

柔性屏，打开“显示”新视窗

赵志远 郭云龙 刘云圻

国际
科技前沿

近年来，显示技术加速从“刚性”向“柔性”升级。柔性显示凭借“能屈能伸”的特性，越来越多地应用于消费电子、商业空间、智能交互等领域。近日，中国科学院化学研究所研究团队成功制备出高性能可拉伸高分子发光二极管(PLED)，其光电性能和机械稳定性显著提升；不久前，韩国LG显示公司也展示了其可拉伸显示屏原型，可实现约53%的拉伸变形。一系列突破性进展，正为柔性显示的快速发展奠定重要基础。

从可折叠手机到弯曲屏手环，从车载柔性屏幕到大屏户外广告，柔性显示凭借可弯曲、超轻薄、高对比度等特性，突破传统屏幕的物理限制，创造出边缘弯曲、整屏弯曲、折叠与卷曲等新形态。它推动相关产品朝着“万物皆显示”的愿景迈进，正在重塑人机交互的边界，催生规模巨大的新一代产业集群。

柔性屏是如何“炼”成的

柔性屏绝非简单地将传统玻璃屏“掰弯”，要实现这一功能可谓“牵一发而动全身”。它像一个由基底、电子元器件、封装薄膜和盖板等构成的多层“彩虹蛋糕”，当“蛋糕”的每一层都具有柔性后才能实现整体的弯曲和折叠，同时要确保屏幕的显示效果和耐用性。这就需要柔性基底材料、核心电子

屏免受外界环境(如氧气和水汽)影响的关键。理想的封装材料需要具备轻薄、柔韧的特性，同时提供优异的防潮、抗氧化能力，以保护显示屏内部的有机元器件不受损害。为此科研人员开发出多层复合封装，甚至探索自修复涂层，使柔性屏在保持柔性的同时大幅延长寿命。

应用场景拓展至多领域

目前，柔性显示的全球市场规模持续扩大。据相关统计，2024年全球柔性有源矩阵有机发光二极管(AMOLED)面板出货达6.31亿片，占手机屏幕市场的42%；预计到2031年，柔性显示市场规模将超过1730亿美元，年复合增长率高达34.3%。目前柔性显示技术应用已逐步拓展至智能终端、可穿戴设备、汽车与交通、医疗健康以及公共服务等多个领域。

在智能终端领域，柔性显示正持续丰富产品形态。2025年，华为公司发布全球首款三折叠笔记本，展开后屏幕可达18英寸，可实现大屏办公与便携收纳轻松切换。三星公司正在研发的卷轴屏手机，屏幕可由常规尺寸拉伸至12.4英寸，将拓展“手机一平板”的跨界体验。相比早期曲面与折叠屏幕，新一代柔性智能设备在尺寸、分辨率与耐用性上全面跃升。

在可穿戴设备领域，柔性屏让产品更贴肤、功能更多样。2020年，华米科技与京东方联合推出弯曲屏手环，采用环绕手腕的弧形屏幕，让健康、运动数据一屏尽览。未来，



▲在安徽合肥举办的2025世界制造业大会上，展出了一款动态弯折柔性屏。
韩苏原摄(影像中国)

可伸缩显示屏还有望嵌入智能衣物，实现健康数据实时可视化。从“只能读数”到“全面交互”，柔性屏正在不断提升佩戴舒适度与信息承载量。

在汽车与交通领域，柔性显示正在重塑人车交互界面。2022年，奔驰VISION EQXX概念车发布，配备47.5英寸一体化柔性OLED中控屏，分辨率更高、功耗更低。宝马、奥迪等也在高端车型配备柔性OLED仪表盘和娱乐屏，实现动态显示与个性化交互。京东方自2020年起量产车载柔性屏幕，并与蔚来、小鹏等车企合作。相比传统液晶显示，新一代车载柔性屏尺寸更大、能效更优，且可按场景弯曲。

在医疗健康领域，柔性显示正向临床与家庭场景落地。日本印刷公司曾展出搭载柔性屏的健康贴片，可实时显示心率、血氧等参数。2021年，京东方推出柔性可穿戴医疗终端，对接远程监测平台，数据即时可视。近年来，便携超声设备也引入柔性OLED，影像更清晰，能耗更低，方便医生移动查房。当前，柔性医疗显示屏在清晰度、便携性与可靠性上均有明显进步。

在公共服务领域，柔性显示开始大范围走进公共空间。新一代大尺寸柔性OLED屏在亮度、寿命和耐弯折性能方面均优于早期液晶显示屏，公交站、商场橱窗、展览展示正逐渐成为柔性显示的新“画布”。这些大尺寸柔性OLED屏可以贴合墙面和立柱，打造沉浸式广告。2024年，巴黎奥运会场馆采用柔性透明显示屏，用于赛事信息播报与互动导览。

▲柔性屏制造示意图。
▼柔性显示创意图。
以上图片均为中国科学院化学研究所提供



创新汇

小分子存储大数据

本报记者 李 墨

随着人工智能、云计算、流媒体等技术的快速发展，全球数据规模迎来爆炸式增长，对存储设备的大小、密度等都提出了更高要求。近期，英国曼彻斯特大学和澳大利亚国立大学的研究团队在《自然》杂志上发表了一种新型的单分子磁体研究成果，它可以在100开尔文(约零下173摄氏度)的条件下保持磁记忆，并使理论存储密度达到现有技术的100倍以上。该研究的通讯作者之一、曼彻斯特大学无机化学教授大卫·米尔斯在接受本报记者采访时表示，该成果有望助力开发更加高密度的数据存储设备。

传统硬盘依赖磁性材料中大量原子组成的磁化区域存储数据，并通过改变磁场方

向来表示二进制信息。而单分子磁体通过量子自旋效应实现存储，单个分子即可独立存储信息，无须依赖邻近分子，这就大大拓展了存储的容量。“此次新型单分子磁体催生的新技术能够实现在每平方厘米面积上存储约3TB数据。”该研究的共同通讯作者、澳大利亚国立大学计算与理论化学教授尼古拉斯·奇尔顿表示，“这相当于将50万个短视频装进邮票大小的硬盘中。”

尽管单分子磁体的理论性能十分优越，但通常只有在极低的工作温度下才能保持磁记忆，这样苛刻的条件严重制约着实际应用。为突破这一限制，此次研究团队设计出一种独特的分子结构：一个稀土元素镧原子

被两个氮原子夹在中间，三者几乎呈一条直线排列。以往，这类分子结构极易发生弯曲，对磁体的磁能力造成破坏。为解决这一难题，研究人员在分子中引入烯烃化学基团，其作用就像一个“分子别针”，通过锚定镧原子来固定线性分子构型。“在这个新分子中，烯烃基团与镧原子之间只有微弱的相互作用，但它恰到好处地将另一配体推挤到接近线性的位置。”奇尔顿告诉记者，这种线性构型可以显著提高单分子磁体的磁性能，并将磁记忆温度突破至100开尔文，比此前提高了20开尔文，这意味着可以通过液氮冷却来维持磁体的数据存储能力。

“单分子磁体最具前景的应用之一是用

于高密度数据存储设备。”米尔斯表示，虽然目前该单分子磁体尚未实现室温运行，但理论上已具备在大型数据中心应用的可行性。下一步，还需要研究证明当这些分子以阵列形式沉积在固体基底表面时，能够继续保持磁性。同时，还需要开发新的读写工艺，以便在纳米尺度上对磁信息进行编码和读取。

“设计出兼具高工作温度和高分子稳定性的单分子磁体，将是未来合成化学和磁性材料的热点研究方向。”中国科学技术大学化学与材料科学学院副院长杨上峰向记者介绍，当前多国研究团队正致力于提升单分子磁体性能、挖掘其应用潜力。2024年，中科大团队利用特殊的富勒烯碳笼(由60个碳原子组成的球形分子结构)捕获并稳定镧原子，有效提高了分子稳定性，为设计具有特殊结构的高性能单分子磁体提供了思路。

未来，“分子设计师们”将以现有成果为基础，继续攀登新的技术高峰。“我们正在寻找新的配体组合，以提高电荷密度并实现更加线性的分子构型。”奇尔顿说，“化学空间中有着几乎无限的可能性！”

科技大观

近期，国际脑实验室汇集全球12个知名神经科学研究团队，在《自然》杂志发表了一项里程碑式的研究成果：他们绘制出首张覆盖小鼠全脑、贯穿完整决策过程的高分辨率神经活动图谱。这项历时多年、横跨多个国家和地区的协同攻关，不仅刷新了人们对大脑如何做出决策的认知，更以“分布式科研”拓展了国际脑科学研究的新范式。

对一般认知而言，人们习惯于将大脑想象成一台精密的机器，不同脑区各司其职——视觉区“看”，运动区“动”，前额叶“思考”。其实，真实的大脑运行过程，可能更像一座昼夜不息的超级都市，信息在数百个功能区、数以万计的神经元之间高速流转、动态整合。要破解决策背后的神经密码，仅靠观察一两个脑区无异于管中窥豹。而由于当前技术的局限，研究者们难以在同样样本对象中实现全脑神经无活动的同步记录，数据标准的不一更使得跨实验室研究的整合难以实现。

此次国际脑实验室的研究打破了这一困局。他们建立了一套高度标准化的实验范式：在12个分布于全球各地的实验室中，研究人员使用相同的设备、训练流程和行为任务，让小鼠完成一项看似简单的视觉抉择——当屏幕左侧或右侧出现图案信号时，小鼠转动转盘将图案移到屏幕中间以获取饮水“奖励”。这一看似简单的任务包含了感知、决策、行动与反馈等认知环节。

为了捕捉全脑的神经响应，研究团队在139只小鼠的大脑中累计进行了699次电极植入，覆盖了279个解剖学定义的脑区，记录约62.2万个神经元的放电活动。所有数据通过统一的分析流程进行整合，最终构建出一张动态、全景式的“全脑神经活动图谱”。需要强调的是，这并非单只动物的“全脑实时录像”，而是通过标准化实验与大规模数据融合，拼接出统计意义的全脑决策图景——如同用千万张航拍照片合成一座城市在不同时段的灯光热力图。

研究显示：当小鼠进行任务时，其大脑并非陆续启动一个个“指挥中心”，而是呈现一场“全城点亮”式的协同激活。视觉刺激首先在经典视觉通路引发局部“亮灯”，然后信号迅速向全脑扩散，与运动准备、执行、奖赏预期等相关的信号在皮层与皮层下区域此起彼伏。尤为关键的是，与“左还是右”的抉择本身相关的神经编码，并非局限于前额叶等高级脑区，而是在多个脑区几乎同步涌现。这表明，脑内决策需要多个神经节点在毫秒级“时间窗”内相互作用、加权整合，共同形成行为输出。当“奖励”到来时，实验小鼠全脑还出现广泛的节律性同步活动，展现出神经系统的高度协同性。

这一发现对脑科学发展的意义深远。它意味着多个脑区的大量相互连接的神经元以一种“去中心化”的全脑动态协同方式实现决策等高级认知功能，也提示我们，许多神经精神疾病(如抑郁症、精神分裂症)可能并非单一脑区损伤所致，而是大规模神经网络协调失衡的结果。未来的治疗策略或将从“定点修复”转向“网络调控”，通过精准干预关键节点，恢复整体功能的动态平衡。

不过，当前图谱主要是揭示神经活动与行为之间的相关性。要确立因果关系，还需结合光遗传学、化学遗传学等干预手段，进一步验证整个网络连接体系中各个神经回路在决策中的作用。同时，该实验中的动物处于头部固定状态，未来如何在实验对象自由行为场景下进行全脑记录，也是一个重要的课题。进一步讲，这一神经活动的“灯光地图”通过与神经连接的“线路地图”研究相互印证、叠加整合，从而构建出多维度的全景神经图谱，为实现真正的“大脑数字孪生”提供可能。

值得一提的是，此次研究的组织方式也展现出高度的协同性。12个实验室如同大脑中的不同区域，在统一标准下分工协作、共享数据，最终实现远超单个团队能力的科学突破。通过这种“分布式科研网络”模式，全球研究者将绘制不断完善的图景，共同探索脑功能的深层机制，推动类脑智能、脑机接口与神经精神疾病治疗的持续突破。

(作者为中国科学技术大学生命科学学院教授)

绘制全脑神经活动图谱

毕国强

韦布望远镜发现早期宇宙超大质量黑洞

据新华社巴黎电 (记者罗敏)欧洲航天局日前报告说，研究人员利用詹姆斯·韦布空间望远镜发现，在宇宙大爆炸发生仅约5.7亿年后，某个星系中就存在一个正在活跃生长的超大质量黑洞。这一发现将进一步揭示黑洞与星系起源的关键机制。

借助韦布的近红外光谱仪，国际研究团队探测到来自CANUCS—LRD—z8.6这一遥远星系的微弱光线。对该星系关键光谱特征的分析表明，星系中存在一个正在吸积的黑洞，且黑洞正在快速增长，速度远超预期。

光谱数据显示，这一星系本身十分致密，尚未产生大量重元素，证实其为处于演化早期的星系。星系中的气体受到高能辐射的强烈电离，并呈现快速绕中心源旋转的迹象，这些是正在吸积的超大质量黑洞的关键特征。

引人注目的是，在这个星系中，与恒星质量相比，其黑洞质量过大，表明在早期宇宙中黑洞增长速度可能远快于其宿主星系的增长。

天文学家此前观察到，超大质量黑洞的质量与其宿主星系存在关联：星系长得越大，其中心的黑洞也变得越大。但研究团队说，此次观测结果挑战了这一观点，表明在早期宇宙中即使在相对较小的星系中，黑洞也可能已经形成并开始加速增长。这为研究星系、黑洞的形成及其关系开辟了新的视角。

本版责编：王 慧 黄发红 褚 君
版式设计：蔡华伟