

近日，海南自贸港首个“华龙一号”核电项目——华能昌江核电二期项目3号机组正式投产商运。这是中国“十四五”时期首个开工并于“十五五”首年投入商运的“华龙一号”项目。

一个核电站从建设到商运，经历了怎样的过程？本报记者走进华能昌江核电站现场，探访这座中国目前最南端的核电站——

建成一座核电站，要过“五道关”

建设一座核电站从来不是普通工程。从项目筹备到正式发电、商运，要经历“五道关”。

第一关，选址。

核电站对选址要求极高。一方面，核能发电需要稳定的自然环境与地质条件，要确保核电站不受各类自然灾害影响；另一方面，核裂变反应过程会产生巨大热能，需要充足水源吸收热能，给反应堆降温。因此，核电站通常需靠近水源。中国目前的核电站，就多数分布在山东、江苏、浙江、福建、广东等沿海地区。

华能昌江核电二期项目位于海南省北部湾东岸，这是中国最南端的核电基地，也是海南历史上投资最大、技术先进、公益环保的能源项目。“厂址靠海，充分满足核电站对于靠近水源的要求，也将为当地带来清洁绿色能源。”华能海南昌江核电有限公司总经理刘斌说。

第二关是报批。核电站建设单位须在国务院核准后向核安全局等各有关部门提交相关申请，获得审查同意后，方可动工。

这时，来到了第三关——建造。核电站通过了选址安全评估，取得建造许可证，开始浇筑核岛的第一罐混凝土，这一天也就是业内人常说的FCD（First Concrete Date）。“2021年3月31日，华能昌江核电二期项目的3号机组核岛筏基第一罐混凝土浇筑，项目正式进入主体工程建设。”华能海南昌江核电有限公司工程管理部核岛土建工程师孔佑慈说，“之后，3号、4号机组于2023年完



图①：华能海南昌江核电有限公司维修部工作人员在进行高压电气设备巡检。

图②：华能昌江核电二期项目3号机组。黄钰坤摄

华能昌江核电二期项目3号机组正式商运

一度核电的历程

本报记者 廖睿灵

成双内穹顶吊装。穹顶封顶，意味着核岛土建主体完成，工程全面转入安装阶段。”

在海岛建核电站不容易。昌江黎族自治县全年温度较高，对土建施工来说，高温环境下，混凝土水化反应快，浇筑难度大。“另外，当地的高盐雾环境容易造成钢筋等材料腐蚀。对建设工人也是挑战，每天一到现场，不一会儿衣服就被汗水浸湿了。”孔佑慈说，“即便如此，项目建设团队仍然克服困难，按质按量完成了建造任务，确保之后装料、发电顺利推进。”

孔佑慈口中的“装料”，是建核电站的第四关。这是核电站工程从无核试验迈向有核调试的重要节点，也是整个项目过程中难度最高、标准最严的工序之一。

“‘华龙一号’以铀-235为主要燃料。每组燃料组件都有专属编码，安装过程要求极其严格。组件间的间隙仅1毫米，容不得分毫之差。”华能海南昌江核电有限公司维修部服务科科长肖振东牵头参与了3号机组的装料作业，他向记者打了个比方：“装料就像下棋，每一枚‘棋子’都要按序吊装、精准‘落子’，以确保反应堆芯功率均匀，保证此后机组的安全运行。”

为顺利完成装料作业，肖振东带领一支平均年龄30岁的年轻团队，提前半年进行装料演练，确保所有软硬件设备统统“到位”。2026年4月30日，昌江核电3号机组正式开始装载首炉核燃料；5月3日，团队历经63小时作业，177组燃料依次吊出、转运、入堆，“排兵布阵”零失误、零误差，3号机组装料工作圆满完成。

装料完成后，来到了最后一关——运行。8月1日，昌江核电3号机组成功并网，发出第一度电。此后，功率提升及各项性能试验顺利开展；9月17日，3号机组正式



投产商运。“昌江核电二期项目3号机组顺利完成建设、投入运行，将为海南自贸港带来源源不断的清洁核电。”刘斌说。

发出一度清洁核电，要经“多回路”

一座核电站建成后，如何把核燃料变成电？

业内人士有个通俗的比喻：烧开水。多数电站的发电过程，就像人们烧开水，只是不同电站用的原料不同。比如火电站靠的是烧煤，核电站“烧”的则是核燃料。

华能海南昌江核电有限公司运行部副主任李文告诉记者，一个核电站电厂，通常分两部分：核岛和常规岛。核岛类似火电站的“锅炉岛”，它靠核反应产生热量来制造蒸汽。常规岛，则承担类似火电厂的发电任务：利用蒸汽推动汽轮机，把热能转化为电能。二者配合，完成发电任务。

“核电站的一回路在核岛内，铀-235在核反应堆发生裂变，释放出巨大热量并加热高压水，这时候的水全程密封在核岛内。”李文说，“而后，一回路产生的热水流向蒸汽发生器，隔着管壁对蒸汽发生器内的另一路水‘隔空加热’，将后者‘烧开’，变成高压蒸汽。蒸汽冲出去，带动常规岛内的汽轮机转动，汽轮机再带动发电机发电。之后，这些电并入电网，降压后进入千家万户。”

很多人关心核电站的安全性。李文告诉记者，“华龙一号”将一回路的“高压水”和“放射性”完全封闭在核岛内，此后常规岛的发电过程不具放射性。

“此外，我们的机组还有3套‘盔甲’保障核电安全。”李文说。

首先是“双重安全壳”。置身华能昌江核电站，记者看到3号机组的核岛外观巨大，核岛外壳与内壳间，有约1人展臂宽的距离。

“核岛的安全壳分为两层，内侧混凝土厚度有1.3米，它的内壁还有一层6毫米厚的钢板，足以把辐射物质牢牢锁在内部。”孔佑慈说，“安全壳的外壳，厚度有1.8米，采用普通住宅楼2倍强度的混凝土建成。这样的双重安全壳，即便遭遇强烈地震、大型飞机撞击，也能保障核岛内部安全稳定运行。”

其次，核岛安全壳外侧有一个能储存2400吨水的非能动水箱。如果反应堆出现异常，不需人为操作或外部电能，水箱与双壳之间的换热回路能靠自身重力和自然循环，把这2000多吨水泄出，如同一个水冷空调进行物理降温，将反应堆温度控制在安全范围内。

华能昌江核电二期项目还安上了“智慧大脑”。“我们建成了国内首个集团级全栈国产化核电生产管理系统，也就是HAP。这个系统能帮助我们彻底摆脱国外的工业软件依赖，让生产管理由‘经验驱动’转向‘数据驱动’。”华能海南昌江核电有限公司信息文档部负责人陈

叶俊告诉记者。此外，项目建成核岛、常规岛等全域覆盖的专属5G网络，支撑终端采集、人员定位、智能作业等全域实时感知，大幅提升项目管理可靠性、安全性。

核电机组商运，中国核电行业又进一步

从动工建设到正式商运，华能昌江核电二期项目3号机组商运意义重大。

对海南来说，这是一块“绿色底座”。

相较火力发电，核能不仅自身能量密度高，还是一种成熟的清洁能源，发电过程不排放二氧化硫、烟尘、氮氧化物等物质。刘斌表示，华能昌江核电二期项目规划建设两台120万千瓦核电机组，是海南当前最大的电力工程建设项目。项目全部建成后，年发电量可达180亿千瓦时，每年节约标准煤超632万吨、减排二氧化碳约1160万吨，将为海南自贸港建设提供清洁、安全、高效的能源支撑。

“海南本身缺煤少油，当地风光发电并网比例高。但台风天气频繁，容易导致电网不稳。核电机组投运能为海南带来更加稳定的清洁电源，这将为当地经济发展提供低碳支撑。”华能海南昌江核电有限公司运行部值长甘佳军说。

对中国华能来说，该核电机组商运是核电技术的一次关键跨越。

“3号机组投产商运，标志着中国华能完成了大型压水堆从开工建设到投产商运全流程，正式跨入先进三代压水堆核电运营商行列。项目的成功实践，能为集团其他核电项目提供宝贵经验，也为核电产业的规模化发展提供样本。”刘斌说。

对中国核电来说，这是行业发展成绩单的生动注脚。

刘斌表示，华能昌江核电二期项目3号机组是我国实施“积极安全有序发展核电”战略的实践样本，机组采用完全自主知识产权的“华龙一号”三代核电技术，进一步验证了国产核电技术装备的成熟可靠性，为全国核电高质量发展积累了经验。

根据国家能源局数据，截至目前，中国大陆地区在运和核准在建核电机组共120台，装机容量1.35亿千瓦，总规模居世界第一。其中，在运机组62台、装机6614万千瓦，居世界第二；核准在建机组58台、装机6951万千瓦，居世界第一。

“当前，我国核电技术已全面跻身世界先进行列，核电关键主设备实现100%国产化，近年来，我国核电产业保持较快发展节奏。预计2030年，我国投运核电装机规模将达到1.1亿千瓦左右，超越美国成为世界第一。”中国电力企业联合会秘书长郝英杰说。

国家能源局方面表示，将把保障核电安全作为核电发展的首要任务，继续有序推进沿海核电建设，推动核电科技创新突破，进一步扩大核能多用途利用场景。

《医药工业发展“十五五”规划》提出25项任务——

未来5年,创新药产业规模年均增长超20%

本报记者 王俊岭

近年来，中国医药工业高质量发展成效显著，特别是在研新药数量跃居全球第二，引起海内外高度关注。近日，工业和信息化部、国家发展改革委等十部门联合印发《医药工业发展“十五五”规划》（以下简称《规划》），在8个方面部署了25项重点任务。

“创新”成为关键词

今后5年，医药工业将从何处着力？

工业和信息化部消费品工业司相关负责人表示，“十五五”时期是制造强国和健康中国建设的关键时期，也是医药产业结构调整、创新驱动转型、全球影响力提升的重要机遇期。

着眼未来五年，《规划》提出了“十五五”时期医药工业发展预期性指标，包括：产业规模效益稳步提升，规模以上医药工业企业营业收入超过3.5万亿元，创新药产业规模增速年均达到20%以上；创新发展持续突破，医药工业上市企业平均研发投入强度年均达到10%以上，首创新药（FIC）占全球比例达到25%以上；企业培育和集群发展迈上新台阶，年营业收入超过100亿元的医药工业企业数量达到50家等。

为了实现上述目标，《规划》在引领产业向新向优、释放要素生态潜能等8个方面部署了25项重点任务。其中，在增强原始创新能力方面，强化企业创新主体地位，加快推动我国创新药械研发向首創性、突破性、颠覆性升级；在加快布局前沿技术和产品方面，加快人工智能、量子计算、超级计算、计算医学等新技术赋能药物研发，探索超限制造、太空制药、生物制造等药械生产新模式；在提高市场吸引力方面，以国内大市场吸引国外医药企业扩大在华业务，加大投

资力度，开展从产品研发、临床转化到生产制造的全链条布局等。

努力从量变向质变跨越

“2025年底我国医药企业临床阶段在研管线数量占全球33.7%，管线数量规模位居全球首位。但同时要看到，原始创新仍存在明显短板，全新靶点、全新作用机制的全球首创新药供给偏少，多数项目仍以跟随式改良创新为主，管线同质化明显。”国务院发展研究中心产业经济研究部研究员李燕说。

《规划》以专栏形式对重点创新领域和产品、重点前沿技术、优势工艺技术、优势产业集群培育领域作出更为具体的部署。比如，重点开发降解速率可控的冠脉支架、心脏起搏器等产品，重点发展高端计算机断层扫描（CT）、磁共振、多模态AI病理系统等AI辅助诊断产品及关键零部件。

中国医疗器械行业协会会长江德元说，中国已成为全球医用耗材最重要的供应国之一。“十五五”时期，优势领域要努力在“做强”上下功夫。“医用耗材要向高值化、智能化方向升级，在保持成本优势的同时提升产品附加值；体外诊断要加大核心原材料和关键元器件攻关力度，从跟随替代走向源头创新；康复设备与可穿戴产品要向智能化、个性化、居家化方向发展，推动更多产品从医院走向社区、走进家庭。”江德元举例说。

在李燕看来，“十五五”时期，全球生物医药技术范式加速变革，跨国药企对外创新合作需求持续上升，国内多层次医疗保障体系逐步完善，本土创新研发能力稳步提升，都为产业发展带来历史性机遇。“十五五”时期，

将是我国生物医药产业从“量变”到“质变”跨越的关键五年。

推动AI赋能产业链升级

《规划》中，加快研发医药垂类大模型与智能体、加速人工智能驱动的医药研发和生产管理范式变革等与AI有关的内容，受到高度关注。

“当前，人工智能、生命科学、新型能源、前沿新材料等领域的突破，正深刻影响医疗器械产业变革。”江德元说，“十五五”时期，要推动AI赋能全产业链，促进AI在研发、制造、诊疗、服务各环节的深度应用，推进医疗领域国家人工智能应用中试基地建设，为AI医学影像、辅助诊疗等场景提供转化平台。

江苏恒瑞医药集团有限公司相关负责人表示，AI赋能药物研发已成为全球生物医药创新的重要赛道，“我们在分子设计与筛选、临床前研究、临床试验、药学开发等领域全方位加大投入，以AI技术助力药物研发全链条提质增效。”

“康方生物已在全产业链布局数智化升级。研发环节运用人工智能辅助靶点筛选与抗体设计，将候选分子发现周期缩短近40%。”康方生物科技有限公司创始人夏瑜说。

华大集团首席执行官尹烨表示，人工智能能够帮助研究者分析复杂数据、提出实验方案。面向“十五五”，华大集团提出生物超级智能自主未来实验室构想，正积极探索将生命科学模型与高通量实验平台结合，服务药物筛选、细胞功能研究和生物制造，通过一次次可验证的进步，把新的技术可能转化为可复用的产业能力。



工人在河北省衡水市冀州区一医疗器械有限公司车间内工作。 新华社记者 吴青昊摄