

论推进我国完整的核能产业经济体系的发展

任德曦, 胡泊^①

(南华大学 经济管理学院, 湖南 衡阳 421001)

[摘要] 核能产业经济体系是以核能开发利用为目的,以科技为先导,以核电与推进动力为主体,以产品、技术、物流、价值为链接的循环,是安全、高效、清洁可靠的综合跨行业能源体系。我国能源资源不足与分布不均衡,需改善结构,科研、国防、核工学,核农学、核医学对核技术的需要,核战略、核安全需要有换代的核武器、核潜艇、核航空母舰,所以建立完整、核能经济体系势在必行。核能产业包括十大体系,即核科技、核资源、核燃料、反应堆、核电站与推进动力、核武器、放射性同位素与辐射技术、核装备制造、核安全、核环保与辐射防护及核能经济与管理体系。建立完整、强大核能经济体系必须对核能产业从战略高度,从长远做出发展定位,根据战略定位制定出产业规划,提出各核能产业发展目标及方针、政策、措施。国家对核能产业的管理体制要改革,对这种高科技且涉及军事、政治的经济敏感性产业要处理好政府与市场、国家与企业关系,目前还应在某些领域适当集中统一,对内、对外均应把国家利益放在第一位。

[关键词] 核能产业; 核能经济体系; 积极推进; 完整强大的核能体系; 核电大国强国

[中图分类号] F407.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2014)02-0001-09

中国是世界第一能源生产大国,是第一能源消费大国,第一人口大国,也是世界二氧化碳第一排放大国,还是二氧化硫、氮氧化物、雾霾污染严重的国家之一。可是中国能源资源不足,不到世界人均占有量的二分之一,石油对外依存度逼近60%,已达到严重不安全程度。

为此,我国必须发展清洁能源、低碳能源、新能源,积极推进我国完整、强大的核能(电)产业体系建设,以保证我国能源安全、经济安全、环境安全,提高幸福指数,推进社会生态发展。

一 核能产业体系的特征

核能产业体系(简称核能体系)是指与核能资源链、产品链、产业链、物流链、技术链、服务链(如研发、设计)、价值链密切相关且相互链接的核能研究、开发、建设、生产、退役、废物处置的核事业、核产业、核企业群的构成与系统。它有如下特点。

(一)以核能开发利用为特色,并具有放射性^{[1]14}

核能产业体系是以原子核能利用为特色的产业。既继承又发展了化工、机械、冶金、电子传统产业,是一个新产业。包括核燃料、核发电、核供热、核推进动力;包括核工业、核农学、核医学、核科技、核

军工、辐射技术等。核产业具有放射性,从地质、采矿、冶金、放化、堆工、后处理、废物处置都有放射性。由于核安全、辐射安全和核环境安全的特殊要求,对所用的材料、设备以及制造和建筑安装作业均有不同于常规工业的严格质量要求,如高纯度、高精度、耐辐照、耐腐蚀、高清洁度、高密封性等。需要建立和贯彻执行严格的质量保证体系和安全文化体系。

(二)以核能研究为先导,具有知识技术密集性
核能(电)体系是技术、知识密集型产业体系。如堆型开发,铀同位素分离技术的成熟,都要经过十几年,几十年的时间;聚变能的可控开发要经过一个世纪以上。核能研发试验经费在法国一直占核能经济投入的1/3。科学技术是生产力,核科学、核技术是引导核产业发展的第一生产力。所以,必须把从事核能基础理论、应用研究、核能战略、规划、设计、经济管理研究,核能专用人才培养等服务事业、产业纳入这个体系推进“产、学、研”一体化。

(三)以核电与推进动力产业为主体的多元、广泛应用于国民经济的产业

核能的应用,以核电、核供热、核推进动力为主体,占90%以上;核武器只是少数国家拥有,作为一种威慑力量处于储存地位;放射性同位素、核技术应

[收稿日期] 2014-01-20

[作者简介] 任德曦,男,湖南岳阳人,南华大学经济管理学院教授。

^①南华大学老科协教授。

用几乎遍布国民经济各部门、各行业、各产业。核辐射工业,包括了放射性同位素生产,放射性同位素仪器、仪表制造,工业应用射线源的制备与应用(α 、 β 、 γ 中子源的制备与应用)制造,辐照装置制造,粒子加速器制造。

核医学包括放射性药物(诊断与治疗)、放射免疫分析与应用,核子医学仪器与设备,如扫描机、 γ 相机,单光子与正电子断层显相装置(spect PET),核磁共振显像装置(NMC-CT), ^{60}Co 远距离治疗机,快中子治疗机,负介子治疗装置。核农学着重研究核素、核辐射在农业科学和农业生产中的应用,包括核辐射与核素示踪在农、林、牧、渔、副业及其产品加工中的应用。如突变育种,昆虫不育、防治害虫,食品保藏,刺激生物生长等。

(四)以产品、技术、价值、物流链接的流程性

核能工业呈流程性,其生产过程(或工艺程序)之间以产品、技术、价值、物质流或能量流为主轴,严格的、固定的、不变的上下游承接关系,同步、串行、呈一线状分布衔接,以及由这些关系衍生的相关特性。

含铀产品、技术、物质流的流程:含铀矿物(铀矿地质)→铀水冶浓缩物(铀矿开采)→天然铀 UF_6 (铀同位素分离中的铀转化)→低富集铀 UF_6 (铀同位素分离)→低富集铀 UO_2 (铀燃料元件制造中的铀转化)→低富集铀 UO_2 燃料元件(铀燃料元件制造)→核反应堆中 UO_2 燃料元件(反应堆)→含 U、Pu、 A_m 、 C_m 、F、P 的乏燃料(在堆水池或暂存库)→回收 U、Pu 及废物中的 C_m 、F、P(乏燃料后处理)→含 A_m 、 C_m 、F、P 的高放废物玻璃(放射性废物处理)→地质处置库中的高放废物玻璃(高放废物地质处置)。从地下来又回到地下去,很长的一条生产线、产业线覆盖了整个核工业。

铀核内能(铀核的结合能或核力)→铀核裂变后的能量(主要是裂变碎片和各种粒子的内能和动能)→反应堆→回路热能→反应堆二回路水热能→蒸汽的动能→透平机转子动能→发电机转子动能→电能。

(五)一个综合的跨行业体系

核工业是在原有工业和科学技术的基础上发展起来的,必须最大限度地利用已有技术、工艺和成就,其范围包括地质勘探、采矿、冶金、化工、电力、机械制造、建筑、机电、电子、精密仪表、环境保护等产业和物理、化学、生物学、地质学、气象学、计算机、自

动控制、材料科学、传热学、医学、心理学、经济管理等科学。核能体系是一个综合的、跨行业的体系,它利用和发展了上述行业的技术、工艺、生产过程。一个聚集多产业、事业、服务业为一体的经济体系。

(六)一个循环经济与多循环经济体系

核燃料不像化石燃料一次“烧尽”,可循环利用。在利用 ^{235}U 时,其同位素 ^{238}U 吸收中子产生了 ^{239}Pu 裂变核燃料;在快中子反应堆中,核燃料循环可增殖。在核燃料循环中有一次通过式循环,即:天然铀-转换-富集-元件-轻水堆-乏燃料元件贮存;铀-钚核燃料循环,即在轻水堆使用后通过乏燃料元件后处理,将回收 U、Pu,加工成混合元件(MOX)在新型转换堆(ATK)使用;快中子堆增殖核燃料循环,将混合元件,贫铀在快中子堆中使用,理论上可使铀的利用提高 60~70 倍。

二 我国需要建立一个完整强大的核能产业体系

(一)完整核能经济产业体系发展之需

所谓完整的核能经济产业体系,是指以核能、核技术开发应用为内容,服务于经济、社会、生态、国防等各方面的核产业、产品、技术、服务;它包括与核产业的核资源链、产品链、技术链、产业链、服务链、物流链、价值链密切相关且相互链接的体系。包括核燃料、反应堆工程、核电站、核武器与发射系统,放射性能同位素与辐射产业,核装备制造,包括核安全、核环保、核辐射防护、核能发展、战略、规划、方针、技术路线与经济管理。

我国之所以需建立一个完整强大的核能经济体系是因为:(1)近 14 亿人口大国对核能产品、技术的总需要;(2)对新能源、电力的需求;(3)出于化石能源替代、节约和电力结构的改善;(4)出于对清洁能源、不排放二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物核能的需求,对生态环境改善的需求。(5)出于核工学、核农学、核医学、核科研对核工业的“轻工业”产品所需求;(6)还由于核安全、核战略需要有换代的核武器,需要有换代攻击型核潜艇、战略核潜艇,需要中国自己的核动力航空母舰及宇航星际服务的空间核电站与空间推进动力装置。

(二)完整的核能经济体系结构与发展态势

我国核能产业经济体系是由十大体系,几十个系统,几百个子系统组成,见图 1^[124]。

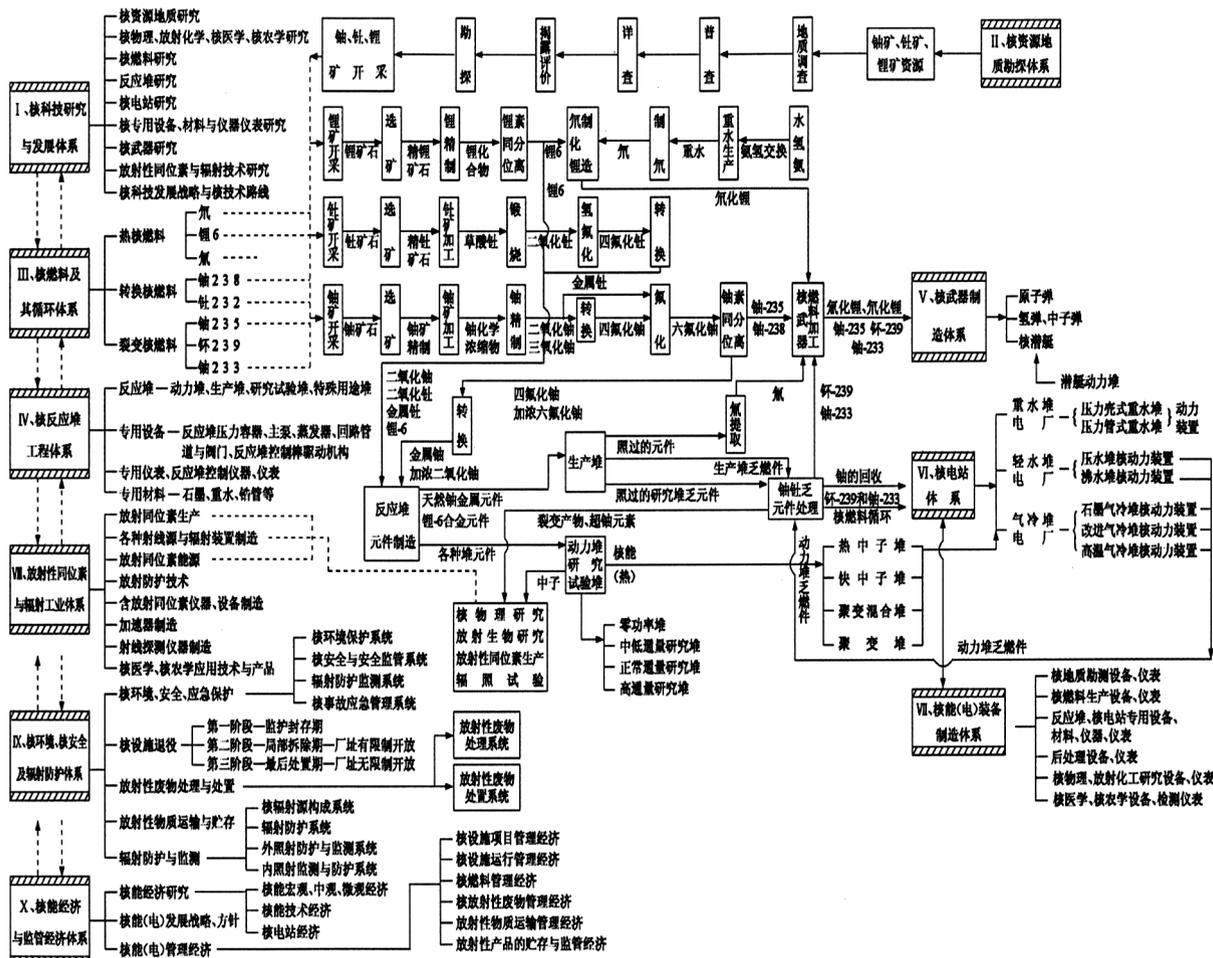


图 1 核能产业经济体系

1、核科学技术研究与发展体系

核科技研究与发展体系,包括核结构、放射性、核裂变、核聚变、核物理、核化工、辐射防护等基础研究,包括核资源、地勘、核燃料、反应堆工程、核专用设备的应用研究。

我国核科研、技术研究取得了伟大的成就,“两弹一艇”研发成功、升级举世瞩目。核电、核辐射技术、核能装备制造业均取得了重大成就,但是我国核科学技术研究滞后于核产业发展需要,设计等科研,制造等设计,核电站首堆建设以进口堆型为主,一直延续了 30 多年。

我国还没有建立一个强大的、有组织、有领导、有分工、有合作,有竞争的完善的核科技研究开发体系。

2、核资源、地质勘探体系

核资源及其勘探体系,是指为获取不同核资源所进行的研究、地质勘探、矿体发现、资源储备(存量)系统的总称。

核资源是指铀、钍、锂、氘资源,天然赋予地壳内

或地壳上(如水体)的富集体,包括其储量。

我国铀资源勘测、发现从南方的湖南、广东、江西向新疆、辽宁、内蒙古发展。最近发现内蒙古大矿,给我国铀资源以新篇。未来我国核产业的发展必须利用国内、国外两个市场、两种资源,抓住目前铀市场低迷状态的机遇走出去,采用收购、合作、参股、贸易形式,保证天然铀未来发展需要。

我国铀资源储量潜力较大,铀资源潜力在 200 万吨以上,但勘察程度较低,查明程度小于 25%,大部分地区还是空白,需加大投入。铀矿矿业权得不到有效保障,“有资源、无权找矿,探明资源、无权开矿”现象严重。

3、核燃料与核燃料循环体系

核燃料与核燃料循环体系,是指核燃料生产与循环利用的系统,包括裂变核燃料与聚变核燃料体系。它是核能的燃料、动力,是核工业的基础。核能(电)的核心就是使燃料裂变或聚变成能源、电力、动力。反应堆、核电站、电网都是实现这一目标的装置、线路和工具。

裂变核燃料产业主要有 ^{235}U 、 ^{239}Pu 、 ^{233}U 裂变核燃料的生产,包括铀矿、钍矿的开采、冶炼、铀的富集、燃料元件加工、乏燃料元件处理回收铀钚。 ^{235}U 天然存在, ^{239}Pu 是由 ^{238}U 在反应堆中辐照、转变得到的; ^{233}U 是由 ^{232}Th 转换得到的。核燃料与化工燃料相比是一个复杂得多的工艺阶段,是可循环使用的产业体系。

核燃料循环是指核燃料进入反应堆前的制备和在反应堆中燃耗及以后的处理循环利用的整个过程,如图2所示。

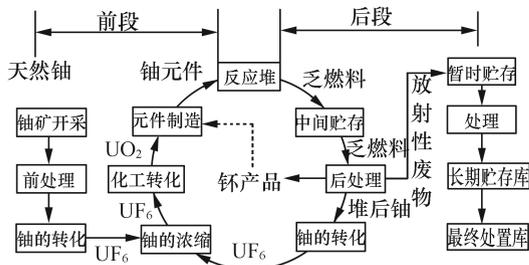


图2 轻水堆核电厂闭式铀-钚核燃料循环

我国浓缩铀技术有了突破,离心分离设备研制成功并产业化,改变了60年铀分离技术依赖国外的状况。元件技术与新元件开发有了新提高,后处理乏燃料,随着中试厂建成热试,为今后自主研究或引进技术开辟了新思路。

4、反应堆工程体系

核反应堆通常指裂变反应堆,即利用易裂变核素发生可控的自持核裂变链式反应的装置。反应堆工业体系是从事各种反应堆装置的研究、设计、建造、调试、运行、维修、退役的工业体系。反应堆工程体系是指由不同反应堆及其专用设备、仪表、专用材料组成,通过设计、制造、建造的工程系统。二者均是实现发电、供热、推进动力,核燃料生产研究试验的系统。前者是从反应堆工业运行表述,后者是从反应堆建造方面表述。

反应堆装置可按用途、中子通量、核燃料、慢化剂、冷却剂、堆型开发阶段、空间位置等多种标准分类。反应堆装置按用途分类,可分为:

(1)动力堆。用于发电、供热和推进动力。有陆上发电堆、供热堆、发电供热两用堆、舰船推进用堆、飞机推进用堆、火箭推进用堆等。

(2)生产堆。有生产裂变燃料 ^{239}Pu 和(或) $^{3\text{H}}$ 的核燃料生产堆、同位素生产堆、生产发电两用堆等。

(3)研究试验堆。有研究用堆、零功率堆、材料试验堆、高通量试验堆、脉冲试验堆、中子源堆等。

(4)特殊用途堆。如材料改性堆、食品辐照堆、医疗辐照堆等。

我国反应堆工程自行开发秦山一期30万kw原型堆,研究开发了秦山二期60万kw二回路(2×30 万kw)商业堆,研发了核潜艇动力堆,对二代M310堆进行了技术改造,进行“二代加”电站建设,但是核电站100万kw大型堆ACP1000三种堆型正在研发,这将是我国未来核能(电)产业的新成果,是强大核能产业经济的核心。

3、核电站体系

核电站体系是以不同堆型、不同技术阶段,以发电、供热、推进动力(研发、生产)为目标的核电装置或核动力装置体系。核电站是用铀、钚作燃料,在反应堆中,将裂变能转换成热能再转变为电能的发电厂。核电厂主要以反应堆类型相区别,有压水堆(PWR)、沸水堆(BWR)、重水堆(HWR)、石墨气冷与水冷堆(GCR/GWR)、高温气冷堆(HTGR)、快中子增殖堆(FBR)核电厂。核电站可以一站(厂)多机组,也可以一机组一厂(站)。

核电站体系是由不同反应堆的核岛(主要是核蒸汽供应系统)、常规岛(主要是汽轮发电机组)和电厂配套设施三大部分组成。

我国自主建设了二代60万kw核电站,在开发和引进二代M310核电技术基础上,自我消化、吸收、改进,成批建设了二代改进PWR 24座,装机容量2420kw,其中CPR1000 20座,装机容量2160万kw,建设CNP600 4座260万kw,取得了重大成就。现在的任务就是要建设好引进的AP1000 4台,EPR 2台,VVER 2台机组,尽快完成自主化三代核电站研发、布点,形成三代“四自”核电产业。

6、核武器体系

核武器体系是包括原子弹、氢弹等核武器系列(核弹)、投掷发射系统、指挥控制系统、配套系统的总称。见图3。

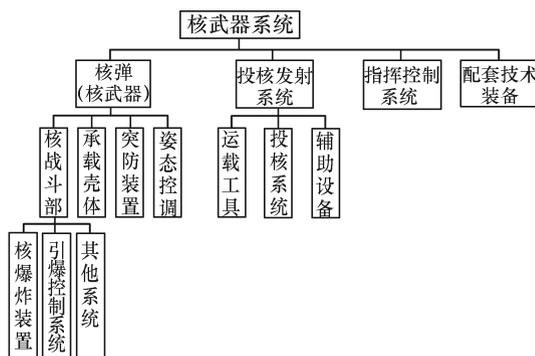


图3 核武器系统组成

我国是联合国安全理事会认定拥有核武器的五国之一,是符合国际法和世界公认的拥有者。我国向世界承诺不首先使用核武器,不对无核国家使用核武器,中国拥有核武器是对世界核战略的平衡,利于打破核垄断、核威胁,对核战争狂人是一种威慑、反制力量。但是中国核武器库量与美俄比很少,水平也有差距,需要不断升级。我国的发射系统无论陆基、空基、海基发射系统要走的路更长。攻击型核潜艇,战略核潜艇数量、质量待提高,核动力航空母舰在 2020 年左右将有零的突破,“先独生”、“再双生”,在 2025 年前将有第一批核动力航空母舰。

7、放射性同位素与辐射技术体系

放射性同位素与核辐射技术应用是核能非动力应用的重要方面。放射同位素因原子核不稳定而释放出电离辐射,与带电粒子加速器产生的电离辐射,共同构成核能在电离辐射中的广泛应用。电离辐射种类很多,绝大部分由核反应堆与带电粒子加速器产生,如 X 射线、 β 射线、 γ 射线、正电子射线、质子射线、中子射线、 α 射线、氦核射线、重离子射线、核裂变碎片等。

放射性同位素与辐射产业广泛应用于工业、农业、医疗、卫生、科研、国防、环保等行业与产业。它投资少,见效快,效益大,能耗小,被称为核工业的轻工业。

放射性同位素与辐射工业体系是由同位素生产、放射性设备、仪器装置的制造、辐射能源的应用、辐射防护技术等系统组成。

放射性同位素与辐射技术应用是 20 世纪人类文明史上的一个重要里程碑,是当代公认的高技术,其应用水平是一个国家综合国力重要标志,是世界强国重点发展领域。国际原子能机构(IAEA)评价:就应用的广度而言,只有现代电子学和信息技术才能与同位素与辐射技术相提并论。

我国放射同位素与辐射产业最近 20 年发展很快,产品、产值几倍、几十倍增长。但其总量、比重、水平与发达国家比差距还很大。美国核辐射技术应用年产值占国民经济总值约 3-4%,日本占 2-3%,美国 2010 年产值达 6000 亿美元,全世界核技术产业化规模近万亿美元,而我国 2010 年核技术应用工业产值仅 1000 亿美元左右,占 GDP 的 0.3% 左右^[2]。我国要建立强大的辐射产业还要做创新性发展,还要做巨大努力。

8、核能装备制造体系

核能装备制造体系是指核能专用设备、仪器、仪表的制造、数字控制与非动力控制和特殊材料的生

产体系。核能专用设备、仪器、仪表,阀门、工艺系统,是核能创新产业、创新经济的技术、物质基础,是核能工程、工业的脊梁。

我国核电设备设计制造水平近 10 年有重大突破,二代改进 PWR 自主化率已达 80% 以上,现在的关键是要尽快形成三代核电站批量提供成套装备的能力。目前,国内布点、新建机组为三代。三代要求更高,更大功率(100-150 万 kw),更高的安全性(概率安全高于二代至少一个数量级),更长的寿命(由 40 年延长至 60 年),更短的建设周期(48-52 个月)。尽管上海电气、东方电气、哈尔滨电气和一重、二重等大型设备制造企业,其重型设备制造能力已有相当规模和基础。但是面对 AP1000 项目供货情况看,还存在不少问题,主设备零件一次成功率还不高,无法保障关键设备制造进度,设备制造过程出现大量不符合项,导致设备制造不能按时推进,周期延长,设备无法在规定时间内交货。

积极推进我国核能(电)产业经济体系建设,核能、核电装备制造业是关键。只有强大的核装备制造业,才能挺起中国核能(电)脊梁。

9、核环保、核安全、辐射防护体系

核环保、核安全与辐射防护体系,是指做好核设施选址、建造、运行、退役、治理、放射性废物处置等核环境保护、核设施安全与辐射防护等系统的总称。包括核环境防护与监测、核安全与监管、核设施退役治理、放射性废物处理与处置、核材料运输保护、核辐射应急等正在培育、发展形成的系统。

(1)辐射环境系统。包括辐射环境管理、辐射环境标准、辐射环境评价、监测与污染治理、环境监督。

(2)核安全系统。核安全是指没有不适当的核辐射危害。在核设施和核活动中,设施活动受到充分保护,对工作人员、公众和环境不会发生不适当的辐射危害。核安全系统包括核设施安全、核材料安全、临界安全、辐射安全、放射性废物安全。最重要是建立安全监管体系。

(3)核应急系统。须立即采取某些超出正常工作程序的行动以控制核或事故发生或减轻事故后果的状态。核应急系统包括应急计划、应急准备、应急响应等子系统。

(4)核设施退役与各阶段管治系统。核设施退役治理,就是终止生产运行的核设施,按环境保护标准清除残余的放射性,分阶段处理核设施防护,直至把厂址恢复到可作无限制其他用途状态。包括封存、拆除、清理、恢复使用。

(5)放射性废物处理、处置系统。

(6)放射性物质运输系统。

(7)辐射防护系统。

1984年国家核安局成立,制订了比较完备的与国际接轨的核安全法规标准体系。体系包括核环境、核安全、辐射防护法规、规章条例。1995年出版了《中华人民共和国核安全法规汇编》,包括后续增加的《民用核设施安全监督管理条例》、《核安全设备监管条例》、《核安全导则》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性物品运输安全管理条例》、《放射性废物安全管理条例》、《核电厂核事故应急管理条款》、《核出口管制条例》、《核材料管制条例》、《环境保护法》、《固体废物污染环境防治法》等。2012年制订了核安全与放射性污染防治“十二五”规划及2020年远景目标,制订了核电站安全规划。

福岛核事故后,国务院部署对全国民用核设施进行安全检查,为期9个月,检查了15个运行核电机组,26台在建核电机组、18座民用研究堆和临界装置,9座民用核燃料循环设施。检查结果表明,我国运行核电机组安全业绩良好,迄今未发生国际事件分级2级及其以上的运行事件,运行核电厂基本符合我国现行核安全法规和国际原子能机构最新标准要求,安全风险受控,运行核电厂的安全是有保障的。

国务院组织安全检查后,对运行核电厂提出了10项安全改进要求,要求在2011年至2015年的短期、中期、长期完成;对建造核电站提出14项改进要求,分首次装料前完成和2015年底完成。截至2013年底秦山核电基地56个改进项目基本完成,其中海堤加高,新建应急中心等重大项目的成功实施,得到了国家核安全局的高度认可。大亚湾核电基地已完成47项改进。田湾核电基地20项改进要求全部提前完成。宁德、红沿河核电在建机组装料前23项改进项目基本按计划完成,长期研究项目进展顺利。

10、核能经济与核管理经济体系

(1)核能(电)战略与规划

核能战略是指核能发展长远的、全局的、重点方向的谋划。包括核能发展战略指导思想、战略目标、战略阶段、战略对策。

核能发展规划是指核能(电)长远发展谋划。包括10年、20年、30年的中长期规划,使核能战略具体化、文档化、法规化。在规划中将战略思想、目标、阶段、对策包含在内;规划将技术路线、发展方

针、布局(厂址选择)、资金、核安全、核燃料保障、自主化等政策、措施包含在内。核能发展规划以核电发展规划为主体,带动核电上下游相关产业的规划与发展。我国2007年11月国务院批准《核电中长期发展规划(2005-2020年)》;福岛核事故后我国又在2012年制订了新的核电规划。新规划比原规划(至2020年)核电4000万kw的目标将有很大提高,2020年建成5800万kw,在建3000万kw,但实现这一目标我们仍要抓紧工作。

(2)核能经济与管理工作的进一步加强。项目管理、安全管理、环境管理、核燃料管理,应急与监管等各方面管理均将加强。目前我国核能(电)管理的顶层设计要改革、要创新,“多龙治水”力量分散削弱了开发能力,使对外竞争能力缺失。

三 积极推进我国核电大国、强国的发展

我国核电起步源于周恩来总理1970年2月8日讲话,他说:从长远看,要解决上海和华东用电问题,要靠核电。从此在国内开始核电的探讨,1985年秦山核电一期开工,至2011年3月11日福岛核电事故,我国建成核电站15座,装机容量1254万kw,在建核电站26座,建成核电站装机容量总占我国电力装机容量10.6亿kw的1.2%。

(一)我国核电发展道路艰难

我国核电经历四个发展阶段,取得了重大成就,特别是2003—2004年全国电荒后,国务院提出积极发展核电,积极推进核电建设方针,使批准新开工核电站达到34座,装机容量达3506万kw,居世界在建核电站前列。但是福岛核事故后,我国核电执行国务院“国四条”,核电站停止审批与开工20个月,至今已3年,还未布点新核电站。我们全面审视我国核电站建设的40多年,探索起步缓慢,发展不快,至2013年建成核电站19座,装机容量1486万kw,仅为美国运行核电站104座的18%,装机容量的17%。对我国核电站四阶段做一扫描:

1、核电堆型,技术路线探索路长(1970—1985年)

1970—1985年我国经历了15年探索核电技术路线与堆型。探讨过熔盐堆生产—动力两用堆、重水堆、压水堆,做过两用堆设计、技术改造,做过重水堆布点选择,建成了潜艇压水堆,至秦山一期、大亚湾核电站开工,我国核电技术路线、堆型才正式确定为压水堆技术路线。

2、核电起步艰难(1985—1994年)

1985年3月秦山一期30万kw开工,1987年8

月大亚湾核电站 2×98.4 万 kw 开工,两电站于 1991 年 4 月、1994 年 5 月建成。10 年建成总装机容量 228 万 kw,实现了我国核电零的突破。

秦山一期是我国自主开发的原型堆,建设期出现安全壳衬里焊接质量问题^{[3]407},国内外有着负面评价。后国际原子能机构(IAEA)总干事汉斯·布里克期与安全评审团几次来中国现场检查、评估,认为:核电站人员是高质量的,土建和安装质量完全满意,生产准备和启动没有任何安全问题,预计秦山核电站将是一座安全、高质量的核电站。运行 20 多年实践证明,上述评价正确。秦山核电站从 1991 年运行,业绩步步上升,容量提升为 31 万 kw。21 世纪,第七、第八个核燃料循环连续功率 443 天与 448 天。一座原型堆按世界运营者协会(WANO)核电机组综合性能指标,在世界 262 座商业压水堆机组中排名 78 位,位于中值水平之上。

大亚湾核电站是国内第一座商业大型电站,中港合资,位于广东南部大鹏半岛大亚湾,毗邻香港。1980 年筹备,1985 年 1 月合营合同签字,工期 6 年。1986 年 4 月发生切尔诺贝利核电站事故,7 月发生香港反核活动,签名、游行、赴京请愿,经多方工作化解^{[3]419-437}。1987 年 8 月大亚湾核电站工程开工后,9 月发生了反应堆筏基漏放钢筋事故^{[3]453-466},1991 年 10 月核岛辅助管道安装工程不合格,返工工期延长^{[3]512-530}。经过国家与现场职工 7 年多的艰苦努力,1994 年 2 月与 5 月大亚湾 1 号、2 号机组商业运行,工期延期一年。

至 2009 年大亚湾核电站运行 15 年,设计容量因子 70%,运行业绩步步攀升,2008—2010 年容量已超过 90%,2002 年 WANO 8 项关键指标评比中,3 项具世界先进水平,2 项超过中值水平,3 项超过世界平均水平,8 项指标以后又有进一步提高。

3、适度发展核电目标未能实现(1996—2005 年)

1987 年 9 月 7 日李鹏副总理在出席太平洋地区核能利用大会时,阐明了我国电力与核电发展方针,他说:“我国煤炭、水力资源丰富,因此在相当长的时期,我国电力工业将以煤电和水电为主,核电只能为一种补充,主要在我国一些经济发达而能源短缺地区,有重点、有步骤地适当发展核电。”又说:“我国发展核电要走自力更生为主,同时引进外国先进技术和设备的道路。”并在此之前和以后多次提出“适度发展核电方针”,并提出到 20 世纪末要建成 1000 万 kw 左右的装机容量。

根据这一方针,“九五”计划安排了秦山二期、

秦山三期、连云港、岭澳一期四座 8 台机组,装机容量 680 万 kw 机组建设。

自主建设秦山二期压水堆 2×65 万 kw,国务院 1986 年列为计划的重点工程,1996 年 6 月开工,前期准备工作用了 8 年,2004 年 3 月建成。

引进秦山三期重水堆 2×70 万 kw,1998 年 6 月开工,2003 年 11 月建成,为加拿大 CANDU-6 技术。

翻版建设岭澳核电站,以引进大亚湾核电厂为参考电厂翻版,自主率 30%,1997 年 5 月开工, 2×99 万 Kw,2003 年 1 月建成。

引进建设田湾核电站,俄罗斯技术,为 VVER 压水堆 2×106 万 kw,1999 年 1 月开工,2007 年 8 月建成,比原计划 2005 年建成延迟一年多。

“十五”计划 5 年无核电开工。原规划 2000 年建成 1000 万 kw,实际至 2007 年只建成 11 台机组,装机容量 908 万 Kw。从 1999 年 1 月—2006 年 4 月核电无开工项目,该期间整个电力产业放慢了发展速度,于是发生了 2003—2005 年全国三年“电荒”。

4、积极发展核电方针实施与波折

20 世纪末至 21 世纪初我国进入了重化工发展时期,高耗能产业飞速发展,2002—2010 年钢与钢材以年 12.8%~25.3% 增长,有色金属以 14.5%~19.6%、平板玻璃以 14.5%~33.6%、水泥以 10.7%~18.9%、汽车以 11.2~38.8%、空调以 15.7%~59.3%、房地产以 13.5%~29.7% 在飞速增长,而电力 1998—2002 年增长为 2.8%、6.2%、4.8%、9.2%、11.6%^[4]。电力这个先行官比耗电产业增长速度落后了 10 个以上百分点。

2003 年 7 月全国出现“电荒”,全国 2/3 以上省份供电不足或严重缺电,拉闸限电省市 24 个,2004 年达 29 个,缺电延续至 2005 年。

为此,国家制定了 2005 年—2020 年电力与核电发展规划,加快发展电力,提出了积极推进核电发展方针。规划电力至 2020 年装机容量从 2005 年的 5 亿 Kw 增至 2020 年的 9.5 亿 Kw,核电规划 4000 万 Kw,占电力装机容量的 4%^[5]。从 2006 年加快核电建设,至福岛核事故的 2011 年 3 月,已批准建设 32 台机组,装机容量 3506 万 Kw。由于核电建设周期长,2006—2013 年建成机组只有岭澳 2 期 2 台 216 万 kw,秦山二期扩建 2 台 130 万 kw,红沿河 2 台,宁德、阳江各 1 台共 4 台 $\times 10^8$ 万 kw,共 778 万 kw。至 2013 年核电总计建成机组 19 台,共容量 1686 万 kw,而电力装机容量 2011 年已达 10.6 亿 kw,至 2013 年火电增速下降,但风电增速加快,全国电力装机容量达 12.47 亿 kw,核电占总装机容量

为1.4%,比重仍很小。

福岛核事故后,2011年3月16日我国为贯彻“国四条”进行了安全大检查,制订了核安全规划与核电安全规划,制定了2011—2020年核电新的发展规划,为我国核电安全、高效发展打下坚实基础。经20个月后才批准的核电站重新开工建设,但湖南桃花江、湖北大畈、江西彭泽三座核电站“十二五”计划不得开工,也未开始新的核电站布点。从中国核电发展来看,受波折与影响将超过3年,中部三座核电站已投入100亿元资金沉淀,前期工程停工,人员部分调离与遣散。从核电安全来看,国务院决策是正确的,安全第一,解除了核电发展后顾之忧。但是尽快启动三省核电是全国、是中部发展之急。湖南省于2013—2014年在全国“两会”以全团代表名义两次建议国家尽早启动内陆核电建设,认为发展核电是解决湖南省能源问题根本出路。

(二)国家仍应积极推进核电产业发展

1、五大矛盾推动我国积极发展核电

(1)能源消费大国与资源短缺的矛盾。我国已是世界能源消费大国,2012年消费36.2亿吨煤,2013年消费37.5亿吨,超过美国。可是人均能源资源人均占有量不到世界平均水平的一半,煤炭、石油、天然气人均占用仅为世界水平的67%、5.4%、7.5%,可采年限只有80年、20年、30年。可世界核裂变资源天然铀能供人类用千年,聚变资源可用百亿年。人类最终要依靠的能源是核能。

(2)蓝天绿水的幸福指数要求与雾霾、二氧化碳、水污染的矛盾。我国二氧化碳排放2009年达68.8亿吨,2013年81亿吨,占世界二氧化碳总排放量的23%以上,为第一位,而美国从23%下降至18%。雾霾天气增多、加重,京津冀最为严重,华北、沿海、长江三角洲、中部地区也逐渐加重,北京PM_{2.5}指数最高地点达900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,南京最高达600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,严重影响人体健康与生态环境。可人类祈盼除了国家强盛、人民富有外,更重要的是幸福、安康。所以必须发展清洁能源,保环境、保生态、保健康。

(3)能源生产构成与地区需求矛盾。我国能源、电力以煤炭为主,地区能源生产与消费极度不平衡,形成北煤南运、东运,西电、西气东送、东输。在东部、南部、中部布局核电是缓解这一矛盾重要途径。

(4)建设创新型国家与我国核能、核电技术相对落后的矛盾。国务院通过了2006—2020年科学技术发展纲要,提出“用15年使我国进入创新型国

家行列”。我国核电比发达国家起步晚30年,技术研发力量薄弱,国家与公司投入不足,我们引进了二代PWRM310、Candu重水堆,引进了三代Ap1000、EPR、VVER五种堆型,产业承担了“万国牌”的隐痛。创新型国家必须有创新型核电产业,它可带动微电子产业、新材料产业、装备制造业的发展,使我国核电沿热中子堆(压水堆)一快中子堆一聚变堆技术路线发展,创造自主化品牌,向自主设计、自主制造、自主建造、自主运行发展。

(5)国家面临能源安全、经济安全、核安全与三者风险的矛盾。我国石油对外依存度很高,处于不安全状态,一旦输入石油通道受阻或切断,将面临能源危机,经济衰退。核能、核电不但可补充能源不足,而且提供核燃料、核推进动力,为核安全提供强大的战略发射系统,核打击力量。

(三)积极推进我国核电大国、强国的建设

“把我国建成核电大国”是国务院2006年4月提出的重要战略目标。要求按照核电中长期规划的要求,完成改进型核电站,建设推动新一代核电站建设,不断提高核电在全国电力结构中的比重。国务院希望“广大核电工作者牢记使命,不负重托,兢兢业业,扎实工作,为把我国建设成核电大国做出新贡献”。

所谓核电大国,应该在国际核电装机容量中有重要地位,有较大比例,且处于世界前列,并在国内电力产业中有发展地位。世界核电量2010年总装机容量3.78亿kw,441座,美国装机10112万kw,占27%,法国6324万kw,占17%,日本4770万kw,占13%(世界2013年核电运行机组432座),其他俄、德、韩各占5%左右。我国建成核电大国应进入世界核电前3名,按未来核电增长趋势看,装机容量应在7000~8000万kw,占到国际核电装机容量的15~20%才能实现这一目标。按目前规划,2020年核电装机容量建成5800万kw,在建3000万kw,作为核电大国仍需努力。核电强国表现不仅在“量”,而且包括“质”。核电“质”表现为有自主知识产权的核电机组、核电研发体系、核电产业体系,自主的技术路线,包括核电的国产化、标准化;包括核电出口,进入国际核电竞争市场的先进行列。首先在核电三代批量建设有自主知识产权核电站;开发四代核电站,并商业运行;聚变堆的研发有新的突破。

四 对我国积极推进强大核能产业体系发展的建言

1、从战略、从长远对核能产业作国家发展定位。包括核能源、核电战略,核燃料战略,核战略,辐射技

术用于科研、军工、工、农、医、社、环境、生态的战略定位,特别是对核电大国、强国的定位。

2、根据战略定位制定核能产业规划。提出对核电、核燃料、辐射技术、核科技发展等产业规划。

3、根据核产业规划提出推进核能各产业发展方针、政策、措施。

4、国家对核能产业、事业、经济的领导、管理体制要改革,做好顶层设计。现在中央6部局管核能、核电,各省也管,都说了算,也都说了不算。各集团公司到处请示报告,问题难以解决。各集团公司九龙治水,竞争有余,争项目、争布点、争引进,合力不够,自主研发开发差。核能行业协会作用未能发挥。在市场与政府二者作用中找到一个平衡、统一点,才利于这种军民结合,敏感产业的发展。目前在核电开发、布局、出口,应以国家利益为重,适当集中。

5、合力推进我国三代自主化核电“落地”与“走出去”战略。ACP1000、CAPR、CAP1400是三大核电公司自主开发项目。首先要使该堆型在中国落地,开建首堆,做好首堆审批工作。巴基斯坦总理穆罕默德·纳瓦德·谢里夫于2013年11月26日启动了卡拉奇核电建设项目,2台ACP1100MWe机组交钥匙合同启动。我国应抓紧其首堆建设。2014年3月“两代”会11位政协委员提出的推“龙华一号”“走出去”是合力开发的选择。这个安全性好,自主化设备制造国产化率高,在国际上有竞争性,国家应

抓紧决策,免失良机。

6、增加核科技人力、物力、资金投入。核科技是高科技竞争产业,不但核军备在竞争,核电也在争市场。一方面因福岛事故有去核的“低迷”,另一方面在核电发达国家、在发展中国家,石油富国又在竞争三代、争核电出口与进口。我国核电则处于两难之中,引进三代核电处于世界工程示范堆阶段,自主开发三代由于各方面原因未能布点;内陆滨河的湖南、江西、湖北三电站“十二五”不能开工。大家寄希望自主开发的三代压水堆电站抓紧审核、布点。

7、核能产业发展仍需融资,需要税收、定价、舆论等政策支持。

[参考文献]

- [1] 任德曦,肖东生,等.核能经济学[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2013.
- [2] 刘兴.辐射加工业:迈向提速时代[J].中国核工业,2013(11):16-18.
- [3] 李鹏.起步到发展——李鹏核电日记[M].北京:新华出版社,2004.
- [4] 环境保护部(国家核安全局),国家发改委,财政部,国家能源局,国防科技工业局.核安全与放射性污染防治十二五规划及2020年远景目标[J].中国核工业,2012(6):27-32.
- [5] 任德曦,胡泊.核能经济与管理发展的研究[M].北京:原子能出版社,2008:1-8.

On Positively Pushing Forward the Development of Chinese Nuclear Financial System

REN De-xi, HU Bo

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: This paper strategically presents the outlook in positively pushing forward the development of nuclear financial system. Nuclear energy industry is a comprehensive energy that interacts with other energy system it's also featured with security safety and cleanness; the majority of it is nuclear electricity. The energy resources in China are inadequate in amount and unbalanced in location, thus the structure of energy industry are to be bettered; owing to the need of nuclear technology in science research, national defense, nuclear medicine etc; to build a powerful complete nuclear system that includes nuclear resources, nuclear power station; nuclear weapon; nuclear security etc is imperative. In order to construct a powerful complete nuclear industry financial system, we need to make future plan according to the strategical location of nuclear industry, bring up goals policies and methods, and follow the leading of the government.; the management system need to reform, for a highly political technical and military sensitive industry as nuclear energy, the relationship between government and market, government and company should be well taken care of, at the current stage National interest comes at first.

Key words: nuclear energy industry; nuclear financial system; positively pushing forward; powerful nuclear country