

# 具身智能仍需破解用能难题

■本报记者 杨沐岩

近期,具身智能频上热搜:宇树机器人极寒13万步走出冬奥雪圈图案、特斯拉部分车型产线或转为生产机器人、今年春晚具身机器人将再次登台献艺……

去年以来,我国机器人产业不断“破壁”,具身智能向纵深加速。“十五五”时期,我国具身智能产业有望在产业配套和应用规模上形成系统优势,实现多环节并跑、重点领域领跑。当前,越来越多的机器人产品走出实验室、走入大众视野。机器人参与供电设备巡检、汽车产线装配、高压电力作业……能源领域正为具身智能落地应用提供大量场景。

虽然机器人用于能源,但也困于能源。续航短、能耗高正成为制约具身智能发展的“痛点”。如何让机器人“走”更远?能量密度更高、更轻量的电池必不可少,同时,更高效的系统、更节能的电机也是机器人提升能效的关键。

## ■“用武之地”不少

什么是具身智能?简单来说就是“人工智能+机器人”。智能体是大脑,机器是身体,具身智能可以拥有像人一样的感知、学习和与环境动态交互的能力。

作为与氢能、核聚变能、量子科技等并列的未来产业,具身智能有望通过探索

多元技术路线、典型应用场景、可行商业模式、市场监管规则,成为我国新的经济增长点。近年来人工智能与机电一体化融合背景下,我国具身智能产业快速发展,一批机器人产品走出实验室,广泛应用于家庭、工厂和公共空间。而在能源领域,特别是电力行业,机器人更有不少“用武之地”。

去年的“十五运”期间,机器人被用于赛事电力保供。在天河体育场外,四足机器人“小巡”身背摄像头、红外热成像仪和传感器,实时捕捉电力设备运行状态。广州天河供电局配电部副经理刘秦铭说:“以往要6人团队进行的巡检任务,如今2台机器人就可以实现,效率较传统模式提升300%。”

此外,还有人形机器人“知行者1号”,可配备在变电站、配电房等电力生产场所,完成设备巡视、红外测温、局放测试等巡检任务。不同于四足机器人爬行,人形机器人直立行走,双腿能通过鹅卵石、电缆沟盖板等复杂路况,“灵巧手”也可完成部分精细操作。

除人形机器人和四足机器人外,轮式机器人在汽车装配产线落地、电力带电作业机器人实现电力高压操作。不少机器人企业从工业制造、物流、巡检等需求刚性、场景相对结构化的领域切入,逐步向更复杂的民用、商用场景拓展。

## ■“走多远”要看电池续航

更复杂的动作、更多样的功能背后,是更高的能耗,决定具身智能“走”多远的是能源。受限于液态锂电池能量密度、机器人躯干空间、重量等因素,多数人形机器人的续航约为2至4小时,电池容量多低于2千瓦时。例如宇树H1的电池容量为0.864千瓦时,静态续航不足4小时;特斯拉Optimus Gen2虽搭载2.3千瓦时电池系统,但也仅能维持约2小时的动态续航。

普罗宇宙机器人科技(苏州)有限公司首席技术官吴超在接受《中国能源报》记者采访时说:“人形机器人和四足机器人需要的电池特性接近,没有根本上的区别。目前来看,机器人产品对电池的不同需求,是由于产品形态的不同。人形机器人产品对电池大小有比较严苛的要求。我们的大白机器人主要应用于工业场景,对工作时长、工作效率等有较为严苛的要求。因此机器人下部比较宽大,适配比较大的电池,续航可达10个小时以上,还可以边充电边用。”

为跨越5至8小时的续航门槛,部分企业采取“换电策略”,通过热插拔技术,机器人无须在换电池时重启,理论上可实现24



普罗宇宙大白机器人完成家电产线压合工序。普罗宇宙/供图

小时不间断工作。也有企业通过高能量密度电池技术提升续航,如小鹏IRON、广汽GoMate、众擎T800等机器人搭载固态电池,续航可达4小时以上。

“从补能方式来看,换电更快、更方便,但如果在机器人工作时进行换电,可能会对电机等部件有一定损伤,也会对工作精度造成一定影响。相比之下,充电的方式整体来说更柔和,但充电耗时久,可能会降低机器人的使用率。”吴超表示,多数机器人公司并不会自行设计和生产电池,能做的就是根据自身产品设计选取合适的电池。续航和轻量化不可兼得,要看产品属性和设计团队的取舍。

## ■能效提升是关键

“伴随着电池技术的发展,未来固态电池、氢能电池等新技术成熟后,也会给我们带来更多续航、小体积的电池产品。比如,固态电池会体积更小、也更稳定,应用潜力很大。”吴超表示。

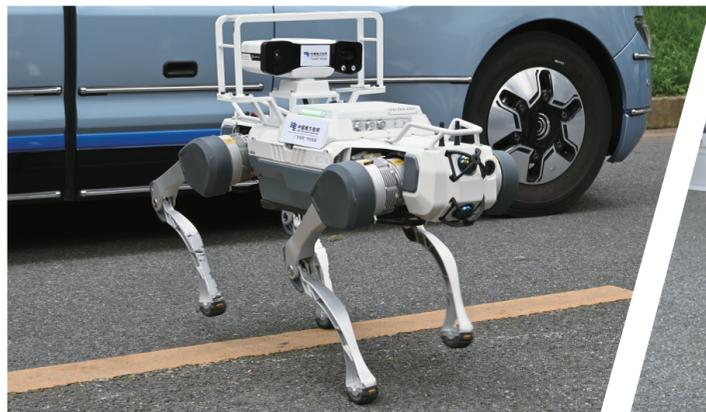
集邦咨询预计,伴随未来对长续航、高负荷工作的要求增加,仅人形机器人一个领域对固态电池的需求就将于2035年超过74吉瓦时,较2026年增长千倍以上。但

当前机器人关节设计、构型选择、AI边缘算力等核心技术快速迭代,电池的定制化开发面临较大不确定性;机器人产业的首要目标仍是寻找大规模商用化场景,续航力改善是次要任务。刺激机器人电池技术达成关键突破的条件尚未形成。

那么,除了在电池上下功夫,机器人还能在哪些方面改善能效?软件、硬件是重要的切入点。

“如果开发的模型不成熟,每一步都会有很多算法。只有到后期模型成熟了,计算才会少一些。”吴超说,算法对能耗会有一些影响,算法不成熟、运算量较大,就需要更多能耗。但相比软件,硬件的影响更大,尤其是电机。“如果能进一步优化电机等硬件产品,机器人整体能效将大幅降低。”

目前,有外国企业正尝试在机器人电机上引入动能回收技术,让机器人在搬运重物时,回收部分行走和手臂动作产生的能量。当前,动能回收技术已经在电动汽车上广泛应用,可以在不踩加速踏板、电机不出力时,让车辆通过惯性发电,补充电能、提升续航。同理,当机器人完成某一动作,电机转速降低时,理论上也可实现动能回收,减少能耗。



搭载全景摄像头、红外热成像仪和局放传感器的智能机器狗。杨沐岩/摄



南网科技作业监督机器人。杨沐岩/摄

# 我国首个城市中心抽蓄电站累计发出绿电突破百亿千瓦时

本报讯 2月3日,我国首个建在城市中心的抽水蓄能电站——广东深圳抽水蓄能电站(以下简称“深蓄电站”),投产以来累计发出绿电突破百亿千瓦时。该电站以高质量运行增强深圳电力可靠性,促进绿色低碳美丽城市建设。

深蓄电站位于深圳市盐田区和龙岗区之间,装机规模120万千瓦,2018年9月全面建成投产。截至目前,已累计为深圳发出绿电103.2亿千瓦时,相当于深圳450万居民用户一年的用电需求。

据了解,深蓄电站安装4台同时具有“抽水”和“发电”功能的30万千瓦机组。当城市用电负荷低谷时,利用机组抽水功能,把下水库的水抽至上水库储能;用电负荷高峰时,放上水库的水到下水库,利用机组发电功能为深圳供电,实现水能和清洁能源按照城市电力需要灵活转换。“电站调节能力接近深圳最高电力负荷的1/8,用电高峰时段可满足120万台家用空

调同时开启的负荷调节需求。仅2025年,电站就启动超过4000次,同比增长12%,创历史新高。”南方电网储能公司深圳蓄能发电公司总经理李健超介绍。

通常情况下,城市中心也是电力负荷中心,抽蓄电站距离城市中心越近,电力传输损耗越小,发挥调节功能越强。然而,抽蓄电站占地一般在3000亩至5000亩之间,高低落差需达到300米以上,加上地质、成库条件等因素限制,我国抽蓄电站主要布局在距离城市50至80公里的郊区大山里。

深蓄电站规划建设充分利用了深圳原有盆地、水库的自然资源优势,结合城市地貌建设电站,开创了我国把抽蓄电站建在城市中心的“先河”。电站建成后,建设运维者们通过植树造林、设立体验展区、开展开放日活动等举措,把深蓄电站打造为深圳市集电力调节、休闲踏青、科普参观于一体的绿色能源“新地标”,累计



我国首个城市中心抽水蓄能电站——广东深圳抽水蓄能电站。王耀广/摄

向200多万市民免费开放。

据悉,当前深蓄电站的建设模式已在广西贵港等地复制推广。“如果能把抽蓄工程和绿地融入城市环境,未来会有更多电

站建在城市中心。这样不仅能提高城市的电力保障水平,还将为市民提供更多的工业旅游新去处。”南方电网储能公司规划发展部副总经理喻皓星表示。(黄昉)

# 我国压缩空气储能技术研发获重大突破

本报讯 近日,由中国科学院工程热物理研究所联合中储国能(北京)技术有限公司(以下简称“中储国能”)研制的全球首套、单机功率最大的压缩空气储能压缩机,通过具有CNAS资质的第三方测试。



先进压缩空气储能系统压缩机。

测试结果表明,该压缩机最高排气压力达

10.1MPa,最大功率101兆瓦,变工况范围为38.7%—118.4%,最高排气压力下的效率为88.1%,达到国际领先水平。

压缩机是压缩空气储能系统最重要的核心部件之一,其作用主要是在储能时,将常压空气压缩至高压状态,并储存于储气装置中,实现将电能转化为空气的压力能和热能的过程。中国科学院工程热物理研究所通过自主创新,突破了总体设计及优化、全三维流动优化、长转子复杂轴系结构设计、高效变工况控制等关键技术难题,研制成功了国际首套单机功率超过100兆瓦的压缩空气储能压缩机。该压缩机具有完全自主知识产权。相比已有压缩空气储能压缩机,其单机功率提高100%以上,单位成本大幅降低,同时具有效率高、压力大、运行范围宽等优点。

据了解,中国科学院工程热物理研究所从2005年起开展压缩空气储能技术的研究,经过20余年的努力,原创提出了先进压缩空气储能新原理,突破了系统全工

况设计、宽负荷压缩机、高效紧凑型换热器、高负荷膨胀机等关键技术;建成了涵盖“系统设计—关键部件—集成控制”完整的压缩空气储能研发设计体系;率先建成了1.5兆瓦—10兆瓦—100兆瓦—300兆瓦先进压缩空气储能国家示范项目。该压缩空气储能压缩机的成功研制,是世界压缩空气储能技术领域的重要里程碑,将推动压缩空气储能技术迈向新的台阶。

上述相关工作得到了中国科学院战略性先导科技专项(A类)、国家重点研发计划项目、国家自然科学基金青年科学基金项目(A类)等项目的支持。

据悉,中储国能下一步将积极开展该压缩机的推广应用,并持续通过技术创新、生产制造、工程实施能力提升,实现更多重大科技装备成果的转化与推广应用,以更高效率、更优性能、更低成本的高端装备研发成果,驱动产业高质量发展,赋能国家能源转型及区域经济的可持续发展。(穆紫)

## 关注

本报讯 近年来,快速且大规模的城市化进程带来大量隐含碳排放,但这些碳排放此前未得到有效估测。针对这一技术空白,中国和奥地利两国学者组成的联合团队开展了创新性研究。联合团队构建了我国2000—2020年超高分辨率建筑存量数据库,采用生命周期评价模型,结合9种本土主要建材排放因子库,实现隐含碳排放高精度逐年量化。相关成果日前发表于《自然·气候变化》。

联合团队成员、北京师范大学教授陈子悦表示,当前城市化进入建筑存量更新阶段,建筑存量的扩张与更新迭代直接驱动了水泥、钢铁等上游建材的生产与加工,从而产生大量隐含碳排放,因此需建立建筑存量常态化核算机制,助力采取多管齐下的差异化减排策略。

该研究成果为上述目标的实现提供了技术底座。它基于卫星影像历史变化检测图像,可对建筑物新建、拆除和更新时间进行识别,从而反推历史建筑材料存量情况。该成果的一大亮点在于融合机器学习与产业生态模型,并整合多源遥感及地理空间数据。这解决了传统模式模拟准确性难保证、空间信息缺乏、统计关系难以在大尺度适用等难题。

测算显示,2000—2020年我国建筑材料隐含碳排放总量达287亿吨,占同期全国碳排放总量的19%,2013年后随着城市化增速放缓,该类排放大幅下降。联合团队预测,到2030年,该领域年均碳排放将维持在7.7亿吨水平。(袁震伟)

## 新成果精准评估建筑领域隐含碳排放