

中国与主要科技强国研发人员投入产出的比较

曹琴¹, 玄兆辉^{2*}

1. 南开大学经济与社会发展研究院与中国科学技术发展战略研究院联合博士后工作站, 北京 100038

2. 中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038

摘要 人才资源是第一资源,也是世界科技强国竞争的焦点。研发(R&D)人员是科技人力资源的核心。从研发人员规模与结构、研发人员资源配置、研发人员科研与技术产出效率等角度,对中国与世界主要科技强国的研发人员投入产出特征进行了比较,并对中国科技人力资源的培养与使用提出政策建议:壮大研发人员人才队伍,调整研发人员结构,优化研发资源配置,提升研发产出效率。

关键词 研发人员;资源配置;产出效率;科技强国

科学技术是第一生产力,人才资源是第一资源,科技人力资源是国家实施创新驱动发展战略的核心力量。根据经济合作与发展组织(OECD)《堪培拉手册》的定义,科技人力资源是指完成了科技学科领域高等教育,以及虽然未受过或尚未完成科技学科领域的高等教育,但是从事通常需要上述资格的科技职业的人员^[1]。创新型国家尤其是世界科技强国,无一不是拥有规模庞大科技人力资源并且善于运用他们的国家。随着高等教育的发展及对科技人才的日益关注,中国科技人力资源规模稳步

提升。据统计,2017年中国科技人力资源总量已达8705万人,居世界首位^[2]。科技人力资源为一个国家开展科技活动提供了基础,而科技活动中最具创新性的当属研究与发展(R&D,以下简称“研发”)活动。直接从事研发活动以及直接为研发活动提供服务的管理人员、行政人员和办事人员统称研发人员。因此,研发人员是一个国家科技人力资源中正在开展创新活动的核心人才队伍,受到世界各国的高度关注。

收稿日期:2019-09-27;修回日期:2019-12-31

基金项目:科技创新战略研究专项(ZLY201602);国家科技统计专项(NSTS201811)

作者简介:曹琴,助理研究员,研究方向为创新调查、科技指标,电子信箱:caoq@casted.org.cn;玄兆辉(通信作者),研究员,研究方向为创新调查、科技统计、科技指标,电子信箱:xuanzh@casted.org.cn

引用格式:曹琴,玄兆辉. 中国与主要科技强国研发人员投入产出的比较[J]. 科技导报, 2020, 38(13): 96-103; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.13.011

1 文献综述

学术界对于科技人力资源问题的研究由来已久,归纳起来有以下4个方面。

1) 关于科技人力资源概念与统计方法的研究。杜谦等^[1]从科技人才定义及相关统计问题入手,分析了科技人才、科技人力资源、科技活动人员和研发人员等不同概念之间的联系、差别及中国统计中存在的问题,提出建立国际可比的科技人才统计分析思路与方法;并进一步研究提出,完善科技人力资源统计需要“顶层设计”,应建立科技人力资源存量和流量统计制度,加强各相关部门和统计制度间的协调^[4]。

2) 关于科技人力资源指标的研究。张平淡等^[5]从科技人力资源的统计层次、统计口径和统计内容出发,论述了中国科技人力资源统计指标体系的设计思路和实践情况。韩伯棠等^[6]构建了中国科技人力资源初始评价指标体系,并运用筛选前后的指标从4个方面对全国31个地区进行样本聚类分析,最终形成一套中国科技人力资源评价指标体系。

3) 关于科技人力资源培养与使用方面的研究。宋卫国等^[7]研究提出,应健全教育与科技人力资源开发法律法规保障体系、现代国民教育体系、移民与留学制度、监管与服务支撑体系、高级科技人才国家储备与开发利用制度。杨丽^[8]以2009—2014年中国女性研发人员群体的官方数据为基础,归纳中国女性研发人员的群体特征,并对其中的一些关键数据进行了探析。

4) 关于科技人力资源国际比较方面的研究。田伟红^[9]采用主成分分析法,对2006年世界主要科技强国科技人才国际竞争能力进行了横向比较研究,揭示了中国科技人才竞争力的实际状况。徐千惠等^[10]开展了研发人员和经费投入的国际比较研究,分析了中国研发人员及经费投入的制约因素。

党的十九大报告《决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利》中明确提出了到21世纪中叶将中国建设成为世界科技强国的战略目标。美国、日本、德国、法国和英国是公认的

世界科技强国。本文利用最新统计数据,拟对中国及5个世界主要科技强国研发人员投入及产出问题进行比较研究。文中如无特别说明,中国R&D数据均来自历年《中国科技统计年鉴》,其他国家R&D数据均来自经济合作与发展组织(OECD)数据库;各国论文数据来自科睿唯安数据库;各国三方专利数据均来自OECD数据库^[11]。

2 中国与世界主要科技强国研发人员规模与投入强度

2.1 研发人员规模分布与世界格局演变

中国是研发人员最多的国家,2017年达到403万人年。除美国外,世界主要科技强国研发人员均未达到100万人年(美国未统计此项数据)。日本和德国研发人员为50万~100万人年,分别为89万和68万人年,约为中国的22%和17%。法国和英国处于第3梯队,分别为43万和42万人年,均约为中国的1/10。

中国还是近年来研发人员增长最快的国家,2010年以来的7年中,其研发人员规模增加了57.9%。德国和英国的增长率仅次于中国,分别为24.2%和21.0%;法国增长了9.3%;日本研发人员数量提升最为缓慢,7年间仅增加了1.5%。

按照工作性质,研发人员可进一步划分为研究人员、技术人员和辅助人员3类。其中研究人员是指研发人员中从事新知识、新产品、新工艺、新方法、新系统的构想或创造的专业人员及研发课题的高级管理人员,在实际科技统计中是指研发人员中具备中级以上职称或博士学位(学位)的人员。可见R&D研究人员的多寡反映了研发人员队伍的整体素质及研发活动质量。

从R&D研究人员的国际分布看(图1),中国和美国均在130万人年以上,其中中国R&D研究人员规模居全球之首,2017年达到174万人年,美国为137万人年,约为中国的80%。其他世界主要科技强国中,日本在50万~100万人年之间,达到68万人年,约为中国的39%,处于中、美之后的第2梯队;德国、英国和法国处于第3梯队,在50万人年以

下,分别为41万、29万和29万人年,约为中国的24%、17%和17%。可见,与研发人员规模相比,日本、德国、法国、英国4国R&D研究人员规模与中国的差距更小,说明其研发人员队伍整体素质相对更高。

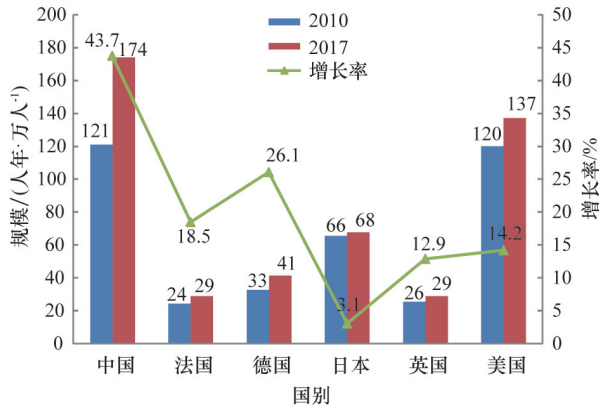


图1 中国与主要科技强国R&D人员规模及变化

中国R&D研究人员增长速度仍然是世界最高的,2010—2017年增加了43.7%;其次是德国,提升了26.1%;法国、美国和英国增长率在10%~20%之间,分别为18.5%、14.2%和12.9%;日本R&D研究人员的增速依然最慢,仅增加了3.1%。

虽然6国R&D研究人员规模不断增加,但其占世界全部R&D研究人员的比重几乎没有改变,仅从2010年的62.3%增加至2017年的62.6%,说明其他国家总体上与6国实现了同步增长。但是在6国内部却已发生了此消彼长的变化,中国和德国的占比增加,而美国、法国、日本和英国的比重降低。中国从19.4%增加到22.8%,提升幅度最大;德国从5.2%提高到5.4%;而美国、法国、日本、英国占比则分别下降0.1~1.6个百分点。

2.2 研发人员投入强度

评价一个国家创新人员的多寡,既要考察其绝对规模,也需分析其相对规模,即投入强度问题。由于经济发展阶段、产业结构有很大不同,中国与主要科技强国研发人员投入强度还有较大差距(图2)。2017年,中国平均每万名就业人员中R&D研究人员数量为22.4人年。而世界主要科技

强国之间差别不大,均约为中国的4~5倍,例如法国和日本分别为103.4和100.1人年,德国、英国和美国分别为93.4、90.4和88.2人年。

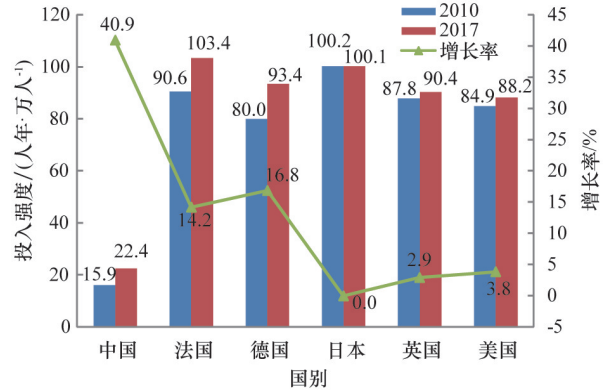


图2 中国与主要科技强国R&D研发人员投入强度及变化

从投入强度的增长率来看,中国则是独树一帜。2010—2017年间,中国平均每万名就业人员中R&D研究人员数量增长了40.9%,远高于世界主要科技强国;德国和法国实现了较大幅度增长,也仅分别为16.8%和14.2%;美国和英国略有提升,分别增加了3.8%和2.9%;日本则几乎保持不变(图2)。研发人员投入强度的高低反映了一个国家有多少人才愿意并且能够投入到研发活动之中去。从各国增长态势来看,中国为科技创新提供了更加广阔的空间,德国和法国科技创新活动对人才的吸引力也在明显增强。

3 中国与主要科技强国研发人员结构分析

3.1 研发人员执行部门结构

企业、高等学校和政府研究机构是研发活动的3大执行部门。受制于科研体制和产业发展阶段的不同,各国研发人员的部门分布存在较大差异。

1) 总体来看,中国与主要科技强国研发人员结构均以企业为主体。2017年,中国研发人员中77.3%集中在企业;法国、德国、日本这一比例都在60%~70%;最低的英国也超过50%,为51.6%。

2) 高等学校是世界主要科技强国研发人员的

重要选择。例如,英国高校研发人员占全国比例高达45.0%,这与英国具有牛津和剑桥等众多历史悠久的世界一流大学密不可分。然而随着企业研发活动日益活跃,英国高校研发人员占比也呈现出下降态势,2010—2017年,已经降低了4.5个百分点。除英国外,法国、日本和德国高校研发人员占比也都超过20%,分别达到28.0%、24.2%和21.3%。与之相比,中国高校研发人员占比最低,仅为9.5%。

3) 少数国家政府研究机构也是研发活动重地。德国拥有马普学会(MPG)、亥姆霍兹国家研究中心联合会(HGF)、弗劳恩霍夫应用研究促进协会(FhG)和莱布尼茨科学联合会(WGL)4大骨干国家科研机构,其研究机构研发人员占全国的比重达到15.2%。法国拥有法国国家科学研究中心(CNRS)等机构,这一比例达到11.4%。而日本和英国这一占比均低于10%。中国与德国、法国类似,拥有中国科学院等著名研究机构,其研发人员占全国比重达13.2%。

3.2 研发人员性别结构

女性是创造和推动人类文明进步的重要力量,女性在科技创新活动中占比的升高被认为是社会进步的一个重要表现,是国际研发统计中重要的结构性指标。世界主要科技强国R&D研究人员中女性占比最高的是英国,达到38.7%(2016年);德国和法国处于第2层次,分别达到28%和27%(2015年),中国已经与这2个国家相当,2017年女性研发人员达到26.5%;日本最低,2017年为16.2%。

从历史变化角度看,各国这一比重都有增长,女性在研发活动中的参与度越来越高。提升最多的是日本和法国,年均提升均达到0.34个百分点;从女性R&D研究人员规模来看,日本2010—2017年间增长了17.4%,法国2010—2015年间提升了6.4%。中国女性研发人员占比年均提升0.24个百分点,人员规模在2010—2017年间增加了6.9%。德国和英国女性占比更显稳定,女性占比年均分别仅提升了0.3和0.07个百分点。

从企业、高等学校、政府研究机构3大执行部门来看,各国之间女性研发人员的占比也存在着较

大差别。

1) 企业R&D研究人员中,女性占比都相对较低。其中,2015年,英国、法国和中国女性占比在20%左右,分别为21.1%、20.3%和19.8%。德国这一比例是14.7%;日本最低,仅为8.6%。2010年以来,各国企业R&D研究人员中女性占比都有所增长,其中日本2010—2017年间提高了27.7%。

2) 政府研究机构R&D研究人员中,各国女性占比都高于其企业中女性占比。2015年,英国、法国政府研究机构女性占比接近40%,分别为37.8%和36.3%;德国和中国也在30%以上,分别为35.4%和32.8%;日本这一比例为17.8%。从历史变化看,2010年以来,这一比例在各国都有提升,其中日本和英国增长幅度最大,2010—2016年间分别提高了16.7%和10.8%。

3) 高校是女性科研人员占比最高的部门。在高校R&D研究人员中,英国和中国女性占比最高,2016年分别达到45.5%和41.4%;德国和法国也接近40%,2015年分别为38.7%和36.4%;在日本,与企业 and 政府研究机构相比,高校中R&D研究人员中女性占比也是最高的,2017年达到27.1%。与2010年相比,各国这一比例均有提升,其中中国提升最快,其次是法国,分别提高了23.8%和11.2%。

4 中国与世界主要科技强国研发人员资源匹配特征分析

4.1 研发人员经费投入强度

开展研发活动获取创新成果的前提是政府、企业和社会提供与研发人员相匹配的研发经费。从R&D研究人员人均研发经费支出额度来看,中国和世界主要科技强国分为3个级别:美国是投入强度最高的国家,2017年为39.6万美元/人年;德国、日本和法国人均在20万~30万美元/人年之间,处于第2个层级,分别约为美国的68%、58%和49%;英国和中国处于第3个层级,分别达到15.2万、15.0万美元/人年,均约为美国的38%。

从增长速度看,虽然中国R&D研究人员人均研发经费支出一直落后于5个世界主要科技强国,

却是增长速度最快的国家,2010—2017年间,已提升了73.7%。美国这一指标稳步增长,提升了16.0%。但是,法国、德国、日本和英国该指标则都出现了下降,法国甚至下降了17%,说明其研发人员面临的创新环境在逐步恶化。

4.2 研发经费中人员费投入

在研发活动中,全部研发经费支出按用途可划分为人员劳务费支出、资本性支出和其他日常支出,用于人员劳务费的支出占比直接反映了科技创新工作在多大程度上体现了“以人为本”。数据显示,世界主要科技强国都把对人员劳务费的投入作为重中之重,法国和德国研发经费支出中,分别有61.2%和60.3%(2014年)用于支付人员费;英国和日本相对略低一些,但也分别为43.5%(2014年)和38.4%(2015年);中国则相对较低,2017年仅为29.9%,分别为法国和德国的1/2、英国的2/3、日本的3/4,这一状况多年未得到扭转,这固然与中国发展阶段密切相关,但是仍然反映出对劳动价值的重视不足。

5 中国与世界主要科技强国研发人员科研产出效率分析

5.1 研发人员科研论文产出效率

论文作为研发活动的重要产出形式之一,其规模和质量是衡量研发活动效率的2个关键维度。据科睿唯安数据库,从论文产出规模来看(图3),

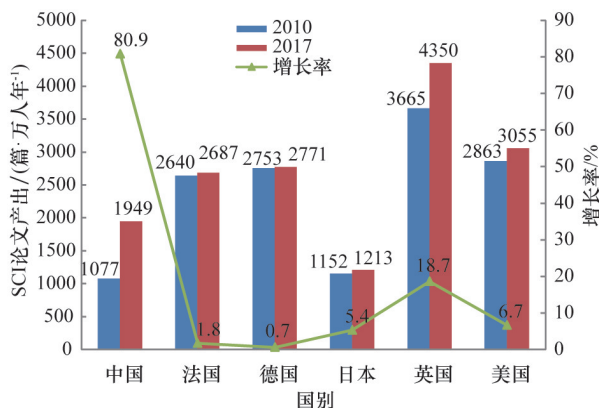


图3 中国与世界主要科技强国R&D研究人员SCI论文产出及增长情况

2017年,英国平均每万名R&D研究人员SCI论文发表量达到4350篇,居绝对领先地位;美国、德国和法国处于第2集团,在2700~3100篇之间;中国于2012年首次超过日本,2017年已达到1949篇,处于第3集团;日本位居最后,为1213篇,与中国的差距日益显著。

从历史变化趋势分析,近年来每万名R&D研究人员SCI论文发表量增长最快的是中国,2010—2017年的7年间提升了80.9%,但考虑到与英国、美国、德国、法国还存在明显差距,论文产出效率仍需大幅提升。世界主要科技强国中,英国增长最快,提升了18.7%;美国和日本增加了6%左右;而法国和德国几乎没有增长,已达到其潜在最高产出效率。

从论文产出质量来看(图4),英国平均每万名R&D研究人员高被引论文数量依然最多,2016年达到85篇;美国、德国和法国十分接近,均在50篇上下,仍然处于第2集团行列;中国和日本分别为21篇和12篇,处于第3集团。从增长率来看,中国每万名R&D研究人员高被引论文增长率最快,2010—2016年间提升了89.2%。在世界主要科技强国中,增长最快的是日本,其次是英国和法国,这3个国家均增长了20%以上;德国提升了13.5%;而美国则下降了5.6%。当前,英、美、德、法在论文产出规模方面为中国的2倍左右,而其产出质量指标仍为中国的2.5~4倍,鉴于这一状况,中国论文产出质量的提升比规模的增长更为重要。

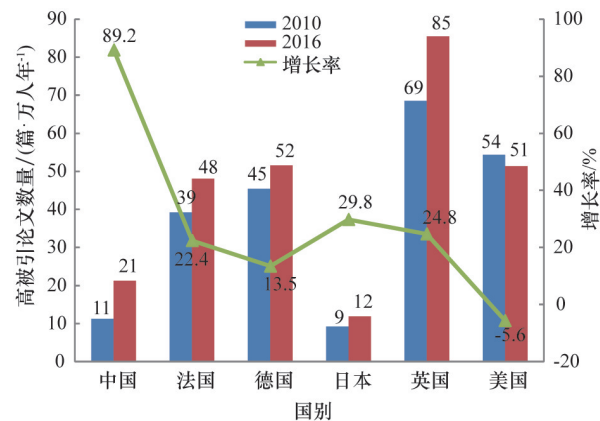


图4 中国与世界主要科技强国R&D研究人员高被引论文数量及增长情况

5.2 研发人员专利产出效率

如果说论文是反映研发活动科学产出的核心指标,那么专利就是代表研发活动技术产出的核心指标。同样应该从专利产出的规模和质量2个方面分析各国研发人员的研发效率。

从专利产出规模来看,国际上普遍采用PCT(即专利合作条约)专利指标。通过PCT,申请人只需提交1份“国际”专利申请,即可请求多个国家同时对其发明进行专利保护。各国PCT专利数量反映了其专利的多寡。根据世界知识产权组织(WIPO)数据库,2016年,平均每万名R&D研究人员PCT专利数量最多是日本,达到692件;德国和美国在400件左右,分别为469和392件;法国、中国和英国在200~300件之间,处于第3梯队,分别为270、252和216件。

2010—2016年,中国科研人员的专利产出率增速远远高于世界主要科技强国(图5)。6年间,中国每万名R&D研究人员PCT专利申请量翻了一番以上,增长了125.6%。世界主要科技强国中,只有日本和美国保持增长,分别提升了22.3%和4.1%;德国、法国和英国则出现了下降,其中德国下降了16.8%。

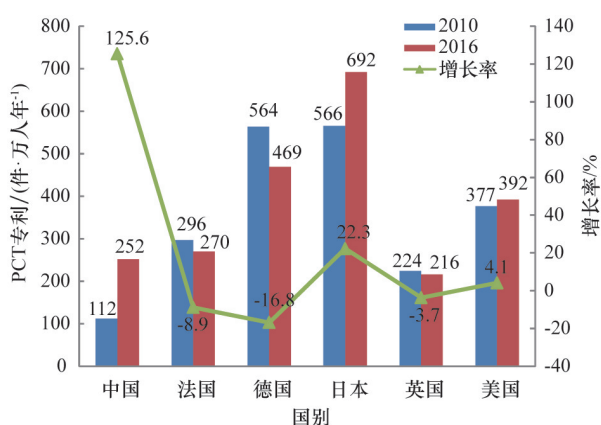


图5 中国与世界主要科技强国R&D研究人员PCT专利及增长情况

从专利产出质量看,OECD提出了三方专利族这一指标。三方专利族是指在欧洲专利局、日本特许厅以及美国专利商标局都提出了申请的同一项发明专利。这种专利无疑都是跨国公司的核心技术

术,三方专利的规模反映了一国科技创新质量及国际竞争力。2016年,世界主要科技强国中,每万名R&D研究人员三方专利数量最高的依然是日本,为261件;处于第2梯队的是德国、美国和法国,分别为113、104和87件;英国与上述4国差距较大,为59件(图6)。然而,中国每万名R&D研究人员三方专利数量仅为23件,仅为德国的1/5、不足日本的1/11。

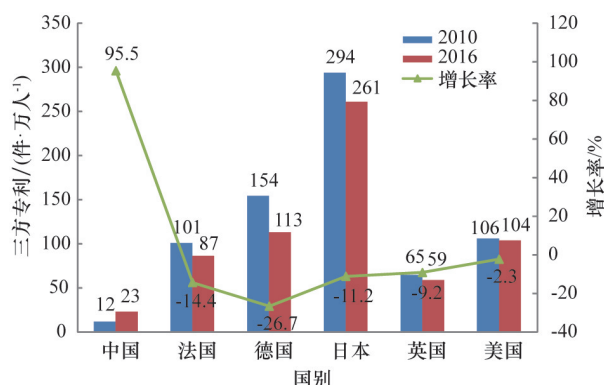


图6 中国与世界主要科技强国R&D研究人员三方专利及变化情况

2010—2016年,中国每万名R&D研究人员三方专利数量接近翻了一番,增加了95.5%。而世界主要科技强国这一指标均出现负增长,其中德国下降最快,减少了26.7%;其次是法国、日本和英国,下降率在9%~15%;美国则缩减了2.3%。

6 结论与政策建议

6.1 结论

研发人员是科技人力资源的核心。在人员规模和投入强度方面,与美国、日本、德国、法国和英国等世界主要科技强国相比,中国研发人员规模最大、增长速度最快;在世界格局中,中国和德国所占比重还在上升,而其他国家已进入平稳发展阶段。中国R&D研究人员占就业人员比重正在高速增长,但仅为5国的1/5~1/4,差距依然很大。

1) 在人员结构分布方面,各国研发人员都在企业比较集中,其中中国最为突出,英国企业研发人员占比最低,但其高校占比最高,政府研究机构

比较突出的是德国、法国和中国。R&D研究人员中女性占比最高的为英国,中国居中,日本最低,但其提升速度最快。

2) 在资源匹配方面,中国R&D研究人员人均研发经费增长最快,已接近英国的投入水平,但仍处于第3梯队,与美国相差甚远。各国研发经费支出中,法国和德国的人员劳务费占比已超过60%,而中国还不到30%，“重物轻人”的现象仍未根本扭转。

3) 在科研产出效率方面,中国R&D研究人员的科研论文产出效率与英国、美国还有较大差距,虽然已超过日本,但是与欧美国家相去甚远。中国R&D研究人员的专利技术产出效率与法国、英国同处第3梯队,但在核心专利产出效率方面,中国还有很大上升空间。

6.2 政策建议

基于以上关于中国与世界主要科技强国研发人员投入产出的主要特征与发现的问题,提出如下政策建议。

1) 壮大研发人才队伍。

创新型国家和世界科技强国的一个重要特征是具有充足的科技人力资源和支撑创新发展的就业结构。针对中国研发人员投入强度偏低的情况,应大力发展高等教育,扩大科技人力资源供给;建设世界一流大学和世界一流学科。鼓励青年科技人才勇做创新先锋,鼓励青年人才冲击世界科技前沿。在全社会营造尊重知识、尊重人才的良好社会文化氛围,吸引更多人才投身科技创新工作。

2) 调整研发人员结构。

建设创新型国家和世界科技强国,关键是要建设一支结构合理、素质优良的创新人才队伍。中国研发人员高度集中在企业,存在高等学校研发人员占比和女性研发人员占比“双偏低”特点。在推动研发人员规模增长的过程中,应同时解决这些结构性问题。构建由基础人才、学术骨干、领军人才及世界级科学家组成的金字塔状科技人才梯次结构,推动科技人力资源大国向科技人力资源强国转变。

3) 优化研发资源配置。

充足的研发经费投入是研发人员发挥创新潜

力的重要物质保障,创新效率的充分发挥又高度依赖合理的制度安排。当前中国仍同时面临人均研发经费投入偏低和人员费占比偏低两个问题,亟待解决。应建立多元化的资金投入机制,使经费投入增速高于劳动成本上升速度。要着力改革和创新科研经费使用和管理方式,让经费为人的创造性活动服务,改变“重物轻人”的政策模式和制度设计。

4) 提升研发产出效率。

虽然中国研发人员的科研论文和专利技术产出效率正在奋起直追,但是与欧美世界科技强国相比还存在难以逾越的鸿沟。为此,中国必须继续加快推进科技体制改革,释放科研人员的创新积极性。尊重学术发展规律,改变单纯以成果数量为导向的评价考核标准,根据基础研究、应用基础研究和技术创新等不同类型活动制定不同的人才评价制度,保障科研产出量质齐升。

参考文献(References)

- [1] 科学技术部发展计划司,中国科学技术指标研究会.弗拉斯卡蒂丛书科技人力资源手册[M].北京:新华出版社,2000:16.
- [2] 科学技术部战略规划司.科技统计报告汇编2018[R].北京:科技部战略规划司内部资料,2019:1.
- [3] 杜谦,宋卫国.科技人才定义及相关统计问题[J].中国科技论坛,2004(5):137-141.
- [4] 杜谦,宋卫国,高昌林.建立我国科技人力资源统计的建议[J].统计研究,2004(3):25-30.
- [5] 张平淡,王奋.关于科技人力资源状况统计指标体系的探讨[J].科技进步与对策,2002(8):8-9.
- [6] 韩伯棠,王莹.中国科技人力资源评价指标体系构建方法研究[J].北京理工大学学报(社会科学版),2006(6):31-35.
- [7] 宋卫国,杜谦,高昌林.科技人才的国际竞争与我们的对策[J].求是,2003(24):47-49.
- [8] 杨丽.大数据下的中国女性R&D人员群体状况计量分析[J].科技管理研究,2016,36(12):261-266.
- [9] 田伟红.2006年科技人才国际竞争力比较研究[J].经济师,2010(10):224-225.
- [10] 徐千惠,付轲.我国R&D人员投入现状及其国际比较的基模分析[J].科技广场,2012(11):234-240.
- [11] OECD Data[EB/OL].[2019-09-20].<https://data.oecd.org>.

Input-output features of R&D personnel in China and major science and technology powerhouses

CAO Qin¹, XUAN Zhaohui^{2*}

1. Joint Postdoctoral Programme, College of Economic and Social Development in Nankai University and Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038, China
2. Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038, China

Abstract Human resources are the resource of the first importance and the focus of science and technology powerhouses. The R&D personnel are the core of science and technology human resources. This paper makes a comparative analysis of the input-output characteristics of the R&D personnel in China and major science and technology powerhouses from the following perspectives, the scale and the structure, the resource allocation, the research and technology output efficiency of the R&D personnel, and proposes some policies for the cultivation and the use of science and technology human resources in China, such as expanding the talent team of R&D personnel, adjusting the structure of R&D personnel, optimizing the allocation of R&D resource and improving the efficiency of R&D output.

Keywords R&D personnel; resource allocation; output efficiency; science and technology powerhouse ●



(责任编辑 王志敏)