国内大型核电机组首个三十年大修收官的背后——

# 大亚湾畔，连轴转的日与夜

◆本报见习记者程小雨

1月初，广东省深圳市大鹏半岛，灯火长明。对于大亚湾核电站2号机组30年大修项目团队来说，他们在核电站度过了一个有些“特殊”的元旦佳节。

低压缸汽轮机项目团队技术组长贾凯利回想起临近并网的那些日子，仍记忆犹新：“在看机过程中，我们遇到了发电机转子热波平衡振动高的问题，从1月1日到5日，机器跑了两次动平衡，我们每天就睡4个小时。”

大亚湾畔昼夜不停的灯火，换来的是大亚湾核电站2号机组一次并网成功的好消息，这也标志着国内百万千瓦级商用核电厂首个三十年大修——D223大亚湾核电站2号机组第23次大修圆满收官。

此次D223大亚湾核电站大修参修团队7000余人，涉及14项重大改造项目，突破设计、时间、空间、接口等交叉耦合风险，是国内百万千瓦级核电机组面临的首个三十年大修挑战。

面对节假日“消失”的许多个大修日夜，贾凯利用“一晃而过”形容这段时光，“没想过多苦，因为聚焦的全是当下。”大修的每一个日与夜，承载着整个大亚湾核电站D223大修团队别致的匠心与对安全默默的守护。

▲图为低压缸改造现场。 中广核运营公司供图
▶图为DCS改造项目团队设备调试现场。 中广核数科公司供图

## 勇闯技术“无人区”：“自己研发的平台就是好用”

在核电技术拥抱数字化浪潮中，大亚湾核电站也在勇闯技术的“无人区”。

“自己研发的DCS(核电数字化仪控系统)平台就是好用。”DCS团队成员曾进濠说道，在D223大修现场，他用鼠标轻轻一点，就完成了以往需要在机柜或者现场拆接线、连信号源的复杂操作。

核电DCS系统是一座核电站的“神经中枢”，控制着核电站数百个系统、上万个设备的运行和负责各类工况处理过程，系统规模大、综合程度高、应用场景复杂，长期以来，一直是核电装备领域待征服的一块高地。

作为全球M310机组首次数字化改造，D223大修应用中国广核集团自主知识产权的非安全级DCS平台SH-N，全部采用国产设备。然而，国产化自主创新的道路并非坦途，D223大修现场DCS现场调试团队曾面临突发状况。

“现场电缆端接有1800根线芯，线芯长度不足，无法完成接线，必须立刻解决。”在完成420项现场优化工作后，DCS改造项目团队接到一条紧急的现场反馈。因为DCS改造复用的是核电机组的旧电缆，在把原模拟系统柜位置改造为数字化仪控柜后，出现了线芯长度不足的端接问题。

5天时间，要完成1800根电线柜内转接与700块板卡复原。面对庞大的工程量，快节奏的工作强度，DCS改造项目总工程师韦志超却更加追求团队整体节奏的“稳”，“越是时间紧、任务重的时候，越是要遵守程序，保质保量。”

为了保证大修节点的稳步推进，DCS改造项目团队的前后台行动同步展开。在项目一线，团队按照专业的风险预案，工程设计、产品研发、测试、生产几个团队全力配合，采取分组、倒班等工作形式，力保改造工作顺利执行。项目后方，广利核公司工程部3天内紧急抽调了30位设计人员协助DCS改造项目处理图纸，开出来自幕后的技术支撑“良方”。终于，2023年11月13日23:00，在大亚湾的夜幕笼罩下，全部机柜的改造画下句号。

自主化创新的坎坷时刻在D223大修的过程中时有发生，而当走过坎坷，迎来的是一个个“首次”的技术突破。

回望大亚湾核电站2号机自主翻新主泵水力部件首次成功应用，大亚湾D223大修主泵专家曹建光不禁感慨“关山已越”。从2008年萌发主泵自主化想法，到如今国内首台全流程自主翻新水力部件的现场成功应用，主泵维修团队通过内外部调研、文献研究，联合国内高精尖龙头企业，攻克多项主泵维修关键核心技术。在这期间，已有15年时光在不知不觉中飞逝而过。

“关键核心工艺要牢牢掌握在自己手里”的初心始终未曾改变，无数个“首次”印证了中广核大修团队技术创新的卓越成绩。在D223大修的改造过程中，大修团队独立研发“大规模复杂工艺系统控制逻辑全范围测试真值表智能生成系统”，首次对常规岛70个系统近4000个逻辑回路生成超30万行测试步序真值表；首次实现大规模DCS组态全范围、全自动测试，极大提高了组态测试的准确性和测试效率；首次对大亚湾常规岛逻辑控制所有线路进行全通道、全数据化、可视化审查，实现了十余万次电缆端接零失误。

## 筑牢安全“防火墙”：追求头发丝十分之一的精度

“每天早上6:30起床，睁眼起来第一件事，就是先了解夜班施工人员通报的工作情况。”低压缸汽轮机项目团队实施项目负责人段宪东向记者描述他的大修工作一天的开端。

在结束穿插多个项目交接会与具体实施方案讨论会的工作日之后，晚上8点，交好白天的最后一班，段宪东返回办公室，继续撰写当天的检修日报，回顾当日工作中的每一处细节，这是他作为低压缸汽轮机项目团队实施项目负责人一天的轨迹。

在核电站，长约50米、最大直径约3米的汽轮机是常规岛最大的转动设备。大亚湾核电站30年大修之际，这台重达66吨的汽轮机重要组成设备低压缸，迎来了它一生中的第一次“脱胎换骨”。

低压缸改造涉及内缸、转子、持环、轴承等核心部件以及其他上百个部件的改造换新，部件之间的安装配合错综复杂、千丝万缕。项目团队技术负责人原帅将此次改造称为他个人十余年核电从业中经历过的前所未有的最“难”一次：“几千个步骤，上万个数据测量，工作量非常大。同时，66吨的气缸转子大件起吊100多次，对安全的要求也极高。”

对安全的极致追求，具象化在低压缸改造“大设备”与“细功夫”的对比之中。面对重达66吨的大件起吊，段宪东向记者袒露守住上百次大件起吊作业安全关的制胜法宝。“保持如履薄冰的心态，把‘每一次’都当‘第一次’来做，从项目的整体管控出发，落实到每一次起重作业的每一个细节。”

而轴承研磨的“细功夫”需要超出常人的严谨与技艺，“常常一刀下去就是头发丝的十分之一，精度到0.01毫米。给机器动刀子‘做手术’，每一刀下去都不可逆。”原帅向记者介绍道，“我们此次大修应用了激光测通流技术，通过激光定位获取侧点坐标，测量转子和气缸尺寸，从而找准汽轮机转子中心位置与气缸间的相对位置，大幅降低了作业的风险。”

为了保障核电设施的安全运行，化解现场的每一次风险，对待工作的细致入微体现在大亚湾的每一个角落。D223大修主厂变更换团队曾经历在183米长的电缆上“挑刺”的时刻，通过将故障点彻底击穿，最终在长183米、直径10公分、垂直位置错综复杂的电缆上找到一个小小的故障点；发电机内定子主管工程师王永亮凭借丰富的经验听声辨病，在发电机内定子超声波流量试验中，通过声音找出核电厂“心脏”中的“血液”流动异常，守护发电机安全。

为筑牢安全生产的底线，整个大修始终坚持“以大概率思维应对小概率事件”的底线思维，从“人、机、料、法、环”五个维度动态识别和持续提升改造项目准备成熟度。针对三十年改造项目提前5个月完成文件准备，编制110项风险控制预案，通过技术交底、现场踩点、模拟演练等提升施工程序质量和风险控制措施；全面推行安全质量网格化管理，实施配置风险与停堆安全融合管理，提升机组风险管理效率；制定网格化安全质量管控方案，将7000多人的参修队伍全部纳入网格化管理；实施边零散区域及夜间作业管理，多管齐下，筑牢安全质量管理“防火墙”。

这份对安全的坚守，从规章到行动融进每一个大亚湾30年大修参修人的血液之中。段宪东回忆起并网成功那一刻的感想，只提到“心里稍稍放松了一些，但安全无小事，接下来仍有很多工作要做，这是一场持久战。”

眼下，在迎来大亚湾核电站2号机组一次并网成功的胜利之后，1号机组的大修工作开工在即。大亚湾的核电人又将迎着黎明的曙光，投入一场场披星戴月的战斗之中。

紧盯重大改造和重要异常

## 华南监督站完成大亚湾核电厂三十年大修监督

**本报讯** 大亚湾核电厂2号机组近日一次并网成功，完成第二十三次换料大修(以下简称D223换料大修)。D223换料大修是国内百万千瓦级商用核电厂的首个三十年大修，除需进行一回路水压试验等多项重要在役检查项目外，还将实施核岛模拟量控制系统数字化升级改造等19项重大改造，项目准备周期长、涉及面广、接口多而复杂，为大修监督带来巨大挑战。生态环境部华南核与辐射安全监督站(以下简称华南监督站)高度重视，紧盯D223换料大修重大改造和重要异常，统筹开展核安全监督，督促营运单位切实保障D223换料大修工作质量。

华南监督站分党组高度重视，召开专题会议统一调度大修专项组及各专业组支持监督工作。一是成立监督专班，站领导担任组长。专题调研其他监督站三十年大修监督主要做法和良好实践，研判D223重大改造项目中的安全隐患和耦合风险，建立监督任务清单，紧盯问题推动解决。二是制定D223换料大修监督专项方案。按照监督方案，针对重点项目着重开展专业培训，分解细化大修日常监督工作，形成“工程改造一张表”“监督安排一张表”。三是建立信息即时沟通、重要专题周沟通、总体情况月度座谈三层次沟通机制，快速沟通汇总现场信息，协调资源聚焦重点问题。四是严格落实专项方案。统筹各处室、专项组、专业组力量，严格开展重大改造项目和重要在役检查项目监督，切实保障机组运行安全和维修质量。责任监督员在参加大修早会、专题会、技术讨论会的同时，梳理监督重点、难点、堵点，以严慎细实的工作作风将监督工作落到细处，干到实处。五是分阶段组织召开D223换料大修核安全监督座谈。每月根据大修进展和阶段重点工作，组织相应领域专家深入现场边对话、边检查，在靠前发现问题的同时，着力提升监督深度。六是建立监督台账和实时报告机制，定期“回头看”，确保形成监督闭环。 李诗薇

全身“体检” 精细作业

# 春节“不打烊”，核电站大修究竟修什么？

◆本报见习记者程小雨

春节期间，当人们在享受阖家团圆的幸福之时，来自一线的核电人又度过了一个“不打烊”的假期。记者了解到，中国广核集团(以下简称中广核)旗下大亚湾、阳江、防城港、宁德、红沿河等核电基地迎来共计7台机组大修，其中1台华龙一号机组进行首次检修，1台机组面临30年大修，2台机组进行10年大修。

据悉，本次中广核多基地重叠大修面临重大项目多、检修任务重、检修窗口重叠度高、参修人员广的多重挑战。累计需实施重大项目98个，首次实施的“五新”(新检修窗口、新项目、新备件、新工艺、新工具)项目多达300个，需解决的重点关注技术问题323个。为了完成这一艰巨任务，近10000名参修人员在春节期间坚守现场，守护核工业的“生命线”。

核电站究竟在什么情况下需要大修？核电站大修究竟修什么？大修涉及哪些项目团队？

## 走进大修：核电机组迎接全身“体检”

在了解大修的“奥秘”前，首先要揭开一个误区。大修并不是人们印象中核电机组设备“坏”了才会开展的检修行动，而是指经过一段时间运行后，为保证核电厂后续的安全运行，根据设备的老化特性和技术规格书的要求，按计划停堆而集中进行的比较大规模的检修活动，这类似汽车行驶一段时间后需要进行定期保养。

中广核运营公司大亚湾项目部经理蔡勇军将核电站“大修”，比作我们日常生活中每年定期开展的“体检”，并且这项核电机组的“体检”具有特定的周期。

“核电站的核燃料每运行12个月至18个月的循环周期后需要进行更换，这个循环周期可以理解为燃料耗尽的过程。在核燃料的更换期间，整个核电机组都会停下来，工作人员会趁这个停工的间隙，对核电站的系统和设备进行定期检查和维护。同时，若核电机组设备出现故障，也会在此期间进行维修，以确保下一个循环中核电机组能够安全、稳定地运行。所以，大修不是核电机组出现问题才进行的，而是一个定期开展的活动。”蔡勇军向记者解释道。

2024年1月，大亚湾核电站2号机组大修后一次并网成功，这也标志着国内大型核电机组的首个三十年大修顺利完成。对此，蔡勇军向记者介绍了本次大修与以往的不同之处。

“大亚湾核电站2号机组大修与常规大修相比，一是涉及项目多。大亚湾核电站增加了核电大修三大项目，分别是一回路承压边界水压试验、反应堆压力容器在役检查和安全壳打压试验。同时，此次大修涉及项目难。由于大亚湾核电站已安全、稳定运行三十年，部分系统和设备需要改造成数字化设备或替换成国产化产品，牵一发而动全身，数以十万计的信号设备需要重新连接安装。很多项目都是国内首次实施，如全球首台在役M310堆型核电机模拟控制系统的数字化改造(DCS)，发电机、汽轮机改造，主泵自主维修等。”蔡勇军说。

在春节期间开展的大修工作，与平常的节奏基本保持一致。蔡勇军表示，核电站大修从开始到结束是一个流程确定、逻辑严密的过程。春节期间，大修主要按既定的计划安排进行，视“流程进行到哪一步”“需要哪些团队工作”而定。

## 精细作业：核电站大修究竟修什么？

核电大修过程是一个复杂的系统工程，那么在核电站大修过程中，主要修什么？

蔡勇军介绍道：“核电站大修主要包括预防性维修、纠正性维修、定期试验、在役检查、设备改造替代等工作。其中预防性维修指系统和设备无异常的维修，主要是为了消除设备的安全隐患。而纠正性维修则针对系统和设备出现异常的情况，哪里坏了修哪里。核电大修主要围绕以核反应堆为核心的一回路、汽轮发电机为核心的二回路以及冷源为核心的三回路开展，整个核电站从内到外基本所有部位都会涉及。”

核电机组大修这项“体检”工程，离不开团队作战。据蔡勇军介绍，在大修期间，核电站会成立大修指挥部作为统筹协调单位，执行单位包括大修计划团队、静止机械团队、转动机械团队、核岛静止主设备团队、核岛转动主设备团队、仪表计算机团队、电气团队、核燃料服务团队、技术服务团队、重大设备管理团队、备件采购团队等。各核电站都有非常明确的设备和工作分工表，大修团队按分工来开展工作。

此外，记者还了解到，大修持续时间长度被称为大修工期。在严格遵循核安全法规要求的前提下，大修工期受到大修项目管理水平、检修技术方法等因素的影响。在大修期间，各项目团队始终坚守“核安全高于一切的理念”和“安全第一、质量第一、追求卓越”的基本原则，并将这些理念和原则落实到大修的每一项具体工作环节中。

采取调查询问、现场检查等方式

## 吉安青原排查整治辐射安全隐患

**本报讯**“你们单位法定代表人已经调整了，辐射许可证也要及时进行更换。”江西省吉安市青原区生态环境局工作人员近日在某乡镇卫生院检查时说道。

春节期间，安全生产不放松，辐射监管“不打烊”。青原区生态环境局组织辐射、安全生产、环评人员集中开展辐射安全风险隐患排查整治专项行动，“地毯式”排查核技术利用单位，整治辐射安全风险隐患，进一步筑牢辐射环境安全防线，确保辖区内辐射环境安全。

从辐射安全许可证到年度监测、年度评估，再到个人剂量监测、射线装置台账、应急预案，青原区生态环境局对标辐射安全检查要点，采取调查询问、现场检查、调阅资料等方式，逐一对核技术利用单位的辐射安全风险隐患进行排查整治。

此次专项行动中，共检查了1家核技术利用单位以及10家Ⅲ类医用射线利用单位。“主要存在射线装置管理台账不规范、辐射许可证更换不及时、放射用房内堆放杂物、操作人员合格证过期等问题。”青原生态环境局污防股负责人刘帅介绍。

针对安全风险隐患问题，青原区生态环境局“一事一策”推进问题整改，对轻微违法并及时改正且没有造成危害后果的，落实包容免罚制度，精准帮扶，推动立行立改；对违法行为，依法纠正，严厉打击。

“下一步，青原区生态环境局将坚持问题导向、效果导向，深入开展辐射安全风险隐患问题整改及‘回头看’，推动辐射安全风险隐患动态‘清零’，坚决杜绝辐射安全事故。”青原生态环境局党组书记、局长李丛智表示。

刘茂林

让企业和办事群众“零跑腿”

## 舟山普陀开辟辐射安全许可“绿色通道”

**本报讯** 临近年关，许多企业因原证遗失或经营需要、设施变动等原因需要办理变更、延期、重新核发等许可手续，浙江省舟山市生态环境局普陀分局审批科窗口辐射安全许可业务办理量激增。为此，普陀分局主动简化办理手续，从办理环节、材料数量、办理时间等方面应减尽减，不断提高办理效率。

“针对部分单位辐射安全许可证既有变更又要延期的情况，我们首先确定变更、延期网上先后申报顺序，并引导业主在变更申报后随即开展延期申报。”普陀分局审批科负责人黄海飞介绍，“这样做，相关重复资料在延期阶段不需要重新提交，同时减去了变更证书核发环节，直接核发延期证书。全程实现线上运行，时间缩短了，效率提高了，真正做到让企业和办事群众‘零跑腿’。”

在申报辐射安全许可证咨询阶段，普陀分局审批科在对持证单位的申报材料进行仔细核对后，及时联合其他业务管理部门，对核发单位进行现场踏勘和指导；在踏勘现场过程中，第一时间帮助企业改正存在的问题，指出应补的材料清单，并约定申报时间；在申报核发阶段，针对业主单位办理人员申报系统不熟悉、申报难等问题，安排专人直接在窗口协助填报，并说明相应的规范和要求，提升企业的规范化管理水平。

朱智翔 唐毓蔚