

燃料棒里的“强国梦”：中国核燃料产业全面突围

中国工业报记者 余娜

中核建中核燃料元件有限公司(以下简称“中核建中”)四川宜宾的燃料棒生产线上,机械手正灵巧地抓起一根根合金包壳管,将二氧化铀芯块精准填入,再如穿针引线般穿过格架骨架。伴随清脆的卡扣声,一组成熟的核燃料组件雏形初现。

这看似平静的制造场景背后,是一场历时十六年、从图纸到堆内验证的艰难攻关。2010年以前,除秦山一期外,我国尚无自主核燃料品牌;“华龙一号”走向国门时,曾因燃料组件受制于人。如今,CF3系列燃料组件技术指标全面达到国际先进,N36合金打破国外垄断。从西南腹地到关中原,中国工业报记者走进研发、制造与材料一线,试图还原这条“中国芯”的突围之路。

“经过几代人接续攻坚,我国成功构建起核燃料全链条自主研发与产业体系,CF系列燃料组件实现规模化应用,N36合金

核燃料组件的16年研发攻关

研发之路并非一蹴而就,CF系列燃料组件的发展经历了清晰的代际演进。

十六年,足以让一座核电站完成从奠基到商运的全周期,但对核燃料组件的研发而言,却是一场从图纸到堆内验证的漫长跋涉。

“核燃料组件是反应堆的能量之源,也是核电产业链上最核心的‘卡脖子’环节。”焦拥军表示,核燃料组件研发涉及结构设计、原材料、制备、堆外试验、堆内辐照试验及辐照后检查等完整研发体系,技术要求高、研发难度大、周期长,是真正的战略技术高地。

这一背景下,中核集团于2010年启动了CF系列核燃料组件自主研发重大科技专项,由中国核动力研究院设计牵头,整合全产业链力量。

研发之路并非一蹴而就,CF系列燃料组件的发展经历了清晰的代际演进。中国工业报记者获悉,CF2是首款自主品牌燃料组件。2013年,CF2先导组件入堆,迈出了自主燃料从实验室到反应堆的第一步。

真正让行业振奋的是CF3的突破。CF3先导组件于2014年入堆,2019年完成辐照试验。CF3拥有完全自主知识产权,技术指标全面达到国际先进水平,部分指标甚至实现国际领先。

焦拥军表示,CF系列燃料关键技术取



中核建中核燃料组件库。(企业供图)

金打破国外垄断,为华龙一号“走出去”和国内核电安全发展提供了坚实保障。”中

核集团首席科学家,CF燃料总设计师焦拥军接受中国工业报记者采访时表示。

得突破,主要表现在六个方面:

第一,在大型先进压水堆燃料组件研发供应体系上,创建了先进完整的核燃料设计-材料-制造-试验-检验-检查研发体系,打造了立足国内的原材料和零部件保障供应体系。

第二,在国际先进高性能燃料组件分析技术上,打破国外专利壁垒,实现燃料组件结构自主创新设计,开发了工程化与精细化结合的核燃料设计软件及分析技术。

第三,完成了国内首个先进高性能合金研发。由中国核动力研究院牵头研制了国内首个完全自主知识产权的N36合金,实现了规模化应用;牵引了国内先进高性能合金研发,建立自主产业链,解决了原材料供应依赖进口的问题;打破了国外技术垄断,实现了核心材料自主可控。

第四,国内首次构建完整的大型燃料组件堆外试验验证技术,突破了25项关键试验技术,涉及过滤试验、落棒试验、耐久性试验等。

第五,开创了国内核燃料组件商用堆辐照试验先河,系统完成燃料组件入商用堆辐照安全评审,实现了在商用压水堆上进行燃料组件辐照试验。

第六,在国内首次建立燃料组件辐照后检查技术。具体看,完成了国内首次在商用电站现场较全面地开展燃料组件的池边检查工作,建立了系统全面的辐照后热室检查技术体系。

“CF系列燃料关键技术指标全面突破,性能达到国际先进水平。其中,6项指标国际领先,3项指标国际先进。这意味着中国核能行业协会科技进步一等奖,3项中国专利优秀奖等。质量管理成果上,获得我国首个国际质量促进可持续发展奖,2项国际质量管理小组金奖。”

“从设计到材料,从试验到辐照,从检查到应用,我们建立了完整的研发体系,这是CF系列能够实现突破的根本保障。”焦拥军坦言,“CF燃料组件打破了国外技术垄断,解决核燃料‘卡脖子’问题,实现了我国核燃料发展史上‘里程碑’式跨越,对我国‘华龙一号’核电技术出口及能源供应安全具有重要战略意义。”

“核电粮仓”的全堆芯供货

中核建中已成为亚洲最大的压水堆核燃料元件制造基地,累计为50余台核电机组提供核燃料组件,总产量突破30000组,被誉为“核电粮仓”。

走进中核建中核燃料元件有限公司的生产厂房,一派火热而有序的景象扑面而来。

在燃料棒生产线上,一根根合金包壳管内部精准装入二氧化铀芯块,转眼间变成沉甸甸的燃料棒。不远处,工人正将格架、导向管和管座焊接成坚实笔直的组件骨架。最紧张的是“拉棒”工序——机械手灵巧地抓起燃料棒,一根根穿过骨架的格架,像穿针引线般精准到位,伴随清脆的卡扣声,组件雏形初现。

组装好的核燃料组件随即被推上检查仪,精密传感器实现组件尺寸的精准测量,任何瑕疵都逃不过它的“火眼金睛”。最终,合格成品被稳稳送入立体组件库,电子屏幕上实时闪烁入库位置、编

号、发往地等信息,实现全流程可视化管控。一组成熟的核燃料组件,即将从这里启程,奔赴国内外各大核电站。

1965年建厂,扎根四川宜宾61年,中核建中见证了中国核燃料产业的整个发展历程。中核建中副总经理那保国向中国工业报记者介绍,中核建中已成为亚洲最大的压水堆核燃料元件制造基地,累计为50余台核电机组提供核燃料组件,总产量突破30000组,被誉为“核电粮仓”。

中核建中具备全堆芯供货能力——不仅包括核燃料组件,还涵盖控制棒组件、一次中子源组件、二次中子源组件、阻流塞组件等全套产品,并向关键零部件产业链延伸

布局。

“不同堆型的核燃料组件,质量标准和技术侧重点各不相同。”那保国说,“我们建立了完善的质量体系,通过分级管理来确保质量管控精准适配。”

“十四五”期间,我国每年平均核准9台核电机组,核电进入批量化建设新阶段。党的二十届四中全会明确提出“积极安全有序发展核电”,核燃料需求进入高位稳定发展阶段。

面对核电发展的广阔前景,中核建中加速构建“一厂三区”协同高质量发展格局。公司正全面推进数字化转型,以核燃料元件制造为中心,集成ERP、MES、LIMS等系统,确保供应、生产、质量、工艺、设备、能源、安全环保的全方位受控。

铝合金包壳材料的自主创新之路

核安全是绝对安全,我国的自主品牌铝合金制造质量标准超出国际水平。

核燃料组件是由多个燃料棒按特定排列组装而成的堆内热结构单元,而每根燃料棒的核心则是由铝合金制成的包壳管,二者如“骨架”与“皮肤”的关系。包壳管密封着二氧化铀芯块,其性能直接决定了燃料组件的安全性、可靠性和使用寿命,构成了防止放射性物质外泄的第一道安全屏障。

当前,主流三代压水堆广泛采用Zr-Nb、Zr-Sn-Nb系第三代铝合金,如法国M5、中国N36。“2018年,我们成功产出国内首批自主知识产权N36铝合金产品。从技术突破到产业化,我们仅用了13个月。”西安西部新铝科技股份有限公司(以下简称“西部新铝”)总经理、党委副书记周军向中国工业报记者表示。

西部新铝,2013年在西安经济技术开发区泾渭新城正式成立,

由中国原子能工业有限公司(第一大股东)、西北有色金属研究院等机构共同发起,创新性地引入了科技人员骨干持股。

这13个月的背后,是长达数十年的技术积累。西部新铝副总经理李宇力介绍,N36属于铝-锡-铁合金体系,通过优化锡、铁元素配比,显著提升了材料的耐腐蚀性能和耐辐照性能。而实现这一目标的关键,在于攻克了一系列生产工艺难题。

在熔炼环节,N36合金中不同元素的熔点差异较大,容易导致成分分布不均。西部新铝采用预制合金、熔速控制、三次真空自耗熔炼等工艺技术,成功解决了工业化铸锭熔点大差异合金元素的均匀化难题,达到国际先进水平。

在挤压环节,公司采用45MN卧式双向正向挤压机,实现了低温

大变形高精度挤压,管坯直径可精确控制在76mm。“每一根管材都有激光打标的条形码,全流程可追溯至原材料批次及操作人员,这在核级材料生产中至关重要。”李宇力说。

另据周军透露,核级铝材加工工艺技术不仅用于制备核燃料包壳管,未来还将拓展至航空航天、医用植入件等领域。相关材料已应用于航空高端钛合金型材,质量控制标准与航空领域严格一致。

“核安全是绝对安全,我国的自主品牌铝合金制造质量标准超出国际水平。掌握铝合金自主制造技术,是连接燃料组件设计要求和堆内运行数据反馈的关键桥梁。它能将堆内应用反馈转化为实证经验,进而持续反馈和优化设计。这正是自主化的核心价值所在。”周军强调。

企业风采

国华投资江苏分公司：引领清洁能源高质量发展

黄海之滨,风劲潮涌。一排排白色风机矗立在滩涂与蓝海边,巨大的叶片随风转动,将源源不断的风能转化为清洁能源,点亮长三角的万家灯火。作为国家能源集团国华投资在华东区域的核心清洁能源平台,20年来,国华投资江苏分公司从国内首个中外合资海上风电项目落地,到全国最大“光氢储一体化”项目投产,再到30万千瓦海上风电项目最新核准,始终以技术创新为笔、以绿色发展为墨,在长三角能源转型的答卷上书写着央企担当。

厚积薄发：构建多能互补清洁能源矩阵

“自成立以来,我们始终紧跟国家‘双碳’战略与能源安全新战略步伐,聚焦‘规模化开发+高质量发展’双轮驱动,逐步构建起以风电、光伏为核心,绿色氢能、综合智慧能源、储能协同发展的多元业务格局。”国华投资江苏分公司副总经理刘士名介绍。

截至目前,国华投资江苏分公司新能源总装机达232万千瓦,其中风电占比超七成,累计向社会供应绿电超327亿千瓦时,相当于减排二氧化碳约2429万吨,为长三角区域能源绿色转型提供了坚实支撑。

“十四五”期间,该公司装机规模实现翻番,新增装机突破116万千瓦,资产总额从122亿元增长至161亿元,全员劳动生产率提升超563万元/人,“一利五率”指标持续保持系统前列。

从东台海上风电场到如东“光氢储”一体化基地,从如皋商业化加氢站到国内首个陆上特高压“以大代小”项目——东台200兆瓦风电创新升级改造工程全容量并网发电。项目将原有的134台1.5兆瓦老旧机组拆除,原址优选37个点位安装单机容量5兆瓦以上的新型风机,实现“规模不改变、旧基不拆除、占地不突破”,发电量较改造前提升40%以上,为我国存量风电场提质增效探索出了可行路径。

创新攻坚：海上风电树立行业标杆

在盐城东台条子泥和竹根沙海域,国内首个中法合资海上风电项目——国华东台四期、五期项目正平稳运行,其累计发电量已超74亿千瓦时。该项目不仅先后斩获“国家优质工程金奖”“中国安装工程优质奖(中国安装之星)”两项国家级工程荣誉,更成为了中欧绿色

低碳合作的典型范例。

“海上风电建设没有现成经验可以照搬,每一步都是摸着石头过河。”国华投资江苏分公司海上风电专班负责人裴泽伟回忆,项目建设过程中曾面临水流急、台风多、离岸远、海缆敷设难度大等多重挑战。

他们团队通过技术创新实现了“1个全球首创+5个国内首例”的技术突破,首创国内220千伏海缆交叉方案,创新开展施工船舶改造,建立起覆盖工程造价、安全质量、技术标准的全流程管理体系,8项科技创新成果、7个创新工法、18项专利在项目中得到应用,多项指标达到行业领先水平,为我国海上风电规模化开发提供了可复制、可推广的“江苏方案”。

今年3月,东台H3-2#30.8万千瓦海上风电项目成功取得江苏省发改委核准批复,标志着公司向深远海开发又迈出了关键一步。项目团队坚持“精准对标、合规先行”原则,联动十余个省市主管部门开展多轮论证,妥善化解项目选址与生态保护、区域规划的衔接难题,实现了政策导向、企业发展与地方诉求的有机统一。该项目建成后,年发电量预计超10亿千瓦时,可满足约50万户家庭年用电需求,进一步夯实江苏沿海清洁能源基地的供给能力。

向“新”而行：存量升级与产业融合新范式

在东台东台港镇,曾经的亚洲单体最大陆上风电场正焕发新生。2023年11月,国内首个陆上特高压“以大代小”项目——东台200兆瓦风电创新升级改造工程全容量并网发电。项目将原有的134台1.5兆瓦老旧机组拆除,原址优选37个点位安装单机容量5兆瓦以上的新型风机,实现“规模不改变、旧基不拆除、占地不突破”,发电量较改造前提升40%以上,为我国存量风电场提质增效探索出了可行路径。

国华投资江苏分公司总经理王林介绍,在改造过程中,他们项目团队攻克了“生产-基建共存安全管理”“老旧基础结构增强”等难题,首创“不拆除老旧基础,通过灌注桩、预应力锚杆、植筋技术连接新建八边形梁板式基础”的结构方案,比计划提前33天完成全部

风机吊装,相关施工标准已成为行业内“以大代小”项目的参考范本。项目的成功实施投运,不仅大幅提升了风能利用效率,更避免了土地资源的二次占用,实现了生态效益与经济效益的双赢。

在如东,全国规模最大的“光氢储一体化”项目光伏场区已实现稳定运营,项目集成光伏发电、撬装式碱性电解槽制氢(AWE)、高压氢气储存、氢燃料加注等多个环节,后续将构建起“绿电制氢-储氢-氢气加注”的完整闭环,为新能源消纳提供了全新解决方案。在如皋,国内首个符合国际标准的双模商业氢化加注站已为近百辆氢燃料电池车辆提供加注服务,有效支撑长三角氢能交通网络建设。

锚定未来：打造海上新能源产业生态

面向“十五五”,国华投资江苏分公司将目光投向更广阔的深远海与产业融合新赛道。

该公司党委书记、董事长苏志国表示:“我们将以‘氢能引领、向海图强’为核心战略,积极筹划深远海风电和氢基绿色燃料开发,打通‘风、光、氢、氨、醇’零碳循环,探索海上新能源非电利用的新范式,将资源优势转化为产业优势。”

一方面,依托国家级重点研发计划项目,开展海上光伏实证测试、海上新能源直连氢制甲醇等技术攻关,推动漂浮式风电基础、海上能源岛等前沿技术落地,抢占深远海开发的技术制高点。另一方面,深度融合地方产业生态,重点探索“源网荷储一体化”“绿电直连园区”等新业态,通过“风光氢氨醇一体化”综合能源示范项目,为沿海高端制造、绿色化工等产业提供零碳能源与绿色原料,实现能源项目与地方经济的共生发展。

从黄海之滨的风机矩阵到长三角的绿氢链条,从存量项目的创新升级到深远海的战略布局,国华投资江苏分公司正以“排头兵”的姿态,在能源革命的浪潮中逐风而行,为构建新型能源体系、服务长三角高质量发展注入源源不断的绿色动能。

(柏成 韩之钧)

从工体绝杀看仰韶彩陶坊的品牌进化逻辑

5月23日晚,北京工人体育场,中超联赛第14轮。河南俱乐部彩陶坊客场2-1逆转北京国安,32年队史,首次攻克工体。

球场上,这是一场载入企业史册的胜利。球场外,冠名商仰韶彩陶坊的品牌名字,随着这场比赛的传播,进入全国数千万消费者的视野。

这不是一次偶然的热点捕获。这是一场精心布局的品牌战役中,最为酣畅淋漓的一次价值兑现。

品牌定位的锚点：为什么是“河南”？

在白酒行业,品牌定位历来有两种路径:一种是“高端化”路径,强调品质等级与身份象征;另一种是“地域化”路径,以区域名酒为主,强调本土文化与情感认同。

仰韶彩陶坊选择了一条更为艰难但也更有长期价值的路,以“河南”为核心锚点,构建品牌文化坐标系。

这一定位的精妙之处在于:其一,河南是中国白酒的消费重镇。全省白酒市场规模约600亿元,但本土品牌占有率长期偏低。这是品牌成长的大空间。

其二,河南是中国文化的精神原乡。仰韶文化作为中华文明的重要源头,为品牌赋予了七千年的文化厚度。

其三,河南人的地域认同感极强。一句“河南中”背后,是深厚的地域情感连接。谁能成为“河南的代表”,谁就能在河南消费者的心中占据不可替代的位置。

正是这一定位的战略落子,将品牌与“河南”二字深度绑定,让每一次球队的出场、每一次转播解说、每一场比赛报道,都成为品牌的地域符号强化。

体育营销的升维：从“赞助”到“共振”

如果说品牌定位是“锚”,那么体育营销就是“帆”。让品牌从静态的文化符号,变为动态的公共话题。

仰韶彩陶坊在这件事上的打法,值得从三个维度来审视:维度一,命名的品牌杠杆效应。

“河南俱乐部彩陶坊”这个命名策略本身,就是品牌营销的顶层设计。

据行业测算,一个中超冠军球队在整个赛季中,通过赛事直播、新闻报道、社交媒体传播等渠道,累计品牌曝光可达数十亿次量级。如果折算为等值的广告投放费用,其投入产出比远超传统媒介策略。

但更重要的是,每一次曝光都是以“河南”为前缀的。品牌、球队、地域三者合而为一,形成了一个不可分割的认知链条。

维度二,内容化运营的系统工程。体育赞助最大的陷阱是“签合同就结束”。仰韶彩陶坊的做法恰恰相反——冠名只是开始,内容才是核心。

从赛前海报到赛后复盘,从球迷故事到品牌叙事,围绕每轮比赛的内容产出,形成了一个持续运转的“品牌内容引擎”。这场比赛之所以能迅速成为公众话题,正是因为有了这个引擎的前期积累。

维度三,品牌文化的叙事闭环。仰韶彩陶坊的品牌核心资产是“七千年仰韶文化”。如何让一个古老的文化符号与当代消费者产生共鸣?

答案是找一个能与之共振的当代叙事载体。

当品牌能够将这种精神同构转化为消费者可感知的品牌体验时,品牌价值就完成了从“知道”到“认同”的跃迁。

传播节奏的把控：从“即时热点”到“长期主义”

值得关注的是,仰韶彩陶坊在传播节奏上体现出清晰的战略思维。

比赛前:低调蓄力。不做过度预热,不对比赛结果做预判式营销。这既是对球队的尊重,也避免了“万一输了”的品牌负关联。

比赛中:品牌在场。通过球队命名、球衣标识、场边广告牌等触点,品牌自然存在于比赛画面中,不需要刻意发声。

比赛后:内容爆发。胜利之后,品牌迅速调动内容团队,从多个维度解读这场胜利的深层意义,将“球队话题”转化为“品牌话题”。

这种“赛前不抢戏、赛中不打扰、赛后不缺席”的节奏感,体现了一个成熟品牌的传播定力。

品牌进阶的路径：从“区域名酒”到“文化名牌”

纵观中国白酒行业的品牌升级路径,大致可以分为三个阶段:

阶段	特征	代表品牌
1.0 产品驱动	以品质和渠道为核心竞争力	多数区域酒企
2.0 品牌驱动	以广告和营销为核心竞争力	全国性名酒
3.0 文化驱动	以文化和价值认同为核心竞争力	头部酒企

仰韶彩陶坊的野心,显然不止于停留在“2.0品牌驱动”阶段。

通过“仰韶文化”这一不可复制的文化资产,结合“河南足球”这一持续产生公共话题的当代载体,品牌正在构建一个“以文化为根基、以体育为窗口、以地域为纽带”的三维品牌体系。

结语：品牌建设是一场马拉松

回到那场2-1的绝杀。在足球世界里,87分钟的绝杀是“瞬间的爆发”;但在品牌世界里,这场绝杀背后是30余年的球队坚守,是数年的品牌冠军深耕,是无数个“看不见的日常”的累积。

所以,如果要为仰韶彩陶坊的体育营销下一个注脚,或许应该是:品牌不是被创造出来的,而是被时间证明的。

就如同仰韶彩陶坊的陶香,七千年传承,不是凭空而来;就如同河南足球的工体首胜,32年等待,不是一日之功。

当一个品牌理解了“长期主义”的真正含义,它就找到了穿越周期的力量。

而那些在87分钟绝杀之夜举杯畅饮的河南人,他们喝下的不只是酒,也是一种被看见、被认同、被代表的地域自豪感。而这,正是品牌能够给予消费者最珍贵的东西。

(杨轩)