

创新技术研发推动核电“智造”

——实地探访三澳核电项目建设现场

■本报记者 杨晓丹

6月温州，骄阳似火。从远处看，各类脚手架竖立在灰色核岛上。走近看，彩色的升降台和塔吊，飘扬的旗子，印有“责任、安全、创新、协同”的横幅，繁忙穿梭的施工人员仿佛形成一幅近重远淡层次分明的画卷。6月30日，《中国能源报》记者实地探访正在建设中的广核浙江三澳核电项目。

负责承建三澳核电项目的中国核工业华兴建设有限公司（以下简称“中核华兴”）是我国核电建设的先行者，已有近40年核电建设史。截至目前，中核华兴已承接50余台核电机组的建设，是国内承建核岛土建工程最多的承包商。在建造三澳核电项目的过程中，多种施工技术及工艺首次创新应用；与此同时，通过多个项目试验、升级的智能化管理系统为项目建造赋能，不断推动着核电项目建造质量与效率的提升。在海外项目建设中，创新技术的应用，也使得“中国造”成功“海外生”。

●先进技术大幅提升项目效率

《中国能源报》记者在参观采访三澳核电过程中了解到，建造过程中的创新研发和先进技术应用，有效提高了该核电项目的建造质量和建造效率。

混凝土浇筑是事关核电工程安全的关键环节。一副手套、一个马甲、一顶安全帽、一根智能振捣棒，这么简单的物件就能令混凝土浇筑的质量大幅提升？原来，这些就是混凝土智能振捣在线监测装备。

据工作人员介绍，这些设备中都安装了感应系统，工人通过穿戴这些带感应器的设备进行振捣作业，过程中可以将振捣时间、位置和深度反馈至模型，以颜色的形式显现出来，实现混凝土振捣全过程的可视、可控、可调。《中国能源报》记者了解到，中核华兴将该装备投入三澳核电混凝土浇筑环节，这也是在核电建造领域中的首次应用。

混凝土浇筑到建筑板或墙体的预制模型内时，由于本身的黏结性，会造成有些区域无法自然流通产生气孔，需要通过振捣填充压实。以往传统的振捣方法是通过工人凭借工作经验并结合实验数据进行人工振捣，可能会导致某些区域的漏振或过振，对混凝土质量和工程安全性造成一定的隐患。“而混凝土智能振捣在线监测装备通过可视化，以不同的颜色来有效识

别振捣程度，显示至终端平台。比如，红色表示区域漏振需要补振，蓝色表示振捣时间过长需要及时修正。”中核华兴相关负责人说。

“经过结构块试验、模拟墙试验、现场墙体振捣试验等多次应用试验和逐步深入，验证了该智能检测技术在核电工程领域混凝土振捣的实用性与先进性。由于可以在现场实时监测振捣质量，并及时进行补振，该技术明显提升了混凝土的振捣质量，并对振捣全流程实现精细化、数字化管理。相较于传统振捣棒，该技术施工过程也更安全。”上述负责人进一步解释。

除了混凝土智能振捣在线监测装备，中核华兴专业技术人员告诉记者，还有钢筋套头尺寸偏差在线检测装备、在线相机用于模板支撑体系智能安全监测装备、基于视觉测量的预埋件安装的智能质量检测装备、核电工程受限空间智能监测装备等都是在核电项目首次应用。

中核华兴在核电建设的过程中，也将模块化施工深入推进至项目建设的各个专业，在三澳项目现场，其最大的亮点就在于模块化施工。“模块化施工不仅能够明显优化主线工期，还能将现场作业转化为车间预制。这样一来，作业人员的作业环境得到了改善，降低了安全风险，预制构件质量更容易得到保证，大大提升了结构施工质量和施工工效。”中核华兴技术人员表示。

如堆坑底板混凝土钢筋笼模块施工工艺，能够提前预制堆坑底板模块，待钢衬里底板模块吊装完成后将堆坑底板模块整体吊装就位，具有速度快、工程建设周期短、受工作面和当期环境影响小的特点。“这一施工技术在三澳核电2号机组反应堆厂房内部结构首次成功应用，能够缩短核岛施工关键路径工期30天，同时有效降低交叉作业安全风险、提高结构施工质量。”该技术人员介绍。

●管理系统实现智能化突破

“中核华兴除了着力于实体工作硬件设备的升级创新，还致力于核电工程建造管理系统的智能化升级，为华兴公司核电建设品牌影响力和核心竞争力提升奠定了良好基础。”中核华兴党委书记周博在接受采访时表示。三澳核电的智能化建设主要体现在BIM（建筑信息模型，Building Information Modeling）可视化管理平台



图为三澳核电项目现场。
中核华兴/供图

和精细化管理平台，并实现了双平台的互通互联，成功打通了模型、数据与业务流程的信息孤岛。

“运用BIM可实现远程后台钢筋三维下料，不需人工现场下料，待全部下料后，通过精细化管理平台将数字化钢筋料单进行排产，直接传输至钢筋智能加工设备实现自动进行加工，数据共享实现智能建造。”中核华兴三澳核电项目部负责人说。

目前BIM技术已创建了10种堆型的核岛结构三维模型，为数字化建造提供可靠精准输入。“在工程结构数字化与可视化方面可进行材料、半成品、工程量、进度及方案模拟等；在施工业务应用方面，可实现埋件自动建模、模架自动布置、钢筋快速翻样、钢结构深化设计等；并能够与钢筋自动化生产、预埋件自动验收、3D打印、三维扫描等先进技术装备融合应用。”该项目负责人举例。

据了解，精细化管理平台将合同、图纸、技术规格书等所有的目标工程信息通过平台进行整合，有效串联起工程施工各个环节，将项目工程分类为工作包模块、加工生产模块、配送管理模块、施工管理模块和商务管理模块等，能够保证施工组织衔接顺畅，有效提高现场施工效率，进而提升施工工效。此外，精细化管理平台能有效记录项目在生产活动中的资源投入，形成大量数据，并对全周期数据进行有效分析，为后续机组建设提供宝贵的参考数据，进而提升建设经济性。

在工程施工各个环节中，中核华兴在

智能焊接的管理应用方面实现了重大突破。焊接自动化管理平台不仅能够进行焊接工艺的管理，还对焊接焊工资格、焊材发放、领用、焊缝检测、焊检测委托等一系列焊接流程进行管理。据了解，大量的数据输入之后，可以借助数据二次赋能，实现整个焊接工作乃至钢结构工作的智慧化改造。

截至目前，这一焊接自动化管理平台已累计节约核级焊工人力成本3000余万元，取得显著的社会和经济效益，具有广泛的应用前景。“在核电建造现场，一名核级焊工需要大约40万元的雇佣成本，通过智能焊接平台代替人工焊接，不仅减少了对人工特别是对核级焊工的依赖，也带来了巨大的经济效益。利用这些管理软件信息化手段，使得核电建造工作中重复性高的工作以数字化方式精简，岗位减少了，组织质效却提高了。”该项目负责人说。

●先进创新技术走向国门

据了解，中核华兴已承建10种堆型、50台核电机组及8台常规岛工程的建造工作。其中，更是承建了巴基斯坦的卡拉奇、恰希玛6台机组。

“海外华龙一号首堆，首次采用‘开顶法’施工，为反应堆厂房管道焊接提前4个月具备施工条件。FCD（the first concrete date，即第一罐混凝土浇注日期）至具备穹顶吊装条件共用时22.5个月，比国内首堆工期缩短1.5个月。”中核华兴核电事业部技术负责人介绍。

记者了解到，开顶法施工技术是中核华兴在海外项目无成熟经验参考、质量安全风险大的施工条件下，打破固有施工逻辑的创新施工方法。“‘开顶法’实现了水锈钢水池‘后贴法改先贴法’模块施工，优化了土建工程施工逻辑，改变了以往核电主设备传统的引入方法。采用这一技术后，K2、K3主管道焊接较传统施工方法分别提前了7.5、9个月启动，比原进度计划分别提前4.5、7.5个月完成。”该负责人指出。

在“华龙一号”海外首堆项目策划初始，中核华兴便提出钢衬里必须采用模块化施工。“钢衬里走在土建前面，堆控不锈钢覆面也要用。只有这样，内部结构施工才能保证压力容器的安装，才能保证首堆不拖期。”

在钢衬里模块化施工过程中，施工团队不断进行着创新与试验。“钢衬里由13层变更为9层，团队与厂家协商定制超宽板，减少了40%的现场拼装量，降低了现场的安装难度和施工风险；由于底板与加肋区连接焊缝距离间隙15公分，距离地面20公分，焊接施工难，质量保证难，因此必须采用模块化，底板段与加肋区模块施工便诞生了。”钢衬里施工的技术负责人讲述道。

据悉，巴基斯坦卡拉奇K2、K3核电项目核岛土建工程开工至今，共被授权发明专利10项，实用新型专利16项，并取得9项省级工法，形成了新型高强混凝土、钢衬里和不锈钢模块化、双平台预应力和开顶法等一系列具有国际先进水平的建造施工技术。

庄稼院里“光伏老头”的幸福困惑

■王庆文 梁嘉贺

“40年前我20来岁时，是十里八村儿出了名的庄稼把式，外号‘累不倒’。可是后来这庄稼院里的的事儿我是越来越靠边儿站，越来越整不明白，心里乐呵手痒痒。直到现在成了家里只能擦擦太阳能板的‘光伏老头’。”

2023年7月5日，内蒙古呼伦贝尔扎兰屯市哈多河镇合兴村10组，62岁的村民秦常一手抹着后脑勺，一手指着院子里的光伏板，憨厚的笑容中透着自豪和自嘲。农村生产生活电气化、机械化、智能化、清洁化水平越来越高，让这位勤劳朴实的庄稼汉既幸福满满又“憋屈”多多。

春耕秋收科技范儿 马放南山自悠然

1981年农村土地承包到户后，秦常靠着两匹马一副犁一个胶轮马车，没黑没白的干，小日子火遍全村儿。“累不倒”外号也因此而来。后来家家户户都买了四轮车，农户家里的大功臣、耕地主角牛和马逐渐退出耕作，在附近山坡上悠然自得。再后来，播种机、喷灌机、收割机、脱粒机陆续登场，简直让秦常看傻眼。

“刚干时家家都是马或牛拉犁耕地，一次只能耕一条垄，起早贪黑一天也耕不了多少地。现在都是大马力四轮

车带五个自动铧，一次五条垄，几百亩地几天就耕种完了。以前秋收清一色的用镰刀一刀一刀的割，一天下来腰酸背痛脖子疼，头晕腿软眼冒金星。全收完得一个多月。现在用收割机直接收割、脱粒、装袋，几天就完事儿，跟玩儿似的。”

秦常欣慰中也透着不小的失落：“这些东西咱也不敢上前鼓捣，感觉自己刷刷存在感都很困难。”

停电成了新鲜事儿 柴柴消失山更青

说起用电，秦老汉更感慨：“通电前，家家都是点油灯洋蜡（蜡烛）。那时候不宽裕，没钱买油买蜡了就摸黑儿。1995年刚通电那会儿电不够用，三天两头就停电。你看现在，脚蹬劲儿地用，停电反倒成了新鲜事儿。动力电都给扯到了家门口，养牛养羊饮水粉碎饲料老方便了。”

据秦常介绍，以前都是砍柴烧炕做饭，这附近的山都被砍成秃头了，很多山坡、山顶都光溜溜的。那时候，看谁家过得好，首先看他家有没有大柴禾垛。后来家家都是各种电器摆了一屋子，柴禾垛却没了，山上的树开始密密麻麻的自然生长，比他小时候长得还高大粗实。现在评价谁家过得好，看的是健康的身子、赚钱的路子、儿孙的日子、漂亮的房子……

在秦常家里，屋顶精装扣板，墙面、地

面是灰色系简约高雅瓷砖，大容量的冰箱、冰柜里鱼、肉、蛋、菜等塞得满满登登，电磁炉、电饭锅等一应俱全，就连窗帘都是电动智能的。

但这也正是秦老汉“憋屈”的原因：“我算看明白了，属于我们这茬人的笨拙耕作、落后生活的时代结束了，现在是孩子们用知识、技术、观念大展身手的时候。你看这家里的东西，不是键盘就是按钮，我根本不敢鼓捣。就连窗帘都是躺在床上喊一声就成的事儿。我寻思这事儿扫扫地拖拖地活动活动筋骨吧，我儿子又给我整来一个扫地机器人儿！倒是乐了我家猫，成了它的代步工具……”

晒晒太阳就卖电 山风成宝能亮灯

让秦常最开眼的事儿发生在2022年9月。附近的中和镇开始在山里安装风力发电机，要用山里的风亮灯热炕。村里里打到低碳小镇，儿子秦旭宝张罗着在院子里安装了太阳能光伏板，自发自用，余电上网。不但自己家一年1000多的电费不用交了，每个月还能拿到200多元钱。村里好多人家都在琢磨这事儿呢！

“这回我是彻底迷糊了！过去这山里冬天嗷嗷冷能冻死人的大风，现在倒成了宝贝了。自己家用电不花钱还能卖电挣钱，还是就晒晒太阳这么简单！我老脑筋是真跟不上溜喽……”

不过，也正是自家院子里的光伏板，让秦老汉找到了用武之地：“别的活插不上手，我就每天把这一块板子擦得锃明瓦亮，好让它多晒太阳、多发点、多挣钱……”

送我们出门时，“咯咯哒、咯咯哒”的鸡叫声，让秦老汉眉开眼笑，很是自豪地说：“这是母鸡在告诉大家自己下蛋啦！其实在这村儿里，有一门手艺我是独一份儿，就是编筐窝篓。这村儿里百分之八十的鸡窝，都是我编的。东北八大怪中‘生下孩子吊起来’指的就是用柳条编的悠车子，那玩意我现在还会编。可惜呀，现在的孩子都用高档婴儿车，这门手艺要失传喽……”

夏日炎炎，全国多地进入高温炙烤模式，用电负荷持续走高。在我国煤炭主产区山西，许多劳动者正奋战在能源保供一线，挥汗如雨保供应。

“嗡！”随着一声尖锐的鸣笛声，一列载满电煤的火车缓缓驶入编组站。调车员王磊头顶烈日，一身长衣长裤、紧扎袖口，戴着帽子和手套，扒乘在运煤车辆上。一只手紧扒车梯、另一只手拿着对讲机收听调车长发出的指令，豆大的汗珠从他脸上滑落。

中国铁路太原局集团有限公司朔州车务段宋家庄站，像王磊这样的调车员一共有9组27人，他们被称为列车车辆的“编组师”。“调车作业时间紧任务重，平均每天每组有40钩活，大约调动850辆车。”宋家庄站站长赵东亮说，调车员全程露天作业，晴天一身汗、雨天一身水是他们真实的工作写照。

“车辆在烈日暴晒下，车皮表面温度最高能有五六十摄氏度，皮肤直接接触有可能烫伤。”王磊说，为了作业安全，再热的天气也要全副武装，背着20斤左右的作业备品和工具，55节的列车，从头检查到尾。“很多时侯衣服就像刚水洗过一样，湿得透透的，全裹在身上。”

“近些年站场条件有所改善，作业间隙可以到站上的淋浴间冲凉，这就能解解暑。”王磊说。

赵东亮说，为了预防室外作业职工中暑，车站午餐和晚餐都会提供西瓜、绿豆汤等消暑食物，同时常备藿香正气水等药品，为高温下的劳动者提供保障。

晌午日头正盛，国网山西电力±800千伏雁门关换流站内，换流变压器、电抗器、断路器等电力设备的连接导线纵横交错。雁准直流作为晋外送江苏的电力大动脉，正在经受高温与大负荷的双重考验。

“不仅是对设备的考验，更是对我们巡检人员的考验。”雁门关换流站党支部书记冯利君说，站内成组的大设备有五六个，小零件不计其数，往常需要3天时间完整巡视一次，大负荷运转以来，为

及时排查隐患，巡视周期缩短了一半以上。“迎峰度夏是持久战，越是高温酷暑越要打起十二分精神。”

站区中心的换流变广场上，24台换流变压器设备全力运行，嗡嗡作响，散热器旁阵阵热浪翻滚，环境温度可达60摄氏度，运维班班长王志文和另一名运维人员正使用红外检测仪、局放测试仪等对现场设备进行特巡。“每一处细节都要认真检查，确保特高压电网安全稳定运行、万无一失。”王志文说。

中煤平朔集团东露天矿，矿坑内层层叠叠的作业面上，15台重型电动挖掘机与上百台200吨至300吨级自卸卡车等重型装备轰鸣不停。“这些设备都是单人单机操作，工人们需要在高温天气下连续作业，每个人都是‘特种兵’。”生产二队党支部书记杨文忠说，为了原煤增产保供，提高作业效率，穿孔、爆破、采装、运输、排土等各个环节的生产节奏都紧凑了起来，工人们有时忙得连水都顾不上喝。

矿坑干道上，一辆辆满载的卡车接连驶过，扬起一片片粉尘，十余辆抑尘的洒水车来回穿梭。“天气太热了，洒水车都洒不过来，一边洒一边就干了。”杨文忠说，日日暴晒在太阳底下，一个夏天过去黑得像换了个人。

一处采掘工作面旁，一台电铲挖掘机正在采装爆破产生的碎石。电铲的高度是22.21米，相当于7层楼高，是露天矿里最大的设备。生产二队挖掘机司机邢利平人行二十余年，一直在和这些“钢铁巨兽”打交道。

操纵电铲摇杆手柄，铲斗推进向前，在持续的震动中，60立方米左右的碎石被铲起，随即又被装载到运输卡车上……8个小时的班次内，这套动作邢利平要重复操作近500次。

他表示，现在工作条件好多了，驾驶室里都有空调，但长时间连续作业，一天下来还是很疲惫。“慢慢也习惯了，现在的生活是家和设备两点一线，设备相当于第二个家。咱这多出一块煤，用电就能少发愁，辛苦点也值得。”

高温下的坚守

山西能源保供一线见闻

■唐诗凝 许雄



图为秦常每天把院子里的光伏板擦得锃明瓦亮。王庆文/摄