

引发产业变革的颠覆性技术内涵与遴选研究

孙永福¹, 王礼恒¹, 孙棕檀², 王崑声², 胡良元², 崔剑², 徐源², 康熙瞳²

(1. 中国工程院, 北京 100088; 2. 中国航天系统科学与工程研究院, 北京 100048)

摘要: 引发产业变革的颠覆性技术具有技术突破性、产品替代性、市场广泛性与产业变革性特征, 会对社会发展和人民生活产生深远的影响。本文首先从产业和技术角度出发, 提出引发产业变革的颠覆性技术内涵; 其次, 建立相应的指标评价体系; 最后, 通过两轮问卷调查, 以定性和定量相结合的方式, 遴选出 20 多项引发产业变革的颠覆性技术, 从而为进一步研究颠覆性技术与产业变革间的规律、开展技术预测工作提供支撑。

关键词: 产业变革; 颠覆性技术; 指标评价体系; 遴选; 调查问卷

中图分类号: T-01 **文献标识码:** A

Connotation and Selection of Disruptive Technologies that Lead Industrial Change

Sun Yongfu¹, Wang Liheng¹, Sun Zongtan², Wang Kunsheng², Hu Liangyuan²,
Cui Jian², Xu Yuan², Kang Xitong²

(1. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China; 2. China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100048, China)

Abstract: Disruptive technologies that lead industrial change have many characteristics, including technological breakthrough, product substitution, market universality, and industrial transformation, all of which have profound impact on social development and people's lives. First, from the industry and technology perspectives, this article proposes the connotation and selection of disruptive technologies that lead industrial change. Next, the corresponding index evaluation system is established. Lastly, through two rounds of questionnaire surveys utilizing qualitative and quantitative methods, this article selects approximately 20 disruptive technologies that are currently leading the industrial change; subsequent analysis provides support for further study on the law between disruptive technology and the industrial revolution, as well as carrying out technical forecasting.

Keywords: industrial change; disruptive technologies; index evaluation system; selection; questionnaire survey

一、前言

颠覆性技术创新在历次科技革命和产业革命的

孕育、发生和发展过程中发挥了重要作用, 对社会发展和人民生活产生了深远的影响 [1]。当前, 世界正处于新一轮科技革命的前夜, 新一轮颠覆性技

收稿日期: 2017-08-22; 修回日期: 2017-09-22

通讯作者: 孙永福, 中国工程院, 院士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为铁路工程管理; E-mail: yongfusun@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“引发产业变革的重大颠覆性技术预测研究”(2016-ZD-12)

本刊网址: www.enginsci.cn

术发展十分活跃,信息技术、能源技术、生命科学技术交叉融合、深度渗透和群体兴起,增材制造、物联网、移动互联网、云计算、大数据、石墨烯等颠覆性技术已经处于产业化突破的临界点[2,3]。世界各国纷纷瞄准这一时代契机,从政府顶层到企业层面,相继发布推动技术创新和促进产业发展的战略规划与政策措施,谋划抢占科技制高点和市场先机。

新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇,国际产业分工格局正在重塑,我国产业转型升级如逆水行舟,不进则退。我国应紧紧抓住当前的重大历史机遇,在新一轮科技革命和产业变革中抢占战略制高点,才有可能实现弯道超车、后来居上。

在这样的背景下,若能准确把握与预测引发产业变革的颠覆性技术的发展方向,将为我国制定重大科技发展规划及政策提供决策支撑,为我国选择产业转型升级的着力点、关系全局和长远发展的战略必争领域和优先发展方向提供重要参考。对引发产业变革的颠覆性技术的预测,可采用以下循序渐进的研究思路:首先研究引发产业变革的颠覆性技术内涵;再采用科学、准确的手段对引发产业变革的颠覆性技术进行定性与定量遴选;进而总结引发产业变革颠覆性技术的特征与发展规律,开展探索性技术预测。

引发产业变革的颠覆性技术内涵研究与定性定量遴选引发产业变革的颠覆性技术是“引发产业变革的重大颠覆性技术预测研究”项目的一部分。“引发产业变革的重大颠覆性技术预测研究”是中国工程院2016年立项的重大咨询项目,旨在贯彻中国共产党第十八届中央委员会第五次全体会议提出的创新发展理念和“重视颠覆性技术创新”的要求,汇集专家群体智慧、广泛调研国内外各领域最新的研究成果,遴选、提出和研究未来10年国内外正在引发产业变革的颠覆性技术,以及有共识的未来20年必然引发产业变革或可能引发产业变革的颠覆性技术。项目从产业和技术结合的角度提出了引发产业变革的颠覆性技术内涵,并建立引发产业变革的颠覆性技术指标评价体系,通过第一轮问卷调查定性遴选出约160项技术,再应用指标评价体系通过第二轮问卷调查定量遴选出约20项技术,从而为进一步研究颠覆性技术与产业变革间的规律、开展技术预测奠定基础。

二、引发产业变革的颠覆性技术内涵与指标评价体系

(一) 引发产业变革的颠覆性技术内涵

颠覆性技术是采用科学原理进行创新应用、或由技术集成创新产生的新技术;这些新技术具有重大突破性,对相关技术具有替代性,具有广泛的应用价值,并将对产业发展产生深远的影响。产业变革是以技术创新为基础,经历新事物从无到有、从小到大、逐步扩散到日常生产和生活的过程[4],进而推动产业组织管理模式、产品制造生产模式、商业运行模式等变革性发展,甚至催生新兴产业。

引发产业变革的颠覆性技术是以技术取得重大突破为基础和前提,以该项技术为核心的产品具有颠覆性创新,能够催生潜力巨大的市场,并引发产业组织管理模式、产品制造生产模式、商业运行模式等的变革。

引发产业变革的颠覆性技术具有以下特征。

一是技术突破性。科学原理的创新应用,或跨学科、跨领域技术的集成创新等取得重大突破,或工艺技术取得突破,能够对产品性能或形态产生重大影响。

二是产品替代性。在技术取得重大突破后,以该项技术为核心的产品具有颠覆性创新,有望引发产品与服务(还包括工艺装备和设计方法)的更新换代,或者创造全新的产品形态。

三是市场广泛性。对新产品或服务需求广泛,可强劲挤占原有的产品市场,市场和产业的容量大;或者引发和培育出新市场需求,形成规模庞大的新市场,对产业具有广泛的可嵌入性。

四是产业变革性。由于颠覆性产品的市场需求强劲或产生新的需求形态等,与其相关的产业在组织管理模式、产品制造生产模式、商业运行模式等方面必须进行相适应或创新性变革。

(二) 引发产业变革的颠覆性技术指标评价体系

指标评价体系紧扣“引发产业变革的颠覆性技术”内涵与特征,设为4个一级指标和12个二级指标。4个一级指标与“引发产业变革的颠覆性技术”的4个特征,即“技术突破性、产品替代性、市场广泛性、产业变革性”相对应。同时,设计了

每个二级指标的初始权重值（见表 1），为引发产业变革的颠覆性技术的定量遴选提供可操作的方法。

每个二级指标均设立可量化标准，根据相应的评价标准有相应得分（0~10 分）。

1. 技术需求性指标

“需求”能体现技术对重大问题的解决。通过设立该指标来判断某项技术是否具有强烈的应用需求，以及需求推动程度（见表 2）。

2. 技术提升性指标

该指标表征关键技术的核心指标提升情况。相比原有技术，提升率越高颠覆性影响越明显（见表 3）。

3. 技术成熟度指标

该指标表征核心关键技术的成熟度。成熟度越高，转化为产品的潜力越大。因为项目着重关注 10 年内引发产业变革的颠覆性技术，考虑到无论是技术成熟与培育，还是技术转化为产品再到进入市场，都需要一定的年限，故着眼于技术成熟度（TRL） ≥ 4 的技术。该项指标得分小于 4（TRL < 4 ）的技术将不予考虑（见表 4）。

表 1 引发产业变革的颠覆性技术指标评价体系

一级指标	二级指标	二级指标权重值	对应特征
技术	技术需求性	0.1	技术突破性
	技术提升性	0.05	
	技术成熟度	0.05	
产品	产品突出性	0.1	产品替代性
	制造成熟度	0.05	
	制约因素	0.05	
市场	民众生活	0.1	市场广泛性
	生产资料	0.1	
	受益群体	0.1	
产业	产业运行模式	0.1	产业变革性
	产业规模	0.1	
	产业结构	0.1	

表 2 技术需求性指标评价准则

得分	评价准则
0~3	相比原有技术，该技术能解决一般问题，具有一定的应用需求
4~7	相比原有技术，该技术能解决一般或重大问题，具有较强烈的应用需求
8~10	相比原有技术，该技术能解决重大问题，具有强烈的应用需求

4. 产品突出性指标

该指标表征技术引发的产品或服务对旧有产品或服务的替代作用与影响。该项指标得分越高，替代性越强（见表 5）。

5. 制造成熟度指标

该指标表征产品制造过程中关键制造技术的成熟程度，以及技术转化过程中的制造风险。制造成熟度越高，应用价值越大（见表 6）。

6. 制约因素指标

该指标表征技术成功转化为产品或服务时所需

表 3 技术提升性指标评价准则

得分	评价准则
0~2	相比原有技术，关键技术核心指标提升率远小于基准提升率
3~4	相比原有技术，关键技术核心指标提升率小于基准提升率
5~7	相比原有技术，关键技术核心指标提升率略小于基准提升率
8~10	相比原有技术，关键技术核心指标提升率等同或大于基准提升率

表 4 技术成熟度指标评价准则

得分	评价准则
1	观察到支撑该技术的基本原理或看到关于基本原理的报道
2	提出将基本原理应用于系统中的设想
3	关键功能和特性初步通过实验室环境验证
4	以部件级实验室产品为载体通过实验室环境验证
5	以单机级初级演示验证产品为载体通过模拟使用环境验证
6	以分系统或系统级高级演示验证产品为载体通过模拟使用环境验证
7	以系统级工程原型产品为载体通过典型使用环境验证
8	以系统级试用产品为载体通过测试和交付试验
9	系统级的成熟产品通过广泛应用和考验

表 5 产品突出性指标评价准则

得分	评价准则
0~2	对原有产品或服务产生微弱影响，引发原有产品或服务的更新
3~4	对原有产品或服务产生影响，引发原有产品或服务大幅更新
5~7	对原有产品或服务产生极大影响，引发原有产品或服务换代
8~10	创造全新的产品或服务，大幅度取代原有产品或服务

付出的努力与面临的困难。该指标作为唯一的负向指标，包括成本、基础设施和政策等因素，得分越高，技术转化为产品或服务的潜力越大（见表7）。

7. 民众生活指标

该指标表征颠覆性技术对生活资料（消费者）市场的影响，体现在衣食住行甚至社交娱乐等精神层面需求的改变与提升，以及衣食住行甚至社交娱乐等精神层面成本的降低（见表8）。

8. 生产资料指标

该指标表征颠覆性技术对生产资料市场的影响，体现在生产资料中设备、原材料、工具、辅助

品等各要素的改变，涵盖了日用品制造、工业生产、农业耕作与武器装备研制等多种生产资料市场（见表9）。

9. 受益群体指标

该指标表征技术对市场终端——广义消费者的影响，该项指标得分越高，颠覆性技术产生的受众影响越大。广义消费者包括消费者（普通民众）、生产者、服务者（生产与制造、农业、服务业）、特定人群（军事人员及其他）等（见表10）。

10. 产业运行模式指标

该指标表征产业运行模式的发展与改变，包括组织管理模式、制造模式与商业模式的改变与发展（见表11）。

表6 制造成熟度指标评价准则

得分	评价准则
1	确定制造内涵
2	确定制造方案
3	制造方案的可行性得到初步验证
4	具备在实验室环境下制造技术原理样件的能力
5	具备在相关生产环境下制造原型部件的能力
6	具备在相关生产环境下制造原型系统或分系统的能力
7	具备在典型生产环境下制造系统、分系统或部件的能力
8	试生产线能力得到验证，准备开始低速率生产
9	低速率生产能力得到验证，准备开始全速率生产
10	全速率生产能力得到验证，转向精益化生产

表7 制约因素指标评价准则

得分	评价准则
0~2	转化为产品或服务时，成本很高、基础设施很不完善
3~4	转化为产品或服务时，成本高、基础设施不完善
5~7	与主流产品或服务相比，成本持平、基础设施已逐步完善
8~10	与主流产品或服务相比，成本降低、基础设施十分完善

表8 民众生活指标评价准则

得分	评价准则
0~2	衣食住行中某项方式的改变与提升，某项成本的降低
3~5	衣食住行中某项方式的极大改变与提升，某项成本极大降低
6~8	衣食住行中多项方式的集体改变与提升，多项成本的降低
9~10	社交娱乐等精神层面的改变与提升，多项成本的极大降低

表9 生产资料指标评价准则

得分	评价准则
0~2	原有设备、原材料、工具、辅助品的小幅改良与提升
3~5	原有设备、原材料、工具、辅助品的改良与提升
6~8	原有设备、原材料、工具、辅助品的极大改良与提升
9~10	产生新的设备、原材料、工具、辅助品

表10 受益群体指标评价准则

得分	评价准则
0~2	极少部分的消费者、生产者、服务者、特定人群从技术中受益
3~5	少部分的消费者、生产者、服务者、特定人群从技术中受益
6~8	一定比例的消费者、生产者、服务者、特定人群从技术中受益
9~10	相当比例的消费者、生产者、服务者、特定人群从技术中受益

表11 产业运行模式指标评价准则

得分	评价准则
0~2	科研院所与大学进行技术研发的组织管理模式发生改变，制造模式在现有能源与机械加工的基础上得到提升，单一旧有商业模式改革或消失
3~5	公司进行技术应用的组织管理模式发生改变，制造模式在现有能源与机械加工的基础上得到极大提升，多种旧有商业模式改革或消失
6~8	整个社会的生产组织关系发生改变，制造模式中出现新的能源、动力、机械加工基础，新型商业模式成熟
9~10	社会生产率大幅提高，制造模式中新的能源、动力、机械加工模式间逐步成熟和融合，多种新型商业模式融合

11. 产业规模指标

该指标从从业人数、产业集中程度、市场规模与占有率、经济价值等角度表征产业规模的扩大和改变（见表12）。

12. 产业结构指标

该指标表征由于产品比例或服务形态的改变，引发产业结构发生深刻变化，将逐步催生新兴产业、改造原有产业、淘汰夕阳产业（见表13）。

表12 产业规模指标评价准则

得分	评价准则
0~2	从业人数、产业集中程度、市场规模与占有率较低，创造的经济价值较小
3~5	从业人数、产业集中程度、市场规模与占有率中某项提升，创造的经济价值小
6~8	从业人数、产业集中程度、市场规模与占有率中的多项提升，创造的经济价值较大
9~10	从业人数、产业集中程度、市场规模与占有率均较高，创造的经济价值极大

表13 产业结构指标评价准则

得分	评价准则
0~2	特定行业的产品比例或服务形态发生变化
3~5	特定行业的产品比例或服务形态发生显著变化
6~8	多个行业的产品比例或服务形态发生变化
9~10	多个行业的产品比例或服务形态发生显著变化

三、引发产业变革颠覆性技术的定性遴选

对引发产业变革的颠覆性技术的定性遴选，需经历三个步骤：首先，综合国内外各类颠覆性技术研究报告与技术热点，形成“技术选项清单”（313项技术）；其次，依托院士智慧与专家力量，在“技术选项清单”的基础上，开展问卷调查；最后，根据问卷调查的结果，进行多渠道技术补充，形成“技术备评清单”（165项），具体流程见图1。

（一）技术选项清单的形成

持续跟踪主要国家和机构开展的颠覆性技术研究与预测报告，从中梳理出与产业相关的颠覆性技术；并对国内政策文件与热点词汇进行整理，对涉及到的颠覆性技术进行筛选、归类；再借鉴吸收《中国工程科技2035发展战略研究》技术清单、科技部面向“十三五”技术预测的部分成果，最后形成包含313项技术的“技术选项清单”。

（二）第一轮调查问卷工作

问卷调查将以中国工程院院士为核心、专家为骨干、学部为主体，旨在广泛征集并汇聚院士、专家意见，充分发挥各学部各领域院士、专家的作用。依照各学部设置，共设置8份“技术选项子清单”，院士专家在每份“技术选项子清单”选出不超过20项的引发产业变革的颠覆性技术，并可进行技术

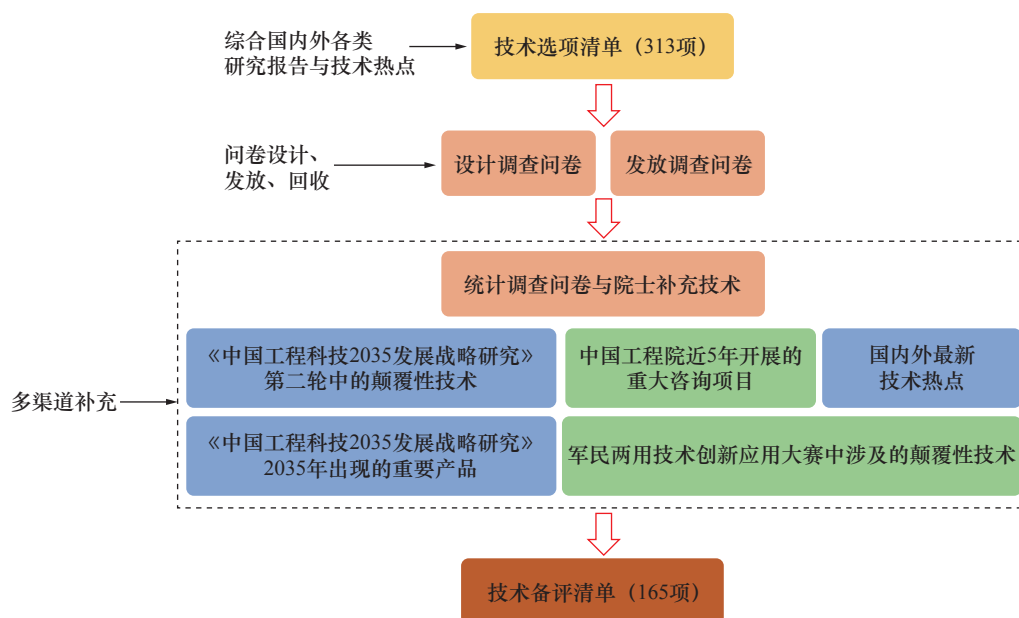


图1 引发产业变革的颠覆性技术的定性遴选流程

增补。对问卷进行回收统计时，按各技术入选频次对技术进行排序，并对院士专家补充的技术进行详细记录（见表 14）。

（三）技术备评清单的形成

通过入选技术数、第一轮问卷入选技术数、《中

国工程科技 2035 发展战略研究》渠道入选技术数、院士补充渠道入选技术数、其他渠道入选技术数五个渠道，对技术进行集成、归并和删减，最终形成包含 165 项技术的“技术备评清单”（见表 15）。此外，还对 165 项技术的预计实现年份及数量进行了统计（见表 16）。

表 14 第一轮问卷调查统计情况

序号	学部	发放问卷数 / 份	回收问卷数 / 份	技术选项数 / 项	院士补充技术数 / 项
1	机械与运载工程	123	29	71	6
2	信息与电子工程	123	37	41	8
3	化工、冶金与材料工程	108	21	47	5
4	能源与矿业工程	113	28	33	6
5	土木、水利与建筑工程	113	27	14	7
6	环境与轻纺工程	53	25	37	4
7	农业	78	18	35	8
8	医药卫生	118	20	35	1
9	工程管理	56	6	—	—
总计		885	211	313	45

表 15 “技术备评清单”中的技术来源

序号	学部	入选技术数	第一轮问卷入选技术数	《中国工程科技 2035 发展战略研究》渠道入选技术数	院士补充渠道入选技术数	其他渠道入选技术数
1	机械与运载工程	21	8	5	5	3
2	信息与电子工程	23	14	3	5	1
3	化工、冶金与材料工程	25	17	6	1	1
4	能源与矿业工程	19	9	3	7	0
5	土木、水利与建筑工程	17	10	2	5	0
6	环境与轻纺工程	19	11	2	4	2
7	农业	21	12	1	7	1
8	医药卫生	20	9	3	7	1
总计		165	90 (55%)	25 (15%)	41 (25%)	9 (5%)

表 16 技术预计实现年份及数量统计

序号	学部	入选技术数	预计 2016—2025 年实现的技术数	预计 2026—2035 年实现的技术数	暂时无从确定实现年限的技术数
1	机械与运载工程	21	7	9	5
2	信息与电子工程	23	8	8	7
3	化工、冶金与材料工程	25	3	19	3
4	能源与矿业工程	19	4	10	5
5	土木、水利与建筑工程	17	5	7	5
6	环境与轻纺工程	19	9	5	5
7	农业	21	3	9	9
8	医药卫生	20	7	5	8
总计		165	46 (28%)	72 (44%)	47 (28%)

四、引发产业变革的颠覆性技术定量遴选

在包含 165 项技术的“技术备评清单”的基础上，采用指标评价体系，设计第二轮调查问卷；仍以中国工程院各学部院士为核心，广泛征集并汇聚院士意见，填写第二轮调查问卷；最后对问卷结果进行统计，与院士补充的技术数量综合后，形成 26 项“引发产业变革颠覆性技术备研清单”（见图 2）。

问卷中对单项技术的遴选设置如图 3 所示。对调查问卷出现的以下几种情况做如下处理。

(1) 对技术“很熟悉、熟悉、一般”的专家，

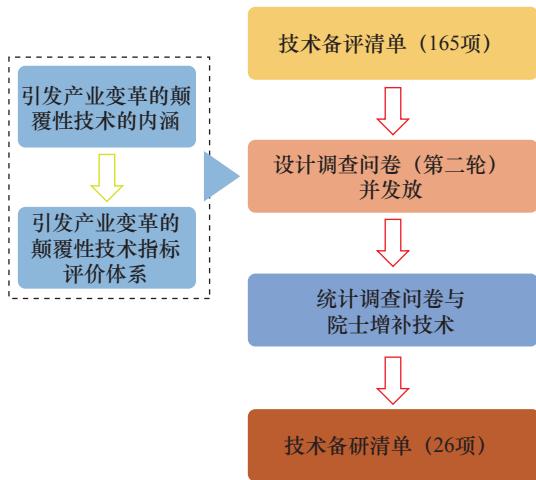


图 2 引发产业变革的颠覆性技术定量遴选流程

在统计技术得分时按 3 : 2 : 1 的比重进行处理。

(2) 对未做出“是否为颠覆性技术”判别或做出否定判别的问卷，不纳入问卷统计。

(3) 对只做出“技术熟悉程度”判别但未进行评价勾选的问卷，进行“入选次数”统计，不进行“技术得分”统计。

(4) 对做出技术评价勾选但未做出“技术熟悉程度”判别的问卷，统一处理为“技术熟悉程度一般”。

第二轮问卷调查共回收 178 份有效问卷，回收率接近 20%。按照“技术得分”和“入选次数”两个序列，对技术进行排序，再结合院士增补的 29 项技术，经过筛选后，形成初步的“引发产业变革颠覆性技术备研清单”（现有 26 项）。后续将开展企业研讨、双创群体研讨与其他形式的调研，确定最终的“技术备研清单”。

26 项引发产业变革的颠覆性技术如下：无人驾驶交通系统技术、新能源汽车动力技术、区块链技术 / 数字货币、智能计算与智能化软件、大数据开发与利用、人工智能及脑认知的形式化、生物 3D 打印先进制造技术和设备、超导材料、面向高效能量转化与存储的纳米材料技术、碳纳米管及石墨烯等碳基材料制备技术、新一代核反应堆技术、能源互联网、天然气水合物大规模安全经济开采关键技术、规模化新型电能存储技术、井下油水分离同井注采技术、数值天气预报、建筑工程的 3D 打印（建

技术1：农作物先进育种技术（农作物功能基因挖掘、分子设计育种）

对该技术的熟悉程度 (在相应列打√)		很熟悉	熟悉	一般	该项技术是否为“引发产业变革的颠覆性技术” (在相应列打√)	是	否	
一级指标	二级指标	评价准则				评价 (打√)		
					低/小	中/一般	高/大	
技术突破性	技术需求性	相比原有技术，该技术对问题的解决与应用需求程度						
	技术提升性	相比原有技术，关键技术核心指标的提升率						
	技术成熟度	核心关键技术的成熟度与转化为产品的潜力 (1~9级)						
产品替代性	产品突出性	对原有产品/服务影响，对原有产品/服务的更新换代力度						
	制造成熟度	产品制造过程中关键制造技术的成熟度与应用价值 (1~10级)						
	制约因素	转化为产品/服务时，成本高低与基础设施完善情况						
市场广泛性	民众生活	衣食住行方式的改变与提升力度，及成本降低程度						
	生产资料	对原有设备、原材料、工具和辅助品的改良与提升程度						
	受益群体	受益的消费者、生产者、服务者和特定人群的规模与比例						
产业变革性	产业运行模式	组织管理模式、制造模式与商业模式的改变与发展程度						
	产业规模	从业人数、产业集中程度、市场规模和经济价值等指标大小						
	产业结构	产品比例、服务形态和产业结构的变化程度						

图 3 第二轮调查问卷中对单项技术的遴选设置

造)技术、现代高效节水灌溉技术、超级高速铁路、纺织全流程智能制造、新型农药、农作物先进育种技术、基因编辑技术、健康医学、生物医药、慢病防控工程与治疗关键技术。

五、结语

项目从研究引发产业变革的颠覆性技术内涵、建立引发产业变革的颠覆性技术的指标评价体系入手,通过两轮问卷调查,依托院士与专家智慧,逐步从313项“备选技术清单”中定性遴选出165项“备评技术”,再从这165项“备评技术”中定量遴选出26项“备研技术”。对引发产业变革颠覆性技术内涵与遴选所开展的逐步聚焦、定性定量相结合的研究方法,是对颠覆性技术与产业变革规律把握与理解的一种初步探索,也为项目后期开展技术预测奠定基础。

项目在开展引发产业变革的颠覆性技术内涵与遴选的研究工作中,也注重积累阶段性成果,探索研究方法的创新性,主要体现在:对引发产业变革的颠覆性技术案例的关注,整理形成3篇典型案例;对国外颠覆性技术识别方法的梳理,进行简要的分析对比;开展各行业知名企业座谈会,企业家介绍了颠覆性技术的产业发展情况;与政府机构与军方专家就颠覆性技术发展趋势、政策扶持、军民差异等进行沟通等。

但与此同时,对引发产业变革的颠覆性技术的内涵与遴选研究,也存在需要完善及进一步研究的方面,主要体现在:各类技术清单中的技术还是存在技术颗粒度大小不一的问题;未充分借助产业界力量,把握处于产业孕育阶段的颠覆性技术;参与问卷调查的专家数量与覆盖面还有所欠缺。这就需要我们借鉴已开展的引发产业变革的颠覆性技术遴选工作及其他研究项目的成果经验,在开展后续研究时,设计更合理、科学与创新性的技术遴选机制,设立学术界、产业界人士都广泛参与项目研究的机制,并建立长期的技术、知识、专家库积累。通过持续改进,更好地为引发产业变革的颠覆性技术预测与分析工作的开展提供支撑与帮助。

参考文献

- [1] Bower J L, Christensen C M. Disruptive technologies: Catching the wave [J]. *Harvard Business Review*, 1995, 73(1): 43-53.
- [2] 赵国栋, 易欢欢, 廖万军, 等. 大数据时代的历史机遇: 产业变革与数据科学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
Zhao G D, Yi H H, Liao W J, et al. Historical opportunities in the era of big data: Industrial transformation and data science [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.
- [3] 麦肯锡. 颠覆性技术与商业趋势 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2013.
McKinsey. Disruptive technology and business trends [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2013.
- [4] 刘琦岩. 大力发展引领产业变革的颠覆性技术 [J]. *红旗文稿*. 2016 (14): 19.
Liu Q Y. Develop disruptive technologies vigorously that lead to industrial change [J]. *Red Flag Manuscript*, 2016 (14): 19.