

# 具身智能从露天矿山走入井下

■本报记者 杨沐岩

当前,我国机器人产业正不断“破壁”,AI应用持续融入生产生活,具身智能将两种技术结合,成为火热概念。距离日常生活最近的具身智能,是具备智驾功能的汽车,两者领域紧密关联,关键技术高度重合。在矿山领域,矿卡运输业正成为具身智能应用突破口,无人驾驶矿卡不仅成为露天煤矿智能开采的主要牵引力,同时也走入地下,成为井下辅助运输智能化的关键方向。未来,伴随应用模型持续完善,电动化持续推进,具身智能有望应用于更多矿山生产环节,让机器人替代人工,承担更复杂、更高强度的劳动。

## ■机器人仍欠缺“活人感”

今年以来,具身智能概念持续火热,各类产品走入不同的生产生活场景。中国矿业大学(北京)原副校长姜耀东表示,煤矿生产是机器人技术最能发挥价值的场景之一。从危险岗位替代,到采掘作业,再到应急救援,未来把井下工作逐渐交给机器人,可以显著降低矿工劳动强度。

矿山已是机器人应用取得丰硕成果的行业之一。自2019年原国家煤矿安全监察局发布《煤矿机器人重点研发目录》以来,我国煤矿机器人领域进入快速发展阶段,涌现出一大批掘进、采煤、运输、安控和救援机器人及其研究成果。当前,矿山智能化发展提速,对智能装备的研发和应用提出迫切需求,具身智能或成为驱动矿山机器人智能化升级的关键动力。

在条件复杂恶劣的矿山,机器人虽已

具备较强性能,但自主能力不足、不够“聪明”,相较真正的具身智能仍有差距。有研究指出,当前矿山机器人自适应性普遍不强,尚未实现较高程度智能化,大部分仍采用预设和固定工序进行作业。同时,传统的液压驱动、柴油驱动方式无法很好适配智能化系统,难以实现矿山机器人的智能化精准作业,电动化替代仍待推进。

“活人感”不够强,只能执行预设程序,也是具身智能产品普遍面临的瓶颈。有具身智能业内人士表示,虽然宇树科技、银河通用等制造商的机器人已经具备充分的灵活性,能完成翻跟斗、跳舞等表演,但这些背后更多是通过提前预编好的程序执行的。虽然当前的具身智能“小脑”已经足够发达,但在“大脑”层面,如何能让机器人能像人一样,通过自主思维去执行指令,是接下来产业关注的焦点。

## ■运输环节成为“突破口”

近期,智驾与具身智能两个领域显现出高度相关性。易控智驾科技股份有限公司研究院常务副院长高德旭在接受《中国能源报》记者采访时表示:“智驾和具身智能都是基于感知、决策、控制这一类技术路线来实现独立自主的智能业务交互。区别在于智能智驾为非接触式行驶,通过感知躲避周边物理实体完成安全自动驾驶。具身智能则需要与周边物理实体通过实际接触完成相应自主业务交互和反馈。”

在矿山领域,具身智能的发展有望以车为突破口。当前,煤炭开采涉及的多种

智能技术中,无人驾驶矿卡是发展最快、应用最好的技术之一,也是推动露天煤矿智能开采的主要牵引力。截至2025年底,全国在运行无人驾驶矿卡已突破4000台。一批露天煤矿无人驾驶矿卡实现常态化运行,综合效率接近人工甚至超越人工。

高德旭表示:“从技术本质上看,无人驾驶矿卡本身就是一种工业级具身智能运输机器人。它在真实、高强度的工业环境中,实现了从感知到决策的自主闭环,与具身智能的技术逻辑高度契合。”

除在露天矿山应用外,在一些智能设施完善、开采条件较好的井工矿,无人驾驶技术也有“用武之地”。行业预计,全国在产煤矿与新建煤矿对井下智能无人运输装置的潜在需求超5万台套。在神东上湾煤矿,斜井联通地面和工作面,巷道宽敞,可以容纳车辆通行。该矿的无人驾驶运输车可以和巷道的5G微基站和天线设备、摄像头、信号指示灯等装置协同作业。

上湾煤矿机电信息中心智能化主管董海源表示:“随着5G网络可靠性持续升级、系统协同能力不断优化,我们将逐步推进无人驾驶车辆更平稳可靠运行,井下辅助运输也会随之迈向更智能、更高效的未来。”

## ■应用推广仍有难题待解

在高德旭看来,露天矿山积累的无人驾驶技术要应用到井下,仍需解决不少问题。“矿卡的线控底盘技术,感知、决策、规划、控制等技术均可用于井工矿的无人驾



纯电无人矿卡在山东宏河百利邹城危山矿实现常态化运行。易控智驾/供图

驶,但定位和通信技术存在较大区别。当前,井工矿无人驾驶的技术路线已较为明晰,具备切实可行的解决方案。但井下场景的特殊性,例如防爆要求、生产工艺变化等问题,仍需产业上下游的共同努力,协同推动井下矿山无人驾驶技术进步。”

有分析指出,在无人驾驶领域受到青睐的端到端模型,也是机器人实现具身智能的重要技术路径。这种模型可以减少信息损失,让机器人不再依赖于预设规则,而是直接基于感知行动,更好适配复杂多变的矿山环境。近年持续发展的大语言模型,为机器人带来更强认知水平,解决了传统端到端模型存在的语义理解和逻辑推理短板,让机器人更易在多元场景落地,提升通用性能。

当前,矿山具身智能正加速拓展,从运输环节向全流程渗透。去年,网易灵动发布针对露天矿山挖掘装载机场景的具身智

能模型,单机装车效率可达人工的80%,近70%作业时间无需人为干预。井下具身智能机器人也进入快速发展阶段,中国煤科院与汇川技术去年发布矿用防爆机械臂,集成气体和视觉等多传感器,可在煤矿井下高湿、高粉尘和瓦斯等环境中替代人工完成砌筑、喷浆和选矸等作业。

业内人士指出,未来具身智能要深入井下,仍需解决电池和数据的问题。煤矿井下存在瓦斯等易燃易爆气体,机器人的动力电池须防止因短路或过热引发安全事故。同时,电池也要具备大容量、高功率特性,以支撑智能化系统的高算力计算。而在数据方面,矿山环境和三维仿真数据的缺失,也让具身智能面临驱动资源不足难题。要让矿山智能机器人能力更强、适用于更多场景,针对矿山应用的标准化数据集不可或缺。



## 国内首艘万吨级纯电动智能集装箱船在宁波首航

## ■图片新闻

4月15日,国内首艘万吨级纯电动智能集装箱船“宁远电靛”轮,在宁波舟山港北仑港区启航,正式投入商业航线运营。

“宁远电靛”轮总长127.8米、宽21.6米,设置有742个标准箱位。船舶以10个标准化箱式电池作为核心动力,可储存电量约2万度,相当于300辆家用电动汽车的电量总和。 人民图片

## ■关注

本报讯 近日,由南方电网供应链集团下属广西公司建设实施的能源行业首个零碳数字档案馆示范项目在广西正式投入运行。通过数字化升级与绿色用能改造,该项目实现了年均减少碳排放近百吨,档案查阅效率提升92%,耗材成本下降80%。

据介绍,该项目聚焦采购档案管理全过程,建成集绿色存储、智能管控、碳排放监测于一体的数字档案馆。目前,项目已完成超98万页纸质档案高清数字化,并建立起统一元数据标准,实现合同信息秒级检索。同时,馆内搭建了碳排放监测平台,对用电、温湿度等数据进行实时采集分析,推动碳管理从“事后统计”转向“事前预判、实时调控”。

在技术体系上,项目构建了“智能感知+清洁能源+数据闭环”模式,库房通过物联网传感实现温湿度精准调控,显著提升能效。能源侧则利用附属车棚建成分布式光伏系统,年均可发电约5万度,覆盖库房日常用电70%以上,年减少碳排放近50吨,形成“自发自用、余电上网”的绿色用能模式。

为从源头推进减碳增效,项目还将绿色低碳嵌入采购全链条,通过推行电子签章与在线归档,年均减少纸质用30吨。档案“收、存、用”全面数字化令档案查询时间由2小时压缩至10分钟,效率提升92%,年均减少交通、搬运等环节碳排放约21.4吨。此外,项目首创的采购档案碳足迹测算方法已覆盖超10万卷宗,为企业的碳核算与管理决策提供可靠数据支撑。

“这不是简单的技术叠加,而是管理模式的系统性变革。”相关负责人表示,广西零碳数字档案馆的成功投运,标志着档案管理工作正从传统的资源消耗型向绿色智能型转变。下一步,南方电网供应链集团将以此作为样板,加快在更多区域复制推广数字化与低碳化融合经验,持续释放供应链绿色潜能,助力能源行业实现高质量可持续发展。(蒋岱岑 植李莉)

# 能源行业首个零碳数字档案馆在广西投运

# AI重塑储能产品研发底层逻辑

■本报记者 苏南

随着储能电池行业从粗放式扩张向高质量发展阶段迈进,AI的介入,改变了储能电池研发的“游戏规则”,即从“试错法”跨越到“预测法”。业内认为,从造电池到用电池,AI正在把整个行业从“拼脑力”变成“拼算法”,利用AI智能算法驱动仿真,能快速发现最优设计,显著、提升产品竞争力。

## ■研发端: 从人工试错变成AI自动包揽

以往,设计一款电池,要考虑电量、散热、寿命、安全等多维度上百个细节,人脑难以计算。现在,利用AI智能算法驱动仿真,可以直接在电脑里推演几千万种方案,瞬间找出最优解,既缩短了电池产品研发周期,又降低了产品开发成本。

业内人士认为,AI可以贯穿电池从概念到退役的全生命周期,从单一性能仿真场景,向导电剂与粘结剂域电芯研发、主机厂电芯导入、系统集成和电池管理系统、实验测试等全场景扩展。

清华大学教授李哲指出,电池研发正迎来从实验试错、人工迭代向智能全自动研发的关键转型,人工智能在电池研发领域落地需要首先设计科学合理的导入路径。当前行业对智能的关注多集中于大语言模型,但真正让智能体在工业研发场景落地,有精度的核心,在于是否拥有专业的工具底座与SOP积累。电池研发领域高度依赖电化学机理、多物理场耦合、跨尺

度建模,材料数据库以及大量工程经验,通用软件工具无法满足需求,需要专业工具平台作为支撑。

在李哲看来,未来,电池研发将真正实现“需求即响应”,研发人员只需提出性能、寿命、成本等目标,软硬结合、干湿闭环的研发智能体即可自主完成设计、仿真、制样、测试与优化迭代。依托自主可控的电池工业软件工具底座与“机理+AI”融合的混合科学计算新技术,中国电池研发有望实现效率跃升与成本骤降,电池研发/生产部门与电动汽车等下游企业将获得更高的利润空间。

“未来,储能电站绝不是把电池像积木一样拼起来即可,而是一套极度精密的系统。”杭州科工电子科技股份有限公司董事长刘爱华举例,比如控制电池的“大脑”——电池管理系统和能量管理系统,以前按死规矩充放电,但在未来的电力市场里,能量管理系统须具备“自进化”的AI大脑。

## ■应用端: AI把储能电站变成“精算师”

AI按下幕后研发“快进键”,也把当前的储能电站变成了“精算师”。

“好电芯不等于好系统,哪怕电芯能充放电1万次,如果外面的系统设计不足,最后可能只能用6000次。”刘爱华强调,当前主流储能电池设计方案在未来每天两充两放的高频次、20年系统寿命长周期的严苛考验下,可能仅是“过渡电池”。因为电芯

寿命与系统寿命之间存在6—8折的折损系数,如果系统设计不专业,电芯再高的循环次数也会被浪费。

在这种痛点下,AI大数据的介入成为储能系统破局的关键。未来的储能是高度专业的系统工程。能量管理系统不再依赖简单的调度或天气预报,而是通过AI深度学习历史负荷变化、实时风光功率,甚至聪明地“制造”出赚差价的机会,实现储能电站收益的最大化。“有专家算过一笔账,同一城市、同等规模的两个储能电站,谁的AI策略更聪明,谁的收益就能比另一家多出一倍。”刘爱华说。

那么,面对储能研发、应用、运维的AI浪潮,企业如何避免“起大早赶晚集”?业内认为,一是构筑AI演进的“燃料库”。数据是AI时代最核心的资产。企业不仅要规范实验数据,还需要将技术对话录音等信息转化为数据资产。同时,针对电芯研发存量数据少的痛点,利用已验证的高精度求解器,主动生成“电芯型号数据库”。二是聚焦核心算法,专注“AI+物理世界”的混合计算。三是打破“两张皮”现象,推动数字化部门与一线业务的深度融合。当前许多企业存在“AI部门干AI的,研发部门不跟进”的割裂局面。破局之道在于推行“双轨并行”。

## ■AIDC: 推动储能需求全方位重构

不容忽视的是,储能产品AI化也给应

用端算力带来历史性机遇。天合储能电力电子研究院院长余鸿对《中国能源报》记者表示,AI数据中心(AIDC)已成为全球储能最大的增量市场。相比传统数据中心,AIDC具有“极高功率消耗”和“极高波动性”两个特征。这使得储能从传统的“备用电源”跃升为AIDC不可或缺的“调节资源”与“兜底屏障”。

面对AIDC带来的高耗能、高波动特性以及高可靠性要求,单纯的电芯性能提升已无法满足系统级需求。“AIDC一个最大特征是功率短时大幅波动攀升,因此形成了一个特殊的能源短缺问题与保供需求。”余鸿表示,储能能在AIDC场景下的角色正在发生根本性转变。

双登股份董事长杨锐预判,未来5年全球AIDC智算中心储能需求将迎来指数级增长,成为拉动新型储能产业增长的核心引擎。这一赛道已不再是细分领域,而是通往AI工厂时代的“主航道”。AIDC智算中心的算力特性、用电逻辑发生根本性转变,直接推动储能需求实现全方位重构,主要体现在,从应急备用转向多元价值创造、从平稳负荷转向超精密瞬变、从单一适配转向算网协同。

在业内看来,企业要树立“专业主义”,以AI赋能全生命周期收益管理。企业应借助AI工具,将散落在工程师个人电脑里的经验汇聚成企业的“智能大脑”,用AI武装储能采购、研发、生产、运维全链条,从而在即将到来的AIDC储能“大考”中,建立起真正的“护城河”。