

# 集安全可靠之大成 绘核电创新之蓝图

## ——国家核电厂安全及可靠性工程中心探索与创新之路

□ 林斌 刘秋实



核承担的核电站非能动应急高位冷却水源系统在大亚湾核基地通过国家能源局验收。据介绍,中广核研发的该非能动应急高位冷却水源系统中的水箱储水量达5 2 0 0立方米,可在极端自然灾害引起事故工况下,满足堆芯、乏燃料水池超过3天的非能动补水需求。该系统的成功研发,标志着我国核电站安全水平迈上了一个新台阶。

### 文化入魂,核电人永远坚守的核安全底线

核电发展过程中,没有安全,就没有核电的一切,核安全是核电人永远坚守的底线。安全确实已经成为中广核人共同默认的假设,成为中广核文化的魂,并影响着大家日常的行为。比如,在开会之前第一件事就是宣布安全规定和安全提示,告诉大家一旦发生火灾等突发事故,逃生通道在哪里。又比如,不论是乘坐中广核的大巴还是小轿车,每个人都必须系上安全带司机才会发车,即使是小后排的乘客也一样。

1995年2月4日,大亚湾核电站1号机组完成首次换料大修,进行反应堆控制棒落棒试验时,工作人员发现,在53组控制棒中有7组落棒时间与验收标准存在偏差,介于2.287秒至3.17秒之间,超过2.15秒的验收标准。当时法国专家评估后认为,这一试验结果未超出安全裕度,从安全角度是可以接受的。但大亚湾核电站管理层明确表示,原因不明,坚决不能让电站带着缺陷投入运行。为了查清原因,刚刚刚竣工一年的大亚湾核电站付出了机组停运5个月的代价,停运一天的直接经济损失就接近1000万元人民币。

安全在中广核是最高的准则,任何时候,都决不能以牺牲安全为代价。中广核人心中的核安全文化内涵丰富:首先,核安全是全过程、全方位的。核能从设计、设备制造到施工、修建、安装、调试,再到运营,哪一个环节都不能出问题。其次,核安全离不开系统的、严格的安全管理。要在各核电站实施纵深核安全管理体系,全员核安全文化、独立的安全监督体系、经验反馈体系、核应急响应及处置体系等,通过推进安全标准化和安全标杆建设、安全质量标杆班组建设、领导干部以身作则等方法强化安全管理。第三,核安全离不开安全文化的建设与培育。核安全文化是潜移默化的,要通过持续的核安全文化建设,让安全成为大家自觉的行动和心中默认的假设,任何时候都将安全放在首位。

### 安全守护,战略层面推动核电规模化发展

根据我国向国际社区做出的公开承诺,2030年我国非化石能源占一次能源消费比重将提高到20%左右,这意味着届时非化石能源的供应量要达到12亿吨标煤左右,而核电装机规模则需要达到1.5亿至2亿千瓦,才能填补风电、水电、太阳能发电、生物等非化石能源发电缺口。

截至2014年底,我国大陆在运核电机组22台,总装机容量2029万千瓦,核电发电量占全国总发电量仅2.4%,若要达到世界平均水平的12%,则应从国家战略层面进一步明确核电在我国能源电力供应中的支柱地位,实现核电在我国规模化发展。

目前,我国核电已经具备规模化发展的基础和条件。经过近30年不间断的发展,特别是“十一五”以来的快速发展,我国创新形成了具有完全自主知识产权的三代核电技术“华龙一号”,具备了规模化发展核电的技术能力。同时,我国已形成较强的产业链配套能力,我国核电装备制造产能已达10~12台套/年,工程建设能力可以满足30~50台机组同时建设。此外,人才培养和储备体系不断完善,近10年来各核电企业持续培养了大批人才,很好地满足了我国核电研发设计、工程建设及生产运营的需要。核燃料供应保障充分,近10年来几家主要核电企业在海外铀资源开发方面持续取得突破进展,完全能够满足后续核电规模化发展的需要。

## 我国核电行业首个、也是迄今唯一的国家工程技术研究中心

作为我国核电行业首个、也是迄今唯一的国家工程技术研究中心,国家核电厂安全及可靠性工程技术研究中心瞄准核电厂安全及可靠性技术国际前沿,以核电厂安全及可靠性技术的核心——核安全分析与评价、环境影响分析与应急、关键设备可靠性保障、可靠性检测和维修优化、核电厂寿命评价与管理为主要研究方向,致力于我国核电厂安全及可靠性工程技术的研发、成果转化和工程应用。

工程研究中心以国家核电产业政策为导向,以市场需求为依托,以科技创新及成果转化为目标,通过

行业资源整合、专业人才凝聚、先进技术聚集,对与核电厂安全及可靠性息息相关的重大关键技术、共性技术等展开研究,形成了一批具有自主知识产权的新技术和新成果,对提升核电厂安全及可靠性技术的核心竞争力,带动核电设备制造等相关产业的发展,提高核电综合经济效益和社会效益起到了重要作用。经过三年建设,工程研究中心已经成为核电厂安全及可靠性工程技术领域一流的研究开发平台,成果转化平台、信息与技术交流平台以及人才培养输出基地,为我国核电厂行业健康、快速、可持续发展提供了强有力的技术支撑。

### 创新驱动发展:五大关键技术领域抢占制高点

据苏州院院长王安介绍,工程研究中心经过三年建设,圆满出色地完成了《计划任务书》规定的全部任务,主要考核指标全部超额完成。通过科技创新攻关,围绕工程研究中心的五大关键技术领域,建成了环境检测实验室、电气与绝缘实验室、状态监测与故障诊断实验室、振动测试平台、流体加速腐蚀试验平台、安全分析平台、焊接实验室及在役检查装备和技术中试基地。工程研究中心累计承担了各类研发项目76项,其中国家级、省部级和市级等纵向项目35项,包括863计划项目1项、973计划课题1项、国家科技支撑计划项目(或子课题)2项、科技重大专项课题(或子课题)11项、国家自然科学基金1项等。三年中,24个成果获得省部级科技奖励;29个科技成果通过行业鉴定和认可;申请专利166项,69项专利获得国家知识产权局的授权;获得软件著作权登记17项;在核心期刊或重大学术会议上发表论文115篇,其中SCI/EI收录计39篇。

核安全分析与评价方面,工程研究中心首次建立了一体化概率安全分析(PSA)模型,形成了自主创新的水淹、火灾、地震PSA技术路线、流程和方法。其中,内部水淹PSA模型实现了外部事件PSA技术零的突破;内部火灾PSA模型是国内首个在运核电厂的火灾PSA模型;地震PSA模型是国内首个详细、完整的地震PSA研究模型。在此基础上,编写了能源局PSA技术标准,形成了我国首份权威的核电厂功率工况一级、停堆工况一级、内部水淹、内部火灾、地震PSA等技术标准。

环境影响分析与应急方面,工程研究中心创新性地提出了一种全范围严重事故管理导则(SAMG)的结构框架,成功研发了全范围严重事故管理导则,构建了核电厂严重事故管理导则研制、培训和实施的完整体系。“基于操作干预水平的核应急决策支持系统的研究与应用”“核事故后果评价与辅助决策一体化平台”分别通过了中国核能行业协会鉴定,为建筑核电厂“安全纵深防御体系提供有力支撑。针对具有典型环境特征的我国内陆核电厂址,开展了内陆核电厂环境安全关键技术研究分析,先后完成了“内陆核电厂址小静风条件下大气扩散规律”“核电厂低放废水在地表水体中稀释扩散”“放射性核素在水—气—沉积物—沉积物体系中的相互迁移”“放射性核素对非人类物种和辐射影响”“内陆核电厂排放氡对环境及公众健康的影响”等专题研究,提出了内陆厂址环境适应性改进要求与建议,极大提升了社会公众对于我国发展内陆核电的信心。

关键设备可靠性保障方面,工程研究中心在国内率先开展了核岛关键设备/部件的工艺评定和设备鉴定技术的研究和实践,填补了我国核岛关键设备工艺评定和设备鉴定领域的空白,制定的技术规范和标准已被业内广泛接受和使用,有力推动了核岛设备国产化进程。工程研究中心开展了核岛汽轮机焊接转子技术研究,依托相关研究成果,我国已成功制造首套核岛国产化焊接低转子轴和首套国产化焊接高中压转子。

可靠性检测和维修优化方面,工程研究中心自主研发出适用于反应堆压力容器、蒸汽发生器、稳压器等关键部件共计三大系列七套涉及超声、涡流、射线、视频检测的在役检查装备,其中包括国际首台反应堆压力容器接管焊缝射线检查专用装备。在役检查关键瓶颈技术的突破改变我国在役检查装备研制受制于国外少数核电厂公司垄断,全面提升我国核电在役检查自主能力,完善核电产业链,确保我国核电和能源安全具有重要意义。

核电厂寿命评价与管理方面,苏州院作为国内最早专业从事核电厂老化和寿命管理研究的机构之一,核电厂寿命管理、寿命评估、材料鉴定、设备失效分析、腐蚀检测及评估、延寿与退役等技术方面的系列研究及开发,在核电厂寿命评价及管理技术领域走在国内前列。为有效保证核电厂全寿期内的安全运

行,2012年发布的国家核安全导则《HAD103/12核动力厂老化管理》中规定,核电厂应采用系统化的方法,集中资源重点关注那些对核动力厂安全运行有不利影响且对老化敏感的系统 and 部件(SSCs),同时还应关注那些虽然本身不具有安全功能,但其失效会妨碍其他SSCs执行安全功能的SSCs,因此必须对这些重要SSCs的老化有效的加以管理,以确保在整个电厂服役周期(包括延寿期)能保持所要求的安全裕度。

工程研究中心一直提倡建立“开放的创新共享平台”,通过与国内外相关领域的高校、科研院所以及核电厂、设备制造厂等开展了联合技术攻关、核电人才等多种形式的紧密合作,如与烟台台海玛努尔核电设备有限公司合作建设“核能装备材料及应用技术研发基地”,进一步完善了技术研发、成果转化、应用推广的一体化创新服务体系,形成一批具有自主知识产权的新技术和新成果,引领和促进了行业技术进步。

### 产学研用一体:40项成果转化+7项产业化应用+6项示范工程

工程研究中心不断深化科研院所体制与机制改革,积极主动探索产学研用一体的发展模式,切实促进科技成果向现实生产力的转化。三年建设中,工程研究中心以技术咨询、技术服务、技术培训、技术承包等形式承接的横向委托项目累计达268项,40项技术成果得到转化与应用,其中成功实现产业化应用7项,建成有代表性的示范工程(项目)6项。

电厂需求与定向研究方面,工程研究中心以提高运营电厂“安全性、可靠性、经济性、环境保护”为目标,以“标准化、专业化、集约化”为准则,通过核电安全运营战略专项任务、专项技术研究、关键技术预研、API1000和EPR核能技术转让消化和吸收的研究工作,开发系列具有自主知识产权的新技术与成果,培育工程研究中心的核心竞争力。比如,针对运营电厂运行期间出现的TOP10问题,开展专项研究,最终向运营电厂提出系统解决方案。

市场前景与成果转化方面,工程研究中心在电厂需求明确的基础上,成功地提升了成果转化效率与质量。作为运营电厂“工程技术服务平台,则具备对核心技术的前瞻性;作为研究院,则具备对核心技术的洞察力。工程研究中心牵头承担国家863项目“压水堆核电站长寿命运行关键技术研究”,与北京科技大学、大连理工大学、原子能研究院等单位合作开展。在项目实施过程中十分注重联合材料制造商(如一重、上海宝钢),充分发挥高校、科研院所的测试平台优势,一方面评价材料性能,另一方面与企业做好反馈沟通,帮助制造企业提升工艺水平。同时借助中心自身优势,推广相关技术成果在中广核(大亚湾、岭澳)与中核(秦山)电厂的实际工程应用,形成了项目产学研用良性循环的研究与转化机制。

产业化应用与工程示范方面,工程研究中心自主研发或联合研发的“核电厂辐射环境监督性监测系统”“核电厂放射性热点截留可移动装置”“蒸汽发生器水冲洗设备”等新产品实现了批量销售,打破了工程研究中心成果推广以软技术服务为主的单一模式,标志着工程研究中心进入了产业化新阶段。工程研究中心建成有代表性的示范工程(项目)6项,其中包含国家能源应用示范工程及工程示范项目2项,通过在示范电厂开展多重外部灾害叠加分析和应对措施研究、核岛焊接材料国产化开发及应用研究、百万千瓦级核电厂在役检查装备开发及技术应用研究等项目,为后续的成果推广和技术辐射积累了宝贵的工程实践。

标准建设与成果推广方面,工程研究中心充分发挥行业核工委专委会依托单位、国家核安全局技术支持单位等优势,积极参与国家核岛标准制修订,成为国内在核岛标准领域的重要技术支持机构之一,并将国家/行业标准作为成果转化的重要形式之一,将技术成果和知识产权通过标准形式予以固化并推广应用。另外,通过研究核电发达国家的核电厂寿命管理政策、标准体系,分析我国核电的实际情况,工程研究中心在我国相对成熟、系统地安全监管法规体系基础上,提出完善核岛法规标准体系的建议。2011—2013年,累计有7项国家标准、95项行业标准获得批准发布。

目前,工程研究中心已基本实现经济发展的良性运行,营业收入逐年递增,2011年为9208万元,2012年为17978万元,2013年达到25296万元。通过成果转化、工程化应用、标准建设,在保证核电厂安全运行、降低核岛机组建设及运行成本、延长核电厂使用寿命、突破核岛设备自主化和国产化瓶颈等方面发挥了重要作用,为提升核能行业的核心竞争力、带动核能相关产业的发展、提高核能综合经济效益和社会效益等发挥了重要作用,做出了重要贡献。

### 行业人才培养:打造专业、高效、优质的关键技术团队

工程研究中心依托苏州院建设,采用一套班子、两块牌子的模式运作和管理,实行管理委员会领导下的主任负责制。中心现有工程技术人员433人,形成了一支专业结构、年龄结构、学历结构合理,多学科交叉,具有可持续创新能力的人才队伍。

科技人才建设是工程研究中心规划建设重点,按照“核心专业技术骨干→资深技术专家→集团核心技术首席专家→集团型首席专家→国家级科技人才”的科技人才职业发展模式。为匹配公司战略定位和战略目标,中心通过组织机构建设、资源配置优化、人员效能提升,建立一支专业、高效、优质的核能技术人才队伍,通过引进现代企业人力资源管理方法,创新管理模式,完善考核激励机制,建立与公司战略发展和经营环境相适应的选人、用人、育人和留人的人力资源管理机制;坚持以“自身培养为主,积极引进为辅”的原则,理顺员工职业发展通道,健全公司培训体

系,夯实培训能力,逐步建立与公司学科建设和业务发展相适应的人才队伍,培养专家团队和技术领军人才,为公司战略实现和业务发展提供人力资源保障。

工程研究中心除了打造内部专业团队外,还致力于国内核电技术人才培养,实现国家级研究中心更深层次的战略意义。其下属核电培训中心为核电领域知名的基础教育基地及专项技术培训机构之一,建立了“菜单式”的《技术培训手册》,涉及核电从业员工岗前培训、核安全与核质保、在役检查与性能试验、环保与化学、设备老化与寿命管理、系统工程、再制造与电力安全、设备监测与工艺评定、设备检测与安全评定等技术领域,总计11个专业大项、近30个专项分项、约140门课程。2011—2013年间,累计培训总人数达4732人次,为国内核电行业技术人才的培养做出了卓越的贡献。

## 院长访谈:“核安全文化”特色的工程研究中心

核安全永远是核电发展的焦点,国家核电厂安全及可靠性工程技术研究中心承担我国核电厂安全及可靠性技术的创新发展战略,现已形成“行业资源整合、专业人才凝聚、先进技术聚集”的良性循环,提升了中心的科技创新能力和学术影响力。

### 管理创新

中心定位清晰,目标明确,参照现代企业管理体系的架构施行管理,实行“开放、流动、竞争、协作”的运行机制。通过管理创新,形成“行业资源整合、专业人才凝聚、先进技术聚集”的良好局面,形成了以人员聘用与岗位管理为核心的用人机制,以诚信经营为基本原则的资产及财务管理机制、与现代企业制度相适应的考核分配与激励机制、以交流协作与行业服务为基本形式的开放共享机制、以项目为纽带的利益分享机制、以持续发展为目标运行保障机制。

### 专业打造

工程研究中心以核电站需求为导向,将专业能力进行全面提升,全力打造运营技术平台核心技术能力,其中2013年评审通过的24项待建核心技术和17项数据平台按计划推进,2014年新评审21项核心技术,其中16项通过评审并立项建设。

工程研究中心紧密围绕运营电厂需求,以提高运营电厂“安全性、可靠性、经济性、环境保护”为目标,以“标准化、专业化、集约化”为准则,提升苏州院的运营支持核心能力,夯实“核心技术、数据平台、试验(实验)平台、专业队伍”技术基础,形成CPR/ACPR/API1000/EPR/华龙一号等核能运营技术品牌,打造老化和寿命管理、设备可靠性、运行技术、配置管理、核安全与质保、环境保护与辐射防护、在役检查与性能试验、再制造与运维八大业务板块,做强中国广核集团运营技术支撑平台。通过核岛运营战略专项任务、专项技术研究、关键技术预研、API1000和EPR技术转让消化和吸收的研究工作培育苏州院的核心竞争力。在许可证延续、十年定期安全审查、运行安全管理、设备管理、机组性能提升、监测检测、环境检测与评价等技术领域形成技术优势,树立核能运营技术品牌。

### 市场先锋

工程研究中心在保障在运核岛机组安全稳定运行的同时,依靠核心技术,培育核心竞争力,要保持市场竞争力优势,王安院长认为,关键是要“有坚持、有提升、有创新”:

一是坚持市场化意识,就是以客户为导向。我们要为电厂业绩着想,扛起运营技术平台责任。不坚持客户导向,我们已有的市场也会丢失。

二是提升核心技术能力,以核心竞争力促品牌。要打造品牌,必须先有“品”,再有“牌”。作为致力于核电运营技术专业化的公司,我们的“品”重点是核心技术、核心能力和工作业绩。“没这个金钥匙,摸不了瓷器活儿”,我们必须把自己的“金钥匙”打造好。

三是发挥创新的引领作用。创新一是指技术创新,充分发挥科技创新对企业发展的驱动作用,其二是指管理模式、商业模式创新,必须创新思维,才能符合中广核“多基地”“多技术路线”的快速发展形势和实现“标准化、专业化、集约化”多基地管理要求。

最后,市场竞争最终是人才的竞争,必须要切实做好队伍建设,苏州院是一家科研服务企业,无论是能力建设、市场开拓还是科技创新,都离不开人。公司通过关爱员工,做好员工培养,关心员工生活,切实落实以人为本的企业文化。

### 文化融合

工程研究中心扮演着两种角色:核安全文化践行者与核安全守护者。作为核安全文化践行者,潜移默化的核安全文化建设,直入人心的核安全文化认知,自觉践行的核安全行为则影响着我们的日常生活,使员工举手投足间更见沉稳。作为核安全守护者,技术研究则是瞄准国际科技前沿,致力于我国核电厂安全及可靠性工程技术的创新研发、成果转化和工程应用,打造核安全分析与评价、环境影响分析与应急、关键设备可靠性保障、可靠性检测和维修优化、核电厂寿命评价与管理五大技术领域,形成核安全的另一道有力的保护屏障。

“安全是核电的生命线,核安全重于泰山。”国家核电厂安全及可靠性工程技术研究中心肩负着国家核电厂安全及可靠性工程技术与应用重任,只有不断创新求变,以核安全运营技术核心能力作为支撑,通过科技创新引领业务发展,树立苏州院“重技术”“讲文化”“有品牌”“金字招牌”,在自身打造“百年老店”的同时,也为支撑核电百年基业做出贡献。相信,坚持工程研究中心战略定位和实现路径,成为“国内领先、国际一流”的核能运营技术研究院的目标指日可待。