

推动核能高质量发展 建设美丽中国

◆郑明光 / 文

编者按

4月10日举办的2019年度第一期质量大讲堂公益活动中，CAP1400重大专项总设计师、国际质科院院士、上海核工程研究设计院郑明光院长以《推动核能高质量发展 建设美丽中国》为题发表演讲，介绍了作为清洁能源之一的核能，在缓解不可再生资源匮乏、实现国家可持续发展战略中的重要作用，分享了我国四代核电技术的发展和核电安全管理的严谨、核电高科技的魅力。本文根据现场速记整理。



很多人不了解核能，也有很多人对核电带有恐惧，其实，人类所有已知的能量形式，比如太阳能、水能、石油、煤炭等，最终的来源都是核能，是太阳内部核聚变产生的核能转化成太阳能，最后通过不同的

形式转化为我们所需要的电能。

中国发展更需要核能

2018年，全球核电总装机容量超过4亿千瓦，约占电力总装机容量的11%，年发电量占总

发电量的19%。

目前，我国发电装机容量已达到19亿千瓦。其中，水电装机容量大概是3.5亿千瓦，风电1.84亿千瓦，煤电10.1亿千瓦，光伏1.7亿千瓦，其中核电0.45亿千瓦，占比约2.4%。

我国每年的总耗电量大约在6.4万亿~7万亿千瓦之间。目前，火电发电量占比仍然在70%，中国要青山绿水，要美丽中国，要幸福生活，火电不能继续扩大了。最终落脚应是清洁能源。所以，未来的能源发展还需要多样化，需要不同种类能源的加入来调整、优化能源结构。一方面，火电需要提高效率、清洁燃烧，适当降低比例；另一方面，需要形式多样的清洁能源来填补未来发展的空间——核能就是其中之一。因为核能具有资源消耗少、环境影响小、供应能力强高效稳定等特点，而水能、风能、太阳能等都会受到自然条件、天气条件等限制。

铀是目前自然界中能找到的最重元素，铀-235是放射性同位素。铀-235原子核在吸收一个中子以后，分裂成两个质量较小的原子核，同时放出2~3个中子和大量的能量。而新产生的中子，再去轰击另一个铀-235原子核，便引起新的裂变。这就是链式裂变反应，核能就连续不断地被释放出来。一公斤铀-235全部发生核裂变放出的能量相

当于2700吨标准煤的能量。

一个百万千瓦的电厂,如果是火力发电每天要烧一万吨煤,每天需要四十节车皮来供应。如果是核能发电,一年使用的燃料不到30吨,只是几辆卡车的运输量,而且是一年多时间才换一次燃料,对环境没有太高要求,也没有任何影响。所以,核电的能量密度高,部署相对容易,是快速改变能源结构、保障供给安全的良好途径。尤其在缺乏一次性能源但经济发达、用电需求量大的我国东南沿海地区,核电的实用价值非常好。

核电的基本原理是从核能转化成热能,热能转化成机械能,机械能转化成电能。在能量转化的过程中,后端热能转化为电能的过程和普通发电厂一模一样,没什么好担心的,而前端反应堆中核能转热能的过程,是大家最为担心的,伴随产生的放射性物质。作为核电站最核心部分的反应堆,现有的技术已经足以保证正常情况下,不会有放射性物质被泄漏出来。那么切尔诺贝利、福岛核事故又是怎么发生的呢?

从质量的角度上来讲,这几次事故都违反了质量方针。特别是1986年切尔诺贝利事故是违反操作规程和安

全要求,最终造成了反应堆的爆炸,引起了放射性的扩散。福岛事故从某种程度上讲,是人类对于自然特点的理解还不够正确,把核电站造得比较低,海啸过来后把淹没了核电站,反应堆不能有效燃烧,结果就出现核泄露。

基于已发生的教训,各国对现有核电站都进行了不同程度的改进,安全防范能力都进一步提升。

核电技术的发展经历了四个阶段,第一代验证了核能发电的技术可行性;第二代在进一步证明核能发电技术可行性的同时,使核电的商业性前景明朗化;第三代进一步明确了防范严重事故、提高安全性和改善人因工程等方面的要求,安全性和经济性程度更高,是今后相当长时间发展的主要方向;第四代重点强化资源利用率、防止核扩散和多功能等要求,目前还处在原型堆技术研发阶段。

当前主流的第三代核电技术,我们叫做“非能动核电技术”,利用的一些自然规律。大家知道,水是往低处流的,还有水遇热会蒸发,遇冷会凝结。第三代非能动技术利用了这些特点,当反应堆热量排出的时候,水温会升高,会变成蒸汽,带动相应的物体被加热,遇冷的时候,蒸汽又冷

凝成水,水往低处走就会流到堆心里,促使反应堆余热导出。

福岛核电站用的是“能动核电技术”,需要利用水泵、电机(能动)把水打到反应堆去。这样,包括能动核电电机的可靠性、泵的可靠性、水源的即时有效性等,都会受到环境的影响。比如,海啸来了以后,就把电机淹掉了,导致了电机的失效、福岛的灾难。

因此,“非能动核电技术”在安全标准上,在对事故的防御能力上,在对防止放射性扩散的标准上,比“能动核电技术”高出两个量级,且可以数字化自动化运行,可靠性更高。

电力的安全就是国家安全,如委内瑞拉电网被攻击,整个国家就乱了。2035年,我国想迈入世界先进国家行列,电力装机容量就必须达到35亿千瓦以上的水平,核电占比能达到国家总发电能力的20%,甚至更多一些,就对我国的总能源供应、电力供应起到了关键作用。

核电安全从源头、设计环节抓起

高质量发展必须守住安全底线,核电每一步成长都与安全、质量密切相关。

中国核电于1970年起步,近50年保持安全平稳运行。当年春节前夕,周恩来总理听取了上海市关于华东地区缺电、上海市经常停电、极大地阻碍了经济发展的情况汇报,指示说:“从长远来看,华东地区缺煤少油,要解决上海和华东地区用电问题,要靠原子能发电。”2月8日,上海市传达周总理关于同意上海市研制核电站的指示精神,并动员、部署



开展核电技术方案研究。上海核工院的前身——728院就是在1970年2月8日这个特殊日子成立的，中国第一座核电站也以这个特殊日子作为工程代号，命名为“728工程”。

秦山核电站的建立对我国的核电标准体系、核电质量体系、材料设备及相关技术的建设都起到了奠基性的作用，为此“728工程”获得了国家科技进步特等奖。

1991年，秦山核电站并网发电，成为我国自主研发设计的第一座核电站。与秦山核电站并肩前行的上海核工院随后又设计研发了中国第一个出口核电站——恰希玛核电站。

2007年，党中央、国务院作出“引进先进技术、统一技术路线、高起点实现我国核电自主化”这一重大国家战略决策，上海核工院又承担起我国引进、消化、吸收三代先进核电技术AP1000，以及创新研发国家重大专项大型先进压水堆CAP1400核电站的历史重任。时至今日，我国已实现了核电技术的完全自主知识产权和独立出口权，并构建了完整的三代核电产业链，使我国核电产业具备了在更高层次上参与国际竞争的实力。

质量和安全是核电的生命线，而质量和安全必须从源头、从设计环节抓起。上海核工院以保障核安全为

核心，建立了多标一体整合型管理体系和信息化平台。大家知道，如果标准体系太多，实际操作中的效能就会降低。核电企业是知识密集型企业，有很多的管理标准，安全体系标准、性能管控标准、国家相关法规、质量体系标准等。为了提高管理效能，特别是实现卓越绩效管理，核工院将所有的管理标准体系融为一体，实施了简约、高效、管理职能全覆盖的整合型管理体系，帮助不同层级的管理者和员工简单、熟练地掌握标准体系。整个效能的提高，对于安全的保障起到了积极的作用。同时，核工院搭建了设计质量管理平台。在充分考虑核电质量安全的前提下，将管理程序、管理手册、实施细则等e化至设计质量管理平台，做到凡事有章可循、凡事有人负责、凡事有人监督、凡事有据可查。这个平台已运行10年，有效确保了设计质量。每份设计文件至少要经过10道审核程序以确保核安全万无一失，也确保了核电设计文件优良率100%（见图1）。

未来，核工院里提出了管控现代化、设计数字化、服务精细化、运行智能化的要求。

在核电技术发展方面，我们致力于我国核电技术从跟随到自主创新的根本性转变，初步建立了先进核能

标准体系。目前，形成国际标准1项、国内标准2项、行业标准158项、企业标准349项。其中，IEC 63186的成功立项，是我国核电领域第一次在国际标准化标准组织中主导标准制定。

实施数字化质量管控变革

环境问题是近几年全世界面临的巨大威胁，尤其是2018年全球出现了前所未有的热浪、风暴和洪水。如果碳排放不降低的话，这个趋势还会加剧。如果放任不管的话，大约到2035年整个地球的平均温度将上升2℃，由此引起的动荡将不得了。最容易预测的结果，首先就是台风将变得更加恐怖。大家知道，海水温度上升一度，海水的表面蒸发量增加7%，这7%的蒸发量将形成巨大的台风；原来12级台风已经很大了，今后有可能出现更高级别、破坏力更大的台风。

将来如何做出改变？核电的发展是好路径，太阳能、风能、水电也是非常好的补充。

工业4.0是一个全新的时代，需要质量4.0、设计4.0等作为支撑。在数字化时代，核电如何实现高质量发展？数字化的过程，让我们的思考方式发生了根本性的转变。原先，核工院制定文件、审批文件等，都有一个流程，设计数字化以后，就变成了计



图1 整合型管理体系和设计质量管理平台

计算机实现。那么,这个过程中间的判断、法规制度的落实、专家经验判断的植入,以及质量保证要求的落地,如何润物无声地融入其中呢?我认为,就是我们需要深入思考和实践的一个问题。数字化的优势明显,基于数字化的核电质量管理也在不断颠覆传统模式。核电领域的质量4.0是“工具级”向“体系级”提升的数字化,是“点到点”向“点面点”提升的信息化,是“设备级”向“系统级”提升的智能化。计算机能够自动设计、自动选择、自动分析,变化到哪里计算就能到哪里,大大减少人因事故发生的可能性,提高了安全性和效能。因此,对原来的数字化设计体系进行全流程的重构,是必要的。

大数据的建设是一个比较长的过程,实现得越快,发挥的效能就越快越高越好。依靠大数据、信息化,核工院正在进行从传统质量管理向数据质量管控的变革。我们有几个大的板块,比如数字化研发、数字化设计、数字化验证等。通过数字化设计技术打造型号设计母机,形成设计4.0,确保核电百年安全。但任何一个新的技术或工程设计,都是需要验证的,验证一般有几种方式,第一种是试验验证,第二种是分析论证,第三种是比对,或者其他专家的宏观判断等。如果每次都要做试验验证的话,无论时间成本还是经济成本等都太高。数字化试验可以把历史的经验、调试数据等形成数据库,对新的设计进行比对调和,这样大大降低了验证的成本,同时提高了效能。

数字化实践以后,核工院的整体效能大大提高。比如,第一个核电机

组(秦山核电站)的研发工作,我们当时花了20多年时间,但现在我们一年之内基本上可以开发两三个机组,满足社会发展的需要,而且未来能够满足订单式的需求。这些都得益于数字化理念带来的效率提高。

未来如何过度到真正的4.0时代?4.0时代是一个智能化的时代,对于核电来说,智能化起码要满足四个要求:智能诊断——在实际运行时,设备的性能、安全、质量等是不是能够满足要求,通过一些模型来进行比对判断;智能监测——通过可视化人机界面、数据等查看设备状态;智能控制——原本都是系统设备来控制,智能化以后,会根据大数据、理论模型进行比对,分析当前的控制状态,综合性提高控制效能,并对异常状态进行自主纠偏和恢复;智能表达——这是真正重要的,比如某核电机组运行了多年后,哪些设备有故障,哪些设备有问题,哪些设备需要预防性维修,智能表达能降低操作员的操作难度,提高对系统、对设备,甚至对整个专业的理解能力。从某种程度上,更好地保证了安全性。

最后,介绍一下我主持设计研发的重大专项CAP1400。CAP1400型压水堆核电机组是在消化、吸收、全面掌握我国引进的第三代先进核电AP1000非能动技术的基础上,通过再创新开发出的具有我国自主知识产权、功率更大的非能动大型先进压水堆核电机组。单机容量150万千瓦,每年可以发130亿度电;设备运行寿命60年,实际可以运行100年;采用非能动安全系统,增加了电站抗击地震、外部水淹等极端

自然灾害的能力,严重事故概率降低了100倍;在电厂断电状态下,反应堆可在事故发生后72小时内无须人工干预,自动保证安全。这个重大专项的实施,带动了我国核电产业跨越到第三代水平,全力支撑创新型国家建设,也帮助核工院构建起了八大体系,包括协同创新体系、先进核电自主设计体系、先进核电软件体系、先进核电标准体系、先进核电装备供应链体系等。

核能是清洁、安全的,不太熟悉的人对于核电的发展可以充分放心。核电领域的相关人员对于核电有一种责任心,始终保持核电发展的底线,始终坚持安全第一、质量第一的原则,在整个设计、产品研发、质量管控过程中都落实这一目标。上海核工院作为中央第一代领导人关心下建立起来的企业,是伴随着我国核电发展的实践壮大起来的,现在和将来还要做更大贡献。☑

编后语

郑明光院长的演讲,让我们对未来发展核电充满了信心。事实上,全球核电新增装机容量近年来不断扩大,去年创了新高,达到15吉瓦。目前18个国家在建的55座新反应堆中有5座是2018年开始建设的。我国在日本福岛事件后已有三年来批准上马新反应堆,但2019年开始,这一“零审批”状态出现松动,已有项目获批。我们相信,安全高效发展核电是全面进入清洁能源时代的必然选择,是我国绿色低碳发展所不可或缺的。但安全与质量仍是底线,必须牢牢把握。