

新质生产力视域下现代化产业体系的发展意义

——基于马克思关于机器大工业的论述

杨虎涛

摘要:从马克思论述机器大工业发展时提出的“发动机—传动机构—工作机”原理出发,结合工业革命以来“发动机—传动机构—工作机”的系统演化和产业体现,对新质生产力发展背景下现代化产业体系变迁的特征、趋势和重点领域进行探讨。基本结论是:从工业1.0的蒸汽机械化到工业4.0的智能数字化,历次产业革命均围绕“能源—连接—材料”三大核心维度展开,新质生产力的发展仍然会围绕着能源体系、信息体系和工作机体系而展开,但在此基础上会进一步凸显“绿色+智能”的融合导向,涉及能源体系和工业生产过程的清洁化、绿色化和智能化转型。作为一个整体的产业体系,能源体系、交通通信和工具机的变革三者密不可分,但“用什么生产”仍然是决定性的。新质生产力不仅涉及智能装备、绿色能源等有形产业体系建设,更依赖底层无形资产控制体系的构建——包括核心算法研发、技术标准制定、知识产权布局等,这是突破价值链低端锁定、实现产业体系高级化与现代化的核心保障。

关键词:现代化产业体系;新质生产力;机器大生产;战略性新兴产业;绿色智能转型

引言

2024年7月18日中国共产党第二十届中央委员会第三次全体会议通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》强调要“推动技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级,推动劳动者、劳动资料、劳动对象优化组合和更新跃升,催生新产业、新模式、新动能,发展以高技术、高效能、高质量为特征的生产力”。^①围绕新质生产力是什么、为什么和怎么办,各界展开了热烈的讨论。一个基本的共识是,世界主要工业化国家当前

基金项目: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”(23ZDA043)、中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究阐释工程重点项目“新质生产力与新型生产关系塑造研究”(2025XYZD08)。

作者简介:杨虎涛,中国社会科学院经济研究所,中国社会科学院大学经济学院教授、博士生导师。

^①《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定(二〇二四年七月十八日中国共产党第二十届中央委员会第三次全体会议通过)》,《人民日报》2024年7月22日,第1版。

已经事实上进入新质生产力的激烈竞争阶段,因此核心问题不在于新质生产力是否可能,而在于如何加快形成新质生产力。对于理论研究而言,一个不容回避的问题是,新质生产力的发展在产业结构、产业特征和产业体系上将会呈现出怎样的变化趋势,体现出怎样的内在规律?这不仅涉及对战略性新兴产业、未来产业的理解和把握,也关涉产业发展战略的再审视。

联系新质生产力发展趋势,探寻未来较长一段时期内与新质生产力相对应的现代化产业体系变迁,需要一个新的理论视角并准确切入当代实践。基于不同的研究目的和角度,迄今为止,产业类别划分影响最广泛的仍然是费希尔和克拉克的三次产业分类法。20世纪80年代钱纳里在此基础上发展出来的工业化阶段理论,也成为产业经济学和发展经济学的基础。随着知识经济的兴起,关于产业体系划分和产业体系演进的探讨,则主要集中于对第三产业的进一步分类问题上,如将服务业划分为生产性服务业和生活性服务业(或消费性服务业),或者在原有的三类划分基础上试图独立出单独的第四产业,如知识产业或者“第一次信息产业”。就产业体系变迁的内在机理而言,除了鲍莫尔-富克斯假说对服务业占比上升做出了极富影响力的解释之外,关乎底层逻辑的探讨仍然较为匮乏。这就使现代化产业体系变迁的研究多呈现“罗列”形式或直达行业、产品层次的微观分析。

马克思关于生产力的三个基本要素“劳动、劳动对象和劳动资料”的重要论述,已经成为理解新质生产力的共识之一。关于新质生产力的诸多指标,也基于劳动、劳动对象和劳动资料的新变化和新组合而构建。但就马克思论述机器大工业发展时提出的“发动机—传动机构—工作机(Working Machine)”原理^①,则鲜少有系统的讨论。一些基于科学史和工业史的研究提出的能量+信息假说,则侧重于文明演进,不涉及产业体系变迁。近年来,一些研究开始联系马克思的“发动机—传动机构—工作机”原理,并将其拓展为能源—连接—材料或能源—交通信息—材料假说,以揭示历次工业革命以来产业的发展特征和趋势,但仍对新质生产力的内容有所疏漏。本文拟从马克思的“发动机—传动机构—工作机”原理出发,结合新质生产力的发展趋势和重点,对拓展后的能源—连接(交通信息)—材料或能源—材料假说进行完善和补充,对新质生产力发展的方向和重点进行探讨。

一、如何理解生产力的质变:来自经典作家的启示

马克思和恩格斯在创立自己的政治经济学过程中,针对不同问题或出于不同的目的,对生产力这一范畴作出了多种表述,形成了关于生产力的一系列概念,如生产力、劳动生产力、社会生产力、自然力等。总体而言,马克思和恩格斯在讨论生产力的时候,都是基于人们“有目的的劳动”的过程或结果,即“他不仅使自然物发生形式变化,同时他还在自然物中实现自己的目的”。^②

^① 在马克思相关著作的不同的译本中,工作机和工具机经常交替使用。

^② 《马克思恩格斯文集》第五卷,北京:人民出版社,2009年,第207—208页。

马克思主义政治经济学研究生产力,并不是孤立地考察生产力,更不是纯粹考察人和自然的关系,而是把生产力作为推动社会发展的物质基础和根本力量,通过考察生产力和生产关系的矛盾运动揭示社会发展规律。在《德意志意识形态》中,马克思和恩格斯总结道:“一定的生产方式或一定的工业阶段始终是与一定的共同活动方式或一定的社会阶段联系着的,而这种共同活动方式本身就是‘生产力’;由此可见,人们所达到的生产力的总和决定着社会状况,因而,始终必须把‘人类的历史’同工业和交换的历史联系起来研究和探讨。”^①这段话明确表明,考察生产力,可以并且应当从共同活动方式开始,进而通过一定的生产方式来考察其变迁。“随着新的生产力的获得,人们便改变自己的生产方式,而随着生产方式的改变,他们便改变所有不过是这一特定生产方式的必然关系的经济关系。”^②

在马克思主义政治经济学体系中,生产方式概念存在二元分析维度。就狭义的具体层面而言,生产方式特指劳动过程的结构化安排,即在既定生产力与生产关系框架下形成的协作体系与分工形态。而从宏观视角考察,这一概念则延伸为决定微观生产组织的社会基础架构,构成特定历史阶段物质生产活动的总体范式。在生产力的动态发展过程中,直接生产领域呈现三个维度的结构性变革:首先,劳动者维度展现为专业技能需求的持续升级与分工体系的精细化重构;其次,劳动对象范畴突破传统边界,人类改造利用自然物质的广度和深度呈现指数级扩展;再次,劳动工具系统通过物化人类智能不断进化,形成超越生物体能局限的复合型生产手段。值得强调的是,生产力的质变不仅源于单个要素的量级增长,更取决于三者在生产中的创新性配置——这种要素重组机制在约瑟夫·熊彼特的创新理论及现代技术创新研究中也得到了深刻阐释。这些研究与马克思关于生产力要素协同进化的经典论述形成了跨时代的理论呼应。

由此可见,生产力的发展和变迁具有多个维度,涵盖了劳动者和生产资料从内涵到外延的变化,以及劳动的主客观因素之间的结合方式或组合形式的变化。正因如此,从“三要素”的变化及其组合变化中去把握新质生产力的内涵,成为当前新质生产力研究的共识。大量关于新质生产力的评价指标,依据这三者而定。但在“三要素”法中,最大的问题在于如何观察组合变化,以及这种组合在产业、产品、行业层次上的体现。易言之,生产力的质变的确会表现为“三要素”的变化,但对于观察产业结构的具体变化而言,“三要素”的价值,更多的是作为一个抽象的理论指南。而且,在“三要素”的组合中,难以区分劳动者和生产资料组合的狭义层次和广义层次。例如,在广义的生产方式上,劳动者和生产资料“结合的特殊方式和方法,使社会结构区分为各个不同的经济时期”,而在狭义的生产方式上,^③流水线、福特制、员工持股,都属于劳动者和生产资料的组合内容。

除了“三要素”这一视角之外,马克思还在论述机器大工业发展时提出了“发动机—传动机

① 《马克思恩格斯文集》第一卷,北京:人民出版社,2009年,第532—533页。

② 《马克思恩格斯文集》第十卷,北京:人民出版社,2009年,第78页。

③ 《马克思恩格斯文集》第六卷,北京:人民出版社,2009年,第44页。

构—工作机”原理“所有发达的机器都由三个本质上不同的部分组成: 发动机, 传动机构, 工具机或工作机。发动机是整个机构的动力。……传动机构……把运动分配并传送到工具机上。……由此工具机才抓住劳动对象, 并按照一定的目的来改变它。”^①有学者依据这一论述, 将“发动机—传动机构—工作机”改造为“能源—连接(信息连接、交通物流) 和材料”, 并通过这三者的变化, 去区分历次技术革命浪潮中产业结构的发展。^② 在国外学者的研究中, 里夫金最早就用“能源+ 通信”来刻画历次工业革命的关键内容, 之后, 又进一步将其拓展为“三网互联”: 能源互联网、通信互联网和电子化的运输物流网络。新能源和智慧驱动的工具, 从太阳能和风能组成的能源互联网充电, 基于算法的全球化能源互联网分享能源和信息。通信、能源和运输物流, 形成同一个互联网。^③

从拓展的“发动机—传动机构—工作机”原理出发, 在拓展后的“能源—连接(信息连接、交通物流) 和材料”框架下, 工业革命以来, 产业结构的变化呈现出明显的六个阶段。(见表1)

从表1 不难看出, 如果从改造后的“发动机—传动机构—工作机”改造为“能源—连接(信息连接、交通物流) 和材料”出发, 至少历次技术革命浪潮中主导产业、支柱产业的变化可以得到刻画。对此, 马克思也作了相应的预见: “发动机、传动机构和工具机的规模日益扩大; 随着工具机摆脱掉最初曾支配它的构造的手工业形式而获得仅由其力学任务决定的自由形式; ……难于加工的材料日益不可避免地被应用, 例如以铁代替木材”; “交通运输业是逐渐地靠内河轮船、铁路、远洋轮船和电报的体系而适应了大工业的生产方式”; “劳动资料取得机器这种物质存在方式, 要求以自然力来代替人力, 以自觉应用自然科学来代替从经验中得出的成规”。^④ 基于马克思的这些论述, 主张将“发动机—传动机构—工作机”拓展为“能源—连接(信息连接、交通物流) 和材料”的学者认为, 历次技术革命和工业革命的生产力变革大都涵盖了“能源—交通通信—材料”三个方面。而表1 中涉及生产力发展的“核心投入”和“主导产业”的多数要素都可以归结为: 发动机所需的能源、传动所需的交通、通信条件以及工作机所操作的材料三方面的变化。

问题在于, 马克思关于机器大工业的基本界定, 是否适用于现代化产业体系? 如何利用这一理论去洞悉和预见现代产业结构变迁的趋势? 如果新质生产力仍将沿袭“能源—交通通信—材料”而展开, 在产业部门及其联系上又会呈现出怎样的特点? 一种观点认为, 迄今为止, 马克思关于机器大工业的基本界定依然成立: 现代工业的物质载体依然是一个以机器体系为中心的物质生产系统——信息化和智能化只是提升了人类操作这一系统的便利性, 而未改变其作为机器体

① 《马克思恩格斯文集》第五卷, 北京: 人民出版社, 2009年, 第429页。

② 参见胡乐明、杨虎涛《产业发展战略选择的内在逻辑——一个连接演进的解析框架》, 《经济研究》2022年第6期; 刘刚《工业发展阶段与新质生产力的生成逻辑》, 《马克思主义研究》2023年第11期; 杨虎涛《数字经济的增长效能与中国经济高质量发展研究》, 《中国特色社会主义研究》2020年第3期。

③ 参见[美]杰里米·里夫金《第三次工业革命: 新经济模式如何改变世界》, 张体伟、孙豫宁译, 北京: 中信出版社, 2012年, 第81—131页。

④ 《马克思恩格斯文集》第五卷, 北京: 人民出版社, 2009年, 第440、441、443页。

系和生产资料的本质属性。从经典作家的论述看 机器大工业区别于工场手工业的“本质特征”就在于机器和力学的技术规则取代了手工操作的工艺规则。这种“本质的区别”不仅在后续的历史工业革命中被不断强化,而且仍将持续——人工的体力和脑力劳动越来越从属于机器体系“在技术上的应用”。这是马克思关于机器大工业的基本论述仍然可以适用于现代工业体系的原因。^①

表1 “能源—连接(信息连接、交通物流)和材料”视角下的历次产业变迁^②

	标志性事例	核心投入	主导产业	技术方式	连接+材料+能源特征
第一次工业革命	水力机械化时代: 哈格里夫斯发明珍妮纺纱机(1764年)	棉花、生铁	棉纺织、水车、铁制品	水力机械、收费公路、运河、帆船	水运运输连接+水力动力+棉花、生铁为代表的材料
	蒸汽机械化时代: 利物浦—曼彻斯特铁路(1831年)	生铁、煤炭	铁路和铁路设备、蒸汽机	蒸汽动力铁路电报	基于铁路网络的连接+可移动蒸汽动力+煤、铁材料
第二次工业革命	电气化时代: 卡耐基的贝西莫钢轨厂(1875年)、爱迪生纽约珍珠发电站(1882年)	钢、铜合金	钢制品电力设备、重型机械	电气化、钢轨铁路、电话	公路铁路高强度空间连接+集中分布式电力能源+合金新材料
	摩托化时代: 福特公司海兰特公园工厂的装配线(1913年)	石油天然气合成材料	汽车、石油化工、家用电器	自动化、航空和高速公路、无线电	高强度有形空间连接从生产到生活消费,信息连接开始起步+便携式高密度石化能源+新材料
第三次工业革命	信息化时代: 英特尔处理器(1971年)	芯片、存储器	计算机、电信设备、微电子产品	信息高速公路(互联网)、无线网络	信息高速公路的无形连接+旧能源+旧材料
	Geoffrey Hinton等深度学习三教父获图灵奖(2017年)	芯片、算法、数据	机器人、智能电信设备、智能装备制造	人工智能、区块链、物联网	从生产到消费的信息连接+新材料+新能源

不过 将马克思关于机器大工业的特征描述拓展到“能源—交通通信—材料”这一框架内,至少还有如下几个问题要解决:

第一,马克思关于机器大工业特征的论述是针对工业而言的,而表1中围绕“能源—连接(交通通信)—材料”提炼出的产业类型,不仅涉及工业,还涉及服务业,如信息服务业。工业革命以来,服务业的产生和变化是否仍然可以在上述框架中得到解释?

第二,马克思的“发动机—传动机构—工作机”原理,显然是针对单个机器体系的,因为他明确指出,“所有发达的机器都由三个本质上不同的部分组成”。那么,单个机器体系的论述是否可以拓展到整个工业体系?即使不讨论服务业的变动因素,从传动机构到交通通信的变化,

① 刘刚《工业发展阶段与新质生产力的生成逻辑》,《马克思主义研究》2023年第11期。

② 参见杨虎涛《数字经济的增长效能与中国经济高质量发展研究》,《中国特色社会主义研究》2020年第3期。

就不再是在机器体系内,也不再只是生产过程的描述,而是进入了流通和价值实现的过程。

第三,从“发动机—传动机构—工作机”扩展到“能源—连接(交通通信)—材料”,是将机器大革命初期的动力来源、动力传导和制造三个环节,扩展到现代化产业体系的能源体系—交通通信—物质材料,在这种拓展中,是否有产业的疏漏?

二、生产力质变进程中的产业演化

根据联合国工业发展组织(UNIDO)的观点,工业革命以来,工业生产经历了四个阶段,每个阶段都有其特定的技术特点:首先是工业1.0时代(约1760年至1840年),也称为蒸汽时代,其典型特征是以蒸汽动力为驱动的机械设备取代手工劳动,特别是在纺织业。继而是工业2.0时代(约1870年至1914年),也称电气时代,其标志性特征是集中分布式的电力应用,在促进了大规模生产和流水线作业出现的同时,也带动了交通、通信等领域的快速发展。之后是工业3.0时代(约20世纪60年代至21世纪初),也称信息技术时代,其典型特征是个人电脑的普及和互联网的兴起,极大地提高了生产过程中的自动化水平,促进了信息的快速交换与处理。当前,现代工业正在进入工业4.0(21世纪第二个十年开始)时代,也称智能制造时代、数字孪生时代、数智化时代等,其典型特征是物联网(IoT)、大数据、云计算、人工智能等先进技术的应用。^①通过将物理系统与数字世界紧密相连,实现生产过程的高度智能化、个性化定制和资源优化配置。

(一) 发动机—能源体系

单独就发动机、传动和制造三个环节而言,上述四个阶段也有明显的变化。从发动机来看,马克思笔下的机器体系的发动机,主要涉及动力来源,也即高效的机械能替代人的生物能,但并不涉及机械能的上一层动力来源,因此并不涵盖整个能源与动力体系的变化。在改进之后的“能源—交通通信—材料”框架中,工业1.0到工业4.0的发动机—能源体系的变化体现为:

在蒸汽动力与机械化生产为主要标志的工业1.0时代,煤炭是工业1.0的主要能源,转换过程是化学能到热能再转换为机械动能。电力成为工业2.0的主要能源之后,煤炭这种化石能源并未退出能源体系,依然通过化学能—热能—机械能—电能的方式进行转换,只是煤炭不再是唯一的动力转换来源,水力、石油,都可以完成类似的能量形式转换。在工业2.0的能源体系中,电力的进步,不仅在于发现和利用电能,还在于可以形成集中分布式的能量供给体系,从而可以解决工厂的空间分布和选址问题。

但进入工业3.0时代之后,发动机—能源体系的变化就不再呈现出能源类型和结构的变化,而是通过信息技术在能源生产、动力配置中的应用,使得能源管理更加高效和智能化。从这一意义上而言,工业3.0时代的能源体系不仅包括传统的电力,还包括信息技术在能源体系

^① 联合国工业发展组织《2020年工业发展报告——数字化时代的工业化》, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-Chinese_overview.pdf, 最后访问时间:2025年11月7日。

中的广泛应用。在进入工业 4.0 时代之后,能源体系不仅包括传统的基于化石能源的电力,还包括可再生能源和清洁能源。这类新型能源的广泛应用和智能电网、电力储存的建设使得能源管理更加高效和可持续。(见表 2) 根据国际可再生能源署(IRENA) 最新发布的《2024 年可再生能源统计年鉴》的数据,截至 2023 年底,全球可再生能源装机容量已从 2010 年的 1337 吉瓦跃升至 3820 吉瓦,13 年间增幅达 185.6%,年均复合增长率达 8.4%。这一增长主要由太阳能和风能驱动,贡献了新增装机的 87%。其中,从 2010 年到 2023 年的关键细分领域增长看,太阳能光伏装机从 40 吉瓦增至 1475 吉瓦(增长 3588%),而中国占全球新增装机的 53%。^①

表 2 工业 1.0—工业 4.0 的动力—能源变化与对应产业

工业时代	发动机	能源体系	对应的产业
工业 1.0	蒸汽机	煤炭	采掘、冶铁
工业 2.0	电力	煤炭、水力、石油	电网、电力设备制造、水电站、火电站
工业 3.0	电力	远程传输、智能调配	电子信息技术
工业 4.0	电力	清洁能源(天然气、氢能)、可再生能源(风电、太阳能、核能)	高密度储能、风光电、可控核聚变

注:根据联合国工业发展组织的《2020 年工业发展报告——数字化时代的工业化》等相关资料整理。

(二) 传动机—连接(交通通信)

从传动机来看,马克思笔下的传动机,主要涉及动力传导,涉及的是机器和机器之间的物理性连接。在改进之后的“能源—连接(交通通信)—材料”框架中,马克思的传动机被拓展为广义的连接,不仅涵盖了机器和机器之间的物理性连接,还涵盖了生产和消费过程中的信息连接,以及物质实体的空间移动。从工业 1.0 到工业 4.0 的发展历史看,传动—连接领域的变化是最为复杂,也是产业结构、部门类型变化最大的领域。

工业 1.0 时代,机器体系之间的连接直接体现为马克思笔下的传动机。工业 1.0 时代的传动机构主要依赖皮带、齿轮和链条等简单机械装置,将蒸汽机产生的动力传递到各个工作机。从瓦特的油浸麻布、天然皮革皮带到硫化橡胶、帆布的应用,蒸汽机发明之后很长一段时期里,都是在解决蒸汽动力的传输损耗和蒸汽机—工具机之间的连接问题,这些材料的应用不仅提高了蒸汽机的效率和可靠性,还推动了工业革命的发展。继飞梭、珍妮纺纱机、水力纺纱机之后,1825 年,基于蒸汽驱动的自动走锭纺纱机的诞生大大推进了机器体系发展。1803 年英国自动织布机只有 2400 台,到 1829 年这一数字上升到 1.5 万台,1845 年时则增加到 25 万台。技术创新使动力织机与传统手织机的功效比上升至 7.5:1。^②

电气传动与大规模生产的工业 2.0 时代,是机器体系连接变化最大也是产业部门裂变最为剧烈的时期。电力的集中分布式体系,使发动机和工作机之间实现了最小距离的连接,电力

① 参见 International Renewable Energy Agency, “Renewable Energy Statistics 2024,” <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024>, 最后访问时间:2025 年 11 月 7 日。

② 参见马瑞映、杨松《工业革命时期英国棉纺织产业的体系化创新》,《中国社会科学》2018 年第 8 期。

依赖电线和电缆直接传递到各个工作机。这极大地提高了电动机的使用范围,加速了车间内的生产环节分工,进而导致企业间分工和社会分工的深化。发动机与工作机之间的传动效率的提高和传动距离的缩小,是流水线生产能成为普遍生产组织方式的关键技术原因,而大规模流水线生产又极大地提高了劳动生产率。1913年,福特公司通过流水线生产,将T型车的生产时间从12小时缩短到1.5小时。1908年,福特公司生产了约1万辆T型车,到1927年累计生产超过1500万辆,年产量从1万辆增加到约200万辆。单独就传动(连接)的意义看,电力时代的传动结构变化堪称是革命性的。尽管1869年就出现了直流电,但1899年以前,超过95%的机械力仍然来自水和蒸汽。单元驱动起步之后的三十年时间里,电力才逐步替代了传统能源,1929年,电力占据了所有能源动力的78%。^①

制造业的发展一直遵循着体积递减定律(The law of diminishing sizes)。因为体积递减不仅体现为动力和材料的分割趋于微型化和精准化,而且也意味着动力机、传动机和工具机的集成连接程度日益提高。在进入工业3.0时代之后,动力机、传动机和工具机集成连接程度的进一步提高,得益于传感器、执行器和控制器等智能设备的大量使用,实现了对生产过程的精确控制和实时监控。传动结构的自动化、电子化,是这一时期传动—连接变化的关键特征。而在进入工业4.0时代之后,传动—连接体系主要依赖物联网、云计算和人工智能等技术,实现对生产过程的全面监控和远程控制,工业3.0时代的自动化生产线、传感器和控制器依然存在,但通过人工智能、大数据的处理,自动化传动进一步升级为智能传动。(见表3)根据国际数据公司(IDC)的数据,2010年至2020年,全球物联网设备数量从约125亿台增加到约500亿台。智能工厂中采用了智能传动技术,通过数据分析优化生产计划,显著提高了生产效率和灵活性。

一些学者将马克思的“发动机—传动机构—工作机”中的传动机构从机器体系内的动力传动拓展到广义的,包含机器之间的物理连接、机器内部的信息连接、经济主体之间的信息连接甚至交通物流性质的空间连接,也并没有破坏马克思的原有理论。原因在于,当我们把连接拓展为物理连接和信息连接时,物理连接仍然只是马克思所讲的机器体系内的传导问题。例如,胡乐明等人就将工业3.0和工业4.0时代的机电一体化、智能生产、工业互联网、物联网等,全部等同于机器与机器之间的连接,这仍然属于马克思的传动机构范围。只不过这种动力传动需要更多的信息,从而使机器体系的动力调用可以随着时空条件的变化而更为精准地做出相应的变化。将经济主体之间的信息连接甚至将交通运输也视为传动机构的一部分,虽然明显不同于马克思本意的“传动机构”,但这种拓展却仍然可以在马克思的政治经济学框架中得到解释。

将传动机构拓展到经济主体之间的信息沟通、交通运输,是将整个的生产、交换、消费和分配视为一个整体系统看待。其中,经济主体之间的信息沟通、交通运输是在流通领域中产生的。在马克思主义经济分析框架下,流通成本依据其价值属性可划分为非生产性流通成本与

^① 参见 A. Atkeson & P. J. Kehoe, “The Transition to a New Economy After the Second Industrial Revolution,” https://www.nber.org/system/files/working_papers/w8676/w8676.pdf, 最后访问时间:2025年11月7日。

增值性流通支出两大范畴。前者根源于商品形态转化过程,其本质属于价值实现的必要支出而非价值创造环节,具体表现为商品交易过程中形成的交易协商成本、会计记录成本及货币流通成本等。这类费用虽不参与剩余价值生产,却通过加速资本周转效率而间接作用于市场价格形成机制。与之形成对照的是具有价值增值功能的流通支出,这类成本源自商品实体运动引致的生产延续性活动。马克思特别指出,仓储管理与物流运输等环节产生的合理耗费,实质上是生产职能在流通领域的空间延伸,其通过保存与提升商品使用价值实现了价值增值。以现代物流体系为例,运输作业不仅改变了商品的空间坐标,更通过专业化运作将新增价值凝结于商品之中。从历史发展的维度观察,运输技术的机械化革新虽显著降低了单位商品的流通成本,但全球市场扩张带来的远程贸易需求,却使社会总运输支出呈现出规模递增的态势。这种技术效率提升与总量扩张的辩证运动,深刻体现了资本主义生产方式下流通领域的内在矛盾与发展逻辑。

表3 工业 1.0—工业 4.0 的传动—连接变化与对应产业

工业时代	萌生的标志性事件	高峰期事件	传动机—连接方式	对应的产业
工业 1.0	1785 年埃德蒙·卡特赖特发明水力织布机	蒸汽动力机车“火箭号”(1829 年)	工具机的内部连接	制革、轴承
工业 2.0	1870 年世界上第一条生产线出现在美国辛辛那提	基于电力的单元驱动方式占比超过 90%(1930 年)	由动力机、传动机和工具机所组成的机器体系整体连接程度的提高	精密轴承、电网
工业 3.0	1969 年 PLC(可编程序逻辑控制器) Modicon 084 诞生	20 世纪 90 年代互联网的广泛使用,工厂全球化时期	机电一体化、模块化生产、电子生产控制系统(EPCS)	电子信息技术
工业 4.0	博世和西门子的智能工厂	有待观察	基于先进数字生产(ADP)的解决方案,信息物理系统(CPS)、带数据分析的 M2M 射频识别系统在形成智能分析指令的过程中实现基于数据实时反馈的智能决策系统	人工智能、云计算与边缘计算、5G 技术

因此,将传动机构拓展到交通信息,虽然超越了马克思对机器体系的论述,但是却不影响在政治经济学分析框架内对产业结构发展复杂化的揭示。交通运输业、金融业、商业等产业形态日趋复杂化,不仅体现在交通信息技术的飞速发展中,更映射出工业革命以来生产部门的复杂化和现代化。从相关的交通、信息历史数据看,与以“发动机—传动机构—工作机”为表征的历次工业革命也基本上是同步的。

以英国为例,1760 年—1830 年,也即英国第一次工业革命的水力技术革命浪潮时期,英国的公路建设呈现出两个高峰时期。一是 1750 年到 1760 年,建成公路里程 10000 英里左右;二是 1770 年到 1840 年,主要集中建设伦敦、曼彻斯特和伯明翰等主要城市周边的稍次要道路。^①

① R. Brown, *Society and Economy in Modern Britain 1700 - 1850*, London: Routledge, 1991, pp. 132 - 133.

而水路建设则集中在1750年—1830年。至1830年,英国运河建设基本结束,全国水运网建成,累计建设4000多英里的航行水道。^①在蒸汽机大规模投入使用之后的煤—铁—蒸汽时代,英国的交通运输也同步发展,在1830年—1870年期间集中爆发,标志性事件为1829年的“火箭号”采用了蒸汽机车,^②引发了对铁路的投资热潮,此后铁路迅速取代公路和运河,在长途货运和客运中取得了支配地位;^③英国的大规模铁路建设以1870年为结束点,英国本土的铁路建设已经接近饱和。^④从数据来看,1861年—1870年英国铁路运营里程数增加了约43.70%,而1871年—1880年铁路运营里程数仅增加约14.65%。^⑤

(三) 工作机—材料

真正复杂的问题,是如何理解从马克思提出的“工作机”概念向“材料”范畴的深层逻辑延伸。在马克思的经典论述中,“工作机”特指工业革命时期出现的机械化生产设备,其核心功能在于替代或辅助人类手工劳动。马克思将工作机而非蒸汽机视为工业革命标志的关键在于:工作机直接介入使用价值的生产环节,通过刀具、针头、锤子等具体形态实现对人类劳动意向性的具象化替代。例如,1764年发明的珍妮纺纱机,是通过多轴联动设计使单个工人可同时操控多枚纱锭;1785年设计的水力织布机,是用水轮动力系统替代手工操作;1846年发明的缝纫机,则是通过曲柄连杆机构将缝纫动作标准化。

从技术史视角考察,工作机械系统的革新呈现出三阶段螺旋式演进:第一阶段是机械化商品生产(1760年—1840年),以机器替代手工制造为特征,如詹姆斯·纳皮尔1839年发明的蒸汽锤将锻造效率提升百倍,推动标准化零件生产;第二阶段是机械自我复制(1840年—1940年),随着约瑟夫·惠特沃思1841年螺纹量规的标准化,机床工业形成闭环生产体系,实现“用机器制造机器”的质变;第三阶段是自动化控制系统(1945年至今),数控机床与工业机器人的普及使机械系统具备自适应调节能力。这种技术谱系的演进本质上是通过迭代创新持续突破生产工具的效能边界——从最初单机效率提升,到生产工具的自衍生能力,最终形成人机协同的智能生产网络。(见表4)

工作机和材料的辩证关系在于:当工作机将劳动对象从自然材料转向标准化工业原料时,材料本身的性质(如钢铁延展性、纺织纤维强度)开始反作用于机械设计和制造。而资本有机构成中固定资本比重的持续攀升,既推动生产组织从工场手工业向流水线工厂转型,又通过剩余价值实现机制重塑劳资关系。工作机的技术进化绝非单纯的工艺改良,而是始终嵌入在社会

① J. Langton & R. J. Morris *Atlas of Industrializing Britain 1780 - 1914*, New York: Methuen, 1986, p. 85.

② 参见萧国亮《世界经济史》,北京:北京大学出版社,2007年,第202—203页。

③ 参见萧国亮《世界经济史》,北京:北京大学出版社,2007年,第203—203页。

④ 参见J. 克拉潘《现代英国经济史(中卷) 自由贸易和钢 1850—1886》,姚曾懋译,北京:商务印书馆,1975年,第252—253页。

⑤ 参见B. R. 米切尔(B. R. Mitchell):《帕尔格雷夫世界历史统计 1750—1993》(欧洲卷),贺力平译,北京:经济科学出版社,2002年,第711—714页。

化大生产的价值循环之中——它既是生产力突破的物质载体,又是生产关系变革的技术具象。

表4 工业1.0—工业4.0的工具机变化

工业时代	工具机革命	时代	典型工具机
工业1.0	机器制造商品	18世纪60年代— 19世纪中期	1764年由詹姆斯·哈格里夫斯发明的珍妮纺纱机 1785年由埃德蒙·卡特赖特发明的水力织布机
工业2.0	机器制造机器	19世纪末—20世 纪中期	19世纪末尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla)的交流电 动机和弗兰克·J.斯普拉格(Frank J. Sprague)的 直流电动机、传统机床
工业3.0	机器控制机器	20世纪后半叶— 21世纪初	20世纪50年代,美国麻省理工学院(MIT)发明的 数控机床、1958年Unimate工业机器人量产
工业4.0	机器智能化、软件化、机器 生成服务、知识和创意	2010年至今	3D打印、ChatGPT

不过,按照“生产的使用价值不同,则工作机不同”的划分方法,我们就很难找出工作机变革所对应的产业部门。一些学者之所以将工作机延伸为工作机所操作的材料,一方面是为了避免陷入这种描述种类过多的困难,另一方面也是因为在马克思关于机器大工业的论述中,也预见性地提出“发动机、传动机构和工具机的规模日益扩大;随着工具机摆脱掉最初曾支配它的构造的手工业形式而获得仅由其力学任务决定的自由形式……难于加工的材料日益不可避免地被应用,例如以铁代替木材”;^①这也就是说,工作机的进步,就直接体现在加工对象的范围扩大上。工作机的强度越大,能够使用和加工的材料种类越多,开发利用的新材料种类越多,机器设备的效能就越强。

将工具机拓展为材料,虽然便于观察,但也很容易忽视“发动机—传动机构—工作机”三者中的决定性因素。马克思之所以认为工作机而非发动机是工业革命的标志,在于他认为,人类所使用的工具本来就既包括作为动力的工具,又包括作为手工工具的工具,正是后一类工具的变革使得机器的产生成为可能。只是机器要成为机器,还需要动力的变革,要使得同一动力能驱动更多的手工工具。马克思因此明确指出“正是工具机的创造才使蒸汽机的革命成为必要”。^②在之后论述水车、飞轮的时候,马克思还强调,传动机构的改进实际上是为了解决动力传输中的不均匀、不规模和不经济的问题。因此,从三者的关系上看,只是在工具由人的有机体的工具转化为一个机械装置即工具机的工具之后,发动机才取得了一种独立的完全摆脱人力限制的形式。于是我们以上所考察的单个的工具机就降为机器生产的一个简单要素,现在一台发动机可以同时推动许多工作机,随着同时被推动的工作机数量的增加,发动机也在增大,传动机构也随着扩展为一个庞大的装置。^③

① 《马克思恩格斯文集》第五卷,北京:人民出版社,2009年,第440页。

② 《马克思恩格斯文集》第五卷,北京:人民出版社,2009年,第432页。

③ 参见《马克思恩格斯文集》第五卷,北京:人民出版社,2009年,第440页。

这也就是说,在马克思关于机器大工业的论述中,是工具机的发明和应用引发了能源需求和传动改进的需求。蒸汽机出现之前,已经有了蒸汽动力的社会应用,但没有类似珍妮机的工具机革命,就没有对动力的足够需求,也就没有动力机和能源体系的发展与变化。从第二次、第三次工业革命的发展过程来看,同样没有跳出工具机革命引导动力机革命的逻辑,而一旦动力机(能源体系)能够匹配和满足工作机的生产需要,整个工业体系的规模和效率就能得到极大提升。^①蒸汽机之所以替代水力,是因为在类似珍妮机的大量工具机可以节约人力的前提下,需要克服工厂选址的空间制约;集中分布式的电网电力之所以替代单独的工厂蒸汽机,是分散式能源难以满足工业生产的分工深化和规模发展。历史地看,社会对能源的旺盛需求是由工具机的类别丰富和性质变化来激活的。尽管动力机和工具机的革命是互相促进的关系,互为动力,互为基础,但绝不是动力机革命决定工具机革命,而是工具机革命影响动力机,工具机的应用需求拉动能源体系变革。

三、新质生产力对现代化产业体系的新要求与新方向

基于马克思关于机器大工业特征的“发动机—传动机构—工作机”论述,结合拓展之后的“能源—连接(信息连接、交通物流)和材料”分析框架,我们认为新质生产力的发展仍将围绕着绿色能源体系、智能生产乃至智能流通而展开,易言之,新质生产力的核心在于“绿色”和“智能”的结合。绿色生产力强调资源的高效利用和对环境的保护,而智能生产力则依赖于信息技术和自动化技术,实现生产过程的优化和管理的智能化。这两者的结合不仅能够提高生产效率,还能减少对自然资源的依赖,降低环境污染。但“绿色+智能”的结合,也意味着新质生产力的产业体系在发展要求、内容和重点上有所不同。

(一) 绿色增长对低排放、低废弃和低损耗的新要求

无论是马克思关于机器大工业特征的“发动机—传动机构—工作机”论述,还是在此基础上拓展的“能源—连接(信息连接、交通物流)和材料”分析框架,都忽视了新质生产力对工业生产的绿色化、低排放和低废弃的要求。而这种绿色化、低排放和低废弃还要带来新的增长点、形成新的使用价值,这就对新质生产力所涵盖的产业领域及其内部关系提出了新的要求。

早在1992年,新熊彼特学派的弗里曼提出了绿色技术—经济范式(Green Techno Economic Paradigm)这一概念,^②认为信息通信技术革命使经济增长和环境保护两者可以兼容,其原因在于第四次技术革命浪潮的大规模生产和大规模消费建立在廉价能源和材料的基础上;但信息

^① 参见 W. D. Devine, “From Shafts to Wires: Historical Perspective on Electrification,” *Journal of Economic History* 43(2), 1983, pp. 347–372.; N. Crafts, “The Solow Productivity Paradox in Historical Perspective,” *Social Science Electronic Publishing* 2002, pp. 561–562.

^② C. Freeman, ed., “A Green TechnoEconomic Paradigm for the World Economy,” *The Economics of Hope: Essays on Technical Change, Economic Growth and the Environment*, London: Pinter Publishers, 1992, pp. 190–211.

通信技术改变了传统技术—经济范式的关键特征,灵活的生产模式可以实现能源和材料的节约,在信息通信技术条件下,浪费不仅是可以避免的,甚至对浪费的遏制本身也可以成为新的财富来源。2014年,佩蕾丝又在弗里曼的基础上进一步提出了“智能绿色增长”(Smart green growth)概念,^①并将其定义为“增加无形资产在国内生产总值和生活方式中的比例,同时将全球变暖的威胁和资源限制转化为新的消费和生产模式的机会”。相较于弗里曼仅基于信息化技术的绿色技术—经济范式,佩蕾丝更为详细地论证了3D打印、纳米材料和以人工智能、大数据、物联网等为代表的新一代数字技术的发展对智能绿色增长的重要意义,认为随着第六次技术浪潮的逐步展开,尤其是智能化生产技术和清洁能源技术的进步,经济有可能实现去物质化(dematerialization)。

弗里曼的绿色技术—经济范式和佩蕾丝的智能绿色增长更多地建立在对新一代技术革命方向判断的基础上。从经济学的角度而言,绿色和增长的兼容,源于新技术的绿色创造效应和绿色修复效应。所谓绿色创造效应,即新技术本身可以创造出新的绿色经济领域和经济形态,如生物材料、医疗保健、数字化娱乐和教育培训等产业,以及本地生产、创意经济、共享经济等低能耗经济形态;所谓绿色修复效应,即新一代技术可以通过对传统高能耗、污染型产业的升级改造或者对环境的修复,重新创造出新的部门分工,如新型建筑材料对传统建筑材料的升级替换,资源的循环利用和废弃物的最小化。根据欧洲环境署(EEA)的数据,2020年欧盟的资源整体回收率达到了44%。^②循环经济不仅减少了资源的浪费,还创造了新的经济增长点。通过绿色创造效应和绿色修复效应,不仅可以创造出新的产业部门,带来就业和经济产出的增长,也可以实现新的使用价值类型的扩展。简言之,不仅绿色的存在就是财富本身,而且围绕着绿色存在而展开的一系列修复、维修和分享等活动本身也是财富创造的过程。

智能绿色增长要获得现实可能性,在技术进步和产业重构上有新的要求:

第一,清洁能源、可再生能源解决生产过程中能源体系的低排放,同时通过智能电网、高密度灵活储能解决能源利用的高效率。从能源体系的低排放发展看,2010年,风能和太阳能仅占全球发电量的4%,而到2019年,这一比例增加到了18%左右;2010年—2019年,太阳能光伏发电平均成本下降了81%,陆上风能成本下降了46%,海上风能成本下降了44%。^③在未来较长一段时间里,更多的技术进步需要在智能电网、高密度灵活储能领域中体现出来,唯有如此,才能避免形成新一轮的杰文斯悖论——更多的能量来源带来更多的能量消费。

① C. Perez, “Second Machine Age or Fifth Technological Revolution? Different interpretations lead to different recommendations——Reflections on Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee’s book *The Second Machine Age*,” <https://carlotaperez.org/wp-content/downloads/new-book/blog/the-second-machine-age/CP-second-Machine-Age-part-9.pdf>, 最后访问时间:2025年11月7日。

② 参见 European Environment Agency, “Waste recycling in Europe,” <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/waste-recycling-in-europe>, 最后访问时间:2025年11月7日。

③ 参见 The Frankfurt School – UNEP Centre, “Global Trends in Renewable Energy Investment 2019,” https://www.fs-unesp-centre.org/wp-content/uploads/2019/11/GTR_2019.pdf, 最后访问时间:2025年11月7日。

第二,生产方式和生活方式要实现从大规模生产、大规模消费向柔性化定制型生产和个性化、服务化消费转型。智能制造可以实现生产过程的自动化和智能化,通过智能化生产、数据驱动的决策、柔性制造和供应链优化,在实现制造业的高效、灵活和智能化的同时减少废品率和能源消耗。新的使用价值类型生产会更多地集中在新体验、新创意和新娱乐,如VR/AR、低空经济、数字服务、健康科技、教育科技和娱乐媒体等。从生产端看,就是要充分发挥数字技术在产品设计、生产精度和供需匹配上的智能优势,在匹配满足个性化需求的同时减少能源和材料的使用;同时通过平台经济、共享经济和租赁经济等,使闲置资源得以充分利用。值得注意的是,区块链技术 in 供应链管理和资源循环利用中具有巨大潜力。通过去中心化和不可篡改的特性,区块链可以提高供应链的透明度和可信度,减少资源浪费。

(二) 工具机的加工对象和最终产品向知识化、信息化方向转变

在工业1.0时代和工业2.0时代,不仅工具机是有形的,而且工具机加工的对象也是有形的。尽管也有创新和研发活动,但其价值形成过程会依附于制成品的全部生产活动,制造企业通过“干中学”形成的缄默知识、企业内部研发设计部门形成的可编码知识,往往和产品生产过程是合一的。进入工业3.0时代之后,知识生产不仅在过程上越来越独立,而且其产品形态也开始独立于实体产品。通过知识产权、专利等知识密集型产品,先发工业国在大量先进制造业从本土转移出去以后仍然可以控制全球产业链和价值链。尤其是工业3.0时代的后期,“以知识产权控制实体经济”“以上游知识产权的产品链条影响下游物质产品生产”,无工厂制造商已经成为一种普遍现象。

尽管新质生产力时代的智能制造设备如工业互联网、工业机器人、人形机器人等不断涌现,但在有形工具机的内部,还存在着无形的“工具机”,典型如生成式人工智能、算法、先进设备中的版权、技术标准等。如果说工业3.0时代实现了机器控制机器,那么在新质生产力发展的工业4.0时代,将会出现工具机的智能化、软件化,以及工具机的加工对象和最终产品向知识化、信息化方向转变。机器会自动生成知识和信息,而生成知识和信息的设备,尽管也依赖芯片、存储等硅基实体,但更多地依赖无形的算法、版权和技术标准。这是用固定的知识装置生产知识产品,进而控制有形的工具机生产的过程。这也意味着,尽管智能生产是新质生产力的典型标志,但必须要看到这种生产具有两面性:一方面,智能生产对于能量的低排放、高效率有更高的要求,但在这一过程中,高算力需要高能耗,高能耗需要低排放,三者之间存在着权衡交替关系(trade off)。另一方面,发展新的生产力不能仅仅只看制造体系的智能化,还要看将其分离为有形的智能制造和无形的智能制造控制。如果不能控制无形的智能制造,有形的智能制造仍然会处于“为他人打工”的境地,而难以实现价值链地位的提升和产业体系的现代化、高级化,进而出现产业链的高配置、低附加和产业体系的形高实低的幻象。

结合工具机的上述变化,在发展新质生产力过程中,尤其需要重点关注:

第一,构建知识生产基础设施,强化知识型工具机的自主可控性。智能制造是新质生产力的典型标志,而智能制造的软硬件融合发展则是实现这一目标的必然途径。在工具机智能化、

软件化的趋势下,传统的有形工具机与无形的软件、算法等紧密结合,形成了新的生产模式。推动智能制造的软硬件融合发展,不仅有助于提高生产效率,还能促进产业链的协同与优化。这意味着生成式人工智能、算法模型、技术标准等无形的工具机将成为控制实体制造的关键。要打破其核心技术被先发国家垄断的局面,尤其需要关注知识型工具机的底层技术研发,包括生成式人工智能的算法架构、训练数据质量优化等基础领域,并建立从专利布局、技术标准制定到商业化应用的全周期管理体系。同时,政府也应出台相关政策,鼓励技术创新,优化知识产权保护环境,为制造业的转型升级提供有力支撑。

第二,重塑智能制造能源体系,破解高算力—高能耗—低排放的三角困局。在新质生产力时代,智能制造的算力需求正呈指数级增长,党的二十届四中全会审议通过的《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“坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,坚持智能化、绿色化、融合化方向,加快建设制造强国”。“加快建设新型能源体系”体现了产业升级与生态改善相统一、经济发展与绿色转型相促进的系统思维。对此,一方面要加快算力基础设施的绿色重构,推动液冷服务器、光子芯片等低碳技术规模化应用,引导企业采用先进节能工艺与设备,从生产端降低智能制造全流程能耗。另一方面,政府应强化政策引导与激励,通过税收优惠、专项补贴、绿色信贷等组合工具,撬动企业向绿色低碳方向转型。

结 语

历史上的三次工业革命在发生发展过程中都曾引起产业结构的深刻变化。新质生产力时代,围绕着绿色化和智能化,产业的深度融合和转型升级将持续展开。产业结构将呈现出明显的产业融合与跨界发展的趋势,如农业与工业的融合、工业与服务业的融合;新兴产业的崛起和传统产业的转型升级,如服务业的多元化、数字化;清洁能源产业、生物技术和生命科学的发展,使得产业结构更加多元化和复杂化。

马克思关于机器大工业的论述为我们理解现代化产业体系的变迁提供了一个基准框架,结合工业革命以来现代工业的发展历史,在拓展的理论框架基础上,我们对新质生产力导向下的产业体系变迁得出了如下的判断:“绿色+智能”是总体的新质生产力发展方向,涉及其中的能源体系和工业生产的清洁化、绿色化和智能化转型。作为一个整体的产业体系,能源体系、交通通信和工具机的变革三者密不可分。但“用什么生产”仍然是决定性的。在新质生产力发展的过程当中,不仅要关注“智能+绿色”体系的有形体系,更要关注这一有形体系下的无形知识控制体系的建设,在知识定义制造的时代,既要攻克芯片、算法等硬科技,更要构建知识治理、能源协同、人机关系等新的软规则,才能真正实现产业链的实质性跃迁,从而在新质生产力的全球竞争当中获得可持续的竞争力。

责任编辑:白 林