

我国核电技术的能力演进与追赶路径

刘兵,汪昕^①,费赫夫^②

(南华大学核能经济与管理研究中心,湖南衡阳421001)

[摘要] 我国发展第三代核电技术面临着技术先进性与适应性的协调问题。从我国核电技术能力的演进历程和经典Rothwell创新理论视野来看,我国第一至三代核电技术采取不同追赶路径与Rothwell第一至第五代创新模式具有一定的匹配性。目前我国核电技术追赶,需要抓住AP1000核电技术跨越式切入点,加快研发出三代的衍生产品;同时,政府通过引导系统集成网络创新、建立产品开发平台,积累自主创新的技术能力。

[关键词] 核电技术; 技术创新模式; 技术追赶; 系统集成和网络; 产品开发平台

[中图分类号] F407.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2013)01-0001-05

《国家“十二五”科学和技术发展规划》确定了“依托AP1000核电站建设项目,完成自主CAP1400的设计”的核电技术发展路线。在核电技术发生第三代轨道重大转变的时候,如何利用这个机会实现跨越式追赶,快速跃进到技术前沿?如何把握好技术先进性与适应性的关系,利用国内市场需求为技术学习和追赶提供支撑和导向?将是我国核电发展面临的严峻挑战。因此,通过对核电技术发展过程的观察和研究,寻求核电的技术能力成长规律和技术追赶合理性成为了非常有现实意义的事情。

一 我国核电技术的能力演进

截止2012年6月,中国大陆在役运行核电机组15台,装机容量11,881 MWe,不到全国电力装机容量的2%。到2020年,计划核电装机容量4000万千瓦,在建核电容量1800万千瓦左右,共5800万千瓦,占电力装机的4%^[1],我国核电进入了快速发展的阶段。核电技术一直是核电产业发展的关键性因素,总体来说,我国经过了三个发展阶段。

(一)20世纪90年代前

20世纪80年代,我国开展了“728”等核电工程项目,但由于各种原因,核电技术未能真正建设发展起来。1983年,国务院《核能发展技术政策要点》明确了发展压水堆机组的技术路线。1991年12月,

300MW秦山核电站并网发电,结束了我国大陆无核电的历史,从此我国具有了30万千瓦级压力水堆核电机组成套设备生产能力^[2]。我国核电发展初期处于政治封闭条件下,采用的是“两弹一星”式集中资源的举国体制模式,自力更生,艰苦创业,培养了队伍,建立了比较完整的工业体系及组织框架,但技术发展缓慢。

(二)20世纪90年代到本世纪初

20世纪90年代,国务院确立了以“引进+国产化”为主的核电技术发展路线。1987年8月,大亚湾核电站开工,引进法国M310技术,1993年8月投入商业运行,1994年成立了国务院直属的中国广东核电集团,1997年5月开工建设了岭澳核电站。从大亚湾核电站建设我们看到了与国际先进水平的巨大差距,认识到吸收发达国家先进技术的重要性。秦山二期在一期基础上以产品开发为主线,吸收法国技术,形成了四自主能力(自主设计、自主建造、自主管理、自主运营)的国际二代水平CNP600技术,这是我国自主设计建造商用核电站的跨越标识,并已应用援建巴基斯坦恰希玛核电站^[3]。设计的成功并不意味着技术的成功,中国的重工业和世界先进水平的差距呈现出来了,大量的核电关键部件必须到国外定做或者直接进口。为了跟踪和了解世界核电发展的潮流,做好各个方面的技术储备,我国

[收稿日期] 2012-11-12

[基金项目] 湖南省社科基金项目“战略性新兴产业的集群发展规律及培育对策研究”资助(编号:12YBA269);国家社科基金项目“我国核电产业技术效率测度研究”资助(编号:12CJY013);湖南省社科联项目“核不扩散体制下国际贸易的利益机制研究”资助(编号:1011281B)

[作者简介] 刘兵(1977-),男,湖南衡阳人,南华大学核能经济与管理研究中心副研究员。

①法国国立洛林大学博士生;②南华大学副教授。

采取了核电技术多头引进策略。

1998年6月,引进了加拿大的重水堆 CANDU-6 技术开工建设了秦山三期,2002年12月并网发电;1999年10月,引进了俄罗斯先进压水堆 AES91 技术开工建设田湾核电站,2007年5月并网发电,AES91 在某些安全性与经济性已达到国际上第三代核电的要求;中核建、中核和中核北方引进了法国、俄国、加拿大的核燃料元件制造技术。通过对多种技术的充分讨论、比选,我国的核电技术路线也明确了以二代加(即改进型第二代核电技术)过渡、发展第三代核电^[4]。

(三)2003 年以后

2003年9月,中核集团投入了1.7亿元,开始自主设计 CNP1000(中国百万千瓦级核电站)发展第三代核电,2004年9月设计工作完成,但一些环节存在知识产权问题,不能开发海外市场。2010年5月,在消化吸收法国 M310 核电技术的基础上,中核集团改进 CNP1000 技术形成的 CP1000 通过了专家评审,且具有自主知识产权,主要设备国产化率达到80%以上。我国三代核电技术在核心设计上的某些知识能力水平有限,在经济性与安全性能力方面与世界先进堆型相比尚有明显的差距。

2003年10月,全国核电建设工作会议决定“引进第三代核电技术,统一核电发展路线”。2004年,成立了国家核电技术公司主导国际第三代核电技术招标引进。2007年3月,浙江三门核电站确定使用西屋公司第三代核电技术 AP1000,中国开始尝试建设世界上最先进的第三代核电站。

目前,我国在建项目10个机组19台,装机容量21210兆瓦,主要是二代改进压水堆及 AP1000 的堆型(见表1),另外,湖南桃花江、湖北大畈、江西彭泽、广东陆丰等核电项目获得国家核准开展前期工作,堆型将以三代 AP1000 为主。按照国家大型核电重大专项示范工程计划,到2017年12月 CAP1400 核电站将并网发电。近几年,通过技术引进与合作,我国在较短时间内提升了自主制造水平,实现了反应堆压力容器、蒸汽发生器、控制系统、主泵等一批关键设备的自主化制造、在核电站锻件水平方面有大幅度的提高与创新,中国正在积极培育大规模 AP1000 核电制造能力。

二 核电技术创新模式

从我国核电技术发展过程来看,最初采取的是举国体制模式,是政府主导下的技术进步推动型创新,属于比较典型的 Rothwell 第一代技术创新过程

模型^[5]。具体步骤是,政府起草发展规划、然后给所属院所下达研发任务,科研单位负责具体实施(见图1)。由于各部门各自为战,科研力量分散,市场缺乏动力与合力,无法形成创新网络,亦无法有针对性地进行复杂技术的攻关,最终技术发展速度缓慢,且大多数科研成果并未成功地实现商品化^[6]。

表1 我国在建核电工程项目一览表

核电站	反应堆类型	电功率(MWe)	营运单位
台山一期	EPR1700	2×1700	广核集团
昌江一期	CNP600	1×650	中核集团
红沿河一期	CPR1000	2×1080	广核集团
宁德一期	CPR1000	2×1000	广核集团
福清一期	二代改进型压水堆	2×1000	中核集团
阳江一期	CPR1000	2×1000	广核集团
方家山	二代改进型压水堆	2×1000	中核集团
三门一期	压水堆 AP1000	2×1250	中核集团
海阳一期	压水堆 AP1000	2×1250	中电投
防城一期	CPR1000	2×1000	广核集团

数据来源:根据中国核电信息网数据统计



图1 我国核电“技术推动”创新过程图

20世纪末,由于中国的能源电力需求,核电发展在“技贸结合”与“技贸脱钩”的争论中选取了后者,国务院采取了“交钥匙引进+国产化”为主的技术路线适度发展核电,建立多个合作伙伴,引进多种核电技术,通过消化吸收再创新。这一阶段技术创新模式的特点是,市场需求及技术趋势对技术创新的促进作用十分明显,显示出第三代技术创新(交互)过程模式的特征,但也有一些不同之处,研发行为开始考虑技术储备,呈现出一些第四代集成创新特征。但复杂技术引进中核心技术通常是以“黑匣子”出现(无源代码),很难通过“拆卸”产品完全消化吸收先进技术。

我国核电技术虽然试图采取技术跟踪实现技术自有化和专业化发展。然而,复杂技术领域是发达国家仍然并力图长期保持竞争优势的领域,在这种条件下依靠引进完成追赶,是不可能实现的,最终,我国核电技术还是以模仿为主,既没有实现技术领先也没有占领市场。这个阶段的技术创新模式告诉我们,虽然学习外国技术对后进者来说是必要的,但如果不能从依赖外国设计的生产模式过渡到自主产品开发,一个国家的核电产业就不可能获得技术

能力。

核电站设计、制造、装配的周期长,组织结构复杂且要高风险规避的特点,第五代系统集成网络(SIN)创新是非常适合核电技术创新的模式。核电系统集成网络(SIN)的组织成员通常呈纵向供应链相对完整、横向企业高度分工协作的网状结构,强调合作与参与、有着强烈的供应链“区域内联”倾向^[7]。核电系统技术创新通常是从设计开始,以 AE 公司和 NSSS 公司为中心保持相对稳定,具有非常强的契约能力与协同能力,在项目初始就存在产品设计与开发的各种反馈。

因此,政府在引导集成网络创新(SIN)时,常常主导有重点、有针对性的技术引进。例如,我国哈尔滨电气做三代核电项目的四套常规岛的汽轮发电机,上海电气已经承接二、三代核电的蒸汽发生器的任务,一重、二重解决二代改进核电大型锻件基本问题,并正在攻关三代核电大型锻件,核动力研究设计院承担着国内二代加核电项目核岛主系统或核蒸汽

供应系统的工程设计与技术服务,国核技负责 AP1000 的整体消化吸收。总体来说,我国通过集成网络创新(SIN),二代核电技术我们已经消化、吸收和自主创新实现了国产化,第三代核电技术通过消化吸收和自主攻关我们也一定会掌握。但是,由于集成网络创新(SIN)模式实施较晚,内部部门之间集成力度欠缺,外部伙伴之间合作互动不够,原创性的产品和技术显得不足,自主创新能力与国际领先企业仍有一定的差距^[8]。

三 核电技术追赶路径

对于发展中国家而言,通过技术追赶,提高自主创新能力,是加快推进工业化进程和实现对发达国家经济赶超的重要驱动力。但是寻找怎么样的技术追赶路径一直是技术发展的重要问题。根据核电产品生命全周期初始、成长、成熟、退役分析,我国发展三代核电采取了不同的追赶路径(见图 2)。

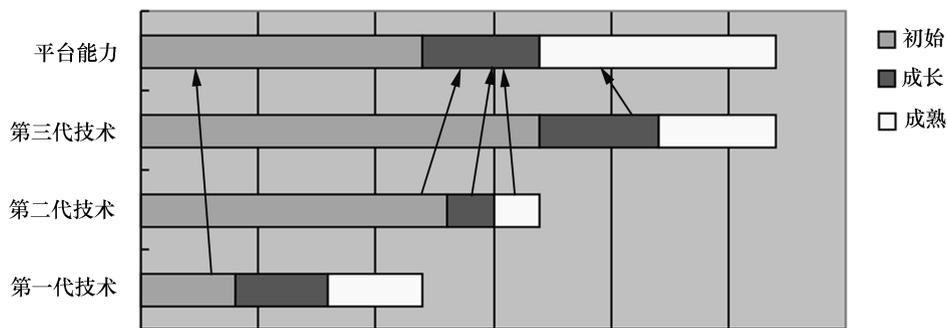


图 2 我国核电技术追赶路径图

第一代核电技术是从产品初期开展自主研发,由于知识条件薄弱,技术发展缓慢,最终跟发达国家相差甚远,但通过依托强大的国家核工业基础,建立了比较完备的核电工业体系,打造了比较好的平台能力。实践证明,通过企业封闭式自主研发路径,发展中国家难以实现对发达国家的赶超^[9]。由于感受到技术的差距,我国第二代核电技术是从核电产品初始自主研发、成长期与成熟期的分别引进三个阶段同时开展。

我国秦山二期的 PWR600 是基于秦山一期的 PWR300 原型堆开始的自主开发,在设计建设过程中也吸收了大亚湾的一些关键技术;大亚湾引进了法国成熟的二代 M310 技术建成大陆首座百万千瓦级大型商用核电厂,在成功经验上又开展了岭澳核电项目。我国在秦山三期引进加拿大的 CANDU 与田湾核电引进俄罗斯的 AES 技术就是从产品成长阶段开始,技术引进加产品引进同时进行,用了近 9

年时间才并网发电。通过对多种路径的尝试、广泛的知识网络的构建和基础研究的投入,我国基本跟踪和了解了国际二代先进水平。通过对发达国家先进技术引进,我国核电业大幅度节省了技术追赶的时间和成本,但同时也面临着发达国家的技术锁定,在核心能力以及配套产业上的薄弱,核电技术自主创新近在眼前却遥不可及^[10],自主化、平台能力进展迟缓。

痛定思痛,业界人士终于认识到广泛适用于一般技术追赶的“OEM-ODM-OBM”线性路径追赶,在核电技术上并不能适用。适逢国际发展第三代核电技术的重大转变机遇,我国采用了统一行业标准、跳跃式技术追赶路线,跳过初始期的研发,整体引进成长期的西屋的 AP1000 技术,通过后发优势一步跨越发展第三代核电。政府整体引进技术平台,将企业、研究机构等各种要素组合成为一个强目的性的技术活动系统,并投入了 131 亿元大型核电重大专

项资金(其中1/3将用于技术的消化吸收),整合生产链、知识链、协同控制耦合,培育有自主知识产权的产品开发平台与规模化的核电装备制造能力^[11-12]。

四 总结与启示

我国核电技术起步早、进步慢、差距大。这个被动局面使业内人士倍感压力。技术追赶的过程,意味着技术能力从落后逐渐走向领先,从比较劣势走向动态比较优势。发展中国家的技术进步,不是如何利用已有的技术能力基础去更好地开发产品,而是如何从学习领先国家产品技术的过程中去获得能够导致自主开发的技术能力。

(一) 稳步推进核电技术跳跃式发展

复杂产品系统后发优势理论认为,发展中国家复杂产品技术追赶,往往不是按照发达国家的技术路径来前进,而应跳过复杂产品的几个技术发展阶段直接进入当代最新的技术经济范式。技术追赶跳跃模式的前提条件是产业的技术范式出现由于重大技术创新,能够充分利用技术后发优势^[13]。

基于以上理论,我国良好的核电产业基础有跳跃式发展第三代核电的充分条件。21世纪初以来,世界发达国家申请建设许可证的核电机组几乎都是第三代的。我国也选择了 AP1000 第三代核电技术作为未来发展主流。与第二代核电技术相比, AP1000 在堆芯熔化和大量放射性向环境释放、模块化的设计与建造技术有比较大的技术突变,特别是采用非能动性安全体系堆芯熔化概率(5.08×10^{-7})、大规模释放概率(5.94×10^{-8})比第二代有两个数量级优化。国际核电装备制造商会由于前期成本锁定,反而为我国选择 AP1000 第三代技术跳跃发展,提供了自主能力、特别是自主装备能力领先突破的切入点。

然而,面对我国核电大发展的需求,我国是主流建设二代核电,还是控制批量建设二代机组规模、为三代 AP1000 核电项目预留空间,成了发展战略的焦点。笔者认为要根据复杂技术学习的规律合理协调 AP1000 技术先进性与工程适应性的关系。AP1000 技术学习应该是一个长期过程,最佳途径是利用国内市场需求的机会,加速发展安全的核电建设,通过二代核电工程实践迅速研发出三代的衍生产品,利用一些非重大创新的机会,快速积累起自主创新必需的技术能力与经济实力。未来 AP1000 技术市场,既可以在后期核电工程中体现,也可以去抢占国际市场。AP1000 核电建设需要稳步进行,核电

新生事物经不起大的技术风险。

(二) 积极建立起核电产品开发平台

我国曾经克服种种困难在两弹一星等复杂系统领域实现了突破,但在具有良好核工业条件下核电却步入了“引进落后再引进”的怪圈,最根本原因是没有认识到引进与能力的本质性关系。复杂产品系统技术能力必须以建立起能自我适应的产品开发平台为基础。在技术学习中,需要一个包含了产品序列、研发人员、设备和经验知识的有组织的活动系统,有效地吸收一切来源的知识,获得可持续发展能力的基础产品开发平台。核电技术进步过程中,需要在知识、经验和技能多个领域而不是单个领域的胜任,需要把各个领域的技术知识综合起来(集成),与关联环境进行“匹配”形成产品开发平台。技术能力产生于产品序列与企业学习系统和知识系统的互动和共同演进^[14]。

产品开发平台是技术能力生成和成长的组织层次,是战略性的,需服从于工业组织追求竞争力的目的。具有明显政治因素的核电技术产品开发平台必须在政府主导下进行,政府能集中技术、市场、组织、体制等资源,组合研发力量、形成强大的行业合力,促进集成网络创新模式(SIN),提高技术引进效率并降低技术引进成本^[11]。

[参考文献]

- [1] 国家发改委. 核电中长期发展规划(2005—2020年)[R]. 北京:2007:10.
- [2] 孟凡生. 我国核电技术发展与创新能力的探析[J]. 科技管理研究,2008(12):4-5.
- [3] 刘兵,汪昕,王铁骊,陈甲华. 湖南战略性新兴产业集群发展的组织模式研究——关于湖南核电产业集群供应链发展的思考[J]. 南华大学学报:社会科学版,2012(2):1-4.
- [4] 张国宝. 转变能源发展方式,加快发展核电产业[J]. 中国核电,2010(2):15-18.
- [5] Rothwell R. Developments Towards the Fifth Generation Model of Innovation[J]. Technology Analysis & Strategy Management,1992(1):73-75.
- [6] 张炜,杨选良,张宏涛. 20世纪后期我国电话交换机技术创新过程模式研究[J]. 中国软科学,2007(6):1-8.
- [7] 杨瑾. 复杂产品制造业集群供应链系统组织模式研究[J]. 科研管理,2011(1):153-160.
- [8] 张炜. 技术创新过程模式的发展演变及战略集成[J]. 科学学研究,2004(2):94-98.
- [9] 林善波. 动态比较优势与复杂产品系统的技术追赶——以我国高铁技术为例[J]. 科技进步与对策,2011(7):

10-14.

- [10] 杨志刚. 复杂技术学习和追赶—以中国通信设备制造业为例[M]. 北京:知识产权出版社,2008.
- [11] 刘延松,张宏涛. 复杂产品系统技术能力演进与业务模式升级—理论探讨及案例研究[J]. 科学学研究, 2009(2):487-490.
- [12] 刘兵,邹树梁,李玉琼,曾经莲,陈甲华. 复杂产品系统创新过程中产品开发与技术能力协同研究[J]. 科

研管理,2011(11):59-62,70.

- [13] 缪小明. 复杂产品创新中的政府政策与技术追赶策略研究[J]. 科学管理研究,2006(4):27-30.
- [14] Helfat, Constance, Ruth Raubitschek. Product Sequencing: Co-Evolution of Knowledge, Capabilities and Products [J]. Strategic Management Journal, 2000 (21):961-979.

Technology Capacity Evolution and Technology Catch-up in China Nuclear Power

LIU Bing, WANG Xin, FEI He-fu

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: The development of the 3rd generation nuclear power technology in China face some problems. This paper presents the brief history of the technology capacity evolution, discusses the innovation models rationality by the characteristics of the 1st to the 5th generation innovation models by Rothwell, and analyzes the technology catch-up path from the 1st to the 3rd generation of nuclear power. To grasp the chance of importing the AP1000 technology, we should improve R&D of the 3rd generation nuclear power derivative, and present advice to government to induct System integration and networking(SIN) and build the product development platform for sustainably improving the independent innovation technology capacity.

Key words: nuclear power technology; technological innovation model; technology catch-up; system integration and networking(SIN); product development platform

正确看待改革发展过程中的利益调整

徐国亮、武中哲在《学习与研究》2012年第7期撰文指出,在改革开放的过程中,利益调整是必需的。利益调整在提高整个社会创造力的同时,又会引发社会矛盾,而某些领域的矛盾和冲突会成为发展的障碍。鉴于此,我们应该正确对待改革发展过程中的利益调整。首先,利益调整要以促进发展为前提,这就要求我们以改革发展的总目标来对待利益调整,在利益调整过程中贯彻机会均等原则,形成一种公正的竞争秩序,既体现利益调整促进效率作用,又能较好避免可能由其引发的利益冲突。其次,要正确把握利益调整的“度”。对利益调整引发的矛盾,既不能熟视无睹,也不能诚惶诚恐,关键是把握“度”,就是以不威胁到社会稳定的利益调整为限度。要坚持把改革的力度、发展的速度和社会可承受的程度统一起来。最后,要正确看待主要社会群体弱势化的趋势,在改革过程中,工人、农民社会群体存在弱势化的趋势。主要表现在普通工人和农民的相对收入水平增长较少,社会地位有所下降。应当看到,工人、农民主导改革开放的中坚力量,他们在改革中利益的相对剥夺是制度不健全的后果,而这种状况必然随着各项制度趋于完善而得到根本扭转。