

附件三 2021 年上海主要核电企业案例

技术创新篇

案例一 国家核电（上海核工院）牵头的压水堆核电重大专项科研工作主体收官，自主创新能力持续提升

2021 年，国家核电（上海核工院）（以下简称“核工院”）牵头承担的“中国先进核电标准体系研究（第二阶段）”等 10 项课题、联合参研的“核级传感器用特种功能材料及元件的自主化研制”等 8 项课题圆满完成国家能源局组织的综合绩效评价，压水堆重大专项科研工作主体工作进入全面收官阶段。为进一步提高产业链抗风险能力，核工院积极推进核电关键设备和材料自主化，完成了国产化铀片工程应用性能评价、燃料组件池边检查标样研制、新锆合金先导棒制造工艺合格性鉴定等重点攻关任务，为“国和一号”示范工程和后续非能动系列核电项目建设提供支撑。

案例二 华东电力院承担常规岛设计的“华龙一号”国内外首堆商运

由华东电力院承担常规岛设计的“华龙一号”全球首堆福清 5 号、国外首堆卡拉奇 K2 核电机组，分别于 2021 年 1 月 30 日和 2021 年 5 月 20 日投入商业运行。华东电力院在项目设计过程中进行了多项技术优化，特别是在卡拉奇 K2 项目中完成了近 50 项常规岛设计优化，已拥有完全自主知识产权。

案例三 华能核能院“189 行动”国家重大专项子课题成功启动

华能核能院承担的国家级重大专项“189 行动”子课题于 2021 年 6 月成功启动，主要任务是解决高温气冷堆示范工程中关键设备依赖进口的“KBZ”问题，首批启动的 4 个子课题已全面进入实质性实施阶段。

案例四 国核自仪实现关键芯片及操作系统的国产化

国核自仪核高基重大专项“基于国产软硬件的核能仪控方案及设备研制和应用”课题通过综合绩效评价，标志着公司实现了关键芯片及操作系统的国产化。其中：现场总线样机完成电磁兼容性鉴定试验，有效推动了国核自仪智能总线设备的自主化和国产化，打破了国外对 Profinet 总线主站芯片的技术垄断；FPGA 时钟信号自我检测方法解决了时钟信号依赖于信号发生源的技术问题，有效避免因时钟信号故障而导致的运算错误，获得土耳其发明专利授权，为 FPGA 芯片在全球市场推广奠定了基础。

案例五 国核运行“CAP1400 核电站运行和维护技术研究”通过验收

由国核运行牵头、54 家在沪单位共同参与的大型先进压水堆核电站重大专项“CAP1400 核电站运行和维护技术研究”课题，以优异成绩通过了国家能源局组织的正式验收。该课题共申请了 71 项专利，已获授权专利 35 项、登记软件著作权 24 件，形成技术秘密 5 项，编制了技术标准 6 项，发表论文 100 余篇。课题取得的研究成果已部分应用于 AP1000 依托项目、“国和一号”（CAP1400）示范工程，为核电产业关键“KBZ”技术国产化贡献力量。

案例六 上海交大完成核电核心软件自主化研发

上海交通大学与国家电投以高度融合的产学研合作模式，通过专家派遣、联合攻关、共建实验室等多种形式，深入开展核电软件国产化工作，解决核电软件自主化“KBZ”问题。在科技部核电重大专项一系列软件自主化相关课题的支持下，由上海交大杨燕华教授领衔，联合国内二十多家单位，开展了我国首套核电设计及分析程序 COSINE 的研发工作。通过持续 10 年的合作，完成了自主软件的开

发、验证和评估，并支持国家核安全局编制了《核动力厂安全分析用计算机软件开发与应用》导则。目前，COSINE 软件已陆续提交核安全局审查，同时已应用于“国和一号”工程设计。

案例七 中核五公司《核电厂结构模块安装标准》获国际标准立项

由中核五公司主编的 ISO AWI 3579《核电厂结构模块安装技术标准》于 2021 年 10 月 12 日通过专家评审。2018 年 12 月，根据中国国标标准组委工作安排，全国核能标准化技术委员会反应堆技术分委员会决定，由中核五公司申报该项国际标准。自申报开始，公司持续与 ISO 各成员国近 30 余位专家进行沟通，最终于 2021 年 3 月 6 日通过 ISO 官网投票立项成功，成为全球首个核能建安领域立项的国际标准。

案例八 上海成套院“第三代核电站核岛关键设备密封件研制与验证试验台架建设”课题通过综合绩效评价

上海成套院牵头的“第三代核电站核岛关键设备密封件研制与验证试验台架建设”课题于 2021 年 1 月 13 日顺利通过由国家能源局组织的综合绩效评价。该课题解决了制约我国大型核岛关键设备密封件研制和应用的瓶颈问题，形成了国际领先的密封件设计、制造、试验验证、鉴定技术体系，推动了第三代核电设备国产化，促进了核电设备设计和制造水平的提升。

案例九 上海核能测试验证中心试验基地助推核能型号研发

上海核能测试验证中心(简称“中心”)有力支撑了“国和一号”、“华龙一号”及多型号小型堆的工程设计研发工作。2021 年，完成了多用途一体化小型堆整体性能试验，为国家电投佳木斯核能供热堆示范项目的建设核准奠定了基础；建成国际上最大流量的蒸汽循环台

架，完成自主化蒸汽发生器汽水分离热态性能试验，支撑了“国和一号”蒸汽发生器优化设计与性能评定；突破了高功率非均匀发热燃料组件模拟体技术，解决了燃料组件自主化实验验证“KBZ”问题，形成全套自主可控燃料组件热工试验技术体系，可满足各大核电集团燃料组件的研制需求。

案例十 核星科技自主研发的压水堆堆芯设计软件 ORIENT-B 保驾“华龙一号”首堆运维

“华龙一号”全球首堆-福清 5 号核电机组的首次启动中，采用由核星科技自主研发的压水堆堆芯核设计软件 ORIENT-B，进行了启动参数预测。该项预测工作是为了验证堆芯实际情况与理论计算是否相符，以确保反应堆功率的顺利提升。由核星科技 ORIENT-B 计算的反应堆临界硼浓度预测值与首次启动现场测量值仅偏差百万分之一（1ppm），各组控制棒价值预测值与首次启动现场测量值吻合良好。（通常的验收准则要求反应堆临界硼浓度预测值与首次启动现场测量值偏差不超过 50ppm）。ORIENT-B 在“华龙一号”上的成功应用，标志着我国已拥有自主的堆芯核设计软件。

产品研发篇

案例一 上核公司完成多台核岛主设备制造

2021 年，上核公司成功交付了“国和一号”示范工程 1 号机组蒸汽发生器，该项设备是目前全球功率最高、吨位最重、容量最大的蒸汽发生器。同期又完成多台核岛主设备的制造，包括“华龙一号”5 台蒸汽发生器、1 台压力容器，以及国内首个完全商业化自主出口的南非 Koeberg 项目 2 台蒸汽发生器的水压试验等。2MWt 液态燃料

钍基熔盐实验堆的堆容器、堆内构件，以及乏燃料后处理市场的首台玻璃固化设备实现交付。

案例二 一机床成功交付“国和一号”堆内构件

2021 年，由一机床承制的“国和一号”示范工程 1 号机组堆内构件顺利交付。该项设备是目前全球最大的非能动压水堆堆内构件，采用国际最先进、最严格的技术标准。一机床创新开发了上下部堆内构件对中测量技术、堆内测量格架装备技术等一系列精密加工、精密焊接、精密检测和精密装配的关键制造技术。该设备的成功研制和交付，为后续“国和一号”项目的批量化生产奠定了坚实基础。

案例三 凯士比核泵成功研制“华龙一号”辅助给水电泵

凯士比核泵联合中核工程公司成功研制出标准化“华龙一号”辅助给水电泵样机，并于 2021 年 12 月 15 日通过专家鉴定。专家认为：该样机结构设计合理、选材适当、安全可靠性能高，具有自主知识产权，各项性能指标达到国际同类产品先进水平，可在核电站上推广应用，进一步提升核电装备国产化率。

案例四 上汽厂设计制造的高温堆核电汽轮机实现成功应用

上汽汽轮机厂（以下简称“上汽厂”）自主设计制造的 211MW 高温气冷堆核电汽轮机，于 2021 年 5 月在山东石岛湾示范电站顺利完成非核冲转试验，并于 2021 年 12 月顺利完成带核冲转和并网试验。该汽轮机在上述试验中运行可靠、性能指标优异，充分展示了上汽厂的技术实力和制造品质，达到了较高的水准。

案例五 上海成套院突破电气贯穿件“KBZ”技术

上海成套院联合上海中广核工程、中研股份等单位，研制出使用国产聚醚醚酮（简称“PEEK”）材料的电气贯穿件，并通过专家鉴

定，已用于中国广核集团“华龙一号”核电站。该项产品的成功研发，打破了国外威格斯品牌（VICTREX）PEEK 材料的市场垄断地位，实现了关键材料国产化，并将进一步推广应用在后续核电机组中。

案例六 上重铸锻实现 EPR 压力容器顶盖主锻件的国产化

上重铸锻在“华龙一号”项目顶盖铸锻件相关技术基础上，研究开发 EPR 项目顶盖主锻件的制造工艺。先后攻克了 EPR 顶盖主锻件成分均匀性、特别碳元素均匀性控制等技术难题，成功掌握了关键制造技术，实现了 EPR 核电反应堆压力容器顶盖主锻件国内首次自主制造，打破了该项产品依赖进口的局面。

案例七 国核运行自主研发核电机器人助力核电运维

国核运行在海阳 1、2 号核电机组的 102、202 大修中，成功应用了反应堆压力容器螺栓孔清洗及视频检查一体化装置、蒸汽发生器视频检查及异物抓取磁吸附机器人、非能动余排水箱浮游器等自主研发装备，取得了较好的效果，受到业主方的高度赞许和认可。在秦山二期 1 号机组冷源取水口水下构筑物和拦污栅检查项目中，成功应用自主研发的水下机器人替代潜水员，顺利完成了浑浊水域取水口环境检查任务，降低了作业风险，提升了作业效率。

案例八 上海昱章电气成功研制柴油发电机组数字式速度控制器

上海昱章电气成功研制核电厂柴油发电机组 1E 级数字式速度控制器。该产品满足 1E 级产品的安全设计要求，通过了全部 1E 级鉴定试验，以及在 8300kW 真机上的配机联调试验。该产品具有完全的自主知识产权，填补了国内空白，总体性能达到了国际先进水平，部分指标国际领先，具有显著的经济和社会效益，可用于 CAP1400、CAP1000、华龙一号、EPR、VVER 等机型以及其它各类堆型核电站。

案例九 宝武特冶成功研制高温堆蒸汽发生器用 6625 合金管棒

宝武特冶承担的国家科技重大专项子课题“高温气冷堆蒸汽发生器用 6625 合金管棒自主化研制”取得突破。该课题开展了高温气冷堆用 N06625 合金“碳元素-晶粒度-高温性能”协同控制技术的研究，掌握了“成分设计-冶炼-锻造-热挤压-冷加工-组织性能控制”全流程制造工艺技术，开发了第四代核电高温气冷堆用 N06625 管材，并完成了相关工艺验证，具备批量制造能力。2021 年 12 月并网的第四代高温气冷堆示范工程中，由宝武特冶独家供应了蒸汽发生器用高等级镍基合金 UNS N06625-2 板、管、棒、带、线全系列 50 余个规格的产品，为示范工程核岛主设备的自主制造提供了材料保障。

案例十 上海阿波罗拥有多项乏燃料干式贮存装备先进制造技术

上海阿波罗积极落实国家“碳达峰、碳中和”战略，推进核电乏燃料干式贮存装备自主创新，突破多项技术难题，达到国际领先水平，打破了美国、日本等国外厂商的长期垄断。在产品研制过程中，形成了首创高密封性乏燃料干式贮存装备、自主研发特殊加工工艺及专用工装、自主研发筒体无环缝工艺技术等多项技术创新点。截止 2021 年底，已承接 12 台（套）乏燃料干式贮存装备。

案例十一 上海纳川“CAP1400/CAP1000 核电厂厂用水系统 HDPE 管道、管件国产化项目”通过科技成果鉴定

上海纳川与国家核电（上海核工院）联合完成的“CAP1400/CAP1000 核电厂厂用水系统高密度聚乙烯(HDPE)管道、管件国产化项目”于 2021 年 8 月通过中国核能行业协会组织的科技成果鉴定。标志着我国在适用于核电厂厂用水系统使用的超大口径、超大壁厚 HDPE 管道及配件的制造、检验试验能力方面达到了国际先进

水平,同时在 HDPE 管道系统的焊接及无损检测技术方面突破了国外的封锁,为解决核电厂金属管道腐蚀结构问题提供了可靠的技术方案。

核安全 and 质量篇

案例一 国家核电（上海核工院）首获 2 项重大质量奖

国家核电（上海核工院）“基于全范围 PSA 的核电厂安全质量量化评估体系的构建与实施”项目首次荣获 2021 年度中国质量协会质量技术奖一等奖。该项目作为核电领域质量技术尖端科技成果，探索出了全范围核电厂安全质量量化评估及全寿期可靠性管理提升安全质量的新模式，构建并实施了一套自主知识产权、整体水平国际先进、部分要素国际领先的核电厂安全质量量化评估体系，实现了 PSA 技术新的跨越。“运用人因工程提升数字化核电厂设计质量的实践经验”项目首次荣获全国质量标杆。该项目支持了先进人因工程工具平台建设，实现了管理方法的突破，项目成果的工程应用已全面覆盖二、三、四代堆型。

案例二 中国核建“补短板抓弱项、提升质量管控”

中国核建发布主题为“补短板抓弱项、提升质量管控”的《2021 年防人因失误专项行动方案》，依托全系统质量征文活动提升在建项目质量管理能力及水平。2021 年度共获得省部级以上工程质量奖 28 项，共征集经验反馈及典型案例 45 篇。各项目工程交付一次合格率 100%，隐蔽工程合格率均值达到 99.86%。各单位工程项目质量管理评价全覆盖，全年未发生质量事故，总体 NCR 人因占比大幅下降至 45.6%。中核五公司 K2/K3 项目部电气安装一班获得“全国质量信得过班组”荣誉。

案例三 中核检修等单位“质量月”活动丰富多彩

中核检修在“质量月”活动中，组织策划了防人因失误、工程项目质量监督评价、推广良好实践、落实经验反馈等 26 项活动；积极开展质量管理小组活动，年内共注册了 QC 小组 76 个，获得各类省部级奖项 31 项。中原运维在“质量月”活动中，开展了经验反馈专题培训、经验反馈分享评比活动，加强经验反馈的宣传，提升经验反馈工作效果，从而逐步建立深入人心的经验反馈文化。上海森永在“核安全文化&质量月”活动中，组织开展了核安全文化专项培训、案例分析、经验反馈分享、SOP 优秀案例评选、“好质量、亮一靛”专项质量大检查、核安全文化知识竞赛等活动。

案例四 上核公司防人因失误工作卓有成效

上核公司持续开展防人因失误工作，开发了一批质量管理提升工具。通过分析历史人因失误、排查工艺规程可能存在的风险，系统梳理了制造过程质量风险 989 项；组织全员提出合理化建议，调动一线员工“防人因失误”积极性，成功收集了 216 份建言献策；成功探索出适合核电设备制造厂开展防人因失误工作的推进方案，包括 7 个阶段：组织保障、文化培育、痛点识别、规范行为、全员参与、屏障优化以及激励考核；编制了公司防人因失误手册，并在“华龙一号”项目制造过程中取得良好效果，人因类 NCR 的发生率逐年降低 25%。2021 年，公司整体质量稳定指数达 106.43%，近三年实物质量整体处在历史最优水平。

案例五 上海电站辅机厂通过质量改进拓展市场

上海电站辅机厂在大亚湾新增柴油机主贮油罐项目中，采取了一系列质量改进技术、质量管控方法，不符合项数量（台均）相比之前

的防城港二期项目有显著下降。制造过程中不符合项数量从 7.3 个/台下降至 2.5 个/台，下降了 66%；质量废损从台均 33221 元下降到台均 4403 元，下降了 87%；单台的生产周期从 1 年缩短至 6 个月。质量的提升保障了交货期，降低了制造成本，获得了市场认可，公司又陆续获得 7 个采购包订单。

案例六 中原运维全力保障出口巴基斯坦核电项目运行水平

中原运维根据核电运维业务特点，构建了经验反馈体系，通过培训提升各部门经验反馈工程师的体系化能力，并在爱数平台（大数据基础设施服务商）上建立了经验反馈数据库，确保经验反馈体系的延续性、持久性。为保障我国出口巴基斯坦核电项目的正常运行，中原运维建立了中巴运维专题交流平台，与巴方共同开展了 C1~C4 机组 WANO 指标提升、水化学控制交流等 10 余项专题交流，将国内良好实践和经验反馈至巴方业主。2021 年第二季度，C4 机组 WANO 指数达到满分标准，这是巴方核电机组运行 30 多年来史无前例的成绩。

数字化建设篇

案例一 国家核电（上海核工院）打造核电“智慧工地”

国家核电（上海核工院）充分发挥信息化、智能化应用在提升核电工程安全质量方面的作用，利用移动互联、物联网、5G、人工智能、虚拟现实、大数据等新一代信息技术，搭建“智慧工地”数字化施工管理平台，并在“国和一号”示范工程中投入使用。“智慧工地”平台汇聚多系统安全、质量、施工进度及物资管理等大数据信息，将施工监控、吊钩可视化、塔吊防碰撞、AI 图像识别、VR 安全教育、

质量防造假记录、环境监测、车辆测速、安全预警、全厂广播、地理信息等系统进行集中展示和分析，实现了对项目建设过程的实时监控、智能感应、数据采集和一体化管控，有效地提升了工程现场安全质量管理效能。

案例二 华东电力院承建福清核电基地华龙智能数字仓

华东电力院承建福清核电基地华龙智能数字仓建设项目，该项目对标国内外先进实践经验，使用自动化设备替代人工作业，集合了货位空间利用率管理、智能柜 ERP 协同融合、物料高速盘点、库位推荐转移、违禁物判别、人员仓位级定位、物料相似度对比、分类学习等多个智能系统。该项目提升了核电仓储管理水平，完成了劳动密集型向技术密集型的转变，是核电领域技术最先进的智能数字仓。2021 年 11 月，项目建成并进入调试验收阶段。

案例三 中国核建数字化焊接（物联网）技术在核电施工中成功应用

中国核建成功研发了 4 种实质性、可量产的数字化焊接（物联网）技术，该成果基于工业物联网、云平台和大数据技术，成功应用于国内多个核电安装项目。通过对焊工、焊接设备、焊材、焊接工艺、施工进度实行数据化管理，实现焊接过程中人、机、料、法的网络一体化管理，建立人、机、焊接时间、焊接参数以及焊接工艺数据库。通过对焊接数据信息进行处理分析，实现焊接领料、回收和焊接过程参数的可视化大数据分析和智能化焊接，优化了施工管理。

案例四 中核检修加强三维数字化服务能力建设

中核检修依托“基于模型的 MBE 数字化检维修技术研究”科技创新项目，成功培育了 3D 数字化测量与采集、三维逆向重构、可视化交互式文档、虚拟检修仿真模拟等三维建模和仿真能力，成功承接并

实施了某电厂 SPV 三维备件数据库 DEMO 项目，成功配合并实现某核电站主蒸汽阀站研制逆向建模、设备设施改造设计及模拟任务。

案例五 上核公司数字化转型赋能质量管理

上核公司针对“纸质文件保存管理成本高、检验信息传递不透明、完工文件收集整理工作量大”等痛点，通过多次调查、研讨、修正，建立了一套“文件电子化、数据结构化、信息透明化”的数字化质量检测信息管理系统。目前，系统已完成了 2 万余个物项的原材料验收、600 余份质量计划和检验计划的编制交底、2000 余份探伤报告的编制、800 余份理化报告的编制、17000 余项计量校准检测，质检作业整体流程效率提升超过 50%。

案例六 上海电站辅机厂数字化转型提升整体效率

上海电站辅机厂实现了车间现场无纸化技术文件查询，查询时间从原来的 20 分钟缩短到了 3 分钟，解决了现场技术文件不一致的难题；节约了原部门图库占用的 515 平方米场地，常规产品效率提升 36%；通过点检、报修数字化管理，设备可用率提升 10%以上，维修金额同比下降 20%以上；采用 LIMS 系统，完工报告编制时间缩短 30%以上，实验室人员减少 33%；采用设备集采系统，设备利用率提升 10%以上，人工和外协费用减少 200 万以上；通过工装工具消耗品系统，库存品种下降 50%，数量下降 58%，库存金额下降 60%以上。

案例七 中核（上海）供应链数字化建设赋能业务

中核（上海）供应链上线供应商管理（SRM）系统，实现集团层面、二级板块及各下属单位供应商全生命周期管理；创建并上线科技成果技术服务信息系统和资源能力展示专区；深化电子商城应用，推进冗余物资处置交易，成功上线电子商城冗余物资对接上海产权交易

所功能。截至 2021 年底，电子商城已上架逾 4800 项冗余物资，用于中国核电成员单位内部展示。

案例八 上海电科所搭建长三角一体化数字转型公共服务平台

上海电科所搭建了立足上海、面向长三角区域、辐射全国的“长三角企业数字化转型公共服务平台”。通过工业要素在线汇聚和服务模式平台化创新，针对企业（尤其是广大中小企业）在工业互联网创新发展方面存在的应用深度不足、创新水平能力不足、行业覆盖广度不足和政策制度供给不足等问题，提供水平评估、转型建设指南、数字化转型工具集、转型解决方案、智能检测、标识解析服务和高端智库等公共服务，助推大中小企业数字化转型。