

# 株洲市前沿技术跟踪工作动态

(2021 年第一期)

## 一. 机械与运载

机械与运载工程领域研究热点涉及交通运输工程、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、动力及电气设备工程与技术等方向。在智能制造子领域关注的技术前沿包括数字孪生驱动的智能制造、基于大数据的智能制造系统生产调度技术、基于机器学习的故障监测与诊断等；在增材制造子领域关注的技术前沿包括复杂曲面超精密加工技术、增减材复合制造方法、连续纤维增强复合材料增材制造；在交通运输工程子领域关注的技术前沿包括电动航空、吸气式高超声速飞行器、基于 5G 技术的无人驾驶系统、有人机/无人机协同控制技术、飞行器电磁隐身超材料研发与应用。

表 1 机械与运载工程技术前沿

子领域	序号	工程研究前沿	对接产业链	可对接企业
智能制造	1	数字孪生驱动的智能制造	轨道交通、通用航空、新能源汽车	中车株机、中车株所、联诚、九方、三三一、麦格米特
	2	基于大数据的智能制造系统生产调度技术		
	3	基于机器学习的故障监测与诊断		
增材制造	1	复杂曲面超精密加工技术	轨道交通、通用航空、新能源汽车、新材料	中车时代新材、三三一
	2	增减材复合制造方法		
	3	连续纤维增强复合材料增材制造		
通用航空	1	电动航空	通用航空、新材料	三三一、六零八、山河智能
	2	吸气式高超声速飞行器		
	3	基于 5G 技术的无人驾驶系统		
	4	有人机/无人机协同控制技术		
	5	飞行器电磁隐身超材料研发与应用		

## 1. 智能制造

### (1) 数字孪生驱动的智能制造

数字孪生作为新兴技术，基本特征是物理实体和数字孪生模型的双向映射；在数字化设计、虚拟仿真、工业物联网等关键使能技术交叉融合的基础上，构建产品/工厂所对应的数字孪生模型，对数字孪生模型进行可视化、调试、体验、分析与优化，以此提升实体产品/工厂的性能和运行绩效。

相关研究热点有：高保真度数字孪生模型，三维交互式实时渲染，贯穿产品全生命周期的数字主线构建，数字孪生模型的多学科仿真与优化，应用人工智能（AI）和大数据技术对工业物联网开展数据实时分析以及与数字孪生模型进行实时映射等。

### (2) 基于大数据的智能制造系统生产调度技术

智能制造系统在大规模个性化定制的驱动下，以工业大数据、AI、产业智联网等技术为支撑，由人类专家与智能机器共同构成人机一体化的智能生产系统，成为智能制造的核心环节，且关键在于智能调度。

主要研究方向包括：制造系统人-信息-物理融合与知识生成、基于大数据的制造系统不确定性信息精准预测、人机物共融的动态生产调度、跨区域与跨尺度的分布式生产调度、模型与数据混合驱动的调度优化决策、数字孪生使能的生产调度等。

### (3) 基于机器学习的故障监测与诊断

随着大数据挖掘和AI技术的发展，计算机网络规模趋于复杂，生成的过程数据越发庞大，出现了新的数据分析需求。基于机器学习的智能故障诊断方法普到工业界和产业界的普遍关注。当前主流的智能诊断方法分为机器学习和深度学习。

## 2. 增材制造

### (1) 复杂曲面超精密加工技术

随着先进光学、微电子和航空航天等先端技术领域的快速发展，高性能复杂曲面元件的超精密制造需求日益增多，以满足其长寿命、高可靠、轻量化等高品质使役需求。

主要研究方向分为两方面：一是高性能复杂曲面超精密创成的新原理与新方法，引入多能场辅助制造模式，揭示加工过程中力、热、光等多能场耦合作用机

制以及材料的微观断裂传递基本规律，实现高精度低损伤制造；二是高性能复杂曲面超精密装备设计制造及加工过程智能控制体系，研究复杂曲面超精密装备设计理论和制造技术，揭示零部件特征与装备精度及加工路径的相互制约机制，实现纳米级精度控性智能制造。

### **(2) 增减材复合制造方法**

增减材复合制造方法运用逐层堆叠的增材制造和适时的减材加工，实现零件在同一台机床上完成“增材堆积—减材精整”的连续或同步制造过程。方法的实质是将减材制造融入增材制造的成形过程中，旨在提高增材制造零件的精度和质量，直接获得结构复杂、组织致密、形状精度和表面质量高的零件，满足工业高精尖领域对精密零件的性能要求。

相关研究主要分为三方面：一是增减材复合制造方法与装备，研究不同能量源和材料的增减材复合制造方法，开发多轴数控机床、增材制造机构、送料机构，研制增减材复合制造装备；二是增减材复合制造软件，开发重点是零件特征识别分层数据处理、增减材复合制造路径生成与规划、增减材加工工艺模拟；三是增减材复合制造工艺，根据成形材料特点和性能要求，优化增材和减材制造工艺，达到控形控性的目的。

### **(3) 连续纤维增强复合材料增材制造**

连续纤维增强复合材料作为一种先进高性能轻质材料，长期以来存在制备过程周期长、成本高、工艺复杂等问题，严重制约了应用范围和推广进度。增材制造具有工艺简单、加工成本低、原材料利用率高、无模自由成形、绿色环保等优点，理论上可制备具有任意复杂几何构型的结构件。

对标大规模工业化应用，未来重点发展方向有：具有特殊性能的连续纤维制备与开发，增材制造成型技术与连续纤维增强复合材料成型融合机理，连续纤维增强复合材料增材制造标准评价体系，适用面更宽泛的新型增材制造工艺。

## **3. 通用航空**

### **(1) 电动航空**

电动航空技术创新经过十多年的发展，已彰显出蓬勃生机及巨大的市场前景，是自喷气时代以来航空业最重大的技术创新，将对世界航空业产生革命性的影响。电动航空聚焦三个重点发展领域：垂直起降机型（eVTOL）、支线飞机和双座轻型运动飞机，明确针对三个巨大市场：城市空中交通（UAM）、短途通勤和飞行培训。电动航空的多领域跨界特性已经吸引了包括波音、空客、罗罗航发、通用电气、贝尔、西科斯基、巴

西航空工业、德世隆等传统航空巨头以及西门子、博世、英特尔、谷歌、优步、丰田、戴姆勒等机电、软件和汽车等相关龙头企业，以及大量各国研究机构和院校。

电动航空的三个重点发展领域中，eVTOL 电动垂直起降机型由于其新颖的设计、与多领域最直接的跨界应用、与空地一体化城市发展最紧密的联系，成为发展势头最迅猛的电动机型。

## **(2) 吸气式高超声速飞行器**

鉴于空天飞机研制难度极大、短期内较难实现应用，目前国际上针对吸气式高超声速飞行器的技术突破主要集中在以临近空间飞行器为主的武器应用方面。随着大国间竞争的对抗性上升，高超声速导弹这类兼具高度战术实用与战略威慑的先进武器正引发了全球高度关注，并扩散到包括攻防两端能力建设、潜在军控层面在内的全方位博弈。

从技术发展来看，一次性使用的吸气式高超声速导弹技术已经获得突破，预计在 2023-2025 年迎来井喷式部署列装。为进一步拓展应用范围，后续应重点关注飞行器总体设计、高超声速冲压及组合推进、机体 / 推进一体化设计、先进结构与热防护材料、高动态快响应飞行控制等。

## **(3) 基于 5G 技术的无人驾驶系统开发**

无人驾驶是集环境感知、决策规划和自动控制为一体的智能化技术，操作对象包括汽车、飞行器、舰船或其他形态装置。5G 因其高速率、低时延、精确测距和传感能力，已成为网联化和智能化发展的关键技术。

无人驾驶面临复杂计算任务，而车载计算平台价格昂贵、处理能力受限、难以规模量产。4G 能力有限，无法为高清地图、虚拟现实/增强现实应用提供足够的数据速率支持，难以满足道路安全对低时延和高可靠的要求。5G 与无人驾驶系统相结合自然成为无人驾驶领域的研究前沿和热点问题，典型应用场景有：车联网、远程操控、边缘计算、建立个体与环境中一切事物的联系等。

## **(4) 有人机/无人机协同控制技术**

有人机/无人机协同指有人机系统与无人机系统之间在决策、规划、控制、感知等方面，既各自进行独立的计算、存储、处理，又通过交互共融达成群体协同来完成目标任务。一方面，无人机系统目前还不具备意外事件实时响应和处理能力，无法完全自主执行任务，需要由人通过数据链进行操作和控制，以确保任务完成和使用安全；另一方面，无人机与有人机在平台能力（隐身性、机动性、滞空时间、作战半径等）、机载传感器性能、机载武器性能等方面具有能力互补的天然优势。因此，开展高端无人机和先进有人机协同作战，是一种极富潜力、可实现性强的作战样式，是弥补有人机和无人机

能力不足的重要途径，将极大提高协同系统的作战效能和战场生存能力，成为空中作战模式的创新方向。主要研究内容有：多机多任务分配和动态环境下编队整体分配优化及协同态势感知与信息融合，基于任务规划指标、飞行约束条件和战场环境的有人机/无人机协同航路规划，基于自然语言理解的人机交互控制及信息交换，集群异构多智能体技术在有人机/无人机协同决策智能化方面的拓展应用。

#### (5) 飞行器电磁隐身超材料开发与应用

飞行器电磁隐身超材料的开发需要满足“薄、轻、宽、强”的要求，即厚度薄、重量轻、可实现宽频段（覆盖雷电波段与红外波段）吸收、具有良好的耐冲击性与耐腐蚀性，此外要易于维护。尽管目前针对飞行器电磁隐身超材料的研究已取得了一些进展与突破，但仍存在隐身频段有限、增重大、工艺复杂、难以批量化制造等问题。

针对这些问题，飞行器电磁隐身超材料的研究主要集中在以下几个方向：宽频超材料吸波结构的设计与开发；新型可调谐有源超材料隐身技术；新型柔性电磁隐身超材料的设计与开发；3D 打印电磁隐身超材料。

## 二 . 电子信息

电子信息领域涉及电子科学与技术、光学工程与技术、仪器科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与技术等学科方向。在智能芯片子领域关注的技术前沿包括类脑智能芯片、碳基集成电路、用于集成电路芯片纳米光刻的 EUV 光源研发、量子传感器、可穿戴多功能集成传感器；在新一代通信技术子领域关注的技术前沿包括 6G 无线传输与网络构架、天地一体化定位导航体系、太赫兹核心器件及超高速无线应用；在三维感知与成像子领域关注的技术前沿包括多尺度时空超分辨医学成像仪器、超精密三维显微原理与仪器、虚拟现实/增强现实近眼显示技术、脑成像技术、全固态车载相控阵激光雷达；在智能机器人子领域关注的技术前沿包括仿生软体机器人开发、作业型飞行机器人；

表 2 电子信息技术前沿

子领域	序号	工程研究前沿	对接产业链	可对接企业
智能芯片	1	类脑智能芯片	电子信息	中车株洲所、湖南国芯
	2	碳基集成电路		
	3	用于集成电路芯片纳米光刻的 EUV 光源开发		
	4	量子传感器		
	5	可穿戴多功能集成传感器		

新一代通信技术	1	6G 无线传输与网络构架	电子信息、信创	中车株洲所、湖南恒茂
	2	天地一体化定位导航体系		
	3	太赫兹核心器件及超高速无线应用		
三维感知与成像	1	多尺度时空超分辨医学成像仪器	电子信息、信创	中车株所、麦格米特、天桥嘉城、湖南鼎英、中科唯实
	2	超精密三维显微原理与仪器		
	3	虚拟现实/增强现实近眼显示技术		
	4	脑成像技术		
	5	全固态车载相控阵激光雷达		
智能机器人	1	仿生软体机器人开发	电子信息、信创	中车株所、山河智能
	2	作业型飞行机器人		

## 1. 智能芯片

### (1) 类脑智能芯片

类脑智能芯片是借鉴人脑处理信息的基本原理，面向类脑智能而发展的新型信息处理芯片，可分为类脑计算和类脑感知芯片。类脑计算芯片旨在像大脑一样以低功耗、高并行、高效率、通用、强鲁棒和智能地处理各种复杂非结构化信息。类脑感知芯片是借鉴生物感知基本原理实现信息感知的新型芯片，作为类脑计算芯片的信号输入器件，类脑感知芯片为类脑计算芯片提供高灵敏、精确、高速的感知信息，有效地保障类脑计算芯片正确地进行学习、记忆、识别、认知和决策等智能化处理。

类脑芯片技术是一项新兴技术，目前没有明确的技术方案和研究路线图，美国、英国、德国、法国、韩国、日本、瑞士、新加坡、中国等国家的研究团队分别从架构、模型、集成电路、器件、编解码、信号处理、设计、制程、集成、测试和软件等各个层次探索类脑芯片的解决方案。类脑芯片是类脑智能发展的基石，特别适合于实时高效地解决不确定及复杂环境下的问题，可以赋能各行各业，全面带动工业、农业、医疗、金融以及国防等各行业的飞速发展。

### (2) 碳基集成电路

碳基集成电路是指采用碳纳米管作为有源层的晶体管构成的集成电路。碳纳米管具有超高的室温载流子迁移率、极低的本征电容和优异的静电学特性，有望构建更高性能、更低功耗和更易微缩的晶体管。从广义上讲，碳基集成电路充分利用碳纳米管等新型纳米半导体材料独特的物理、电子、化学和机械优势，构建性能优异、功耗低的信息处理芯片，更为灵敏、形态更为丰富的传感器，以及工

作频段更高、速度更快的通信芯片，并有望实现这些功能芯片的在片三维集成，构建性能更高的信息处理系统。

碳基集成电路经历了 20 多年基础研究阶段，目前开始进入工程化阶段，继续发展需要解决晶圆级材料制备、先进技术节点碳基 CMOS 晶体管制备技术、电子设计自动化（EDA）平台、碳基集成电路设计等重要问题。

### （3）用于集成电路芯片纳米光刻的 EUV 光源开发

半导体集成电路芯片作为高端制造业皇冠上的明珠，深刻影响着现代人类生活的方方面面。按照摩尔定律，集成电路芯片最小节点线宽已达到 1nm。作为影响节点尺寸的重要因素，光刻光源的波长起到至关重要的作用。目前，主流光刻机采用深紫外光源（DUV），通过多次曝光可达到 7 nm 节点线宽。最新一代极紫外（EUV）光刻机可以通过单次曝光方式实现 7 nm 光刻，通过工艺改进甚至可实现 1 nm 的节点线宽。因此，EUV 光刻机在节点线宽、效率以及成品率方面都远胜于 DUV 光刻机，这也使得 EUV 光源的研制成为新一代大规模产业应用光刻机的关键。

集成电路芯片加工精度对于 EUV 光源性能的要求越来越高。对于 3 nm 集成电路芯片纳米光刻的技术节点，EUV 光源的功率需要提高到千瓦级别。此外，金属 Gd 靶材的应用以及对自由电子激光的研究有望获得更短波长、更高功率的 EUV 光源输出，从而突破纳米光刻的更小节点。

### （4）量子传感器

量子传感器是根据量子力学规律、利用量子效应设计的、用于执行对系统被测量进行变换的物理装置。量子传感器可推动实现能“看清”弯道的自动驾驶汽车、水下导航系统、火山活动和地震预警系统，以及监测人的日常大脑活动的便携式扫描仪。

### （5）可穿戴多功能集成传感器开发

柔性电子、可拉伸电子技术的发展为实现传感系统的柔性和可穿戴性提供了解决方案，可穿戴多功能传感器件可准确地将环境刺激转化为电信号，具有精度高、贴合性好、共形性好、稳定性高等优点，广泛应用于机器人智能感知、可穿戴健康监测、康复医疗等领域。目前相关发展集中在多模态感知增敏机理研究、可拉伸材料设计与合成、多模态传感器结构设计与高效可控制备、多模态传感器高效集成等方面。多模态感知增敏机理研究针对传感器对压力、剪切力、温度、湿度等多种外界信息的感知需求，设计不同的传感原理并结合生物体感知机理，

实现高性能和高灵敏度传感。可拉伸材料设计与合成通过开发具备柔性和高可拉伸性能的传感功能材料和基底材料，实现传感单元的可拉伸性。

未来发展研究方向有：传感单元的高灵敏度和高响应速度，高密度、高空间分辨率、多模态传感器集成，多功能集成传感器的自适应和自主感知

## 2. 新一代通信技术

### (1) 6G 无线传输与网络构架

6G 是面向 2030 年信息社会发展的新一代移动通信技术。6G 期望引入新的性能指标与应用场景，例如，提供全球覆盖、更高的频谱/能量/成本效率、更高的智能化水平与安全性等。为了满足这些需求，6G 依赖于新的使能技术，将出现新的 4 大范式转换，可以概括为“全覆盖、全频谱、全应用、强安全”。6G 将具备超高吞吐量 (Tbps)、超高效率 (kbps/Hz)、超低时延 ( $\mu$ s) 及全球覆盖 (90%) 的能力，支持更加异构多样的业务类型。

6G 网络架构研究面向全社会、全行业、全生态的网络自治与智能生成，以数据为中心的ICDT深度融合和多维立体全场景服务下新型绿色无线网络架构及组网关键技术。6G 无线传输正开展包括波形设计、多址接入、信道编码以及无蜂窝大规模多入多出 (MIMO) 等研究。6G 将不局限于陆地无线移动通信网络，需要卫星、无人机等非陆地网络作为有效补充，构建空天地海一体化网络。为进一步提升数据传输速率和连接数密度，将充分挖掘包括 Sub-10 GHz、毫米波、太赫兹、光频段在内的全频谱资源。超异构网络、多种通信场景、大量天线单元、大带宽、新服务需求的出现，将产生海量数据，6G 将借助人工智能与大数据技术实现一系列智能化应用。

### (2) 天地一体化定位导航体系

天地一体化导航定位体系是以全球卫星导航系统为核心，以低轨星、空地伪卫星、地面 5G 等通信网络以及多种室内外定位导航源为手段，基于网络化时空资源统一管理与云端协同监测处理，构建从地下到深空，具有“泛在、精准、统一、融合、智能”特征的天地一体化导航定位网络体系。

其主要研究方向为：1) 以全球卫星导航系统为基石，开展地下/地面/空中/低轨星导航源无线基站定位技术研究，形成与全球导航卫星系统空间信号兼容、通导融合以及时空统一的天地一体化导航增强网络，实现泛在的室内外无缝精准定位、导航与授时 (PNT) 服务；2) 异构多导航源混合网络为主体，加强与物

联网和 5G 网络的融合协同，开展智能混合云定位技术研究，通过时空大数据智能化处理提升个体及群体的连续可信导航与授时（PNT）服务能力；3) 以泛在实时精准定位数据为基础，以全息位置地图为支撑，开展网络化位置服务操作系统平台和开放标准协议技术研究，实现用户时空信息关联的多维空间智能化位置服务。

### （3）太赫兹核心器件及超高速无线应用

太赫兹核心器件及超高速无线应用包括两个内涵：太赫兹频段核心功能器件以及太赫兹高速通信。太赫兹频段核心功能器件主要包括太赫兹频段的混频器、放大器、倍频器、调制器、天线导波结构及信道化组件等。太赫兹高速通信是以太赫兹信号作为载波的通信、数据传输和组网互联等，其主要应用方向为空间高速通信、航空海量数据传输以及后 5G 或 6G 时期的回传链路。

当前，太赫兹通信技术虽已初步具备应用的技术条件，但是系统成本较高，需攻关并突破低成本、量产化和集成化的太赫兹通信系统技术。因此，太赫兹通信集成化和单片化系统技术、太赫兹高功率高效率核心部组件技术、太赫兹智能波束技术、太赫兹频段高鲁棒性自适应捕获跟踪技术等都是未来亟待突破的技术。

## 3. 三维感知与成像

### （1）多尺度时空超分辨医学成像仪器

重大疾病往往在发生发展机制上呈现复杂性，在人类科技已取得巨大成就的今天，疾病（如肿瘤）的早期预警与诊断，仍然是我们面临的重大难题之一。医学成像仪器利用电磁波（X 射线、正电子或光子）或声波等与研究对象的相互作用，在宏观、介观、微观、纳观尺度上获取疾病相关的结构、生理、细胞或分子的时间序列信息。提供结构和生理信息的宏观成像系统如 X 射线断层成像、核磁共振成像、超声、正电子发射断层成像、单光子发射断层成像，已经在临床实践中广泛应用。

多尺度时空超分辨医学成像仪器的主要研究方向包括：1) 发展超高时间分辨、空间分辨的结构与功能成像技术，以及图像处理分析新方法，为疾病诊断提供新工具；2) 发展多参数时空动态同时成像系统，揭示各监测参数之间的关联，从各参数响应的快慢推测病理生理反应中的因果关系，诠释病理生理反应机制；3) 联合利用光、声、电、磁等手段，发展覆盖分子—细胞—组织—器官等多个尺度的在体高分辨成像理论与技术。

## **(2) 超精密三维显微原理与仪器**

显微测量的表征精度代表人类微制造的能力极限。新一代微器件与微系统技术全面进入立体集成时代，超精密级三维微结构功能化表征成为全球信息产业竞争的质量基础和科学前沿。光学显微测量属于非接触测量，具有空间分辨力高、不损伤样品等优点，广泛应用于高灵敏度光电探测器、高效照明发光二极管（LED）、高集成度微机电系统（MEMS）器件制造以及增强现实/虚拟现实（AR/VR）系统中超光滑曲面宏微复合结构测量等。超精密三维显微测量是纳米器件与微系统不断突破极限性能的必备手段，主要研究方向涵盖超精密三维显微测量创新原理与方法、测量结果的三维重构及可视化、误差分析与测量不确定度评定、超精密三维显微仪器的校准及量值溯源等。

发展趋势包括：1) 异型微结构功能化几何参数的高精度表征；2) 复杂工业场景下产品关键几何参数的在线测量及智能监测；3) 复合式多模态参数测量仪器的创新集成；4) 三维显微计量理论新突破。

## **(3) 虚拟现实/增强现实近眼显示技术**

虚拟现实/增强现实（VR/AR）近眼显示设备被认为是未来个人移动设备的显示终端。近眼显示根据人眼是否可光学透视显示设备，被分为 VR（不可透视）和 AR（可透视）两种。近眼显示主要朝着轻巧、高分辨、高亮度、大视场角方向发展，涉及的关键技术包括：在显示芯片方面，发展高分辨、高亮度的 LCOS、Micro-LED、OLED、激光扫描等显示技术；在光学成像方面，波导技术是目前接近普通眼镜形式的主要技术手段，主要发展浮雕光栅波导、全息波导以及液晶聚合物光栅波导等技术，实现高均匀性、高效率的图像传输；研究折叠式光学系统、视场拼接光学技术、自由曲面成像技术、全息元件成像技术，实现超薄、大视场的近眼显示；探索光场近眼显示技术、变焦透镜技术，以及近眼全息显示技术等，实现多焦面或连续焦面的近眼显示，解决近眼显示立体视觉中人眼辐辏聚焦冲突造成的晕眩问题。

## **(4) 脑成像技术**

时至今日，脑的核心功能，如情绪和情感等，仍然是未解的难题。这是攻克严重危害人类身心健康的神经系统重大疾病的关键，也将为发展类脑计算系统和器件、突破传统计算机架构的束缚提供重要依据，决定着未来人工智能的深度发展方向。

主要研究方向包括：1) 发展高通量三维结构与功能成像和样品处理新技术，以及图像数据处理分析新方法，实现以细胞级分辨率对不同生物全脑神经元类型、连接与活动的快速定量解析；2) 发展大范围、深穿透度的在体高分辨光学成像等新技术，实现清醒和自由活动动物神经活动的高时空分辨解析；3) 发展光电关联等超微成像新技术，实现对神经突触等亚细胞结构的超微解析和定量表征。

#### **(5) 全固态车载相控阵激光雷达**

激光雷达是指利用发射和接收激光光束完成障碍物探测和测距的系统，由于具有长程和高精度探测的特点，是实现三维感知的一种重要技术方式。激光雷达主要面向汽车无人自动驾驶、机器人、地理测绘以及大气探测等领域，其中，汽车无人自动驾驶领域是激光雷达面向的一个关键市场。激光雷达作为自动驾驶系统感知端中最重要的传感器，主要包含两个核心作用：1) 通过激光光束扫描得到汽车周围环境的三维模型，运用相关算法准确探测周围的车辆和行人；2) 将实时全局地图与高精度地图比对，实现导航及提升车辆定位精度。

未来发展方向主要表现为以下几个方面：1) 在光源方面，将激光光源的产生、调制以及放大等过程与光学相控阵列封装集成到单个芯片中；2) 在光操控方面，解决高密度波导阵列中相邻天线间的串扰问题，突破高调制效率、低插损、低振幅啁啾、高速的片上相位调制技术，在水平和竖直两个方向上满足要求的视场范围以及角度分辨率；3) 在探测方面，需解决背景杂散光的干扰、目标反射光的定向性以及片上微弱光信号探测等一系列问题。

### **4. 智能机器人**

#### **(1) 仿生软体机器人开发**

仿生软体机器人学作为机器人学科的一个分支，通过模仿生物体柔软的结构来赋予机器人较好的柔顺性和大变形能力，使其可与不可预知的环境进行形态适应交互。利用机器人材料的内在属性，降低有关机械结构和控制算法的复杂性，高自由度地实现一些复杂的功能和行为。主要研究方向有：新型智能软材料开发，新型驱动/功能机理，仿生软体机器人结构设计，驱动/感知一体化集成，设计/制造一体化技术，交互控制策略及理论，高能量密度柔性电池技术。目前的仿生软体机器人相比于生物智能还处于发展的初步阶段，未来研究将结合组织工程、人造生物学等，进一步创造具有独特的感知能力、动态响应性和移动性的生物混

合系统。此外，加速协同机器人研究，使仿生软体机器人更安全地与人类和环境共融，拓展和丰富更多的应用场景。

### （2）作业型飞行机器人

作业型飞行机器人由飞行器与作业装置（如机械臂）共同组成，是一种具有主动作业能力的新型机器人；由螺旋桨提供升力，机动灵活，操控性强。作业型飞行机器人系统具有诸多优势：在飞行过程中快速捕捉空中或地面目标，迅速到达地面机器人无法进入的复杂环境中（如地震、火山喷发等灾害现场）执行精细作业任务，多个作业型飞行机器人进行协同搬运、装配大负载，综合飞行能力和作业机构灵活性来拓展实现新概念多栖移动平台。由于作业装置与飞行器之间的强耦合性、作业装置与外部目标的接触对飞行器自身运动产生影响，作业型飞行机器人的应用依然面临一些问题，如欠驱动、多变量、强耦合的复杂非线性因素对飞行控制的影响。

近年来，有关作业型飞行机器人的系统设计、视觉引导、运动控制获得较多关注，但目前还处于起步阶段，耦合效应建模与分析、高性能飞行与作业控制、运动 / 状态规划、实验系统构建等方面均待深入开展研究。

## 三 . 新能源与新材料

新能源与新材料技术研究前沿涉及能源和电气科学技术与工程、地质资源科学技术与工程、材料科学与工程等学科方向。在信息功能材料子领域关注的技术前沿包括基于二维材料的下一代先进电子元器件、人工结构量子材料与器件；在战略新兴产业中的新材料子领域关注的技术前沿包括重大装备核心大构件低成本高品质增材制造、航空用高温钛合金体系及零部件、用于骨修复的高性能新型多孔生物材料制备、高洁净超细化超级轴承钢、具有高适应性智能制造装备的智能材料与技术、国防重大需求先进结构功能一体化陶瓷材料关键制备技术、纳米复合材料在废水处理中的催化性能及机理、多元复合固废精细化分选技术及装备、智能仿生自修复涂层技术、低碳水泥；在新能源技术子领域关注的技术前沿包括太阳能化学，绿色氢气，新型高效氢燃料电池，电动汽车与智能电网耦合关键技术，高能量密度、长寿命、界面可控全固态锂电池。

表 3 新能源与新材料技术前沿

子领域	序号	工程研究前沿	对接产业链	可对接企业
-----	----	--------	-------	-------

信息功能材料	1	基于二维材料的下一代先进电子元器件	信创、新材料	中车株洲所、北汽、麦格米特、宏达、嘉成科技
	2	人工结构量子材料与器件		
战略新兴产业中的新材料	1	重大装备核心大构件低成本高品质增材制造	新材料 通用航空 生物医药	株洲硬质合金、三一能源装备、湖南瑞邦、株洲汉通工业陶瓷
	2	航空用高温钛合金体系及零部件		
	3	用于骨修复的高性能新型多孔生物材料制备		
	4	高洁净超细化超级轴承钢		
	5	具有高适应性智能制造装备的智能材料与技术		
	6	国防重大需求先进结构功能一体化陶瓷材料关键制备技术		
	7	纳米复合材料在废水处理中的催化性能及机理		
	8	多元复合固废精细化分选技术及装备		
	9	智能仿生自修复涂层技术		
	10	低碳水泥		
新能源技术	1	太阳能化学	新能源	立方新能源
	2	绿色氢气		
	3	新型高效氢燃料电池		
	4	电动汽车与智能电网耦合关键技术		
	5	高能量密度、长寿命、界面可控全固态锂电池		

## 1. 信息功能材料

### (1) 基于二维材料的下一代先进电子元器件

先进电子元器件是发展下一代集成电路和光子芯片的核心器件，是实现高性能通信、雷达和电子战系统小型化、集成化的“使能”技术。基于二维材料异质异构技术堆叠而成的下一代先进电子元器件，比目前硅基元器件具有更高的集成水平、更高的工作频率、更低的功耗，有望引发电子装备新一轮革命性变革。

二维材料元器件面临的主要挑战和基础问题包括：1) 晶圆级大尺寸高质量单晶制备技术，包括石墨烯、单层二维过渡金属二硫属化物、铁磁二维材料等；2) 大面积无损异质异构转移和集成技术；3) 跨尺度多物理场耦合效应用机理和性能演化规律。

### (2) 人工结构量子材料与器件

人工结构量子材料和器件是通过多种物理或化学手段在纳米尺度上进行人工设计、制造的新型半导体材料和器件，其有趣的功能主要来自特殊的结构而不是内在的特征。目前，人工结构量子材料与器件的研究主要聚焦在二维材料中原子尺度缺陷的调控、半导体异质结构中人工多量子阱以及超晶格周期性结构的设计等。通过将第一性原理计算和微细加工技术相结合，从原子、分子或纳米尺度上控制缺陷掺杂和人工设计结构的可控生长，进而可研制出具有新型功能的人工结构量子器件。人工结构量子材料与器件研究的关键在于精确、任意地控制量子阱/势垒厚度及多重堆叠，进一步揭示半导体量子点结构中光子、声子和电子之间的相互作用机制以及其与电子输运、光学跃迁和量子能态的内在规律。

针对国家重大战略需求，结合高精度人工半导体微结构技术和原子图案化加工技术，可望进一步实现高性能、高灵敏的中红外探测器、量子级联激光器和超发光二极管等新型人工结构量子器件的集成和发展。

## 2. 战略新兴产业中的新材料

### （1）重大装备核心大构件低成本高品质增材制造

大锻件是重大装备的核心部件，在国防安全、国民经济中发挥着不可或缺的作用。传统大锻件普遍采用百吨级铸锭制备，由于金属凝固过程的尺寸效应，大铸锭慢冷凝固造成的偏析、疏松等问题会严重影响锻件质量，使得大锻件的均质化制备成为亟待解决的世界性难题。目前已经实现了3D打印方法制备钛合金大型整体主承力结构件等大型零件，材料的性能可以达到或接近锻件水平，但对于铁基和镍基材料，3D打印因其经济性和可靠性问题，一直难以与传统的锻造方法相媲美。

目前制约该技术大规模应用的关键技术包括：1) 不同合金体系适度尺寸构筑基元的研制技术；2) 基元表面的高效清洁与活化处理技术；3) 构筑界面的氧化膜破除与分解技术；4) 高温合金、钛合金、特种不锈钢大构件的构筑成形技术。

为解决上述问题，以下几方面亟待解决：1) 建立金属构筑成形通用技术标准，确定构筑成形材料的评价体系与应用准则，使该技术引领大构件极限制造技术的发展；2) 探索高效表面加工清洁方法与活化工艺，研制专用表面处理设备，开发智能型金属构筑成形生产线，以高均质、低成本的构筑成形坯取代传统的大钢锭；3) 面向重型燃机涡轮盘、核电/加氢压力容器、高品质模具钢等迫切需要

解决的大尺寸材料均质化问题，研发相应材料体系的构筑成形技术，研制样件并进行考核评定，形成技术规范。

## （2）航空用高温钛合金体系及零部件

高温钛合金具有高比强度和抗疲劳等优异性能，被广泛应用在航空航天等领域，例如，航空发动机机舱、隔热板、外涵机匣、涡轮盘、高压压气机叶片和盘等部件。从高温钛合金研制进展来看，开发新合金成分、解决制备高温钛合金过程中技术、工艺问题具有重要意义。

进一步的开发研究主要从以下方面进行：1) 研究  $\alpha$ 、 $\beta$ 、增强相和  $\alpha_2$  相的大小、形态及含量，以改善高温钛合金组织的稳定性；2) 开发基于大型高质量铸锭的联合制备技术，控制片状  $\alpha$  构成、等轴  $\alpha$  结构及  $\beta$  转变基体组成的三态组织，在不降低塑性、确保热稳定性的前提下提高材料的使用温度；3) 利用定向凝固技术，制备性能优良的高温钛合金柱状晶或单晶叶片坯锭；4) 建立凝固过程的有限元模型，确定高温钛合金中平衡热强性和热稳定性的  $\alpha_2$  相尺寸、含量的临界转变值，为开发高性能的高温钛合金提供技术指导。

## （3）用于骨修复的高性能新型多孔生物材料制备

骨修复生物材料要求具有三维多孔结构，以利于血管长入从而利于骨再生。**3D** 打印技术制备的多孔支架材料不仅可以构建与缺损骨组织相匹配的复杂外形，还可以精确调控内部孔隙结构以及仿生天然骨结构，提高促进成骨的活性，具有巨大应用前景。

早期 **3D** 打印多孔支架通常局限于单一材料，而综合多种材料的优点并通过组成与结构控制来调控骨修复支架材料的最适参数（如孔径、孔隙率、降解速率和力学强度等），特别是从结构与组成仿生角度，以达到最优的骨修复效果是研究发展趋势。同时构建神经、血管网络等精细结构，重现骨组织功能的复杂多样性，也是目前 **3D** 打印多孔支架追求的目标。另一方面，近年来骨修复材料的重要进展就是从细胞和分子水平来指导生物材料的合成和材料表面结构的控制，从而形成具有“主动修复功能”和“组织微环境响应特性”的新型可降解生物活性骨修复材料。基于这个理念，新型骨修复材料的研究集中在材料的化学组成与结构对细胞和组织的诱导作用上，包括新型生物材料合成、材料表面的活化和纳米结构的构建。

## （4）高洁净超细化超级轴承钢

轴承钢被公认为是对材料质量要求最高的钢种，号称“钢中之王”。高端轴承主要包括航空发动机、海工装备、高速列车、盾构机、数控机床、风电轴承等，技术开发的要点在于轴承的服役寿命和可靠性。一方面要研发洁净度高、均质性好、材料组织细密的轴承用钢材，以解决轴承早期失效、强韧性不足、耐磨性差等问题；二是制定完善的轴承钢标准体系，明确轴承钢的含氧量、Ti含量等；三是开发先进的轴承钢冶金技术，包括精炼和连铸技术等，解决离散大尺寸夹杂物等问题，特别是对于大锭型的情况。

近年来，采用外场强化精炼、连铸、凝固、重熔过程技术，如电磁精炼技术、新型电磁连铸技术、连铸重压下技术、大钢锭凝固外场调控技术、磁控电渣重熔技术等，有望实现轴承钢母材的高洁净、超细化和高均质化的制备，大幅提升轴承钢母材的冶金质量，最终将大幅提升轴承钢的服役性能。

#### **(5) 具有高适应性智能制造装备的智能材料与技术**

智能制造装备是智能制造技术的重要载体，其融合了先进制造、数字控制、现代传感以及人工智能技术，具有感知、学习、决策和执行等功能。与传统制造装备相比，具有高适应性的智能制造装备能够实现定制化、多用途生产，在进行不同材料、不同种类和不同工序的加工时，能够主动接收外界信息并进行自主分析和执行以适应复杂的加工环境和工序，这就对设备的传感器与执行器件的数量、体积与功能提出了更高的要求。智能材料同时具有传感器与执行器件的功能，并且响应迅速，有助于实现智能制造装备体积小型化、功能多样化和结构简单化，能够提升装备的适应性和可靠性。智能材料响应速度快，产生的驱动力大，可以根据需求进行定向设计其性能，并对包括温湿度、酸碱度、气体、机械力以及光照等外界刺激做出反应，使零件本身具有一定的“智能”。这一系列特性符合智能制造技术发展的要求，使其已经应用于高敏传感器、柔性机器人驱动、机械振动控制、装备结构件损伤自检测与自修复、设备工作状态检测等制造领域中。

目前，应用在智能制造装备上智能材料的开发还处于初级阶段，需要进一步的研究。一方面，需要开发出具有更快响应速度、更大驱动力和驱动行程以及对工作环境要求更低的智能材料；另一方面，需要将多种智能材料结合形成智能结构，从工程设计角度提升智能材料的使用范围和工作性能。

#### **(6) 国防重大需求先进结构功能一体化陶瓷材料关键制备技术**

随着航空航天等高新技术的发展，对先进陶瓷材料的结构和功能特性有了更高的要求，结构功能一体化已成为其在高新技术领域应用的关键。然而陶瓷材料

具有不易成型、韧性较差、较难加工等缺陷，因此结构功能一体化复杂陶瓷构件的制造技术，是行业发展的难点所在。当前，国防高端装备对高性能和形状复杂特种陶瓷材料与构件有着迫切需求，突破高性能复杂形状精密部件近净尺寸低成本绿色快速成型关键技术，建立可靠性评价标准及寿命预测模型，攻克以多功能陶瓷纤维复合膜、耐高温耐腐蚀轻质高强多孔陶瓷和高导热陶瓷基板等为代表的典型产品工程化制备技术难关，实现产业化示范，能够有效提升我国典型先进陶瓷材料的研发水平与核心竞争力，为国家重大工程和战略性新兴产业发展提供支撑。

#### **(7) 纳米复合材料在废水处理中的催化性能及机理研究**

纳米材料的高比表面积可以暴露更多的活性位点，提供更多的反应位点，在力学、热学、光学、电学等方面均表现出优异的性能。纳米复合材料将多种纳米材料的优点结合在一起，通过对原材料、各组分分布以及工艺条件等方面的设计，实现各组分优势互补，最大限度发挥优势，利用协同作用提高其催化性能。对于纳米复合材料催化机理的研究目前主要集中在三个方面：一是如何制备出具有强氧化性自由基的复合材料，增强其氧化还原活性；二是加强复合材料微结构与性能方面的研究；三是多种纳米材料之间的界面作用机理研究。纳米复合材料在环境修复和太阳能存储方面应用广泛，如光催化处理持久性有机污染物、重金属离子氧化还原、病原体氧化分解、水裂解制 H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 还原等。随着科学技术的进一步发展，纳米复合材料还将被用于太阳能电池和生物传感器等新兴领域。因此，未来需要所有研究者共同努力，开发出更合适的纳米复合材料，并大规模应用于环境保护和清洁能源的生产中，最终实现真正的可持续发展。

#### **(8) 多元复合固废精细化分选技术及装备**

以退役产品为主要来源的多元复合固废包括电子废弃物、退役电池、废旧有机复合材料、废旧纺织品、废旧包装物等，具有明显区别于传统工业废渣等固体废物的重要特征，包括物相组成与结构复杂、界面结合方式多样、兼具资源和环境双重属性等，这使得多元复合固废的精细化分选对其资源高效循环利用至关重要。现有技术多基于传统的选矿、冶金原理，耦合材料、环境、机械、智能控制等多学科理论，推进多元复合固废的精细化分选以实现资源短程循环与材料利用，推进产品全链条绿色制造与资源环境效率的显著提升，已经成为行业的重大需求。在多元复合固废的高效精细化分选、界面精准识别与解离等方面。

需要重点解决的技术方向为：1) 多元复合固废表界面原位无损检测与精准识别技术；2) 复杂物料全谱系特性数据库及面向精准识别与分选的多维度算法；3) 机械-物理耦合强化的多形态界面高效解离与调控方法；4) 外场调控强化的复合固废分选技术及装备；5) 典型复合固废智能识别 - 界面解离 - 分选一体化处理技术与装备；6) 面向资源循环的产品绿色设计与全产业链技术 - 环境 - 经济绿色评价方法与标准，高度耦合智能化、绿色化、多相界面精准调控的全链条创新技术体系构建。

#### **(9) 智能仿生自修复涂层技术**

智能仿生自修复涂层技术是泛指将源于医学和生物学的自愈合能力用于材料科学领域，即一般指涂层在产生裂缝后能够自动修复。自修复涂料的原理有很多，比如在聚合物基体中引入微胶囊形成愈合剂与引发剂，当在外力条件下产生裂缝后，嵌在其中的微胶囊被撕裂，之后引发聚合反应，将裂缝处重新黏合修补好。同时杂化的有机 - 无机纳米组成可作为细胞壁来组装形成微型管路，涂层一旦受损便能自发修复愈合。目前研究内容的重点主要集中于 PET 涂层，汽车漆面涂层，手机后盖涂层以及一些橡胶材料。

#### **(10) 低碳水泥**

低碳水泥可以帮助应对气候变化。如今，全球每年生产约 40 亿吨水泥，而这一过程中燃烧化石燃料的排放量约占全球二氧化碳排放量的 8%。随着未来 30 年城市化进程的加快，这一数字将增至 50 亿吨。研究人员和初创企业正在研究低碳方法，包括调整生产水泥过程中所用成分的平衡，采用碳捕获和存储技术以消除排放物，以及将水泥从混凝土中全部清除。

### **3. 新能源技术**

#### **(1) 太阳能化学**

生产我们依赖的许多化学药品都需要化石燃料。但是一种新方法有望通过利用阳光将废二氧化碳转化为有用的化学物质来减少化石燃料的排放。近年来，研究人员开发了能打破二氧化碳中碳与氧之间抗性双键的光催化剂。这意味着我们朝建立“太阳能”精炼厂的方向迈出了关键第一步。该精炼厂可从废气中生产有用的化合物，包括“平台”分子，这些分子可用作合成各种产品（如药品、洗涤剂、化肥和纺织品）的原料。如果这项技术可以成功，人们利用太阳能的形式将会产生值得飞跃。

## **(2) 绿色氢气**

绿色氢气填补可再生能源巨大空白。氢气燃烧时，唯一的副产品是水，而当通过可再生能源进行电解制氢时，氢气就变成“绿色”无污染的了。具权威研究机构预测，到 2050 年绿色氢能源行业的潜在市场规模可能接近 12 万亿美元，因为它可以通过帮助降低运输和制造业等部门的碳含量而在能源转型中发挥关键作用，而这些部门由于需要高能燃料而难以电气化。

## **(3) 新型高效氢燃料电池**

在能源短缺与环境污染的双重压力下，世界各国对绿色高效能源技术的发展愈加重视。氢燃料电池以氢气作为燃料，通过化学反应将氢气中的化学能转化为电能，因具有清洁无污染和高能量转换效率等优点而受到广泛关注，但仍面临制氢成本高、储氢技术不成熟、输氢体系不完善等问题。新型高效氢燃料电池技术已成为新能源领域大力发展的核心前沿技术之一。其开发重点主要包括氢燃料电池核心材料、先进氢燃料电池电堆、关键辅助系统零部件、高性能氢燃料电池系统、混合型燃料电池动力系统、制氢、运氢、储氢以及加氢基础设施建设等方面。碳能源向氢能源转变将是未来能源转型的大趋势，氢燃料电池也将从新能源汽车、分布式发电等各个领域实现价值，具有广阔的发展前景

## **(4) 电动汽车与智能电网耦合关键技术**

电动汽车与智能电网耦合，能够显著降低大规模电动汽车充电负荷对电网的冲击，降低电网投资和运行成本，提升智能电网消纳可再生能源发电的能力。主要技术研究方向包括：电动汽车一体化智能充（放）电设备与电站集成技术，考虑交通与电网融合的电动汽车充放电设施优化布局与评估技术，大规模电动汽车有序充电调控技术与电网安全智能管理，电动汽车与电网互动（V2G）的商业模型、通讯与数据安全防护、调度控制技术，基于数据挖掘与 AI 的大规模电动汽车充电行为分析与充电引导技术，电动汽车动力电池的梯次利用技术等。随着电动汽车保有量的快速增长，电动汽车充电运营商和电动汽车用户将通过智能充放电设施实现有序充电和 V2G，参与智能电网运行优化和电力市场竞争，为智能电网带来可观的调控资源。

## **(5) 高能量密度、长寿命、界面可控全固态锂电池**

全固态锂电池采用固态电解质替代液态电解液，可根本性消除或缓解使用安全性问题，并且具有应用高能量密度锂金属负极或硫 / 氧气正极材料的可能性，目前获得学术界和产业界的高度关注。固态电解质主要分为无机固态电解质、聚

合物电解质和塑性晶体电解质。无机固态电解质（尤其是硫化物系电解质）在离子电导率方面已经达到与液态相当的水平，但界面阻抗大、稳定性差，制约了实际应用；聚合物系电解质发展较早，但离子电导率仍然偏低；塑性晶体电解质具有较高的离子电导率，可一定程度上改善电极/电解质界面，颇具应用前景。塑性晶体电解质和聚合物电解质是短期应用方向，而无机电解质则是终极应用目标。以聚合物为骨架，利用塑性晶体与高浓度的锂盐能够液化的特性来制备聚合物塑性晶体复合电解质；通过调整界面层锂盐的浓度，有望在保障电导率的同时，高效调控界面，进而开发出高能量密度、长寿命的固态电池。

## 四 . 生物医药与大健康

生物医药与大健康领域技术研究前沿涉及公共卫生与预防医学、基础医学、临床医学、医学信息学与生物医学工程、中医学等学科方向。在生物医药子领域关注的技术前沿包括生物 3D 打印制造技术、用于肿瘤诊疗的智能纳米药物、空气传播病原体探测器系统和方法、新型基因编辑技术脱靶效应与对策、微针技术、全基因组合成技术；在大健康子领域关注的技术前沿包括虚拟病人、基于 AI 的临床诊断决策支持系统、脑科学的神经计算和类脑智能。

表 4 新能源与新材料技术前沿

子领域	序号	工程研究前沿	对接产业链	可对接企业
生物医药	1	生物 3D 打印制造技术	生物医药 电子信息	株洲菲德菲尔 株洲英特锐尔 湖南瑞邦
	2	用于肿瘤诊疗的智能纳米药物		
	3	空气传播病原体探测器系统和方法		
	4	新型基因编辑技术脱靶效应与对策		
	5	微针技术		
	6	全基因组合成技术		
大健康	1	虚拟病人		
	2	基于 AI 的临床诊断决策支持系统		
	3	脑科学的神经计算和类脑智能		

### 1. 生物医药

#### (1) 生物 3D 打印制造技术

本方向的技术含义是采用 3D 打印技术，按照生物体的结构与功能需要，制造类生命体组织，支撑生物医学的发展。本方向的主要研究包括以下技术方向：1) 复杂结构器官的制造：重点解决人体功能性器官的研究，例如心脏组织，解决组织与神经信号的协调机制，使构建的组织从简单的力学支撑组织向具有神经调控的功能组织发展，进而解决 3D 打印组织与人体宿主组织的融合共生，最终实现人体器官的再生与功能重建；2) 类脑组织制造：脑组织中的神经元功能与信号发生和交换是形成思维功能的基础，其内部细胞的排列及它们在皮质各层内的类型和密度是大脑皮质分区功能的基础，从“认识脑”到“创造脑”是发展类脑计算机的方向，在体外对脑组织进行形态和功能构建取决于对目标功能部位所对应的神经元类型、构筑结构及神经元组合的仿生设计和精确制造，是生物类脑功能 3D 打印发展的前瞻性方向；3) 生物能转化组织：探索人体的能量和电能的形成与释放机理，构建人工肌肉和生物电池，提供高效率的能量释放机制，形成软体组织的能量转化与释放器件，发展更为高效的能量集成与释放器件；4) 生物机械共生体：现有机器存在着能量转化效率低、灵活性低等局限，用活体肌肉组织或细胞驱动的生物共生机器发展具有高能量转化效率、本质安全性、运动灵活性的多自由度柔性类生命机器人。建立耦合生命体和机械体的类生命机器人多细胞/多材料复合制造方法，为柔性类生命机器人提供一种从运动功能需求出发、可重复、可定制的快速制造新途径。

### **(2) 用于肿瘤诊疗的智能纳米药物**

为了提高临床治疗的效果，减少不良副作用，基于纳米技术的纳米药物作为新型诊疗方案，以实现更加精确的癌症诊断和治疗。智能纳米药物是利用药物分子与蛋白质、脂质、聚合物、有机/无机纳米材料等不同生物相容性材料结合，构建多功能纳米颗粒，具有对外源性刺激（光、温度、超声和磁场等）和肿瘤微环境刺激（pH、还原物质、酶、活性氧和三磷酸腺苷等）的响应能力，提高纳米药物的特异性、可控性和智能化，实现癌症的精准诊疗。目前，相关的前沿研究包括以下几个方面：构建纳米药物的新型生物相容性纳米材料及其组装；癌症治疗的特异性智能纳米药物及可控释放；肿瘤成像及癌症诊断的特异性纳米探针；肿瘤诊疗一体化的纳米医学新策略；智能纳米药物的体内代谢和毒理研究。

### **(3) 空气传播病原体探测器系统和方法**

空气传播病原体是对能通过空气侵入新的易感宿主，并引起疾病的微生物和空气传播病原体的统称，主要包括病毒（甲型 H1N1 流感、严重急性呼吸综合

征、新型冠状病毒肺炎等)和细菌(结核杆菌、肺类链球菌等)。近几十年来,由于空气传播病原体传播范围广、速度快等特性,人类一直面临着此类传染病的威胁。目前病原体的检测主要依靠临床观察和对病人样本的精确检测,这些进程花费时间长、检测范围小,滞后于对疾病快速控制和预防的需求。从空气中直接检测病原体是空气传播疾病防控的理想手段之一。但气溶胶中存在的病原体往往水平极低,需要探测器具有极高的灵敏度。为实现对空气传播疾病的迅速防控,需要创建一个探测器系统和相关方法来检测空气中的病原体,为此,亟须开发并融和多种检测方法,以及整合一体化、自动化的检测流程和数据智能传输系统。

#### (4) 新型基因编辑技术脱靶效应与对策

新型基因编辑技术脱靶效应指使用成簇规律间隔短回文重复序列(CRISPR)系列的核酸酶进行基因编辑时产生非目的位点编辑的情况,分为向导核糖核酸(sgRNA)依赖性和sgRNA非依赖性的脱靶。目前,CRISPR系列核酸酶具有DNA双链切割、DNA单链切割、DNA靶向、核糖核酸(RNA)切割以及在此基础上衍生的单碱基编辑和先导编辑等多种功能,不仅在动物模型构建、农业育种方面体现了应用价值,在基因治疗方面也具有广阔前景,但脱靶效应仍是临床化的瓶颈,阻碍了基因编辑产业化。后续应开展现有基因技术的安全评价,发展新型高精度基因编辑技术,使相关技术更好适应多类场景。

#### (5) 微针技术

微针技术实现了无痛注射和抽血。这些细小的针头不超过一张纸的厚度和一根头发的宽度,却可以帮我们实现无痛注射和抽血。微针可以穿透皮却不会触碰神经末梢,并可以附着在注射器或贴片上,甚至可以混入乳膏中。从此,人们足不出户就可在家中完成抽血,然后可将血液样本送到实验室或当场进行分析。此外,微针技术还能节约设备和人力成本,让医疗服务不足地区的人们更易获得医疗服务。

#### (6) 全基因组合成技术

全基因组合成技术或将改变细胞工程。设计基因序列所需技术的改进使打印越来越多的遗传物质和更广泛地改变基因组成为可能。这可以让人们深入了解病毒是如何传播的,或有助于生产疫苗和其他治疗方法。在未来,它可以帮助可持续地从生物质或废气中生产化学品、燃料或建筑材料。它甚至可以让科学家设计抗病原体的植物,或者让我们编写自己的基因组。这为遗传病的治疗打开了新大门。

## 2. 大健康

### (1) 虚拟病人

虚拟病人将代替真人临床试验。如果将真人替换为虚拟的人以使临床试验更快速、更安全的目标听起来很容易，那么其背后的科学原理却绝不简单：从人体器官的高分辨率图像中获取的数据被输入到控制器官功能机制的复杂数学模型中，然后，计算机算法进行解析得到方程，从而生成一个行为与真实器官一样的虚拟器官。这种虚拟器官或身体系统可以在最初的药物和治疗评估中取代真人，使评估过程更快、更安全、更便宜。

### (2) 基于 AI 的临床诊断决策支持系统

基于 AI 的临床决策支持系统 (AI-CDSS)，利用 AI 技术来综合临床知识、患者主客观病情信息，辅助临床医护人员进行综合分析判断，增强医疗干预能力，提升医护决策和行动的精准性、个体化和效率，提高医疗质量和服务水平；通过自然语言处理、知识工程、计算机视觉、机器学习，融合生物医学相关技术，挖掘图像、影像、文本等结构多样的医疗大数据中的潜在关联与知识，构建数据与知识融合支撑下的临床诊疗推理逻辑、分类与预测模型，并将形成的系统与模型集成、内嵌到临床信息系统与诊疗流程之中，为医务人员提供可交互的决策支持能力。AI-CDSS 在诊疗全流程中的应用包括：疾病信息分析处理、疾病风险预测、疾病智能诊断支持、患者用药指导、辅助医师治疗、患者疾病预后预防干预等；目前应用最为广泛的是面向专科化的智能疾病诊断支持，如类风湿关节炎、癌症、肺病、心脏病、糖尿病视网膜病变、肝炎、阿尔茨海默病、肝病、登革热和帕金森病。在全球老龄化与医疗资源相对不足的背景下，AI-CDSS 被视为医疗服务补充、服务质量效率提升的重要手段，成为医疗产业发展的重要内容。

### (3) 脑科学的神经计算和类脑智能

脑科学的神经计算和类脑智能研究属于神经科学与数学等多学科交叉领域，是指综合运用数学、计算机科学、神经科学、生物学、物理科学、认知心理学、社会与行为科学以及工程学等众多理论方法和分析工具，对跨时空多尺度海量数据，包括遗传、神经元、脑影像、大规模认知功能和环境等，通过定量分析、计算模型和构建受脑启发的随机计算方法，深入研究神经系统的原理和动力学，破译大脑信息处理与神经编码的原理，解码大脑工作原理，同时，在上述研究基础上，通过信息技术予以参照、模拟和逆向工程，模拟大脑高级认知功能机理，发

展类脑智能算法，形成以“类脑智能引领人工智能发展”为标志的新一代人工智能通用模型与算法、类脑芯片器件和类脑智能各类工程技术应用等新型研究领域。

脑科学的神经计算和类脑智能研究包含两个方向：一方面涵盖了对大脑运算本质的神经生物学研究；另一方面，通过计算方法解码大脑智能原理，创建新的智能技术，将广泛覆盖人工智能相关的各个领域。