

脑机接口设备“瘦身” 睡眠监测效率提高

◎洪恒飞 本报记者 江耘

从医院借用一副“手环”或者“胸带”给患儿佩戴，不需要留院观察，家长就可以在医生的指导下，对患儿进行居家睡眠监测。之后，医生可参考AI软件分析的监测数据，做出判断并出具诊疗方案。

近日，依托浙江大学脑机智能全国重点实验室，由杭州神踪科技有限公司（以下简称“神踪科技”）团队研发的高精度睡眠监测设备已经在浙江大学医学院附属儿童医院等200多家医院投入使用。在这一成果的辅助下，医生对患儿睡眠问题的诊疗时间大幅缩减。

体积小方便患者居家佩戴

常见的睡眠障碍包括失眠、睡眠呼吸暂停、发作性睡病等病症。临床上，常采用多导睡眠监测设备对人体呼吸、动脉血氧饱和度、心率等指标进行监测。医生再参考数据做出诊断。

“国内现有的临床多导睡眠监测设备，多为进口产品，存在体积庞大、穿戴复杂、不易移动等问题，导致患者必须在医院做睡眠监测。”浙江大学“百人计划”研究员、神踪科技联合创始人孙煜介绍，由于医院接诊数量有限，加之国内睡眠技师资源稀缺等，远程监测技术的应用成为解决上述难题的方案之一。

根据中国信息通信研究院脑机接口产业联盟发布的《脑机接口技术发展与应用研究报告（2023年）》，全球有10余家上市公司利用脑机接口技术进行“严肃医疗”领域的睡眠障碍诊疗，90%以上的公司采用非植入式技术路线。

浙江大学生物医学工程专业博士生、神踪科技创始人兼CEO王肃杰说，他们于2022年初注册成立企业，开展无创脑机接口技术成果的应用转化，并于当年获批二

类医疗器械注册证。

王肃杰介绍，这款多导睡眠监测仪采用非侵入式脑机接口技术。重量仅几十克，胸部组件和胸部主机内置核心模块，可对脑电、眼电、肌电、心电指标进行一体化监测。其中，胸部组件包含的电极线和电极片，主要负责对脑电进行采集、放大和预处理。

同时，团队还开发出多生理参数分析软件。软件可实现对异常波形的自动识别和辅助诊断分析，对单人监测数据的研判时间只需1.5分钟。

实现立方毫米级溯源定位

长期以来，在脑机接口技术领域，无创方式与高精度信号获取难以兼得。

“非植入式脑机监测易受环境噪声与生物电干扰。信号在穿越生物组织时会衰减，导致监测精度通常为厘米级。”王肃杰说，治疗端得不到监测端的准确定位，治疗效果必然大打折扣。

王肃杰介绍，他们在前期的科研基础上在非植入式脑机监测算法上取得突破，对脑电信号实现了立方毫米级溯源定位。

脑机接口领域的睡眠检测和干预解决方案主要以音频刺激、电刺激、调节外部环境等手段治疗睡眠相关病症。在孙煜看来，基于对脑电信号的精准采集，睡眠监测和治疗方案可以形成闭环。为此，他们开发了多物理场神经调控设备。这种设备可通过向特定脑区输送物理干预信号，直接刺激大脑皮质下深部核团调节特定神经元，调控精度可达到毫米级。

“我们曾做过一项测试，测试者在云南香格里拉佩戴监测设备，团队在浙江杭州实时收集数据。两相隔约2000公里，也能实现神经电生理数据的实时加密传输与精准分析。”孙煜说，未来，医生用一台平板电脑，或许就



▲志愿者佩戴多导睡眠监测仪的画面及相应的AI分析软件界面。

▲医护人员为患者佩戴多导睡眠监测仪。

受访单位供图

能调取不同城市的患者睡眠监测状态，并出具诊断报告。

“在此之前，脑机诊疗必须紧扣场景需求，不断完善技术应用。在某地区重点医院的产品测试阶段，团队曾在1月内收到200多条修改意见，不断进行调试后，设备最终迭代至稳定版本。”孙煜补充道，在应用场景中充分磨合，脑机诊疗技术才能惠及更多人。

纳米镀膜给电子产品穿上防水“外衣”

◎本报记者 操秀英

以前手机掉进水里就会面临报废风险，而现在不少手机已经具有高等级防水功能。这一看似不起眼实则带来极大便利的进步，主要源于近些年迅速发展起来的纳米镀膜技术。纳米镀膜相当于给产品整机或元器件穿上一件防水防潮、耐腐蚀的纳米“外衣”，可大幅提高产品使用寿命。目前，纳米科技已经广泛应用于我国新能源、新材料等领域。

近日，江苏菲沃泰纳米科技股份有限公司（以下简称“菲沃泰”）研发的纳米镀膜一站式解决方案更进一步，可全面解决电驱系统在复杂环境下的耐压和防腐问题，为新能源汽车核心部件提供有力保障。该方案已在新能源汽车领域的头部企业项目中实现量产。

“从手机、耳机、电子阅读器等产品消费品，到无人机、汽车产品核心部件，纳米镀膜技术的应用范围越来越广泛。”菲沃

泰研发总监夏欣告诉科技日报记者。

真空沉积的纳米薄膜是一种通过在真空环境中沉积材料制备出的薄膜。这种薄膜的厚度通常为纳米级别，广泛应用于消费电子、工业控制和新能源等领域。“此前，电子产品通常采用结构防护，或者给密封处涂上一层防水胶等。但随着电子产品逐渐微型化、轻量化，这些防护方式不再满足要求。”夏欣说。

早在20世纪60年代，学界已探索出等离子体增强化学气相沉积（PECVD）技术，但多应用于半导体行业。通俗来讲，PECVD是利用等离子体发出的能量，让气体发生化学反应并沉积在基体表面。“该技术的难点在于，要设计科学合理的等离子体装置，同时找到合适的材料，让等离子体作用于这种材料，激发生长出符合要求的薄膜。”菲沃泰材料研发总监康必显说。

这种技术制备的膜层更为均匀、表面质量更好、应用范围更广。但国内尚没有装备可将这一技术应用到消费电子领域，形成标准化生产。

菲沃泰针对上述难题进行了多年攻关，研发出国内首台FT-35X行星转架纳米镀膜等化学气相沉积设备，解决了纳米镀膜工艺复杂、涂层不均匀、功能单一、结合力差等问题。此举实现了纳米镀膜领域国产设备零的突破，打破了智能化电子产品防护领域由国外品牌垄断的局面。

菲沃泰相关技术人员介绍，该装备通过精确控制等离子体来沉积高质量薄膜。由这套装备制备的纳米薄膜具有非常特殊的微观结构：薄膜下层是致密结构，上层是具有一定粗糙度的结构。两层结构相互补充为产品提供液体防护能力，使得电子产品具有高等级防水功能。

该装备生产的多功能纳米薄膜具有拒水性、耐腐蚀性和防潮性，可实现IPX8等级防水，即将电子产品在大于1米深的水中浸泡30分钟以上仍能正常使用。目前，菲沃泰的纳米镀膜已应用于华为、小米、vivo等科技企业。截至2023年底，该纳米镀膜技术已累计为10亿多部手机及配件、3亿多个耳机及配件和5000万多个LED产品提供防护。

业界分析，目前，PECVD纳米薄膜

的应用领域已从整机、结构件的表面防护拓展到内部元器件、电路板及芯片的保护，为纳米薄膜打开了广阔的市场空间。除了消费电子行业，PECVD技术在光学仪器、汽车电子、医疗器械、电动机等部件也有着广阔的应用前景，例如汽车行业中的各类传感器、三电系统、控制器和执行器模块的保护，医疗行业的助听器组件防水防汗、各类医疗器械的组件防护等。纳米薄膜可以为这些电动机提供绝缘、防腐、防盐雾等持续保护，提高产品的使用寿命和使用体验。

“通过纳米级材料的精准控制，我们实现了汽车零部件及总成性能的全面升级。”康必显说，这种防护解决方案不仅大幅提升了产品的耐久性、抗腐蚀性、防水防污、防硫化及耐压绝缘等关键性能，还满足了汽车行业绿色化、智能化转型的需求。同时，菲沃泰还实现了纳米镀膜技术在汽车产品核心部件上的量产应用。

可评价不同因素对施工效果的影响

新模型为深中通道建设寻找最佳方案

◎本报记者 金凤

今年夏天，如果从伶仃洋上空俯瞰，会发现在广东省深圳市与中山市的碧海蓝天之间，出现了一条跨海飞虹。这便是不久前通车运营的深中通道。

在全长24千米的深中通道中，沉入海底的沉管隧道约5千米。这个集“桥、岛、隧、水下互通”于一体的通道，是世界上综合建设难度最高的跨海集群工程之一。

为解决海底“千万万壑”阻碍沉管隧道铺设的难题，中交广州航道局有限公司

（以下简称“广航局”）深中通道项目部联合清华大学教授王环玲团队，基于多因素正交原位实验和数值模拟成果，建立了评价不同因素对施工效果影响的综合评价模型。此外，他们还提出不同水深条件下，海底岩石单轴压缩强度在不同分布范围时的凿岩效果和清礁厚度计算方法，最终将昔日的海底深槽建设成沉管隧道。

分析不同凿岩棒效果

深中通道位于虎门大桥下游约30千米，分为桥梁段和沉管隧道段。其中，沉管隧道全长5035米，由32节沉管组成。虽然深中通道仅与港澳大桥相距38千米，但两者的水下环境却有很大差别。

“如果把港珠澳大桥水底情况比作一盅淮山枸杞汤的话，深中通道水底就好比一盅加了骨头的淮山枸杞汤。”广航局深中通道项目技术负责人廖曾平告诉记者，深中通道大约40%的施工区域布满花岗岩。岩石总工程量约30万立方米，岩石分布范围广、埋藏深、强度大，最大深度接近水下40米。

广航局选择了重型抓斗船与凿岩棒组合的施工工艺进行凿岩，并对凿岩船“金建”轮进行技术改造。“但在这么深的水深环境下高精度凿岩，国内几乎没有案例可参考。而凿岩施工到底是否合适，施工效率和质量如何，我们心里也没底。”廖曾平说。

此时，从事岩石力学研究的王环玲团队进入广航局视野。双方围绕深水凿

岩关键核心技术难题，迅速开启理论创新和工程应用。

选择何种类型的凿岩棒，是开凿深槽岩石的关键问题。王环玲介绍，目前国内外采用的凿岩棒主要有五种，分别是斧头形、三向刀面圆柱形、铅笔形、四角柱形、梅花柱形。

经过计算，团队发现，三向刀面圆柱形凿岩棒作用范围大，对表层至中层岩石的破坏效果较好，但在处理坚硬岩层时，容易出现棒尖磨损严重的问题；单尖圆柱形凿岩棒在凿击点处对岩石的压强极大，能够对岩石造成有效破碎，但由于只在单点与岩石进行接触，对岩石的破坏范围小，施工效率较低；四角柱形凿岩棒与岩石的接触为点接触，压强大，但会分散每个凿击点对岩石的作用力，对岩石的破坏程度相对小；而梅花柱形凿岩棒对表层岩石的破坏效果好，破坏范围较大，但岩石强度较高时，难以使其开裂破碎。

“而斧式凿岩棒由于棒尖为楔形，对岩石的压强大，破坏范围大，同时楔形有利于凿岩棒的能量向两侧传递，增加对岩石的破坏。”当凿岩棒嵌入岩石过深时，楔形的形状有利于减少棒体侧向摩擦力，便于凿岩棒提升。”王环玲说，双方团队最终确认使用斧形凿岩棒凿岩。

多项试验确保高效作业

王环玲团队从广航局提供的深中通道基槽花岗岩入手，开展针对岩石的三轴力学试验、循环加载力学试验、动态

冲击试验，获得花岗岩特别是强度较大的中风化花岗岩在不同条件下的力学参数、破碎特征和岩石破坏的能量耗散规律。在此基础上，团队又结合现场施工实际、物理力学试验结果、地质勘察成果，通过数值模拟方法，模拟不同水深、冲击速度、凿击次数、排距、位距对岩石冲击破碎的影响规律。

“其中，我们在保持凿岩棒每秒14米的凿击速度和水深40米不变的情况下，分别进行了1—5次凿击的数值计算，结果发现凿岩的次数并非越多越好。凿击2次后再凿击，岩石的整个损伤区域并没有明显扩展。所以如果凿击超出2次，将降低施工效率。”王环玲说。

“凿岩棒水下凿岩的速度主要由凿岩棒距离海底的高度决定。我们现场试验后发现，在水深更大的情况下，增加凿击高度对提高冲击速度的作用并不明显，例如，在凿岩棒距离海底35米以上下落时，冲击速度将稳定在一个区间。此时需要通过调整排距、位距和凿击次数或者通过动力装置施加外力来提高凿岩效果。”王环玲说。

经过反复试验和论证，双方最终确定了对中风化花岗岩在40米水深条件下施工的基准方案，即将凿岩棒提升至距离海底27—34米，排距设置为约2.5米，位距1.4—1.7米，凿击次数2—3次。

在一系列试验和科学数据的支撑下，经过约1年的奋战，深中通道深水深槽凿岩工作顺利完成，实现了深水条件下大体积硬岩连续高精度破碎开挖高效作业。

成果播报

全国首套数字化

火检与贫煤稳燃技术研发成功

科技日报（记者 周鸣 记者 陆成宽）记者8月16日从国家能源集团获悉，经过近4个月试运行，该集团湖北汉川电厂2号机组近日完成低挥发分贫煤等离子体点火与数字化图像火检升级改造。这是我国在贫煤机组锅炉冷态无燃油点火启动及火检系统数字化、可视化技术上取得的重大突破，标志着全国首套数字化火检与贫煤稳燃技术研发成功。

据悉，针对低挥发分贫煤难以点火的问题，国家能源集团湖北汉川电厂与烟台龙源电力技术股份有限公司联合开展技术攻关，成功研发出适用于低挥发分贫煤点火及稳燃的新型等离子体点火系统。同时，研发团队还将该系统与新型数字化图像火检技

术融合，形成数字化火检与贫煤稳燃技术。该技术在发电机组应用时，实现了锅炉火焰视频信号的自动接收与逻辑判断，使火检信号信息量提高了100万倍以上，火焰检测视角范围扩大了约18倍，为贫煤的高效利用开辟了新路径。

“该项目的成功投运，不仅提升了发电机组的灵活性调峰能力，大幅降低了锅炉无油点火对煤种的要求，还大幅降低了点火及稳燃燃料成本。”国家能源集团湖北汉川电厂负责人罗则红说，该项目具有重要的引领和示范意义，每年可减少燃油消耗约600吨，为我国构建清洁低碳、安全高效的能源体系，培育和发展新质生产力提供了有力支撑。

新工艺完成

咸水层二氧化碳地质封存

科技日报（记者 李丽云 朱虹）记者8月16日从黑龙江省地矿局获悉，由该单位承担的“深部咸水层二氧化碳地质封存潜力和先导注入试验研究”项目顺利通过专家评审。这是黑龙江省首次开展该项目。项目完成了国内首次“二氧化碳—水”双管混合注入试验，为推进咸中提供了新的技术储备选项。

碳捕集利用与封存（CCUS）是指将二氧化碳从工业排放源中捕集后直接加以利用或封存，实现二氧化碳减排的工业过程。作为CCUS产业链条的最后一环，本次研究的二氧化碳地质封存技术是通过工程技术手段，将二氧化碳压缩注入到地下800米以下具备封闭构造的深部咸水层中，经过水化学反应形成稳定的碳酸盐物质，达到有效封存的目的。这种手段已成为当前推动温室气体中和减排的重要技术手段。

该项目由黑龙江省生态地质调查研究院承担。项目负责人马永法说，项目组系统构建了研究区深部咸水层的封存适宜性评价指标体系，确定了最佳封存工程场地选址，精确提炼出储层的面积、厚度等关键参数，首次评价了林甸地区深部咸水层二氧化碳地质封存潜力。经评价，研究区深部咸水层

二氧化碳有效封存量为11.5亿吨，相当于50亿棵松树10年的碳汇能力，封存潜力巨大。

在此基础上，项目组利用试验井搭建了现场先导注入平台，优化改进了施工工艺流程，首次提出了水气井下混合注入的“双管”工艺，在国内率先探索尝试在砂岩地层的深部咸水层开展二氧化碳—水溶液混合注入试验。后期监测和分析测试证实，注入后二氧化碳发生了明显的水—岩反应过程，取得了良好的注入试验效果，达到了预期工作目标。项目组还进一步开展了二氧化碳注入的多要素耦合模拟软件，开展了百万吨级二氧化碳注入和运移能力的数值模拟评价，为未来开展规模化的工程注入示范奠定了重要的理论技术研究基础。

深部咸水层具有分布范围较广、储气构造适宜性强等特点，是国内外公认实施二氧化碳地质封存的主力存储空间。黑龙江省内深部咸水层广泛分布在松嫩盆地等构造单元，是适合大规模二氧化碳地质封存的重点地区。

据悉，此次咸水层二氧化碳地质封存的试验，为黑龙江省未来建设和完善碳中和CCUS产业链条提供了关键的技术储备，为大庆及周边地区的碳源封存提供了有力的科学支撑。

地下矿山通风有了专业操控系统

科技日报（记者 赵汉斌 通讯员 甘欣鑫 罗明媛）记者8月16日从中铝国际所属昆明有色冶金设计研究院股份公司（以下简称昆明有色院）获悉，该院近期攻克了复杂条件下的地下矿山通风技术难题。

云南云锡个旧东区已有140年采矿历史，多年开采形成了一个服务范围大、高差大、进、回风线路长，网络结构复杂的超大范围地下开采系统。受矿床制约，开拓系统极不规整，通风系统复杂程度高。

昆明有色院组织技术研发团队攻关，通过加大对智能通风系统建设、深井开采通风与降温等方面的技术研究，自主研发了通风网络解算软件系统，成功运用在云锡矿山通风优化项目中。项目先期开展了

井下通风系统优化与一、四级机站建设工作。优化后，矿山年节约通风电耗费用1394万元，年减少二氧化碳排放量21886吨。根据一、四级机站实施运行后的效果，研发团队又进一步针对采区通风开展了二、三级机站优化研究项目，经过优化，矿山年节约通风电耗费用620万元，年减少二氧化碳排放量9734吨，社会效益和经济效益显著。

目前，该通风软件已在近百座矿山通风系统中投入运行，取得了较好的通风与节能效果。应用这款通风软件后，地下矿山风量、风速指标和风机效率大幅度提升，吨矿通风耗能同比显著下降，有效解决了地下矿山通风设备多、效率低、能耗高、管理难度大、作业点环境质量差等问题。



云锡个旧一矿山应用通风软件后井下采矿作业环境。李谢平摄



图为深中通道。新华社记者 毛思倩摄