

· 创新论坛 ·

基础研究概念的演变与应用科学之间的关系

郑雁军*

(国家自然科学基金委员会 工程与材料科学部, 北京 100085)

[摘要] 基础研究被认为是科技发展的源泉和内在动力,深入了解基础研究的本质有着重要的意义。本文从基础研究的历史发展出发,回顾了基础研究概念的演变以及与应用科学之间的相互关系,探讨了科学、技术和工程不断融合的背景下,基础研究未来的发展方向。本文认为,与技术和工程相融合的过程中更应当突出基础研究中科学的核心地位,融合的含义在于基础研究的问题更多地来自于技术和工程,而且基础研究对技术和工程有更好的指导意义。

[关键词] 基础研究;应用科学;融合

现代意义上的“基础研究”概念最早出现于美国入万尼瓦尔·布什(Vannevar Bush)于1945年写的政策分析报告^[1]。在这份报告中,基础研究被描绘为没有明确应用背景、以好奇心所驱动的科学活动。报告问世之后,基础研究得到越来越多的关注,到现在已经被认为是20世纪科学技术突飞猛进的动力和源泉。我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》指出:“基础研究是高新技术发展的重要源泉,是培育创新人才的摇篮,是建设先进文化的基础,是未来科学和技术发展的内在动力”,应给予基础研究高度的重视^[2]。

然而,基础研究的概念却没有严格的边界。如果在科学家中进行统计,会发现不同人所理解的基础研究很可能不尽相同。与基础研究概念类似的,还有纯科学研究、前沿研究、前沿基础研究、兴趣所驱动的研究等概念或描述,很多时候也都是混用的。这种概念上的模糊化,有可能带来对其认识的简单化,比如把基础研究干脆定义为没有特定应用目的、以好奇心所驱动的科学活动。这种定义忽略了两个事实,一是即便从事纯科学研究的人,也会认为自己的研究成果在未来是有用的;另一个是基础研究领域的科学家们,很多声称自己的研究灵感来自于某个应用目标。实际上“没有应用目的”本身就是一个偏主观的判断,试图以此作为客观标准去划分研究

的种类,可能会出现。即便是基础研究的起源美国科学基金会,也从一开始就没有把自己局限在所谓的没有具体应用目标的科学资助范畴之内。深入了解基础研究概念的内涵,对我们正确认识并资助基础研究活动有重要的意义。

1 基础研究概念的起源及其复杂性

现代意义上的基础研究概念成形于1945年,但基础研究最核心的基因可以追溯到古希腊。古希腊被认为是近代科学的摇篮,他们所发明的自然哲学为现代科学铺平了道路。古希腊人不仅希望建立一种完美知识体系,更把对知识的推崇推向了脱离世俗的境界,变成了纯粹的“为学术而学术”。自然哲学是现代科学的支柱之一,其高贵地位也部分遗传下来,使得今天很多人认为纯科学具有与众不同的崇高性。美国人万尼瓦尔·布什在其报告中^[1],就建议美国科学基金会的主要任务是给予科学持续的资助,但不能干涉科学领域的自治权。换句话说,基础研究虽然主要由政府资助,但并不服务于政府或者社会,而是服务于科学家们自己感兴趣的目标。

应当指出的是,万尼瓦尔·布什并不是基础研究概念的创始人。大约在十九世纪初,美国就出现了“fundamental research”,德国也出现了“Grundla-

genforschung”,都是基础研究的意思^[3]。美国最初是在农艺学中提出来的,指的是解决育种过程中所存在的一些植物生理学方面的基本问题;德国是在数学领域提出的,指的是数学逻辑问题的一些基本证据。基础研究作为科学政策的词汇,则首先使用于英国1916年新成立的科学和工业研究部,主要目的是为了能够更好地促进工业研究^[4]。显然,当时的基础研究并非指纯科学,更不是“为了学术而学术”,而是指服务于具体目标的基础工作。

早期“基础研究”概念提出的背景使人们已经认识到纯科学并非高高在上,也不应完全脱离社会而独自发展,而是应当与应用科学一起造福于人类。这在一定程度上是纯科学和应用知识之间妥协和合作的结果。从这个角度看,万尼瓦尔·布什所定义的基础研究概念并非是一个历史进程自然而然的延伸,而是一个重要的转折,让“为了学术而学术”这个正在逐渐消沉的说法又突然重新大放异彩。随着美国科学基金会的建立及其影响的不断扩大,基础研究的含义不再指服务于具体目标的基础工作,而是成为了“为学术而学术”的代名词。

没有特定应用目标的纯科学研究的确是存在的,这种研究没有直接的经济效益,因此除了政府资助以外,一般的企业不会投入太多的资金和人力。然而,政府的资助来自于公众的纳税,不仅有稀缺性,还有服务于公众利益的压力,因此必然存在国家需求和科学自治之间的矛盾,这可能是一个有关纯科学的基本矛盾。基础研究没有特定应用目标,但从国家政策角度看,对基础研究的投资又有诸多期待,包括培训人才、积累知识、培育新技术新方法等等。20世纪末提出的“知识经济”,更把科技对经济的推动作用上升到一个新的高度,让基础研究的作用更加凸显。因此,简单说基础研究没有特定应用目标,并没有清楚地描述出全景。基础研究本身就算主观上没有特定的应用目标,各国政府对基础研究的资助也一定掺杂了实用的期望。

另一方面,基础研究所声称的没有特定应用目的,在实际中也往往并非如此。英国曾经做过一个调查^[5],在数理、生化和生命科学、社会科学、艺术和人文、工程和材料、医学健康等六大领域内,英国科学工作对于自己科研属性的评价,结果表明不同领域内的研究都可能拥有不同的驱动力。即便是数理这种传统的“纯科学”研究也只有三分之一科学家

认为自己是纯科学研究,其他则认为自己是任务驱动的,或者干脆认为自己是应用研究。

为了更清楚地认识科学和技术活动,经济合作与发展组织(OECD)曾经给基础研究下了一个标准定义^[6]:基础研究(Basic Research)是为了获取现象和可观测事实背后的新知识所做的没有特别应用或用途的实验或理论工作。在此概念下,科学研究还可以进一步细分为纯基础研究和导向型基础研究,前者没有应用方面的考量,而后者有应用的背景。然而,这样的定义太强调主观意图和对应用可能性的判断,因此并没有得到普遍的认同,甚至连OECD自己也认为这样的划分“暗示了一个在现实中很少存在的分界线”^[7]。可以看到,试图将基础研究单独列出来并和其他的科学技术活动区分开,容易失之偏颇,反而容易使人们对基础研究产生片面认识。

2 美国科学基金会资助范畴的演变

万尼瓦尔·布什的报告直接导致了美国科学基金会的诞生。考察美国科学基金会对于基础研究的资助历史,对理解基础研究非常有帮助^[8]。

按照万尼瓦尔·布什的设想,新成立的基金会应当是一个只提供资金的机构,并不参与科学政策的制定,只执行科学家们制定的科学政策。万尼瓦尔·布什的报告提交后引发了激烈辩论,以至于五年以后美国科学基金会才正式建立。然而在1950年美国科学基金会法案中,明确声明所建立的美国科学基金会是“促进科学进步,提高国民健康、国家繁荣和福祉,保卫国家安全”,和万尼瓦尔·布什的设想不大相同,从一开始就不是一个只资助纯科学的机构。

美国科学基金会作为联邦机构,第一次发挥核心作用是为配合在1957年第三届国际地球物理年所开展的南极科考活动。由于远赴南极必须由军方提供支持,而军方又一直争取对资金的控制权,因此美国科学基金会不可避免地陷入了和国防部的争端当中。尤其是1957年前苏联人造卫星的成功发射,让美国政坛发生巨大震动,更让美国科学基金会深陷政治漩涡。这次南极科考,让美国科学基金会意识到了大科学的战略和外交价值,开始强调科学和技术对于意识形态斗争的重要性。与此对应,1959年美国科学基金会的财政预算是1.34亿美元,比上一年多了近1亿美元。

美国科学基金会对应用科学的资助,一个标志

性事件是在1968年的美国科学基金会法案修正案中,新增了一个社会科学处,以支持美国社会日益增长的对应用科学尤其是社会科学与工程的关注,并让“硬科学”,也就是传统的自然科学,和美国社会需求更好地结合。因此,尽管一开始万尼瓦尔·布什所提议的基金会是只提供资金不干涉学术圈自治的机构,结果却越来越深入地卷入了对美国国家需求的支撑。按照美国社会学家奥托·拉尔森(Otto Larsen)的话讲^[9],美国科学基金会开始在美国科学中“随波逐流”。

美国科学基金会对应用科学的支持,最高峰应当是所谓的满足国家需求研究计划(Research Applied to National Needs, RANN)。在1971到1977年之间,美国科学基金会花费将近5亿美元去主动寻找并资助有明确目标、明确创新并且影响深远的研究^[10]。然而当民主党卡特总统上台后,又干脆利落地结束了这个共和党的雄伟计划。RANN计划也是一个转折点,标志着美国科学基金会在支撑国家需求方面走得太远之后,又逐渐回归对基础研究的资助。

不过,美国科学基金会从未放弃对应用研究的资助。在基础研究商业化方面,美国科学基金会的巅峰之作是国际互联网的诞生。美国科学基金会在80年代开始发力建设超级计算机,作为科研环境建设的一部分。借助美国军方的ARPANET所设计的TCP/IP通信协议,美国科学基金会搭建了国家基金会网(NSFNET)。随着用户的增多,很快人们就发现基金会网蕴藏着巨大的商业价值。按传统来说,美国科学基金会花的都是纳税人的钱,不应该去做商业化的事情,但是美国科学基金会还是决定帮助互联网商业化。1995年NSFNET正式停止运行,接下来的五年中基金会为商业化过渡提供了各种支撑服务,并最终促成互联网商业化的巨大成功。为此,1995年被认为是互联网的元年。

美国科学基金会领导下的互联网最终走向商业的巨大成功,为政府主导的科研和知识转化设立了一个非常高的标杆,并促使美国科学基金会设立了更宏大的目标,包括纳米科技、生物技术、信息技术和认知科学。而且,基金会要做的还不是这些技术本身,而是把这些技术融合,成为一个新的宏大科学工程的整体^[11]。

目前美国科学基金会有三类项目与应用研究和成果转化直接相关:工业和大学合作研究中心(the

Industry-University Cooperative Research Centers, IUCRC),小企业创新研究和小企业技术转让(the Small Business Innovation Research/the Small Business Technology Transfer, SBIR/STTR),和创新群体项目(I-Corps)。其中,创新群体项目于2012年设立,目的是通过培训国家自然科学基金项目所资助的师生关于创新的基本技能,以帮助从事基础研究的科研人员和研究生在创业过程中少走弯路,更顺利地将基础研究成果产业化。从这三类项目可以看到,今日美国科学基金会的资助范围已经超过了应用基础研究的范畴,部分甚至和天使投资都要重叠了。

3 创新模型与逐渐融合的基础研究

对基础研究的投入会带来丰厚的回报,尽管时间可能会长一些。这是一个自然而然的想法,万尼瓦尔·布什在他的报告中也明确了这一点:只要对基础研究投入,我们就有回报。今天的学者们称之为“创新的线性模型”,基本思想是说研究开源于基础研究,然后按照基础研究——应用研究——发展研究——产品——推广的路线进行。线性模型简单易懂,政策执行者尤其喜爱,因为看起来只要大力支持一些没有特定应用目标的研究,那么后面的原创性成果就会源源不断。非常遗憾的是,越来越多的人意识到线性模型过于简单化,实际情况远非如此。当今线性模型仍然有很大的市场,并不是因为它有效,而是因为它简单。

线性模型是早期美国科学基金会所信奉的理念,也是争取更多经费的理论基础。然而人们很快发现,按照线性模型来观察,从基础研究到创新的路程远非一帆风顺。在线性模型的首端,也就是基础研究和概念创新的阶段,有政府和部分企业的投入;在线性模型的尾端,也就是创新和市场化的阶段,可以获得风险投资和企业的资助。中间衔接的阶段,资金来源非常匮乏。这个中间阶段也是从基础研究到创新的最薄弱阶段,美国国会议员沃恩·埃勒斯(Vern Ehlers)称其为“死亡之谷”。这个阶段,就是转化研究所处的阶段。由于薄弱的转化研究,很多实验室的优秀成果没有走向市场。

美国自然科学基金委在一项针对转化研究的专门调查中发现,美国的转化研究所面临的困难包括基础性研究领域工业参与度不够高、基础研究人员与工业领域交流不够多以及资源匮乏。以美国国立卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)

为例,NIH在2016年的预算大约是320亿美元,是同年美国科学基金会约74亿美元预算的四倍多。与NIH巨额的经费形成鲜明对照的是,美国的新药和新治疗方案却越来越少。在2006—2009年期间美国食品与药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)新批准的药物是74种,而此前在1996—1999年期间新批准的药物为157种,下降了50%以上^[12]。之所以发生这种变化,一个重要因素是以前的生物医学研究主要由临床医师来做,现在变成了大学老师。从20世纪70年代开始,美国开始大批涌现拿着博士学位、瞄准于某个科学领域的生物医学研究者,而医生出身的研究者越来越少。这些拿着博士学位的研究者并不是非常清楚临床中的问题和需求,那些愿意搜集临床问题并将其转化为基础科学问题的研究者也越来越少。因此,如果要补上转化研究这块短板,一个看起来显而易见的方案是:让临床医生更多地参与到基础研究中,让基础研究者更清楚临床中的各种问题和需求,让基础研究有的放矢。

显然,线性模型的一个模糊之处在于,纯科学是如何促进后面的应用和发展研究的。因此,线性模型从早期的科技推动模型基础上,又发展出了需求推动模型^[13]。所谓科技推动,就是说创新起源于研究和发展是按照一个清晰的时间脉络进行的,首先是基础研究和应用研究,然后是新技术发展、产品和市场。而需求推动模型强调的是在线性的顺序中,需求和市场是研究和发展的启发来源。无论哪种线性模型,由于都忽视了创新过程中不同环节反馈回路的存在,越来越受到批评。

相应的,更多考虑不同环节之间交互影响的创新链环模型受到更多重视。也就是说,从基础到创新的各个环节之间都有相互作用。链环模型起源于1985年^[14],此后得到了广泛的重视。一些争论不休的问题,链环模型都给出了自己的答案。比如,关于创新到底是科学推动的还是需求推动的问题,具有反馈回路的创新链环模型的答案很简单:都有。对于基础研究的发展,创新链环模型也给出了很清晰的建议:基础研究对于技术和工程都有推动作用,但这并不是单向的,反过来也对,也就是技术和工程会对基础研究起到很大的推动作用。应当说,这比传统的线性创新模型更加符合现实。随着人们对科学和技术、工程之间的关系认识逐步深入,甚至有人认为,随着科学技术的发展和融合,未来科学可能会消失,融入所谓的STEMM^[15],即科学、技术、工程、数

学和医学的混合体(Science, Technology, Engineering, Mathematics and Medicine)。

4 结 语

从科学发展历史的角度看,纯科学和应用科学之间并没有明显的界限。人为割裂科学,去追求“纯科学”的道德高地并不一定对科学的长远发展有好处。实际上,现在人们讨论更多的是科学如何和技术、工程、数学等更好地融合,而不是如何“提纯”科学。

但是,科学可以融合,科学发展的规律却不能违背。科学无论如何与工程技术日趋紧密,也一定有一个大前提,就是人们分工的日趋细化。也就是说,实际上会有更多人的目光聚焦于纯科学。融合并非使纯科学消失,而是使纯科学更加特色鲜明;融合的本意,也并非是要消灭科学,而应当是一些纯科学的问题更多地起源于技术和工程,以及纯科学能够更好地为未来的技术和工程发展指明方向。

参 考 文 献

- [1] Bush V. Science: the endless frontier; a report to the president on a program for postwar scientific research. United States Government Printing Office, Washington: 1945.
- [2] 杨卫. 不忘初心,牢记使命,建设中国特色的基础研究强国. 中国科学基金, 2018, 32(1): 1—3.
- [3] Schau D. What is basic research? Insights from historical semantics. *Minerva*, 2014, 52(3): 273—328.
- [4] Clarke S. Pure science with a practical aim: the meanings of fundamental research in Britain, circa 1916—1950. *ISIS*, 2010, 101(2): 285—311.
- [5] A Vision for UK research. Council for science and technology: London, UK, 2010.
- [6] OECD. The measurement of scientific and technical activities: proposed standard practice for surveys of research and experimental development—frascati manual, Paris: OECD, 1993.
- [7] OECD. Issues paper: Workshop on basic research: policy relevant definitions and measurement, Oslo, 2001. Paris: OECD, 2001.
- [8] 胡明晖. 美国科学基金会变革性研究资助政策及对我国的启示. 中国科学基金, 2016, 30(2): 159—162.
- [9] Larsen, ON. Milestones and millstones: social science at the National Science Foundation, 1945—1991. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers, 1992.
- [10] Green RJ, Lepkowski M. A forgotten model for purposeful science. *Issues in Science and Technology*, 2006, 22(2): 69—73.

- [11] Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. *Journal of Nanoparticle Research*, 2013, 15(9): 1946.
- [12] Roberts SF, Fishhoff MA, Sakowski SA, et al. Transforming science into medicine: how clinician-scientists can build bridges across research's "valley of Death". *Academic Medicine*, 2012, 87(3): 266—270.
- [13] Fisher MM. Innovation, knowledge creation and systems of innovation. *The Annals of Regional Science*, 2001, 35(2): 199—216.
- [14] Kline SJ. Innovation is not a linear process. *Research Management*, 1985, 28(4): 36—45.
- [15] Fara P. What is science? A historian's perplexities. *METODE Science Studies Journal*, 2015, (5): 189—193.

Evolution of the basic research concept and its relationship with applied science

Zheng Yanjun

(*Department of Engineering and Material Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*)

Abstract Basic research is regarded as the driving force for the progress of science and technology. It is of great importance to understand the essence of basic research. In this paper, the evolution of basic research concept and the relationship between basic research and applied science are briefly reviewed, and the future development of basic research under the background of the continuous integration of science, technology and engineering is discussed. It is noted in this paper that the core position of science should be highlighted in the integration process of basic research with technology and engineering. The purpose of integration is providing more topics of technology and engineering to basic research, and providing more guiding instructions from basic research to technology and engineering.

Key words basic research; applied science; convergence