

我国核电实现跨越式发展的优势、挑战与建议

肖新建、高世宪、韩文科

摘要：当前，我国核电具备了实现跨越式发展的条件。本文从核电的技术路线选择与实现、装备生产能力、核电建设资金、人力资源等方面，分析了我国核电实现跨越式发展的机遇和挑战，提出了加快出台引导核电产业健康发展的法律法规、严格执行中央的发展战略、加快人才培养和引进、推动核电装备制造业自主化跨越式发展等一系列政策建议。

关键词：核电、跨越式发展、优势、挑战、政策建议

1 我国核电发展现状及背景

1.1 核电发展现状

一次能源的多元化，是我国能源安全战略的重要保证。核能是一种安全、清洁、可靠的能源，积极发展核电是优化我国以煤为主的能源消费结构的重要措施之一。新世纪以来，我国对核电的发展逐步有了比较统一的认识，制定并公布了核电中长期发展目标。

改革开放以来，我国核电经历了起步和小批量建设 2 个发展阶段，目前，正在进入规模化、批量化发展的新阶段。

到 2008 年底，我国已建了浙江秦山、广东大亚湾和江苏田湾 3 个核电基地，拥有 11 台运行核电机组，907.8 万 KW 的装机容量、占全国电力装机总容量的 1.15%。

2008 年，我国核电总发电量 684 亿 KWh，比 2007 年增长 8.8%，核发电量约占全国总发电量的 1.99%。

截止 2008 年底，我国在建核电机组 11 台、装机 1102 万 KW，预计在建项目到 2013 年底全部投入商业运行（表 1）。

表 1 截至 2008 年底已建及在建核电厂情况

状态	核电厂名称		堆型	额定功率 (MWe)	开工日期	(拟) 商业运行
已运行	秦山核电厂		压水堆	310	1985-02-21	1994-04-01
	广东大亚湾核电厂	1 号机组	压水堆	2×984	1987-08-07	1994-02-01
		2 号机组			1988-04-07	1994-05-06
	秦山第二核电厂	1 号机组	压水堆	2×650	1996-06-02	2002-04-15
		2 号机组			1997-04-01	2004-05-03
	广东岭澳核电厂	1 号机组	压水堆	2×990	1997-05-15	2002-05-28
2 号机组		1997-11-28			2003-01-08	
秦山第三核电厂	1 号机组	重水堆	2×700	1998-06-08	2002-12-31	
	2 号机组			1998-09-25	2003-07-24	
田湾核电厂	1 号机组	压水堆 VVER	2×1060	1999-10-20	2007-05-17	
	2 号机组			2000-09-20	2007-08-16	
在建	广东岭澳核电厂	3 号机组	压水堆 二代加	2×1080	2005-12-15	2010
		4 号机组			2006-06-15	2011
	秦山第二核电厂	3 号机组	压水堆	2×650	2006-04-28	2010-12
		4 号机组			2007-01-28	2011
	红沿河核电厂	1 号机组	压水堆 二代加	2×1080	2007-08-18	2012
		2 号机组			2008-03-28	2013
	宁德核电厂	1 号机组	压水堆 二代加	2×1080	2008-02-18	2012-12
2 号机组		2008-11-03			2013	
福清核电厂	1 号机组	二代加	1080	2008-11-21	2013	
阳江核电站	1 号机组	二代加	1080	2008-12-16	2013	
方家山核电站	1 号机组	二代加	1080	2008-12-26	2013	
已运行合计	11 台			9078		
在建合计	11 台			11020		

1.2 跨越式发展核电的条件及背景需求

“十一五”期间我国确立了积极发展核电的方针,随着国民经济发展对电力,尤其是清洁电力需求的不断增长。近两年,我国对核电发展越来越抱有更大的热情及信心,在积极发展核电的方针基础上,尽可能多地发展核电的思路被广泛接受。预计我国到 2020 年中长期的核电发展将调整到建成 6000 万—7000 万 KW,在建 3000 万 KW 左右的目标,我国核电产业将实现跨越式发展。

基于我国核电产业此前的发展基础,以及近年来的发展势头和现状,我国核电产业实现中长期的跨越式发展目标是一定的优势及可靠性条件的。目前,我国除已建 907.8 万 KW、在建 1102 万 KW 外,拟在近几年开工建设的核电机组还有 23 台、装机总容量达 2590 万 KW。其中已核准 15 台、装机 1688 万 KW,已核准但未开工建设的核电机组中,除三门和海阳核电厂 2 台机组拟采用三代核电 AP1000 技术外^①,其余均拟采用二代改进型压水堆技术;路条 8 台、装机 902 万

^① 目前三门和海阳核电站四台机组为路条状态(即已开展了前期工作,具备了可核准的条件,但未经核准的状态),但由于是国家自主化依托项目,拟采用引进的三代 AP1000 技术,因此可当作已核准项目,且 2007 年 12 月 31 日时国家已授权三门和海阳核电站一号机组开工。

KW，路条的除台山核电厂拟采用 EPR 技术外，其余均拟采用二代改进型压水堆核电技术。目前全部的在建机组和拟建机组预计完全投运时间为 2017 年。因此，至 2017 年前后，我国可以建成 45 台机组，4599.8 万 KW 装机，按时间推算基本上可以提前 5 年完成到 2020 年的中长期发展目标。

当下，从项目建设、自主引进消化吸收、国家重大科技专项以及核电标准化体系建设等方面，我国正稳步加以推进。(1) 一批新的核电机组正在开工建设，百万千瓦级核电机组设计与设备制造自主化工作全面展开，第三代核电自主化依托项目招标工作成功完成；(2) 首个三代核电技术项目已开始实施，选用美国西屋公司的 AP1000 核电技术，建设浙江三门和山东海阳 2 个依托项目；(3) 先进压水堆和高温气冷堆核电站列入国家重大科技专项，总体实施方案通过国务院审查，专项具备正式启动实施条件，第一座 20 万 KW 高温气冷堆商用示范电站前期工作已经开始；(4) 正在建立与完善同国际水平接轨的我国核电标准体系，成立了我国核电标准建设协调机构。

因此，我国核电有着跨越式发展的基础及条件。

2 我国核电跨越式发展的机遇与挑战

同时，我国核电跨越式发展，从技术路线选择与实现、装备生产能力、核电建设资金到人力资源方面也面临着一些机遇和挑战。

2.1 技术路线选择与实现

长期以来，我国核电发展走的弯路很多，尤其是在技术路线上摇摆不定、为“统一技术路线”争论不休。2006 年底，我国做出了引进美国西屋第三代核电技术 AP1000 的决策，同时在 2007 年间开始了多台二代改进型机组的建设。2007 年 5 月，作为实现我国第三代核电技术引进、工程建设和自主化发展的主要载体和平台的国家核电技术公司成立。这一系列决策表明我国批量化、规模化发展核电态势下，有关技术路线选择的争论已告一段落，接下来按照即定的决策推行下去，即在现阶段引进、消化、吸收第三代核电技术 AP1000 的同时，加大对二代改进型机组的建设及提高自主化比率，待三代核电技术 AP1000 建成，达到自主化目标之后，再以三代核电机组为主导批量建设核电站。

在对第三代核电技术完全消化吸收之前，我国将以二代改进型机组（CPR1000、CNP1000 等）为主导，适度批量化发展我国核电。目前我国正在建设的二代及二代改进型机组有 11 台，容量有 1102 万 KW（表 1），拟在近几年建设的二代改进型机组有 17 台，容量达 1750 万 KW。通过这些二代改进型机组核电站建设，自主品牌 CPR1000、CNP1000 核电技术标准化、规模化发展格局将全面形成，将有效全面实现我国二代改进型核电技术“四个自主”（自主设计、自主制造、自主建设和自主运营）的发展目标。

三代核电技术将是我国近 20 年内核电发展的主导，我国依托浙江三门和山东海阳核电厂的共 4 台机组项目，实施对第三代核电技术 AP1000 的自主化消化、吸收、再创新和建设，预计到 2013 年前后，三代核电首堆工程建成期，初步实现三代核电技术的自主化目标；2014、2015 年左右，三门和海阳 4 台机组全部建成时，将进一步提高三代核电技术的自主化比率，并开发设计出我国具有完全自主知识产权的三代核电技术 CNP1400。届时，将以三代核电技术为主导，批量化建设核电站，扩大我国核电的比重，实现核电发展战略目标。我国核电发展战略已经形成，现在是埋头苦干的时候，不需再过多的争论。

2.2 核电装备生产能力

核电装备产品主要包括核岛和常规岛的机械、电气和控制设备，辅助设施的机械、电气和控制设备，其中与安全直接相关的核级设备占一半强，与安全不直接相关的非核级设备占一半弱。核电装备制造并非一个独立的产业，核电装备产品的制造主要分布在装备制造业的以下几个行业中：金属材料与大型铸锻件制造业、重型容器与设备制造业、发电设备制造业、电气与控制设备制造业、通用机械（阀门，水泵等）制造业等。核电装备制造是以上这些装备制造业的有机组成部分之一，其发展依托于以上装备制造产业的发展。

至今，我国核电装备制造业已得到较大发展，目前我国 30 万 KW、60 万 KW 及百万千瓦级核电站的国产化率水平分别在 90%、70%和 50%左右。预计 2012、2013 年前后，我国百万千瓦级核电的装备的自主化率将达到 75%以上。

世界核电发展黄金时期是二十世纪六七十年代，这一时期法国的核电装备制造最高达到每年完成 5 台核电机组的能力，日本核电装备制造也曾达到每年完成 3 台机组的能力。三四十年后的今天，世界核电装备制造业已经远远高于当时的水平，我国的核电装备制造能力也取得了长足进步。我国三大装备制造基地目前已经改扩建，上海电气临港基地将于近年建成年产 2.5 套百万千瓦级机组能力，哈尔滨电站在秦皇岛和大连将建成年产 2 套百万千瓦级机组能力，东方电气在海南将建成年产 2 套机组能力，全国即将形成年产 6 套百万千瓦机组的能力，考虑 2008 年 5 月份四川大地震对东方电气设备制造业的影响，推迟一段时间形成装备制造的产能，迟至 2010 年初，我国的核电装备制造业将具备国产化率 50-70%的年产 6 台百万千瓦级机组的产能。考虑到未来核电发展的巨大市场需求和我国已具备的常规装备制造业能力，只要政策及配套措施到位，2012-2013 年，我国有可能具备国产化水平达 75%以上、年产 8 台百万千瓦级核电机组的能力。这一点也可以从我国大型水轮机制造、超超临界发电机组制造，以及每年上亿千瓦的发电装备制造和安装能力得到证明。目前，我国常规电力的装机增长速度已经达到每周 2 台百万千瓦机组的高速度，上述已知核电建设的装备约一半为常规的非

核级装备，可以由我国常规电力装备产能稍加改进而替代，剩下的一半左右为核级装备，因此，每年生产 8 台百万千瓦级核电站的速度从设备生产能力上看并不难。

目前核电装备制造业的挑战与隐忧在于：

(1) 核电装备制造业标准化体系没有建立。

(2) 目前批量建设的二代改进型机组自主化率不高，有的核心技术缺乏，百万千瓦级核电装备国产化率仅 50% 左右。基于核电站安全第一考虑，发达国家现在已经不再将二代及二代改进型技术用于新建的核电站，并且还将逐步淘汰原有的二代核电机组。但我国目前批量建设（包括在建和拟建）的大部分机组仍为二代改进型机组，共 28 台、容量达 2852 万 KW，目前我国装备制造业产能以此为主导而建设的，跟不上未来国家核电发展对三代技术的配套装备的需求。

(3) 市场因素起作用，二代改进型技术的装备制造业产能将进一步挤兑三代核电技术的装备制造业的空间。作为国家核电发展战略而引进的第三代核电技术，其配套装备能力还远没有形成，仍处于消化、吸收、再创新过程中，而且面临一定的不确定性。由于目前在建及拟建的二代改进型核电装机达 2852 万千瓦，产生的核电装备制造业的市场空间超过 1400 亿元，如果进一步的扩大二代改进型机组的建设，将进一步提升以二代改进型技术为配套的装备制造业的市场空间，我国现有的装备制造业能力将被二代改进型技术所完全吸纳，将没有其余的装备制造的产能投放于三代核电技术配套装备的研发及制造上，从而在装备制造业方面，形成事实上的对三代核电技术的挤兑。即使当三代核电技术完全消化吸收再创新之时，虽可能形成相关配套的三代核电装备制造业产能，但不能供批量化建设三代核电站，从而使我国未来批量化建设高效安全的三代核电站的发展战略落空。

2.3 核电发展的资金及企业资本金

目前看来，我国核电发展的主要问题之一是短时间企业怎样筹措资金的问题。

核电建设的一次性投资成本非常高，而其运行和燃料成本相对都很低，成本中唯一变量的铀矿资源，但铀的因素只占整个发电成本的 3%—5%，因此铀价的涨跌对整个核电成本影响不大。因此，目前规模化、批量化发展核电，必然考虑核电一次性投资成本的资金和企业自有资本金问题。

按照目前核电一次性投资建设的每千瓦 12000 元成本（2005 年价）计算，满足 2020 年中长期发展规划中的建成 4000 万 KW 的目标，需新增 3100 万 KW 规模，需 3720 亿元的投资资金规模。若按尽量发展核电态势，到 2020 年发展到建成 7000 万 KW、在建 3000 万 KW，粗略估算：建成核电所需资金为 7320 亿元（2005

年价),加上在建项目付出 30%的成本 1080 亿元,共计到 2020 年累计需投入 8400 亿元(2005 年价)的资金规模。若考虑经济发展、物价上涨、人工成本上升等因素,分摊到每年实际投入资金(历年的当年价),累积所需投入可能超过 1.7 万亿元。如此大的投资规模,对于目前中国为数不多的有资质建设核电的企业(中核、中广核、中电投核电部)是不得不面对的问题。

按照《国家核电中长期规划》的规定,企业自有资本金占项目总投资不少于 20%,按尽量发展核电目标,到 2020 年核电企业用于建设的自有资本金累计不少于 1680 亿元,平均每年至少要投入企业自有资金 140 亿元(2005 年价,按 2009—2020 年 12 年计算),连续投资到 2020 年。若考虑经济发展、物价上涨、人工成本上升等因素,自 2009 年到 2020 年,核电企业用于核电建设的自有资本金年平均会不少于 285 亿元。目前有资质建设核电的企业国内只有 3 家,其中中核集团 2008 年全年赢利 48 亿元,预计中广核集团全年赢利不会超过 40 亿元,预计 3 家核电企业赢利之和不足 100 亿元,比核电建设所需的年平均 140 亿元的资金低,更远远低于考虑了经济、物价和人工成本因素的年平均 285 亿元的投资资金。

在《核电中长期发展规划》中,对核电建设提出了税收优惠与投资优惠政策。如核电自主化依托工程建设资金筹措以国内为主,原则上不使用国外商业贷款及出口信贷;对自主化依托项目建设所需资金,从预算内资金(国债资金)中给予适当支持;同时,政策也支持和鼓励符合条件的核电企业采用发行企业债券、股票上市等多种方式筹集建设资金。这些方式可以缓解部分资金紧张问题,但从总量上,最终必须扩大核电投资资金的来源。

2.4 核电发展面临的人力资源问题

我国核电的大规模发展需要大量与核电有关的专业人才。发展核电既是国家战略,同时又为相关行业和专业人员提供了广阔的市场空间和施展才华的机会。

由于二十世纪八九十年代全球核电事业的萧条,我国对核电发展没有足够的认识,核电发展所需人力资源呈急剧的萎缩状态。新世纪以来,我国对核电发展有了新认识,尤其是国家“十一五”能源规划确立了积极发展核电的方针,核电人才重新找到了舞台。我国核电企业、高等院校、科研院所抓住机遇,在科研、设计、燃料、制造、运行和维修等环节,及核电设计、核工程技术、核反应堆工程、核与辐射安全、运行管理等专业领域,大力加强各类人才的培养工作,提高待遇,储备了一些人才。一些学校纷纷设置核电专业,编撰修改核电教材,批量化培养核电人才。例如,从清华大学招生网录取结果上看,2001 年录取核工程与核技术专业仅有 6 人,2005 年录取该专业(中核集团定向培养)人数为 58 人。我国拥有如清华、上海交大等院校,再结合核电企业,对批量化培养核电人才具有积极的促进作用。

尽管如此，核电由于其专业化特征和安全性要求，仅仅从学校教育还不能完全胜任核电建设的需求，必须经过一两个核电站全程建设、运营和管理，才能真正算得上人才。目前这类型的核电行业人力资源，对于我们将要批量化建设的核电产业来说，是极度缺乏的。同时，为数不多的这类型人力资源，又被分散于正在批量化建设的核电站中，通过这样分散和稀释，每一个在建或运营的核电站中，这类型的人力资源显得极度的匮乏。

3 政策建议

(1) 改进和理顺核电体制，快速出台核电产业发展的法律、法规及相关条例，引导产业健康发展。目前我国的核电发展中，还没有形成充分竞争的体制。中国未来的核电市场容量，将远远超过法国、韩国等国家，其实未来的中国核电市场中，一个广东就相当于一个法国的容量，一个浙江省就相当于一个韩国的容量，因此中国的核电体制不宜照抄照搬上述国家比较单一的企业模式。我国的核电体制，应该表现为充分竞争，尽量打破燃料供应商、设备供货商、业主、AE工程公司、建设单位、运营单位等核电上下游产业为一体的大而全的企业形态，要形成权责明晰、所有权与经营权分离的现代企业制度。要加快核电管理条例制定，引导核电产业发展，促进投资多元化，确保核电建设资本金，产生竞争、防止全国范围内的垄断，用法律的形式规范和引导核电上下游产业的竞争与合作。

(2) 停止争论、埋头苦干，在加快我国核电跨越式发展步伐过程中，严格执行中央的发展战略。

我们必须强调在三代核电技术 AP1000 基本达到自主化之前(按原发展战略，完全自主化的时间点大约在 2013 年三代核电首堆建成之时)，适量建设一批二代改进型核电机组是必要的，目前我国在建及拟建的核电机组共 34 台、3692 万 KW 装机，其中除三门、海阳 4 台机组采用 AP1000 技术，台山 2 台机组拟采用 EPR 技术之外，其余 28 台、共 2852 万千瓦装机均(拟)采用二代改进型核电技术。

考虑到核电的安全性，二代改进型机组容量已经足够，现阶段不宜另行核准更多的二代改进型核电机组的建设。

三代核电技术的引进是经过国家全方位论证，委员决定的重大的战略决策，按照当时的战略部署，在消化、吸收三代核电技术之后，国家将批量化建设三代核电机组，完成国家核电总的战略发展目标。

现在是埋头苦干的时候，对于战略性、方向性的核电发展，应该停止过多的争论。

(3) 加快人才的培养与核电人才的引进。核电人才的缺乏及稀释，制约着当前核电的建设，也增大了未来核电健康发展的风险。应当鼓励企业参与相关学校加大核电人才的培养规模，努力促使踏进核电行业的大学生、研究生尽快地成

长为合格的核电人才。另外，可以尽量引进国外的核电人才来促进我国核电建设。

(4) 以核电市场来引导装备制造业的自主化跨越式发展。首先，强调“自主化”，替代“国产化”术语。有的国产化仅是将国外的核心设备拿到国内来组装一下就算国产化，因此，国产化是在很大程度上是虚的，核电发展必须自主化。自主化是实现低成本批量化建设的基础。

其次，合理规划、通过市场来引导装备制造业发展。目前国内的装备制造业体系还没有完全形成，国内装备制造业能力还是很有限。当前是通过核电大发展的巨额装备制造订单，来促进国内相关装备制造业的发展的巨大机会。目前我国在建和拟建的核电达 3692 万 KW，装备制造业市场容量达 1800 亿元，其中二代改进型核电的装备制造业市场容量近 1400 亿元，完全可以托起国内二代改进型核电技术的装备制造业的自主化发展。

目前，更应该留下一定的市场空间，以备三代核电技术的装备制造业的发展。市场是引导装备制造业发展的最佳工具。因此，通过预留三代核电的发展空间，来鼓励设备制造商对三代核电技术的配套装备制造业的研发及制造上。

(5) 两个防止。必须防止在引进、消化、吸收三代核电技术达到再创新的自主化目标之前的这段时间间隙，以批量化建设核电为名，形成“跑马圈核”现象发生。

必须防止在完全消化吸收三代核电技术之前，以批量化建设核电为名，通过大量的批准二代改进型核电机组，形成实质上的对三代核电技术的相关装备制造业市场的挤兑，从而事实上造成三代核电技术即使完全自主化了，也没有了配套的批量化的装备制造能力。

此文章发表于 2009 年第三期《中国能源》