

作为有机体的技术

——评《技术的本质：技术是什么，它是如何进化的》

马昱堃*

摘要：美国著名经济学家、复杂经济学提出者布莱恩·阿瑟的《技术的本质：技术是什么，它是如何进化的》一书，采用复杂性科学的视角，对技术及其进化过程进行了详细的剖析。阿瑟力图通过本书构建起一套关于技术本身的理论，认为技术是一个自我创生的系统。他归纳出技术的组合与递归特征，分析了技术的“组合进化”过程，将技术视为一个有机体。本文对该书主要思想进行了介绍，探讨了它带来的启发及局限性。

关键词：技术 复杂性 有机体 进化 布莱恩·阿瑟

一、引言

由布莱恩·阿瑟(Brian Arthur)写作的《技术的本质：技术是什么，它是如何进化的》(*The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*, 以下简称《技术的本质》), 英文版出版于2009年。这本书采用复杂性科学的视角将技术视为一个自我创生的有机体, 对技术进行了“解剖学”意义上的分析, 打开了技术“黑箱”。

阿瑟写作本书的目的是要回答技术及其本质是什么, 其原理和特性是什么, 它是如何形成、发展和进化的。他认为, 过往研究虽然能帮助我们理解上述问题, 但是这些研究大多是从外部视角, 将技术当作独立对象来看待的(阿瑟, 2018a)。为了解决他关注的这些问题, 需要进入技术的内部, 用“解剖学”的视角来拆解技术的要素, 并最终在各项具体的技术中抽象出技术的一般性理论。

为此, 他尝试打开技术的“黑箱”, 通过分析若干具体技术产品的发展历程

* 马昱堃, 中山大学社会学与人类学学院。

来回答技术如何对现象进行编程,并一步一步组装起我们生活的这个技术世界的。本书给我们理解当代技术提供了具有启发性的视角,而书中得出的结论也起到了某种警示意义:如果技术是一种具有自我创生能力的有机体,那么在技术进化的方向上,我们施加干预的能力有限。

为了帮助读者理解作者的思想,本文首先对作者的背景做一个简要的介绍,然后回顾书中的主要思想,最后对其中思想的启发和局限进行简要讨论。

本书作者布莱恩·阿瑟是复杂经济学的提出者,美国著名经济学家和复杂系统理论学者,美国新墨西哥州圣塔菲研究所成员(唐任伍、刘洋、李楚翘,2020)。他于1999年在*Science*上首次提出了“复杂经济学”这一概念(Arthur,1999)。复杂经济学建立在复杂性科学的基础上。复杂性科学研究的是复杂系统中要素之间的相互作用如何生成整体模式,以及这种整体模式又如何导致这些要素发生变化或调整以适应整体模式的科学(阿瑟,2018b)。阿瑟将这种思想引入了经济学。

复杂经济学的核心思想是:经济的常态是非均衡的,经济活动的主体也并非经典经济学假设下的完全理性人,而是会在有限信息的条件下,不断根据自身所处情境调整自己对情境的回应(Arthur,2014;乔天宇、邱泽奇,2020)。复杂经济学主要关注经济中的涌现行为,认为传统经济学中的理性人假设存在局限性,常常不能满足实际情况(Arthur,2014)。

阿瑟在思考经济的过程中,逐渐意识到经济与技术二者是不可分割的(Arthur,2014)。经济并不是某种给定的存在,而是会持续地受技术创新、制度和安排的影响。这促使他对经济和技术之间的关系进行探讨。《技术的本质》序言中提到,他于1981年开始关注具体技术的产生和发展过程,之后开始关注经济学的复杂性问题,但于2000年之后重新开始思考技术的本质。

阿瑟为了写作本书查阅了大量技术研究的文献资料,从书中可以看出,他主要将达尔文的生物进化理论与技术进化进行比较,并且参考了库恩的(T. Kuhn)《科学革命的结构》,除此之外,他还参阅了熊彼特(J. Schumpeter)的理论(阿瑟,2018a)。本文把重心放在对本书思想的介绍和评述上,不会将他对话的这些理论一并展开。

二、主要思想

(一)技术的定义

技术的定义非常繁多,且会随着时代的发展而不断扩大内涵与外延(姜振寰,2009)。而布莱恩·阿瑟的《技术的本质》则试图从技术形态的角度,给技术下一个明确的定义。

阿瑟根据定义层次的由低到高,分别给出了关于技术的三种定义。第一种定义认为技术是实现人的目的的一种手段。这层定义最具体,可以指特定一项技术产品。在这个定义之下,作者进一步区分出了物质性的技术(例如器械)和非物质性的技术(例如算法)。它可以是一种方法、过程或者装置,例如金属冶炼方法、汽车发动机等。第二种定义认为技术是实践和元器件的集成,“是许多技术和实践构成的集合或者工具箱”。这种技术也被作者称为“技术体”(bodies of technology),它们往往是某一组相似技术的集合,例如电子技术、生物技术、数字技术等。第三种定义认为技术是可供某种文化利用的装置和工程实践的集合。这指的是总体意义上的技术(阿瑟,2018a)。在抽象层次上,第三种定义内涵最宽泛,包含了前两种。

上述三个定义对技术的界定不仅局限在工程和生产领域,也纳入了社会制度。在作者看来,技术是“指向某种目的的,被编程了的现象”。这些现象不仅包括物理性的,也包含行为性和社会性的(阿瑟,2018a)。进而,他将包括工程技术和制度在内的系统都视为“目的性系统”(purposed systems),它指的是“所有‘实现目的的手段’的总体,既包括基于物理现象的技术,也包括基于非物理现象的技术”(阿瑟,2018a)。正是在这个意义上,作者将技术的内涵拓展到日常生活中的绝大多数活动中。于是,金融体系、法律条文均被纳入“技术”之下。通过这些现象中的共性抽象出来,阿瑟便可以应用他的思想对所有技术现象进行分析。^①

^① 但阿瑟主要还是侧重于分析建立在自然现象上的技术。

(二)技术的组合与递归

阿瑟认为所有的技术都来自对此前已有技术的组合。现存的技术也构成了未来技术中的组合成分。把任何技术产品打开,能看到每一项技术的零部件本身也是一项技术产品。“一台水力发电机集中了几种主要的构件:一个用于储水的蓄水池,一个带有控制阀门和被称为水渠的进水管的进水系统,由高位能水流驱动的涡轮机,由涡轮机驱动的发电机,将输出能量转换为高压电的变压器以及排水用的泄流系统或尾水渠。”(阿瑟,2018a:32)这样一台发电机中的每一个部分都可以单独拿出来,再按照同样的拆解步骤进一步分解出它的零部件。

上述步骤会不断重复发生在技术的各个层级,这就形成了一个递归过程。将这些步骤不断重复下去,就会到达技术的源头——现象。作者认为,技术就是对自然现象进行有目的的编程。上文所说的分解过程可以在某个技术物及其零部件上不断重复。“技术具有层级结构:整体的技术是树干,主集成是枝干,次级集成是枝条,最基本的零件是更小的分枝。技术具有递归性:结构中包含某种程度的自相似组件,也就是说,技术是由不同等级的技术建构而成的。”(阿瑟,2018a:38)在这个意义上,任何一项技术都由若干个子模块构成,每一个子模块本身也是一项技术——按照这样的步骤,一项技术总是可以还原为某种自然现象。

当一系列基于某种共性现象的技术不断得到开发和利用后,就会“自然而然地”引起技术聚集,形成技术集群(或技术体)。阿瑟把这种技术集群称为“域”。一个域总是以工具箱的形式存在,为技术应用提供背景支持,并对经济产生影响(阿瑟,2018a)。

技术可以通过递归过程还原为自然现象是整本书的核心思想。技术就是沟通了人类需求和自然现象之间的一种编程表达,它体现着人类目的与客观现象之间的桥梁关系。正是在各种具体的技术中抽象出来上述组合与递归过程的基础上,作者给出了技术进化的演变机制。

(三)技术的进化机制

为了解释技术的进化过程,作者需要考察技术发展的动态过程。为此,他提出了两对概念,分别是“标准工程”与“发明过程”和“内部替换”与“结构深化”。

1. 标准工程与发明过程

第一对概念表述的是技术过程。“标准工程是执行一个新项目时,在已知可接受的原则下聚集方法和设备的过程,是对已有技术的新的计划、试制和集成过程。”(阿瑟,2018a:99)从这个定义可以看出,它与托马斯·库恩《科学革命的结构》中的“常规科学”(库恩,2012)进行了对话。^①

从定义上说,标准工程是技术研发的日常活动,旨在解决一项技术产品中某一个零部件的性能问题,目的是提升技术组件的效率。对这些零部件的设计,需要设计者依据技术的各项特性做出评价和判断,并最终做出选择。整个标准工程都需要有人的参与,从而转化为一种社会组织形式:“一个新项目成功与否,它是否能形成可见的设计物,很大程度上依赖于围绕其周围的利益关系网……设计与发展是与人高度相关的组织和行动过程。”(阿瑟,2018a:103)

根本性创新(radical innovation)也被作者称为“发明过程”,它与标准工程不同。如果工程师和设计师只是对既有的技术原件进行逐个替换,那么我们一定无法从蒸汽机过渡到飞机引擎。因为标准工程解决的是局部零件的性能问题,发明过程则需要引入新的原理:“判断一个技术是否是真正的发明,我们仅需要判定对当前的目的起作用的是否是一个新的、不同以往的根本性原理即可……依据根本原理新颖性的程度可以产生一个连续统一体,而它存在于标准工程和根本的新颖性之间。”(阿瑟,2018a:121—122)新原理来自科学发展。阿瑟在书中把科学发展看作与技术发展互构的现象。科学的目的是搞清楚现象的运作机制,而技术为科学实现这一目的提供了支持:如果没有技术将猜想与现象相连,科学就不会有所发展,也就不会有新的现象进入技术了(阿瑟,2018a)。

总之,标准工程与发明过程处在一个连续统的两端。在技术产品迭代进化的过程中,这二者可能重叠或同时发生。

2. 内部替换与结构深化

第二对概念表述了技术发展的两种机制:内部替换(internal replacement)与结构深化(structural deepening)。前者指的是“用更好的部件(子技术)更换某一形成阻碍的部件”;后者则是“寻找更好的部件、材料,或者加入新组件”(阿瑟,

^① 阿瑟介绍“标准工程”时在注释中提到,他不喜欢用“正常的工程”(《技术的本质》中文本译者将“常规科学”译为“正常的科学”),因为这暗示着工程中也有与科学相平行的活动,而实际上工程中并没有。所以他更倾向于使用“标准工程”。

2018a)。内部替换针对的是既有技术内部旧部件被新部件替换,而结构深化则是给技术加入更多次级系统来提升整体性能。这两种机制也可以同时发生。

这两种机制发生的根本原因是效率的追求。如果一项技术还有效率提升空间,它就会通过上述两种机制进行优化。同样,这种机制本身也是递归性的,“技术的改进过程应该伴随着构成次级组件以及次次级组件的零部件的置换过程”(阿瑟,2018a)。换句话说,一整套技术是在整体及其各个层次上同时发生着上述两种机制。任何一个子模块或零部件的改进,都会连锁反应地使整个技术体以及它所构成的更大技术体产生更新。

当通过两种机制让技术的性能达到极限时,技术就成熟了。此时如果还需要让技术进一步取得进展,则需要注入全新的原理。作者指出,这个过程与托马斯·库恩的范式革命(库恩,2012)非常类似:每当一个新原理出现,并以内部替换和结构深化的方式注入技术后,技术的性能就开始进入迭代升级的轨道,每一项技术都在这个过程中相互“促逼”(pushed)^①而接近各自的极限,直到技术整体性能无法提高,这时候就再次需要新原理的注入(阿瑟,2018a)。

当然,这个过程不可能发展得非常顺利。通常我们观察到的实际情况是,在新原理刚刚出现还未被引入这个周期时,旧原理依然统治着大部分市场。由于旧原理性能暂时更好、应用新原理中的成本过高以及从业者不认可等原因,新原理不会立刻被注入技术,从而产生了暂时的迟滞现象(hysteresis)。阿瑟将这种锁定(lock in)在旧原理中的状况称为自适应延伸(adaptive stretch);在新旧原理之间,人们更倾向于采用旧技术或旧原理,并通过对旧技术和旧原理的拉伸来尽可能适应新环境(阿瑟,2018a)。但旧原理最终会触碰效率的极限,从而被新原理取代。

技术就是通过上述过程和机制不断发生组合进化。可以把技术看作一张网络,每一项技术都是网络的节点。新技术进入后,可能会取代旧的技术,并且它的进入可能会创造新的组合可能性和新的需求,随之到来的是社会和经济对技术的适应(阿瑟,2018a)。

^① 技术被逼迫赋予更多功能以提升性能。

(四)技术与经济的协同进化^①

根据阿瑟对技术的定义,凡是实现某种目的的手段都可以被称作技术,并且技术不限于实体。进而就可以得出,为经济活动而设立的制度、机构也可以被称为技术:“构成经济的整套安排将包括所有制度和办法,以及所有的我们称之为技术的目的性系统,包括诊所和外科手术、市场和定价系统、贸易安排、分配系统、制度和商业,还包括金融系统、银行、监管体系以及法律系统。”(阿瑟,2018a:215)

因此,作者认为经济实际上是被技术建构起来的:“众多的技术集合在一起,创造了一种我们称之为‘经济’的东西。经济从它的技术中浮现,不断从它的技术中创造自己,并且决定哪种新技术将会进入其中……经济是技术的一种表达,并随这些技术的进化而进化。”(阿瑟,2018a:214)在这个意义上说,整个经济都由技术塑造:“经济浮现或萌发于它的技术当中;它意味着经济不仅会随着技术的变化而重新适应,它还随着技术的变化而继续构成和重构;它还意味着经济的特征(形式和结构)也将随着它的技术的变化而变化。”(阿瑟,2018a:216)

当经济活动中的各个主体遭遇新技术时,经济会表现出非均衡性:这些主体会因“小规模经济活动中的变化而向外传播,使商业组织和制度发生变化,最终使社会自身发生变化”(阿瑟,2018a)。作者将技术决定经济的论断推向了极致:新技术创造新产业,为了与新产业相适配,就会产生新制度。随着生产效率得到进一步优化,这一过程会循环下去。并且,整个过程本身具有技术性质(阿瑟,2018a)。这个循环过程实际上并不会停滞,新问题、新需求、新技术、新原理会不断出现,并被加入这个过程本身,从而让“经济总是存在于永恒变化之中,存在于一种永恒的新颖性之中。它永远存在于自我创造的过程之中”(阿瑟,2018a)。

^① 阿瑟是经济学家,不过他对技术的兴趣与他对经济的兴趣并重。就本书而言,他把关注重点放在了技术上,对技术与经济关系的表述主要见于书的第八章和第十章。有关阿瑟本人的经济与技术思想评述需要再有一篇论文的篇幅。感兴趣的读者可以查阅参考文献中唐任伍等人(2020)的论文。

(五) 技术性与生物性相互转化

在本书的最后,作者进入了一个更宏观的视角:技术本身具有生物属性,反之亦然。一方面,数字化时代拓展了技术组合的可能性:只要将数字模块加入技术中,将实体编码为数据,就可以将其与整个数字技术体系关联起来,从而融入“数字技术域”中。另一方面,对生物技术的研发,例如基因编辑、神经科学等领域的发展,也在模糊生物与技术的界限。“从概念上看,生物学正在变成技术。从实际上看,则技术正在成为生物学。”(阿瑟,2018a:233)

当越来越多的技术通过数字化关联起来的时候,就形成了一张覆盖生活方方面面的技术网络。作为一个整体的技术网络本身,已经具备了“感知环境并适当反应”的能力,从而表现出了某种程度的认知能力。当技术的触角进一步伸向生物现象并将其编码,整个技术就可能形成“自构成、自优化、具有认知能力,还能自集成、自修复以及自保护”的系统(阿瑟,2018a)。

阿瑟的论述暗示了我们无法再用单纯的机械视角来看待当前的技术发展。虽然技术的“机械性依然是中心议题,但是我们现在认识到,随着机械变得具有互动性并复杂起来,它们所揭示的世界也成了一个复合体。它们是开放的、进化的,并且表现出了无法从某个部分预测未来的涌现性质(emergent properties)。我们所倾向的观点不再是一种纯粹的秩序,它是一个整体,一个有机的整体,而且是不完美的”(阿瑟,2018a:236)。

三、讨论与反思

评价这样一本尝试从人类实现自身目的的所有手段中抽象出共性的著作无疑非常困难,因为它涉及的思想触及科学技术社会学、技术哲学和经济学,横跨了自然科学、社会科学和工程技术,并且作者本人还开创了复杂经济学这一分支。甚至有评论家将本书与库恩的《科学革命的结构》并列(赵阵,2015)。本文对《技术的本质》的述评尽量把握全书的内核,但限于笔者能力和篇幅,无法涵盖整本书的所有精髓。

毫无疑问,作者将复杂性科学思想应用到对技术的分析中,提供了非常具有启发性的视角:技术在每一个微观尺度上更新自身的同时,整个技术都在协同进

化,并持续地塑造着经济和整个社会,进一步影响塑造着人类的生活环境。基于这一点,作者指出技术创新总是作为解决问题的方案出现,这些方案离不开长期的技术积累,以及着迷于解决问题的具体的人。这些启发对于创新政策的制定都有参考价值。然而,本书也存在着一定局限。

(一) 本书弱化了人的劳动是技术得以进化的动力因

将技术视为一种自我创造的有机体的视角也在一定程度上排除了人的能动性。整个技术体在局部和整体的层次上都同时发生着进化,而每一步进化都意味着整体的性能升级。但这一过程不可能是自然发生的——如果把人的体力和脑力劳动从作者所定义的技术中去除,那么这样的技术显然只是静态的。换句话说,技术之所以“表现得”是一个有机整体,是因为人的劳动和选择不可缺少(Denton, 2012)。虽然阿瑟也提到了设计与选择在技术发展中扮演的角色,但这种选择也被限定在了追求效率的约束条件下。

作者对技术的定义和分析,不可避免地把技术视为一种“类有机体”。他在书中从两方面出发给出了这一结论。第一个方面还没有将这一结论推到极致,而是强调了视角的转换:“所有的技术在某种意义上都同时具有机械性和生物性。如果你从上至下地检视一项技术,你可以将其看作一种互相连接的元器件的安排,这些元器件为达到某个目的而互相制约、互相啮合。因此技术变成了像钟表一样的发条装置,它变得具有机械性了。但是,如果你在思想中将它从下往上进行检视的话,想象这些零部件是如何聚集到一起的,你则会将它们看成一个整体,一个完整的器官,一个更高等的,具有功能性、目的性的整体。它变成了一个机体。因此,一项技术具有机械性还是生物性取决于你的立场。”(阿瑟, 2018a: 232)在这个意义上,视角或者立场是把技术视为机械结构还是有机体的原因。

第二个方面更加彻底:“技术完全是生物性的。技术具备能使我们联想到生物的某些属性:当它们感知环境并产生反应,当它们变得可以自组装、自构成、自修复并且能够‘认知’的时候,它们就越来越像生物了。技术越复杂、越‘高技术’,就越具有生物性。”(阿瑟, 2018a: 232)作者在提到技术可以自我建构的时候,按照他对技术的定义,其实是在说实现目标的手段,或者说工程实践的集合等具有了内生动力。但是,也正是因为工程实践中的人对技术进行有目的的选

择才使技术成为人们所见到的模样。而这种选择并不仅仅是技术性的,也不完全是随机性的。

总之,作者认为技术是一个能够自我进化或者“自创生”(autopoiesis)的实体。无论是对技术的改进需求,还是技术的生长动力,均来自技术内部。在这个意义上,技术被摆在了分析的第一位。这样的视角转换在具有启发性的同时,也在一定程度上忽视了劳动的因素、意义的因素和制度的因素,毕竟作为物理存在的技术体和作为法律条文的制度体系自身不会有任何意识,之所以它们能够体现出一种发展的样态,是因为人的活动为整个体系注入了动力。而人的活动本身,并不能全部归结到自然属性。相反,人的活动具有选择性,而这种选择性,以及人对目的的规定,都构成了技术的动力因(罗斯琦,2021)。

(二)本书较难解释不同时期不同国家的技术发展状况差异

把技术视为一种具有自我建构能力的有机体,其实并不能回答为什么在历史的不同时期,不同国家之间的技术存在发展差异。作者在书中表示,技术发展可以用“因果性金字塔”来类比:每一个发明都由更靠近金字塔底座的知识 and 需求支撑,并且这个过程可以不断追溯到人类捕获的现象。所以“这也意味着当必要性和需求的碎片都一一铺垫到位时,一项发明就将显露”(阿瑟,2018a)。但是他没有进一步说明这种必要性和需求是如何被规定的,并以怎样的方式进入技术发展过程当中的。

阿瑟在对创新与国家竞争力进行论述的时候,承认了文化起到的作用:“真正前沿的技术,那些处于边缘的复杂技术并不是源于知识,而是源于别的东西,我将它们称为‘深奥的手艺’(deep craft)。深奥的手艺不只是知识,它是一套认知体系……它整体地来自某种信念的共有文化,蕴含着共同经历的某种无法言明的文化。”(阿瑟,2018a:179)对这种文化进行详细的分析毕竟不是阿瑟本书的目的,但从本书结论中也能看到,他并没有把这种文化因素安排在技术的自我创生过程的重要位置。

他也强调了历史的重要性:“如果技术由于某种偶然以不同的序列出现,那建立在这些技术之上的技术也会不同。技术是历史的产物。它还告诉我们,技术的价值不仅在于可以用它做什么,而且在于它进一步可能导致什么。”(阿瑟,2018a:190)虽然偶然性因素的确存在,但我们并不能得出技术发展的时空差异

性是纯粹偶然的。事实上,作者所描述的技术发展状态更多地发生于近现代——只有当我们开始以追逐效率为目的,并且技术开始与现代科学交织在一起时,才会持续产生新的需求来创造技术发展的空间。而这涉及针对现代性的讨论,本文不会在这个主题上进一步延伸。

(三)人类在技术发展的进程中真的束手无策吗?

作者采用了将技术视为一个有机体的视角——把技术视为社会发展的第一推动力,并且技术进化的动力是内生的。正如前文所言,这种视角弱化了人的主观能动性,也可能成为替技术产生的负面后果进行辩护的理由。然而,如果我们在对技术的思考中完全忽略掉社会因素,那么整个技术图景就变得不全面了。有学者指出,思考科学技术艰难的原因有二:科学主义和技术进步论。前者主张科学技术的中立性,后者则认为技术的发展是人类自由意志无法干预的。但技术本身就具有社会性和政治性(克莱曼,2009)。拉图尔也指出,人与技术一经结合,就形成了新的结合体,二者原本的状态就发生了变化——这种结合体应当被视为新的行动者(郭明哲,2008)。

芒福德(L. Mumford)则更加直接地指出:“技术与文明作为一个整体是人类的,有意识或无意识的选择、智能活动和奋斗的结果……它们虽然无法控制,但也不是外部的。选择本身体现在社会的小的增量变化、瞬息之间的决定以及暴风雨般的巨变;一个人如不能在机器的发展中看到这种选择,那么当选择的结果累加起来产生了一个合成的变化时,他就无法真正理解这种变化,只能归之于外部的或非人力控制的因素了。”(芒福德,2009:9)

不过,也正如阿瑟所指出的那样,数字化时代的到来,以及人工智能、量子计算、生物科学和神经科学的新进展,不断向着将人自身技术化的方向过渡。这些新的进展毕竟创造了利用它们的可能性。整个社会在面临新技术开辟出的可能性空间^①时,到底有多大的选择余地?这似乎取决于我们的立场:是将技术视为一个有着内生动力的有机体,还是把它看作人类在经济和社会制度中实现各种目的的手段总和?针对前者,我们能做的似乎不多;但如果采用后一种视角,我们仍然能对技术的发展方向产生影响。

^① 阿瑟在书中用了另外一个名词:“机会利基”(opportunity niches)。这个概念主要是在阿瑟阐述技术与经济关系时出现的。文中使用“可能性空间”是取出这一概念在技术进化方面的内涵。

参考文献

- 阿瑟, 布莱恩, 2018a, 《技术的本质》, 曹东溟、王健译, 杭州: 浙江人民出版社。
- 阿瑟, 布莱恩, 2018b, 《复杂经济学: 经济思想的新框架》, 贾拥民译, 杭州: 浙江人民出版社。
- 郭明哲, 2008, 《行动者网络理论 (ANT) ——布鲁诺·拉图尔科学哲学研究》, 复旦大学哲学学院博士学位论文。
- 姜振寰, 2009, 《技术哲学概论》, 北京: 人民出版社。
- 克莱曼, 丹尼尔, 2009, 《科学技术在社会中: 从生物技术到互联网》, 张敦敏译, 北京: 商务印书馆。
- 库恩, 托马斯, 2012, 《科学革命的结构》第 4 版, 金吾伦、胡新和译, 北京: 北京大学出版社。
- 罗斯琦, 2021, 《超越“劳动终结论”: “替代”结果还是“互补”过程? ——关于技术与劳动的理论辨析》, 《社会发展研究》第 8 期。
- 芒福德, 刘易斯, 2009, 《技术与文明》, 陈允明、王克仁、李华山译, 北京: 中国建筑工业出版社。
- 乔天宇、邱泽奇, 2020, 《复杂性研究与拓展社会学边界的机会》, 《社会学研究》第 2 期。
- 唐任伍、刘洋、李楚翘, 2020, 《布莱恩·阿瑟对复杂经济学的贡献——科睿唯安“引文桂冠”经济学奖得主学术贡献评介》, 《经济学动态》第 3 期。
- 赵阵, 2015, 《探寻技术的本质与进化逻辑——布莱恩·阿瑟技术思想研究》, 《自然辩证法研究》第 10 期。
- Arthur, B. 1999, “Complexity and the Economy.” *Science* 284.
- Arthur, B. 2014, “Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought.” in *Complexity and the Economy*, Oxford: Oxford University Press.
- Denton P. 2012, “Review of *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*, by W. Brian Arthur.” *Essays in Philosophy* 13.