

★ 高技术前沿

据新华社报道,我国首个“液态有机储氢”产业化项目近日在陕西成功投运。该项目采用的协同产氢技术,攻克了长期制约氢能产业发展的“纯度枷锁”,能够将富含杂质的工业粗氢转化为纯度高达99.998%的“电子级”氢气。

这一突破意义深远。长期以来,氢能产业的发展一直受制于提纯环节的高成本与高能耗。北京理工大学与中国氢能联盟联合发布的《中国高纯度氢供应链技术经济性分析》指出,在当前氢能体系中,提纯环节成本可占终端氢气总成本的30%至50%,且现有

主流提纯工艺的能耗随纯度要求呈指数级上升。成本与能耗的双重桎梏,使高纯度氢产能提纯成为横亘在氢能普及道路上的一道“世纪难题”。

面对这一全球性挑战,中国科研团队实现了关键突破。发表于《自然·能源》杂志的“液态有机储氢载体+抗毒化催化剂”协同产氢技术,成功实现了“粗氢进、纯氢出”的一体化高效转化。这项被誉为“分子魔术”的创新,将有力推动工业副产氢等粗氢资源向未来清洁能源体系转化的进程。

“分子魔术”:为氢能应用按下加速键

■宋可昞 涂一可 蔡雨杉

另辟蹊径,协同产氢

在过去数百年间,氢能往往作为冶金、化工等工业生产中的粗质原料,可以忍受一定程度的杂质。没有需求驱动,高纯度氢气制备技术长期处于缓慢发展的状态。然而,随着全球能源转型浪潮的推进,氢能正从一种传统的“工业原料”跃升为关键的“能源载体”。

这一角色转变,对氢气的纯度、成本和规模化供应提出了前所未有的新要求。尤其在燃料电池产业,由于其对一氧化碳等杂质“零容忍”的严苛特性,传统的变压吸附、深冷分离等“过滤”式提纯工艺已无法适配产业需求。

传统思维下的技术路径已逼近其物理极限,迫使科研人员必须另辟蹊径,从分子层面重新构思一种全新的纯化逻辑。在这一背景下,协同产氢技术应运而生。作为一项重新定义提纯规则的创新性技术,协同产氢技术的核心特征,体现在以下3个方面:

——精准识别,超高纯度。传统变压吸附、深冷分离等工艺依赖于“物理过滤”思维,难以彻底去除一氧化碳等微量毒化成分。新技术实现了从“物理筛分”到“化学选择”的跃迁。液态有机储氢载体就像一个分子级别的精准筛子,可专门捕捉氢气分子,将其包裹在液体内部稳定保存;而新型抗毒化催化剂能在一氧化碳浓度高达50%的“粗氢”环境中稳定工作,直接产出纯度达99.998%的“电子级”氢气,杂质总量相较传统工艺降低98%。

——稳健催化,长效运行。相较于传统铂系催化剂易被一氧化碳“毒化”失活的痛点,新型抗毒化催化剂展现出较强的环境耐受性与循环稳定性。实验数据显示,在连续运行2000小时后,催化活性衰减率不足5%,远低于传统催化剂在相似工况下超过30%的衰减表现。这种“吃粗粮、保长效”的特性,确保该技术在工业副产氢等复杂气源条件下的持续稳定运行,为产业化应用提供可靠保障。

——经济储运,降本增效。该技术创新性地将提纯与储存合二为一,不仅使整体能耗降低约30%,更凭借液态储氢有机载体的常温常压稳定特



湖南涟源钢铁集团采用协同产氢技术制取氢气,将纯度提升至99.998%以上。

性,实现了储运环节的突破。其液态有机储氢载体可直接利用现有油罐车运输,并兼容现有石化储罐等基础设施,支持分布式运营模式,实现从“专用高成本运输”到“普适化经济运输”,为构建智慧氢能网络奠定产业化基础。

全链降本,产业提速

“我们研发了‘吃粗粮’的催化剂,让工业粗氢中的氢气精准‘存’进液体,使用时再释放高纯氢,解决分离和储存两大难题,盘活巨量粗氢资源。”北京大学马丁教授说。这一技术理念正从实验室快步迈入产业化阶段,其核心价值清晰地体现在“降本”与“提速”两个维度,在真实的产业土壤中结出硕果。

在降低成本方面,得益于对传统产业链条的“重构”与“简化”,协同产氢技术展现出显著的经济优势。

传统提纯路径为达到高纯度,需经过多级压缩、吸附与净化,能耗随纯度要求呈指数级增长,导致成本居高不下。协同产氢技术则通过将提纯与储存合二为一,从源头上削减了多个高能耗、高成本的中间环节,实现了大幅度成本优化:在运营端,湖南涟源钢铁集团的氢冶金项目采用该技术制取氢气,在将纯度提升至99.998%以上的同时,省去独立纯化装置与专用储运设备,使项目运营成本降低约30%;在运输端,陕西氢能能源的液态有机储氢载体已通过国家普通化学品认证,可直接利用现有油罐车进行跨省运输,其单次运氢量是高压拖车的3倍,综合成本降幅高达80%，“像运柴油一样运氢气”的愿景正在成为现实。

在发展提速方面,产业生态得到“激活”与“扩展”,为氢能应用的普及按下加速键。

一方面,它盘活了存量巨大的工业副产氢资源,将钢铁、化工等行业原本富余或排空的粗氢,高效转化为高价值清洁能源。目前,全球首套采用该技术的千吨级工业示范装置,已在上海化工

区成功投运,每年可处理1800吨工业尾气,产出1350吨可直接用于燃料电池的超高纯度氢气,为规模化利用副产氢提供了可复制的样板;另一方面,它将催生生活多样的应用场景。得益于载体与现有石化基础设施的天然兼容性,氢能项目得以摆脱对专用大型设施的依赖,实现快速布点,渗透至能源消费的“神经末梢”。从大型工业到分布式交通,氢能产业的边界正被迅速拓展,发展节奏全面加快。

氢启未来,破障前行

作为21世纪极具发展前景的领域之一,在摆脱了长期以来限制发展的纯度问题后,氢能领域即将迎来前所未有的发展机遇。

让我们试着畅想,未来遍布城乡的加油站点,可在无需大规模重建的情况下,增设液态有机储氢加注单

元。车主体验与加注汽油无异,但排放的只有水,氢能车辆的使用成本与便利性将与传统燃油车持平甚至更优,实现绿色出行的无缝过渡。此外,我们还可以结合AI与物联网技术,将分布式的氢能站点与电网深度耦合。在风电、光伏充沛时,将多余电力制成氢储存;在用电高峰或可再生能源间歇时,氢能电站则稳定输出电力。氢,将成为城市能源系统中一个灵活、智慧的“绿色充电宝”,守护万家灯火。

然而,将这幅美好的蓝图变为现实,我们仍需跨越从技术到市场的重重障碍。当前,协同产氢技术仍存在诸多有待解决的现实问题。

首先是在复杂工况下的稳定性尚有待确定。尽管实验数据与示范项目已证实“液态有机储氢载体+抗毒化催化剂”技术在稳定气源下的卓越性能,但当其面对真实工业环境中氢气浓度、压力与流量波动,以及复杂杂质成分时,其长期运行的稳健性仍需更多验证。

其次是对成本降低的进一步探索。当前协同产氢技术尽管已经实现了每千克氢气成本由40~50元下降至28元以下的突破,但相比于传统燃油成本,仍存在一定差距。按照能量等价计算,当前28元/千克的氢价相当于汽油车每百公里能耗成本的1.3至1.5倍,这在一定程度上限制了其在交通领域的快速普及。

最后是标准与认证体系的认同构建。作为一种全新的技术路线,协同产氢技术相关的设备制造、安全运营、质量检测、运输认证等国家标准和行业规范目前仍有待完善。建立一套完善、可靠的标准体系,是消除市场疑虑、保障产业健康发展的前提,也是加速实现其“像运柴油一样运氢气”愿景的制度基础。这需要产业链各方的共同努力。

尽管存在稳定性、成本与标准这些必须跨越的障碍,但这恰恰是任何颠覆性技术从实验室走向大规模产业化的必经阶段。协同产氢技术真正的潜力,远不止解决当下的“纯度枷锁”,更在于其作为底层技术平台,所具备的重构整个氢能生态的无限可能。

随着新型催化材料的研发与系统控制的智能化,氢能提纯的稳定性必将得到保障;规模化效应与产业链的成熟,将驱动成本持续下探;而示范项目成功运行的经验,正为国家和行业标准的建立提供坚实的依据。我们有理由相信,一个由“分子魔术”赋能的智慧氢能时代,正加速到来。

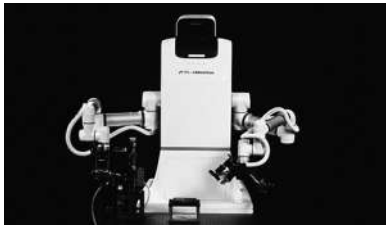
★ 科技云

科技连着你我他

■本期观察:严子昌 赵青松 申一鸣

普罗宇宙大白机器人——

专注服务智能制造



近期,国内一家公司研制出一款专注于工业智能制造场景的人形机器人——普罗宇宙大白机器人。据悉,该机器人深度融合端到端柔性工业大模型,同时配合相关算法,能快速适应不同复杂应用场景。

研究人员称,该机器人突破传统工业机器人柔性不足的局限,性能与以往相比有了较大提升。在高精度作业能力方面,该机器人具备毫米级操作精度,能在精密装配、微小部件检测等环节提供可靠的精度保障,从源头筑牢产品质量防线;在移动与续航方面,它采用四轮全向行走方式,行走速度约2.5米/秒,可灵活穿梭于复杂环境,续航时间大于8小时,能有效保障长时间连续作业。

据悉,凭借通用化设计与智能化表现,该机器人未来或将广泛适配汽车零部件制造、半导体及生物医药等多种高精度制造领域。

智元精灵机器人——

力控精度达亚毫米级



近期,国内两家公司联合发布一款专注于高精度工业制造场景的交互式具身作业机器人——智元精灵机器人。据悉,该机器人深度融合高精度力控系统与人智能技术,配合先进灵巧手结构,能够执行多种复杂任务。

研发团队表示,该机器人性能较传统工业机器人有显著提升。在作业能力方面,该机器人搭载全球首款十字腕力控臂与多指灵巧手,力控精度达亚毫米级,可稳定完成插内存条、拧精密锁芯、装配微小零件等高精操作,具有强大的核心计算能力;在环境适应性方面,该机器人可在较低温度环境下稳定工作,适应高强度工业生产节奏。

据悉,该机器人未来有望应用于汽车电子组装、精密装配、半导体封装等核心高端制造领域。

黑豹机器人——

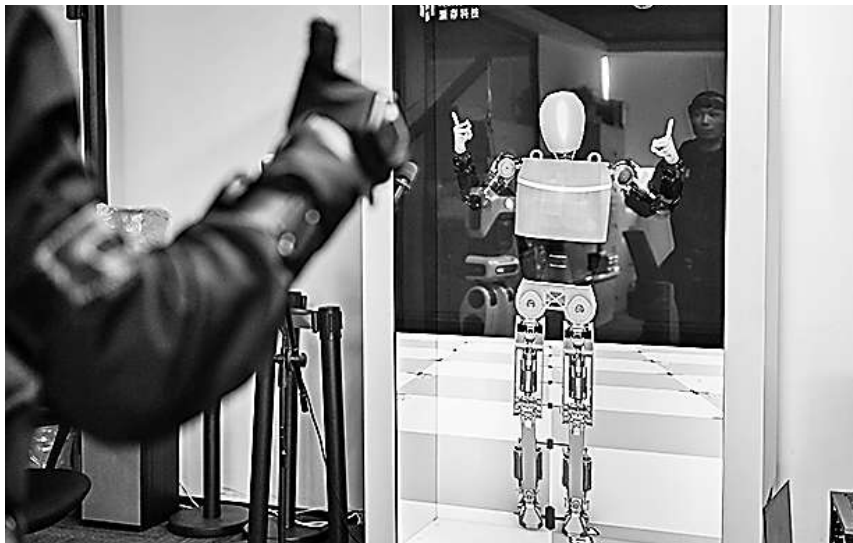
刷新四足机器人速度纪录



近期,浙江大学与某公司共同研发出一款专注于高速移动的四足机器人——黑豹机器人2.0版。据悉,该机器人以10米/秒的速度刷新了全球四足机器人速度纪录。

研究人员表示,该机器人突破四足机器人的关键技术瓶颈,整体运动性能实现跨越式提升。在仿生设计方面,该机器人采用“仿跳鼠碳纤维小腿”结构,在重量微幅提升的前提下大大提升了刚度性能,同时搭配定制化仿猎豹利爪“跑鞋”,抓地力提升近2倍;在核心控制算法方面,该机器人采用惠更斯耦合摆原理,实现四足步态的高协同性,配合膝关节内置的弹簧缓冲器,能有效吸收冲击能量,降低运动能耗。

据悉,凭借技术突破与实用价值,该机器人已应用于科研与竞技场景,未来还有望应用于工业巡检、应急救援、野外勘探等方面。



国内某公司将关节转角、肌肉群联动等复杂动作解构为计算机可识别的算法,并利用算法优化,生成对机器人的运动指令。

新华社发

★ 论 见

算法,是人们为了解决特定问题,所采取和发出的一系列清晰步骤和指令。在计算机领域,算法表现为通过有限的步骤处理输入数据,让机器“会思

考、能决策”,最终输出结果。

算法与人们的生活密切相关,对于军事领域,算法的重要作用同样不可忽视。过去打仗主要靠经验,靠指挥员的临场判断;今天算法能在毫秒之内处理海量信息,自动识别目标、评估威胁,让战争节奏从“分钟级”迈入“秒级”,使指挥体系从“层层上报”转向“自主协同”,

真正把信息优势转化为决策优势和行动优势。未来战场上,算法将不再是后台辅助工具,而是赋能未来战场的“智慧大脑”。

速度制胜,压缩时空边界。现代战场瞬息万变,胜负往往取决于双方反应速度的比较。算法通过实时处理海量战场数据,显著缩短“感知—决策—打击”闭环周期。

比如,当敌方导弹刚起飞,智能处理系统即可通过卫星、雷达、无人机等多源数据的融合,自动锁定轨迹、规划拦截方案,下达打击指令。这种模式从根本上压缩了战争的时间窗口,传统依赖地理纵深和反应时间的防御体系难以有效应对。

精度制胜,穿透战场迷雾。未来战场上的信息杂乱、真假难辨,而算法能像“智能筛子”一样,整合来自卫星、雷

达、通信、传感器的多源信息,从杂乱信号中抽丝剥茧,剔除干扰信息、识破对手的伪装。

算法不仅能看清坦克、战机这些“看得见”的目标,还能从电磁频谱、网络流量、通信特征等“看不见”的痕迹中,精准定位隐藏的指挥所或电子战设备信号,提升目标识别定位准确率。

韧性制胜,作战体系更具抗毁性。在传统作战体系中,指挥中枢一旦被毁,整个系统就可能瘫痪。而算法赋能下的作战单元具备“自组织、自适应”能力,这意味着即使部分装备被击毁或通信中断,剩下的作战单元也能像蜂群一样迅速重组,自主分配协同完成任务。

据相关调查显示,在遭受15%的节点损毁后,基于算法的去中心化自组织网络依然能维持约20%~40%的作战效能。这种去中心化的自组织能力,让整

个作战体系更具抗毁性和持续作战能力。

当然,算法并非万能,也面临新挑战。随着人工智能技术的不断进步,当机器越来越多地参与甚至主导战术决策,如何确保人类始终掌握战争的“最终开关”? 这些问题,既关乎技术,更关乎伦理与安全。因此,我们必须始终绷紧“构建自主可控、安全可信的算法生态”这根弦,可以通过自主创新关键技术和健全制度规范等方式,不断明确算法使用的边界与责任,防止算法武器被滥用。

技术终究要服务于人。真正的制胜之道,不仅在于拥有更快、更准、更具韧性的算法,还在于掌握算法背后的战略智慧、伦理底线与和平意志。唯有如此,才能真正使算法成为未来战场上的“无形之手”和“决胜之脑”。

算法:未来战场的“智慧大脑”

■张洪广 孙诗东