

2019 中国 硬科技发展白皮书

联合发布单位

中国科学院西安光学精密机械研究所
国务院发展研究中心国际技术经济研究所
中国科学技术信息研究所
西安中科创星科技孵化器有限公司
西安中科光机投资控股有限公司
北京知风云数据股份有限公司



二零一九年十月

课题指导委员会

赵 卫 中国科学院西安分院院长 陕西省科学院院长
王 飞 西咸新区管委会原副主任
索继栓 中国科学院控股有限公司董事长
马彩文 中国科学院西安光学精密机械研究所党委书记、副所长（主持工作）
谢小平 中国科学院西安光学精密机械研究所副所长
米 磊 中国科学院西安光学精密机械研究所副研究员 中科创星创始合伙人
宫晨光 国务院发展研究中心国际技术经济研究所顾问委员会主任
杨朝峰 中国科学技术信息研究所 区域创新发展研究中心主任
刘 斌 北京知风云数据股份有限公司董事长
包 宏 国务院发展研究中心国际技术经济研究所数据部主任
张志娟 中国科学技术信息研究所 区域创新发展研究中心副主任
石 晶 西安中科创星科技孵化器有限公司 品牌总监
赵瑞瑞 西安中科光机投资控股有限公司 政研室主任

报告编制组（按姓氏字母排序）

陈 爽 宫学源 侯自普 姜晨光 康 辰 李鹏飞 魏 莹 武志星
肖 尧 张嘉毅 张欢欢 张可欣 赵梦利 张 宇 周璐珊

前 言

当前，我国迎来了世界新一轮科技革命与中国转变发展方式的历史性交汇期，既面临着千载难逢的历史机遇，又面临着差距拉大的严峻挑战。科技作为人类社会发展的源动力，塑造和影响着全球政治经济格局，持续主导世界变革，成为我国应对挑战和把握百年发展机遇的必然选择。以史为鉴，真正能够推动人类社会进步、改变世界进程、引领人类生活发生根本变革的科技，都是那些需要长期研发投入、持续积累的高精尖原创技术，对产业的发展具有较强的引领和支撑作用的技术。2010年中科院西安光机所米磊博士将这类技术定义为“硬科技”，希望新时期国家和社会能够重视硬科技、发展硬科技、掌握硬科技。2018年12月6日，李克强总理在国家科技领导小组第一次会议上强调“突出‘硬科技’研究，努力取得更多原创成果”。2019年10月16日，科技部火炬中心组织召开硬科技发展工作座谈会，研究推进硬科技发展工作。

放眼全球，各国纷纷将目光投向科技，硬科技发展热潮正在全球蓬勃兴起。2019年全球在人工智能、生物技术、光电芯片等十大技术领域取得突破性进展，全球首次合成纯碳C18环，为当前计算机芯片突破硅基半导体器件物理极限提供全新思路；科学家3D打印出会“呼吸”的人造器官，未来将造福器官移植患者；世界首款异构融合类脑芯片问世，通用型人工智能发展迈出重要一步。2019年全球主要城市七大硬科技创新综合指数TOP15中，中国城市占8个席位，占据半壁江山，其中东京位居第一，北京紧随其后，纽约名列前三。我国科技创新活动活跃度领先全球，呈现多个行业并发、多种类型并举、多数企业家重视的良好局面。

聚焦中国，硬科技成为衡量和支撑区域产业竞争力的最关键要素，对于城市产业创新综合实力的作用日益显现，上海全力打造全球顶级生物医药产业集聚区、深圳打造智能制造产业创新中心、西安打造全球硬科技之都。在2019年国内城市产业创新综合排名中，北京以绝对优势领跑全国，上海和深圳处在第二梯队，作为“硬科技”概念的发源地，2019年西安表现亮眼，产业创新综合能力位居全国第四，引领第三梯队。

展望未来，硬科技作为人类社会发展的核心动力，将驱动人类进入一个全新的发展阶段，人类生产组织方式、社会组织方式、生活方式将发生重大变化。硬科技事关人类社会整体进步和人类共同福祉的提升，需要各国以宏大的全球视野和人类共同的担当，携手构建人类命运共同体。

目 录

第一部分 综述篇	1
一、世界深度变革，科技主导未来	2
1.1 新一轮科技革命正在重构全球创新版图	2
1.2 我国处在转变发展方式的关键时期	3
1.3 我国要依靠创新驱动实现伟大复兴	5
二、硬科技应运而生	6
2.1 硬科技的概念及内涵	6
2.2 硬科技的发展和演变	11
2.3 硬科技助力国家创新驱动战略发展	15
三、中国发展硬科技正当时	17
3.1 科学技术长期具备国家战略定位	18
3.2 我国经济长期高速增长，面临高质量发展挑战	20
3.3 我国科研水平整体提升，发展短板较为突出	22
3.4 我国金融助推科技成效显著，二者融合不够	25
3.5 我国科技人才体量雄厚，高精尖人才依然短缺	28
3.6 硬科技发展需要搭建成果转化体系	30
四、中国硬科技发展的路径探索	31
4.1 打破传统科技体制机制限制	31
4.2 打造硬科技核心领域“产业公地”	34
4.3 构建硬科技金融深度融合体系	36
4.4 搭建硬科技产业化人才体系	37
4.5 营造硬科技发展的创新文化氛围	39
第二部分 科技篇	41
一、2019 硬科技十大进展	42
1.1 化学家首次合成纯碳 C18 环	42
1.2 科学家首次实现高维度量子隐形传态	42
1.3 世界首款异构融合类脑芯片问世	43
1.4 谷歌实现“量子霸权”	43
1.5 微软公布全球首个自动 DNA 数据存储和检索系统	44

1. 6 仿生群体机器人可实现集体迁徙	45
1. 7 科学家对微纳机器人实时成像并控制其运动	45
1. 8 科学家 3D 打印出会“呼吸”的人造器官	46
1. 9 新型癌症疫苗增效 CAR-T 疗法	46
1. 10 全球首座浮动核电站正式启航	47
二、人工智能	47
2. 1 全球人工智能战略竞争日趋激烈	48
2. 2 军事人工智能进步尤为显著	49
2. 3 人工智能带来科学研究范式变革	51
2. 4 人工智能安全风险问题突出	52
三、航空领域	53
3. 1 数字化成为航空领域的重要发展方向	54
3. 2 无人机技术发展迅猛, 将颠覆未来空战模式	55
3. 3 高超声速武器技术成为航空关键技术	56
3. 4 战机技术不断发展和升级	58
四、航天领域	60
4. 1 世界主要国家增强军事航天能力	60
4. 2 可重复使用成为颠覆性航天技术	63
4. 3 低轨通信卫星星座成为重要方向	65
五、生物技术	67
5. 1 世界主要经济体强化生物技术与产业战略布局	67
5. 2 基因编辑技术取得积极进展, 得到全球关注	68
5. 3 重大疾病研究不断突破, 创新疗法加速走向临床应用	70
5. 4 脑机接口技术热度猛增, 前沿突破不断涌现	70
5. 5 生物存储与计算技术取得积极进展	71
六、信息技术	73
6. 1 5G 部署竞争白热化, 各国动作频频	73
6. 2 各国积极探索量子技术, 抢占发展先机	74
6. 3 超级计算机在科技研发中应用进一步深化	75
6. 4 网络安全技术逐渐向智能化攻防转变	76
七、新能源	78
7. 1 全球能源转型大势所趋, 新能源备受关注	78
7. 2 可再生能源市场规模持续扩大	79
7. 3 动力电池回收和梯次利用引起发达国家重视	81
7. 4 小堆是未来核电竞争的主要方向	82

八、新材料	83
8. 1 新材料在国家科技竞争中的战略性地位进一步凸显	83
8. 2 先进信息材料不断涌现，高性能和低能耗成为发展潮流	84
8. 3 新能源材料技术发展迅猛，推动相关产业变革	86
8. 4 新材料研发正在加速，机器学习带来新范式革命	87
九、智能制造	88
9. 1 各国加强政策指引，扩展智能制造布局	88
9. 2 机器人产业稳步增长，技术创新持续推进	89
9. 3 3D 打印加速发展，产业应用不断深化	90
9. 4 新一代信息技术赋能制造业，加速行业转型升级	92
十、光电芯片	93
10. 1 微电子芯片制造工艺提升趋近极限	93
10. 2 光电芯片技术研发进展顺利，应用前景明晰	94
10. 3 光通信芯片和光子器件研发助力 5G 大规模商用	95
10. 4 半导体设备“从电到光”转换	96
第三部分 产业篇	99
一、国内主要城市产业创新综合能力评价	100
1. 1 城市产业创新综合能力评价指标体系及评价方法	100
1. 2 国内主要城市产业创新综合能力总体排名	102
1. 3 主要城市产业创新综合能力表现分析	106
二、代表性城市之优势硬科技产业	139
2. 1 上海全力打造全球顶级生物医药产业集聚区	139
2. 2 深圳打造智能制造产业创新中心	140
2. 3 西安打造全球硬科技之都	141
2. 4 杭州依托信息产业打造数字经济第一城	144
2. 5 武汉打造万亿级光电子产业集群	145
2. 6 合肥发展人工智能产业打造具有国际影响力的创新之都	146
2. 7 宁波打造万亿级新材料产业之城	149
2. 8 贵阳以大数据为引领打造国家创新型中心城市	150
第四部分 城市篇	153
一、硬科技与全球主要城市硬科技创新指数	154
二、全球主要城市硬科技创新整体表现	155
2. 1 全球 45 个城市的硬科技创新表现	155

2.2 快速追赶者：纽约、上海	157
2.3 科技创新协同发展：广州、深圳	157
2.4 发挥外资力量促进科技创新：西安、芝加哥	159
三、硬科技重点领域技术创新指数	160
3.1 信息技术领域硬科技创新指数	160
3.2 芯片及硬件领域硬科技创新指数	162
3.3 能源技术领域硬科技创新指数	164
3.4 生物技术领域硬科技创新指数	166
3.5 航空航天领域硬科技创新指数	168
3.6 先进制造领域硬科技创新指数	170
3.7 材料技术领域硬科技创新指数	172
四、中、美主要城市硬科技创新的比较研究	174
4.1 创新主体分析：美国主要城市多以高研发企业为主导力量，我国则较为多元	175
4.2 领军企业分析：纽约、休斯顿拥有多家领军企业	176
4.3 专利转化分析：中国城市新增专利领先，需关注专利合作条约转化率	177
4.4 创新网络建设：美国城市创新网络建设与产业集群协同发展	178
五、全球硬科技创新发展启示与建议	179
5.1 硬科技的创新发展，需要提升原始创新能力	179
5.2 硬科技的创新发展，需要搭建完善的创新载体	179
5.3 硬科技的创新发展，需要搭建科技创新平台体系	180
5.4 硬科技的创新发展，需要完善产业人才供给体系	181
5.5 硬科技的创新发展，需要着力打造领军企业	181
附录：全球主要城市硬科技创新指数评估体系说明	182

第一部分 综述篇

一、世界深度变革，科技主导未来

21世纪以来，全球科技创新进入空前密集活跃的时期，新一轮科技革命和产业革命正在重构全球创新版图、重塑全球经济结构。现在我们迎来了世界新一轮科技革命和产业变革同我国转变发展方式的历史性交汇期，面临着千载难逢的历史机遇，又面临着差距拉大的严峻挑战。科技作为人类社会发展的源动力，成为我国把握历史性机遇的重要抓手，习近平总书记指出“只有把核心技术掌握在自己手中，才能真正掌握竞争和发展的主动权，才能从根本上保障国家经济安全、国防安全和其他安全。科学技术从来没有像今天这样深刻影响着国家前途命运，从来没有像今天这样深刻影响着人们生活福祉。”

1.1 新一轮科技革命正在重构全球创新版图

1848年，马克思、恩格斯在《共产党宣言》中指出：“资产阶级在它的不到一百年的阶级统治中所创造的生产力，比过去一切世代创造的全部生产力还要多，还要大。自然力的征服、机器的采用、化学在工业和农业中的应用、轮船的行驶、铁路的通行、电报的使用、整个大陆的开垦、河川的通航，仿佛用法术从地下呼唤出来的大量人口——过去哪一个世纪能够料想到有这样的生产力潜伏在社会劳动里呢？”马克思、恩格斯在共产党宣言中指出的强大的生产力，正是以蒸汽机为代表的第一次科技革命驱动产业变革的结果。科技作为生产力的源动力登上人类社会生产的主舞台，驱动人类社会快速发展和进步。

第一次科技革命驱动人类社会进入“机械时代”：1765年，哈格里弗斯发明“珍妮纺织机”，该纺织机具备动力、传动、工具三个部分的装置，具备现代机器雏形，使纺织效益提高了40倍以上，由此拉开了第一次科技革命的序幕。人类社会由手工工具时代向机器时代迈进了一大步。1785年，瓦特改良蒸汽机，为机器提供了动力系统，人类社会进入“蒸汽时代”，机器快速普及和发展，并从棉纺织业开始，逐渐拓展到采矿、冶铁、交通运输等多个行业。1807年，美国人富尔顿发明的以蒸汽为动力的汽船试航成功。1814年，英国人史蒂芬孙发明“蒸汽机车”，并于1825年试车成功，人类交通运输进入以蒸汽机为动力的新时代。这次科技革命不仅推动人类产业的变革，也促进了人类社会变革和全球格局的变化。随着生产力的进步，工厂作为人类生产最主要的组织形式开始出现，资本主义生产方式逐渐取代落后的自耕农生产方式，资本主义制度开始萌芽。这个时期，英国步履坚实的进入了第一次科技革命，成为当时世界上最强大的“日不落帝国”，号称“世界工厂”，称霸世界达半个世纪之久。

第二次科技革命驱动人类社会进入“电气时代”：19世纪末和20世纪初，以电能应用和内燃机的出现为标志的第二次科技革命爆发。1866年德国人西门子制成了发电机，到19世纪70年代实际可用的发电机问世，电力开始用于机器，成为补充和取代以蒸汽机为动力的新能源。随着电机、电动机相继发明和远距离输电技术的出现，电力工业迅速发展起来，

电力在生产和生活中得到广泛利用，电灯、自动电报记录机、电话、电影放映机进入人类生活。同时，自英国人斯特里特提出从燃料的燃烧中获取动力概念以来，经过将近 100 年的理论研究和实践探索，19 世纪七八十年代，以煤气和汽油为燃料的内燃机相继诞生，内燃机的发明解决了交通工具的发动机问题。80 年代德国人卡尔·弗里特立奇·本茨等人成功地制造出由内燃机驱动的汽车，内燃汽车、远洋轮船、飞机等也得到了迅速发展，带动了石油开采业的发展和石油化工工业的产生，重工业开始崛起。这次科技革命爆发在德国，陆续在美国和日本得到极大的推广，德国、美国、日本相继崛起。

第三次科技革命驱动人类社会进入“信息时代”：20 世纪四五十年代，以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程发明和应用为主要标志第三次科技革命爆发，这次科技革命涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域，推动人类社会又一次飞跃式发展。尤其是电子计算迅速发展和广泛应用，推动人类社会进入“信息时代”。这次科技革命促进第三产业崛起，以知识经济为代表的新型经济成为各国综合国力竞争成败的关键，促成人类生活方式和思维方式的转变。这次科技革命的主导国是美国，因美国长期在科技创新领域领跑全球，助推其稳居世界第一强国地位。

第四次科技革命正在孕育，即将来临。进入 21 世纪以来，全球科技创新进入空前密集活跃的时期，以人工智能、量子信息、移动通信、物联网、区块链为代表的新一代信息技术加速突破应用，以合成生物学、基因编辑、脑科学、再生医学等为代表的生命科学领域孕育新的变革，融合机器人、数字化、新材料的先进制造技术正在加速推进制造业向智能化、服务化、绿色化转型，以清洁高效可持续为目标的能源技术加速发展将引发全球能源变革，空间和海洋技术正在拓展人类生存发展新疆域。纵观当前全球科技发展情况，从技术成熟度和系统性来看，以人工智能、5G 通信、光电芯片、大数据等为代表的智能化技术趋向成熟，这些技术最有可能率先推动人类社会变革，驱动人类社会进入“智能时代”。智慧家居、智慧工业、智慧交通、智慧医疗、智慧农业、智慧金融、智慧城市将深入人们的生活和工作。未来机器人将会代替很大一批人力，人类大脑甚至可能与机器结合实现超脑，人工智能将进一步解放人类的双手甚至大脑。可以预见，随着智能化社会的到来，大量剩余劳动力解放，人类生产组织方式和社会组织方式会迎来新的变革，各国社会福利将高度发达，人们工作和生活方式发生重大变化，更多人将转向以智力劳动、文化创作、社会治理等为代表的具有创造性和人文精神的工作领域。

1.2 我国处在转变发展方式的关键时期

哈佛商学院教授迈克尔·波特认为，国家经济的发展分为四个阶段，即生产要素导向阶段、投资导向阶段、创新导向阶段和富裕导向阶段。新中国成立以来，我国经济相继经历生产要素导向、投资导向两个发展阶段，但随着我国经济发展由高速增长向高质量发展转变，投资导向发展模式已经适应不了我国经济发展的新需求，需要依靠技术创新支撑我国经济

可持续进步，推动我国步入创新导向阶段，实现经济从“富起来”走向“强起来”。

1. 生产要素和投资驱动阶段，我国经济增长后劲不足

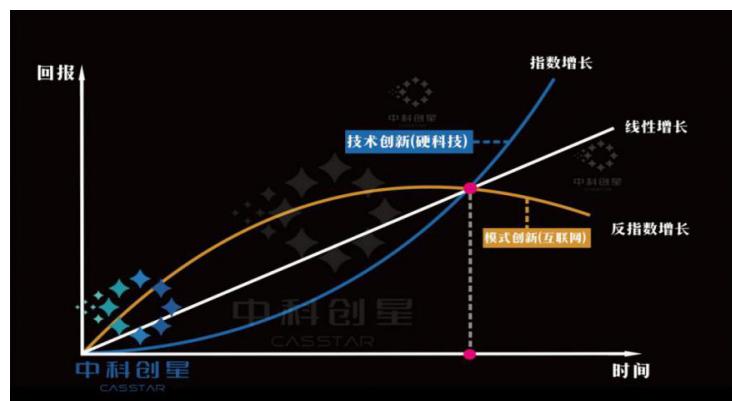
改革开放以来，我国经济取得快速发展。依靠人口红利、投资等要素的驱动，在经济较为落后的阶段，固定资产的投资、劳动力人口的增加能够在短时间内促进我国经济高速增长。但是随着我国经济的快速发展，经济达到一定体量时，人口红利、投资等要素投入对于我国经济增长的作用越来越低，我国产业升级乏力、增长率逐年降低，面临巨大的发展压力。这一时期，我国经济增长遵循柯布-道格拉斯生产函数模型，依靠要素驱动呈“边际收益递减”态势。以投资驱动为例，2010年至2018年，我国固定资产投资总额持续增加，从2010年的24万亿增长到2018年63.56万亿元，但固定资产投资对于GDP增长的贡献比例从2010年7.1%下降至2018年的2.2%，呈边际收益递减态势。同时，固定资产投入的增加，也没有驱动我国经济增长率的相应提升，从自2010年以来我国GDP增长率逐年递减，从2010年的10.64%降至2018年的6.6%。

2. 技术创新驱动能够促进我国经济可持续增长

20世纪五十年代，美国经济学家罗伯特·索洛提出经济增长“索洛模型”，论证了技术进步对于经济的可持续增长作用。索洛在经济增长中引入了“技术进步乘数”，认为技术进步是推动经济增长的源泉，并且经济产出与技术进步的平方成正比，技术进步能够推动经济增长呈指数性增长。该理论为我国经济发展提供了重要的指引，未来我国经济的可持续增长需要依靠技术创新。

索洛模型同样也适用于解释技术创新与模式创新对于经济增长的作用（见图1）。技术创新在起步阶段的前5到10年，投入和回报率成反比，甚至还要经历亏损，十分耕耘一分收获。在技术的研发和成长期，科技回报的增长是低于线性增长的，然而一旦过了拐点就是指数型增长，并能够迅速成为支撑经济的支柱。而依靠投资驱动的模式创新则相反，其增长会出现边际递减现象，对经济支撑作用越来越弱。

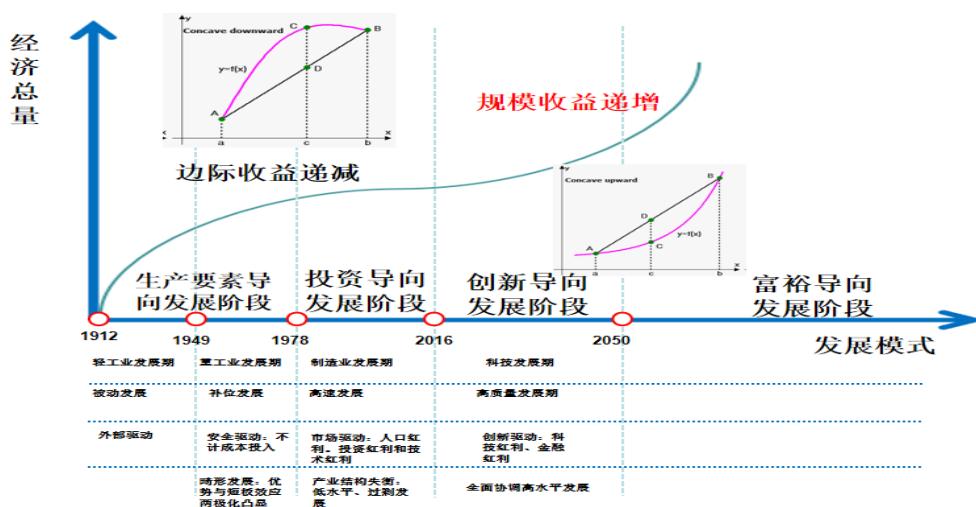
图1 技术创新与模式创新增长模型



3. 我国需要向创新导向阶段迈进

当前阶段，我国原有的增长机制和发展模式矛盾突显，原有发展优势逐渐消失，需要向新的发展阶段迈进。根据波特国家经济发展四阶段理论（见图2），可以判断我国经济发展下一阶段必然是、也必须进入创新导向阶段，否则将陷入中等收入陷阱。科技创新将作为经济增长的主力军，驱动我国经济快速发展，推动我国经济结构调整和产业升级，顺利实现高速增长向高质量增长的转变。

图2 波特发展理论模型下的我国经济发展路径



1.3 我国要依靠创新驱动实现伟大复兴

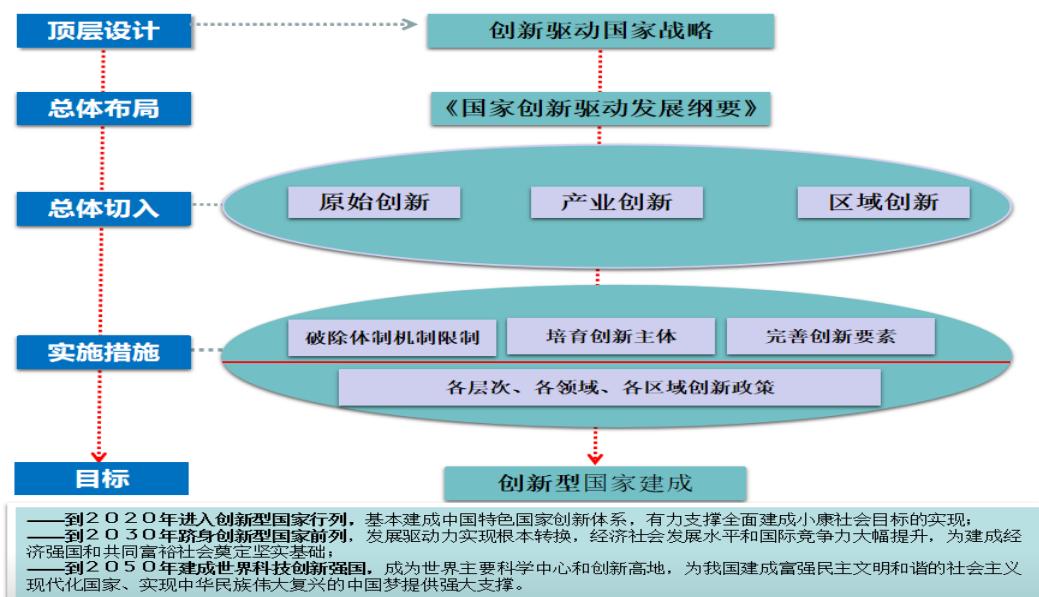
世界新一轮科技革命和产业变革同我国转变发展方式的历史性交汇期，面临着千载难逢的历史机遇，也面临着差距拉大的严峻挑战。党的十八大明确提出：“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置”，要坚持走中国特色自主创新道路，实施创新驱动发展战略。习近平总书记强调：“中国要强盛，要复兴，就一定要大力发展科学技术，努力成为世界主要科学中心和创新高地，我们比历史上任何时期都更接近中华民族伟大复兴的目标，我们比历史上任何时期都更需要建设世界科技强国”。

党的十九大提出了新时代坚持和发展中国特色社会主义的战略任务，开启了实现中华民族伟大复兴的新征程，提出创新型国家建设的决策，制定了“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的指导方针。核心就是把增强自主创新能力作为发展科学技术的战略基点，推动科学技术的跨越式发展；就是把增强自主创新能力作为调整产业结构、转变增长方式的中心环节，建设资源节约型、环境友好型社会，推动国民经济又好又快发展；就是把增强自主创新能力作为国家战略，贯穿到现代化建设的各个方面，激发全民族创新精神，培养高水平创新人才，形成有利于自主创新的体制机制，大力推进理论创新、制度创新、

科技创新，创新成为我国新时期国家发展的核心。

创新驱动时代重要任务之一是要通过理论创新和制度创新，释放我国9000万科技人力资源的创新红利，支撑科技创新，实现高质量发展。党的十八大以来，我国在创新驱动发展方面实施了全面、系统的战略布局。从创新驱动发展战略顶层设计，到总体战略布局，再到总体切入和实施举措，旨在全面破除限制创新驱动发展的体制机制、培育创新主体、完善创新要素，并通过持续的政策出台，保障国家战略实施、落地，最终实现创新型国家建设目标，培育我国新时期经济发展的新动力。

图3 我国围绕创新驱动的总体布局



二、硬科技应运而生

纵观科技发展史，真正能够推动人类社会进步、改变世界进程、引领人类生活发生根本变革的科技，都是那些需要长期研发投入、持续积累的高精尖原创技术，是对产业的发展具有较强引领和支撑作用的技术。2010年，西安光机所米磊博士将这种科技概括为“硬科技”，希望国家和社会能够重视硬科技、发展硬科技、掌握硬科技，使国家真正掌握竞争和发展的主动权，从根本上保障国家经济安全，迎接全球三大转折点带来的历史性机遇和挑战，实现中华民族百年复兴梦。

2.1 硬科技的概念及内涵

作为能够真正推动人类社会进步、改变世界进程、引领人类生活发生变革的硬科技，是对科技概念分类的一次完善，具有区别于其他科技的概念和内涵。

1. 硬科技概念的诞生

硬科技的概念最早是由中国科学院西安光机所米磊博士于2010年率先在全国范围内提出的。这个时期，米磊博士正在西安光机所从事科技成果转化工作，在长期从事科技成果产业化实践中，米磊博士目睹和观察了2008年全球金融危机以及中国经济发展面临人口红利消失等问题，意识到中国经济增长发展面临巨大压力。米磊博士认为，我国科技力量还未充分支撑中国经济的发展，需要解放9000万科技人力资源的脑力生产力，释放巨大的创新红利，推动我国经济从要素驱动、投资驱动转向创新驱动，以支撑我国新时期经济发展，实现由跟跑并跑向领跑迈进。

在此背景下，米磊提出“硬科技”概念，他认为需要营造一种新的理念、新的思想让大众熟知，来引导社会大众全面转向创新。并期望“硬科技”这个概念能够唤醒广大的社会群体对科技的关心，让大家认识到只有科技真正转化为生产力，才能够推动整个人类的进步和变革。随后2012年，我国提出了创新驱动发展战略，硬科技概念的提出，顺应了我国经济和科技发展规律，逐渐成为我国创新驱动发展的切入点。

2. 硬科技的定义

硬科技（Key & Core Technology）一般是指基于科学发现和技术发明而产生的技术产品、设备和系统，其底层是科学研究支撑的，具有较高技术门槛和技术壁垒，难以被复制和模仿，有明确的应用产品和产业基础，对产业的发展具有较强的引领和支撑作用。当代，硬科技是指在人工智能、航空航天、生物技术、光电芯片、信息技术、新材料、新能源、智能制造等领域中（见图4），以自主研发为主，需要长期研发投入、持续积累形成的高精尖原创技术。硬科技体现了人们在推进经济发展中对核心科技创新的追求。

图4 当代硬科技的涵盖范围



硬科技具备以下特有属性：

(1) 引领性。具有带动力和衍生力的核心和共性使能技术，处于基础研究和产品研发之间，能够推动创新链下游产品开发、产业化等环节实现，可以广泛应用在各种产业上，支撑现有科技重大进步，从而推动一个国家的产业技术进步、支撑和引领经济社会发展，引领人类生活发生根本性变革。如微电子、纳米、光电等技术就属于使能技术。

(2) 基石性。可以在多个产业广泛应用，在产业技术发展中起着基础支撑和关键作用的技术，是习总书记讲的关键领域核心技术和关键性瓶颈技术。如通信技术中的芯片、航空技术的发动机。

(3) 创新性。经过长期研发、持续积累形成的高精尖原创技术，也可指某细微领域形成的突破性，颠覆性技术。

(4) 经济性。从科技发展的原动力以及科技应用的现实需求看，“硬科技”不仅体现为技术本身的过硬，还表现为能够对经济发展提供实质性的支撑，进而促进某些产业或领域的变革和发展，是推动社会进步的动力和源泉。

(5) 时代性。科技创新活动所产生的颠覆性成果，往往具有门槛高、不易复制的特点，一段时期内会代表着一个领域或行业的发展水平，能带动、引领一个领域和行业的发展。这类科技一般具有时代性，要用发展的眼光来看，在一个时期的“硬科技”到了另一个发展时期，可能就成为了落后的，就不称为“硬科技”了。

从硬科技的特点可以看出，硬科技是基于基础科学而研发出的核心技术，更具备应用性和真实性，不像基于互联网的商业模式创新，而是更多的基于我们的物理世界，服务实体经济，促进实体经济升级和转型，是推动产业发展的源动力。硬科技强调把事关国家发展的关键领域核心技术、知识产权牢牢地掌握在自己手里，本质是产业变革性的经济社会影响。硬科技将科技创新成果与实体经济紧密联系起来，加快形成先进生产力，构建现代化经济体系，打造国家竞争新优势。

3. 硬科技的内涵

当代“硬科技”指关键领域、核心技术，在当前国际经济贸易形势下可以直接定义为“卡脖子”技术。在国家经济脱虚向实的过程中，需要强调科技创新的力量，一定要有自己的核心技术，经济才是可持续的，发展才是健康的。推动“硬科技”价值提升，要强调科技创新驱动的重要性，发展“硬科技”不是一件短期的、急功近利的事情。

对于硬科技概念内涵的深入理解，可以从三个方面来看：

第一，从时间的维度

首先引入科技金字塔的概念（见图5）。金字塔最上面、最尖端的是科幻，其次是黑科技、硬科技、高科技、最后是科技。硬科技属于承上启下的中间位置，起到中流砥柱的作用。

从时间维度理解，科幻是100年之后能够实现的幻想；黑科技是未来20-50年才能实现的比较接近于科幻的技术；硬科技是我们5-10年以内就要实现的尖端科技；高科技是我们当前已经实现的科技，它们已经普及应用在我们的生活中；科技则属于过去一两百年，人类都已经实现的技术。因此，硬科技在时间维度上通常需要较长时间的技术积累，技术高度极大领先于现有技术标准。技术具有独有性，难以被复制和模仿，只有通过不断技术投入与资本投入才可以实现。

图5 科技金字塔



第二，从空间的维度

一项新的硬科技，起初全球只被极少数人或只有几家机构掌握，但随着空间的扩散，这项技术可能慢慢从发源地扩散到全球。随着这项硬科技的逐步扩散，它就会逐步转变成高科技，直至最后全球已经通用，就转变为科技。就像蒸汽机，瓦特当时做出来就是硬科技，当它慢慢扩散到全球，就成了高科技，到当今已经成为科技。

第三，从行业的维度

随着时代的发展，硬科技所对应的行业和领域可能是在变化的，这个时代对应的硬科技八大领域，到未来也许就变成其它几大领域。当代硬科技八大领域，涵盖人工智能、航空航天、光电芯片、生物技术、新材料、新能源、智能制造、信息技术。而每个行业相对于其它行业、单个行业之中都有其对应的硬科技。从航空航天领域来看，飞机属于科技范畴，而四旋翼无人机则属于高科技范畴；航天技术中的火箭发射与卫星发射技术属于硬科技范畴；火箭回收发射技术则属于黑科技范畴；登录火星，利用自复制机器人改造外星球属于科幻范畴。

4. 硬科技的“硬”本质

米磊博士认为，硬科技更多强调的是一种理念，一种隐喻，一种思维。原西咸新区党工委委员、管委会副主任王飞将硬科技这种特性概括为“硬”本质，并提出“硬”本质是“指技术硬、精神硬、志气硬和实力硬”。米磊博士在此基础上，对“硬”本质内涵进行丰富，最终在两人共同的推动下，“硬”本质内涵形成。习总书记讲到“我们需要自主创新的骨

气和志气，加快增强自主创新能力实力”，这骨气、志气、实力的相关提法与硬科技的“硬”实质惊人一致。

技术硬：技术壁垒极高，尊重自主创新；

精神硬：科研工匠精神，专注坚守笃行；

志气硬：世界单项冠军，实现强国梦想；

实力硬：承载国家使命，世界科技强国。

（1）技术硬：技术壁垒极高，尊重自主创新

“硬”代表着具有极高的技术壁垒。2015年，习总书记来西安光机所视察的时候说：“核心技术靠化缘是要不来的，必须靠自力更生。”2016年，习总书记在科技三会再次强调：“我国发展还面临重大科技瓶颈，关键领域核心技术受制于人的格局没有从根本上改变，科技基础仍然薄弱，科技创新能力特别是原创能力还有很大差距。”硬科技就要技术过硬，就是总书记讲的核心技术、关键领域核心技术，也是支撑小到公司，大到国家乃至整个社会发展的关键性瓶颈技术。而过去30年我国的发展历史已经证明，硬科技是要不来、买不来、讨不来的，只有尊重自主创新、注重原创，敢于走前人没走过的路、自力更生，努力实现关键核心技术自主可控，硬科技才会被牢牢掌握在自己手中。

（2）精神硬：科研工匠精神，专注坚守笃行

“硬”代表一种死磕的科学工匠精神，要有啃硬骨头的精神，与工业领域的“工匠精神”类似，是一种追求世界科技强国的精神。和爱迪生研发电灯泡，一直实验了1000多种材料才最终成功，这就是一种死磕的精神，一种硬科技的精神。只有“板凳要坐十年冷”的精益求精和不达目的誓不罢休的科学工匠精神才能研发出硬科技。挖掘和培养具备科学工匠精神的人才，是我们真正发展硬科技的源泉。创新之道，唯在得人。而当今，我国这样的人才非常多，有着大量的埋头苦干，板凳坐了十年冷的科学家，也有很多具备工匠精神的科学家。未来中国的繁荣富强和崛起，更需要尊重和发扬这种硬科技精神，创新引才用才留才机制，形成天下英才聚神州，万类霜天竞自由的创新局面。

（3）志气硬：世界单项冠军，实现强国梦想

“硬”体现了国家意志，代表着一种敢于去挑战世界科技高峰的志气和立志实现科技强国的梦想。在我国发展新的历史起点上，科技创新已经摆在更加重要位置，建设世界科技强国的号角已经吹响。实现“两个一百年”奋斗目标，实现中华民族伟大复兴的中国梦，需要有标志性的科技成就，必经之路就是要在关键领域、卡脖子的地方下大功夫，掌握全球科技竞争先机，实现中国硬科技之崛起。这个时代，要求每一位科技创新者拥有追求真理、勇攀高峰的科学精神，不是仅追求产业的规模效益和商业价值，更要深耕技术，要有树立世界单项冠军的目标和毅力，为实现中华民族伟大复兴的中国梦进行谋划与拼搏，真正让

自己所在的每一个领域都能成为世界领先，国际先进。

(4) 实力硬：承载国家使命，世界科技强国

“硬”代表着国家水平，是国家科技实力的体现，是能够直接参与全球科技竞争，是推动中国经济高质量发展的根本动力。以人工智能、量子信息、物联网为代表的信息技术加速突破应用，深刻影响着人类工作和生活；以基因编辑、脑科学、合成生物为代表的生
命科学领域，正孕育着新的变革；融合机器人、数字化、新材料的先进制造技术，推进制造业向智能化、绿色化转变；空间和海洋技术，正在拓展着人类生存发展的新疆域。硬科技正在深刻地推动着中国经济高质量发展，只有掌握了这些硬科技，才能代表国家实力参与全球科技竞争。

2.2 硬科技的发展和演变

硬科技作为中国原创词汇被提出之后，经历了概念萌芽和丰富、推广与快速成长，逐渐由地方原创词汇上升为国家话语体系，成为我国创新驱动发展的重要支撑力量。

1. 硬科技概念萌芽（2010-2016年）

2010年米磊博士提出硬科技理念，作为中国自然科学最高学术机构的科研工作者，他熟知中国科学院每年有大量的科研成果，从“上天入地下海”到阿尔茨海默病治疗新药，不少成果都达到了世界级水平。但是从量子通信设备到人工智能芯片，很多重大成果也需要具体的工程化应用。当初看到国内技术投资和产业化的市场空白，迫切需要有懂技术、有耐心的投资人去更好的衔接科学技术和商业应用，愿意尊重硬科技企业的发展周期坚持陪伴其成长，并对这种原创技术项目进行长周期培育，这启发他萌生了硬科技的想法，推动他持续追求和探索硬科技，期望引导社会公众聚焦硬科技成果转化。

最初，米磊博士提出“硬科技”理念的时候，“硬科技”是指以人工智能、基因技术、航空航天、脑科学、光子芯片、新材料等为代表的高精尖科技，区别于由互联网模式创新构成的虚拟世界，属于由科技创新构成的物理世界，是需要长期研发投入、持续积累才能形成的原创技术，是可以对人类经济社会产生深远而广泛影响的革命性技术，是推动世界进步的动力和源泉。

2016年一次偶然的机会，原西咸新区党工委委员、管委会副主任王飞遇到了“硬科技”概念提出者米磊博士，对“硬科技”理念十分认可，并与米磊博士在不同刊物发表了《“硬科技”创业的黄金时代》《夯实“硬科技”根基，引领西部追赶超越》《硬科技创新推动经济高质量发展》《硬科技挣的是慢钱，但走得更长远》《抓住硬科技机遇，中国就能重返世界之巅》《陕西经济高质量发展需注入硬科技力量》等多篇理论研究文章。“硬科技”从最初不成熟的想法萌生，到定义、内涵、本质逐渐清晰，逐步发展为内容丰富的理论体系。

2016年，李克强总理在视察中科院“十二五”科技成果展中科院西光所中科创星展台时，米磊博士向总理解释了硬科技的概念，总理听完表示，“硬科技就是比高科技还要高的技术，这个说法很有趣，我记住了。”

2. 硬科技丰富和发展（2017-2018年）

硬科技概念经过6年萌芽和孕育，于2017年到2018年得到广泛推广，硬科技内涵和实质不断丰富和深化，影响不断扩大。西安连续举办了两届全球硬科技创新大会，“硬科技”理念和研究突破地域界限花开全国。“硬科技”之所以流行南北，就在于它能够打破具体科技概念本身的边界，以新的内涵链接起政府、企业、资本、科研机构、中介机构等种种力量，引导和推动全社会注重科技成果转化，聚焦创新驱动发展。

（1）硬科技成为西安追赶超越新名片

近年来，西安坚决贯彻落实国家创新驱动发展战略，围绕打造全球硬科技之都、“一带一路”创新创业之都，高举发展“硬科技”旗帜，持续加大对科技事业的投入力度，加快推进创新创业，出台了《西安市发展硬科技产业“十条措施”》、“创业西安”行动计划（2017-2021）等重量级政策，举办了两届全球硬科技创新大会，发布了硬科技西安宣言，形成了硬科技产业白皮书等成果，以只争朝夕的快干，踏石留痕的实干，披荆斩棘，强化企业创新主体、深化科技体制改革、优化创新创业氛围，“西安科技”的内涵得到极大丰富，社会关注度和影响力日趋深远。

2017年11月，全球首届硬科技创新大会，基于西安光机所“硬科技”概念，由中国科学院参与指导，西安市人民政府主办，西光所参与策划并承办的2017年全球首届硬科技创新大会隆重召开。会议云集诺贝尔奖获得者、国内外相关领域院士专家、科技企业领袖、知名投资人等800余名嘉宾参会。

2018年11月，第二届全球硬科技创新大会，吸引诺贝尔奖得主、院士、企业、金融大咖等上百位重量级嘉宾齐聚西安共话硬科技，影响更大。同时，硬科技产业博览会首次举办，集中展示硬科技领域前沿新技术、新产品。

2018年11月7日，国际顶级学术期刊《Nature》第一次聚焦西安的硬科技，关注2018全球硬科技创新暨“一带一路”创新合作大会，以“硬科技”提出者米磊为引，展现硬科技发展的西安决心和西安速度。

（2）硬科技辐射各地，引发全国关注和热度

随着硬科技的推广和发展，硬科技在全国各地都被提及，同时在资本市场引发了极大热度。“硬科技”概念由西安首创，快速推向全国，从中关村到杭州、深圳，硬科技已流行南北。从地方政府到国家层面，从资本界到学术界，各地鼓励发展硬科技，吸引了社会

和媒体的极大关注。

① 硬科技流行南北

北京：2017年北京发布《加快科技创新发展科技服务业的指导意见》。提出发展专业化创业孵化服务，打造专业化双创园区，引导创业孵化机构为“硬科技”创新提供支撑，推动创业孵化服务与实体经济紧密结合。强化面向“硬科技”的创业孵化服务，支持创业孵化机构围绕高精尖产业领域，聚焦前沿技术创新，建立完善“硬科技”创业项目发现、筛选、评价、培育和推进机制，促进项目孵化以及成果转化落地。2018年6月24日，300亿北京科创母基金成立，关注原始创新、投资硬科技，促进关键核心技术突破。

杭州：2018年，浙江大学校友创业大赛杭州赛区设立硬科技分赛场。首届“2050大会”上，云栖2050+硬科技，表达出新一代青年科学家在继承科学精神、追求卓越科研成果的同时，愿意并勇于承担社会责任、历史使命的决心和情怀。

深圳：2018年6月27日下午，中国科学院应用成果展暨中科院硬科技STS双创项目路演活动，在深圳举行。面向国民经济主战场，中国科学院50多项涉及民生领域的科技成果集中亮相，展示了我国在智能制造、医疗健康等领域取得的新进展。

② 硬科技获得资本市场关注

创新工场董事长兼首席执行官李开复：中国将在硬科技领域领跑全球，其中将以人工智能为主，这是创新工场对未来趋势的判断。

IDG资本全球董事长熊晓鸽：未来要盯住硬科技领域，包括5G网络技术、人工智能、智能制造、自动驾驶技术、基因产业。

真格基金创始人徐小平：大数据、深度学习、生物医疗类的创业者崛起非常迅速，真格基金未来会在机器人方向做“更有硬科技含量”的投资。

清科集团创始人、董事长倪正东：把硬科技产业和资本汇集起来，这个地方就是西安。

国科控股董事长索继栓：硬科技产业发展，关键在于如何强化硬科技的自主可控和技术体现的颠覆式的创新概念问题。

北京科创母基金总经理杨力：我们基金必须引导社会资本和子基金投向前端的硬技术及原始创新，避免投向服务模式创新或中低端技术。

(3) 国内不同领域科研人员研究硬科技

中国科学院立项STS计划专项研究硬科技。2018年，中国科学院科技战略咨询研究院通过STS计划立项研究《“硬科技”发展战略研究与宣传》。通过加强学术研究，提高学术界对硬科技的认可度，从理论上准确把握硬科技的定义和范围，通过中科院战略咨询研

究院高端智库平台，集成硬科技的学术研究，提高硬科技的品牌影响力。

中科院战略咨询院副院长张凤表示，“硬科技”应具有引领性、基石性、创新性等特点，是能推动产业技术进步、支撑和引领经济社会发展的核心和共性技术，可以是经过长期研发、持续积累形成的原创技术，也可能是某细微领域形成的突破性技术。

阿里云高性能计算负责人何万青表示，有些“硬科技”是国家必须要有的，例如芯片、操作系统的有无，涉及到生死存亡，我们必须要坚定发展，必须啃硬骨头。

清华大学长聘教授汪玉、美国犹他大学计算机系终身教授李飞飞等人认为，在信息技术等“硬科技”领域尤其需要产学研合作，例如信息领域一个颠覆性的方向从想法到形成一定市场规模需要近10年时间，需要产业和学术界共同育人、共同迭代。

清华大学计算机系副主任唐杰表示，发展硬科技，人才是最重要的，要通过扩大宣传凝聚共识，同时用好的政策和环境留住本地人才，吸引具备全球视野的国际化人才，集中力量重点发展相关优势硬科技。

北京大学国家发展研究院院长姚洋：建议企业家去做硬科技。在贸易战的新形势下，建议企业家扎扎实实地做好本行，做制造业。

3. 硬科技上升为国家话语体系（2018年底至今）

2018年12月6日李克强总理主持召开的国家科技领导小组第一次会议强调：深化改革更大激发社会创造力，更好发挥科技创新对发展的支撑引领作用。提出“引导企业和社会增加投入，突出‘硬科技’研究，努力取得更多原创成果”。硬科技得到了国家领导人的高度关注，官方媒体和智库机构纷纷开始研究“硬科技”，并呼吁国家领导和社会大众聚焦硬科技，“硬科技”理念从西部走向全国，上升为国家话语体系。

（1）硬科技理念花开全国

北京：2019年5月31日，“2019硬科技生态战略发布会”在北京举行，探讨中国硬科技产业发展、优势资源整合，资本对硬科技产业落地的支持，推动硬科技战略生态全面落地。“北京硬科技基金”正式启动，基金由北京科技创新基金、三峡资本、实创集团、国投创合、中植资本、中科创星共同出资设立，以实际行动助力硬科技发展。

杭州：2019年6月13日，2019年全国大众创业万众创新活动周在主办城市杭州隆重启幕。中国科学院主推“硬科技”品牌，并设置了专有展位，展示硬科技的概念和典型技术。

深圳：2019年6月26日“2019年度中国科学院科技成果路演活动”在深圳证券交易所举办。大会以“科技让生活更美好”为主题，公开发布一批中国科学院硬科技成果，寻求国立科研机构与社会行业企业、投融资机构的深度合作，探索科技与金融的有效融合，服

务经济社会发展。

(2) 科创板引燃硬科技投资

如果说近两年投资界对硬科技的投资热情升温，2019年科创板的推出更是把硬科技投资推向了高潮。科创板首批上市的25家企业共涉及7个行业，其中，计算机和电子设备制造业9家、专用设备制造业8家、运输设备制造业3家、信息技术服务业2家、有色金属冶炼业1家、仪器仪表制造业1家、通用设备制造业1家。科创板与硬科技重点涵盖的几大领域方向基本一致，几乎可以用“硬科技”的概念来描述科创板对企业选择的要求，或者说科创板等于“硬科技”，只有“硬科技”企业才能够去上科创板。在此之前，硬科技和制造业属于“重资产”项目，其投资门槛高、周期长、投入大的特点使其一直都不太受资本的青睐。科创板的推出重燃了资本对硬科技的信心和热情。科创板对科技投资具有很好的导向，让资本更加愿意关注目前硬科技研发投入比较大的企业，因此对硬科技投资和硬科技企业本身都有较大的推动作用。在国产化加速替代的大背景下，科创板所引发的市场热情将在提高企业研发投入、培养专业技术人员、补足运营资金等多方面推动我国硬科技产业的发展。

(3) 科技部火炬中心研究推进硬科技发展

2019年10月16日，科技部火炬中心在京召开硬科技发展工作座谈会，北京市科委、西安科技局、上海张江高新区管委会、西安高新区管委会、国务院发展研究中心、清华大学、中科院战略咨询研究院、中科院西安光机所、华为、腾讯等高端智库、研究机构、企业的专家学者齐聚北京，共同研究推进我国硬科技发展。

科技部火炬中心贾敬敦主任认为推动硬科技发展是当前科技工作面临的新机遇和新要求，并提出发展硬科技的几点措施：一是加快研究和制订推动硬科技发展的相关工作方案；二是深入开展专题研究，提出支持硬科技发展的政策举措，研究建立硬科技的技术领域、评价标准和指标体系；三是推动开展硬科技发展工作交流，加强工作协同；四是积极协调各方，共同主办好“西安全球硬科技创新大会”。

2.3 硬科技助力国家创新驱动战略发展

当今世界，国际经济合作和竞争局面正在发生深刻变化，全球经济治理体系和规则面临着重大调整，新一轮科技革命和产业变革的机遇与冲突并存交错。在这样的时空背景下，我国将用30年左右的时间，推进从全面建成小康社会到基本实现现代化、再到全面建成社会主义现代化强国的伟大事业。建设现代化强国需要各方面的努力才能实现，发展硬科技，掌握核心技术，促进产业转型升级，是实现这一目标的重要手段。因为只有把核心技术掌握在自己手中，才能真正掌握竞争和发展的主动权，才能真正自主可控地实现国家的战略目标。

1. 硬科技促进国家战略实施

面对错综复杂的世界竞争格局，国家实施创新驱动发展战略，并于2016年印发纲领性顶层设计文件《国家创新驱动发展战略纲要》，提出三步走战略目标：第一步，到2020年进入创新型国家行列；第二步，到2030年跻身创新型国家前列；第三步，到2050年建成世界科技创新强国。加快建设创新型国家，准确把握全球科技创新发展态势，在与国外同处一条起跑线的前沿引领技术，现代工程技术，颠覆性技术领域集中攻关、实现突破，很有可能实现从跟跑并跑到并跑领跑的位势转变，成为世界单项冠军，实现科技强国梦想，这正是硬科技的发展本质。大力发展战略性新兴产业，真正掌握关键核心技术，掌握竞争和发展的主动权，才能有效支撑实施创新驱动发展战略和建设世界科技强国的伟大目标。

在贸易保护主义抬头、全球经济增长乏力的不利环境中，经济增长对科技创新的依赖作用日益凸显，世界各国都把科技创新作为推动经济发展的重要战略举措，纷纷围绕5G为代表的信息技术、人工智能、智能制造、航空航天、生物医药、生命信息等硬科技领域进行战略布局，抢占发展制高点。我们国家要实现“两个一百年”奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦，必须攻坚克难自主创新，发展硬科技和培育硬科技产业，提高“硬科技”核心技术和核心零部件的自主研发和自主供给能力，使硬科技成为推动我国经济高质量发展的强大动能。

2. 硬科技支撑产业转型升级

当前我国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段，迫切需要转变发展方式，优化发展结构，转换增长动力，大力建设适应新经济形式的现代产业体系。从科技发展的源动力以及科技应用的现实需求看，“硬科技”不仅“硬”在技术的高壁垒和原创性上，更“硬”在其对现有技术的创新和升级，促进新产业发展和广泛应用，从而创造新的经济增长点，提供经济发展的动力。

硬科技是产业升级和发展的内在因素，硬科技作为新动能，能够为传统产业注入源源不断的创新活力，支撑传统产业转型升级。一方面可以推动我国尚处于国际相对弱势的产业转型升级，支撑我国产业向价值链中高端转变，提升我国产业国际竞争力。另一方面，可以在关键技术和前沿核心技术领域实现创新突破，形成具有自主知识产权的创新技术，把核心技术掌握在自己手中，真正掌握竞争和发展的主动权，改变核心技术“受制于人”的不利局面，从根本上保障国家经济安全、国防安全和其他安全。

硬科技代表产业能力和发展水平，不仅影响整个产业当前发展的水平，而且决定产业未来发展的方向和高度。例如航空发动机技术，具有高技术、高投入、长周期、高风险等特点，是典型的硬科技技术，掌握在美国、俄罗斯、英国、法国等少数国家手中，呈现出明显的寡头垄断。航空发动机的发展史表明，每一次发动机的变革都会带来飞机的更新换代。从20世纪40年代末到50年代燃气涡轮发动机的应用，战斗机飞行速度实现了突破音速。随后涡

轮喷气发动机又应用于民用，20世纪60年代涡扇发动机取代涡喷发动机，大大提高了飞机的性能。到70年代中期发动机风扇大型化发展，满足了大型、战略远程军用运输机及宽体客机的发展需要。90年代初期发动机推力、推重比向更大的方向发展，支撑了新型双发客机和下一代隐形战斗机的出现。

3. 硬科技助力区域经济发展

从全球卫星灯光图和跨城出行轨迹图看，城市群已经成为世界经济重心转移的重要承载体，决定着未来世界政治经济发展的格局。世界级城市群随着开放型经济快速发展，东京湾区、纽约湾区、旧金山湾区和大伦敦都市区等世界级城市群大都是所在国家的金融中心、工业中心、创新中心，拥有充满活力的产学研创新体系和包容失败的创新文化。世界级城市群的发展经验表明，高质量发展的城市群能够优化区域发展格局，带动整个经济高质量发展。

京津冀、长三角、粤港澳大湾区三大城市群作为中国最重要的经济中心，引领着国内高水平城市群建设，肩负着打造世界级城市群的重要使命。三大城市群作为国家发展的重要引擎，均在科技、人才、资本为核心的新经济发展要素上持续发力，呈现出具备全球竞争力的自主研发和自主创新能力。

各区域、各城市群、核心城市大力发展战略性新兴产业，强调掌握关键核心的硬科技，对区域产业和经济产生辐射带动作用，推动相关产业转型升级，打造区域乃至国家经济高质量发展新的增长极。例如，北京、上海具有全球影响力的科技创新中心，雄安新区和粤港澳国际科技创新中心，上海张江、北京怀柔、安徽合肥、深圳综合性国家科学中心的规划建设。这些国家科技创新基地和重大科技基础设施形成的新格局，逐步构建起重大创新的策源地，成为区域经济转型升级的发展引擎，是我国在交叉前沿领域的源头创新能力和科技综合实力的承载平台，代表国家在更高水平上参与全球科技竞争与合作。因此，硬科技的培育和发展是区域和国家实现高质量发展的重要途径。

三、中国发展硬科技正当时

面对当前世界百年未有之大变局，每一个更迭的临界点上，对于中国而言都面临着极大的机遇和挑战。中国要抢抓此次历史性的交汇期，关键就在硬科技。习总书记指出，“我国在这个阶段，要突破自身发展瓶颈、解决深层次矛盾和问题，根本出路就在于创新，关键要靠科技力量”，“科学技术从来没有像今天这样深刻影响着国家前途命运，也从来没有像今天这样影响着人民生活福祉。”党的十八大以来，我国做出了实施创新驱动发展战略和建设世界科技强国的重大战略部署，国家创新格局基本形成，我们已经走出一条战略强、人才强、科技强、产业强、经济强、国家强的中国特色发展路径，全国各领域“上下同欲”共话科技，共谋发展，当今的中国，发展硬科技正当时。

3.1 科学技术长期具备国家战略定位

新中国成立以来，我国科学技术的发展一直紧密围绕国家各个阶段的发展需要展开，长期具备国家战略定位。

1. 新中国成立以来，科学技术服务于国家战略取得长足发展

1949 年 -1977 年：建国大业阶段。面对国内外形势和发展环境，《中国人民政治协商会议共同纲领》指出“努力发展自然科学，服务于工业、农业和国防的建设”，明确了科学研究服务于国家事业的战略定位，以满足建国初期我国恢复经济、解决人民温饱、维护国防安全的迫切需求。我国举全国之力指向科技领域“打基础、除空白”的战略目标，实施一系列科技规划，创新性地推进“三线建设”，吹响现代科技大发展的号角，在战略实施的多个方面改变了此前照搬照抄、片面学习苏联的局面，夯实了建国根基。1949 年 11 月中国科学院成立，其当时的办院方针“培养科学建设人才，使科学研究真正能够服务于国家的工业、农业和国防事业的建设”是我国科技服务国家事业战略定位的缩影。这一阶段我国进行“举国体制”下有计划、有组织的资源配给与研究，依靠全国大协作全面规划科学技术，取得了两弹一星、人工合成结晶牛胰岛素、青蒿素等成果，迅速建起能够与国家事业高度结合的、相对完整自主的创新体系，科技事业逐渐体系化与规模化。

1978 年 -2011 年：改革开放阶段。我国社会主义事业建设总方针、总目标、总策略发生重大变化，把中国建设成为社会主义现代化强国成为党在该时期的历史任务。1978 年，我国发布的《全国科学技术发展规划纲要》指出“科学技术要面向经济建设，经济建设依靠科学技术”，我国制定了适应社会主义市场经济发展需求的科技发展战略，明确科技要面向经济服务四个现代化，这一阶段国家在科技发展方面部署了以“发展高科技、实现产业化”为目标的“863 计划”、“973 计划”、攀登计划等专项计划，聚焦对中国未来经济和社会发展具有重大影响的高技术进行攻关，服务我国经济社会发展，集中解决我国战略需求中的重大科学问题，满足了我国发展高科技的战略需求。1987 年，中科院的办院方针调整为“把主要力量动员和组织到国民经济建设的主战场，同时保持一支精干力量从事基础研究和高技术跟踪”，意味着我国科技发展处在支持经济和社会发展的重要战略位置。进入 21 世纪，我国发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》，标志着企业开始成为技术创新的主体，创新主体开始向多元化发展。这一阶段我国科学技术成果迅速广泛地应用于生产，产生了以华为为代表的一批新兴创新主体，武汉东湖、北京中关村等一批高新区、企业孵化器和生产力促进中心三类重要的科技成果转化载体随之出现。正负电子对撞机、神舟载人航天飞船、华为麒麟芯片等一系列创新性成果成功研发，完成了科研战略从满足国家基本建设需求向带动市场经济发展的良好过渡，以市场改革促创新的理念和举措被广泛采纳，科技发展迎来了“科学的春天”。

2. 进入新时代，科技创新前所未有的上升为国家战略

2012年-至今：伟大复兴阶段。中国发展进入新时代，我国科学探索在各个尺度上向纵深拓展，经济和科研实力增强。党的十八大明确提出“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。要坚持走中国特色自主创新道路、实施创新驱动发展战略”，在这一战略的指导下，我国提出创新驱动“三步走”，到2020年进入创新型国家行列，到2030年跻身创新型国家前列，到2050年建成世界科技创新强国。我国形成了以科技创新为国家发展核心、以科技创新强国为目标、科技与经济融合发展的科技战略，科技创新前所未有的上升为国家战略，肩负起中华民族伟大复兴的历史使命。

新时代，科技创新在战略部署上，紧紧围绕经济竞争力提升的核心关键、社会发展的紧迫需求、国家安全的重大挑战，采取差异化策略和非对称路径，强化重点领域和关键环节的任务部署。在战略实施上，一方面聚焦激发创新驱动主体活力，深化体制机制改革，确立企业主导研发创新的体制。另一方面，聚焦创新驱动发展核心瓶颈和关键环节，强化科技成果转化转化，相继修订和颁布《中华人民共和国促进科技成果转化法》、《关于实施<促进科技成果转化法>的若干规定》、《促进科技成果转化行动方案》科技成果转化“三部曲”，将科技成果转化上升到顶层设计层面，从修订法律、出台配套细则到部署具体任务，成果转化工作拥有了指引和依据。这些措施旨在释放科研强大的内在动力，科技成果转化将作为创新驱动发展战略任务的核心手段，支撑创新驱动战略落地和实施。2015年，为适应新的改革形势和发展要求，中科院调整办院方针，确定了“三个面向”、“四个率先”，即“面向世界科技前沿，面向国家重大需求，面向国民经济主战场，率先实现科学技术跨越发展，率先建成国家创新人才高地，率先建成国家高水平科技智库，率先建设国际一流科研机构”，中科院新时期的办院方针，树立了科技发展要全面支撑我国创新型国家建设的风向标。

在创新驱动战略的推动下，这一阶段我国取得众多举世瞩目的成就，我国超级计算机连续10次蝉联世界之冠，采用国产芯片的“神威·太湖之光”获得高性能计算应用最高奖“戈登·贝尔”奖，载人航天和探月工程取得“天宫”、“神舟”、“嫦娥”、“长征”系列等重要成果，北斗导航进入组网新时代，载人深潜、深地探测、国产航母、大型先进压水堆和高温气冷堆核电、天然气水合物勘查开发、纳米催化、金属纳米结构材料等正在进入世界先进行列。我国科技逐渐从“跟跑”走向了部分“并跑”和局部“领跑”。

新时代，我国科技创新不再只是作为国民经济发展的手段和动力，而是与经济发展融为一体，未来我国的经济将是科技型经济，硬科技作为第一生产力，在创新驱动战略中真正得到体现。

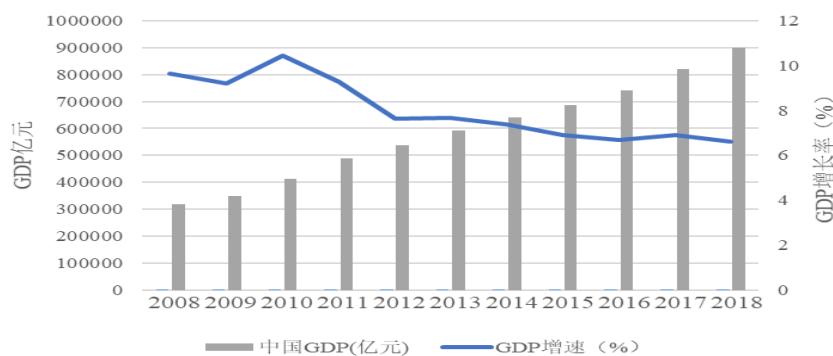
3.2 我国经济长期高速增长，面临高质量发展挑战

新中国成立以来，我国经历举国体制的计划经济大发展和改革开放市场经济的全面迸发，经济建设取得了巨大的成就，经济总量居全球第二，产业结构趋向优化，企业日益强大，为硬科技全面爆发式发展奠定了坚实的经济基础，但仍然存在着大而不强的问题。

1. 我国经济发展呈现高速增长态势

经历了建国 70 年的发展，我国经济总量不断增大，国内生产总值从 1978 年的 3679 亿元人民币，增长到 2018 年的 90.03 万亿元人民币，目前对于世界经济增长的贡献率超过 30%，成为了世界经济增长的主要动力源和稳定器。近年来中国步入经济发展新常态，经济呈现出增速趋缓、结构趋优的态势，我国 GDP 年均增长仍保持在 7% 左右，远高于同期世界 2.5% 和发展中经济体 4% 的平均水平。经济总量增长的同时，我国产业结构不断优化升级，伴随着世界进入以信息产业为主导的经济发展时期，我国把握数字化、网络化、智能化融合发展的契机，着力引领产业向中高端迈进，培育了一系列新动能，造就了日渐强大的“中国制造”。经历多年的供给侧结构改革，我国 2012 年的三大产业结构占比分别为第一产业占比 4.4%、第二产业占比 38.9%、第三产业占比 56.5%，第三产业首次超过第一、二产业总和，成为国家主导产业，实现产业结构优化、产业质量全面提升、企业蓬勃发展的新局面。

图 6 2008 年 -2018 年中国 GDP 与经济增长率



伴随着经济的快速发展，我国涌现了一批实力强大、成就重大的科技企业。华为 2018 年投入 113 亿欧元用于研发，位列全球第五，已超过很多欧美大公司，其在 5G 网络、系统开发与光学成像上取得举世瞩目的领先成就；2018 年阿里投入 29.14 亿欧元研发经费，开发出 AI 芯片，助力布局物联网生态；国家战略布局企业中广核近三年累计研发投入接近 100 亿元，并先后建立了国家级、集团级和公司级三级研发体系和全球创新联盟，目前已拥有 1 个国家重点实验室、1 个国家工程技术研究中心和 7 个国家能源研发中心。在产业成果方面，我国复兴号高速列车迈出从追赶到领跑的关键一步，移动通信、新能源汽车等跻身世界前列，集成电路制造、高档数控机床等加快追赶国际先进水平，自主研发的人工智能深度学习芯

片实现商业化应用，超导磁共振等医疗器械实现国产化替代。中国在全球产业格局中从被动追随向主动挺进世界舞台中心转变，一系列世界领先的科技企业与高端产业成果的产生，为硬科技全面爆发式发展奠定了坚实的经济基础和产业基础。

2. 我国经济面临高质量发展的挑战

我国产业大而不强。我国产业已经形成了较大的规模，但产业实力不强、质量不高，处于价值链的中低端环节，与发达国家存在明显差距。首先体现在我国企业科技实力不强，2019年度世界500强排行榜中，上榜中国企业数量达129家，已超越美国成为全球上榜企业最多的国家。但排名前50的企业中，美国拥有22家科技企业，而中国仅有华为一家。有研究表明，中国科技产业的实力仅相当于美国的42%，总产值只相当于美国科技产业的32%。其次体现在我国制造业质量不高，2010年我国制造业占全球总量的18.9%，一举超越美国成为世界第一制造业大国，但美国仍然是全球装备制造产业技术创新能力最为发达的国家。2014年，中国在机械设备、医疗设备、运输设备和电气设备四个子产业上的PCT专利申请量分别达到3349.8件、1116.3件、572.4件和2585.0件。而美国在四个子产业的PCT专利申请量分别为10815.9件和5028.7件、1657.3件和4116.8件，形成较大的领先优势。且我国的制造业企业，往往处于价值链的低端。郑州富士康拥有30万员工，一年生产1.5亿部手机，但利润只占到整个价值链利润的5%。最后，体现在我国缺乏高科技产品生产能力，无法实现进口替代，产业链存在缺失。按照联合国的标准，当前对国际经济影响最大的高科技商品包括集成电路、通讯设备、飞机与航天器等。在电子集成电路领域，2016年中国是最大的净进口国，美国则保持小额顺差，说明我国电子集成电路产业较弱。通信设备领域，中国每年看似出口金额巨大，但这一出口额主要来源于全球电子设备产业链的组装环节，利润十分单薄。在飞机、航天器及相关设备领域，2016年美国顺差超过1000亿美元，中国在此领域存在近200亿美元逆差，与美国存在较大差距。因此，聚焦硬科技带动产业由大变强是中国当前第一要务，如果不牢牢抓住此次历史机遇，美国将有可能继续引领信息技术之后的新科技革命，中美差距将进一步拉大。

图7 2019年世界500强企业中美上榜企业对比



我国产业缺乏新动能。我国以资源、劳动力密集型企业为代表的旧产能出现过剩，而能够实现世界领跑、实现创新驱动发展的新动能严重不足。一方面，我国旧产能出现过剩。在传统领域、传统行业，我国实体经济表现出产能过剩的问题比较突出。《2018年国内外油气行业发展报告》显示，2018年国内炼油能力过剩在0.9亿吨/年，预测2019年过剩产能将升至约1.2亿吨/年。前工信部长李毅中表示“中国钢铁、有色、水泥、煤化工等行业的产能都是过剩的，要把化解部分产业产能严重过剩作为调整产业结构的重要任务”。另一方面我国缺乏新动能，按照世界企业排名，我国实力较强的企业以中石油、国家电网、中国工商银行等为代表，多数为资源与资金驱动型的产业，以技术密集型新产能为代表的强企业极为缺乏。我国新兴产业严重依赖国外，虽中国在电子商务、金融科技、现代物流、共享经济等一些领域已经实现世界领先，但这些领域的技术大多是网络技术，核心技术或源头技术基本多数来自美国，信息产业的硬件、软件等技术也多数来自美国。英特尔、台积电的7纳米芯片已经进入投产阶段，中国14纳米芯片、22纳米芯片仍未突破，基本上相差2-3代；数据、图像、音频处理等基础软件基本都源自国外，受制约严重，将影响网络安全、经济安全、国家安全；生物产业的生物医药、生物农业、生物制造、生物服务等核心技术与标准，基因、蛋白、细胞、代谢、遗传等方面的基础原理与方法等，基本上都来自美国。尽管中国在商业模式创新、技术应用等方面超前一步，但容易被追赶、被封锁。

习总书记提出，“中国经济发展不少领域大而不强、大而不优，长期以来主要依靠资源、资本、劳动力等要素投入支撑经济增长和规模扩张的方式已不可持续，中国发展正面临着动力转变、方式转变、结构调整的繁重任务”。我国产业大而不强问题比较突出，实现高质量发展是当务之急。硬科技正是打开我国产业高质量发展之门的钥匙，能够提供针对性路径，助力我国实现“从制造大国向制造强国转变”，推动我国向世界经济强国迈进。

3.3 我国科研水平整体提升，发展短板较为突出

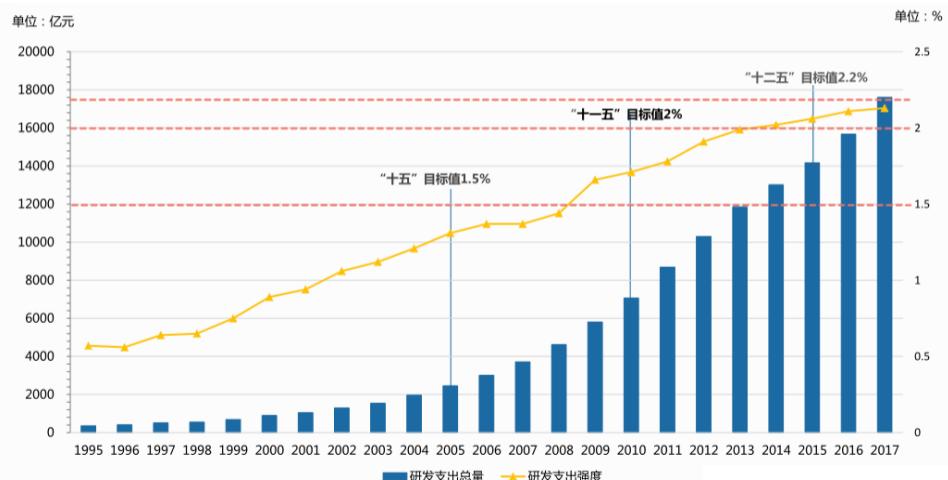
建国以来，随着我国科研投入逐渐增加，我国科研水平呈现整体高速增长，从建国初期科研体系的“积贫积弱”，转变为目前步入科技创新产出大国行列。我国逐渐形成五位一体、全链条的研发体系，为硬科技的全面发展提供强大支撑。但同时我国科技成果转化不足，核心技术“卡脖子”问题依然突出。

1. 我国科研水平长期呈现总体高速增长

研发投入方面，我国全社会研发投入从1995年的400亿元左右，以每年近20%的速度逐年增长（见图8）。2006年以来，中国的研发经费支出相继超过了韩国、英国、法国、德国和日本，成为全球第二。2018年我国研发经费高达19678亿元，已超过排名第三的日本两倍多，据《2018年国民经济和社会发展统计公报》显示，在研发投入曲线上，除了美国可以和中国并行，在法国、德国、日本、英国和韩国等众多接近水平的曲线中，中国的增长

曲线则一路向上。在研发支出强度方面，1995 年我国研发支出强度仅为 0.5%，而 2018 年这一数值上升至 2.19%，已超过英国、加拿大等国家，居于世界第八位，达到中等发达国家水平，但距离美、日、德、韩仍有一定的差距。

图 8 1995-2017 中国研发支出总量与强度



数据来源：大连理工大学管理与经济学部《2018 中国研发经费报告》

科研体系建设方面，我国逐渐形成涵盖国家自然科学基金、国家科技重大专项、国家重点研发计划、技术创新引导专项、基地和人才专项等五位一体的研发体系，搭建起涵盖基础研发、重大战略技术和产品、产业能力提升、转移转化、人才建设等全链条的研发体系。我国科研载体立体布局迅速完成，逐渐建立起涵盖国家实验室、国家性综合科学中心、国家科创中心的科研载体体系，形成 2 (两个科创中心) +4 (综合科学中心，未来还会增加) +N (国家实验室) 由点到面，由区域到全国的立体化格局，承载我国科技驱动整体攻关和布局。国家综合性科学中心是国家科技领域竞争的重要平台，是我国构建世界级重大科技基础设施集群，肩负国家重大科技任务，发起大科学计划，实现重大原创突破和关键核心技术攻关，带动国家和区域创新发展的辐射中心。目前，上海张江、合肥、北京怀柔、深圳等 4 个国家综合性国家科学中心已获批建设。全国科创中心是我国创新驱动发展和创新型国家建设的先行区和重要支撑。2014 年以来，北京与上海相继成为全国科创中心，将集聚我国最丰厚的科技创新资源，塑造更多依靠创新驱动、更多发挥先发优势的引领型发展，持续创造新的经济增长点，为我国建设成为世界科技强国、实现“两个一百年”奋斗目标提供强大的动力，将代表国家在全球范围内开展竞争，在全球价值链中发挥价值增值功能并占据领导和支配地位。

科研成果产出方面，数据显示，2017 年中国发表 SCI 论文 35.42 万篇，居世界第 2 位，国际论文被引指数第一次跃居世界第 2 位。按美国自然科学基金会的统计数据，中国科学论文数量已经超过美国。2018 年中国国家知识产权局共受理了 154 万件发明专利申请，占全

球总量的 46.4%，排名世界第 1 位。同时，我国高质量创新成果及新技术、新模式、新业态不断涌现。我国化学、材料、物理等学科居世界前列，铁基超导材料保持国际最高转变温度；量子反常霍尔效应、多光子纠缠世界领先；中微子振荡、干细胞、利用体细胞克隆猕猴等取得重要原创性突破；悟空、墨子、慧眼、碳卫星等系列科学实验卫星成功发射；500 米口径球面射电望远镜、上海光源、全超导托卡马克核聚变装置等重大科研基础设施为我国开展世界级科学研究奠定了重要物质技术基础。

图 9 中国 2017 年主要科技指标和国际地位

序号	指 标	中国	全球	中国占比（%）	国际地位
1	人员（万人）	375.9	1061.4	24.1	1
2	科技期刊论文(万篇)	42.6	229.6	18.6	1
3	SCI (万篇)	32.4	189.6	17.1	2
4	EI (万篇)	22.6	68.31	33.2	1
5	经费（亿美元）	2285.5	16679.8	13.7	2
6	论文被引（万次）	1934.9	-	-	2
7	专利申请（万件）	124.6	294.6	42.3	1
8	PCT 专利（万件）	4.9	24.4	20	2
9	高科技出口(亿美元) (2016)	4960 (2016)	21460(2014)	25.8	1
10	国家创新指数	69.8	-	-	17
11	世界 500 强企业 ^①	115	500	23	2
12	世界 500 强品牌 ^②	37	500	7.4	5

数据来源：华景时代《中国科技发展进入了新的阶段》

2. 科技成果转化不足、核心技术受制于人的局面依然严峻

科技成果转化严重不足。我国科研成果众多，但科技成果大量“束之高阁”、科研人才唯学历论文“论英雄”、科研仪器闲置率高等现象普遍存在。《中国科技成果转化 2018 年度报告》显示，截至 2018 年底，我国科技成果转化率仅为 10% 左右，而美国转化率高达 70%，意味着我国每年投入万亿元的科研投资，仅有极少数科研成果从研发机构走向了实体经济，绝大多数科技成果还没有服务于产业进步和经济增长，与发达国家存在较大差距。同时，我国科研管理制度中一直存在着以“学历、论文和职称”论英雄现象，考核人才的重要标准就是发表论文的数量、职称的高低，传统的科研机制导致大量的科研成果并非面向市场研发，造成科研与市场严重脱节，从源头上转化难。另外，我国科研仪器闲置率高，造成巨大浪费。根据国家科技基础条件资源调查数据显示，截至 2016 年底，我国重大科研基础设施 39 项，原值 38.17 亿元，50 万元以上大型科学仪器设备约 7.3 万台（套），原值 1041.6 亿元。国家财政投入购买的大型仪器和科研设施具有公共性、稀缺性，本应成为服务全社会科技创新发展的共同财产，而由于国家的大型科研仪器设备散落在各个单位中，成为各单位的“私有财产”，仪器设备存在部门化、单位化、个人化倾向，闲置浪费现象相当严重。根据相关数据统计，我国全部科学仪器设备的年均有效工作机时为 1157 小时，远低于发达国家的 3000 多小时。

习近平总书记强调，“我国技术研发聚焦产业发展瓶颈和需求不够，科技成果转化能力不强。‘项目多、帽子多、牌子多’等现象仍然突出，科技投入的产出效益不高，科技成果转移转化、实现产业化、创造市场价值的能力不足”。2018年12月5日，李克强总理主持召开国务院常务会议，要求“强化科技成果转化激励，引入技术经理人全程参与成果转化”，体现了我国提高科技成果转化率的迫切需求。

核心技术受制于人依然严峻。虽然我国科技实力得到了大幅增强，但目前我国仍然面临多个领域的“卡脖子”问题，存在一些重大核心关键技术有待突破的“顶天不够，立地不足”问题。农业领域，中国大豆亩产仅为美国的61%，我国针对杂交大豆已攻关二十多年，至今仍不能进入应用阶段。工业领域，我国工业行业的专利研发重点与发达国家的重合率低于10%，与竞争对手相比仍然处于低端水平，未能跟上世界前沿研发。新兴产业方面，我国芯片技术与发达国家相差2-3代，2018年我国芯片产业进口额为出口额的3.7倍，仍然主要依靠进口。根据IC Insights数据统计，2018年我国芯片公司总投入为110亿美元，而英特尔一家企业支出超过145亿美元，芯片行业整体投入不足，导致我国芯片产业链全面落后。商业航天作为航天产业发展重要方向，已成为航天产业中流砥柱，2017年全球航天市场规模达到3835亿美元，其中80%为商业航天。我国商业航天起步落后于美国30年，美国已开始探索移民火星实现多行星自给自足的航天体系，而我国在基层技术攻关上仍处于初级阶段。习近平总书记提出，“当前，我国基础科学研究短板依然突出，企业对基础研究重视不够，重大原创性成果缺乏，底层基础技术等瓶颈仍然突出，关键核心技术受制于人的局面没有得到根本性改变”。关键技术的短板，使我国长时间处于受制于人的境地，是我国亟待解决的重大问题。

3.4 我国金融助推科技成效显著，二者融合不够

科技创新中，硬科技是骨头，实体经济是肌肉，虚拟经济是脂肪，金融是血液。金融是促进科技高速发展的助推器，是助力科技走向产业的重要支撑力量。从世界科技发展史来看，每一次科技革命的诞生和推进，都伴随着金融领域的变革。当代，可以说哪个国家率先建立契合此次科技革命的金融体系，哪个国家将能够率先完成这次科技革命和产业变革，在新一轮世界格局调整中占据有利地位。而目前我国缺乏向硬科技精准输送血液的“毛细血管”对接机制，存在金融资金大水漫灌问题。在目前硬科技发展的关键时期，更需要把金融血液输送到各个关键环节，以支持骨骼与肌肉的健康成长。

1. 我国金融助推科技发展的成效显著

随着我国科技创新能力逐步提高，我国初步建立了直接融资与间接融资构成的完整体系，组建了多层次的资本市场，成立了一批服务于科技创新的专业化金融机构，形成了具有突破性的金融模式，不断发挥金融对科技创新的支撑作用。

从金融到科技的总投入来看，全国财政科技支出从 2006 年的 1688.5 亿元，增长到 2018 年的 9518.2 亿元，整体增长了五倍。2000 年至 2016 年，中国 R&D 支出增长超过 20 倍，年均复合增速达到 21.3%，同期美国 R&D 支出增长不到 2 倍，年均复合增速仅为 4.1%。按照 2010 年以来中美 R&D 国内支出的复合增速测算，到 2024 年前后中国在研发的整体资金投入就将超越美国，成为世界第一。从研发强度（R&D 支出 /GDP）来看，2016 年 R&D 支出排名靠前国家的研发强度普遍维持在 3% 左右，其中韩国（4.24%）、日本（3.14%）、德国（2.94%）、美国（2.74%）位居前列。中国 2016 年研发强度达到 2.12%，相较于 2000 年 0.89% 的强度水平明显提升，目前已经接近法国（2.25%）并且超过英国（1.69%）等发达国家，与美国等发达国家差距不断缩小。

从金融服务科技市场建设来看，我国密集进行支持创新的金融安排，优化金融服务，形成了体量庞大的间接融资市场，以及日渐强大的直接融资市场，基本建立了“科技金融生态”。我国间接融资市场主要由各类银行构成，为科技企业获得发展资金提供了强大的助力。据《2018 年中国银行业服务报告》显示，截至 2018 年底，银行业各项贷款余额 140.6 万亿元，其中小微企业贷款余额达 33.49 万亿元，弥补了科技型小微企业的资金缺口。同时我国积极进行间接融资机制创新，在深圳、南宁、成都、上海等地成立 160 余家科技支行，探索金融支持科技的新路径。我国直接融资市场主要由股权融资市场构成，2018 年我国直接融资总额为 2.4 万亿元，其中股权投资市场新募集 1.3 万亿元以上资金，新产生 1 万余起投资案例，目前资本管理量约为 10 万亿元，为众多初创型企业提供有效支持。2018 年我国中小板、创业板、新三板和区域股交市场融资额规模超过 6000 亿元，科创板 2019 年 7 月在上海证券交易所设立并试点注册制，开市首周交易额就突破了 1400 亿元。除此之外，我国成立了国家集成电路产业投资基金、先进制造产业投资基金、国家新兴产业创业投资引导基金等各类国家和地方支持科技发展的基金。同时通过税收、金融等政策的支持引导，实施科技企业税费减免，切实减轻了科技企业负担。我国逐渐开始构建科技金融生态，推动金融创新与科技创新实现相互融通。

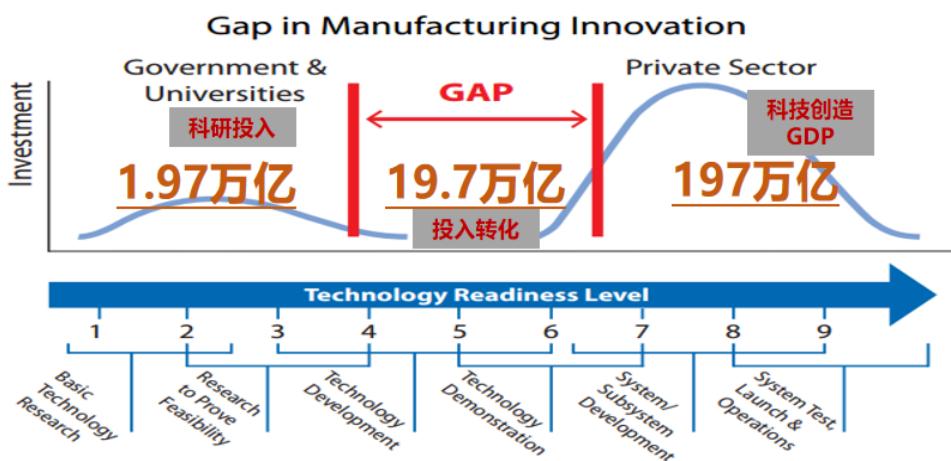
2. 我国金融和科技的深度融合仍有很大空间

金融无法精准配置到科技。由于科技企业与金融主体之间存在信息不对称等壁垒，我国科技企业与金融之间有千山万水的阻隔，金融资本无法精准配置到科技的应用放大试验阶段，即成果转化的初创型企业“第一桶金”严重缺乏。发达国家的实践证明，一项成熟的或成功的新技术成果应用于社会生产生活，必须经历实验室成果、中间应用放大试验、工业化或产业化三个阶段，三阶段的资金投入比例大致为 1:10:100，而我国仅为 1:0.7:100^[1]，我国与发达国家相比，科技成果转化环节的投资比例相差近 14 倍。这意味着我国在科技成果转化领域的资金投入需要提高 14 倍，才能真正满足我国科技成果转化环节的金融需求，确保从金融到科技的精准配置。显然，我国用于技术应用开发——硬科技发展的“第一桶

[1] 何维军,李庆云.我国科技成果低转化率的原因及对策[J].科技导报,17(9909).

金”明显不足，金融不能精准匹配到科技等领域，严重制约了硬科技的快速发展。根据我国2018年研发投入与科技成果转化投入10倍的投入比计算，我国科技成果转化投入需要19.7万亿元才能达到发达国家的水平（如图10），而我国的科技成果转化投入仅仅约为1.38万亿元，我国科研投入与科技创造之间存在高达18万亿的转化洼地。习近平总书记提出，“金融行业以服务实体经济和支持供给侧结构性改革为根本，把更多金融资源配置到经济社会发展的重点领域和薄弱环节，更好地满足人民群众和实体经济多样化的金融需求，从大局出发，助力解决好发展不平衡不充分的问题，是各家金融机构在新时代都需要致力探索的重要方向”。而当前阶段，科技成果转化既是经济社会发展的重点领域，又是我国经济对接科技的薄弱环节，这一领域金融支持严重不足，金融未能实现科技的精准配置，大规模创新驱动潜力尚未释放。

图10 科研投入与科技创造之间存在转化洼地



我国金融市场结构总体失衡。历史经验显示，随着技术革新和前沿产业诞生，金融结构的演进会出现直接融资比例逐渐走高，间接融资比例逐渐走低的趋势。但随着我国新兴产业的发展，未能形成与经济发展匹配的融资结构，我国金融市场上直接与间接融资比例为1:8.2，间接融资仍然占极大比重。而美国这一比例为1:1，日本为1:1.6，我国直接融资比重远低于这些发达国家，金融市场结构存在严重失衡。由于直接融资体系的整体不足，我国新兴的一批硬科技企业难以找到匹配其高风险特性的金融支持，我国硬科技中小企业融资规模约4.4万亿美元，融资供给仅为2.5万亿美元，缺口高达1.9万亿美元。

以银行为代表的间接融资市场受体制机制约束难以贷给科技企业。我国的现行金融结构下，80%以上金融资本由商业银行持有，以银行贷款为代表的间接融资成为中小企业融资的重要渠道。但我国《信贷资金管理暂行办法》、《商业银行法》、《证券法》等使我国政策性银行与商业银行的贷款活动受到极大限制，银监会对银行体系的盈利模式、风险控制与流动性进行严格监管考核，大部分银行资金无法投向高风险、周期长的科技型中小微企业。截止2017年末，我国中小微企业的数量占全部企业数目的90%，贡献了50%的税收、

60% 的 GDP、70% 的专利、80% 的就业，然而小微企业贷款余额仅占据了金融机构各项贷款余额的 25% 左右，存在极大的间接融资缺口。以银行为代表的间接融资市场作为科技型中小企业融资的主要来源，由于自身体制机制限制和属性要求，“不能贷、不愿贷、不敢贷”现象凸显，难于从根本上解决科技型小微企业融资需求。

直接融资市场总量不足，尚不成熟。从整体上来讲，我国直接融资市场起步较晚，还处于萌芽状态，资金总量严重不足，未能满足科技成果转化巨大需求。特别是股权投资市场缺少种子期投资。根据 PitchBook 的统计，2016 年全球种子期 VC 规模达 58 亿美元、早期与后期规模总计达 1250 亿美元。2016 年全球种子期 VC 规模中，美国达 33 亿美元、占比超过一半，欧盟（9 亿美元）和以色列（7 亿美元）位居其次。2016 全球早期与后期 VC 规模中，美国达 650 亿美元仍然占到一半份额，其次为中国（340 亿美元）、欧盟（110 亿美元）。中国早期与后期 VC 显然比种子期 VC 更加活跃。“硬科技”多为实验室技术，都需要早期甚至种子期的资金，但是因为早期产品尚未定型，市场未打开，投资周期长，未来不确定因素很大，投资人出于对投资回报的要求，往往更倾向于变现周期更短的投资，难于接受 5-10 的长期投资，这也是导致中国种子期投资人较少的原因。2018 年我国股权投资市场中，处于种子期的天使轮获得的投资金额为 239.58 亿元，仅占股权投资市场的 2.2%，而美国天使投资金额折合人民币为 1708 亿元，远超中国。

3.5 我国科技人才体量雄厚，高精尖人才依然短缺

习近平提出，“人才是创新的根基，创新驱动实质上是人才驱动，谁拥有一流的创新人才，谁就拥有了科技创新的优势和主导权”。我国坚持创新驱动实质是人才驱动，始终强调人才是创新的第一资源，不断改善人才发展环境，激发人才创造活力，大力培养造就了一大批具有全球视野和国际水平的科技人才。我国人才引领创新发展作用显著增强，创新人才在总量和质量上取得增长。硬科技发展已经具备了储备充足、实力雄厚的人才体系基础，但核心关键技术顶尖人才，硬科技成果转化经理人依然严重不足。

1. 我国科技人才资源储备充足、实力雄厚

进入 21 世纪以来，我国对人才战略的重视逐步提升，先后出台了一系列战略、规划、政策和计划，协同推进创新型人才工作。“科教兴国”、“人才强国”、“创新驱动发展”三大战略激发科技人才活力，培养造就了一大批具有全球视野和国际水平的科技人才，人才引领创新发展作用显著增强，创新人才在总量和质量上取得增长，为硬科技发展积累了储备充足、实力雄厚的人才资源。从人才规模总量看，根据国家统计局近日发布《新中国成立 70 周年经济社会发展成就报告》显示，2017 年我国科技创新人才总量按折合全时工作量计算的全国研发人员总量为 403 万人 / 年，是 1991 年的 6 倍，目前已居世界首位。我国研发人员总量在 2013 年超过美国，已连续 6 年稳居世界第一位。我国引才规模较大，截至

2016年底，“千人计划”引进12批共计6089名海外高层次人才来华工作，“万人计划”分两批遴选出2521名国内高层次人才。据《中国人力资源发展报告（2017）》显示，“千人计划”和“万人计划”专家在量子通信、铁基超导等领域取得了一大批突破性科研成果，这些人才计划极大地支持了高端创新型人才的科研和创新创业工作。

图11 2010-2017年中国科研人才逐年增加



数据来源：国家统计局《新中国成立70周年经济社会发展成就报告》

同时，我国科技人才结构和学科分布也日趋完善。国家要快速发展，各类科研活动离不开一支强大的工程师与科学家队伍。2014年自然科学与工程学学士学位获得人数排名靠前的国家与地区分别为中国（145万）、欧盟8国（57万）、美国（38万）、日本（12万）、韩国（11万），中国已经成为世界第一。我国专业技术人才队伍蓬勃发展，截至2015年底，全国专业技术人才总量达7328.1万人，比2010年增加1778万，增幅32%，高、中、初级比例为11:36:53，人才整体素质不断提高，人才结构不断优化。我国人才优势也更多更好地转化为了创新发展优势，屠呦呦研究员获得诺贝尔生理学和医学奖，王贻芳研究员获得基础物理学突破奖，潘建伟团队的多自由度量子隐形传态研究位列2015年度国际物理学十大突破榜首，我国在全球人才和创新版图中的地位大大提升。

2. 科技顶尖人才与成果转化人才依然短缺

我国缺乏科技顶尖人才。在高精尖科研领域，站在国际前沿、具有全球视野的领军人才、尖子人才稀缺，基础扎实、具有原创能力的创新型人才不足，满足产业不断升级发展新需求的复合型、应用型、高技能人才亦“千金难求”。工信部指出，我国顶尖基础研究人才和团队比较匮乏，特别是缺乏能够心无旁骛、长期稳定深耕基础理论的队伍，长期稳定在一个领域上深耕的队伍和人才比较缺乏。在诺贝尔三大自然科学奖获奖人数上，美国至2017年已有163人获奖，而中国仅有1人。我国虽拥有世界上规模最大的科技创新队伍，是一个

智力资源大国，但是也必须看到，创新型科技人才结构性不足的矛盾依然突出，亟待以“高精尖缺”为导向，推动人才结构战略性调整。

我国缺乏成果转化人才。科技成果转化专业人才是推动产业化成功与否的重要因素，而我国有利于促进科技成果转化的评价体系尚未有效建立，成果转化所需的职业经理人较为缺乏。评价体系上，在很多欧美国家，有效的产权激励已经成为成功实现科技成果转化的关键。美国于1980年通过《拜杜法案》，开启了“高校院所拥有科技成果所有权”的模式；美国、德国、加拿大、挪威、瑞典等国家的一些大学实行“发明人拥有科技成果所有权”的模式，也都取得了积极效果。虽然我国颁布了新修订的促进科技成果转化法，并实施了“将职务科技成果的使用权、处置权和收益权下放给高校院所”的改革，但受制于现行的国有资产与人才管理体制，产权激励缺位问题仍较突出。我国力求通过加大激励力度和考核科技成果转化收入等方式弥补激励不足问题，但这些都不能替代产权激励。另外，在科技成果转化过程中，主要参与人员要参与到科技成果转化全过程，不但要具有科技成果转化的专业知识又要熟悉科技成果转化过程工艺，以及产品的推广策略，兜底整个科技成果转化全过程。这就要求参与者，前端要面对的是科学家、技术，后端要面对的是市场与产业。目前我国研发主体拥有的专利数量约是美国的30倍，但从事知识产权和成果转化管理的人员数量仅为美国的1/10。在国内的科技成果转化领域，还是非常缺乏与科技成果转化相关的跨学科人才，也称技术经理人，这也是影响科技成果转化的重要问题。

习近平总书记指出，“全部科技史都证明，谁拥有了一流创新人才、拥有了一流科学家，谁就能在科技创新中占据优势。当前，我国高水平创新人才仍然不足，特别是科技领军人才匮乏，人才‘帽子’满天飞，人才管理制度还不适应科技创新要求、不符合科技创新规律。创新型人才培养等领域的进展滞后于总体进展，科研人员开展原创性科技创新的积极性还没有充分激发出来”。我国在人才规模增加的同时，顶尖人才与转化人才等高水平创新人才不足，是发展硬科技急需解决的问题。

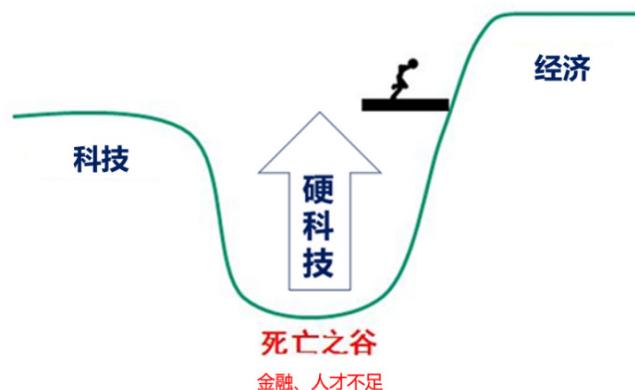
3.6 硬科技发展需要搭建科技成果转化体系

总体看来，我国发展硬科技已经具备坚实的基础，在一系列高瞻远瞩的科技创新战略指引下，我国经济实力跃居世界第二，国际影响力日渐提升，产业发展日新月异，一大批中高端企业引领我国向世界强国迈进。我国科技事业密集发力、加速跨越，实现了历史性、整体性、格局性重大变化，重大创新成果竞相涌现。科技创新得到的金融支撑日渐有力，居世界前列的科研投入与日渐完整的金融市场，为科技创新注入源源不断的动力。我国打造出世界最大规模的科技人才队伍，他们肩负起历史赋予的重任，不断发挥“排头兵”作用，引领科技发展方向。

科技发展的最终目的是满足国家的需要，只有科技真正转化为生产力，才能够推动整

个人类的进步和变革。虽然我国科研与经济实力雄厚，但我国科技与经济之间存在“死亡之谷”，我国硬科技发展面临转化的“肠梗阻”，成熟的转化体系缺失造成我国大量科技成果停留在“实验室”，由于对转化重视程度不足，以及人才、金融等缺失，硬科技发展多是点上的进步，无法取得量和质的突破，我国科技潜力远远没有得到释放。

图 12 硬科技能够填平科技与产业之间的“死亡之谷”



这个时代，硬科技就是聚焦核心关键技术，并让技术真正转化为经济，服务于我国的各项需要。这个时代，硬科技就是关注科技成果转化这一环节，呼吁国家搭建成熟的科技成果转化体系，助力科技与经济高效对接，实现创新驱动发展。重视硬科技，发展硬科技，把硬科技作为主攻方向，在创新体制机制、促进产业集聚、精准金融支持、加强人才队伍建设、营造硬科技氛围等方面探索路径，应成为当代中国长期关注的话题。

四、中国硬科技发展的路径探索

当前中国进入创新驱动发展阶段，必须坚持自主创新，把硬科技作为主攻方向，以硬科技突破带动国家创新能力全面提升，在硬科技领域着力构筑知识链、技术链、产业链互动融合的新形态，最终为创新驱动发展和建设世界科技强国做出重要贡献。针对我国发展硬科技的整体分析，我国还存在全面创新体系中成果转化阶段创新投入不够，企业作为创新主体的作用尚未完全发挥，人才活力亟待释放等现实难点。本篇提出了发展硬科技的几点探索路径，从体制机制、产业公地、科技金融、人才体系建设、硬科技氛围营造等方面探索，破解硬科技成果转化的核心瓶颈，实现硬科技助力创新驱动发展。

4.1 打破传统科技体制机制限制

1. 科技体制机制改革的探索与萌生

改革开放以来，中央不断对科技体制进行多方面的改革，推进自主创新，破除体制机

制障碍，最大限度解放和激发科技作为第一生产力所蕴藏的巨大潜能。我国的科技体制改革，始终以国民经济的发展需求为主线，以 1985 年、1995 年、2006 年与 2012 年为分界，经历了多个发展阶段。1985 年是我国科技体制改革的起点，当年发布的《中共中央关于改革科学技术体制的决定》明确改革的目的是解放科学技术生产力，通过改革科研院所管理模式、建立高新技术产业开发区等措施，引导和推动科学技术面向经济建设、经济建设依靠科学技术，科技体制改革全面启动。1995 年《中共中央国务院关于加速科学技术进步的决定》强调稳定支持基础研究，科技面向经济建设主战场，系统调整科研院所布局结构、加速科技成果产业化，科技体制机制改革不断深化。随着 2006 年《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》的提出，我国科技体制改革的重点任务转变为建立技术创新体系，全面推进中国特色国家创新体系建设，科技体制改革的要求进一步提升。党的十八大以来，《深化科技体制改革实施方案》、《国家创新驱动发展战略纲要》相继印发，我国科技体制改革密集发力，在一些重要领域和关键环节取得实质性进展，呈现出全面推进、多点突破、纵深发展的新局面。

在我国科技体制机制改革的探索过程中，涌现出一批科学界的“小岗村”，大胆突破，积极推进体制机制创新和改革。西安的科研院所体制机制改革走出了一条创新驱动发展新路径，西安光机所、西北有色院、西微所等 5 家院所先行先试，在科技人员持股分红、混合所有制等方面开展探索，以大院、大所、大企业和科技服务机构为重点，促进创新成果和产业发展紧密对接、科技和经济紧密结合。硬科技的发源地，西安光机所提出“拆除围墙、开放办所”的创新理念，以“研究所属于全体纳税人”的站位向全社会开放，充分释放国立科研院所优质科技资源，打造出“研究机构 + 天使投资 + 孵化服务 + 科普科教”的创业生态，成为全国科技体制改革的旗帜。西北有色院率先实施混合所有制改革和股权激励改革，突破科技成果转化难的瓶颈，逐步发展成为“科研、中试、产业三位一体大型科技集团”，成为西安又一体制机制改革典范。江苏省着力打造的江苏产业技术研究院，实行“一所两制、合同科研、项目经理、股权激励”，该院不设行政级别，实行理事会领导下的院长负责制，以“总院 + 专业研究所”为组织构架，灵活地与各类产学研主体共同建设研究所，以市场化合同激励科研活动，给予项目经理充分整合资源和承担项目的自主权，打造科技体制改革的“试验田”。北京协同创新研究院围绕创新链，搭建“产业链、人才链、资金链”，采取独特的“研究所 - 协同创新中心 - 基金”三元耦合机制，推动知识、技术、产品与产业的深度融合。这些“小岗村”的探索、突破和示范经验，助推了国家科技体制机制纵深改革。

2. 新型研发机构的发展和认可

新型研发机构萌芽于 21 世纪初期的深圳、广州等珠三角地区，一般是指投资主体多元化、建设模式国际化、运行机制市场化、管理制度现代化，具有可持续发展能力，产学研协同创新的独立法人组织，采用自主经营、独立核算的市场运营模式，在科技研发与成果转化、创新创业与孵化育成、人才培养与团队引进等方面特色鲜明。2019 年 9 月科技部印发《关

于促进新型研发机构发展的指导意见》，明确定义了新型研发机构是聚焦科技创新需求，主要从事科学研究、技术创新和研发服务，投资主体多元化、管理制度现代化、运行机制市场化、用人机制灵活的独立法人机构，可依法注册为科技类民办非企业单位、事业单位和企业。

新型研发机构承担着解决“科技经济两张皮”问题中的关键角色。新型研发机构作为产学研资的连接通道，打破了原有技术从原创到应用导向研发再到产业化分工合作中彼此“隔阂”的问题，让研发链上下游创新主体从一开始就互相了解，并能无缝衔接配合，降低沟通成本、缩短研发周期、提高研发概率，集技术开发、成果转化、企业孵化、人才引进培养于一体，将实验室里的项目有效推向市场，打通、整合了从基础研究到应用研究，再到产业孵化和市场销售的创新链、产业链和资金链，通过科学发现、技术发明与产业发展结合的“三发联动”的研发模式，跨过创新的“死亡之谷”。

新型研发机构采取多方共建的全新组织形式，是科技与产业界融合的关键桥梁和纽带。新型研发机构中，既包括科学家、企业家，也包括投资商、服务商，可以在研发的早期实现资本、企业等众多资源的介入，面向产业应用开展新研发，实现产业核心技术的快速突破与产业化应用，打通科技成果向现实生产力转化的通道。

3. 新型研发机构在部分城市的创新成效

新型研发机构这种创新研发组织的星星之火，很快形成燎原之势，如今已成长为一支重要的新兴科技产业力量，成为城市培育新兴产业的新引擎。目前，北京、广东、江苏等地区已经率先将新型研发机构作为激发中小企业创新活力的重要手段。南京市已累计成立新型研发机构超过200家，新型研发机构在培育创新创业、吸引国内外顶尖人才聚集作用日益显现。2018年以来，南京市新增科创型企业2万家，增长23%，引入3名诺贝尔奖得主、52名国内外院士到南京创新创业，培育了11家独角兽企业和87家瞪羚企业，在石墨烯、微机电系统、单晶硅传感器等多个领域实现突破和填补国际空白。西安市以高新区为重要平台，构建“源头创新—技术开发—成果转化—新兴产业”创新体系。已建成延长—西北大学先进技术研究院、陕西省膜分离技术研究院、陕西烽火—西安电子科技大学通信技术研究院、中联西北院—西安交通大学能源环境与建筑节能联合研发中心等一批校企共建新型研发平台，打通高校科研院所基础研究到应用研究到产业化的通道，助力产业结构优化调整、推动技术应用。西安丝路石墨烯创新中心已正式运营，同时引进了陕西慧谷大脑破译与应用研究中心、西安人工智能工业技术研究院等重大基础创新平台，西安新型研发机构的发展仍在全面布局，持续建设中。

图 13 全国各地新型研发机构分布



图片来源：朱常海博士《新型研发机构的核心、制度创新与发展挑战》

4.2 打造硬科技核心领域“产业公地”

“产业公地”不是真实的土地，却是产业茁壮成长的重要基础，实体形态类似于国内的产业集群，是能够对产业创新提供支持的制造能力与技术能力的集合。硬科技创新生态是集合着科研、载体、人才、资本、政策、企业、生产性服务等各种创新要素于一体的产业生态圈。硬科技发展所依赖的硬科技创新生态就是“产业公地”所形成的产业集群。

1. 产业公地对于硬科技制造业的发展作用巨大

2009年，哈佛大学加里·皮萨诺和威利·史两位教授提出了“产业公地”理论，包括根植于企业、大学和其他组织之中的研发与制造的基础设施、专业知识、工艺开放能力、工程制造能力等，这些能力共同为一系列的产业成长和技术创新提供基础。是多个产业共享的网络体系，其强劲的溢出效应维系着区域内利益共同体的共同发展，处在产业公地中的企业可以共享供应商、人力资源、配套设施等优质资源，并且与其他企业实现共生共荣。因此，产业公地是维系国家或区域一系列产业持续成长创新的各种能力和要素网络交织形成的集合，对于汇聚更多创新发展要素资源，推进产业上下游紧密衔接，产业链布局更加完整，产业生态更加完善具有重要意义，对于以硬科技为核心的高端制造业发展具有较大的推动作用。

2. 产业公地的转移带动着产业和经济格局的变迁

历史证明，产业公地的兴衰对国家经济产生重要影响：第一，一个国家失去制造能力，也会失去创新能力；第二，产业公地是经济增长的重要平台。

半导体产业的案例直观阐述了产业公地的兴衰与影响。30年前，半导体产业公地深深根植于美国，晶体管、集成电路、动态随机存取存储器和微处理器都是在美国发明并率先制造出来的。所有关键制造环节的供应商都集中在美国，如半导体先驱IBM和德州仪器等公司。硅谷的半导体产业成为了带动美国经济持续高速增长的发动机。但由于美国政府对产业公地长期健康发展不作为，大量企业专注于芯片设计而将生产外包至其他国家，使得美国半导体制造重心和产业公地东移，导致美国旧金山湾区精密制造需求下降，造成航空航天、精密仪表等产业发展出现问题。

台湾抓住了半导体制造从美国硅谷向亚洲转移的历史机遇，建立了台湾工研院（堪比产业公地），以较强的平台能力支撑台湾半导体产业的起步和发展，先后培育出世界半导体代工领域第一名的台积电和第三名的台联电，以及手机芯片设计领域世界第二名的联发科，使台湾半导体产业一直处于国际领先地位，全球70%的半导体芯片制造产能集中在台湾，从而引领台湾经济飞速发展。

从世界范围来看，美国半导体制造产业公地的东移，吸引了相关联的新兴技术产品制造的迁移。日本、韩国、台湾相继抓住产业转移的历史机遇，借助半导体产业崛起，同时带动信息产业、电子产业链的高速发展，进而促进了整个经济的转型和发展，成为全球的领航者。

3. 发展硬科技需要构筑硬科技产业公地

提升中小企业的创新活力，破除中小企业发展面临的创新壁垒，需要打造完善的产业链和生态体系，构建支撑中小企业持续成长和创新的各种能力和要素网络，汇聚全方位的创新要素资源，使产业上下游紧密衔接，才能够保障中小企业持久的创新活力，而这正是产业公地重要内涵和作用。

在国际经济形势复杂严峻，贸易保护主义抬头背景下，一些严重依赖进口的高端芯片、基础软件、关键零部件面临着断供的风险，严重制约了我国经济的自主发展、安全发展和高质量发展。需要立足当前，着眼长远，聚焦产业链关键环节和制约行业企业发展的技术短板，以关键共性技术、前沿引领技术、颠覆性技术创新为突破口，大力开展核心技术研发攻关，瞄准国家重大关键领域和“卡脖子”瓶颈，构建一批面向硬科技成果转化的产业公地。

产业公地对于区域产业培育的支撑作用，吸引了各地重视。武汉积极布局“东湖高新区”，打造高端人才、高端产业汇聚的创新发展核心承载区，形成了独树一帜的光电子产业集群，集群规模占到全国50%，形成了半导体产业聚集的“武汉光谷”。杭州与阿里巴巴围绕数字基础设施深化战略合作，携手打造安全自主可控的数字经济基础设施和飞天产业集群，加快核心关键技术和重大创新成果落地，推动产业化应用与科技孵化，争创国家新一代人工智能创新发展试验区，共建“全国云计算之城”。西安形成了高新区咖啡街区、经开区创业大街、曲江新区创客大街、长安区双创中心、新城区幸福林带创业基地、西安港创新创业基地等

城市创业综合体，为硬科技发展提供了良好的产业公地，特别是“西安光机所光电子国家专业化众创空间”陕西先导院，构建光电子芯片孵化生态，整合光电子集成领域优势资源，汇聚一批国际领军人才，聚集一批国际领先的光电子企业，形成具有核心竞争力和国际影响力光电子集成产业高地。

4.3 构建硬科技金融深度融合体系

经济的发展依靠科技进步，而科技产业的发展需要金融的强力助推。科技与金融的协同发展是推动产业升级、实现经济高质量发展的重要保障。这需要搭建完善的科技金融运河体系，实现金融资本精准输送到硬科技发展所需的各个环节，为硬科技骨骼提供源源不断的金融血液供给。

1. 探索传统融资渠道的体制机制突破

在银行领域，可参考新型研发机构的做法，积极探索机制创新，以新的管理部门、组织模式和机构设置为科技型小微企业提供专业服务。首先可以探索成立科技银行开展风险投资，在风险控制和监督管理制度方面为这类业务单独制定适应性规则，发展成熟后逐步开展试点，提高对科技银行的风险容忍度和容错率，允许其借助风险投资构建风险管理架构。其次新成立的科技银行要与各级科技转化平台积极进行合作，破除科技企业和金融机构之间的业务壁垒，跟投实力较强的风险投资机构，或联合发起园区贷、专利贷、夹层贷与小额信用融资等新型金融产品。同时，在传统的银行系统可探索设立投贷联动部门，承接科技型小微企业的融资业务，深入了解科技企业的经营模式，探索持有科技企业股权的经营模式，在获得收益的同时增强投贷联动业务的风险承担能力，平衡风险和收益。

2. 设立科技创新政府引导基金

硬科技的发展，关键在于科技成果转化，释放科研潜力。而科技成果转移转化需要极大的资金投入，仅仅依靠政府投入是远远不够的。借鉴美国等发达国家的发展经验，借助资本市场的风险投资来推动科技成果的转化至关重要。在美国，50%以上的中小型高新技术企业在转化过程中得到过风险投资支持。如数据设备公司（DEC）的小型计算机，苹果电脑公司（Apple）的微型计算机、英特尔公司（Intel）的电脑芯片，詹尼泰克公司DNA重组技术产品的产业化等都是借助于风险投资的支持而获得成功的。

建议通过设立支持科技创新的政府引导基金，让资本链无缝对接创新链和产业链，从而加快科技成果转化，让“创新创业”拥有源头活水。要充分发挥政府基金的引导作用，创新基金运营模式和支持方式。一方面，基金设立过程中政府应先行出资，将承诺基金落到实处，才能吸引社会资本积极参与。另一方面，政府基金应该发挥公共属性，不在于追求资金的高回报率，根本目的在于引导社会资本积极参与，培育壮大科技型中小企业，因

此在政府基金退出过程中应借鉴以色列、美国、北京等地经验，以不高于当年贷款利率的标准将基金股权转让给社会资本或者企业。

3. 建立科技金融运河体系

实现一个IP(知识产权或智力成果)走向企业IPO(上市或资本)，存在千山万水的阻隔，需要建立一个“运河体系网”，把智慧海洋和资本海洋连通起来，强化科技成果转化机构“郑国渠”、“毛细血管”的要素精准传递作用。目前我国金融运河体系基本建立，但缺少“郑国渠”、“毛细血管”。新型研发机构、孵化器等服务机构的任务和角色就是成为“运河体系”的“郑国渠”，将资金、市场、管理等科技成果产业化要素，精准投向各创新主体，发挥“毛细血管”作用，实现产业化的临门一脚。建立“金融运河体系网”，需要从源头上加大科技创新投资力度，提高对科研的容错率；建立多层次的资本市场，拓宽融资渠道；鼓励企业与孵化器、风险投资等机构积极展开合作，建立联合担保机制，探索知识产权质押、基金等多种支持方式，建立征信机制强化监管，为科技型中小企业完善与细化融资法律法规体系营造良好融资环境。

图 14 支持创新的“运河体系”与“郑国渠”



为突破硬科技与金融之间融合的瓶颈，已有多个地区开展了积极的科技金融融合探索。北京发起成立总规模300亿元的科创母基金，专注于科技创新领域投资，与天使投资、创业投资等社会资本形成合力，面向国内外高校、科研院所、创新型企业等创新源头。科创母基金将致力于实现“三个引导”：一是引导投向高端的“硬技术”创新；二是引导投向前端的原始创新；三是引导符合首都战略定位的高端科研成果落地孵化转化，培育“高精尖”产业。西安市的科技金融工作已经形成了较为完善的科技金融政策体系、服务体系和产品体系。通过政府增信和贴息、补助等降低融资成本的办法，解决了科技企业发展所需资金，在培育科技企业群体健康发展中发挥着重要作用，特别是形成了一支国内有影响力的“西科天使”早期基金，总规模53亿元，极大的解决了初创型硬科技企业“第一桶金”严重缺失的问题，获得了业界广泛认可。

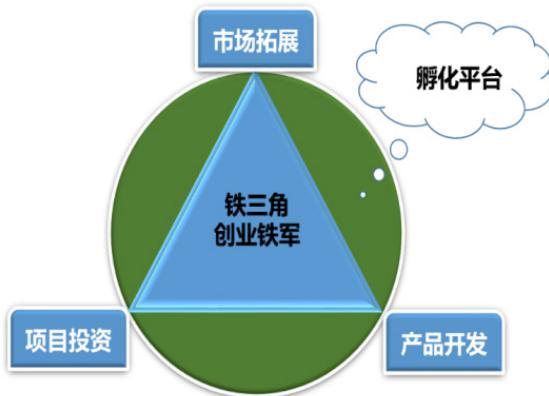
4.4 搭建硬科技产业化人才体系

科技成果转化有众多参与方，例如大学及科研院所、中央和地方政府、投资机构、科

技中介服务机构、技术服务平台、孵化器、投资机构等；科技成果转化的人才体系包含高层次领军人才，专业技术人才、天使投资人、知识产权工程师、财务税务法务专家、四技服务人员等多种人才。实践证明，打通科技成果转化的关键链条，承担科技成果转化全过程的核心角色是“技术经理人”，关键是搭建“铁三角”技术经理人团队。2018年12月5日，李克强总理主持召开国务院常务会议，要求“强化科技成果转化激励，引入技术经理人全程参与成果转化”。

技术经理人在科技成果转化过程中起着至关重要的作用。科技项目在早期具有周期长，风险大，与市场结合弱、缺乏市场验证的特点，单靠技术经理人单打独斗独木难支，需要建立一个完整的团队来帮助其进行科技成果转化。“孵化铁三角”由中科院西安光机所中科创星提出，团队由技术经理人领衔创建，包含专业的技术经理人、技术工程师、产品经理，组成“铁三角”团队及模式，分别负责市场与资源整合、技术开发、产品定义等职责。

图 15 “孵化铁三角”



技术经理人：通过对未来市场需求的深刻洞察，预判和识别满足市场需求的关键技术、绘制技术演进路线，并通过专业能力将技术直接变为产品，或通过二次技术开发，小试中试，再变为产品，最后通过灵活方式组建公司（自建、投资机构合作等）、帮助科学人员进行科技成果的最终转化。产品经理：结合技术经理人传递的市场需求和技术特点特性，进行产品定义及设计，对产品的市场潜力进行预判。技术工程师：基于技术经理人对市场需求及技术发展的判断、产品经理对产品的设计及定义，技术工程师对原创技术或应用技术结合市场/产品的要求进行技术的二次开发，小试或者中试，完成产品原型的开发或者小批量生产。“技术经理人、产品经理、技术工程师”需要分别从“市场 / 整合资源”、“产品定义”、“技术开发”三维视角来促进科技成果的真正转化，打通“实验室技术原型”到“初创公司商品化”之间的通路，跨越硬科技成果转化的鸿沟。

培养“孵化铁三角”需要聚集核心要素包括：人才、资金、平台设备、研发实力、科技项目、宽松的体制等。国内的很多机构汇聚这些要素，如硬科技类的天使投资机构、社会各类公益或者盈利的公共技术平台、高校和科研院所的各类产业技术研究院、大型科技企业等成

为这类人才培养的平台。

当前，随着国家对于科技成果转化工作的深入推进，各地围绕科技创新“铁三角”开始探索培育科技成果转化人才。早在2014年10月，西安成立高级技术经理人协会，由西安科技大市场、西安交大科技园、西安碑林环大学产业带管委会等12家单位联合创立，协会培育高端人才、建立专业标准、打造金牌行业、构建交流平台，提高西安市技术转移和科技成果转化行业水平，具有充分的现实意义和深远的历史意义。2019年6月，北京成立了中关村技术经理人协会，针对高校和科研院所技术成果难以实现转化落地的问题，联合高校技术转移办公室、科研院所技术转移平台、医院成果转化办公室、孵化器等6大类、72家平台或机构，共同制定标准挖掘一批优秀的技术经理人，开展转移转化人才培训，促进技术经理人、科学家、企业家、投资人等对接合作，推动技术经理人提供精准服务。同时，北京在9月30日颁布专门针对技术转移人才的职称评审制度，推动技术转移转化人才职业化发展。湖北省也于2019年10月10日颁布了涵盖技术转移在内的职称评审文件，支持技术转移转化人才发展。可以预见，未来将有更多省市出台相关政策，从职称评审、学历教育等多个角度，助力填补我国技术转移人才队伍短板，促进我国产业技术需求“引进来”，创新技术成果“落下去”，推进硬科技项目成果转化、转化、孵化，服务我国经济高质量发展。

4.5 营造硬科技发展的创新文化氛围

党的十八大提出“全民受教育程度和创新人才培养水平明显提高，进入人才强国和人力资源强国行列”的目标。同时随着我国创新驱动发展战略的实施，科普科教被放在与科技创新同等重要的地位，越来越受到国家重视，但现阶段我国科普科教尚未满足社会公众对于科学知识的需求。

第一，我国公众科学素养与发达国家差距较大。公民科学素质不高仍然是我国创新发展的明显“短板”，离中央部署和创新驱动发展的要求还有较大距离。统计数据显示，2015年我国具备科学素质公民比例仅为6.2%，相当于欧美发达国家20年前水平。即使到2020年实现了《全民科学素质行动纲要实施方案（2016—2020年）》提出的我国公民科学素质的比例达到10%以上这一目标，与世界主要发达国家20%甚至30%的水平还存在很大差距。第二，我国科普科教投入不足。2015年，我国中央财政科技预算支出为2587.25亿元，其中科普经费仅为19.16亿元，仅占科技总预算的0.74%，全国人均不到2元。同期，美国联邦R&D经费预算1354亿美元，其中STEM（科学、技术、工程和数学）教育经费预算29亿美元，占R&D预算的2.1%，全国人均9.2美元。第三，当前科普体制机制适应不了新时期科普发展的需要。目前我国科普的机构设置、资源配置、工作模式、工作习惯，与新时期公众日益增强的科普需求，有待进一步提升。第四，科普资助尚未融入国家科技计划资助体系。以国家自然科学基金会为例，2013年科普项目经费仅有800万，占基金项目经费比重不足万分之七。美国政府实行科研项目科普经费追加资助制度、重大科研活动科普

兼报制度，能够将前沿技术知识和最新科技发展及时传播给公众。

习近平总书记在全国科技创新大会上强调“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。”刘延东副总理在全民科学素质行动实施工作电视电话会议上说，各省市县本级财政科普投入要达到人均一块钱，这是一个基本要求，这半根冰棍钱要舍得投入。《“十三五”国家科普和创新文化建设规划》提出要围绕信息技术、生物、航天、航空、核、海洋、高端装备制造、新能源、新材料、健康等高新技术产业和战略新兴产业开展形式多样的科普工作，提高公众对战略性新兴产业的认知水平，为产业转型升级，促进经济保持中高速增长奠定良好群众基础。

当前我国经济发展进入新常态，经济增长越来越依赖于科技进步和劳动者素质的提高，大力提高公众科学素养，重视科普科教工作，尤其是硬科技技术的普及应用，促进产业转型升级，助力经济发展提质增效，将成为经济社会发展的“助推器”。

科普工作应形成政府引导、社会广泛参与、市场积极推动的体制机制，形成大众传播、组织传播、人际传播等多层次传播途径，发挥大众传媒作为主要传播渠道的关键作用；科普产品、科普服务、科普活动趋向多样化，充分体现群众性、社会性、经常性。通过科普基地、科技活动周、科普日等载体宣传科学知识，弘扬科学精神，提升国民科学素养；政府部门在科技计划体系中，探索科研项目科普经费追加资助、重大科研活动科普兼报等做法；通过微博、微信等新媒体，加大对科技创新领军人才和创新团队、科技企业、重大科技成果的宣传力度，通过舆论宣传和典型示范，努力营造尊重知识、崇尚创新、大胆创造、宽容失败的社会氛围和舆论环境，形成创新的宣传机制；把普及科学知识，弘扬科学精神，提高全民科学素养作为国家人才建设的重要内容等。

当前，硬科技科普工作“助推器”的作用逐渐引起了社会各界的重视，全国多个组织积极开展科普科教活动。其中，中国科学技术协会通过在全国各地展开全民科学素质行动、组织全国学会科普与地方科普，形成了各年龄段居民广泛参与的专业化科普网络。各地还涌现了一批科普科教商业品牌，如西安“中科创星·星科普”，以市场化的模式专注科普科教工作，为我国科技人才的培育与硬科技氛围的营造提供多样化的途径。

第二部分 科技篇

一、2019 硬科技十大进展

当前，世界主要国家面临着经济增长放缓和产业亟待转型等挑战，各国纷纷将目光投向科技创新，“硬科技”发展热潮正在全球蓬勃兴起。我们通过公开资料分析和专家遴选，梳理总结了 2019 年硬科技十大进展。

1.1 化学家首次合成纯碳 C₁₈ 环

2019 年 8 月 15 日，《科学》杂志发表了牛津大学化学系与 IBM 苏黎世研究实验室合作的一项成果。研究团队采用新型合成方式和微观原子操纵技术，制备出含有 18 个碳原子的环状结构。这是全球首例人工合成的单叁键交替 C₁₈ 碳环。

过去，化学家合成的碳环都含有氧等杂原子，难以制备出纯碳结构。国际上多个研究团队都曾尝试合成纯碳环或者链。诸多诺贝尔化学奖得主也在关注这个领域。然而，这种类型结构比石墨烯和金刚石更具有化学反应性，稳定性较差，容易在弯曲时发生变化，因此实验一直没有成功。该研究团队使用了“湿”化学法，首先合成 4 个碳原子的方形分子（其中氧原子附着在正方形上），然后在高真空室内的氯化钠层上通过原子力显微镜去除含氧部分。经过多次反复试验，最终通过显微照片扫描确认合成纯 C₁₈ 环状结构。这一突破性成果为化学家进一步研究该结构物质奠定了基础。

微电子理论已经证明，通过外加电场调控单个分子中的电荷传输可以实现单分子场效功能，形成分子尺度的晶体管。这一方向符合电子器件微小化发展趋势，但如何选择合适的材料是分子尺度晶体管发展的重要问题。独特的单叁键结构赋予了 C₁₈ 环半导体性质，使之有望成为分子尺度晶体管的重要组件。这次全球首例人工合成的纯碳 C₁₈ 环为构建分子尺度晶体管提供了可能，有朝一日可能会用于电子和其他纳米器件，为当前计算机芯片突破硅基半导体器件物理极限提供全新思路。

1.2 科学家首次实现高维度量子隐形传态

2019 年 9 月，中国科学技术大学潘建伟团队和奥地利维也纳大学塞林格小组合作，在国际上首次成功实现高维度量子体系的隐形传态。这是自 1997 年实现二维量子隐形传态实验以来，科学家第一次在理论和实验上把量子隐形传态扩展到任意维度，为复杂量子系统的完整态传输以及发展高效量子网络奠定了坚实的科学基础。

在此之前，所有的量子隐形传态实验都局限于量子态的二维子空间。但是真实的物理体系往往包括多个粒子，每个粒子包含多种自由度，而每个自由度又可以有多个维度。要真正实现复杂量子物理系统的完整态传输，并将其应用于可扩展的量子信息技术，量子隐

形传态就需要走向多体、多终端、多自由度、高维度和远距离。高维量子态的隐形传态是完整传输一个量子系统的最后一个待解决挑战。由于其可行性理论方案和实验技术上的双重困难，自 20 世纪 90 年代以来各国研究团队持续投入研究，然而一直悬而未解。

潘建伟团队从 2014 年开始投入该领域的研究，经过 5 年钻研，从理论和实验两方面创新，实现了高维量子隐形传态。在理论上，该团队首次提出了光子体系中可扩展至任意维度的贝尔态测量和量子隐形传态方案；在实验上，该团队引入一个额外辅助光子，发展了高稳定性多通道路径干涉技术，开创了多光子多维度相互作用的实验先河。实验测试了三维量子态的全部 12 个无偏基矢，验证了高维量子隐形传态保真度为 75%，以 25 个统计标准偏差超出了经典界限，严格证明了该过程的非经典性以及高维特性。

高维量子隐形传态是量子通信领域长期存在的一个挑战，解决这个挑战将开启量子力学基础检验和量子技术的崭新应用，因此这是量子通信领域的一个里程碑。

1.3 世界首款异构融合类脑芯片问世

2019 年 8 月，清华大学研究团队开发出全球首款异构融合类脑芯片“天机芯”。该芯片历时 7 年打造，使用 28 纳米工艺流片。该芯片的最大特点是兼容包括神经模态脉冲神经网络和卷积 / 循环神经网络在内的多种神经网络同时运行，结合了类脑架构和高性能算法，具有多个高度可重构的核，可同时支持机器学习算法和现有类脑计算算法。

过去，脉冲神经网络和卷积 / 循环神经网络芯片是截然不同的两种芯片，设计方法完全不同。例如，IBM 的 True North 是脉冲神经网络芯片，而寒武纪 MLU 则是卷积 / 循环神经网络芯片，因此并没有任何一款芯片能同时兼容这两大类神经网络。“天机芯”采用众核架构，每个核都可以自由配置成脉冲神经网络单元或卷积 / 循环神经网络单元，可以实现模拟 40000 个神经元。此外，“天机芯”的单核还可以配置为兼容模式，即接受脉冲神经网络的输入（即电脉冲），并在计算后转化为卷积 / 循环神经网络的输出（即数字信号），或者反之将卷积 / 循环神经网络的输入转化为脉冲神经网络输出。“天机芯”打通了脉冲神经网络和卷积 / 循环神经网络的界限，从而允许同一块芯片把两种神经网络融合在一起运行。

“天机芯”为人工智能学界提供了一个极好的研究脉冲神经网络的平台。通过结合深度学习和脉冲神经网络，“天机芯”有望实现更进一步的机器智能。此外，“天机芯”可使用脉冲神经网络来做脑科学相关的研究。脑科学目前已经成为人类亟待攻克的下一个重要课题，而使用脉冲神经网络来模拟和研究脑部工作原理将成为脑科学研究中的重要组成部分。“天机芯”的突破将是通用型人工智能发展的重要一步。

1.4 谷歌实现“量子霸权”

2019年9月，谷歌在一篇题为《使用可编程超导处理程式的量子优势》的研究论文中宣布其在量子领域的突破。谷歌研究者使用具有可编程超导量子比特的处理器来创建53量子比特的量子态，占据 $2^{53} \sim 10^{16}$ 的状态空间。重复性实验得到的测量值对相应的概率分布进行采样，并利用经典模拟加以验证。谷歌的量子处理器大约只需200秒即可对量子电路采样100万次，而目前世界排名第一的超级计算机、美国能源部橡树岭国家实验室的Summit执行同样任务需要大约一万年时间。

“量子霸权”是指量子计算在某些任务上拥有超越所有传统计算机的计算能力。谷歌的量子处理器相对于所有已知的经典算法有了巨大的速度提升，计算能力和性能达到超级计算机Summit的1.75亿倍，是在计算实验任务中实现的“量子霸权”。这是迄今为止表明量子计算机超越传统架构计算机，并走向实用化最为强烈的迹象，预示着下一个万众瞩目的计算范式的到来。量子计算结合了过去半个世纪以来信息技术和量子力学这两个最大的技术变革，通过使用量子力学的规则替换传统计算机二进制逻辑来计算，将攻克许多难以完成的计算任务。

如果量子计算机进入实用，可以构建数百个量子比特相干操纵的专用型量子计算系统，并应用于具有实用价值的组合优化、量子化学和机器学习等方面，指导新材料设计和药物研发等。若进入到通用可编程的量子计算机阶段，能够相干操纵数亿量子比特，实现可容错的量子计算，能在经典密码破解、大数据搜索和人工智能等方面发挥巨大作用。从总体上看，如果能实现这些目标，就意味着人类已经圆梦量子计算机，全面进入量子信息时代。

1.5 微软公布全球首个自动DNA数据存储和检索系统

2019年3月，美国微软公司与华盛顿大学联合研究团队公布全球首个全自动DNA数据存储和检索系统。该系统信息转换模块由具有编码和解码软件的计算机组成，编解码软件实现了数据信息0和1与DNA碱基信息A、T、C、G的全自动互转和识别；另外还有一个DNA合成模块，一个DNA制备和测序模块，两者中间是一个储存DNA的容器。编解码模块在完成信息转换后，DNA合成模块将必要的液体和化学物质流入合成器，从而合成人造DNA片段，并将其存入存储容器，实现DNA的自动存储。尽管研究人员将“hello”转译成DNA并成功进行读取共花了21个小时，但这是人类首次采用全自动手段完成DNA数据存储。全自动合成和读取有助于推动DNA的规模化存储，降低DNA信息存储成本，将是DNA存储技术从实验室走向商业数据中心的关键步骤。

DNA结构稳定、储存耗能少且存储容量大，可通过常规排序（读取）和合成（写入），准确地复制信息。理论而言，基于DNA的数据存储有可能成为一种新的信息技术形式。

现有数据存储载体大多基于磁性和光电材料，其中的数据最多只能保存数十年，而DNA中可能储藏着数亿年前生命的信息。虽然DNA储存还无法立即取代硬盘，因为当前

读取（排序）尤其是写入（合成）所需的时间过于漫长，成本也较为高昂。但是，毫无疑问 DNA 存储独特的魅力很有可能在不久的将来带给人类一个全新的数据存储时代。

1.6 仿生群体机器人可实现集体迁徙

2019 年 3 月，美国哥伦比亚大学和麻省理工学院计算机科学与人工智能实验室的研究人员合作，设计出一类前所未有的仿生物细胞群体机器人。该新型粒子机器人由许多松散耦合的简单组件（即“粒子”）组成。单个机器人粒子无法移动，只能像相机光圈那样伸缩，但是松散聚集在一起后，程序能让其对单梯度信号（如光线）做出响应，并按照偏移模式振荡，集体朝着刺激源移动，从而实现了群体机器人的自主运动。

早在 1986 年，纳米技术先驱 Eric Drexler 在《创造的引擎》一书中首次提出并描述了“Grey Goo”：能够自我复制的纳米分子机器人失去控制，如癌细胞般增殖，最终将影响地球上所有的生物资源。随后，这一概念随着科幻小说而迅速流传开，但是在现实世界里，这还只是一种理论。长达一个多世纪以来，人们一直试图制造出有自主意识的机器人，使其可以像生物那样生长、愈合伤口或从伤害中恢复。但是，当前的机器人通常由相互联系的组件组合而成，每个组件都有特定的功能，如果一个部件失效，机器人就会停止正常工作。

该团队用 24 个物理机器人粒子展示了移动、物体搬运以及向光刺激移动的行为，还利用数学模型模拟了用成百上千的粒子进行大规模障碍规避及物体运输的情景，并研究了粒子机器人模型应对部件故障的能力。结果表明，即使 20% 的粒子停止工作，该粒子机器人仍能以完整状态的一半速度运行。该研究为开发具有预先确定性行为的大规模机器人系统提供了一种替代方法，这类系统或比一些现有仿生系统具有更高的可扩展性和鲁棒性。

1.7 科学家对微纳机器人实时成像并控制其运动

2019 年 7 月，美国研究人员合作设计出基于光声断层扫描技术实现动物体内实时成像并控制的微机器人系统。研究人员将微米机器人包裹于具有保护层的微胶囊内以免于胃酸等流体的侵蚀。借助光声断层成像技术，包裹在微胶囊内的载药微纳机器人可在动物体内实时定位。当微机器人胶囊抵达体内病患区域（比如肠道肿瘤）时，外源近红外光可以穿透深层组织并引发胶囊破裂从而释放微机器人。释放出的微机器人依靠其高效游动可穿越生物屏障最终实现在病患区域的滞留和持久的药物传递。

常规的药物递送主要依靠血液循环运输完成，这种被动扩散方法受到多重生物屏障的阻碍，不仅会导致有效剂量缺失严重，同时可能引发全身性的毒副作用，难以完成精准药物递送的需求。微纳机器人因其可在生物流体中进行可控自主运动，被认为是靶向药物递送的理想方案。然而，微纳机器人由于体积微小，进入人体内难以准确定位，即使进入血管，

也容易被血液等裹挟、冲击而失去控制。因此，实现微纳机器人可控自主运动，一直是亟待解决的难题。该研究成果为解决微纳米机器人生物医疗中体内成像和控制的瓶颈难题提供了思路。

微纳机器人是人类与微观世界的桥梁，在无创手术、药物输运和微纳制造等方面具有广泛的应用前景。在未来几年内，微纳机器人将会带来一场医学革命，并彻底改变人类的劳动和生活方式。随着人类的老化，失去活性的细胞、组织和肌肉群将不断退化，微纳机器人可以依照给定的程序对这些目标进行修复、替换和调整，人类的寿命也有望大大延长。

1.8 科学家 3D 打印出会“呼吸”的人造器官

2019 年 5 月，《科学》杂志封面报道了美国莱斯大学与华盛顿大学的研究团队主导的一项具有里程碑意义的研究成果。该团队克服了 3D 打印器官的一大障碍，创造出一个由水凝胶 3D 打印而成的肺气囊模型。该模型具有与人体血管和气管结构相同的网络结构，能够像肺部一样朝周围的血管输送氧气，完成“呼吸”过程。

生产功能性组织替代品的最大障碍之一就是无法打印出复杂的血管系统。血管结构本身与组织功能密切相关，但相互渗透的网络在物理和生物化学上相互纠缠，导致打印难度加大。因此，如何在 3D 打印器官的过程中兼顾不同的管道系统，成为研究热点。该团队发明了一种新的生物打印技术，名为“组织工程立体光刻仪”（SLATE）。研究人员使用一种液体的水凝胶溶液按蓝图进行打印，过程中添加了吸收蓝光的食用染料。这些光吸收剂将凝固限制在非常精细的层中。通过这种方式，该系统可以在短短几分钟内生产出具有复杂内部结构的柔软生物相容性凝胶。

只有 3D 打印的组织能像健康组织一样“呼吸”，且构建出可与其他组织交互的管路系统，它们在功能上才会更接近健康组织。在这一技术的帮助下，人们可对 3D 打印器官产生更多理解，最终促进“人造器官”的加速上市，造福广大需要器官移植的患者。该研究成果有望为器官移植领域带来革命性的变化。

1.9 新型癌症疫苗增效 CAR-T 疗法

2019 年 7 月，来自美国麻省理工学院的达雷尔·欧文教授团队在《科学》杂志上发表了题为“利用疫苗增强 CAR-T 细胞治疗实体瘤的疗效”的研究。该团队开发出一种新型“抗癌疫苗”，可以让 CAR-T 细胞对实体肿瘤进行有效攻击，极大提高 CAR-T 疗法的疗效。

CAR-T 细胞疗法是近年来涌现出的明星抗癌疗法。这种疗法从患者体内分离出免疫 T 细胞，并在体外对这些细胞进行基因改造，给其装上识别癌细胞表面抗原的“嵌合抗原受体”（CAR）。随后，这些改造后的细胞在实验室经过大量扩增，再被输注回患者体内，对癌细

胞展开攻击。然而，由于肿瘤的异质性、CAR-T 细胞的脱靶效应及肿瘤微环境的免疫抑制等多方面原因，CAR-T 细胞疗法始终难以攻克实体瘤的“堡垒”，对实体肿瘤的治疗效果十分有限。作为最有潜力的新兴癌症疗法之一，CAR-T 却被局限于治疗某些类型的白血病等。如何增强 CAR-T 对实体瘤的杀伤力是目前免疫疗法亟需解决的问题。

达雷尔·欧文教授团队设计的癌症疫苗，一端是能够激活 CAR-T 细胞的抗原，另一端是一条由脂类分子组成的长长的“尾巴”。该疫苗首先利用脂质分子增强疫苗与淋巴结的结合，然后疫苗中的抗原可以激活进入淋巴结的 CAR-T 细胞，最高能使注射进小鼠体内的 CAR-T 细胞数量提高 200 倍，多种抗肿瘤功能提升 5~10 倍，最终可清除小鼠体内 60% 的实体瘤。此外，该疗法还能刺激免疫系统产生记忆 T 细胞，防止肿瘤复发。这项研究开创性地实现通过癌症疫苗提升 CAR-T 细胞杀伤肿瘤细胞的效率，为研究者对抗实体瘤的攻坚战提供了新思路。

1.10 全球首座浮动核电站正式启航

2019 年 8 月 23 日，全球首座浮动核电站“罗蒙诺索夫院士”号正式从俄罗斯北极不冻港摩尔曼斯克港启航，9 月 9 日抵达俄远东地区楚科奇市。浮动核电站是用以生产核电的船舶，本质上就是一个建在船上的核电站。“罗蒙诺索夫院士”号由俄罗斯自主设计，于 2007 年在波罗的海造船厂开工，历时 3 年建造完成，经多次试航后投入使用。该船全长 144.5 米，宽 30 米，高 10 米，吃水 5.6 米，满载排水量 2.15 万吨。船舶上装配有两座 35 兆瓦的改良型 KLT-40 反应堆，年发电量达 7 万千瓦，寿命约为 40 年，每 10~12 年需进行一次彻底检修，并清理船上储存的核废料。该船需要 69 名船员来操作，可以为工厂节约 45000 吨的燃料或柴油，还可以为 30 万人的生活供电。该船随后将连接到电网，成为迄今为止世界上唯一运营的浮动核电站和世界上最北端的核装置。

极度偏远地区往往因为地理位置不佳而无法大量投建传统发电设施，存在能源和电力短缺问题，尤其极地地区所面临的问题更为棘手。如果采用燃气轮机和柴油机发电，需要长期使用的天然气或液体燃料，无论是运输到当地或者直接就地开采，代价都十分高昂，而大规模建造固定核电站又会对北极脆弱的生态系统造成负担。浮动核电站因其安全性和经济性获得各国广泛和持续关注，被认为是最理想的海洋能源开发保障。不过，浮动核电站对靠泊码头的要求相对较高，而且建造工艺与普通船型相比更为复杂，因此各国迟迟未有进展。“罗蒙诺索夫院士号”的起航，标志着俄罗斯在该领域取得实质性突破。未来，浮动式核电站将成为解决北极等特殊地域能源供应的重要选项。

二、人工智能

近年来，人工智能技术取得一系列重大突破，呈现出跨界融合、人机协同、群智开放

和自主操控等新特征，推动经济社会各领域从数字化、网络化向智能化加速跃升，在经济和社会中的变革作用得到全球广泛认同。2019年，世界各国人工智能战略布局进一步升级，人工智能商业化应用加速落地，在安防、教育、医疗、交通和政法等领域大规模应用，产业规模大幅提升，但同时也给国家安全和社会治理带来新风险与新隐患。

2.1 全球人工智能战略竞争日趋激烈

自2016年AlphaGo战胜人类围棋冠军以来，人工智能技术受到各国高度重视。中国、美国、英国、日本、德国及法国等主要国家都纷纷将人工智能上升为国家级战略，积极抢占人工智能竞争制高点。2018年以后，新加坡和俄罗斯等新兴国家积极跟进，加入人工智能战略竞争的行列中。据统计，2017年明确提出人工智能发展战略的国家仅有5个，而到2019年制定了人工智能战略的国家已经超过30个。

1. 世界主要国家加速推进人工智能发展，旨在确保竞争优势

为抢占人工智能竞争制高点，加快人工智能产业发展。2019年，美国、英国、欧盟、日本和韩国等主要国家继续加强政策引导和支持力度，先后更新本国人工智能国家战略。由于世界各国的资源禀赋以及基础设施水平不同，其人工智能战略目标亦存在较大差异。

美国重点在于维持全球人工智能领导者地位，确保全球优势。2019年2月，美国总统特朗普在国情咨文中强调确保美国在人工智能等新兴技术发展方面的领导地位。同月，特朗普签署《维护美国人工智能领导力的行政命令》，将人工智能研究和开发作为优先事项，旨在维持及拓展美国在人工智能领域的领导地位。

欧洲各国强化协同推进，加大人工智能投入。2019年1月，欧洲人工智能项目正式启动。该项目汇聚了来自欧洲21个国家的79所顶尖研究机构和企业，将聚焦人工智能资源建设，包括数据存储、计算能力、智能工具及智能算法。欧洲人工智能项目将打造以人为中心的人工智能开放协作平台，重点关注可解释、可证实、协作、集成和/或物理化的人工智能技术。

日本和韩国力图利用人工智能技术强化机器人、半导体和汽车等优势产业。2019年1月，韩国科学技术信息通信部发布《推动数据、人工智能、氢经济发展规划》，宣布加大对数据及人工智能产业的投资力度，争取到2023年使韩国成为全球数据、人工智能产业领头羊。韩国政府将深入推进人工智能基础理论研究，促进智能芯片、电子计算和软件领域的技术开发，建立“人工智能基础设施枢纽”，推动人工智能产业发展。

2. 新兴国家积极跟进，加入人工智能竞争行列

除美国、中国和欧盟等主要国家和地区外，新加坡、丹麦、荷兰、西班牙和俄罗斯等人工智能领域的新兴国家，正在积极制定人工智能国家战略。全球人工智能竞争格局正在不断发生变化。

2019年3月，新加坡政府计划成立跨部门工作组，全面推进新加坡人工智能发展，并把新加坡打造成测试、推行和推广人工智能方案的可信赖国际枢纽。新加坡将积极加强人工智能相关人才储备，推动人工智能教育普及，增强全民计算思维和数据素养，为人工智能驱动型经济打造人力基础。

2019年3月，丹麦政府发布“人工智能国家战略”，旨在使丹麦从人工智能的巨大潜力中获得最大收益。该战略确定了人工智能必须以人为中心的道德基础；推进人工智能技术的研究和开发；企业通过开发和应用人工智能实现增长；公共部门应用人工智能提供世界一流的服务等4个愿景，并提出了发展人工智能的道德原则及措施。

2019年4月，荷兰政府负责人工智能的相关机构AINED制定了荷兰“国家人工智能战略”的初稿。该战略将提供一个具体的行动计划，使人工智能成为国家优先事项。AINED是由荷兰人工智能创新中心、荷兰科学研究中心、荷兰应用科学研究中心与商业集团MKB Nederland、TopTeam ICT共同成立的联合机构，旨在推动人工智能发展，稳固荷兰在人工智能领域的领先地位。

2.2 军事人工智能进步尤为显著

近年来，人工智能之所以取得巨大成功，主要原因在于深度学习算法的提出与实现。该算法自2006年由Jeffery Hinton提出以来，在云计算、大数据和芯片等助力下，已经成功从实验室研究阶段进入到商业应用阶段，并在机器视觉、自然语言处理和机器翻译等领域取得令人瞩目的成绩。2019年，人工智能新算法、新数据集接连出现，推动人工智能应用范围不断延伸。其中，军事人工智能技术发展尤为迅猛，以美国国防高级研究计划局(DARPA)为代表的国防部门积极探索新型人工智能技术。

1. 人工智能新型算法不断涌现，基础数据集加速建设

尽管人工智能技术发展取得前所未有的成功，但深度学习技术还存在较大的局限性，如样本量大、“算法黑箱”和鲁棒性差等。在深度学习应用逐步深入的同时，学术界也在继续探索新算法。一方面，学术界继续深度学习算法的深化和改善研究，如深度强化学习、对抗式生成网络、深度森林、图网络和迁移学习等，以进一步提高深度学习的效率和准确率。2019年5月谷歌提出的新型CNN网络EfficientNet，以及2019年9月国际计算视觉大会上公布的最先进图像去模糊算法DeblurGANv2，均是针对深度学习算法的进一步探索。另一方面，学术界将脑科学、量子信息等领域的最新成果结合到神经网络算法中，形成不同于传统深度学习的新型神经网络技术路线，如胶囊网络等。2019年1月，IBM推出全球首个商用的通用近似量子计算系统里程碑产品IBM Q System One，客户可以通过互联网使用这台量子计算机进行大规模数据计算，为人工智能计算展示了良好的前景。2019年8月，清华大学精密仪器系成功研制出全球首款异构融合类脑芯片“天机芯”。该芯片结合了类脑架

构和高性能算法，具有多个高度可重构的功能性核，可同时支持机器学习算法和现有类脑计算算法。

自李飞飞 2009 年成功创建 ImageNet 数据集以来，该数据集就成为业界图形图像深度学习算法的基础数据集，并通过 ImageNet 大赛的方式极大促进了深度学习算法的进步。ImageNet 数据集的成功，使大型研究机构和企业逐渐认识到数据的价值，纷纷开始建立自己的数据集，以便进行数据挖掘和提升深度学习模型的准确率。例如，2019 年 5 月，百度公布全并行语音合成模型 ParaNet；2019 年 8 月，旷视研究院开源 ShuffleNet 系列算法；2019 年 9 月，微软亚洲研究院提出视觉 - 语言训练模型 VL-BERT。

2. 军事领域人工智能研究加速，有望带来人工智能技术的新突破

自 1960 年代以来，以 DARPA 为代表的国防部门一直在资助人工智能技术发展。在历次人工智能发展浪潮中，DARPA 等国防部门均发挥了关键作用，并一直致力于探索最先进的人工智能技术。近年来，DARPA 意识到人工智能在国防领域的颠覆性价值，持续高额资助人工智能技术研究，以期争夺未来智能军事领域的主导权和优势地位。

2019 年 1 月，DARPA 启动“知识导向的人工智能推理图式”项目。该项目旨在创建基于图式的人工智能功能，以便对复杂的现实世界事件进行语境和时间推理，从而生成对这些事件的可操作理解并预测其发展。同月，DARPA 发布“微尺度仿生鲁棒人工智能网络”项目，试图模仿昆虫大脑，改进现有人工智能系统的神经形态和神经架构依赖数字计算的情况，缩短人工智能训练时间，提高计算效率并降低功耗。2019 年 2 月，DARPA 启动“针对开放世界新奇事物的人工智能和学习科学”项目，开发可适应环境动态变化的人工智能系统。该项目目标是开发科学原理，以量化和表征开放世界的新颖性，创建能对开放世界的新颖性做出反应的人工智能系统，并在国防部选定的领域中进行演示和评估。2019 年 5 月，DARPA 启动“空战演进”项目，旨在将人工智能应用于空战。人工智能空战应用成熟后，可替代飞行员完成部分空战任务，人类飞行员的地位将提升为驾驶舱任务指挥官。

此外，美国海军、陆军及空军等各军种均全面推进人工智能技术研发，目的是争夺未来智能战争的技术优势。例如，2019 年 4 月，美国陆军研究实验室研究如何利用人的大脑活动信号来训练人工智能系统，使其可动态响应士兵需求，并自适应地辅助士兵完成任务，优化人机组队性能；2019 年 5 月，美国海军水面作战中心宣布正在开发“蜂群战术”系统，旨在利用机器学习和人工智能技术为大型战舰制定战术，提高其成功防御小艇集群攻击的能力。以 DARPA 为首的军事部门，全面资助人工智能项目，涉及机器学习、图像识别、语音识别、机器人、指挥与控制、文本分析等诸多领域，已经成为人工智能与其他科学交叉研究的前沿阵地。这些人工智能项目具有高度前瞻性，对人工智能技术的未来发展方向极具指导意义。

2.3 人工智能带来科学研究范式变革

近年来，人工智能在物理、化学和生物医学等领域展现出巨大优势，正在引领基础科研的“后现代化”。在人工智能技术的助力下，科学的研究范式正加速从经验科学的第一范式和理论科学的第二范式，向计算科学的第三范式以及数据密集型科学的第四范式转变。新材料、新药物的研发开始加速百倍、千倍，以往因计算量过于庞大难以实现的物理、化学和生物等基础理论研究成为可能。在此趋势下，人工智能技术开始全面赋能经济、社会各领域，带来生产力和生产效率的极大提升。

1. 科学研究范式迎来变革，人工智能加速各科学领域研究进度

物理、化学和生物医学等基础科学领域的研究，离不开数据的收集、整理和分析，因此科研过程也是一种结构化数据的处理过程。人工智能擅长在这些结构化的大数据中寻找隐藏的“因果关系”，已相继在新材料、新药物研发以及天文物理、核物理等基础理论研究上得到应用。2018年，DeepMind公司推出能够预测蛋白质结构的AlphaFold程序，更是点燃了科研界对人工智能技术的热情。

2019年1月，美国FDNA公司研究人员使用17000多张患者的面部图像训练了一款深度学习算法，能够以较高的准确率识别数百种遗传综合征。各种遗传综合征会表现出独特的面部特征，可帮助临床医生进行诊断。但是，繁多的遗传综合征种类和复制的面部特征对医生的准确识别造成巨大挑战。该项研究成果表明，人工智能有望在临床实践中辅助罕见遗传综合征的优先级划分与诊断。

2019年2月，英国剑桥大学研究人员设计出一种新的机器学习算法来寻找药物，其效率已被证明是目前行业标准的两倍，有助加速新药开发。该算法利用随机矩阵的数学原理，可将与药理学相关的化学模式从不相关的化学模式中分离开来。该算法不仅研究已知具有活性的分子，还可研究无活性的分子，并且可识别分子的哪些部分对于药物作用是重要的，哪些部分是不重要的，使得失败的实验数据也可以得到有效利用。

2. 人工智能全面赋能传统领域，推动生产力和生产效率极大提升

随着深度学习技术的不断成熟与加速应用，人工智能技术正在全面赋能经济、社会各传统领域，应用场景得到极大延伸。人工智能在智慧农业、智慧医疗和智慧城市中的应用，使相关产业的精细化管理成为可能，经济数字化全面加速。例如，2019年4月，美国斯坦福大学团队研发出机器学习系统，利用人工智能对畜牧业养殖设施进行监管，可以比人工调查更高效地发现集中型畜牧设施。美国政府机构当前缺少有关集中型动物养殖场数量、规模或位置的准确数据。斯坦福大学开发的应用已在北卡罗莱纳州发现了589座养殖设施，将帮助人们追踪食品行业的环保违规情况。

此外，人工智能在贫困治理、灾害预测和环境治理等领域潜力巨大，为全球可持续发展、绿色经济发展和贫困消除提供了广阔空间。2019年4月，Facebook利用人工智能和机器学习技术创建出世界上最详细和准确的非洲人口分布图。Facebook使用开源地图项目中的数据训练计算机视觉系统，识别卫星图像中的建筑物，并将其与人口普查数据交叉引用，使分析工作实现自动化。Facebook利用自动化系统分析了115亿张 64×64 像素的图像，成功绘制出全球最详细和准确的非洲人口分布图。2019年9月，韩国全南国立大学研究团队开发出一种能够提前一年半预测厄尔尼诺事件的深度学习模型。该模型利用1871~1973年的历史气候数据，以及厄尔尼诺事件的模拟数据进行训练，并通过1984~2017年的数据进行测试。与现行的气候预测方法相比，该深度学习算法的预测准确性更高，预测时间最多可提前一年半。研究团队还能借助该模型预测某一厄尔尼诺事件是发生于太平洋中部还是东部，并在其发生之前鉴定海面温度变化。

综上，人工智能技术有望极大改善人类生存环境，带来全球经济高质量、快速发展。同时，人工智能在各传统领域的广泛应用，将带来生产力和生产效率的极大提升，加速推动新一轮科技革命到来。

2.4 人工智能安全风险问题突出

尽管深度学习等算法取得了巨大成功，但人工智能技术的局限性和隐藏的社会危机也开始逐渐暴露。一方面，弱人工智能存在鲁棒性差和“算法黑箱”等缺陷，难以在国防、医疗和金融等领域有效释放潜力。另一方面，人工智能应用过程中的算法歧视、数据隐私等问题频频出现，其伦理困境或将引发严重的社会治理危机。在此背景下，人工智能伦理及社会治理问题得到了全球范围的高度重视，鲁棒性和可解释性等成为人工智能技术发展的重点。

1. 人工智能安全风险更加突出，各国政府纷纷加强人工智能治理

自2018年深度伪造视频软件曝光以来，人工智能应用中的性别歧视、种族歧视以及安全问题等事件频频曝光，掀起了全球关于人工智能伦理问题的大讨论。例如，2019年1月，加州大学伯克利分校研究人员对超过1.5万名美国人两年内的健康数据进行了分析，发现智能设备的普及产生了更多个人健康数据，而这些数据面临着被滥用且被公开出售的危险。研究人员建议当局制定新的数据保护法规，强化对个人健康数据的保护力度。

在此背景下，各国政府纷纷出台政策，加强对人工智能技术的治理，相关举措得到了全球范围的广泛共识。2019年2月，欧洲委员会在芬兰赫尔辛基举办的人工智能大会上发表结论性声明称，人工智能必须在充分的监督和控制下发展，要确保其为人类社会谋福利。同时，要加强公众对人工智能潜在风险的认识，需采取有效机制防止出现侵犯人权以及歧视和不平等现象。2019年3月，英国数据伦理中心宣布将与种族差异审计部门合作，审查

人工智能可能在犯罪及司法方面做出的种族歧视性决定。两部门将联合调查在司法、招聘、政府业务和金融服务中使用人工智能算法带来的种族歧视等偏见问题。2019年3月，亚马逊宣布计划未来3年投入约1000万美元，与美国国家科学基金会合作进行人工智能和机器学习的公平性研究。该研究将重点关注人工智能的可解释性、潜在的不利偏见和影响、包容性考量等方面。亚马逊此举旨在促进人工智能开发的同时，最大限度地减少系统偏见，解决人工智能的透明度、责任性和公平性等问题。

2. 鲁棒性和可信赖性成为人工智能技术发展重点

为促进人工智能产业健康发展，有效解决“算法黑箱”、可解释性差等阻碍人工智能广泛应用的关键问题，世界各国致力于发展可信赖人工智能。自2017年DARPA提出“可解释性人工智能”概念以来，鲁棒性和可信赖性已经成为人工智能发展的重点。

2019年1月，DARPA启动“能力感知机器学习”项目，旨在开发能够不断对自身进行动态评估，并将评估结果以便于理解的方式传输给人类的机器学习系统，以在人机之间建立可信赖的协作关系。项目涉及的技术包括机器学习、人工智能、模式识别、知识表示和推理、自主系统建模、人机界面和认知计算等。DARPA认为，不能将对自身能力的认识传达给人类协作伙伴是人机协作效率低下的主要原因。

2019年2月，DARPA启动“确保人工智能对抗欺骗的鲁棒性”项目，以开发抵御欺骗人工智能的技术。该项目的3个主要目标包括：发展具备防御功能的机器学习理论及相关技术；创建和测试具备防御能力的（机器学习）系统；构建测试平台，以表征机器学习的防御能力。DARPA认为，防止特定、预定义的敌对攻击是当前抵御对机器学习模型开展敌对欺骗攻击的主要方式，测试时发现这些方式仍然容易受到超出其设计参数范围的攻击。

2019年7月，欧盟发布《可信赖人工智能的政策与投资建议》，向欧盟及其成员国提出33条相关建议，旨在保证人类权力、利益和安全的同时，实现可信赖人工智能的可持续性、增长性、竞争性以及包容性。该文件是人工智能高级专家组负责起草的两项交付成果之一，将结合2019年4月发布的《可信赖人工智能道德准则》，共同支持欧盟建设以人为本的可信赖人工智能。

三、航空领域

当前，世界新军事革命加速发展，新技术与新装备不断涌现，军队体制编制深入调整，新作战样式和战法不断生成，对军用航空装备技术发展提出严峻挑战。高超声速技术、新一代战斗机和无人作战平台等新航空技术装备已成为未来军事能力发展的重点领域，将为新型作战模式提供重要支撑。在此背景下，世界主要航空大国不断增加对新技术研发的投入力度，不断推进新型作战平台建设和军队转型，以维持空中优势，保卫国家安全。

3.1 数字化成为航空领域的重要发展方向

数字化成为当前航空领域发展的重要方向，航空数字化技术的应用将直接关系到航空事业的发展前景。随着战争向智能化、信息化方向发展，大国空军建设将不断向数字化转型，以应对未来复杂多变的战场环境。

1. 美空军推出“数字空军”计划

2019年7月，美空军代理部长马修·多诺万正式签发《数字空军》白皮书。文件指出，为取得竞争优势，威慑并致胜强大对手，美空军正通过部署先进的信息技术基础设施，打造一支“数字空军”，以响应现代作战需求。该文件旨在变革美空军数据管理、信息技术架构和业务运营方式，并将利用互联的武器、传感器和分析工具使作战部队保持竞争优势。文件强调，数据融合和快速决策能力将是美空军未来战斗力的关键依托，其将通过三大举措建设“数字空军”：一是建设能响应现代作战需求的信息技术基础设施，支撑跨域、多域条件下数据及信息的组织、使用和共享，确保数据易懂、互联及可信，方便作战人员在特定地点和时间持续访问；二是发展数据赋能的人工智能和机器学习能力，继续缩短决策周期，减少决策者对经验或直觉的依赖，更好地支持平台和人员；三是广泛应用成熟的商用解决方案，创建数据管理架构和标准化政策，提升管理效率和效果，使人员专注技术创新和任务支援。美空军代理部长表示，未来战争中需要处理大量数据并加快决策周期，这要求美空军减少对个人经验和直觉的依赖并建立可实时生成信息和数据的工具，辅助其做出明智、迅速的决策。

2. 英国BAE系统公司为英国皇家空军开发“权杖”数字化任务规划系统

2019年8月，英国BAE系统公司将为英国皇家空军开发“权杖”数字化任务规划系统。该系统可将驾驶舱三维视野、潜在危险监测等大量命令与控制信息以简洁、准确及清晰的形式传输给飞行员，以提高飞行员态势感知能力，并为其制定更为合理的战术计划，从而提高任务成功率。据悉，“权杖”系统将应用于英国皇家空军“台风”战斗机。

3. 俄罗斯推进航空制造业数字化转型

俄罗斯总统普京曾在国情咨文中提出，通过立法消除数字化技术应用障碍是短期内推动技术革新的重要手段。在工业领域广泛地应用数字化技术有助于工业4.0推进、多样化经济变革和出口能力发展。在航空制造领域，数字化技术可以用于新产品快速设计、制造、市场投放以及全寿命跟踪。当前，俄罗斯联合飞机制造集团、联合发动机制造集团和俄罗斯电子集团等大型航空相关企业都开始研究并引入各类数字化技术，积极促进设计、制造和服务系统向智能数字化模式转变。其中，俄罗斯联合飞机制造集团下属的图波列夫公司引进了大量新型计算装备，包括超级计算工具，实现了无纸化设计，通过虚拟现实、3D技术等应用大幅提高了复杂零部件的设计效率，并已初步具备飞机设计、生产和售后服务的

统一信息环境。这是俄罗斯航空制造业首次建立全生命周期的统一信息环境。此外，俄罗斯通过数字孪生技术完成包括苏-35S、第五代战斗机苏-57、雅克-130军用教练机及中短程干线飞机MS-21在内的新型飞机及其部件的虚拟测试，提高了生产效率，降低了生产成本。

4. 法国空客公司推进航空工业数字化进程

2019年2月，法国空客公司和达索系统公司签署的一份为期5年的战略合作协议备忘录指出，双方将合作开展3D设计、工程、制造、仿真和智能应用等项目，使空客公司在欧盟推进航空工业数字化过程中发挥重要作用。通过建立战略合作伙伴关系，空客公司将有效利用达索系统公司的3D平台，保持从设计到运营过程数字化的连续性，使空客公司从为单一用户提供单一数据模型，转化到整个公司所有部门和生产线实现数字化设计、制造和服务(DDMS)。空客公司商用飞机总裁傅里表示，DDMS将简化设计流程，缩短产品研发时间，提高设计效率，并为空客构建与当前技术发展相匹配的航空工业新模型。达索系统公司表示，3D平台将为空客公司提供全新的生产模式，并将加速空客公司数字化进程。

3.2 无人机技术发展迅猛，将颠覆未来空战模式

未来，智能无人系统的发展将引领军事领域的重大变革，甚至改变战争形态。无人机以其体积小、重量轻、机动性强和隐身性好等特点，成为收集战场信息和军事打击的新兴手段和工具，可方便快速地获取战场态势，极大弥补了传统作战方式和侦察手段的短板和不足。目前，无人机已普遍装备于各国军队，并已应用于局部战争和武装冲突中。

1. 美空军“女武神”无人机完成首飞

2019年3月，美空军研究实验室宣布，XQ-58A“女武神”隐身无人战机完成首飞。该机是一种远程高亚声速战斗无人机，具备高隐身、低成本及长续航等特点。该机翼展8.2米，机体长9.1米，可携带272千克武器，其最大航程超过3941千米，是MQ-9“死神”无人机的两倍。该机价格约为F-35战斗机的1/30。XQ-58A无人机可执行侦察监视、电子对抗等任务，可作为F-35等作战飞机的“忠诚僚机”，并可充当诱饵，吸引敌方防空系统火力或使敌方隐身战机暴露位置，提升战斗机群和轰炸机群的作战能力。XQ-58A将极大提升美国现有战斗机的综合作战能力，或将颠覆现有空战方式。

2. 美海军MQ-8C无人直升机具备初始作战能力

2019年7月，美海军表示，诺格公司的MQ-8C“火力侦察兵”无人直升机已可启动舰队作战和训练任务，标志着该机已具备初始作战能力。据悉，MQ-8C无人机以商用贝尔407直升机为基础改装而成，载荷318千克，航程278千米，续航达12小时。此外，该机还将装备意大利莱昂纳多公司Osprey 30轻型有源电子扫描阵列雷达。与MQ-8B无人机上装备的雷达相比，该雷达具有更大的探测范围。预计，该机将于2021财年部署到美海军濒海战舰，

以开展监视、侦察以及精确定位等任务。

3. 美国 DARPA 完成“进攻性蜂群战术”项目的城市环境实验

2019 年 8 月，DARPA 宣布其“进攻性蜂群战术”项目完成了第二次城市环境外场实验。实验中，人机编队在两个城区的复杂场景中执行验证任务，完成了由人、地面机器人和无人机组成的自主编队定位任务，以及模拟在市政厅中执行目标定位、目标保护的任务。DARPA 计划通过不断的实验加深对于城市作战环境的理解，及时跟进蜂群前沿技术，并提升自身现有能力，使“进攻性蜂群战术”项目不断适应未来战场需求。

4. 俄罗斯首款重型攻击无人机“猎人”首飞成功

2019 年 8 月，俄罗斯首款重型长航时攻击无人机“猎人”成功完成首次飞行。在此次飞行中，“猎人”无人机共飞行约 20 分钟。俄国防部称，该无人机配备了多用途主动相控阵雷达，可跟踪数十个空中、海上和地面对标，并能对跟踪目标进行打击。同时，该无人机使用了特殊材料和涂层，可躲避雷达探测，具备良好的隐身性能。目前，俄罗斯正在为该无人机研制多种空对空和空对地弹药，并计划于 2020 年为其装配弹药。据悉，该无人机或将成为俄罗斯第六代战机的原型机。

3.3 高超声速武器技术成为航空关键技术

高超声速是指 5 倍声速以上的飞行速度。由于速度极快，高超声速武器可轻易突破现有的防御体系，已被各发达国家视为继核武器后又一项颠覆性技术。为夺取技术优势，美、俄等国在高超攻防领域展开了新一轮技术竞争。

1. 美国大幅增加对高超声速武器的研发投资

美国防部研究与工程副部长办公室高超声速项目助理主任迈克·怀特公开表示，国防部计划未来 5 年（2020~2024 财年）在高超声速领域投入 105 亿美元，以在未来 10 年部署空、海、陆基多型高超声速导弹武器，并确立美国在高超声速领域的主导地位。

2019 年 3 月，美国防部各军种和直属机构在官方网站陆续公布了 2020 财年国防预算申请文件。美国防部公布的 2020 财年预算申请概要文件明确指出，美军 2020 财年在高超声速领域（含反高超）申请的科研经费预算总额高达 26 亿美元，同比增长 94%，创下近十年来的历史新高。其中，美国空军申请 5.76 亿美元用于高超声速原型的设计制造。这充分说明了美国对于发展高超声速武器的重视程度。

2. 美国加快高超声速武器研发进度

美国防部技术和制造工业基础办公室宣布将出台高超声速工业基础战略，以保障美国国防工业具备生产高超声速武器的能力。该战略旨在分析美国在量产高超声速武器过程中

面临的挑战，并将指导政府对高超声速工业进行精准投资，以保障高超声速武器的顺利生产。目前，国防承包管理局的分析小组正在检查工业基地生产高超声速武器的能力，以确定潜在的薄弱环节。其中，分析小组在检查中的关注重点包括产能、制造、技术成果转化、工业基础瓶颈、技术劳动力、生产材料、研发支持、投资需求和原型设计等情况。

2019年8月，美国陆军分别授予美国动力技术系统公司和洛马公司价值3.52亿美元和3.47亿美元的合同，以制造第一套“通用型高超声速滑翔体”和完成对陆军“远程高超声速武器”项目陆基武器原型系统的开发和集成工作。“远程高超声速武器”项目开发的新型高超声速地面机动导弹，旨在突破敌方防空系统。该导弹计划于2020年进行飞行试验，并在2023财年投入使用。这两项合同的签订标志着陆军高超声速技术迈出了从实验室向武器化生产的重要一步。

此外，DARPA计划2020年初利用B-52轰炸机对战术助推滑翔武器和高超声速吸气式武器概念进行飞行测试。同时，DARPA还将与美陆军在作战火力项目上开展合作，以使战术助推滑翔武器具备地面发射能力。

3. 美国探索多种高超声速武器防御能力

2019年1月，美国在新版《导弹防御评估》报告中提出将整合防空和导弹防御能力，提高对高超声速武器的防御能力。同月，美国导弹防御局向国会申请1.05亿美元，开发针对高超声速和弹道导弹进行跟踪的空间传感器。美导弹防御局指出，俄罗斯正在开发先进的高超导弹，这将对美国防御能力构成挑战。而空间传感器可从太空进行大范围侦察和监视，将大幅提升美国对高超声速武器等威胁目标的探测能力。目前，美导弹防御局已经与美国洛马、雷神和波音3家武器制造商签订了先期研发合同，以研发新型拦截器、多级推进发动机、传感器和指令控制系统等，从而为开发新型高超拦截系统提供技术支持。与此同时，美导弹防御局也试图改进现有装备，包括战区高空防御系统，以作为新型高超拦截系统的临时防御措施。此外，美导弹防御局还在探索高功率微波武器、定向能武器、电磁轨道炮等动能及非动能武器，以丰富拦截高超武器的手段。

目前，美国为加强对高超声速武器的拦截能力，已与日本政府开始谈判，拟在日本部署新型国土防御雷达。该雷达具备自主获取、跟踪和识别来袭弹道导弹的能力，可有效对抗敌方先进导弹武器系统。未来，该雷达将成为美国弹道导弹防御系统的关键组成部分，并将大幅提升陆基中段防御系统的防御能力。

4. 俄罗斯加速高超声速武器列装进程

2019年5月，俄罗斯战略火箭军司令卡拉卡耶夫称，战略火箭军已开始列装“先锋”高超声速导弹，“先锋”导弹团的基地部署于奥伦堡州。对此，俄罗斯总统普京表示，“先锋”高超声速导弹是俄方针对美国导弹防御系统所采取的不对称回应。俄罗斯于2018年3月宣

布“匕首”高超声速导弹正式进入战斗值班状态，标志着俄罗斯在高超声速领域已从技术研究阶段转入了实战装备阶段。目前，俄罗斯是世界上唯一一个列装高超声速武器的国家。未来，俄罗斯“先锋”导弹完成列装将进一步提升其战略威慑力。

5. 俄罗斯推进多款高超声速武器研制和升级进程

2019年1月，俄国防部宣布将为22800型“卡拉库尔特”级轻型护卫舰和21631型“暴徒-M”级轻型护卫舰研制小型“锆石”高超声速反舰巡航导弹。配装高超反舰导弹的轻型护卫舰和潜艇将主要用于伏击对手，拒止对方攻击集群接近俄罗斯海岸。该导弹列装后将有望改变俄罗斯海军的战术战法。

2019年3月，俄罗斯和印度合资的布拉莫斯公司俄方负责人亚历山大·马克西夫透露，公司将把“布拉莫斯”巡航导弹升级为速度可达5马赫的高超声速导弹。预计，该型导弹的升级研制和测试工作将于2024年前完成。

2019年5月，俄罗斯战术导弹公司机械制造研究和生产协会透露，俄武器部队的“宝石”超声速巡航导弹将通过增大射程和提高速度升级为高超声速导弹。机械制造研究和生产协会是“宝石”超声速反舰导弹的研制单位，也是“锆石”高超声速导弹的主要承包商。目前，该协会正在从导弹使用场景和发射平台类型等角度开展评估，以使该型导弹具备通用性。

6. 法国开展高超声速武器研究工作

2019年1月，法国防部长弗洛伦斯·帕利表示，目前已经有许多国家开展高超声速武器研制工作，而法国具备研发该武器的所有基础技术，因此法国应及时开展相关研发工作。目前，法国防部已与法国亚利安集团签订一份关于研发高超声速滑翔技术验证机的合同，并计划于2021年年底进行首次飞行试验。法国高超声速滑翔技术验证机项目名为V-max，长约2米，将具备高机动性。帕利认为，V-max项目将在许多领域实现重大技术突破。

3.4 战机技术不断发展和升级

占据制空权是现代战争的一个至关重要因素，也是决定战争胜利与否的关键。战斗机在夺取制空权的战斗中起着决定性作用，自组建空军以来就受到各国军队的高度重视。为夺取未来空中战略优势，航空强国不断对现役战机开展升级工作，并加强对新型作战飞机的研发力度。

1. 美国继续完善F-35战机技术能力

2019年2月，美海军与美海军陆战队联合宣布F-35C具备初始作战能力，首批F-35C将部署在卡尔·文森号航母上，并将于2021年进入西太平洋地区执勤。这标志着美海军正式进入舰载五代机时代。美国海军航空兵司令米勒中将表示，F-35C联合攻击机已具备行动、

作战以及取胜能力，将大幅提升航母打击群的作战能力。

2019年8月，美国F-35战斗机在“橙色旗帜评估”演习期间首次成功演示了与美陆军“一体化防空反导作战指挥系统”（IBCS）数据通信能力。在演示中，F-35战斗机通过IBCS系统适应套件和空军地面站将机载传感器跟踪数据传送到美陆军IBCS系统中，成功演示了F-35战斗机作为远程空中传感器向IBCS系统传送视距外威胁探测跟踪数据的能力。据悉，IBCS系统计划于2022年正式服役，将扩大美军防空反导作战空间和范围，提升美军应对来袭作战飞机和低空巡航导弹的能力。

2019年8月，美国BAE系统公司获得洛马公司Block 4现代化合同，将为F-35战斗机升级电子战攻防系统。根据该合同，BAE公司将对F-35的AN/ASQ-239电子战/对抗系统进行现代化升级，使其可应对新威胁，并使美国和盟国作战人员能够在作战空域安全地执行任务。据悉，Block 4是一项为期多年的设计和研发项目，将为F-35的电子战系统增加11项新功能。

2019年8月，美国立方体公司表示正在为洛马公司的F-35战斗机研制一种视频数据链。该数据链将使地面部队通过联合终端攻击控制器获得全动态视频，从而提高地面部队的态势感知和目标定位能力，并减少地面部队的友军伤害和其他附带伤害。同时，该数据链将显著提高F-35的作战能力，并将影响该机后续的现代化发展。

2. 俄罗斯开展对苏-57和苏-35战机的装配和采购工作

为满足未来作战需求，俄罗斯国防部将并行采购苏-35和苏-57战斗机。俄罗斯表示，苏-57未来将配装一系列第六代战斗机的系统，具备人工智能、高超声速武器等先进技术，这将导致苏-57的生产和使用成本大幅上升，未来10年内产量较少，不能满足俄空天军作战需求。因此，苏-35将是俄空天部队的主力战机。此外，苏-35和苏-57在联合执行战斗任务时可以有效地相互补充，提升综合空战能力。目前，俄罗斯已开始生产首架量产型苏-57战斗机。按计划，俄罗斯空军将批量采购苏-57战机，并将其装备于3个飞机联队。俄总统普京表示，根据修订的《2018~2025年国家武器装备发展规划》，将苏-57的采购数量从16架增加到76架。

3. 欧洲启动新一轮战斗机改进计划

2019年6月，欧洲战斗机公司、欧洲喷气发动机公司和北约欧洲战斗机狂风战斗机管理局共同签署了一项价值5370万欧元的合同，以支持欧洲战斗机“台风”的长期发展，进一步释放其作战潜力。合同涉及对飞机和发动机的改进主要包括：任务系统架构、Praetorian防御辅助子系统、作战灵活性以及发动机性能。该计划将帮助欧洲提升战机的综合作战能力，以保持欧洲在航空领域的领先优势。

4. 法国启动 F4 标准型“阵风”战机研制工作

2019 年 1 月，法国国防部授予法国达索公司 F4 标准型“阵风”战机研制合同，标志着标准型“阵风”战机项目正式启动。达索公司将优化“阵风”战机在网络战斗中的有效性，并将装备新型武器，升级雷达传感器、前扇区光学系统以及头盔显示器等，以提升飞机性能。预计，F4 标准型将于 2024 年完成鉴定。

5. 日本将研发新型 F-3 隐身战斗机

2019 年 2 月，日本防卫省决定研发和生产新型 F-3 隐身战斗机，并考虑与 BAE 系统、洛马、波音和诺格等公司进行合作。9 月，日本政府正式将 F-3 战斗机的开发费用列入 2020 财年防卫预算中。该机研发总费用约为 997 亿元人民币，技术来源于日本，不采用 F-22 战斗机和 F-35 战斗机的设计，且其隐身性能或将优于 F-22 和 F-35 战机。按计划，F-3 战斗机的整体设计与开发研制工作将由日本三菱重工负责，计划于 2019~2021 年全面展开。F-3 战斗机作为日本第一款国产下一代隐身战斗机，具备隐身性好、航程长等优点，将用于替代 F-2 战斗机。如果研制顺利，F-3 战机将于 2025~2026 年前完成首飞，2030 年前后装备日本航空自卫队。

四、航天领域

随着世界主要航天国家在轨资产数量的不断增加，各国对太空系统的依赖性愈发明显。在未来战争向智能化、网络化和数字化方向发展过程中，太空系统将成为重要的支援保障系统。与此同时，各国为争夺太空战略优势，正在研制、开发和部署太空武器系统，推进太空系统攻防能力建设，加速太空军事化、武器化进程，未来太空领域或将成为新的战场空间。在此背景下，尽早谋划国家太空战略，加强太空科技能力建设，成为航天大国的主要着眼点和发力点。

4.1 世界主要国家增强军事航天能力

1. 美国加快推进军事航天能力建设

在“美国优先”战略指引下，美国正全面提升军事能力，以维持绝对优势地位。而在中、俄等国航天能力不断发展背景下，美国认为其航天系统受到威胁，因此正在加快提升军事航天能力建设，以重新夺取太空领域的主导权。美国在发布的新版《太空行动》条令中将太空列为作战域，表明其已深刻意识到太空在未来战略竞争中的重要地位。美国将推动太空作战深度融入联合作战，强化太空军事能力，全力备战太空。

2019 年 2 月，美国总统特朗普签署“4 号航天指令”，要求美国防部起草法案组建天军。根据指令，天军成立之初将隶属于美空军，并确定为美国第六军种。该指令明确了美天军职能、组织领导及人员基本构成，确定了天军与航天司令部及情报部门的关系，并要求国

家航天委员会与国家安全委员会开展相关权限调整工作。“4号航天指令”的出台，表明美天军的正式确立，这是美国太空军事力量改革的重大事件。指令明确指出天军建设的主旨是要应对未来战争中的太空挑战，并确保美国的“太空自由”。同时，指令还规定天军的职能应包括作战和作战支援，可实现迅速和持续的进攻性和防御性太空行动，以及全域的联合作战能力。未来，美国天军将采取“渐进成军”的发展方式，并将逐步优化太空作战指控流程，帮助美国重新夺取太空绝对控制权。

2019年8月，美国总统特朗普和副总统彭斯在白宫主持了美国太空司令部启动仪式。该司令部是美军第11个作战司令部，其职责是威慑冲突、保护太空行动自由、整合太空联合部队和强化与战斗有关的太空能力，包括卫星通信、导航、导弹预警、环境监测以及军事情报、监视与侦察等能力。在美国太空军组建处于审批阶段的情况下，美国太空司令部的建立被视为组建太空军的先导举措。

2. 俄罗斯积极提升航天能力

在与美国开展长期战略竞争过程中，俄罗斯采用非对称发展战略，应对美国的挑战。目前，受经济增长停滞影响，俄罗斯军费预算大幅下降，导致其武器研发和部署进度明显放缓。但是，俄罗斯依然依托其雄厚的航天科技实力，努力提升航天能力，保持其太空优势。

2019年4月，俄罗斯总统普京在俄联邦安全委员会会议上要求深化太空领域工作，完善管理模式。普京强调在太空领域占据领先地位对于推动国家发展，保障国家安全、技术和经济竞争力的重要性，要求政府及相关部门应尽可能地利用现有竞争优势。同时，普京还要求未来关于太空领域的国家政策应契合时代精神，结合当前世界发展趋势做出相应的增补和修订。

2019年3月，俄罗斯联邦航天局表示，计划研制由核反应堆提供动力的航天飞机。俄罗斯联邦航天局认为，以火箭发动机为动力的“太空二号飞船”只能用于亚轨道飞行，但此类飞船配备核动力后也能执行航天任务。俄罗斯曾制造出“暴风雪”号航天飞机，利用积累的经验可以设计出以核反应堆为动力的飞机。目前，俄罗斯正在研制由兆瓦级核反应堆提供动力的核动力火箭。

2019年4月，俄罗斯航天国家集团公司透露，由600多颗卫星组成的“球体”轨道星座将于2023~2028年内完成部署。据悉，“球体”项目将包括格洛纳斯卫星导航系统、地球遥感系统、“快车-RV”与“信使”卫星通信系统、“波束”中继卫星系统、“马拉松”全球物联网系统以及“赛艇”宽带接入系统。目前，俄罗斯航天国家集团公司已拟制完成“球体”国家专项计划构想，正在向相关联邦执行机关征询意见。

2019年9月，俄罗斯宣布开始制造全球推力最大的新型液体火箭发动机RD-171MV。该发动机重10.3吨，推力超过800吨，运转时可产生2700万千瓦的热功率。该发动机计划

于 2019 年底进行点火试验，2021 年开展首次飞行试验，2022 年正式发射。

3. 法国寻求独立航天能力

2019 年，法国开始在航天领域发力，宣布成立太空司令部，并计划研发反卫星武器和小型监控卫星。这些举措旨在加强对本国太空系统的保护能力，确保其在太空领域的竞争力，并强化战略自主目标。

2019 年 7 月，法国总统马克龙宣布，为确保太空实力的建设和发展，将在空军内部成立太空军事指挥部。9 月，法国武装部部长签署法令，在空军内成立太空司令部。该司令部是一个联合部队组织，接受法国武装部参谋长的指令，负责法国太空军事政策的制定与实施以及执行太空作战等任务。该司令部总部设在图卢兹，由来自联合太空司令部、太空作战军事监视中心及军事卫星观测中心等机构的 220 人组成。法国成立太空司令部，除了有争夺“太空权”的内在需要，也有推动欧洲打造自身独立防务能力的外在动力。在大国对抗氛围渐浓，美国对欧政策强调“美国优先”的背景下，欧洲国家意识到构建独力防务能力已成为当务之急，而法国成立太空司令部的举措或将是欧洲追求独立防务能力的重要一步。

2019 年 7 月，法国在新版《太空防御战略》中提出，将研发反卫星激光武器用于太空防御。法国国防部长弗洛伦斯·帕利表示，法国在定向能武器领域已经落后于其他国家，此次研发激光武器旨在应对其他国家在太空领域对法国造成的威胁。帕利强调，如果法国在太空领域受到威胁，会使用该武器进行反击。同月，法国宣布计划于 2023 年开始发射小型监控卫星，以加强对本国卫星的保护。帕利表示，俄罗斯卫星曾在 2018 年试图拦截法国与意大利军队间的通信传输信号，该行为使法国意识到应加强太空防御能力。同时，帕利表示，法国计划发射监控卫星与建立太空指挥部的行动均旨在提高本国太空防御能力而非攻击能力，与各国间太空军备竞赛无关。

4. 日本强化同盟关系，加快太空军事化进程

自 2018 年以来，日本在国家和防卫力量建设层面都提出一系列发展规划与计划，相关内容充分体现日本谋求成为太空军事大国、强国的野心。当前，日本正在通过强化日美同盟关系，获取、共享先进太空技术，加速提升其太空综合能力，夺取太空竞争优势。

2019 年 1 月，日本政府开始着手研究新版美日共同作战计划，把陆、海、空以及太空、网络空间和电磁空间等 6 个作战域均纳入新的作战计划范围。其中，在太空领域的共同作战计划中，日本将把攻击人造卫星列为破坏行为。此举表明，日本已经将太空视为与常规作战域同等重要的领域，也体现出日本正在加速推进太空军事化进程。

2019 年 4 月，美日两国政府决定于 2023 年起，将日本和美国太空感知系统相连接，实现共享他国卫星和太空垃圾等信息，并拟构筑联合防御机制，以应对他国卫星攻击等威胁。

2019年8月，日本防卫省公布的2020年度预算草案显示，日本将于2020年设立“宇宙作战队”。该作战队将由70人组成，主要任务是对太空进行实时监控和开发新型太空光学望远镜，并将通过聘请美太空军指导教官和向其派遣自卫队员，学习太空领域经验。同时，作战队还将监控对日本军、民用卫星构成威胁的太空垃圾以及其他国家的卫星动向，相关监控系统会与美军互联。“宇宙作战队”的设立将进一步加强日本与美国在太空军事方面的合作，巩固太空联盟。未来，美日太空合作的进一步深化或将加剧亚洲地区的太空战略竞争，并将对亚洲乃至全球太空安全构成新的挑战。

5. 印度全面推进航天能力建设

2019年以来，印度在抢占太空领域制高点方面动作频频，进行反卫星试验，宣布组建国防太空署以总揽全国太空事务，批准成立国防太空研究机构以承担太空技术开发任务，举行首次太空军事演习等等。这一系列动作表明印度正在大力发展战略科技能力，追求成为航天大国。

2019年3月，印度总理莫迪宣布，印度完成了反卫星武器试验，成功击落了一颗高度在300千米的低轨卫星。此次试验标志着印度成为继美、俄、中外，第四个掌握反卫星技术的国家。

2019年4月，印度宣布组建国防太空署，负责统一调度、指挥原本分散于政府和军队系统内的太空部门和资产。先前各自为战的国防图像处理与分析中心、国防卫星控制中心和分属陆、海、空军的太空部门和资产（包括反卫星能力）全部合并，统一接受国防太空署领导。

2019年6月，印度总理莫迪正式批准成立国防太空研究机构。该机构的相关方案已获得印度内阁安全委员会的审议通过，其宗旨是增强印度武装部队的太空作战能力，并为其研发复杂的武器系统和先进的太空技术。该机构将暂时由一名联席部长级科学家领导组建工作，其团队成员将与各军种的参谋人员保持密切沟通和协调，并将逐步集中印度三军现有的太空能力。

2019年7月25~26日，印度军队举行了名为“IndSpaceEx”的首次太空军事演习。此次演习由印度三军综合防务参谋部组织，各军种均有参加，目的是评估其必要的太空作战和反太空战能力，以捍卫国家在太空领域的安全利益。三军参谋部在演习后还制定了“未来战争”联合太空学说，以指导印度未来太空能力建设。

4.2 可重复使用成为颠覆性航天技术

随着国际航天技术的不断发展，全球发射需求逐年增加，如何在保证发射安全的前提下，降低发射成本成为各国关注的焦点与技术突破方向。可重复使用运载器具有快速、廉价的特性和潜在的军事应用价值，属于颠覆性航天技术，对全球航天产业发展具有重要影响。因此，

航天大国为降低发射成本，增加发射频次，已将可重复使用技术视为夺取未来太空优势的重点技术之一。

1. 美国 SpaceX 公司“猎鹰重型”火箭完成首次商业发射

2019年4月，美国SpaceX公司的BLOCK 5型“猎鹰重型”火箭成功将一颗通信卫星送入同步转移轨道，同时实现两枚助推火箭和芯级火箭的回收。此次发射是“猎鹰重型”火箭继2018年2月首飞之后的第二次发射，同时也是该型火箭的首次商业发射。与2018年2月首次发射相比，此次BLOCK 5型“猎鹰重型”火箭的推力提高10%，达2550吨。“猎鹰重型”火箭首次商业发射的成功将为其未来承担美国国家安全发射任务铺平道路。SpaceX首席执行官马斯克曾表示，“猎鹰重型”火箭的上面级可将载荷直接送入地球同步轨道，可用于发射空军和国家侦察局的秘密载荷。前国防部负责采购、技术和后勤的副部长约翰·杨认为，“猎鹰重型”火箭具备改变游戏规则的能力，其运载能力是“德尔塔4”火箭的两倍，但成本只有后者1/4甚至1/10。未来，随着美国宣布将登月任务提前到2024年，“猎鹰重型”火箭或将成为其实现“重返月球”目标的首选航天发射器。

2. 美空军 X-37B 无人空天飞机刷新在轨时间纪录

2019年8月，美空军X-37B无人空天飞机在其第五次轨道试验任务(OTV-5)中已在轨运行717天20小时42分钟，刷新了此前OTV-4创造的纪录。该机从2010年至今执行了5次保密任务，且任务持续时间在不断延长。关于X-37B飞行器用途，美军方只给出两个大致方向：一是验证飞行器系统进入太空、在轨工作和部分机动等能力；二是验证相关设备器材在太空中的工作状态，并获取这些设备器材的工作数据。目前，X-37B是全球最先进的可在轨机动执行军事任务的飞行器，但其具体能力仍高度保密，因此该航天器或将成为美国在太空有力的威慑武器之一。

3. 美国火箭实验室公司宣布将研发空中回收火箭技术

2019年8月，美国火箭实验室公司宣布，将开展“电子”火箭第一级部分空中回收试验，以实现火箭的重复利用。据悉，火箭实验室公司将通过装配“天钩”装置的直升机在空中回收配有降落伞的“电子”火箭第一级部分。公司首席执行官贝克表示，如果相关试验成功，将可大幅增加公司发射频度。目前，该公司已开始为“电子”第一级加装仪器和进行相关改造，以使其能承受住返回大气层时的超高温度。贝克表示，这项工作的目的并不是降低发射价格，而是在无需对工厂进行扩建的情况下提高发射频度。美国火箭实验室公司希望未来能为市场提供一周发射一枚火箭的能力。

4. 欧洲阿丽亚娜集团与法国国家空间研究中心合作开展“忒弥斯示威者”计划

2019年2月，欧洲火箭制造商阿丽亚娜集团和法国国家空间研究中心共同宣布，将开展“忒弥斯示威者”计划，打造一款三引擎、可回收的一级火箭。阿丽亚娜集团称，在新

太空时代激烈竞争背景下，公司将加快基础创新，支持中等规模的公司和初创企业，并将降低成本作为首要任务。据悉，该火箭将使用普罗米修斯引擎，以实现重复使用和降低制造成本的目标。普罗米修斯引擎作为一款液氧甲烷发动机，不仅可以实现重复使用，而且制造成本或将低至 100 万美元。预计，该火箭将于 2028~2030 年完成制造。

5. 德国启动复用火箭论证工作

2019 年 3 月，德国宇航中心启动“空中运载器第一级捕获编队飞行验证”项目论证工作，以研究一种可重复使用运载器方案。该回收方案拟在一级助推器下降飞行过程中由飞机捕获并拖回地面。德国宇航中心项目主管西佩尔表示，SpaceX 公司“猎鹰 9”火箭采用着陆回收方式，这将消耗大量燃料，但如能利用飞机在空中回收助推器，将节省大量燃料，可使助推器将更多的燃料用于运送有效载荷入轨执行任务。目前，欧盟委员会为该项目提供了 260 万欧元，以支持开展相关研究。预计，该技术到 2028 年将能达到 6 级的技术成熟度，或将在 2035 年应用于下一代可重复使用一级助推器上。

4.3 低轨通信卫星星座成为重要方向

随着航天技术的不断发展，人们对于小卫星技术的研究也更加深入，而小卫星技术的发展方向也朝着小型化、轻量化迈进，并在低轨通信领域中发挥重要作用。地面通信网络受环境条件限制很难做到全面覆盖，这导致农村和偏远山区等欠发达地区无法享受优质的网络服务。而低轨通信卫星的建立将可实现对全球网络的连续覆盖，并将为构建天地一体化信息网络提供重要支持。同时，低轨卫星通信将是海上、极地和荒漠等偏远地区优质的通信选择。因此，各国政府和企业均在大力发展低轨卫星星座，以为用户提供优质、高效的全球宽带互联网接入服务。

1. 美国 SpaceX 公司的“星链”星座即将开始提供太空互联网服务

2019 年 5 月，美国 SpaceX 公司利用“猎鹰 9-1.2”型运载火箭成功发射了 60 颗“星链”低轨宽带星座卫星。本次发射的 60 颗试验卫星采用批量生产，每颗卫星搭载了太阳能电池阵列、高通量天线、霍尔推力器、恒星敏感器和自主避撞系统，但没有搭载星间链路载荷，因此星间通信需要通过地面站连接。与传统卫星相比，此次发射的“星链”试验卫星在推力器、自主避撞和部署方式等方面均采取了独特设计。“星链”计划拟向近地轨道共发射 11927 颗卫星，最终目标是向全球终端用户提供低延迟、高带宽的网络宽带服务。未来，SpaceX 预计将再进行 20 余次发射，完成约 1500 颗卫星的部署。届时，“星链”网络将可覆盖地球上所有人口稠密的地区。“星链”星座的出现将打破地面通信的局域网、城域网和主干网等惯有模式，并将与地面互联网形成互补，为人们创建高效、便捷的网络环境。

2. 美国“下一代铱”星座完成部署

2019年1月，美国SpaceX公司利用“猎鹰9”火箭成功发射铱通信公司的10颗“下一代铱”低轨通信卫星。此次发射标志着“下一代铱”星座完成全部部署工作，并使该星座成为全球首个完成组网的低轨通信星座。铱通信公司共从欧洲泰雷兹·阿莱尼亚空间公司订购了81颗“下一代铱”卫星，其中75颗用于组网（66颗工作星，9颗在轨备份）。这些卫星每颗重860千克，被部署到距地780千米的工作轨道，用于接替1997~2002年间发射的第一代卫星。该星座能够利用48个波束的相控阵天线开展L波段语音和数据通信。该星座将可面向舰船、飞机和其他移动用户提供通信服务，其能为客户带来高达1.4兆比/秒的L波段连通能力，远高于上一代卫星所能达到的128千比/秒。未来，该星座将可提供优质的低轨互联网通信服务。

3. 英国为一网公司的“日出”计划资助1800万英镑

2019年2月，英国航天局宣布通过其欧空局成员资格为一网公司的“日出”计划资助1800万英镑。“日出”计划将重点发展下一代卫星有效载荷、地面连接和空间碎片清除技术，旨在组建由600~900颗卫星构成的星座。同时，该公司还将开发自动化和人工智能技术来管理卫星阵列及其与地面网络的交互，以便为客户提供5G连接。一网公司希望利用上百颗卫星为全球提供无缝、低延迟的通信服务。星座建成后，可利用Ku波段有效载荷以至少8吉比特/秒的速度传送数据，将大幅提高数据传输效率。

4. 美国亚马逊拟组建宽带互联网星座

2019年4月，美国亚马逊公司宣布，其已向国际频谱监管机构提出频谱使用权申请，拟建设由3236颗卫星组网的“柯伊伯”宽带互联网星座。该星座是一个低轨卫星星座，将为世界各地未普及互联网服务的社区带来低时延、高速宽带连接。预计，该星座的建设成本将达数十亿美元。从轨道上来看，该星座计划最大的特点在于，3236颗卫星分布在3个相距极近（间隔仅20千米）的低轨上，轨道高度分别为590千米、610千米和630千米。因此，该星座是所有低轨互联网星座中最低、最密集的一种。这种方式可以在高度上与其他星座区分开，避免同轨道的拥挤和碰撞，并能占据最低轨道，进一步提升通信性能，降低发射运输成本，提高发射灵活性。

5. 中国开启“虹云工程”“鸿雁工程”星座建设

“虹云工程”计划发射156颗卫星，在距离地面1000千米的轨道上组网运行，构建一个星载宽带全球移动互联网，实现网络在全球无差别覆盖。2018年12月，“虹云工程”首星“武汉”号在酒泉卫星发射中心由长征十一号火箭成功发射，标志着我国低轨宽带通信卫星系统建设迈出实质性一步。“武汉”号是我国首颗低轨宽带通信技术验证卫星，同时是首次将毫米波相控阵技术应用于低轨宽带的通信卫星，能够利用动态波束实现更加灵活的业务模式。后续将以此卫星为基础开展低轨天基互联网试验与应用示范。除通信主载荷外，“武汉”号还承载了光谱测温仪和3S载荷，可实现高层大气温度探测和船舶自动识别系统

信息、飞机广播式自动相关监视信息和传感器数据信息采集，将可广泛应用于科学研究、环境、海事和空管等领域。

“鸿雁工程”计划发射300颗卫星，预计于2020年建成。2018年12月，“鸿雁工程”全球卫星通信星座首星在酒泉卫星发射中心由长征二号丁运载火箭送入预定轨道。“鸿雁工程”将集成多项卫星应用功能，其卫星数据采集功能可实现大地域信息收集，满足海洋、气象、交通、环保、地质和防灾减灾等领域的监测数据信息传送需求，并可为大型能源企业、工程企业等提供全球资产状态监管、人员定位、应急救援和通信服务。同时，“鸿雁工程”卫星的数据交换功能可提供全球范围内双向、实时数据传输，以及短报文、图片、音频和视频等多媒体数据服务。根据建设目标，“鸿雁工程”星座将成为“沟通万物，永不失联”的通信星座，并将为提升北斗导航精度提供重要帮助。

五、生物技术

随着生物技术在国民经济、人口健康和粮食安全等方面的核心作用日益凸显，前沿生物技术和产业实力已成为决定国家创新能力和影响大国博弈格局的重要因素。2019年，世界主要经济体为推动前沿生物技术研发，加速生物经济发展，出台了一系列战略政策和专项研发计划，进一步强化生物技术产业布局。同时，随着生物技术与信息、材料、先进制造和能源等技术加速融合，衍生出脑机接口、生物存储和生物计算等一系列新兴技术领域，或将催生出一大批以颠覆性科技为引领的经济新业态。

5.1 世界主要经济体强化生物技术与产业战略布局

1. 美国大幅调整国内及全球卫生安全战略，加强全球干预能力

2019年1月，美国卫生与公众服务部发布《2019~2022年国家卫生安全战略》，提出改善政府管理、优化国际伙伴及国内部门间的组织协调、综合情报等相关力量，以及充分利用私营部门能力等措施，以积极应对大流行性传染病爆发、化生放核威胁、医疗器械网络漏洞和新兴生物技术滥用等威胁。

2019年7月，美国政府发布《全球卫生安全战略》，提出加强伙伴国家全球卫生安全能力，增加对全球卫生安全能力建设的国际支持，以及确保美国国土对抵御全球健康威胁做好准备等3项目标。战略突出强调了全球卫生安全议题的卫生属性和工具属性，为其维护国家安全和实现自身利益最大化提供了更加灵活高效的工具。

2. 美欧针对药物安全和微生物耐药性议题发布专项计划

2019年9月，美国疾病控制与预防中心启动“药物过量从数据到行动”计划，首期投资3亿美元用于强化阿片类药物和其他药物过量的预防和应对工作，具体措施包括药物过量

的数据监测、提高本土应对能力、快速识别过量威胁以及提高公众认识等。

2019年1月，英国政府发布《抗微生物药物耐药性20年展望》和新的5年国家行动计划《解决抗微生物药物耐药性2019~2024年》，提出通过减少对抗微生物药物的需求和无意接触、优化抗微生物药物的使用，以及保障微生物耐药性解决方案的供应和获取等方式，拟在2040年前有效控制微生物耐药性感染问题。

2019年3月，欧盟委员会通过《解决环境中药物的战略方法》，就减少向环境排放药物带来的微生物耐药性问题，提出促进审慎使用、改进培训和风险评估、收集监测数据、激励“绿色设计”、减少制造排放、减少浪费和改善废水处理等6项针对性措施。

3. 美欧日等统筹推动构建生物经济型社会

2019年3月，美国生物质研究与开发理事会发布《生物经济计划：实施框架》。该战略提出振兴美国生物经济、促进生物经济可持续增长、推动农业市场发展与农业就业、保障能源安全以及环境改善等愿景目标。

2019年5月，加拿大政府发布首个国家生物经济战略《加拿大生物经济战略——利用优势实现可持续性未来》。该战略将加拿大生物经济提高至战略地位，提出制定灵活的政策法规、建立生物质供应与管理体系、建立强大的企业与价值链、建立强大的可持续生态系统等四大目标。

2019年3月，意大利发布《意大利的生物经济：为了可持续意大利的新生物经济战略》报告。该领域围绕农业、林业、渔业、海洋、食品、生物基产品和生物能源等领域，提出了创新研究行动计划、需应对的挑战及系列政策措施，以推动意大利实现“从经济到可持续生物经济”的转变。

2019年6月，日本发布《2019生物战略——面向国际共鸣的生物社区的形成》，提出建立生物优先思想、建设生物社区和建成生物数据驱动三大目标，旨在到2030年将日本打造成为世界最先进的生物经济社会。

5.2 基因编辑技术取得积极进展，得到全球关注

1. 基因编辑工具箱日益丰富完善

2019年4月，南京大学开发出智能光控CRISPR/Cas9技术，通过将CRISPR/Cas9包裹在对光敏感的纳米粒子中，实现利用外界光源控制基因编辑靶点，显著提高了CRISPR/Cas9系统基因编辑的靶向性。

2019年5月，美国博德研究所的研究人员成功筛选出两种小分子化合物，可在哺乳动物的细胞系中剂量相关地抑制SpCas9的活性。小分子抑制剂能够终止CRISPR/Cas9系统正

在进行的基因编辑过程，使基因编辑过程更加安全可控。

2019年6月，美国哥伦比亚大学开发出新型基因编辑工具INTERGRATE。该技术利用Tn7-like转座子整合酶(TniQ)，可在不切割DNA的前提下将任何DNA序列准确插入基因组，进一步提高了CRISPR系统的编辑精度。

2. 基因编辑技术在构建动物疾病模型方面潜力凸显

2019年1月，中国科学院神经科学研究所和上海脑科学与类脑研究中心利用CRISPR/Cas9系统，敲除了体外受精猴胚胎中控制生物节律的核心基因BMAL1，构建出BMAL1缺失猕猴，为研究人类睡眠障碍、精神分裂等节律紊乱相关疾病提供了重要参考模型。

2019年8月，美国佐治亚大学研究人员利用CRISPR/Cas9基因编辑技术，制造出首个人造白化蜥蜴，这是基因编辑技术首次用于改造爬行动物。研究人员将CRISPR试剂注入蜥蜴卵巢的未受精卵子中，修改卵细胞中的酪氨酸酶基因（可改变身体色素）。当卵子孵化时，约一半的蜥蜴继承了经过编辑的突变基因。该模型可被用以开展与人类白化病相关的眼部缺陷疾病研究。

3. 基因治疗技术突飞猛进

2019年2月，美国杜克大学、美国索尔克研究所和西班牙奥维耶多大学在CRISPR/Cas9基因编辑技术对早衰症和杜氏肌营养不良治疗方面开展了集中攻关。最终实验结果证实，使用腺相关病毒9作为载体的基因编辑系统延长了早衰小鼠约25%的生存时间；利用腺相关病毒8作为载体的基因编辑系统可修复杜氏肌营养不良症小鼠，单次注射能稳定长达一年的时间，且期间无毒性作用。这一系列成就证明了永久性基因矫正对杜氏肌营养不良等多类疾病的潜力，将大幅推动基因编辑技术走向临床的进程。

2019年8月，美国索尔克研究所开发出一种新型基因组编辑技术SATI，有望用来治疗亨廷顿氏病和早衰等多基因突变疾病。SATI技术不对细胞内的突变基因进行修改，而是将正常功能的基因拷贝插入到新位点（突变基因之前的DNA非编码区），以弥补致病的突变基因造成的细胞功能缺失。经SATI技术治疗的早衰小鼠，其皮肤和脾脏等多种组织的衰老特征显著较少，寿命相比未治疗的早衰老鼠增加45%。该技术不仅减轻了原始突变基因对有机体的危害，同时避免了完全替代旧基因带来的风险。

4. 全球积极推进制定基因编辑技术应用管理框架

以2018年贺建奎私自开展人类胚胎基因编辑为代表的基因编辑技术滥用事件，引发了国际学界对构建基因编辑技术应用和监管框架的积极探索。

2019年3月，来自7个国家共计15位科学家和伦理学家在《自然》期刊联名呼吁，应全面暂停可遗传性基因编辑的临床实验，并推动确立国际监管框架。

2019年3月，世界卫生组织宣布将在两年时间内同社会各界共同制定并推出一个强有力的人类基因编辑国际治理框架。

2019年8月，世界卫生组织启动“全球人类基因编辑活动注册计划”，呼吁全球所有与人类基因组编辑相关的研发项目责任方应进行登记，以促进人类基因编辑的规范管理。

5.3 重大疾病研究不断突破，创新疗法加速走向临床应用

艾滋病研究和诊治方面，英国伦敦大学研究团队利用干细胞移植成功清除一名艾滋病患者体内的病毒，或将使其成为全球第二例艾滋病治愈者；欧洲多国科学家发现抗逆转录病毒疗法可抑制HIV传播，或可实现在无保护性行为中HIV病毒零感染。

糖尿病创新疗法方面，美国麻省理工学院研究团队开发出内含微型可降解胰岛素注射针的口服胰岛素胶囊，有望解决II型糖尿病患者每天注射胰岛素的困扰；奥地利等国科学家成功培育出“高仿真”人体血管类器官，破解出糖尿病并发症的关键驱动因素；瑞士科学家首次证明人胰岛中非 β 细胞可被重编程为分泌胰岛素的类 β 细胞，有望逆转糖尿病。

抗衰老和老年疾病研究方面，美国索尔克研究所开发出可延缓哺乳动物衰老的基因疗法；巴西科学家发现运动诱发激素或能防止阿尔茨海默病导致的记忆损失；中国科学院等机构通过靶向编辑长寿基因“FOXO3”，创造出全球首个遗传增强的人类血管细胞，可有效抵抗血管衰老和癌变。

癌症研究和治疗方面，美国艾伦研究所发布“集成有丝分裂干细胞”可视化3D数据模型，可帮助研究人员更深入地了解染色体异常、细胞复制和分裂等过程，促进癌症研究；美国宾夕法尼亚大学首次开展基于CRISPR技术改造的T细胞疗法用于实体瘤患者（分别为复发性黑色素瘤患者和肉瘤患者）的临床治疗。

罕见病、遗传病研究和基因疗法方面，美国诺华公司用于一次性治疗脊髓性肌萎缩的基因疗法Zolgensma获美国食品药品监督管理局批准上市；美国蓝鸟生物公司用于治疗 β 地中海贫血病的基因疗法Zynteglo获欧盟批准上市，有望取代终生输血和终生服药。

5.4 脑机接口技术热度猛增，前沿突破不断涌现

脑机接口因其具有开创性的民用医疗用途和颠覆性的军事用途，近年来得到世界各主要经济体、公司及资本的高度关注，并取得了一系列突破性成果。

1. 美国科学家开发出可将大脑电信号转化为语音的脑机接口技术

2019年4月，美国加州大学旧金山分校在美国国立卫生研究院“推进创新性神经技术”

项目资助下，开发出将大脑电信号转化为语音的脑机接口技术。研究人员通过两组前后衔接的 bi-LSTM（一种“双向长短时记忆循环神经网络”的深度学习技术），将癫痫患者说话时的脑皮质电信号经由具有发音器官运动特征的中间解码层间接解码为人类可直接理解的语音。目前，该项技术每分钟最多转化 10 个单词，远低于 150 字 / 分钟的正常说话速度。研究人员计划开展一项涉及瘫痪、语言障碍患者的临床试验，以收集更多数据来训练该套计算机算法。

2. 美国 DARPA 公布“下一代非侵入性神经技术”项目的关键技术路径

2019 年 5 月，DARPA 公布了“下一代非侵入性神经技术(N3)”项目未来的 6 条技术路径，推动开发出可穿戴的微型脑机接口系统，从而应用于国防实践。这 6 条关键技术路径分别为：可实现双向通信的微创接口系统；将电信号写入神经元的无创声光设备；对大脑进行连贯记录的光学系统；将信息写入大脑的无创声磁设备；大脑信息记录和写入的微创双向光磁系统；神经元信息写入的无创光磁集成设备。

3. 美国 Neuralink 公司发布可与智能移动终端互动的侵入式脑机接口

2019 年 7 月，美国 Neuralink 公司宣布研发出一款可连接 iPhone 的侵入性脑机接口系统，并计划 2020 年进行人体实验。该系统的工作方式类似于缝纫机，首先将柔性电极线穿过针鼻，然后由智能机器人插入到大脑不同的位置和深度，以读取神经元信号。其中，电极线由一系列微小电极和传感器组成，能从大量脑细胞中捕获信息，并通过芯片将信息无线发送到计算机进行后续分析。通过无线连接，该系统可实现人与 iPhone 应用程序的互动。

4. 美国 Facebook 发布可将意念实时转化为语音的脑机接口

2019 年 7 月，美国 Facebook 公司发布了直接从人脑解码人类语音的脑机接口研究进展。该研究通过植入性电极跟踪控制语言和发音的大脑区域活动，并将这些活动与佩戴者说话时嘴唇、舌头、喉部和下颚的微妙运动联系起来，再利用循环神经网络对脑电信号和运动表征进行破译，最终将佩戴者听到和说出的内容转化为文字。在针对 3 名癫痫患者的实验中，该系统解码听到的语音准确率达到 76%，解码说出的语音准确率达到 61%。研究人员正在改进算法，以降低错误率并扩大词汇量，最终开发一款非侵入式 AR 头戴设备。

5.5 生物存储与计算技术取得积极进展

近年来，合成生物学领域的进展为推动生物分子成为数字化数据的存储载体奠定了坚实基础，以 DNA 存储为代表的生物存储与计算技术取得系列突破性进展。

1. 美国微软实现全自动 DNA 信息存储

2019 年 3 月，美国微软公司与华盛顿大学的研究团队利用自主开发的软件，实现了数

据信息 0 和 1 与 DNA 碱基信息 A、T、C、G 的全自动互转和识别，有助于推动 DNA 的规模化存储，降低 DNA 信息存储成本。在实验中，研究人员将“hello”转译成 DNA 并成功进行读取共花了 21 个小时。虽然该技术仍有改善空间，但全自动合成和读取将是 DNA 存储技术从实验室走向商业数据中心的关键步骤。

2. 美国哈佛大学开发出利用蛋白质存储数据的新方法

2019 年 5 月，美国哈佛大学研究团队开发出一种利用寡肽分子存储数据（以二进制形式）的新方法。该方法所使用的寡肽分子具有易获得、低能耗、稳定且能超长时间保存等特点。该方法减少了合成新分子的难度和所需的时间，同时避免了从线性大分子中编码和读取数据的问题。据悉，该基于寡肽的数据存储方法能够实现超过 99% 的数据恢复准确率，显示出比 DNA 存储更大的应用潜力。

3. 美国麻省理工学院利用 CRISPR 创建了可编码活细胞中逻辑和记忆 DNA 存储和计算系统

2019 年 8 月，美国麻省理工学院应用 CRISPR 碱基编辑技术创建了可编码细菌和真核细胞中逻辑和记忆的 DOMINO 系统。该系统通过含 CRISPR-Cas9 酶变体的碱基编辑器，使 DNA 胞嘧啶突变为胸腺嘧啶而不破坏双链 DNA，进而创建执行逻辑计算的电路和可记录以特定顺序发生的级联事件的电路。DOMINO 将基因组 DNA 转换为可寻、可读和可写的介质，用于活细胞中的信息处理和存储。研究人员计划将 DOMINO 扩展到高度并行计算和记录，以处理和查询更复杂的生物事件。

4. 美国布朗大学成功在代谢物分子中存储数字图像

2019 年 7 月，美国布朗大学研究人员成功将数字图像储存在含有糖、氨基酸和其他类型小分子的液体混合物阵列中，并能够在其中进行检索。研究人员使用该技术成功编码和检索小于两千字节的图像文件。研究人员表示，某些情况下，小分子可以拥有比 DNA 更大的信息密度；混合物中的存储容量随代谢物的数量而增加，并且有数千种已知代谢物可供使用；许多代谢物可以相互反应形成新化合物，意味着不仅能在代谢混合物中储存数据，还能在其中进行计算，这为分子系统提供了更多可能性。

5. 美国 DARPA 推出模仿自然过程开发新型计算方法的“自然计算机”项目

2019 年 8 月，DARPA 推出一个旨在模仿生物细胞活动、化学键作用及其他自然过程，可解决复杂计算问题的创新算法项目“自然计算机”（NAC）。NAC 项目经理表示，经典计算机模拟核爆炸，对空气紊流进行建模，以及计算复杂的物理过程等都需要耗费大量时间、资金和硬件资源。自然界中存在大量计算过程，如“蛋白质折叠”可在微秒时间内自发完成，能以最少的资源实现有效计算。该项目通过对材料进行工程化处理，模拟自然过程的运行机制，或开发出一种完全不同的新型计算策略，未来将对航空、机器人、纳米材料及其他领域产生不可估量的影响。

六、信息技术

信息技术自 19 世纪 40 年代诞生以来，持续推动社会向电子化、信息化、数据化和智能化全面转变。快速迭代的信息技术逐渐成为全球前沿技术和经济发展的驱动力，为生物技术、智能制造技术和航空航天技术的发展提供支撑。随着信息技术的不断发展，近年来以 5G、量子技术、超级计算机和网络安全为代表的前沿信息技术，成为各国科技研发的重点。

6.1 5G 部署竞争白热化，各国动作频频

4G 时代，苹果、亚马逊和 Facebook 等互联网公司快速崛起，引发全球数字化变革。4G 技术的巨大红利促使各国政府提升对通信网络的关注度。面对新一轮科技革命浪潮，世界各国纷纷将 5G 提升至国家战略层面，从政策、资金和市场等多方面调动国家资源进行支持，期望在 5G 部署中获得先机。美国无线通信和互联网协会发布《5G 全球竞争》调查报告。该报告综合考量了各国在 5G 领域的政府战略、民营企业 5G 技术研发及引入进度、频谱分配等情况，对各国的 5G 综合水平进行排名。其中，中国和美国并列第一，韩国第三，日本第四。

1. 美国推动国家频谱战略的制定，为 5G 部署打造坚实基础

为加快 5G 技术应用落地，美国特朗普政府推动制定长期、全面的国家频谱战略，为全面部署 5G 网络做好准备。2019 年 5 月，美国白宫科技政策办公室发布《美国无线通信领导力研发优先事项》《新兴技术及其对非联邦频谱需求的预期影响》两份 5G 技术报告，阐述美国在无线通信领域的研发重点并对新兴技术进行了展望。报告指出，白宫科技政策办公室明确美国 5G 发展的三大优先领域，分别为追求频谱的灵活性和敏捷性以使用更多的频段及波形、提高频谱实时感知能力、通过安全的自主频谱决策提高频谱效率和效益。美国将通过研发更先进的射频技术，以一种安全的方式提高频谱感知能力，增强频谱干扰检测和分辨率，使 5G 更好地应对不断变化的环境条件。美国政府将频谱可用性及频谱的有效利用率作为国家安全和繁荣的基础，希望建立一个涵盖科学研究、技术、政策、立法、运营和经济的全频谱解决方案，为 5G 部署铺平道路。

作为美国通信领域的主要管理机构，美国联邦通信委员会重金支持 5G 基础设施建设。2019 年 4 月，美国联邦通信委员会主席阿吉特·派表示，美国在 5G 终端和基站建设方面落后于韩国和中国，将在未来 10 年内向 5G 通讯基础设施建设投入 204 亿美元，通过补贴推动基站和天线的建设，将用户与 5G 技术更紧密地联系起来。联邦通信委员会除向民营企业分配更多的 5G 专用频段外，还将向民营通信公司及线缆公司发放补贴，以推动地方高速通信网络的普及。

2. 英国积极进行 5G 战略部署，日德加快频谱分发和 5G 基础设施建设

作为传统科技强国，英国积极进行 5G 战略部署和技术研发。英国文化、媒体和体育大臣杰里·米莱特表示，英国政府将简化 5G 部署流程，并投资 4000 万英镑用于 5G 测试平台和试验项目。英国政府将探讨调整现行法规的可能性，以简化安装 5G 新设备的规划流程，支持 5G 基础设施的开发和建设，为运营商在英国提供高质量移动通信铺平道路。此外，作为改善移动连接计划的一部分，英国政府还计划投资 2 亿英镑对 5G 技术在各领域的应用进行测试。

日本完成 5G 频谱商用授权，希望通过 5G 商用带动依赖高速、低时延通信服务的自动驾驶、远程医疗等技术的应用。2019 年 4 月，日本政府电信监管部门正式向日本 NTT Docomo、KDDI、软银公司和乐天移动 4 家移动运营商分配 5G 频谱，希望运营商建造覆盖大城市及农村广泛地区的 5G 基础设施。这 4 家移动运营商计划在 2020 年开始推出商用 5G 服务，并在 5 年内累计投入约 152.9 亿美元建设 5G 网络。

德国加快 5G 网络基础设施建设，将 5G 商用置于优先地位。2019 年 7 月，德国电信宣布投资约 56 亿美元用于 5G 网络基础设施建设，并率先在德国推出 5G 商用网络。德国电信将首先在 4 座城市推出 5G 网络，并将在 2020 年底使 5G 网络覆盖至德国的 20 座城市。此外，西班牙电信、沃达丰和德国联合网络旗下的 1&1 Drillisch 等公司也将在德国推出 5G 商用网络。

6.2 各国积极探索量子技术，抢占发展先机

量子技术被认为是改变未来的关键科学技术，对此予以的关注度持续攀升。预计 2020 年全球对量子技术的投资将达到 130 亿美元。美国、德国、英国和日本等国均加大对量子技术的政策倾斜和资金支持，旨在构筑竞争优势，抢占发展先机。

1. 美英德日等国政府强化量子研究支持措施，加大对科研机构资助力度

2019 年 2 月，美国国家科学基金会发布“量子跃迁挑战研究所”项目指南，拟投资 9400 万美元推动量子信息科学与工程前沿研究，涵盖量子计算、量子通信、量子模拟和量子传感等方向。该项目旨在研究用于远程安全通信的量子网络，开发创建高效量子计算机所需的软件解决方案，为量子模拟器开发算法、架构和平台，研发基于量子系统的计量和传感器技术。“量子跃迁挑战研究所”项目还将加大培养量子技术人才的力度，促进不同研究团体之间的合作，推动产业界、国家实验室和国际合作伙伴的深度协同，利用现有基础设施资源开展更多量子研发活动。

2019 年 5 月，德国政府宣布将拨款 6.5 亿欧元开展大型量子通信研究项目，以拓展德国及欧洲在量子通信技术领域独立自主的能力。6 月，英国政府宣布投资 1.5 亿英镑用于量子技术商业开发，资助产品和服务创新、行业主导的技术开发项目、供应链、投资加速器等 4

个领域，以最大限度发挥英国在量子技术方面的潜力。7月，日本内阁会议发布《2019年科学技术创新综合战略》，分析了过去一年日本国内外形势的变化，指出日本未来在生物技术、量子技术、人工智能、环境能源及安全等关键领域的发展目标和发展建议。

2. 量子技术屡获突破，量子计算机商用化初步展开

2019年2月，加拿大多伦多大学研制出全光子量子中继器的关键元件，可用于远距离光量子信息传输。光量子中继器是解决量子信息传输中信息丢失和出错问题的一项备选方案，能够克服或减少传统量子中继器的诸多缺点，为量子信息传输提供稳定、快速和节能的通信保障。此项研究成果将有助于制造高效的光量子信息传输网络。

2019年5月，澳大利亚新南威尔士大学研究人员成功测量硅双量子比特操作的准确性，首次验证了硅双量子比特逻辑运算的保真度。所有的量子计算都可以由一个量子比特或双量子比特的运算完成，而量子保真度决定了量子运算的准确性，但此前研究人员对双量子比特逻辑门的保真度尚不清楚。研究人员实施了基于“Clifford”（一种可以评估量子比特精度的技术）的保真度基准测试，结果证明平均两个量子比特逻辑门的保真度为98%。研究人员表示，除首次验证硅双量子比特运算的保真度以外，此次成果亦进一步证明，硅作为技术平台非常适合扩展到通用量子计算上。

2019年9月，美国IBM公司表示将上线53比特量子计算机进行商用，并保证提供95%的服务可用性。IBM在该量子计算机中采用了全新的53比特系统，并引入许多新技术，使其具有更紧凑的定制电子设备，能提供更高的算力、更优秀的扩展性并降低错误率，助力IBM推出更大、更可靠的云服务系统。现阶段IBM与80个商业客户、学术机构和实验室就量子计算建立了合作关系，希望通过提供云计算服务和开源软件，进一步拓展量子计算的科研和商业应用。

6.3 超级计算机在科技研发中应用进一步深化

超级计算机因其极快速的数据处理速度和超高的数据存储容量，常被用于大容量信息和海量数据处理。超级计算机的运算能力将为人工智能、生物技术、新材料技术及核爆炸模拟等研究提供重要支撑。超级计算机已成为国家在信息数据领域的综合实力象征。目前，各科技大国在打造新一代至强超算的领域展开全方位竞争。

1. 美日超级计算机在生物、能源等领域的应用日趋成熟

美国和日本已将超级计算机应用于基因研究、核储备管理和地理信息处理等领域。例如，美国洛斯阿拉莫斯国家实验室和日本理化研究所的研究团队，利用“三一”超级计算机将10亿个原子进行DNA基因建模，从原子水平完整解释DNA如何扩展和收缩，以研究基因开关的详细过程。该研究有助于解释包括癌症在内众多疾病的发病机理，促进相关基因疗法

的开发。美国能源部和国家核安全管理局与格雷公司签署合同，使用超级计算机管理核储备，以使美国在应对核威胁时，拥有更快的响应、更强的创新性和更前瞻的思维。美国国家地理空间情报局与美国伊利诺伊大学、明尼苏达大学和俄亥俄州立大学合作，共同开展全球3D地图项目“EarthDEM”。研究人员利用“蓝水”超级计算机，对卫星图片进行分析后建立地形数据，最终合成全球3D地图。

2. 中美超算领先全球，下一代超算研发竞争加剧

在超级计算机分布上，目前美国包揽最强超级计算机前两名，且超算算力位居世界第一。2019年6月，第53届全球超算TOP500名单在德国法兰克福举办的国际超算大会上发布，美国能源部旗下橡树岭国家实验室及劳伦斯利弗莫尔国家实验室的“顶点”和“山脊”获得一、二名，中国超算“神威·太湖之光”和“天河二号”分列三、四名。“顶点”以每秒14.86亿亿次的浮点运算速度再次登顶，创下新的超算纪录。中国大陆有219台超算上榜，占比43.8%；美国以116台位列第二，占比23.2%。但在总计算力上，美国占据全部超算算力的38.4%，中国占据29.9%。在超算制造厂商排名上，中国联想、浪潮和曙光以173台、71台和63台夺得前三名，美国惠普及克雷公司以40台、39台分列四、五名。

美国、日本和欧盟已经开展对下一代超级计算机的研发，百亿亿次级运算能力的超级计算机预计在不久的将来面世。美国能源部下属的阿贡国家实验室、芯片制造商英特尔和美国超级计算机制造商克雷公司宣布将共建美国下一代超级计算机“极光”。该超算机的浮点运算能力将达每秒百亿亿次级，计划在2021年底全面投入使用。日本理化研究所和富士通启动建造新一代超级计算机“Post京”，最早2021年投入运行。欧盟将投资8.4亿欧元，在保加利亚、捷克、芬兰、意大利、卢森堡、葡萄牙、斯洛文尼亚和西班牙建造8台超级计算机，其中3台将具备每秒15亿亿次浮点运算能力，另5台将具备每秒4000万亿次浮点运算能力。

6.4 网络安全技术逐渐向智能化攻防转变

近年来，芯片底层漏洞暴露、病毒软件大范围爆发和Facebook等平台亿级用户信息泄露等事件频发，使得网络安全在硬件、软件和数据方面面临的挑战愈加严峻。与此同时，移动互联网、物联网、云计算、量子计算和人工智能等技术的持续进步，又推动网络安全加速向智能化、自动化方向发展，推动网络安全由人工主导向智能攻防转变。

1. 网络安全技术与人工智能结合取得进展，智能化攻防成果不断涌现

2019年1月，日本富士通公司开发的一种人工智能技术，能够从大量操作日志中识别和提取攻击日志，并可自动判断是否需要对网络攻击采取行动。在该技术的模拟实验中，机器结论与专家结论的匹配率达到95%，且无漏报情况。富士通利用该技术可以迅速地对需要采取应对措施的网络攻击进行即时有效处理，提升网络安全防护能力。

2019年6月，以色列本古里安大学的网络安全研究人员开发出名为Malboard的恶意软件，可控制USB键盘的输入，并通过人工智能模拟受攻击者，避开根据个性化击键特征验证用户身份的安全检测产品。针对键盘的安全检测手段，一般通过识别恶意软件生成的击键输入与人类输入的不匹配度，进而发现控制键盘的恶意软件。研究人员开发的恶意软件利用人工智能技术，能自动生成符合用户风格的击键输入。研究人员表示，该恶意软件可对微软、联想和戴尔的键盘产品进行有效攻击。

2019年3月，美国网络安全厂商火眼公司和俄亥俄州立大学研究人员开发出一项利用人工智能预测安全漏洞的技术。该技术通过读取数百万条推文中所提及的软件安全漏洞，而后利用机器学习训练算法，对漏洞描述方式与具体内容所代表的威胁状态进行评估，从而进行高危漏洞预测。研究人员表示，推特信息不仅可用于预测未来数天内被国家漏洞数据库收集的大多数安全漏洞，也可通过利用自然语言处理技术分析预测出哪些漏洞将被赋予“危险”或者“高危”严重等级，准确率超过80%。

2. 美国持续优化网络防御措施，提升安全防护水平

作为网络安全领域的第一强国，美国不仅在网络安全技术的智能化水平上领先，而且不断从政策、组织和人才上强化其网络安全防御。2019年4月，美国参议院情报委员会通过一项法案，旨在加强美情报机构参与美国政府IT供应链及网络安全事务，促使美国情报界在保障美国政府IT供应链、防范他国干涉美国选举及消除政府安全密级资质审查工作积压方面扮演更重要的角色。5月，特朗普签署“网络安全人才队伍建设”行政令，要求通过规范网络安全的政府间语言、激励学术界和联邦机构的参与、加速学习等方面的新举措，填补美国网络安全领域的30万职位空缺。9月，美国国防部联合人工智能中心为美国军方网络安全数据制定新框架，旨在为将来的人工智能网络防御体系奠定基础。该中心将与美国国家安全局、美国网络司令部和数十个网络安全承包商展开合作，共同致力于加速数据收集工作的标准化进程，创建统一的流程来管理、展示、共享及储存信息，并最终将人工智能系统应用于监控潜在的网络威胁。

3. 各国高度重视5G网络安全，拟制定法律法规对5G供应链进行严格安全监管

2019年3月，欧盟委员会建议欧盟内部进行协调，采取一致行动以确保5G网络安全。7月，欧盟成员国完成5G网络安全性的国家风险评估。该评估内容主要为：5G网络安全的威胁来源、5G网络架构及功能的敏感性、包含技术和5G供应链风险在内的各种风险要素。欧盟网络与信息安全局将根据此次评估结果，针对数字产品、程序和服务创建统一的欧洲网络安全认证框架，确保公共信息网络的一致性与安全性。

2019年7月，英国政府发布对电信供应链的审查结果指出，需要加强落实网络安全政策法规，以降低电信网络风险。英国数字大臣杰瑞米·赖特称，政府计划尽早立法，建立新的安全框架，赋予监管机构更大的权力，以提供更强大的国家安全支持，满足电信安全需求。

7月，荷兰安全与反恐协调员办公室发布公报，建议政府在5G网络建设中要求供应商采取额外安全措施，对关键设备和服务供应商设置更严格的要求。

七、新能源

2019年，随着各国政府对气候变化和能源安全的愈加重视，全球能源转型趋势愈发明显。可再生能源市场规模持续扩大，发展步伐不断加快，尤其是光伏发电和海上风电产业发展迅猛，生物能源和氢能等得到多国政府重视。新能源汽车发展路线逐渐明确，全球竞争激烈。动力电池回收和梯次利用引起发达国家重视。中小型模块化反应堆应用前景广阔，将成为未来核电竞争的主要方向。

7.1 全球能源转型大势所趋，新能源备受关注

1. 联合国政府间气候变化专门委员会发布特别报告，全球气候行动亟待加速

2018年10月，联合国政府间气候变化专门委员会发布《在加强全球应对气候变化挑战、可持续发展和消除贫困框架下，全球温度比工业化前升高1.5摄氏度的影响及相应全球温室气体排放路径的特别报告》（IPCC 1.5摄氏度特别报告）。报告评估了全球温升1.5摄氏度与2摄氏度产生的气候影响，以及可能的减排路径。报告指出，目前全球气温较工业化前水平已经增加了1摄氏度，最快有可能在2030年升温1.5摄氏度。为实现1.5摄氏度温控目标，全球气候行动亟待加速。

IPCC报告的结论凸显了应对气候变化的紧迫性，提醒各国要坚定向绿色低碳转型的决心，并采取务实的措施来应对气候变化的挑战。从化石能源向可再生能源的转型，逐步提高能源结构中新能源占比是各国应对气候变化跨出的重要一步。

2. 越来越多的国家及企业向可再生能源转型

2019年1月，德国煤炭退出委员会宣布将在2038年前关闭所有煤炭火力发电厂。德国总理默克尔在达沃斯举办的2019年世界经济论坛年会上承诺，德国将逐渐停止以煤炭作为电力来源，并将可再生能源的发电比重从现在的38%提升至2030年的65%。

2019年2月，荷兰皇家壳牌同意收购德国住宅太阳能电池制造商Sonnen。该厂商是德国家庭电池市场的领头羊，在全球拥有4万套电池系统，其2017年的销售额为6500万欧元，并已将业务扩展到电动汽车充电领域。壳牌期望通过此次收购，扩大其电力业务，以求在全球向低碳能源过渡过程中发挥更大作用。

2019年3月，世界风能理事会和世界银行集团宣布，将共同开发新兴市场的新型海上风电。据悉，世界风能理事会将与世界银行集团的能源部门及旗下国际金融公司协调，通

过帮助各国评估其风险，加快新兴市场对海上风电的采纳，并提供技术援助以帮助开发越来越多的可再生能源投资项目。

2019年4月，韩国产业通商资源部公布《第三次能源基本计划》草案，提出力争到2040年将可再生能源占比提高到30%~35%，大幅降低煤炭发电比重。其中，该计划的一个主要内容是摆脱以大型发电站为主的能源生产体系，通过光伏、风力等进行小规模发电。

7.2 可再生能源市场规模持续扩大

近年来，随着太阳能发电、风能发电和生物能源等非传统可再生能源的成本持续下降，技术水平逐步提高，世界许多国家和地区均加快了可再生能源发展步伐。美国能源信息署发布的《2019年度能源展望》报告指出，未来30年，可再生能源发电量（风力、太阳能及水力）将从2018年的5000亿千瓦时增加到2050年的1.5万亿千瓦时。可再生能源在美国发电能源结构中的比例正在攀升，增长动力主要来自于太阳能和风能。在未来10年内，可再生能源在美国发电能源中的比重将超过煤炭和核能。

1. 光伏发电产业规模不断扩大

2019年3月，美国能源部宣布拨款1.3亿美元用于推进早期太阳能技术的新研究。该资助将针对5个研究领域，分别为光伏研究与开发（2600万美元）、聚光太阳能热发电研发（3300万美元）、太阳能系统软成本降低（1700万美元）、制造创新（1000万美元）以及先进的太阳能系统集成技术（4400万美元）。

2019年6月，由阿联酋阿布扎比电力公司、日本丸红公司和中国晶科太阳能公司投资，并由阿联酋水电公司运营的全球最大的太阳能独立发电项目“Noor Abu Dhabi”在阿联酋落成并投入使用。该项目拥有320万块太阳能面板，其峰值容量为1.18吉瓦特，可为9万人提供足够的电力，并将减少100万吨二氧化碳排放量。

2019年7月，韩国产业通商资源部表示，将在新万金建设全球最大的2.1万千瓦规模的超大型太阳能海上综合发电项目。该项目占地30平方千米，预计投入4.6万亿韩元（约合38.4亿美元）民间资本。项目共分两阶段：第一阶段计划到2022年4月建成1.2万千瓦规模设备；第二阶段计划到2025年扩充至2.1万千瓦规模设备。项目建成后，可以向约100万户家庭提供电力。

2. 海上风电产业受到发达国家青睐

2019年1月，日本东京电力公司与丹麦能源公司Ørsted发布联合声明，共同开发日本及其海外的海上风电市场。此外，根据伍德麦肯兹分析师预计，到2027年，日本和韩国将拥有超过2吉瓦的海外风电设施。

2019年3月，英国发布“海上风电产业战略规划”。该规划明确提出在2030年前将海上风电装机容量提高到3000万千瓦，将海上风力发电量提高到总发电量的30%，并将海上风电服务和设备出口额提高到每年26亿英镑，每个海上风电项目在英国本土采购的设备和服务最低比例从目前的48%提高到60%。此外，英国政府还将拨款2.5亿英镑来补贴英国本土海上风电供应链企业，以在未来的国际海上风电创新中保持英国的竞争力和领导地位。

2019年3月，美国能源部宣布拨款2800万美元，用于推广全国范围内的陆上、海上以及分布式风电领域的风能发展。该资金涉及的项目包括农村经济发展的风能创新（610万美元）、利用和升级国家级海上风电研发设施（700万美元）、海上风电技术示范项目开发（1000万美元）及美国风电高塔（500万美元）。

3. 英美等国力推生物能源的发展

2019年，英国可再生能源协会发布的一份报告显示，生物能源目前是英国减少排放和促进绿色能源就业的主要力量。英国气候变化委员会预测，到2050年，生物能源在英国主要能源供应中的比例将翻一番。

2019年2月，美国能源部宣布一项计划，为植物和微生物的新基因组学研究提供6600万美元，旨在更好地开发生物能源作物。该计划分为两部分，其中一部分资金为3000万美元，侧重于研究和技术创新，旨在扩大生物能源和生物产品种植相关的基因学知识。另一部分资金为3600万美元，主要用于研究微生物群落如何在土壤和环境中循环养分，以更好地了解微生物在塑造植物生命和地球环境中的关键作用，并获得影响生物能源作物生长和产量的新见解。

2019年5月，美国能源部宣布投入7900万美元用于生物能源研究和开发，旨在降低生物能源的成本和价格，并从生物质或废物资资源中获取高价值产品。据悉，主要领域包括：藻类的栽培强化过程研究；生物质成分变异性和平原转化界面研究；高效木材加热器研究；碳氢化合物生物燃料技术的系统研究；生物质衍生喷气燃料混合物的优化研究；来自城市和郊区废物的可再生能源研究等。

2019年8月，荷兰皇家壳牌石油公司、英国航空公司和可再生燃料技术公司Velocys计划联手建造欧洲第一座大型航空生物燃料工厂。该工厂用家庭和商业垃圾生产航空燃料，并计划从2024年起，飞机可使用家庭垃圾制造的航空燃料。据悉，Velocys公司通过将家庭和商业固体垃圾转化为可持续运输燃料，使航空燃料脱碳，以减少航空业的温室气体排放，并解决垃圾处理问题。英国航空公司将购买该工厂生产的航空生物燃料，作为其碳减排和可持续发展战略的一部分。壳牌公司将购买该工厂生产的生物燃料并出售给客户，以减少碳排放。

4. 韩国成为氢能领域的后起之秀

2019年1月，韩国政府发布《氢能经济发展路线图》，旨在大力发展战略性新兴产业，引领全球氢燃料电池汽车和燃料电池市场发展。根据该路线图，韩国政府计划到2040年将氢燃料电池汽车累计产量由目前的2000余辆增至620万辆，氢燃料电池汽车充电站从现有的14个增至1200个。韩国政府认为，如果该路线图顺利得到落实，到2040年可创造出43万亿韩元（约合358.7亿美元）的年附加值和42万个工作岗位，氢能经济有望成为拉动创新增长的重要动力。

2019年3月，韩国科学和信息通信技术部宣布将与经济和财政部、贸易工业能源部、环境部、土地部、基础设施和运输部以及海洋和渔业部合作制定《氢能经济技术路线图》。各部门将细分每个类别以提出技术分类，并且将在每个细分类别中进行技术研判和专利分析。此外，各部门还将准备短期、中期和长期的研发战略和计划，并分析相关技术的早期应用场景。

2019年8月，韩国铁路公司宣布，将与韩国西部电力公司合作利用铁路闲置土地开展氢燃料电池发电项目。据悉，韩国铁路公司将提供京畿道义王市军浦变电站的场地，而西部电力公司目前已投资620亿韩元（约合5172万美元），拟建设一座10兆瓦并于2021年1月开始运行的氢燃料电池发电厂。该项目可为发电厂附近约3300户家庭供电，预计将创造630个就业机会，有助于振兴当地经济。

7.3 动力电池回收和梯次利用引起发达国家重视

1. 美日德加紧布局动力电池回收产业

2019年1月，美国能源部长佩里宣布推出锂电池回收奖，并建立相关的电池回收研发中心，旨在从应用于消费电子、国防、能量储存和运输的锂基电池技术中回收并再循环利用关键材料（如钴和锂）。据悉，电池回收奖奖金为550万美元，用于鼓励美国企业家寻找创新的解决方案来收集、储存和运输废弃的锂离子电池，以便最终回收利用。电池回收研发中心投资额为1500万美元，将专注于经济有效的回收工艺，以回收锂电池材料。

2019年2月，美国能源效率和可再生能源办公室宣布在阿贡国家实验室开设电池回收中心。该回收中心旨在回收锂离子电池技术中的关键材料，重点关注具有成本效益的回收工艺，以尽可能多地提高废旧锂离子电池回收的经济价值。

2019年3月，美国锰公司宣布，该公司已成为美国关键材料研究所的成员之一，将与美国能源部合作开展电动汽车锂离子电池材料回收项目。据悉，该项目正式名为“锂离子电池拆卸、再制造以及锂和钴回收项目”，由美国关键材料研究所主导展开，旨在为电动和混合动力电动汽车、电动自行车和电动工具等使用终端的锂电池材料制定发展战略。

2019年3月，日本住友金属矿业有限公司表示，该公司已经开发出一种可回收和再循

环利用从废旧锂离子电池中分解出的钴铜镍等材料的工艺。据悉，目前该公司已在新居浜市建立了一个利用火法冶金和湿法冶金工艺的试验工厂，以了解锂电池材料回收过程的可行性。

2019年9月，德国巴斯夫宣布，将与法国公司埃赫曼和苏伊士合作，开展电动车废旧电池回收业务。据悉，3家公司将与欧盟创建的EIT原材料组织共同出资470万欧元，投入电动汽车锂离子电池回收项目“ReLieVe”。该项目旨在开发一种创新的闭环工艺，从电动汽车中回收锂离子电池，并利用回收的电池材料在欧洲生产新的锂离子电池。项目将于2020年1月开始，其中苏伊士负责采集并拆解废旧电池，埃赫曼负责电池部件的回收，巴斯夫负责生产锂电池正极材料。

2. 动力电池梯次利用商业化加速

2018年12月，瑞典资产管理公司Riksbyggen、沃尔沃集团、哥德堡能源公司以及约诺克科技园联合创建一套废旧电池梯次利用的太阳能储能系统，旨在将其打造为瑞典最具创意及可持续的住宅项目。该款电池系统由14块废旧客车用锂电池组成，通过公寓顶楼的太阳能面板采集能源，并向公寓住户输出所储存的电能。此外，该系统还能用于购买并存储国家电网的电能，从而提升其能源效能并改善该市电网的运营状态。

2019年1月，德国大众集团推出一款新型移动充电站，其内部电能存储单元由二次回收的电动车动力电池组成，并于2019年上半年在德国率先投放使用。该款移动充电站电池容量为360千瓦时，能够提供100千瓦的充电功率，同时为4台电动汽车进行充电，为电动汽车充电24千瓦只需要17分钟。

2019年5月，日本本田汽车公司与美国电力公司开展合作研究，以开发一个能够将废旧电动汽车电池集成至美国电力公司的电力系统网络。据悉，本田将向美国电力公司提供废旧飞度电动汽车车型的电池，而美国电力公司将研究如何将此类电池整合至电网中。

7.4 小堆是未来核电竞争的主要方向

中小型反应堆(SMR)是近年国际上核电巨头竞相研发的新一代反应堆，其投资和造价较低，建设周期较短，安全性和可靠性大幅提高，有望成为清洁稳定的分布式能源，在替代煤电、工艺供热、海水淡化及偏远地区能源供应方面具有较大的市场竞争力和吸引力。

1. 俄罗斯的小堆建设走在世界前列

2019年9月，俄罗斯设计建造的全球首座浮动核电站“罗蒙诺索夫院士号”，从俄北极不冻港摩尔曼斯克港启航，将穿越北极海域行驶近4989千米之后抵达目的地欧亚大陆最东端半岛楚科奇的佩韦克港口。该核电站采用了小型模块化核反应堆，可以帮助极度偏远

地区解决能源和电力短缺问题。作为俄罗斯北极扩张计划的一部分，该核电站是俄北极地区经济发展的关键，将为俄罗斯在北极可持续和繁荣的未来作出重大贡献，也将加速全球小型堆的竞争。

2. 美国看好小堆发展前景，欲占领其制高点

2018年11月，美国能源部核能办公室发布的《审查联邦对可再生能源市场的促进》报告称，联邦政府在过去10年中提供了超过510亿美元的激励措施，以帮助部署可再生能源技术，而小型模块化反应堆比传统核电站更小、更便宜，若对其采用相同类型的税收激励措施和强制措施，到2035年将需要近100亿美元来部署6吉瓦的小型模块堆产能，但其每千瓦时的成本将比风能和太阳能低3倍。

2019年6月，美国霍尔台克国际公司、乌克兰Energoatom核能公司和乌克兰国家科技中心正式结成伙伴关系，推动SMR-160小型模块堆在乌克兰实际应用。霍尔台克公司与乌克兰Energoatom核能公司曾于2018年签署一份谅解备忘录，旨在让乌克兰采用霍尔台克公司的小型模块堆技术，并成为SMR-160反应堆部件的制造中心。该制造中心将仿照霍尔台克公司位于卡姆登的先进制造厂，并将成为霍尔台克公司计划于本世纪20年代中期在全球各地建立的4个制造厂之一。

2019年6月，美国纽斯凯尔电力公司联合创始人兼首席技术官、非能动冷却小型模块化反应堆联合设计师称，美国核管会有望在2020年9月完成该公司小型模块堆的设计审查。此外，该公司的首个小堆客户犹他州联合市政电力系统公司计划于2021年启动小堆厂址准备工作，在2028年前实现小堆运行。

八、新材料

当前，全球“互联网+”“人工智能+”、氢能经济和低碳经济等发展模式推陈出新，新材料与信息、能源、生物和环保等高技术领域加速融合发展，促进新经济增长。新材料产业作为先进信息、新能源和医疗健康等高技术产业发展的基础，愈发得到世界科技强国的高度重视。在科技政策支持和市场强劲需求双驱动下，新材料技术不断取得新突破，新材料产业加速向新兴产业领域推进。

8.1 新材料在国家科技竞争中的战略性地位进一步凸显

当前，世界主要国家普遍面临人口老龄化、环境资源恶化及经济发展缓慢等诸多挑战。从全球范围看，科技强国无一不积极部署人工智能、先进制造、新能源和生物医疗等前沿技术领域，致力于通过科技发展解决人口、环境和经济等方面的难题。新材料作为发展前沿技术的基础，更是受到世界各国的广泛重视。2019年，美日韩等科技强国出台的科技战

略或规划中，都将新材料作为未来研发的优先事项，以支撑新兴产业的发展。

1. 美国积极布局前沿新材料研发，重点支持小企业科技创新

2019年2月，美国国家科学院发布针对材料研究的第三次十年调查《材料研究前沿：十年调查》报告。该报告主要评估了过去十年中材料研究领域的进展和成就，确定了2020~2030年材料研究的机遇、挑战和新方向，并提出了应对这些挑战的建议。报告指出，发达国家和发展中国家在智能制造和材料科学等领域的竞争将在未来十年内加剧。随着美国在数字和信息时代的发展需求以及面临的全球挑战日趋提升，材料研究对美国的新兴技术、国家需求和科学的影响将更加重要。

2019年2月，美国国家标准技术研究院公布了先进制造、材料、网络安全、隐私、健康和生物系统等领域的小企业创新研究计划。经过筛选，共有19家企业获得了第一阶段或第二阶段的资助。其中，第一阶段资助最高达10万美元，主要用于确定技术的先进性、可行性；第二阶段资助最高达40万美元，主要用于进一步发掘技术的商业潜力。2019年9月，美国国家标准技术研究院为小企业创新研究计划提供400万美元资助，涉及石墨烯器件、增材制造、纳米粒子处理与表征、生物材料等新材料领域。

2. 日韩持续关注新材料产业发展，致力于打造科技创新优势

2019年4月，日本科学技术振兴机构研发战略中心提出“下一代生物材料工程”战略建议，旨在创造能适应多种生物学环境、有效控制材料和生物体之间交互作用的生物自适应材料。该战略建议分析了研发中面临的挑战，并提出了应对措施：一是要认识材料和生物体交互作用产生的生物学现象；二是要开发能够应用于不同生物学环境的定量评价测量新技术和仪器；三是设计和创造生物自适应材料；四是建立生物材料进入实际应用所需的评价平台。

2019年8月，韩国科学技术评价院发布《2019年十大材料领域新兴技术》报告。报告以可行性、市场潜力及技术创新为标准，在环境、生物、能源和电子领域选定了十大技术：可生物分解薄膜、可代替感官装置的材料、3D打印人工器官、高效耐火固态电解质、交通行业快速充电电池、超轻量运输装置、适应极端环境的核融合材料、可弯曲显示器、自动控制生命周期的化学材料和结合可穿戴装置的纺织品。报告重点分析了上述技术的社会经济意义、实现障碍和创新解决方案。

8.2 先进信息材料不断涌现，高性能和低能耗成为发展潮流

纵观全球，信息产业已成为世界科技强国最重要的支柱产业之一。近年来，人工智能、量子信息及大数据等信息技术快速发展，不断引领着新兴产业的发展方向。与此同时，人们对于信息材料和相关器件的发展提出了更高需求。2019年，在市场强劲需求的驱动下，先进信息材料不断涌现，高性能和低能耗成为发展潮流，为人工智能和大数据等产业的发

展提供了物质基础。

1. 信息材料研发为人工智能和大数据等信息技术突破提供可能

2019年5月，美国斯坦福大学的研究人员将聚合物基氧化还原晶体管与导电桥存储器进行集成，研制出名为“离子浮栅内存”的非易失性、可寻址的突触存储器。该人工突触的工作原理类似电池，通过调高或调低两个端子间的电力流动来模拟人脑神经元的学习过程，并允许并行编程。通过稀释绝缘通道中的导电聚合物，研究人员可以将突触权重的读取电流降到10纳安以下。研究人员构造出一个 3×3 的人工突触阵列并进行验证，结果显示其性能超出预期，能效比高于现有计算技术一个数量级，能够支持超过1兆赫的读写频率。

2. 自旋电子器件不断取得新进展，有望带来计算效率的极大提升

2019年3月，英国剑桥大学卡文迪许实验室与德国、捷克等国研究机构组成的国际团队在有机半导体领域取得新进展，为生产速度更快、能效更高的计算机带来了希望。基于有机半导体的自旋电子器件具有能耗低的优势，但其电子自旋传递距离短，限制了商业化应用。研究团队人为地增加了有机材料中的电子数量，并使用一种称为自旋泵的技术向材料注入纯自旋电流，成功将电子自旋传递距离增加至1微米，该技术可用于开发新一代计算机。

2019年5月，美国纽约大学研究人员开发出一种电压控制的拓扑自旋开关，其只需电场而无需电流，就可以在两种布尔逻辑状态之间切换。该技术比现有的电子自旋技术和互补金属氧化物半导体技术更具竞争力，能够极大程度降低逻辑器件的能耗和热量。测试结果表明，与全自旋逻辑器件和电荷自旋逻辑器件相比，拓扑自旋开关的能耗降低了10~70倍。研究人员表示，这种异质结构器件处理速度比硅晶体管稍慢，但其集成了逻辑与非易失性内存，从而增加了功能和电路设计的可能性。

3. 新型半导体材料研发成功，应用范围进一步扩展

2019年2月，美国华盛顿大学、田纳西大学、橡树岭国家实验室和香港大学的研究人员合作，通过将两种单层二维半导体材料——二硒化钼和二硒化钨堆叠在一起并进行扭曲，开发出可精确捕捉并操控数百激子的人工量子平台。通过改变两种二维材料的角度，研究人员还可对捕获的激子进行精确控制。该研究成果为开发能精确监测激子的新型实验平台奠定了基础，有望推动量子新技术研发。

2019年7月，英国卡迪夫大学研究人员采用分子束外延方法，成功开发出一种由化合物半导体组成的雪崩光电二极管。新型光电二极管具有灵敏度超高、数据传输速度快等特点，可用于高速数据通信以及自动驾驶车辆用的光检测和测距系统。研究人员表示，新型二极管可在弱信号环境和低温环境下运行，并且能够与大多数通信供应商的光电平台兼容，未来有望大规模应用于激光雷达、3D激光测绘、自动驾驶和地震预测等领域。

8.3 新能源材料技术发展迅猛，推动相关产业变革

新能源材料是指支撑新能源发展，具有能量存储和能量转换功能的新材料，主要包括燃料电池材料、锂离子电池材料、太阳能电池材料、相变储能材料和半导体照明发光材料等。2019年，在新能源材料技术领域，太阳能电池材料、锂离子电池材料和燃料电池材料发展最为迅猛，加速推动了动力电池和太阳能发电等相关行业的变革。

1. 光电材料和核能材料研究加速突破，为可持续发展提供新能量来源

2019年1月，美国佐治亚理工学院领导的国际科研团队，开发出名为有机卤化物-无机钙钛矿的“混合”半导体材料。该材料为三明治结构，其两侧为无机钙钛矿晶格层，中间为有机卤化物层。该材料在室温下具有良好的激子特性，能够高效率地实现光电转换。此外，该材料无需高温即可制备，可在溶液中进行加工。因此，“混合”半导体材料制备成本低廉，并能够以极低的能耗发出任意颜色的光，可通过喷涂工艺应用于LED、激光器和窗户玻璃上。研究人员表示，该技术有望再次变革照明和光伏技术。

2019年5月，美国橡树岭国家实验室、劳伦斯伯克利国家实验室、加州大学伯克利分校和南佛罗里达大学的研究人员合作，开发出一种名为“H2BHT”的聚合物吸附剂。研究团队受富铁微生物的灵感，采用模拟计算与实验结合的方式，成功开发出可与铀离子选择性结合的聚合物吸附剂 H2BHT。该材料为从海水中提取铀提供了可持续的方案，或可维持数千年的核电生产。

2. 新型锂电池材料不断涌现，有望开发高容量、高安全性电池

2019年3月，日本东北大学和高能加速器研究组织的研究人员，通过设计氢簇（复合阴离子）结构，开发出一种新的复合氢化物锂超离子导体。该材料对锂金属显示出了极高的稳定性，使锂金属有望成为全固态电池的最终阳极材料，催生出迄今能量密度最高的全固态电池。

2019年5月，东京大学研究人员开发出一种可在循环充放电中实现自修复的阳极材料，可用于开发高容量长寿命的锂/钠离子电池。在循环充放电过程中，传统锂/钠离子电池中的嵌入型过渡金属层状氧化物 AMO_2 ($A=Li/Na$, $M=$ 过渡金属)，会因体积变化产生裂纹和层剥落，进而导致能量密度持续降低。研究团队发现，一种富钠层状氧化物正极材料 Na_2RuO_3 因具有较强的库仑力，能够在充放电过程中实现自我修复，大幅降低阳极材料产生裂纹、发生层剥落的可能性。该技术可用于开发高容量长寿命的锂/钠离子电池。

2019年6月，美国卡内基梅隆大学研究人员开发出一种容量更高、更安全的半液态锂金属阳极，这种阳极设计有望成为下一代电池的新范式。研究人员制造了一种双导电聚合物/碳复合基质，其可均匀包裹锂微粒。该基质在室温下具有流动性，这使其与固体电解质保

持了足够的接触性。通过将半液体金属阳极与石榴石基固体陶瓷电解质相结合，新电池的电流密度有望比传统固体电解质-锂箔电池高10倍。此外，新电池的寿命也比传统电池更长。研究人员表示，该成果可以用于电动汽车的高容量电池、可穿戴设备使用的专用柔性电池等，将会对电池行业产生深远影响。

8.4 新材料研发正在加速，机器学习带来新范式革命

新材料研发过程中充满了“大数据”。从设计、实验、测试到证明等环节，科学家们都离不开数据的搜集、选择和分析。机器学习算法擅长在海量数据中寻找“隐藏”的因果关系，可高效分析处理科研中产生的大量数据，帮助解决问题，因此得到了科研工作者的广泛关注。近年来，大数据、机器学习等技术在材料、化学和物理等领域展现出巨大优势，使得新材料研发速度提升百倍、千倍。

1. 材料基因组技术为新材料研发提供广阔空间

2019年1月，韩国高等科学技术研究院基于微生物代谢工程，绘制出系统、全面的生物基化学品图谱。随着微生物代谢工程在解决气候变化、环境恶化等问题方面发挥更重要的作用，以及合成生物学、进化工程等技术的发展，基于微生物代谢工程的生物基化学品种类迅速增加。为评估微生物代谢工程在生产工业化学品中的作用，韩国高等科学技术研究院通过大量文献调研，绘制出生物基化学品图谱，提供了可由生物/化学方法制备化学品的合成路径。

2019年6月，美国理海大学研究人员通过用于筛选多种主元素和高熵合金的材料信息学，成功发现了新型超硬合金。高熵合金含有多种元素，这些元素组合时能够产生一些具有优异热和机械性能的材料，但元素多也导致高熵合金难以准确预测。研究人员采用遗传算法、典型相关分析和监督学习策略等方法，从众多可能性中筛选出具有良好应用前景的高熵合金。此外，研究人员还使用电子显微镜等实验工具，深入了解导致高熵合金材料产生优异性能的物理机制。

2. 机器学习技术带来材料设计的新变革

2019年2月，新加坡南洋理工大学、美国麻省理工学院和俄罗斯斯科尔科沃科学技术研究所的研究人员合作，正在开发一种机器学习方法，使其能够预测和设计半导体材料性能。当半导体材料发生变形时，材料性能会随之发生改变，这个过程被称为“应变工程”。例如，1%的应变能够使硅处理器的处理速度提升50%。研究团队开发的机器学习算法，能够准确预测应变对半导体材料带隙的影响，从而能够精确定制材料性能。该机器学习算法除了可以预测半导体材料的带隙之外，还可以用于预测半导体材料的电学、光学和磁学行为，将大规模应用于通信、信息处理和能源领域。

2019年7月，日本统计数理研究所、东京工业大学和国立材料研究所的研究人员合作，成功利用机器学习方法发掘出新型聚合物材料。研究团队采用了世界上最大的聚合物数据库PoLyInfo（由国立材料研究所开发并掌管），但其中的热传导性能数据非常有限。为从有限的数据中预测新型聚合物的热传导性能，研究团队首先预训练了机器学习模型，并对数据的主要特征进行抓取。然后，研究团队将该机器学习模型与日本统计数理研究所开发的计算分子设计算法iQSPR结合起来，成功预测出数千种潜在聚合物。根据合成与加工的便利性，研究团队选择了3种聚合物并进行实验验证。结果表明，一种新型聚合物的热传导系数为0.41W/mK，比以往用于制造燃料电池的聚合物高80%。该研究是发掘其他新型材料的一个起点，有望带来材料设计的新变革。

九、智能制造

智能制造已经成为各国制造业竞争的重要领域。当前，围绕高端制造、核心零部件以及核心技术的竞争日趋激烈。美国、德国、日本和中国等都把智能制造作为制造业发展主攻方向，加大研发投入，加紧构建以智能制造为重点的新型制造体系。

9.1 各国加强政策指引，扩展智能制造布局

2019年2月，德国经济和能源部发布《国家工业战略2030》，旨在进一步提高工业产值，保证德国工业在欧洲及全球的竞争力。该战略提出对德国经济至关重要的九大关键领域：原料产业、化工产业、设备和机械制造、汽车及其零部件制造、光学与医学仪器产业、环保技术部门、国防工业、航空航天工业、增材制造。该战略明确要求政府加强干预，持续扶持这些领域，帮助企业扩大规模，扶持大企业发展，以此打造“德国冠军”“欧洲冠军”型企业。

2019年2月，美国白宫发布未来工业发展规划，将人工智能、先进制造、量子信息科学和5G技术列为“推动美国繁荣和保护国家安全”的4项关键领域。美国总统特朗普进一步就此提出3项措施：一是美国必须对基础设施和美国人民进行投资，以在未来工业中保持美国的主导地位；二是利用美国独特的研发生态系统力量，包括联邦政府、私营企业、大专院校、研究机构和科学慈善机构，确保美国在上述关键行业的领导地位；三是凭借针对性投资，给予研发生态系统更多授权，以确保美国能够主宰未来工业，推动美国繁荣和保护国家安全。

2019年6月，日本经产省发布2018年度版《制造业白皮书》。白皮书分析了日本制造业发展现状，指出在生产第一线的数据化方面，人手严重不足的中小企业与大企业相比有落后倾向。这种落后主要表现为未能将劳动力的技能及作业程序数据化，或将数据用于年轻员工的培养，以及机器人代替作业等。白皮书建议在制造业活用人工智能等技术，将工

匠拥有的生产技能数字化，加紧实现技术传承，通过推进中小企业数字化，带动经济增长。

9.2 机器人产业稳步增长，技术创新持续推进

2019年，受国际经济形势的影响，全球工业机器人增长虽有所放缓，但随着全球产业转型升级步伐的加快、消费升级的加速，特别是机器人技术创新和应用领域的扩展、供给能力的提升和需求规模的扩大，机器人产业将继续保持快速发展的势头。《中国机器人产业发展报告2019》显示，2019年，全球机器人市场规模预计将达到294.1亿美元，2014~2019年的平均增长率约为12.3%。其中，工业机器人159.2亿美元，服务机器人94.6亿美元，特种机器人40.3亿美元。

1. 仿生机器人技术发展迅速，将为人类提供更大帮助

2019年7月，美国波士顿动力公司推出的人形机器人Atlas已能够在狭窄、崎岖的复杂地形中实现自主导航。测试中，操作人员为机器人指定开始点和结束点。Atlas借助美国人类与机器认知研究所开发的自主步伐规划程序，可使用传感器对环境进行分析，将环境建模并分割成多个部分，自行映射、评估所有可能的路径并完成决策，最终步行到达目标点。该机器人行走与导航能力的提高有望使其在灾区救援工作中发挥重要作用。

2019年7月，瑞士洛桑联邦理工学院开发出名为“Tribots”的T型折纸式机器人，可通过折叠设计实现多种运动并像蚂蚁一样协作完成任务。该机器人由可折叠的复合材料薄片制造，重量仅有10克，能实现爬行、弹跳等运动姿态。Tribots机器人无需依赖GPS或视觉反馈，就能像蚂蚁一样集体部署、分工完成任务。该小型机器人具备极强的环境适应能力，用途广泛。

2019年7月，德国马克思·普朗克智能系统研究所研发出一种以钵水母碟状幼体为原型，具备运输和钻挖等多种功能的水母形机器人。研究人员将一个直径3毫米的磁性复合弹性体核与8个可弯曲的垂瓣连接在一起，对其施加振荡磁场后，这些垂瓣便会收缩再恢复，类似游泳的水母。该机器人还可通过操控周围的水流，完成运输不同大小的球珠（模拟捕食）、钻入球珠隐藏及混合不同流体等任务。该机器人有望应用于救援、海上运输、水质监测和水下勘探等领域。

2. 微纳机器人研究推进，展现出强大应用潜力

2019年1月，英国政府投资数千万英镑开发微型机器人，其将用于地下管道网络检修和核设施除役等危险场景。该机器人将配备多种传感器，可相互通信并共享数据，及时找到管道损坏处，针对性地开展维修。此类机器人有助于更高效、快速地解决地下管道出现的问题，也可减少路面挖掘作业次数，避免对公共交通产生影响。预计该机器人投入使用后每年将减少50亿英镑的经济损失。

2019年4月，美国麻省理工学院研究人员研发出一种微型磁性机器人，可突破血流阻力将携带药物的纳米颗粒送至肿瘤或其他病灶深处。该微型机器人由3D打印而成，呈螺旋结构，类似细菌鞭毛，其表面涂有具有磁性的镍钛合金。研究人员可用磁场对机器人进行控制，对其施加外部磁场后，机器人开始旋转，并可进入200微米宽的模拟血管孔道中，将200纳米的聚苯乙烯颗粒送入目标组织。该机器人未来有望在靶向药物投送领域发挥重要作用。

2019年5月，美国南加州大学研究人员开发出具有更好偏航控制性的4翅微型蜜蜂机器人。研究人员创建出单变形驱动器，仅使用一条压电材料，可使蜜蜂机器人沿着规划路径行进并避开障碍物，制造成本更低。该机器人的重量只有95毫克，其负载分布于4个翅膀上，预计其耐久性和寿命将远高于此前的两翅机器人Robobee。该微型机器人在搜索和救援、农业和危险检测等领域具有应用潜力。

3. 工业机器人更加智能化，人机协作不断深入

2019年3月，德国自动化技术公司Festo推出一款仿生气动软体手Bionic SoftHand。该机械手采用模块化设计，拥有12个自由度，通过手指上的气动波纹管结构控制动作。当气室充满空气时，手指弯曲；气室排空时，手指呈伸展状态。这款机械手还搭载了强化学习模块，可以通过自我学习，在虚拟环境中借助深度相机数据与人工智能算法创建数字模拟模型，完成对必要行为策略的学习，不断优化行动能力，最终成功完成任务。该机械手与气动轻型机器人相结合，可实现直接且安全的人机协作。

2019年4月，在德国汉诺威工业博览会上，中国AI机器人公司非夕推出首个自适应机械臂Rizon。该机械臂结合了前沿的力觉控制及先进的人工智能技术，具有误差容忍度高、抗干扰性强及智能可迁移工作能力强的特点，能够在不确定的环境下高效工作。这种自适应机器臂将在制造业、医疗和零售等多个领域创造更多价值。

2019年5月，美国麻省理工学院推出一款新型机械臂系统Roboraise，可通过监控人类肌肉运动模仿人类动作，实现与人类更加无缝的配合。该系统通过附着在人类二头肌、三头肌上的非侵入性肌电图传感器跟踪肌肉活动，然后经由算法将获取的信号转换为控制指令，机械臂就能在几乎实时的情况下复制人类手臂动作。测试结果表明，机械臂能够对约70%的手势做出正确反应。该研究或将进一步促进人机协作的良性发展。

9.3 3D打印加速发展，产业应用不断深化

随着3D打印技术的进步及产品持续创新，全球3D打印市场快速扩张。3D打印技术不断进步，已发展至陶瓷3D打印、高分子3D打印以及生物3D打印等。虽然目前3D打印还未被用作批量生产的替代技术，但其已被广泛用于许多领域的原型设计，在航空航天、军事、工业、医疗、文教和消费等领域的热点应用竞相涌现。

1. 3D 打印材料、技术和设备创新持续加速

2019 年 4 月，美空军研究实验室与多所大学联合开发出一种 3D 打印环氧树脂碳纤维复合材料。研究人员利用集成了压力泵的喷墨 3D 打印设备为喷嘴供给树脂，可直接加工出具有短纤维的环氧树脂复合材料，无需使用昂贵的热压罐，并且能节省加热时间。该材料可用于快速制造高强度复合材料零件，或将推动战场零件按需制造，加速武器系统的开发。

2019 年 6 月，美国伊利诺伊大学芝加哥分校研究人员开发出一种无需支架即可 3D 打印生物组织的新技术。该技术将生物组织打印入由微珠组成的水凝胶块中，水凝胶珠粒在紫外线照射下彼此交联，保持形状，细胞可以在此环境中繁殖与联通。当生物组织成熟后，可以通过搅动基质使水凝胶无害降解，还可通过化学方法来控制其降解速率。该研究将有助于解决生物 3D 打印中支架降解时机难把握以及降解产生有毒副产品等问题。

2019 年 3 月，德国弗劳恩霍夫机床和成形技术研究所开发出一套螺杆挤出增材制造系统 SEAM，其成型速度是传统 3D 打印的 8 倍。该系统将增材制造技术与先进机床相结合，并配备了一个专门设计的挤出头，可将树脂原材料熔化并以高速率喷射，熔化的树脂在构造平台上逐层沉积。该系统适用于多种树脂材料，包括热塑性树脂和含有 50% 碳纤维的树脂基复合材料。这些材料在工业中应用广泛，但通常难以采用传统的 3D 打印设备制造。

2. 3D 打印在各领域深入应用，推动相关行业发展

2019 年 4 月，以色列特拉维夫大学研究人员利用人体细胞组织 3D 打印出一颗包括细胞、血管和心室的完整活体心脏。研究人员从人类身体提取细胞组织并对其进行编程，使之成为干细胞再将其转化为心肌细胞和内皮细胞，非细胞组织则被加工成水凝胶充当打印墨水，由此 3D 打印出的心脏与兔子心脏大小类似。该人造心脏所有材料都来自患者本身，因此能有效避免异体器官移植中的排斥问题。该项研究为制备用于人体的 3D 打印心脏奠定了基础。

2019 年 8 月，美国空军实验室宣布正与美国波音及机械制造商 Thermwood 合作，使用 3D 打印技术辅助生产制造以节约成本。此次合作源于美国空军实验室提出的低成本归属技术（LCAAT）计划。研究人员希望通过改进 3D 打印的材料和制造工艺降低制造成本，同时借助 3D 打印技术适应周期性的系统技术更新，以降低模具设计变更的成本。

2019 年 3 月，美国国家航空航天局（NASA）在国际空间站成功安装世界首台兼具 3D 打印和塑料回收功能的 3D 打印设备 Refabricator。该设备未来可实现按需制造，以更换卫星中需要升级的零部件和医疗器具等，并通过废料回收再利用，最大限度地减少发射替换零部件的数量，大幅降低载人航天飞行任务的物流成本。该 3D 打印设备将对降低未来载人登月和火星任务的成本和风险具有重要意义。

3. 企业联合推动 3D 打印技术发展，在多处落地创新中心

2019年3月，德国西门子宣布将投资约2700万英镑在英国伍斯特郡开设增材制造工厂。届时，该工厂将成为欧洲最大的3D打印工厂之一，拥有多个最先进的金属3D打印系统。该工厂的增材制造系统除生产西门子所需零件外，还将为英国劳斯莱斯、BAE系统、罗尔斯·罗伊斯和英国航空等当地客户生产金属部件。

2019年7月，美国GE增材制造推出制造合作伙伴网络MPN，拟在开放、竞争激烈的市场环境下加速增材制造的应用进程。当前已有加拿大Burloak Technologies，美国Carpenter Co和美国Proto Labs Inc 3个制造合作伙伴加入该网络。这3家企业将与GE增材制造共同帮助客户批量生产增材制造零件。

9.4 新一代信息技术赋能制造业，加速行业转型升级

1. 人工智能、云计算加持传统制造业，推动制造向智造发展

人工智能在全球范围内发展如火如荼，其应用从服务业向制造业拓展。人工智能正在从实验技术向产业化转变，对制造业的影响日渐突显，二者的深度融合将对制造业变革产生深远影响。

2018年10月，在西班牙巴塞罗那举办的2018年SAP TechEd大会上，德国思爱普宣布推出新一代云端解决方案SAP Cloud。该平台是一个PaaS（平台即服务）架构，可提供内存能力、核心平台服务和独特的微服务，可用于构建和扩展智能型且支持移动的云应用程序。该方案旨在通过快速、轻松和更加经济的方式开发应用程序，透过企业云端数据的传输，帮助传统企业转型成为智慧企业。2019年，思爱普与大连科技大学展开合作，将利用其数字化解决方案，共同打造“智慧企业”创新中心，助力企业转型升级。

2019年8月，英国谢菲尔德大学先进制造研究中心推出英国第一个研发型智能工厂测试平台。该测试平台具备人工智能视觉检测能力，可收集远程加工活动的实时数据流，通过智能工作平台和AR智能装配技术实现智能制造。该平台将为英国制造业开发数字解决方案，提高生产质量和效率，其总体目标是将工业生产效率提升50%，缺陷减少30%，产品交付周期缩短50%以上。

2. 5G 赋能智能制造，智能工厂加快落地

5G技术具备媲美光纤的传输速度、万物互联的泛在连接和接近工业总线的实时能力，其向工业领域的逐步渗透引发了一系列融合创新应用与变革，为制造业转型升级带来历史性的发展机遇。5G技术在推动智能工厂的发展与建设上将发挥巨大作用。

2019年4月，在德国汉诺威工业博览会上，瑞典爱立信与国内工业巨头ABB签署了基于5G技术开发工厂自动化的谅解备忘录。该备忘录专注推动5G网络切片在汽车、电子等垂直行业的合作标准制定和应用服务，通过5G和工互联网来提高工厂自动化程度。

2019年4月，在德国汉诺威工业博览会上，芬兰诺基亚与美国高通公司合作展示一系列工业5G用例，包括带有5G实时视频流的自动导引车以及用于汽车行业的质量控制系统。诺基亚还推出了Factory in a Box 2.0概念，旨在通过5G和物联网连接、机器人技术、虚拟和增强现实改善工厂流程。

2019年4月，诺基亚在芬兰奥卢建造了一座“未来工厂”，用于推动5G在工业网络中的应用研究。目前，该工厂已运用4G LTE网络使某些产品线的自动化率达到了约99%，未来工厂将会逐步升级到5G连接。诺基亚希望凭借数据分析技术的提升以及机器人数量的不断增加，使工厂实现高度自动化，使整个供应链更加灵活，更容易适应新产品的生产制造。

十、光电芯片

当前，人工智能、大数据、超级计算机和云计算等前沿科技飞速发展，带动芯片制造工艺和设计水平直线提升。随着微电子芯片制造工艺逼近1纳米物理极限，依靠工艺水平精进提升芯片性能的方法越来越难以奏效，摩尔定律正濒临失效。由于光子在芯片中不受电磁阻力等的影响，可大幅提升芯片的信息处理效率，因此光子学与芯片结合的光电芯片技术有望摆脱摩尔定律的桎梏。未来，利用光信号进行数据传输、处理和存储的光电芯片将成为5G和人工智能时代的关键基础设施，并带动整个信息技术产业进入“从电到光”的转换过程，引领整个5G和人工智能时代的不断发展。

10.1 微电子芯片制造工艺提升趋近极限

1. 5纳米芯片将于2020年量产，2纳米制程工艺已开始研发

2019年4月，台积电正式推出6纳米半导体制程技术，预计于2020年第一季度试产。台积电的6纳米制程采用极紫外线光刻技术，与其7纳米制程相比，可将晶体管密度提高18%，而且设计规则与7纳米制程完全兼容。台积电表示，6纳米制程技术将应用于中高端移动网络、人工智能、5G通信和高性能计算等领域的半导体芯片制造。

2019年4月，三星宣布完成5纳米极紫外线光刻技术的开发，并开始建设5纳米芯片生产线，拟于2020年将5纳米技术正式应用于芯片制造。5纳米极紫外线光刻技术是当前业界最先进的芯片制造技术，可为芯片带来更低的功耗和更优异的性能。三星表示，相较于7纳米工艺技术，5纳米工艺技术可让同等芯片功耗降低20%，性能提高10%。

2019年9月，台积电宣布正式开启2纳米芯片制程工艺的研发，并计划在台湾省新竹市南方科技园建立2纳米制程芯片工厂。台积电表示，2纳米制程工艺研发需要4年时间，最早将在2024年投产。在2纳米制程研发期间，台积电将使用5纳米及3纳米工艺作为过渡，以满足客户需求。按照台积电现阶段规划，其5纳米制程芯片将于2020年大规模投入生产，3纳米制程芯片将于2021年投产。

2. 芯片整体设计水平提升，不断满足技术发展要求

2019年1月，美国AMD在国际消费类电子产品展览会上发布多款下一代7纳米芯片，如第三代Ryzen CPU芯片、Radeon VII GPU芯片和EPYC服务器芯片。上述3款芯片均基于AMD最新的7纳米制程工艺。该工艺不仅能将更多晶体管封装在更小的芯片上，且可以在提升芯片性能的同时保持较低的功耗。AMD希望凭借这一系列芯片在与英特尔和英伟达的竞争中取得优势。

2019年5月，英国ARM发布下一代芯片设计方案，提升并优化芯片的整体架构。ARM称，下一代芯片设计方案将应用于新型CPU Cortex-A77和新型GPU Mali-G77，相关产品预计于2020年上市。ARM芯片设计架构的改进与先进制程工艺的结合，将为芯片带来性能和效率的双重提升。ARM表示，采用下一代设计方案的芯片可应用于5G融合、物联网、人工智能与自动驾驶等领域，将定义高端智能设备性能，为用户提供新一代的人工智能体验。

2019年8月，韩国SK海力士公司开发出业界处理速度最快的存储芯片HBM2E。与上代产品相比，新款HBM2E芯片数据处理速度提高50%，单颗芯片容量提升至16GB。与采用模块封装形式并安装在系统板上的传统动态存储器产品不同，该芯片可以与GPU和逻辑芯片等处理器紧密互连，其间距仅为几微米，可实现更快的数据传输。HBM2E将应用于数据吞吐量极大的高端GPU、超级计算机、机器学习和人工智能系统等尖端领域。

10.2 光电芯片技术研发进展顺利，应用前景明晰

1. 美国光电芯片研发屡获突破，技术水平处于世界领先地位

2019年1月，美国哈佛大学研究人员开发出新型光子集成芯片。该芯片可以存储光，并修改光的频率，有望应用于光量子信息处理、光信号处理和微波光子学。研究人员表示，许多光量子和经典光学应用都需要改变光的频率，该芯片首次利用微波以可编程的方式实现对光频率的修改。

2019年6月，美国麻省理工学院研究人员开发出一种新型光子芯片。该芯片不仅体积更小，具有更低的功耗，且处理大规模神经网络的效率比现有计算机高出数百万倍。实验结果表明，该光子芯片运行光神经网络的效率是电子芯片的千万倍。该芯片在神经网络中的应用包括机器人目标识别、自然语言处理、药物开发、医学成像和无人驾驶汽车等领域，可提高训练和测试神经网络的速度与效率。

2. 光电芯片研究成果将加速其在人工智能等领域的应用

2019年4月，美国芯片公司Lightelligence成功开发出世界首款光子芯片原型板卡。研究人员在该原型板卡上成功用光子芯片运行Google Tensorflow自带的卷积神经网络模型，并完成对MNIST数据集的处理。测试中，光子芯片独立完成超过95%的运算。测试结果显示

示，光子芯片运算准确率达 97% 以上，已经接近电子芯片，而且光子芯片完成矩阵乘法所用的时间约为最先进电子芯片的百分之一。该芯片成功验证了用光子代替电子进行人工智能计算的可行性。

2019 年 5 月，美国英特尔与加州大学伯克利分校研究人员提出构建光神经网络的新架构，有助于纳米光子神经网络在实际中的应用。研究人员提出构建光学神经网络引擎的 GridNet 和 FFTNet 两种架构，并在针对手写数字识别任务的软件仿真中，对这两种架构进行训练。研究人员发现，在双精度浮点值下，GridNet 的精度要高于 FFTNet，FFTNet 则对制造过程的精确性有更强的容忍度，而且两种架构均可用于规模化生产。此项成果将推动基于光电芯片的人工智能硬件生态系统搭建，为光电芯片的大规模应用创造可能。

10.3 光通信芯片和光子器件研发助力 5G 大规模商用

1. 日本研发出用于波分多路复用光纤网络的光通信芯片，可实现高速数据传输

2019 年 3 月，日本新能源产业技术综合开发机构、光电子融合基础技术研究所和冲电气工业株式会社合作研发出一种光通信芯片，可在微型光电模块上实现高速数据传输。3 家机构基于硅光子技术研发出用于波分多路复用光纤网络的光通信芯片，可接收 4 种不同波长光信号，并在 5 平方毫米的板载光模块上实现 400Gbps 的高速传输。

5G 可提供高速率、低延迟和大规模设备连接等通信服务，其使用的频谱是毫米波。与 4G 所使用的频谱相比，毫米波有信号衰耗大且易受阻挡的缺点。因此，5G 基础设施建设需要设置数量众多的小基站，其数量预计将会是 4G 网络基站的 100 倍。此外，5G 高速传输还需要更多用于无源光纤网络的小基站，以及开发微型无线电收发两用机。日本研制的高性能微型光通信芯片将进一步推动 5G 商用化进程。

2. 欧盟、英国和日本研发光子器件，以提升光通信数据传输效率

欧盟、英国和日本高度重视光子器件研发，通过推动光通信基础器件性能的提升，带动光通信数据传输速率的提高。例如，欧盟石墨烯旗舰项目开发出可服务于下一代光通信的集成石墨烯光子器件。与现有技术相比，石墨烯光子在性能和制造方面都具有优势，可以确保调制、检测和开关性能，满足光子器件制造下一步发展的所有要求。研究人员表示，石墨烯光子器件将从根本上改变数据在光通信系统中的传输方式，石墨烯集成设备将成为 5G、物联网和工业 4.0 发展的关键因素。英国南安普顿大学、日本东京大学、日本丰桥科技大学以及日立公司的研究人员，合作研发出一种微齿轮漩涡光发射器，可利用光通信实现高容量数据传输。英日两国研究人员在硅基上设计了由锗制成的微齿轮，由于锗、硅在制造工艺上具有良好的兼容性，这种新的微齿轮发射器可以用来提升光学芯片的计算和通信能力。

3. 远距离光通信技术成果丰硕，提升光通信整体实践应用水平

2019年7月，NASA宣布使用红外激光实现更快的空间通讯。为解决太空中数据传输缓慢的问题，NASA计划在猎户座飞船上安装激光通信装置，将超高清视频发射回地球。激光通信具备更短的波长和更高的频率，每秒可以传输更多数据，其速度将是S波无线电的10倍。目前，技术人员正在测试防抖系统，以减小航天器抖动对信号传输的干扰。激光通信将极大提升空间通信效率，帮助拓展更多研究。

2019年7月，美国Analytical Space公司宣布将研发世界首个高吞吐量激光小卫星数据网络，以改善低轨小卫星连通能力。Analytical Space公司将研发一系列配备光通信链路的LEO轨道立方体卫星。卫星通过激光链路传输数据，可将数据传输能力提高3倍，且成本仅为当前数据传输费用的1/2。

2019年8月，俄罗斯航天国家集团公司计划在国际空间站与地面基站之间开展第二次空间高速激光通信链路试验。此试验旨在利用激光通信使国际空间站与地面基站的数据传输速率提高至10Gbps，并计划在国际空间站与卫星之间建立速率为1.2Gbps的激光信道。此项试验将于2021年完成，届时国际空间站将可通过俄罗斯的设备完成全天时通信。

2019年9月，日本宇宙航空研究开发机构和日本索尼计算机科学实验室发射小型卫星光通信实验装置，以开展远距离空间光通信在轨验证。该装置通过“鹳”8号货运补给飞船发送至国际宇宙空间站，并利用日本“希望”号实验舱的舱外实验工作台开展在轨验证工作。日本宇宙航空研究开发机构理事若田光表示，远距离空间光通信技术可作为国际宇宙空间站、月球、火星同地球之间的通信手段，将对未来实现星间和地面上大容量实时数据通信提供关键支持。

10.4 半导体设备“从电到光”转换

1. 光传感芯片将推动自动驾驶、机器人和虚拟现实等技术的优化应用

2019年1月，韩国高等科学技术研究院与韩国国家纳米中心合作，开发出一款硅基光学相控阵芯片，可应用于3D图像传感领域。3D图像传感器能够将具有立体信息的深度数据添加到照片等2D图像中，使其作为3D图像被识别。3D图像传感器是各种电子设备“认知”世界的核心器件，可应用于自动驾驶汽车、无人机和机器人等需要准确感知周围物体距离信息的场景。该芯片除具备3D图像传感器的功能外，还可以将捕捉到的3D图像数据进行特定方向的无线传输，从而实现电子设备间高分辨率、高容量图像信息的自由通信。该芯片有望嵌入智能手机，用于支持人脸识别、增强现实和虚拟现实等3D传感应用。

2019年4月，美国加州大学伯克利分校研制出高速可编程、大阵列的二维光学相控阵芯片。与传统的硅光、液晶等光学相控阵技术相比，该芯片创新性地将新型光栅结构与硅基微机电技术相结合，不仅可实现无损的光学耦合，且具有更经济、更高速及更高可靠性

的优点。此外，该芯片的光栅结构可同时应用于从可见光到近红外的宽带光谱，不受硅光片上集成的波长限制，从而可直接应用于新一代医疗成像设备、光通信和全息电视等领域，并为自动驾驶汽车提供更强大的激光雷达传感器。

2. 光学器件性能提升为光电芯片的研制打造坚实基础

2019年1月，美国加州大学圣巴巴拉分校、耶鲁大学、北亚利桑那大学和霍尼韦尔公司合作研发出一种微型激光器，能够发射基本线宽小于1赫兹的激光。该激光器可被集成到光子集成电路中，在微芯片厂的晶圆上实现规模化制造。研究人员将高端激光器的性能转移到光子微芯片上，在大幅降低成本和尺寸的同时，可推动该技术应用于光谱、导航、量子计算和光通信等领域。

2019年8月，美国加州大学圣地亚哥分校开发出世界上最薄、仅有3层原子厚度的光导器。该光导器由悬浮在硅框架上的二硫化钨单层构成，厚度约为普通光纤直径的万分之一，是集成光子电路中光导器厚度的1/500，可使光线在其内部以全反射的方式沿平面传播。该项研究证明了光学器件可缩小到比现有器件小几个数量级的尺寸，将促进更高密度、更高容量光子芯片的发展。

2019年9月，新加坡南洋理工大学研究人员开发出可测量纳米级距离的光学尺。此前的光学器件受衍射极限限制，最小分辨率为400纳米，无法观测病毒及纳米粒子等微小物体。研究人员通过计算激光超震荡现象的梯度，完成对单个原子尺寸的测量。该光学测量方法可用于微小系统制造中的质量控制，助力半导体和光电子器件开发。

2019

中国硬科技发展白皮书

第三部分 产业篇

一、国内主要城市产业创新综合能力评价

1.1 城市产业创新综合能力评价指标体系及评价方法

本篇依据《建设创新型城市工作指引》（国科发创〔2016〕370号）中的指标体系，对标新时代高质量发展指标体系，同时充分体现硬科技的内涵和外延，构建了城市产业创新综合能力评价指标体系，见表1。

为保持统计口径一致，报告测算所涉及数据来源于相关权威统计部门的统计和调查数据（本报告采用的数据为2017年数据，部分指标如科创板上市企业为2019年数据）。

城市产业创新综合能力的评价方法采用加权综合评价法，二级指标无量纲化后，分层次逐级加权求和，最后得出每个城市产业创新综合能力指数，具体计算方法如下。

1. 二级指标得分计算

对所有城市的25个二级指标原始值分别进行指标的无量纲归一化处理。无量纲化是为了消除多指标综合评价中，计量单位上的差异和指标数值的数量级、相对数形式等的差别，解决指标的可综合性问题。

二级指标得分计算采用效用值法，效用值规定的值域是[0,100]，即该指标下表现最好城市的效用值为100，最差城市的效用值为0，计算方法如下：

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j}$$

式中， $i=1\sim36$ ，表示第*i*个城市， $j=1\sim25$ ，表示第*j*个指标。

2. 一级指标得分计算

一级指标得分 Y_{ik} 计算方法如下：

$$Y_{ik} = \sum_{p=1}^{n_k} w_k Y_{i(p+5k-5)}$$

式中， w_k 为二级指标的权重， $k=1\sim4$ ，表示第*k*个一级指标， n_k 表示第*k*个一级指标下二级指标的个数。

3. 城市创新发展指数得分计算

城市产业创新综合能力指数得分 Y_i 计算方法如下：

$$Y_i = \sum_{m=1}^4 w_k Y_{ik}$$

式中， w_k 为一级指标的权重。

一级指标权重设定参考国内外相关知名城市评价方法确定为：产业创新基础和产业创新环境各 15%，产业创新投入和产业创新产出各 35%。各一级指标下二级指标的权重总体上遵循平均分配的原则，对中央级普通高等学校和科研院所数量、全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重、国家级科技成果奖数、万人发明专利拥有量等能够充分体现城市产业创新实力的指标适当调增权重。

表 1 城市产业创新综合能力评价指标体系

一级指标	序号	二级指标
产业创新基础	1	中央级普通高等学校和科研院所数量（个）
	2	万人普通高等学校在校学生数（人 / 万人）
	3	国家重点实验室数量（个）
	4	国家技术创新中心和工程（技术）研究中心数量（个）
	5	国家国际科技合作基地数（个）
产业创新投入	6	全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重（%）
	7	基础研究经费（亿元）
	8	规上工业企业 R&D 经费支出占主营业务收入比重（%）
	9	财政科技支出占公共财政支出比重（%）
	10	科创板上市企业数量（家）
	11	万名就业人员中研发人员（人年 / 万人）
	12	外国人才来华工作数（人次）
产业创新产出	13	国家级科技成果奖数（项当量）
	14	万人发明专利拥有量（件 / 万人）
	15	技术合同成交额占地区 GDP 比重（%）
	16	科技型中小企业数量（家）
	17	高新技术企业数（家）
	18	高新技术企业主营业务收入占规上工业企业主营业务收入比重（%）
	19	高技术产品出口额占商品出口额的比重（%）
	20	全员劳动生产率（万元 / 人）
产业创新环境	21	国家级科技企业孵化器（含众创空间）、大学科技园、双创示范基地数量（个）
	22	国家级科技企业孵化器、大学科技园当年新增在孵企业数（家）
	23	万人专利申请量（件 / 万人）
	24	实际使用外资金额占地区 GDP 比重（%）
	25	空气质量优良率（%）

1.2 国内主要城市产业创新综合能力总体排名

按照上述城市产业创新综合能力评价指标体系和评价方法，本篇选择国内 31 个省会城市和 5 个计划单列市，对共计 36 个国内主要城市的产业创新发展情况展开评价，评价总体排名结果见图 1、2。

从评价结果可知，北京市产业创新综合能力指数得分为 86.59，在 36 个城市中遥遥领先，属于创新发展的第一梯队。上海市和深圳市产业创新综合能力指数分别为 51.86 和 50.99，分列第 2 和第 3 位，属于创新发展的第二梯队。西安市、广州市、杭州市、武汉市、南京市和天津市这 6 个城市产业创新综合能力指数在 30 分以上，属于创新发展的第三梯队。合肥市、长沙市、成都市、厦门市、青岛市和宁波市这 6 个城市产业创新综合能力指数在 20 分以上，属于创新发展的第四梯队。其余 21 个城市属于创新发展的第五梯队。

从地区分布来看，城市创新发展指数排名呈现“东强西弱，南强北弱”的态势。第一、第二梯队的城市均位于东部，第三和第四梯队 12 个城市中，有 7 个城市位于东部地区，中部地区有 3 个城市，西部地区仅有西安市和成都市 2 个城市。可见，东部地区在创新发展上领先优势明显。在前四个梯队的 15 个城市中，有 11 个城市位于南方，只有 4 个城市位于北方，可见，南方在创新发展上比北方要先行一步。

图 1 主要城市产业创新综合能力指数排名

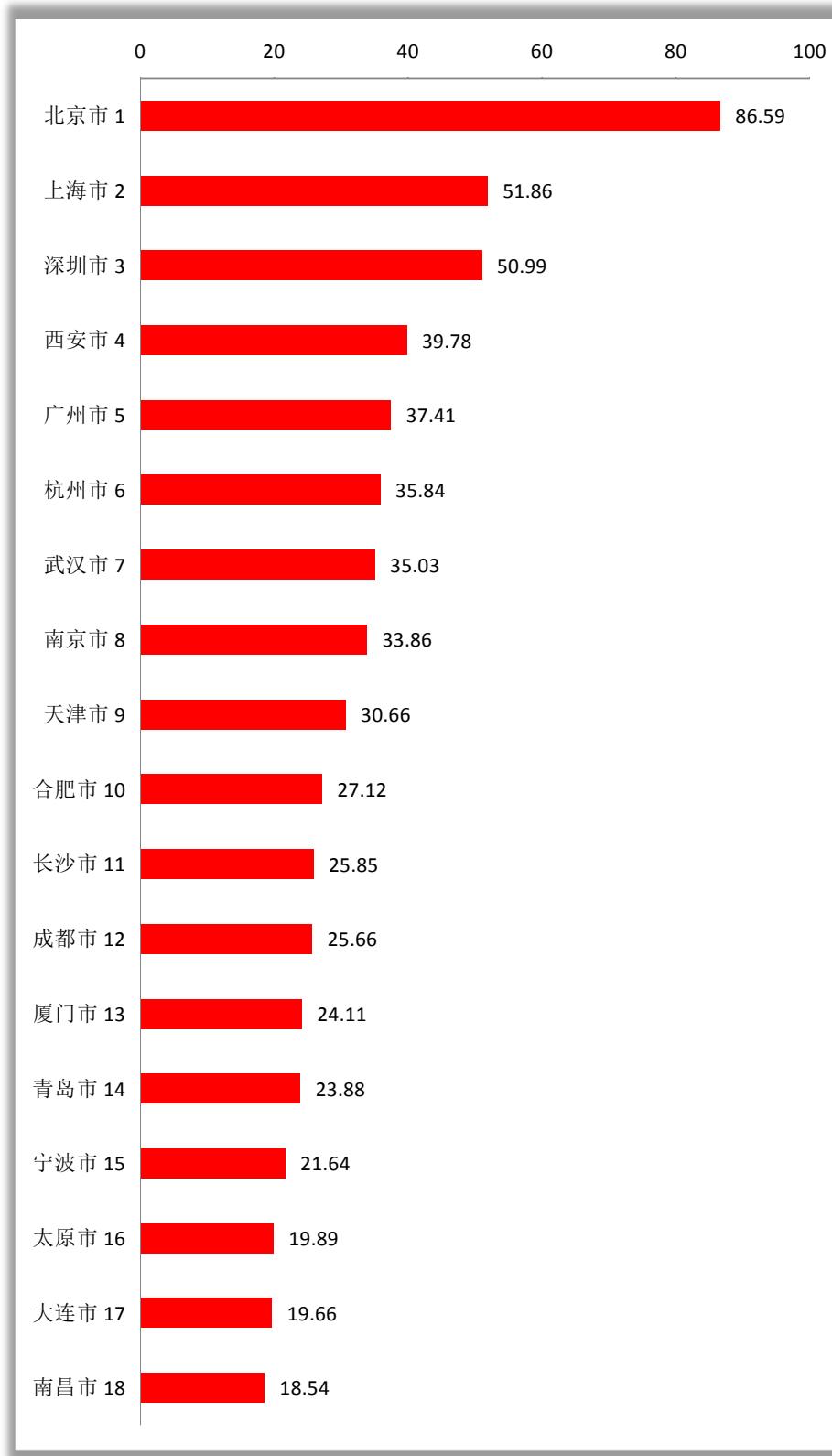


图 2 主要城市产业创新综合能力指数排名 (续)

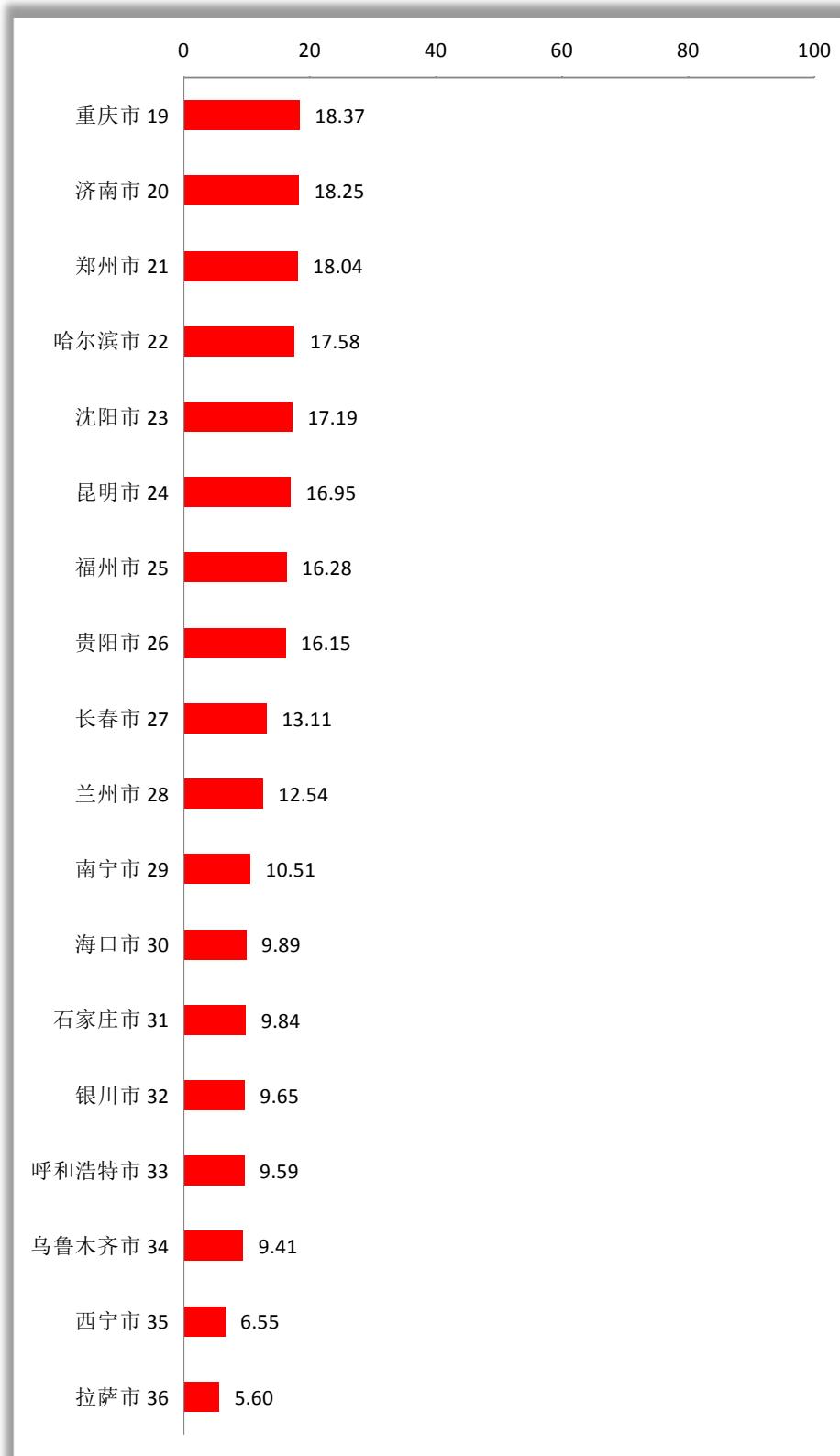


表 2 主要城市产业创新综合能力指数各维度得分情况

	创新基础		创新投入		创新产出		创新环境	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
北京市	89.31	1	80.13	1	94.69	1	80.06	1
天津市	12.73	15	32.78	11	30.59	7	43.79	10
石家庄市	6.55	30	15.99	28	4.71	36	10.73	33
太原市	14.05	12	26.81	15	20.64	12	7.81	36
呼和浩特市	10.05	22	9.34	33	9.20	28	10.65	34
沈阳市	9.72	24	21.69	20	14.65	17	20.08	25
大连市	9.35	25	23.77	18	15.90	16	29.18	18
长春市	12.68	16	14.94	30	9.82	26	16.92	27
哈尔滨市	11.34	21	20.84	21	12.07	23	29.09	19
上海市	24.92	4	66.42	2	45.73	3	59.14	3
南京市	25.61	3	38.48	8	27.73	9	45.62	9
杭州市	14.21	11	45.37	5	28.01	8	53.50	4
宁波市	3.24	35	31.04	12	11.91	24	40.78	13
合肥市	11.83	19	39.31	7	17.49	13	36.44	15
福州市	7.01	29	24.00	17	8.33	30	26.08	23
厦门市	6.05	32	33.48	10	14.40	18	42.96	12
南昌市	15.63	9	19.48	22	10.43	25	38.18	14
济南市	12.19	17	24.04	16	13.24	20	22.51	24
青岛市	11.90	18	29.14	13	14.00	19	46.68	7
郑州市	15.24	10	16.34	26	17.23	14	26.68	22
武汉市	25.70	2	37.01	9	32.01	6	46.77	6
长沙市	17.56	7	28.77	14	23.18	11	33.56	16
广州市	18.69	5	44.47	6	35.71	5	43.64	11
深圳市	3.93	34	61.26	3	55.44	2	63.68	2
南宁市	8.62	27	8.80	34	9.45	27	18.87	26
海口市	7.86	28	10.00	32	8.46	29	14.99	28
重庆市	9.93	23	18.38	24	16.15	15	31.95	17
成都市	13.60	13	22.59	19	23.46	10	50.04	5
贵阳市	11.45	20	16.56	25	12.22	22	29.04	20
昆明市	13.04	14	18.77	23	12.27	21	27.52	21
拉萨市	2.94	36	2.56	36	6.22	34	13.87	29
西安市	16.44	8	48.16	4	38.53	4	46.52	8
兰州市	17.93	6	14.99	29	7.42	31	13.39	30
西宁市	3.98	33	4.93	35	6.79	32	12.34	31
银川市	6.29	31	16.19	27	5.20	35	8.15	35
乌鲁木齐市	8.98	26	11.35	31	6.71	33	11.61	32

1.3 主要城市产业创新综合能力表现分析

1. 第一梯队领跑者代表：北京

北京市产业创新综合能力水平指数为 86.59，居所有主要城市第 1 位。其中产业创新基础指数得分 89.31，居第 1 位；产业创新投入指数得分 80.13，居第 1 位；产业创新产出指数得分 94.69，居第 1 位；产业创新环境指数得分 80.06，居第 1 位。

从创新投入的变化趋势来看，北京近年来一直稳定在高位。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年以来一直保持着 6% 左右，2017 年虽有所下降（5.64%），但仍超出全国平均水平（2.13%）1 倍以上；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来保持在 5% 左右，2017 年为 5.30%，超出全国平均水平（2.56%）的 1 倍以上。

图 3 北京市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

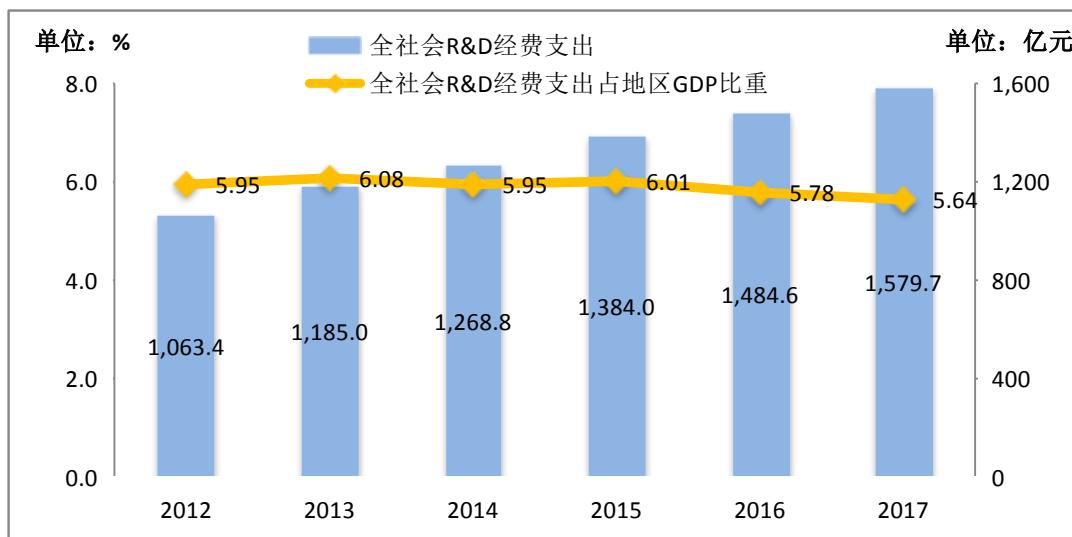
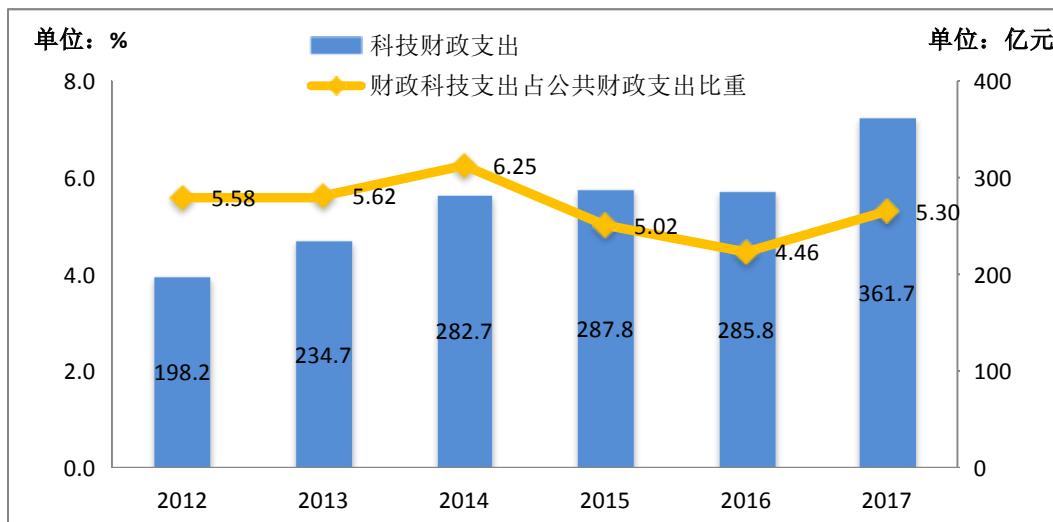
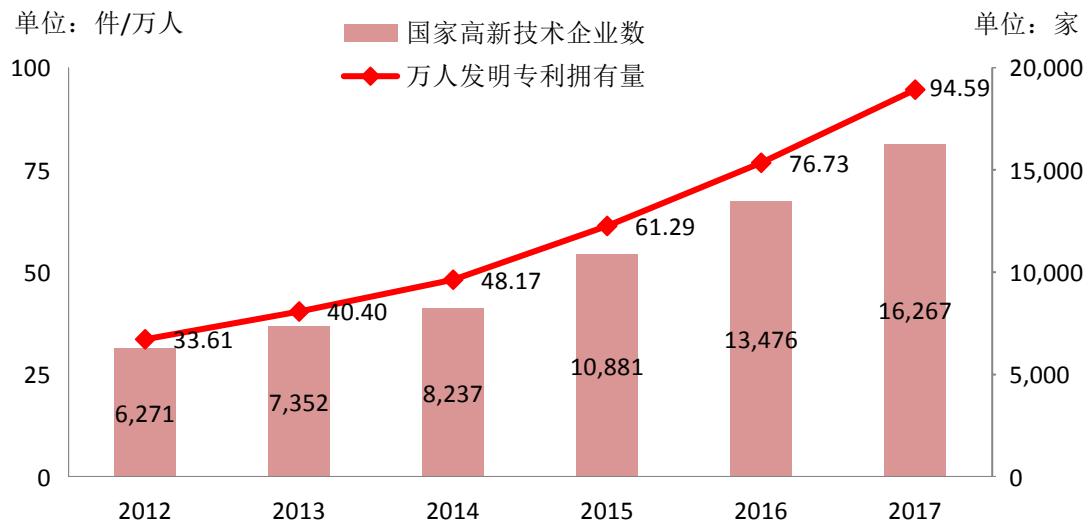


图 4 北京市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，北京近年来呈现出快速上涨的态势。万人发明专利拥有量从2012年的33.61件/万人上升到2017年的94.59件/万人，5年间增长了1.8倍，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的10倍；国家高新技术企业数从2012年的6271家增加到2017年的16267家，年均增加2000家，2017年高新技术企业数占全国（130632家）的1/10以上。

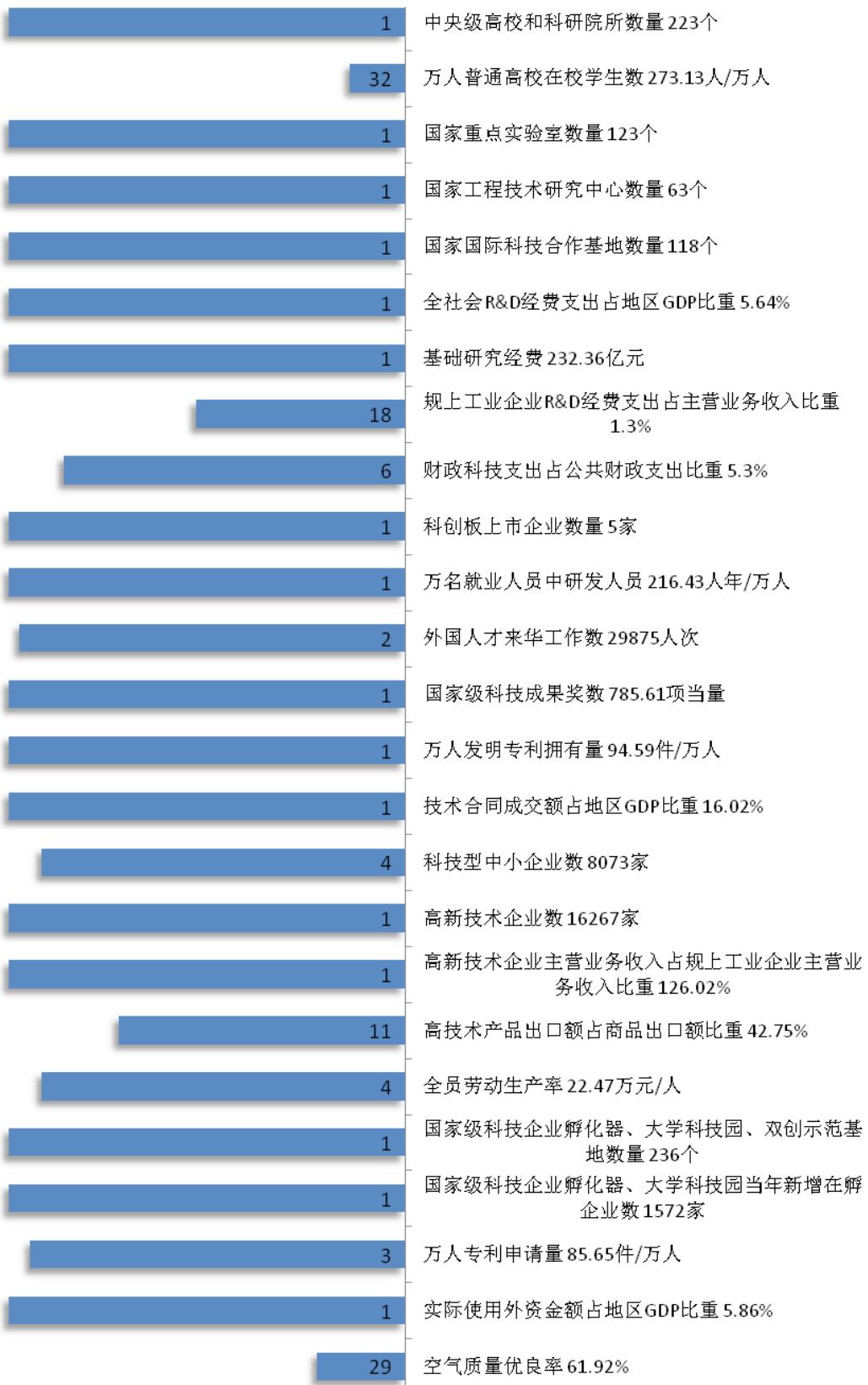
图5 北京市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，北京市绝大部分指标均位列第1位。北京拥有北京大学、清华大学、中国人民大学、北京交通大学、北京航空航天大学、北京理工大学、北京科技大学、北京化工大学、北京邮电大学、北京电子科技学院等中央级高校38所，约占全国（118个）的1/3；拥有中国科学院、中国农业科学院、中国林业科学院、中国医学科学院等下属的中央级科研院所185个，超过全国（342个）的1/2；拥有生物膜与膜生物工程国家重点实验室、人工微结构和介观物理国家重点实验室、微波与数字通信技术国家重点实验室等国家重点实验室123个，国家企业信息化应用支撑软件工程技术研究中心、国家新能源工程技术研究中心、国家非晶微晶合金工程技术研究中心等国家工程技术研究中心63个，数量规模均排名首位。2017年北京基础研究经费232.36亿元，约占全国（975.49亿元）的1/4；国家级科技成果奖项785.61项，占全国（2220项）的1/3以上；技术市场合同成交额4486.89亿元，占全国（13424.2亿元）的1/3以上。空气质量是北京创新发展的最大短板，2017年北京空气质量优良率仅为61.92%，在36个主要城市中排名第29位。

总体上看，北京市作为产业创新发展的领跑者城市，创新基础雄厚，创新投入总量大、强度高，创新产出丰富，创新生态优越，科技创新对经济发展起到了显著的支撑作用，但在空气质量方面还存在明显的短板。

图 6 北京市产业创新发展指标数据及排名情况



2. 第二梯队挑战者代表：上海、深圳

上海市产业创新综合能力水平指数为 51.86，居所有主要城市第 2 位。其中产业创新基础指数得分 24.92，居第 4 位；产业创新投入指数得分 66.42，居第 2 位；产业创新产出指数得分 45.73，居第 3 位；产业创新环境指数得分 59.14，居第 3 位。

从创新投入的变化趋势来看，上海市近年来一直稳定在一定水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年以来保持在 3% 以上且并未超过 4%，一直超出全国平均水平；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来保持在 4-5% 左右，2015 年出现一个降低趋势之后，2016 年至 2017 年均呈现上升态势，一直保持远超全国平均水平。

图 7 上海市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

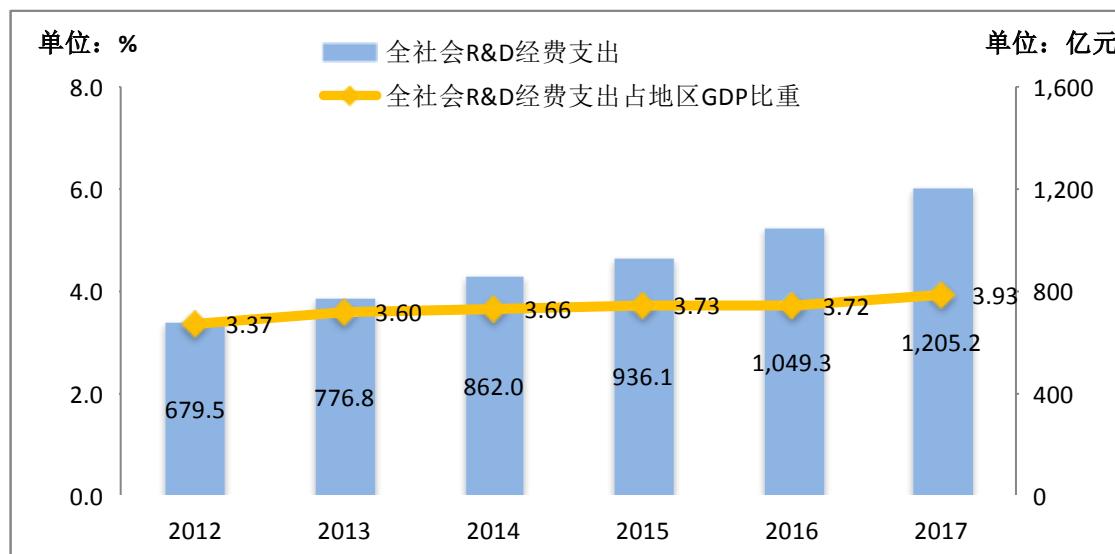
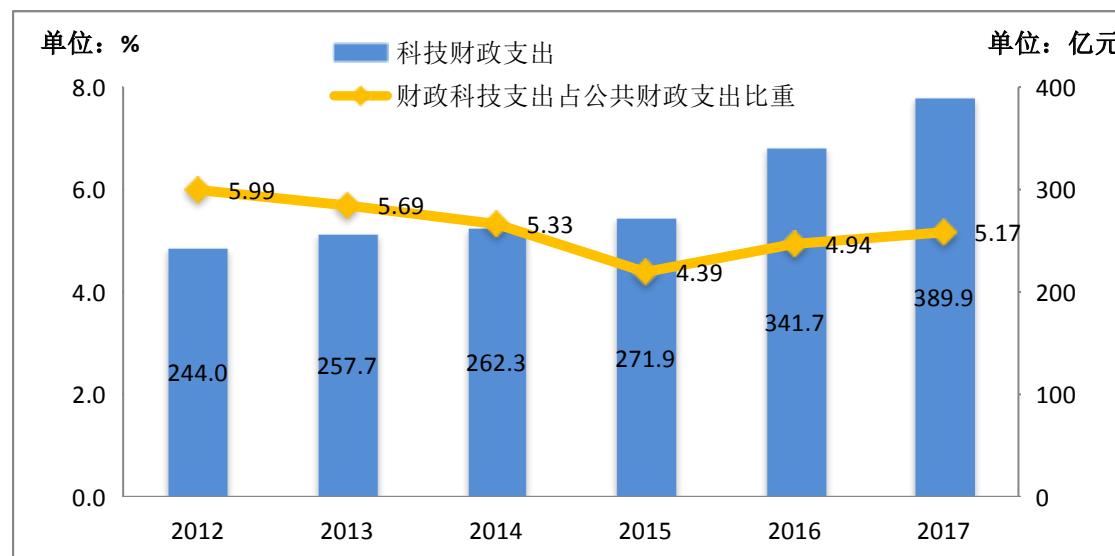
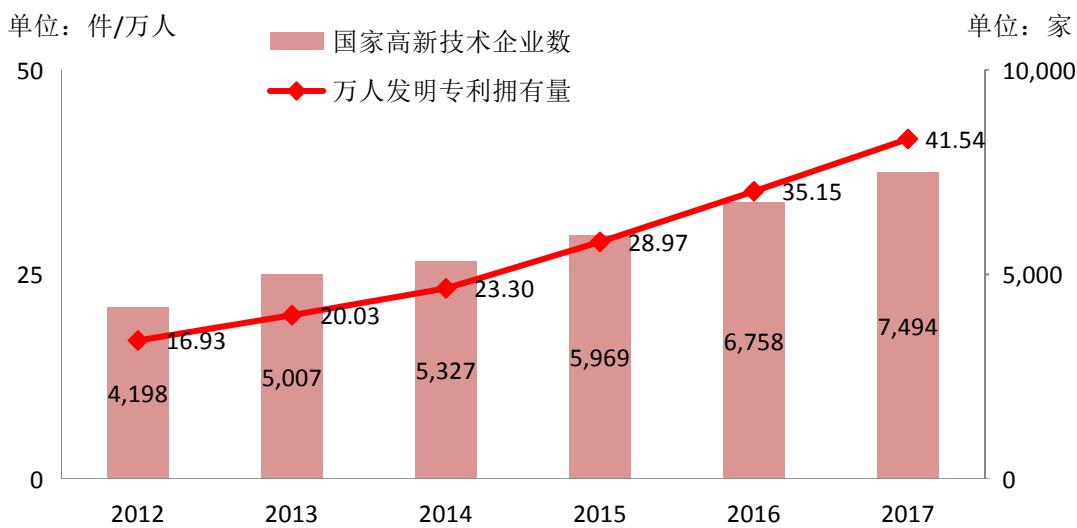


图 8 上海市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，上海市近年来呈现出持续上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的16.93件/万人上升到2017年的41.54件/万人，年均增长率为19.66%，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的4倍；国家高新技术企业数从2012年的4198家增加到2017年的7494家，年均增加600多家，2017年高新技术企业数占全国（130632家）的5.74%。

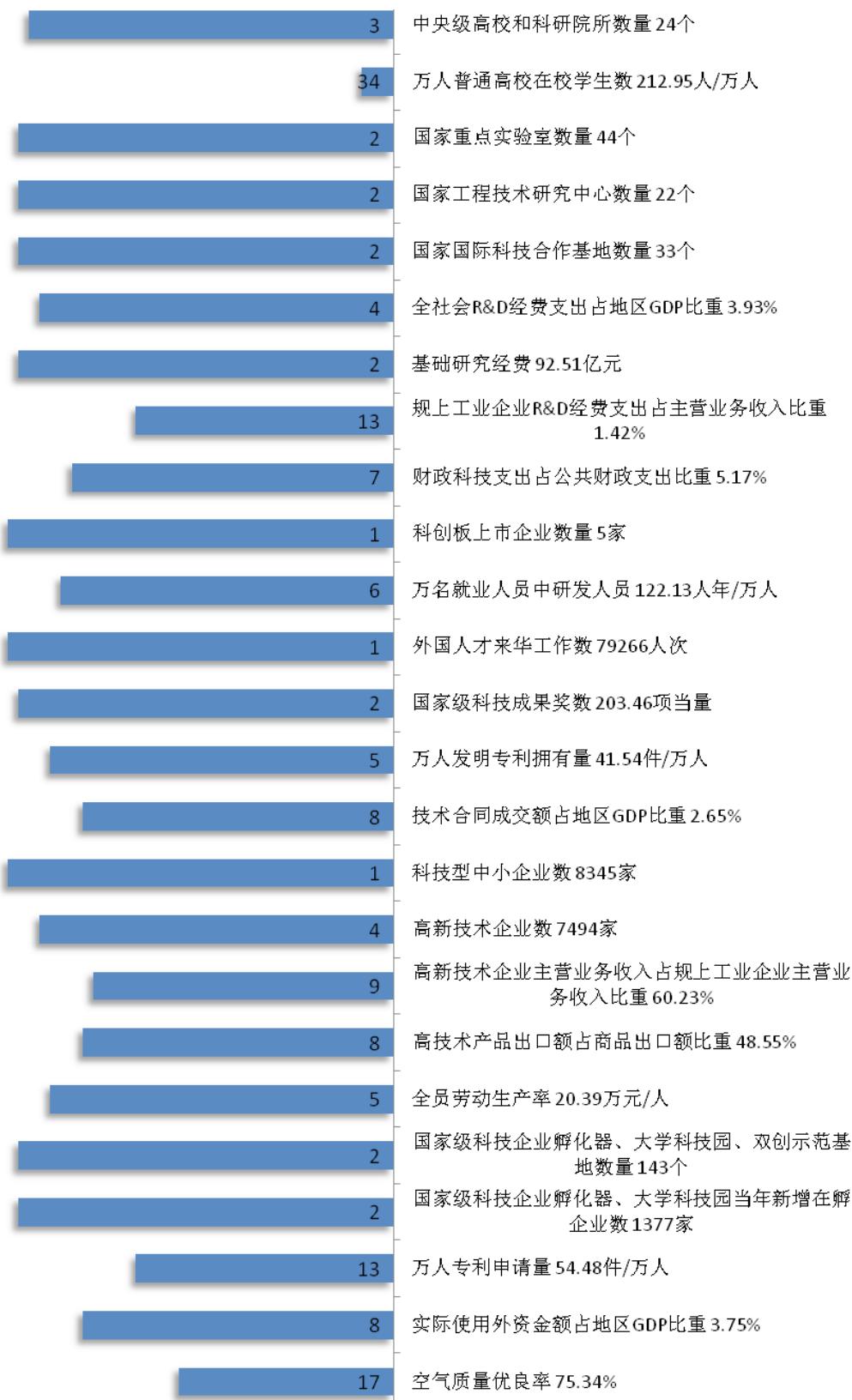
图9 上海市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，上海市绝大部分指标均位列第10位以内。上海市拥有复旦大学、同济大学、上海交通大学、华东理工大学、东华大学、华东师范大学、上海外国语大学、上海财经大学、上海海关学院、上海科技大学等中央级高校11所；拥有上海微系统与信息技术研究所、上海技术物理研究所、上海光学精密机械研究所、上海硅酸盐研究所、上海有机化学研究所、上海应用物理研究所、上海天文台、上海生命科学研究院、上海巴斯德研究所、上海药物研究所、上海高等研究院、上海兽医研究所、神经科学研究所等中央级科研院所13个。上海市拥有科创板上市企业数量为5家，占全国首批29家的17.24%；外国人才来华工作数79266人次，居全国首位，远超国内其他城市；科技型中小企业为8345家，占全国（129339家）的6.45%。上海市排名靠后的指标是万人普通高等学校在校学生数，2017年为212.95人/万人，在36个主要城市中排名第34位；空气质量优良率为75.34%，排名17位。

总体上看，上海市作为产业创新发展的挑战者城市，创新基础坚实，创新投入强度较高，创新产出较为丰富，创新环境良好，尤其在引用国外人才和培育科技型企业方面表现突出。

图 10 上海市产业创新发展指标数据及排名情况



深圳市产业创新综合能力水平指数为 50.99，居所有主要城市第 3 位。其中产业创新基础指数得分 3.93，居第 34 位；产业创新投入指数得分 61.26，居第 3 位；产业创新产出指数得分 55.44，居第 2 位；产业创新环境指数得分 63.68，居第 2 位。

从创新投入的变化趋势来看，深圳市近年来一直稳定在一定水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年的 3.77% 持续增长至 2017 年的 4.34%，一直超出全国平均水平；科技财政支出占公共财政支出比重波动较大，2014 年降至 4.37%，2016 年猛增到 9.58%，2017 年回落到 7.66%，一直保持远超全国平均水平。

图 11 深圳市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

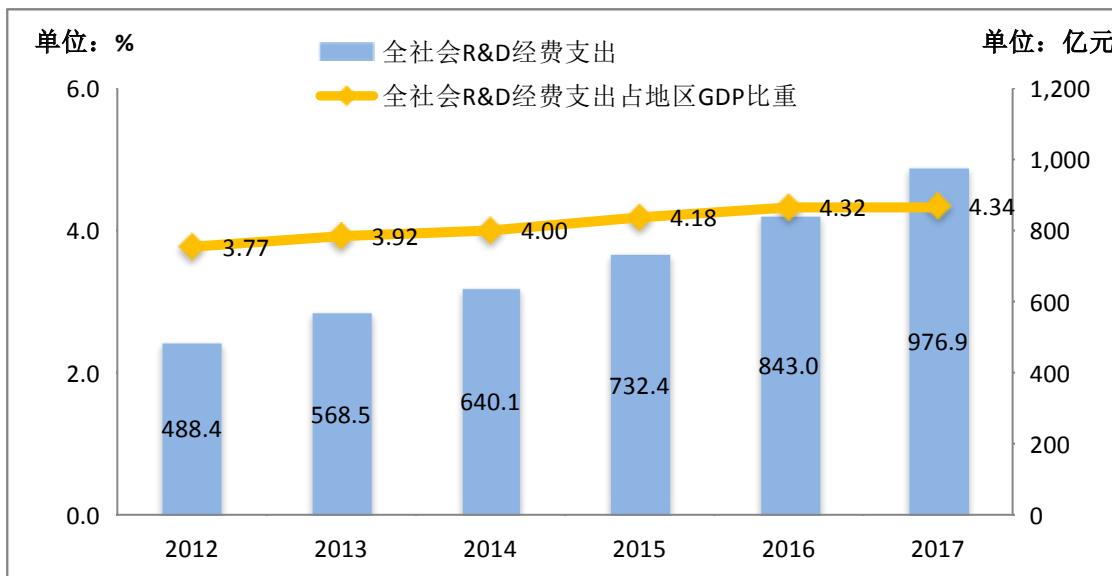
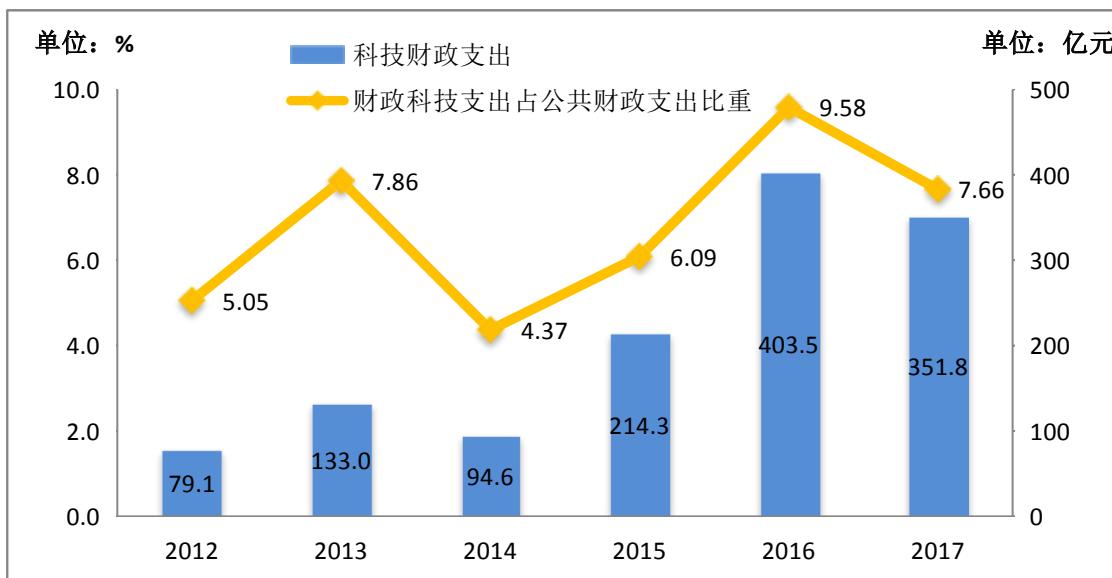
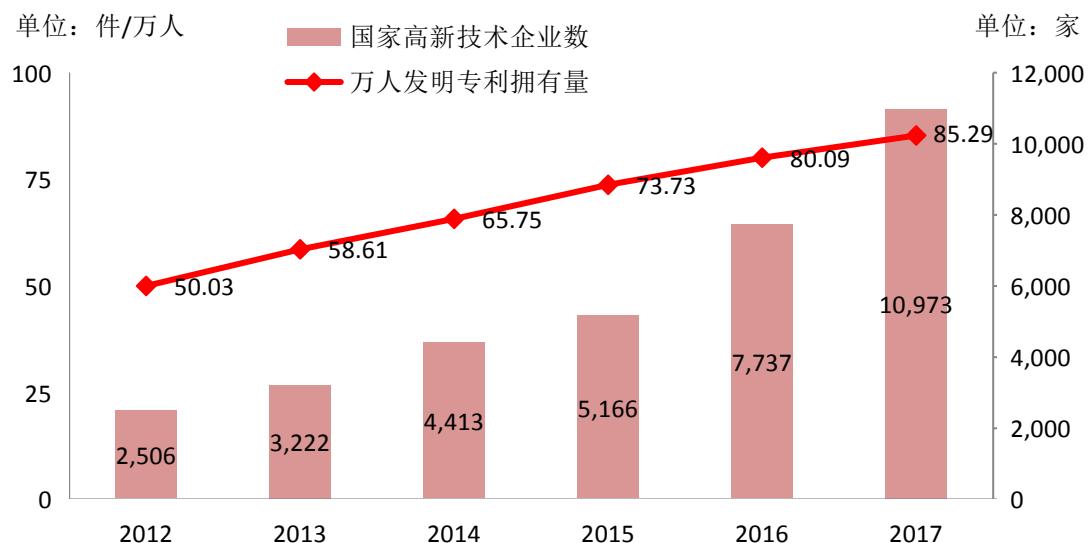


图 12 深圳市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，深圳市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的50.03件/万人上升到2017年的85.29件/万人，年均增长率为11.26%，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的近9倍；国家高新技术企业数从2012年的2506家增加到2017年的10973家，年均增加1600多家，2017年高新技术企业数占全国（130632家）的8.40%。

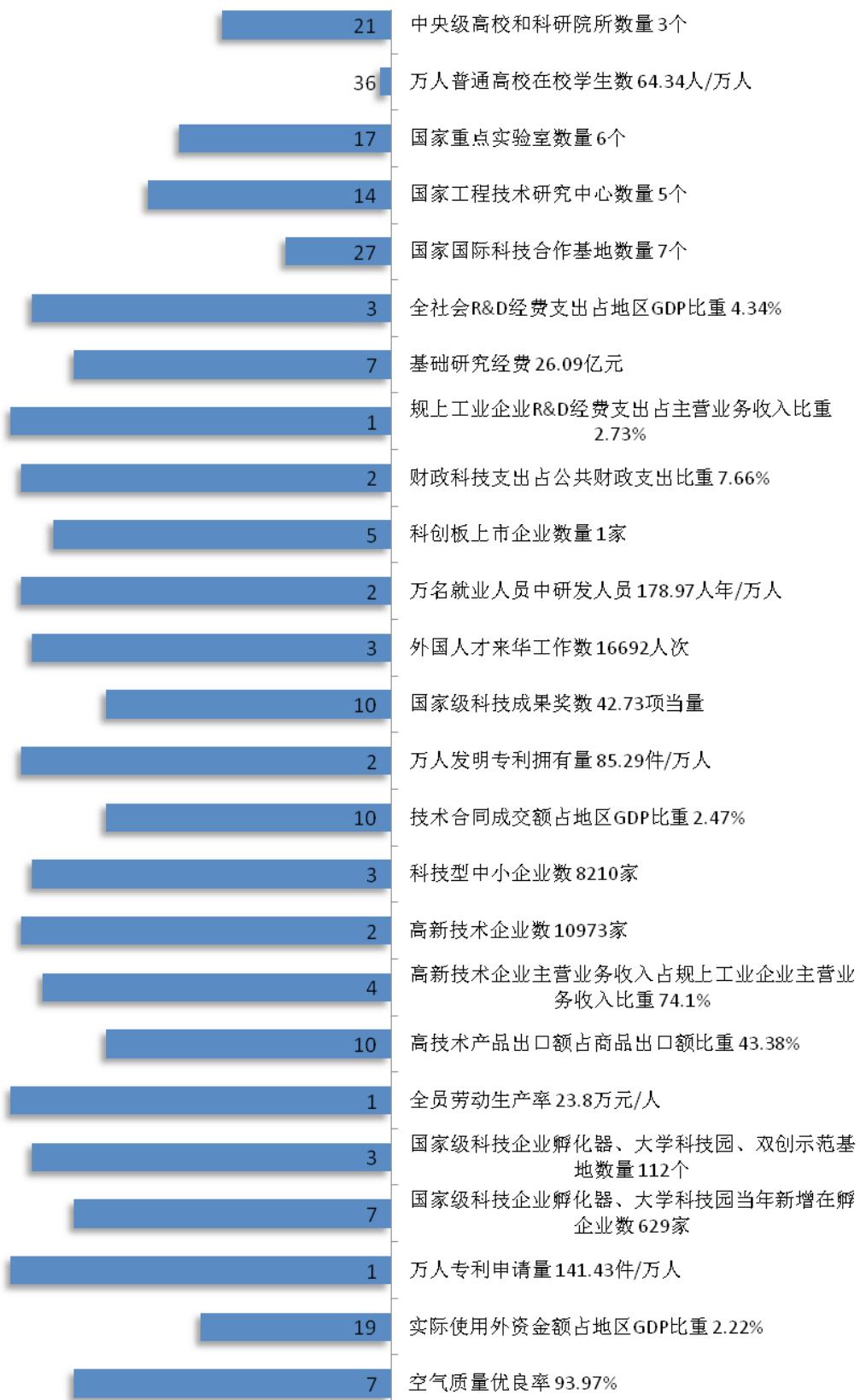
图13 深圳市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，深圳市绝大部分指标均位列第10位以内。深圳市拥有0所中央级高校；拥有深圳先进技术研究院、深圳农业基因组研究所、深圳防灾减灾技术研究院等中央级科研院所3个；拥有移动网络和移动通讯多媒体技术国家重点实验室、新型电子元器件关键材料与工艺国家重点实验室、无线通信接入技术国家重点实验室、超材料电磁调制技术国家重点实验室、农业基因组学国家重点实验室、核电安全监控技术与装备国家重点实验室等国家重点实验室6个，深圳市国创新能源研究院国际科技合作基地、先进技术国际科技合作基地、电动汽车动力电池与材料国际联合研究中心、太空环控生保与航天医学国际科技合作基地、基因组学国际科技合作基地、深圳高新区国际技术转移中心等国家国际科技合作基地7个。2017年，深圳市规上工业企业R&D经费支出占主营业务收入比重为2,73%，居主要城市首位；全员劳动生产率为23.8万元/人，远超全国平均水平；万人专利申请量为141.43件/万人，远超国内其他城市。深圳市排名靠后的指标是万人普通高等学校在校学生数，2017年为64.34人/万人，在36个主要城市中排名最后一位；国家国际科技合作基地数为7个，排名27位。

总体上看，深圳市作为产业创新发展的挑战者城市，创新基础亟待提升，创新投入强度较高，创新产出较为丰富，创新环境良好。

图 14 深圳市产业创新发展指标数据及排名情况



3. 第三梯队建设者代表：西安、广州、杭州、武汉

西安市产业创新综合能力水平指数为 39.78，居所有主要城市第 4 位。其中产业创新基础指数得分 16.44，居第 8 位；产业创新投入指数得分 48.16，居第 4 位；产业创新产出指数得分 38.53，居第 4 位；产业创新环境指数得分 46.52，居第 8 位。

从创新投入的变化趋势来看，西安市近年来一直稳定在一定水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年以来保持在 5% 以上，2017 年略有降低，但远超全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来持续增长，从 2012 年的 0.99% 提升至 2017 年的 4.33%（远超全国平均水平 2.56%）。

图 15 西安市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

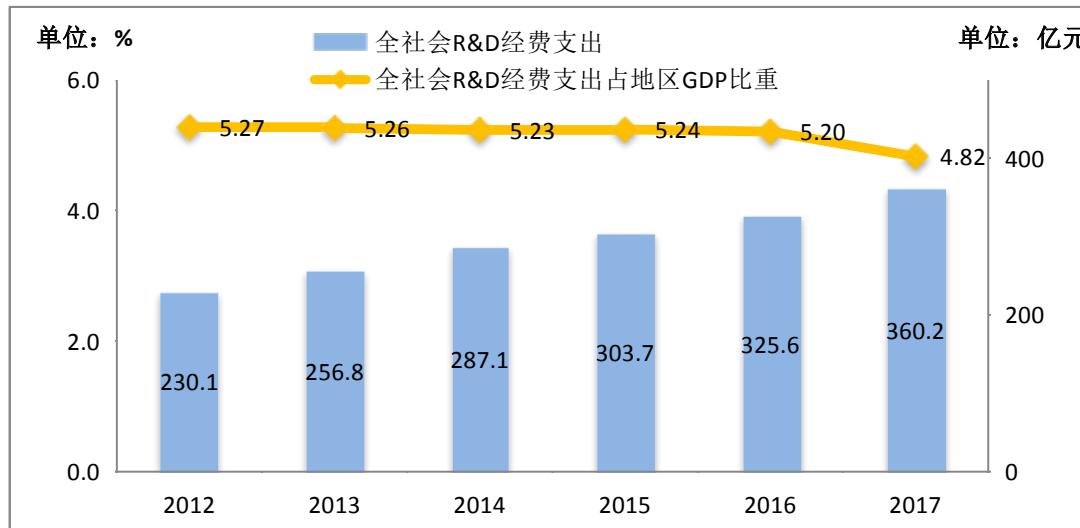
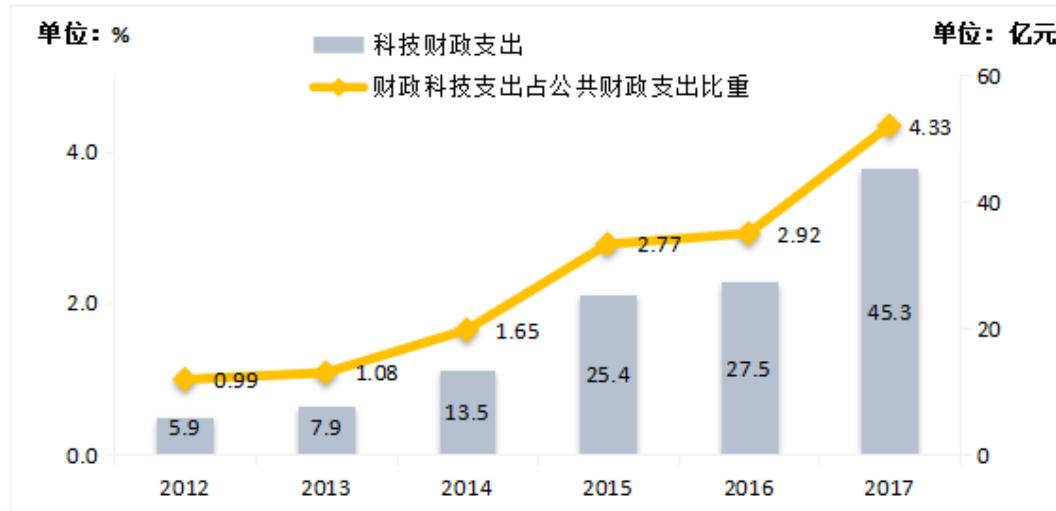


图 16 西安市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，西安市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的11.32件/万人上升到2017年的31.39件/万人，年均增长率为22.63%，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的3倍；国家高新技术企业数从2012年的815家增加到2017年的1828家，年均增加率为17.53%。

图17 西安市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，西安市大部分指标处于领先地位。西安市拥有西安交通大学、西北工业大学、西安电子科技大学、长安大学、陕西师范大学等中央级高校5所；拥有西安光学精密机械研究所、国家授时中心、地球环境研究所、第二监测中心等中央级科研院所4个；拥有动力工程多相流国家重点实验室、电力设备电气绝缘国家重点实验室、金属材料强度国家重点实验室、机械制造系统工程国家重点实验室、机械结构强度与振动国家重点实验室、大陆动力学国家重点实验室等国家重点实验室17个。2017年，西安市高技术产品出口额占商品出口额比重达到85.71%，居主要城市首位；全社会R&D经费支出占地区GDP比重为4.82%、规上工业企业R&D经费支出占主营业务收入比重为2.18%、高新技术企业主营业务收入占规上工业企业主营业务收入比重为76.57%、技术合同成交额占地区GDP比重为11.35%，均在主要城市中居于第2位。2017年，西安市空气质量优良率仅为49.32%，排名为33位；国家工程技术研究中心数量仅为2个，排名为25位。

总体上看，西安市作为产业创新发展的建设者城市，创新基础较好，科教资源相对丰富，创新投入强度较高，创新产出较多，高新技术产业发展势头较好。

图 18 西安市产业创新发展指标数据及排名情况



广州市产业创新综合能力水平指数为 37.41，居所有主要城市第 5 位。其中产业创新基础指数得分 18.69，居第 5 位；产业创新投入指数得分 44.47，居第 6 位；产业创新产出指数得分 35.71，居第 5 位；产业创新环境指数得分 43.64，居第 11 位。

从创新投入的变化趋势来看，广州市全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年以来稳定增长，2017 年达到 2.48%，超出全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来一直保持持续上升态势，从 2012 年的 3.88% 提升至 2017 年的 7.83%（远超全国平均水平 2.56%）。

图 19 广州市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

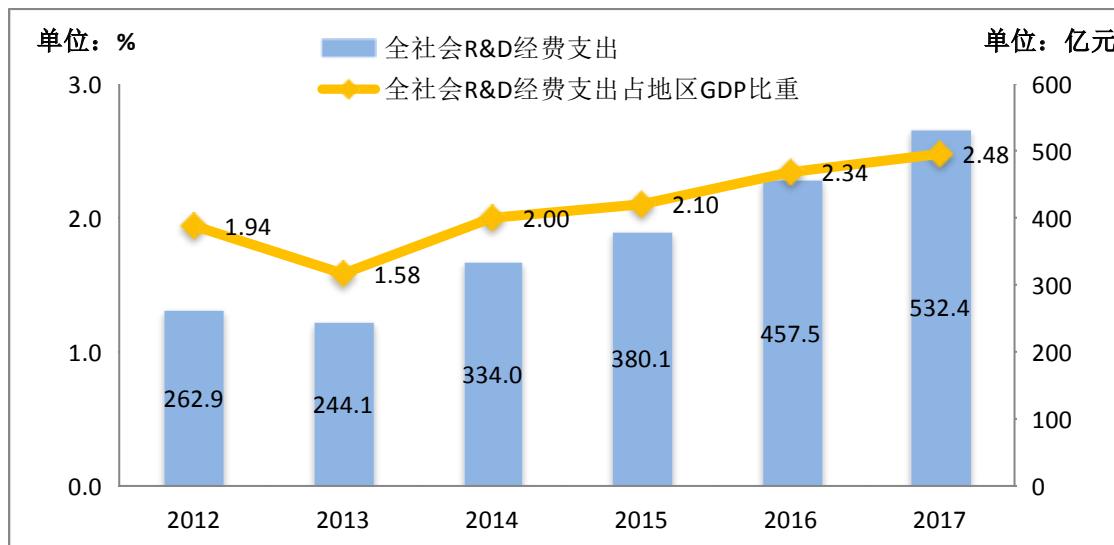
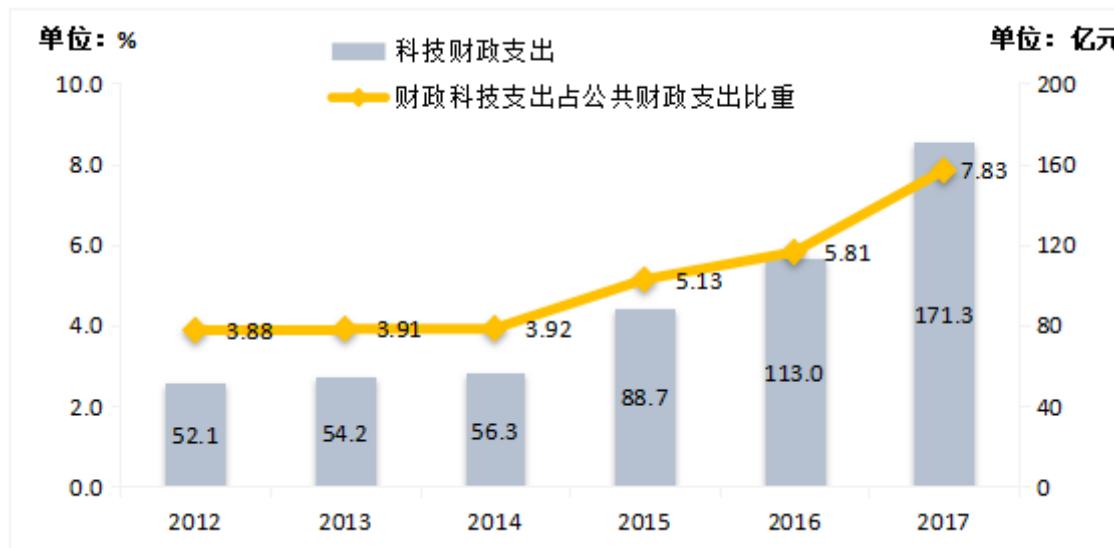
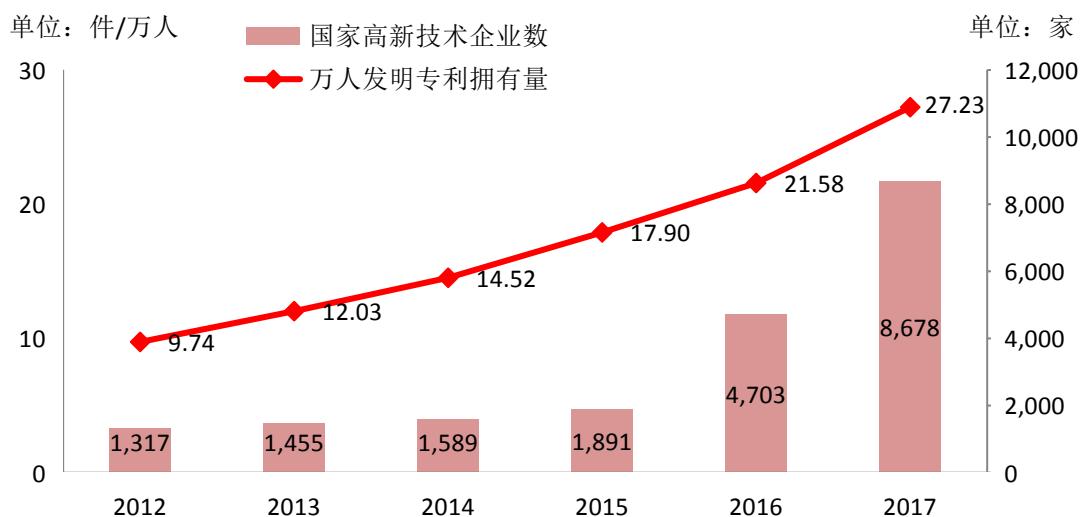


图 20 广州市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，广州市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的9.74件/万人上升到2017年的27.23件/万人，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的近3倍；国家高新技术企业数从2012年的1317家猛增到2017年的8678家，年均增加1400多家。

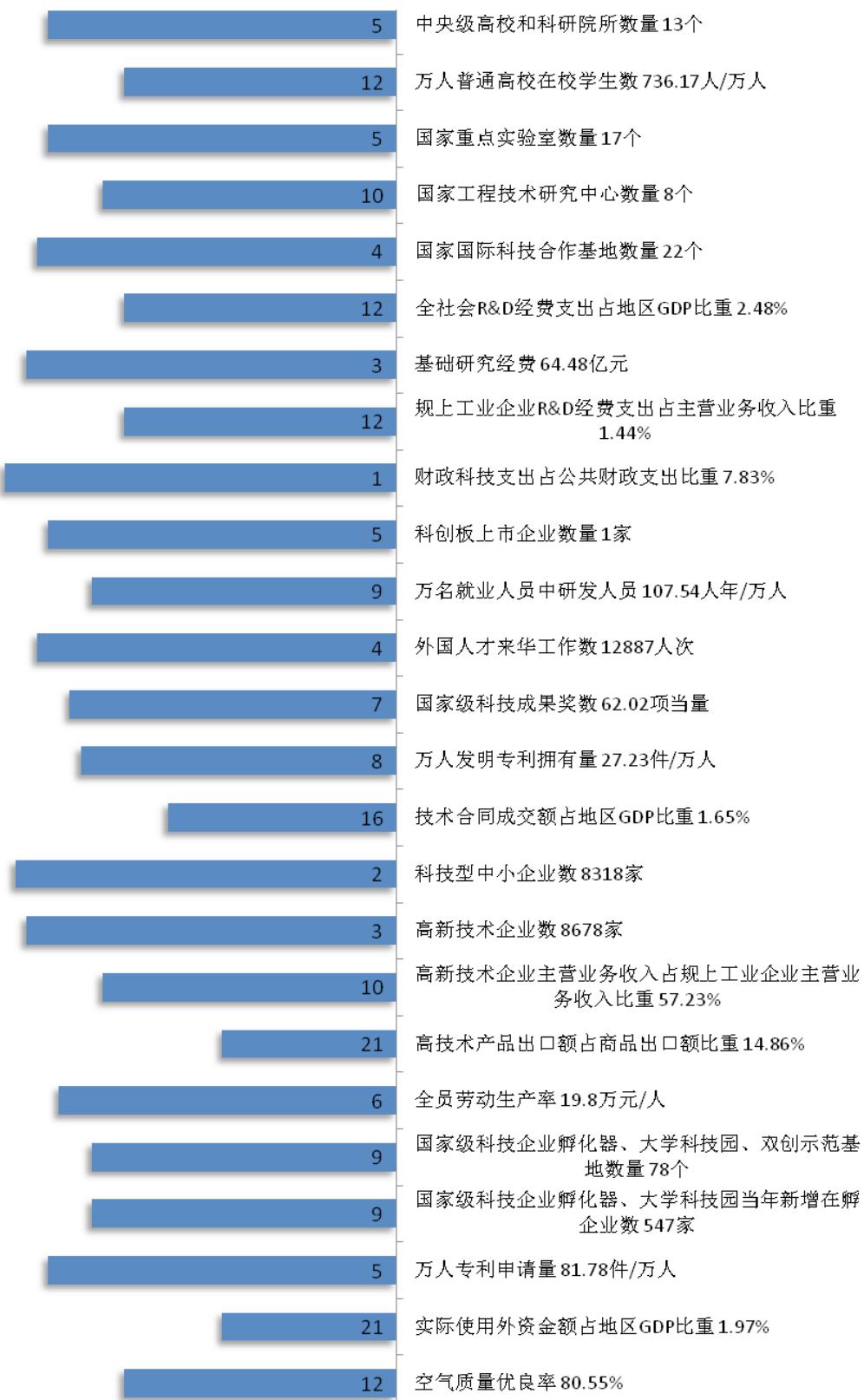
图21 广州市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，广州市大部分指标处于领先地位。广州市拥有中山大学、暨南大学、华南理工大学等中央级高校5所；南海海洋研究所、华南植物园、广州能源研究所、广州地球化学研究所、广州生物医药与健康研究院、热带林业研究所、中国电子产品可靠性与环境试验研究所、华南环境科学研究所等中央级科研院所8个；拥有华南肿瘤学国家重点实验室、有机地球化学国家重点实验室、同位素地球化学国家重点实验室、热带海洋环境国家重点实验室、光电材料与技术国家重点实验室、有害生物控制与资源利用国家重点实验室、眼科学国家重点实验室等共17个国家重点实验室。2017年，广州市财政科技支出占公共财政支出比重达到7.83%，在主要城市中居于首位；科技型中小企业为8318家，排名第2位；高新技术企业数为8678家，排名第3位。2017年，广州市高技术产品出口额占商品出口额比重仅为14.86%，实际使用外资金额占地区GDP比重为1.97%，均排名第21位。

总体上看，广州市作为产业创新发展的建设者城市，创新基础较好，科教资源相对丰富，创新投入强度高，重视财政科技投入，创新产出较多，创新型企业培育力度大，但在开放创新等方面仍有较大提升空间。

图 22 广州市产业创新发展指标数据及排名情况



杭州市产业创新综合能力水平指数为 35.84，居所有主要城市第 6 位。其中产业创新基础指数得分 14.21，居第 11 位；产业创新投入指数得分 45.37，居第 5 位；产业创新产出指数得分 28.01，居第 8 位；产业创新环境指数得分 53.50，居第 4 位。

从创新投入的变化趋势来看，杭州市近年来一直保持稳定的水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年以来一直稳定在 3% 左右，2017 年达到 3.15%，超出全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来保持 5% 以上，2017 年为 5.99%，远超全国平均水平 2.56%。

图 23 杭州市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

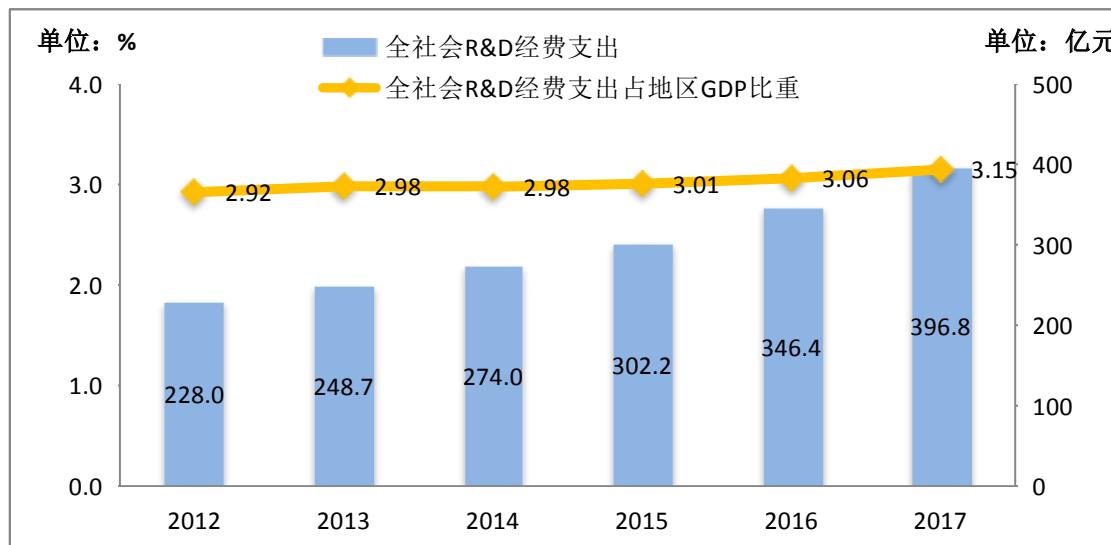
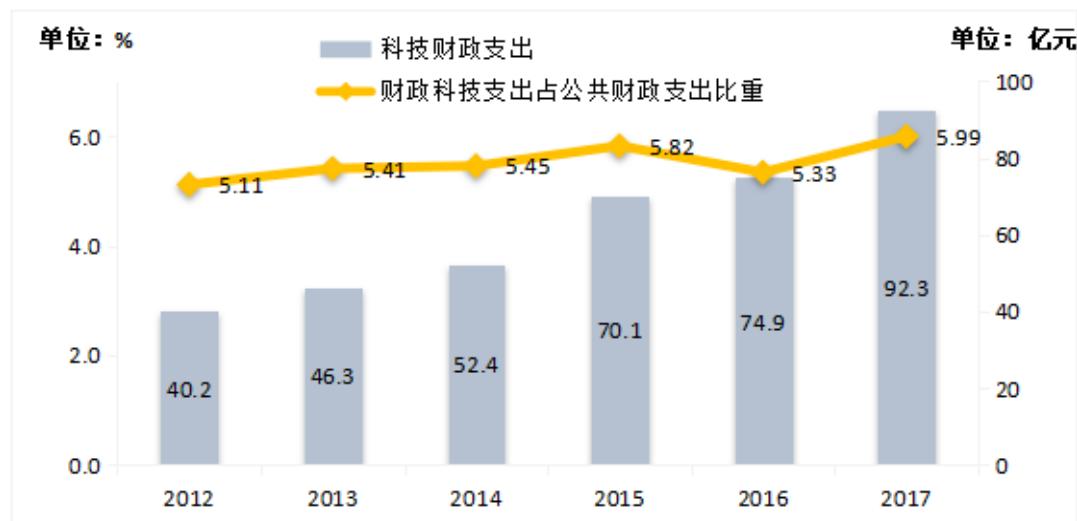
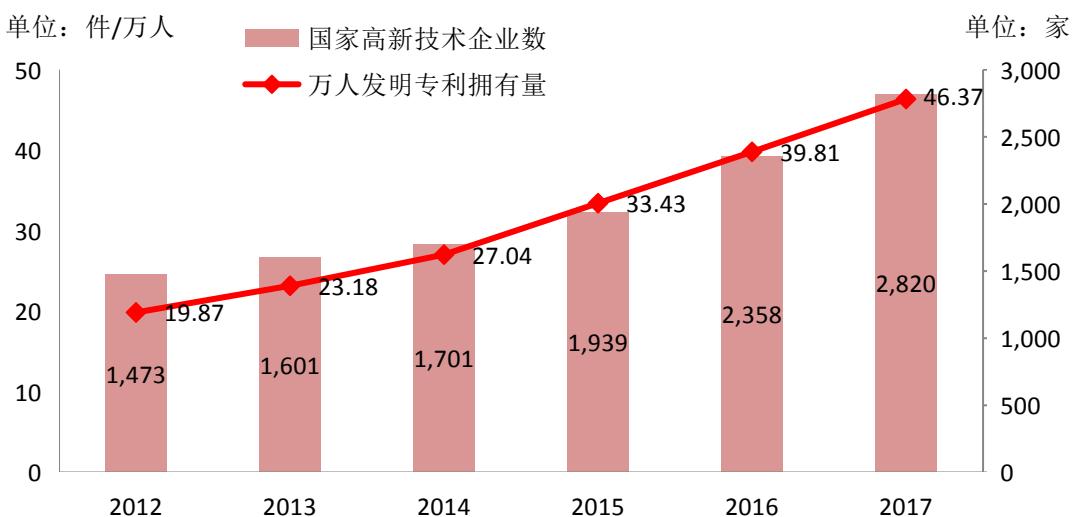


图 24 杭州市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，杭州市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的19.87件/万人上升到2017年的46.37件/万人，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的4倍；国家高新技术企业数从2012年的1473家增加到2017年的2820家。

图25 杭州市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，杭州市大部分指标处于领先地位。杭州市拥有浙江大学1个中央级高校；拥有水稻研究所、茶叶研究所、亚热带林业研究所、国家林业局竹子研究开发中心、第二海洋研究所、水利部农村电气化研究所等6个中央级科研院所；拥有功能材料计量检测标准国际科技合作基地、浙大网新绿色智慧城市国际科技合作基地、先进能源国际联合研究中心、纺织与日用化学国际科技合作基地、流程生产质量优化与控制国际联合研究中心、浙江农业国际科技合作基地、光电技术国际联合研究中心、园艺作物品质调控与应用国际联合研究中心、浙江国际技术转移中心等22个国家国际科技合作基地。2017年，杭州市国家级科技企业孵化器、大学科技园当年新增在孵企业数为937家，排名第3位。2017年，杭州市技术合同成交额占地区GDP比重为0.97%，高技术产品出口额占商品出口额比重为12.81%，均居于第24位。

总体上看，杭州市作为产业创新发展的建设者城市，创新基础一般，创新投入强度相对较高，创新产出较为丰富，创新环境优越，创新创业活跃度高，但在成果转化、开放创新等方面仍有较大提升空间。

图 26 杭州市产业创新发展指标数据及排名情况



武汉市产业创新综合能力水平指数为 35.03，居所有主要城市第 7 位。其中产业创新基础指数得分 25.70，居第 2 位；产业创新投入指数得分 37.01，居第 9 位；产业创新产出指数得分 32.01，居第 6 位；产业创新环境指数得分 46.77，居第 6 位。

从创新投入的变化趋势来看，武汉市近年来保持增长态势。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重从 2012 年的 2.66% 增长为 2017 年的 3.20%，超出全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来保持快速增长，2017 年增长为 6.54%，远超全国平均水平 2.56%。

图 27 武汉市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

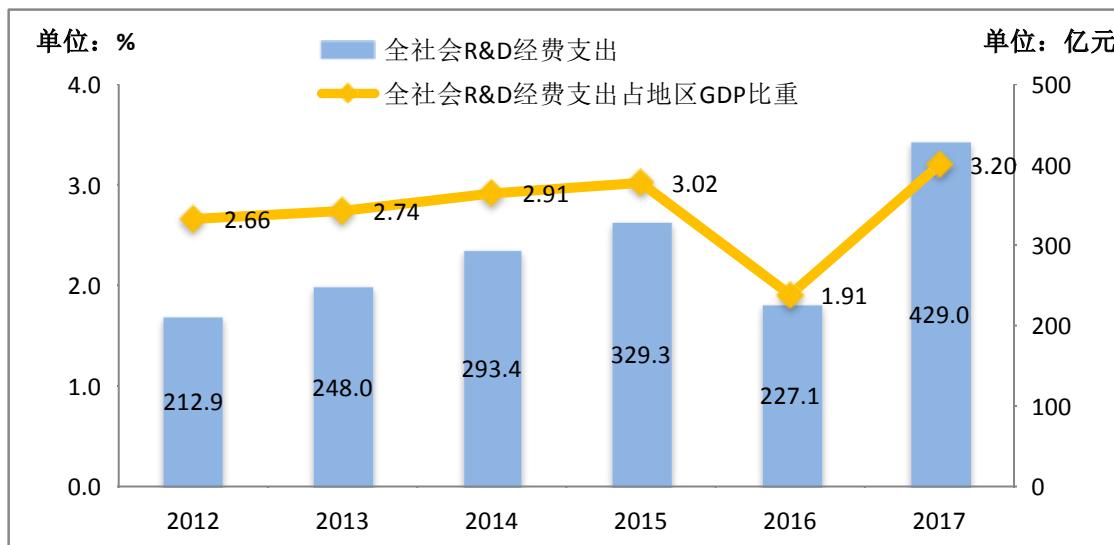
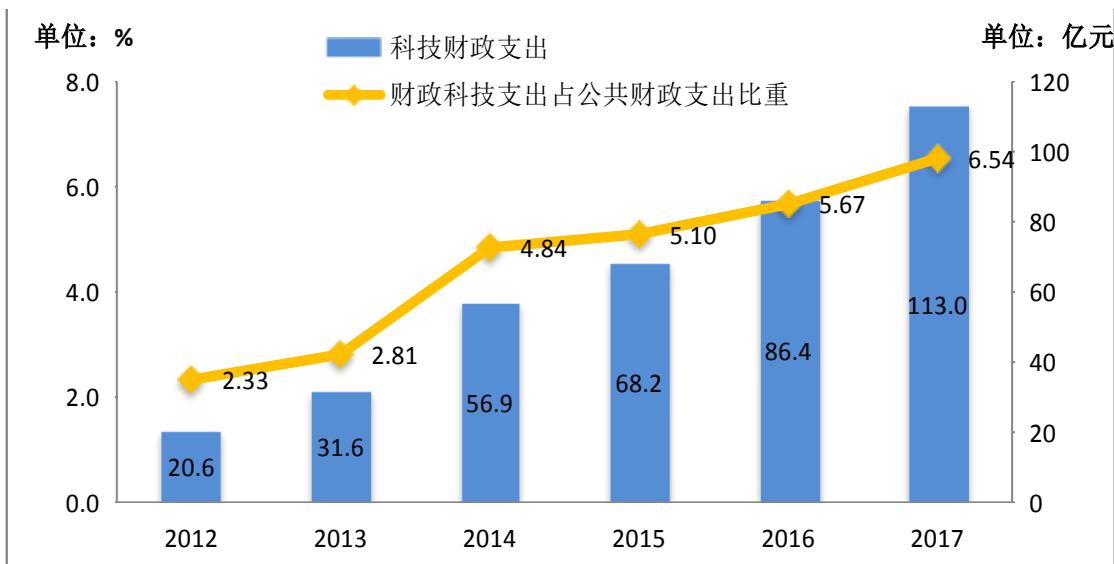
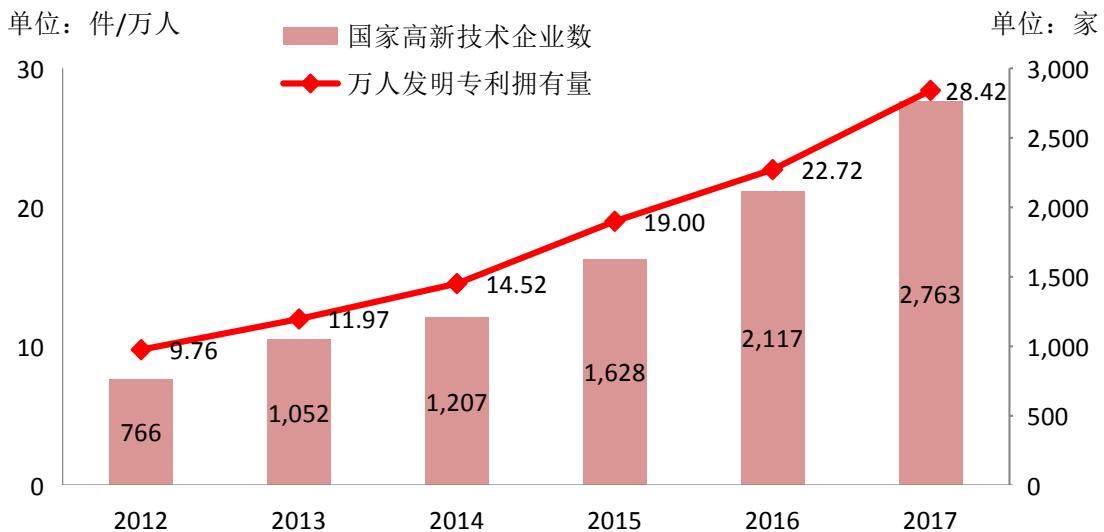


图 28 武汉市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，武汉市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的9.76件/万人上升到2017年的28.42件/万人，2017年万人发明专利拥有量为全国平均水平（9.75件）的近3倍；国家高新技术企业数从2012年的766家增加到2017年的2763家，年均增长率为29.25%。

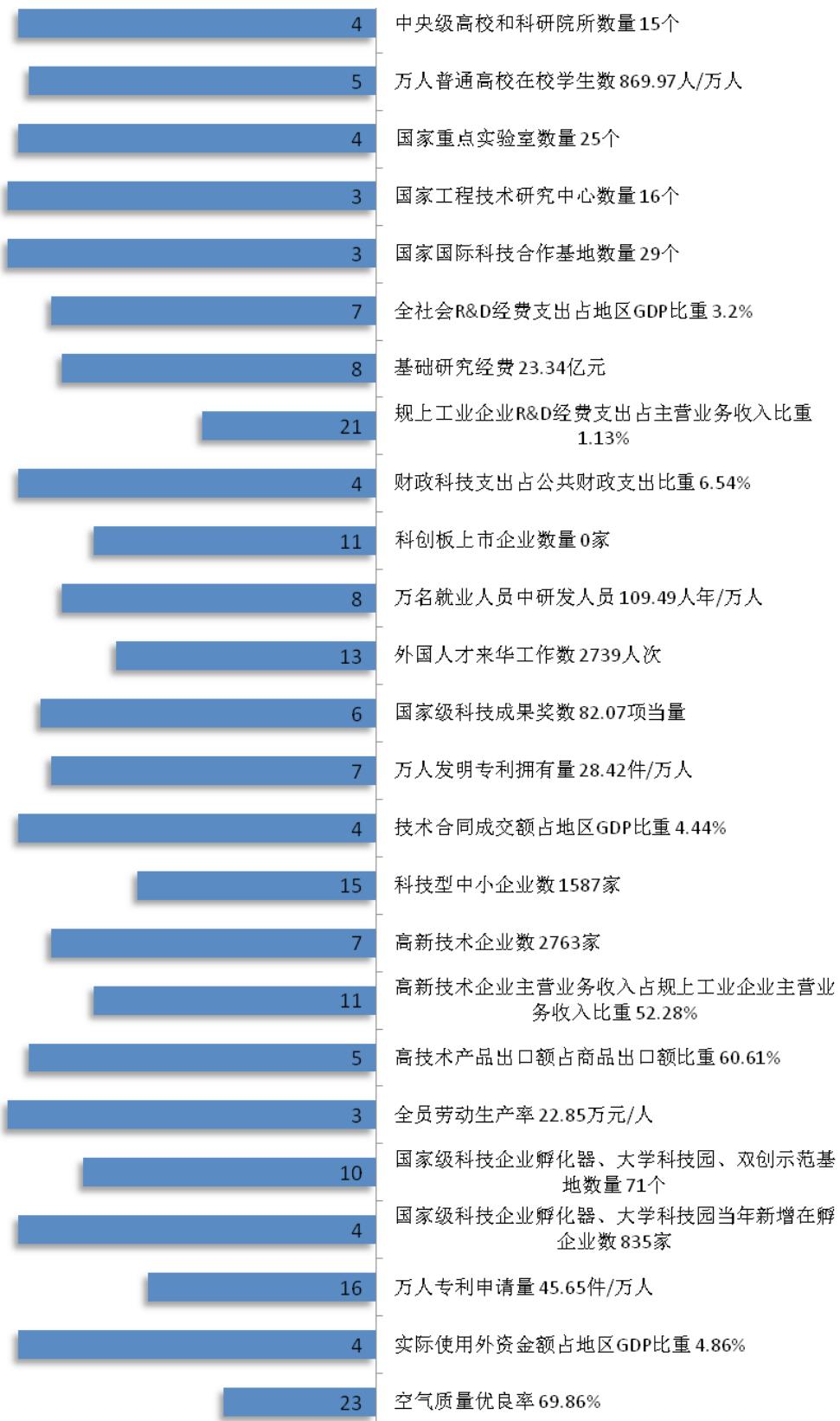
图29 武汉市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，武汉市大部分指标处于领先地位。武汉市拥有武汉大学、华中科技大学、中国地质大学（武汉）、武汉理工大学、华中农业大学、华中师范大学、中南财经政法大学、中南民族大学等中央级高校8个；拥有武汉岩土力学研究所、武汉物理与数学研究所、武汉病毒研究所、测量与地球物理研究所、水生生物研究所、武汉植物园、油料作物研究所等中央级科研院所7个；拥有测绘遥感信息工程国家重点实验室、水资源与水电工程科学国家重点实验室、病毒学国家重点实验室、杂交水稻国家重点实验室、材料复合新技术国家重点实验室、硅酸盐建筑材料国家重点实验室、光纤通信技术和网络国家重点实验室、地质过程与矿产资源国家重点实验室、生物地质与环境地质国家重点实验室等共25个国家重点实验。2017年，武汉市国家工程技术研究中心为16个、国家国际科技合作基地为29个，均排名为第3位。2017年，武汉市空气质量优良率为69.86%，排名仅为23位。

总体上看，武汉市作为产业创新发展的建设者城市，创新基础雄厚，科教资源丰富，创新投入强度不低，创新产出相对丰富，创新环境良好。

图 30 武汉市产业创新发展指标数据及排名情况



4. 第四梯队追赶者代表：合肥、长沙、成都、厦门

合肥市产业创新综合能力水平指数为 27.12，居所有主要城市第 10 位。其中产业创新基础指数得分 11.83，居第 19 位；产业创新投入指数得分 39.31，居第 7 位；产业创新产出指数得分 17.49，居第 13 位；产业创新环境指数得分 36.44，居第 15 位。

从创新投入的变化趋势来看，合肥市近年来一直保持在一定水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重从 2012 年的 2.78% 增长为 2017 年的 3.24%，超出全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来保持快速增长，2016 年达到 11.83% 的较高水平，2017 年略降但仍有 7.21%，远超全国平均水平 2.56%。

图 31 合肥市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

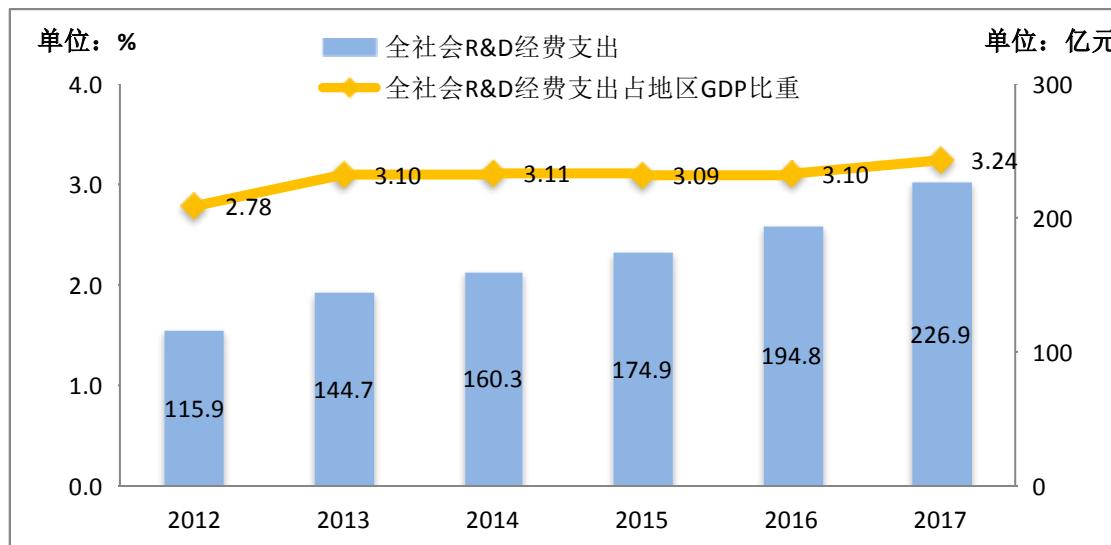
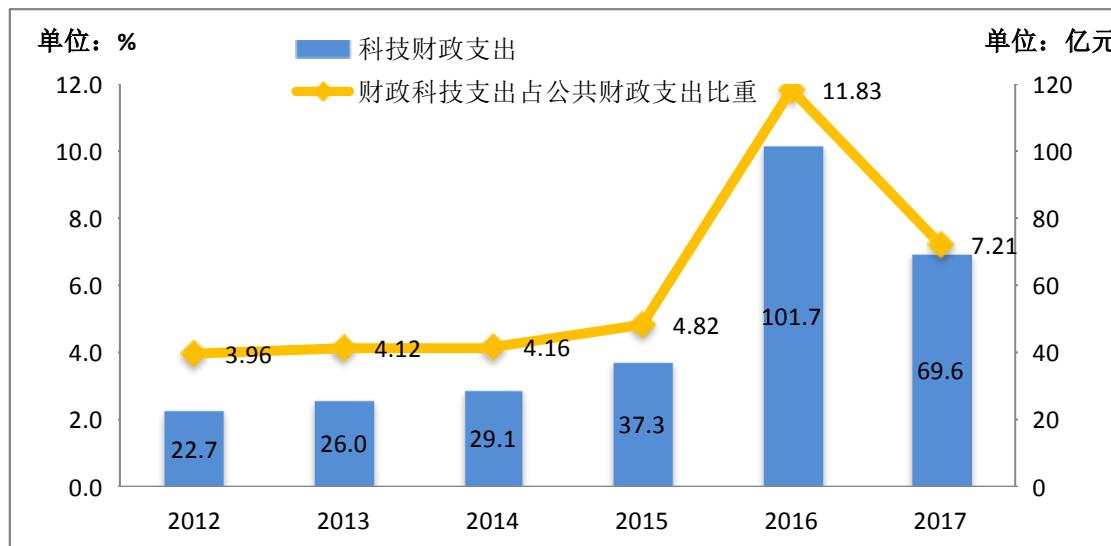
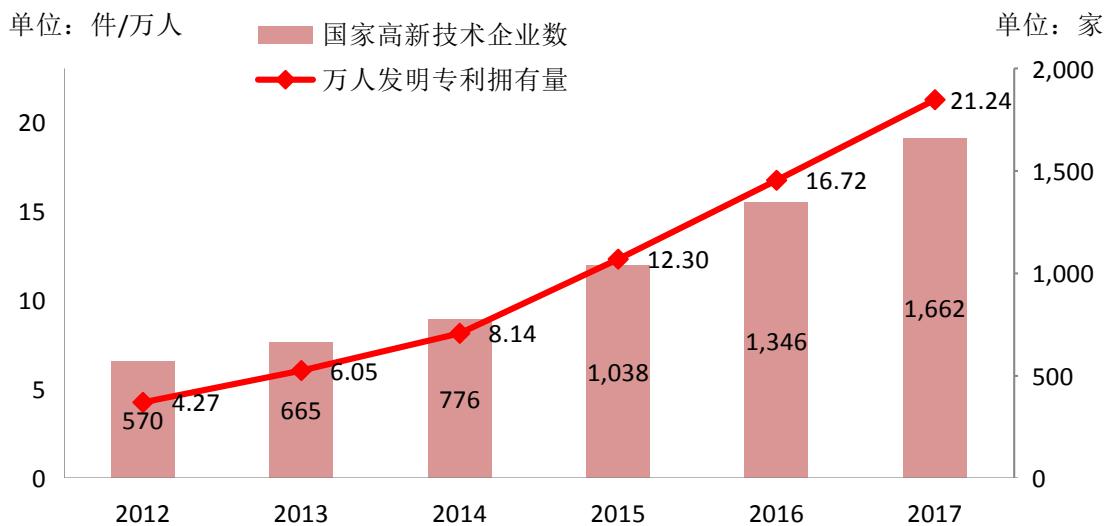


图 32 合肥市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，合肥市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的4.27件/万人上升到2017年的21.24件/万人，年均增长率为37.83%；国家高新技术企业数从2012年的570家增加到2017年的1662家，年均增长率为23.87%。

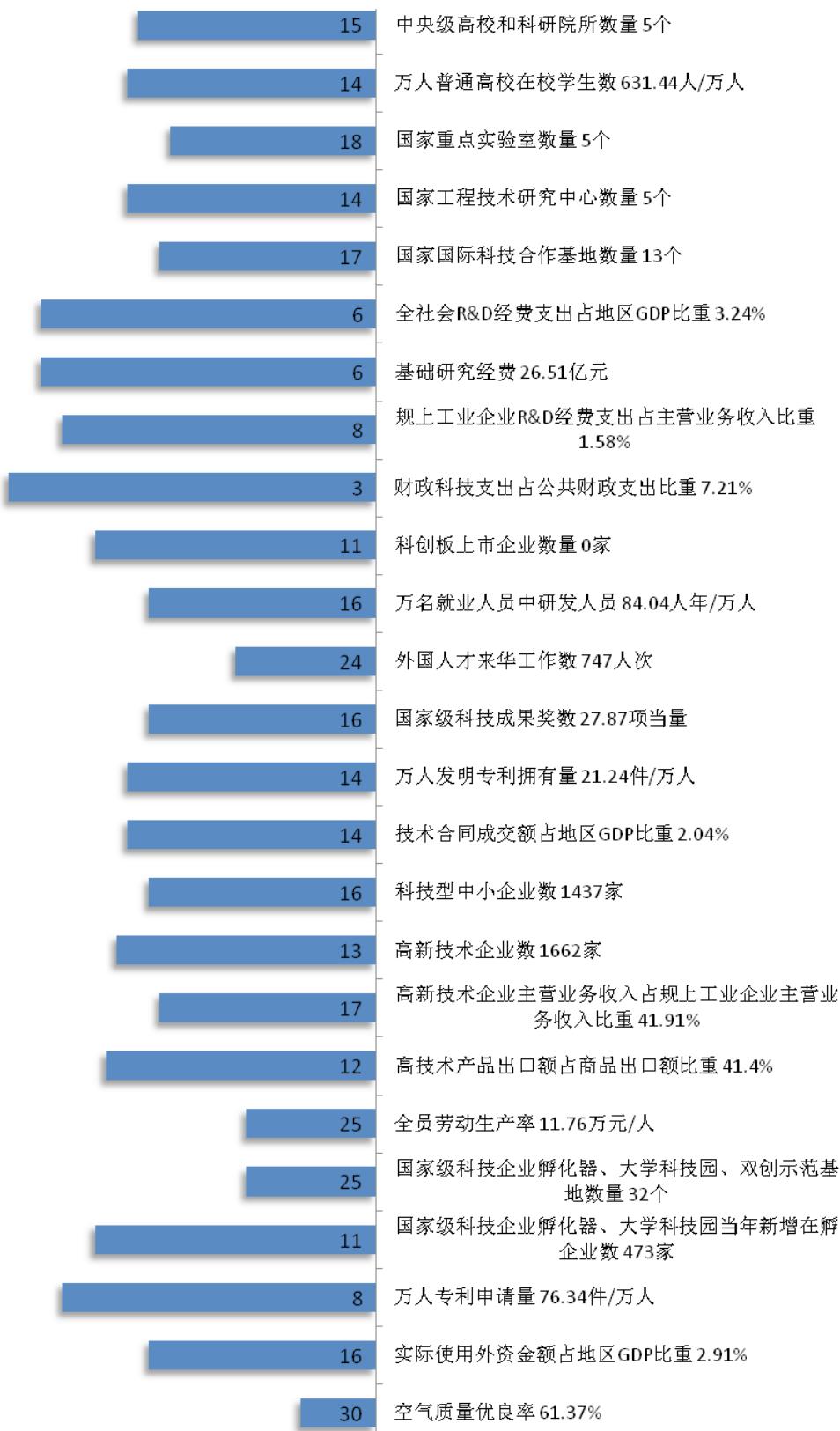
图33 合肥市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，合肥市部分指标处于领先地位。合肥市拥有中国科学技术大学、合肥工业大学等中央级高校2个；拥有合肥物质科学研究院、中国医史文献研究所、临床药理研究所等中央级科研院所3个；拥有同步辐射实验室等1个国家实验室。2017年，合肥市财政科技支出占公共财政支出比重达到7.21%，在主要城市中居第3位。2017年，合肥市空气质量优良率仅为61.37%，排名为30名；国家级科技企业孵化器、大学科技园、双创示范基地数量为32，全员劳动生产率为11.76万元/人，排名均为25名。

总体上看，合肥市作为产业创新发展的追赶者城市，创新基础一般，创新投入强度较高，创新产出较为丰富，创新环境较好，但在空气质量等方面存在明显的不足。

图 34 合肥市产业创新发展指标数据及排名情况



长沙市产业创新综合能力水平指数为 25.85，居所有主要城市第 11 位。其中产业创新基础指数得分 17.56，居第 7 位；产业创新投入指数得分 28.77，居第 14 位；产业创新产出指数得分 23.18，居第 11 位；产业创新环境指数得分 33.56，居第 16 位。

从创新投入的变化趋势来看，长沙市近年来一直保持在一定水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重从 2012 年以来一直保持 2% 以上，2017 年为 2.43%，超出全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来保持 2% 以上，2016 年之前呈现下降趋势，2017 年略显回升，为 2.48%，未超出全国平均水平 2.56%。

图 35 长沙市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

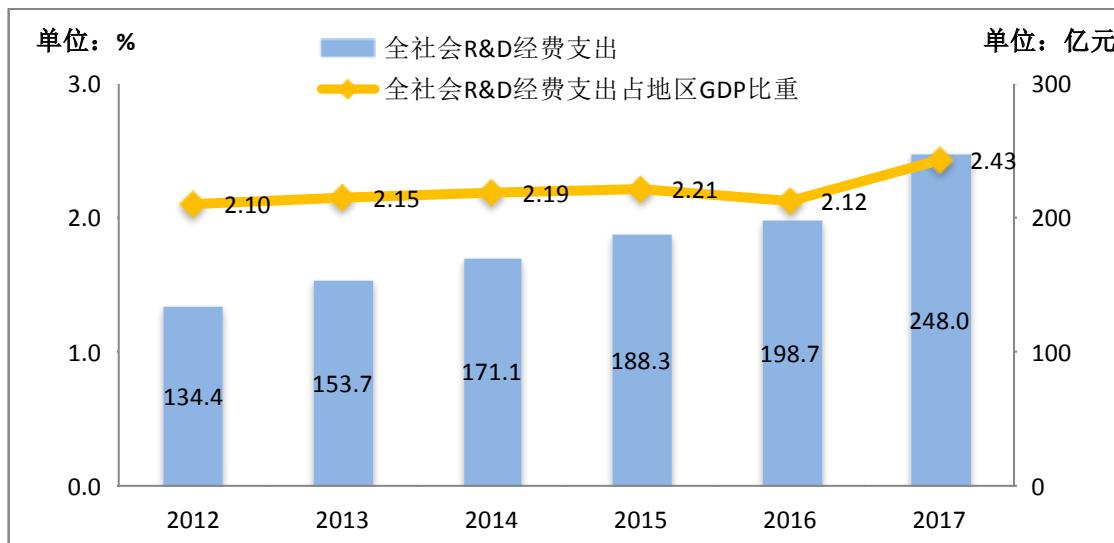
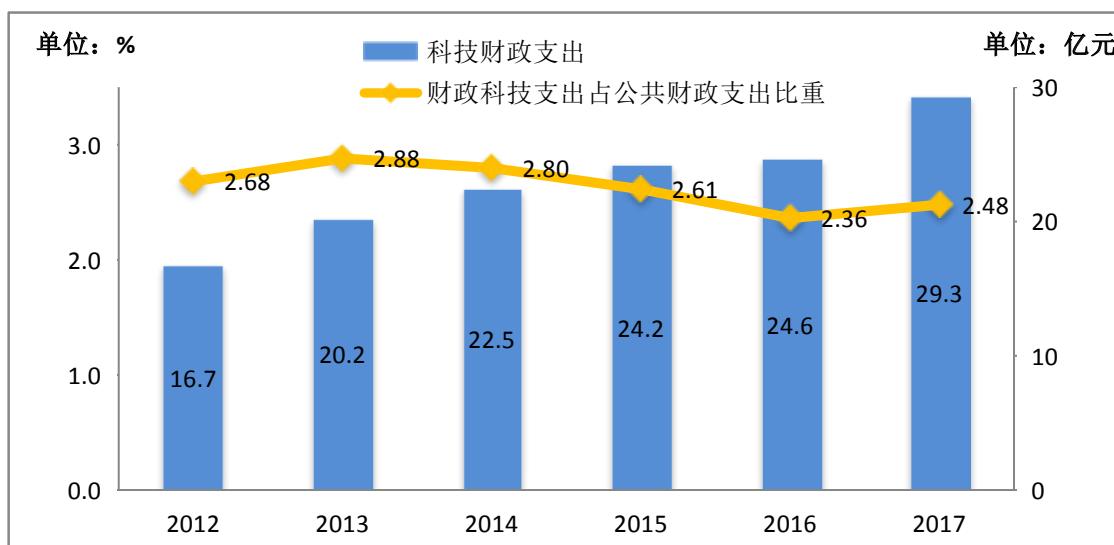
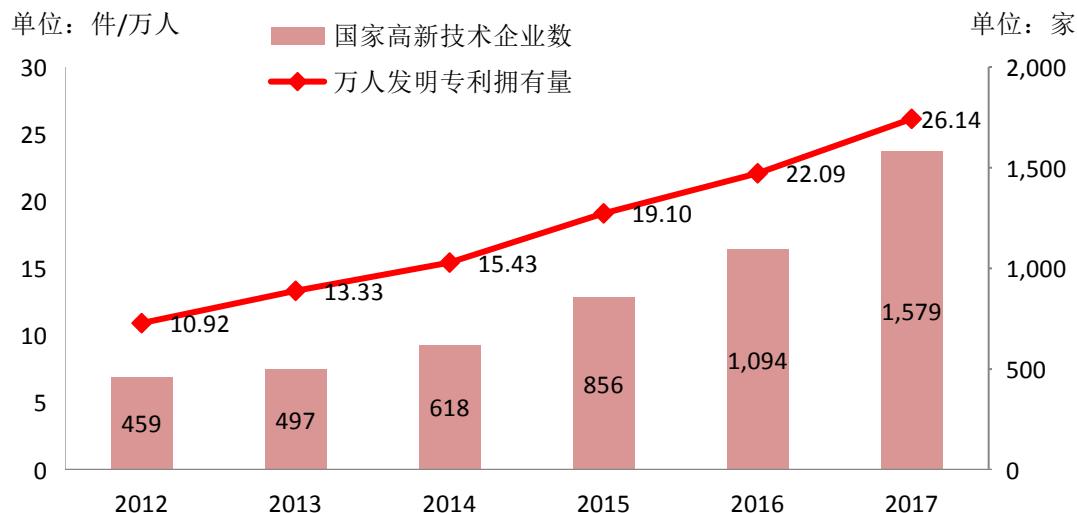


图 36 长沙市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，长沙市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的10.92件/万人上升到2017年的26.14件/万人；国家高新技术企业数从2012年的459家增加到2017年的1579家，年均增长率为28.03%。

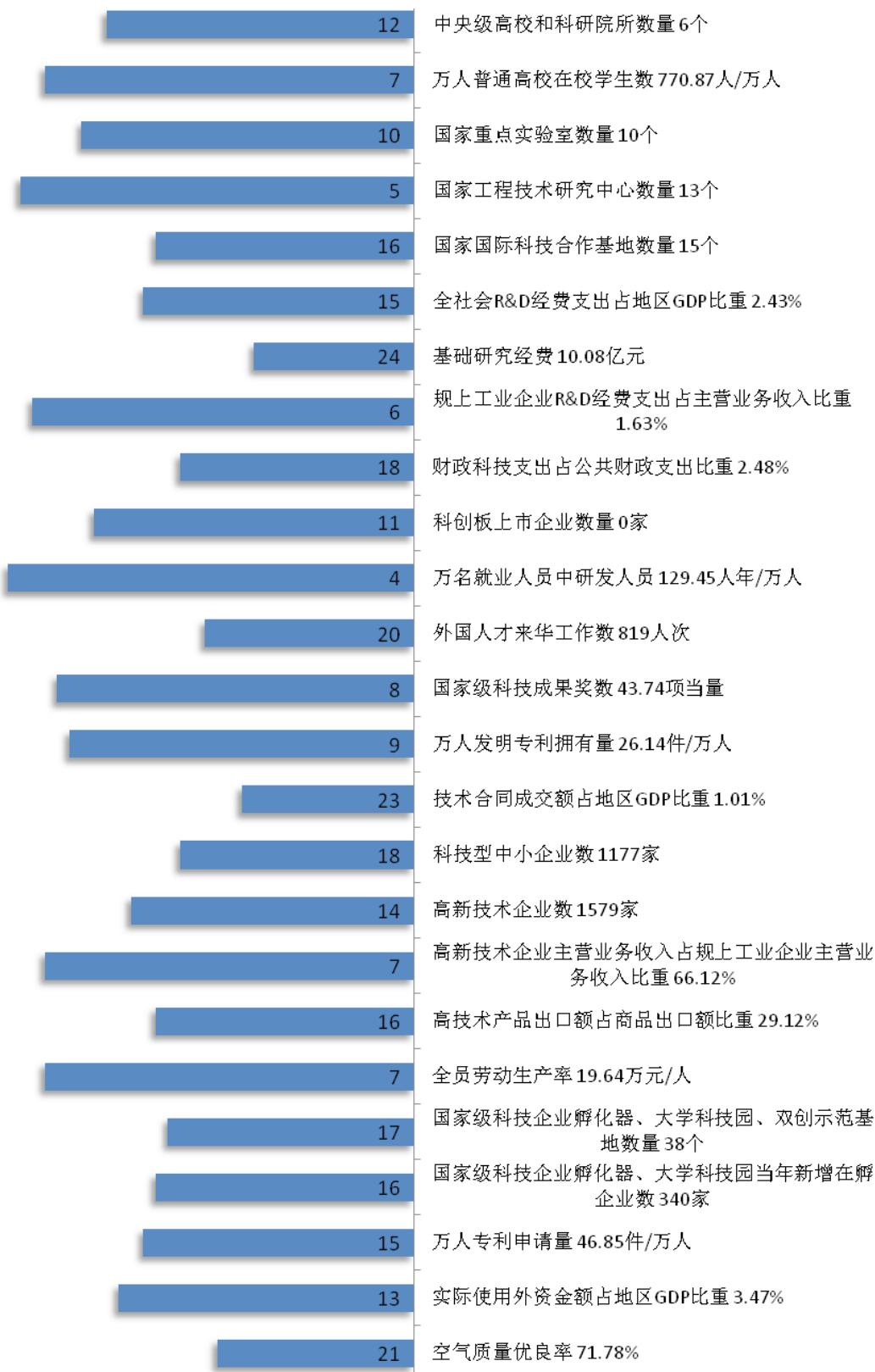
图37 长沙市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，长沙市一些指标处于相对领先地位。长沙市拥有国家植物功能成分利用工程技术研究中心、国家高效磨削工程技术研究中心、国家农药创制工程技术研究中心、国家炭/炭复合材料工程技术研究中心、国家杂交水稻工程技术研究中心、国家金属矿产资源综合利用工程技术研究中心（长沙）、国家油茶工程技术研究中心、国家光伏装备工程技术研究中心、国家电能变换与控制工程技术研究中心等国家工程技术研究中心13个；粉末冶金国家重点实验室、高性能复杂制造国家重点实验室、建设机械关键技术国家重点实验室、深海矿产资源开发利用技术国家重点实验室、电网输变电设备防灾减灾国家重点实验室、金属矿山安全技术国家重点实验室等国家重点实验室10个。2017年，长沙市万名就业人员中研发人员为129.45人年/万人，在主要城市中排名第4位。2017年，长沙市基础研究经费10.08亿元，排名为24位；技术合同成交额占地区GDP比重为1.01%，排名为23位。

总体上看，长沙市作为产业创新发展的追赶者城市，创新基础较为雄厚，创新投入强度不低，创新产出较为丰富，创新环境一般，但在基础研究投入等方面仍有提升空间。

图 38 长沙市产业创新发展指标数据及排名情况



成都市产业创新综合能力水平指数为 25.66，居所有主要城市第 12 位。其中产业创新基础指数得分 13.60，居第 13 位；产业创新投入指数得分 22.59，居第 19 位；产业创新产出指数得分 23.46，居第 10 位；产业创新环境指数得分 50.04，居第 5 位。

从创新投入的变化趋势来看，成都市近年来一直保持在一定水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重从 2012 年以来一直保持 2% 以上，2017 年为 2.38%，超出全国平均水平（2.13%）；科技财政支出占公共财政支出比重自 2012 年以来持续上升，2017 年升为 3.03%，超出全国平均水平 2.56%。

图 39 成都市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

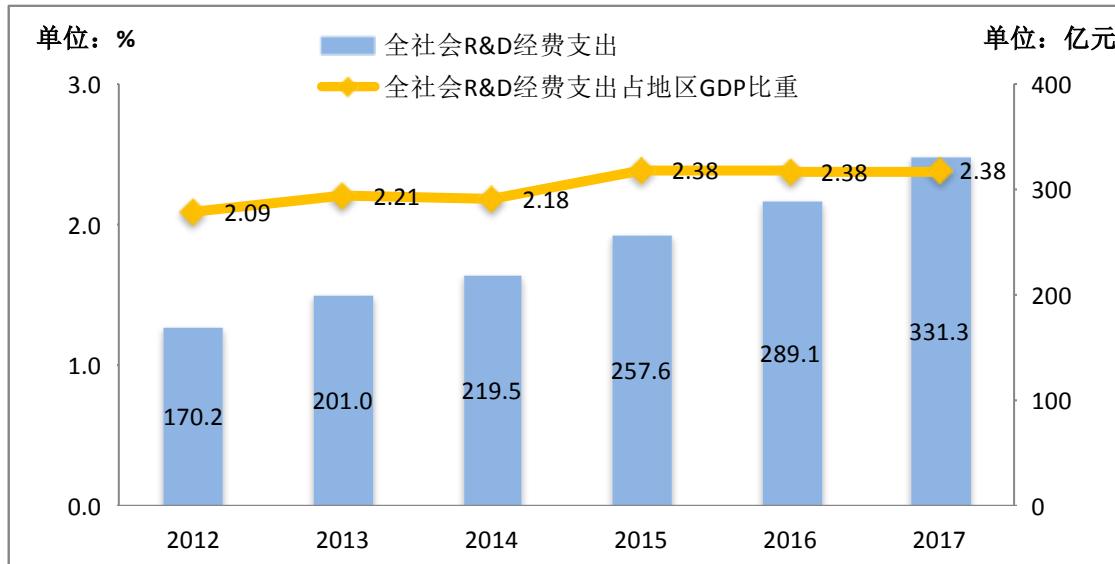
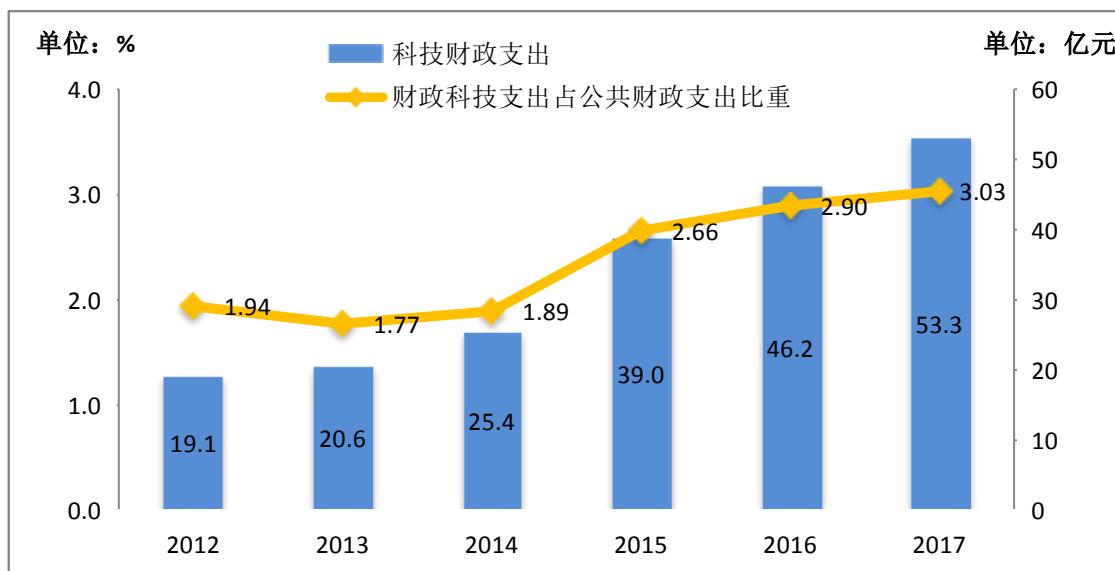
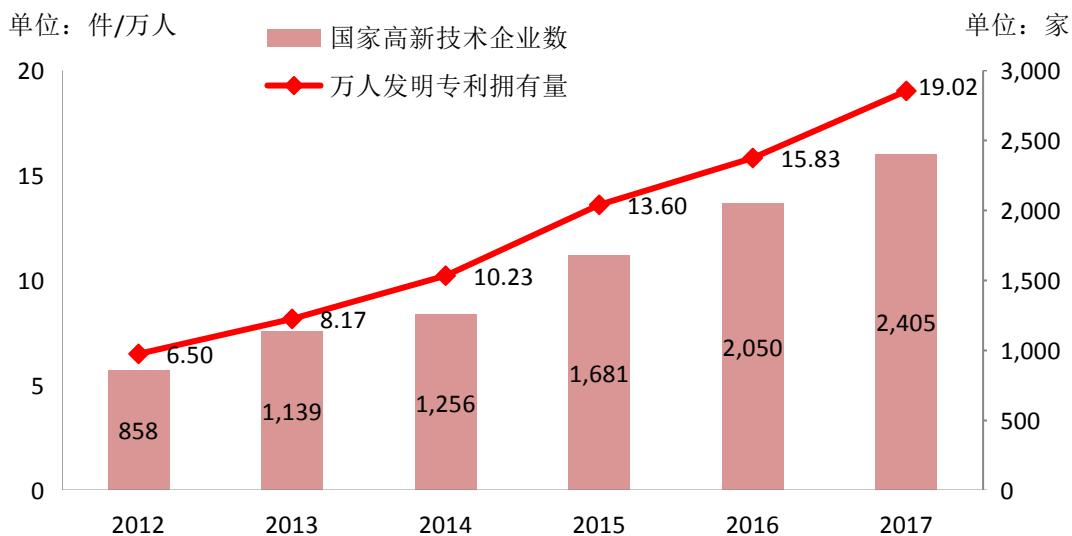


图 40 成都市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，成都市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的6.50件/万人上升到2017年的19.02件/万人，年均增长率为23.95%；国家高新技术企业数从2012年的858家增加到2017年的2405家，年均增长率为22.89%。

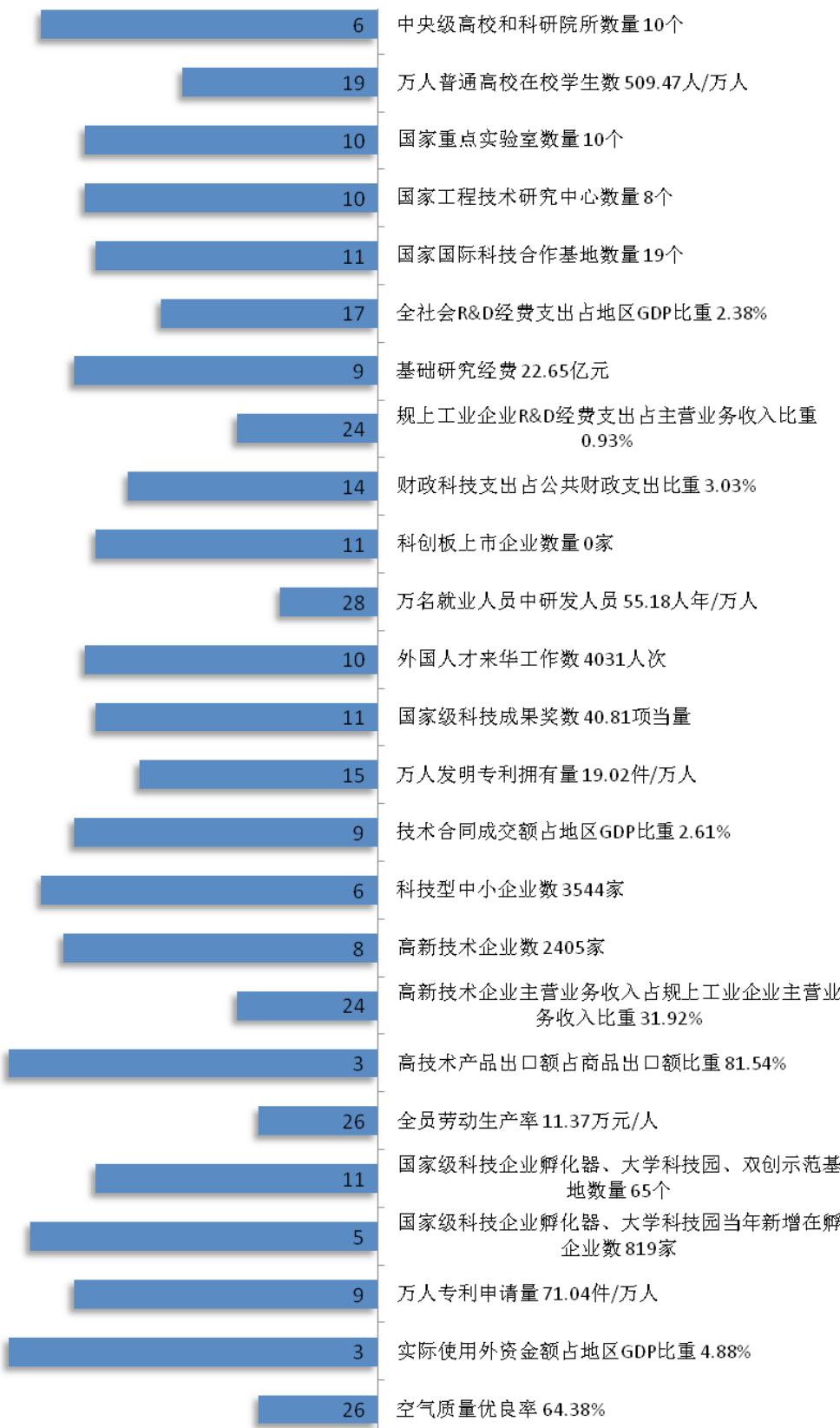
图41 成都市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，成都市一些指标处于相对领先地位。成都市拥有四川大学、西南交通大学、电子科技大学、西南财经大学、西南民族大学等中央级高校5个；成都生物研究所、成都山地灾害与环境研究所、沼气科学研究所、中国大熊猫保护研究中心、输血研究所等中央级科研院所5个；水力学与山区河流开发保护国家重点实验室、高分子材料工程国家重点实验室、生物治疗国家重点实验室、牵引动力国家重点实验室、油气藏地质及开发工程国家重点实验室等国家重点实验室10个。2017年，成都市技术产品出口额占商品出口额比重仅为81.54%，实际使用外资金额占地区GDP比重为4.88%，在主要城市中均排名第3位。2017年，万名就业人员中研发人员为55.18人年/万人，排名第28位；空气质量优良率为64.38%，排名第26位。

总体上看，成都市作为产业创新发展的追赶者城市，创新基础较好，创新投入强度一般，创新产出较为丰富，创新环境优越，但在人才引育方面仍有提升空间。

图 42 成都市产业创新发展指标数据及排名情况



厦门市产业创新综合能力水平指数为 24.11，居所有主要城市第 13 位。其中产业创新基础指数得分 6.05，居第 32 位；产业创新投入指数得分 33.48，居第 10 位；产业创新产出指数得分 14.40，居第 18 位；产业创新环境指数得分 42.96，居第 12 位。

从创新投入的变化趋势来看，厦门市近年来一直保持一定增长水平。全社会 R&D 经费支出占地区 GDP 比重自 2012 年以来一直持续增长，从 2012 年的 2.80% 增长至 2017 年 3.27%；科技财政支出占公共财政支出比重由 3% 以上于 2015 年略降为 2.85%，2017 年又上升为 2.98%，超出全国平均水平 2.56%。

图 43 厦门市全社会 R&D 经费支出及其占地区 GDP 比重历年情况

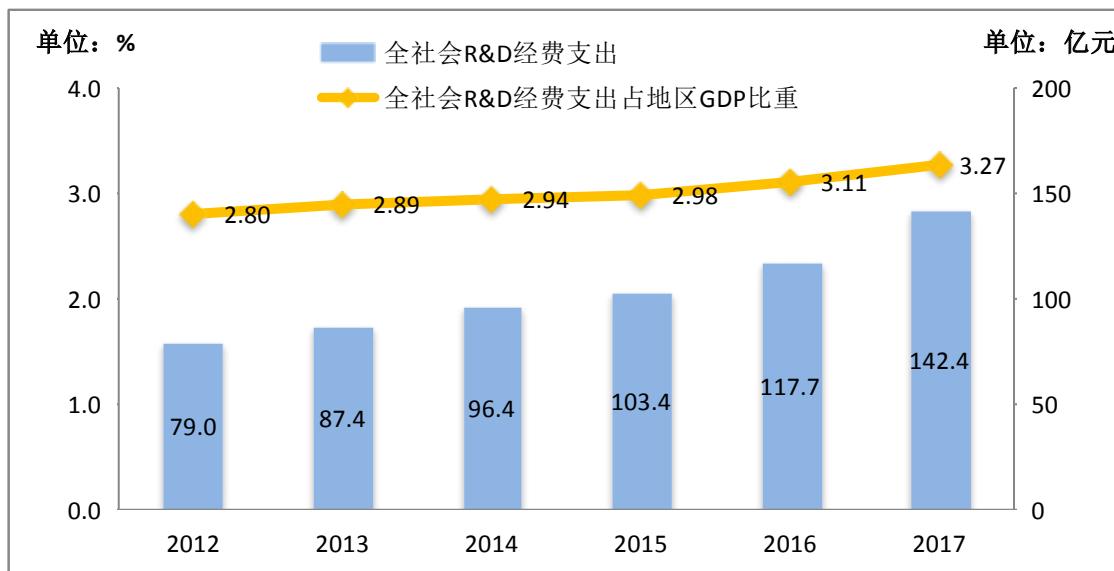
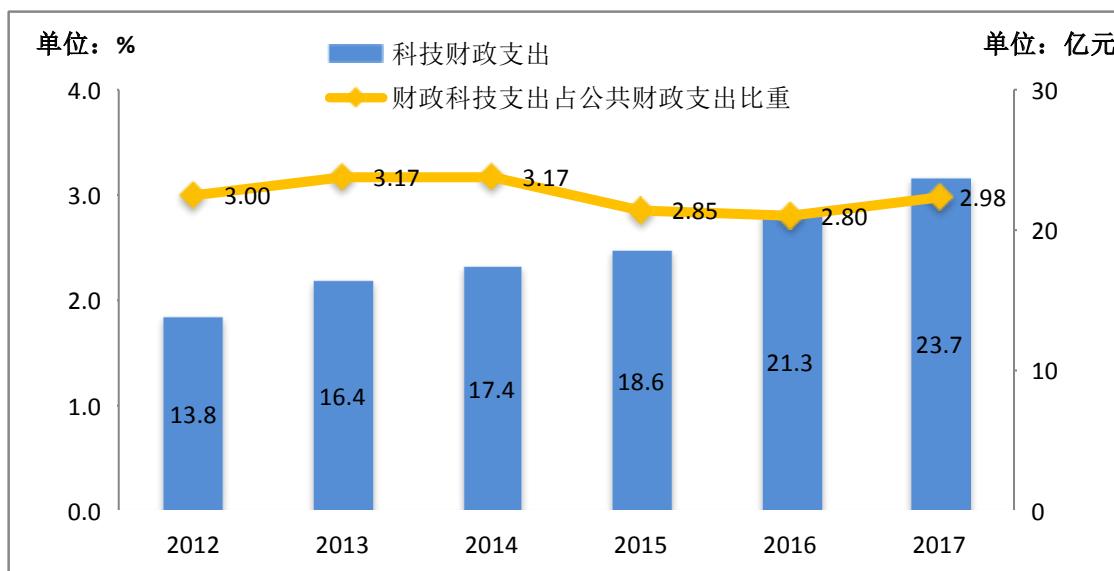


图 44 厦门市科技财政支出及其占公共财政支出比重历年情况



从创新产出的变化趋势来看，厦门市近年来呈现出持续稳定上升的态势。万人发明专利拥有量从2012年的7.16件/万人上升到2017年的23.47件/万人，年均增长率为26.80%；国家高新技术企业数从2012年的745家增加到2017年的1405家，年均增长率为13.53%。

图45 厦门市国家高新技术企业数及万人发明专利拥有量历年情况



从产业创新发展的现状来看，厦门市一些指标处于相对领先地位。厦门市拥有厦门大学1个中央级科研院所，城市环境研究所、第三海洋研究所等2个中央级科研院所。2017年，厦门市空气质量优良率达到99.18%，在主要城市中排名第1位；规上工业企业R&D经费支出占主营业务收入比重为2.03%，排名第3位。2017年，厦门市国家级科技成果奖数仅为0.75项当量，排名第33位；全员劳动生产率为10.3万元/人，排名第32位。

总体上看，厦门市作为产业创新发展的追赶者城市，创新基础较弱，创新投入强度不低，创新产出较为丰富，创新环境良好，但在成果质量等方面仍有提升空间。

图 46 厦门市产业创新发展指标数据及排名情况



二、代表性城市之优势硬科技产业

本篇根据主要城市排名情况，结合城市硬科技产业发展成效，在东、中、西部地区选择代表性城市，其中包括东部地区的上海、深圳、杭州、宁波，中部地区的武汉、合肥，西部地区的西安、贵阳，针对这些城市发展硬科技产业的典型经验做法展开分析如下。

2.1 上海全力打造全球顶级生物医药产业集聚区

近年来，上海生物医药产业技术不断突破、成果持续涌现，治疗糖尿病的贝那鲁肽注射液和治疗晚期结直肠癌的呋喹替尼胶囊两个原创新药获批上市，治疗阿尔茨海默症新药甘露寡糖二酸胶囊“GV-971”顺利完成三期临床试验，首台国产一体化 PET/MR、首个国产心脏起搏器、首个国产血流导向装置相继获准上市，药明巨诺研发的 CAR-T 产品成为国内首个获准临床的 CD19 靶向产品……上海市生物医药创新链和产业链条完备，创新资源密集，研发优势明显，监管体制相对规范，已基本形成要素齐备、开放协同、充满生机的创新生态系统，产业整体影响力处于全国领先水平。到 2020 年，上海生物医药产业规模将达到 4000 亿元，创新能力保持全国领先地位，基本建成亚太地区生物医药产业高端产品研发中心、制造中心、研发外包与服务中心和具有全球资源配置能力的现代药品和高端医疗器械流通体系。到 2025 年，上海基本建成具有国际影响力的生物医药创新策源地和生物医药产业集群。

2017 年，上海生物医药产业的经济总量达到 3046.42 亿元，增长 5.82%，其中，制造业主营收入 1093 亿元，首次突破千亿大关，同比增长 8.6%。2018 年，上海生物医药产业经济总量达到 3433.88 亿元，其中，制造业产值达到 1176.6 亿元，增长 9.8%，逆势增长成为上海产业发展的一个亮点。目前，张江药谷集聚了 80% 的医药研发机构，已成为全国领先、全球瞩目的生物技术和医药产业创新集群。其中，拥有 300 余家研发型科技企业和 40 余家研发服务外包（CRO）公司、中科院药物研究所等一批国内顶级药物研发机构、市生物医药科技产业促进中心等一批研发公共服务平台，以及罗氏、诺华等一批外资研发中心。上海发展生物医药产业重点从研发中心建设、精准引才用才、高效产业布局等方面推进并取得显著成效。

一是建设全球领先的生物医药创新研发中心。上海市拥有丰富的与生物医药产业相关的高校和科研院所，包括中国人民解放军海军军医大学、复旦大学上海医学院、复旦大学药学院、上海中医药大学、上海交通大学医学院，以及中科院上海药物研究所、上海生物制品研究所、中国科学院上海生命科学院研究院、上药集团中央研究院、华东理工大学鲁华所和上海生物制造产业技术研究院。在此基础上，上海在生物医药领域还建设了超过 30 个实验室及研究中心，包括新药研究国家重点实验室、免疫学国家重点实验室、国家生化工程技术研究中心、微生物代谢国家重点实验室、上海医药临床研究中心实验室、生物医药产业技术功能型平台等。目前，上海按照“国家战略、科学原创、上海使命”的理念，

正加快建设张江药物实验室，推动其成为具有全球影响力的原创新药研发平台。与此同时，上海全力支持在沪各类科研机构和实验室发展壮大，聚焦脑科学与类脑科学、干细胞与再生医学、微生物基因组与合成生物学、人类细胞图谱、糖类药物等学术前沿，聚焦大数据、云计算、人工智能与生物医药产业交叉融合等热点方向，加大颠覆性技术和高端核心产品的研发攻关，促进各相关领域达到并保持国际先进水平。

二是聚焦生物医药产业发展需求精准引才用才。上海面向产业创新发展需求，围绕化学药物、生物制品、现代中药、医疗器械等重点领域，大力吸引和集聚生物医药产业相关高端人才，精准实施包括“千人计划”“浦江人才计划”等各类人才计划，完善人才配套支持体系，大力培养基础研究、产业技术、资本投资、市场营销、园区运营等各类专业人才，为产业人才创新创业提供必要的条件和良好环境。同时，引导上海高校围绕企业的现实需求，按需定制培养专业技能过硬、有创新活力与能力的人才队伍。加快建设接轨国际、并与上海生物医药产业发展相适应的药械职业化、专业化审评核查队伍。不断深化科技成果收益分配管理改革，激发科研人员创新创业动力，加快推动生物医药领域的最新成果向企业转化。

三是打造“优势互补、错位发展、各具特色”的生物医药产业布局。上海坚持市区联动，持续推进浦东、闵行、奉贤、金山、嘉定、青浦、松江7个生物医药制造业基地，和浦东、徐汇2个研发外包服务业基地，以及浦东、黄浦、普陀3个商业基地建设。目前，已经形成了以张江为核心，以金山、奉贤、徐汇等园区为重点的“聚焦张江、一核多点、全市协同”的生物医药产业空间格局，张江构建了完善的生物医药创新体系和产业集群，已成为国内生物医药领域中研发机构最集中、创新实力最强、新药创制成果最突出的基地之一。在加快全市生物医药产业合理布局的基础上，上海积极推动各生物医药园区立足自身优势，聚焦重点，突出特色，提升集聚度和吸引力，更好地承接创新成果和产业项目。

2.2 深圳打造智能制造产业创新中心

据《世界智能制造中心发展趋势报告（2019）》分析，从智能制造产值占比来看，全球所有样本城市的平均比值为72.56%，中国样本城市的为68.57%，而深圳却以高达85.34%的智能制造产值比重取得全球及中国第一。深圳计划到2020年，在通讯设备、机器人可穿戴设备和智能装备、新能源汽车以及海工装备和集成电路设计等领域培育规模超万亿、超两千亿或超千亿的产业集群。到2025年，深圳的发展目标是成为国内智能制造、绿色制造、高端制造的排头兵，跻身国际制造业强市之列。

2018年，深圳实现规模以上工业增加值9109.5亿元，增长9.5%，连续两年位居全国大中城市首位，成为全国唯一一个工业增加值突破9000亿元的城市；规模以上工业增加值增速连续两年超过GDP增速和三产增速，对GDP增长贡献率达到44.7%，较上年提高4.8个百分点。其中，先进制造业和高技术制造业增加值分别为6564.83亿元和6131.20亿元，分别

增长 12.0% 和 13.3%，占规上工业增加值比重分别提升至 72.1% 和 67.3%。深圳推进智能制造业发展的几个亮点经验如下。

一是坚持走在改革创新最前沿。深圳市大力实施科技体制机制改革攻坚，充分发挥市场对技术方向、路线选择、要素价格、要素配置导向作用，打造科技体制改革先行区，激发创新驱动引擎全速发动。依靠体制机制创新，深圳形成了“五个结合”，实现了“创新、创业、创客、创投”相结合、创新创意与创业相结合、创新创业人才的培养与引进相结合、市场导向与政府支持相结合、财政引导与体制机制优化相结合，激发了全社会的创新创业活力。

二是坚持企业“第一主体地位”。深圳市形成了“六个 90% 以上的格局”，即 90% 以上的创新企业是本土企业、90% 以上的研发机构设在企业、90% 以上的研发资金来源于企业、90% 以上的职务发明专利出自于企业、90% 以上的重大科技项目发明专利来源于科技龙头企业。在企业培育方面，2017 年，深圳出台《关于加强高新技术企业培育的通知》，大力实施国家高新技术企业培育计划，建立高新技术企业培育库，对获得国家高新技术企业认定的企业进行支持，鼓励科技型行业协会等社会组织开展对高新技术企业认定的辅导、咨询、培训，高新技术企业培育政策正在走向精细化。深圳高新技术企业数于 2017 年度突破 1 万家。

三是坚持科学发现、技术发明、产业发展一体化推进。深圳是新型研发机构的发源地，早在 1996 年就成立了全国第一家新型研发机构——深圳清华大学研究院。截止目前，深圳市共拥有科研类非营利组织 70 余家。新型研发机构是深圳重要创新主体之一，通过依靠科学发现、技术发明、产业发展“三发”联动、一体化发展，这些机构以其突出的创新能力和平巨大的增长潜力，成为引领源头创新和智能制造产业发展的重要力量。

四是坚持营造良好的创新环境。深圳市充分发挥了移民城市的优势，积极弘扬创新文化，在全社会营造“崇尚创新、宽容失败”的创新精神，通过出台一系列倡导创新、支持创新的政策制度，以及持续提升政府服务水平、改善营商环境，大力营造了宜创宜业宜居的良好环境。

2.3 西安打造全球硬科技之都

西安作为硬科技概念的发源地，将打造“全球硬科技之都”作为全市创新发展的重要目标，突出强化顶层设计，调动和激发各类创新要素聚焦硬科技、服务硬科技。实践证明，发展硬科技切实能够全面提升西安市区域的技术研发能力与技术运用水平，并推动区域产业结构的调整和优化，在实现区域经济发展转型升级目标的同时，切实有效落实了国家创新驱动发展战略，硬科技已成为引领支撑西安市创新发展的新 IP。

西安市以生物技术、信息技术、光电芯片、新材料、新能源、人工智能、智能制造、

航空、航天为代表的硬科技产业发展成效显著。在生物技术产业方面，生物医药、精准医疗、现代中药和医疗器械等方面成果丰硕，抗体药物研究突破了一批核心技术，研发实力居全国城市前列，形成了以西咸新区、高新区、经开区等为主要载体的产业发展格局，产业规模日益扩大，吸引了强生等一批世界 500 强企业落户。在信息技术产业方面，年主营业务收入超过 2600 亿元，电子信息产品制造业规模排名全国第十，软件服务业排名第八，逐步形成了软件及信息服务、智能终端等优势产业集群，华为、中兴、阿里巴巴等 100 多家国内知名企，高通、英特尔、微软等 30 多家世界著名公司在西安设立研发机构。在光电芯片（集成电路）产业方面，年销售收入 1000 万元以上的企超过 30 家，集成电路设计业规模位居全国第五，移动通信、北斗导航芯片和功率器件研发优势明显，微纳光波导、光栅耦合器和 VCSEL 激光器芯片等领域水平国际领先。在新材料产业方面，聚集了以西北有色、西部超导、铂力特等为代表的一批新材料产业科研机构和企业，拥有国家级新材料企业技术中心 15 个、国家级新材料产品质量控制和技术评价实验室 5 个、国家级新材料制造创新中心 2 个。新能源产业方面，全国重要的新能源产业研发、制造和应用示范基地。技术实力雄厚，行业龙头企业集聚，单晶 PERC 电池转换效率和单晶硅片产量均位居全球第一。全市 44 家规模以上新能源企业中，产值超过 10 亿元的有 8 家，产值贡献率 99.6%。在人工智能产业方面，人才和技术实力全国领先，31 所高校开设人工智能相关专业，产业领域集聚了 9 位院士、23 位长江学者，拥有国家级研发平台 11 个、省部级平台 33 个。在智能制造产业方面，全市拥有约 300 家智能制造装备企业，90 余家企业参与智能化改造，西电集团、陕鼓动力等 20 余家企业承担多项国家试点示范任务，高新区 3D 打印、经开区机器人产业已初具规模，逐步形成集群效应。在航空产业方面，产业体系完善，集群优势明显，拥有全国最大的飞机制造企业、唯一的大中型飞机设计研究院和飞行试验研究鉴定中心，航空产业相关单位 304 家，叶片精锻、盘、轴、燃油喷嘴加工等制造能力位居国内第一，通用航空产业发展及示范区建设走在全国前列。在航天产业方面，是国内唯一拥有航天系统完整产业链的城市，航天运载动力优势突出，卫星载荷及地面应用地位明显，具备完善的航天测控能力和充裕的人力资源和创新要素，产业收入 500 亿元以上，从业人数 3.5 万人，科研院所、高校、企业等航天产业相关单位 100 余家。西安市在构建硬科技之都方面注重顶层设计，致力于构建培育硬科技产业发展的全生态环境，支持全球硬科技之都建设。

一是优化硬科技发展环境。推进硬科技战略支撑体系，将硬科技之都建设纳入全省 2021—2035 科技发展规划和推进大西安区域创新建设方案。完善硬科技产业发展政策体系，制定硬科技九大产业发展规划，为硬科技产业发展提供有力的政策支持和保障。提升硬科技产业发展服务体系，设立硬科技产业、基金运营和独角兽企业培育等 15 个服务专班，支持硬科技智库、产业联盟、科技媒体等共同发展，实时掌握全球硬科技发展趋势和现状，服务硬科技发展。建立全市硬科技产业发展一盘棋的工作体系，市级相关部门和各区县、开发区上下联动，紧密配合，实施“硬科技+”行动计划，搭建“硬科技+”创新平台，促进硬科技与文化、旅游、交通、医疗以及智慧城市建设其他产业的深度融合。

二是构建多元资金平台。设立硬科技产业发展基金，吸引社会及金融资本在西安市组建产业发展基金群。截至3月31日，西安科技基金群共投资子基金7支，认缴总规模21.54亿元，撬动产业总投资273.28亿元，带动就业9600余人，带动税收约5.8亿元，科技基金群支持西安市竞争力强的优质硬科技企业168个。深化科技金融结合，不断创新科技金融产品，扩大知识产权质押融资、科保贷融资覆盖面。2018年西安市科技金融服务企业超过1500家，贷款企业531家，其中70%是硬科技企业。积极助力企业上市科创板，推进“龙门行动计划”，与上海证券交易所科创板、中信建投、中金公司等头部券商对接，建立全市科创板企业动态名单库，着力打造具有西安市特色的硬科技科创板挂牌企业。

三是加强原始技术创新。突出基础研究，支持交大、西电、西工大等高校和科研院所加强基础研究和前沿技术攻关，支持鼓励科研人员踊跃申报基础研究科研项目，充分发挥基础研究先导作用。建设特色创新链，围绕硬科技产业创新链的关键技术研发和创新，结合本地产业链特点，加速科技成果的转移转化和产业化。打造原始创新高地，推进中科院西安科学园建设，突出原始技术创新，打造科技创新区、科学研究中心、先进技术研发基地和高级人才培养基地，加快大科学装置建设步伐。

四是加大企业培育力度。持续加大科技企业培育力度，出台高新技术企业、科技小巨人、硬科技独角兽企业培育和认定管理办法，形成“微成长、小升高、高壮大”梯次培育机制。2018年，西安市新增国家级高新技术企业1298家，总数达到2620家。扶持科技型中小微企业发展，推进国家小微企业示范基地建设。截至2018年底，西安市累计建成众创载体1156个、面积3281万平方米，入孵各类众创载体的企业、团队4万余家，就业人数40多万人。大力支持建设科技创新平台，通过建设企业技术中心、工程技术研究中心、市级重点实验室等平台，鼓励企业提高自主创新能力。

五是加快硬科技成果转化。大力优化转移转化环境，制定出台了加快促进科技成果转化20条措施和加快技术转移转化的若干措施（试行）等。加强产学研深度融合，鼓励龙头企业联合高校建立新型产业技术研发组织和平台，探索产学研深度融合的企业创新人才激励和流动机制，实施重大科技成果转化和产业化。推进全面创新改革，分两批安排17家高校院所先行先试，复制推广“一院一所一校”模式，进一步推进“三权”改革和科研人员激励制度。开展科技招商，举办百万校友回归活动，搭建校友回归投资平台，组织了西安各大高校校友专场签约活动，签约上百个硬科技产业项目，高校和校友优质资源辐射带动和溢出效应显现。

六是打造硬科技产业品牌。西安先后成功举办两次全球硬科技创新大会，整个大会在国内外得到广泛传播并取得了较大的影响，打造了集产业盛会、赛事路演、成果展示、交流研讨于一体的国际化交流合作和硬科技品牌展示平台。积极抢占硬科技话语权，西安市将2019年定为硬科技品牌提升年，研究制定了全球硬科技之都品牌工作推进计划和常态化宣传工作方案，开展了硬科技科普、硬科技系列采风，承办中省大型硬科技活动等活动，

进一步提升了西安硬科技话语权。统筹策划硬科技主题活动，发布硬科技活动菜单，做到“月月有活动，月月有主题”。通过线上线下策划组织全市硬科技“五个一”推广活动（一批硬科技大事、一批硬科技成果、一批硬科技企业、一批硬科技人物、一批专题活动），年底组织评选2019年度硬科技十件大事，通过各种形式来传播硬科技、宣传硬科技。

2.4 杭州依托信息产业打造数字经济第一城

阿里云是全球第一个对外提供5K云计算的服务平台，阿里YunOS操作系统已经成为世界第三大移动端操作系统，中控集团的DCS及制订国际标准打破了国外巨头在石化主装置领域的垄断，海康威视掌握了数字监控领域的7项核心技术并参与制定国家和行业标准5项……中国已在信息产业中的移动支付、共享出行、电子商务等部分领域引领了世界的发展，而这些产业都高度密集分布在杭州的信息产业链上，杭州的一些创新型企业掌握了行业发展的国际话语权。到2020年，杭州信息产业的发展目标是规上企业主营业务收入突破万亿，增加值突破3800亿元。

2018年，杭州信息产业增加值3356亿元，增长15.0%，占GDP的24.8%。电子商务产业增加值1529亿元，增长17.5%，杭州电子商务连续多年位居中国“电商百佳城市”首位；软件与信息服务产业2508亿元，增长17.0%；数字内容产业2098亿元，增长15.8%。目前，阿里巴巴拥有目前全球最大的线上交易市场和商务社区，旗下公司包括阿里巴巴、淘宝、支付宝、阿里软件、阿里妈妈、口碑、阿里云、中国雅虎、一淘、淘宝商城、中国万、聚划算、钉钉等；阿里巴巴、网易、腾讯和华为等在杭州形成了一个从衣食住行到科教文卫全方位的立体信息产业链，使得杭州电商圈辐射整个浙江和长三角地区，被称为中国的“硅谷”。杭州发展信息产业形成了一些亮点经验做法如下。

一是“特色小镇”经验全国推广。早在2014年，杭州为加快发展网络信息产业而规划建设的“三镇三谷”创新平台迅猛发展，就得到了国家有关部委和浙江省委、省政府的充分肯定。围绕信息产业，杭州打造了西湖云栖小镇、余杭梦想小镇、西湖云谷小镇、萧山信息港小镇、萧山空港小镇、富阳硅谷小镇、上塘电商小镇、下城跨贸小镇、钱塘智慧城、临安龙岗坚果电商小镇、滨江物联网小镇、余杭传感小镇、桐庐智慧安防小镇等。在建设“特色小镇”过程中，杭州市坚持“统一规划、因地制宜、差异发展”指导思想，紧抓“产业定位特而强、功能叠加聚而合、建设形态精而美”的建设目标，突出产业谋划、融合发展、创业创新，通过资源整合、项目组合、产城融合，强化生态系统打造，强化特色小镇发展。

二是“双创活动”获得领导肯定。2019年6月13日全国双创活动周在杭州成功举办，李克强总理对杭州“双创”活力给予充分肯定，杭州双创影响力进一步放大，双创氛围进一步浓厚，双创活力进一步被激发，为杭州打造双创“升级版”带来了难得机遇。近年来，杭州市大力实施“创新创业新天堂”行动，积极构建各类双创平台，形成以市场为导向，

以民营企业为主体、多种要素集聚的协同创新格局，强化开放共享，创新服务模式，为创业者提供良好的工作空间、网络空间、社交空间和资源共享空间，努力营造了充满生机活力的“互联网+”创新创业生态系统。在此基础上，为贯彻实施长三角区域一体化国家战略、全面提升杭州城市综合能级，杭州积极推进创新创业的高质量一体化，构建广覆盖、宽领域、多层次的新时代“追梦创联体”，围绕创新链、产业链、人才链、资金链、政策链“五链集成”完善全生命周期的“双创”生态系统，突出“双创”资源要素整合，优化“双创”服务体系，推动各类平台串珠成链、连线成网，提高“双创”的组织化水平，全力打造全国“双创”示范城，加快建设具有全球影响力的“互联网+”创新创业中心，全面打响“数字杭州·双创天堂”的城市品牌。

三是大力引才打造“人才特区”。杭州连续七年入选“外籍人才眼中最具吸引力的十大城市”，2017年人才净流入率、海外人才净流入率均居全国城市第一，杭州应届生的留存率超过80%并接近北京、上海。一直以来，杭州坚持人才是第一资源，不求所有、但求所用的理念，在充分依托浙江大学等在杭高校、国家、省属科研院所智力支撑的基础上，发挥优良的创新创业环境和产业集聚人才优势，加大引才政策支持力度。对于外国人才引进，出台《关于加快推进杭州人才国际化的实施意见》，规定外国人才携项目来杭创办企业，最高给予1亿元资助，外国优秀留学生毕业后可直接在杭就业。对于人才链的构建，结合上海“科改25条”等政策经验，按照“不唯学历、不唯职称、不唯论文、不唯奖项”的原则，对从事各类创新活动的人才实行分类评价，积极探索建立分梯度匹配的多层次人才政策体系，提高人才政策覆盖面，打造长三角南翼“人才特区”。

2.5 武汉打造万亿级光电子产业集群

中国第一根光纤、中国第一个光传输系统诞生在武汉。目前，全球最大的光纤光缆研制基地在武汉·中国光谷，其光纤光缆国内市场占有率66%，国际市场占有率25%，销量世界第一。在光电子信息领域，中国光谷成为我国参与全球光电子竞争的知名品牌。武汉正把握5G产业启动期、芯片战略决战期、新型显示替代期、北斗产业窗口期等产业发展趋势，全力发展集成电路、新型显示、移动终端、光通信系统及设备、信息技术应用及服务等主导领域，积极布局人工智能、北斗、量子通信、虚拟现实等前沿领域，力争到2023年左右，“领跑国内、并跑国际”，建设具有全球影响力的万亿级世界光电子信息产业集群。

2018年，武汉光电子信息产业主营业务收入总量突破5000亿元，成功突破100G硅光收发芯片、自主架构64层三维闪存芯片等前沿技术。目前，光谷光通信、激光等产业国际竞争力不断增强，集成电路产业蓄势待发，新型显示、智能终端等产业加速发展，5G、北斗、物联网等新兴产业正在快速兴起。武汉通过广聚天下英才、实施企业培育成长工程、完善科技金融体系、培育创新创业的城市文化等举措，促进光电子信息产业迅猛发展。

一是运用特色引才计划构建全市引才大格局。2018年，留汉创业就业大学毕业生40.6万名，创历史新高，人口净流入量居全国城市前列。武汉市通过深入实施“人才特区”战略和“城市合伙人”计划，构建了以市“黄鹤英才计划”为主，东湖高新“光谷3551人才计划”、武汉开发区“高端人才集聚工程”为两翼，“武昌英才计划”、“汉阳英才计划”等各区（工业园区）特色引才计划为支撑的、相互衔接的全市引才格局，积聚了一批战略科学家、高端创新创业人才和产业领军人才，打造了国家海外高层次人才创新创业基地，引进和培育人才效果显著。

二是实施企业培育成长工程。持续推进“小进规”，引导大中小企业融通发展，形成“小微企业——规模以上企业——隐形冠军——单项冠军——领军企业”的发展梯队。积极培育国家单项冠军企业、省级隐形冠军企业，造就支撑产业集群发展的强大企业集团军。推动规模以上工业企业实现研发活动全覆盖，支持引导企业、高校院所参与科技成果转化，积极推进全市科技成果本地转化率达到80%以上。

三是建立完善的科技金融体系。全面推进科技金融体制机制改革，建立了有利于风险投资机构、科技担保机构和科技保险机构发展的激励机制，开展了科技银行、非上市公司股权转让、集合债券、科技保险等试点工作，创新了“萌芽贷”、“三板贷”、“投融通”等针对科技型中小企业的金融产品。在此基础上，不断优化基金激励优惠政策，扩大市级战略性新兴产业引导基金规模，鼓励大型工业企业等各类主体参与设立产业投资基金，吸引带动万亿社会投资。

四是培育创新创业的城市文化。出台了《市人民政府关于实施“青桐计划”鼓励大学生到科技企业孵化器创业的意见》《市人民政府办公厅关于加快发展众创空间支持大众创新创业的实施意见》《2016年武汉市全民创业工作要点》等政策文件，全面鼓励支持高校毕业生、科技人员、留学回国人员、返乡农民工、退役军人、失业人员和转岗职工、残疾人等群体创业创新。持续打造“青桐汇”品牌，自2013年举办首场试演以来，“青桐汇”已累计举办了61期，走过20所高校科研院所，路演项目超过400例，推荐项目近千例、参与的投资机构超过200家，观摩人数近5万人，70个项目累计获得融资近20亿元。在“青桐汇”的带动下，光谷的创业氛围日渐浓厚，一批独角兽企业如卷皮网、极验验证等通过该平台被发现、投资并获得快速成长。目前，“青桐汇”已成为华中地区发展速度最快、最具品牌影响力的创业学习、交流、交易平台。

2.6 合肥发展人工智能产业打造具有国际影响力的创新之都

科大讯飞中文语音产业规模占全球中文智能语音应用市场首位，“讯飞超脑”在感知智能、认知智能等领域技术国际领先，朗坤物联网在智能灌溉、无线低功耗数据通信等领域技术国际领先，中国科学技术大学基于类人神经网络的认知智能系统研发引领国内类脑

技术发展，“可佳”机器人曾获国际服务机器人标准测试第一名，中科院合肥物质科学研究院在智能传感检测技术、自然人机交互技术、智能决策系统等方面处于国内领先水平……合肥是国内最早关注、率先发展人工智能产业的先行城市，在语音合成、语音识别、深度学习、类脑智能等人工智能关键技术上拥有国际领先的原创成果，已初步形成了具有全球影响力的人工智能产业生态体系。到2025年，合肥的发展目标是人工智能核心产业规模超过300亿元，带动产业规模达到3000亿元，成为构建创新型产业体系和实现经济高质量发展的重要动力，总体技术与产业发展水平全国领先，局部领域达世界先进水平；到2030年，形成较为完备的人工智能产业链和高端产业集群，产业规模和总体竞争力处于国内先进城市第一方阵，智能社会、智慧城市建设形成全国示范，成为国内外具有重要影响力的新一代人工智能发展高地。

2018年，合肥以智能语音、智能穿戴为核心的人工智能产业主营业务收入770亿元，同比增长近30%，实现就业人数近8万人，同比增长近10%。在芯片方面，拥有晶合晶圆、长鑫存储、通富微电等120多家企业，覆盖从设计、晶圆制造到封装测试的全产业链。在云计算方面，已建成人工智能开放平台，华为软件开发云和城市产业云落户合肥。在大数据方面，在成立数据资源局和大数据资产管理公司基础上，加快建设大数据平台，进一步整合优化全市数据资源。在通信方面，安徽首个5G站在启迪科技城建成，荣事达、中国电信和华为联合打造的基于智能家居、物联网的通讯平台实现了智能家居多品类、多品牌的互联互通。在产业发展载体方面，拥有全国唯一定位为语音和人工智能领域的国家级产业基地——“中国声谷”，集聚了科大讯飞、华米科技、新华三、飞常准等400多家企业。在加快人工智能产业发展中，合肥不断深化改革，坚持抓源头创新、抓平台建设、抓载体搭建，具体做法如下。

一是构建“1+3+5+N”政策体系，深化创新投入改革。合肥市通过建立“1+3+5+N”创新政策体系提高创新投入的带动效果，取得了显著成效。自2006年起，合肥整合分散在各部门的科技及产业扶持政策和资金，构建并完善“1+3+5+N”政策体系。“1”即《扶持产业发展政策的若干规定》；“3”即《政府投资引导基金管理办法》《天使投资基金管理办法》《财政资金“借转补”管理办法》；“5”即新型工业化、自主创新、现代农业、服务业和文化产业五大产业政策；“N”即产业政策相关执行部门按照“1、3、5”规定，制定具体的实施细则。2014年5月，正式出台《合肥市扶持产业发展“1+3+5”政策体系》（合政〔2014〕62号），形成全面的创新政策体系，协同推动科技、产业、资金、人才政策，在全国率先汇集支持科技和产业创新。此外，不断优化财政资金投入结构，提高资金使用效益。例如，采取基金、财政金融产品、借转补等政策工具撬动金融资本和社会资本，实现财政资金放大和循环使用，由“锦上添花”变为“雪中送炭”；建立风险容忍机制，对采取基金、“借转补”、金融创新类产品等有偿方式投入的资金，允许存在一定比例无法收回和偿还的情况；建立风险补偿与预警机制，降低风险投资成本，提高抵御风险能力，保证财政有偿资金良性运转；对于天使投资基金，可以约定采取以下方式对被投企业实行激励：一是被投企业

在天使投资基金投资后 5 年内在国内主板、中小企业板、创业板或境外类似资本市场成功上市的，天使投资基金在退出被投企业时，天使投资基金按照投资协议约定可将扣除初始投资后的剩余资金和股权 100% 奖励给企业创业团队。二是被投企业在规定年限内达到约定的主营业务收入和（或）上缴税收规模时，天使投资基金按照投资协议约定给予被投企业奖励。

二是构建国家级创新平台体系，打造原始创新策源地。合肥拥有中国科学技术大学、合肥工业大学、安徽大学、中科院合肥物质科学研究院、中国电子科技集团第三十八所等一批在人工智能领域具有较强研发和技术攻关能力的高校院所，以及科大讯飞、华米科技、科大国创、朗坤物联网等一批人工智能龙头企业。以此为依托，合肥市积极搭建了类脑智能技术及应用国家工程实验室、认知智能国家重点实验室、语音及语言信息处理国家工程实验室、农业物联网技术集成与应用重点实验室、过程优化与智能决策重点实验室，以及正在争创的量子信息科学国家实验室等一批国家科技创新平台。此外，中国科学技术大学建有我国量子信息领域第一个省部级重点实验室，科大讯飞成功入选建设首批国家新一代人工智能开放创新平台。

三是建设新型研发机构，加速人工智能成果转化。为了将研发、人才、产业、资本快速、有效融合起来，合肥市积极搭建了一大批新型研发机构。早在 2012 年，按照“省部合作、市校共建”方式，就与中科院、中科大合作共建中科大先进技术研究院，采用“人才双聘”（高校和企业）、政产学研联合共建模式，着力构建集高端人才培养、先进技术研发、创新成果转移转化为一体的“创新生态体系”。针对科技成果工程化，中科大先进技术研究院已与英特尔等国内外高端研发机构和知名企联合共建研发平台 52 家，孵化科技型企业 233 家，引进和集聚各类高层次人才累计达 602 人，涌现了一批在国内外行业领先的应用技术。此外，清华大学合肥公共安全研究院围绕公共安全重大需求建设了公共安全综合实验平台和公共服务平台等八大研究平台，城市安全运行监测体系已示范运行；中科院合肥技术创新工程院成为国家级科技企业孵化器，累计引入合肥研究院技术团队 24 个，孵化企业 53 家，成立 11 个工程技术研发中心；合工大智能制造技术研究院聚焦高端智能装备等领域，引进人才团队 18 个，总人数 210 人，目前正积极推进建设国家智能网联电动汽车质量监督检验中心（合肥）。

四是搭建创新载体，促进人工智能应用全面开花。为了加速人工智能产业项目向合肥聚集，引导产业做向心运动，打造全球人工智能产业高地，合肥市积极打造了“中国声谷”。截至目前，“中国声谷”聚集企业 600 余家，培育和引进了科大讯飞、华米科技、国盾量子、科大国创、中科寒武纪、联发科技、北京君正、航天信息、新华三、腾讯、阿里、ARM 等行业龙头企业，同时集聚了科大讯飞智能语音、中科类脑智能、神州泰岳智能写作、金山智能语义开放平台等一大批全国领先的开放创新平台，形成了全国人工智能产业开放性创新平台最密集高地，2018 年“中国声谷”实现产值 650 亿元。“中国声谷”是工信部与安徽省人民政府共建的部省重点合作项目，按照“集聚发展、优化布局”的原则，已形成“一

核多园”的系统布局。“一核”是依托中科大为技术创新载体，以孵化区为产业化平台，形成人工智能领域的“硅谷模式”；“多园”是布局建设多个特色鲜明的产业园，推动关联产业和要素集聚，重点打造大数据产业园、智能终端产业园、物联网产业园、智能客服产业园、教育与文化产业园、智慧城市产业园、智能产品研发设计总部基地等，积极推动其他各细分领域实现集聚发展。2017年9月，安徽省发布支持“中国声谷”建设的专项政策即“声谷十条”，设立总规模50亿元的智能语音及人工智能产业发展基金，支持产业发展中处于初创期、成长期和成熟期项目；2017年至2020年，安徽省政府每年将安排2亿元产业发展和推广应用扶持资金，合肥市每年拿出6亿元资金跟进扶持，并明确了支持龙头企业做大做强、原始技术创新、产业集聚发展等十大举措，“中国声谷”所在高新区专项出台“2+2”政策，为进一步发展人工智能产业提供精准保障。

2.7 宁波打造万亿级新材料产业之城

创建国内首条克拉级金刚石生产线，潜心打造核医学影像装备的“中国芯”，率先研制出国内能量密度和单体容量最高的锂离子电池，石墨烯改性重防腐涂料关键技术指标处于国际领先水平……宁波新材料正代表中国参与全球竞争。当前，宁波是全国最大的新材料产业基地，钕铁硼永磁材料产量占到全国三分之一、高精度锌白铜板带占国内市场的70%、非光气法聚碳酸酯、高强高模聚乙烯纤维等产品填补国内空白、电子信息材料领域溅射靶材和光学膜材料替代美国、日本同类产品。到2025年，宁波新材料产业将形成创新体系完备、区域布局合理、上下游协同的发展格局，产值规模力争达到5000亿级，在石墨烯、3D打印、新一代光电材料、生物医用材料、新能源材料等战略和前沿领域取得关键性突破。未来，将带动形成万亿级的新材料产业集群，大幅提升我国新材料产业国际竞争力。

目前，宁波市新材料产业规模突破2000亿元，2018年规上企业实现工业总产值2033.6亿元，占全市工业总产值的12.1%，位居全市战略性新兴产业第一。其中，金属新材料、化工新材料、电子信息材料和磁性材料等重点领域分别完成工业总产值715.9亿元、907.8亿元、115.8亿元和114.4亿元，同比分别增长35.2%、44.6%、5.7%、5.6%，已经形成了特色明显的产业格局。宁波新材料产业发展成效显著，形成了一些在全国范围内值得推广的典型经验做法如下。

一是成果转化活跃，模式不断创新。以2017年为例，宁波全市技术交易额首破100亿元，其中技术吸纳占比超过八成。在产学研合作方面，宁波采用“自主研发+项目合作+共建平台”，积极引导中小民营企业自主创新能力建设，鼓励产学研合作集成创新，以委托开发、研发外包、合作开发等项目纽带合作方式以及与高校院所共建科研合作平台、产业联盟等形式，建立紧密的产学研合作关系，突破关键核心技术。在产业化方面，采用“产业技术+产业育成+衍生企业”模式，通过与中科院、浙江大学等高校院所合作，搭建中试实验工场、中试创客平台等载体，承接合作单位人才团队和重大科技成果落地前期预孵化，开展中间性、

规模化放大试验，为企业输送可供产业化的重大产品（装备）和人才团队。在国际合作方面，“采用国际合作+跨国并购”模式，瞄准国际科技资源转移的新趋势，努力探索股权收购、技术合作、技术购买等方式，加快推进民营企业链接全球创新资源。

二是强化高端创新平台建设，“科技飞地”成效显著。宁波不断加大对中科院宁波材料所、中科院宁波分院等科研院所的支持力度，积极推动北航宁波创新研究院、大连理工大学宁波研究院等落地，以及国科大宁波材料工程学院、中科院宁波材料所杭州湾研究院建设。重视石墨烯、磁性材料应用技术、金属新材料等制造业创新中心和国家新材料测试评价平台区域中心建设，积极对接国家科技发展战略和重大创新平台布局，规划建设甬江科创大走廊，布局建设海洋新材料、先进高分子材料、先进合金材料等甬江实验室，争创国家重点实验室。在此基础上，宁波还将科技型企业的“最强大脑”（研发中心）落地上海、杭州等创新资源集聚地，打通人才项目在大城市孵化与本土产业化联动发展的通道，实现区域创新资源与产业结构的优势互补。在“科技飞地”助力下，宁波与长三角各城市科技交流更加密切，并共建了一系列高水平创新平台。高端创新平台促使新材料前沿研究成果不断涌现，助力宁波新材料产业飞速发展。

三是营造创业环境，构建全链条创新服务体系。依托宁波新材料科技城创建的全省唯一的新材料产业创新服务综合体，集聚了全市三分之一的重点科研机构、二分之一的公共技术服务平台、三分之二的检测认证机构，拥有近300家投融资机构，打造集研究开发、检验检测、标准信息、成果推广、创业孵化、国际合作、展览展示、教育培训等全链条服务模式，带动全市形成万亿级新材料产业集群。在建设模式上，为了统筹各类创新服务资源，综合体按照“一核多平台”模式，“一核”是指以宁波新材料公共技术服务平台为核心，重点建设宁波新材料联合研究院、宁波新材料国际创新中心、宁波研发园，承担起研究开发、检验检测、专家咨询、技术服务、知识产权、成果展示、创业孵化等一站式服务功能；“多平台”是指中科院材料所、北方材料科学与工程研究院、高校新材料教研基地、成果展示交易平台、知识产权服务平台、创业孵化基地等专业创新服务平台。在创业孵化服务方面，综合体聚焦“三个化”——孵化项目国际化、孵化服务专业化和运营机制市场化。目前，宁波新材料众创空间、新材料初创园、新材料加速器和新材料产业园构建了“预孵化—孵化—加速—专业园”全链条创业孵化体系；宁波市科创中心、浙大科技园宁波分园、甬港现代创业中心等4家国家级孵化器和新材料众创空间（国家级）形成综合孵化器和专业孵化器错位发展的格局。此外，综合体以“三个化”为抓手，通过推动民营资本建设新材料专业孵化基地，鼓励大企业投资搭建新材料专业化众创空间。

2.8 贵阳以大数据为引领打造国家创新型中心城市

2014年6月17日，习近平总书记在听取贵阳市汇报时说：“贵州发展大数据确实有道理。”2016年5月26日，李克强总理在贵阳出席中国大数据产业峰会时说：“大数据、云

计算、物联网所代表的新一代互联网发展趋势的背景下，在中国欠发达的西部，贵州发展大数据把‘无’生了‘有’，在这里正在生成着‘智慧树’、培育和挖掘着‘钻石矿’。”2017年5月26日，马凯副总理在出席数博会时说：“大数据已成为贵州发展的一张靓丽名片。”

2013年，贵阳作为一个地处西南的欠发达省会城市，扛起了发展大数据的战略大旗。短短数年，贵阳已经成为中国数据的命脉之地，正在引领中国甚至全球大数据的风向标。贵阳发展大数据除了气候条件和地理位置之外，更为重要的是，贵阳大数据拥有应用场景，倒逼着创新资源、创新机构、创新人才、创新资源的变革，促使创新资源与市场应用无缝对接。目前，国内数家大型互联网公司都在贵阳建立了数据中心，美国高通芯片公司也在贵阳建立了数据服务中心。从某种角度来说，大数据也为欠发达地区贵阳提供了前所未有的赶超发达地区的机遇。

目前，贵阳市以建设国家大数据（贵州）综合试验区核心区和打造“中国数谷”为抓手，纵深推进大数据战略行动，大数据产业更加蓬勃发展。2018年，全市大数据企业主营业务收入达到1000亿元，增长22.4%。新增大数据规上工业企业51户，总数达到208户。

“一网通办”贵阳模式被国务院办公厅通报表扬，多个应用项目被国家部委列为试点示范。贵阳市“无中生有”发展大数据采取了一系列见成效的推进举措。

一是出台系列政策，聚力全市发展大数据。2014年印发《贵阳大数据产业行动计划》。2015年，贵州省委九届五次全会明确提出“一个目标、三个建成”的总体部署。“一个目标”，即打造创新型中心城市，“三个建成”之一就是建成大数据综合创新试验区。2016年，贵州省委九届六次全会审议通过《中共贵州省委关于以大数据为引领加快打造创新型中心城市的决定》，同时发布《以大数据为引领打造创新型中心城市的十大重点工程》《以大数据为引领打造创新型中心城市的十大开放平台》《以大数据为引领打造创新型中心城市的十大改革措施》《以大数据为引领打造创新型中心城市的十大保障机制》《以大数据为引领打造创新型中心城市监测评价指标体系》“4+1”配套文件等，在全市各界凝聚共识，形成“以大数据为引领打造创新型中心城市”的建设高潮。

二是搭建创新平台，提升产业创新能力。2015年，贵阳·贵安被国家工信部批准为大数据产业发展集聚区，是全国首个国家级大数据发展集聚区；2015年被国家科技部批准为大数据产业技术创新试验区；2016年2月，国家发改委、工信部、中央网信办联合批复贵州省建设全国第一个大数据综合试验区——国家大数据（贵州）综合试验区。此外，贵州（乌当）大数据智慧产业基地入选国家小型微型企业创业创新示范基地。与此同时，贵阳积极推进建设大数据应用技术国家工程实验室、贵州大数据安全工程研究中心、中国人工智能开发创新平台等大数据应用创新平台，“车行家网”O2O体验基地等，成立了成都研究中心与北京研究室。

三是不断丰富应用场景，加快大数据商用、政用、民用。在商用方面，以“千企引进”“千企改造”“千企融合”三千行动为抓手，大力推进大数据技术在各类场景的运用，以大数

据引领三次产业转型升级，推动实体经济向高端化、集约化、绿色化方向迈进。包括搭建“一企一策”线上服务系统，依托贵州工业云平台，利用“大数据+智能制造”应用技术为工业企业转型升级提供指导和解决方案；利用互联网和大数据支持旅游、商贸、流通、金融、出行等服务行业向平台型、智慧型、共享型融合升级；建立果蔬生产管理信息服务平台，打造农产品质量安全追溯体系等。在政用方面，以政府数据共享开放为突破，以“互联网+政务服务”为重点，以提升政府服务效能为目标，全力打造数字政府。包括推动政府数据“块上汇聚”，按照一体化政府数据中心体系建设要求，推进政务系统整合共享，构建了人口、法人、自然资源和空间地理、宏观经济、电子证照等五大基础数据库，实现存量政务系统100%接入“云上贵州”平台，新建政务系统100%在“云上贵州”平台上部署，“互联网+政务服务”平台成为2018年度全国政府网站“十大优秀创新案例”；实现政府数据融合贯通、100%共享交换，政府数据共享交换平台被国家发改委推荐为典型案例，并入选工信部“2018年大数据产业发展试点示范项目”，贵阳成为全国首个建成市区两级政府数据资源全量目录的城市；推进数字治理应用创新。在“数据铁笼”、“党建红云”、社会和云、大数据精准帮扶、大数据综合治税、公安块数据指挥中心等应用取得初步成效的基础上，实施了经济运行监测、市场监测监管、信用信息共享、失信被执行人联合惩戒、“链上清镇”诚信管理、大数据市容环境监管、河湖大数据管理等一批政府治理大数据示范应用。在民用方面，充分利用大数据技术洞察民生需求，创新优化公共服务方式，推动民生服务普惠化、均等化，便捷化。包括构建起“一张网、一朵云、一个号、一扇门、一支笔、一次成”的政务服务“一网通办”贵阳模式；建设一体化便民服务平台，优化提升“筑民生”综合服务平台被国家发改委列为“互联网+政务服务”示范工程；推进数字民生应用创新，推出便捷支付、人口健康信息云等15个数字民生应用示范。

第四部分 城市篇

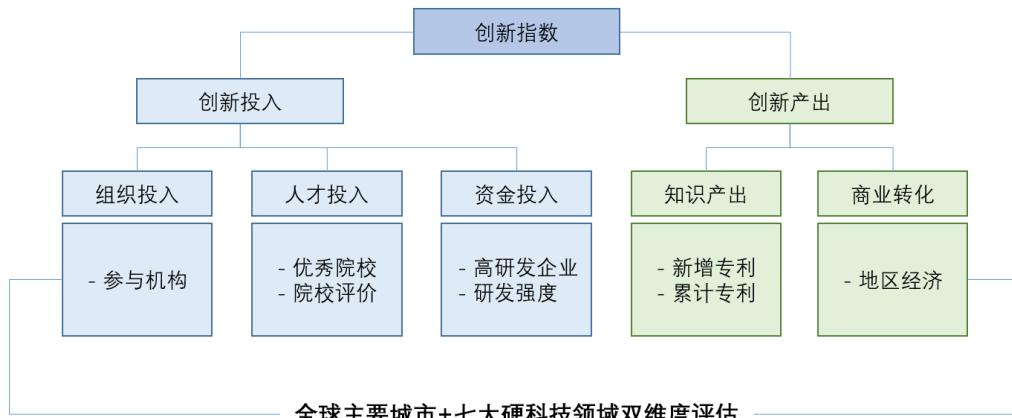
一、硬科技与全球主要城市硬科技创新指数

“硬科技”的创新发展，是全球经济发展的重要推动力量和基础，受到越来越多的关注。不同行业技术领域，不同创新主体，在技术创新活动中呈现不同表现和特点，并形成差异化的创新能力和发展水平。深入研究细分领域的创新表现和创新结果，有助于推进技术创新工作的进一步完善与深化，同样有助于地区经济产业的发展与升级。

“全球主要城市硬科技创新指数”（GTII-City Index, Global Technology Innovation Index- City Index）的推出，力图深入到细化的技术领域，剖析技术创新的差异化表现，借助指数体系分析挖掘数据背后的创新经验和不足，扬长避短，提高创新效率，控制创新风险。

“全球主要城市硬科技创新指数”（GTII- City Index）的设计，借鉴了国内外知名机构的创新研究体系，从创新投入、创新产出两方面出发，具体关注组织投入、人才投入、资金投入、知识产出、商业转化等五个创新指标。创新指数从地区城市和技术领域两条主线展开，聚焦创新投入与创新产出关系、院校创新与企业创新关系、创新能力与创新效果链条等三个维度分析。多角度剖析全球主要城市、关键硬科技领域的创新表现与创新特点，为硬科技发展和地区创新升级提供参考借鉴。（指标阐述详见附录。）

图 1 全球主要城市硬科技创新指数评估模型



2019 年度“全球主要城市硬科技创新指数”发布，重点观察 12 个国家的 45 个重点城市在信息技术、芯片及硬件、能源技术、生物技术、航空航天、先进制造和材料技术等七个硬科技领域的创新表现进行分析。45 个重点城市的选择，包括 35 个国外城市和 10 个国内城市。其中，国外城市以美国、英国、法国、德国、日本、韩国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯、以色列、印度等 11 个国家为重点，选择整体实力较强的城市地区进行分析；国内城市的选择除考虑城市整体实力外，也尽量覆盖北部、东部、中西部、西南部等地区。重点城市的选择同时参考了“全球城市实力榜单（Global Power City Index）”结果。（具体城市列表详见附录。）

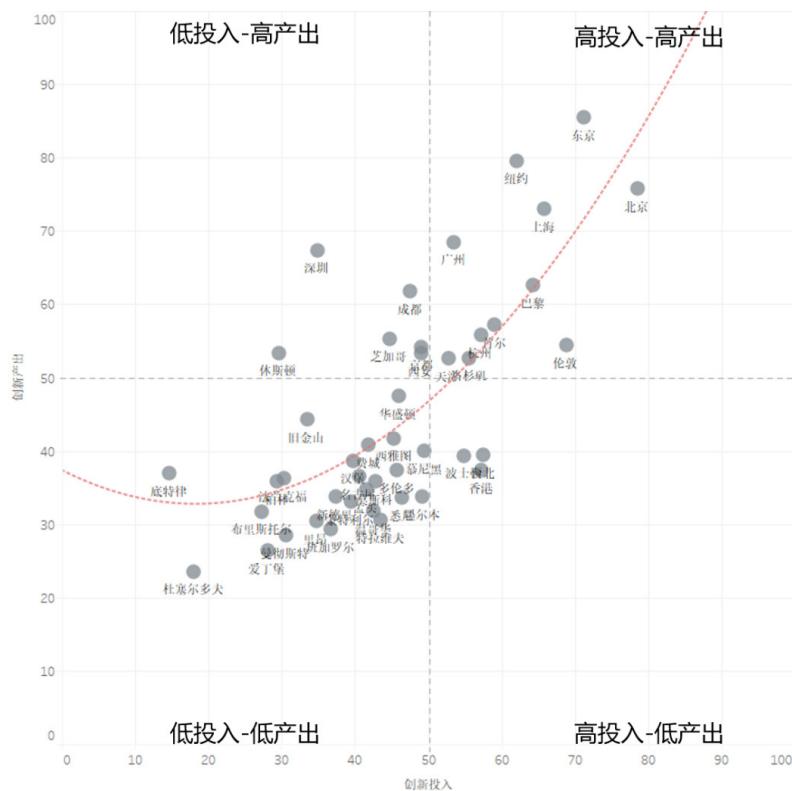
人工智能技术在最近十年的进展迅速，包括机器学习、自然语言处理、计算机视觉、智适应技术等都得到了长足的发展，且人工智能技术已步入全方位商业化阶段，并对传统技术领域产生不同程度的影响，正在改变传统技术领域的生态^[2]，如在生物技术领域，人工智能技术可协助诊断乳腺癌，速度是人工的30倍，准确度为99%。在信息技术领域，人工智能系统可准确预测85%的网络攻击，高于人类分析师水平。故此人工智能技术作为重要的“硬科技”之一，与其他“硬科技”领域有着较深的联结与交叉互融，在后续“全球主要城市硬科技创新指数”的研究过程中将持续厘清人工智能技术的发展脉络及产生的应用价值与社会经济效益，展开针对人工智能技术创新指数的评估与分析。

二、全球主要城市硬科技创新整体表现

2.1 全球45个城市的硬科技创新表现

2019年度，通过对45个全球主要城市在信息技术、芯片及硬件、能源技术、生物技术、航空航天、先进制造和材料技术等七个硬科技领域的创新表现进行评估，我们看到主要城市的创新指数综合表现如下（参见图2）。

图2 全球主要城市硬科技创新指数综合表现



[2] 引自德勤《2019年全球AI发展白皮书》

基于创新投入和创新产出的水平差异，我们将创新指数表现分为四个区间，即：高投入 - 高产出、高投入 - 低产出、低投入 - 高产出、低投入 - 低产出。通过指数分布可见，在“高投入 - 高产出”区间，东京和北京依旧保持领先地位，纽约、上海、巴黎、首尔、广州等经济发展水平较高的城市与东京、北京的差距较 2018 年度评估结果明显缩小，尤其纽约、上海两个城市基本进入“高投入 - 高产出”区间的第一梯队。此外，进入“高投入 - 高产出”区间的城市数量由 2018 年度的 6 个上升至 11 个，且全球 45 个主要城市 2019 年评估结果整体向“高投入 - 高产出”区间移动，表明全球主要城市科技创新活动越发活跃。

另从进入综合指数表现 TOP15 的城市来看（参见表 1），2018 年度评估期内 TOP15 城市中，美国 3 个，日本 2 个，英、法、德、韩各 1 个，我国 6 个；2019 年评估结果为美国 2 个，日本 2 个，英、法、韩各 1 个，我国 8 个。综上可以看到，我国科技创新活动活跃度提升程度要高于其他国家，呈现出多个行业并发、多种类型并举、多数企业家重视的良好局面。

表 1 2019 年度全球主要城市七大硬科技创新综合指数表现 (TOP15)

综合指数排名	城市	国别	综合指数得分
1	东京	日本	78.39
2	北京	中国	77.17
3	纽约	美国	70.83
4	上海	中国	69.42
5	巴黎	法国	63.47
6	伦敦	英国	61.62
7	广州	中国	61.00
8	首尔	韩国	58.10
9	杭州	中国	56.50
10	成都	中国	54.67
11	洛杉矶	美国	54.12
12	天津	中国	52.68
13	京都	日本	51.58
14	西安	中国	51.16
15	深圳	中国	51.12

2.2 快速追赶者：纽约、上海

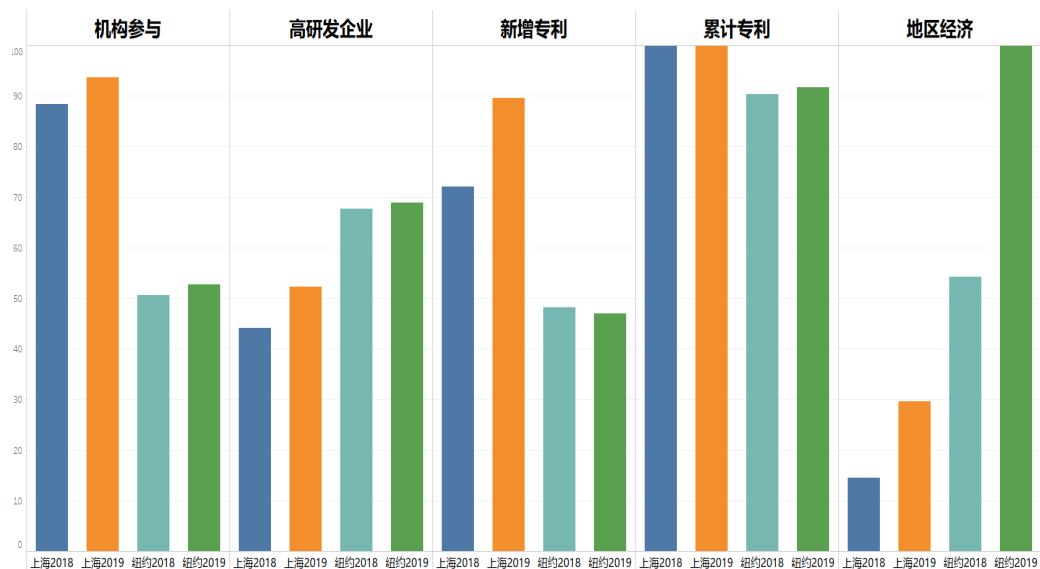
从创新的综合表现来看，东京和北京无论在创新投入还是创新产出方面都优于其他城市，尤其在2018年评估期内，东京、北京两个城市创新指数综合得分均高于其他城市10分以上。但在2019年评估期内，纽约、上海在综合指数得分上提升明显，与东京、北京的差距缩小至10分以内。通过对比研究可以看到（参见图3），纽约、上海创新指数综合评分快速提升主要来自以下方面：

首先，两个城市的高研发企业及参与科技创新的机构、组织等数量呈上升趋势，即两个城市在科技创新氛围的营造上取得了一定成果，有效增强社会各方力量对于科技创新活动的参与热情与参与度；

其次，在良好创新氛围及社会力量积极参与科技创新活动的推动下，两个城市的新增专利数量、累计专利数量均实现了较快增长；

最后，两个城市均较为关注科技创新资源在转化为专利之后，进一步转化为经济产业的规模发展，地区经济发展向好，尤其纽约提升明显。

图3 纽约、上海硬科技创新指数细分项目比较研究



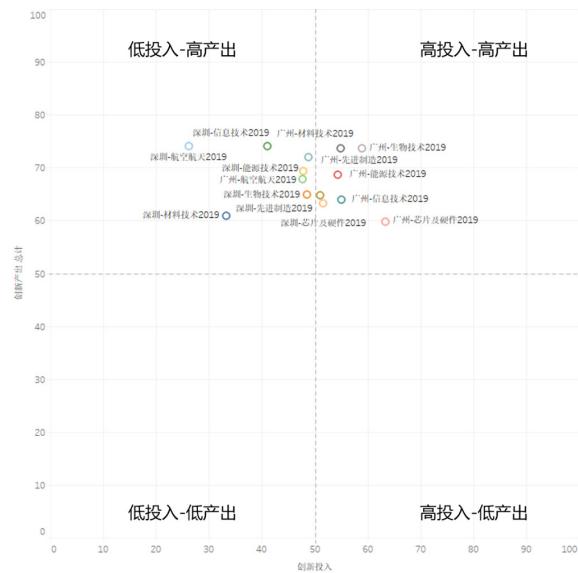
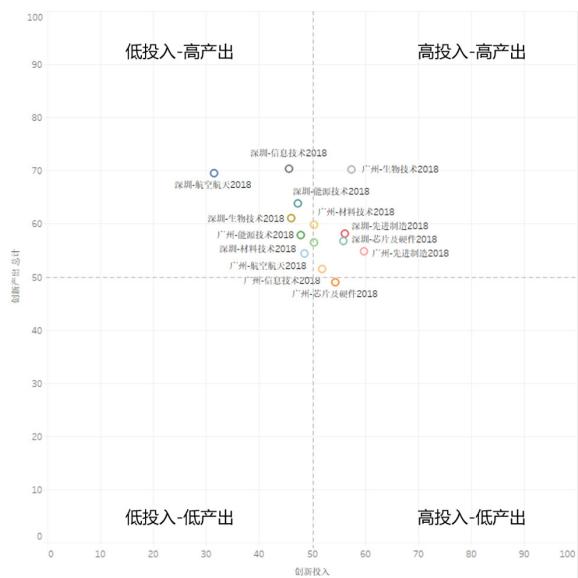
2.3 科技创新协同发展：广州、深圳

2019年2月，中共中央、国务院印发了《粤港澳大湾区发展规划纲要》，粤港澳三地将在中央有关部门支持下，打造国际一流湾区和世界级城市群，并提出打造大湾区国际科技创新中心的建设方案。在科技创新中心的建设方案中重点提到了打造高水平科技创新载体和平台，推进广州、深圳等多个城市的科技创新走廊建设，集中湾区内科研力量，实现

湾区内科技创新能力的协同发展。

结合 2019 年度“全球主要城市硬科技创新指数”评估结果来看，在政策正式落地颁布前，广州、深圳两个湾区内的城市代表在科技创新的协同发展上已经有所动作，并取得一定成效。对比 2018、2019 年度七个关键技术领域创新表现可以看到（参见图 4），首先两个城市的各项关键技术领域整体向“高产出”区间移动，并全部进入“高产出”区间；其次在协同作用的拉动下，广州在芯片及硬件、信息技术、航空航天三个技术领域的科技创新表现提升明显，尤其芯片及硬件领域从“高投入-低产出”区间上升至“高投入-高产出”区间。

图 4 广州、深圳 2018 年（上）与 2019 年（下）关键技术领域创新能力比较

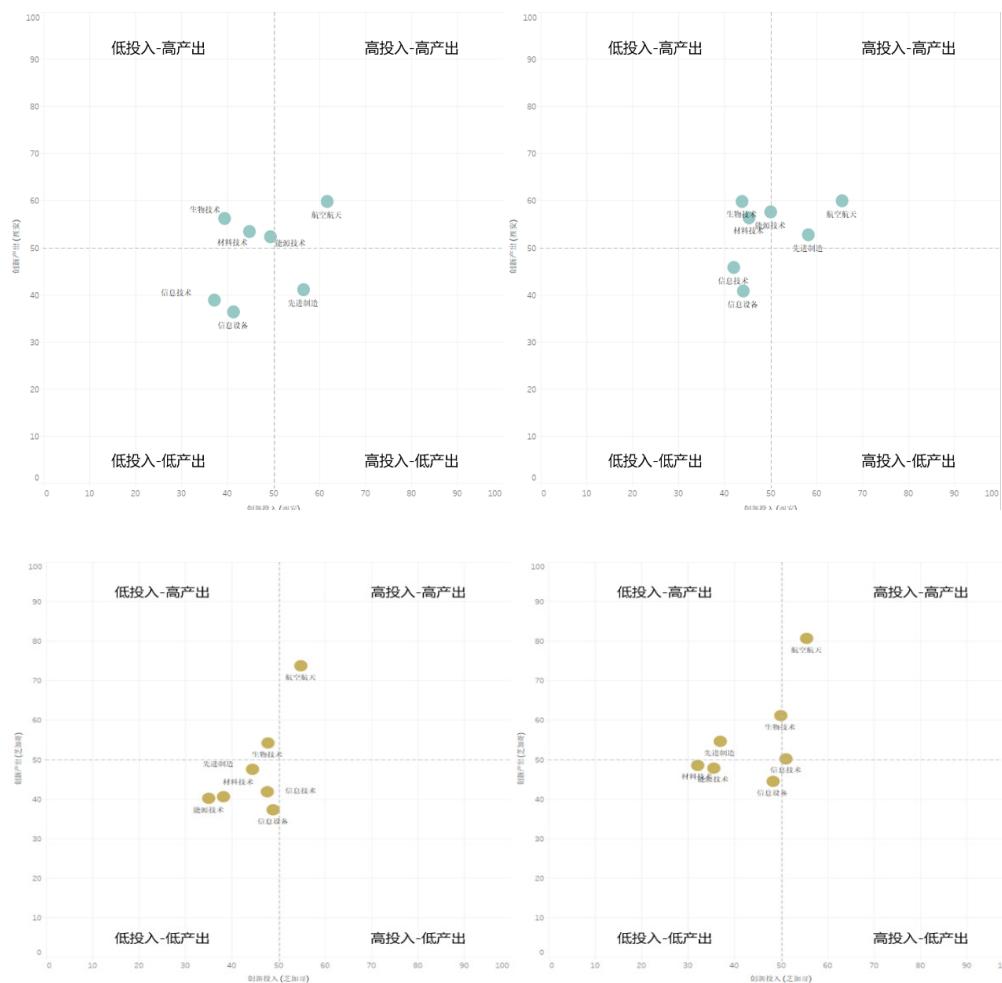


2.4 发挥外资力量促进科技创新：西安、芝加哥

充分发挥外资力量是促进科技创新的重要手段，在全球45个主要城市中典型代表为西安及芝加哥。有资料显示，西安自2017年开始重点开展吸引外资相关工作，将招商引资列为“一号工程”，强调“五资”一起抓（“五资”中排在第一位的为“外资”），吸引外资进行投资的同时，注重吸引国外专利技术在西安进行注册申请。2018年度，西安市新增国家级高新技术企业300家，技术市场合同交易额1028.33亿元，申请专利总量7.12万件；芝加哥地区自2015年起，连续蝉联全北美吸引外商直接投资（FDI）项目最多的城市，截止2018年底，在芝加哥注册的外国公司累计超过1800家，为芝加哥的科技创新发展提供了源源不断的动力。

对比西安、芝加哥2018年度与2019年度创新表现来看（参见图5），有了外资力量的注入，更进一步的推动了两个城市创新表现整体向“高产出”区间移动，其中西安在先进制造技术领域实现由“低产出”向“高产出”区间的跃迁。

图5 西安（上）、芝加哥（下）2018（左）、2019（右）年度创新能力对比研究



三、硬科技重点领域技术创新指数

3.1 信息技术领域硬科技创新指数

图 6 全球主要城市信息技术创新指数表现



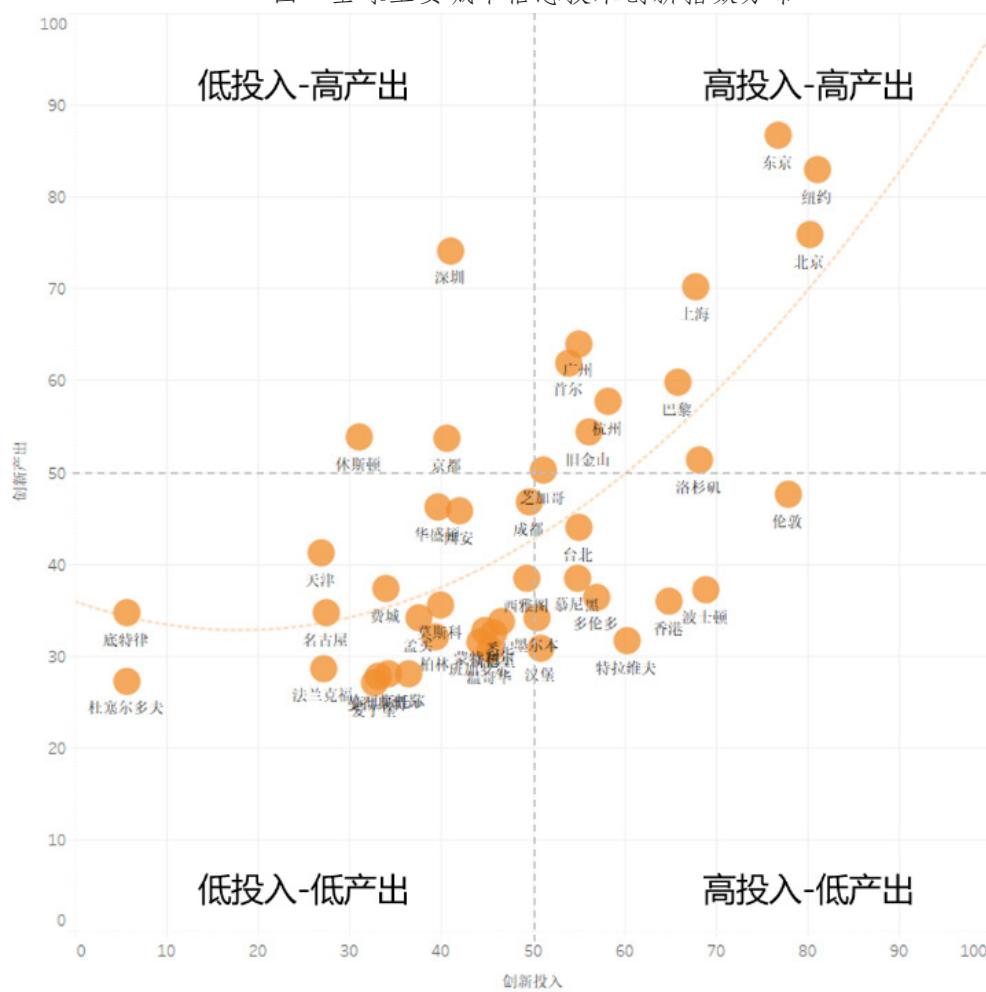
2019 年度，信息技术领域的创新指数 TOP10 分别为：纽约（82.03）、东京（81.75）、北京（78.02）、上海（68.97）、巴黎（62.80）、伦敦（62.73）、洛杉矶（59.75）、广州（59.52）、杭州（58.00）、首尔（57.96）。

较 2018 年信息技术领域的创新指数 TOP10 有以下变化：

首先，从整体看，信息技术领域 TOP10 城市平均创新指数由 2018 年的 62.95 上升至 2019 年的 67.15，其中 TOP10 城市在创新产出上提升明显，TOP10 平均创新产出由 2018 年的 60.64 提升至 2019 年的 65.78，表明了在评估期内，随着创新投入的不断累积，逐渐实现了量变到质变的过程，更多创新成果得以转化，产生社会及经济效益；

其次，在细项上，进入信息技术领域创新指数 TOP10 的“门槛”有所提升，由 2018 年的 52.47（洛杉矶）[括号中城市为 2018 年全球主要城市硬科技创新指数组细分领域排名第 10 的城市，下同。]提升至 57.96。排名上，得益于在创新产出方面的大幅提升，纽约超过东京、北京上升至第一的位置，同时广州、杭州两个城市创新指数提升明显进入 TOP10。

图 7 全球主要城市信息技术创新指数分布



综上，全球主要城市在信息技术领域的创新发展保持了良好的态势，尤其在创新产出方面的提升较为明显，企业、院校均发挥出重要作用；此外我国在信息技术领域的创新发展取得了一定成果，具体表现为更多的城市进入信息技术领域创新指数 TOP10，同时广州与深圳、上海与杭州的快速发展或从侧面反映出我国区域经济一体化发展战略下，城市与城市之间的协同发展正在产生一定效果。

3.2 芯片及硬件领域硬科技创新指数

图 8 全球主要城市芯片及硬件技术创新指数表现



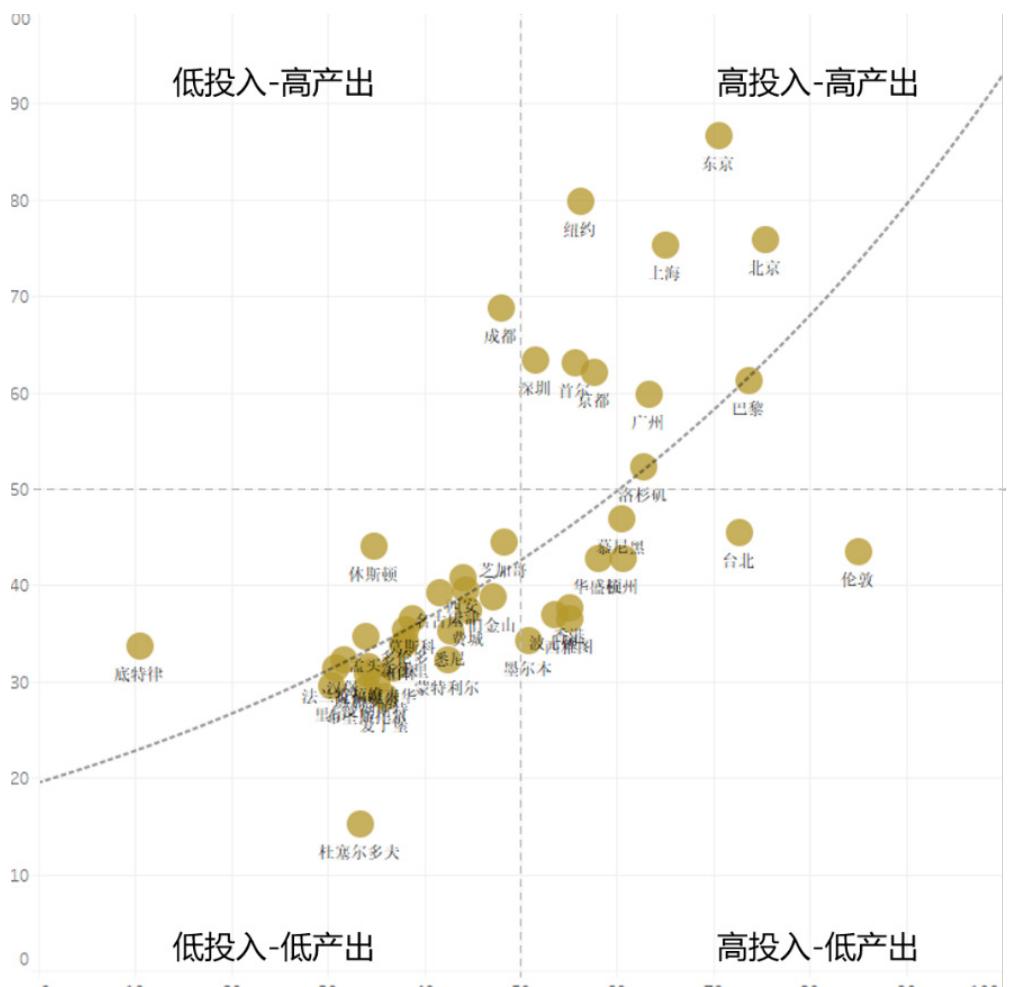
2019年度，芯片及硬件技术领域的创新指数TOP10分别为：东京（78.65）、北京（75.63）、上海（70.15）、纽约（68.04）、巴黎（67.47）、伦敦（64.32）、广州（61.59）、京都（59.85）、首尔（59.39）和台北（59.08）。

较2018年芯片及硬件技术创新指数TOP10有以下变化：

首先，从整体看，芯片及硬件技术TOP10城市平均创新指数由2018年的63.33上升至2019年的66.42，其中TOP10城市在创新产出上的提升要优于创新投入，TOP10平均创新产出由2018年的61.20提升至2019年的65.28，TOP10平均创新投入由2018年的65.46提升至2019年的67.56。在评估期内，正值5G技术、物联网技术快速发展阶段，同时随着国际局势的变化，芯片技术的关注度被进一步提升，企业、院校、政府机构等加大投入力度，且芯片及硬件技术在过去五年内有着足量基础技术的积累。多重因素叠加影响下，芯片及硬件技术创新指数在2019年度评估期内保持良好的发展态势；

其次，在细项上，进入芯片及硬件技术创新指数TOP10的“门槛”由2018年的56.31（深圳）提升至59.08。排名上，TOP3的城市排名未发生变化，但随着我国在5G技术、芯片技术等方面的推进与发展，北京、上海不断缩小与东京之间的差距。

图 9 全球主要城市芯片及硬件技术创新指数分布



综上，全球主要城市在芯片及硬件技术的创新发展方面实现了持续的增长，增速略低于信息技术领域，同时需要关注伦敦连续两个评估期均处于“高投入 - 低产出”区间，但已实现向“高投入 - 高产出”区间的靠近，后续有望在芯片及硬件技术的创新产出上实现大幅增长。

3.3 能源技术领域硬科技创新指数

图 10 全球主要城市能源技术创新指数表现



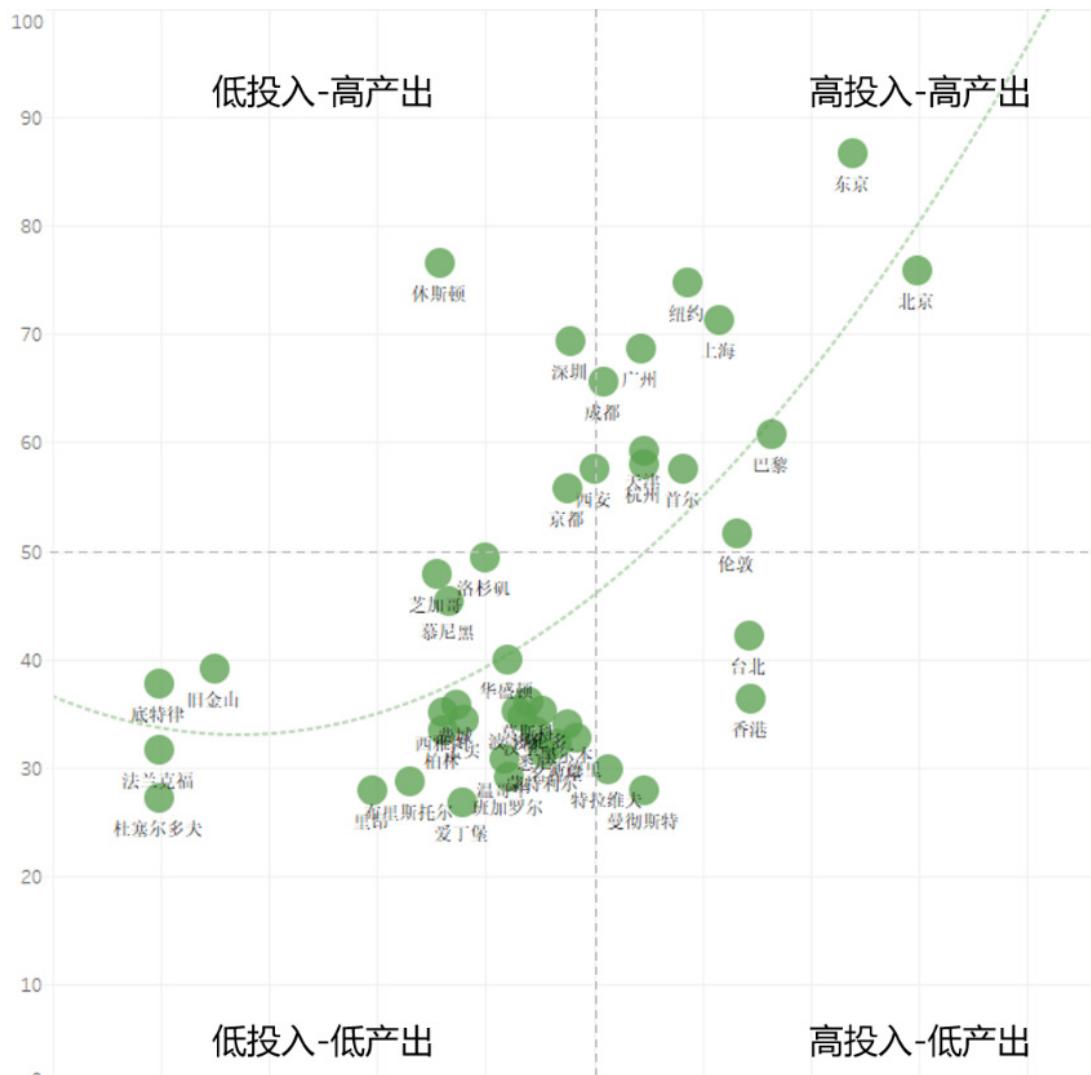
2019 年度，能源技术领域的创新指数 TOP10 分别为：东京（80.31）、北京（77.88）、纽约（66.71）、上海（66.44）、巴黎（63.64）、广州（61.54）、深圳（58.63）、成都（58.22）、首尔（57.87）、伦敦（57.38）。

较 2018 年能源技术领域创新指数 TOP10 有以下变化：

首先，从整体看，能源技术领域 TOP10 城市平均创新指数由 2018 年的 62.48 上升至 2019 年的 64.86，推动创新指数提升的主要动力为创新产出水平的提升，创新收入上基本与上个评估期内水平持平；

其次，在细项上，进入能源技术领域创新指数 TOP10 的“门槛”由 2018 年的 55.35（首尔）提升至 57.38。排名上，东京仍处于第一的位置，广州继续保持了在创新指数上的快速提升，进入能源技术领域创新指数 TOP10，伦敦同期进入 TOP10，休斯顿、杭州则跌出 TOP10 城市。

图 11 全球主要城市能源技术创新指数分布



综上，中国城市在能源技术创新方面继续保持了良好的发展态势，大部分城市创新表现位于“高投入 - 高产出”区间，尤其广州由“低投入 - 高产出”区间跃升至“高投入 - 高产出”区间。结合产业发展情况来看，这些城市在能源互联网的发展浪潮中也处于相对领先地位，清洁能源利用、分布式能源发展以及能源数据应用等新业务蓬勃发展，尤其区域经济一体化等国家发展战略的落地，将带动更多城市向“高投入 - 高产出”区间靠近。

3.4 生物技术领域硬科技创新指数

图 12 全球主要城市生物技术创新指数表现



2019 年度，生物技术领域的创新指数 TOP10 分别为：东京（81.59）、纽约（81.55）、上海（76.3）、北京（73.55）、伦敦（69.77）、首尔（67.96）、巴黎（67.57）、广州（66.29）、波士顿（64.75）和成都（64.57）。

较 2018 年生物技术领域创新指数 TOP10 有以下变化：

首先，从整体看，生物技术领域 TOP10 城市平均创新指数由 2018 年的 66.93 上升至 2019 年的 71.39，其中创新产出水平大幅提升，创新产出指数由 2018 年的 65.85 提升至 2019 年的 71.5，包括《科学家》杂志（The Scientist）、《自然》（《Nature》）等均将 2019 年创新指数评估期内的生物技术领域创新活动评定为“最重要的生物技术进步”，如双亲均为“父亲”的小鼠，单细胞技术揭示胚胎发育过程、细胞内部管理等一系列生物技术实现突破，及基因沉默药物获批等均为创新产出水平提升的加分项；

其次，在细项上，进入生物技术领域创新指数 TOP10 的“门槛”由 2018 年的 60.29（成都）提升至 64.57。东京创新指数有所回落，但仍处于第一的位置，纽约以微弱差距紧随其后，上海超越北京进入 TOP3 城市。TOP10 城市除排名有所变化外，并未出现有城市跌出 TOP10 的情况。

图 13 全球主要城市生物技术创新指数分布



综上，全球主要城市的生物技术创新，仍然突出表现为高研发企业数量多，部分企业研发强度高的特点，这与生物技术领域的发展阶段关系密切。此外进入“高投入 - 高产出”区间的城市数量有所增加，西安快速向“高投入 - 高产出”区间靠近，尤其西安的生物技术相关企业投入提升明显并形成一定规模，具体表现为：西安市已基本形成了以西咸新区、高新区、经开区等开发区为主要载体的生物技术产业发展格局，以化学与制剂、中成药生产、天然植物提取生产、基因检测等领先企业为中心的产业集群，并吸引世界 500 强生物技术企业落户西安。

3.5 航空航天领域硬科技创新指数

图 14 全球主要城市航空航天技术创新指数表现



2019年度，航空航天技术领域的创新指数TOP10分别为：北京（80.08）、东京（68.74）、芝加哥（68.09）、巴黎（65.64）、上海（64.68）、纽约（63.13）、西安（62.80）、广州（51.44）、伦敦（56.88）和天津（53.89）。

较 2018 年航空航天技术领域创新指数 TOP10 有以下变化：

首先，从整体看，航空航天技术领域TOP10城市平均创新指数由2018年的60.95上升至2019年的64.17，其中创新投入水平大幅提升，创新投入指数由2018年的56.47提升至2019年的61.16，尤其美、日两国主要城市创新投入增长趋势明显，其主要原因因为美、日两国政府纷纷制定航空航天发展战略（美国制定首份《国家航空航天战略》，日本发布《2018-2025年航空航天中长期发展目标》），从政府层面加大投入的同时积极引导社会资本向航空航天产业注入活力，及鼓励民用航天事业的发展；

其次，在细项上，进入航空航天技术创新指数TOP10的“门槛”由2018年的50.43（深圳）提升至53.89。TOP5城市未发生变化，纽约超过西安排名第六，天津进入TOP10城市。

图 15 全球主要城市航空航天技术创新指数分布



综上，航空航天技术呈现两极分化的特点，即少数主要城市处于“高投入-高产出”区间，多数主要城市处于“低投入-低产出”区间。处于“高投入-高产出”区间的主要城市，多表现为已形成稳定规模、成熟链条的航空航天产业集群，如西安规划航天产业基地，围绕“航天产业立区，战略新兴产业兴区，规模化发展强区”的思路，对标国内外先进开发区理念和标准，采取“两心，双城，八轴，多园区”布局，打造千亿级规模的航天产业集群。

3.6 先进制造领域硬科技创新指数

图 16 全球主要城市制造技术创新指数表现



2019 年度，先进制造技术领域的创新指数 TOP10 分别为：东京（79.72）、北京（76.90）、上海（71.71）、纽约（67.54）、伦敦（66.62）、广州（64.26）、首尔（63.18）、杭州（60.68）、巴黎（60.59）和天津（59.05）。

较 2018 年先进制造技术领域创新指数 TOP10 有以下变化：

首先，从整体看，先进制造技术领域 TOP10 城市平均创新指数由 2018 年的 65.04 上升至 2019 年的 67.02，其中创新产出水平提升明显，主要表现为：大部分主要城市以制造业为地区经济支柱型产业。先进制造技术创新受到地方政府和企业的高度关注，数字技术促进智能制造业升级发展，产业交叉融合触发新的应用场景，制造企业集体推进服务型战略变革，这些产业环境变化与制造技术的发展相辅相成，相互促进，为创新产出的提升营造了良好的环境；

其次，在细项上，进入先进制造技术领域创新指数 TOP10 的“门槛”由 2018 年的 57.23（广州）提升至 59.05。TOP3 城市未发生变化，天津替代京都进入 TOP10 城市，广州上升 4 个位次，超越首尔、巴黎至第六。

图 17 全球主要城市制造技术创新指数分布



综上，制造业作为支柱型产业，在信息技术、芯片及硬件等领域的带动下迅速发展，创新成果不断应用于实际生产制造过程中，进一步促进地方政府和企业对于制造技术尤其先进制造技术领域的创新投入不断加大，即 45 个主要城市整体向“高投入”端移动。同时创新产出水平得到长足发展，即 45 个主要城市整体向“高产出”端移动。

3.7 材料技术领域硬科技创新指数

图 18 全球主要城市材料技术创新指数表现



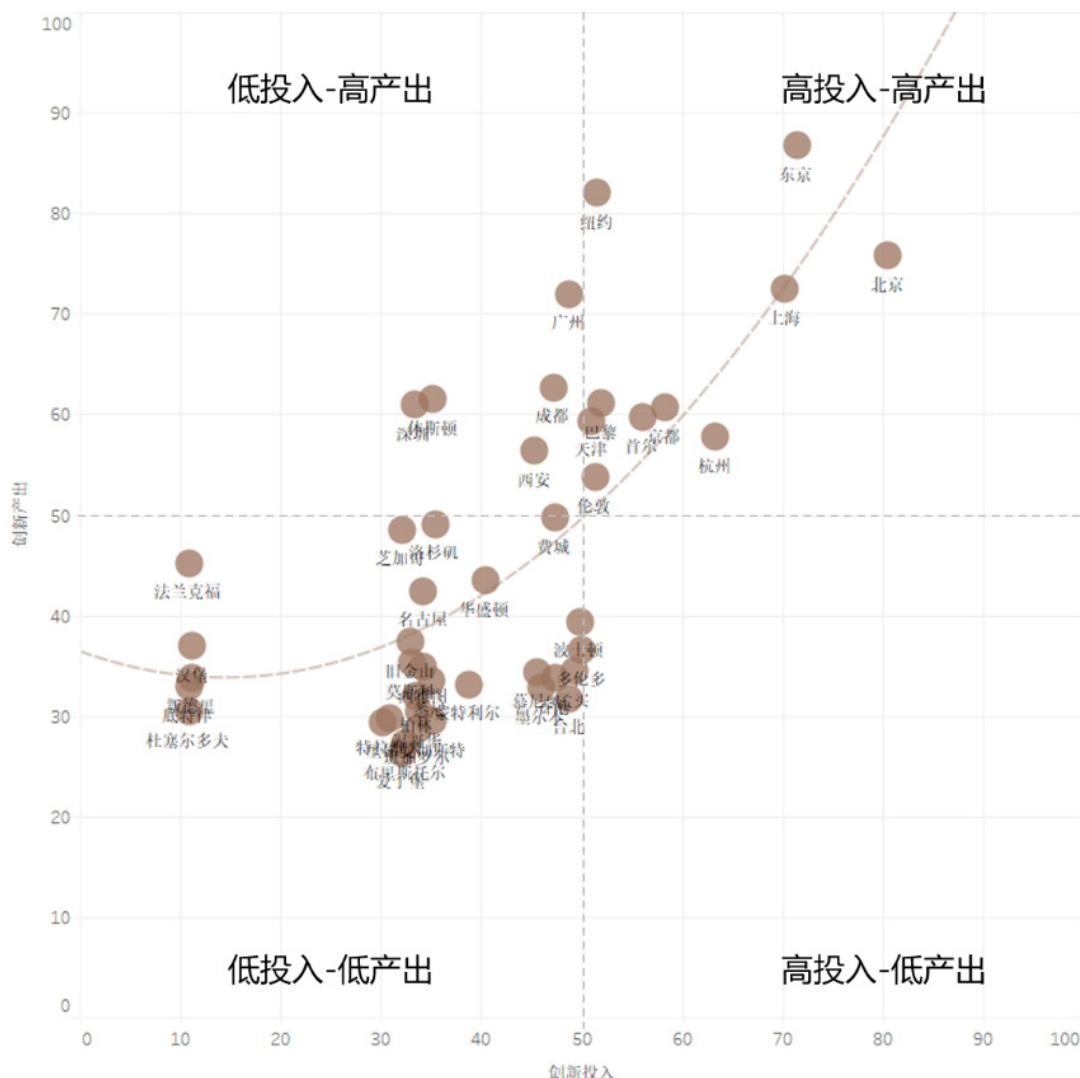
2019 年度，材料技术领域的创新指数 TOP10 分别为：东京（79.08）、北京（78.17）、上海（71.36）、纽约（66.78）、杭州（60.54）、广州（60.36）、京都（59.47）、首尔（57.89）、巴黎（56.54）和天津（55.19）。

较 2018 年材料技术领域创新指数 TOP10 有以下变化：

首先，从整体看，材料技术领域 TOP10 城市平均创新指数基本与 2018 年持平，2018 年为 64.39，2019 年为 64.54，其中美、韩、欧主要城市在政府政策支持下，创新投入方面呈现增加趋势，如美国制造业前瞻联盟发布报告《超材料制造——通向工业竞争力之路》，推动超材料制造技术研发及推广，旨在为美国创新和经济增长提供新机遇。韩国未来创造科学部发布《创新增长引擎》计划，旨在通过创新引擎的发展为第四次产业革命做好准备，其中将先进材料列为产业基础类的创新增长引擎，计划至 2022 年成为世界第四大先进材料出口国，全球份额位列第五。欧盟委员会为其第九框架计划确定新的六大关键使能技术，其中先进材料和纳米技术作为一类关键使能技术，涉及高性能材料、智能材料、可持续材料、纳米材料、生物材料和二维材料等。

其次，在细项上，进入先进制造技术领域创新指数TOP10的“门槛”由2018年的54.82（伦敦）提升至55.19。TOP3城市未发生变化，杭州进入TOP5城市，天津替代伦敦进入TOP10城市，广州上升3个位次，超越京都、首尔、巴黎至第六。

图 19 全球主要城市材料技术创新指数分布

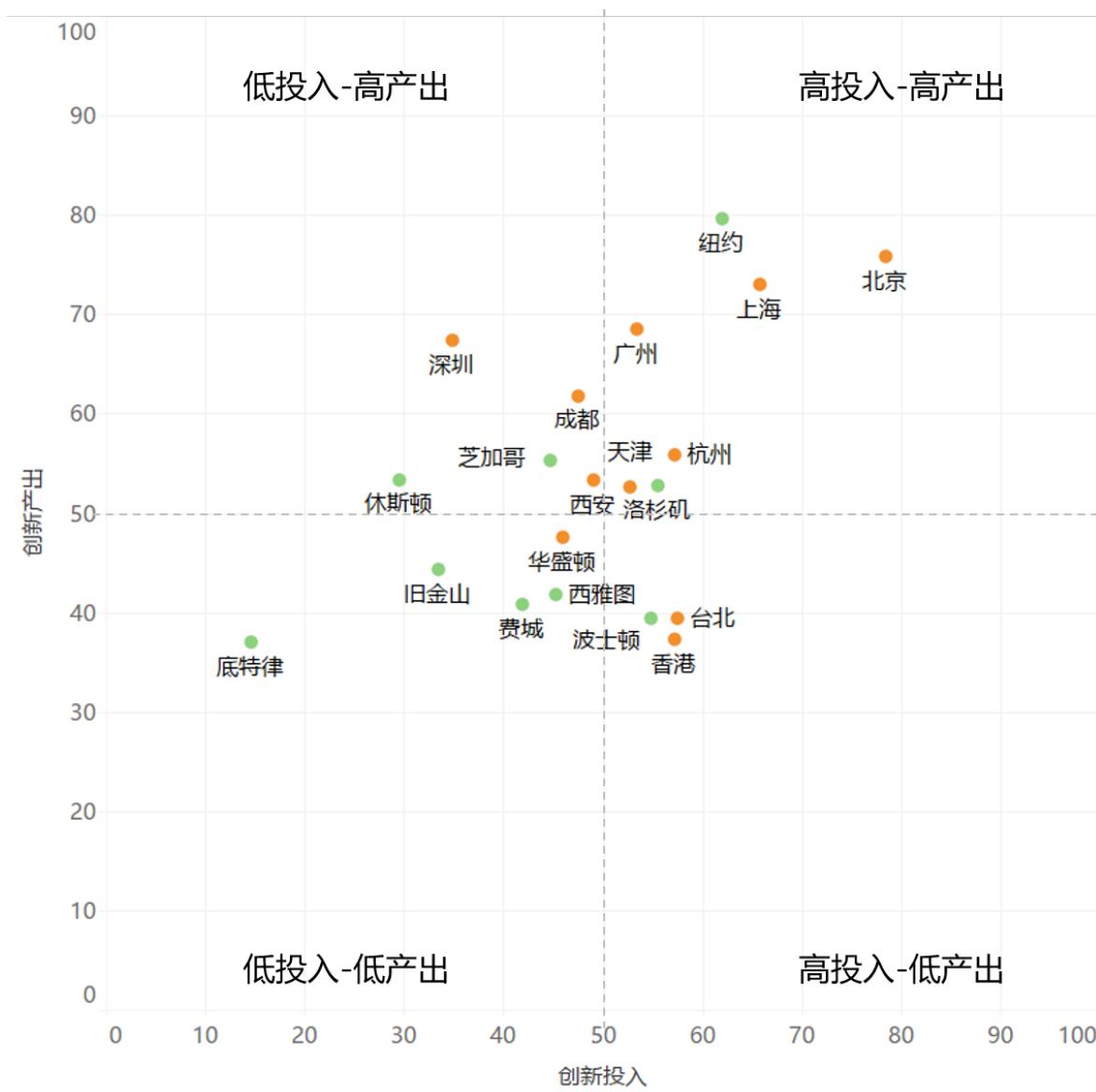


综上，与其他技术领域企业创新水平不断提升不同，材料领域的技术创新相对较弱，多数主要城市处于“低投入”区间，与 2018 年创新指数评估结果基本一致。美国纽约的材料企业研发投入强度最高，可达 8% 左右，其他地区技术类企业研发投入强度约在 2-4% 之间。不过美、韩、欧等国政府对于材料技术领域关注度有所提升，政策的支持将激发社会力量、企业力量对于材料技术领域创新投入的增长，创新产出有望实现突破。

四、中、美主要城市硬科技创新的比较研究

对比中（10个）、美（9个）两国共19个城市2019年硬科技创新指数评估结果来看（参见图20），我国多数城市位于“高产出”区间内，且主要处于“高投入-高产出”区间。美国多数城市位于“低产出”与“高产出”交界处，其中纽约在创新产出方面处于领先地位，且在创新投入方面要低于我国城市北京、上海等。此外，在“低产出”与“高产出”交界处的美国城市，较多呈现出在创新投入方面低于我国城市，但创新产出处于领先的现象。对此重点围绕硬科技创新发展与产业经济衔接进行比较研究，从研发主体、领军企业、专利转化、创新网络建设四个方面，拉开时间跨度（2010年至2017年）展开进一步分析。

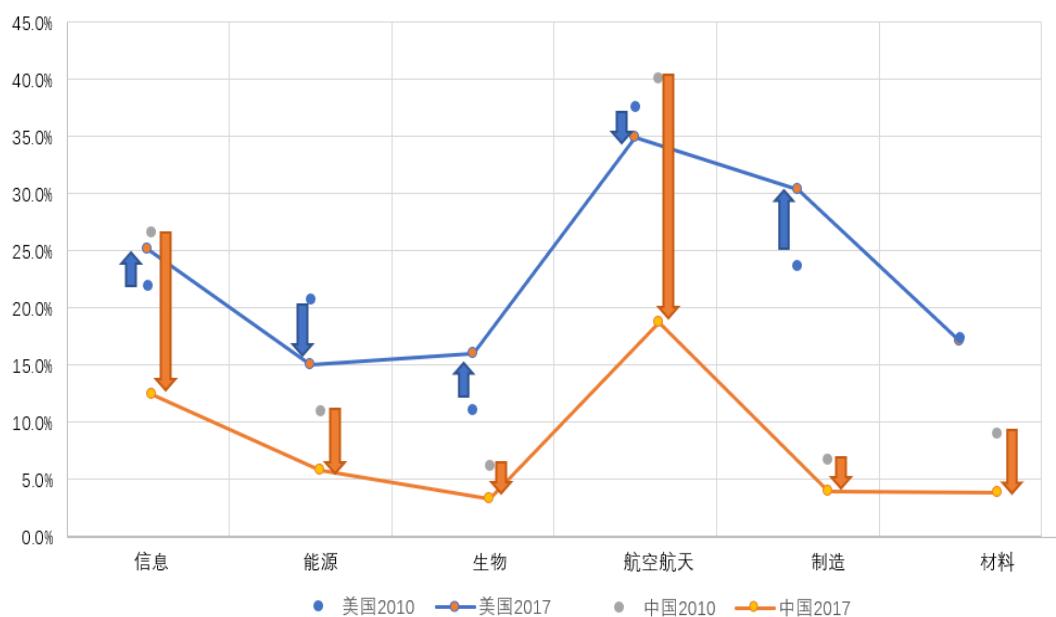
图20 中（橙色）、美（绿色）两国主要城市创新能力比较



4.1 创新主体分析：美国主要城市多以高研发企业为主导力量，我国则较为多元

宏观上，美国专利申请主体的集中度^[3]整体高于我国（参见图 21）。近七年，美国的专利申请集中度呈现“三升两降”的特点，信息技术、生物技术、先进制造领域专利申请趋于集中化，其中先进制造专利申请集中度升至 30%，接近航空航天技术领域。而同期，我国关键技术领域的专利申请集中度都呈现不同程度的下降，除了航空航天技术领域的商业化影响外，信息技术专利申请集中度的下降最为显著，已由 2010 年的 26.7% 跌至 12.5%。生物、制造、材料技术的申请集中度更是下滑至 5% 以下。这一方面说明我国参与技术研发的企业和科研机构更为多元，社会研发创新热情高涨；另一方面也揭示出我国大型企业科研实力不足，专利申请与保护机制不完善的问题。

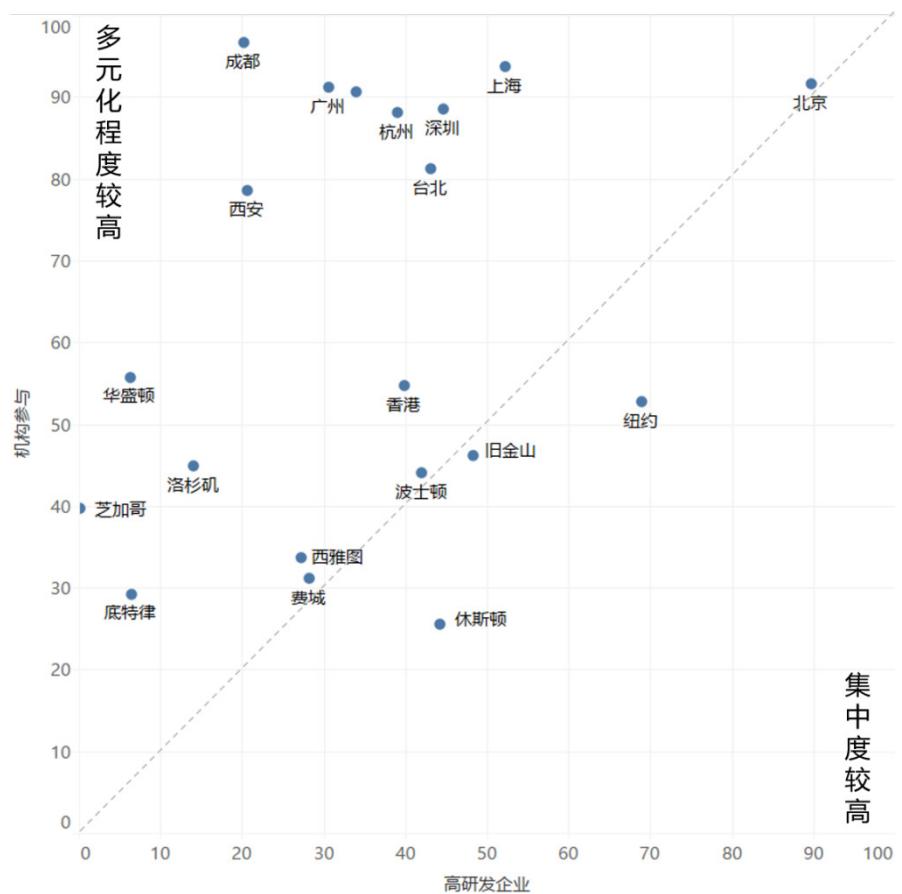
图 21 2010-2017 年中、美两国专利申请集中度变化对比



细化到城市角度来看（参见图 22），中国主要城市中除北京外多集中在上半区内，即参与创新的主体较为多元，社会研发创新热情较高，但高研发企业在推动科技创新的过程中所发挥的作用不够显著，而美国主要城市多处于下半区内，即参与创新的主体多为高研发企业，其中纽约、休斯顿高研发企业参与科技创新程度较高。

[3] 此处集中度概念为高研发企业在专利申请主体中的占比，集中度越高表明专利申请主体中高研发企业的占比越高。

图 22 中、美主要城市创新主体对比研究



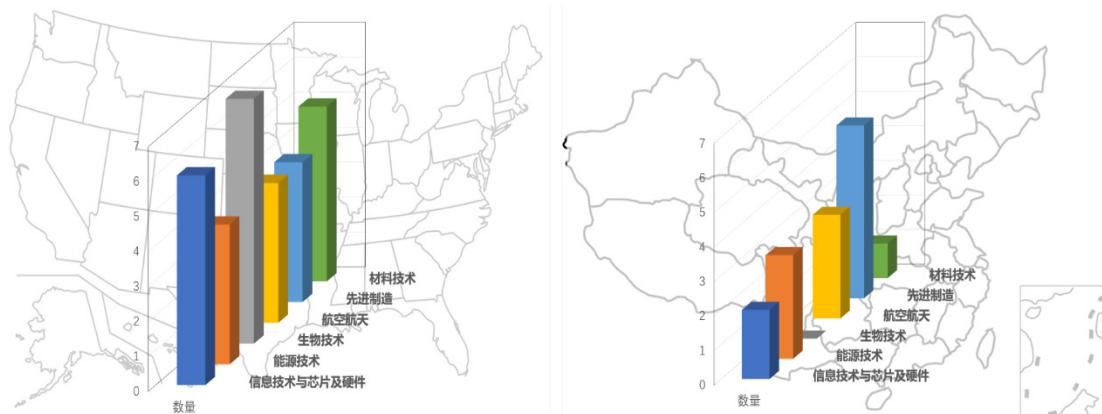
4.2 领军企业分析：纽约、休斯顿拥有多家领军企业

宏观上，美国在核心技术领域均已形成较为稳定的专利研发领军企业^[4]。而我国具备专利发明领军资质的企业数量较少，生物领域更是缺乏具备一定规模且发展稳定的企业；制造领域以汽车制造企业为主，变化更迭较为明显；材料技术领域仍以科研院校为专利申请主力。

细化到城市角度来看，如纽约有1家信息技术与芯片及硬件领军企业（IBM），2家生物技术领军企业（辉瑞、BMS），休斯顿作为全球领先的“石油城”有3家能源技术领军企业（斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯）。领军企业为所在城市的科技创新发展提供了重要的支撑，并带动其所在产业链上其他企业进行科技创新活动，在创新投入与创新产出做出重要贡献。

^[4] 此处领军企业的概念为某行业或某地区的企业排头兵，在经济规模、科技含量或者社会影响力方面具有领先地位，是推动技术进步，科技创新的主导力量。

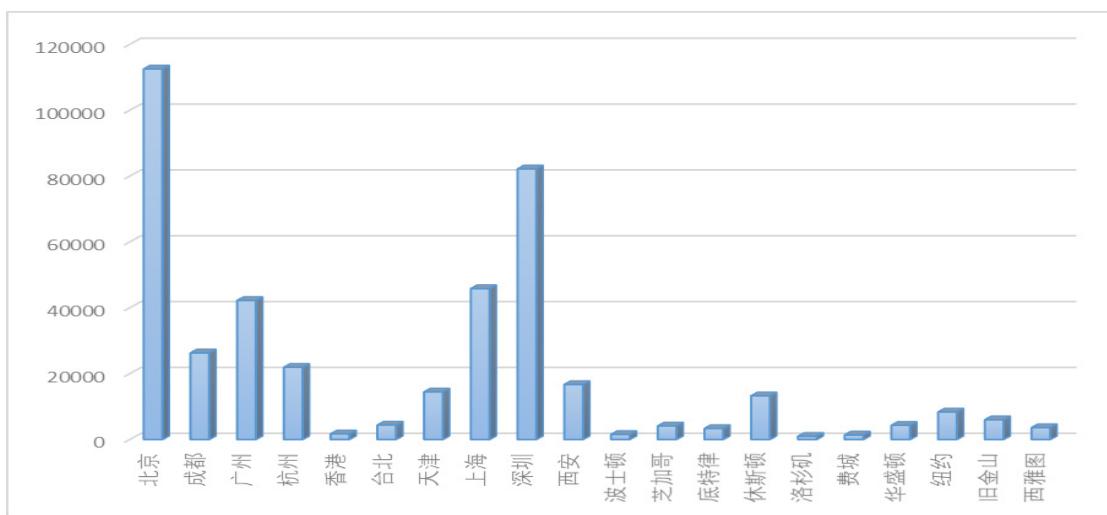
图 23 2010-2017 年中、美关键技术领域专利申请的领军企业数量对比



4.3 专利转化分析：中国城市新增专利领先，需关注专利合作条约转化率

综合七大硬科技领域，中国城市新增专利申请量领先于美国城市（参加图 23），尤其北京、上海、深圳、广州 4 个城市优势较大。新增专利申请量虽代表科技创新的水平，也是衡量创新能力的一个重要指标，但专利是否产生应用价值更应被广泛关注。按照国际标准，专利合作条约转化率是体现专利应用价值的重要指标。专利合作条约由世界知识产权组织进行管理，在全球范围内保护专利发明者的专利权，专利发明者通过向世界知识产权组织递交专利合作条约申请即可获得专利合作条约。通过对《专利合作条约专利申请年度回顾》的数据进行整理，以 2017 年为例，我国向专利合作条约申请的专利数是 46882 件，转化率为 4%，即在 46882 件申请专利合作条约的专利中，有 1875 件产生了应用价值；而同年美国向专利合作条约申请的专利数为 56624 件，转化率为 21%，即有约 12000 件专利产生应用价值。

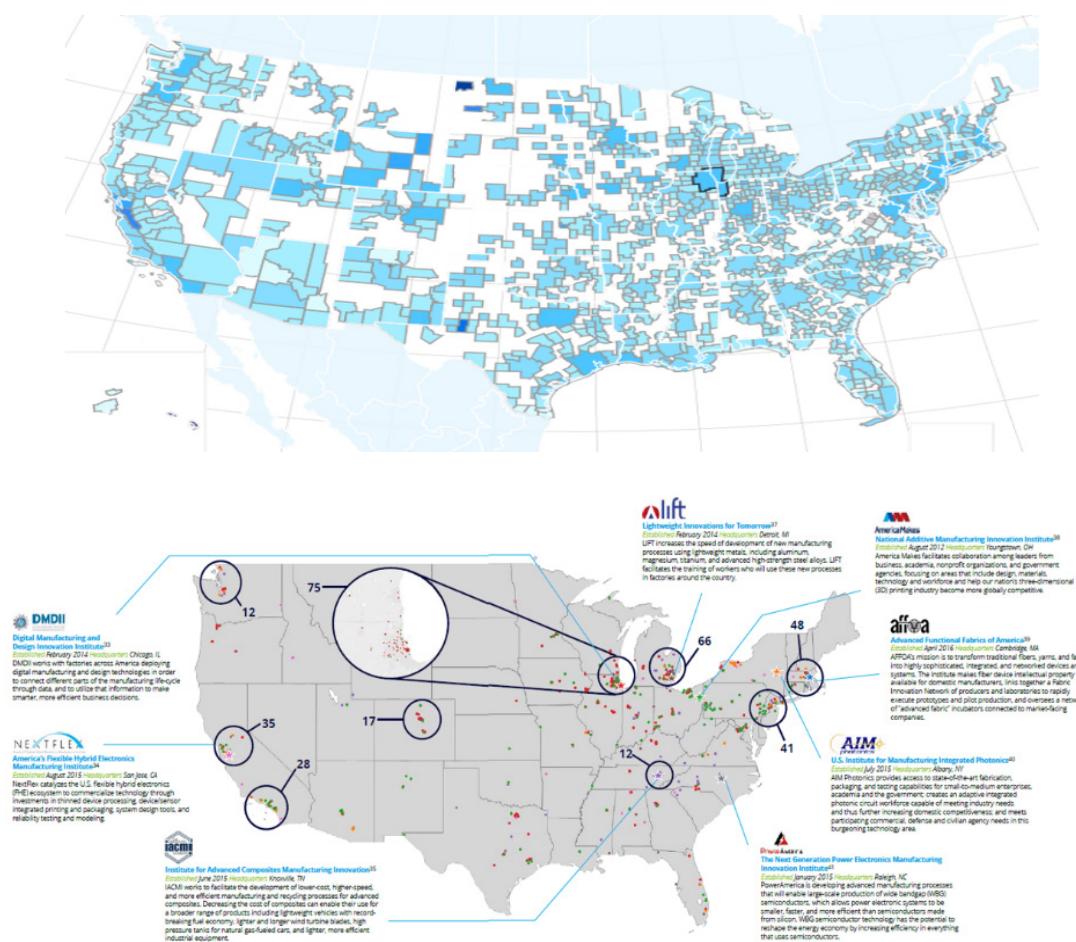
图 24 中、美主要城市专利申请量对比研究



4.4 创新网络建设：美国城市创新网络建设与产业集群协同发展

以制造业为例看美国城市研发网络与产业集群的发展，从地域分布上看，二者具有较高的重合度（参见图 25）；从组织联结性看，美国制造业创新网络计划中，创新研究院成为生态系统的召集者，可吸引众多组织参与研发创新，并形成多元化、交叉合作的网络关系，推进相关产业经济的滚动发展。

图 25 美国产业集群（上）与制造创新网络体系（下）高度重合



目前，全球的产业集群已经进入到以技术为导向的发展阶段，产业集群的发展和集群内部企业的发展，与技术创新构建了更深度的联结。我国主要城市高新区（尤其北京、上海、深圳等一线城市）已经具备了一定的专利研发能力，但尚未形成与产业集群发展相协同的网络结构，以点状模式发展为主。对此我国城市创新网络的建设应以优秀院校和高研发企业的聚集地为依托，引导创新联盟与网络式发展，使其成为产业集群和科技创新发展的关键区域。

五、全球硬科技创新发展启示与建议

通过评估全球主要城市硬科技创新指数可见，硬科技的创新发展直接影响着区域经济的增长水平和发展潜力。城市经济的发展，不仅要关注基础环境建设，更需要关注和提升硬科技的创新环境和能力建设。要始终把创新作为主旋律，牢牢把握人才是第一资源、创新平台是加速器、创新型企业和载体是发展主阵地、良好的创新创业环境是产业可持续发展的关键。同时，现阶段中国不同地区城市的硬科技创新处于不同发展阶段，在创新资源和创新能力方面存在较大差异，有必要因地制宜的推进和提升硬科技创新发展。

5.1 硬科技的创新发展，需要提升原始创新能力

原始创新能力是硬科技的根本动力和来源，能够为硬科技提供源源不断地科学供给，提升我国科学发展、技术发明和产品创业创新的整体水平，支撑产业变革，提升国家和城市竞争能力。

一是大力支持自由探索的基础研究。面向科学前沿加强原始创新，力争在更多领域引领世界科学研究方向，提升我国对人类科学探索的贡献。围绕支撑重大技术突破，推进变革性研究，在新思想、新发现、新知识、新原理、新方法上积极进取，强化源头储备。促进学科均衡协调发展，加强学科交叉与融合，重视支持一批非共识项目，培育新兴学科和特色学科。

二是加快新动能培育。面向国家战略需求的基础前沿和高技术研究，围绕涉及长远发展和国家安全的“卡脖子”问题，为产业技术进步积累原创资源。依托现有硬科技产业基础，分析重点产业未来发展趋势，聚焦当前缺乏的价值链高端门类，促进相关高端产业落地；提前布局新兴领域，通过关键技术突破或核心技术引入，拓展新兴产业格局；关注颠覆性技术，积极探索和把握未来全新产业机遇，催生全新产业领域，促进现代产业体系建设和高质量发展。

三是加强硬科技产业集聚。大力优化产业布局，加大科技园区整合、优化和提升力度，切实解决布局分散、同质竞争、效率不高、承载力不强等问题。支持园区集聚发展、特色发展和创新发展，逐步将园区主导产业集聚度提高到60%以上。按照“布局集中、产业集聚、用地集约、绿色生态、低碳环保”的发展需求，推进企业入园发展。

5.2 硬科技的创新发展，需要搭建完善的创新载体

一是加强孵化平台建设。支持建立一批低成本、便利化、全要素、开放式的创客空间，鼓励国有企业、事业单位积极探索，建设混合所有制孵化器，引导龙头骨干企业建设创业

生态，鼓励高校院所建设专业孵化平台。建立“孵化器+风险投资+创业企业”的运营模式，推动孵化器建立现代企业制度。在重点产业创新资源丰富的区域建设异地孵化中心，加强与先进城市创业园、孵化器、加速器的合作联系，在创新合作模式、招商引资、品牌输出、产业转移等方面加强衔接合作，吸引高端项目、人才、技术、资本等创新资源集聚。

二是加强成果转化平台建设。加强与各地技术转移机构的合作，构建互联互通的技术交易市场和平台，汇聚科技成果及技术需求，提供融资并购、公开挂牌、咨询辅导等服务。加强与国际技术转移机构的深度合作，吸引全球高水平科技成果落地转化。鼓励组建硬科技产业领域多种形式的产业联盟，共同开展研究开发、成果应用与推广、标准研究与制定。

三是提升全链条科技服务能力。建设硬科技产业领域相关的检验检测认证检测公共服务平台。鼓励发展科技中介服务机构，为科技成果转化提供技术咨询、信息检索、评估评价、成果推介、交易经纪、融资担保等服务，承接政府委托的专业性、技术性服务。

5.3 硬科技的创新发展，需要构建科技创新平台体系

当前我国主要城市硬科技的创新与产业融合发展存有一些问题，如：科技创新与产业融合度不高，科技成果转化应用推进较慢，硬科技的创新要素、资源要素与当地优势产业没有形成有效聚合等。硬科技的创新与产业的发展相融合是提高资源利用率、产生生产效率和市场竞争力的重要因素，是推动经济与技术高质量发展的关键。故此在新的发展形势下，硬科技的创新应关注与产业发展的深度融合，充分发挥本地资源、科技和政策优势，加快科研成果转化与应用，消除科技创新的“孤岛现象”，建立“需求-研发-孵化-产品-产业链”的创新融合链条，形成人才、资本、技术多要素的联结，政产学研协同共融的创新生态系统。

一是建立实验室体系。鼓励和引导高校和科研机构对接硬科技产业发展重点，建设若干国家、省重点实验室。重点引导和组织大型骨干企业开展行业关键核心技术和共性技术研究，建设国家企业重点实验室。推进省部共建国家重点实验室建设，鼓励建设国际合作联合实验室。

二是完善技术创新体系。聚焦硬科技产业领域，以提升产业技术创新能力、推动和引领产业技术发展为目标，按照“政府引导、企业牵头、多方参与、独立运作”的原则，建立若干新型研发机构，开展先进适用技术研究和科研攻关，为产业创新发展提供技术创新支撑。创新新型研发机构经费支持方式，不再按项目分配固定的科研经费，而是根据服务企业的科研绩效决定支持经费；赋予项目负责人组织研发团队、提出研发课题、决定经费分配的权力，集中资源，聚焦原始创新和重大关键技术突破；赋予新型研发机构拥有科技成果的所有权和处置权，通过股权收益、期权确定等方式，充分调动科技人员创新创业的积极性。支持具备较好创新基础的企业、高校或科研院所等积极建设工程研究中心、企业技术中心等技术创新平台。

5.4 硬科技的创新发展，需要完善产业人才供给体系

人才是硬科技的具体承载，硬科技从科研到转化再到产业化应用，需要完善的产业人才供给体系支撑，才能确保硬科技有效发挥对于产业转型升级和新兴产业培育的重要作用。

一是培育一批具有全球视野的企业家。实施创新型企业家培育计划，打造一支具备全球视野、引领产业创新变革的新产业企业家队伍。建立高层次、常态化企业技术创新对话、咨询制度，提升企业家话语权，建立有利于企业家参与创新决策、凝聚创新人才、整合创新资源的新机制。

二是加强领军人才的精准引进。针对人工智能、智能制造、新材料等领军人才极度匮乏的产业领域，大力引进一批能够推动关键核心技术实现重大突破的产业领军人才。加强与国外人才中介机构的联系合作，进一步拓宽引进国外人才和智力渠道。

三是创新人才激励机制。实行以增加知识价值为导向的分配政策，赋予创新领军人才更大人财物支配权、技术路线决定权，加大对产业发展有突出贡献人员的奖励。强化创新实践能力的评价，增加专利发明和运用、成果转化和推广、创办企业等指标的权重，形成以能力、实绩和贡献的人才评价体系。

5.5 硬科技的创新发展，需要着力打造领军企业

市场是硬科技创新的主阵地，是检验硬科技是否能转化生产力、是否能产生应用价值的试验场，而企业是市场的主体单元，因此企业（尤其领军企业）是推动硬科技创新、硬科技进步的重要主体。技术积累和创新是企业拥有不同生产效率，影响着企业能否在优胜劣汰的市场竞争中可持续发展，技术积累和创新的速度是企业作为市场中重要单元决定其发展速度的重要能力之一，企业技术积累的越多，创新能力则越强，尤其是领军企业更能引领新技术的发展和应用。故此，要充分发挥企业推动硬科技创新的主体作用，着力打造领军企业，由领军企业通过市场来检验硬科技是否真正够“硬”，同时推动企业不断将技术创新成果转化为实际生产力，转化为应用价值，为经济发展做出贡献。

一是梯次并进培育扶持大中小科技型企业。对初创期科技型企业，普惠发放创新券等，支持创新和服务；对中小型科技企业，支持首用首保、融资担保等；对瞪羚、独角兽等高成长企业，设立绿色通道，实行“一企一策”服务。对于重点产业的头部企业，支持扩大研发人员规模和平台开放。

二是重点培育高新技术企业。把高新技术企业培育作为“一号工程”，大力实施科技创新小巨人企业和高新技术企业培育行动计划，梳理高新技术认定潜质企业，进行跟踪辅导和精准服务。

三是重视“靶向”精准培育领军企业。围绕硬科技产业领域，在高新技术企业中，遴选一批创新能力强、引领作用大、研发水平高、发展潜力好的企业作为创新型领军企业培育对象，通过“靶向”精准政策扶持引导，培育一批具有国际竞争力的引领型创新企业，带动相关产业快速发展。

附录：全球主要城市硬科技创新指数评估体系说明

“全球主要城市硬科技创新指数”（GTII-City Index，Global Technology Innovation Index-City Index），构建了主要城市和硬科技领域双维评估体系，从创新投入、创新产出分别出发，实现对硬科技领域创新能力和创新水平的综合评估。

创新指数评估体系由五个评估要素构成，分别为组织投入、人才投入、资金投入、知识产出、商业转化。其中：

组织投入主要评估所在城市技术创新的机构参与情况。通过所在城市专利集中度水平评估，实现该指标分值评级。该数据以全球专利数据信息为基础进行统计分析。其中，专利数据信息以专利发明为主，不包括外观设计和实用新型。

人才投入主要评估所在城市技术创新的人才投入水平。通过所在城市优秀院校数量和院校实力水平评估，实现该指标分值评级。优秀院校的评判标准参考国际 QS 高校榜单，并进一步将数据信息对应到重点评估城市中。

资金投入主要评估所在城市技术创新的资金投入水平。通过所在城市主要企业高研发投入数量和研发投入强度评估，实现该指标分值评级。主要企业选择参考欧盟产业研究与创新经济联合研究中心（IRI）发布的《全球产业研发投资计分卡研究报告》以及全球上市公司分析库（Osiris），并进一步将数据信息对应到重点评估城市中。

知识产出主要评估所在城市技术创新的专利发明情况。通过所在城市年度新增专利规模和累计专利规模两个维度，实现该指标分值评级。该数据以全球专利数据信息为基础进行统计分析。其中，专利数据信息以专利发明为主，不包括外观设计和实用新型。

商业转化主要评估所在城市技术创新的技术转化水平。主要通过地区经济指标进行衡量，以各国及主要城市统计局 GDP 数据为评估依据。

本年度指数评估着重考虑了科研机构和企业在硬技术创新中的投入产出情况，未来考虑进一步优化政府评估要素（如资金、人员等）的数据口径，增加硬科技创新的政府评估要素和评估维度。

创新指数评估方法请详见报告完整版相关内容。

表 2 2019 年度全球硬科技创新指数城市列表

序号	城市	所在国家	序号	城市	所在国家
1	悉尼	澳大利亚	24	西雅图	美国
2	墨尔本	澳大利亚	25	东京	日本
3	柏林	德国	26	京都	日本
4	法兰克福	德国	27	名古屋	日本
5	杜塞尔多夫	德国	28	特拉维夫	以色列
6	慕尼黑	德国	29	孟买	印度
7	汉堡	德国	30	新德里	印度
8	莫斯科	俄罗斯	31	班加罗尔	印度
9	巴黎	法国	32	伦敦	英国
10	里昂	法国	33	爱丁堡	英国
11	首尔	韩国	34	曼彻斯特	英国
12	多伦多	加拿大	35	布里斯托尔	英国
13	蒙特利尔	加拿大	36	北京	中国
14	温哥华	加拿大	37	成都	中国
15	波士顿	美国	38	广州	中国
16	芝加哥	美国	39	杭州	中国
17	底特律	美国	40	香港	中国
18	休斯顿	美国	41	台北	中国
19	洛杉矶	美国	42	天津	中国
20	费城	美国	43	上海	中国
21	华盛顿	美国	44	深圳	中国
22	纽约	美国	45	西安	中国
23	旧金山	美国			

扫码关注硬科技系列研究

