

磁悬浮技术赋能地热能开发利用

■本报记者 张胜杰

“当今,如何利用好浅层与中深层的地热能,热泵技术扮演着不可替代的核心角色。而磁悬浮技术的创新应用,更让热泵装备的性能实现了质的飞跃,为地热产业的规模化发展注入了新的技术动力。”在近日于山东潍坊举办的2026中国地热(热泵)高质量发展大会上,中国科学院院士滕吉文作出上述判断。磁悬浮技术可以为地热能利用核心装备——热泵带来高达30%的节能效果,正成为撬动地热产业规模化、高质量发展的新支点。

■自身特点显著 受用户青睐

磁悬浮技术被誉为“旋转机械领域的革命性突破”,它是运用可控电磁力使物体稳定悬浮,在磁力的驱动下进行轴向旋转运动或平面运动的一种技术。

磁悬浮热泵作为地热能高效利用的核心装备之一,其性能对地热利用的效率与效益具有重要影响。据山东天瑞重工有限公司(以下简称“天瑞重工”)总经理郑铁民介绍,磁悬浮设备具有节能、无油、低噪、免维护、智能化、长寿命等都是技术优势。比如,高速电机直驱与磁悬浮无接触支撑技术,无摩擦损失,传动效率100%;高效三元流叶轮设计,多变效率高达87%,启动效率高,平均节能达30%。据悉,天瑞重工已在浅层地热、中深层地热开发中打造了社区供暖、恒温车间等典型应用场景,为地热能的高效化、规模化利用提供了成熟的“磁悬浮+”方案。

郑铁民介绍,在天津市某供热站项目改造中,通过安装2台磁悬浮地源热泵机组,创新采用“地热尾水+磁悬浮热泵”模式,大幅提升地热利用效率。磁悬浮热泵机组的能效比稳定在6.3以上,远超国家一级能效,地热能利用率提升30%以上,实现节能、降本、环保多重目标。

■两项国标发布 为产业化打造“通用语言”

标准制定对行业发展具有重要意义。在上述大会期间,《主动磁悬浮轴承稳定性评价》和《主动磁悬浮轴承定子检测方法》两项国家标准正式发布。

这两项标准,为产业从实验室走向规模化、规范化生产扫清了障碍。“这相当于给磁悬浮的‘心脏’(定子)办了‘身份证’,确保出厂的都是‘优等生’,又给行业发了‘裁判手册’,统一了‘神经中枢’(轴承控制系统)稳定性的测试标尺。”全国磁悬浮动力技术基础与应用标准化工作组主任委员郭大雷接受采访时说。

“所有的新技术,只有写成标准,才能真正实现产业化应用。这两项新标准的发布,正是将磁悬浮技术从实验室推向产业化的关键一步。”郭大雷表示,可靠性是我国装备制造业高质量发展的必然要求,这两项标准基本构建起了从零部件到整机、从静态检测到动态运行的全生命周期质量保障体系,对地热、造纸、化工、水泥等高耗能行业而言,意味着设备可靠性的大幅提升。

潍坊市市场监督管理局党组书记、局长李铁柱表示,潍坊市作为著名的动力之城,产业基础雄厚,磁悬浮技术发展日新月异,潍坊市将紧跟技术前沿,围绕磁悬浮输送超导电动磁悬浮等新兴领域,继续完善全链条标准体系,研制出更多填补空白的高水平标准,要发挥好标准的标杆作用,在更多优势产业领域推动标准创新,培育一批标准化示范试点项目,带动全行业产量提升、质量提升。

■把握关键节点 推动地热能高质量开发

地热能作为清洁能源的“潜力股”,正迎来前所未



图为山东天瑞重工磁悬浮热泵生产车间现场。

有的历史机遇。中国技术监督情报协会地热产业工作委员会主任陈焰华说:“我们脚下的每一度热量,都蕴藏着推动能源革命、守护绿水青山的巨大能量。希望今后能与更多优秀的企业携手,打通‘政产学研服用’的最后一公里,让好的技术找到适宜的土地,让好的产品找到广阔的市场。”

对于潍坊如何实现地热能利用的高质量发展,滕吉文认为,要抓住几个关键点:

首先,要摸清家底,科学规划。地热开发不能竭泽而渔,要利用现代地球物理手段,查明第二深度空间(3-10KM)地下热能的存储与结构环境,实现“取热不取水”、“采灌均衡”,确保资源的可持续利用。同时

要结合磁悬浮热泵等先进装备的技术特性,科学规划地热开发布局,进行全国全省和地区的顶层设计,让先进装备与优质资源相匹配,以取得最大效能。

其次,要技术迭代,产业升级。热泵产业的高质量发展,核心在于能效比的提升和适应性的拓展。因此,要创新研发更高效、更适用的压缩机和换热材料,探索深层地岩换热技术,推动高效节能热泵在清洁取暖、制冷以及工业减排中的规模化应用。

再次,要多元协同,储能耦合。地热要与太阳能、风能发电,余热等构筑多能互补共存的智慧能源网络。特别是在“双碳”目标下,未来的能源结构,必然是化石能源、可再生能源与新能源的优化匹配。

安全高效处置核废料技术加速破局

■本报记者 王林

全球范围内,核能复兴号角已经吹响,如何在保障安全的前提下实现核废料长期、高效处置,成为核能技术创新的一大驱动力。核废料储存时间主要取决于放射性强度、核素种类以及处置方式。

世界核协会最新预测,到2050年,全球核装机容量有望达到1446吉瓦。在此背景下,核废料安全管理问题愈发凸显,通过技术突破缩短放射性周期,实现从“永久封存”向“资源化利用”的转变,成为核能领域共同攻关的关键命题。

■全球寻求处置核废料新技术

因放射性危险可存续数千年,核废料一直是影响核电可持续发展的重要挑战之一。油价网汇编数据显示,目前,全球有数千吨来自核电站的固体乏燃料以及数百万升来自武器生产的放射性废液,暂时存放在储存容器中。

ScienceDirect 学术期刊网站指出,截至2026年2月,全球核废料存量已超37万吨。

根据世界核协会定义,核废料根据放射性水平和热输出分为高阶核废料、中阶核废料和低阶核废料。高阶核废料包括乏燃料和后处理废液,具有极高的辐射危害和温度,需要进行长期隔离和处置。中阶核废料主要来自反应堆运行和除役过程中产生的废物,虽然放射性和热量较低,但仍需要进行安全处理和储存。低阶核废料主要包括核设施的一般废物,例如工具、服装、滤纸等,放射性和热量较低,可以进行相对

简单的处理和处置。

核废料处理作为核工业产业链后端的标志性挑战,主要在于其极强的放射性和极长的衰减周期。很长一段时间,深海倾倒入浅层填埋,是处理核废料的主要手段,但这种方式不仅造成严重污染,还遗留了大量安全隐患。

确保安全处置高放射性核废料,是保证核能安全利用、可持续发展的重要一环。随着技术不断创新,通过更高效、更安全、更严谨的技术解决方案来处理核废料,正愈发受到关注。全球范围内,核嬗变、玻璃固化等新兴技术方案,正加速从实验室走向工程应用。

核嬗变是将一种化学元素转化为另外一种元素,或将一种化学元素的某种同位素转化为另一种同位素的过程。研究发现,通过核嬗变可以大幅减少高放射性核废料数量,并缩短放射性周期,同时整个过程还能释放出巨大能量。玻璃固化是一种将废物与熔融硅酸盐和其他材料混合,转化为惰性玻璃的技术。

■中国持续推动嬗变利用和固化研发

在核嬗变利用方面,中国持续推进创新研究,最具代表性和影响力的创新成果之一是加速器驱动先进核能系统(ADANES)的研发和应用。通过ADANES,核废料放射寿命由数10万年缩短到约500年,将核废料数量减少到乏燃料的4%,核燃料利用率也能提高到95%。

值得一提的是,全球首个加速器驱动嬗变研究装

置正在广东惠州建设,超导加速单元安装等工作正在加快推进。该装置通过加速器驱动次临界系统技术,解决核废料处理和核燃料高效利用难题。

装置核心是建设一台强大的质子加速器,将质子加速后轰击重金属靶,产生海量中子并注入“次临界反应堆”,实现核废料无害化处理和铀资源利用率提升。装置建成后,将为开发安全、绿色、可持续千年以上的新一代核能系统奠定基础。

加速器驱动次临界系统技术是国际公认实现核燃料高效利用和核废料安全处理的理想途径,全球尚无建成先例。预计到2027年,中国将建成全球首个兆瓦级加速器驱动次临界装置,率先掌握该系统关键技术及集成运行经验。

核废料固化技术方面,中国于2021年在四川广元投运全国首座高水平放射性废液玻璃固化设施;2024年7月,冷坩埚玻璃固化技术迎来里程碑节点,中国原子能科学研究院自主研发的两步法Φ650mm冷坩埚玻璃固化工程样机顺利完成90天连续运行试验,标志着我国冷坩埚玻璃固化技术具备工程应用条件。

冷坩埚技术作为国际上先进的高放废物玻璃固化技术,玻璃熔体与坩埚体的隔离,并通过高频交变磁场隔空加热熔融坩埚内物料,具有处理废物范围广、设备寿命长、退役简便、总体经济性好等优点。

■新型加速器锐减核废料辐射周期

2月,美国能源部下属杰斐逊物理实验室获得了

美国能源部高级研究计划局“核能废料嬗变优化计划”817万美元资助,为核废料安全处理与资源化利用提供重要技术支持。

当前,杰斐逊物理实验室正在推进成本效益更高的新型粒子超导加速器技术研发,旨在将长寿命核废料嬗变为短寿命同位素,从而有望将核废料寿命减少99.7%,目前处于研究和优化阶段。

杰斐逊物理实验室介绍,这个新型加速器使用高能质子束轰击重金属靶,引发裂变反应以产生中子,这些中子轰击次锕系元素和长寿命裂变产物,将其“焚烧”并转化为更稳定或更短寿命的元素,预计可将核废料所需隔离时间从大约10万年缩短到仅300年。同时,这一过程引发的裂变反应产生的热量,还可以转化为无碳电力。

这是一次将核废料从永久性负担转变为可回收燃料源的尝试。美国能源部指出,商用反应堆运行5年后,核燃料中潜在的潜在能量尚不足5%,超过95%的能量仍留在乏燃料中等待开发利用。

另据科学新闻网报道,美国能源部已耗资逾100亿美元建设新的玻璃固化设施,为核废料提供长期稳定的固化解决方案。2025年10月,美国能源部在华盛顿州东部汉福德场启动玻璃固化工作,仅一周时间就将5500升危险放射性核废料转化成了惰性玻璃,预计未来40年内可处理约90%的核废料。

在嬗变技术领域,美国能源部通过“核能废料嬗变优化计划”拨款4000万美元用于开发长寿命放射性核废料嬗变技术。瑞士技术初创公司Transmutex于2024年提出新型核嬗变技术,可以将高放射性核废料数量削减80%,并极大缩短其放射性周期。

美国联合广场风险投资公司指出,嬗变技术可以解决核能领域长期存在的问题,包括核废料安全处理、核废料转变成燃料等。

文山州以科技织密电网安全“防火线”

■姚雨君 杨鹏伟

“安全距离和实时风速已确认,卫星信号和通讯正常,可以起飞。”3月18日,笔者走进位于云南省文山壮族苗族自治州文山市的220千伏文山变电站,看见部署在该站的机巢无人机正在起飞,对220千伏路线进行自主巡视,通过实时传回的画面及时提升山火风险。

依托南网卫星遥感影像对山火动态进行实时监测,806套在线监测装置实时“直播”输电通道走廊,摄像头每15分钟可回传告警图片3200余张,核实验电走廊附近火情准确率达95%以上。南方电网云南文山供电局通过升级山火防控新技术,筑牢防山火“安全屏障”。

“机巢无人机10分钟内就可以完成5公里范围内重点防火区域线路设备巡检,采用视觉精准降落、无线快充等技术,配套夜巡等巡检模式,极大提升了线路故障、山火隐患排查密度和精细度。”南方电网云南文山供电局输电管理所智能运维班马喜亚介绍说,文山供电局目前已在500千伏砚山变电站、500千伏柳井变电站、±500千伏富宁换流站、220千伏文山变电站等地部署无人机机巢4座,并绘制25公里涉林区输电线路三维立体图像,通过无人机精准巡检已核实火情12处。

同时,通过高效的政企联动机制,文山供电局与文山州林草局共同开展通道隐患及可燃物治理311处。云南电网在线监测系统与文山州林草局的“天眼”视频系统实现了互联互通,构建起“林电共安”防控体系,有效降低了输配电设施火灾风险。

今年以来,文山州通过州、县政府统一组织,林草、应急、生态环境、能



南方电网云南文山供电局工作人员运用无人机对穿越林区的线路进行全方位“扫描”,确保电力设施安全稳定运行。 王宁/摄

源等政府部门和电力部门联动的机制,有效处置35千伏及以上输电线路附近山火324起,共计出动车辆352台次、出动人员1120人次开展防山火巡视和值守,涉及141条线路。

截至目前,南网卫星遥感已预警山火179次,在线可视化系统预警山火126次,806台可视化终端已覆盖1600处的山火区段,有效预防可能影响电力设施安全的火情4次。真正形成了“空中有卫星、天上有机、地面有巡护”的立体防火护线模式,有效保障了电网安全稳定运行。

四部门印发《节能装备高质量发展实施方案(2026—2028年)》

本报讯 近日,工信部、国家发改委、国务院国资委、国家能源局等四部门联合印发《节能装备高质量发展实施方案(2026—2028年)》(以下简称《实施方案》),持续提升通用性强、用量大、发展前景突出的节能装备能效水平,加强节能装备供给与应用。

《实施方案》聚焦节能电机、变压器、工业热泵、工业制冷(热)与加热设备、水电解制氢装备、信息通信设备等六类节能装备,提出以推动重点行业领域节能降碳为目标,以用能系统优化提升为主攻方向,以先进技术装备研发和应用为主要抓手,以绿色设计制造、设备更新改造、人工智能赋能为路径,加快节能装备智能化、绿色化、融合化发展。到2028年,节能装备关键材料、零部件取得突破,重点行业领域用能系统匹配性、实际运行效率持续提升,电机、变压器等节能装备能效水平达到国际领先,节能装备市场占有率进一步提高。

《实施方案》从加快先进节能装备研发推广、扩大节能装备绿色低碳供给、强化节能装备系统耦合匹配、推进节能装备数字化提升等方面系统作出工作部署。要求针对更高效、更高性能的节能装备,加快研发符合市场需求且节能效果突出的新材料、新部件、新产品,推动构建装备节能降碳大模型,推进人工智能赋能节能装备应用,着力提升重点行业领域用能设备系统运行效率,实现工业节能向全流程系统节能转变。同时,从加快节能装备更新改造、完善节能装备标准体系,加强产业发展统筹协调三个方面提出构建产业健康发展环境的具体工作举措。

(廖宇)