

■ “打造未来产业新版图”系列报道

强基固链铸“芯” 赋能未来能源

——川陕一线探访核燃料产业 解析自主突围与生态构建密码

4月中旬,从四川宜宾的中核建中核燃料元件有限公司核燃料元件生产线,到陕西西安西部新铸的锆合金管材车间,中国证券报记者沿着中国核燃料自主创新的全链条实地走访。洁净厂房内,机械臂精准穿引、芯块入管,与科研人员攻克产业难题、打通核燃料产业链堵点的奋斗故事交织,从受制于人到自主可控、从单点突破到全链崛起,中国核燃料突围图景在西南腹地与关中平原徐徐展开。

● 本报记者 刘杨

聚力攻坚核燃料

如果把核电站比作一座能源工厂,核燃料组件就是工厂里不停做功的“心脏”,藏在反应堆深处,是能量的源泉,更是安全的第一道屏障。核燃料,被业界形象地称为核电站的“粮食”,其自主可控与否,直接关系核电安全、能源安全。很长一段时间里,这颗关键的“芯”、这碗重要的“粮食”,曾是我国核电走向世界的一道隐忧——不仅核燃料组件缺乏自主知识产权,核心材料锆合金包壳更长期依赖进口,宛如被“扼住了咽喉”。

四川宜宾,中核建中的核燃料组件生产车间恒温恒湿、一尘不染。明亮的灯光下,数台高精度机械臂正以毫米级精度完成燃料棒组装:灵巧的机械爪稳稳抓起一根长约4米、直径不足1厘米的N36锆合金包壳管,精准定位、平稳送入工位;随后,另一组机械手将磨削完成后的二氧化铀芯块,一枚枚匀速填入管内,如同穿针引线般精准无误;最后,机械手将组装好的燃料棒穿过框架骨架,清脆的卡扣声响起,一组CF3核燃料组件就此制造完成。

“制造核燃料组件就像‘包饺子’,二氧化铀陶瓷芯块是‘馅儿’,N36锆合金管是‘皮儿’,我们把一个个核燃料‘馅料’精心包裹起来,每一步都要精准细致,确保安全可控。”中核建中副总经理那保国形象地对记者说,“每一根燃料棒,每一组组件,都要经过上百道工序。全程可追溯,容不得半分偏差。这里的机械手,定位精度控制在0.01毫米以内,芯块装填、端盖焊接、无损检测全流程自动化,把人为误差降到最低,守住核安全的第一道关口。”

记者来到我国自主三代核电燃料CF系列的规模化生产现场,CF,即China Fuel(中国燃料),是我国自主研发、拥有完全自主知识产权的三代核电燃料。2010年前,我国除秦山一期外,尚无自主核电燃料品牌,一个现实难题曾摆在“华龙一号”出海的路上:要出口,却没有具备自主知识产权的核燃料组件。

如今,CF3燃料组件已拥有完全自主知识产权,6项核心指标国际领先、3项达国际先进,已成为华龙一号的“心脏”。“核燃料组件是反应堆的能量之源,也是核电产业链最核心的环节,研发要闯过设计、材料、制造、试验、辐照考验全流程难关,周期长、风险高,是真正的战略高地。”中核集团首席科学家、CF燃料总设计师焦拥军在车间现场对记者说,“从2010年启动CF系列专项,到CF2先导组件入堆、CF3实现批量化制造,我们用10年走完了从图纸到堆内验证的全过程,把核电‘粮食’牢牢攥在了自己手里。”

N36锆合金突围破垄断

从宜宾向东向北,跨越千里,记者抵达西安西部新铸的生产基地——这里是CF燃料“铠甲”N36锆合金的诞生地。车间里,银亮的锆合金铸锭经过均匀化熔炼、高温挤压、多道次精密轧制,最终变成壁厚偏差控制在“发丝级”的精密管材,为燃料棒提供耐高温、抗腐蚀、低中子吸

收的安全屏障。

突围的第一步,便是攻克这层“铠甲”。“锆合金是核燃料的‘铠甲’,过去长期被国外垄断,我们连配方、工艺都摸不透。”西部新铸总经理周军告诉记者,“N36研发最难的,是把熔点相差超1500℃的锆、铌、锡等元素熔得均匀,就像在烈火中揉面,上千次试验才找到最优配比;从实验室到产业化,我们攻克了挤压、轧制、酸洗等一系列关键工艺,2018年首批管材交付,用时仅为国际同行的三分之一,跑出了‘新铸速度’。”

核燃料自主,从来不是一家单位的孤军奋战。中国核动力研究院设计研发、西部新铸攻坚材料、中核建中负责制造、核电企业参与堆内验证,中核集团统筹全产业链协同,从成都到宜宾、从西安到全国,科研团队连夜碰头、跨区域攻关。“没有产业链的紧密协同,就没有N36的今天。”周军格外感慨,“中国原子能、西北有色院以股份制改革激活西部新铸,技术骨干持股激发创新活力;建立包容试错的科研环境,给科研人员放手攻关的空间;全链条执行最严格的核质保体系,每一根管材都全程可追溯、可监督。”如今,我国核燃料吨吨级产能稳步提升,完全有能力保障国内核电建设与海外项目出口需求,一条自主可控、安全高效的核燃料全产业链已经成型。

技术外溢育新局

站在“十五五”开局的新起点,中国核燃料产业正从“自主可控”迈向“领跑争先”。在研发实验室,CF先进燃料组件迭代升级同步推进,对接“华龙一号”2.0等新一代堆型,始终保持着技术与堆型同频共振;在产线一线,智能化、数字化持续升级,为更大规模应用筑牢根基。

更令人振奋的是,核燃料技术的突破正在向外溢出。记者从西部新铸了解到,N36锆合金的挤压、精密轧制等核级工艺,已成功应用于航空航天钛合金管材、大飞机型材等高端制造领域,以核工业的极致标准,带动特种材料产业整体升级,为现代产业体系自主可控添砖加瓦。

“全球核燃料竞争日趋激烈,高能耗、耐事故、智能化是三大方向,我们已经与国际先进同行站在同一起跑线,部分指标实现领跑。”焦拥军展望未来,“下一步,我们要加快CF系列推广应用,在更大规模运行中验证成熟度、推动迭代升级;同时补齐关键试验设施短板,持续满足绝对安全的超高性能要求,让中国燃料获得全球更多认可。”

挑战同样清晰:一是满足绝对安全的超高性能要求;二是加快产品应用推广,扩大市场规模;三是补齐关键试验设施短板,这些都是“十五五”期间的重点突破方向。

从受制于人到自主可控,从单点突破到全链崛起,中国核燃料交出了一份硬核答卷。一根根燃料棒里,不仅藏着反应堆的能量之源,更承载着中国从核电大国迈向核电强国的坚定梦想。面向未来,这支队伍将继续以创新为笔、以实干为墨,筑牢核电高质量发展的“芯”支撑,守住核电“粮食安全”,书写能源强国建设的新篇章。



西部新铸锆合金管

本报记者 刘杨 摄

中核集团首席科学家焦拥军:

以自主创新锻造核燃料“中国芯”

● 本报记者 刘杨

核燃料产业链是核能自主化关键一环,我国要从核电大国迈向核电强国,核燃料领域是必须突破的核心板块。近日,中国证券报记者专访深耕核燃料领域数十年、牵头多项关键核心技术突破的中核集团首席科学家、CF燃料总设计师焦拥军,探寻我国先进核燃料自主创新的动因、路径与未来。

破解“华龙一号”出口之困

很长一段时间,除秦山一期外,我国无自主核电燃料品牌。当“华龙一号”作为高端制造名片走向海外时,核燃料组件出口瓶颈成为一道必须解答的难题。

“我国核燃料自主创新之路,最鲜明的逻辑就是‘产业出题、科技答题’。核电的出口困境就是一道我们必须解答的题目。”焦拥军直言。中核集团迅速形成共识:自主核燃料的研发与生产,是保障核电供应安全的唯一途径。

焦拥军介绍,核燃料研发生产全链条涵盖基础研究、产品设计、材料研发、堆内外及配套模型与软件开发,多环节联动升级才是技术落地的完整流程。2010年起,在国家有关部委的支持下,中核集团集结优势力量,历经十余年集智攻关,成功研发CF2、CF3等系列燃料。

“我们构建了国内完整的自主燃料产业应用体系,实现核燃料本土化自主供应,彻底解决关键问题。这标志着我国打破国外长达数十年的技术垄断,实现核燃料发展史上里程碑式的跨越。”焦拥军介绍,当前核电加速发展、全球核能热潮兴起,新课题随之而来。追求更高能耗、更好安全性与可靠性,实现燃料组件“零破损”,这道题我们会持续解答下去,推动核燃料技术不断升级。

全产业链协同铸就“中国铠甲”

N36锆合金是支撑CF系列燃料组件成为“中国芯”的包壳材料,是我国首个、也是目前唯一实现规模化商用的自主核级锆合金。

焦拥军回忆,我国新型锆合金研发始于上世纪90年代,长期停留在实验室阶段,未能工程化、产业化转化。直到C系列燃料组件研发启动,才为N36锆合金提供应用契机,推动其从实验室走向生产线、走向核电站。

攻坚历程充满艰辛。“国内没有专业的锆合金生产线,部分工序只能在条件有限

的环境下开展;关键技术问题出现时,团队连夜研讨、连续奋战,没有一人退缩。国外技术封锁越紧,大家自主攻关的决心就越坚定。”焦拥军说。

N36锆合金的成功,离不开全产业链协同。西部新铸在核动力院、中核建中的全力支持下,仅用13个月攻克铸锭真空熔炼、铸坯挤压感应均匀加热等多项关键技术。2018年11月,N36锆合金首批管材成功交付,用时仅为国际同行同类型产品生产时间的三分之一。

“N36不是仿制品,是我们完全自主知识产权的‘争气材’!”焦拥军话语中满是自豪。N36核心优势显著:一是能承受更深能耗,发出相同电量所需燃料组件更少,大幅提升核电经济性;二是安全性能优异,耐腐蚀、抗变形、低辐照生长,保障燃料组件结构完整性。

核燃料“中国芯”走向世界

制造核燃料组件如同“包饺子”:二氧化铀陶瓷芯块是“馅儿”,N36锆合金管是“皮儿”,包成核燃料棒,再用定位机架将264根燃料棒排列成17×17方阵。中核建中作为“总装师”,将西部新铸的锆合金包壳与自主芯块精准组装,打造合格安全的核燃料组件。

“从秦山核电站第一批燃料元件,到如今‘华龙一号’的CF3组件,我们见证了中国核燃料产业从无到有、从有到优的完整历程。”焦拥军说。

在中核建中的智能制造车间,每台设备都有“线上健康档案”,通过集成ERP、MES、LIMS等系统,打造贯通全流程的智能化生产线。CF3组件“里应外合”尽显中国智慧:外有N36锆合金抵御极端环境,内有高性能芯块稳定供能,单颗芯块能量相当于0.8吨标准煤,一根燃料棒能量密度是传统化石燃料的百万倍。

核燃料自主可控是全链条协同作战,我国核燃料产业已完成从跟跑到并跑的跨越。焦拥军表示:“面向‘华龙一号’2.0等新一代核电技术,中核集团正同步推进CF先进燃料组件迭代升级,保持技术与堆型同频共振。”

从核动力院实验室的技术迭代,到西部新铸车间的银色锆管,再到中核建中生产线的燃料组件,中国自主核燃料产业链稳步前行。这根贯穿东西的“核芯链条”,不仅守住中国核电“粮食安全”,更承载着做世界核领域发展引领者的光荣使命。

新能源汽车“超快充”竞技火热 规模化落地仍需技术突破

● 本报记者 李媛媛

在北京车展的比亚迪展区,零下30℃的低温“闪充”实测室里,记者透过玻璃看到,一辆搭载比亚迪最新闪充技术的汽车表面结满冰霜,仍保持稳定快速充电。这一幕引来众多观众驻足围观。2026北京车展于4月24日—5月3日举办,中国证券报记者实地调研获悉,“快充”“超快充”“闪充”等新技术,以及固液混合电池、钠电池等多元电池技术路线成为本届车展的一大亮点。新能源汽车充电倍率正从4C、5C向10C、15C跨越式升级,然而“超快充”等技术走向规模化落地,仍面临多重难点。

快充技术竞相涌现

记者注意到,比亚迪为其第二代刀片电池及闪充技术单独设立展台,以“闪充”命名,走进E3馆,一眼便看到了醒目的“闪充”logo。

比亚迪闪充展台工作人员介绍:“比亚迪第二代刀片电池及闪充技术在常温环境下,可实现5分钟补能到70%的电量,9分钟补能至97%。即使在零下30℃环境下,电量从20%充到97%,只比常温环境多花了3分钟。”

该工作人员表示,为实现第二代刀片电池的闪充速度,比亚迪还全新开发了闪充桩,单枪充电功率做到了1500kW。

而在宁德时代展区,“超快充”依旧是热议话题。宁德时代携4月21日最新发布的电池技术参展。其中,第三代神行超充电池备受瞩目,具有等效10C和峰值15C的超快充能力,电量从10%充至35%仅需1分钟,从10%充至80%需要3分44秒,从10%充至98%需要6分27秒。

同时,北京车展上的极限挑战持续升级。记者在宁德时代“钠新”极寒测试区看到,新一代的“钠新电池”在零下50℃环境下,仍能稳定放电,吸引不少观众将手机放在体验区,进行充电体验。

记者也将手伸入测试室内,即使戴着手套,也能明显感受到刺骨的寒意。宁德时代展台工作人员向记者介绍:“在零下30℃条件下,搭载宁德时代钠新电池的整车放电功率,较同电量常规铁锂车型提升近3倍;零下40℃极寒下容量保持率超90%;甚至在零下50℃极端环境,还能稳定放电。”

规模化落地仍有难度

欣旺达、瑞浦兰钧等动力电池企业,在北京车展也带来了最新的超快充技术和产品。

欣旺达动力圆柱事业部营销总监乔亚非对中国证券报记者表示,公司已发布15C超快充产品,目前行业主流快充倍率在6C-10C之间,该项快充技术行业领先,首先在方形电池上应用。

瑞浦兰钧动力电池研发总监刘微在接受中国证券报记者采访时表示,围绕补能效率提升的需求,瑞浦兰钧在车展上推出了“问顶闪充技术”,具备平均7C左右的充电倍率,电量从10%充至80%需要6分钟,预计今年年底或明年量产。刘微表示:“问顶快充技术主要面向A级和B级车,其价位区间在15万元—20万元的主流市场,瑞浦兰钧没有一味追求快充倍率更高,而是结合公司优势,采用问顶结构加闪充化学体系,做到快充和成本的均衡。”

记者调研获悉,近几年快充技术提速,3C-4C的快充技术,下沉到10万元—15万元车型,5C以上快充技术也开始进入规模化应用,但6C-7C的普及仍取决于成本。

“快充”“超快充”是否会影响电池寿命,也备受关注。“目前,具备快充能力的车型非常受欢迎。”多家动力电池参展企业向记者表示,不过,快充技术的推广,也面临着消费者对电池寿命影响的顾虑。

刘微坦言:“快充与电池寿命二者存在难以完全调和的矛盾,只能从电芯设计上尽量兼顾。此外兆瓦级快充每度电预计1-2元,慢充与快充结合,才能更好地保障电池寿命。”

在乔亚非看来,平衡快充性能与电池寿命,需要从材料、体系、结构、系统等层面进行全面考虑。例如在结构上采用过流均匀设计,在电芯层级降低电芯内阻,在系统层面提升热管理能力等。另外,电网能不能负荷大功率充电也需要观察。

此外,“负极材料的性能突破是超快充技术的关键一环”。刘微建议,可以优化负极颗粒配比,并采用多层涂布及梯度孔隙率设计,使锂离子能从多个方向嵌入,但这会增加成本,目前少数企业具备生产能力,其成本的下降和大规模量产还需要材料厂继续努力。

多元技术路线并进

记者采访获悉,欣旺达在本届车展上,发布了大圆柱全场景电池解决方案,推出全能型、高能型和经济型三种产品,通过与磷酸盐系、三元系、钠电等多种材料体系组合,适应不同的应用场景。

同时,刘微对记者表示,基于下一代动力电池技术演进方向,瑞浦兰钧基于“问顶电池”技术平台,构建了锰基与高镍固液混合两大产品体系,满足不同细分领域的多元化需求。

另外,钠电池凭借资源储量丰富、宽温性、超长循环、高安全性等优势,从实验室逐渐走向规模化应用阶段。在高温、极寒出行场景以及储能领域展现出广阔应用前景。

宁德时代相关负责人对记者表示,目前,宁德时代突破了钠电池量产的四大行业难关,解决了制造环节的核心问题,将于2026年第四季度实现规模化量产。

对于行业关心的钠电池性价比临界点,众钠能源董事长夏刚在接受中国证券报记者采访时表示,就硫酸铁钠技术路线而言,碳酸锂价格只要到12万元/吨,钠电池的性价比优势就会凸显。

他进一步预测:“到2026年下半年,即使锂价保持平稳,钠电池也将在成本上具备全面竞争力。”

让烟火气更丝滑! 交通银行数字金融深度牵手淄博“八大局”

金融赋能文旅,数智激活烟火。当淄博八大局便民市场的烟火气,遇上数字金融的新动能,一场从“网红打卡地”到“长红文旅IP”的蜕变正在悄然发生。

01 这一站,是更“智慧”的“八大局”

4月23日,2026山东省文旅产业高质量发展大会在淄博举行,作为本次大会的重要观摩点,八大局便民市场迎来了海内外游客的集中到访。

在紫米饼、炒锅饼摊位前,细心的游客会发现,支付结算比以往更加丝滑顺畅。这背后,是交通银行淄博分行提供的硬核保障——该行立足地方文旅特色,独家上线“智慧收单+数据纳统”一体化系统,精准破解文旅场景下“支付散、对账繁、统计难”的痛点,为商家提供了高效、坚实的金融服务支持。

02 科技加持:不仅是“扫码”那么简单

八大局便民市场作为“全国消费新场景

典型案例”,拥有商户430余家,高峰期日均客流量超10万人次。面对“笔数大、渠道杂、对账急”的挑战,交通银行淄博分行深入商圈,交出了一份数字化转型的“答卷”。

全渠道收单,支付“快一步”。为街区商户布设聚合支付码牌,支持微信、支付宝、云闪付等全渠道支付。高峰期支付效率提升50%,让游客“扫码即走”,沉浸式感受城市烟火,不把时间浪费在排队上。数据实时纳统,决策“准一点”。搭建文旅消费数据监测平台,实现“交易

可追溯、趋势可预判”。这些精准的数据,为政府进一步提升文旅治理能力、落实惠企政策提供了可靠依据。

减费让利直达,商户“省不少”。主动免除小微商户多项结算费用,资金精准到账。以真金白银的金融举措为商户减负,守住摊主们实实在在的获得感。

03 从“网红”到“长红”的交行力量

截至目前,该系统已覆盖八大局便民市场

近400户商家,累计处理交易达396.31万笔。

数字化不仅仅是技术更迭,更是对城市管理温度的提升。交通银行淄博分行通过运营管理数字化、支付结算智能化,推动了八大局文旅场景的提质增效,赢得了政府及商户的高度认可。

未来,交通银行淄博分行将持续复制“八大局经验”,深耕文旅消费场景,以更高效、更智能的金融服务助力山东文旅高质量发展,为“好客山东”品牌建设注入源源不断的“交行动能”。