

机械与运载工程领域颠覆性技术战略研究

杨艳明¹, 赵云¹, 邵珠峰², 李道春³, 高增桂⁴, 张子龙⁴, 沈悦⁴, 王林军⁴

(1. 清华大学公共管理学院, 北京 100084; 2. 清华大学机械工程学院, 北京 100084;
3. 北京航空航天大学, 北京 100083; 4. 上海大学, 上海 200444)

摘要: 通过文献研究和专家访谈等方法, 提出机械与运载工程领域已有或潜在的颠覆性技术: 仿生智能技术、无轴轮缘推进技术、智能无人飞行器技术、超回路列车技术和微机电系统, 对这五项技术的创新性和颠覆性优势进行了分析, 最后提出机械与运载领域颠覆性技术的发展建议。

关键词: 机械与运载工程; 颠覆性技术; 仿生智能技术; 无轴轮缘推进技术; 智能无人飞行器技术; 超回路列车技术; 微机电系统

中图分类号: TB1 文献标识码: A

Strategic Research on Disruptive Technologies in the Field of Mechanical and Vehicle Engineering

Yang Yanming¹, Zhao Yun¹, Shao Zhufeng², Li Daochun³, Gao Zenggui⁴, Zhang Zilong⁴,
Shen Yue⁴, Wang Linjun⁴

(1. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 4. Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Through literature research and expert interviews, the existing or potential disruptive technologies in the field of mechanical and vehicle engineering were proposed: bionic intelligent technology, shaftless rim propulsion technology, intelligent unmanned aerial vehicle technology, ultra-loop train technology, and electromechanical systems (MEMS). The innovative and disruptive advantages of these five technologies were subsequently analyzed. Finally, the suggestions for the development of disruptive technologies in the field of mechanical and vehicle were proposed.

Keywords: mechanical and vehicle engineering; disruptive technologies; bionic intelligent technology; shaftless rim propulsion technology; intelligent unmanned aerial vehicle technology; ultra-loop train technology; MEMS

一、前言

历史上的每一次科技革命、工业革命和能源革

命, 都伴随着颠覆性技术的出现。如第一次世界大战期间出现无线电技术、飞机技术, 第二次世界大战期间出现雷达技术、数字计算机技术、导弹技术

收稿日期: 2018-11-25; 修回日期: 2018-12-03

通讯作者: 邵珠峰, 清华大学机械工程学院, 副教授, 主要研究方向为智能制造设备; E-mail: shaozf@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“工程科技颠覆性技术战略研究”(2017-ZD-10)

本刊网址: www.enginsci.cn

和核技术，冷战时期出现集成电路技术、人造卫星技术、激光技术，冷战后的互联网技术、全球定位系统以及隐身技术等。这些颠覆性技术伴随着性能与功能的不断改进和完善，最终取代了原有技术，开辟了新的市场。从历史演变来看，只有具备敏锐的洞察意识，掌握并发展颠覆性技术，才能保持一个国家的领先地位。美国、俄罗斯等国均成立了专门机构，加紧颠覆性技术的相关研究，我国也应开展颠覆性技术研究，捕获新兴前沿技术机遇。

机械与运载工程领域的颠覆性技术战略研究，涉及技术领域广泛，涵盖机械、微机电系统（MEMS）、增材制造、机器人、航空、航天、海洋运输装备、汽车、轨道交通、综合交通等十多个子领域，所涉及的产业几乎全部为技术密集型、高关联性的大规模产业，无一例外地成为各国战略布局的重点。

以创新和高科技为特色的各类技术的广泛发展，警醒每一个国家都需要抓住机械与运载工程领域快速发展机遇期，及时、准确识别颠覆性技术，占领世界技术发展的制高点。

二、当前机械与运载工程领域颠覆性技术的发展情况

中国工程院机械与运载工程学部按专业划分为机械工程、船舶与海洋工程、航空宇航科学技术、兵器科学与技术、动力与电气设备工程与技术、交通运输工程。这一领域学科众多，工程技术发展迅速。在前期文献研究的基础上，结合专家访谈方法，提出了应当引起关注的机械工程、航空航天、海洋运载装备及轨道交通领域的颠覆性技术。

（一）机械工程领域的发展情况

1. 智能制造技术

智能制造是我国制造业由大变强的核心技术和主线。我国已经涌现出一些企业积极制定并实施本企业发展智能制造的规划计划，智能制造技术将在我国制造业获得大力发展和广泛应用。

2. MEMS 的潜在颠覆式应用

未来将有四种趋势改变 MEMS 的市场格局：新兴器件，如微镜和环境组合传感器；新应用，如压力传感器应用于位置（高度）感测；颠覆性技术，

包括封装、新材料（如压电薄膜和 300 mm/12 寸晶圆，1 寸 \approx 3.333 cm）；新的设计，包括纳机电系统（NEMS）和光学集成技术。

（二）航空航天运载领域的发展情况

自主无人系统包括无人机、无人地面车辆、无人水面艇和无人潜航器共 4 种类型 [1]。这类系统在得到授权后具备在特定边界内独立行动的能力，具有自主性，通过制定规则和策略进行自我选择，并具有自主学习能力，能够改进策略甚至在不可预见的情况下进行最优选择，从而达成既定目标任务。自主无人系统体现了无人系统的智能化水平，涉及到众多学科和门类的高新技术。

我国在自主无人系统方面展现出显著的实力，但是在无人机、无人地面车辆、无人水面艇、无人潜航器等各类无人系统关键技术方面的发展互相独立，在军用和民用无人系统中的自主控制、测控通信、互操作、高精度导航等共性技术攻关及应用尚未形成合力。在国际范围内属于跟跑状态。

空中自主无人系统的技术拐点主要包括：无人系统机器学习、有人/无人快速切换机器人、微型扑旋翼飞行器、智能集群技术、临近空间超高速无人机、环境感知等。预计到 2020 年前后能够实现无人系统机器学习以及有人/无人快速切换机器人技术并开始应用，对于微型扑旋翼飞行器、临近空间超高速无人机技术将在 2025 年前后取得较大突破，2030 年后将在空中自主无人系统技术领域取得重大突破，并于 2035 年前后取得广泛应用。

自主无人技术成熟度和技术拐点预测，如表 1 所示。

（三）海洋运载装备领域的发展情况

绿色船舶技术：国际海事组织（IMO）制定的新船能效设计指数（EEDI）规则自 2013 年 1 月正式生效后，为进入国际市场，建造及配套单位就必须对不符合 EEDI 要求的船型进行改造 [2]。世界各大船舶研究机构、先进造船企业以及相关研究机构通过研发新型能源推进船舶（液化天然气燃料船、风帆柴油机混合动力船、燃料电池推进船等）、新概念绿色船型（高效节能船型）、环保无污染涂料、无压载水船舶、低排放高效动力装置、轻质材料等新技术，打造新型绿色船舶。

表 1 自主无人技术成熟度和技术拐点预测

技术名称	技术成熟度	技术拐点预测
有人/无人快速切换驾驶机器人技术	6 级	到 2020 年左右, 视觉感知和定位技术将取得实用性进展, 并结合控制系统、执行系统上技术的完善, 有人/无人快速切换驾驶机器人技术将以驾驶地面车辆为代表并取得巨大突破
微型仿生飞行器技术	5 级	到 2025 年左右, 飞行器设计技术、微机电制造、能源电池领域将取得进一步进展, 突破原有仿生飞行器的尺寸限制, 实现厘米级、毫米级微型仿生飞行器技术的实用化发展, 并以此带动微型仿生技术的发展
智能集群技术	4~5 级	到 2025 年左右, 个体将在智能自主和群体协同方面取得进一步进展, 并在群体感知和态势共享技术中实现突破, 实现智能集群的自组网通信, 推动智能集群技术的实用化发展
无人系统机器学习技术	3~4 级	到 2025 年左右, 机器学习算法将进一步发展, 用于完成新的任务, 并逐渐从无人驾驶汽车领域向无人飞行器、无人海上系统拓展, 推动无人系统机器学习技术的广泛应用
自主无人系统技术	3~5 级	到 2030 年左右, 有人/无人快速切换的驾驶机器人、仿生飞行器、智能集群技术、自主环境感知技术以及无人系统机器学习有望逐渐取得标志性的成果, 推动自主无人系统技术实用化发展

(四) 轨道交通技术领域的发展情况

全面系统加强主动安全保障、运输组织协同优化、互联互通、全过程服务等方面的体系化创新, 已成为世界轨道交通科技发展的大趋势, 也是我国轨道交通的“短板”。

我国尚未实现各种交通方式的协同运输, 亟待加强区域轨道交通各模式间互联互通和应急处置联动。轨道交通能源供给系统技术和装备的标准化、谱系化和智能化, 以及新能源和新型能源利用模式的创新应用成为轨道交通能源相关技术发展的主流和创新焦点。

三、未来机械与运载工程领域颠覆性技术预测展望

(一) 机械工程领域展望

经前期文献整理和调研, 发现本领域已经形成一项典型的颠覆性技术——MEMS, 在高端数控机床、先进成形装备、关键机械基础件、3D 打印、机器人等技术领域存在疑似颠覆性技术。

其中, MEMS 以微纳尺度理论为支撑, 通过微纳制造及工艺, 融入微机械、微电子、微光学、微能源、微流动等各种技术, 具有微感知、微处理、微控制、微传输、微对抗等功能, 并通过功能模块的集成, 实现单一或多类用途的综合性前沿技术 [3]。MEMS 是近年兴起的高新技术, 具有多学科交叉特征, 应用领域广泛, 持续不断发展对我国保持技术领先优势意义重大。

(二) 航空航天运载领域展望

1. 航空航天领域已有和疑似颠覆性技术

航空航天运载工程颠覆性技术影响重大, 开展航空航天运载工程颠覆性技术的识别和发展研究, 抢占新科技变革、产业变革和军事变革的战略主动权, 对我国具有特别重要的意义。

根据近期航空航天领域技术发展状况、基础科学技术突破情况等, 按照能源动力技术、航空器技术、航天器技术三个技术分类筛选出已有和疑似颠覆性技术。能源动力技术领域包括: 垂直起降发动机、超燃冲压发动机、太阳能飞机、全电飞机; 航空器技术领域包括: 超音速客机、无人智能化、航空母机、超长航时无人机、仿生智能集群技术; 航天器技术领域包括: 可重复使用火箭、大型火箭、星际高速飞行器。

2. 超燃冲压发动机技术

高超音速飞行器“是人类在发明飞机、突破音障、进入太空之后又一项具有跨时代意义的里程碑, 是未来航空航天领域的另一发展方向” [4]。高超音速飞行器在进行超过 5 Ma 飞行时, 需要应用超燃冲压发动机来完成工作。超燃冲压发动机技术作为高超音速飞行器技术的核心关键技术, 将推动吸气式喷气发动机的进一步突破。超燃冲压发动机适宜在大气层或跨大气层进行长时间超声速或高超音速的续航飞行, 具备结构简单、造价低、易维护、性能好等特点。

3. 仿生智能集群技术

仿生智能集群技术基于仿生微型飞行器和智能

集群技术。研制仿生飞行器，将会突破目前大型航空飞行器设计过程中固化的设计理念和技术限制，微小型飞行器将具备极佳的隐蔽性和在狭小空间的飞行能力，这类微型飞行器的研究取得了微小的进展，在突破厘米级/毫米级的过程中，面临着包括设计、能源、导航、微制造等多方面的技术瓶颈，但具有极大的发展潜力。

在目前的微型发展进程中，由于微型固定翼和旋翼面临理论与技术瓶颈和效率的制约，设计和研发高效率的仿生飞行器具有必要性和代替性。协同集群技术的发展能够克服单个微型飞行器能力不足的缺陷，将颠覆传统单一飞行器的作战模式，产生重大军事变革。

4. 可重复使用航天运载技术

可重复使用航天运载技术基于可重复使用运载器。可重复使用运载器是指能够在地球表面与太空之间重复往返的多用途飞行器，具有快速、安全、可靠、成本较低的巨大优势。在航天运载器向着低成本、高可靠性方向发展的过程中，可重复航天运载器技术将改变目前航天运载器发射成本巨大的困境，为将来更进一步探索、开发外太空资源打下坚实的基础；在人类向着太空不断发展的过程中，率先占领技术制高点将在长时间内保持军事技术等方面的优势。

（三）海洋运载领域展望

目前在海洋开发装备技术、海洋科考装备技术、海洋防务装备技术、海洋运输装备技术等领域还未出现明确的颠覆性技术，但可燃冰开采船舶创新技术、船舶动力-无轴轮缘推进系统技术、船舶绿色化的创新与发展技术、海洋数据资源技术等技术领域可能存在疑似颠覆性技术。

吴有生院士指出，世界海洋运载装备呈现以“绿色船舶技术”为基础，以“综合集成”“智能化”“深远海”为主要发展方向的新趋势 [5]。

1. 绿色海洋运载技术

海洋运载装备的节能技术始终贯穿于其发展的过程中。目前，绿色船舶技术的发展方向主要包括：一是绿色船舶的总体技术，包括船舶设计优化、减轻船舶的重量、少/无压载水船舶；二是绿色船舶动力技术，也是绿色船舶技术的发展重点，目前较为成熟或正在研发的有关技术包括低转速长冲程设

计技术、降低最大持续运转功率点油耗技术、气体燃料技术、风帆油机混合动力技术等；三是绿色船舶营运技术，包括船舶能效控制和岸电技术。

2. 综合集成与智能化

随着海洋运载工程任务需求的不断增加，海洋运载装备逐渐向功能综合集成化、智能化方向发展。集成化包括：一是设备集成化；二是功能集成化。智能化包含船本身的智能化和船舶与岸上组成网络的信息智能化。

3. 极地与深远海运载装备技术

随着深海科学的不断发展，深海潜器作业深度不断增加，日本无人遥控潜航器目前已具备下潜到10 000 m以上的深海作业能力。新发展的深海潜器可更好地应用于海洋矿物与生物资源、海洋能源开发、海洋环境测量等多方面科学考察活动。美国、英国、俄罗斯等传统海洋强国都提出了深海空间站的构想，其中美国准备发展深海空间站，英国计划开发水下星球大战系统，俄罗斯计划开发新一代的深海空间站装备体系 [6]。

适应于深远海支持和作业的海洋运载工程装备将成为未来需求的重点。其他还包括可燃冰开采船舶创新技术、船舶动力-无轴轮缘推进系统技术、船舶绿色化的创新与发展技术等。突破性技术包括节能装置、双燃料主机、轻量化设计技术。此外，还应重视研发海洋数据资源技术。未来值得期待的海洋运载技术还有核动力和深海载人空间站。

（四）轨道交通领域展望

轨道交通技术的发展包括以下几个方向。

（1）系统集成及共性技术：包括轨道交通系统综合安全评估与协同安全保障技术、轨道交通系统全息感知与泛在融合智能化技术、轨道交通系统全局效能评估及综合效能提升关键技术、轨道交通系统解耦与适配技术。

（2）载运工具方面技术：包括高速轮轨交通系统关键技术、磁浮交通系统关键技术、轨道交通货运快速化关键技术、导向运输系统模式多样化技术、基于城轨网络的城市物资快速转移载运工具、导向运输系统新模式及技术探索研究。

（3）基础设施方面技术：轨道交通线路工程施工与能力保持技术、基于空-天-车-地信息一体化的安全与运营保障技术、基础设施供电系统。

(4) 营运管理方面技术：轨道交通运营与管理信息大数据深度应用、“互联网+”轨道交通精准服务模式、便捷高速客运、高效快捷货运、多模式轨道交通运输组织与协调、智能运维与应急处置。

(5) 创新能力方面技术：轨道交通系统安全综合测试验证评估平台、轨道交通系统综合数据应用服务平台、轨道交通系统综合效能研究与评估平台。

面对轨道交通强国持续创新的挑战，我国亟需发展更高速、更经济、更环保、更安全的下一代高速铁路装备技术，以更具竞争力的新技术和更加智能化的新产品，保持我国高铁可持续发展的竞争优势。例如，高速列车具有智能和自适应能力的转向架技术，包括高铁“走出去”所需的变轨距技术、新材料的轻量化车体技术、大功率电子变压器技术、永磁电机及其牵引控制技术、全电制动技术、同相供电技术、节能变压器技术、装备状态监测技术、新材料与新工艺的应用、大容量的无线通信和更加准确的移动闭塞技术、智能化的运输组织和动态调度技术等，都将是下一代高速铁路发展的核心技术。另外，运能更大的重载技术、既有铁路的技术改造与升级技术，也将是轨道交通技术发展的重点。

另一方面，轨道交通已从传统的干线铁路向多样化发展，城市轨道交通发展迅猛，新技术不断涌现。我国 100% 低地板新型城市有轨电车技术应用广泛，围绕供电系统的创能、传能和储能新技术，燃料电池、超级电容、无线传能等新技术研究十分活跃。避免与地面交通干涉的跨坐或吊挂式单轨列车技术，轨道交通“最后一千米”的自动运行“轿厢”列车技术，低成本的虚拟轨道列车技术也已引起广泛关注。随着长沙机场线磁浮列车的开通运营，人们对磁浮列车寄予了无限期望，国家也已经在“‘十三五’先进轨道交通专项”中立项开展 200 km/h 的中速磁浮交通系统和最高设计为 600 km/h 的高速磁浮交通系统研究。

日本低温超导磁浮列车实现 603 km/h 的载人试验和东京到名古屋（最终到大阪）运行线的开工建设，证实了利用超导磁悬浮技术打造更高速度的轨道交通的可能性，而我国具有自主知识产权的高温超导磁浮列车技术，以独特的自悬浮、自导向和自稳定性能，成为 1 000 km/h 左右的地面超高速轨道交通的最佳模式。此外，采用真空管道的地面超

高速轨道交通倍受关注，西南交通大学在 2014 年创建了世界首个真空管道高温超导磁悬浮交通实验系统，引起了国际学术界的广泛关注，电气与电子工程师协会（IEEE）旗舰刊物《Spectrum》称之为“超级轨道”（super chute）。最近，随着美国基于真空管道的超级铁路（Hyperloop）概念的提出和工程化研究，近声速的地面超高速轨道交通应用越来越接近。

四、机械与运载工程领域潜在颠覆性技术发展建议

经上文分析并结合专家意见，提出机械与运载工程领域具有潜在颠覆性的 5 项技术。在全面布局的同时，应该优先支持这 5 项技术的发展。

（一）仿生智能集群技术

仿生智能集群技术是基于仿生微型飞行器和智能集群技术的出现而发展的，微型化将是飞行器设计的重要方向，蕴藏着出现颠覆性技术的巨大潜力。

协同集群技术将通过能力互补和行动协调实现集群的自主控制和自主编队飞行，将大力提升微型飞行器的作战能力。作战方式具有全新颠覆性，能够极大地降低传统武器的作战效能问题。

发展智能集群技术，需要解决有限空间内多架无人机之间的冲突；以低成本、高度分散的形式满足功能需求；动态自愈合网络；分布式集群智慧；分布式探测；可靠性；去中心化自组网提升抗故障能力、自愈性和高效信息共享能力。

无人机集群对抗是未来空战的重要方式，我国应加大相关方面的研究，跻身于世界一流仿生智能集群无人机技术队伍之列，抢占这一潜在颠覆战争形式的颠覆性技术战略制高点。

（二）船舶新动力—无轴轮缘推进系统技术

无轴推进系统采用颠覆现有电力推进系统的结构设计，结合轮缘驱动技术，设计出无轴轮缘驱动推进器。无轴轮缘推进器集成了电机和推进器，进行一体化设计制造。无轴轮缘推进系统的推进效率优异，设计理论创新和适用性广泛，克服了传统推进系统的众多缺点，极具颠覆性 [7]。

（三）智能无人飞行器技术

智能无人飞行器技术涉及领域广泛，在军用和民用领域均具有非常广阔的应用前景。它具有全面的环境感知与智能战场态势认知能力、基于大数据知识库的自主决策能力以及高动态的自适应能力。

智能无人飞行器技术颠覆性的潜在着眼点有：无人飞行器飞控技术、从单一智能无人飞行器向多智能无人飞行器协作发展、智能化无人飞行器技术与传感器、无人飞行器平台的智能化。人工智能技术与无人飞行器进行深度融合，将对传统领域产生颠覆性的影响。

（四）超回路列车技术

超回路列车技术可降低活动部件和空气阻力所造成的摩擦。列车管道采用铝合金制造，胶囊舱采用特殊设计。超回路列车管道回路中的横向加速度低于地铁，因此可有效防止乘客晕车。该技术创新性的设计理论，广泛的适用性，使其将成为新一代地面交通的典范，颠覆传统的地面交通运输系统。

超导磁悬浮技术利用超导材料实现悬浮。特点是不需用电，通过超导块材也能悬浮起来，不使用车轮，依靠电磁推进 [8]。高温超导磁悬浮理论及其应用包括两个方面：轴对称场中高温超导体块材的电磁特性及其在轴承和飞轮储能上的应用；平移对称场中高温超导体块材的电磁特性及其在轨道交通和发射系统中的应用。超声速技术目前主要应用在飞行器上面，超声速、高超声速飞行器的飞行速度要高于 5 倍声速，即 5 Ma，或接近 6 000 km/h。而超回路列车的研究势必要涉及到超声速时产生的“地面热障”，所以将超声速技术应用到轨道交通领域，并且控制好成本，将是一个科研转商用的重点技术。

美国 Hyperloop Transportation Technologies(HTT) 公司、美国 Hyperloop one 公司和中国航天科工集团有限公司三家宣布要研发大于 1 000 km/h 的运输系统。中国航天科工集团有限公司最先提出建立航天超声速地面运输系统，从通过 1 000 km/h 运输能力建设区域性城际飞行列车交通网，通过 2 000 km/h 运输能力建设国家超级城市群飞行列车交通网，到第三步通过 4 000 km/h 运输能力建设“一带一路”飞行列车交通网 [9]。

（五）MEMS 技术

MEMS 技术类似微电子技术，将对人类社会产生革命性的影响，如可大批量生产运行成本低、可靠性高的微小卫星 [10]。

MEMS 的优点有很多，因为不需要依赖刚性的传动装置来有效地传递力矩，因此可以加入更多的缓冲装置；因为动力呈现分部式设计，传动链比较短，控制设计上也更加方便和简单。医用微型机械装置，在过去技术难度接近于不可能的纳米机器人，在 MEMS 的发展支撑下，会在不远的将来真正出现。即使复杂的化学分子实现不了的药理作用，通过程序控制的微型装置也可能实现，这在医疗卫生领域将是一场颠覆式的革命。药理学这门学科的重心也许将会从介绍药物药理作用发展到通过微型电子机械设计药理作用过程，这种改变将彻底打破现有的医学困境。MEMS 技术还能把收集的周围能量转化为电能，最终取代电池。

MEMS 技术发展具有微型化、低功耗、高精度、集成化及智慧化趋势。MEMS 技术的应用环境、领域的差异较大，具有较强专用性，不容易被技术先进国家垄断，需要在同一技术平台下的多元化创新，在不同的领域内分别做适用性创新。这种分领域专业化创新，通过多点式创新形成整体产品升级的模式，使我国可以利用产业规模庞大、产业分工链条长的先天优势，形成新型的产业集群网络，实现大企业引领、小企业专精的市场发展特色，为我国 MEMS 发展开辟道路。

参考文献

- [1] 牛轶峰, 沈林成, 戴斌, 等. 无人作战系统发展 [J]. 国防科技, 2009, 30(5): 1-11.
Niu Y F, Shen L C, Dai B, et al. A survey of unmanned combat system development [J]. Defense Technology Review, 2009, 30(5): 1-11.
- [2] 陈明义. 绿色船舶的理念 [J]. 政协天地, 2015 (4): 24-25.
Chen M Y. The concept of green ship [J]. Political Consultation World, 2015 (4): 24-25.
- [3] 吴勤. 见“微”知著 撬动前沿技术杠杆 [N]. 中国航天报, 2015-04-28 (03).
Wu Q. See “micro” know essence, pry the leverage of cutting-edge technology [N]. China Space News, 2015-04-28 (03).
- [4] 段立伟, 洪延姬. 等离子体火炬喷射频率对超声速燃烧特性的影响研究 [J]. 推进技术, 2015, 36(10): 1539-1546.
Duan L W, Hong Y J. Effects of plasma torch jet frequency on supersonic combustion characteristics [J]. Journal of Propulsion Technology, 2015, 36(10): 1539-1546.

- [5] 钟啸. 32 条金点子支招广东海洋经济 70 余专家助力南粤创新驱动发展 [N]. 南方日报, 2012-10-09 (A06).
Zhong X. 32 golden ideas for guangdong marine economy, more than 70 experts contribute to innovation-driven development in South Guangdong [N]. South China Daily, 2012-10-09 (A06).
- [6] “中国海洋工程与科技发展战略研究”海洋运载课题组. 海洋运载工程发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2016, 18(2): 10–18.
Task Force for the Study on Development Strategy of China's Marine Engineering and Technology Marine Transportation Research Group. Research on China's development strategy for marine transportation engineering [J]. Strategic Study of CAE, 2016, 18(2): 10–18.
- [7] 谈微中, 严新平, 刘正林, 等. 无轴轮缘推进系统的研究现状与展望 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2015, 39(3): 601–605.
Tan W Z, Yan X P, Liu Z L, et al. Technology development and prospect of shaftless rim-driven propulsion system [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2015, 39(3): 601–605.
- [8] 雍黎. 超高速列车还遥远, 超导技术却很近 [N]. 科技日报, 2017-09-22 (03).
Yong L. Ultra-high-speed trains are still far away, but superconducting technology is very close [N]. Science and Technology Daily, 2017-09-22 (03).
- [9] 王腾腾. 快到飞起! 未来京广或半小时可达 [N]. 南方日报, 2017-08-31 (06).
Wang T T. Hurry up and fly, Beijing may be arrive Guangdong only use half an hour in the future [N]. South China Daily, 2017-08-31 (06).
- [10] 王晓海. 微机电系统技术及其在卫星中的应用 [J]. 中国航天, 2007 (3): 35–38.
Wang X H. MEMS technology and its application in satellite [J]. Aerospace China, 2007 (3): 35–38.