

从学科分布的角度考察大型科学装置(工程)在科学发展中的地位

方勤学

(国家 863 计划 804 主题办公室 北京 100088)

〔摘要〕 本文分析了基础研究与应用研究的相关性,指出科学研究已从二维模式发展到包括规模在内的三维模式;而规模是以大型科学装置(工程)为基础的。文中还论述了大型科学装置(工程)的特点,在科研和社会活动中的地位、重要作用和意义。

〔关键词〕 基础研究 应用研究 科研模式 大型科学装置(工程) 〔中图分类号〕 N3 C93

自从上个世纪七八十年代以来,以大型科学工程的建造和以此为依托的科学技术研究异军突起,成为国家科学研究长远规划中重要的组成部分,也经常引起大量的争论。在当前国家讨论“十一五”至 2020 年的科学发展规划之际,进一步认清大型科学装置(工程)在科学研究和发展中的影响和地位,对国家制订长远规划有着特殊的重要意义。

一、探讨基础研究与应用研究相关性的历史回顾——从二维模式到三维模式

在科学研究规划和资源分配的讨论中,对于基础研究和应用研究的地位以及相互关系,始终是一个几乎无法得出结论的争论。追根溯源,这一争论起自于第二次世界大战。当时由于战争的需要,交战双方都直接应用了基础研究中的大量成果,甚至将某些基础研究的目标定位于武器研制(其中最具有代表性的例子就是曼哈顿计划与核武器的发展)。因此,总结这方面的经验时,美国战时科学研究和开发办公室主任万尼瓦尔·布什第一次将基础研究提高到前所未有的高度,断言道:一个在基础科学新知识方面依赖于他人的国家,将减缓它的工业发展,并在国际贸易竞争中处于劣势。^[1]所以,自“二战”以来,出于国家利益的需要,政府开始将基础研究列为对社会有重要影响的部分,为基础研究制订目标,直接进行投入。

布什的观点实际上含有 3 层意思:(1) 基础研究与应用研究不同,通常基础研究的含义为“基础研究的实施不考虑实际结果”,^[2]而它的重要意义在于加深对“一般知识以及自然界及其规律的认识”^[3];(2) 基础研究与应用研究之间存在着内在矛盾,主要的竞争点是观念和资金的分配,而“应用研究总是排斥纯研究”^[4];(3) 基础研究是应用研究的基础和先驱。以布什的观点为基础,形成了对科学研究及其对社会经济推动的基本模式:基础研究→应用研究→开发→生产经营,并且“每个后续阶段都要

依赖前一个阶段”^[5]。布什的观点对 20 世纪后 50 年发达国家的科学研究产生了不可估量的影响,各国政府对基础研究的投入给予了足够的支持,极大地推进了人类对自然界的认识,尤其是在物质世界的本质、宇宙的奥秘和人类的起源这些与现实生活几乎没有直接关系,但对人类认识自然界起关键作用的基础研究领域,有了极大的进步。

虽然布什的观点执科学研究政策之牛耳达 50 年之久,但是一直存在着不同的声音。例如,美国国家科学基金会第一任主席阿兰·T·沃特曼提出:“基础研究活动可以被细分为‘自由’研究和‘任务定向’研究;前者只管为其所做的科学承诺埋头苦干,后者则主要因其结果被期望有直接的、可预见的实用价值而获得资助。”^[6]沃特曼这段话实质上是对布什的观点加以修正,指出即使在基础研究中也存在具有既定目标的探索。

D·E·司托克斯则在深入考察自古罗马以来西方科学研究发展的进程,以及布什《科学——无止境的前沿》一文产生的历史背景和当前科学发展的特点等基础上,提出了将基础研究→应用研究→开发→生产经营的线性模式改为二维的象限模型(见图 1)。

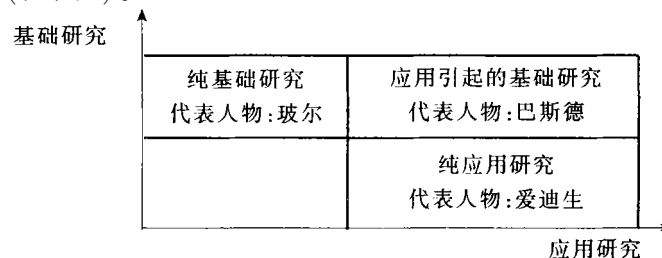


图 1 二维象限模式

其中“应用引起的基础研究”象限中的代表人物巴斯德是法国的物理化学家。在他的研究生涯中既有辉煌的基础研究成果,又有对实际应用做出的巨大贡献。按照司托克斯的观点,首先,基础研究与应用研究并不是简单的、单一方向的线性关系;其

次,在基础研究与应用研究之间存在着由应用所引发的基础研究。这种基础研究与纯基础研究之间的差别在于前者虽然也是从事基础研究,但需要在实现既定目标的前提下进行研究,而后者则由研究者完全根据自身的个人兴趣选择研究方向。

在司托克斯的象限模型中,应用研究和基础研究同样重要,具有同样的地位,并且在两者互相融汇之处留出了一个值得重视的象限,从而使对该问题的描述从一维发展成为二维。但是在司托克斯的模型中仍然留下了一个值得注意的问题,即所提出的3个代表人物(玻尔、爱迪生和巴斯德)的所有研究工作都是以个人为基础,都没有脱离以个人为核心的研究小组的工作方式。而自20世纪后半叶开始,一批以大型科学装置为基础的科学开始兴起,并且在科学研究中担负起排头兵的作用,因此在司托克斯的两维模式中应当再加一维,即科学研究的规模(见图2)。

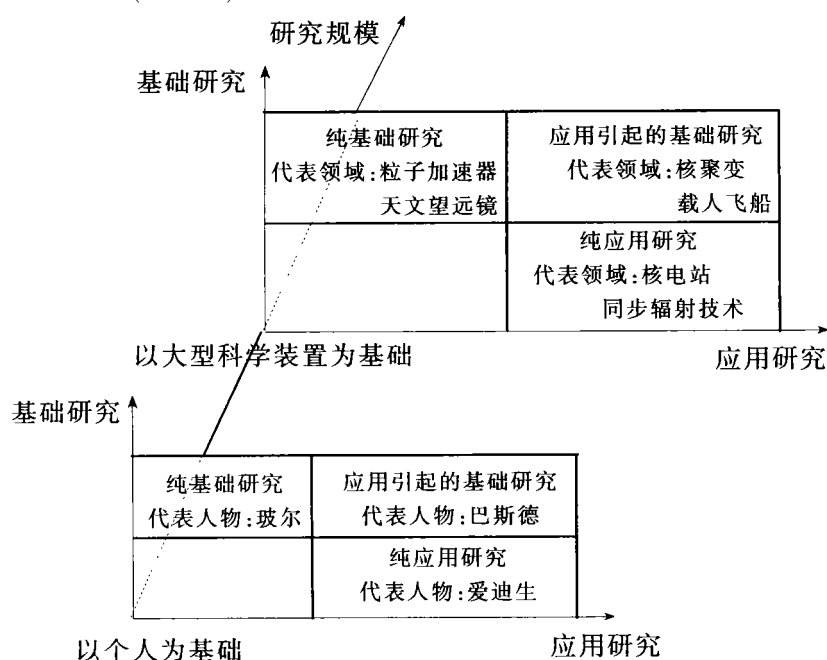


图2 三维模式示意图

二、大型科学装置用于科学研究的特点

以大型科学装置为基础的科学技术的出现是科学发展的客观需求,拓展了科学研究的领域,并为科学技术的发展提供了必不可少的研究平台。在对物质本源的研究中,随着对物质层次研究的不断深入,为了使结合紧密的物质能够被分解,作为分解工具的加速器的能量也越来越高。例如,为了对夸克层次物质进行研究,欧洲核子中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)的能量已经被设计到7TeV(10^{12} eV)。再如,为了实现受控热核反应,已经发展了以磁约束为基础的托卡马克装置和以

惯性约束为基础的“国家点火装置”(NIF)。其中每一种装置的造价都是数十亿美元。还有以探索宇宙奥秘为目标的大型天文望远镜和航天研究,则耗资更为巨大。

无论在怎样的一个经济规划中,科学研究总投资都不可能是无限的,因此对于大型科学装置在总投入中应占的比例,一直在不同的层面上存在着无结论的争论。其中最为引人注目的是,美国国会于1997年决定取消已经启动的超级超导对撞机(SSC)的研制。据说理由是装置耗资巨大,而所研究的粒子物理所提供的知识将是全人类共享,因此不应完全由美国单独负担。这一决定的实际结果是为欧洲人提供了机会,因而有了欧洲核子中心的大型强子对撞机(LHC)。

在以大型科学装置为基础的科学研究中,所体现的已经不再是某个科学家个人的科学兴趣,而是某个科学家群体的意志,有时是某个科学领域全体科学家的共同事业,甚至是一个国家科学家和政府共同的决心。由于大型科学装置的建造经费极其巨大、时间跨度也很长,整个工作已经不再是一个实验,而是一个巨大的系统工程,通常要经历科学问题的提出、装置的设计、向政府游说经费、立项、施工,以及开展实验和对实际结果进行分析等多个过程。整个工作将由不同的科学家群体分阶段完成,往往还有企业参与。例如以大型加速器为依托的高能物理实验研究,建造加速器和探测器的科学家群体基本上是两批人,而物理实验和理论分析也经常由不同的科学家群体承担。因此,任何一个以大型科学装置为依托的科学成果的取得,必然是1个甚至数个科学家群体共同努力的结果、是团队意志的表现,并且标志着一个国家的科学技术水平和高新技术研发的能力。与以个人为基础的

的科学研究相比,这里需要的不仅是科学的睿智,还需要有远大的科学眼光、强有力的组织协调和管理能力。同时因为整个工作的实质仍然是科学研究,领导者还必须尊重集体中每个人的首创精神。

为应用研究而建造大型科学装置,通常的目的是为多种领域开展研究提供技术平台。这些研究既包括纯基础研究,也包含应用研究。例如同步辐射装置和中子散射装置,都是基于加速器或核反应堆的大型科学工程装置,在这些装置上所开展的研究工作包含了化学、生命、材料和微电子等诸多领域(所以它们通常被称为装置的用户)。其中有些用户的研究课题属于基础研究,如,氢、氧离子结合为水的化学过程,生物分子运动过程中某些离子的作用;而有些研究课题则直接与商业开发相关,如新

型计算机芯片的开发。国外同步辐射装置的多数用户为商业公司,而同步辐射技术和装置本身的发展,则基本上是由用户的需求作为牵引动力的。

在以大型科学装置为依托、由应用引发的基础研究中,通常具有明确的科学目标,而这些目标往往又与国家的政治、经济和国家安全相关。由于具有此种性质,科学家之间往往无法实现超越国界的实质性合作,但是每个国家或经济组织出于安全或商业的需要,都不会轻易放弃这种类型的研究。因此,这类大型科学装置的建造工程更多地体现出国家的意志。

三、大型科学装置在科学研究和社会活动中的地位

在我国,对于大型科学装置是否应当得到支持、支持力度应当有多大,一直在各个层面上存在着不同的意见。在国家和政府的层面上,争论的核心多集中于:在我国经济实力还不十分强大,还有许多人没有解决温饱问题之时,国家是否应当拿出数亿到数十亿的经费建造这些与广大百姓的衣食住行没有直接关系的大型科学装置,尤其是这些工程往往产生不出任何可以预见的经济效益。在不同领域的科学家以及代表他们的管理人员中,争论的焦点则集中于建造一个大型科学装置的经费可以买多少套中小型仪器设备、装备多少个实验室、能够产生多少成果、发表多少文章等等。在所有这些争论中有一个问题值得注意,即不论支持还是反对大型科学装置建造的意见中,从来没有人对大型科学装置所支撑的科学研究在推进人类对认识自然规律上的重要性表示异议。争论的焦点集中于在目前的条件下是否应当进行投入,即从功利的角度对这类投入进行评价。

从国家的层面上考虑,大型科学装置的建造所表现的不仅仅是政府对科学研究的关注,同时还是一个国家综合实力的表现。因为一个大型科学装置的建造不仅体现出一个国家的科学技术水平,还是工程技术能力和人才素质的集中体现。利用核反应的规律可以制造原子弹的原理虽然已经是受过高等教育的人的常识,但是到目前为止,仍然只有少数国家有能力予以实现,以致掌握核武器制造的能力往往被看成是世界大国的标志。而一个国家在某些领域中具有建造大型科学装置的能力,同样是该国综合实力的标志之一。

大型科学装置之所以具有这种地位,首先是因为每一个大型科学装置对于国家(或者对于某个、某些研究领域)来讲,都是建造一个从来没有建造过的装置,以对某个尚不清楚的科学问题进行探索,因此必定在研制、建造过程中包含了大量需要

解决的科学技术的问题。这本身就是对一个国家已经掌握的技术(或者说技术能力)极限的挑战(例如正在建设中的大型强子对撞机上有的探测设备高达十几米,重量达几十到上百吨,而其中上百万个探测器的精密程度都要求精确到零点几微米)。这一点在各国之间互相竞争、互相保密的与国家安全相关的大型科学装置中表现得尤其明显。例如,在激光聚变研究所需要的高能量密度的巨型激光装置,要实现在纳秒时间范围内提供数万乃至数百万焦耳的能量,而设计和建造这样的装置,以及组成这些装置所有必需的高标准的光学元器件的尺寸、精度、耐受高能量密度的能力,都是人类从来没有遇到和需要解决的科学问题。同时由于是工程建造,所要求的已经不仅仅是一个科学研究的样品,而是成百上千的工业产品的有机集成。因此,这种装置的建造已经超出了通常意义上科学研究的范畴,直接表现为一个国家的综合国力。正是出于这种认识,美国人曾经将是否掌握激光聚变的能力作为衡量综合国力的标准之一。

大型科学装置的建造不仅是对技术的推进,而且还伴随着对科学的推动。因为大型科学装置要解决的是全新的科学问题,因此装置本身必定要在许多方面具有新的功能;而新的功能往往要求通过对自然规律的新认识予以实现,从而将成为推动某些相关领域发展的强劲动力。例如以受控热核反应为目标的磁约束托卡马克装置,其目的是将聚变的能量控制在安全的范围之内,使人类能够加以利用。为了实现这一目的,装置本身必须有耐受上百万度高温和强核辐射的能力,对聚变介质的约束和“第一壁材料”的研究始终是其中的重要课题。这样,研制大型装置的本身,也就成为等离子体物理和材料科学发展的强有力的推动力。再如:激光聚变的研究中,如何从泵浦介质中尽可能多地抽取能量,从而提高能量的转换率,已是材料研究中引人注目的科学前沿之一;在探测聚变发生的过程中要求在纳秒乃至飞秒的时间尺度内提取各种等离子体的能量、状态等在空间上随时间变化的信息,已经成为超快光电探测领域研究的强大推动力。上述的例子说明大型科学装置在推动科学研究向深度和广度方面发展具有极其重要的意义。

大型科学装置的建造需要有关产业界的参与。大型科学装置需要大量的新设备、新部件,投入的经费巨大,但是因为建造过程中主要经费流入本国的企业界,而不像常规科学装置可以依靠进口,所以是对国家产业能力的挑战,同时也为提升国家工业水平和能力提供了机会。例如支撑我国高能物理研究达10多年之久的北京正负电子对撞机的建造过程,就促进了我国多种企业的发展,尤其是真空行业基本上是以对撞机的建造为契机发展起来

的。另外, 因为大型科学装置的建造中所需要的部件数量巨大, 不再是实验室的规模而是工程规模, 因此要求规模化生产。例如在惯性约束研究中所需要的高质量光学玻璃制品, 无论从数量和质量的要求上都达到空前的程度, 这无疑为一个国家的光学和光学加工行业的发展提供了机会。

在大型科学装置的建造和运行过程中, 将派出大量的新技术。这些新技术的产生只是出于科学研究的需求, 没有人可以预料其社会和经济价值, 但是一旦出现适当的机遇, 就有可能产生出乎意料的结果。例如促成美国 20 世纪最后一次经济腾飞的网络技术, 就起源于粒子物理研究中的数据处理技术, 其来自于欧洲核子中心。为了处理实验产生的“海量”数据, 并使所有参与者能够及时获得这些数据进行物理研究, 欧洲核子中心发明了网络技术(其实在美国军方的核武器研究中早已用过类似的技术, 只是没有公开)。显然, 大型科学装置的建造与运行, 无疑是高新技术产生的重要源头之一。

对于一个国家来讲, 大型科学装置建造和运行的重要意义还表现在对人才的培养上。经过大型科学装置建造和运行的训练, 对参与人员在科学、管理、工程和处理重大问题的能力和素质上会有不可估量的提升。这种能力和素质所发挥的作用, 有时并不仅仅表现在这些科学家自身的研究领域中, 还会出乎意料地推动其它领域的发展。例如哈维·布鲁克斯注意到, 在原子核物理学领域受过训练的科

学家, 领导了“二战”时科学上的成功, 如雷达、导弹引信及原子武器等。他还注意到: 是受过原子核物理学训练的科学家, 而不是固态物理学家, 领导了半导体领域早期的重大拓展。在他看来, 这些交叉领域可能更少地涉及原子核物理理论, 而更多地涉及早已熟悉的复杂电子线路、仪器, 以及原子物理中尖端实验所需要的系统性思想^[7]。

总之, 大型科学装置的建造对本国的工业发展, 尤其是对高新技术企业的发展是一个巨大的推动; 是一个国家培养具有远大科学眼光的科学家、凝聚大型科学创新团队的必不可少的重要途径。正因为如此, 发达国家对大型科学装置的建造非常重视, 竞争的激烈程度远远超出其它领域。

参考文献

- [1] 万尼瓦尔·布什. 科学——无止境的前沿. 华盛顿: 国家自然科学基金会, 1990
- [2] 英国政府白皮书. Realising Our Potential: A strategy for Science, Engineering and Technology, Cm2250, p15
- [3] 同[1], p18
- [4] 同[1], p83
- [5] Second Annual Report of the National Science Foundation Fiscal Year. 1952, 11- 12
- [6] A·T·沃特曼. The Changing Environment of Science, 科学. 1965, 147: 15
- [7] 哈维·布鲁克斯. The Relationship between Science and Technology, 政策研究, 1994, 23: 482

(责任编辑 王宏章)

(上接第 55 页)

工产品和伪劣假冒产品难以销售, 遏制非法经营, 杜绝食品安全隐患。

结语 食品安全法律体系的健全和完善在各国都被当作一件系统的战略性任务、重要的基础性工作给予高度重视。我国的食品安全形势严峻, 据统计, 我国每年食物中毒报告例数约为 2~ 4 万人, 估计这个数字尚不到实际发生数的 $1/10^{[14]}$ 。我国入世后, 贸易伙伴的绿色壁垒对我国出口产品的影响也日益显现。国内外形势迫使我国的食品安全法律体系应尽快和国际接轨, 努力缩短和联合国粮农组织、世界卫生组织等国际标准的差距。

参考文献

- [1] 刘波, 冒乃和. 德国食品安全方面重要的法律法规[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(1): 57- 60
- [2] 傅旭. 确保人民群众吃到放心食品[N]. 人民日报, 2002- 05- 01
- [3] 刘波, 冒乃和. 食品安全体系的构建[J]. 福建农业学报, 2001, 16(增刊): 47- 50
- [4] 刘波, 冒乃和. 德国食品卫生与安全的法律要求[J]. 中国食物与营养, 2003, 5: 17- 18

- [5] 冒乃和, 刘波. 德国食品安全和食品添加剂的法律基础[J]. 食品科技, 2003, 2(总 136): 4- 6
- [6] 刘波, 冒乃和. 德国食品安全和残留限量的法律基础[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(2): 6- 8
- [7] 冒乃和, 刘波. 德国食品安全和转基因食品的法律基础[J]. 广西轻工业, 2003, (4)
- [8] 刘波, 冒乃和. “自然友好式”的欧盟有机农业“动物生产规程”[J]. 中国畜牧杂志, 2003
- [9] 冒乃和, 刘波. 德国食品安全和日用品的法律基础[J]. 广西轻工业, 2003, (2): 31- 34
- [10] 冒乃和, 刘波. 德国化妆品安全的法律基础[J]. 日用化学品科学, 2003, 26(3)
- [11] 王强. 国内外食品 GMP 对比分析[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(5): 36- 39
- [12] 单之玮, 佟建明. HACCP 应用现状及前景[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(1): 53- 56
- [3] 冒乃和, 刘波. 越筑越高的绿色壁垒——残留物最高限量标准[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(5): 40- 41
- [14] 杜海岚. 安全事件层出不穷食品安全迫在眉睫[N]. 法制日报, 2001- 08- 15

(责任编辑 肖庆山)