

奋斗百年路
启航新征程

建党100周年

大亚湾畔,蹚出核电自主运营之路

■本报记者 朱学蕊 赵紫原



从深圳福田区出发,驱车穿越城市,沿大鹏湾一路向东,一小时后便可抵达大鹏新区海滨的大亚湾核电基地。基地背靠排牙山、远眺七娘山,大亚湾核电站与岭澳核电站一期、二期,矗立在青山碧海的怀抱之中。

作为我国大陆第一座大型商用核电站,大亚湾核电站主体工程于1987年开工,1994年投入商运。截至2020年底,电站累计上网电量达8005.06亿度,其中输送香港的电量累计达2738.98亿度,每年供电超过100亿度,香港每四个家庭中就有一个被大亚湾核电站“点亮”。

大亚湾核电站是诞生于改革开放大潮中的大型能源工程,引进法国核电建设,采用“中外合资经营”和“借贷建设、售电还钱”模式,杀出了一条解决我国核电站起步建设资金和外汇问题的“血路”,为我国高起点发展核电事业奠定了坚实基础。多年以后,这座镌刻改革开放烙印的电站早已成为外界公认的“核电发展摇篮”,以它为起点诞生的大亚湾核电基地,更是蹚出了一条“高起点起步,引进、消化、吸收、再创新”的核电自主化发展之路。

低头靠勇气,扔掉“拐棍”自主运营

改革开放初期,广东省要在引进外资方面实现突破,同时粤港电力需求正在急速增长,且当时国内没有大型核电站。基于多重需求考虑,国家决定向法国购买两座核电站设备。1982年12月,国务院批准按照“借贷建设、售电还钱、合资经营”的工程建设模式,建设广东大亚湾核电站,并成立广东核电合营有限公司。

彼时,中国核电建设刚刚起步,生产运行人才几乎是零。为尽快培养队伍,大亚湾核电站于1989年—1990年先后派出三批学员出国接受培训,平均每人的培训费按当时汇率计算,约合人民币195万元,几乎与一个成人体重的黄金价值相当,他们由此被称为“黄金人”。

“黄金人”学成回国后,并未直接“挑大梁”。当时合营合同规定,电站投产五年内,生产部经理均由港方在国际上招聘具有核电站厂长经验的人员担任,中方配副职,另外在运行值等核心岗位均配备外籍专家,通过实践带动、指导中方人员,逐步培养成熟队伍。

中国广核电力股份有限公司副总裁、中广核核电运营有限公司(以下简称“中广核运营公司”)党委书记、董事长秦余新至今记得24年前刚到亚湾核电站时的情景。当时,他所在的维修部技术团队中虽有多名中外方人员,但他第一次在工作中体会到了孤独。“本以为学到的东西已经足够了,可到了现场,才发现书本上的知识根本不够用。没工具没办法,查资料都没地方查。”

作为第三批“黄金人”,大亚湾核电运营管理有限责任公司(以下简称“大亚湾核电公司”)副总经理陈军琦感慨:“当时电站99%的设备都从法国引进,缺技术缺设备,人不够经验也不足,很多人感到力不从心,但想到国家花巨资培养,便暗下决心,要想办法学习,早日摆脱依赖。”

语言不通,就盯着记;外国师傅走到哪,中国徒弟就跟到哪;放下胆怯找回自信,从摆脱支持到独立实施……随着时间推移,包括运行、设计和技术在内的许多工作,渐渐都换成了由中方员工主导。

1997年7月1日,大亚湾核电站运营权正式由法方移交给中方,提前两年实现自主运营,成为我国核电

首个实现自主化的领域。

抬头靠实力,关键领域大胆创新

法方“交钥匙”后的几年内,大亚湾核电站两台机组的商运水平达到了一定高度,这个过程中,中广核人彻底放下了依赖。“从心理和技术上,经过引进、消化和吸收,我们做到了知其所以然,有更多勇气和信心去运营好电站,甚至在一些关键领域大胆搞创新。”

在大亚湾核电基地的一处技能培训中心,1:1建造的模拟核燃料换料水池泛起波光,池底的反应堆清晰可见。中广核运营公司核燃料修复师乔素凯和他的团队,正是在这方蓝色水池中,实施了关键创新。

1992年7月,不到20岁的乔素凯从山西临汾的技校毕业,来到大亚湾核电站维修处工作。次年7月,电站首炉核燃料进场,他成为首批核燃料操作师。

2005年之前,大亚湾核电站堆芯换料和检修工作基本由外方支持操作,但他们只讲“皮毛”,而且材料和设备要价很高,这让乔素凯“自己干”的念头日渐强烈。之后几年,他所在的团队攻克技术障碍,一举实现燃料操作与贮存系统自主维修,还把核燃料替换棒变成了“中国制造”。

手执一截手指般粗细的核燃料替换棒,乔素凯来了兴致:“核燃料棒从堆芯取出后,为了避免燃料组件结构发生变化,需要在原位装置进一根等高的不锈钢棒。当时,外商报价20000元一根,我一听就火了。”

“不能让小小的棒子‘卡脖子’!”乔素凯随即联系国内厂商制造,但当时所需替换棒较少,要求却极高,很多企业不愿接单。他又找到东北一家钢厂,百般说服,对方才答应一试,经失败数次才炼出了合格材料。最终,中广核成功实现了国产替换棒入堆,每根造价仅有1000元。

卓越不止步,唤醒电站“第二春”

30年前,大亚湾核电站的专家村曾聚集了来自不同国家和地区的1000多名核电专家,是南海之滨的“小联合国”。“从1997年自主运营到2000年以后,电站全部技术生产岗位都是中方员工,外国专家明显减少,目前外国常住户已不足10户。”大亚湾核电公司培训与经验反馈项目经理张锦浙说。

“从商运到自主运营,大亚湾核电站走的是一条引进、消化、吸收之路,尤其在低头学习的阶段,这座电站培育出了追求卓越的内驱力,以及开放、竞争和创新的基因。”秦余新说,“面向未来,始终保持成长、保持对外部环境的高度敏感,是大亚湾核电站和整个基地,乃至中广核核电事业发展的关键。”

对于持续创新,中广核运营公司大修中心主泵专业项目经理唐辉鹏和大修中心仪表计算机部副经理李东深有体会。

面对外方维修团队的高昂要价,唐辉鹏所在主泵团队“十年磨一剑”,掌握了主泵完全自主维修能力,实现大亚湾核电站两台机组主泵水力部件自主化更换。面对技术壁垒,李东和同事搭系统、试工艺,打破国外厂商在核级变送器、堆芯测量及堆外中子测量系统上的垄断。

再过两年,陈军琦就要退休,将离开工作了30多年的大亚湾。他说,从学习到跟跑、领跑,大亚湾核电站这几十年没白干。“我退休前最大的使命和愿望,就是做好大亚湾核电站30年改造,让这座电站迎来‘第二春’。”



暮春时节的刘家峡水电站,正值设备检修高峰,电站人员在147米的大坝坝面搭建脚手架,四五层楼高的巨型龙门吊沿着铁轨从坝顶左侧向中间缓缓挪动……

刘家峡水电站枢纽工程于1958年9月27日破土动工,1969年全面投产发电,彼时曾创造了多项全国纪录:首座百万千瓦级大型水电站、最大的水利电力枢纽工程、最高的混凝土重力坝、最大的地下厂房、首台30万千瓦双水内冷水轮发电机、第一台最大的有载调压变压器,以及首条330千伏超高压输电线路。

发电52年来,刘家峡水电站以发电为主,兼有防洪、防凌、灌溉、供水、养殖、航运等综合效益,为国民经济发展作出了巨大贡献。截至6月底,该电站已累计发电超过2500亿千瓦时,相当于节约燃煤约8800万吨,减少二氧化碳排放高达2.3亿吨。

沙——爆破沙坎,电站重获新生

置身大坝顶端,上游是50千米长的库区,下游是一段长约1千米且细长陡峭的峡谷。翠绿色的黄河水流过紧邻大坝下游、峡谷出口处的刘家峡镇时,与两岸刚刚抽出的绿叶相映成趣。

刘家峡水电站:老电站有新使命

■本报记者 贾科华

黄河行至30公里外的兰州市西固区时,已是浓重的土黄色,为何同处于水土流失严重的黄土高原区,刘家峡的黄河水却是绿色呢?

“黄河之所以黄,是因为汇入了大量泥沙。”电站工作人员说,刘家峡水电站地处黄土高原边缘地区,面临严重的泥沙问题。“事实上,上游来水早已是黄色,只是因为水库建成后,水流变慢,大量泥沙沉淀到水库中,黄河才‘绿’了。”

据了解,目前刘家峡水电站水库一年中八成以上的时间是绿色的,只有在夏季个别降雨多、泥沙大的时段才呈现黄色。泥沙沉淀虽然提高了水库的“颜值”,但却差点要了电站的“命”。

“水电站大坝位于黄河和洮河交汇处,距洮河口仅1千米。洮河的泥沙量大且距离大坝近,大量泥沙堆积至大坝跟前,形成了一道高高的沙坎,使黄河干流河段过流能力下降,机组调峰负荷时,常引起坝前水位骤降,严重威胁机组和坝体安全稳定运行。”刘家峡水电厂厂长李永清说。

“黄河水是宝贵的,发电站应该充分利用好每一滴水。为此,我们提出了开挖排沙洞,并在排沙洞安装发电机组的方案,以此做到浑水排沙、清水发电,实现‘一洞两用’。”李永清回忆,“但这个方案在当时引起了巨大争议。因为需要在水下进行岩塞爆破,风险很大,弄不好整个工程的巨额投资就会打水漂。另外,对于排沙洞安装发电机组的技术可行性、经济性也有争议。但最后,在充分论证并进行大量试验后,方案的实施效果很理想。其中,洮河来沙问题已得到很好解决,在排沙洞安装的两台15万千瓦发电机

组运行良好,电站调峰能力得到大幅提升。”

电——科技创新,发电效率攀升

与大坝顶部、侧面一样,位于大坝底部的发电厂房也处于检修状态,相比长达800米的宽敞大坝,这里的空间明显局促很多。一台直径10米左右的机组定子加上各类设备部件,将整个厂房塞得满满当当。

“这台机组今年要大检修,会更换主要设备部件,将原先的进口设备换成国产更先进的,进一步提升发电效率。”正在4号机组一个下沉式圆坑中忙碌的工作人员告诉记者。

刘家峡水电站是按照“独立自主、自力更生”方针,“自己勘测设计,自己制造设备、自己施工安装、自己调试管理”建成的,为何会出现进口设备,且是核心设备呢?

“当时电站设计的总装机是5台机组122.5万千瓦,但因生产力及科技水平制约,早期自主设计的发电设备存在‘先天’缺陷,实际上只能发电到116万千瓦,而且5台机组经常出问题。后来经过努力,积累了经验,运行状况改善了,但问题没有根治。”李永清说,“设备是我们的宝贝,来水时能发电、电网提要求时能把负荷顶上去,这样电厂才有效益,也不用频繁维修。但直到上世纪80年代,我们的技术还有欠缺,所

以就引进了国外机组。”

改造后的刘家峡水电站装机容量在116万千瓦基础上增加了19万千瓦,相当于又建了一座中型水电站。“如今我们的国产设备已经处于世界领先水平,所以现在我们正在对机组设备进行新一轮升级,重新换回国产设备,预计到2023年,电站的发电效率会再上新台阶。”

水——兴利避害,造福黄河两岸

在水电站下游两公里处的刘家峡镇,黄河水面宽阔了许多,其间一个高出水面1米多的小岛,将河面分割开来。电站工作人员说:“夏季泄洪时,小岛会全部被淹没,目前电站正在严格按照黄河水利委员会要求,加大出库流量,为夏季汛期拦蓄洪水腾出更多空间。”

新中国成立后,党和政府把治理黄河作为安邦定国的重要举措。1955年7月,第一届全国人民代表大会第二次会议作出了“关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合利用规划”的决议,刘家峡水电站就是据此兴建的首批工程之一。

“水利水电枢纽工程不仅要发电,在防洪、防凌方面,刘家峡水电站拥有57亿立方米的巨大库容,作用巨大、责无旁贷。”刘家峡水电厂党委书记付廷勤介绍,上世纪八十年代至今的几次汛期期间,刘家峡水电站成功调节流域多次洪峰,为中下游地区安全度汛发挥了重要作用。

“周虽旧邦,其命唯新。刘家峡水电站虽然是个老水电站,但始终在积极推动技术、设备、理念革新,适应时代发展。”付廷勤说。

建成我国首台百万千瓦超超临界燃煤发电机组,率先在百万千瓦级机组上采用等离子点火技术、在国内百万千瓦机组中首先建成烟气脱硫系统及首次取消烟气脱硫旁路挡板运行、投运首套百万千瓦级国产DCS(分散控制系统)……在中国电力工业发展历程中,华能玉环电厂(以下简称“玉环电厂”)自“诞生”至今屡创纪录,并且在投运15年后的今天,仍保持着建厂之初那份创业的豪情,持续书写新的历史。

滩涂上建起首个“百万千瓦”机组

浙江台州,乐清湾东岸,玉环半岛西侧,玉环电厂四台百万千瓦超超临界燃煤发电机组背山面海,源源不断将电力送至千家万户。然而,在建设之初,这里缺水、缺电、道路难行,山海之间,所见不过一片荒废滩涂。

作为我国“863计划”引进百万千瓦超超临界发电技术并逐渐实现设备国产化的依托工程,玉环电厂于2004年6月24日开工建设。彼时,来自华能集团和电力行业的18名“精兵强将”齐聚玉环,誓要在荒滩上树立“国内首台百万千瓦级超超临界燃煤发电机组”的里程碑,并接连破解桩基挤压偏移、沉降速度不均等工程难题,在地质条件复杂、软如豆腐的滩涂上,为机组建设筑牢地基。

要想满足超超临界机组主蒸汽温度600摄氏度、压力27兆帕的严苛工况,需使用P92、P122、SUPER304H、HR3C等新型



玉环电厂:创业不息,功到必成

■本报记者 卢彬

耐热钢材。但彼时的中国,关键电力设备和技术仍受制于人,国外企业不愿提供这些材料的焊接工艺。

任务虽艰巨,却吸引了不少挑战者。众多电力精英看到玉环项目招聘信息后,有的离开了省会城市、有的放弃了管理岗位,应聘成为玉环电厂的专工。十余名金属材料研究专家,经历无数次试验后,最终研制出整套的新型钢材焊接工艺。

玉环电厂工程部主任邵天佑介绍,这套诞生于玉环的“智慧成果”,在我国此后百余台百万千瓦机组的建设中仍发挥着重要作用。

2006年11月28日,玉环电厂1号机组顺利通过168试运行,我国首台百万千瓦超超临界燃煤发电机组正式投产,时任玉环电厂筹建处主任的范夏夏攥紧双拳,高声呼喊着“我们赢了”,热烈的掌声与激动的泪水,瞬间充盈了整个集控室。

国产“神经中枢”重燃创业激情

百万千瓦技术的突破,让我国煤电行业迎来了快速发展,工程建设、机组能效、污染控制等各领域均已处于世界一流水

平,然而仍有“心病”未消:我国煤电领域还没有一套完全自主的DCS。

作为电厂的“神经中枢”,DCS控制着设备的各项关键动作,却长期被国外企业垄断。关键时刻,玉环电厂选择迎难而上。

承担具有自主知识产权、全国产DCS系统在百万机组的示范应用,难度不小。正常改造安装DCS,工程时间需要半年左右,玉环电厂于2020年9月23日接到改造任务,要求2021年1月底完成。“利用1号机组1055兆瓦增容提效改造机会,同步进行百万千瓦机组国内首套100%全国产DCS改造,难度大,但我们决心更大。”面对压力,玉环电厂厂长陈锋把截止日期又提前了两个月,并做足准备攻关。

为了使DCS系统实现真正意义上的自主可控,多家工业控制领域相关央企参与其中,从核心芯片到基础电子元器件,从操作系统、数据库到应用软件,全部使用国产自主技术,每一块芯片都是中国“芯”,每一款软件都有中国“魂”。

“运行大休班的同事下班后,继续帮仪控部门对逻辑、查设备;施工队伍从早7点干到晚7点,蹲在地上接线,一蹲蹲一天。”玉环电厂设备管理部高级主管韦玉

华说,“300多万行代码,3万多根接线,超过1.2万个测点,每个参与者都全身心投入其中,好像又回到了创业时那种忘我的状态。”

10天,完成组态;15天,完成机柜制作;3天,完成73个机柜的系统内部接线;15天,完成现场所有调试工作……在玉环电厂参建单位协同努力下,项目各节点全部提前完成。2020年11月25日,玉环电厂1号机100%全国产百万千瓦级DCS改造完成,机组并网一次成功,改造后已连续安全稳定运行超过200天。

不断挖潜,探索协同发展之道

玉环电厂承担着浙江省10%左右的电力供应,但随着可再生能源发电成本快速下降,“风光”发力,煤电企业正面临转型挑战。

玉环半岛沿岸,一根绿色的管道穿越山体,跨过海湾,飞掠高架桥下……玉环电厂超布局建设覆盖全市的供热管网,总长超过50公里的工业供热管道已于2020年底全线贯通,为工业园区和企业提供工业蒸汽,设计年供热量可达到56万