本。例如,半导体行业的芯片研发需要数十亿甚至上百亿美元投入,只有通过大规模量产和相应规模的采购才能将单位芯片的研发成本分摊至可接受范围,进而支撑下一代芯片技术的研发;同时,大规模生产还能吸引上下游配套产业集聚。如芯片生产可以带动光刻胶、晶圆材料等行业的发展,形成技术密集型产业集群,进一步巩固产业的竞争优势。缺乏

这一阶段的规模支撑,即便突破了核心技术,也难以实现结构的稳定升级。发达国家的科学基础型和专业供应商型产业具有领跑者优势,在发展过程中不仅依赖于本国已有的规模密集型产业需求拉动,也可以在国际市场上凭借垄断地位获取高额利润反哺行业成长。但对于中国这样的赶超者而言,壮大自己的科学基础型和专业供应商型行业就更多地需要借助于超大市场规模,通过一定体量的规模密集型和供应商主导型产业提供需求。

因此,制造业的规模与结构不能孤立存在:合理结构能保障规模的可持续性,避免总量因低复杂度产业的衰减而快速萎缩;而一定规模则可以为结构升级提供能力积累、资金和场景。简言之,没有一定的制造业规模积累,向科学基础型和专业供应商型行业的跃迁便会缺乏动力与支撑。生产能力和技术能力的协同作用,交替牵引,才是制造业既能保持总量稳定、又能实现结构升级的关键:早期以规模积累夯实技术学习基础,中期以规模扩张推动技术突破,后期以规模杠杆巩固高端结构,促使制造业完成从“成本敏感型的总量”向“技术驱动型的结构”的质变。

(二)稀有金属依赖于制造业规模

制造业的核心特征,是将自然资源转化为物理产品,因此制造业也被称为“重量系统”(the weighty system),从材料输入到产品输出的过程高度依赖金属、矿物、能源与化学物质^①。这意味着:制造业的发展和可持续性依赖稳定的资源供应,其中,材料对制造业的技术路线选择具有决定性影响。

进入数字经济时代,制造业的规模和结构之间还存在一个“秘密”底层,那就是稀有金属。现代制造业的绿色化、智能化转型,高度依赖于被称为工业“维生素”的稀有金属,如锂、钴、镓、铟等。这些材料虽在单个产品中的用量微乎其微,却凭借独特的化学、电学或机械性能,成为半导体、新能源、人工智能等前沿技术不可或缺的物质基础。以半导体行业为例,镓与锗凭借优异的半导体特性,成为射频芯片、光电子器件的关键材料,铟则是显示面板的核心材

料。新能源领域同样高度依赖锂、钴、镍等稀有金属。在光伏产业中,薄膜电池依赖碲化镉、硒化铟等稀有金属。当前正在成为全球竞争焦点的人工智能领域,同样离不开稀有金属及其技术创新的支撑。人工智能所需的高性能计算芯片,散热与算力提升都依赖钨、钼等稀有金属。在高端装备领域,稀土永磁材料也是工业机器人、风力发电机乃至军工装备的核心部件。Watari 等人(2020)预测,在工业的 48 种关键金属中,有至少 20 种将在 2050 年前经历需求翻倍甚至数倍增长。其中,电动汽车规模化推动锂、镍的快速增长,可再生能源推动稀土与半导体材料需求上涨,半导体产业推动镉、铟等金属的需求增加。^②正因为稀有金属这种独特作用,稀有金属也正在成为技术进步高度集中的领域:美国专利商标局(USPTO)1976—2015 年的 514.66 万件专利数据显示,稀有金属的相关专利数量在 1976—2015 年间增长了近 7 倍,且在半导体、纳米技术、绿色能源等关键领域增幅更高,增速更快。^③

问题在于,稀有金属的提炼与生产无法脱离规模化产业体系而独立存在。与铜、铁等基础金属不同,稀有金属一般不以独立矿床形式存在,而是作为基础金属开采与冶炼过程中的伴生品或副产品,通过废渣、废液、废气的回收加工获得。例如,镉的产量 100%来自锌的冶炼过程,镓完全伴生于铝的生产,硒和碲则 90%来源于铜的精炼。这种天然的伴生关系使稀有金属的供应高度依赖基础金属的规模化生产。如果脱离大规模产业体系,单独针对稀有金属进行勘探与提炼,不仅技术难度极大,更会因缺乏规模效应导致成本飙升,远远超出工业应用的经济可行性。同时,稀有金属的精炼和技术研发也需要规模化产业体系提供技术积累与工艺支撑。稀有金属技术的突破与工业制造中的冶金技术、精密加工、废料回收等环节深度协同。只有在完备的产业生态中,才能实现从材料特性研究到工业化应用的转化。以光伏技术为例,从单晶硅电池到多晶硅电池,再到基于镉、碲、镓等稀有金属的薄膜电池的迭代,正是依托光伏产业规模扩张带来的工艺成熟与成本下降,

才使得稀有金属的应用具备了经济可行性。

表 1 展现了稀有金属与基础金属之间的关系。稀有金属的伴生性是显著的。从依赖程度看,稀有金属可以分为三个档次:第一,完全伴生型。如,镉、镓、锆等 100%依赖单一基础金属生产。镉完全来自锌的冶炼,镓从铝的生产中提取,锆则伴生于钛的加工,这意味着这 3 种稀有金属的供应完全受制于对应基础金属的生产规模,若锌、铝、钛的产量下降,将直接导致镉、镓、锆供应短缺。第二,主要伴生型。如,铟 80%来自锌、硒 90%来自铜、碲 90%来自铜、钽 62%来自铁,这意味着,铜的冶炼过程同时支撑硒和碲的供应,铜产业的技术升级或产能调整,会对两种稀有金属的获取产生联动影响。第三,多源伴生型:以钴和钽为代表,钴 50%来自镍、35%来自铜,钽 15%来自锡、13%来自铌。这类稀有金属的供应相对分散,可通过多种基础金属的伴生提取降低供应风险,但也意味着其提炼需要整合多种基础金属的废弃物处理体系,对产业协同性要求更高。

这种伴生关系决定了稀有金属无法脱离基础金属的规模化生产而独立获取,因此供给弹性极低,供应瓶颈相对刚性。例如,要扩大镓的供应,单独开采镓矿不具备经济可行性,而需通过扩大铝的冶炼规模并优化其废料回收工艺实现。因此,制造业规模是

稀有金属供应的前提,而稀有金属是现代产业所必需。稀有金属的物理化学属性决定了需要保持稳定的制造业规模,尤其是重化工这类规模密集型产业,这对智能化、绿色化产业发展是必需的。尤其是,这些关键金属的供应存在明显的地缘政治集中性,在考虑到大国竞争和国家经济安全的前提下,更需要通过保持适当的制造业规模确保智能化、绿色化的产业升级。

中国稀土产业的发展实践与中国绿色、智能产业的发展历程已充分说明了制造业规模与稀有金属、技术进步、智能绿色产业发展之间的正向循环关系。中国稀土之所以在全球稀土分离技术领域占据主导地位,并能推动新能源汽车、风力发电等产业快速发展,与中国具有多样性的规模密集型产业密切相关。正是因为这些产业的存在,反过来带动稀土材料的性能优化与成本下降,形成产业规模与材料创新的良性互动,而稀有金属供给的稳定性和经济性又支持新兴产业规模化成长,形成了“规模支撑材料、材料赋能技术、技术驱动规模”的良性循环。由此可见,从稀有金属这一关键供给而言,保持一定的制造业规模也是必要的。

三、智能化、绿色化、融合化“三化”为什么是方向？

党的二十届四中全会明确提出,要坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,以智能化、绿色化、融合化为方向。从世界各国关于产业竞争和技术高点的政策论述和战略部署看,智能化和绿色化已经成为共识,这也是新一代技术革命浪潮的关键特征。因此,智能化、绿色化成为现代产业体系构建的主要方向是共识,也是常识,对此,本文不再赘述。

但在二十届四中全会的论述中,融合化被提到了和智能化和绿色化同等的高度。而且,与二十届三中全会提出的智能化、绿色化、高级化不同,二十届四中全会用“融合化”替代了二十届三中全会的“高级化”。相较于高级化,融合化显然并不区分产业或技术的高、中、低,或垂直分工的上、中、下,而是对现代

表 1 稀有金属的对应基础金属及伴生状况^①

稀有金属	对应的基础金属及伴生度
镉(Cadmium, Cd)	锌(Zinc, Zn)(100%)
钴(Cobalt, Co)	镍(Nickel, Ni)(50%); 铜(Copper, Cu)(35%)
镓(Gallium, Ga)	铝(Aluminium, Al)(100%)
铟(Indium, In)	锌(Zinc, Zn)(80%)
锂(Lithium, Li)	钾(Potassium, K)(52%)
铋(Bismuth, Bi)	铅(Lead, Pb)(54%)
锗(Germanium, Ge)	锌(Zinc, Zn)(60%)
钼(Molybdenum, Mo)	铜(Copper, Cu)(46%)
硒(Selenium, Se)	铜(Copper, Cu)(90%)
钽(Tantalum, Ta)	锡(Tin, Sn)(15%); 铌(Niobium, Nb)(13%)
碲(Tellurium, Te)	铜(Copper, Cu)(90%)
钒(Vanadium, V)	铁(Iron, Fe)(62%)
锆(Zirconium, Zr)	钛(Titanium, Ti)(100%)

产业体系发展的过程性、复杂性和跨部门给予了更多的重视。在政策表述中,“融合”一词的指向在不断变化:从十七大提出信息化与工业化“两化融合”,到十九大提出“推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”,到二十大提出数字经济与实体经济的融合发展,融合的指向不仅与中国经济发展的现实变化相关,也与技术革命的发展密切相关。融合可以是数实融合,即数字经济对传统实体经济的赋能与改造^⑮,融合也可以指制造业服务化和服务业制造化,例如,制造业具有的特征,如可贸易性、规模经济、创新和“干中学”等,在越来越多的服务行业中得到体现。^⑯

但在不同的融合领域和方式背后,根本的动力是技术扩散。技术扩散是指产品、工艺、管理等创新在经济体内部或经济体之间传播的过程。^⑰成功的技术扩散必然伴随融合,无论是新技术找到适用场景,还是旧产业的升级改造,都是技术扩散的结果。虽然发明和创新过程是新技术发展的必要前提条件,但却是扩散的过程决定了新技术被投入生产性使用的程度,这反过来又决定了企业、行业或经济体中技术活力的水平。^⑱工业革命以来,世界经济“大分流”的形成与技术扩散的不均衡性密切相关,尽管19世纪前各国生活水平差距有限,但技术扩散的差异即使在欧洲的不同区域也已客观存在。在20世纪90年代以来的全球化进程中,国际间商品、劳务和技术流动虽日益频繁,但技术扩散尤其是先进技术的扩散在全球范围内的分布仍呈现明显失衡,不同国家、地区对新技术使用强度和使用范围的差异,更是导致跨国全要素生产率分化的核心原因之一。基于跨国历史的技术采用(Cross-country Historical Adoption of Technology, CHAT)数据库,Comin et al. (2006)等人的研究表明,考虑密集边际(Intensive Margin),也即技术采用强度被包括在技术扩散的测量中时,传统的S型曲线就不能很好地描述技术扩散过程。并不是所有技术在所有国家和地区的扩散都遵循罗杰斯的S型假说,各国在技术采用方面的差异远大于人均收入的差异。这不仅说明技术扩散

尤其是新技术的扩散对国家经济增长具有长期影响,而且说明,技术扩散作为技术从产生到应用、从局部到广泛普及的动态过程,在推进速度、覆盖范围与实际效果上,在不同国家和地区存在显著差异。^⑲

长期以来,相对于发明和创新问题,技术扩散问题受到的关注较少。自20世纪50年代之后,技术扩散开始逐步成为创新经济学的一个重点分析领域。技术扩散研究的主要目标之一,就是通过识别技术扩散过程中的经验规律性来制定相应的“促扩散”政策。研究表明,技术扩散的规律性特征随技术迭代与社会经济环境演变呈现显著差异,这是不同技术时代需要不同的“促扩散”政策的原因。概括而言,在第一次、第二次工业革命中,核心技术(蒸汽机、电力、钢铁冶炼等)的扩散呈现“低速度、高壁垒”特征,其规律可概括为以下三点:第一,扩散周期长,技术替代阻力大。因为工业革命时期的技术多依赖实体资本品(如蒸汽机、纺织机械),扩散不仅需要巨额初始投资,还需特定的资源禀赋条件、配套的基础设施与技能劳动力。^⑳第二,地理集中性显著,核心区域主导创新与扩散。技术扩散呈现强烈的“核心—边缘”格局,创新与高技能岗位高度集中于少数工业中心。第三,技术适配性决定扩散深度,资源条件、禀赋格局对技术扩散影响极大,“促扩散”政策需结合本地资源与产业基础对技术进行适应性改进,这在农业^㉑和机械^㉒领域体现尤其明显。

20世纪中后期,在以计算机、互联网为核心的信息革命进程中,技术扩散进入“中速度、低壁垒”阶段,其特征与之前相比已经发生了明显变化:第一,扩散周期缩短。计算机和互联网的扩散速度远比电力、蒸汽、汽车要快得多。^㉓这主要是因为信息技术的模块化与标准化特征显著降低了扩散门槛,因为信息产品的软特征具有“通用适配性”——PC的操作系统(Windows)、互联网的TCP/IP协议实现了跨设备、跨区域兼容,无需像工业技术那样进行大规模本地化改造。第二,地理约束弱化,但核心创新区仍主导高附加值环节^㉔。这主要是因为信息技术的“非实体性”(如软件、算法)降低了对地理距离的依赖。

第三,网络效应开始主导扩散路径。信息技术的扩散受“使用越多、价值越高”的网络外部性驱动,用户规模决定技术扩散速度^⑤。

从促扩散的重点看,在传统的促扩散政策体系中,强化认知、配套基础设施、增强本地的技术适配性是三个主要的政策着力点。强化认知针对主观因素,主要是为了尽快使使用者从“被动接收”到“主动搜索”新技术。配套基础设施、增强本地技术适配性,则是为了客观上改变微观主体的成本—收益比较。互联网时代之后,网络效应开始发挥作用,技术扩散呈现出阿瑟(Arthur,1989)所揭示的路径依赖与锁定特征:在存在网络效应的技术竞争中,初始用户规模的微小差异会通过正反馈放大。促扩散的重点开始转向创造系统生态和技术嵌套关系,如 win—Intel 联盟。

当前以智能化、绿色化为主要特征的技术浪潮,其技术扩散又有了一些新特征:第一,扩散速度指数级提升,短周期技术频出。技术虽然更复杂,但技术产品包括制造装备的模块化程度也更高,从生产产品、产业落地而非自主独立的技术能力考察,技术扩散速度大大加快,且技术迭代也更快;第二,技能梯度分化显著,核心研发与边缘应用分离,技术扩散呈现“高技能岗位集中、低技能岗位分散”的特征。第三,生态协同取代单一技术扩散,跨产业融合加速。数智技术的扩散不再是单一技术的传播,而是以“技术生态”为单位的协同渗透。例如,工业互联网的扩散需同时整合 5G(连接)、边缘计算(实时处理)、AI(数据分析)、区块链(可信溯源)等技术,还需适配制造业的生产流程(如汽车焊接、电子组装)等。第四,与技术生态系统相似,间接网络效应在促进技术扩散过程中的作用越来越明显。互联网时代的技术扩散更多地体现为直接网络效应:即,技术的应用价值依赖于其他用户的参与——采用者越多,技术的实用价值越高,社交平台、在线支付系统等,均依赖直接网络效应实现快速扩散。但随着智能化技术对各种类型平台的催化,平台可以通过多边市场和网络效应增强技术间的互补性(Complementarity),各种技

术在平台上的互补性越来越强,并间接影响其他技术的扩散。A 技术的进步(如数据采集效率)会直接提升 B 技术的回报(如 AI 模型的准确性),从而间接加速 C 技术(如推荐算法)的商业化,C 技术(如推荐算法)的商业化又可以为 A 技术提供更高的数据质量和更大的数据体量。尤其是当前快速发展的大语言模型(LLM)、生成式人工智能(AIGC),是典型的通用目的技术,嵌入性和裂变性极强。

因此,在技术发展进入智能化、绿色化时代之后,尽管强化认知、配套基础设施、增强本地的技术适配性和提高网络效应等方式对促进技术扩散依然有效,但由于上述新特点的出现,技术扩散需要对应新的方式,其特点概括而言就是“融合”:由于技术扩散更快,技术迭代更快,推进和采用新技术的收益窗口期也变得更短,这就尤其需要通过系统化的基础设施供给(如网络—能源—物流基础设施同步),更大幅度地降低新技术采用的风险和成本,这本身就需要进行产业融合。由于技能梯度更加分化,要避免区域发展和收入分配的极化,就需要平衡新技术扩散的空间范围。新旧产业的空间分布和对智能化、绿色化的产业适配性都存在明显的空间差异,这也需要融合而非“淘汰”。由于创新生态化趋势更明显,所以跨界融合不仅必需,而且要加快。党的二十届四中全会之所以在“智能”和“绿色”之后指向“融合”,也是基于对新一代技术浪潮扩散的新特征的基本判断。

智能化、绿色化与融合化三者有着内在的紧密联系。三者的协同演进,本质上是继工业革命以来技术—经济范式从“大规模标准化生产”向“数字化绿色智造”转型的体现。智能化、绿色化与融合化不是孤立的技术路径,而是一个密不可分、相互依赖的系统。当前,人工智能、云计算与大数据等数字技术的突破,在重塑生产要素的组合方式的同时,也改变了人类经济社会的方方面面,智能化已经成为衡量国家经济发展水平和社会发展水平的主要尺度。与此同时,绿色化也不再是应对气候变化或资源约束的外部性负担,而是内化为产业准入的刚性标准与国际竞争的新高地,构成了各种经济活动必须遵循

的“元规则”。对于中国而言,作为全球制造业体系最为完备但内部结构性差异显著的经济体,呈现出高端技术密集型产业与传统劳动密集型产业并存的两元结构特征。单纯依赖新兴产业的单兵突进,无法解决存量巨大的传统产业转型升级难题。因此,融合化不仅是打破产业边界、促使先进技术向传统部门进行深度渗透的通道,更是实现产业体系系统性重构的关键机制。只有通过融合化,才能将智能化的技术红利与绿色化的价值导向,嵌入到从农业、传统制造到高端制造的每一个行业中。

从内在协同机理看,智能化、绿色化和融合化构成了技术—边界—载体的自增强体系。智能化扮演着技术底座的角色,其核心在于通过数据中心、算法模型与工业软件等知识资产,实现全场景的“确定性指令生产”,将不确定的环境数据转化为最优化的执行指令。这实际上也为绿色化提供了不可或缺的支持:利用工业互联网与区块链技术,实现对能源生产、波动消纳及全生命周期碳足迹的调控与溯源,从而提升经济活动的绿色化水平。然而,智能化技术的发展又会形成能源的“杰文斯悖论”(Jevons Paradox),即智能技术带来的效率提升可能反而诱致总能耗的增加。随着算力需求的指数级增长,数据中心与大模型训练本身正面临着“高算力即高能耗”的挑战。此时就需要绿色化发挥能源排放的边界约束作用,通过清洁能源的替代使智能技术在可持续的框架内演进,避免陷入智能化进步与碳排放同步攀升的陷阱。而融合化则是智能化和绿色化两者落地的载体。无论是数字产业化的纵向延伸,还是产业数字化的横向覆盖,无论是绿色创造效应,还是绿色修复效应,都需要在产业的融合化中打破行业壁垒,促进技术扩散,为智能化、绿色化技术提供广阔应用场景。从传统能源企业的智能化、绿色化转型,到智能网联汽车,乃至低空经济的业态创新,都需要“融合”这一载体。面对中国产业当前存在的“有形制造强、无形知识弱”以及“高能耗三角困局”等深层次矛盾,唯有坚持智能化、绿色化和融合化的“三化”方向:以智能化补齐知识控制短板,以绿色化破解资源

环境约束,以融合化疏通制度与技术堵点,才能形成产业升级的强大可持续动力,推动经济实现从数量扩张向质量提升的根本性跨越。

结语

智能化、绿色化和融合化“三化”的最终目标在于驱动中国制造业在实现结构性重构的基础上完成一次大幅度的能力跃迁,通过打造先进制造业这一现代产业体系的骨干,带动中国产业的系统升级。从国内背景看,中国的产业升级正值中国迈向高收入阶段的关键时期,产业升级直接关系到需求结构转型和人口结构转型,其成败对未来较长一段时间内中国的经济社会发展将产生深远的影响。从国际背景看,中国的产业升级也正值全球工业生产体系的深刻转型:一方面是智能化和绿色化的发展趋势不可逆转,技术创新的内容和技术扩散方式发生了重大变化;另一方面是全球供应链和价值链呈现多极化重构的态势,区域内的重新“构链”与跨区域的“断链”正在并存纠缠,中国产业升级直接关系到未来较长一段时间内中国在全球分工和贸易秩序中的位置和分量。

产业升级并不是平滑演化的路径,而往往是跳跃式的。因为一国的生产体系在复杂程度经历了足够的积累之后,就可以跳跃式地进入与现有产品不相关的、新的、更复杂的行业中,这是量的积累转向质的变化的最直接表现。^⑨这种成功的跃迁在世界经济发展的过程中并不多见,其原因在于,在生产活动转向更复杂的、与原有生产活动不相关的领域时,需要打破原有产业活动的路径依赖,这不仅需要新的知识来源、生产技能和组织能力,而且要放弃原有经济活动的确定性,进入更高的不确定性领域。因此,产业升级的复杂和困难就在于,既要在确定性的领域,通过已有的能力和知识完成积累,保持经济系统的稳定性,又要在不确定性的高复杂度领域获得新知识和新技能。而中国制造业当前面临的挑战与机遇正位于这一能力跃迁的关键过渡阶段:在经历“从无到有、从小到大”的扩张阶段后,中国制造业正面

临从“大到强”的根本性转变,也正处在这种从过去熟悉的相关多元化发展模式,跳跃到非相关多样性的发展模式。哈佛增长实验室的数据表明,中国的经济复杂性指数(ECI)已经从 1995 年的 0.4 大幅提升至 1.32(截至 2023 年)^②,标志着在复杂技术能力积累上已达到相当高度。在“从小到大”的早期,中国制造的多样性高,但独特性低,即可以生产很多其他国家都能生产的产品,因此复杂性较低;在“从小到大”的后期,中国制造多样性高,独特性也有所提高,因此复杂度逐步提高。在推动中国制造业从大到强、构建现代化产业体系的过程中,复杂度会进一步提高,而这一过程也是劳动力成本提高和结构变化的时期,往往伴随着部分成本敏感型产业的“外包”流失,因此多样性会有所减少,而这部分产业往往是供应商主导型和部分规模密集型的制造业。如果这部分产业的份额相对于新增产业而言下降幅度过大、速度过快,就容易导致就业波动、区域产业空心化等后果,经济系统的稳定性就难以保证。如果这种类型产业增加值和就业份额快速下降的同时,非相关多样性的新兴产业还没有完成足够幅度的“跃迁”,并不具备拉动产业的足够动能,经济增长就会陷入结构调整失衡的困境。也正因如此,产业升级需要适当的规模以发挥稳定器和压舱石的作用。结构和规模相互依赖,密不可分,对于制造业大国的产业升级而言,尤其如此。

简言之,中国制造业在向先进制造业转型的过程中,需要以“三化”协同,实现从“量的扩张”到“质的跃升”。这要求政府发挥战略性政策干预作用,通过选择性产业政策和科研体系的投资,促进生产—技术能力的共振发展。同时,必须保有一定规模的制造业比重作为结构调整的“压舱石”,充分发挥有为政府和有效市场在创新引领和产业孵化中的协同作用,构建以先进制造业为骨干的现代化产业体系,走出一条具有中国特色的产业升级之路。

注释:

①黄群慧、杨虎涛.中国制造业比重“内外差”现象及

其“去工业化”涵义[J].中国工业经济,2022(3).

② Kaldor, N. Causes of the Slow Rate of Economic Growth in the United Kingdom: Inaugural Lecture at the University of Cambridge [M]. Cambridge: Cambridge University Press,1966.

③Hallward-Driemeier, M., and N. Gaurav. Trouble in the Making? The Future of Manufacturing—Led Development[R]. Washington, DC: World Bank, 2017.

④⑦⑪Fuchs, E. R. H., Combemale, C., Whitefoot, K. S., & Glennon, B. The "Weighty" Manufacturing Sector: Transforming Raw Materials into Physical Goods. [EB/OL].<https://www.nber.org/books-and-chapters/role-innovation-and-entrepreneurship-economic-growth/weighty-manufacturing-sector-transforming-raw-materials-physical-goods>.

⑤ Giovanni Dosi, Federico Riccio, Maria Enrica Virgillito, Varieties of deindustrialization and patterns of diversification: why microchips are not potato chips, Structural Change and Economic Dynamics, Volume 57, 2021, P 182–202.

⑥数据来源:联合国工业发展组织。

⑧杨虎涛、唐渝.迈向高收入阶段的叠加转型与破局之道:比较与展望[J].经济社会体制比较,2025 (5).

⑨ Almeida, L. M. de L., & Balanco, P. A. de F. Deindustrialization in a Marxian perspective [J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2024, 68: 224–239.

⑩ Eum, W., & Lee, J.-D. The co-evolution of production and technological capabilities during industrial development [J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2022, 63: 454–469.

⑫ Watari, T., Nansai, K., & Nakajima, K. Review of critical metal dynamics to 2050 for 48 elements [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2020, 155: 104669.

⑬⑭ Li, G. Y., Ascani, A., & Iammarino, S. The material basis of modern technologies: A case study on rare metals [J]. Research Policy, 2024, 53 (1): 104914

⑮史丹、白骏骄.产业结构早熟对经济增长的影响及

其内生性解释——基于互联网式创新力视角[J]. 中央财经大学学报, 2019(6).

⑩江小涓. 高度联通社会中的资源重组与服务业增长[J]. 经济研究, 2017(3).

⑪⑫Sarkar, J. Technological diffusion: alternative theories and historical evidence [J]. Journal of Economic Surveys, 2010, 12 (2): 131–176..

⑬ Comin, D., & Mestieri, M. Technology diffusion: Measurement, causes, and consequences [J]. Handbook of Economic Growth, 2014, 2: 565–622.

⑭⑮ Rosenberg, N. Factors affecting the diffusion of technology [J]. Explorations in Economic History, 1972, 10 (1): 3

⑯ Griliches, Z. Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change [J]. Econometrica, 1957, 25: 501–522

⑰ Comin, D. A., Hobijn, B., & Rovito, E. Five facts you need to know about technology diffusion [WP]. NBER Working Paper 11928, 2006.

⑱ Kalyani, A., Bloom, N., Carvalho, M., Hassan, T., Lerner, J., & Tahoun, A. The diffusion of new technologies [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2025, 140 (2): 1299–1365.

⑲ Arthur, W. B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events [J]. Economic Journal, 1989, 99: 116–131.

⑳ Pinheiro, F. L., et al. The time and frequency of unrelated diversification [J]. Research Policy, 2022, 51 (8): 104323.

㉑ 数据来源: Harvard Growth Lab, <https://atlas.hks.harvard.edu/data-downloads>.

责任编辑: 陆焱

The Rational Proportion of Manufacturing and the Forging of Advanced Manufacturing — the Synergistic Logic of Intelligentization, Greening and Integration

Yang Hutao

Abstract: From the perspectives of manufacturing structural transformation, technological diffusion mechanisms, and capability-transition dynamics, this paper analyzes the theoretical foundation and intrinsic connections between maintaining a rational proportion of manufacturing, advancing the "threefold integration" of intelligentization, greening, and integration, and building an advanced manufacturing sector. The structure of manufacturing determines both the speed and magnitude of changes in its share of the economy; the essence of a rational proportion lies in achieving an appropriate scale grounded in a reasonable structure. Scale and structure reinforce each other: scale provides the foundation for technological accumulation, while a reasonable structure ensures the sustainability of scale. Moreover, the inherent by-product characteristics of many rare materials—crucial to modern intelligent and green industries—require a corresponding level of manufacturing scale to guarantee stable supply. In the digital era, technological diffusion is characterized by shortened cycles, strengthened ecological coordination, and prominent indirect network effects. Integration therefore becomes the key pathway for effectively implementing intelligentization and greening. Together, intelligentization, greening, and integration form a self-reinforcing system of "technology-boundary-carrier." China is currently at a critical juncture, transitioning from related diversification toward unrelated diversification. Against the backdrop of accelerating accumulation of complex technological capabilities, China must maintain a solid manufacturing scale, strengthen technological diffusion, and expedite the construction of an advanced manufacturing system, thereby achieving a structural leap from quantitative expansion to qualitative upgrading.

Keywords: advanced manufacturing; rational proportion of manufacturing; intelligentization; greening; integration.