

欧洲颠覆性太空技术搜寻方法体系研究

林丽娇¹, 孙洁², 李友轩³, 赵勇^{1*}

1. 中国农业大学, 北京 100193

2. 上海市普陀区图书馆, 上海 200333

3. 教育部语言文字应用研究所, 北京 100010

摘要 欧洲颠覆性太空技术搜寻计划因其系统化的优势而受到关注。研究了欧洲颠覆性太空技术搜寻初选、评价环节, 分析了颠覆性太空技术的理论基础、基于STEP框架的评价标准和评价方法, 介绍了颠覆性太空技术的技术路线图。通过对欧洲颠覆性太空技术方法体系在理论、方法、实施3个层面经验的总结, 得出推动中国颠覆性技术创新的启示, 即重视技术应用场景分析, 建立专家履历信息平台, 构建多源信息支撑体系, 加强技术发展规划管理等。

关键词 颠覆性太空技术; 技术搜寻; 方法体系

颠覆性技术是科技创新的突破口, 及时、准确地识别颠覆性技术有助于抢占科技创新推动经济发展的先机。此概念自提出以来, 世界多国出台了与之相关的战略规划、政策文件、预测报告等, 涉及政府机构、产业界、科技界和智库, 包括信息、能源、航天等多个领域。其中, 欧洲颠覆性太空技术搜寻计划因其具有较强的系统性, 从而对一般性颠覆性技术研究具有重要参考价值。

太空是除陆地、海洋和大气以外人类生存与发展的重要环境空间。随着太空科技的快速发展, 人

类正以前所未有的速度探索宇宙空间。太空资源的深度开发和利用不仅是现代社会生产与生活方式的关键保障, 更是维护国家安全与发展利益的重要手段。因此, 太空也成为大国战略博弈的新焦点和战略制衡的新筹码^[1], 是国际科技竞争的制高点。欧洲国家较早地开展了航天活动, 其规模和技术水平都位居世界前列。欧洲航天局(ESA)自1975年成立至今, 一直重视太空技术发展的战略谋划与设计, 陆续发布了《欧洲空间技术总体规划》(2008年)^[2]、《欧洲航天局技术战略和长期规划》(2009

收稿日期: 2021-01-26; 修回日期: 2021-03-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFA0707201)

作者简介: 林丽娇, 硕士研究生, 研究方向为教育经济管理, 电子信箱: linljy@163.com; 赵勇(通信作者), 研究馆员, 研究方向为科学计量与科技政策, 电子信箱: zhaoyong@cau.edu.cn

引用格式: 林丽娇, 孙洁, 李友轩, 等. 欧洲颠覆性太空技术搜寻方法体系研究[J]. 科技导报, 2021, 39(11): 84-95; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.11.010

年)^[9]等技术创新计划,以此抢占全球航天科技制高点和创新发展的先机。

2012年,ESA与德国航空航天中心(DLR)联合启动了专门针对太空应用领域颠覆性技术搜寻的研究计划(Disruptive Technology Search for Space Applications),旨在研判未来20年太空领域可能出现的颠覆性技术,进而为ESA的技术发展战略制定提供决策支撑。该计划主要包括5项核心内容^[4]:开展颠覆性太空技术的理论研究;构建颠覆性太空技术搜寻策略,建立潜在颠覆性太空技术数据库;研制颠覆性太空技术的评价方法体系;应用评价方法识别潜在颠覆性太空技术;制定面向潜在颠覆性太空技术的发展规划。

1 颠覆性太空技术研究的理论基础

1.1 颠覆性技术的相关理论

颠覆性创新(disruptive innovation)源于经济学家约瑟夫·熊彼特(Joseph Schumpeter)的“创造性破坏”概念^[5],但更关注于技术创新所引发的市场替代效应。哈佛大学商学院教授克莱顿·克里斯坦森(Clayton Christensen)首先提出了颠覆性创新一词,并将其作为维持性创新(sustaining innovation)的相对概念。维持性创新分为渐进性创新(incremental innovation)和突破性创新(radical innovation)2类,旨在通过改善产品或服务的性能来维持原有市场地位^[6]。部分学者对突破性创新与颠覆性创新进行了概念辨析,认为突破性创新是基于技术维度,而颠覆性创新是基于市场维度^[7-8]。但也有学者认为将颠覆性创新的内涵扩展至全市场要素是不妥的,原因是不同类型的创新具有差异性的竞争效果,形成的市场类型也不尽相同,建议将颠覆性创新区分为颠覆性技术创新和商业模式创新^[9]。在技术含量上,颠覆性技术并不一定优于市场上的现有技术,但它更简单、更便利、更便宜。所以,“简单、方便、便宜”也被视为颠覆性技术初始阶段的主要特征^[6]。学界认为颠覆性技术改变现有技术发展轨道,形成了新的跳跃式性能提升轨道,而维持性技术则是对现有技术渐进式、增量式的改进^[10]。识别潜在颠覆

性技术有助于抢占科技制高点,在科技竞争中取得先发优势,因此颠覆性技术的识别方法研究也成为工程管理、经济研究、图书情报等领域学者关注的重点议题^[11]。然而,目前学界对颠覆性技术的概念内涵与研究方法并没有形成共识,已有方法的准确性和适用性也尚无定论^[12]。近年来,部分学者尝试将颠覆性技术的一般性理论应用到教育^[13]、医药^[14]、航天^[4,15]等具体领域,选择在特定市场环境下讨论颠覆性技术的识别、评价及布局问题。

1.2 太空技术的主要特点

在航天领域,太空技术的研发与创新主要受技术和市场两方面因素影响。在技术方面,太空技术主要用于太空飞行和外层空间活动,高真空、强辐射、极端温度等环境特征决定了太空技术的性能要求远远高于地面技术。研发时间长、成本高、风险大是制约太空技术发展的主要因素^[16]。在市场方面,军用航天和民用航天是太空技术应用的两大场景。军事和科研领域的太空技术研发经费主要来自政府部门,而商业领域的太空技术研发经费主要来源于企业和社会。技术研发资助主体不同也导致了军事和科研领域的太空技术创新活动与商业领域存在明显的特征差异。太空技术创新的主要动力源自技术推动和需求拉动。其中,基础研究属于技术推动因素,而任务导向的技术研发则属于需求拉动因素^[15]。学者们认为“技术推动”类投入可能诱发颠覆性创新,而“需求拉动”类投入更多地会刺激渐进性创新^[17-18]。因此,在技术推动领域寻找颠覆性太空技术更具可行性。

1.3 颠覆性太空技术的内涵与分类

基于颠覆性技术相关理论与太空技术的特点,ESA和DLR界定了颠覆性太空技术的内涵,即能够根本改变(非渐进性创新)现有技术的性能,更好地满足国家安全、军事任务需求以及空间科学和空间应用等领域用户需求的技术,包括3种形式:一种全新的技术;对现有技术的创新应用;创新技术(性能)的不同组合。根据Francis和Bessant提出的创新目标定位4P框架^[19],颠覆性太空技术属于产品创新(products innovation)。与现有技术相比,颠覆性太空技术具有更简单、更便利、更便宜、更适应

的性能特征。

在复杂的航天领域识别颠覆性太空技术,首先需要建立适用的技术分类体系,呈现不同类别太空技术之间的依存关系。ESA于2003年构建了技术分类体系《技术树1.0版》(ESA Technology Tree),经过2次类目的拓展和完善,于2013年发布了《技术树3.0版》^[20]。基于技术分类体系,ESA和DLR按照地面段、传输段和太空段3部分对太空技术体系进行了重新梳理,同时采用了国际上系统工程领域最新的系统建模语言(system modeling language, SysML)对现有技术的功能以及相互依存关系进行了描述。最终,限定在电力系统、结构与机制、推进力、数据处理4个领域重点搜寻颠覆性太空技术。此外,由于颠覆性技术经常出现在交叉领域,因此将技术搜寻范围扩展至太空技术的部分相邻领域,例如光子学、先进材料、微纳电子学、生物技术、信息与通信技术、机器人科学等。

2 颠覆性太空技术的初选与评价

为提高颠覆性太空技术识别与评价方法的科学性和准确性,ESA和DLR制定了详细的评价指南,对颠覆性技术相关的评价工具和技术、评价标准、评价方法进行了梳理和分析。在评价指南的导引下,通过初选和评价2个阶段搜寻颠覆性太空技术。

2.1 颠覆性太空技术初选

颠覆性太空技术初选主要包括3个环节,分别是候选颠覆性太空技术扫描、颠覆性太空技术数据库构建和颠覆性太空技术初选。

2.1.1 候选颠覆性太空技术扫描

ESA和DLR通过已有技术数据库查询、文献搜集和专家调研3个途径来搜集候选颠覆性太空技术。

1) 已有太空技术数据库查询。ESA和DLR查询了5个太空技术数据库,分别是ESA的创新三方计划数据库(ITI)、阿里阿德涅数据库(Ariadna)、技术支撑数据库(EMITS),以及美国国家航空航天局(NASA)的政府外部技术数据库(EGT)和创新先进概念数据库(NIAC)。

2) 文案研究与文献研究。为了补充更多的潜在颠覆性太空技术,ESA和DLR开展了文案研究和文献研究。文案研究是从网站、杂志、报纸等媒介渠道,利用关键词组合形式进行检索,搜寻潜在颠覆性太空技术。文献研究是指文献计量学研究(bibliometrics),主要涉及引文分析和内容分析2类方法,通过准确识别文献集合中的高影响文献,并进行内容分析以快速发现相关技术信息。

3) 专家调查。作为潜在颠覆性技术的补充来源,专家调查的受访专家主要来自企业、研究机构、大学和太空机构,涵盖太空领域以及先进材料、光子学、纳米技术、微电子学、信息和通信技术、机器人技术等相关领域。

在专家遴选上,一是依据全球500强企业目录,选择太空技术相关市场领域的高管人员作为企业专家;二是根据泰晤士世界大学排名结果,选择工程与技术领域全球排名前50位高校的知名教职人员作为学者专家;三是选择西班牙高级科学研究委员会(CSIC)发布的世界研究中心排名(ranking web of world research centers)上榜机构,以及美国、欧洲、俄罗斯、日本、加拿大、法国、意大利、德国等国家和地区的太空机构,将这些机构的部门主管作为领域专家。最终,建立专家数据库。

在调查设计上,调查问卷通过在线调查系统LimeSurvey.org进行设计、修改、发布、回收和统计。颠覆性太空技术研究计划概况及调查问卷的网址链接以邮件形式发送给受访专家。调查问卷设计以简明和精炼为主要原则,经过数次讨论后确定了6组调查问题:(1)专家的工作领域;(2)航天部门未来可能的图景;(3)专家所在领域内的潜在颠覆性太空技术;(4)专家所在领域外的潜在颠覆性太空技术;(5)常规信息,如专家年龄、专家目前工作机构、专家目前工作国家;(6)联络资料。

最后,ESA和DLR对通过问卷调查收集的、专家建议的潜在颠覆性太空技术进行筛选,并按已有技术分类体系归类录入颠覆性太空技术数据库。

2.1.2 颠覆性太空技术数据库构建

颠覆性太空技术数据库主要用于储存在搜索过程中发现的潜在颠覆性太空技术(表1^[21]),同时

表1 颠覆性太空技术数据库包含的信息内容

字段名称	字段内涵	
名称	最常使用的技术名称	
描述	包含对该技术的简短描述,信息来自学术论文、网站、博客等多渠道	
优势	包含在相同应用领域,该技术的比较优势	
劣势	包含在相同应用领域,该技术相对于其他技术的缺点	
技术的潜在市场侵入类型	涉及技术的市场侵入类型,包括小众市场、低端侵入、高端侵入、边缘侵入	
技术所在行业	显示技术来自航天部门内部或外部	
技术领域(TDs)	依据ESA技术树分类	
技术子领域(TSs)	依据ESA技术树分类	
技术群(TGs)	依据ESA技术树分类	
成熟度	按照技术颠覆性可能出现的时段划分为3类:5年内、5~15年、15年以上	
层次分析法(AHP)	社会维度得分	按照 AHP 方法对潜在颠覆性技术涉及的社会因素进行评分
	技术维度得分	按照 AHP 方法对潜在颠覆性技术涉及的技术因素进行评分
	经济维度得分	按照 AHP 方法对潜在颠覆性技术涉及的经济因素进行评分
	政治维度得分	按照 AHP 方法对潜在颠覆性技术涉及的政治因素进行评分
	总得分	根据各因素评分,加权后计算总得分

为下一阶段基于层次分析法(AHP)的颠覆性太空技术初选提供技术信息支持。此外,颠覆性太空技术数据库也是“扫描、监测和跟踪”(SMT)数据库建设的基础。在颠覆性太空技术搜寻研究计划中,ESA和DLR受时间限制并没有采用SMT(如技术性能演进、专利分析、技术文献演进等)。但是目前,

美国国家航空航天局的政府外部技术数据库中已经设置了SMT功能。

2.1.3 颠覆性太空技术初选

颠覆性太空技术初选主要按照层次分析法的基本程序完成(图1^[22])。预评专家组由颠覆性太空技术研究团队成员和DLR部分专家共同构成。层

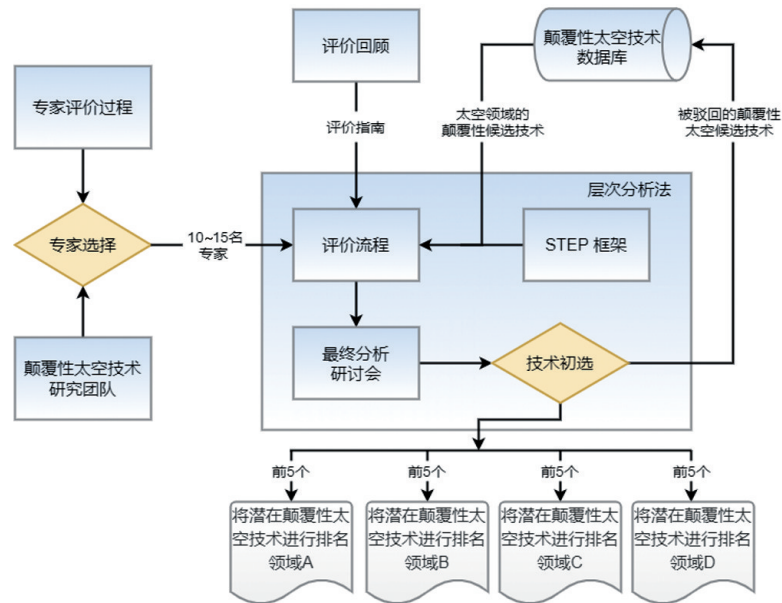


图1 基于层次分析法的颠覆性太空技术初选流程

次分析法的评价标准基于“社会、技术、经济和政治分析框架”(STEP框架)得出(表2^[22])。预评专家按照5个等级(比现有技术差很多、比现有技术差、与现有技术一样、比现有技术好、比现有技术好很多)对每项候选颠覆性太空技术进行评分。

在权重确定方面,预评专家组成员首先对社

会、技术、经济和政治4个评价维度的重要性进行两两比较,进而建立4×4判断矩阵,然后通过计算特征向量、归一化处理、一致性检验,最终确定各维度权重。根据预评专家组打分和综合加权计算结果,每个领域选取排名前5位的技术作为下一阶段颠覆性太空技术评价的具体对象。

表2 社会、技术、经济和政治分析框架(STEP框架)

维度	序号	评价问题
社会	1.1	该技术受到的媒体关注如何? 有没有增加的趋势?
	1.2	该技术的研究出版物如何? 有没有增加的趋势?
	1.3	该技术领域或相似领域的专利如何? 有没有增加的趋势?
	1.4	该技术的研究领域有多活跃?(例如活跃研究的数量)
	1.5	该技术是否造成了伦理困境/问题? 如果是,有多严重?
	1.6	该技术的使用在环境方面有多少优势/劣势?
	1.7	该技术的使用或开发是否促进了全球合作?
	1.8	该技术对解决其他社会问题有贡献吗?(例如不可再生资源的枯竭、医疗保健、营养不良)
技术	2.1	该技术是否满足或能否满足太空环境方面的技术要求?
	2.2	该技术在感知性能方面是否超越了最先进的技术水平?
	2.3	该技术在哪些方面发挥作用?(如材料、组件、子系统、航天器、任务或体系结构)
	2.4	该技术的复杂程度如何?
	2.5	该技术是否使一项新技术成为可能? 或使另一项技术发展速度提高?
	2.6	该技术的性能提升率如何?
	2.7	该技术概念的成熟度如何?
	2.8	哪些因素影响技术的不确定性? 与该技术相关的不确定性有多少?
	2.9	该技术是否突破航天部门的瓶颈领域?(如太空运输、变流技术及太空推进)
经济	3.1a	该技术是否可以从小众应用扩展到更广泛的应用?
	3.1b	该技术是否有潜力应用于性能要求低于最新技术但对价格敏感的任务?
	3.1c	该技术是否有潜力应用于性能要求高于最新技术的任务?
	3.1d	在应用于太空领域之前,该技术是否在地面应用?
	3.2	该技术的潜在市场规模如何?
	3.3	该技术所需材料成本如何? 部署后处理技术成本如何?
	3.4	该技术的相关研发成本如何?
3.5	该技术在航天部门的潜在应用价值如何? 相对于最新技术,该技术是否有新的价值?	
3.6	该技术是否有相邻或合作的技术领域? 该领域的规模和增长率如何?	
政治	4.1	该技术符合欧洲太空政策吗?
	4.2	该技术符合ESA的技术目标吗?
	4.3	该技术应对政策变化的稳定性如何?
	4.4	是否存在阻碍决策者对该技术投入(经济或人力投入)的因素?

2.2 颠覆性太空技术评价

欧洲颠覆性太空技术评价方法体系主要由德尔菲法(Delphi)、层次分析法(AHP)、概念评分法(Concept Scoring)构成,并包括专家遴选、文案研究、正式评价3个重要环节(图2^[23])。其中,正式评

价主要基于德尔菲法完成,共设计了3轮在线专家调查环节,旨在使专家小组的评价意见趋于集中,最后做出符合太空领域未来发展趋势的颠覆性技术评价结果。

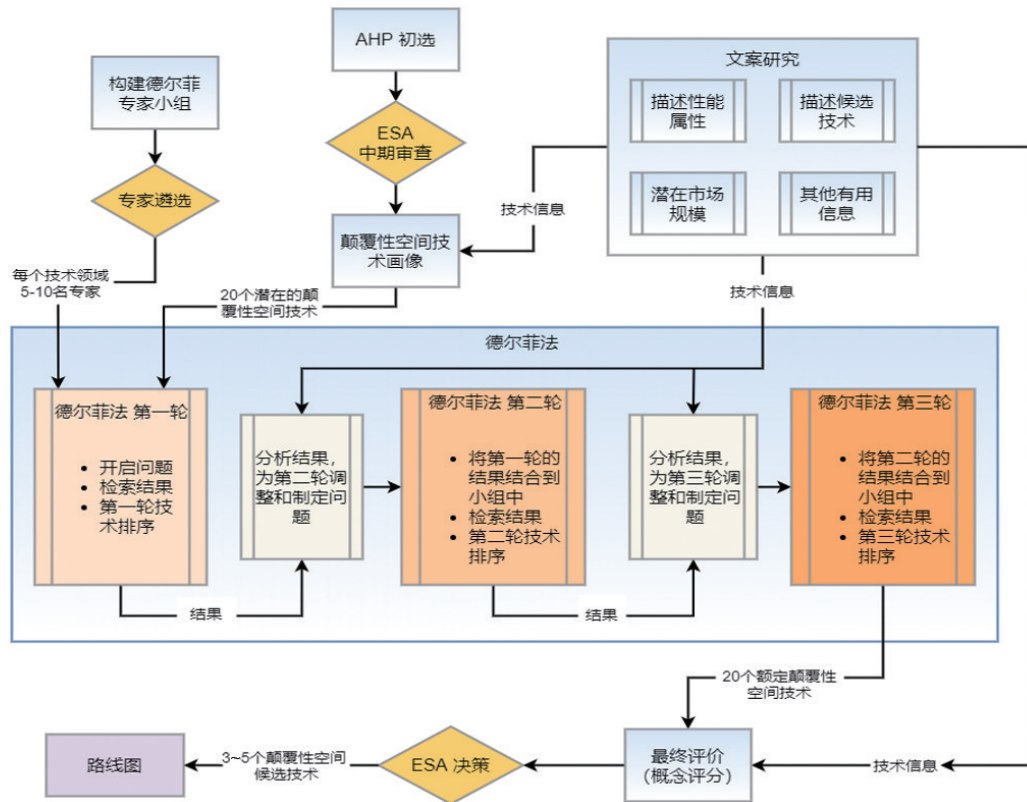


图2 基于德尔菲法的颠覆性太空技术评价流程

2.2.1 专家遴选

正式评价专家小组由技术调查受访专家、ESA 和 DLR 专家共同组成。为了避免可能出现的专家打分偏见,项目组制定了3个方面的遴选标准:一是针对个人偏见,要求专家与受评技术不存在任何利益相关关系;二是针对年龄偏见,要求长期性的技术预测以年轻专家为主,短期性的技术预测以年长专家为主,中期性的技术预测专家年龄尽量均衡;三是针对文化偏见,要求尽可能聘请国际专家。鉴于所有技术未来将在欧洲太空领域应用,因此本次专家遴选以欧盟的国际专家为主。

2.2.2 文案研究

考虑到颠覆性太空技术4个维度的评价标准不易量化,项目组针对候选颠覆性太空技术开展了文案研究,补充收集技术相关信息,例如媒体、期刊、专利等出版物信息、技术背景信息(性能、复杂度、成熟度等)、市场信息(市场规模、潜力、市场入侵类型、成本等)、影响技术发展的政治因素等。通过多源信息关联,综合描绘候选颠覆性太空技术画

像,以此辅助专家判断。

2.2.3 正式评价

第一轮德尔菲专家调查从社会、经济和政治3个维度(表3^[23])对候选颠覆性太空技术进行评价;第二轮德尔菲专家调查从技术维度对候选颠覆性太空技术的6项最重要技术性能进行评价。评分结果按式(1)转换为百分位制。其中,AP₁=性能1的百分位值(percentile),AR₁=性能1的评分(rating)。

$$AP_1 = \frac{AR_1 \cdot 100}{n} \div \sum_{i=1}^n \frac{AR_i}{n} \quad (1)$$

在第三轮德尔菲专家调查中,专家可以根据第二轮调查的评分结果修正自己的评分。最后,在概念评分阶段,项目组采用层次分析法确定每项评价指标的权重,计算候选颠覆性技术的最终综合得分,排序后报送ESA 审议,最终由ESA 确认需要重点布局的颠覆性太空技术。

经过颠覆性太空技术搜寻计划的初选和评价2

表3 颠覆性太空技术正式评价标准(社会、经济和政治维度)

维度	权重/%	评价问题	评分标准
社会(5%)	33	与现有技术相比,该技术的环境效益如何?	两者相同=0;新技术更好=2.5;新技术好得多=5;旧技术更好=-2.5;旧技术好得多=-5
	67	该技术是否存在潜在的伦理困境或社会问题?	不认为该技术存在任何伦理或社会问题=0;存在较少的伦理或社会问题=-2.5;存在较多的伦理或社会问题=-5
经济(22%)	7	与现有技术相比,该技术的分拆(spillover)技术转让情况如何?	
	17	与现有技术相比,该技术的生产复杂性和材料成本如何?	两者相同=0;新技术更好=2.5;新技术好得多=5;旧技术更好=-2.5;旧技术好得多=-5
	17	与现有技术相比,该技术的操作复杂性和维护成本如何?	
	59	未来几年,该技术的市场应用前景如何? 增加或减少?	市场将保持不变=0;市场将小幅增长=2.5;市场将大幅增长=5;市场将小幅减少=-2.5;市场将大幅下降=-5
政治(11%)	45	是否存在任何限制或法规阻碍该技术应用到太空领域?	不认为有任何限制或法规阻碍该技术=0;存在很少限制或法规=-2.5;存在很多限制或法规=-5
	9	预计该技术在什么时间范围内可以应用到太空领域?	未来10年=0;未来10~20年=0;未来20年以上=-2.5
	46	是否存在促进或阻碍该技术发展(或应用领域)的任何政治因素?	不认为有促进该技术发展的政治因素=0;有促进该技术发展的政治因素=5;有阻碍该技术发展的政治因素=-5

个环节,ESA技术官员最终选择多孔金属:金属泡沫与增材制造(additive manufacturing, AM)结合、相变化内存(phase-change memory, PCM)、飞行石墨(aerographite)3项技术作为未来研发投入的重点。

3 颠覆性太空技术路线图

技术路线图(technology roadmap, TRM)是探索一种寻求技术创新着力点的规范方法,使创新过程可以“把握”,对资金和人力投入的重点“有章可循”^[24],是政府设计公共政策的有力工具。

3.1 颠覆性太空技术路线图框架

技术路线图的框架可采用多种形式,但通常具有一些共同特征^[25],主要包括:(1) 时间序列。技术路线图的横轴为时间序列(什么时候做),时间标度可以是连续的,也可以按时间间隔分置,但一定有明确的时间节点。(2) 分层呈现。技术路线图的纵轴是不同类型的图层,包括顶层代表组织目标(为什么做);底层代表资源(尤其是技术知识),即

满足路线图顶层组织目标的特殊技术需求(怎么做);中间层代表顶层与底层间的桥接和传输机制(做什么),即通过技术布局满足市场和用户需求的路径。(3) 注释。除各图层信息外,其他信息也可以按时间序列标注在技术路线图上,例如重点战略、市场驱动因素、关键假设等,同时利用注释或颜色标注关键节点或路径。(4) 进程。技术研发进程取决于可用资源量(人员、时间、预算等)、待解决问题的性质(目的和范围)、可用的信息(市场信息和技术信息)等诸多因素,因此需要将内部因素(有形和无形资产)和外部因素(市场和商业环境)相结合,从市场拉动和技术推动2个方面进行综合研判。

颠覆性太空技术路线图主要用于未来欧洲航天领域潜在颠覆性技术的发展规划。因此,技术路线图的基本框架中需要包括时间线、研发进程和里程碑节点。鉴于欧洲颠覆性太空技术研究计划的项目特点,ESA采用了单层技术路线图形式,即重点关注于产品和技术开发,而忽略了市场、业务和组织层面的规划。

3.2 颠覆性太空技术路线图内容

为清晰呈现颠覆性太空技术在不同阶段的发展水平,ESA 在技术路线图中使用了技术成熟度(technology readiness level,TRL)作为反映技术可用程度状态的参数。该技术成熟度分为9个等级,覆盖了基础研究阶段的技术概念或应用方案形成,实验室阶段的原型验证以及各种环境下的系统演示等各个环节。技术路线图主要通过文献研究和专

家访谈2个途径完成。其中,文献研究主要是进一步探索候选颠覆性太空技术的特征。专家访谈是为了获取基于专家经验的技术见解,设计技术发展的流程步骤以及每个阶段技术的突破点。根据颠覆性太空技术路线图设计框架和内容,ESA 分别为多孔金属:金属泡沫与增材制造结合、相变化内存、飞行石墨3项技术设计了技术路线图,图3~图5为部分示例^[26]。

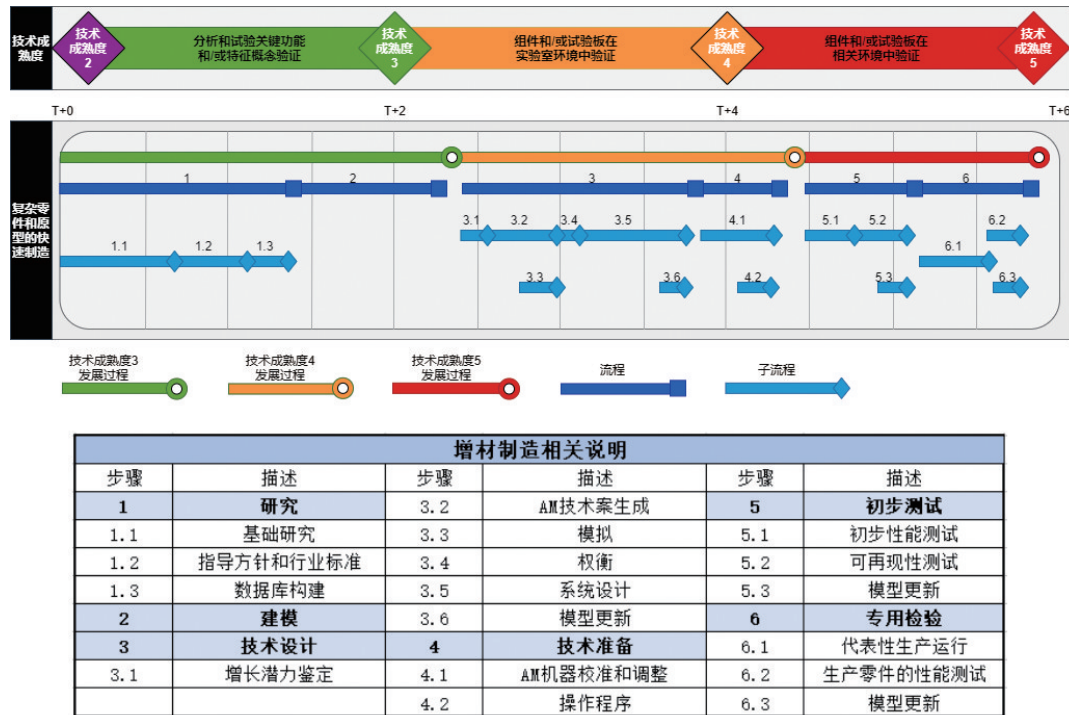


图3 金属泡沫与增材制造结合技术路线

4 结论

欧洲颠覆性太空技术搜寻研究计划基于专家智慧和最新的信息技术手段,制定了有效的评价指南,创新了颠覆性太空技术研究的理论与实践。在理论层面,强调在特定市场环境下讨论颠覆性技术的识别、评价及布局问题,结合颠覆性创新理论和太空技术特点,构建了颠覆性太空技术研究的理论基础。在方法层面,一方面重视社会、技术、经济、政治等多源信息融合以辅助专家判断,通过技术分类和功能描述建立了颠覆性太空技术数据库;另一方面规范专家评价过程,从“专家遴选—初选评价

—正式评价—事后评估”全流程上制定措施以保证对颠覆性太空技术的评价结果质量。在实施层面,注重技术研发的科学规划,将技术路线图作为技术战略规划的重要组成部分,以技术成熟度作为反映技术可用程度状态的参数,通过时间线、研发进程和里程碑节点清晰地显示颠覆性太空技术未来的发展轨迹。

事实证明,欧洲颠覆性太空技术搜寻方法体系的确为潜在颠覆性技术的识别和选择提供了路径和依据。通过该方法选择的多孔金属:金属泡沫与增材制造结合、相变化内存、飞行石墨3项技术成为21世纪技术改革的重要组成部分。当前,中国



图4 相变化内存技术路线

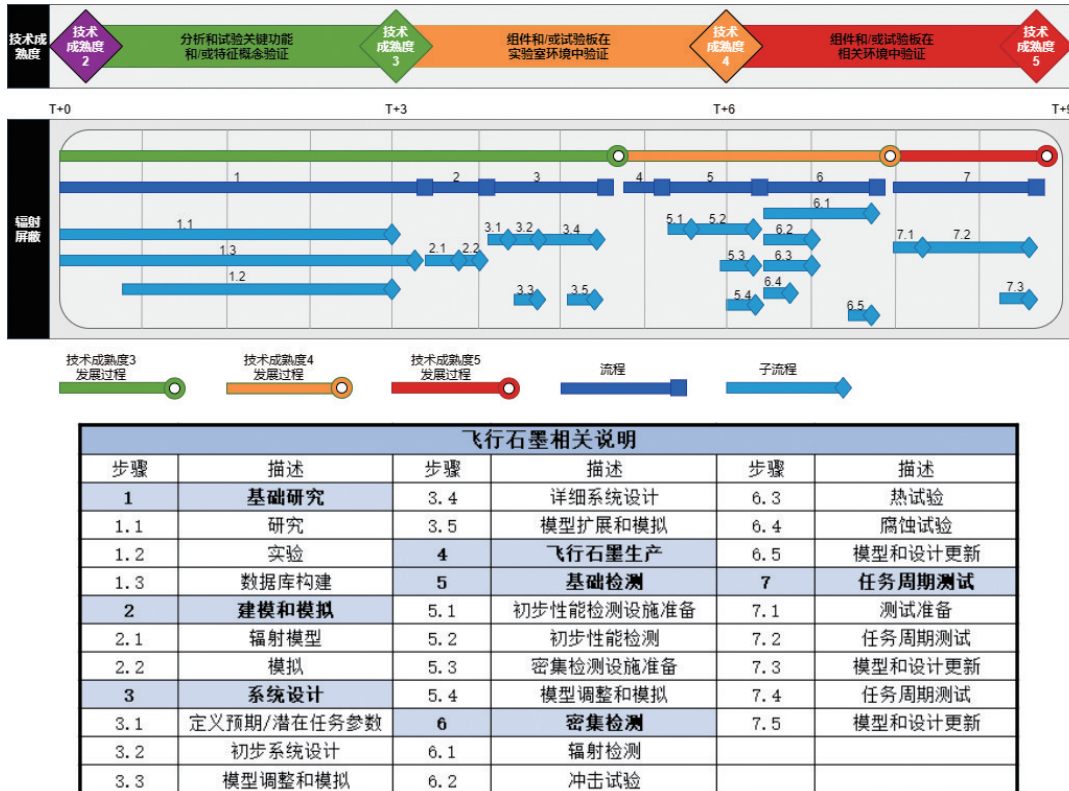


图5 飞行石墨技术路线

颠覆性技术的系统观不强,多集中于单一的技术维度,尚未形成系统、准确研判的理论和方法^[27]。因此,从方法论层面总结欧洲颠覆性太空技术搜寻研究计划的经验,将对中国颠覆性技术研究具有重要参考价值。欧洲颠覆性太空技术搜寻研究计划启示如下。

4.1 重视技术应用场景分析,设立多维度评价标准

颠覆性创新更关注于技术创新所引发的市场替代效应。目前,颠覆性技术研究过于强调技术本身,而忽视技术物化后的运用效果^[28]。学界对颠覆性技术的概念内涵与研究方法没有形成共识的很大原因在于将技术从其依存的应用场景中抽离,未能聚焦经济社会发展和国家重大战略发展的现实需求。欧洲颠覆性太空技术搜寻计划不仅考虑了太空技术本身的特殊性,还分析了经济、社会、政治等多种影响因素,前瞻研判技术物化、市场转化及应用实践过程中可能出现的问题。在此基础上,建立了技术、经济、社会和政治4个维度的评价标准,进而对潜在颠覆性太空技术进行考量。因此,中国的颠覆性技术识别和评价研究应强调评价标准的系统化,重视对技术应用场景的量化与质性分析,以此辅助专家科学研判具有潜力的颠覆性技术。

4.2 建立专家履历信息平台,储备专业化评价人才

目前,专家评价仍是颠覆性技术识别的主要方法。因此,建立高水平、专业化的专家队伍是增强识别科学性和准确性的根本保障。颠覆性技术识别是一项系统工程,需要领域专家、企业人员、政府官员、科研人员、情报人员等多方参与。欧洲颠覆性太空技术搜寻计划依据国际公认的企业、高校、科研机构排名信息,通过官网、会议论文等多渠道广泛搜集太空技术及其相关领域的各类专家履历,建立了专家数据库。当前,国际上已经建设了一些服务于科研管理实践的专家履历信息平台,如巴西的科技人才电子履历数据库(Lattes Platform)^[29]。中国可以在现有国家科技管理信息系统公共服务平台基础上,利用图书情报学相关分析方法和最新的信息技术手段,广泛收集专家履历信息资源,以重点科技创

新领域为单元,建设特定领域颠覆性技术评价的专家数据库。

4.3 构建多源信息支撑体系,保障科学化评价过程

颠覆性技术经常出现在交叉领域,涉及多学科知识,这也给专家判断带来很大挑战。欧洲颠覆性太空技术搜寻计划通过文案研究、文献研究、专家调查等多种渠道搜集了技术相关的大量信息,结合已有太空技术数据库,共同构建了颠覆性太空技术研究的多源信息支撑体系,不仅在初期技术扫描中保证了信息搜集的全面性和完整性,还在正式评价中成为辅助专家判断的重要信息来源。目前,部分机构存在过分看重评价结论而忽视评价本身是否科学的误区^[28]。颠覆性技术评价方法的准确性受开源数据是否完备、数据处理人员是否专业、政策分析人员是否有个体偏好等多方面因素的影响。此外,市场本身的动态性和各国国情的差异性也给颠覆性技术评价带来一定挑战。因此,中国的颠覆性技术研究工作应充分利用多学科知识与经验,吸收最新的大数据分析技术,保障颠覆性技术评价过程的科学性,进而提升评价结果的准确性。

4.4 加强技术发展规划管理,推动颠覆性技术创新

未来是可以预测和改变的,准确预测未来依靠的是科学的方法和手段,这是逻辑推演和证据分析的结果^[30]。技术预见和科技规划是实施创新驱动发展战略、促进科技创新发展的重要战略工具。虽然颠覆性技术识别的难度大,尤其是在当前新一轮科技革命与产业变革的大背景下,颠覆性技术可能源于重大的科学和技术突破,也可能是源于已有技术或多项技术的综合交叉^[27],但是欧洲颠覆性太空技术搜寻计划的经验表明,在评价方法指南的导引下,潜在颠覆性技术是可以预测和识别的。目前,欧盟已在多个领域形成了“预见-规划-路线图-实施-评估-预见”的技术发展规划管理“闭环”^[31]。因此,中国应加强对技术发展的规划管理,设立颠覆性技术专门研究机构,形成常态化研究机制,增加对基础研究的投入,推进颠覆性技术创新,进而抢占科技制高点和创新发展的先机。

参考文献(References)

- [1] 李倩. 当前国际太空战略竞争的新态势及其启示[J]. 国际太空, 2020(5): 43-48.
- [2] European Space Technology Master Plan[R]. Paris: European Space Agency, 2008.
- [3] ESA technology strategy and long term plan[R]. Paris: European Space Agency, 2009.
- [4] Giannoulas D. Assessing the disruptive potential of space technology concepts: Application of an evaluation method [D]. Berlin: Technische Universität Berlin, 2012.
- [5] Schumpeter J A. The theory of economic development[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1934.
- [6] Christensen C. The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [7] Danneels E. Tight-loose coupling with customers: The enactment of customer orientation[J]. Strategic Management Journal, 2003, 24(6): 559-576.
- [8] Kostoff R N, Boylan, R, Simons G R. Disruptive technology roadmaps[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2004, 71(1/2): 141-159.
- [9] Markides, C. Disruptive innovation: In need of better theory[J]. Journal of Product Innovation Management, 2006, 23(1): 19-25.
- [10] Adner R. When are technologies disruptive? A demand based view of the emergence of competition[J]. Strategic Management Journal, 2020, 23(8): 667-688.
- [11] 苏鹏, 苏成, 潘云涛. 颠覆性技术识别方法发展现状及启示[J]. 图书情报工作, 2019, 63(20): 129-138.
- [12] Yu D, Hang C C. A reflective review of disruptive innovation theory[J]. International Journal of Management Reviews, 2010, 12(4): 435-452.
- [13] Choton B. Disrupting class how disruptive innovation will change the way the world learns[J]. Journal of Information Privacy and Security, 2009, 5(4): 70-71.
- [14] Christensen C M, Grossman J H, Hwang J. The innovator's prescription: A disruptive solution for health care [M]. New York: McGraw-Hill, 2008.
- [15] Summerer L. Evaluating research for disruptive innovation in the space sector[J]. Acta Astronautica, 2012, 81(2): 484-498.
- [16] Stellmann S. Historical technology evolution of space systems with special regard towards subsystems[D]. Bremen: University of Applied Sciences Bremen, 2009: 70.
- [17] Nemet G F. Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change[J]. Research Policy, 2009, 38(5): 700-709.
- [18] Carayannis E G, Roy R I S. Davids vs Goliaths in the small satellite industry: The role of technological innovation dynamics in firm competitiveness[J]. Technovation, 2000, 20(6): 287-297.
- [19] Francis D, Bessant J. Targeting innovation and implications for capability development[J]. Technovation, 2005, 25(3): 171-183.
- [20] Fletcher K. ESA technology tree version 3.0[R]. Netherlands: ESA Communications, 2013.
- [21] Technical note 3: Broadcast scan. Disruptive technology search for space applications[R]. Bremen: Institutions of Space Systems, DLR, 2012.
- [22] Technical note 2: Evaluation guidelines development. Disruptive technology search for space applications[R]. Bremen: Institutions of Space Systems, DLR, 2012.
- [23] Technical note 4: Technology evaluation. Disruptive technology search for space applications[R]. Bremen: Institutions of Space Systems, DLR, 2012.
- [24] 罗伯特·哈尔, 克莱尔·法鲁克, 戴维·普罗伯特, 等. 技术路线图: 规划成功之路[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [25] Phaal R, Farrukh C, Probert D. Technology roadmapping: A planning framework for evolution and revolution [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1/2): 5-26.
- [26] Technical note 5: Roadmapping phase. Disruptive technology search for space applications[R]. Bremen: Institutions of Space Systems, DLR, 2012.
- [27] 杨帆, 郭剑锋. 颠覆性技术的预测与展望[N]. 光明日报, 2018-05-31(14).
- [28] 朱启超. 走出“颠覆性技术”的认识误区[N]. 光明日报, 2016-3-2(11).
- [29] 高晓培, 武夷山, 李伟钢. 巴西人才库 Lattes 平台在优化科研和教育管理中的作用及其借鉴意义[J]. 全球科技经济瞭望, 2014(7): 32-42.
- [30] 布鲁斯·布尔诺·德·梅斯奎塔(美). 预言家的博弈: 预测和改变未来世界的新逻辑[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2014.
- [31] 李万. 科技创新的不可预见性: 预见和规划的重要理念基石[J]. 创新科技, 2019, 19(2): 1-5.

On search methods of disruptive space technologies in Europe

LIN Lijiao¹, SUN Jie², LI Youxuan³, ZHAO Yong^{1*}

1. China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. Shanghai Putuo Library, Shanghai 200333, China

3. Institute of Applied Linguistics Ministry of Education, Beijing 100010, China

Abstract The European project of search for disruptive space technology has attracted attention because of its systematic advantages. From the perspective of methodology the experience of this project can provide reference for the systematic study of disruptive technology in China. This paper studies the primary search and evaluation process of disruptive space technology in Europe, analyzes the theoretical basis, evaluation criteria and evaluation methods based on STEP framework, and introduces the technology roadmap of disruptive space technology. Through summarizing the experience of European disruptive space technology method system in theory, method and implementation, this paper draws enlightenment for China to promote its disruptive technology innovation, such as paying attention to the analysis of technology application scenarios, establishing expert resume information platform, constructing multi-source information support system, and strengthening the management of technology development planning.

Keywords disruptive space technologies; technology search; method system ●



(责任编辑 王志敏)