

中国核电站安全性建设研究

伍卓,邹树梁^①,周晓东^①

(南华大学 经济管理学院,湖南 衡阳 421001)

[摘要] 2011年福岛核电事故引起了社会各界对核电安全性的广泛关注,各国均采取积极应对措施。文章首先介绍国内外核电与核电站发展状况,阐述核电站安全性问题,探讨核电站安全建设的必要性。进而,分析中国核电安全性发展建设的约束因素和驱动因素,并指出主导我国核电站发展的约束性因素有技术、核原料的安全性等,驱动因素为能源结构和节能减排压力。最后,文章提出了中国核电安全性建设的建议。

[关键词] 中国; 核电站; 安全性; 驱动与约束因素

[中图分类号] X945 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2014)03-0001-05

中国是能源需求大国,在中国的能源结构里占主要部分的是火力发电。然而,火力发电碳排放量大,不利于环境保护。核能发电作为清洁、高效、安全的发电形式逐渐被人们所关注。但由于其放射性会对人体造成伤害和对环境造成影响,因此,各国在核电发展初期确立了许多安全保障的基本原则。日本福岛核事故的发生将核电安全推至舆论的风口浪尖,安全问题成为核电站发展的关键问题。基于福岛地震所引发的次生灾害,也引发了人类对核电安全的重新认知和反思。核电站对环境可能产生危害的根源在于核电站运行过程中产生的各种放射性裂变产物,其发出的辐射射线对人体产生有害影响。在中国,国家核安全法规要求核电站在正常运行情况下对周围居民的年辐射剂量不得超过0.25毫西弗,而核电站产生的辐射剂量实际上远低于此限值。研究数据表明,核电站对公众寿命的影响远小于日常生活中人们遇到的一些健康风险,如吸烟和空气污染等^[1]。因此,核电站正常运行情况下的环境是安全可接受的。由于受日本福岛核事故影响,中国作为世界能源消耗大国,其核电站安全建设面临一场前所未有的困惑和考验。

一 核电发展现状

(一)世界核电发展现状

核能和平利用始于20世纪50年代美苏等发达工业国家的核军备竞赛,至今已有60多年历史。其

间,核电产业发展波澜起伏,既有20世纪70年代石油危机后的发展高潮,也有受20世纪80年代经济发展缓慢的影响,随之放缓发展脚步,更有经历1979年三哩岛事故和1986年切尔诺贝利事故,以及2011年3月初日本地震引发核电站放射性物质泄漏事故引起的反对核电的浪潮。可见,核泄漏事故引起了世界范围内人们对核电未来的臆测,迫使发展核电的各国政府做出反应。美国政府要求核电经营与管理行业对核电发展进行“全面的安全评估”,加强现有核电设施安全和管理,延迟和搁置核电发展规划^[2]。法国也掀起了是否发展核电的大讨论,反对者要求关停核电站,而法国政府要求增强核电的安全性,但不放弃核电发展。德国、英国、日本等国反应更直接,德国2011年先后宣布永久关闭13台临近退役的核电机组,决定逐步放弃使用核电。为此,全球核电发展陷入低谷。

虽然人们对核电利用的安全性仍存在一定疑虑,且核电站的建设成本不断提高。但截止2011年底全世界共有16个国家的核电在国家电力生产中的比例超过25%,其中比例较高的有法国、立陶宛、美国等。国际原子能机构统计显示,2011年世界正在运行的核电机组共有428套,这些核电机组分布在31个国家和地区,总发电装机容量达到3.52亿千瓦时,核发电量约占世界总发电量的13%,与水电、煤电一起构成世界电源的三大支柱见图1。

[收稿日期] 2014-02-22

[基金项目] 湖南省教育厅重点基金项目“低碳经济下核能开发利用与核安全研究”资助(编号:10A108)

[作者简介] 伍卓(1963-),女,湖南衡阳人,南华大学经济管理学院教授。

^①南华大学经济管理学院教授,博士。

(二)全球核电站安全建设现状

世界核电运营者协会每年都对世界各国在运核电机组的运行情况进行统计,并提供了 9 大项 11 小项性能指标,用于衡量核电机组各方面的运行性能^[3]。这 11 项指标分别为:机组能力因子、非计划能力损失因子、强迫损失率、7000 临界小时非计划自动停堆次数、工业安全事故率、安全系统性能(包括高压安注系统、辅助给水和应急交流电)、燃料可靠性、化学性能指标、累计集体剂量。GRLF 和 CISA 是 2007 年新增的指标。2009—2010 年 WANO(World Association of Nuclear Operators)对全球核电机组的各项运行性能与堆型无关

指标进行了统计见表 1:

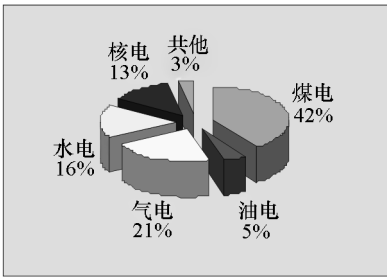


图 1 2011 年底世界发电装机结构
(数据来源:BP 世界能源统计年鉴,2012)

表 1 全球核电机组与堆型无关的 WANO 指标中值

年	运行指标				
	机组能力因子	非计划能力损失因子	强迫损失率	7000 临界小时非计划自动停堆次数	工业安全事故率
2007 中值	86.7	2.0	1.3	0.6	0.19
2008 中值	86.3	1.7	1.0	0.5	0.18
2009 中值	87.3	1.5	0.9	0.4	0.16
2010 中值	86.3	2.1	1.5	0.5	0.17

数据来源:WANO 运营网站整理

从表 1 可看出,机组能力因子、非计划能力损失因子、强迫损失率、7000 临界小时非计划自动停堆次数、工业安全事故率中值均同比变好或持平。世界核电机组的各项运行性能指标中值大体呈变好趋势,表明随着技术与管理水平提升,核电机组运行效率 and 安全性都在不断改善提高。

(三)中国核电站建设发展现状

中国从 20 世纪 70 年代开始筹建核电站,1991 年 12 月 15 日,中国第一座自行设计、自主建设的核电站——秦山核电站并网发电成功,秦山核电站成功发电标志着核电开始登上中国能源的舞台。近年来,中国《核电中长期发展规划(2005—2020 年)》、《能源“十一五”发展规划》、《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》等纲领性文件均明确提出将核电发展作为国家发展战略^[4]。到 2011 年底,共有 14 台机组商业运行,总装机容量达 1254 万千瓦,在建 27 台机组建设稳步推进(见表 2)。

核能行业协会《2013 年年度全国核电运行报告》显示,2013 年,中国核电发电量和上网电量继续呈良好上升趋势。核电累计发电量为 1107.10 亿千瓦时,比 2012 年上升 12.62%;累计上网电量为 1040.90 亿千瓦时,比 2012 年上升 12.38%。较 2012 年增加了 2295.59MWe,占全国发电装机总量的 1.19%。2013 年中国新增 2 台商运机组,分别是

2013 年 4 月 15 日投运的宁德核电厂 1 号机组,装机容量 1089MWe,以及 2013 年 6 月 6 日投运的辽宁红沿河核电厂 1 号机组,装机容量 1118.79MWe。2014 年至少有 5 台机组投入商运。中广核核电工程事业部称,2014 年年中广核有 5 台机组投产。

表 2 2011 年中国核电站运行核电机组统计

机组	省份	装机容量 (兆瓦)	堆型
大亚湾 1、2 号	广东	2x944	PWR
秦山 1 期	浙江	2x279	PWR(CNP-300)
秦山二期,1-3 号	浙江	3x610	PWR(CNP-600)
秦山三期,1-2 号	浙江	2x665	PHWR(Candu 6)
岭澳一期,1-2 号	广东	2x935	PWR
田湾	江苏	2x1000	PWR(VVER-1000)
岭澳二期,1-2	广东	2x1036	PWR(CPR-1000)
总计:14		11270 兆瓦	

中国已建立了与国际接轨的核安全法规体系和独立的核安全监管体制,对民用核设施安全进行了有效监管。核电国产化建设,包括项目管理、设计、设备制造、调试和运行等都取得了一定经验,为核电进一步发展奠定了基础^[5]。虽然 2011 年没有审批任何新的核电项目,但目前对新建项目审批年内解禁的乐观预期已成核电业共识,未来中国核电产业发展前景乐观。

二 核电站安全性约束因素分析

(一) 约束因素

1、技术因素

技术是核电站安全质量保障的前提,由于核电的特殊性,对技术要求很高,所以核电站要安全发展就必须有过硬的技术保障。据专家分析,日本福岛核泄漏事故从技术分析来看,沸水堆只有一个蒸汽回路,无蒸发器,反应堆产生的带放射性蒸汽直接进入常规岛推动气轮机发电,常规岛也具放射性,故采用密闭厂房。在结构上,沸水堆工艺简单、造价低、蒸汽压力参数低、炉膛大、线功率密度低,这不利于核设施的安全。但在此次地震、海啸影响下,应急柴油机组被淹失灵,全厂无电力供应,反应堆无法注水冷却,紧急情况下不得不排放蒸汽减压。但沸水堆没有二回路,只能排放一回路中含有放射性的蒸汽,造成环境辐射,沸水堆技术和结构上的特点成了致命弱点^[6]。

福岛核电站采用的是沸水堆二代核电技术。事故发生后,二代技术引发质疑。三代、四代技术是否能够经受类似事故也遭到普遍质疑。我国核电起步较晚,且绝大部分为压水堆。在技术上较福岛核电站已大大改进,安全性能也大大提升。理论上抗灾能力要优于沸水堆。正在建设的 AP1000 三代核电技术,具有非能动性,即使遭遇极端情况也能有效应对^[7],但目前来看还远远不够。为进一步提高中国已运行和在建核电机组安全技术水平和应对极端灾害的能力,借鉴福岛核事故的经验,必须启动全国核电安全技术研发计划,以全面提高二代改进型核电技术安全性,满足国际公认的三代核电安全标准要求。

2、核原料安全性

铀资源是核电站的“粮食”,其市场格局深受核电发展进程及其变化影响。作为世界在建核电规模最大的国家,我国企业在世界铀资源市场上地位凸显。国外学者认为,中国是未来十年世界铀市场的绝对主力和价格主导者。目前已探明的铀资源储量或者推断的资源量在全球排名第 10 位,国内勘探开发近年来获得重大突破,北方地区已经落实了四个万吨级大型、特大型铀矿基地。在国内发展日渐成熟基础上,企业“走出去”参与海外竞争和国际贸易可行性与必要性日益凸显。从长远看,国内企业必须加快铀资源勘查、拓展海外市场,才能有效利用国际市场保证国内铀资源供应和国家能源安全。

3、公众对核能的接受度

核电公众接受度是指公众对发展核电的看法和

接受程度。从核电站项目环评上看,中国环评制度自身存在的结构性缺陷尚不能保障核电项目万无一失。主要表现为规划和项目环评公众参与程度很低,以及项目环评缺少可供选择的方案。同时,在核电项目的审查和运行环节,还缺少依法由独立的第三方如原子能委员会等机构独立审查与监管的程序。核电环评没有公众参与程序,组织规定不健全,这样的结果不能通过法定程序听到反对的声音。福岛核事故发生后,中国国内民众抢盐潮事件高度诠释了公众参与度不够的事实。

值得一提的是,经过这些年的发展与经历,民众对核电认识不断加强,但公众最关注的仍然是安全问题,绝大多数民众认为,一旦发生核事故,其后果十分严重。中国核电站正处在良性发展过程中,在努力维护公众支持度的同时,也在积极加强核能公众接受度的研究,加强民意调查、核安全领域的沟通,保障公众参与项目的决策。只有通过技术和非技术两方面作用,才能保证核电事业的可持续发展。

(二) 驱动性因素

1、能源结构优化助推核电安全性建设

中国发电量构成中,煤电发电量占总发电量的 80% 左右,这种高比例随着我国煤炭资源日益紧缺以及环境保护的巨大压力,能源发展问题逐渐突出。2007—2010 年,核电发展目标曾 3 次提速。即 2007 年国务院通过的《核电中长期发展规划(2005 ~ 2020 年)》,确定核电发展建设目标为:到 2020 年全国发电总装机容量达 10 亿千瓦,核电运行装机容量争取达到 4000 万千瓦,在建 1800 万千瓦,即中国核电装机比重从当时的 1.7% 上升到 4% 左右。电力需求迅速增长使得 2009 年总装机容量突破了 9 亿千瓦。2010 年 3 月,国家曾考虑大幅度调整核电容量至 7000 ~ 8000 万千瓦,预期 2020 年总装机容量为 15 亿千瓦,核电比重为 5%。

2010 年年末,为了实现节能减排的承诺,部分省份不惜以拉闸限电为代价,不仅影响企业的正常生产活动,相关产品市场供应量减少,导致物价上涨,因此严重影响人民群众的正常生活,受到社会各界广泛诟病和中央政府的批评。虽说拉闸限电可以在短期内达到节能减排的目标,但这种做法过于简单粗暴,并不能有效地将各项节能减排指标落到实处。在煤炭消耗计划减少、核电比重必须作出调整情况下,提高清洁能源在我国能源消耗中的比重至关重要。

2、核电厂及设备的安全性促进安全建设

与日本相比,中国在役机组数量相对较少,但在

建、拟建机组数量则较多,安全质量控制压力持续加大,核电发展配套能力、核安全监管和应急体系亟待加强,长期安全隐患不容忽视,中国核电安全建设状况与世界先进标准仍存在差距。虽然大部分机组能够安全运行,但需要进一步加强监督管理,根据不同情况进行处理。

核电厂及其设备的安全性是其可靠性和实施措施有效性的表现。中国核电经营从起步开始就存在着多国引进、多种堆型、多类标准和多种技术共存的局面,在运行的核电机组中,有自己设计、建造的秦山 1 期;有整座买进的大亚湾核电站、秦山 3 期和田湾核电,更有保持引进技术基本构成的岭澳核电和在消化引进基础上自行设计的秦山 4 期。所以,除技术需要改进外,还需要完善核安全管理、加强核安全文化建设来保障核安全。要积极提升核电厂的运行效率,维护核退役设施的安全管理水平,完善核电经验反馈机制与核事故应急管理体系,开展核安全教育等等。

3、核电经济性优势促进核电站安全发展建设

发电成本由三部分组成:投资费、燃料费和运行费,它们在核电、煤电和气电中比例各不相同,表 3 给出了 2011 年几种能源发电成本的比较。由表 3 可看出核电的投资费比重(约 60%)几乎等于煤电燃料费比重,因福岛核事故引发核电安全性备受关注,未来三代技术达到规模效益时,这个比例会在短时间内提高不少,长远来看,由于规模效益会使其成本大幅度减少,从而使得核电经济性优势比传统能源发电要高很多。

表 3 标准化发电成本的组成 单位:%

费用	核电站	煤电站	气电站
投资费	43 ~ 70	23 ~ 45	13 ~ 33
燃料费	13 ~ 30	35 ~ 65	53 ~ 84
运行维修费	17 ~ 31	6 ~ 28	3 ~ 19
合计	100	100	100

当今社会能源产业面临极大的环境压力,虽然某些传统能源如煤电,账面成本极具竞争力,但由于忽视能源利用本身会对自然生态系统、社会环境造成费用,无形间增大其机会成本。然而,核电的很多环境损害代价已内部化,即包括在核电成本以内。所以外部成本进行比较时,欧盟 15 个成员国中核电在基本负载中社会环境(外部)成本最低,当然英国和德国的风力发电除外。在德国 1kWh 电量的外部成本分别是:核电 0.22 欧分,风力发电 0.06 欧分,

天然气发电 1.1 ~ 2.2 欧分,生物质发电 3.4 欧分,煤炭发电 3.4 ~ 6.7 欧分,石油发电 5.6 ~ 9.0 欧分。而法国和比利时为无风力发电的国家,核电的外部成本最低。另一个值得注意的问题是“碳值”。碳值是指排放 CO₂ 应付出的代价或不排放 CO₂ 所具有的价值。世界能源机构报告表明,当“碳值”为 20 美元/吨时,利用煤炭、重油和天然气发电的综合成本分别增加 36%、12% 和 11%。

三 中国核电站安全性建设建议

(一)加强国际核安全交流与合作

福岛核事故后,内地与香港、海峡两岸、中日两国及中日韩三国核安全领域的技术交流与合作轮番进行。真正意义上的核安全需要不同层次利益相关方的合作,尤其是大国间的交流与合作。笔者认为核安全国际合作表现在以下三方面:第一,核信息相对透明。核信息相对透明主要表现在核军事信息和核能发展信息两者。第二,加强防扩散。防扩散在国家层面包括,一是拥有核技术或核材料的国家完善其核安全保护措施。二是防止有发展核武器倾向的国家在不受法律监管的条件下获取核技术和核材料并应用于军事领域;在社会层面则与打击恐怖主义相结合,杜绝恐怖分子通过非法窃取和贩运等途径获取核技术和核材料。第三,防止核事故发生。通过完善核技术,有效防范和减少核事故,保证核设施地域内居民的生命安全,其主要内容包括:科技层面,在核能设施选址、核能工程防护设计、操作人员安全监督、工程设备检修与更新与核废料处理等方面进行更加严格处理;机制层面,通过合作,敦促各国提高核设施建设安全等级标准、制定核事故应急预案和加强核事故应对的国际协调等,最终确立核领域国际支持的规则。

(二)强化核安全监管

建立有利于核安全独立监督的组织体系。保证核安全独立监督有效性的组织体系应包括主管核安全的公司级领导、设置专门讨论审议核安全有关事宜的电厂核安全委员会、设置内部核安全监督的专业部门、根据电厂实际情况设置核安全监督基层单位并配备合适的监督人员。为了适应介入式监督管理对监督人员的要求,建议配备的核安全监督人员至少持有反应堆操纵员执照。在条件允许的情况下最好配备持有反应堆高级操纵员执照的人员。

(三)建设中国特色核电站安全文化

第一,把“安全第一”放在优先地位。核安全是国家安全的重要组成部分,核安全是核电建设的生

命线,保证核安全才能保证核电建设和最大的经济效益、社会效益和环境效益。倡导“安全第一、质量第一”,具体目标是每堆年发生严重堆芯损坏事件的概率低于十万分之一,每堆年发生大量放射性物质释放事件的概率低于百万分之一。第二,树立核安全文化价值观。核电企业要在全体员工中深入普及核电安全文化,要求所有员工对安全的重要性具有充分认识。当安全与核电站的经济效益相冲突时,保证核电站的安全不受影响是核电站工作中压倒一切的决定因素。

总之,核电站安全质量关系核电发展的命运和前途,只有强调质量和安全,才是抓住了中国核电未来发展最关键的问题。安全是核电站发展的生命线。核电站的发展必须按照确保环境安全、公众健康和社会和谐的总体要求,把安全第一的方针落实到核电规划、建设、运行、退役全过程及所有相关产业。随着技术的不断成熟,以及经验的积累,核电站的事故发生率无疑将会越来越低,仪器及设备的可

靠性逐渐提高。虽然经历了日本福岛核事故的严重影响,但中国发展核电的决心不能动摇。

[参考文献]

[1] 叶奇蓁. 解析我国核能利用与安全状况[N]. 国家电网报,2011-04-07(06).

[2] 吴开,夏鑫,卢婧. 我国核电发展及其布局分析[J]. 资源开发与市场,2010(26):151-155.

[3] 马武松. 日本核泄漏事件背景下的中国核电[J]. 中国科技产业,2011(4):56-58.

[4] 白云生,王亚坤. 日本福岛核事故将对我国核电产业产生六大影响[J]. 中国核工业,2011(4):13-17.

[5] 杨光,黄文杰. 我国核电发展的驱动与约束因素分析[J]. 华北电力大学学报,2009(2):72-74.

[6] 曹威. 美国核能战略的新动向及对中国核电发展的启示[J]. 中共浙江省委党校学报,2009(5):75-80.

[7] 叶奇蓁. 从“福岛第一核电站事故”看我国核能利用的核安全[J]. 物理,2011,10(7):427-433.

Study on Safety Construction of China’s Nuclear Power Stations

WU Zhuo,ZOU Shu-liang,ZHOU Xiao-dong
(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: In 2011 the Fukushima nuclear accident aroused widespread concern about the safety of nuclear power, and many countries took active measures to cope with it. Firstly, this study introduces the current development of nuclear power stations at home and abroad. Secondly, it expounds the security problem of nuclear stations, discusses the necessity of construction of nuclear power safety. Thirdly, the study analyzes and identifies China’s nuclear power safety development driving factors and constraints in construction, and points out that restrictive factors are mainly technology, safety of nuclear materials, etc. while the leading safety driving factors are energy structure, pressure of energy saving and emission reduction, etc. Finally, some suggestions are put forward for the safety construction of China’s nuclear power stations.

Key words: China; nuclear power stations; safety; driving and restrictive factors