

# 试论大科学工程的基本特征和社会功能

王续琨, 张春博

(大连理工大学公共管理与法学学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要:**大科学工程是指建造用于重大科学研究项目的观测实验装置和验证重大科学理论-技术原理的物质装备的大型工程活动。大科学工程作为体现国家科学技术实力的一个重要标志,具有重大科学-技术创新性、“科学-技术-工程”整体关联性、多层次多部类跨学科综合性三个基本特征,在弘扬国威军威、振奋民族精神,催生新兴产业、带动企业创新,推动科学进步、促进技术创新,培育高端人才、传播科学技术等方面发挥着不可替代的作用。

**关键词:**大科学工程;大科学计划;大科学;基本特征;科学社会功能

中图分类号:G301

文献标识码:A

文章编号:1008-7699(2017)04-0001-08

大科学工程是科学技术高度发展的综合体现,是彰显国家科学技术实力的一个重要标志。进入新世纪以来,“大科学工程”概念在中国学术期刊和相关政府部门文件中的出现频次越来越高,“大科学工程”正在成为一个有吸引力的研究热点。大科学工程的基本特征和社会功能,是大科学工程研究的两个元问题。本文基于对“大科学”“大科学工程”概念涵义的考察辨析,对上述两个问题略陈管见,与学界师友进行初步的交流。

## 一、“大科学”与“大科学工程”概念的界定

“大科学工程”概念是“大科学”概念的扩充和延展。1961年7月,美国核物理学家、橡树岭国家实验室负责人阿尔文·温伯格(Alvin Weinberg, 1915—2006)在一篇文章中首次创用“大科学”(large-scale science, big science)概念,用于描述类似于美国“曼哈顿计划”这样的科学研究模式。他还列举了大型运载火箭、高能粒子加速器、高能核反应堆等实例,认为它们是“大科学”的纪念碑,是当今时代最显著的标志<sup>[1]</sup>。温伯格的文章引起英国科学史家、科学学家德里克·普赖斯(Derek J. de S. Price, 1922—1983)的高度关注。1962年6月,普赖斯在美国布鲁克海文国家实验室做了四场运用计量方法探讨科学发展规律的系列讲演。1963年,他的这组讲演稿汇集出版,以《小科学,大科学》(little science, big science)作为书名。普赖斯指出:“不仅现代科学硬件如此光辉不朽,堪与埃及金字塔和欧洲中世纪大教堂相媲美,且用于科学事业人力物力的国家支出也骤然使科学成为国民经济的主要环节。现代科学的大规模性,面貌一新且强而有力,使人们以‘大科学’一词来美誉之。”<sup>[2]</sup>他在书中没有为“大科学”概念作出清晰的界定,只是从活动规模的角度将科学发展的历史过程区分为“小科学时代”和“大科学时代”。

20世纪70年代末在中国大地涌起的改革开放大潮,为中国学术界带来了大量新的学术术语、新的科学学科。1981年,中国学术期刊上第一次出现以“大科学”作为篇名主题词的文献<sup>①</sup>。随着科学史、科学

收稿日期:2017-05-02

作者简介:王续琨(1943—),男,辽宁大连人,大连理工大学公共管理与法学学院教授,博士生导师;张春博(1985—),男,河北沧州人,大连理工大学科学与科学技术管理研究所博士研究生。

① 参见王健刚:《大科学体系中的研究所》,《内蒙古科技》1984年第4期。

哲学、科学学等一系列新兴学科的广泛传播，“大科学”成为描述现代科学特征的一个常用术语。令人遗憾的是，学者们撰写的大量文章和学术著作几乎都没有为“大科学”做出定义式的解释。下面列出笔者由 20 世纪 80 年代以来中国出版的工具书中摘选的几个“大科学”定义。

◎ **大科学** 由大量科技人员参加，投入大量科学研究经费的现代大规模科学研究活动。这一概念相对于历史上由个人或少数人利用简单设备所从事的小规模科学研究——“小科学”。……大科学是适应科学本身发展和社会对科学的需要而出现的。20 世纪以来许多尖端科学技术的发展，如原子弹和氢弹、人造卫星、宇宙飞船等，无一不是大科学的成就。（彭克宏主编：《社会科学大词典》，中国国际广播出版社 1989 年版，第 1149-1150 页）

◎ **大科学** 即科学技术和经济社会高度协同的，各学科综合汇流的，自觉规划管理的，以基础研究、应用研究为内容，并注重应用、开发研究的系统性的社会科学化、科学社会化的活动。（韩明安主编：《新语词大词典》，黑龙江人民出版社 1991 年版，第 69 页）

◎ **大科学** 亦称“大科研”。与“小科学”相对。指由大规模的集体进行的科学研究方式。具有项目规模庞大、结构复杂和多学科协作等特点。（《辞海（1999 年版缩印本）》，上海辞书出版社 2000 年版，第 765 页）

◎ **大科学**(big science) 具有大规模性质，拥有高度技术装备，对社会、经济、生产、生活、政治、观念等起重大影响的现代科学。如美国研制原子弹的曼哈顿工程、航天事业等。（金炳华主编：《马克思主义哲学大辞典》，上海辞书出版社 2003 年版，第 423 页）

基于上述定义，笔者在这里为“大科学”概念做出一个简洁的解释：大科学是指研究规模大、参与人员多、投入经费多的现代科学活动或科学研究项目。这个解释可能不够圆满，但它揭示了大科学最显著的外在特征，能够为多数人所接受。

中文的“大科学工程”概念的形成，大约经历了近 10 年的时间。借助于“中国知网”的《中国学术期刊（网络版）》的“全文”检索功能，笔者以“大科学工程”作为检索词对 20 世纪 90 年代以前的期刊文献进行了全文检索，找到了几篇在文中使用类似“大科学工程”概念的早期文献。例如，《内蒙古科技》1981 年第 2 期刊载的《国家科委负责同志谈当前科技方针》一文，其中有“‘大科学’的工程建设项目”这样的说法；《科技进步与对策》1984 年第 1 期刊载的《新的技术革命和科技体制改革》一文，使用了“大的科学工程”这个偏正词组。1988 年《科学学研究》发表的《发展基础研究和科学事业的几个政策问题》一文，是目前我们查询到的在文中使用“大科学工程”概念的第一篇期刊文献。

1995 年，中国学术期刊第一次出现以“大科学工程”作为篇名主题词的文献<sup>①</sup>。目前，在《中国学术期刊（网络版）》中可以检索到 70 篇以“大科学工程”作为篇名主题词的文献。20 世纪 90 年代中期之后，从《全国科技发展“九五”计划和到 2010 年长期规划纲要（汇报稿）》（1996 年）、《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》（2006 年）到《“十三五”国家科技创新规划》（2016 年），在科学技术部等政府部门的科学技术发展规划一类文件中，频繁出现“重大科学工程”“大型科学工程”“大科学计划”“大科学工程”等术语。例如，在《国家“十二五”科学和技术发展规划》（2011 年）中，“大科学工程”和“大科学计划”各出现了 4 次。

依据对相关文本的分析，我们可以初步认定，中文的“大科学工程”概念主要来源于对 big science project 或 huge scientific project 等英文词组的翻译。这是一种常见译法，正如美国的曼哈顿计划（Manhattan Project）经常被翻译为“曼哈顿工程”一样。然而，值得注意的是，中文语境的“大科学工程”概念经过多年的磨合使用之后，已经与英文 big science project（大科学计划）的所指范围不完全一致了。在国务院 2016

① 参见《上海水利》1995 年第 1 期《中国才兴建十大科学工程》一文。

年7月印发的《“十三五”国家科技创新规划》中,“大科学工程”出现了10次,“大科学计划”出现了8次,两个术语在多数情况下是并列使用的。例如,在第八章“持续加强基础研究”中,将“组织实施国际大科学计划和大科学工程”列为第三项任务:“调动国际资源和力量,在前期充分研究基础上,力争发起和组织若干新的国际大科学计划和大科学工程,为世界科学发展作出贡献。”虽然目前我们没有找到政府部门对“大科学计划”“大科学工程”概念的专门解释,但从使用方式、语境来分析,两个术语既有联系又有区别。“大科学计划”覆盖所有的大科学项目,其中既包含大量不以工程建造物为基本目标的项目,又包含那些以工程建造物为基本目标的项目。在《“十三五”国家科技创新规划》中,前者如医学免疫学、干细胞及其转化、基因编辑等,后者如物质深层次结构研究装置、热核聚变实验堆、平方公里阵列射电望远镜等。后者就是中国语境下的“大科学工程”。

中国学术界所使用的“大科学工程”术语,其中的“工程”不是泛化的广义工程概念,不包括价值工程、工业工程、金卡工程等软工程,更不包括希望工程、蓓蕾读书工程、菜篮子工程等社会工程,仅指作用于自然界、建造人工自然物的工程。在汉语中,这种语义的“工程”与“计划”不是对等或等义概念。为了标示中文“大科学工程”与“大科学计划”的语义差别,笔者主张用 big science engineering 来对译“大科学工程”。中国语境的大科学工程,强调的是其“造物”的工程性特征。

大科学工程作为一个动态的过程,自然离不开科学研究和技术开发所应用的基础设施或物质装备。然而,“大科学工程是科学技术领域的大型基础设施”<sup>[3]序-1</sup> 这种说法并不准确,应该说,科学技术领域的大型基础设施建设项目是大科学工程。2008年12月,在贵州省平塘县克度镇金科村一片名为“大窝凼”的喀斯特洼地中开工建设世界迄今最大单口径射电望远镜,该项目被命名为 FAST 工程。作为一项大科学工程,FAST 工程包括从项目规划、设计、立项到施工、试运营、运行维护的整个过程。500米直径球面射电望远镜是 FAST 工程的产物,工程产物不是工程的全部内涵,不能将这个目前独步天下的射电天文设施本身等同于大科学工程。

在笔者目力所及的辞典、百科全书中,目前还没有找到“大科学工程”的定义,这些工具书都没有将“大科学工程”列为条目。近年来,一部分中国学者在讨论大科学工程问题时,为“大科学工程”作过一些解释。有的学者认为,大科学工程主要指自然科学的探索性研究和具有前沿科学性质的大工程<sup>[4]</sup>。也有的学者认为,大科学工程是基础研究的一个重要组成部分,也是科学研究的国际前沿领域<sup>[5]</sup>。借鉴多家观点并依据对大科学工程实例的提炼概括,笔者在此为“大科学工程”做出一个尝试性的界定:大科学工程是指建造用于重大科学研究项目的观测实验装置、验证重大科学理论-技术原理的物质装备的大型工程活动。前者如大型粒子对撞机、大口径射电望远镜等,可以称之为科学探索型大科学工程;后者如原子弹研制、核聚变反应堆等,可以称之为技术开发型大科学工程。

## 二、大科学工程的基本特征

归属于大科学范畴的大科学工程,毫无疑问地应该具有前面述及的研究规模大、参与人员多、投入经费多等大科学的外显特征。但这些外显特征还算不上大科学工程的基本特征。有学者认为,大科学工程具有创新性、公共性、风险性、阶段性、持续性和开放性等特点或特征<sup>[6]</sup>。依据大量的大科学工程实例,笔者从研究目标、实施过程、知识范围三个视角对大科学工程的基本特征进行解析,概括出重大科学-技术创新性、“科学-技术-工程”整体关联性、多层次多部类跨学科综合性三个特征。三个特征互为依存,缺一不可,一项科学工程只有同时具有三个特征才是真正意义的大科学工程。

### (一)重大科学-技术创新性

从研究目标上看,大科学工程必定以服务于重大科学-技术创新为宗旨。这个特征可以将大科学工程

与小科学与工程区别开来。

所谓“科学工程”，可以理解为负载着科学-技术创新使命的工程活动或工程项目。为进行水力学模拟实验而修建小型混凝土水坝、港口防波堤模型，为研究微观粒子的运动轨迹而制造云雾室、气泡室、小型粒子加速器，在一定意义上都可以被视为科学工程。但它们所服务的研究目标都算不上重大科学-技术创新，因此这类科学工程只能归属于小科学与工程。就数量而言，在目前阶段小科学与工程仍多于大科学与工程。笔者认为，大科学与工程之“大”首先要理解为“重大”，即目标重大，面对的是重大科学难题和重大技术难题，或者说指向具有变革性、划时代性的重大科学-技术创新。只有目标重大，才有规模大、队伍大、投资大，才需要英才荟萃、学科汇聚、知识汇流。大口径射电望远镜用于探测未知射线、天体，大型粒子加速器用于探索物质的深层次结构，托卡马克核聚变实验装置用于寻找核聚变能量实际利用的途径，这些通过大科学与工程建造出来的大科学与工程装置都以服务于重大科学-技术创新作为根本宗旨。

以制造高精尖武器为直接目标的大科学工程项目，同样面对的是重大科学-技术创新。20 世纪 30—40 年代德国由沃纳·冯·布劳恩(Wernher von Braun, 1912—1977)参与和主持的运载火箭研制项目，是现代科学技术史上的第一批大科学工程之一。火箭技术起源于中国北宋时期的玩具“流星”或“起火”，南宋时期出现了用于战事的火箭。1913 年至 1926 年，美国工程师、发明家罗伯特·戈达德(Robert H. Goddard, 1882—1945)多次进行火箭试验。冯·布劳恩继承了戈达德的火箭梦想，他以一篇关于火箭发动机理论和实验研究的论文于 1934 年获得柏林大学的博士学位。1936 年，在波罗的海海滨的佩内明德建起了火箭研究中心，几年后聚集了数千人的研制队伍。由德国军方出资的运载火箭项目，其外显目标是研制以火箭作为推进器的导向性飞弹——V-2 导弹，实现炸弹武器的跨越式发展，而布劳恩的潜在科学目标则是“制造火箭并飞到外星球上”，“让人类走进太空时代”<sup>[7]</sup>。

始于 20 世纪 50 年代中期的美国核动力航空母舰设计建造工程，是一项分期实施的大科学工程，每一阶段既有应用科学家、技术科学家从事相关研究，又有大批工程师进行舰体和动力系统、通讯系统、舰载机设计，还有成千上万的工人、管理人员参与舰体、舰载机建造和设备安装。1961 年加入美国海军的企业号航空母舰作为世界上第一艘核动力航空母舰，实现了将核反应堆装上大型水面舰船、使用蒸汽弹射器改变飞机起飞方式、安装先进的相控阵雷达系统等项重大技术创新。经过 20 世纪 70 年代以来 40 年设计建造 10 艘尼米兹级航空母舰的经验积累，2017 年 4 月进行海上实测的福特号航空母舰，采用了新的大功率一体化核反应堆、带状电力分配系统、有源相控阵雷达、舰载机电磁弹射系统、新式舰载机、舰载激光防御系统等多项高技术、新技术。

## (二)“科学-技术-工程”整体关联性

从实施过程来看，大科学工程必然存在“科学-技术-工程”的成果转化链条，三者紧密关联。这个特征可以将大科学与工程与一般大科学项目、一般大工程项目区分开来。

美国的曼哈顿工程的主要目标是研制利用原子核裂变能的炸弹，该工程兼具科学属性、技术属性、工程属性，存在着“科学-技术-工程”的成果转化链条。从自然基础科学的角度来看，原子弹科学理论基础首先来源于阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)相对论中的质能方程式( $E=MC^2$ )。1939 年年初，德国放射化学家奥托·哈恩(Otto Hahn, 1879—1968)及其助手弗里茨·斯特拉斯曼(Fritz Strassmann, 1902—1980)提出核裂变概念，发表关于铀原子核裂变现象的研究论文。同年 9 月初，丹麦物理学家尼尔斯·玻尔(Niels H. D. Bohr, 1885—1962)及其合作者约翰·惠勒(John A. Wheeler, 1911—2008)从理论上阐述了核裂变反应过程，并指出能引起这一反应的理想元素是同位素铀 235。1942 年 6 月曼哈顿工程正式实施后，集中了一批实验物理学家、放射化学家等，继承已有的理论成果并从应用科学的角度研究核裂变的应用方向和技术原理，如恩利克·费米(Enrico Fermi, 1901—1954)验证了核裂变链式反应的可控性，吴健雄(1912—1997)解决了链式反应的连续性问题等。随后，一些科学家和研究人员开始对



实现技术原理的一系列技术难题进行攻关。欧内斯特·劳伦斯(Ernest O. Lawrence, 1901—1958)主持建造电磁分离设备进行同位素铀<sup>235</sup>的提纯;在费米的指导下设计和制造出世界上第一台可控核反应堆,首次实现了铀核的可控自持链式裂变反应;尤利乌斯·奥本海默(Julius R. Oppenheimer, 1904—1967)领导的洛斯阿拉莫斯实验室进行原子弹结构的设计。在做了一系列部件技术试验的基础上,1945年年初,随着内爆式设计方案的确定,大批工程师、技师、工人进行原子弹的零部件加工和整体组装工作。同年7月,顺利完成三颗原子弹的研究制造任务,7月16日成功地进行了世界上的第一次核爆炸。

大科学工程围绕着建造用于科学探索和技术开发的工程产品(包括仪器、装备、设施等,以下统称为大科学工程装备)来进行。没有大科学工程装备建造过程的科学活动,可能是大科学活动,但绝不会是大科学工程。1990年正式启动的人类基因组计划,美国、英国、法国、德国、日本、中国等国科学家共同参与,总预算30亿美元,历时15年。这些都满足大科学工程的外显特征。我们不主张将其看作是大科学工程,是因为其中不包含建造大科学工程装备的过程。基因测序仪器并不是具有明显技术创新性的实验观测工具。后期参与的国家可以从美国的专业生产厂家,买回适用的基因测序仪器,组织众多科学工作者进行大批次的基因测序工作和相关研究。大科学工程必定包含大科学,但类似于人类基因组计划这样的大科学活动未必就是大科学工程。区分大科学工程项目与大科学项目,主要看是否存在利用多种技术成果建造工程产品的过程。

有学者专门著文对“大科学工程”概念进行语义结构分析,认为其中的“大”既单独修饰“科学”又可以单独修饰“工程”,从而将大科学工程区分为“大科学-大工程”和“大科学-小工程”两种类型。<sup>[8]</sup>笔者以为,应该将大科学工程的“大”字理解为对“科学工程”概念整体的修饰,或者将其理解为既是对“科学”概念的修饰又是对“工程”概念的修饰。大科学只有通过众多技术环节与大工程实现有机整合,才是完整意义的大科学工程。

### (三)多层次、多部类跨学科综合性

从知识范围来看,大科学工程必须开展多层次、多部类的跨学科综合性研究。这个特征可以将大科学工程与重大创新性小科学项目区别开来。

近代科学兴起以来的几百年间,曾经出现过许多具有划时代意义的科学成就。这些科学成就虽然属于重大创新,但它们是单个人或少数人在一门学科或少数学科的范围通过艰苦探索而获得的,它们都不属于大科学工程的范畴。1905年,阿尔伯特·爱因斯坦在探索同时性的相对性问题的过程中,除了同他的伯尔尼专利局同事迈克尔·贝索(Michele Besso)做过讨论之外,几乎是单枪匹马地完成了具有划时代意义的《论动体的电动力学》一文,此文标志着成为狭义相对论的创立。狭义相对论竖起了近代科学走向现代科学的一座丰碑,但它的创立却与大科学、大科学工程无关。

20世纪40年代末,DNA被确认为遗传物质,DNA的分子结构问题引起了生物学家的浓厚兴趣,也吸引了化学家、物理学家的探索目光。几乎同时加入研究行列的科学家,主要有生物物理学家莫里斯·威尔金斯(Maurice H. F. Wilkins, 1916—2004)、生物物理学家罗莎琳·富兰克林(Rosalind E. Franklin, 1920—1958)、化学家莱纳斯·鲍林(Linus C. Pauling, 1901—1994)、生物学家詹姆斯·沃森(James D. Watson, 1928—)、物理学家弗兰西斯·克里克(Francis H. C. Crick, 1916—2004)。1953年,沃森和克里克建立了DNA双螺旋结构模型,标志着人类进入分子生物学时代。DNA分子结构作为一个研究课题,没有机构、团体进行统一组织、部署,参与其中的英国、美国科学家或者单兵突进或者两人携手,主要利用X射线衍射仪、照相机等已有仪器和装备,知识覆盖范围仅限于自然基础科学的生物学、物理学、化学,因此不能将其视之为大科学,更不能视之为大科学工程。

大科学工程着力于解决重大科学探索的装备建造和重大技术原理的工程实现问题,有着纷繁复杂的人力资源、物质资源组织过程,动辄几万人甚至十几万人、几十万人参与其中,既有自然物质资源的汇流,

又有社会文化资源的交融。从知识范围上来看,大科学工程需要实施大跨度的跨学科综合性研究。所谓大跨度,既有多层次的跨学科综合,涉及从自然基础科学、自然应用科学到自然技术科学-自然工程科学等不同学科层次的众多学科;又有多部类的跨学科综合,涉及从数学科学、自然科学、系统科学到哲学科学、社会科学、思维科学等不同科学部类的众多学科。美国的曼哈顿工程、阿波罗登月工程如此,中国的两弹一星工程、北京正负电子对撞机工程也是如此。

### 三、大科学工程的社会功能

科学学作为一门以科学自身作为对象的学科,探讨科学的社会功能问题是一个基本研究论题。科学学主要创始人之一、英国物理学家约翰·贝尔纳(John D. Bernal, 1901—1971)的经典科学学名作,以《科学的社会功能》作为书名。认识科学需要解读其社会功能,认识大科学工程也需要解读其社会功能。通过对大量实例的检视,笔者认为,大科学工程的社会功能具有以下四个主要方面。

#### (一) 弘扬国威军威, 振奋民族精神

以服务于重大科学-技术创新为根本使命的大科学工程,作为体现国家综合实力的科学技术“重器”,在政治上能够弘扬国威和军威、提升国际影响力、增强民族自信心。强大的国家,必须有强大的军事和国防、强大的加工制造能力,而这些都仰仗于大科学工程的有力支撑。20世纪50年代中期,面对国际上核讹诈和军备竞赛的严峻局势,为了对抗军事威胁、保障国家安全,以毛泽东为核心的新中国第一代领导集体,高瞻远瞩地作出了独立自主研制“两弹一星”(初期指导弹、原子弹、人造卫星,后来指导弹、包括原子弹和氢弹的核弹、人造卫星),发展现代化国防尖端技术的战略决策。历经十几年时间,数以几十万计的科学技术工作者、管理人员、工人奋发图强,在尖端武器制造和空间运载工具领域创造了前无古人的惊人伟绩。对此,邓小平曾指出:“如果六十年代以来中国没有原子弹、氢弹,没有发射卫星,中国就不能叫有重要影响的大国,就没有现在这样的国际地位。这些东西反映一个民族的能力,也是一个民族、一个国家兴旺发达的标志。”<sup>[9]</sup>20世纪70年代末至今,中国赢得30多年快速发展的国际环境,同中国国家威望的强力彰显有着直接的关系。

大科学工程成果在凝聚民心的基础上可以转化为振奋精神、鼓舞士气的强大精神力量。“热爱祖国、无私奉献,自力更生、艰苦奋斗,大力协同、勇于攀登”,熠熠生辉的两弹一星精神几十年来成为中国人民从事社会主义建设事业的巨大精神财富,激励着亿万群众在各自的工作岗位上忠于职守、勤奋工作。20世纪90年代初以来,中国新一代航天科学技术工作者继承并发扬“两弹一星”精神,紧盯世界航天科学技术前沿,从高起点出发,经过10多年的艰苦探索和奋力攻关,于2003年成功地实现了载人航天飞行的梦想。中国载人航天大科学工程的圆满成功,是两弹一星精神结出的丰硕成果,同时又进一步熔铸成特别能吃苦、特别能战斗、特别能攻关、特别能奉献的载人航天精神。

#### (二) 催生新兴产业, 带动企业创新

源于大科学工程的重大科学-技术创新,是孕育、滋生新产业的温床。美国曼哈顿工程的初始目标是制造实用的原子弹,蕴含于其中的科学技术命题却是核裂变过程的控制和核能的实际利用。第二次世界大战结束之后,大批科学家、发明家、工程家的目光转向了核能的和平利用,从而使曼哈顿工程成为核能产业的源头。1951年8月,继承了曼哈顿工程主要科学技术遗产的美国原子能委员会,在爱达荷州的钠冷快中子增殖实验堆上成功地进行了世界上第一次核能发电实验。1954年,苏联建成世界上第一座实验性核电站,装机容量5兆瓦。英国于1953年动工兴建世界上第一座原型天然铀石墨气冷堆商用核电站,装机容量45兆瓦,1956年开始向国家电网送电。1957年美国建成原型压水堆核电站,装机容量60兆瓦。20世纪50年代起步的核能产业,经过70年代的缓慢增长期和80、90年代的调整缓冲期,进入21

世纪后在进一步提高了核电技术安全性和经济性的背景下,总体上呈现稳步发展的势头。目前,33个国家和地区的核电站发电量约占全世界总发电量的12%以上,成为仅次于燃料发电、水力发电的第三种主要发电方式<sup>[10]</sup>。60年来,各个核电国家从铀矿勘探、铀矿开采和铀的提取、燃料元件制造、铀同位素分离、反应堆发电、乏燃料后处理、同位素应用等生产环境到核能生产相关的建筑安装、仪器仪表、设备制造加工、安全防护、环境保护等辅助环节,形成了完整的核能产业链,成为各国国民经济的重要组成部分。

由中国科学院等离子体物理研究所作为主要承担单位的超导托卡马克核聚变实验装置工程(以下简称托卡马克工程),1999年在安徽省合肥市开工建设,总经费预算为1.65亿元。该工程项目除制造安装实验装置主机之外,还包含低温系统高功率电源系统、真空抽充气系统、高功率低杂波驱动电流系统、高功率离子回旋共振加热系统、诊断测量系统、总控和数据采集系统、公用辅助设施和基础配套系统、环境保护安全系统、氦制冷机房、水冷系统等各个辅助子系统的制造安装任务。<sup>[3]102</sup>项目实施之初,整个工程被分解为4个大项共23个一级工程项目,通过招投标,北京、天津、上海、江苏、安徽、辽宁、湖北、湖南、广东、四川等省市的一批企业为托卡马克工程研制、加工生产相关设备或参与现场工程建设,带动了这些企业的产品创新,有力地促进了产业链某些环节的升级改造。

### (三)推动科学进步,促进技术创新

现代科学史表明,大科学工程对于20世纪中期以来的一系列重大科学-技术创新产生了无可替代的助推效应。通过大科学工程建成的大科学工程装备和以它们为依托的实验室,在科学观测和实验探索中发挥着重要作用。关于物质结构研究的许多重要科学发现,都依赖于大科学工程装备,如丁肇中利用美国布鲁克海文国家实验室质子加速器发现J粒子(1973年),欧洲核子中心的超级质子同步加速器发现W玻色子和Z玻色子(1983年),美国费米实验室的质子和反质子对撞机发现顶夸克(1995年)等。

20世纪80年代末,欧洲核子中心为实现大科学装置与实验室之间的海量数据传输和信息共享,接纳并深度开发了万维网技术,1993年宣布对外免费使用,从而使之迅速获得普及,成为20世纪末促成全球信息化、网络化的一项高技术。中国在20世纪80年代建设正负电子对撞机和90年代末建设超导托卡马克核聚变实验装置的过程中,有力地推动了磁铁技术、电源技术、高频和微波技术、超高真空技术、高精度测控技术、超导技术等高新技术的发展。落址北京天文台兴隆观测站的大天区多目标光纤光谱望远镜工程,大部分设备由国内相关机构研制加工,研究部门、设计单位、生产厂商形成了创新网络,促成薄镜面加工、镜面拼接、大口径高精度薄镜面检测等光学技术和适应野外工作环境的高精度、高稳定性大型机械设计制造、精确定位等精密机械技术的飞跃式进步。脱胎于望远镜工程的高密集大容量图像和数据处理技术、CCD探测器技术、计算机控制技术等,在国防和民用通讯、监测设备、仪器中获得了应用。

大科学工程作为新学科的生长极,滋育了各个相关领域的大批科学学科。以研制原子弹为主要使命的曼哈顿工程,推动了原子核物理学、核物理电子学、核工程学、核反应堆屏蔽工程学、铀转化工艺学等学科的发展,对计算机科学、系统工程学、价值工程学等学科起到了催生作用。阿波罗登月工程使空气动力学、喷气动力学、火箭学、火箭外弹道学、火箭发动机学、火箭装配工艺学等学科进一步走向成熟,为航天学、航天工程学、航天器动力学、航天材料学等空间科学学科的兴起和发展奠定了坚实的实践基础。

### (四)培育高端人才,传播科学技术

大科学工程是科学技术研究人才、科学技术管理人才成长的熔炉和战场。历时10多年的中国两弹一星工程,培养了大批导弹设计学、火箭发动机学、火箭制造工艺学、核物理学、中子物理学、核燃料学、爆炸力学、核武器工程学、卫星设计学、卫星动力学、航天材料学、航天工程学等学科领域的科学技术精英,也造就了众多的科学技术指挥将才。1958年8月,中国科学院近代物理研究所副研究员邓稼先被任命为第二机械工业部新筹建的核武器研究所理论部主任,负责领导核武器的理论设计。除了几位年纪相仿的同事之外,邓稼先从几所大学挑选了28名本科毕业生,这28个年轻人被称为原子弹研究的“28星宿”。

自称“不会造原子弹”的邓稼先,带领大家从翻译外文资料做起,边学边干,他自己则先行一步,学懂一部分就给大家办班,亲自讲课。实践出真知,实干出英才,一群年轻的核科学家在摸爬滚打中迅速成长起来。1980年中国科学院增选学部委员(院士),邓稼先领衔的核武器研究所理论部包括邓稼先本人共有6人同时当选为学部委员。其后,“28星宿”和后期进入理论部的研究人员又有多人先后当选为中国科学院、中国工程院院士。

大科学工程以其规模宏大、地位显要而引人注目。北京正负电子对撞机自1990年建成运行以来,迅速成为在20亿到50亿电子伏特能量区域居世界领先地位的对撞机,成为跨部门、跨学科共享用的实验研究基地,不仅取得了一批在国际高能物理学界有影响的重要研究成果,而且在传播科学精神、科学思想、科学知识方面发挥着特有的作用。在中国科学院公众科学日,对外开放的正负电子对撞机实验室迎来了成群结队的中学生、大学生和各行各业的参观者。在参观中,充满科学技术魔力、魅力的实验装置吸引着人们的眼光,激励着青少年树立向科学进军、探索未知世界的雄心壮志。从科学普及、人才培育的角度来看,一项大科学工程就是一所大学校。

### 参考文献:

- [1] WEINBERG A M. Impact of large-scale science on the United States[J]. Science, 1961(3473): 161-164.
- [2] D. 普赖斯. 小科学,大科学[M]. 宋剑耕,戴振飞,译. 上海:世界科学社,1982:2.
- [3] 杜澄,尚智丛. 国家大科学工程研究[M]. 北京:北京理工大学出版社,2011.
- [4] 檀平. 大科学工程的管理[J]. 中国投资,1999(12):38-39.
- [5] 邢淑英. 中国科学院大科学工程的管理[J]. 中国科学院院刊,2000(1):33-36.
- [6] 戴国庆. 我国大科学工程财务管理的现状以及对国际合作的影响分析[J]. 中国科技论坛,2005(1):25-29.
- [7] 雷·史宾伯格,黛安·摩瑟,沃纳·冯·布劳恩. 太空探索的先驱[M]. 潘丽芬,译. 北京:外文出版社,1999:4.
- [8] 李建明,曾华锋. “大科学工程”的语义结构分析[J]. 科学学研究,2011(11):1607-1612.
- [9] 邓小平. 中国必须在世界高科技领域占有一席之地[M]//邓小平文选(第三卷). 北京:人民出版社,1993:279.
- [10] 庞名立. 全球电力报告[EB/OL]. [2015-12-29]. <http://www.trqgy.cn/report/201512/25892.html>.

## Basic Characteristics and Social Functions of Big Scientific Engineering

WANG Xukun, ZHANG Chunbo

(School of Public Administration and Law, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** Big science engineering refers to the large scale engineering activity aiming to construct the observation devices in the major scientific research and material equipment verifying important principles of science and technology. As an important symbol of national capabilities of science and technology, big science engineering has three basic features: great innovativeness in science and technology, entire relevance among the science, technology and engineering, and comprehensiveness including multi-level, multi-division and interdisciplinarity. In the meantime, big science engineering has played an irreplaceable role in promoting national and military prestige, inspiring national spirit, spawning new industries, driving enterprise innovation, boosting scientific progress, facilitating technological innovation, cultivating high-end talents and disseminating science and technology.

**Key words:** big science engineering; big science project; big science; basic feature; social function of science

(责任编辑:黄仕军)