

风雨十二载，“国和一号”通过产学研用协同创新，成功打破多项材料及设备制造技术垄断，关键设备材料全部实现自主化设计和国产化制造，性能达到国际领先水平。我国三代核电自主创新体系和产业链供应体系的建成，标志着我国核电技术实现了从“二代”到“三代”的跨越，已具备先进核电自主化、批量化、规模化建设能力。

“国和一号”： 树三代核电自主创新标杆

◎ 实习记者 孙瑜 本报记者 陈瑜

2月28日，“国和一号”产业链联盟成立大会暨首届会员大会在上海举行。

在“国和一号”示范工程按计划稳步推进的同时，“国和一号”产业链联盟的成立，被视为进一步实现产业链自立自强、自主可控的重要举措。

“国和一号”是我国在引进消化吸收三代非能动压水堆核电技术的基础上，通过大型先进压水堆及高温气冷堆核电站国家科技重大专项开发的、具有自主知识产权的大型先进压水堆核电型号。

2008年，“国和一号”（又名CAP1400）研发工作正式启动。历时12年，国家电力投资集团有限公司作为牵头单位，组织全国600多家单位、31000余名技术人员参与，累计形成知识产权成果超7611项，建成了我国三代核电自主创新体系和产业链供应体系，标志着我国核电技术实现了从“二代”到“三代”的跨越，具备先进核电自主化、批量化、规模化建设能力。

传承“国之光荣”的三代核电

1970年春节前，上海市领导向中央汇报工作时，道出了当时上海面临的严峻形势：多家工厂由于缺电轮流停产。2月初，周恩来总理做出指示：从长远来看，要解决上海和华东地区用电问题，要靠核电。

核电，是利用原子核内部蕴藏的能量产生电能。一颗原子核，直径只有一根头发丝的一亿分之一，却蕴藏着惊人能量。1千克的铀235裂变以后产生的能量，大致相当于2700吨标准煤充分燃烧释放的热量。

1970年2月8日，上海市组织传达了周总理关于建设核电的指示精神并研究了落实措施，我国第一座核电站工程由此得名“728工程”。

从“728工程”开始，我国核电已经走过了50多年的奋进创新之路。

“第一代核电技术主要是以实验研究堆为主。第二代核电技术主要发展阶段是20世纪60年代初到1979年以前，该阶段技术建成的核电称为二代。”国家电力投资集团有限公司核能总工程师、“国和一号”总设计师郑明光说，“美国三哩岛核事故发生后，全球对核电安全的认识进一步提升，先进核电国家针对核设计、运行安全等方面进行了充分分析与评估，提出了一系列改进、增强安全性的措施，三代核电技术应运而生。”

十余载打造大国重器

然而首先摆在面前的，就是一个看似难以逾越的障碍——根据外方的合作协议，只有电功率超过135万千瓦，我国才能拥有三代非能动核电的自主知识产权。

“135万千瓦，对非能动安全、主要设备来说是个‘大门槛’。不掌握核心技术，这个‘大门槛’就过不去。”郑明光说。

以郑明光为代表的技术团队，对“国和一号”顶层设计方案进行了全局性的创新，包括增加钢制安全壳的直径和厚度以扩大核岛空间，重新设计研制



“国和一号”示范工程效果图 国家电力投资集团有限公司供图

反应堆冷却剂泵、蒸汽发生器、爆破阀和汽轮发电机，大幅度优化主泵流量、主管道流通截面等，实现型号总体安全经济性能和效率的全面提升。

一组数据能直观反映“国和一号”缘何是名副其实的“国之重器”：单台机组中，超过100吨的设备，模块有30件左右，最大的模块体积有5000多立方米，重达1400多吨；安全壳是个直径40多米，高70多米的“大胶囊”，用5厘米厚左右的钢板制成，每平方米可承受40吨以上的压力；蒸汽发生器里面有1万多根用于热交换的U型管，总长超过300公里……

科研人员为此付出了艰辛努力。

晚上10时许，上海核工院的办公楼里响起了悠扬的萨克斯音乐《回家》，工程设备所机械设计师陈宇清在电脑前置若罔闻，仍在细心地比对技术文件和图纸。

熟悉的夜晚，熟悉的音乐，熟悉的加班。

2015年，陈宇清承担起“国和一号”控制棒驱动试验的技术攻关任务。为保证试验的准确性，任何外界，包括附近行驶车辆的干扰都要尽量避免。陈宇清清早从晚上8点钟开始做试验，直到凌晨3点钟结束。

看凌晨4点的上海，成了陈宇清的常态。他连续在试验台架处驻守了一个多月，最终圆满完成使命，为三代核电控制棒驱动机构自主设计奠定了坚实基础。

2016年2月，“国和一号”通过国内联合安全审评。同年4月，“国和一号”通过国际原子能机构通用安全审评，获得国际认可。

类似的奋斗图景，在“国和一号”科技攻关历程中，发生了太多回。无数个“陈宇清”毫无怨言地付出了青春与热血。

为实现核电软件自主化，国家电投中央研究院核电软件中心和上海核工院组建的联合团队历经十余载攻关，发布我国首套自主知识产权的核电厂设计与安全分析软件CO-

SINE工程测试版，得到行业普遍认可。

设备设计出来后却找不到能生产的厂家，也是一道大难题。其中，蒸汽发生器690U型管的研发生产就格外艰难。项目组最早想去国外采购，多次尝试未果，干脆横下心来自己做。一家能生产还不够，要几家都能做才行。

“每一种设备、材料的技术开发，都布局2至5家有竞争力与积极性的单位参与研制，我们从设计技术到制造技术与工艺来回多次迭代，引入竞争机制，用市场化的手段来推动相应的技术竞争，激发创新活力。”郑明光告诉科技日报记者。

共同成长打造自主创新体系

柴多火旺，力众海移。

一重、二重、沈鼓、哈电、上海电气、东方电气、中船重工、中航工业、宝钢、鞍钢……一大批身经百战的老牌“国家队”选手，和上上电缆、宁波天生等民企加入进来，锚定100%国产化，扛起重任。

通过产学研用协同创新，“国和一号”成功打破多项材料及设备制造技术垄断，主泵、爆破阀、反应堆压力容器、蒸汽发生器、反应堆本体及一体化堆顶组件、大锻件、核级锻材、690U型管等关键设备材料全部实现自主化设计和国产化制造，性能达到国际领先水平。

全球最大功率的蒸汽发生器、全球最大规格的爆破阀……一个个用“全球之最”来形容的高精尖设备，被烙上“中国印”、盖上“中国籍”。

通过设计工作牵引制造企业能力提升，又通过制造过程的经验反馈反馈设计水平提高，在相互作用、共同成长中，“国和一号”建成了先进的三代核电自主创新体系和产业链供应体系。郑明光表示，到2023年，“国和一号”将全面实现100%设备国产化能力，到2025年，建成“技术上最先进最安全、装备上完全自主可控、经济上有显著竞争优势”的三代核电产业链。

代表委员连线

王明弹委员：加强安全监管，支撑核电产业高效发展

◎ 本报记者 陈瑜 实习记者 孙瑜

“今年，我国核电装机容量和发电规模将全面超越法国成为全球第二核电大国，逐步进入由核电大国向核电强国跃迁的关键转折阶段。”接受科技日报记者采访时，全国政协委员、国家核电（上海核工院）总经理王明弹直言，立足我国核电产业发展现状，结合未来核能科技发展趋势，核电行业未来发展还面临一些难点和关键点。



受访者供图

2022年1月24日，中共中央政治局就努力实现碳达峰碳中和目标进行第三十六次集体学习。习近平总书记主持学习时发表了重要讲话，强调“积极安全有序发展核电”。

王明弹认为，这为碳达峰碳中和背景下的核电产业发展指明了方向，对保障我国电力安全、能源安全，平抑能源电力价格，保持国家经济竞争力，实现科技强国和双碳目标具有重要作用。

“遵循总书记指示精神，要进一步提高核电产业在国家发展中的战略地位。”王明弹建议，在《中华人民共和国核安全法》《中华人民共和国科学技术进步法》《中华人民共和国能源法（征求意见稿）》等相关法律中，明确核电发展的长期战略目标，提升核电产业在国家战略中的地位，保障核电长期发展的政策持续性和稳定性，保持每年开工6至8台建设规模，出台支持鼓励政策，积极推进小型反应堆示范项目和核能综合利用示范项目尽早落地。

发展核电，安全为先。在王明弹看来，要持续加强核安全监管力量，支撑核电科技与产业高效发展。

“建议在财政经费中专门列支核安全监管费用，用于人才培养、队伍建设及核安全相关科研和监管保障。对标国际，针对核电型号和科技创新开展专题研究，加快完善配套法律法规，优化审查模式。”王明弹说。

大型先进压水堆及高温气冷堆核电站科技重大专项是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》确定的16个国家科技重大专项之一。2021年12月20日，高温气冷堆核电站示范工程1号反应堆完成发电机初始负荷运行试验评价，首次并网成功，发出第一度电，标志着我国实现了第四代高温气冷堆核电技术的“中国引领”。2020年9月28日，我国三代核电自主化标志性成果——“国和一号”正式发布。大型先进压水堆重大专项科研和“国和一号”示范工程建设取得重要进展。我国从21世纪初开始实施的三代核电自主化战略取得重大突破。

“要实现核电大国向核电强国跃迁，需要充分利用新型举国机制优势，持续提升核能科技核心竞争力。”王明弹建议。

他同时表示，要完善国家基础科研资源统筹机制，夯实自主创新基础。加强生态环境部、财政部、科技部、国家能源局、国防科工局等部门联动协同，进一步统筹国内核能领域现有基础科研资源，加速新型核燃料和材料研发，促进智能化、小型化、集成化、轻量化新一代核电设备研制，形成高水平自主创新基础设施保障能力。

不断创新，提升核电“软”实力

创新故事

◎ 实习记者 孙瑜

概率安全评价(PSA)被形象地比喻为“核电厂的医生”，是一种定量评价事故发生概率及其潜在后果的系统性方法。

PSA能为核电厂进行诊断，保证其安全运行。具体来说，在核电厂设计阶段，PSA可以找出设计薄弱环节，优化设计方案，提升核电厂安全性；而在核电厂运行阶段，PSA可以评估电厂风险水平状态，优化运行风险管控，在保障安全水平的情况下提升电厂经济性。

1984年，我国开始PSA相关研究。研究发展到2010年，仍面临着分析范围不够全面、分析建模工具依赖进口软件、拓展应用的自主性和灵活性不足等问题。

自2010年到2020年，国家电力投资集团有限公司作为牵头单位，国家核电（上海核工院）

依托大型先进压水堆及高温气冷堆核电站国家科技重大专项中的“CAP1400关键设计技术研究”课题，开展“全范围PSA分析体系和先进分析工具的开发及应用”研究，开发了一套全面、完整、独立的PSA技术体系，打通了从基础方法工具开发到全流程应用的上下游屏障。

十年磨一剑，团队成功开发高性能计算引擎SPACal，并在此基础上开发了涵盖设计建模、运行服务和安全监管等各个方面的PSA软件体系，实现了核心算法和软件代码完全自主。

在“国和一号”的研发设计过程中，我国核电软件自主化工作取得了不少突破，捷报频传。全球超过60%的核电厂计划外停堆来自于设备失效，疲劳、断裂损伤正是设备失效的主要原因。

2020年，国家核电（上海核工院）工程设备所设备力学室主任刘畅主持的“基于信息统计分析的含缺陷结构安全风险评价系统软件开发”课题正式进入实施阶段。

2012年，刘畅与重大课题结缘，开始参与“国和一号”疲劳监测系统的自主研发项目。疲

劳监测系统能够为核电设备寿命管理及延寿提供数据支撑，提高核电站的安全性。

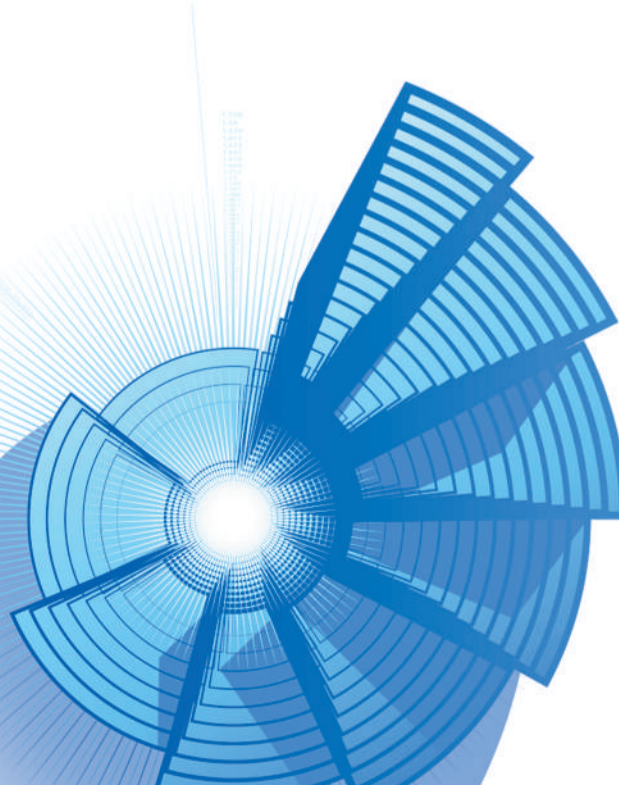
在疲劳监测系统的研发攻关阶段，刘畅从基础理论到工程实践，一样样学好，一件件弄通，在主设备的测点筛选、水环境疲劳计算方法、基于“格林函数法”的瞬态温度场计算方面，作出了开创性的贡献。

“填补国内技术的空白，除了方案开发过程中的反复评审、核心算法的反复推敲验证等工作，最主要的还是不断地创新。”能为团队作出属于自己的贡献，是最让刘畅高兴的事情。

创新，让核电软件的研发设计人员敢于走前人没走过的路，为世界贡献中国智慧。2016年11月，经过6年攻关，国家核电平台成员单位国核自主研发的NuPAC平台（数字化反应堆保护系统）通过国家核安全局的评审。1个月后，NuPAC成为国内首个获得美国核管会评审发证，具备完整自主知识产权的核电厂安全级数字化仪控系统平台。

特别策划·行业新突破

图片除标注外由视觉中国提供 责任编辑：翟冬冬



2022
全国两会



十三届全国人大五次会议
全国政协十三届五次会议