

· 专题:双清论坛“教育、科技、人才一体布局与科学基金发展战略” ·

基础研究支撑教育、科技、人才“三位一体” 发展战略探讨*

侯剑华** 郑碧丽 李文婧

中山大学 信息管理学院,广州 510006

[摘要] 基础研究是推进教育、科技、人才一体化战略布局的重要抓手和着力点。纵观历史,世界上重要的教育、科技和人才中心的形成都源于基础研究的重大突破及其应用发展。根据科学史中“汤浅现象”的测算原理,世界科学中心、人才中心和高等教育中心基本上是同构的。进入新时代,我国基础研究在推进教育、科技、人才发展的过程中涌现出了新特征和新趋势,面临着新的发展机遇。科学地、有效地认识基础研究发展规律对教育、科技、人才一体战略布局具有重要的现实意义。未来,我国基础研究资助体系的建设,应面向基础研究精细化、体系化,加强战略性基础研究布局;面向科学研究范式的转换期,加强对基础科学及其发展规律的系统认识;面向基础研究的智能化和数字化,优化专家参与和决策机制。

[关键词] 基础研究;教育、科技、人才;一体化战略布局;世界三大中心转移

当前,世界新一轮科技革命和产业变革深入发展,数智驱动的科学范式发生深刻变革,国际科技竞争向基础前沿前移。大力培育和发展基础研究是我国加快实现高水平科技自立自强的迫切要求,是支撑高质量发展和建设世界科技强国的必由之路。联合国教科文组织(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)与经济合作与发展组织(Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD)将科学研究划分为基础研究、应用研究和试验发展^[1]。其中,基础研究是指“为了获得关于客观现象和可观察事实的基本原理的新知识所进行的实验性或理论性工作。基础研究不以任何专门的或具体的应用或使用为目的”^[2]。然而,随着科学、技术和工程的深度融合,明确区分基础研究、应用研究与试验发展已不符合科学的交叉发展与动态演变^[3]。因此,从广义来看,基础研究包括揭示自然界普遍规律或自然科学一般原理的纯基础研究^[4],以及把自然界普遍规律或自然科学一般原理引申到某一应用目标的特殊规律的研究^[5]。



侯剑华 中山大学信息管理学院教授,主要研究方向为科学学与科学计量学、科技信息分析与竞争情报、科技信息管理与科技创新。获评中国科学学与科技政策研究会优秀青年学者(2023年),省级优秀专家(2018年),省级高校创新人才(2016年),高等学校杰出青年学者等,入选省级百千万人才工程。发表相关学术论文150

余篇,出版学术专著5部。

党的二十大报告指出:“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑。必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力。作为科学技术创新的源头,基础研究在科技、教育和人才等发展战略中的重要作用日益凸显。首先,作为所有技术问题的“总开关”,基础研究的本质是探索客观世界的规律,追求新的发现和发明,产出并积累科学知识,创建新理论、创立新方法、开创知识新领域,是科学技术发展主导力量。其次,知识创造和人才培养是基础研究的两个核心功能。基础研究本身不断培养和造就大批科研人员和

收稿日期:2023-10-31;修回日期:2023-12-05

* 本文根据国家自然科学基金委员会第345期“双清论坛”讨论的内容整理。

** 通信作者,Email:houjh5@mail.sysu.edu.cn

本文受到广东省自然科学基金项目(2021A1515012291)的资助。

战略科学家,为社会输送大量的优秀研究型人才,并且通过科学文化、科学精神等不断提升社会公众的科学素养。再次,基础研究是推动教育,尤其是高等教育发展的重要引擎和坚实保障。总之,基础研究与教育、科技、人才的发展互为-体,相互促进,可共同推动人类社会繁荣和文明发展。

科技史表明,近代以来的基础研究与教育、科技、人才的发展同向同行。基础研究是教育、科技、人才发展的关键支撑和战略先导,教育、科技、人才的发展持续推动基础研究的不断进步。新中国建立以来,我国提出“向科学进军”的口号,广大科技工作者自力更生、艰苦奋斗,取得“两弹一星”、人工合成牛胰岛素、多复变函数论突破、哥德巴赫猜想证明等重大基础研究成果。改革开放后,我国迎来“科学的春天”,先后实施“国家高技术研究发展计划(863计划)”“攀登计划”“国家重点基础研究发展计划(973计划)”,基础研究整体研究实力和学术水平显著增强^[6]。党的十八大以来,我国把提升原始创新能力摆在更加突出的位置,成功组织一批重大基础研究任务、建成一批重大科技基础设施,基础前沿方向重大原创成果持续涌现。近年来,随着我国基础研究能力不断提升,学科交叉融合不断推进,基础研究与教育、科技、人才的一体化融合发展趋势日趋明显,基础研究支撑教育、科技、人才一体化发展战略是我国应对国际科技竞争,加快建设世界重要人才中心和创新高地的时代需求。

1 回望历史:基础研究与“三大中心”转移同向同行

基础研究是推进教育、科技、人才一体化战略布局的重要抓手和着力点。建设世界科技中心、世界重要教育中心和世界人才中心(简称“世界三大中心”)是新时代教育、科技、人才一体化发展战略布局的重要目标,也是我国把握新一轮科技革命和产业变革历史基础的重要抓手。世界三大中心转移的本质就是基础研究中心的转移。我国的基础研究工作,从小到大、从弱到强,实现了从无到有、从点到面的全方位发展。进入新时代,教育、科技、人才一体化发展,为推动我国向世界三大中心不断迈进指明了方向。

1.1 世界教育、科技、人才“三大中心”的转移规律

人类历史上,科技和人才总是向发展势头好、文明程度高、创新最活跃的地方集聚,科学和人才的大量结合往往催生出世界科学中心或世界高等教育中心。判别世界科学中心或高等教育中心一般有两个标准:一个是按照日本科学史学家汤浅光朝对“世界

科学活动中心”的定义,即重大科研成果占同期世界总数的占比超过25%就是世界科学中心^[7];另一个是世界一流学者和优秀留学生的集聚度,集聚度最高的国家就是世界人才中心^[8]。

世界教育、科学、人才“三大中心”的形成和转移基本同构。20世纪60年代汤浅光朝对科学史上的科学活动中心转移现象作了定量分析^[7],论证了英国学者贝尔纳关于科学中心及其转移过程的见解^[9]。1974年,我国科学计量学者赵红洲也独立地发现了世界科学活动中心转移现象^[10]。一般认为,近代以来世界科学活动中心发生了五次转移:一是16世纪的意大利,文艺复兴运动促进了科学发展;二是17世纪的英国,坚实的制度和环境基础促进了教育的创新,培根经验主义哲学加速了科学进步;三是18世纪的法国,启蒙运动营造了向往科学的社会氛围,产生了一大批卓越科学家;四是19世纪的德国,新人文主义运动加速了科学发展,诞生了一批优秀的科学家;五是20世纪美国,实用主义哲学带动了科学的发展,集聚了众多世界级科学家和发明家。

开放的知识、人才、资源为世界科学中心的形成与保持提供了源源不断的动力,而成为世界科学中心的国家,也往往是人才流动、知识流动与传播速率较高的区域^[11]。1971年美国学者本·戴维首次探讨了世界高等教育中心的转移现象,认为世界科学中心和世界高等教育中心存在高度的关联性。近代以来,世界高等教育中心也是周期性转移的,意大利、英国、法国、德国、美国先后成为世界高等教育中心。一般来说,一个国家成为高等教育中心与科学活动中心的时间大致是重叠的,一个国家的高等教育兴隆周期越长,其科学兴隆周期往往也越长^[12]。

1.2 我国基础研究与教育、科技、人才一体化发展

中国基础研究建设始于新中国成立后。1956年,党中央发出“向科学进军”的号召,实行“百花齐放、百家争鸣”的方针。老一辈科学家参照着国际标准和国内现状,深挖布局基础学科,攻坚克难,使得我国基础研究从小到大、从弱到强,实现了从无到有、从点到面的全方位进步,逐步建立起我国的基础研究体系,并填补国内甚至国际的研究“空白”。我国在多项基础研究中相继获得突破性成果,“两弹一星”成功的制造和发射使得中国成为继美国、苏联、英国、法国之后的第五个拥有核武器的国家、继苏联和美国之后的第三个发射人造卫星的国家,科学家朱李月和丁肇中对于J/ ψ 粒子的发现为高能物理和

粒子物理界研究基本粒子提供了重要线索,数学家陈景润证明了费马大定理的 $n = 5$ 情况为费马大定理解决提供了重要的进展,以及第一台电子管计算机试制成功、人工合成牛胰岛素等,取得了举世瞩目的成就。基础研究的重大突破为科技创新提供了理论支持和实验依据,吸引了大量优秀人才从事基础研究工作,为当时新中国的教育事业提供了最新的知识和科学发展趋势,同时也为改革开放以后我国的快速发展奠定了坚实的基础。

改革开放后,邓小平同志提出“科学技术是第一生产力”的重要论断,确立了科学技术在中国特色社会主义事业建设中的重要地位。1986年我国启动实施了863计划,旨在提高国家的自主创新能力和科技进步。1997年我国启动实施了973计划,旨在推动中国在基础研究领域的发展,提高科技创新能力。我国的基础研究随之持续推进,在载人航天工程、杂交水稻技术、基因组学和生物技术、高能物理和粒子物理等领域取得了众多的成果。大量的基础研究成果被应用到了技术开发和生产生活中,为新技术、新产品的研发提供了理论和实验支持。基础研究的成果也被引入到教育体系中,成为学生学习的基础,同时大量的研究人员投入基础研究项目,不断积累经验,创建了新的方法理论体系,整体性提高了我国科研人员的研究水平。

党的十八大以来,我国持续加强基础研究布局,瞄准世界科学研究前沿和国家重大战略需求,根据重大科技基础设施发展的国际趋势和国内基础,在可能发生革命性突破的方向,前瞻性地开展一批发展前景较好的探索预研工作,夯实了基础研究的物质基础,基础研究成绩斐然。屠呦呦研究员获得诺贝尔生理学或医学奖,王贻芳研究员获得基础物理学突破奖,王猛教授团队在国际上率先发现镍基高温超导体,黄晓旭团队利用自主研发的三维透射电镜技术在纳米金属研究领域取得新突破等,重大成果呈“星星之火”,蓄积“燎原之势”,取得了一批诸如中微子振荡、量子反常霍尔效应、多自由度量子隐形传态、鸟类起源研究等在世界上具有重大影响的研究成果,在量子调控、纳米科学、蛋白质科学、干细胞、发育与生殖、全球变化等研究领域也取得一系列重要进展。

近年来我国基础研究呈现以下发展趋势:一是规模和体量迅速扩大,基础研究经费投入继续保持快速增长,从2015年的716亿元增长到2020年的1504亿元,2020年基础研究支出占研究与试验发

展(R&D)经费支出比例已达到6%。二是产出数量持续增长,2023自然指数年度榜单(Nature Index 2023 Annual Tables)发布,中国科学院位列全球首位,根据此前发布的自然指数数据,中国科学院已连续十一年位列该排行榜全球第一。我国科研人员在铁基超导、量子反常霍尔效应、多光子纠缠、中微子振荡等领域取得了一批世界瞩目的成果,为国家科技进步和经济社会发展作出了重要贡献。三是科研条件建设成效显著,我国基础研究实验条件实现从无到有、从弱到强的跨越式发展,建成了一批高水平的国家重点实验室、国家重大科学工程等基础研究实验基地,目前正布局于多地区合作,对标打造国际一流科技创新平台。

1.3 基础研究推动“世界三大中心”转移的启示

世界三大中心转移的本质就是基础研究中心的转移。究其原因,“世界三大中心”的形成源于大规模科学成果的重大突破和涌现,而科学成果源于基础研究的大量铺垫与社会诸多因素的有机结合,同时基础研究的各个领域聚集了世界领军的科技人才,人才间的知识碰撞产生了新的知识和技术,具有极强的战略性和引领性,进而极大地促进了高等教育的快速发展。因此,基础研究是支撑教育、科技、人才一体化发展的战略先导。

(1) 基础研究推动科学研究实现从“小科学”到“大科学”的转变。纵观“世界三大中心”的转移,从意大利最初思想解放激发了人们研究自然现象,探究自然界规律的兴趣开始;逐步到法国支持自然科学研究,促使科学研究建制化;再到美国政府将基础研究视为国家崛起及强盛的根本性要素,最终建设成为世界超强大国。而基础研究最初也正是主要以学术机构中自由探索为主的“小科学”时代,逐步发展进入到了由国家主导、社会各界力量共同推动协同创新的“大科学”时代。相比于机构提供的有限条件与资源,国家集中优势资源,加强组织领导,动员企业和社会力量,更好地推动基础研究的发展。世界主要强国与地区也将其有限的人力、物力、财力集中到制约国家发展最迫切、最需要的地方以及社会发展最重要的方向上,纷纷制定和实施各种层次和类型的科技发展计划。

(2) “带头学科”驱动重大科学成果的涌现。随着科学自身规律的演化,基础研究的成果会不断累积,在特定的时期形成重大的突破,涌现出一门或几门学科成为该时期下最有活力、吸引最大注意并且产生众多科学成果,一般将之称为“科学涌现期”。

“带头学科”初露锋芒时，各国聚焦优势资源对其进行顶层布局，人才大量的投身于该类研究，更加驱动了重大成果的涌现，使得学科的发展更加迅速，形成良好的循环，例如 19 世纪 20 年代至 20 世纪 20 年代身为世界科学中心的德国高度重视有机化学、量子力学等学科，始得有机化学和量子力学成为了当时引领世界科学发展的带头学科。历史经验表明，“世界三大中心”的形成和转移往往发生在“科学涌现期”，大量基础研究成果的形成导致了成果分布地域的重新分布，自然地导致了“世界三大中心”的转移。

(3) 基础研究是“世界三大中心”的战略支撑。世界科学中心是该阶段科学研究的聚焦点，也是各国学者研讨的核心，为世界科学技术提供了发展方向。18 世纪中期到 19 世纪中期，法国成为继英国之后的又一个世界科学中心，法国科学家在热力学、化学等学科领域作出了突出贡献，为后来的内燃机革命及化学革命提供了理论基础，引领了当时世界科学发展的潮流。基础研究的发展推动着科学技术的发展，科技的发展又在一定程度上促进着经济的繁荣，20 世纪 50 年代以来，以美国硅谷为代表的科技工业园区、科学城的快速崛起，更是科技经济一体化的集中体现。重大科技成果也对本国发展具有一定的战略性和引领性，为国家在经济、科技、教育布局上提供借鉴，我国加大基础研究支出、强化国家战略科技力量，加强国家实验室和全国重点实验室建设，打造港澳区高水平学术、经济中心等政策布局便是出于此，同时重大科技成果也为本国的其他基础研究提供参考和新的思路，促进了学科的交叉和交叉学科的发展。

2 凝视当下：基础研究与“三位一体”战略相互促进

在历史上，基础研究与科学中心转移有密切联

系。在新时代下，我国基础研究发展呈现新特征与新趋势。以下通过基础研究支持教育建设与人才培养的美国经验与中国实践，总结基础研究在教育与人才培养方面的融合现状，进而对新时代基础研究发展形势进行研判。

2.1 基础研究与教育发展深度融合

美国作为当前世界科学中心和人才中心已经成为全球科学发展与科学生态系统的枢纽^[13]。通过分析美国基础研究支持教育发展的特点以及我国的发展现状，可梳理基础研究与教育融合发展的图景。

2.1.1 基础研究与教育发展深度融合的美国经验

自 1979 年起，美国联邦政府对学术基础研究 (Academic Basic Research) 的资助金额越来越高，大力支持美国高等教育机构进行基础研究活动 (图 1)^[14]。根据美国国家科学基金会 (National Science Foundation, U. S. NSF) 下属的国家科学与工程统计中心 (National Center for Science and Engineering Statistics, U. S. NCSES) 发起的“高等教育研究与发展 (Higher Education Research and Development, HERD) 调查”，相较于 2020 年，2021 年的基础研究如物理科学研究、地球科学研究等高等教育研发经费略有增长^[15]。

除了对高等教育机构基础研究的资助外，美国各基础研究参与主体 (各级政府、高等教育机构、研究学会/协会) 注重基础研究与教育的深度融合发展，力求弥合课堂知识与市场需求的知识差距^[15]。例如，2022 年 10 月，NSF 将教育与人力资源部更名为 STEM 教育理事会 (Directorate for STEM Education, EDU)，旨在培养下一代 STEM 专业人才，支持在 STEM 学科中激励和挑战学生的教职工，其资助涵盖本科生教育、研究生教育、成人教育、博士后职业发展^[15]。EDU 为本科生、研究生及青年科研人员 (如博士后) 提供研究奖学金、职业生涯

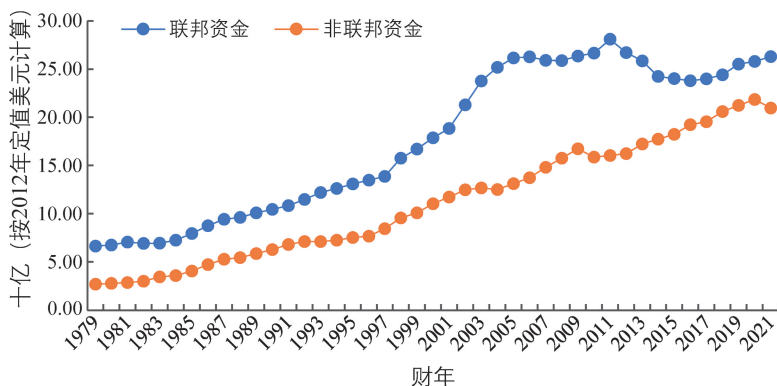


图 1 联邦和非联邦资金对学术基础研究的资助 (1979—2021 财年)^[14]

发展培训、研究计划咨询等服务,支撑基础研究与教育的不断融合发展。根据 NSF 2023 年财务报表,NSF 在 2023 年为 EDU 拨款 13.78 亿美元,占 NSF 年度总体资助的 14% 左右,是 NSF 第二大拨款对象^[16]。根据往年财务报表,EDU 年均资助占 NSF 年度总体资助的 12% 左右,可见美国基础研究对教育发展的重视(表 1)。

2.1.2 基础研究与教育发展深度融合的中国实践

高等学校是教育、科技、人才的集中点与交汇点,也是基础研究的主力军和重大科技突破的策源地^[16]。党的十八大以来,各类高等学校持续深化改革教育体系,创新教育培养模式,优化基础研究布局。一系列政策如《高等学校基础研究珠峰计划》《普通高等教育学科专业设置调整优化改革方案》强调学校层面应深化基础领域相关学科专业建设,完善相关学科专业建设质量,持续强化基础研究主力军地位^[17]。根据《高等学校科技统计资料汇编》,自 2018 年至 2022 年,各类高等学校基础研究拨入经费逐年增长,彰显党和政府对高等教育与基础研究融合发展的高度重视。以中国科学技术大学(以下简称“中国科大”)的基础研究教育体系为例,在“铸魂育人”方面,中国科大深入实施“一流本科教育质量提升计划行动纲领”,宣讲“两弹一星”功勋科学家先进事迹,刊发钱学森、严济慈等老一辈科学家专辑,宣传“科教报国”思想^[18],推动为党育人、为国育才。在深化教育综合改革方面,围绕“因材施教”开展一系列教育实验。2010 年,中国科大获批“基础学科拔尖学生培养试验计划”,构建“两段式、三结合、长周期、个性化、国际化”教育模式^[18],培养出一系列在国际学术界初露锋芒的科技新星,如曹原、葛健开、邓宇皓等。

2.2 基础研究支持人才培养与发展

基础研究人才是促进基础研究发展,建成世界创新高地与重要人才中心的中坚力量。以下将从基

表 1 STEM 教育理事会年均资助金额及其占美国国家科学基金会年度总体资助比例表

财年	资助金额 (亿)	占 NSF 年度总体资助金额比例	财年	资助金额 (亿)	占 NSF 年度总体资助金额比例
2023	13.78	14%	2018	9.02	12%
2022	9.16	11%	2017	8.73	12%
2021	10.29	11%	2016	8.79	12%
2020	10.14	13%	2015	8.66	12%
2019	9.22	11%	2014	8.45	12%

础研究人才培养、成长发展规律、基础研究人才流动三个方面阐释我国基础研究人才培养与发展现状。

2.2.1 基础研究人才培养现状

在基础研究人才培养方面,为了回应国家重大战略需求及社会经济发展,创新基础研究人才培养体系,截至 2023 年,清华大学、北京大学、中国人民大学等 39 所高校发布“强基计划”招生简章,主要选拔培养有志于服务国家重大战略需求且综合素质优秀的学生,重点在数学、物理、化学、生物等相关专业选拔培养有志于从事基础研究的人才^[19]。在 2023 年国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)公布的获批青年学生项目中,部分获批项目申报人为“强基计划”本科生,如上海交通大学于泽坤、南京大学崔之三等。武汉大学生命学院获批资助的本科生有 5 名,其中 4 人为“强基计划”本科生^[20]。除强基计划以外,各高校推出创新基础研究教育体系的项目,如北京大学设立“数学英才班”、“物理学科卓越人才培养计划”,清华大学实施物理人才培养“攀登计划”。针对低年级学生,中国科学技术大学、西安交通大学等实施“少年班”,清华大学实施丘成桐数学科学领军人才培养计划,北京大学实施“数学英才班”。针对基础研究不同的人才层次,中国高校创新人才培养体系,注重“科学育苗”,给予中学生、大学生多层次的支持与资助,促进科技、教育、人才三位一体发展。

在基础研究人才资助方面,自然科学基金委形成完整的人才培养及资助体系,资助项目包括创新研究群体、基础科学中心、国家杰出青年科学基金、优秀青年科学基金、青年科学基金,构成覆盖科研人员学术生涯全周期的人才资助体系,为基础研究人才持续培养与发展提供更多的支持。2023 年 6 月,自然科学基金委宣布强化基础研究人才培养,加大对优秀博士生的支持力度,探索设立杰出青年基金延续资助项目,构建基础研究人才长周期培养机制^[21]。自然科学基金委在 2023 年 7 月启动青年学生项目,组织清华大学、北京大学、复旦大学、南京大学、中国科学技术大学、浙江大学、上海交通大学、武汉大学 8 所试点高校推荐申请,是自然科学基金委首次资助本科生的项目,大力促进我国基础研究青年人才的培养与发展。

2.2.2 基础研究人才发展特征

为了分析国内外基础研究人才的发展情况,本研究以 Elsevier 发布的“全球 2% 顶尖科学家榜单”作为基础数据。该榜单包括生涯影响力排行榜(生

涯起始年以 1960 年(起始)与年度科学家影响力排行榜(以科学家当年科学影响力作为排行依据)。与 Web of Science 的高被引科学家榜单相比,该榜单涉及的指标更加广泛,包括引用次数、H 指数、Hm 指数、一作论文被引量、独著论文被引量、综合得分等指标。

首先,从生涯影响力排行榜来看,基础研究领域的生涯影响力排行榜大部分是中国、美国、法国、英国、意大利、德国的科学家(图 2)。从发展趋势来看,除了中国与意大利,其他国家的基础研究领域顶尖科学家逐年减少。中国基础研究领域顶尖科学家占比在 2020 年首次超越法国,跃居这些国家中的第四。自 2018 年以来,中国基础领域顶尖科学家数量呈现明显的上升趋势,与第二梯队国家(英国、德国)的差距逐渐缩小。

其次,从年度科学家影响力排行榜来看,中国基础科学领域顶尖科学家的年度影响力榜单占比呈现直线增长的趋势,反映了越来越多的中国基础科学领域科学家在国际上有较高的学术影响力(图 3)。除此之外,美国、英国、德国、法国都呈现逐年下降的趋势。其中,美国的下降速度最快,法国下降趋势最缓。对比两个榜单的数据,从逐年趋势来看,各国的基础领域科学家在两个榜单中的表现基本一致。一方面,虽然中国基础领域科学家的生涯影响力相较于美国仍有不小的差距,但与英国、德国的差距逐渐缩小。另一方面,中国基础领域科学家在年度影响力榜单的占比增长迅速,是世界上增长速度较快的国家之一,现居世界第二,远超英国、德国、法国、意

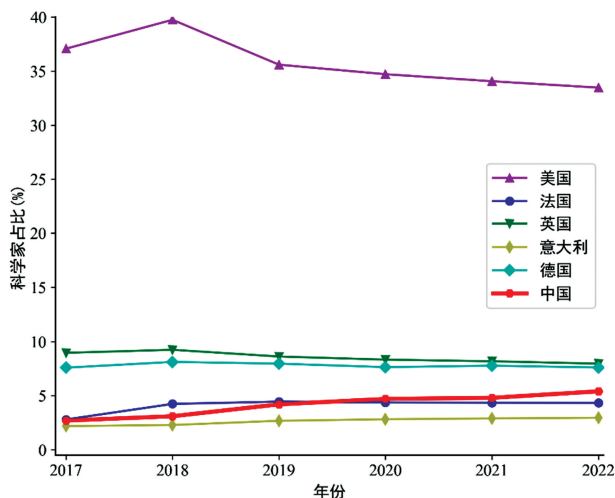


图 2 中国、美国、英国、德国、法国、意大利基础领域顶尖人才占生涯影响力排行榜总人数比例图

注:榜单的基础领域学科包括生物学、化学、地球学与环境科学、数学与统计学、物理学与天文学。

大利。

2.2.3 基础研究人才流动特征

高质量人才的流动作为世界人才中心的重要组成部分,深刻影响和塑造了世界范围内的基础研究发展与创新^[22]。相较于以往单向的“人才流失”“人才流入”,目前“人才环流”是国内外人才流动的新趋势。自 2014 年以来,随着“引进来、送出去”政策的出台以及科研院所、高校等机构强调海外经历的必要性,我国基于求学、就业等目的频繁来往的流出国、流入国或第三国的人才逐渐增多,“人才环流”的趋势日益显著^[23]。近年来,国内外人才流动,尤其是中国的人才流动呈现以下两点特征。

一是美国、英国、德国、意大利仍然是人才流动最活跃的国家,中国人才流动与美英德差距较大。从人才流失与人才流入的流动网络来看,美国一直是人才流动最频繁的国家(表 2)。美国、英国、德国、意大利属于人才流动频繁度的前列国家,这与科学中心转移的规律相似^[24]。此外,新时代以来,中国人才流动增长态势迅猛,尽管与上述人才中心的差距较大,但成为近年来科研人员,尤其是高质量人才的流动中心之一^[25]。

二是我国实现从“人的流入”到“智力的流入”的转变,但人才流入后,科研水平下降。首先,在流入/移居中国之后,人才的学术论文生产力和通讯作者相较于在流出国/地区时增长更快。出版物中人才署名顺序的转变反映出他们从承担论文撰写、数据搜集与分析的角色转变为领导者(Principle Investigator, PI)或提供项目经费支持。然而,自流

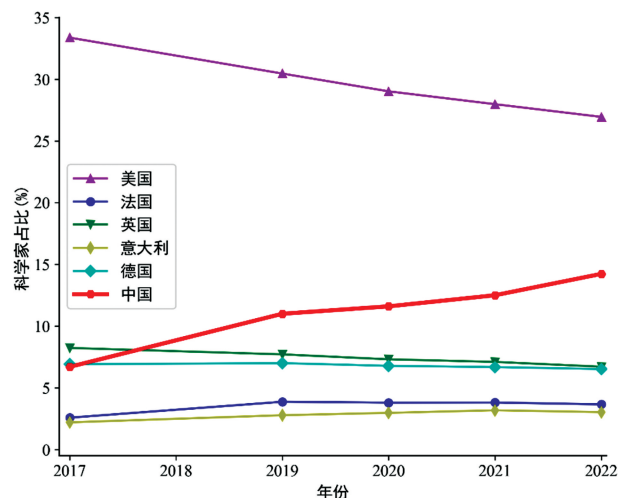


图 3 中国、美国、英国、德国、法国、意大利基础领域顶尖人才数占当年影响力排行榜总人数比例图

注:由于 Elsevier 未发布 2018 年年度影响力排行榜,故 2018 年数据缺失。

表2 主要国家世界高质量科学家流动指标

国家	1921—1940年		1941—1960年		1961—1980年		1981—2000年		2001—2020年	
	入度	出度	入度	出度	入度	出度	入度	出度	入度	出度
美国	0.92	0.85	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99
英国	0.60	0.69	0.69	0.57	0.44	0.45	0.42	0.44	0.41	0.43
德国	0.36	0.44	0.15	0.23	0.22	0.24	0.33	0.33	0.38	0.40
意大利	0.03	0.22	0.04	0.11	0.11	0.15	0.31	0.33	0.35	0.36
瑞士	0.18	0.16	0.16	0.20	0.21	0.17	0.22	0.21	0.32	0.33
法国	0.01	0.05	0.08	0.13	0.14	0.15	0.23	0.23	0.22	0.23
中国	0.02	0.12	0.00	0.10	0.01	0.09	0.06	0.10	0.26	0.27
加拿大	0.10	0.13	0.12	0.14	0.14	0.15	0.22	0.23	0.22	0.21
日本	0.04	0.04	0.02	0.06	0.08	0.09	0.17	0.17	0.17	0.16
西班牙	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.02	0.10	0.08	0.10	0.13
网络中心度	14.74%		15.33%		12.43%		6.44%		3.31%	

注:跨国流动网络以高质量科学家发表论文署名国家变迁的信息为基础,每个国家或地区为节点,国家或地区间高质量科学家流动次数为边。入度是指其他国家/地区指向某国家/地区的边的权重和,出度是指某国家/地区指向其他国家/地区的边的权重和,具体计算过程见文献[24]。

资料来源:《世界科学活动中心研究——基于高质量科学家流动》一文^[24]

人/移居中国以来,这些人才普遍出现研究质量下降的现象,体现在顶级期刊 *Nature*、*Science*、*Cell*、*PNAS* 论文数量减少^[26]。这可能是由于流入人才需要面临组建家庭的压力^[27]、行政职务的压力^[28]、社会环境的负担^[29]。

2.3 新时代我国基础研究的新特征

当前,我国基础研究在世界新一轮科技革命和数智化驱动的时代背景下,面临新的以问题为导向的战略性和紧迫性,以创新为导向的交叉性和复杂性,以需求为导向的前瞻性和系统性的新趋势。

一是,以问题为导向的战略性和紧迫性。目前,全球科技创新空前密集活跃,新一轮科技革命和产业变革蓄势待发,基于我国加快建立建成世界创新高地与重要人才中心的战略需求,我国基础研究必须抢占未来竞争的制高点。处于工业与科技革命的双重影响下,信息化、智能化技术为基础研究带来新模式、新方法、新工具与新问题。“AI for Science”成为科学研究的新范式。科学智能辅助科研人员认识、模拟、优化对人类社会与自然界的各种现象与规律,大大提高了科学发现的速度。因此,无论是战略性基础研究还是自由探索基础研究,都需要以科技革命与范式创新带来的新问题为导向,抢占基础研究竞争的先机。

二是,以创新为导向的交叉性和复杂性。传统上对科学知识体系演化的认识是树形结构,实际上科学知识体系的发展是不断交叉、融合、分化的复杂网络结构,这也是当前推动交叉学科建设和发展的

重要依据。基础研究是整个学科体系以及其他科学活动的源头。应用研究以及科技发展依赖基础研究对自然界的规律描述与方法论。因此,基础研究是前沿领域、交叉融合学科的催生点与生长点,促进各个学科的联动、重组与交流。

三是,以需求为导向的前瞻性和系统性。要关注科学—技术—经济之间深度融合的发展趋势,打破边界,系统布局。首先,需要强化基础研究布局的前瞻性与战略性。基于基础研究问题的急迫性与复杂性,基础研究需要面向数智化驱动范式变革的科技前沿,面向国家加快迈进“世界三大中心”的战略需求。其次,结合国家战略需求与经济发展目标,面向经济主战场,发挥举国体制的优势,推动科学、技术、经济的深度融合。

3 展望未来:基础研究的发展趋势与对策建议

基础研究是教育、科技、人才发展的重要战略支撑。近代科学以来,基础研究与世界科学中心、人才中心和高等教育中心的转移同向同行。我国自新中国建立以来高度重视基础研究,基础研究在我国教育、科技、人才的快速发展进程中发挥了重要作用。进入新时代,世界新一轮科技革命和产业革命蓄势待发,数智驱动的科研范式转换给基础研究带来新的机遇和挑战。新形势下,亟待加强对基础研究和规律认识的深入认识,面向国际科技竞争和我国科技强国的战略需求,亟待加强战略性基础研究。通

过优化基础研究资助布局、发挥科技咨询的决策支撑作用等进一步提升我国基础研究的体系化能力,强力支撑我国教育、科技、人才“三位一体”发展战略。

3.1 面向基础研究的先导性和变革性趋势,亟待加强对基础研究规律的再认识

从历史上看,基础研究是推动“世界三大中心”转移的重要战略支撑,进入大科学时代,基础研究在我国教育、科技、人才“三位一体”发展战略中的先导和变革力量日益凸显。当前数智驱动的科研范式变革对基础研究的组织模式、管理方式、治理体系、研究手段、技术和工具等各方面都产生了重大影响。基础研究呈现新的发展趋势、新特征和新规律。亟待加强对我国基础研究、科学发展规律和基础研究人员成长规律等的深入解析。一方面,加强对基础研究及其发展规律的再认识,包括不同领域的基础研究演化规律、不同领域科学知识生产和演化规律、知识创新与科学发现规律等。另一方面,加强对基础研究人员成长规律的再认识,包括基础研究人员的学术产出节律及研究主题迁移、研究人员的科研动力和激励机制、研究人员的知识创造能力和研究潜力、基础研究领域科研人员的流动规律(流失—流入—环流)等方面。从“世界三大中心”转移规律中不断揭示和深化对教育、科技、人才一体化发展规律的认识。

3.2 面向基础研究的交叉性和系统性趋势,亟待加强战略性基础研究

早期的科学研究通常是以兴趣驱动的“纯科学”研究,是以个体为主的研究行为。近代西方科学建立以来,科学进入建制化发展阶段,“纯科学”仍然以自由探索为主。直到20世纪40年代,艾尼瓦尔·布什给美国国会提交《科学:永无止境的前沿》,规模化、有组织的科学研究计划得到快速发展,“自由探索”和“需求导向”两种科学研究组织模式共同推动基础研究从“纯科学”走向应用转型。基础研究作为推动教育、科技、人才发展的重要战略力量,必将在中国式现代化建设中发挥更大作用。我国进入社会主义建设新时代,面向日趋激烈的国际科技竞争和“四个面向”的科技发展战略需求,亟待大力培育和开展战略性基础研究。战略性基础研究就是国家目标导向明确、依靠建制化团队开展长期稳定的联合攻关、投入规模相对较大的基础研究^[30]。特别是持续稳定地支持国家战略科技力量开展战略性基础研究,解决国家中长期发展中的重大科学问题和世界

科学前沿问题,为抢占未来技术制高点提供有力支撑^[31, 32]。战略性基础研究对我国教育、科技、人才一体化发展战略具有重要支持。一是,战略性基础研究面向国家战略需求,直指关键“卡脖子”技术,是开展科学研究的基础性、战略性谋划,有力提升科技创新体系化能力。二是,战略性基础研究直接推动战略科技力量(高校、科研院所、国家实验室等)调整学科结构,促进学科交叉和跨学科学习,面向重大发展战略促进高等教育高质量发展。三是,以重大需求和现实问题为导向的战略性基础研究有利于促进科技创新人才的培养目标、过程与模式的优化,锻炼和培养战略性科学家。

3.3 面向基础研究的复杂化和体系化趋势,亟待优化基础研究资助布局

当前,我国基础研究发展迅速,在超导材料、大数据科学、智能计算等方面取得了突破性成就。然而整体上基础研究的结构布局不均衡,发展不充分的矛盾依然存在。面向基础研究不断复杂化和体系化的发展趋势,通过优化基础研究资助的战略布局,加快培育和发展以“数据科学”和“智能科学”等为代表的带头学科,推动我国基础研究的协同发展,提升基础研究创新的体系化能力。具体包括:(1)“借力打力”。依托已有的基础研究“高峰”和“中心”,加快形成基础研究的“磁场效应”,培育具有竞争优势的基础研究高地。(2)集中攻坚。以问题为核心,开展持续性、稳定性的基础研究资助。(3)需求导向。面向国家战略需求,开展战略性基础研究布局。(4)“开枝散叶”。在基础研究人才培养过程中,做好区域布局。在强化基础研究过程中不断推动领域主题分化,学科交叉融合发展。以带头学科为引领,系统优化学科布局,统筹推进教育、科技、人才的一体化发展。

3.4 面向基础研究的数字化和智能化趋势,亟待健全科技咨询决策机制

科学研究是人类社会进步的产物,与人类社会的发展同频共振,教育、科技、人才一体化发展趋势日益明显。从科技史来看,基础科学研究经历了从以个人兴趣驱动的“自给自足”的“农耕化”研究时代,进入以科学合作为标志的大科学研究的“工业化”研究时代。信息社会的到来,以计算机辅助分析为标志的信息技术推动基础研究进入“信息化”研究时代。当前,AI for Science给基础研究带来变革性影响,以数智化为标志的基础研究已经进入“数智化”研究时代。基础研究是特殊类型的科学劳动,知识

创造和科学发现更加需要科研人员的洞察力、判断力和理解力。数字化、智能化越强就越需要科研主体的研判和解析。这一背景下,应进一步完善和发挥我国科技咨询制度的重要作用。充分发挥以中央科技委员会、国家自然科学基金委员会咨询委员会等科技决策咨询机构在推动基础研究发展中的重要决策支撑作用。此外,科研人员应发挥好“科学守门人”的作用,进一步优化同行评议制度,建立同行评议的沟通对话机制,共同推动我国基础研究发展,提升基础研究的核心竞争力。

参 考 文 献

- [1] 李静海. 抓住机遇推进基础研究高质量发展. 中国科学院院刊, 2019, 34(5): 586—596.
- [2] OECD. Frascati manual 2002. (2002-12-11)/[2023-10-30]. <https://doi.org/10.1787/9789264199040-en>.
- [3] 郑雁军. 基础研究概念的演变与应用科学之间的关系. 中国科学基金, 2019, 33(5): 515—519.
- [4] 方新. 关于我国发展基础研究的几点思考. 中国科学基金, 2019, 33(5): 417—422.
- [5] 潘教峰, 杜鹏. 夯实科技强国建设的知识基础. 中国科学报, 2021.
- [6] 习近平. 加强基础研究 实现高水平科技自立自强. (2023-07-31)/[2023-10-29]. http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2023-07/31/c_1129776375.htm.
- [7] Yuasa M. Center of scientific activity: its shift from the 16th to the 20th century. *Japanese Studies in the History of Science*, 1962, 1(1): 57—75.
- [8] 潘教峰, 刘益东, 陈光华, 等. 世界科技中心转移的钻石模型——基于经济繁荣、思想解放、教育兴盛、政府支持、科技革命的历史分析与前瞻. 中国科学院院刊, 2019, 34(1): 10—21.
- [9] (英)J. D. 贝尔纳. 历史上的科学. 伍况甫, 译. 北京: 科学出版社, 1959: 930—931.
- [10] 赵红州. 科学能力学引论. 北京: 科学出版社, 1984: 267.
- [11] 孙玉涛, 国容毓. 世界科学活动中心转移与科学家跨国迁移——以诺贝尔物理学奖获得者为例. 科学学研究, 2018, 36(7): 1161—1169.
- [12] 周光礼. 走向高等教育强国: 发达国家教育理念的传承与创新. 高等工程教育研究, 2010(3): 66—77.
- [13] Board N S A. The U. S. is a keystone of global science & engineering. [2023-12-02]. <https://www.nsf.gov/pubs/2020/nsb20222/nsb20222.pdf>.
- [14] NCSES N C F S. Higher education research and development (HERD) survey 2022. [2023-12-02]. <https://nces.nsf.gov/surveys/higher-education-research-development/2022>.
- [15] Statistics N C F S. Universities report largest growth in federally funded R&D expenditures since FY 2011. [2023-12-02]. <https://nces.nsf.gov/pubs/nsf23303>.
- [16] 中华人民共和国教育部. 我国高校科技创新跃上新台阶——党的十八大以来高校科技创新改革发展纪实. (2022-07-22)/[2023-12-02]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/moe_2082/2022/2022_zl08/202207/t20220722_647800.html.
- [17] 中华人民共和国教育部. 教育部等五部门印发《普通高等教育学科专业设置调整优化改革方案》. (2023-04-04)/[2023-12-02]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/s5987/202304/t20230404_1054220.html.
- [18] 包信和. 中国特色世界一流大学建设是教育、科技、人才一体化部署的有效实践——以中国科学技术大学为例. 中国科学院院刊, 2023, 38(5): 676—684.
- [19] 中华人民共和国教育部. 清华、北大等三十六所试点高校陆续发布二〇二一年“强基计划”招生简章——“强基计划”: 拔尖创新人才培养新路径. (2021-05-06)/[2023-12-02]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5147/202105/t20210506_529899.html.
- [20] 武汉大学生命科学院. 祝贺我院5名本科生获得“国家自然科学基金青年学生基础研究项目”资助!. (2023-09-21)/[2023-12-02]. <http://bio.whu.edu.cn/info/1124/93266.htm>.
- [21] 操秀英. 试点优秀本科生资助 设立杰青基金延续资助项目 自然科学基金将进一步构建基础研究人才长周期培养机制. (2023-07-01)/[2023-12-02]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab440/info89646.htm>.
- [22] 黄海刚. 从人才流失到人才环流: 国际高水平人才流动的转换. 高等教育研究, 2017, 38(1): 90—97, 104.
- [23] Feng L, Li T. When international mobility meets local connections: Evidence from China[J]. *Science and Public*
- [23] Li F, Tang L. When international mobility meets local connections: evidence from China. *Science and Public Policy*, 2019, 46(4): 518—529.
- [24] 韩芳, 张汝昊, 陈光, 等. 世界科学活动中心研究——基于高质量科学家流动. 科学学研究, 2023, 41(7): 1153—1163.
- [25] 靳军宝, 曲建升, 吴新年, 等. 2014—2019年我国高被引科学家跨国(地区)流动特征研究. 情报理论与实践, 2021, 44(5): 78—83.
- [26] Zhao ZY, Bu Y, Kang LL, et al. An investigation of the relationship between scientists' mobility to/from China and their research performance. *Journal of Informetrics*, 2020, 14(2): 101037.
- [27] Tang JL, Ye KH, Qian Y. Rethinking the relationship between housing prices and inflation: new evidence from 29 large cities in China. *International Journal of Strategic Property Management*, 2019, 23(3): 142—155.

- [28] 钱炜. 研究发现：中国科学家获不了诺贝尔奖的原因在于人均兼任 7 个行政职务. (2023-10-04)/[2023-10-07]. <https://mp.weixin.qq.com/s/SBjh-cuIvnS7ywPGgRoEXg>.
- [29] Cui C, Wang Z, He P, et al. Escaping from pollution: the effect of air quality on inter-city population mobility in China. *Environmental Research Letters*, 2019, 14(12): 124025.
- [30] 侯剑华. 加快培育和发展战略性基础研究. *中国社会科学报*, 2022.
- [31] 饶子和. 加紧实施“战略性基础研究计划”. *科技导报*, 2022, 40(6): 1—2.
- [32] 李晓轩, 肖小溪, 娄智勇, 等. 战略性基础研究：认识与对策. *中国科学院院刊*, 2022, 37(3): 269—277.

Basic Research to Support the Development Strategy of Education, Technology and Talent: History, Status and Prospects

Jianhua Hou* Bili Zheng Wenjing Li

School of Information Management, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006

Abstract Basic research is an important hand and focus for promoting the development of education, technology, and talent. Historically, the formation of the world's important centers of education, technology, and talent all stemmed from major breakthroughs in basic research and its applied development. According to the “Yuasa Phenomenon” in science, the world's science centers, talent centers and higher education centers are basically isomorphic. Entering the new era, China's basic research in the three dimensions of education, technology, talent, emerging new features and new trends, are facing new opportunities. A scientific and practical understanding of the evolution law of basic research is of great practical significance to the strategic layout of education, technology, and talent. In the future, the construction of China's basic research funding system should be oriented to the refinement and systematization of basic research and strengthening strategic basic research layout. Moreover, it should be introduced to the scientific research paradigm and enhance systematic understanding of basic sciences and their development laws. Besides, it is suggested to be oriented to the intelligence and digitization of basic research, promote expert participation and decision-making mechanisms.

Keywords basic research; education, technology, talent; integrated strategy; shifting of “the world's three centers”

(责任编辑 陈磊 张强)

* Corresponding Author, Email: houjh5@mail.sysu.edu.cn