

科技革命与世界现代化

——第六次科技革命的方向和挑战

何传启

内容提要 在过去五个世纪里,世界上大致发生了五次科技革命,第一次是近代物理学诞生,第二次是蒸汽机和机械革命,第三次是电力和运输革命,第四次是相对论和量子力学革命,第五次是电子和信息革命。它们推动了世界现代化的前四次浪潮,包括机械化、电气化、自动化和信息化。目前第六次科技革命正向我们走来,它将推动世界现代化的第五次浪潮。第六次科技革命将是一次新生物学和再生革命,将主要发生在生命科技、信息科技和纳米科技的交叉结合部,将是科学革命、技术革命和产业革命的交叉融合,但也将带来伦理挑战和副作用。

关键词 科技革命 世界现代化 第六次科技革命 新生物学 再生革命

早在19世纪,恩格斯就说过“社会一旦有技术上的需要,则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”这一论断反复被历史所验证。一般而言,科技发展是由内在动力和外部需求共同推动的。从世界前沿的科技需求角度,预测未来的科技发展,是一种有效方法。本文简要讨论世界现代化的科技需求、前五次科技革命的启示、第六次科技革命的方向和挑战等,以求教于方家。关于第六次科技革命的分析,具有一定的“科学猜想”性质。

世界现代化的科技需求

在人类历史上,科技、文明进步和现代化是相互促进的。科技发展是文明进步和现代化的组成部分,科技成果是文明和现代化的动力源泉。在21世纪,文明进步和现代化既依赖于科技进步,又对科技发展形成巨大的需求拉动,将引发新的

科技革命。

1. 世界现代化与科技革命的关系

首先,世界现代化是18世纪以来的一个客观现象和世界潮流。目前,关于现代化尚没有统一定义。一般而言,现代化是指18世纪以来人类文明的一种前沿变化和 International 竞争,它包括现代文明的形成、发展、转型和 International 互动,文明要素的创新、选择、传播和退出以及追赶、达到和保持世界先进水平的 International 竞争和 International 分化。

在18~21世纪,世界现代化的前沿过程可以分为两个阶段和六次浪潮,其中,第一次现代化是从农业经济和农业社会向工业经济和工业社会的转变,第二次现代化是从工业经济和工业社会向知识经济和知识社会的转变;六次浪潮分别是机械化、电气化、自动化、信息化、仿生化 and 体验化(见表1)。

表 1 18 世纪以来世界现代化前沿过程的两个阶段和六次浪潮^①

阶段	浪潮	大致时间	经济现代化	社会现代化
第一次现代化	第一次	1763 ~ 1870	第一次产业革命、机械化	城市化、社会分化流动
	第二次	1870 ~ 1945	第二次产业革命、电气化	电器化、普及义务教育
	第三次	1946 ~ 1970	第三次产业革命、自动化	福利化、普及中等教育
第二次现代化	第四次	1970 ~ 2020	第四次产业革命、信息化	网络化、普及高等教育
	第五次	2020 ~ 2050	新生物学革命、新生效应	仿生化、创生再生永生
	第六次	2050 ~ 2100	新物理学革命、新物效应	体验化、新时空新能源

注: 第五和第六次浪潮是一种预测。

其次 科技革命是 16 世纪以来的一种历史现象。目前 ,关于科技革命也没有统一定义。在本文中 科技革命是科学革命和技术革命的统称 ,指引发科技范式以及人类的思想观念、生活方式和生产方式的革命性变化的科技变迁。在学科史层次上 根据美国科学哲学家库恩的观点 科学革命指科学范式的转变 ,技术革命指技术范式的转

变。^②在世界科技史层次上 科学革命不仅是一种科学范式的转变 ,而且是引发人类思想观念的革命性变化的科学变迁; 技术革命不仅是技术范式的转变 ,而且是引发人类生活方式和生产方式的革命性变化的技术变迁。许多科技史学家认为 , 16 世纪以来 ,世界上先后大约发生了五次科技革命(见表 2) 。

表 2 16 世纪以来科技革命与产业革命的关系^③

科技革命	大致时间	主要内容	习惯用名	产业革命
第一次	16 ~ 17 世纪	近代物理学的诞生	第一次科学革命	
第二次	18 世纪中后期	蒸汽机和机械革命	第一次技术革命	第一次
第三次	19 世纪中后期	电力和运输革命	第二次技术革命	第二次
第四次	20 世纪上半叶	相对论和量子论等	第二次科学革命	
第五次	20 世纪中期	电子技术和自动化	第三次技术革命	第三次
	20 世纪中后期	信息技术和网络化	第四次技术革命	第四次
第六次	21 世纪中期	新生物学革命 新生命、生物与技术融合	第三次科学革命 第五次技术革命	第五次
第七次	21 世纪中后期	新物理学革命 新时空、新能源和新运输	第四次科学革命 第六次技术革命	第六次

注: 根据《科技革命的历史、现状与未来》一书 ,电子技术和信息技术革命分别是第三次和第四次技术革命。^④根据《科技革命与中国的现代化》一书 电子技术和信息技术革命属于第三次技术革命的组成部分。^⑤有人认为 第三次产业革命和第四次产业革命可以合称为“第三次产业革命”。产业革命指人类的生产方式和产业结构的巨大变化。第六次和第七次科技革命是一种猜想 ,下同。

第三 科技革命与世界现代化是相互促进的。例如 ,第一次科技革命发生在 16 ~ 17 世纪 ,它是世界现代化的前奏 ,为世界现代化和第一次产业革命准备了科学知识、科学方法和科学精神。第二次和第三次科技革命分别推动了第一次和第二次产业革命 ,第四次和第五次科技革命推动了第三次和第四次产业革命。世界现代化的前四次浪潮和产业革命都是由科技革命所推动。可以预计 ,第五次和第六次浪潮和产业革命将同样由新

科技革命所推动。科技革命的重要发明和创新 ,不仅推动了产业革命 ,而且与经济周期紧密相关。科技革命和产业革命 ,既是世界现代化的一种表现形式 ,也是后者的重要组成部分。

2. 人类发展和世界现代化的科技需求

人类发展和世界现代化的科技需求是全方位的 ,但只有部分需求可以引发科技革命。引发科技革命的科技需求 ,可以从不同角度进行分析。一般而言 ,它与人类文明的前沿特征有关 ,与科技

革命的判断标准有关。

首先,基于人类学的科技需求分析。人类从诞生起就生活在地球的自然环境里。人类的生存和发展离不开四个要素,即空间、能源、物质和信

息,当然人体是基础(见表3)。关于这四个要素和人体自身的科技需求,可以作为讨论科技发展的一种历史逻辑和分析框架。

表3 人类发展的四种要素和科技需求

项目	工具时代	农业时代	工业时代	知识时代
信息	记事技术	文化用技术	电讯技术	信息技术
物质	工具制造等	实用技术	现代科技	绿色高科技
能源	狩猎采集技术	农学、天文	现代农业和能源	绿色农业和能源
空间	武器	武器、运输	武器、运输	航天、运输
人体	原始医学	传统医学和生物学	现代医学和生物学	生命科学、再生技术

在农业时代,人类的主要科技需求是关于能源(粮食)和物质的科技,包括农学、天文学和实用技术等。关于信息、空间和人体的科技也有一定的发展。空间科技指与人类生存空间相关的科技。在工业时代,人类的科技需求是关于物质、能源、信息、空间和人体的科技,包括全部的现代科技。在知识时代,人类的科技需求包括信息技术、绿色高科技、绿色能源、空间和生命科学等,其中,绿色高科技和能源与提高生活质量有关,信息技术与文化生活相关,生命科学和再生技术与人类健康长寿有关,航天科技与人类进入太空有关。

工业时代的科技发展,根据技术特点大致可分为三个阶段:机械时代(18世纪开始)、电气时代(19世纪开始)和电子时代(20世纪40年代开始)。知识时代的科技发展,根据技术特点大致可分为三个阶段:信息时代(20世纪70年代开始)、再生时代(21世纪20年代开始)和宇航时代(21世纪下半叶)。

如果说,18~20世纪的科技重点是认识自然、改造自然和满足人类需求,那么,21世纪的科技重点将是认识人类自己、改变自身以及适应宇宙环境和宇航时代的需要。

其次,基于心理学的科技需求分析。关于人类行为心理的研究有许多理论,20世纪40年代美国心理学家马斯洛提出的“需求层次理论”有广泛的影响力。他把人的需求划分为五个层次:生理需要、安全需要、情感需要、尊重需要和自我实现的需要。^⑥其中,前两个层次的需要是生存需

要(基本需求),第三和第四层次的需要是社会生活需要(中级需求),第五个层次的需要是发展需要(高级需求)。一般而言,当低一层次需求得到满足后,高一层次需求就会产生,但也有例外情况发生。

如果把人类抽象为一个“人”,可以用“需求层次理论”来分析其科技需求(见表4)。在农业时代,人类面临生存压力(粮食问题),其需求属于基本需求和中级需求,科技发展主要是天文学、数学、农学和医学等。在工业时代,人类面临不断增长的物质生活需要,其需求属于基本需求,科技发展主要是与物质生产相关的科技,包括现代科技的各门科学。在知识时代,人类的物质生活已经非常丰富,面临的压力主要是生活质量和精神生活需要,其需求属于高级需求,科技发展主要是与物质和文化生活质量相关的科技。精神需求还包括健康长寿和遨游太空等。显然,心理学与人类学分析的结果基本一致。

表4 人的需求层次和相应的科技需求

需求层次	人类需求	需求的性质	大致相应的科技需求
5	自我实现的需要	发展性需要、高级需求	精神生活和生活质量相关的科技
4	尊重的需要	社会性需要、中级需求	物质生活相关的科技
3	情感的需要		
2	安全的需要	生存性需要、基本需求	生存相关的科技
1	生理的需要		

注:不同层次的人类需求对应的科技需求是相对的,彼此之间有交叉和侧重。

其三,基于科技革命标准的科技需求分析。科技革命是一个科技史学或科技哲学概念,迄今

没有公认的判断标准。在世界科技史层次上,目前多数学者认为,16世纪以来的科学革命有两次,它们显著改变了人类的思想观念和生活观念;技术革命有三次或四次,它们显著改变了人类的生活方式和生产方式。概括地说,在世界科技史层次上,科技革命大致有三个判断标准:显著改变人类的思想观念、显著改变人类的生活方式和生产方式、社会影响人口覆盖率一般超过50%(估计数)。其中,科学革命需要满足第一个和第三个条件,技术革命需要满足第二个和第三个条件。

综合人类学、心理学和科技革命标准的相关分析,可以解释和理解16世纪以来的科技革命。16世纪和20世纪的两度科学革命,改变了人类对物质世界的认识,形成了新的世界观和方法论;

工业时代的技术革命主要发生在物质、能源和电讯技术三个方面,并扩散到或涉及运输方面,主要满足人类物质生活的基本需要和中级需要;知识时代的科技革命有可能主要发生在信息、生命和空间科技三个方面,并扩散到或涉及能源和物质科技方面,它将满足人类生活的高级需要,包括文化生活、健康长寿和太空生活的需要。

前五次科技革命的主要启示

一般而言,科技革命是一个历史过程,具有起点、终点、内容、特点、标志性事件和世界影响等。关于前五次科技革命的起点、终点、内容和特点等有许多不同观点,关于它们的标志性事件则有较多共识(见表5)。

表5 16世纪以来科技革命的历史结构^①

科技革命	主要标志	主体部分	扩展或带动部分
第一次科学革命	近代物理学	哥白尼、伽利略、牛顿力学	近代科学的全面发展
第二次科学革命	相对论和量子论	相对论、量子论、射线和电子	天文、遗传、地学等
第一次技术革命	蒸汽机和机械	纺织机、蒸汽机、工作母机	冶金、轮船和火车等
第二次技术革命	电力和内燃机	发电机、内燃机、电讯技术	石化、钢铁和运输等
第三次技术革命	电子和计算机	电子技术、计算机、控制技术	核能、航天、自动化
	信息和互联网	微电脑、信息技术、数据库	生物、材料和制造等
第六次科技革命	再生革命	信息转换、仿生创生再生	材料、信息和智能等
第七次科技革命	时空革命	新时空、新能源、新运输	生物、材料和制造等

1. 科学革命的启示

首先,科学革命有标志,每次科学革命的标志是不同的。其次,科学革命有结构,包括主体部分和扩展部分。第三,科学革命有时间跨度,每次科学革命的时间跨度是不同的,时间跨度有缩小的趋势。第四,科学革命有特点。一般而言,科学革命存在一种“蘑菇效应”,一个重大科学突破,往往引发一丛相关的科学突破,最后形成一次改变科学范式和人类思想观念的科学革命。第五,科学革命的两种影响。科学影响:改变科学结构,引发技术革命;社会影响:改变人类的思想观念和生活观念。

2. 技术革命的启示

首先,技术革命有标志,每次技术革命的标志是不同的。其次,技术革命有结构,包括主体部分和带动部分。第三,技术革命有时间跨度,每次技

术革命的时间跨度是不同的,时间跨度有缩小的趋势。第四,技术革命有特点。一般而言,技术革命存在一种“绵羊效应”,一个技术领域的技术突破,可以带动相关领域的技术进步,或者辐射其他领域,促进它们的技术进步,形成一个又一个的新技术群,从而形成一次改变人类生活和生产方式的技术革命。第五,技术革命的两种影响。社会影响:改变人类的生活方式和生产方式;经济影响:引发产业革命,并与经济长波周期有关。一般而言,技术革命往往伴随产业革命,它们的时间有交叉。技术革命和产业革命,可以看成是一个过程的两个视角。

3. 前五次科技革命的启示

首先,科技革命有规律性。每一次科技革命都具有标志、结构(主体部分、扩展或带动部分)、时间跨度(有缩小的趋势)和社会经济影响。科

学革命和技术革命有差别。前一次革命为后一次革命提供了重要基础。

其次,科技革命具有系统性,是不断演化的。16~18世纪,科学与技术的关系并不紧密,科学革命和技术革命是分别发生的。19世纪,科学与技术的联系加强,技术革命以科学突破为基础。20世纪以来,科学、技术与产业的联系进一步强化,相互关系多样化。许多新技术建立在科学突破的基础上,新技术推动了科学发展,推动了产业进步,从新科学、新技术到新产品(新产业)之间的时间跨度大大缩短。21世纪,科学革命、技术革命和产业革命有可能融合,尽管它们发生的时间会有一定的相位差(时间差)。

第三,科技革命具有一定的可预期性。在过去五个世纪发生了五次科技革命,20世纪以来科技发展的速度在加快,可以预期,21世纪有可能发生新的科技革命。目前,第五次科技革命(电子和信息革命)尚未结束,大约会持续到2020年左右。从时间顺序上看,新的科技革命将是第六次科技革命和第七次科技革命。

第六次科技革命的方向和挑战

依据上述分析,21世纪大约有三次科技革命,即第五次科技革命的下半部(信息革命后期)、第六次科技革命和第七次科技革命。这里重点讨论第六次科技革命。

1. 第六次科技革命的方向和时间

关于第六次科技革命的方向,可以从三个角度获得启示。首先,从世界现代化的科技需求角度看,21世纪的科技革命可能包括信息革命、新生物学革命和新物理学革命等。其次,从前五次科技革命的历史结构看,第五次科技革命(信息革命)即将结束,新的科技革命将可能发生在新生物学或新物理学等领域。第三,从目前的国际科技环境看,许多科学家认为21世纪是生物学的世纪,许多国家对生命科学的投入比较大。这些信息预示,第六次科技革命很可能发生在生物学领域,是一次新生物学革命。

关于第六次科技革命的时间,可以从三个角度获得启示。首先,2020年第五次科技革命(电子和信息革命)将结束,它的持续时间大约为70年(1946~2020年)。第三次科技革命(电力和运输革命)的持续时间也是大约70年。其次,2020年生物学的积累将达到约70年。从分子生物学诞生(1953年)到2020年,大约有70年。电子和信息革命的孕育时间也大约为70年,从发现电子(约1897年)到电子革命开始(1946年发明电子计算机)约为50年,到信息革命开始(约1970年)约为70年。2020年前后生物学有可能获得重大突破。第三,根据经济长波理论,2020年可能是经济长波周期的一个拐点。可以预期,第六次科技革命的时间大致是2020~2050年前后。

我们认为,第七次科技革命有可能发生在物理领域,有可能是一次新物理学革命,它将突破现有的物理观念,开辟新的物理领域,为人类的新能源、新运输、新时空等提供全新的物理知识。它发生的大致时间是2050~2100年。有人认为,新物理学革命的发生,有可能先于新生物学革命;也有人认为,新物理学革命有可能与新生物学革命同时发生。

2. 第六次科技革命的主体学科

从人类文明和世界现代化的角度看,第六次科技革命将以生命科学为基础,融合信息科技和纳米科技,提供提高生活质量和满足人类精神生活需要的最新科技。第六次科技革命将是生命科技、信息科技和纳米科技的交叉融合(并主要发生在三大学科的结合部),将是科学革命、技术革命和产业革命的交叉融合。从科学革命角度看,第六次科技革命有可能是一次新生物学革命;从技术革命角度看,它有可能是一次“创生和再生革命”,包括仿生—创生—再生的三生技术革命;从产业革命角度看,它有可能是一次“仿生和再生革命”。笔者已在《第六次科技革命的机遇与对策》一文中系统讨论了第六次科技革命的主要内容(见表6)。这里,简要讨论第六次科技革命的主体学科,同样具有“科学猜想”的性质。

表6 第六次科技革命的主要内容(一种预测)^⑧

主要标志	主体学科	扩展或带动学科	受影响学科	关键技术
信息转换器、人格信息包	整合和创生生物学	生命科学的相关学科	空间科技、能源科技	信息转换器技术
两性智能人、合成生命	思维和神经生物学	材料科学和仿生材料	海洋科技、国防科技	人格信息包技术
人体再生、神经再生	生命和再生工程	地球和环境科学	机器人学、社会科学	仿生技术
体外子宫、耦合论	信息和仿生工程	超级制造和人工智能	行为科学、复杂性科学	创生技术
整合论、永生论等	纳米和仿生工程等	超级运输和新能源等	科技伦理、现代化科学等	再生技术等

第六次科技革命是科学革命和技术革命的融合,并与信息革命和时空革命有部分交叉,它的主体部分涉及五个主要方向。

(1) 整合和创生生物学。16世纪以来,生物学发展的基本轨迹是从整体、器官(系统)、细胞到分子。这条路似乎已经快走到尽头,因为人们将会发现,即使把生物体内的每一个分子都搞清楚了,也不能完全解释生命现象。我们需要在原有路径之外,开辟新的道路,从分子、细胞、器官到生物体,研究大量分子如何协同、耦合、整合形成细胞,细胞如何协同、耦合、整合形成组织和器官,器官如何协调、耦合、整合形成生物体。这个过程是自组织的。目前,自组织理论、协同学已经诞生,耦合理论、整合理论还在孕育之中。今天,我们正在揭开人体的全部遗传信息,我们已经认识了成千上万的生物体内的分子和细胞以及各种组织和器官。如果把这些分子、细胞、组织、器官组装起来,能否“制造一个生命”?生物体与机器(技术)的多种组合,能否创造新的生命形式和新的物种?

(2) 思维和神经生物学。人脑是思维的载体,神经系统是思维的工厂,它们都是如何工作的?人脑认知和创造性思维的机理是什么?人脑信息加工、储存、提取和再现的机理是什么?对这些非常有挑战性的问题的认识,将改善人类的智慧,推进信息技术的革命性发展。

(3) 生命和再生工程。对生命的操纵有违人类的现行伦理道德,但是,人类将逐渐具备操纵生命的能力。首先,操纵遗传物质,改变生物特性,制造新物种。其次,操纵神经系统,改变生物行为特征。第三,操纵生物节律,实施人工休眠和人工唤醒,改变生物的生命周期。第四,操纵生物细胞,实现体细胞无性繁殖(克隆)。目前,植物体

细胞的全能性已经被反复证明,动物体细胞的全能性研究已经取得一些进展。所谓体细胞全能性,指生物体细胞包含全部的遗传信息,在合适条件下可以培养出完整的新生物体。第五,操纵组织器官,进行组织器官的体外培养,随时随地替换生物体的任何组织或器官。第六,操纵生物生殖,进行体外受孕、体外怀胎(人造子宫),实现体外生殖。第七,操纵生物性状,建立“生物工厂”,生产人类需要的产品,如干扰素等新药。第八,操纵生命形式,实现生物和机器的组合。再生工程包括细胞、组织、器官、躯体、人体和物种的仿生、创生和再生等。人造组织和器官如人造心脏、肺、胃、皮肤、骨头、血、血管和肢体等实现产业化生产。

(4) 信息和仿生工程。与第五次科技革命有交叉。人脑思维和动物信息处理的数字化模拟和仿真,实现信息和知识的无障碍获取、现有信息传播渠道的整合等。开发以新原理为基础的计算技术,大幅度提高计算速度。模拟人脑的认知和思维原理,并行处理和整合各种信号,逐步建立非线性推理功能(直觉),具有部分人类情感。开发新的网络技术,大幅度提高信息传输速度。“信息转换器”的发明,实现人脑与电脑之间的直接信息转换,人脑可以直接“知识充电”。“人格信息包”的发明,它包含人的全部人生信息、独立人格和自主意识,使人的“网络化生存”和网络虚拟人(网络人)成为可能,实现人的“网络化永生”。

(5) 纳米和仿生工程。主要包括纳米仿生材料、纳米仿生器官、纳米仿生设计和制造等。纳米工程指在分子或原子水平上逐个原子地操纵物质,在纳米尺度上进行设计、加工和制造等,包括纳米结构、纳米加工和制造、纳米材料、纳米器件和系统、纳米机械、纳米电子元件和设备等。纳米工程、信息工程和仿生工程的结合,不仅会为我们

开辟一个新领域,而且会为人类开创一个新的工作平台。

生命科学、信息科学、纳米科学、仿生工程和机器人学的结合,信息转换器、人格信息包、两性智能人、人体再生和互联网的结合,人类将获得三种新的“生存形式”,即网络人、仿生人和再生人,实现某种意义的“人体永生”(见表7)。届时,人将有“四条命”。

表7 人体再生和永生的路线图^⑨

起点	路径	终点	效果
人体 (自然人)	人格信息包+信息转换器+互联网	网络人	网络性永生
	人格信息包+信息转换器+两性智能人	仿生人	仿真性永生
	人格信息包+信息转换器+人体再生	再生人	复制性永生

注“人格信息包”指包含“自主意识、独立人格和人生信息”的“虚拟信息人”。“两性智能人”指具有性功能的智能仿生人。人体再生指依据体细胞全能性原理,通过人体细胞培养获得人体。

在某种意义上,“网络人”是自然人的“网络镜像”,可以主动获取需要的知识和信息。“仿生人”是自然人的“物理替身”,可以承担主要的体力和脑力劳动。“再生人”是自然人的“新生命体”,可以不断学习和成长。自然人的生活将主要是创新和休闲。特制的“仿生人”,将能够适应宇宙环境,可以携带自然人的本体,进入太空,开辟宇航时代。

3. 第六次科技革命的主要挑战

其一,伦理挑战。人造生命、人造子宫、两性智能人和人体再生等一系列突破,将彻底改变人类对生命、家庭和性关系的认识,引发重大伦理争论。

其二,副作用。生命工程、再生工程和仿生工程的技术和成果,既可以促进文明发展和人类进化,也会产生许多新型武器和犯罪形式等。

①何传启《现代化科学:国家发达的科学原理》,科学出版社2010年版,第69页。
②库恩《科学革命的结构》,上海科学技术出版社2003年版,第9~20页。
③何传启《第六次科技革命的战略机遇》,科学出版社2011年版,第10页。
④钱时惕《科技革命的历史、现状与未来》,广东教育出版社2007年版,第11~17页。
⑤中国科学院编《科技革命与中国的现代化》,科学出版社2009年版,第7~28页。
⑥戈布尔《第三思潮——马斯洛心理学》,上海译文出版社2001年版,第39~57页。
⑦⑧⑨何传启《第六次科技革命的机遇与对策》,《科学时报》2011年5月5日。

作者简介:何传启,1962年生,中国科学院中国现代化研究中心主任、研究员。

(责任编辑:李 芸)