

首座入选全球“灯塔工厂”的核电站里 藏有多少高科技？

三门核电以4IR技术为驱动，赋能新质生产力提速升级

陈国才

10月8日，世界经济论坛（WEF）正式公布，三门核电作为第四次工业革命（4IR）先进技术的代表，成功入选全球“灯塔工厂”（Light-house Network）。目前，全球共有172座“灯塔工厂”，其中，中国有74家。三门核电为中核集团下属企业中第一家获得“灯塔工厂”的企业，也是全球核电行业首家“灯塔工厂”。

“灯塔工厂”是全球“工业4.0技术应用”和“数字化制造”最佳实践工厂，代表着全球工厂智能制造和数字化技术的最高水平。由世界经济论坛和麦肯锡公司于2018年发起遴选，旨在形成全球工厂中将4IR应用于企业研发、生产、管理和服务等各方面实现数字化转型的最优实践案例。“灯塔工厂”不仅自身具备优秀的生产能力，而且能通过示范和引领，带动产业链中的上下游企业走向智能化，提升新型工业化整体水平。“灯塔工厂”就像灯塔一样，照亮工业生产的未来之路，指引整个行业向智能化制造的方向前进。

我们一起走进这座国际前沿的核电站，感受数智化技术赋能新质生产力的力量！



AI赋能核电 关键设备可靠性管理

“给水前置泵A轴承振动(X)（非驱动端）(10FWS-YT101A1)：动态阈值报警高高报，当前值：3.29mm/s，测点报警时间：2024-08-09 10:49:59。”三门核电系统工程师一收到短信通知，立刻进入设备健康管理系统（PHM）进行确认，并按照系统推荐的诊断方案进行现场诊断。AI赋能的设备健康管理系统采用工业大数据分析技术，结合先进的工业AI增强智能技术、非介入式智能传感技术及设备故障预测与健康管理系统，对核电机组海量运行数据进行智能分析和价值挖掘，系统全面覆盖了主泵、循泵、风机、汽轮机、变压器等各类核电站关键敏感设备，针对设备存在的定期人工巡检强度大、监测不及时等问题，利用先进的物联

网技术开发各种在线监测技术，实现设备的在线实时监测和评估，提高设备状态监测和评估的精准度和及时性，由月级别的定期离线巡检，提升为小时级别的在线监测。通过设备健康监测系统的建立和使用，可降低非预期停机概率30%，减少现场巡检人员50%，有效缩短故障排除时间60%，降低备品备件约30%。

AI定制机器人 入列高风险区域作业

安全壳是核电站包容放射性物质的重要安全屏障，需对其进行定期安全检查，以保证其安全可靠，简称在役检查。在役检查需要在机组大修期间执行，为避免人员乘坐吊篮至高处开展长时间作业导致的安全风险，三门核电研发了耐辐照的磁吸附壁面爬行机器人。

大修期间，工作人员位于安全壳底

部，操控机器人对空气导流板区域进行检查，实现了狭小空间、长距离、大容积、大面积、针对垂直壁面的检查，在核电行业内首次成功地应用在直径40米的圆筒型容器（即安全壳）上。它能在狭小空间进行全方位的移动和精确定位，并通过视频检测设备和图像算法进行信息的识别和数据的计算，成功满足了法规对检查覆盖率的要求，使在役检查覆盖率达到100%，避免了人员高处作业的安全风险。

此外，三门核电开发出智能巡检机器人，搭载有视频检查设备，能进行移动、定位，对设备情况进行视频采集，并通过图像算法进行信息的识别和数据的计算，极大地提升了运行巡检工作效率。

核反应堆堆芯功率先进分析

太上老君的炼丹炉里是什么光景，得炼就一副火眼金睛才能看明白，而核反应堆的堆芯里有什么乾坤，则需要一套专业可靠的堆芯监测系统方能一探究竟。先进的在线监测系统24小时不间断采集反应堆内仪表提供的测量数据，结合内置的理论算法，精确还原出反应堆堆芯的实时三维功率分布，相当于反应堆的数字孪生体，让人一目了然。它显著优化了传统核电站的测量试验方法，能有效减少运行空间的过度约束，降低操纵员的工作负担，节约每次大修后首次升满功率时间。有了这对“火眼金睛”，反应堆操纵员既可以预先识别并避免可能的危险工况，又能够合理发挥反应堆的运行潜力，让核能更好地为人

类文明增光添彩。

机组运行风险监测先进分析

根据国际原子能机构的要求，核电站需要监测机组的核安全水平。运行机组的核安全水平到底处于何种水平？是否还有潜在的风险挑战？这些问题的答案均可以通过风险监测工具进行解答。

传统的风险监测工具依赖于人工输入，操作复杂且评价过程中存在人因失误问题。为消除传统风险监测器存在的不足，三门核电组织了一支攻坚克难小队，全面梳理了电厂的信息数据系统，并成功开发了风险监测工具所需数据的自动获取逻辑，在行业内率先实现核风险的自动评价以及核风险源的自动查找功能，提升了风险评价的效率和准确性。风险监测工具利用概率安全分析方法，使用事件树和故障树建立核电机组模型，开发风险监测器用于配置风险管理工作，定制化计算核电机组在不同配置状态下的核安全水平，例如堆芯损伤频率和早期大量放射性释放频率；开发判断逻辑算法，抓取机组运行模式、设备运行/备用状态、不可用设备信息等核电机组实际运行配置数据，实现自动计算实时风险指标和三日滚动计划风险指标，并自动开展风险原因查找和风险处置。

它在国内率先实现了风险监测器的自动化风险评价和风险原因查找的闭环，提升风险评价的效率和准确性。截至目前，风险监测工具已帮助电厂成功排查了40多处潜在风险源。

核电厂化学系统走向数智化

三门核电锚定三代核电化学领域技术前沿，针对压水堆一、二回路高分析频率的化学控制参数开发自动取样系统、化学自动分析系统与仪器：如一回路在线锌表、在线离子色谱仪、高精度在线硼测量，实现数据自动上传、趋势分析、自动识别异常；开展智慧实验室建设，实现实验室数据采集智能化，达到自动判断、自动计划、自动质控；投运化学智能巡检机器人，实现二回路取样系统自动巡检；pH分析机器人、高纯蠕动进样机械臂、液闪制样机器人、样品转运机器人等在紧锣密鼓的测试中；人工智能的化学诊断系统已纳入研发计划正在实施，预期通过建立化学专家知识库和运用AI技术，实现化学数据异常快速诊断。

三门核电创建的“浙江省先进压水堆水化学技术和材料研究重点实验室”

已通过浙江省科技厅的评审和论证，作为核电厂智慧化学项目研发重要平台，统筹推进“产学研用”一体化发展，重点围绕核反应堆堆芯化学行为基础理论与新材料研究、核电化学控制技术优化研究、核电先进化学测量方法研发及智慧化学建设等方向，致力打造国内首个核电化学领域“黑灯实验室”——依靠机器人自主完成实验室工作，将工程师从日常重复、繁琐的工作中解放出来，从事更深入的专业技术研究。智慧化学显著提升了核电厂化学监督的效率和核安全水平，降低了成本，为核电行业带来深远变革。

仿真技术融入核电 关键岗位人员培训

核电站里的操作比大多数行业都要复杂，还要考虑到核电站对安全的更高要求，关键生产岗位的人员每天需要面对不同工况的机组情况，真实的提前演练和培训必不可少。

深度仿真技术的应用，为三门核电带来了VR+人因安全作业体验平台，加入关键岗位人员培训序列。在这里可以坐上360°旋转的升降座椅，戴上VR眼镜，手握精准的操作手柄，开始一次近乎真实的核电工作体验；可以选择特定体验场景，或是爬上7米以上的高处作业平台，或是切割管道的动火作业，又或是执行电气测绝缘操作。如此这般“理一虚一实”的立体化智慧教学环境，打造了“平台+资源”型的虚实结合复杂场景。通过身临其境的VR体验让那些原本不能在实际机组上开展的演练鲜活地展示眼前。

这样的模拟演练在核电站还有个更加真实的存在——全数字化模拟机，可以模拟整个核电站的运行情况，以便于核电运行操纵员应对可能发生的应急状况甚至事故工况。这套全数字化模拟机采用了先进的数字孪生模型，并根据机组的实际数据对模拟机的参数进行了多次校正，持续保证全范围模拟机的高精度仿真。

三门核电不断追求卓越，勇于挑战自我。“灯塔工厂”的人选是三门核电追求高质量发展的里程碑，也是探寻数字化转型能力提升方向和建设路径的新起点。三门核电将统筹发布“灯塔工厂”建设规划，在智能电厂的设备层、智能监控层、智能管理层进一步深化应用工业4.0相关技术，实现电厂的全面感知、自动监测和优化控制。通过数字化、智能化进一步筑牢核电发展根基，不断提速高端化、智能化、绿色化发展步伐，让“灯塔工厂”不仅照亮自己，同时引领他人，为核电行业的可持续发展注入更多指引方向、照亮航线的重要航标，擦亮中国核电世界“灯塔工厂”名片！

（本版图片由三门核电提供）

进一步
全面
深化改革
推进中国式现代化省域先行

