

向电鳗学习,他们让机器“隔空探物”

■本报记者 李媛 通讯员 王恪

在自然界中,电鳗能在浑浊水域里精准捕食,靠的不是眼睛,而是一种“电场感知”的特殊能力。

西安电子科技大学空间科学与技术学院副教授张维强团队从这一生物现象中获得灵感,成功研发出一种新型的仿生非接触感知技术,为智能制造、人机交互和工业检测等领域带来了新的想象空间。近日,相关成果发表于《先进材料》。

灵感来自电鳗

电鳗能够主动在身体周围建立一个电场,并通过感知外界物体对电场的扰动来判断环境。团队正是借鉴这一机制,在工程实现上利用经过电晕极化处理的含氟聚合物驻极体材料,构建了一款固态仿生静电场传感器。

“我们不是完整复制电鳗的生物系统,而是借鉴它‘建立电场—感知扰动—提取信息’的基本思想。”张维强概括了研究的核心思路。

这块驻极体材料可以通俗地理解为一颗微型的“静电电池”。张维强解释说:“它经过‘充电’后能够长期保持电荷状态,在传感器周围形成一个相对稳定的准静态电场。你可以把它想象成在传感器周围布下了一张看不见的‘电场蜘蛛网’。”

当任何目标物体,无论是金属、塑料、玻璃还是人的手,靠近这个区域时,其自身的导电性、介电特性和几何边界都会改变局部电场分布,就像石子投入水里会泛起波纹一样。这种变化会在传感器的接地背电极上产生可测量的电势调制信号,从而实现对非接触感知。整个感知过程不依赖主动发射信号,无需机械接触,也不受环境光照条件影响。

这项研究是在团队前期围绕摩擦纳米发电、自驱动传感和界面电荷行为等方向的长期积累基础上推进的。“传统摩擦电传感器更多强调接触或机械运动带来的电信号变化,而我们的研究进一步把关注点从‘接触界面电荷行为’延伸到‘非接触电场扰动感知’。”张维强说。

敏锐的“电场触角”

传感器的灵敏度有多高?张维强给出



张维强(左)与刘明鑫在实验室合影。

西安电子科技大学供图

了一个直观的数据:“位置移动 50 微米就能产生约 1 伏特的电压变化。”50 微米大约是一根头发丝直径的一半,这意味着传感器足以捕捉到极其轻柔的指尖划过。在超过一万次的接近—远离循环测试后,其信号响应依然保持稳定,未出现明显衰减。

更重要的是,这套感知系统对各类材质具有广泛的适应性。“不同材料对电场的‘扰动’方式各不相同,就像每个人都有不同的指纹。”张维强用这个比喻来解释技术的核心优势。这项技术对金属、聚合物、玻璃、木材等均可产生响应,系统通过分析这些独特的“电场扰动指纹”,就能获取目标的信息。

当然,静电场感知容易受到环境湿度、表面残余电荷等因素影响。团队对此进行了系统评估:在不同湿度条件下测试传感器是否仍能保持有效响应;采用离子风机对样品进行消电处理,并通过表面电势分布测试和对照实验区分表面残余电荷引起的扰动与真实信号。“看到信号差异之后,我们并没有马上下结论,而是经过多轮对照验证才逐步作出判断。”张维强说。

基于这种敏锐的电场扰动感知能力,张维强带领团队通过标准化运动轨迹采集不同材料的扰动信号,成功实现了对多种典型材料的非接触识别,验证了该技术在多个场景中的应用潜力。“不同材质、不

同表面特征对电场的扰动信号在幅值、波形上存在差异,我们通过特征提取和程序判断把这些差异转化为分类结果。”张维强表示。

这就意味着,在自动化回收、流水线分拣等场景中,机器可以“隔空”判断物品材质,实现智能分类。即便两个物体颜色相同、外观相似,只要材质不同,传感器就能“感觉”出它们的区别。

从实验室到生产线

手势识别是另一个让人充满想象的场景。手部在传感区域附近运动时,不同手势对应不同的运动轨迹,会产生各具特点的电场扰动波形。研究团队采集这些信号后通过神经网络进行学习和分类,再将识别结果与机械臂控制系统相结合,实现了从“手势输入”到“机械臂动作执行”的完整闭环。

“无需穿戴任何设备,只需在传感器前方做出简单的滑动、点击或抓取手势,机械臂就能准确执行相应动作。”团队成员、西安电子科技大学硕士生刘明鑫介绍,操作人员隔空挥一挥手,机械臂就能完成抓取、搬运等任务,这在医疗隔离操作、危险环境作业或助残设备中都具有重要的应用价值。

工业无损检测也是这项技术大显身手的领域。在高端制造业中,产品表

面的涂层质量至关重要,微小的气泡、刮痕或厚度不均都可能导致产品性能下降。传统的视觉检测在面对透明涂层或复杂曲面时常常力不从心。而这项基于电场扰动的技术恰好能弥补这一短板。“涂层缺陷会改变局部的介电特性,从而在电场中留下独特的‘信号印记’,传感器能够敏锐地捕捉到这种变化。”刘明鑫说。

团队以导电膜玻璃、不锈钢/聚酰亚胺复合材料和紫外固化聚甲基丙烯酸酯(PMMA)涂层为对象进行了实验,结果显示不同缺陷程度会形成具有差异性的电场扰动信号。结合轻量化神经网络模型,系统在三类样品上均取得了较好的识别效果。无论是导电薄膜上的缺失区域,还是绝缘涂层下的隐藏瑕疵,这项技术都有望实现精准检测。

面向未来,这项技术可以在智能制造、机器人近场感知、装备状态监测和人机交互等方面继续探索。

在智能制造中,它可以作为视觉、红外、电感等方法的补充,用于一些不适合接触检测、光学条件不稳定或材料类型较复杂的场景。在机器人领域,张维强描绘了这样的场景:“传感器有望为机械臂提供近场感知能力,使机器人在接触目标之前就能获得一定的接近状态和相对位置变化信息,从而提升操作的安全性和智能化水平。”

结合空间科学与技术学院的学科背景,团队也关注这类技术在航天装备状态监测中的潜在应用。例如,未来在空间机器人操作、航天器舱外设备检查、机械臂安全接近以及在轨维护等场景中,低功耗、无接触、对光照依赖较弱的近场感知技术可能具有独特的补充价值。

从实验室到生产线,这项成果离真正用于工业现场或复杂装备还有较长距离。“后续还需要系统评估长期稳定性、工程封装、信号鲁棒性、算法泛化能力以及在真空、温度循环、辐照、复杂电磁环境等条件下的可靠性。”张维强坦言,“不同技术各有适用边界,未来更现实的方向可能是多传感融合,而不是单一技术完全替代其他技术。”

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1002/adma.73903>

第七届国际柔性电子技术大会召开

本报讯(记者高雅丽)近日,第七届国际柔性电子技术大会在浙江嘉兴召开。本届大会由清华大学柔性电子技术国家级重点实验室、浙江清华柔性电子技术研究院、中国生物医学工程学会柔性生物电子及可穿戴医疗分会共同主办。

大会现场发布了电子皮肤、可代谢的生理监测贴片、超柔性脑机接口、4D 打印技术、0.1 毫米微型机器人等依托于柔性电子技术的前沿科技成果。

清华大学教授冯雪在会上介绍了浙江清华柔性电子技术研究院(以下简称柔电院)最新技术进展。当前,柔电院已建成国内领先的柔性集成器件制造中试平台。近三年,中试平台累计服务企业百余家,技术交易与合同额突破千万元。

大会还特别设立产学研圆桌论坛,邀请产业界与学术界专家同台对话,围绕柔性电子技术的产业化路径、中试平台建设、跨学科协作与政策支持等议题展开深入探讨。大会同期举办柔性电子技术创新创业大赛,通过“汇智全球、产学研协同、创赛联动”的模式,进一步挖掘行业新锐力量,加速硬科技成果从“实验室”迈向“应用场”。

两项牦牛相关农业行业标准获批

本报讯(记者叶满山)近日,农业农村部发布第 1018 号公告,中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所起草的《畜禽品种(配套系)天祝白牦牛》《牦牛无角性状基因型测定 PCR 法》两项农业行业标准获批,将于今年 10 月 1 日起正式实施。两项标准的发布填补了特色牦牛品种认定与无角基因检测的标准化空白,为全国牦牛种质资源保护、分子精准育种提供统一技术规范。

其中,《畜禽品种(配套系)天祝白牦牛》修订替代 2008 版旧标准,优化完善了品种界定、体尺体重、生产性能、繁殖性能等核心指标,新增品种溯源、等级评定等规范,明确品种标志性特征。

《牦牛无角性状基因型测定 PCR 法》为全新创制标准,统一了牦牛无角性状基因检测的样品处理、试验操作和结果判定流程,适用于育种及科研场景下的种牛早期基因筛查。

两项标准依托农业农村部青藏高原畜禽遗传育种重点实验室,由国家肉牛牦牛产业技术体系专家牵头制定,构建起“种质鉴定+基因选育”完整标准链条,将全面规范牦牛保种、繁育、检测全流程工作,助力高原牦牛产业良种化、标准化发展,推动高寒畜牧业提质增效。

按图索技

科研团队破解超导量子计算“速度与保真度”矛盾

本报讯(记者赵广立 通讯员陈友敏)近日,记者跟随“活力中国调研行”来到安徽合肥。在调研中记者获悉,量子计算科创企业“本源量子”与中国科学技术大学联合研究团队创新性提出的“参数空间扩展受控相位门(PSE-CZ)”方案,成功破解了超导量子计算领域长期存在的速度与保真度相互制约难题,让两比特量子门在保持高速的同时大幅提升精度。实验验证工作已在我国自主超导量子计算机“本源悟空”上完成,相关研究成果日前发表于《物理评论快报》。

据介绍,量子计算机要完成复杂计算,离不开“量子门”的基本操作。稳定可靠的量子计算,要求量子门同时具备超快操作速度与超高运算保真度。长期以来,这两点一直存在难以调和的矛盾:量子门操作速度越快,硬件波形失真,时序偏差等运动就越明显,从而导致精度大幅下降;如果为了保证准确率放慢速度,又会拖累量子计算机的整体运行效率。这也是制约量子计算机发展的关键瓶颈。

本源量子测控科学家杨小燕向《中



“本源悟空”超导量子计算机。

本源量子供图

国科学报》介绍,“参数空间扩展受控相位门(PSE-CZ)”方案在不延长脉冲时间的前提下,通过将脉冲中间区域的失谐量拆分为两个独立可调的参数,为系统增加了一枚“调节旋钮”。依靠这一创新机制,系统可同步纠正泄漏和相位两类误差,实现速度与高保真度的兼项。

据悉,该方案不仅适配超导量子计算体系,还可推广至离子阱、固态自旋等多种量子计算平台,有望实现更快、更高保真的量子逻辑操作提供新方法。

相关论文信息:

<https://link.aps.org/doi/10.1103/x>

d7q-2kf9

集装箱

我国核电行业首个数字化科普平台“核谐星球”上线

本报讯(记者朱汉斌 通讯员朱丹)8 月 7 日,中国广核集团有限公司(以下简称中广核)第十四届“8·7 公众开放体验日”主场活动在广东阳江核电基地举行,全国十大核电基地同步联动。会上,中广核发布面向社会公开招募科普“核伙人”的长效机制——“春和计划”,并同步上线我国核电行业首个数字化科普平台“核谐星球”小程序。

记者获悉,从单一预约工具拓展为全链路科普服务平台,“核谐星球”小程序基于“硬核 walk”核电工业旅游预约系统升级,此前该预约系统已累计服务超 6 万人次。预约、资源管理、活动发布、数据看板、文创商城、人才库六大模块数据互通,面向教师、村民、旅行社经营者及公众开放不同入口。活动当天,中广核各核电基地与项目周边 12 所学校完成“核

南开大学与字节跳动共建数学与智能联合实验室

本报讯(记者陈彬 通讯员刘莅萱)近日,南开大学陈省身数学研究所、数学科学学院与字节跳动正式签约,共同成立数学与智能联合实验室,深化数学基础研究与人工智能前沿领域交叉创新,打造产学研深度融合的高水平协同创新平台。

当前,基础数学是人工智能大模型迭代升级、核心算法突破、推理能力跃升

的底层支撑,数智交叉融合已成为前沿科技攻关与产业创新的核心方向之一。南开大学与字节跳动将依托各自在基础数学研究与人工智能技术应用领域的优势,围绕人工智能与数学交叉融合开展深度合作,推动数学科研工具创新与大模型推理能力提升。此外,联合实验室还将在人才培养等方面开展全方位合作,努力打造数学与人工智能交叉领域的重

要创新平台。

据悉,南开大学数学学科源于 1920 年姜立夫先生创建的算学系,是当时中国大学第二个数学系。经过几代南开人的努力奋斗,特别是自 1985 年陈省身先生回母校创建南开数学研究所(现陈省身数学研究所)以来,南开大学数学学科已建成专业门类齐全、研究实力雄厚的数学自主研究和人才培养基地。大部

专家讲坛

今年夏天,极端高温天气让居民感受到不开空调已经无法度日的酷热。近日,江苏徐州一个居民小区的制冷方式吸引了很多人的关注,不开空调,室温也能维持在 25℃ 左右,秘诀就藏在脚下。当地将关停煤矿的矿井积水,通过原有的供暖管道送入居民家中,靠地板辐射“送凉”。

这个项目让人眼前一亮,也带出一个值得深思的问题:集中供冷在南方部分新区已有一些尝试,甚至在传统供暖城市实现了冷热双供。那么,这种模式能不能在我国城市里大规模推广?

空调越装越多,集中供冷为何迟迟推不开

过去 20 年,中国人的制冷需求爆发式增长。一是天气越来越热,极端高温天数一年比一年多;二是生活条件改善,空调从少数家庭的“大件”变成了家家户户的标配。

相比一家一户的分体空调安装,“集中供冷”在国内推进缓慢。“集中供冷”在行业中通常被称为“区域供冷”,就是建一个大型“制冷站”,统一制取冷水,再通过管道送到各家各户,跟集中供暖一个思路。这项技术在全球已有超过 100 年历史,在中国也摸索了 20 多年。

集中供冷有几乎好牌。第一,冷源效率高、成本低——大型制冷机组能效远胜家用空调,而且办公楼白天用冷多、住宅晚上用冷多,两者的高峰时段天然错开,集中供冷可以攒在一起用一套设备,不用为每家每户单独配置。第二,方便调峰储能——晚上电价便宜时制好冷存起来,白天高峰时用,用电成本更低。

牌好不等于能赢。集中供冷之所以推不开,是因为传统模式身上有几个“硬伤”,一直没解决好。

先说冷源。中国人用空调有好习惯:有人时开机、无人时关机,不浪费。但传统集中供冷做不到这么灵活,冷量在管道里跑一路散一路,用得越少,散失的比例越高。再加上居民电价远低于工商业电价,同样是制冷,分体空调走的是“居民电”,集中供冷走的是“工商业电”,这笔账算下来差距不小。

徐州项目的聪明之处在于绕开了电。矿井水是天然冷源,取冷不费电,冷源成本低。但这条路不是哪儿都能走:天然冷源并非随处可得,而且单位体积能提取的冷量有限,撑不起高密度的城市用冷需求,解决不了大多数城市的供冷问题。

再说输送。送冷比送热难得多。集中供热靠的是大温差,把热水进去 90℃ 以上,回来 40℃,温差 50℃ 以上,一根管道能搬运很多热量。集中供冷就尴尬了:冷水送过去一般不低于 5℃ 左右,回来不超过 15℃,温差顶多 10℃,同样的管道,能搬运的冷量只有热量的十分之一。更糟的是,管道里水泵耗电会产生热量,供暖时这是“顺便加热”,供冷时却成了“帮倒忙”。因此,供冷的输送成本远高于供热。

把其他季节的冷留给夏天,行得通吗

无论是分体空调还是集中供冷,都绕不开一个共同的麻烦——给电网添堵。在不少大城市,空调在夏季最热那几周的用电量占到了整个电网的四成以上,而且年年上涨。一年里制冷最需要电的时间就集中在酷暑那几周,这也是所谓“迎峰度夏”的最大压力来源。

徐州项目的最大亮点不在于开采矿井水本身,而在于它提供了一条思路:把其他季节的冷存

到夏天用。矿井下的水体和周边低温土层,天然就是一个巨大的“冷库”,春夏秋冬循环往复,热量渗入极慢,冷量可以跨季节保存。这样一来,冷源不必和夏季用电高峰抢电,成本和可靠性都有了保障。

其实,跨季节储冷并不是什么新鲜事。日本北海道把冬天的积雪堆起来,盖上隔热材料,夏天用来给建筑降温 and 农产品保鲜。哈尔滨每年从松花江采冰,存到夏天供冰场使用。

有人可能会问:存那么久,不都化完了吗?答案是,只要体量够大,损失就不是问题。一块冰放果上一会儿就化了,但一座冰窖里的冰能从冬天撑到夏天。因为体积越大,热量渗进去的相对速度就越慢。大规模地下储冷体量动辄几亿立方米,被厚实的土壤和岩层包裹着,一个春夏过去,大部

集中供冷，能否在我国大规模推广

■付林

分冷量还在。

说到这里,集中供冷和跨季节储冷的“天作之合”就清楚了:储冷规模这么大,只有靠集中式管网才能把冷量配送到千家万户,分体空调的“单打独斗”根本接不住。

跨季节储冷还有一个更深层的妙处,它天然适合和供热“搭班子”。拿我国北方城市来说,冬季供暖是刚需,如果单独为储冷建一套地下储体,一个夏天用不了几次,设施大部分时间闲置,成本摊下来很贵。但如果把冷和热当成一对“共生兄弟”来看,局面就豁然开朗了。

夏天供冷时,制冷机组会排出大量废热——传统做法是直接排到室外,白白浪费。冷热联做的思路则是,把这部分废热灌入地下储体存起来,冬天取出来供暖。更妙的是,冬天取热的过程本身就让储体温度大幅下降,相当于“免费”生产了大量冷量,留到来年夏天再用。同一座储体,夏天“吃”进热量、“吐”出冷量;冬天反过来“吃”进冷量、“吐”出热量,一年到头不闲着,设施利用率翻倍,分摊到每个季节的成本自然大幅下降。

离大规模集中供冷还有多远

在国家“双碳”目标和新型电力系统建设的大背景下,集中供冷迫切需要换个“打法”。新思路的核心是,冷源不再依赖“夏天最热时用电猛制冷”,而是转向天然冷源和冬春季弃电制冰;再通过跨季节储冷把冷量留到夏天用;最后,北方城市现成的供暖管网正好可以把冷量经济地送到千家万户。这样,冷源、储冷、输冷三个环节才能打通,集中供冷才有望真正走进寻常百姓家。

除了徐州的矿井水工程,这套模式在我国已有落地案例。济南 CBD 南部能源中心跨季节储冷试点工程 2025 年已建成投运,储冷规模 7000 立方米。它的做法是在冬春季节利用电网富余的廉价电力制取冰浆,存到夏季为周边建筑供冷调峰,同时兼顾储热用于冬季供暖调峰。

更令人期待的是,一个 18 万立方米的大型跨季节储冷(热)工程正在济南建设,预计 2027 年投运,可以为 100 万平方米以上的商业建筑提供供冷调峰服务。

当然,这种新型集中供冷模式要想大规模铺开,光有点子还不够,技术和政策两个轮子都得跟上。

技术层面,关键是把成本降下来。核心一招就是冷热联储——同一套储体冬夏两用,冬天存冷、夏天存热,全年轮着转,把设施利用率拉满,单季分摊的成本就薄了。

政策层面,更需要给跨季节储冷(热)一个“名分”。目前国家大力支持新型储能,但主要聚焦在储能。跨季节储冷(热)对电力系统削峰填谷的贡献丝毫不亚于电池储能——它把冬春的富余电力存成冷量,替夏季电网卸下最重的空调负荷包袱。把跨季节储冷(热)纳入国家新型储能支持范畴,建立合理的定价与补偿机制,它的真实价值才能真正显现,市场才有动力参与。(作者系清华大学建筑学院教授)