

算力爆发催生散热刚需

机器人,如何“出汗”

■ 本报记者 周林怡 杨群 王凯艺

不久前,中国制造的人形机器人“闪电”在2026北京亦庄人形机器人半程马拉松比赛中跑出50分26秒的成绩,不仅大幅刷新人类半马世界纪录,也在全球科技圈掀起热议。

与打破纪录同样引人关注的,是另一个画面:工作人员一路小跑,跟着部分机器人“手动降温”。

毕竟,热量的麻烦不只是“烫”。当芯片温度超过阈值,会触发热降频机制,导致计算效率大幅下降。业内还有一个“10℃法则”,即电子元件的工作温度每升高10℃,其使用寿命缩短约50%。具体到人形机器人场景,行业报告显示,其运行过程中约90%的能量最终转化为热量,且集中积聚在电机绕组、齿轮箱、芯片等狭小空间内难以散出。

多位业内人士和行业分析机构明确指出,散热已成为人工智能落地的下一个关键瓶颈。如今,散热的技术路线正在分化,端侧设备如手机、平板,正从石墨烯散热片、均热板(VC)转向压电等主动散热方案;云侧如AI服务器,则从风冷、热管转向液冷技术。近日,记者走进杭州、台州、宁波等地,探访企业如何布局新型散热技术,看这门“隐形刚需”产业,如何催生出新生的行业增长点。

热管理成AI瓶颈

在人形机器人马拉松赛场上,有一个常见现象:比赛前一公里,很多机器人都跑得稳稳当当,可一到中后段,纷纷出现姿态失衡、连接摔倒的情况。

“这并不是机械结构硬件能力跟不上,主要是散热跟不上。机器人依赖电池驱动,高温是影响其稳定运行的关键短板,更是制约其走向真实应用、实现长时间持续工作的核心瓶颈。”浙江银轮机械股份有限公司机器人研究院执行院长曹小军直言。早在2022年特斯拉人形机器人亮相时,银轮股份便敏锐捕捉到散热问题带来的技术需求与市场潜力,提前布局研发。目前,银轮股份机器人研究院已围绕人形机器人胸腔热管理、关节模组和灵巧手等核心零部件开展研发,重点攻坚热管理技术。

随着人形机器人应用场景不断拓展,对长时间、高负荷运行的需求日益凸显,热管理精细化程度要求更高。曹小军解释,人形机器人关节内部集中了高



2026北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松现场。

新华社发

功率电机、驱动芯片和电池等发热部件,再加上动力电池与关节执行器的热量持续累积,空间紧凑、热流密度极高,传统散热方式无法适配,需要一套融合风冷、液冷、相变材料、热管、高导热复合材料等技术的多模态协同方案,由智能控制系统按需调度。银轮股份机器人研究院组建了一支既精通机械工程原理又兼具专业设计能力的专业团队。“我们常说:设计即制造,制造即智能。只有深度融合,才能打造出适配人形机器人真实应用需求、支撑其持续稳定工作的高品质热管理产品,助力人形机器人真正走进各类应用场景。”曹小军表示。

不止人形机器人,在整个AI领域,曾经易被忽视的热管理,正成为制约AI产业规模化发展的关键瓶颈。

近两年,大模型参数从千亿级向万亿级攀升,AI训练所需的算力呈指数级增长,随之而来的是功耗的急剧上升,最终转化为大量热量。与此同时,国家政策对能耗和绿色低碳发展也提出了更高要求。《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》明确要求,到2025年底,新建及改扩建大型和超大型数据中心PUE(电源使用效率)降至1.25以内。这些硬性约束,让高能效散热方案成为市场竞争的“入场券”。

记者调研发现,浙江多地已提前布局散热业务,在液冷、先进散热材料及高端散热器件等环节加速研发。既有“老

牌”制造业企业向该领域拓展或转型,比如淳安上市企业康盛股份,旗下公司今年新开辟智能冷板产线;也有“新秀”崭露头角,比如兰洋(宁波)科技有限公司、杭州京工电科技有限公司,都专注于浸没式液冷这一新兴技术路线,共同探索着一条从“隐形刚需”走向更广阔市场的转型之路。

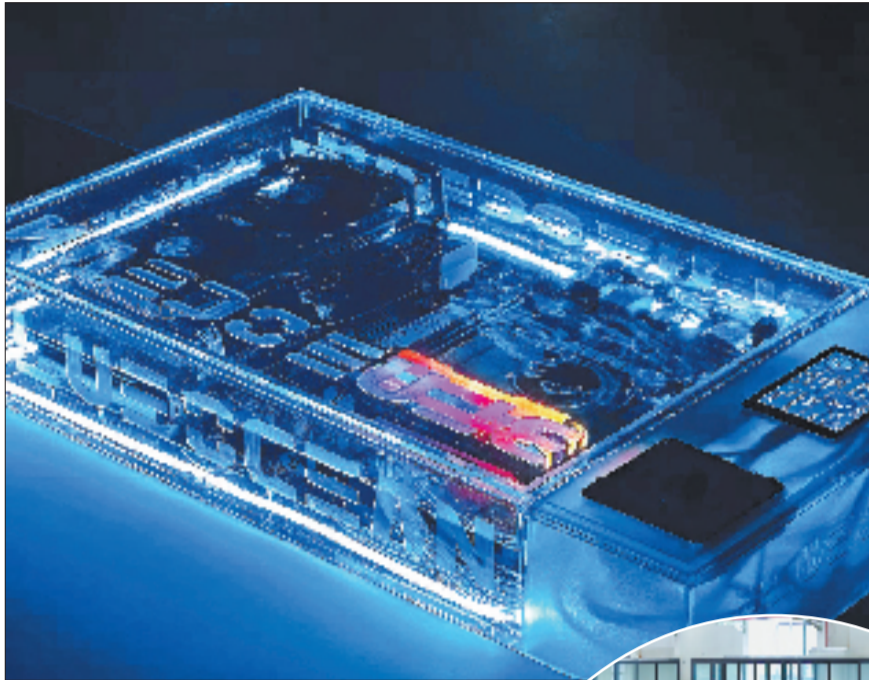
液冷跻身热门赛道

当散热成为迫切需求,技术路线的迭代也随之加速。

此前,服务器主要靠风冷,即通过加装风扇,让空气流动带走热量。功率不大时,风冷尚可应付;一旦功耗飙升,因空气的比热容和导热系数存在物理极限,风扇吹到满速也带不动。

液冷则是另一番情景。它将高比热容的冷却液引入热源,根据热力学第二定律,热量自发从高温向低温传递,温差越大,传热介质的导热能力越强,散热效率就越高。液冷利用高比热容冷却液持续带走热量,维持稳定温差,散热效率可达风冷的10到50倍,能将核心温度从100℃降至60℃以下,保障高负载稳定运行。

具体而言,目前的液冷技术主要分三条路线推进:冷板式液冷,像给发热器件外贴“冰袋”,将液冷冷板固定在主要发热器件上,无需改变原有架构,改造成



浸没式液冷产品。

受访者供图

本低,兼容性强;浸没式液冷,将服务器直接浸入绝缘冷却液中,散热效率和温度均匀性更优;喷淋式液冷,精准喷射冷却液到热源表面,适用于局部高热密度场景。

这三种路线中,浸没式的想象空间最大。走进兰洋(宁波)科技有限公司,一进门就可以看到一个大鱼缸,鱼和乌龟自在游动,底部方形密封盒里,一台算力服务器正安静运转。

“底部这个小方盒是我们自主研发的浸没式液冷产品,服务器完全浸没在盒中的导热液中。把它放在鱼缸里是想说明密封性很好,不会对环境造成危害。”兰洋科技副总经理王梦骋介绍。2019年,团队关注到这一国际前沿技术方向,从导热液到密封结构,再到智能温控算法、模块化设计,开始自主研发。仅液体导热材料一项,就攻克了90余项技术难题;液冷设备累计申请自主知识产权260余项。实测显示,这套方案可将数据中心PUE降至1.07以下,达到国际领先水平。

同样瞄准浸没式液冷的杭州京工电科技有限公司,其自主研发的高性能硅基冷却液,热传导率不小于0.16瓦每米开尔文,导热系数高于国外同类产品近3倍,意味着导热更快、散热效率更高。充电模块泡在这种液体里,就像浸入一座“恒温凉水”。整套浸没液冷产品运行噪音仅40多分贝,静音效果堪比图书



高精度铜带产品。

受访者供图



高精度铜带产品。

受访者供图

馆;同时,由于隔绝了氧气和灰尘,设备寿命大幅延长,电损比传统方案下降3%。

目前,兰洋科技的浸没式解决方案已应用于一些大型算力中心、消费电子、储能温控等场景;京工电的技术产品则在富阳零碳货运枢纽实现大规模落地。“随着技术迭代,我们不仅要做好散热产品,更要以热管理技术的创新,直接赋能AI算力的低成本建设和新能源系统的安全高效运行。未来,液冷将不再只是AI算力与新能源基础设施的“散热器”,还构建了整机可靠性与安全性的基础,助力产业升级。”京工电创始人刘安康表示。

AI催热散热市场

高性能电磁扁线、高导高强铬钴铜棒、AI服务器散热铜排……走进宁波金田铜业(集团)股份有限公司的展示厅,各类产品直观呈现着铜材在新能源汽车、AI算力、人形机器人等新兴产业的广泛应用。

“目前我们正为人形机器人驱动电机提供高性能电磁线、稀土永磁材料,确保关节动力强劲且响应迅捷。为高密度电池包供应的高导电、高强度的铜连接片和极耳材料,降低了电池包内阻,提升机器人续航与安全性。”金田铜业生产技术中心总经理项燕龙介绍。在人形机器人电机小型化、高功率化的发展趋势下,公司开发的高精密高导电微细电磁线等材料,已与国内多家机器人公司达成项目合作,小批量供货于多款型号机器人驱动及关节电机中。

在液冷散热领域,同样面临材料升级的需求。液冷系统对管道的含渣量、气孔、导电率、导热率要求较高,关系到热交换效率和长期可靠性。“硬度和强度要达到400兆帕,在保证高导热的前提下,还要让管道‘既吃得能加工又硬得扛得住’。”天台银申铝业有限公司创新事业部负责人张萌介绍,从材料端到组件端,整条供应链都在为AI算力散热的需求升级做着技术储备。

生成式AI技术的爆发,为散热行业带来新的发展机遇。作为电子产品热管理的核心环节,散热材料直接关系到设备的可靠性、稳定性和使用寿命。

眼下,市场上开始涌现出各类新型散热材料与方案。针对AI处理器对超高散热效果的需求,金田铜业突破传统铜材加工工艺,开发高精密度型无氧铜排产品,直接应用于多款顶级GPU(图形处理器)的三维蒸汽腔新型散热方案中;其自主研发的铜热管及液冷铜板产品,凭借超薄壁厚控制与高效液冷循环设计,已成功导入多家国际头部企业的算力服务器产品线……

散热这个“老行当”,正因AI越来越“热”。这场变革的终点,远不止于让芯片“凉快”下来,而是关系着算力能跑多快、机器人能跑多远,以及中国制造在下一个技术时代的竞争力。

西湖大学团队让设备“瘦身”,灵敏度提升万倍

生物分子检测有望“装进手心”

■ 本报记者 周林怡

在生物医学领域,从疾病早筛到药物研发,生物分子检测都是绕不开的一环。其难度堪比想用肉眼看清一根在微风中摆动的头发丝。

最近,西湖大学工学院教授文燎勇带领团队发布了一项最新研究成果:通过原创“辐射调Q复变传感机制”,将分子检测设备压缩至手掌大小,核心芯片成本仅大约5美元,检测灵敏度较传统方法提升超一万倍。

这一突破,让原本依赖大型仪器的精准分子检测,有机会进入社区卫生院乃至家庭健康管理场景,真正实现“把分子检测装进手心”。

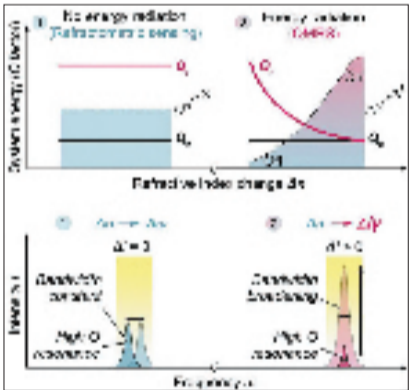
一次意外的信号

在西湖大学实验室,记者见到了这套最新检测系统:一块10厘米×10厘米的板材上,仅集成一枚3D BIC传感芯片、一个LED光源和一个光电探测器——称得上“极筒”。

一旁,传统设备对比鲜明:十余个支架撑起一组透镜,研究者需要反复微调角度,才能让光束准确耦合到芯片上,并被探测器稳定接收。“这已经是精简版,进口的整机设备得有一台双开门冰箱那么大。”文燎勇说。

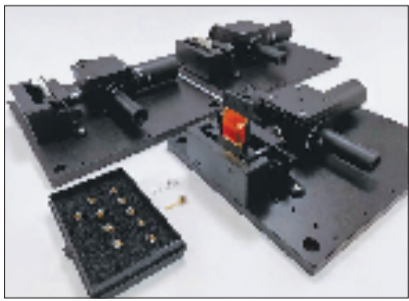
为了让设备轻量化,过去二三十年,学界的主流思路是通过提高传感芯片对“共振峰”(光谱中的特征信号峰)漂移的响应灵敏度。共振峰漂移灵敏度越高,就能捕捉到越微弱的信号,从而简化光路。其中,“高Q超表面技术”被认为是一条有潜力的路径。

文燎勇起初也沿着这个方向探索。他曾尝试将该技术用于病毒快速检测,



辐射调Q复变传感与传统峰位漂移现象对比。

受访者供图



手掌大小的检测系统。

受访者供图

却在大批量样本测试中发现,光源位置稍有波动,光路或芯片略有瑕疵,都会导致共振峰漂移,严重干扰对真实信号的判断,且测试依赖昂贵的光源和光谱仪。直到2022年,博士生孙嘉诚在一次传感实验中意外发现:在原本预期只会发生微弱漂移的共振峰附近,竟然出现了另一个信号峰。“这或许是一条全新的信号通道。”文燎勇判断。

研究方向的调整也带来了原理上的重要创新。这种检测方式主要读取波峰高度的变化,也就是光强变化,因此不再需要依赖昂贵而笨重的光谱仪,一个小光电探测器就可以完成信号采集。依



文燎勇团队成员正在进行实验。

受访者供图

靠这一新机制,该系统的光电灵敏度达到约 $3.3 \times 104 \text{ mV/RIU}$ (单位折射率变化所引起的输出电压变化),折射率检测极限低至 $3.36 \times 10^{-6} \text{ RIU}$ 。换句话说,如果把折射率变化想象成一把1米长的尺子,这套系统能够分辨出其中仅约3微米尺度的细微变化。

偶然中的必然

“可以说,我们研发过程的每一步都有唯一性。”文燎勇感慨。2019年加入西湖大学后,他一直在攻坚基于高精度微纳

结构的传感技术。其中一项关键突破,是“铝基跨尺度3D制造技术”。简单来说,这项技术可以在铝片上通过连续压印和阳极氧化,实现集成纳米、微米到宏观全尺度范围内多种材料的高精度、低成本规模化制造。目前一次就能在8英寸晶圆上印出成千上万枚高一致性的芯片,且两次对准的误差,不超过几纳米。

正是这项技术加工出的3D BIC超表面结构,为后来的“意外发现”埋下了伏笔。该结构通过芯片垂直方向上的不对称性来调控光的泄露过程,既能放大光强变化,又能减少对表面形貌的依赖。“这个结构设计足够稳定和精密,意

味着芯片对加工误差更宽容,信号读取更稳定,且可以重复批量化制造,试错成本就更低了。”孙嘉诚解释。

更让团队兴奋的是,这也为该项技术未来走向规模化生产打开了通道,使其有机会进入更多应用场景。传统超表面光学芯片生产效率低,成本高,一片动辄数千元。而运用现在的技术,单片核心芯片成本已降至5美元,且团队已形成较完整的全链条自研能力,使该技术具备了标准化、工程化和规模化复制的基础。

如今回头看,那一次“多出来的峰”之所以没有被当作故障率放过,恰恰因为团队一直坚持积累原创性、可反复验证的

制造能力。“没有前些年扎实的制造工艺积累,再幸运的意外,也可能只是一次被遗忘的异常数据。”孙嘉诚说。

走进百姓家,还有多远

成果初现后,文燎勇一直希望能尽快将其推向市场。带着这个愿望,在一次学术会议上,他与厦门大学电磁声学研究院院长朱锦峰教授一拍即合,决定将这款设备应用于肺癌相关小细胞外囊泡的检测。

这类囊泡是液体活检领域的重要标志物,但在早期患者体内含量极低,检测难度很大。团队收集了171例临床血清样本,涵盖了早期肺癌患者、术后康复者及健康对照人群。结果显示,该方法的检测灵敏度比传统ELISA方法(酶联免疫吸附测定法)提高约一万倍。在临床血清样本验证中,该平台用于早期肺癌筛查的AUC值(药物在血液中浓度随时间变化曲线下所覆盖的面积,该值是关键的药代动力学参数)达到94.9%,用于术后疗效监测的AUC值达到92.1%。AUC是临床诊断研究中常用来衡量模型区分能力的指标,数值越接近1,说明区分能力越强。这也意味着,它不仅能更早“嗅”到癌变信号,还能辅助医生判断手术效果。

为了让这项技术尽早惠及公众,团队已经制作出一台手掌大小的小盒子样机。但文燎勇也坦言,离真正走进百姓家还有不短的路要走。团队正加紧推进临床验证和工程化优化,他们的目标很明确:将这类手掌大小的新型纳米光子生物传感设备,推向基层医疗、桌面化研发和现场检测场景。

或许不远的未来,凡是需要高灵敏、无标记、快速捕捉分子结合的场景,这个“掌中宝”都可能派上用场。