

不确定性、信息生产与数字经济发展

杨虎涛, 胡乐明

[摘要] 信息的功能在于克服不确定性,数字经济的发展体现了通过信息克服不确定性以优化经济效率的技术—经济进路。工业革命以来,工业生产依次经历了机械化、机电化、电子化和光电化四个阶段,对信息的使用也从封装简单指令性信息、集成化、模块化发展到当前以数字化、智能化、全时空、多主体为特征的“数据+连接”信息生产体系。在这一过程中,企业内分工不确定性的消减与社会分工不确定性增加的矛盾,构成企业不断扩展信息生产体系边界的动力,对信息的使用也逐步从对单个机器设备、机器体系的指令封装,发展为涵盖生产过程和交易过程的多主体“数据+连接”的体系。以大数据、云计算和5G等新一代数字技术为代表的数字经济的本质,是通过“数据+连接”方式建立一个将数据从资源转换为信息的信息生产体系,在更大的时空范围和更广泛的经济主体间消减经济活动的不确定性。

[关键词] 数字经济; 信息生产体系; 数据连接; 不确定性

[中图分类号]F420 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2023)04-0024-18

DOI:10.19581/j.cnki.ciejournal.2023.04.001

一、引言

信息通信技术(ICT)革命深刻地改变了经济活动的内容和生产组织的方式。在经历了计算机化(Computerization)、互联网化(Internetization)之后,数字技术正处在多领域集中爆发期,随着人工智能、5G和物联网等多种技术的广泛运用,数字经济的发展已进入万物互联的数字化和智能化时代。数字技术在进一步改变生产组织方式的同时,也对理论研究和政策制定提出了新的挑战。要尽可能缓解理论和政策的滞后,不仅需要分析数字经济已经呈现的代表性现象,例如,数据要素的配置机制和平台治理等,而且需要从“为何会有数字经济”这一层次上分析数字技术发展的动因及其影响,从而系统把握数字技术的发展趋势,在复杂的数字技术体系中抓住关键变量。为此,有必要从技术范式的角度出发,探究数字经济发展的底层逻辑。

技术范式可以定义为解决所选择的技术经济问题的一种模式,这些解决问题的方法立足于自然科学的原理(G.多西等,1992)。作为孕育技术—经济范式理论的元理论,技术范式理论有别于技术—经济范式理论的一个关键之处就在于,认为技术变迁既不完全内生于经济社会系统,也不是完全外生的。经济—制度—技术之间是一种协同演化关系,在受到其他系统影响的同时,每一个系统

[收稿日期] 2022-10-12

[基金项目] 国家社会科学基金重点项目“数字经济推动高质量发展的政治经济学研究”(批准号20Ajl004)。

[作者简介] 杨虎涛,中国社会科学院大学经济学院特聘教授,中国社会科学院经济研究所教授,经济学博士;胡乐明,中国社会科学院大学经济学院特聘教授,中国社会科学院经济研究所研究员,经济学博士。通讯作者:胡乐明,电子邮箱:hlm dx@vip.sina.com。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

也都有自己独立运作的规则,由此才出现了三者之间的协调和脱耦。在G.多西看来,无论经济系统对技术进步速度和方向的影响有多么强大,技术变迁的模式也不能被认为是完全内生的。尽管有强大的经济诱因,技术仍然保持着自身的规则和动力,这些规则和动力约束着技术发展的方向。新的技术范式反映了科学进步、制度因素和经济机制三者之间复杂的相互作用,后两者的作用仅仅是“聚焦和选择”,而前者则提供了技术发展的可能新方向和空间。从这一意义而言,对数字经济的分析,不可避免地要触及G.多西所指的技术体制或科技进步因素,才能更为系统地回答数字技术为何发生发展、数字经济为何呈现数字化、网络化和智能网络化的发展路径这类问题。正如阿维·古德法布等人在《数字经济的经济学分析》一书序言中所指出的那样,“数字经济学研究的突出之处在于对数字技术所起作用的理解”(阿维·古德法布等,2021)。

但是,关注技术进步中技术本身或科技因素,并不意味着将数字经济分析切换为工艺学研究,而是试图关注数字技术连续迭代的经济意义。因为科学原理上可行的技术,只有在能够满足特定经济需求且技术本身的使用经济可行时,才会被逐步“聚焦和选择”。从技术目的和经济意义上同时理解数字技术和数字经济的生成逻辑、发展过程,不仅有助于把握数字经济和数字技术的发展趋势,也能为政策的时效性和前瞻性提供理论基础。从技术范式传统出发,关于数字经济的底层逻辑包含了如下主要关键问题:关键性技术变迁是什么?这种技术变迁解决了什么技术—经济问题,在解决一种特定的技术—经济问题的同时,形成了怎样的新的技术—经济问题,从而使其连续性发展成为可能?在这些问题中,明确技术—经济问题是根本性的,因为其不仅决定着数字技术变迁的方向,也构成了数字技术,进而数字经济何以可能、为何如此的底层逻辑。

余文安排如下:第二部分提出核心概念和分析框架,第三部分讨论工业革命以来信息生产体系的发展及其动力,第四部分分析信息生产体系的特征,最后就本文的研究提出政策启示。

二、核心概念与分析框架

1. 核心概念

经济学对不确定性的认识可分为两类:一类是起源于斯密、门格尔,并被奥地利学派如米塞斯、哈耶克和沙克尔,以及阿罗、凯恩斯和奈特等发扬的原教旨主义不确定性。在持原教旨主义不确定性观点的学者看来,世界在本体论和认识论上都是不确定性的,不确定性是经济演变的主要动力。另一类则是以博雷尔、萨维奇等人为代表的概率主义不确定性。在概率主义框架内,不确定性可以被理解为一种可概率计算的风险形式,从而可以有效地通过模型方式处理。在原教旨主义者看来,由于时间不可逆,概率化的遍历性假设前提无法成立,而经济世界的信息又是分散的、异质的,因此,任何概率化处理都违背了不确定性的本质。原教旨主义和概率主义的分野,在很大程度上也体现了非正统经济学如奥地利学派、演化经济学与主流经济学在方法论上的区别。

但是,无论不确定性是否可以被概率化,都不影响企业决策需要更多的信息以有助于提高预测准确性这一行为选择。不确定性可以进一步细分为:①完全不知道概率;②不知道概率,但拥有一些信息可以估算概率;③完全知道概率;④不仅知道概率,而且知道概率的取值为0或1。其中,①属于不确定性,③即为奈特意义上的风险,②介于风险与不确定性之间,④属于确定性。对于企业而言,在其决策过程中总是尽可能获取更多信息,以摆脱①的状态,使自己认为自己处于②、③、④的状态(雷国雄,2012)。易言之,世界的不确定性本质并不影响个体试图提高确定性的努力以及自认为减少了不确定性。从这一意义而言,尽管概率化与不确定性的本质不相容,但企业消减不确

定性的手段只可能依赖于优化信息,从而提高概率预测的准确性。

正因如此,诸如阿罗和西蒙等经济学家虽然坚信不确定性无法被根除,但同时也认为,不确定性是无知的一种形式,它源自我们对待世界的方式。按照这种理解,不确定性不仅影响经济主体的决策,也影响经济活动的效率,能较其他主体更早、更高效地克服不确定性的经济主体,必然能获得经济租金。就本文的分析而言,企业建立信息生产体系,通过大量数据和模型去预测未来事件的目的,在于降低决策时所面临的风险。当前人工智能的核心技术,机器学习的核心要旨,也仍然是概率处理。但是,无论数据和算法如何,都不意味着企业可以彻底克服或清除不确定性,更不意味着世界不确定性的本质会改变。正如马歇尔、米塞斯等人所认识的那样,经济活动直接或间接地改变了知识,而知识的每一次改变,都为行动的改变创造了条件,这又进一步导致知识的改变,在无数匿名经济主体组成的经济世界中,这种改变是永无止境的,因此,人们对这样的改变完全无法预测。

尽管世界本质是不确定的,但行为主体在决策时要寻求确定性,而提高确定性的手段是信息。信息可以有多种存在形式,例如,文字、语言、数据等,在促进社会合作的意义上,广义的信息还包括习惯、习俗和制度等。不同形式的信息,其生成和传播的途径也不一样,如语言需要人际互动,文字则可以依托主体之外的其他载体实现更长时间和更大范围的传播。信息形式多样化和复杂化的过程,也折射着人类经济社会的发展。

信息和能量一起,构成人类技术进步的两条主线。人类征服自然改造自然的过程,可以视为人类将不可直接使用能量转化为可用能量的过程,而信息则可视作组织和调动能量的法则(瓦茨拉夫·斯米尔,2021)。物理学家约翰·阿奇博尔德·惠勒甚至认为,一切都是信息——万物源自比特(It from Bit),因为,所谓的实在(Reality),是在对一系列“是”或“否”的追问综合分析后才在脑中成形的。所有实体之物,在起源上都是信息理论意义上的,而这个宇宙是观察者参与其中的宇宙。因此,整个宇宙可以看作一台计算机——一台巨大的信息处理机器(詹姆斯·格雷克,2013)。这里,惠勒强调的是在起源、存在的本体论意义上信息的作用,而在人类生存和发展的过程中,作为组织和调动能量的法则,信息的生产和应用也需要付出成本,如时间、人力、搜寻、计算等,这些成本最终均可以换算为能量成本,这样,信息—能量之间就存在一种权衡取舍:只有在一种信息本身耗费的能量成本小于其所节约的能量耗费时,信息的使用才是经济的;如果一种信息本身耗费的能量相对于其作为法则所节约的能量而言是不经济的,那么这种信息即使在技术上是可能的,也不会被市场所选择。由于信息量函数与事件概率成单调递减关系,为了尽可能节约信息成本,以最小比特值确定事件发生的概率,就需要尽可能使信息获得规模化使用,即通过累积对某件或某类事件的信息,降低此后同类型事件处理的信息需要量。这就构成了信息应用的两个突出特征:为了使比特值更小,需要累积更多的相关信息,并尽可能剔除冗余信息;为了使信息更经济化的使用,就需要尽可能把信息固定下来,成为规则性的指令。由此,信息也就表现出初始固定成本较高但边际成本递减、初始收益较小但边际报酬递增的典型特征。

虽然从广义而言,人类文明史也是一部信息发展史,但以企业为主体,有目的针对性地去获取、生产信息并应用于经济活动,则始于工业革命之后。正如马克思在分析工具与机器、手工生产与机器大生产的区别时所指出的,“工具是简单的机器,机器是复杂的工具”,“从经济学的观点来看,这种说明毫无用处,因为其中没有历史的要素”^①。简单工具只是人手的延伸,而工具机和机器体系

^① 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第二十三卷),北京:人民出版社,1972年,第409页。

则是作为整个机构的一部分,“人能够同时使用的工具的数量,受到人天生的生产工具的数量,即他自己身体的器官数量的限制”^①。珍妮纺纱机发明的目的就是要克服人类操作活动所受到的器官的限制。同样,尽管人类使用信息的历史可以追溯到史前阶段,但讨论信息生产体系却只能以工业革命为起点。只有在工厂制度确立之后,信息体系才是作为整个生产机构的部分,而非人身体和大脑的从属而发挥作用。

2. 分析框架

数字技术以及数字经济的发展,可以在马克思关于企业内分工和社会分工(即两类分工理论)的理论基础上得到解释。马克思将分工区分为企业内分工和社会分工两种类型。在企业内分工中,资本家总是力图取得确定性,通过经验“保持比例数或比例的铁的规律使一定数量的工人从事一定的职能”;而在社会分工中,则是“偶然性和任意性发挥着自己的杂乱无章的作用”,从而“在资本主义生产方式的社会中,社会分工的无政府状态和工场手工业分工的专制是互相制约的”^②。之所以存在这种矛盾,是因为对于社会分工来说,劳动者及其生产资料在部门或行业间的分配,是通过价值规律的作用,自发地形成彼此之间的比例体系。但在企业内部分工中,资本家的主要任务是“使许多人的同种作业具有连续性和多面性”^③。普遍认为,马克思关于两种分工矛盾的论述旨在强调社会化大生产和生产资料私人占有之间不可调和的冲突,但容易被忽视的是,马克思的这一洞见同时也蕴含着分工与不确定性之间的经济逻辑。

数字技术以及数字经济的本质,是规模化、智能化地采集、生产和使用信息。信息的主要功能就是消除不确定性,企业建立信息生产体系的主要目的之一,就在于克服经济活动中的不确定性,这种不确定性既来自生产过程,也来自市场交易过程。为了使信息得以标准化、规模化使用,企业努力将信息“封装”或“固化”为指令(Instructions),现代工业从最初的工具机发展到机电一体化、模块化,就是这种封装、固化指令的典型表现。从马克思的两类分工理论出发,不难发现:从社会生产的意义而言,企业封装指令性信息越成功,其生产环节的可分性(Unbinding)就越高,企业内分工进而在一定规模上引致的社会分工就越细化,从而企业面临的两类交易——康芒斯意义上的管理交易(Managerial Transaction)即企业内的层级管理与控制,以及买卖交易(Bargain Transaction)即市场交易,这两类交易的不确定性也就越高。这就需要企业通过涵盖更多主体、更大时空范围的信息生产体系去消减这种不确定性,这又将进一步引起企业内分工,从而社会分工的深化。这种企业内生产环节确定性提高带来的企业交易环节不确定性提高的矛盾,在深化分工水平、提高经济效率的同时,也构成了推动信息生产体系发展的动力。易言之,生产环节中只能在劳动资料中“封装”人一物知识,以获得劳动者作用于劳动对象的确定性;但交易环节,无论是企业内管理还是企业间、企业与消费者之间的市场交易中关涉的人一人知识,却会随着交易范围扩大和交易主体增加日趋复杂,而这种不确定性难以像生产环节那样通过在劳动资料中“封装”信息来消减。企业为力图消除生产过程和交易过程的不确定性,需要不断将信息体系的边界扩展,形成涵盖主体范围更多和时空范围更广泛的信息生产体系。在这一意义上,当前以人工智能、物联网和大数据为代表的数字经济形态,

① 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯文集》(第五卷),北京:人民出版社,2009年,第430、431页。

② 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第二十三卷),北京:人民出版社,1972年,第394、395页。

③ 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第二十三卷),北京:人民出版社,1972年,第366页。

就是企业在克服不确定性的过程中,信息生产体系演进到数据化、智能化和及时化阶段的一种高级形态。

现代经济体系中的企业内分工,以及由此而衍生出的社会分工,远比马克思所描述的更为复杂和丰富,但两类分工的内在矛盾始终存在。只要存在以下分野:社会交换是通过“一种内在联系把各种不同的需要量联结成一个自然的体系”^①,企业生产是通过生产环节的紧密联系——“局部工人不生产商品。变成商品的只是局部工人的共同产品”^②,企业所面临的生产组织问题和社会交换问题就必然存在不确定性“质”和“量”的区别。在现代企业的生产组织过程中,企业面临的问题早已不再是分工小组和机器的比例数,其解决方式也不是“先是由实践而后是由思索确定”,而是通过对机器体系、加工对象封装指令性信息的方式,获得对生产过程更好的控制。通过这一过程,企业可以将复杂劳动转换为简单劳动,完成马克思所说的劳动者从“操作者”到“看护者”的转换,从而通过生产环节的集成化、模块化、程序化提高分工水平。但是,生产过程之外的市场交易却始终充满了“惊险一跳”的风险,为了降低市场“事后作为一种内在的、无声的自然必然性”^③的灾难冲击,企业不仅要消解生产过程的不确定性,还要试图获取更多市场过程的信息,将其转换为确定性指令。

不难理解,追求超额利润动机是企业不断投资信息生产体系的动力,为获得更高的确定性,企业会极力将“从事各种不同形式活动的比较复杂的劳动”消灭^④。从机械化到光电化时期,企业不断通过提高机械体系连接度、机电一体化等封装指令性信息的方式,以保障生产过程的可控性,使“各种不同过程的相互补充不是在将来而是在现在进行了,结果是商品在一端开始生产时在另一端就会获得完成形态”^⑤,为化解交易过程的不确定性,企业不断通过电话、电报、互联网和物联网等形式,力图使生产过程信息与交易信息同步化。企业内分工和社会分工之间的矛盾,促使企业不断扩大其信息生产体系的范围,并逐步形成包含商品生产、服务提供与消费者网络的“全纳”产业链(江小涓和靳景,2022)。

3. 基本观点

本文的基本观点是:从早期手工作坊到工厂制直至智能制造,从蒸汽时代发展到数字时代,生产方式发生了巨大改变。到数字经济时代,数据已成为关键性生产要素。从工业文明到信息文明的过程中,信息作为能量的调用法则,其降低不确定性的功能并未发生改变,但其作用方式和形态发生了重大变化。ICT革命之前,信息的规模化、经济化的使用主要体现在,通过在机器设备中封装指令性信息,尽可能在一个封闭系统中获得产出的确定性;ICT革命之后,信息生产体系的发展围绕“数据+连接”这两个关键领域展开,经过数字化、网络化、智能化的发展,逐步形成趋于全纳化、智能化的信息生产体系。

① 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第二十三卷),北京:人民出版社,1972年,第394页。

② 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第二十三卷),北京:人民出版社,1972年,第393页。

③ 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第二十三卷),北京:人民出版社,1972年,第394页。

④ 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第四十七卷),北京:人民出版社,1979年,第520页。

⑤ 参见中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局:《马克思恩格斯全集》(第四十七卷),北京:人民出版社,1979年,第317页。

从机器封装指令性信息,到计算机、互联网、移动互联网和物联网,以及大数据和人工智能,一种信息生产体系在克服原有生产方式所蕴含的不确定性的同时,也会引发新的不确定性,进而促使信息生产体系进行迭代演进。每一次不确定性的克服,都意味着信息生产体系的效率提升和范围扩大,每一次引发新的不确定性,同样也都意味着潜在的创新可能和新的市场机遇。当前,以5G、大数据、云计算和人工智能等技术为代表的新一代信息生产体系具有如下特征和趋势:一是日趋全纳化和智能化的信息生产体系在对物理世界进行全时空、全主体“复刻”的过程中,数据和连接之间会形成一种互激式增长,从而使数字产业化和产业数字化得以协同发展;二是数据中心以及人工智能将成为这一体系的关键,前者通过数据存储和算力分配的集中分布式架构,降低信息的单位能耗成本,后者通过在信息生产过程中植入、封装更多的指令性信息,提高信息生产效率;三是以人工智能为代表的新一代信息生产体系的功能不仅仅在于提供预测性信息资源,还可以通过复杂知识的探索、发现与组合产生新知识,为创新增长提供持续的动力。

三、从珍妮机到智能制造:信息体系在工业生产中的演进

按照主导技术的不同,工业技术史将工业史划分为四个阶段:18—19世纪的机械化时代,20世纪初开始的机电化时代、20世纪后半叶开启的电子化时代,以及目前正在加速发展的光电化时代(Best, 2001)。这四个时代分别与机械化、自动化、数字化和智能化对应。能量与信息的主线虽然贯彻整个工业史,但在上述四个阶段中有不同的表现形式。具体可概括为:机械化和机电化时代,企业通过信息降低不确定性的方式主要通过在机器体系中封装指令;进入电子化时代之后,信息形式才逐步从电子化到数字化、智能化,信息体系的覆盖范围也逐步扩大。

1. 机械化和机电化时代的信息封装

在马克思看来,工具机实现对人类劳动的替代,是工业革命或工业化的标志。从信息论的角度而言,珍妮机这类早期的简单工具机之于人手、机器体系相较于手工工具的进步,不仅在于节约生物能量,还在于通过在机器中植入或“封装”了一组“如果有A,就有B”的指令性信息,从而使生产获得了手工劳动难以实现的确定性。工具机的使用,无论是珍妮机还是精密机床,都使生产活动——从过程控制到所需投入和产出,相较手工时代更为确定,也更为标准。尽管珍妮机构造并不复杂,却体现了工业革命所依赖的观念体系,即牛顿和波义耳等人所倡导的机械论思维的三个基本要素:确定性、可拆解和标准化。在这种思维方式中,世界是可认知的、有规律的,一切物质现象的产生归因于某类物质载体的存在和物质之间的结构性作用。这一思维在生产中的体现,就是通过直接在机器设备中植入或固化指令性信息,获得产出的确定性结果。

在机器装置中植入或封装指令,是珍妮机之后一切机器体系遵循的基本原理。但在机械化、自动化、数字化和智能化四个阶段中,被封装的指令性信息的载体和信息格式并不相同。按照联合国工业发展组织对数字生产技术的划分,如果机器体系缺乏任何电子化基础,就只能称为模拟生产(Analog Production),这也是最不发达国家和低收入经济体的主要生产方式。这就意味着,在电子化时代之前,机器体系的封装信息主要体现在功率、转速这类物理性参数上;在电子化时代之后才逐步获得电子化、数字化形式的信息。尽管信息形式和载体不一样,但只要植入了指令性信息,就使机器体系获得了确定性:事件结果为1种,对应概率为1,信息熵为0。从珍妮机到机床,工业体系相对于传统手工业和服务业的优势,就在于能将包含确定性的指令、程序这类特定信息固化于机器体系内,以最大程度地消除生产过程中的不确定性。不同机器,如珍妮机和机床的差异,只是在于

技术递归层次的多少,但都包含了一系列“如果有A,就有B”这样的逻辑指令(阿瑟,2014)^①。正如阿瑟指出的那样,从本质上说,技术是对现象有目的的编程,大量现象被捕获之后就会封存在各种各样的装置中,并被重复使用。阿瑟对技术本质的这种判断,与罗默对技术的理解如出一辙。在罗默看来,技术就是一套制造商品的指令(Instructions),可积累、可复制,可以极低的代价被所有成员利用,具有非竞争性(Romer,1990)。

诸如珍妮机这样的工具机克服了手工生产难以标准化、流程难以控制的局限,在节约生物力的同时提高了确定性。但如果仅只是工具机层次上获得确定性,生产效率的改进仍然有限,因为最终产出并不是工具机单独作用的结果,而是工具机、传输机和动力机,即马克思所强调的机器体系的综合作用。作为实现人的目的的一种手段,技术通过组件的集成或组合来达成其目的。而机器体系各部分相互联系的关键,在于同步性(Synchronization)(Best,2001)。惟有如此,才能实现能量投入的细分和拆解。第一次工业革命中,从珍妮机到蒸汽机,都只是在单个机器设备上实现了确定性,但并未实现机器体系的同步性:珍妮机时代的主要动力来源仍然是水力,水力虽然是廉价能源,但工厂选址受限;蒸汽机实现了对动力系统的指令性信息封装,使人类第一次获得了可控的转换能源,使动力输出较之水力具有更高的可控性和空间灵活性,但蒸汽机依然秉承了水力时代的直接传输系统(Direct-drive System),不仅传输效率不高,而且无法实现生产过程中的动力拆解,在动力机、传输机和工具机构成的机器体系中,动力机无法按工具机的加工需要投放和调节动力输出,这就难以使能量生产和使用效率得到提高。因此,在第一次工业革命中,制造业不仅只局限在少数领域里,且其所表现出的威力远不如机电化时代。

封装指令性信息突破单个设备,从而使整个机器体系获得阿瑟意义上的“集成块或组系统之间的相互联系”或贝斯特意义上的同步性,始于电力单元驱动的大规模采用(胡乐明和杨虎涛,2022)。1900年起步的单元驱动(Unit-drive)不仅实现了动力分解,而且使动力机与工具机保持了最小距离,从而提高了机器体系的同步性。相较于机械化时代,机电化时代的分布式能源提高了机器体系的内部连接度,使机械布局和生产流程可以按生产需要的顺序来安排,生产环节可以按产品结构需要进行分解,从而极大提高了流水线装配和分工水平。而越是流动、越是分工,就越需要机器体系的同步,这就反过来需要更为紧密的机器体系,从而使同步障碍最小化。这就使机械化时代的简单指令性信息封装,逐步发展成为集成化的系统信息封装。继1930年单元驱动成为工业生产的主要连接方式之后,1948年自动生产线普遍化,1957年又出现了更大的、可以有限移动的机械集成系统。当不仅单个工具机,而且动力机和传输机都可以植入封装指令性信息,并实现机器体系的有效连接时,“使许多人的同种作业具有连续性和多面性”就有了更好的技术保障,这使第二次工业革命爆发出远比第一次工业革命大得多的增长效能。

2. 从电子化到数字化智能制造

半导体的发明使工业发展进入电子化时代。在20世纪60年代末开始计算机化之前,电子化改变了信息的存储方式,提高了信息封装的效率。计算机化则开启了信息的数字化进程,实现了数据的标准化读取、存储和复杂指令运算,也被称为工厂的办公室化阶段。这一时期,企业消除市场不确定性的手段依然是传统电报、电话等通讯手段,计算机化的应用主要在于生产手段的数字化管理

^① 阿瑟认为,技术具有递归性组合特征,无论多么复杂的技术,都按照层级结构逐步递归,技术是由不同等级的技术建构而成的,技术包含技术,直到最基础水平的技术。而无论递归的层级复杂程度如何,差异多么大,结构的本质是相同的。

和生产组件的“机电一体化”(Mechatronics)。与机电化时代的集成化相比,电子化时代通过电子元器件的数量增加和功能提升,可以在尽可能小的集成单元内构建技术模块,实现更多、更复杂的指令性信息封装。这不仅进一步提高了信息使用效率,同时还使机器体系获得了更好的同步性。将技术的构建模块化可以更好地预防不可预知的变动(阿瑟,2014)。微电子技术的飞速发展加速了这种封装进程,使工业生产的体积递减定律(The Law of Diminishing Sizes)得以充分展示。从20世纪90年代开始,生产组件和生产设备的模块化(Modularity)成为工业生产的主导形式,这极大地降低了生产的不确定性:在生产组件的模块化中,产品的复杂性被更多地包含在关键部件之中;在生产设备的复杂封装中,越来越多的技术也以指令性形式被封装在设备中,从而使产品越来越复杂的同时,生产过程的可控性和确定性却越来越高。

封装指令性信息越来越成功,生产过程的不确定性不断提高,同时也带来另外两类不确定性的提高,即企业内的层级管理与控制的不确定性(即康芒斯意义上的管理交易的不确定性)和买卖交易(即市场交易)的不确定性的增加。对于前一种企业内的管理交易,企业可以通过生产现场管理、组织架构重构等方式应对,其本质仍然是信息管理,其基础虽然仍然是马克思所说的“先是由实践而后是由思索确定”,但其内容和方法要比手工工厂时期复杂得多;以ERP为代表的现代生产管理方式的发展,本质上是企业在内部管理系统中植入、固化指令性信息,以在企业内的层级管理与控制中取得确定性。

在企业通过组织创新、管理创新和信息投资消减管理交易不确定性的同时,市场交易的不确定性却难以通过类似的方式消减。因为市场交易的信息并不来自企业内部,而是来自无数匿名主体的互动过程。相较于生产过程,市场的不确定性是开放的、全主体的、全时空的和动态的。相较于企业内生产过程可以实现有组织性,市场始终存在哈耶克所指出的分散主体和分立知识,特定时空和场景的知识始终重要,社会经济问题也因此才是一个“迅速适应特定时空之情势变化的问题”。按照信息论对不确定性的定义,系统中的状态数量即可能性越多,不确定性就越大;在状态数量保持不变时,如果各个状态发生的可能性相同,不确定性就很大;相反,如果个别状态容易发生,大部分状态都不可能发生,不确定性就很小。将指令性信息封装于机械、集成装置以及模块化之所以能有效提高确定性,就是因为通过系统封闭,使系统达到“个别状态容易发生,大部分状态都不可能发生”,无论是机械设备,还是机电一体化,都是力图通过封闭系统,使系统产出结果概率为1,信息熵为0。但对于市场交易而言,却是“系统中的状态数量即可能性越多,或状态数量保持不变时,各个状态的可能性相同”,也正是在这一意义上,不确定性构成了自由市场的根本特征。

这并不是说,从机械化、机电化到电子化时期,企业就完全没有应对市场不确定性的手段,而是相较于在机器内封装指令性信息,企业应对市场不确定性时缺乏类似的“封装”“植入”手段。事实上,从19世纪早期开始出现的各种信息手段的创新,如电报、电话,以及企业组织形态的变化,都折射出企业在既定技术条件下对市场不确定性的适应性变革。但无论何种手段,都无法获得关于市场的及时化、全主体、全时空的信息,信息传输速度和内容对消减市场不确定性作用有限。与此同时,从信息的经济性而言,这一时期,获取及时化、全主体、全时空的市场信息既无可能,也无必要,因为无论是捕捉、存储这类信息,还是通过运算将这种信息转换为指令,单位能耗都过于巨大^①。因此,在机械化、机电化和电子化时代初期,通过信息消除不确定性的手段主要是在机器体系中植

^① 以计算为例,巴贝奇的机械计算机包括上万个齿轮和1.5万个零件,重达数吨,完成运算所消耗的能量远超过手工计算的生物能量。

人、固化和封装基于科学原理的指令性信息,这一方式具有“一次封装、永久可用”的优势。

20世纪90年代之后的互联网发展,不仅使信息传输速度得到极大提高,而且实现了多主体在线。从信息作用看:信息来源的多样化、及时性不仅有助于提高交易效率,而且也有助于提升企业管理效率;微型化使机电一体化程度迅速提高,模块化组件生产得以发展,这实际上是通过高效集成的信息指令封装,化解了分工过程中带来的机器体系的不确定性。信息体系功能的提升,使过去集中在一个经济体境内的生产线可以分拆为数十道甚至上百道工序,并根据成本和效率指标分发给世界各地的生产商。这正是20世纪90年代以来世界分工体系从传统产品间分工发展为全球生产网络,形成工厂全球化(Globalizing Factories)的技术逻辑。但互联网时期的“数据+连接”系统仍无法接入全时空主体,完成全时信息的采集、分析与传输。尽管模块化可以通过封装复杂性提高机器体系的同步性,降低分工、外包而导致的不确定性,基于互联网连接的数据高速及时传输可以降低企业内部的管理成本,但“惊险一跳”所内蕴的不确定性始终存在。生产越发达,分工越精细,这种不确定性越高。对多主体、精准化、及时化的需求信息,始终存在旺盛的需求。

要获得多主体、精准化、及时化的信息,就要扩大信息体系的覆盖范围,提高传输速度和精确程度。随着移动互联、物联网等技术的发展,不仅更好地获取工业生产的全方位信息,而且同步交易环节的上下游企业、终端消费者的反馈也成为可能。只要具备足够快的传输速率,就可以对这种大范围、多主体的系统信息进行及时化处理;只要具备足够的数据、有效的算法和算力,就可以在预测基础上快速决策;只要信息生产的成本—收益经济可行,“全纳”信息生产体系就会得到逐步发展。不同于机器体系内的信息封装,也不同于人一机连接和机—机连接,新一代数字技术通过物联网、人工智能,将电子设备、加工对象、生产主体和消费主体整合到一个完整的网络物理系统中,形成覆盖性的信息体系,以尽可能对应不确定性产生的全部来源。以制造业的数字孪生为例,就是将全感测的工厂、机器或过程与其计算机模型进行比较,在虚拟世界中实时模拟真实世界中的运行,以实现生产过程和交易过程更好的控制,优化企业效率。

主观动机上对不确定性的消减客观上也达到了降成本、提效率的效果。在信息体系的电子化、数字化直至数智化的发展进程中,不仅生产投入、过程控制和物流追踪、财务管理等环节的可控性、科学性不断提高,而且相互衔接日趋紧密。在数字化技术影响下,不仅技术在设备和产品中的“封装”日趋复杂和精确,而且还为技术的综合开发和管理提供了接口更为一致、效率更高的途径,极大提高了企业生产、管理各个环节的集成度,联合国工业发展组织也因此把所有业务功能中都使用数字技术定义为集成生产(Integrated Production)的主要特征。在企业数字化过程中,不仅机器体系的植入指令获得更高的效率和更为统一的信息格式,而且依据业务流程和决策准则开发实现的企业软件系统也将企业组织管理和决策的惯例数字化,信息格式的统一和集成化处理为企业实现数智化奠定了基础。

新一代数字技术的功能指向,最终都服务于更有效率地用数据消减不确定性。云计算的本质,是通过共享计算和储存能力降低单个企业的数据投资成本;人工智能的本质,是提高从数据资源到思想的生产效率;工业互联网、工业App的本质,是使复杂的工业生产数据得以标准化传输,以实现数据资源的互补性;而5G的本质,是在人一物—机之间形成高速、低延时的连接通道;智能网络化制造的本质,是通过生产—流通各环节之间的及时化、全领域数据的获取,以及智能化运算,最大程度地消减不确定性。在这种生产方式中,企业能便捷地获取需求方的全样本及时数据,通过人工智能将数据资源转换为思想或指令,并最终通过数字化生产体系将此类指令与封装的机器体系对接,

完成精准量化及时生产,而需求方则可以通过数据通道接入“企业”——参与产品的设计、研发、产品定制等,这都为企业生产及时对接需求数据,进行有针对性的分析并做出最佳生产选择创造了条件。与此同时,数字化以及现代通信技术,也使企业监督、控制和管理供应链的过程分散化,并可以实现财务、技术、管理、市场营销与产品生产过程的同步。

表1展示了不同时期企业通过信息的规模化使用,如封装指令、建立控制系统等手段达到降低不确定性的不同方式。工业4.0在连接范围、信息来源和数据时效上已经有了质的变化,按照联合国工业发展组织《2020年工业发展报告》的观点,工业4.0的典型特征,在于信息系统覆盖范围和处理能力的系统性提升。具有嵌入式传感器、处理器和执行器的智能网络系统,旨在实时感知物理世界并与之交互和支持,这就可以将生产管理和市场交易全部置于一个连通的信息体系内。

表1 不同时期企业信息使用方式及其特征

工业时代	标志性事件	信息使用方式及其典型表现		
		生产过程(企业内)	管理交易(企业内)	买卖交易(企业外)
工业1.0	1784年爱德蒙卡特莱特发明力织机	封装简单机械信息使单个设备获得确定性	基于经验和现场计算	邮政
工业2.0	1870年世界上第一条生产线出现在美国辛辛那提	提高连接度使机器体系获得确定性	基于符号的视觉信息系统	电报、电话
工业3.0	1969年PLC(可编程序逻辑控制器) Modicon 084诞生	封装复杂指令性信息,提高机器设备和加工对象集成度,模块化形成	电子生产控制系统(EPCS)、企业资源计划(ERP)系统	计算机与互联网
工业4.0	2010年7月,德国政府通过《高技术战略2020》,2011年深度学习开始大规模使用	生产过程、管理交易与市场交易过程的全纳信息系统,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		

资料来源:根据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》等相关资料整理。

从珍妮机到工业4.0时代的智能制造,工业生产中信息体系的发展,不仅体现了工业生产方式的变革,也映射出马克思所论述的“两类分工”的矛盾。无论是珍妮机的简单物理装置,还是机电时代的集成化,以及之后的模块化和数控化,封装指令性信息越成功,生产就越具有可控性和确定性,这同时也意味着生产过程可拆分性的提高,而生产过程越是拆分,“惊险一跳”的不确定性程度也就随之提高。简言之,企业生产过程确定性不断提高的同时,也加大了价值实现的不确定性。化解这一不确定性的途径,就是提供覆盖范围更广、更为及时的市场信息。

四、信息生产体系的特征与约束

尽管上述分析对象为工业生产,但这并不是说信息生产体系的发展仅限于制造业。虽然在社会生产总过程当中,直接生产过程是社会再生产过程的起点,生产对交换、消费和分配起着决定性的作用。但在产业层次上,通用技术的扩散往往从成本一收益最为显著的领域开始。对于商业和其他服务业,同样存在着通过信息消减不确定性的逻辑。已有研究指出,互联网早期最为明显的效

应,就是搜索成本的降低,这极大地促进了基于互联网的金融市场、劳动力市场和零售市场的发展(Goldfarb and Tucker, 2019)。对市场交易过程不确定性的消减,不仅成为信息时代区别于工业时代的典型特征,而且也伴随着海量数据的产生与海量主体的连接。当前,5G、大数据和人工智能等技术正在实现对现实世界的“复刻”,其连接主体是“一切事物”(Mills, 2021)。新一代信息生产体系以“数据+连接”为特征,它极大地克服了经济活动中主体决策面临的不确定性,深刻地改变了经济活动的组织形式。

1. “数据+连接”——信息生产体系的关键

随着计算机技术的不断发展,处理大量数据并将其加工为可用信息的能耗大大降低;互联网技术的发展,也使数据获取、分析与反馈的范围不断扩大。这使得大规模生产即时化信息成为可能,以数据为内容、以连接为方式的“数据+连接”信息生产体系逐步形成。这一体系的形成,也使企业形成了不同于福特时代的标准化流程和计算机时代的自动化流程的自适应流程,而这种自适应能力是由实时数据而非预先设定的一系列步骤所驱动的(保罗·多尔蒂和詹姆斯·威尔逊, 2018)。以“数据+连接”为主要手段,力图通过获取全时空、全主体的实时信息来提高企业应对不确定性的能力,成为这一时期信息生产体系的主要特征。

在“数据+连接”的体系中,数据代表了信息,连接代表了通讯,两者的持续“往一返”形成一个不断变化的信息生产体系。“数据+连接”只是对这一体系发生领域的概括,其涉及的具体环节和组织形态则极为丰富和复杂。例如,根据技术发展特征,这一体系可概括为AI+5G,在架构特征上可概括为数据+平台+应用等。仅就数据而言,就包含了数据采集、存储、计算、分析等多个环节,涉及算力、算法等多个主题;而连接也涉及5G、工业互联网、基站设备、网络协议、云架构等多个领域。在“数据+连接”体系中,作为资源的数据时时刻刻都在产生,但将其转化为比特化的信息,则需要进行从物理性的采集到智力性分析的加工,如数据采集、数据标注、时序数据库管理、商业智能处理、数据挖掘与分析、数据存储、数据安全、数据交换等,这一系列活动构成了完整的数据产业链。而数据只有在完成从作为资源的数据,到格式化、可存储、可交换的数据,再到思想或指令的转换之后,才对消减不确定性具有实质性意义。因此, Jones and Tonetti(2019)严格区分了作为资源的数据和作为产出的思想,数据是用来产生思想的输入,是提高思想质量的手段。数据本身虽然并不直接等同于思想,但在生产过程中仍然继续有用,包括验证思想和继续产生新的思想。

“数据”必须与“连接”一起构成实时化的反馈回路,形成完整的信息生产体系,才能有效消减不确定性。数据和连接之间存在着一种“互激式”的依存关系:一方面,更多的数据产生对连接速度和连接范围的更高需求,连接速度的提升和连接范围的扩展,又意味着可以接入更多数据来源,承载更多数据;另一方面,连接范围的拓展和连接主体的增加,导致数据产出和数据需求不断增加,连接主体增加又不断强化梅特卡夫效应,使网络价值非线性增长,从而更易于纳入新连接主体。随着数据资源增多和数据需求不断升级,数据存储、传输和计算的技术也需要相应升级,由此产生了更为复杂的硬件制造,如更具能效比的数据存储读取设备、更高速率的数据传输设备和算力更优化的数据处理手段,从而推动“数据+连接”体系不断扩展。这进而对数据治理、协调和应用不断提出新的要求,衍生出大量相关制度、技术(如数据传输协议、区块链等)和商业模式(如平台经济)。围绕“数据+连接”而发生的技术变迁,构成了数字技术发展的主要轨迹。

进入万物互联时代,数据和连接两个领域均出现了根本性变化:

从数据看,在数据体量迅速增加、来源更加多样化的同时,对数据资源转换成有效信息的要求也更高。数据规模和来源的多样化固然重要,但数据资源丰富并不意味着信息产出就更有效率。数据协议、标准对统合数据资源,数据加工(尤其是人工智能芯片、算法等)对数据实现从资源到可用信息的转变,都起着十分重要的作用。人工智能与之前计算机程序处理的根本区别,就是不再依靠预先确定的符号和符号间的关系来帮助计算机理解这个世界,而是以世界为模型进行训练(保罗·多尔蒂和詹姆斯·威尔逊,2018)。人工智能系统的优劣,同时又取决于用来训练它们的数据,数据越优良,人工智能系统就越能在反馈中得到提升。在新一代“数据+连接”的信息生产体系内,数据实际上包含了封装指令信息的人工智能算法和数据来源两方面内容,两者的相互反馈使数据从资源到思想的效率不断提高。

从连接看,信息生产体系也经历了类似从直线驱动到单元驱动的过程。为了以更经济、更快捷的手段完成数据存储、加工与输出,需要形成类似于单元驱动一样的算力和存储的集中分布式连接,即以数据中心、边缘计算为代表的云连接方式。这一连接方式与之前的互联网、移动互联网有着本质的区别,正如同互联网与电话之间的区别一样(Mills,2021)。云不仅可以连接任何事物,而且基于云架构的集中分布式基础设施具有和电力的集中分布式能源体系同样的作用。不仅可以节约用户和企业终端设备的投入,在实现数据及时化处理的同时,还能最大程度地节约社会的信息能源总耗费。数据和算力的集中分布式架构之于新一代信息生产体系而言,正如电力时代的单元驱动之于制造业一样,由数据中心和边缘计算、物联网和终端设备之间形成的云、网、端结构,可以实现信息生产投入,包括能耗和算力的精准拆分,如同制造业按加工需求分拆动力一样。如果说分布式能源提高了机器体系的内部连接度,使机械布局和生产流程可以按生产需要的顺序来安排,那么分布式数据和算力架构则可以使信息生产过程按需要进行算力的精准投放,这就可以进一步提高信息生产的及时性和全面性。

2. 不确定性的消减——信息生产体系解决的技术经济问题

日趋复杂的“数据+连接”体系的最终目的,是通过建立从数据资源到信息、知识乃至智慧的信息生产体系,尽可能高效地消减经济活动(从生产到流通)中的各种不确定性。而不确定性是一个全时空、全主体问题,行为主体在任意时点、任意空间都可能产生不确定性;与之对应,如要最大程度地消除不确定性,就需要获得同样全主体、全时空的即时同步信息。这就要求数据的来源尽可能广泛、数据传输尽可能及时。更快、更准地获取更大范围、更多相关主体的多维及时数据,从中经济地生产出有效的信息,进而消减经济活动中的不确定性,这一原则贯穿了信息生产体系的发展过程。

数字经济的发展整体上呈现出范围不断扩展、连接主体不断增加、算力要求不断提高的特征。数字技术赋能各类产业以及各种经济行为,其本质是生产消费数据资源的收集汇聚和智能算法结果的回嵌应用。将所有消费和生产环节、所有空间物品及各类行为动作都数据化,实现数据全纳以及在此基础上的数据孪生和效率叠加是必然趋势(江小涓和靳景,2022)。在这里,数据基因之所以要不断“植入所有人类可感知空间和可感知行为”,就是要通过连接全主体、全活动和全时空的信息体系来尽可能覆盖任何可能产生不确定性的主体与时空。移动互联、芯片微型化、物联网和人工智能的发展,已使信息体系实现更快、更准地获取更大范围、更多相关主体的多维及时数据成为可能。移动互联的最大变化,在于摆脱了有线连接的空间限制,消费主体可以随时随地生成数据,因此,在时空覆盖、主体参与和及时性上较互联网时期有更大的突破,金融、电商、娱乐传媒等互联网时代就开始萌芽的新型服务业在这一时期开始迎来爆发式增

长。但对于制造业而言,这种消费端、流通端确定性程度的提高意味着双重挑战:一方面,流通资本一旦获得有效规模的消费数据,就可以独立地以数据+平台架构形成市场垄断,不仅具有比生产资本更大的博弈权力,而且可以在职能上向着生产资本延伸,进行服务型定制;另一方面,在消费信息来源更为及时、偏好展示更为充分的同时,与生产相关的物的数字化需求就更为迫切,消费信息如果不能与生产过程和最终产品的信息形成同步,这种信息对生产过程就毫无意义,相反还会加剧生产管理和决策的难度。多样化和及时化的消费终端信息对生产环节的信息结构形成了一种“倒逼”,使消费者和最终产品、机器设备等生产资料之间建立起有效的信息连接,就成为必需。在这双重挑战中,前者推动了服务业制造化;后者则对物联网、工业互联网等技术提出了更高的要求。

从20世纪90年代的互联网到移动互联网时期,信息生产体系在消减不确定性的功能发挥上具有明显的产业偏向性。对制造业中不确定性消解的功能低,而对金融业、文化、娱乐、广告传媒等服务行业的不确定性消减的作用更为明显。从直接的“减成本提效率”的效果看,从早期的互联网开始至今,数字技术带来的经济成本降低,集中体现在搜寻成本、复制成本、交通成本、追踪成本、证明成本上,这类成本的降低直接有利于促进服务业的发展,如金融、零售、旅游、航空售票、书店、影像制品等(Goldfarb and Tucker, 2019)。区块链这类新兴技术的应用,最大的优势也在于能很好地解决交易过程中的不确定性,化解交易主体的信息不对称问题。区块链技术极大地降低了传统交易过程中的两个关键成本,验证成本和网络成本,其中,极为低廉的验证成本可以获取关于过去的交易及其属性的信息,以及资产的当前所有权,而网络运作成本的低廉化则可以达到去中介的功能(Catalini and Gans, 2016)。

从根本上讲,数字技术之所以在服务业中的表现更为抢眼,主要是因为制造业和服务业的生产方式和产业特征不同。服务业的生产过程和消费过程是合一的,服务生产过程的信息化和流通过程的信息化也是一体的,但制造业则无法实现这种“合二为一”。长期以来服务业不同于制造业的产业特征,就是生产与消费过程具有时空同一性,生产主体和消费主体必须面对面,因此,难以被机器所替代。但互联网时代之后,诸如金融、影视音乐和广告等新型服务业的特征,就是可以通过数字化实现服务“物化”(Embodied Service)。物化的虚拟产品或服务或者被直接消费,如视频、音乐;或者通过物化虚拟产品的信息达成交易之后,再提供实际服务,如电商、外卖等。物化产品的虚拟生产过程复制成本近乎为零,这就可以有效地通过“合一”降低生产过程和流通过程的不确定性。与之相反,制造业虽然也可以依托“数据+连接”实现产品的虚拟化展示,但虚拟的制造业产品不能被物化消费,而制造业生产流程和分工网络更为复杂,产品异质性程度更高,因此,数据协调难度更大,格式标准、传输协议更为复杂,难以完成系统化、大范围的“数据+连接”,更不可能像服务业那样实现生产和流通过程的信息同步。对于制造业而言,虽然有在生产过程中通过机械、机电一体化、模块化等方式封装指令信息以降低不确定性的优势,但无论是企业间的相互需求、还是最终产品的消费需求,流通过程中不确定性的化解都需要更为复杂的即时化信息。面对消费者多样化信息时,制造业生产环节的调整难度更大,这也是为什么定制化生产只能出现在诸如服装等生产环节较为简单的行业的原因。因此,对于制造业而言,无论是互联网时代还是移动互联网时代,“数据+连接”体系的功能都是更多地体现在消除企业内部的不确定性,如生产过程和管理环节,但难以像服务业那样通过最终产品的虚拟化、数字化,一次性同时减少生产和交易两个过程的不确定性。正因如此,20世纪90年代的互联网技术对传统产业的渗透主要集中在金融、娱乐、零售等服务领域。有学者甚至认为,是金融化成就了互联网行业,而不是互联网行业造就了金融业

(Perez, 2009)。

尽管在服务业和制造业中的作用方式不同,但无论是在服务业还是在制造业,以及两者的融合发展过程中,信息生产体系的发展都体现出在消减一种不确定性的同时,引发另一种不确定性的发展逻辑。这一过程不仅使信息生产体系的覆盖范围日趋扩大,效率不断提高,也同时促进着分工深化与市场规模拓展。早期电商的兴起有效地化解了供需两端的信息不对称,但同时也引发了非面对面情形下的支付安全、双边信用与第三方担保等新的不确定性,在这类不确定性得到解决之后,又引发出消费者偏好、地理位置、支付能力的系统化分析与解决方案问题,跨境电商的支付、结汇退税、物流及海外仓问题等,在这种迭代演进的过程中,电商不仅在主体上发展出B2B电商、B2C电商、跨境电商、生活服务电商,而且发展出内容电商、兴趣全域电商等不同形式。在制造领域,继单个设备、单个部件的“指令封装”日趋高效之后,不同设备、部件之间的数据连通、即时化智能分析反馈就成为必须;在单个企业内生产流程的同步性不断得到提高的过程中,对生产管理的协调性也就提出了更高的要求;单个企业生产和管理的效率在得到确定性支持的同时,就要进一步消除上下游环节的不确定性,这就必然对产业链上相关企业的协作提出更高的要求,在全球生产网络中,通过互联网将散布在全球的机器人和传感器产生的数据(大数据)进行采集和分析,实现通用电气所刻画的“人与机器融合的世界”,就成为进一步消除不确定性的必然。随着连接企业数量的增加,以企业为中心的生产组织形态就会逐步向以产品为中心的分布式制造发展。

3. 信息生产体系的边界

基于“数据+连接”的新一代信息生产体系能否始终驱动经济增长?或者,信息生产体系是始终报酬递增还是最终会报酬递减?对这一问题,经济学界存在不同的看法。其中,比较有代表性的有两种, Jones and Tonetti(2019)等认为数据有助于直接提高生产力,因为数据是非竞争性的,且可自由复制,因而具有报酬递增特征;但 Farboodi and Veldkamp(2021)则持相反观点,认为当数据稀缺时,规模报酬递增,当数据丰裕时,规模报酬必然递减。从长期看,积累数据和积累资本一样,在没有技术进步的前提下,无论是数据规模增长,还是进一步优化机器学习,随着确定性的逐步提高,数据报酬递减必然呈现并最终停滞。近期对人工智能的研究也表明,预测精度在经历了快速提升之后就会进入边际报酬递减阶段,预测精度以 N 的平方根递增,所以数据呈现规模收益递减(阿维·古德法布等,2021)。这些研究都认识到,数据是非竞争性的,但数据要转换成可用信息则需要生产成本。在数据未达到最低有效规模之前,数据的规模收益往往是递减的,递增出现在数据累积达到一定的规模之后,但随着数据不断累积,新增用户数量开始下降时,进一步提高预测精度就需要更高的数据生产成本。

信息生产体系是否面临规模终极约束,关键在于在信息生产体系中,数据仅仅是产出预测性信息,还是同时可以作为创新的手段。Farboodi and Veldkamp(2021)认为, Jones and Tonetti(2019)是将数据视为可以直接提高生产力的技术,但事实上,数据的功能主要在于提高预测准确性,其本质是信息而不是技术。应该说, Farboodi and Veldkamp(2021)的批评正确地指出了单纯预测性信息仅作用于交易过程中的局限性,但忽视了信息生产体系,尤其是以人工智能为内核的新一代信息生产体系所具有的多重功能,尤其是广泛而持久地促进创新的功能。基于“数据+连接”的新一代信息生产体系的预测性功能体现在交易过程中,直接有助于价值实现。仅作为一个流通推进而非生产改进的技术,预测性信息促进增长的效能当然存在极限,但信息生产体系同时还具有以下创新促进的功能:一是优化甚至改变原有的生产流程和供应链,实现工艺创新;二是通过改变配置方式、配置对

象实现资源配置创新,无论是平台精准匹配海量数据提高协同效率,还是数字化向企业外部延伸,提升“全链条资源配置效率”,都可视为资源配置的创新;三是通过连接不同场景,不同主体,实现多个企业、多个产业和多种生产要素的融合发展,实现市场创新;四是通过分工效率的提升,促进新业态、新模式的不断出现,促进组织创新;五是作为知识发现的手段,提高研发效率,促进产品创新。正如 Nordhaus(2015)的研究所表明的那样,为了实现更广泛和持续的快速增长,需要有大规模的产品创新,从而实现对原有经济的产品替代和升级,如果快速的技术进步发生在相对较小的经济领域,出现奇点(Singularity)的可能性就极小。

信息生产体系的规模边界问题,同时也涉及另一个更深层次的问题,即随着新一代信息生产体系实现对实际经济活动的数字“复刻”,整个生产链、供应链乃至消费终端的即时信息都将纳入一个数字系统中,社会交换的不确定性是否也将和企业内生产过程的不确定性一起随之消弭?“社会分工的无政府状态和工场手工业分工的专制的互相制约”将不复存在?在当所有产业、所有人类可感知的物理空间和行为动作全部数据化,物理世界完成了数据全纳过程之后,数字孪生是否意味着市场不确定性的彻底消失?

这里的根本问题在于,在信息生产体系规模不断扩张的过程中,多种创新,如蕴含生产率增长的工艺创新、包括新业态新模式在内的组织创新和代表着新的使用价值类型的产品创新是否会交替出现?在马克思那里,这个答案是肯定的。工艺创新和组织创新等创新所带来的生产率增长在推动资本积累的同时,也为新类型的使用价值的产品创新创造了条件。在以竞争为第一要旨的市场经济体系中,单纯的工艺创新和生产率进步会加剧使用价值和交换价值的矛盾,并借此而加剧剩余价值生产和剩余价值实现的矛盾,因此,以工艺创新和生产率进步为基础的价格竞争将不再是竞争的唯一重要手段,产品创新则成为必然结果。而一旦产品创新成为必然,原有的围绕着既定使用价值生产而构建的信息生产体系就将重构,以新的使用价值为中心的工艺创新和组织创新又将开始进入新的发展循环。从数字经济的发展趋势看,当人类完全进入了数实孪生时代之后,数字世界将复刻现实世界,重构新的交互体验创造新的使用价值,实体过程带来实体和数据双重价值,使产出效率叠加,从而提高全社会资源配置效率(江小涓和靳景,2022)。但全纳的信息生产体系并不是一个封闭的、不再存在不确定性和分工可能的经济系统,孪生、叠加的本质,是信息生产体系在高效地生产出信息、知识乃至智慧的同时将其同步回嵌到现实世界。即使工艺创新、组织创新等均趋于停滞,信息生产体系的预测性功能达到极限,只要有产品创新出现,信息生产体系就会被重新激活,从而开启新一轮的规模扩张。这意味着,只有在信息生产体系成为创新投入的手段,并有助于解决“用什么生产”“生产什么”这类问题,而不仅仅只解决“如何管理生产”和“如何销售”的问题时,“数据+连接”这一信息生产体系才能持续提高效率,不断提供新的增长动力。

以音像制品为例,在数字技术出现之后,传统模拟式信号的磁带式产品就开始发展到数字化产品,数字化产品又分别经历了信息密度的不断提升,以及从孤立的硬件载体到云端化、网络化传输和销售的过程,在5G、VR、AR等技术出现之后,不仅改变了音像制品的生产方式,如远程分工、同步协作,而且也形成了可穿戴设备、沉浸式体验和VR、AR直播等新的产品和新的消费体验。在这一过程中,新产品、新业态、新模式不断涌现,多种形态的创新叠加、累积发生,传统音像娱乐制品的生产方式、产品载体形态和消费方式都发生了巨大变化。在这里,信息生产体系的功能并不仅仅体现在连接消费终端时的“预测”上,如基于偏好、场景分析的实时推送和广告投放,而是全方位地体现在生产方式、生产内容和组织形态的创新等多个领域中。又如,当前以ChatGPT为代表

的“生成式AI”(Generative AI)在功能上已经与传统的“分析式AI”(Analytical AI)有了明显的区别,后者的主要功能仍然是在数据学习和分析的基础上进行预测,辅助决策和判断,但ChatGPT则具有文本创造能力,这就不再是单纯的预测,而可以视为直接生产知识产品。这意味着信息生产体系在从数据—信息阶段向着知识和智慧阶段跃迁,具备了在产品维度上实现数据驱动创新的可能性。

当前以人工智能,更具体地说,是以深度学习为内核的新一代信息生产体系,与以往信息生产体系的不同之处就在于,深度学习不仅可以与多种技术结合,适用于多个应用场景,具备通用技术(GPT)的性质,而且还具有“发明方法的发明”(Invention of a Method of Invention, IMI)的功能。^①通过对复杂知识空间的搜索、现有知识库存的利用,以及将现有知识库存的不同要素的结合,深度学习具有创造有价值的新想法的能力,从而不仅可以提高各个部门的生产率,而且还有望改变这些领域创新进程的本质,在改变知识生产方式的同时改变经济增长的前景。从这一意义上讲, Nordhaus (2015)的分析仅适用于人工智能(AI)中的另外两个关键技术——机器人技术和符号系统,而不适用于深度学习。易言之,由于深度学习在新知识创造和利用方面具有的独有优势,新一代信息生产体系的功能并不仅止于降低价值创造和价值实现中的不确定性,同时也可以提高新知识的生产效率或直接产出新的知识产品,进而有助于实现产品创新,推动长期经济增长。

五、政策启示

基于数字技术而不断发展的信息生产体系具有广泛的创新促进效应,是构建现代经济体系的着力点和重要引擎。从信息生产体系的特征上把握数字经济发展的关键制度和技术,推进实现国民经济在技术基础和生产方式上的数字化转型,对构建现代经济体系,实现新时期中国经济高质量发展,有着极为重要的意义。本文从克服不确定性的视角对“数据+连接”信息生产体系演变历程及其特征进行分析,形成以下政策启示:

第一,数据和连接两个领域的“双优化”才能充分发挥新一代信息生产体系的作用。从数据规模看,作为世界工厂,完整的制造业供应链可以为中国制造业数字化提供规模最大、最为多样化的数据资源;而庞大的国内消费市场又可以为终端消费数据提供最多的数据主体。但数据规模不等于数据效率。拥有质量更好、时效性更强的数据,更好的算法和更强的算力以及互补性更强的数据平台,比数据规模更为重要。要将庞大而零散的数据规模转化为数据优势,还需要在数据产业链、芯片等方面加大创新投入力度。从连接体系看,以数据中心、边缘计算为架构的数字基础设施将形成类似于电力一样的集中分布式算力和数据存储供给,这一领域的竞争将在很大程度上决定数字经济制高点。当前,美国超大型数据中心数量约占全球的50%以上,中国超大型数据中心数量约占全球的10%;在云计算市场上,美国和西欧分别占据了全球市场的50%和23.5%,而中国仅占4%(Mills, 2021)。因此,迫切需要加大连接领域的技术创新和投资力度。

第二,信息生产体系不仅可以有效降低生产过程、管理过程和市场交易过程中的不确定性,也可以为科学研究、技术创新提供数字化解决方案,尤其是在试错类的科研活动中,人工智能更有其独有的优势。从长期看,信息生产体系如果仅仅局限于工艺创新和模式创新,则只能解决

^① 本质而言,深度学习对新知识生产的促进作用仍包含了预测功能,即预测有价值的知识组合和新的技术方案的可能性后果,但这种预测并不是针对商品和服务过程,而是体现在科学研究过程中,这就可以极大地提高科学研究的效率。这方面的研究详见Agrawal et al.(2018)。

如何生产、如何实现价值的问题,而不能解决生产什么、用什么生产等问题,其增长效能最终有限。要使数字经济真正成为构建现代经济体系的着力点和重要引擎,充分发挥数字技术广泛而持久的创新促进效应,尤其需要重视信息生产体系在科研活动中的作用,使之成为创新的重要手段。

第三,围绕数据和连接两个领域,全球已经形成了极为复杂的、相互嵌套的产业生态,解决“卡脖子”问题也需要有相应的生态思路。一是要掌握若干重要的上中游节点,即使是细分节点,也能提高反制“卡脖子”的博弈能力。单个产品的“点”突破,可以带动“面”发展,进而影响产业生态。二是要发挥体制机制优势,识别复杂产业生态中的关键节点并重点突破,提高资金效率,节约突围时间。三是要全力打造具有国际竞争力的企业主体和产业集群。数字经济领域,尤其是数字核心产业的企业,只有具备国际竞争力才可能嵌入全球生态体系;拥有具备国际竞争力的数字产业集群,有利于在关键领域的国际生态体系中获得更多的话语权和主导权。这也是党的十九届五中全会以来反复强调打造有国际竞争力的数字经济产业集群的主要原因。

〔参考文献〕

- [1]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[J].经济研究,2022,(6):45-63.
- [2][加]阿维·古德法布,[美]谢恩.M.格林斯坦,[美]凯瑟琳.E.塔克.数字经济的经济分析[M].赵志耘译.大连:东北财经大学出版社,2021.
- [3][加]瓦茨拉夫·斯米尔.能量与文明[M].吴玲玲等译.北京:九州出版社,2021.
- [4]江小涓,靳景.数字技术提升经济效率:服务分工、产业协同和数实孪生[J].管理世界,2022,(12):9-25.
- [5]雷国雄.不确定性、创新不足与经济演化[M].北京:科学出版社,2012.
- [6][美]保罗·多尔蒂,[美]詹姆斯·威尔逊.机器与人,埃森哲论新人工智能[M].赵亚男译.北京:中信出版社,2018.
- [7][美]布莱恩·阿瑟.技术的本质:技术是什么,它是如何进化的[M].曹东溟等译.杭州:浙江人民出版社,2014.
- [8][美]詹姆斯·格雷克.信息简史[M].高博译.北京:人民邮电出版社,2013.
- [9][意]G.多西等.技术进步与经济理论[M].钟学义等译.北京:经济科学出版社,1992.
- [10]Agrawal A., J. McHale, and A. Oettl. Finding Needles in Haystacks: Artificial Intelligence and Recombinant Growth [R]. NBER Working Paper, 2018.
- [11]Best, M. H. The New Competitive Advantage: The Renewal of American Industry[M]. New York: Oxford University Press, 2001.
- [12]Catalini, C., and J. S. Gans. Some Simple Economics of the Blockchain[R]. NBER Working Paper, 2016.
- [13]Farboodi, M., and, L. Veldkamp. A Growth Model of the Data Economy[R]. NBER Working Paper, 2021.
- [14]Goldfarb, A., and C. Tucker. Digital Economics[J].Journal of Economic Literature, 2019, 57(1): 3-43.
- [15]Jones, C. I., and C. Tonetti. Nonrivalry and the Economics of Data[R]. NBER Working Paper, 2019.
- [16]Mills, M. P. Industrial Policy: Old-Think In The New Cloud Era[EB/OL]. <https://media4.manhattan-institute.org/sites/default/files/industrial-policy-old-think-new-cloud-era-MM.pdf>, 2021.
- [17]Nordhaus, W. Are We Approaching an Economic Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth[R]. NBER Working Paper, 2015.
- [18]Perez, C. The Double Bubble at the Turn of the Century: Technological Roots and Structural Implications [J]. Cambridge Journal of Economics, 2009,(4):779-805.
- [19]Romer, P. M. Endogenous Technological Change[J]. Journal of Political Economy, 1990, 98(5): 71-102.

Uncertainty, Information Production and the Development of Digital Economy

YANG Hu-tao^{1,2}, HU Le-ming^{1,2}

(1. School of Economics, UCASS;

2. Institute of Economics, CASS)

Abstract: This paper attempts to answer the question: why does the digital economy emerge? Our basic idea is that the high efficiency of information utilization is what constitutes the digital economy. The core function of information is to overcome uncertainty, and the development of digital technology and digital economy reflects the techno-economic path of overcoming uncertainty through information to optimize economic efficiency. This paper draws inspirations from Marx's theories on the intra-firm and social division of labor (i. e., two types of division of labor theory), and proposes the following explanatory framework: division of labor-increased uncertainty-information to eliminate uncertainty-further division of labor-another kind of uncertainty-removing uncertainty through more efficient information. We argue that in order to standardize the use of information in large scale, firms should "encapsulate" information as instructions embedded in machine systems. The development of modern industry from tool machines to mechatronics and modularity is a manifestation of the "encapsulation" of instructions. However, in the sense of social production, the more successful a company is in encapsulating directive information, the more complicated the division of its production chain becomes, indicating the deepening of social division of labor. In this case, the other two types of uncertainty faced by companies become higher: one is the managerial transaction, that is, hierarchical management and control within a company; and the other is the bargain transaction, that is, market transactions. This requires the enterprise to reduce uncertainty through a system of information production that covers more subjects and a larger spatio-temporal area, which leads to further division of labor within the enterprise and thus the deepening of the social division of labor.

Since the Industrial Revolution, industrial production has gone through four stages of mechanization, electromechanization, electronization and opto-electronization, and the use of information has evolved from encapsulating simple instructions to the current "data + connection" information production system characterized by digitization, intelligence, whole space-time and multiple subjects. In this process, the contradiction between the reduction of the uncertainty of division of labor within an enterprise and the increase of the uncertainty of social division of labor constitutes the motivation for the enterprises to continuously expand boundaries of the information production system, and the use of information has gradually evolved from the instruction encapsulation of individual machines and machine systems to a multi-subject "data + connection" system covering the production process and the transaction process. The essence of the digital economy, represented by the new generation of digital technologies such as big data, cloud computing and 5G, is to establish an information production system that converts data resources to information through the "data + connectivity" approach, reducing the uncertainty of economic activities on a wider spatio-temporal scale and among a wider range of economic agents.

Our innovations are as follows. Firstly, this paper provides a new explanatory framework for the development logic of digital technology and digital economy within the framework of information-uncertainty-division of labor. Secondly, it delineates the stages and typical characteristics of digital technology and digital economy based on differences in information density and information efficiency. In terms of policy implications, in order to make the digital economy truly an important engine for building China's modern economic system, and to give full play to the extensive and lasting innovation-promoting effects of digital technology, it is particularly necessary to pay attention to the role of information production systems in scientific research activities, making them an important means of innovation.

Keywords: digital economy; information production system; data connection; uncertainty

JEL Classification: O14 L10 O47

[责任编辑:王燕梅]