

他们挑战世界级难题，助力“用电自由”

■本报记者 张双虎

“我们的目标是不断刷新‘一大四高’世界纪录。”近日，中国科学院电工研究所（以下简称电工所）研究员王一波团队牵头的“陆上风电场群全直流发电系统及协同控制技术”项目通过验收。验收会上，面对专家组询问，王一波的回答底气十足。

“一大四高”指可再生能源全直流发电系统大功率、高电压、高效率、高变压比、高功率密度5个关键特性。虽然美国普渡大学、通用电气公司等一直在冲击“一大四高”纪录，但从公开报道来看，目前王一波团队保持着其中4项世界纪录。

“风、光伏发电由于并网稳定性差、集电系统复杂等问题而饱受诟病。”王一波告诉《中国科学报》，“具备‘一大四高’特性的全直流系统有可能成为解决这些问题的关键。”

挑战全直流发电世界级难题

“理论上，直流系统的原理更简洁，但同时实现‘一大四高’难度极大，而且相关产业链缺失让工程实现难上加难。”王一波说。

电力系统技术研究和应用联系紧密，任何创新离不开配套技术、设备、产业链的支撑都举步维艰。在理论体系不完善、产业链基本空白的情况下，实现“一大四高”全直流发电系统已成为世界级挑战。

王一波介绍，相较交流系统，全直流发电系统有四大优势。一是没有“无功功率”（不输出但必须损耗的功），在相同电压、功率条件下，集电和输电距离更远，覆盖半径提升30%；二是系统稳定性强，没有有功、频率和电压失稳问题，且宽频振荡风险低；三是设备用量更少，节省了超过1/3集电线路、逆变器、无功补偿装置等电气设备；四是能量传输效率更高，省去交直流变换和无功补偿等环节，降低损耗，提升了电气系统效率。

在新疆达坂城风电场，团队研制的±30千伏/5兆瓦风电机组中压直流变换器，最大转换效率98.67%，功率密度达到116.55千瓦每立方米。在此基础上，他们建成世界首个±30千伏/5兆瓦陆上风电全直流发电示范系统，为风电全直流发电系统高效、稳定运行奠定了基础。

“不仅如此，我们还打通了光伏和风电的直流变换器技术路径，用同一种设备解决了过去风电、光伏集电设备不同的问题。”王一波说。

“直流电压达到±30千伏，就能用一



新疆达坂城风电全直流示范电场的风光发电系统。

电工所供图

个系统实现半径约30公里的大范围集电。”项目负责人、电工所副研究员王环说，“我们研发的全直流发电系统不但将电气系统效率提升五至八个百分点，还成功破解了大面积、高效率集电以及大功率安全稳定并网难题。”

从“零”突破核心技术

陆上风力全直流系统及装备关键技术是团队在“可再生能源直流变换器及全直流系统”研究中的一项重要内容。

为破解风能、光伏全直流发电系统及核心装备技术难题，从2012年开始，团队用13年时间攻坚，尝试了硅基、碳化硅基、氮化镓基的不同直流变换器技术路线，把直流电压等级从2千伏提高到±30千伏，转换效率从最初硅基直流变换器的95%提高到碳化硅基直流变换器的99.6%，多次刷新直流变换器技术的世界纪录。

研制“一大四高”的直流变换器，其核心之一是频率5000赫兹以上的高频电力变压器。但我国电网工频是50赫兹，绝大部分厂家甚至无法想象5000赫兹高频变压器是什么样子。面对产业空白，研究团队从“零”起步，自主研发该核心部件。

2018年初，团队完成多版高频变压器设计方案后，广邀国内顶尖企业参与联合研制。最初，有五六家企业表达合作意向。但当频率5000赫兹以上、功率100千瓦级、电压等级大于10千伏等严苛技术指标公布后，有两家企业选择退出。

尽管剩余3家企业均表示有研发

能力，但王一波思虑再三，还是提出了新要求，竞标厂家必须做两台样机“打擂”——最先做出两台性能参数相同或基本一致的样机的公司胜出。

“这么高的频率从未尝试过，不知道最终能做成什么样子。”王一波解释说，“厂家不计成本也许能做出一台样机，但要做出两台参数高度一致的样机，没有过硬的技术绝不可能，而且一台直流变换器需要20多套性能高度一致的高频变压器，必须验证其性能稳定才能使用。”

“尽管工频变压技术非常成熟，高频段却没有技术标准，甚至很多基本理论依然不明。”王环说，“我们研制高频变压器，必须针对设计理念、核心材料、加工工艺从源头研究，就连线圈的绕制方式都需要反复试验。”

为协助胜出的合作厂家尽快造出高频变压器，团队在电工所搭建实验平台，用“搭积木”方式设计方案、分析数据、测试材料。经过大半年模拟、优化性能，终于得到两台参数基本一致的样机。

在风雪中坚守

达坂城风电场地处天山山脉山口，刮七八级大风是“家常便饭”。2025年12月，风电全直流发电系统调试进入关键阶段，一场突如其来的寒潮使当地温度骤降至零下20多摄氏度，调试现场风雪交加，狂风甚至吹坏了一扇集装箱铁门。但攻坚任务紧迫，团队成员依然冒雪坚守岗位，进行调试。

“身上裹着厚厚的棉衣、皮袄，寒风仍然像刀子一样往骨头里钻。”回忆起当时的场景，王一波感慨道。

“达坂城的条件还算好，后勤保障相对完善，蔬果供应充足。”王环说，从事可再生能源研究，他们的科研阵地大多在西藏、青海、新疆、云南等偏远地区，艰苦是工作的常态，但他们的内心充满力量。

在示范电场，科研人员多次遭遇高原反应、缺氧失眠、耳鸣心慌、蚊虫叮咬、补给不足等诸多困难，但没有人选择退缩，经常在现场一驻守就是一个多月。

“中国科学院的人确实不一样。”在团队实施的多项重大科研任务中，合作伙伴多次称赞，“你们确实能吃苦、能战斗，凝聚力超强。”

不过，2024年底，一个“小问题”险些让团队崩溃。

硅堆是整流环节的关键部件，在云南光伏电站已稳定运行多年。应用到达坂城风电场后，为提升散热效果，团队将硅堆的风冷系统改为水冷。这看似简单的技术调整，却让风电场在调试中始终无法正常运行。

此后的几个月里，研究人员先后修改七八款样机，开展了无数次仿真实验，就是找不到问题所在。在厂家都“干崩溃”的情况下，科研人员仍在对管子逐个排查。最后，他们发现散热方式改动会影响系统分布参数，随之触发“连锁反应”，烧毁硅堆。找到问题后，团队重新建模并提出技术方案，并创造性地设计出“动态均压技术”解决了这一问题。

“现在回头看，当时的攻坚过程确实艰难。”王环说，“一个重要原因是产业链基本空白，我们得从器件开始，包括部件、设备、系统全链开发。”

“电力系统技术研究，不是有个想法，验证理论可行就万事大吉。真正走到工程化阶段，会发现实际情况和理想往往存在巨大差异。”王一波补充说。

十几年的摸爬滚打，不仅让团队破解了一项项技术难题，也带动了合作企业的快速成长。

“我们研发的全直流发电系统，技术水平国际领先，不仅推动了直流变换器技术发展，也带动整个产业链的发展。”王一波说。

未来，团队将继续深挖直流系统基础科学问题，聚焦大功率风电机组中压直流变换技术的实用化、规模化，进一步提高功率密度、缩小系统体积，持续拓展全直流系统的应用场景，从陆地可再生能源发电基地到深远海风电、绿电直供，甚至延伸到太空能源系统等重大应用场景，用可再生能源助力“用电自由”。

睡得越少越易胖，尤其是中年人

“睡得少、睡得晚，肥胖风险越高，中年人尤为突出。”夜间睡眠时长不足5小时的人群，肥胖比例达41.4%。入睡时间越晚，肥胖风险越高，凌晨两点后入睡的人群，肥胖比例达18.4%。此外，睡眠不足5小时的人群中，中年人肥胖占比高达46.2%。

《白皮书》指出，人们对于健康睡眠的认识在增加，但是依然受到生活方式等影响。长假前后睡眠节律和睡眠时长存在明显波动。电子设备的使用，特别是在耗时较多的大学生等年轻人中，对睡眠存在一定干扰。

黄志力表示，规律运动、科学运动、坚持运动、选择适宜的运动方式，对于提升睡眠质量有良好促进作用。

健康生活方式是改善睡眠的基础

■闫薇 陆林

每年的3月21日是世界睡眠日。刚刚过去的第26个世界睡眠日的主题是“优质睡眠 美好生活”。

睡眠是人类生命中不可或缺的基本生理过程。随着现代生活节奏的加快和压力水平的升高，睡眠问题随之而来。长期失眠会对身心健康产生不良影响，导致免疫系统功能下降、认知功能减退、记忆力下降，诱发心脑血管疾病等多种躯体疾病，甚至引发抑郁障碍、焦虑障碍等精神疾病。

睡眠障碍是一类综合征

2025年发表于《睡眠医学评论》的一项研究显示，全球睡眠障碍的患病率约为16.2%，其中重度失眠患病率达7.9%。

此外，2024年的一项涵盖37万中国普通人的荟萃分析显示，我国民众睡眠质量不佳的发生率为19%。更值得关注的是，青少年与老年群体的睡眠问题检出率持续攀升。睡眠问题不仅损害个体健康，更带来了沉重的社会经济负担。

睡眠障碍并非单一疾病，而是包含100多种疾病类型的综合征。常见的睡眠障碍包括失眠障碍、睡眠相关呼吸障碍、过度嗜睡、昼夜节律障碍以及异态睡眠等，其中失眠障碍最为常见。

睡眠障碍的临床特征主要表现为入睡困难（入睡潜伏期超过30分钟）、睡眠维持困难（夜间觉醒次数不少于两次）、多梦早醒或者醒后仍然疲乏等。仅仅是偶尔的睡眠过少并不算失眠障碍，临床确诊需同时满足以下条件：伴有明显的日间功能损害（如疲乏、注意力下降、情绪波动等），且症状持续存在（慢性失眠要求病程超过3个月，且每周发生至少3次）。失眠障碍的诊断必须由专业医生进行，通常需要参照多导睡眠监测（PSG）等客观指标。

失眠障碍的治疗手段

面对失眠障碍，很多人存在认知误区，有人“硬扛”，有人自行购买药物服用，还有人盲目依赖保健品。这些做法往往效果不佳，甚至可能加重病情。失眠障

碍的治疗需要遵循“科学、规范、个性化”的原则，根据不同的病因和类型，采取针对性的治疗措施，及时寻求专业医生的帮助，切勿盲目干预。

目前，失眠障碍的治疗方式主要有药物治疗和非药物治疗。其中，失眠的认知行为疗法（CBT-I）是目前国内外各大指南公认且首选的非药物治疗方法。它通过认知重构、睡眠限制疗法、刺激控制和放松训练等改变睡眠相关的认知和行为模式，从而改善睡眠。其短期疗效与安眠药相当，长期疗效往往优于药物治疗。当患者无法配合完成CBT-I或其疗效不佳时，应在医生指导下使用药物治疗。临床常用药物包括短期使用的镇静催眠药物，如苯二氮卓类药物、非苯二氮卓类药物以及食欲素受体拮抗剂等。用药需严格遵循医嘱，制定合理的减停药方案。另外，经颅磁刺激、经颅电刺激及光照疗法等物理治疗手段也是临床常用的失眠治疗方法，能在避免药物副作用的同时，有效改善患者的睡眠质量。

随着睡眠监测与干预技术不断创新，失眠干预正迈向数字化与智能化方向迈进。各种可穿戴设备和非接触式监测设备让家庭环境下的实时睡眠监测成为现实；数字疗法则打破了传统CBT-I实施成本高、普及率低的瓶颈。多项研究证实，数字化CBT-I能显著改善患者失眠症状与生活质量。例如，我们团队与香港中文大学合作开发的数字化CBT-I，不仅能有效治疗失眠，还能在青少年群体中显著降低未来发生重度抑郁障碍的风险。此外，人工智能正广泛应用于自动化睡眠分期及健康数据的深度整合，为睡眠障碍的早期筛查与风险精准评估提供助力。

如何保证优质睡眠

健康的生活方式是改善睡眠质量最基础、最有效的途径。我们团队的研究量化了健康饮食、规律体育锻炼、不吸烟、不饮酒、减少久坐以及保持正常体重这6种健康生活方式与睡眠健康各维度之间的关联。研究表明，保持健康生活方式的个体，其睡眠质量、时长和规律性均

显著更优，且罹患失眠、日间嗜睡及阻塞性睡眠呼吸暂停的风险更低。

因此，存在轻度睡眠困扰的人，可以从生理、心理和环境等方面进行科学的自我调整。

首先，自我训练，规律作息。每日保持固定的入睡和起床时间，有助于稳定生物钟，提升睡眠质量。无论前一晚的睡眠时长如何，次日尽量在预定时间起床，避免赖床或日间过度补觉。周末也应如此。此外，不必对“必须睡够8小时”产生执念，只需保证睡眠能够有效恢复次日精力即可。

其次，控制刺激，优化环境。睡前一小时应避免进行刺激性活动，如使用电子设备或参与高强度运动。可尝试进行一些放松练习，例如深呼吸、渐进性肌肉放松或轻柔冥想，以帮助缓解身体和内心的紧张。卧室环境应保持昏暗、安静、温度适宜。同时，请谨记“床只用来睡觉”，只有在产生明显困倦感时再上床休息。

再次，调节情绪，放下焦虑。掌握有效的压力管理技巧是提升睡眠质量的重要一步。例如，通过正念疗法或其他心理干预方法来处理日常的压力和焦虑，有助于改善睡眠。如果遇到入睡困难，应学会用积极的自我对话来激励自己，避免不断强化“必须快速入睡”或“今晚又无法入睡”的念头，这样的思维模式反而会阻碍身体进入睡眠状态。建议通过听音乐、绘画等健康活动来分散注意力，减少对睡眠和情绪问题的过度关注。

另外，规律饮食，避开“雷区”。保持三餐规律，尤其是吃好早餐。睡前尽量避免进食，晚餐最好在睡前3小时结束。同时，下午及晚间应严格限制酒精、咖啡因（如咖啡、浓茶、奶茶等）兴奋性物质的摄入。

最后，也是最重要的一点：长期睡不好（如频繁入睡困难、早醒、睡眠质量差等）绝不仅仅是“没休息好”，而是一种需要被正视的疾病。如果睡眠问题持续时间超过3个月，或是对日常的学习、工作和生活造成了明显损害，请务必及时前往正规医院，寻求专业医生的评估和干预。

（闫薇系北京大学第六医院心身医学研究室研究员，陆林系中国科学院院士、国家精神疾病医学中心主任）

发现·进展

西安电子科技大学

AI增强仿生鞋垫 精准识别12种病理步态

本报讯（记者李媛）西安电子科技大学郝跃院士团队研发出一种具有人工智能（AI）增强力学诊断功能的能量自主仿生鞋垫。搭载的智能系统通过多学科协同设计，实现了高分辨率足底压力感知、能量闭环采集和AI辅助的步态智能诊断。相关研究成果近日发表于《研究》。

精准诊断与科学干预下肢功能障碍性疾病，有赖于持续的步态监测。然而，现有可穿戴设备受限于传感精度不足、续航能力薄弱及智能数据分析能效低下等问题，难以满足临床需求。

针对上述痛点，团队提出一款全集成式仿生智能鞋垫，通过3项协同创新突破技术瓶颈。

其一，受螳螂腿部分级机械传感结构的启发，该研究设计出双微结构电容传感器。该传感器检测下限低至0.10帕，最大检测量程高达1.4兆帕，可精准区分从微弱到高强度的压力变化。同时，机械稳定性优异，历经12000

香港理工大学等

音乐与同理心语言结合 促进人机连接



研究人员探讨人机互动情境中，音乐强化同理心沟通的关键作用。香港理工大学供图

本报讯（记者刁慧雯）香港理工大学教授Johan F. Hoom团队与香港中文大学研究人员合作，发现在具备人工智能（AI）的机器人设计中，将音乐与同理心语言结合，可在多次互动中促进更强的人机连接。该研究凸显了多模态途径设计同理心机器人的重要性，给精神健康支援、长者照护、教育等场景的应用带来重要启示。相关研究成果近日发表于《美国计算机学会人机交互作用会议》。

研究团队聚焦探讨音乐与同理心语言如何提升屏幕式机器人的情感共鸣。他们安排以广东话为母语的参与者，在3个互动回合或多次互动中与同理心机器人进行交流，并评估其互动体验。结果显示，音乐与语言的结合显著提升了参与者对机器人同理心水平的感知。在后续互动回合中，音乐仍可提升机器人的拟人化。音乐令人机互动更接近具备个性的真实对话。

中国科学技术大学

揭示流体注入下地层破裂新模式

本报讯（记者陈欢欢）中国科学技术大学教授吴恒安团队深入揭示了多孔材料中流体驱动断裂的准静态振荡失稳物理机制，突破了裂纹振荡失稳发生于动态扩展的传统认知，提出了定量预测准脆性材料裂尖振荡、分叉等复杂模式演化的渐近稳定性分析理论。相关研究成果近日发表于《物理评论快报》。

地层流体注入常见于碳封存和石油开采等领域。以页岩气气压裂开发为例，压裂液的注入改变了地层应力状态，能够实现页岩的可控破裂与渗流通道构建，从而提高采收率。

根据经典断裂力学理论，裂纹路径直接决定了材料的失效模式。均质材料中的裂纹以准静态速率扩展时，在局部对称性原理作用下保持直线扩展，只有当裂尖速度接近材料的瑞利波速时，强烈的惯性效应才会诱发裂纹的振荡或分叉。然而，现有实验观测表明，准静态

次循环加载后性能无显著衰减，优于现有柔性压力传感器，适用于鞋垫穿用场景。

其二，通过集成纳米钙钛矿太阳能电池与高容量锂电池，实现了器件的自供能运行，平均光电转换效率达11.21%，储能效率达72.15%。

其三，基于16通道无线模块传输的时空压力数据，嵌入AI算法进行数据分析，所构建模型对足弓异常的识别准确率达96.0%，对12种病理步态模式的分类准确率达97.6%。

“该研究通过仿生高分辨率传感、可持续能源供给与智能力学诊断3项核心技术突破，构建了一套闭环可穿戴监测平台，并完成临床验证。”论文通讯作者、西安电子科技大学教授常晶晶表示，该系统在疾病早期筛查、个性化康复治疗及远程健康管理领域具备广泛的应用前景。

相关论文信息：<https://doi.org/10.34133/research.1063>

研究指出，当参与者在重复互动后逐渐“习惯”或“对音乐线索产生适应”时，音乐所带来的益处可能随时间下降。这反映了在设计长期人机互动时，须更重视以使用者为本与个人化的互动策略，以维持同理心回应的持续相关性。研究人员建议，同理心机器人应根据使用者反馈与情境动态调整回应，例如调整音乐元素或个性化对话内容，以支持更稳定、持续的情感连接。

Hoom表示，同理心机器人的设计应涵盖音乐、语言等信号的多模态沟通，这在真实世界中，尤其是精神健康支援及长者照护领域具有广阔的应用前景。若能打造具有定制化音乐体验、能进行细腻敏感对话的同理心机器人，有望为可能面对孤独或社交隔离的人士提供更有意义的陪伴与情绪支持。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1145/3758102>

该研究为地层流体注入相关工程问题提供了裂纹形貌演化判据，可作为流体泵注压力、黏性、排量等施工参数对裂缝扩展调控的量化依据，实现对裂缝形貌的精准控制，如促使分叉产生缝网或保持直线扩展，提高穿层能力。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/6fks-qvtp>