



新科技革命的预测和解析

何传启^{1,2}

1. 中国科学院中国现代化研究中心, 北京 100190;
 2. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100049
- E-mail: hechuanqi@263.net

1 引言

现代科学的起源, 可以追溯到欧洲文艺复兴时期^[1~5]. 现代科学的诞生, 则始于 16~17 世纪的一场科学革命^[2~12]; 天文学领域的哥白尼革命是它的第一阶段, 近代物理学的诞生, 从伽利略时代到牛顿时代, 是它的第二阶段. 现代技术的起源, 同样可以追溯到欧洲文艺复兴时期; 但现代技术的诞生, 则没有公认的标志; 有些学者认为, 现代技术诞生于 18 世纪的英国工业革命^[13,14], 有些学者直接把 18 世纪的工业革命称为技术革命^[15~17]. 在很大程度上, 技术革命和工业革命是一个现象的两个视角(技术和经济视角), 就像是“一枚硬币的正面和背面”. 在一定意义上, 现代科学和现代技术都是在“革命”中诞生的.

在 19 世纪前, 科学和技术之间的联系非常有限. 在 19 世纪, 科学和技术既相互独立, 又相互促进, 交叉发展. 20 世纪以来, 科学和技术的紧密联系, 几乎发生在科学和技术的所有领域; 有些领域如高技术领域, 科学和技术是高度融合的, 难分彼此. 于是, 科学发展和技术发展, 可以统称为科技发展; 科学革命和技术革命, 可以统称为科技革命. 科技发展有 3 种类型: 科学发展、技术发展和科技交叉融合发展; 科技革命也有 3 种类型: 科学革命、技术革命、科学和技术革命(科学革命和技术革命同时发生、而且两者紧密相关的革命).

既然现代科学和现代技术的诞生都与“革命”有关, 那么, 世界科技发展就至少有两种表现形式, 一种是渐进式的科技进步, 一种是爆发式的科技革命; 前者是常态, 后者是“突变”. 我们每天看到大量的科技论文, 但科技革命是很少的. 于是, 有人会问: 在过去 5 个世纪, 世界科技发生了几次革命? 21 世纪会发生新的科技革命吗? 新科技革命的影响有多大? 2011 年 4 月以来, 我们开展了“第六次科技革命的预测研究”, 提出了科技革命的概念模型和若干预测^[18~21]. 目前新科技革命尚未发生, 对新科技革命的预测具有“科学猜想”的性质, 而且见仁见智. 这种预测具有一定的科学和启发意义. 牛顿说“没有大胆猜想就做不出伟大发现”, 爱因斯坦说“提出一个问题往往比解决一个问题更重要”.



何传启 中国科学院特聘研究员、中国科学院大学岗位教授、中国科学院中国现代化研究中心主任、中国现代化战略研究课题组长、世界现代化论坛学术委员会联合主席等. 在创新政策和现代化研究领域, 发表论文 100 多篇, 出版著作 35 部, 包括英文著作 4 部和俄文著作 1 部. 1996~1997 年参与国家科委《关于加强国家重点基础研究及

发展高技术产业的汇报提纲》的调研和起草, 完成其中“加强国家重点基础研究”部分的执笔起草. 1997~1998 年在中科院领导的指导下, 执笔起草《迎接知识经济时代, 建设国家创新体系》研究报告和《中国科学院关于开展<知识创新工程>试点的汇报提纲》. 1998 年提出第二次现代化理论, 2003 年提出综合现代化理论, 2010 年提出现代化科学, 主持完成《第二次现代化丛书》10 部. 2001 年以来负责中国现代化战略研究, 主持完成《中国现代化报告》年度报告 15 部. 2011 年以来主持第六次科技革命的预测研究等.

2 科技革命的预测方法

关于科技预测, 有许多方法, 如德尔菲法、头脑风暴法、情景分析法、文献计量法和技术路线图等. 我们设计了一种综合预测方法, 主要包括三个步骤^[20,21].

第一步, 科技革命的概念构建. 包括科技革命的概念分析和概念模型建立. 为分析和理解科技革命, 进而预测新科技革命, 建立一个概念平台和分析框架.

第二步, 新科技革命的方向预测. 在人类文明层次, 从三个角度预测新科技革命的主要方向, 即它会在哪些学科领域和学科方向. 首先, 根据人类发展的科技需求进行预测; 就是从外部看, 科技革命是科技对人类发展的前沿需求的一种响应. 其次, 根据科技革命的历史经验进行预测; 就是从内部看, 科技革命是有规律可循的. 其三, 参考借鉴其他的科技预测, 对预测内容进行交叉检验和修正; 国际科技预测有一些共识.

第三步,新科技革命的内容预测.在新科技革命方向预测的基础上,借鉴和参考其他的科技预测和世界科技发展趋势,进一步预测和解析新科技革命的科技内涵,包括主要标志、主体学科和关键技术等,以及新科技革命对经济、社会、文化和政治的可能影响.

3 科技革命的概念构建

所谓概念构建,就是发明一个概念,用来描述一个现象.16世纪以来,先有科技革命的现象,后有科技革命的概念构建.如果不用“科技革命”这个概念,也需用其他概念来描述科技革命的现象.科技革命的现象和概念之间,既相对独立,又相互影响.

3.1 什么是科学革命

科学革命,首先是一个客观现象,然后是一种概念构建.16世纪以来,世界科学的发展,既有连续性的变化,也有“突变性的变化”,现代科学的诞生就是一种“突变”^[22,23].现代科学的产生,涉及科学理论、科学方法和科学体制的巨大转变.

早在18世纪和19世纪,就有学者用“革命”来描述科学领域的重大进步^[24,25].20世纪40年代,亚历山大·科耶(Alexandre Koyre)阐述了“科学革命”的基本内涵^[3,4],巴特菲尔德在《现代科学的起源》一书中系统分析了科学革命的过程^[2].20世纪50年代以来,库恩的《哥白尼革命》(1957)^[26]和《科学革命的结构》(1962)^[27]先后出版.20世纪80年代,有学者提出两次科学革命的观点^[28].目前,在科技哲学、科技史学和科技政策等领域,“科学革命”概念被广泛采用.

库恩把科学革命理解为一种“科学范式的转变”.他认为:“科学范式”是实际科学实践的公认范例,包括定律、理论、应用和仪器,它们一起为特定的连贯的科学研究提供模型^[27].他强调:这里的科学革命是指科学发展中的非积累性事件,其中,旧范式全部或部分地为一个与其完全不能并立的崭新范式所取代^[27].例如,哥白尼革命、牛顿革命、拉瓦锡化学革命、爱因斯坦相对论革命、现代地学革命(大陆漂移说和板块学说)等.19世纪达尔文的《物种起源》和生物进化论,对人类思想具有革命性影响.

3.2 什么是技术革命

技术革命,同样是一个客观现象,同样是一种概念构建.18世纪以来,世界技术的发展,既有渐进性的技术进步,也有颠覆性或爆发性的技术突破.例如,18世纪工业革命过程中,就发生了纺织机械、蒸汽机和动力技术、机械制造和铁路技术等颠覆性的技术突破.许多学者习惯于把18世纪的工业革命称为一次技术革命^[15~17].但迄今为

止,关于技术革命没有统一定义^[29~34].技术革命与工业革命是一个历史过程的两个观察角度;前者先发生,后者后发生;相关文献比较丰富^[35~45].有些学者分析了从工业革命向信息革命的转型和信息革命的发展^[46~49].

有学者借用“科学范式”概念,提出技术范式^[33]、产业范式和技术-经济范式^[34].其中,技术范式是技术研发的一种公认范例,包括原理、方法、规范和应用等,它们一起为特定的连贯的技术研发提供模式.简单地说,技术革命是一种技术范式的转变,工业革命是一种产业范式的转变.在一定意义上(18世纪以来),工业革命和产业革命是同义词.佩蕾丝认为:技术革命包括技术范式和产业范式的双重转变,属于技术-经济范式的转变^[15,34].

3.3 什么是科技革命

目前,科技革命的概念,主要出现在科技政策、科技哲学和科技史学、以及人类文明史和现代化研究等领域.不同领域的概念有所不同,关于科技革命没有统一定义^[50~52].

在科技政策领域,科技革命没有统一定义,甚至没有定义,没有标准.根据字面意义和习惯用法,科技革命指世界科技的根本性改变,泛指重大科技突破集中涌现的现象.

在科技哲学和科技史领域,科技革命可以沿用库恩的范式理论^[9].科技革命是科学革命和技术革命的简称,其中,科学革命是科学范式的转变,技术革命是技术范式的转变.例如《科学的历程》一书罗列了一批科学革命和技术革命^[10].其中,科学革命包括天文学、物理学、化学和地学革命等;技术革命包括蒸汽机、运输机械、电力、电子技术革命等.

在人类文明史和现代化研究领域,科技革命可以从两个层次进行观察(图1).在世界科技史层次:科技革命是科技范式的转变,关注科技自身的变化.在人类文明史层次:科技革命不仅是科技范式的转变,而且涉及科技、经济、社会、文化和政治五个领域的深刻变化.

现代化科学认为:人类文明的发展,包括科技、经济、社会、文化和政治等领域的进步,而且它们相互作用,形成一个复杂的“共生系统”;创新是文明进步的原动力^[53].从科技与经济、社会、文化和政治的关系角度看,这个共生系统是一种互利共生系统.

根据上述假设,可以提出科技革命的“1+4”共生模型(图2):科技革命不仅是科技范式的转变,而且是科技与经济、社会、文化和政治相互作用的结果;科技革命包括五个领域的深刻变化,其中,科技变化是核心,同时科技与其他四个领域相互作用;它的实质是四个转变,包括科技范式、思想观念、生活方式和生产方式的转变.

在人类文明史层次,科技革命是科学革命和技术革命

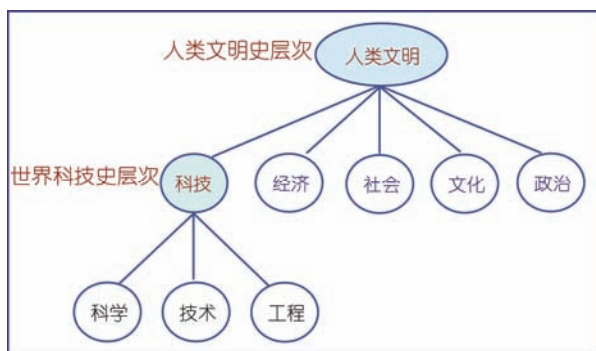


图1 科技革命的两个观察层次

Figure 1 The two hierarchies of scientific and technological revolutions

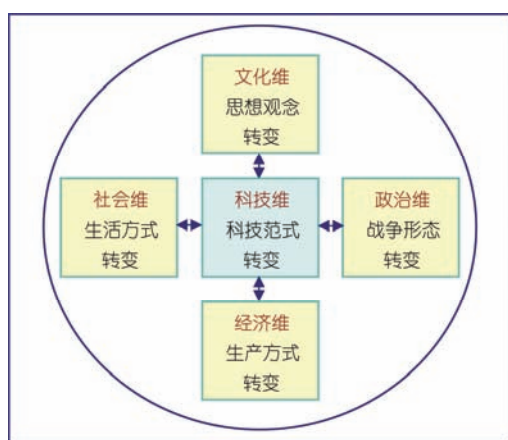


图2 科技革命的“1+4”共生模型

Figure 2 The model of “1+4” symbiosis on the scientific and technological revolutions. Note: 1 refers to science & technology, 4 refers to the four fields, i.e. economy, society, culture and politics

的统称，指引发科技范式、人类的思想观念、生活方式和生产方式的革命性转变的科技变迁，大致有五个判断标准(表1)。

按照上述定义和标准进行观测，16世纪以来世界科技大致发生了五次革命，包括两次科学革命和三次技术革命

(表2)；即现代科学诞生(含近代物理学诞生)、蒸汽机和机械革命、电力和运输革命、相对论和量子论革命、电子和信息革命^[20,21]。

现代科技有众多学科，例如，数学、物理、化学、生物学、地学、机械、运输、电力、电子、信息和空间技术等。在学科层次，有人用“革命”来描述本学科的重大进步。例如在生物学中，分子生物学革命和基因组学革命等，都是比较流行的提法。这种“小革命”是一种“小范式转变”或“小范式创立”，主要影响本学科，对其他学科而言是一种新知识。

综上所述，科技革命大致分为三个层次。第一层次是学科层次的“小革命”，发生在学科内部，主要影响学科自身发展，数量非常多。第二层次是世界科技史层次的革命，发生在科技领域，主要影响科技发展，可以采用世界科技史层次的定义和标准(表1)，数量比较多。第三层次是人类文明史层次的革命，包括科技等五个领域的深刻变化，可以采用人类文明史层次的定义和标准(表1)，数量非常少，比较公认的革命约有五次(表2)。一般而言，一次人类文明史层次的技术革命，必然是一次世界科技史层次的革命；一次世界科技史层次的技术革命，必然是一次学科层次的革命；但反过来说就不成立，因为它们的标准不同。

4 新科技革命的方向预测

在人类文明史层次，根据人类需求、历史经验和国际借鉴，预测新科技革命的方向。

4.1 根据人类发展需求的预测

现代科技不是孤立的，而是现代社会的一个组成部分^[54,55]。它既是社会进步的动力，又受社会需求的影响。人类社会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，与人类发展的前沿需求有关，与科技革命的判断标准有关。

(1) 基于人类学的预测。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：空

表1 科技革命的判断标准^[20,21]

Table 1 The criteria of scientific and technological revolutions

层次	世界科技史层次	人类文明史层次(现代化研究领域)
标准	(1) 科学革命指科学范式的转变 (2) 技术革命指技术范式的转变 (3) 影响范围：不仅影响本学科领域的发展，而且对其他学科领域的发展有一定影响	(1) 科学范式或技术范式的转变 (2) 显著改变人类的思想观念 (3) 显著改变人类的生活方式 (4) 显著改变人类的生产方式 (5) 社会影响人口覆盖率超过 50%(估计数) 科学革命：需要满足第一、第二、第五个条件 技术革命：需要满足第一、第三、第四、第五个条件

表 2 16 世纪以来的科技革命^{[20,21]a)}

Table 2 The revolutions of science and technology since 16th century

科技革命	大致时间	标志和性质	主体部分和若干代表	扩展或带动部分
第一次	16~17 世纪	现代科学诞生 (科学革命)	天文和物理学, 哥白尼、伽利略、牛顿	现代科学的发展, 包括化学、生物学等
第二次	18~19 世纪	蒸汽机和机械革命 (技术革命)	机械技术, 纺织机、蒸汽机、工作母机	冶金技术、煤炭、轮船、铁路、火车等
第三次	19~20 世纪	电力和运输革命 (技术革命)	电力技术, 发电机、内燃机、电讯技术	化工、石油、钢铁、电器、运输等
第四次	20 世纪上半叶	相对论和量子论革命 (科学革命)	物理学, 相对论、量子论、射线和电子	天文、粒子、遗传、地学等
第五次	20 世纪下半叶	电子和信息革命 (技术革命)	电子和信息技术, 自动化、计算机、互联网	航天、材料、生物、核能、制造、娱乐等
第六次	21 世纪上半叶	新生物学和再生革命 (科技革命)	新生物学, 信息转换、人格复制、仿生再生	生物、信息、材料、智能制造、机器人等
第七次	21 世纪下半叶	新物理学和时空革命 (科技革命)	新物理学, 新时空、新能源、宇宙旅行	空间、生物、运输、材料、制造技术等

a): 这里把 18 世纪的化学革命看作是第一次科学革命的扩展部分. 第五次科技革命包括电子技术革命和信息技术革命两个阶段(自动化和信息化两个阶段). 第六次和第七次科技革命是一种猜想, 后同

间、能源、物质和信息, 当然人体是基础(表 3). 关于这五个方面的科技需求, 可以作为讨论科技发展的一种历史逻辑和分析框架^[20,21].

在农业社会, 人类的基本挑战是生存挑战, 丰衣足食是一个普遍梦想; 相应的科技需求是关于能源和物质的科技, 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些发展. 人类能源需要包括粮食和各种能源. 空间科技指与人类活动空间相关的科技.

在工业社会, 人类的基本挑战是提高生产力, 提高物质生活水平和社会地位是一种普遍追求; 相应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.

在知识社会, 人类的基本挑战是精神生活和健康长寿, 提高生活质量和遨游宇宙也是人们的普遍追求; 相应的科技需求包括信息技术、生命科学、绿色高科技、绿色能源和空间科技等. 其中, 绿色高科技和能源与提高生活质量有关, 信息技术与精神生活相关, 生命科学和再生技术与人类健康长寿有关, 空间科技与人类遨游宇宙有关.

根据技术特点, 工业社会的科技发展大致可分为三个

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). 根据科技需求和科技发展趋势推测, 基于技术特点, 知识社会的科技发展大致也可分为三个阶段^[20,21]: 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).

(2) 基于心理学的预测. 关于人的行为心理有许多理论, 其中“需求层次理论”有广泛的影响^[56]. 这种理论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; 其中, 前两个层次的需要是人的生存性需要(基本需求), 第三和第四层次的需要是社会性需要(中级需求), 第五个层次的需要是发展性需要(高级需求); 一般而言, 需求层次是递进的, 当低一层次需求满足后, 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”, 可用“需求层次理论”来“类比性”讨论人的科技需求(表 4). 在农业社会, 人面临生存压力(如粮食问题), 其需求属于基本需求, 科技发展主要是缓解生存压力的科技, 如农学、天文学、数学和医学等. 在工业社会, 人面临的压力主要是提高物质生活水平和社会地位, 其需求属于初级和中级需求, 科技发展主要

表 3 人类发展的五个方面的科技需求^[20,21]

Table 3 The needs on science and technology in five aspects of human development

项目	原始社会	农业社会	工业社会	知识社会
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	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	原始武器	传统的武器和运输	现代的武器和运输	空间科技、超级运输
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

表4 人的需求层次和相应的科技需求^{[20,21]a)}

Table 4 The hierarchies of needs and related needs of science and technology

层次	人的需求	需求的性质	大致的科技需求	备注
5	自我实现的需要	发展性需要(高级需求)	提高生活质量和丰富精神生活相关的科技	知识社会的前沿需求
4	尊重的需要	社会性需要(中级需求)	提高物质生活水平和劳动生产力相关的科技	工业社会的前沿需求
3	情感的需要			
2	安全的需要	生存性需要(基本需求)	满足生存需要相关的科技	农业社会的基本需求
1	生理的需要			

a): 需求层次是递进的, 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

是与提高劳动生产力和物质生活水平相关的科技, 包括现代科技的各门学科。在知识社会, 发达国家人的物质生活已经非常丰富(中级需求已满足), 人面临的主要压力是丰富精神生活和提高生活质量, 其需求属于高级需求, 科技发展主要是与提高生活质量和丰富精神生活相关的科技。精神需求还包括健康长寿和遨游太空等。心理学与人类学分析结果基本一致。

(3) 基于科技革命标准的预测。在人类文明史层次, 科技革命有五个判断标准, 即科技范式转变、人类思想观念、生活方式和生产方式的转变、社会影响人口覆盖率超过 50%(表 1)。只有满足科技革命标准的科技需求, 而且是人类发展的前沿需求, 才有可能引发人类文明史层次的新科技革命。21 世纪能够满足这些条件的科技需求是有限的。

根据人类学和心理学的分析, 知识社会人类发展的前沿需求主要有四类: 提高生活质量、丰富精神生活、健康长寿和遨游宇宙等。这些需求都与常规科技进步有关; 其中, 精神生活、健康长寿和遨游宇宙的需要, 是知识社会的代表性需求, 很有可能引发科技革命。事实上, 满足精神生活的需要与信息革命紧密相关。可以推测, 满足健康长寿和遨游宇宙的需要, 有可能引发生物学、物理学和空间科学领域的革命。21 世纪有可能发生三次科技革命: 信息革命(第五次科技革命的延续)、“新生物学革命”、“新物理学和空间科技革命”等。

4.2 根据科技革命经验的预测

(1) 科技革命的历史经验, 可以为预测科技革命提供某种指引。

首先, 科技革命有规律。在人类文明史层次, 科技革命是一个历史过程, 具有起点、终点、标志和结构, 涉及科技等五个领域的变化, 科学革命和技术革命有不同特点; 科技革命的标志各不相同但结构大体相近, 每次科技革命都有 2~3 个标志性事件, 都包括主体部分、扩展部分和带动部分; 科技革命发生在部分学科领域和学科方向, 前五次科技革命主要发生在物理学、天文学、动力技术、机械技术、电力技术和信息技术等领域。其次, 科技革命有趋势。科技革命有加速发展的趋势, 其时间跨度在缩小。16 和

17 世纪发生一次科技革命, 18 和 19 世纪各发生一次科技革命, 20 世纪发生了两次科技革命。科技革命有交叉融合的趋势, 科学革命和技术革命, 从 19 世纪以前的相互分离, 到 19 和 20 世纪的相互交叉和相互促进。其三, 科技革命的可预测性。科技革命在什么时候什么地点发生, 有很大偶然性; 但科技革命会不会发生, 具有一定必然性。过去五个世纪发生了五次科技革命, 当今世界科技加速发展, 21 世纪必然发生新的科技革命。

(2) 根据历史经验的预测, 可以减少科技革命预测的“随意性”。

首先, 根据规律性预测, 21 世纪的科技革命, 必然有标志和结构, 并发生在有限领域。其次, 根据加速性预测, 21 世纪的科技革命, 有可能发生两次, 即第六和第七次革命。其三, 根据交叉性预测, 21 世纪的科技革命, 有可能发生在交叉学科领域, 有可能发生在科学与技术的交叉领域, 有可能发生科学革命、技术革命和产业革命的交叉融合。

4.3 参考借鉴其他的相关预测

(1) 国外科技界的相关预测。目前国外没有关于科技革命的专题预测, 但有些科学研究和科技预测与科技革命有关^[57-63], 这里介绍几个例子。2001 年美国科学基金会发表报告: 《提升人类能力的会聚技术》, 提出纳米科技、生命科技、信息技术和认知科学的会聚^[64]。2009 年美国科学院发表报告: 《21 世纪的新生物学: 确保美国领导正在来临的生物学革命》^[65]。新生物学有两层含义。第一步是生物学内部的学科整合, 第二步生物学与物理学、化学、计算机科学、数学和工程学再整合。2005 年 *Science* 杂志提出 125 个科学重大问题, 分为八大领域: 生命与健康、信息科技、地球与环境、能源与资源、制造与工程、物质科学、社会科学和其他^[66]。2005 年美国学者科兹威尔的《奇点迫近》出版^[67]。他说未来有一天, 人类将通过与机器结合而获永生, 这个时间点是 2045 年。

(2) 中国科技界的预测。2009 年中国科学院发表报告: 《科技革命与中国的现代化》^[16], 认为当今世界正处于新科技革命的前夜, 在六个方面正在孕育重大突破, 可能会引发新的科技革命。2012 年 1 月中国科学院白春礼院

长发表“新科技革命的拂晓”^[68],认为第六次科技革命的方向,很有可能得益于第五次科技革命(电子和信息革命)的推动,在物质科学、生命科学等学科及其交叉领域开辟新空间。

4.4 第六次科技革命的主要方向

(1) 关于新科技革命的方向。大致有两种观点:“新生物学革命”,满足人类健康长寿的需要;“新物理学革命”,满足人类遨游宇宙的需要(涉及新能源和新运输)。

(2) 关于新科技革命的顺序。大致有三种观点:新生物学革命先发生,新物理学革命先发生,新生物学革命和新物理学革命同时发生。

(3) 关于新科技革命的综合预测。综合人类需求分析、历史经验分析和国际科技预测,考虑国际科技投入和发展趋势,推测 21 世纪有可能先后发生两次新科技革命^[20,21]。

第六次科技革命有可能是一次“新生物学和再生革命”(约 2020~2050 年),它将以新生物学革命为学科基础,融合信息科技和纳米科技,为人类提供提高生活质量和人类可持续性、满足精神生活需要和健康长寿需要以及适应宇航时代需要的最新科技;它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(图3)。从科学角度看,它将可能是一次新生物学革命,解释生命和意识的本质。从技术角度看,它将是一次“创生和再生革命”,或者说是仿生—创生—再生的“三生技术革命”。从产业角度看,它将是一次“仿生和再生革命”。从经济角度看,它将是一次“新生物经济革命”。从人类文明角度看,它将是一次“再生和永生革命”,人类文明将进入再生时代。

从科技革命的历史角度看,第六次科技革命包含第三次科学革命、第四次技术革命和第四次产业革命(图4)。它是一次完整意义的科技革命,其影响有可能超越前五次科技革命。

从美国科学基金会的“会聚技术”、美国科学院的“新生物学”到第六次科技革命的“新生物学和再生革命”,具

有一定的科学逻辑联系,显示科技预测具有一些共识。

第七次科技革命有可能是一次“新物理学和时空革命”(约 2050~2100 年),它将以新物理学革命为学科基础,融合空间科技和能源科技,为人类提供新时空观、新能源和宇宙旅行需要的最新科技;主要发生在物质科学、空间科技和能源科技的交叉结合部,也将是科学革命、技术革命和产业革命的交叉融合。它将突破现有的物理观念,开辟新的物理领域。

5 第六次科技革命的内容预测

21 世纪将可能发生三次科技革命,即信息革命(20 世纪信息革命的延续)、新生物学和再生革命、新物理学和时空革命。其中,新生物学和再生革命,上与信息革命有所交叉,下与新物理学和时空革命有所衔接。这里,重点预测和解析新生物学和再生革命的内容。

5.1 第六次科技革命的科技维度

从科技角度看,每次科技革命都有自己的标志和结构,包括主体部分、扩展和带动部分,第六次科技革命也会如此(表5)。关于其标志和结构的解析,具有很强的科学猜想性质。

(1) 第六次科技革命的十个候选标志。根据前五次科技革命的历史经验,第六次科技革命至少有 3 个左右的标志。这里提出 10 个候选者。

首先,信息转换器,一种实现人脑与电脑之间的信息转换的设备。目前,脑机接口技术(BCI)发展很快。信息转换会达到一种水平,即从电脑下载信息到人脑无障碍,从人脑上传信息到电脑无障碍;前者引发知识下载的“学习革命”,后者实现无障碍的意念控制。

其次,人格信息包,一种包含人脑的意识和人格的信息包。通俗地说,通过对人脑意识和人格的数字化复制和虚拟再现,形成一个包含“自我意识、独立人格和人生信息”的信息人(数字人),实现具有自我意识和人格的“数字化生存”。美国科幻电影“阿凡达”中的“意识转移”和科幻电

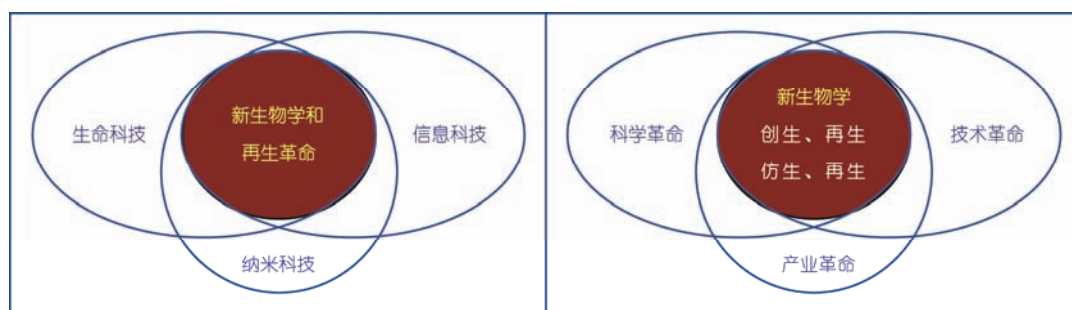


图3 第六次科技革命的示意图

Figure 3 The diagram of sixth revolution of science and technology

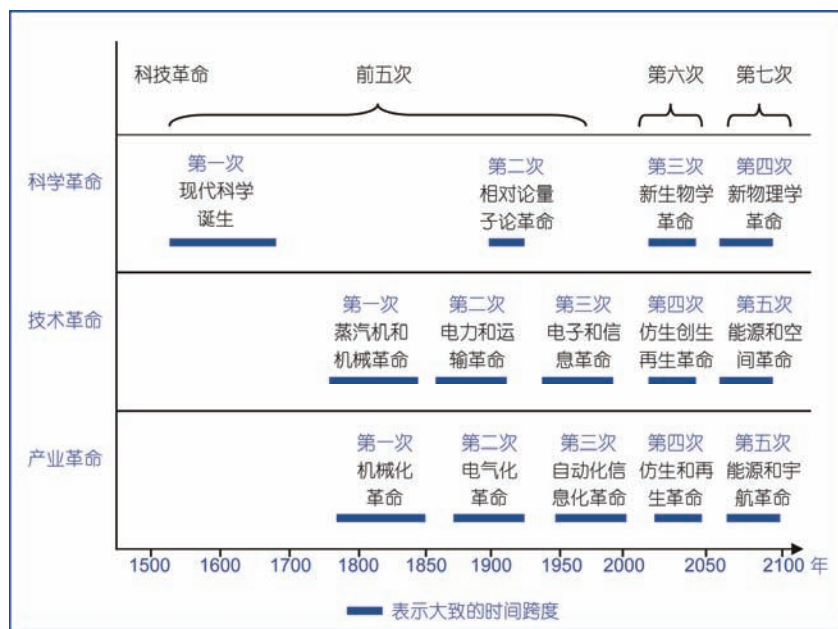


图4 16世纪以来科技革命的历史和预测

Figure 4 The history and forecast of the revolutions of science and technology since 16th century

表5 第六次科技革命的主要内容(一种预测)^[20,21]

Table 5 The contents of the sixth revolution of science and technology (A forecast)

主要标志	主体学科	关键技术	扩展或带动部分
信息转换器、人格信息包	整合和创生生物学	信息转换技术	生命科技、医学、农业生物学
人体再生、创造生命	意识和脑科学	人格复制技术	信息技术、人工智能、机器人
神经再生、体外子宫	生命和再生工程	仿生技术	纳米技术、物质科学、先进制造
家用仿生人、耦合论	信息仿生工程	创生技术	地球科学、环境科学、新能源
整合论、永生论等	纳米仿生工程等	再生技术等	人类学、社会科学、国防科技等

影“超验骇客”中的“网络生存”将成为现实。

其三，人体再生，指用人体的体细胞培养出一个新人体(新生或成熟人体)。它将实现生物学意义的“人体复制”或“人体再生”，引发人生观的革命。目前植物细胞全能性得到验证，动物细胞核的全能性得到验证，生物界存在单性繁殖。在不远的未来，科学家将发明一种动物细胞培养方法，验证动物细胞全能性，为人体再生提供生物学基础。

其四，创造生命，人工合成和创造生命。有助于解释生命现象，制造新的物种和生物工厂等。将引发关于生命伦理的争论。目前已能合成基因组和染色体。

其五，神经再生，指刺激神经细胞的可控再生，帮助人类战胜神经性疾病。

其六，体外子宫，一种模拟孕妇子宫的体外胎儿孵化器。通俗地说，就是“人造子宫”，让受精卵或全能细胞在其中发育成婴儿，实现体外生殖。将引发生殖模式和妇女地位的革命。

其七，家用仿生人，指具有性别和性功能的、适合家

庭需要的仿生人。它将满足和解决人类对性生活的需要，成为“家务总管”或“生活伴侣”，引发生活模式和家庭模式的革命。它将以真人或“目标人”为设计原形，采用仿生材料制造，无限接近其设计原形。

其八，耦合论，一种跨学科理论，阐述生物体内分子之间、细胞之间、组织和器官之间的耦合机制，以及生物与机器之间的耦合机制。

其九，整合论，一种跨学科理论，阐述生物体内分子如何整合成细胞、细胞如何整合成组织和器官、组织器官如何整合成生物体，以及生物与机器如何整合成新生命形态的机制。

其十，永生论，一种跨学科理论，阐述生命体实现符合生物学原理的“再生和永生”的技术可能性和技术路径等。

如果上述10个标志都取得突破和成功，那么，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”(表6)。具体而言，以自然人为起点，分别制备他的人格信息包、仿生人体和再生人体；然

后,把他的人格信息包复制到互联网上,形成一个他的“网络人”;把人格信息包复制到他的仿生人体上,形成一个他的仿生人;把人格信息包复制到他的再生人体上,形成一个他的再生人;通过信息转换器实现他与网络人、仿生人和再生人的互动.形象地说,届时人将有“四条命”(图5).

在某种意义上,“网络人”是自然人的一个“网络镜像”,可以主动获取知识和信息;“仿生人”是自然人的一个“社会替身”,可以承担体力和脑力劳动;“再生人”是自然人的一个“复制体”,是自然人的一个“身体备份”;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.人的四种“生存形式”以自然人为主导,彼此理性互动,生成丰富多彩的社会生活和人类世界.

长生不老是人类的一个梦想.依据现有科技,这种梦想是不可能实现的.生老病死是生命的本质特征,自然人的寿命是有限的.但是,第六次科技革命将提供一种新的思路,即依靠网络人、仿生人和再生人技术,实现一定意义的“人体永生”,即网络人的“网络性永生”、仿生人的“仿真性永生”和再生人的“复制性永生”.迄今为止,依靠科技手段,人类许多梦想和神话已经“实现”,例如,人类依靠飞机飞上蓝天,人类依靠飞船登上月球等.将来,人类依靠第六次科技革命实现某种意义的“人体再生和永生”将是一个新例子.

(2) 第六次科技革命的主体学科,包括两个自然科学和三个技术科学学科.

首先,整合和创生生物学:解释生命本质,从分子、细胞、器官到生物体层次,研究大量分子如何协同、耦合和整合形成细胞器和细胞?细胞如何协同、耦合和整合形成组织和器官?组织和器官如何协同、耦合和整合形成生物体?如何把生物分子、细胞、组织和器官组装起来,制造一个生命?如何把生物与机器(技术)组合起来,创造新的生命形式等.促进整合生物学、合成生物学、创生生物学和新生物学等,实现跨学科的“大生物学”整合.

其次,意识和脑科学:解释意识本质和人脑原理.人脑是意识和思维的载体.揭示人脑意识的本质、思维过程和原理、认知过程和机理、人脑信息处理和再现机理等;促进脑神经生物学、认知科学、思维科学、人格心理学、计算科学、意识科学和脑科学的系统整合.

其三,生命和再生工程:实现生命操纵和再生的工程

学.属于现代生物技术与高级工业技术(工程技术)的交叉.虽然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.例如,操纵遗传物质、神经系统、生物节律、生物细胞、组织器官、生物生殖、生物性状、生命形式和生物行为模式,实现体外生殖、神经再生、生物与机器整合等.生物再生工程涉及生物组织和器官、人体和物种的再生等.

其四,信息仿生工程:实现人脑信息仿生的工程学.与信息革命有交叉,属于信息技术与仿生工程的交叉.人脑意识和思维、动物信息处理的数字化模拟和仿真,实现多种信息的整合.开发以新原理为基础的计算技术和网络技术,模拟人脑的认知和思维原理(人工智能),并行处理和整合各种信号,逐步建立非线性推理功能(直觉),具有部分人类情感等.

其五,纳米仿生工程:实现人体躯体仿生的工程学.属于纳米技术与仿生工程的交叉.例如,纳米仿生设计、纳米仿生材料、纳米仿生组织和器官、纳米仿生合成和纳米仿生制造等,制造高仿真的仿生人体和仿生生物等.

(3) 第六次科技革命的关键技术,包括两个软件技术和三个硬件技术.

首先,信息转换技术:制造信息转换器的技术,即实现人脑与电脑、人脑与人脑之间的信息转换和意念控制的技术,实现生物信息与电子信息的转换和整合.相关技术包括:人脑的信息获取、信息储存、信息传输、信息转换、信息整合、信息分解、信息生成、人脑反向工程等.它将有多种技术路径,例如,穿戴式、植入式、嵌入式、便携式和分布式等.

其次,人格复制技术:制造人格信息包的技术,即制造包含自我意识和人格的“信息包”的信息仿生技术,实现人的意识、人格和人生信息的数字化备份和虚拟再现.形象地说,人格复制技术,既是一种“人脑信息复制技术”,也是一种“人脑信息转移和再现技术”.相关技术包括:知识工程、人工智能、虚拟人体、虚拟心理、虚拟思维、虚拟认知、虚拟意识和虚拟人格等.它将有多种表现形式,例如,人脑的电脑备份、意识复制、意识模拟、意识编程、意识转移、意识调控、人格复制、人格模拟、人格转移、人造意识和意识再现等.

其三,仿生技术:实现人体的仿生制造和躯体仿真的技术,即仿制生物组织、生物器官、生物个体和生物行为

表6 人类“再生和永生”的路线图^[20,21]

Table 6 The roadmap of “regeneration and eternity” of human beings

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

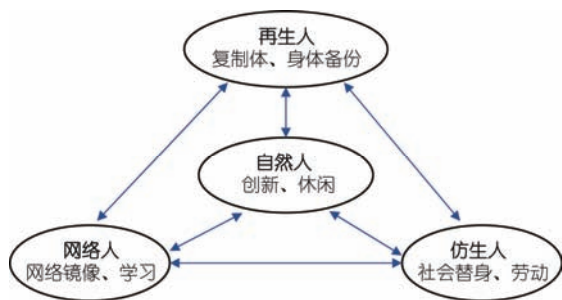


图5 未来人的四种“生存形式”^[20,21]

Figure 5 The four forms of human beings in the future

的工程技术。相关技术包括：人体仿真、动物仿真、植物仿真、智能仿生、信息仿生、纳米仿生、仿生设计、仿生制造、仿生工程、仿真机器人、仿生材料、仿生组织和仿生器官(人造物质性的仿生组织和器官)等。人工智能的本质是一种“智能仿生”，它将实现“人脑仿生”和“技能仿生”，并最终超越人类个体的智慧和技能。

其四，创生技术：创造新生命形态和生命功能的技术，即人工有目的地合成和创造生物组织、器官、肢体和生命体的工程技术。相关技术包括：合成遗传物质、合成细胞器、合成细胞、生物设计、创造生物组织和器官、创造生命、遗传工程、细胞反向工程、生物与非生物的耦合技术、生物与非生物的整合技术、生物与非生物信息的整合技术等。

其五，再生技术：实现生物体再生的技术，即通过诱导或培养实现生物组织、器官和生命体的再生的工程技术。相关技术包括：生物组织、器官和生物体的体外再生，人体组织、器官和人体的体外再生，人造子宫和体外生殖，人体组织和器官的体内诱导再生等。

信息转换和人格复制技术的核心技术是软件，仿生、创生和再生技术属于硬件技术，它们会不断升级换代，就像计算机和软件技术的更新换代一样；仿生、创生和再生技术会相互交叉融合，五大技术有可能部分交叉融合，引发第四次技术革命，即“创生和再生革命”。

5.2 第六次科技革命的经济维度

从经济角度看，新生物学和再生革命将改变人类的生产方式和产业结构。

(1) 新产业和新经济革命。“仿生和再生”的产业革命和新生物经济革命。与现代的工业设计和制造相比，新产业革命的特点将是生物设计、生物制造和仿生制造。

(2) 第四次产业革命的五大产业，包括生物技术产业升级和四个新兴产业。

首先，新一代生物技术产业：融合信息技术、仿生技术、创生技术和再生技术等，实现现有生物技术和健康产业的升级换代。人工智能属于一种仿生技术，包括智能仿

生、技能仿生和功能仿生等。其次，意念控制和意识虚拟产业：信息转换和人格复制技术的商业应用，如商用读心术、意念控制仪、意念控制的玩具和游戏、在线学习机和机器翻译、人脑备份、虚拟替身、虚拟医生、虚拟教师、虚拟战士、虚拟歌手、虚拟演员、虚拟亲人、虚拟朋友等。其三，仿生产业：仿生技术的商业应用，如仿生材料、仿生器官、仿生设计、仿生制造、仿生战士、仿生医生、仿生教师、仿生律师、服务仿生人和家用仿生人等。其四，创生产业：创生技术的商业应用，如生物设计、合成器官、生物工厂等。其五，再生产业：再生技术的商业应用，如再生医学、再生工程等。融合仿生、创生和再生技术，实现人体组织和器官(如心脏、肺、血和肢体等)的产业化生产等。

(3) 人口和资源挑战。如果人有“四条命”，地球资源能否够用？但是，如果人只有“一条命”，当人类人口达到100亿而且人人享受目前发达国家的生活质量的时候，地球资源是否够用？可能不够。从资源角度看，人类根本出路是走出地球，登上宇宙大舞台。

5.3 第六次科技革命的社会维度

从社会角度看，新生物学和再生革命将彻底改变人类的生活方式，从学习、工作、家庭、性生活到生殖模式，也将带来副作用。首先，学习革命：信息转换器进入学校，人脑和电脑直接信息交流，学习成为“知识充电”，人类从没完没了的学习压力中解放出来。大学转变职能，从教育机构转变为科研机构。其次，工作革命：仿生人、智能机器人和绿色超级制造系统等，将大量代替人类的体力和脑力劳动，人类获得“彻底解放”，创新和休闲成为人们的主要活动。其三，家庭革命：仿生人进入家庭，家庭结构和性模式的多样化。其四，生殖革命：“体外子宫”实用化，实现“体外生殖”和“订单生殖”。其五，副作用。生命工程、仿生工程、创生工程和再生工程的技术和成果，既可以促进文明进步和人类进化，也会产生许多新的犯罪形式和新型武器等。

5.4 第六次科技革命的文化维度

从文化角度看，新生物学和再生革命将彻底改变我们的生活观念和人生价值。

首先，伦理挑战。人造生命、人造子宫、家用仿生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。其次，观念挑战。再生革命成功后，人将获得“四种生存形式”和某种形式的“再生和永生”。那么，人的财产观念、家庭观念、生育观念和人生观念，都将发生改变。其三，制度挑战。人类文明进入再生时代。目前的基于物质文明和信息文明的制度体系，将难以适应再生时代的需要。我们需要构造一个“再生时代的人类文化和制度”。

5.5 第六次科技革命的政治维度

从政治角度看,新生物学和再生革命将带来新的国际战争、国际关系和世界格局。

首先,国际战争的改变^[69]。16世纪以来,科技革命改变了国际战争的武器体系和战争形态,国际战争形态从冷兵器战争、火枪炮战争、机械化战争到信息化战争。其中,电子和信息革命带来的新武器和新战争包括:电子武器、信息武器、精导武器、机器人武器、“制信权”和信息化战争等。新生物学和再生革命同样将带来新武器和新战争,包括神经武器、网络战士、仿生战士、“制脑权”和神经控制战等;神经战的赢家将可能成为世界的主人,输家有可能成为别人的附庸或傀儡。未来的新物理学和时空革命也将带来新武器和新战争,包括太空武器、新能量武器、“制天权”和太空控制战等。

其次,国际关系和世界格局的改变。从技术角度看,如果一个国家拥有神经控制战的能力其他国家没有,那么,拥有神经控制战能力的国家,可以操纵他国的领导和军队,甚至把他国的精英和军队变成自己的傀儡和附庸,国际关系和世界格局将会彻底改变。

其三,现代文明基础的改变。从伦理角度看,现代文明建立在“自然人联合体”的基础之上,每个人只有“一条命”,人死不能复生,生存权是人的基本权利。如果在技术上实现了人有“四条命”,从技术角度看,人可以“再生”,可以有“N条命”。这样一来,现代文明的伦理基础就改变了。例如,如果一个人有足够财力,从技术上说可以“再生”和有“N条命”,那么,谁来决定一个人可以有“几条命”?同一个人的“几条命”之间的法律关系如何决定?会不会出现一个具有超强能力的“网络人”或“仿生人”?诸如此类的种种问题,将是无法回避和需要认真对待的。

6 讨论

16世纪以来,科技革命既是一个客观现象,也是一种概念构建^[2~21]。关于科技革命的定义,迄今没有统一认识^[50~52],而且存在诸多争议。尽管如此,历史经验显示,科技革命有规律,科技创新有机遇^[70]。科技革命的预测研究,有助于分析和把握新科技革命的机遇。

科技预测有许多方法,但没有标准方法。本文设计的“概念构建—方向预测—内容预测”的三阶段预测,比较适合宏观预测,可为微观预测提供借鉴。科技预测具有“科学猜想”的性质,其特点是提出问题而不是解决问题,提出某种可能性而不是结论;它可以提供启发和引导,而不是给出答案或结果。在预测过程,有共识有争议,是非常正常的。

科学既有求真,也有试错;求真是发现事实,试错是探索未知。科技预测是科学研究的一种方法,也包含求真和试错。在科技预测中,求真是反映世界科技的发展趋势,试错则是要超越趋势,对未来进行大胆猜想。思想无疆,进步无止,科学才会永葆活力。

新科技革命从预测到爆发,有一个演变过程。2016年12月英国《自然》杂志推出“再生医学”展望特刊^[71],聚焦“人体重构”(Rebuilding the body),发表了7篇综述性文章。新科技革命的前兆在逐步浮现。

7 结束语

在人类文明史层次,在16~20世纪期间,世界科技发生了五次革命,21世纪有可能发生两次新科技革命。其中,“电子和信息革命”已经带来了网络空间,“新生物学和再生革命”有可能给人类带来三种新“生存形式”,“新物理学和时空革命”有可能带来宇宙旅行和太空家园(图6)。在21世纪末,人类将有四种生存形式(自然人、网络人、仿生人和再生人),将有两个家园(地球家园和太空家园),将生活在两个空间(物理空间和网络空间);人类生活的四种形式、两个家园和两个空间的互动,将构成人类文明的新形态,将塑造一个新世界。届时,地球将成为人类文明的发源地,宇宙将成为人类高级文明的大舞台;新科技革命的赢家有可能成为新世界的主人,输家有可能成为他人的傀儡或附庸。

科技革命为人类发展开辟了新道路,为个人生活提供了新选择,同时也带来副作用。很多时候,技术是一把双刃剑,关键是如何使用,如何在发挥积极作用的同时控制技术风险。在新科技革命浪潮面前,每个人都有选择的权利。有人会走在前沿,有人会走在末尾;有人会全盘接受,有人会有选择的接受,有人会完全拒绝。但是,个人选择主要影响自己的未来,而不会改变人类发展的方向。过去如此,现在和未来也会如此。

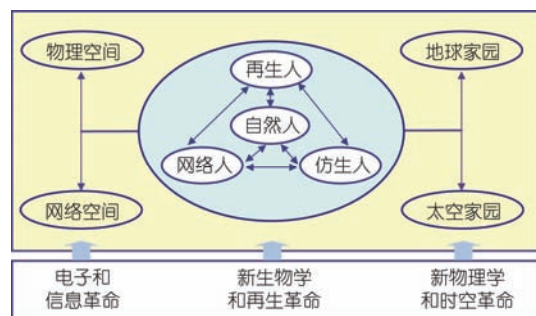


图6 21世纪的科技革命与人类文明形态

Figure 6 The human civilizations and the revolutions of science and technology in 21st century

致谢 本预测研究是根据中国科学院领导的委托开展的。先后有 100 多位院士提出了预测建议,中国科学院中国现代化研究中心的部分理事和同事参与了讨论,《科学时报》最早报道本项预测,中国科学院发展规划局给予了经费支持,审稿人的修改意见提高了论文质量,在此表示衷心感谢。

推荐阅读文献

- 1 Dampier W C. A History of Science and Its Relations With Philosophy and Religion. New York: Cambridge University Press, 1958. 97-177 [丹皮尔. 科学史及其与哲学和宗教的关系. 北京: 商务印书馆, 1997. 155-254]
- 2 Butterfield H. The Origins of Modern Science 1300-1800. New York: Macmillan, 1957
- 3 Koyre Y. From the Closed World to the Infinite Universe. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1957
- 4 Shapin S. The Scientific Revolution. Chicago: The University of Chicago Press, 1996
- 5 Henry J. The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science. 3rd Edition. New York: Palgrave Macmillan, 2008
- 6 Cohen H F. The Scientific Revolution: a Historiographical Inquiry. Chicago: University of Chicago Press, 1994
- 7 Hellyer M. The Scientific Revolution: The Essential Readings. Berlin: Blackwell, 2003
- 8 Hall A R. The Scientific Revolution, 1500-1800: The Formation of the Modern Scientific Attitude. London: Longmans, Green, 1954
- 9 Janssen M. Reconsidering a Scientific Revolution: The Case of Einstein versus Lorentz. Phys Perspect, 2002, 4: 421-446
- 10 Wu G S. History of Science (in Chinese). Changsha: Hunan Science Technology Press, 1997. 306-365 [吴国盛. 科学的历程. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1997. 306-365]
- 11 Ralph P L, Lerner R E, Meacham S, et al. World Civilizations: Their History and Their Culture. Vol. I. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 1991. 601-602 [拉尔夫等菲利普·李·拉尔夫, 罗伯特·E·勒纳, 斯坦迪什·米查姆. 世界文明史(上卷). 北京: 商务印书馆, 1998. 803-804]
- 12 Ralph P L, Lerner R E, Meacham S, et al. World Civilizations: Their History and Their Culture. Vol. II. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 1991. 143-150 [拉尔夫等菲利普·李·拉尔夫, 罗伯特·E·勒纳, 斯坦迪什·米查姆. 世界文明史(下卷). 北京: 商务印书馆, 1999. 117-127]
- 13 Derry T K, Williams T I. A Short History of Technology: From the Earliest Times to A.D. 1900. New York: Dover Publications, 1993
- 14 Wang H S. World History of Science and Technology (in Chinese). Beijing: China People University Press, 1996. 185-203 [王鸿生. 世界科学技术史. 北京: 中国人民大学出版社, 1996. 185-203]
- 15 Perez C. Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Cheltenham UK: Edward Elgar Pub, 2003
- 16 Chinese Academy of Sciences. The Scientific and Technological Revolutions and China's Modernization (in Chinese). Beijing: Science Press, 2009 [中国科学院. 科技革命与中国的现代化. 北京: 科学出版社, 2009]
- 17 Qian S X. The History, Present and Future of the Revolution of Science and Technology (in Chinese). Guangzhou: Guangdong Education Press, 2007 [钱时惕. 科技革命的历史、现状与未来. 广州: 广东教育出版社, 2007]
- 18 He C. Opportunities and Policies on the Sixth Revolution of Science and Technology (in Chinese). Science News, 2011-05-05, 2011-05-09 [何传启. 第六次科技革命的机遇与对策. 科学时报, 2011-05-05, 2011-05-09]
- 19 Ye Q, He C. The Thoughts and Suggestions From 100 Academicians on the Sixth Revolution of Science and Technology. Science News, 2011-06-20 [叶青, 何传启. 百名院士关于第六次科技革命的看法和建议. 科学时报, 2011-06-20]
- 20 He C. Strategic Opportunities of Sixth Revolution of Science and Technology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2011 [何传启. 第六次科技革命的战略机遇. 北京: 科学出版社, 2011]
- 21 He C. Strategic Opportunities of Sixth Revolution of Science and Technology (in Chinese). Second Edition. Beijing: Science Press, 2012 [何传启. 第六次科技革命的战略机遇(第二版). 北京: 科学出版社, 2012]
- 22 Ornstein M. The Role of the Scientific Societies in the Seventeenth Century. Chicago: University of Chicago Press, 1938
- 23 Barber B. Science and the Social Order. Glencoe, IL: Free Press, 1952 [巴伯. 科学与社会秩序. 北京: 三联书店, 1991. 56-70]
- 24 Whewell W. History of the Inductive Sciences: From the Earliest to the Present Time. Charleston, SC: Nabu Press, 2010.
- 25 Cohen I B. The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution. J Hist Ideas, 1976, 37: 257-288
- 26 Kuhn T S. The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought. Cambridge: Harvard University Press, 1957
- 27 Kuhn T S. The Structure of Scientific Revolution. Chicago: University of Chicago Press, 1962 [库恩. 科学革命的结构. 上海: 上海科学技术出版社, 2003]

- 28 Brush S G. The History of Modern Science: A Guide to the Second Scientific Revolution 1800–1950. Ames: Iowa State University Press, 1988
- 29 Atkeson A, Patrick J K. Modeling the Transition to a New Economy: Lessons from Two Technological Revolutions. *Am Econ Rev*, 2007, 97: 64–88
- 30 Franke R H. Technological Revolution and Productivity Decline: Computer Introduction in the Financial Industry. *Technol Forecast Soc Change*, 1987, 31: 143–154
- 31 Bell D. The Third Technological Revolution and Its Possible Socioeconomic Consequences. *Dissent*, 1989, 36: 164–176
- 32 Abelson P H. A Third Technological Revolution. *Science*, 1998, 279: 2019
- 33 Dosi G, Freeman C, Nelson R, et al. *Technical Change and Economic Theory*. London: Printer Publishers Ltd., 1988 [多西. 技术进步与经济理论. 北京: 经济科学出版社, 1991]
- 34 Perez C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. In: *Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics*, Working Paper No. 20, (Norway and Tallinn University of Technology, Tallinn), 2009
- 35 David S L. *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to Present*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003
- 36 Toynbee A. *Lectures on the Industrial Revolution of the 18th Century in England*. Whitefish, MO: Kessinger Publishing, 2004
- 37 Mitchell W C. The Industrial Revolution. *J Polit Econ*, 1901, 9: 459–460
- 38 Ashton T S. *The Industrial Revolution (1760–1830)*. Oxford: Oxford University Press, 1948
- 39 Deane P. *The First Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1965
- 40 Hull J. The Second Industrial Revolution: The History of a Concept. *Stor Della Storiogr*, 1999, 36: 81–90
- 41 Stine G H. *The Third Industrial Revolution*. New York: Putnam, 1975
- 42 Greenwood J. *The Third Industrial Revolution: Technology, Productivity and Income Inequality*. Washington D C: AEI Press, 1997
- 43 Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World*. New York: Palgrave Macmillan, 2011
- 44 Stearns P N. *The Industrial Revolution in World History*. Second Edition. Boulder, Co.: Westview Press. 1998
- 45 De Vries J. *The Industrious Revolution: Consumer Behavior and the Household Economy, 1650 to the Present*. New York: Cambridge University Press, 2008
- 46 Veneris Y. Modeling the Transition From the Industrial to the Informational Revolution. *Environ Plan*, 1990, 22: 399–416
- 47 Freeman C, Louca F. *As Time Goes by: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*. Oxford: Oxford University Press, 2002
- 48 Brock G W. *The Second Information Revolution*. Cambridge Mass: Harvard University Press, 2003
- 49 Hanson E C. *The Information Revolution and World Politics (New Millennium Books in International Studies)*. Lanham: Rowman & Littlefield Publishers, 2008
- 50 Richta R. *Civilisation at the Crossroads: Social and Human Implications of the Scientific and Technological Revolution*. Sydney: Australian Left Review Publications, 1967
- 51 Fedoseev P N. The Social Significance of the Scientific and Technological Revolution. *Int Soc Sci J*, 1975, 27: 51–62, 75
- 52 Marinko G I. *What is the Scientific and Technological Revolution?* Moscow: Progress Publishers, 1989
- 53 He C. *Modernization Science: Principles of National Advance (in Chinese)*. Beijing: Science Press, 2010 [何传启. 现代化科学: 国家发达的科学原理. 北京: 科学出版社, 2010]
- 54 Whitehead A N. *Science and the Modern World*. New York: The Macmillan Co., 1925
- 55 Bernal J D. *The Social Function of Science*. New York: Macmillan, 1939 [贝尔纳. 科学的社会功能. 桂林: 广西师大出版社, 2003]
- 56 Gobble F G. *The Third Force: The Psychology of Abraham Maslow*. New York: Grossman Publishers, 1970 [戈布尔. 第三思潮——马斯洛心理学. 上海: 上海译文出版社, 2001]
- 57 Kurzweil R. *The Age of Spiritual Machines*. New York: Viking, 1999
- 58 Albus J S, Meystel A M. *Engineering of Mind: An Introduction to the Science of Intelligent Systems*. New York: John Wiley and Sons, 2001
- 59 Anton P S, Silbergliitt R, Schneider J. *The Global Technology Revolution - Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015*. RAND, 2001
- 60 Edelman G, Tononi G. *A Universe of Consciousness: How Matter Becomes Imagination*. New York: Basic Books, 2001
- 61 Lavine M, Roberts L, Smith O. *Bodybuilding: The Bionic Human*. *Science*, 2002, 295: 995–1033
- 62 Gorbis M, Pang A. *2005–2055 Science & Technology Perspectives*. CA: Institute for the Future, 2006
- 63 *New Scientist. The Big Questions: New Scientist: The Collection*. Sutton: Reed Business Information LTD, 2014
- 64 Roco M C, Bainbridge W S. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information*

- Technology and Cognitive Science. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003 [罗科, 班布里奇. 聚合四大科技提高人类能力. 北京: 清华大学出版社, 2010]
- 65 National Research Council of the National Academies. A New Biology for the 21st Century: Ensuring the United States Leads the Coming Biology Revolution. Washington, DC: The National Academies Press, 2009 [美国科学院研究理事会. 二十一世纪新生物学. 北京: 科学出版社, 2013]
- 66 Kennedy D. 125 Big Questions. Science, 2005, 309: 78–102
- 67 Kurzweil R. The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology. New York: Viking Press, 2005 [科兹威尔. 奇点逼近: 当人类超越生物学限度. 北京: 机械工业出版社, 2011]
- 68 Bai C L. Dawn of New Revolution of Science and Technology (in Chinese). Science News, 2012-01-01[白春礼. 新科技革命的拂晓. 科学时报, 2012-01-01]
- 69 He C. Evolution of International War and Revolution of Science and Technology (in Chinese). World S&T Research and Development, 36: 480–483 [何传启. 科技革命与国际战争的演变. 世界科技研究与发展, 36: 480–483]
- 70 He C. Second Modernization Theory: The Frontiers and Principles of Human Development (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013. 233 [何传启. 第二次现代化理论: 人类发展的世界前沿和科学逻辑. 北京: 科学出版社, 2013. 233]
- 71 Brody H. Nature Outlook: Regenerative Medicine. Nature, 2016, 540: S49

Summary for “新科技革命的预测和解析”

The forecast and explanation of new revolution of science and technology

HE ChuanQi^{1,2}¹ China Center for Modernization Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;² School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

E-mail: hechuanqi@263.net

The Revolution of Science and Technology (RST) is not only a historical phenomenon but also a conceptual construction with some debates since 16th century. The development of world's science and technology has witnessed two forms, i.e. evolutionary progress and revolutionary change, and the former is a conventional state, while latter is a sudden change. We put forth an integrated approach for the forecast of new RST in the 21st century.

The first step is to identify and advance the concepts of the RST. The RST has taken place in the three hierarchies so far. At the level of disciplines, some great advances in the discipline have been termed “revolutions”, e.g. molecular biology revolution in biology.

At the level of world's history of science and technology, the scientific revolution is a paradigm shift in science while the technological revolution is a paradigm shift in technology based on Professor Kuhn's thoughts, e.g. chemistry revolution and electricity revolution.

At the level of the history of human civilizations, the RST is a collective name, covering the scientific revolution and technological revolution, refers to a scientific and technological change which includes a paradigm shift in science and technology, as well as the revolutionary changes of human thoughts, lifestyles and production modes. The five RSTs can be identified based on this definition, i.e. the birth of modern science, steam-engine and machinery revolution, electricity and transport revolution, Relativity and Quantum revolution, electronic and information technology revolution, two of them are scientific revolutions while other three are technological revolutions.

The model of “1+4” symbiosis on the RST has been put forward as follow: the RST is not only a paradigm shift in science and technology, but also the results of the interaction between science and technology and economy, society, culture and politics, while the paradigm change of science and technology is the core among the changes took place in the five fields.

The second step is to forecast the direction of new RST. First of all, to predict the direction of new RST based on the frontier's needs of science and technology of human development. Second, to calculate the direction based on the historic experiences of the RST. Third, to cross-check and revise the forecasts according to other predictions and global trends of science and technology.

The two new RSTs are predicted to happen in the 21st century. The first one is the sixth revolution named as a “revolution of new biology and regeneration”, will take place in the overlapping part between life science, information technology and nano-technology. The second one is the seventh revolution titled as a “revolution of new physics and time-space”, will occur in the overlapping part between material science, space science and energy technology.

The third step is to predict the contents of new RST. It includes the forecasts and explanations of the contents of science and technology of new RST, as well as its influences on the four fields of economy, society, culture and politics.

According to this prediction, there are 10 candidates for the landmarks of sixth revolution of science and technology, i.e. the information exchange machine, the information packet of personality, human body regeneration, creating life, uterus *in vitro*, nerve regeneration, domestic bionic person, theory of coupling, theory of integration, theory of eternity, etc. It will cover five disciplines, i.e. the integrated and creation biology, consciousness and brain science, life and bio-regeneration engineering, information-bionic engineering and nano-bionic engineering etc., as well as involve five technologies, i.e. information exchange technology, personality copy technology, bionic technology, bio-creation technology, bio-regeneration technology etc.

The RST provides the new frontiers for the human development, and new choices for individual life and with some side-effects. The revolution of electronic and information technology have provided the cyber space for us, the revolution of new biology and regeneration maybe create the three new forms of human being, and the revolution of new physics and time-space will create space travel and space home for us.

The human beings will enjoy the four forms of life (i.e. natural person, network person, bionic person and regenerated person), two homes (i.e. earth and space home) and two spaces (i.e. physical and cyber space), meanwhile the interaction among four forms of life, two homes and two spaces will construct a new human civilization and a new world in the end of 21st century.

revolution of science and technology, forecast, revolution of new biology and regeneration, regenerated person, network and bionic person

doi: 10.1360/N972016-01393