中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

总第 9111 期　2026 年 11 月 6 日　星期五　今日 4 版

中国科学院主管　中国科学报社出版

国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

听《中国科学报》　《中国科学报》官微　科学网 App　科学网官微

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　　科学网 www.sciencenet.cn

红土镍矿高效利用有了“中国方案”

■本报记者 甘晓

印度尼西亚北马鲁古省奥比岛（OBI）的热带雨林边缘，一片褐黄色的大型矿堆延展开去。这里是全球规模最大的红土镍矿硫酸浸出工程所在地，年处理红土镍矿 580 万吨。

在这里，低品位的红土镍矿经过一系列复杂的化学过程，转化为高纯度的镍钴中间品，进而制成新能源汽车电池的关键材料。这项成果是中国科学院过程工程研究所（以下简称过程工程所）、中国恩菲工程有限公司（以下简称中国恩菲）等单位长期合作攻关的结果。

“项目围绕工业现场的实际问题组织科研。”过程工程所研究员李会泉表示，“中国科学院科研团队发挥基础研究优势，重点解决‘为什么’和‘依据是什么’，为工艺优化和装备设计提供科学支撑。”

这一项目的推进，离不开中国科学院与国务院国资委的深化合作。从 2023 年起，双方建立年度会商机制，推动中央企业与中国科学院所属科研机构开展体系化协同攻关。红土镍矿项目中，双方联手抓好成果转化应用，高效推进成果对接，加速成果落地，强化各方合作，实现了需求端、研发端、中试端、应用端的高效对接。



印尼北马鲁古省奥比岛的红土镍矿硫酸浸出工程。　科研团队供图

低品位镍矿之困

20 世纪末，硫化镍矿等传统优质资源日渐枯竭，储量巨大的红土镍矿成为镍钴资源的下一个重要来源。然而，红土镍矿品位低、成分复杂，传统火法难以经济处理，各国尝试的新型湿法工艺接连受挫。

丰富的资源沦为“废土”，低品位红土镍矿的开发利用成了世界性难题。破解这道难题，要靠高压酸浸工艺。将矿石、硫酸和水送入高温高压反应釜，让镍、钴从矿石中溶出后进入溶液，再经后续工序分离提纯，最终得到电池和不锈钢所需的镍、钴产品。

科研人员介绍，这一过程的难点在于矿石成分复杂、反应条件苛刻、设备容易结垢，稍有不慎，金属回收率就会大幅下降。

作为原有色系统的大型设计院，中国恩菲从 20 世纪 90 年代起就自主开展高压酸浸技术研发。由于红土镍矿主要分布在赤道附近的热带地区，2017 年，该企业在巴布亚新几内亚成功建成首座高压酸浸工厂，实现了中国在该技术领域的海外工程突破。

然而，面对低品位、成分复杂的红土镍矿，传统的工程放大方法遇到了瓶颈。在大规模工业化过程中，反应选择性、传质传热、流场均匀性、结垢腐蚀和装备可靠性等多个问题耦合，单纯依靠工程经验已难以取得突破。

高压酸浸过程需要在 250 摄氏度、接近 10 个大气压的极端条件下进行，设备内部的流动规律此前一直不清楚，结垢问题严重影响了装置的连续稳定运行。这意味着，高压酸浸要想真正从实验室走向工厂，不能只靠工程经验放大，还必须把反应釜里的流动、传热、反应和结垢过程真正搞清楚。

在李会泉看来，这些问题正是单纯工程设计难以回答的“为什么”。

把“黑箱”打开

工程上的瓶颈让人们回到科学问题上。为此，2021 年前后，中国恩菲向李会泉团队提出了开展基础研究的需求，他们需要真正打开高压酸浸反应釜这个“黑箱”。

“企业看中的是中国科学院在基础理论研究方面的优势。”李会泉介绍，此前，双方基于长期的项目交流和技术合作，已经形成稳定的协作关系。因此，当红土镍矿清洁提取的重大需求出现时，合作水到渠成。

据了解，科研团队在湿法冶金、过程强化和复杂固废资源化等领域有着深厚的积累。在中国工程院院士张懿带领下，他们从 20 世纪 90 年代起以铬盐清洁生产为切入点展开攻关。

“随着研究的深入，我们逐步在高温高压浸出等非常规湿法冶金的工程化实践方面积累了经验。”李会泉说，“一路走来，我们从基础原理出发，揭示反应机理和放大规律，研究思路可以说是一脉相承。”

因此，当面对红土镍矿高压酸浸时，他们并不感到陌生。研究从基础问题入手。团队先弄清镍、钴、铁、铝在高压酸浸条件下的溶出、转化和再成相规律，回答酸耗高、易结垢、大量杂质进入溶液等问题，再通过温度、酸度和反应场调控，形成强化浸出思路，为后续的工程转化铺平了道路。

破解“两张皮”关键在闭环

基础研究的成果不能只停留在论文里，还应在实际工程中得到应用。2022 年，李会泉团队与中国恩菲共同推动了国家重点研发计划项目的立项与申报。李会泉担任项目负责人，中国恩菲作为项目承担单位，联合国内优势团队共同承担。

在该重点研发计划项目支持下，过程工程所团队承担了基础机理和过程强化方面的工作。中国恩菲则在此基础上完成超大型高压反应器的具体设计、工程开发和现场实施。双方分工明确、互为支撑，从机制上破解了科技创新与产业发展“两张皮”的问题。

李会泉认为，破解科技创新和产业发展“两张皮”的关键在于形成一个真正的闭环。“企业现场提出问题，科研团队研究机理，工程单位形成解决方案，产业企业进行工业验证，生产数据再反馈回来修正模型和工艺。”他强调，正是这种反复迭代，才让实验室里的认识最终转化为百万吨级的工程技术。

在现场扩试和工程参数验证阶段，科研团队深入生产现场开展试验，一边验证强化浸出效果，一边不断修正工艺窗口。随着研究对象升级为复杂的工程系统，多相流动、颗粒运动、搅拌、传热、腐蚀、结垢、结构强度等每一个环节都需要仔细推敲。

其间，过程工程所负责反应器数值模拟和结垢机理研究，中国恩菲在此基础上完成了超大型高压反应器的具体设计和工程开发，最终实现了 1000 立方米装备的国产化。该反应器可以适应 250 至 260 摄氏度的高温和高压、强腐蚀工况。

在 OBI 大规模工程实施阶段，完成工程设计、资金投入、土建安装、系统联调等一系列复杂工作后，场域强化浸出、超大型反应器以及后续的洗涤、除杂等技术才终于集成到 580 万吨 / 年的完整生产系统中。

经过长期稳定运行，这套全链条技术交出了一份扎实的成绩单。相关技术和装备使镍、钴回收率分别达到 92.48%和 92.37%，酸耗降低 10.41%，生产成本降低 14.14%。

在科研团队看来，实现真正的工业化，企业的作用不可替代。

国家资源安全的“新注脚”

这项成果最重要的意义之一是改变了人们对资源安全的理解。“资源安全不仅是有没有矿，更重要的是有没有能力把资源经济、高效、稳定地开发出来。”李会泉表示，低品位红土镍矿资源量很大，但如果缺乏自主的高效提取技术和大型核心装备，很难真正转化为稳定的战略金属供应能力。

更深层次的变化是在基础研究的支撑下，中国企业在海外资源开发中的角色正在发生改变。中国参与全球资源配置的方式正在从单纯依靠资本和资源采购，进一步转向依靠技术能力和工程能力，有望在资源开发效率、项目建设和产业链布局中拥有更大主动权。

这一转变已有实实在在的案例为证。如今，相关技术已推广至印度尼西亚、巴布亚新几内亚等“一带一路”共建国家十余个百万吨级重大项目，覆盖全球约 80%的低品位红土镍矿产能。

中国科学院在“十五五”规划中明确提出，要聚焦重要领域、重点区域、重大项目，突出科技创新供给和产业需求牵引双向发力，着力破解科技创新与产业发展“两张皮”问题，加速科技成果向现实生产力转化。

科研团队相信，随着新能源、高端制造对镍、钴、钪等金属需求的持续增长，这套从基础研究到工程化的全链条方法有望在更多“一带一路”共建国家落地，为全球低品位红土镍矿的清洁高效利用提供更多中国方案。



关于为 2026 年度“两院院士评选中国 / 世界十大科技进展新闻”推荐候选新闻的启事

由中国科学院、中国工程院主办，中国科学院学部工作局、中国工程院办公厅及中国科学报社承办的“两院院士评选中国 / 世界十大科技进展新闻”活动（以下简称“双十”活动）自 1994 年启动至今已成功举办了 32 届，取得了积极的社会反响。

2026 年度“双十”活动目前已正式启动，诚请符合要求的单位和推荐人积极推荐。

一、征集范围及推荐要求

“双十”活动面向全社会广泛征集，并实行推荐制，要求如下：

（一）相关材料需有一名推荐人或推荐单位予以推荐，不受理个人直接申报；

（二）推荐材料主体为上一自然年度 12 月 16 日至本年度 12 月 15 日期间在主流媒体（包括但不限于新华社、《人民日报》、中新社、《中国科学报》、《科技日报》、《光明日报》、《中国青年报》等）上公开发表的科技进展新闻；

（三）若同一条新闻同时收到推荐人、推荐单位两方推荐，以单位推荐为准。每位推荐人最多可推荐 2 条中国科技进展新闻和 2 条世界科技进展新闻，每家单位最多可推荐 5 条中国科技进展新闻和 5 条世界科技进展新闻。

二、材料填报要求

推荐人或推荐单位需填写《“双十”推荐材料》（可查看科学网或微信公众号启事链接）、推荐人 / 推荐单位信息表及相关承诺声明（可查看科学网或微信公众号启事链接），生成电子文件并完成签名后，在 2026 年 12 月 15 日（含）前报送至工作组指定邮箱。推荐材料包括新闻链接、创新点、学术影响力、新闻传播数据等内容。推荐人和推荐单位对推荐材料内容的真实性负责。

三、推荐人要求

推荐人应具备下列条件：

（一）为推荐新闻相关领域的研究员、教授或同等专业技术职务的专家、新闻工作者等；

（二）与所推荐新闻对应的科技进展无合作关系；

（三）不得为该科技进展的牵头人或作者。

四、推荐单位要求

推荐单位可推荐本单位或其他单位牵头的科技进展新闻，推荐单位应具备下列条件之一：

（一）具备自主研发能力的科研院所、高校、科技企业；

（二）主流媒体单位。

五、征集事项咨询

工作组联系人：李舒曼

工作组指定邮箱：smli@stimes.cn

电话：

（010）62580726，13651188901

“十五五”我国将推进农药产业高质量发展

据新华社电 农业农村部日前印发《全国农药产业发展“十五五”规划》，规划部署推动产业提档升级、优化调整产品结构、依法规范农药经营、深入推进科学安全用药、扶持培育优势企业、优化农药管理服务等重点任务，推进农药产业高质量发展。

农药是至关重要生产资料，在农业、林业、卫生等领域有害生物控制中发挥不可替代作用。规划明确，到 2030 年，我国农药产品供给保障能力持续增强，产能总体稳定，品种结构不断优化，加快推进农药经营服务和科学使用一体化。

围绕上述目标，规划提出一系列具体举措，包括依据国土空间规划、生态环境分区管控和国家重大战略安排，立足区位优势、资源禀赋，统筹农药产业区域布局；面向农业生产、公共卫生、安全发展需要，集成应用基因编辑、核酸干扰、生物合成、人工智能辅助设计等前沿科技手段，创制农药新品种；建立信息共享与联合执法机制，强化农药监管跨区域协同；加强农药抗性监测与治理；整合农药产学研创新体系和资源，支持农药领军企业联合高校、科研院所共建农药研发创新联合体，开展农药新靶标、分子新骨架等共性技术和关键核心技术攻关；推进农药法规政策体系建设，完善农药登记制度和救灾农药储备制度，严格农药中介服务组织管理等。（古一平）



11 月 5 日，第九届中国国际进口博览会在上海开幕。本届进博会有 162 个国家、地区和国际组织参与，4142 家境外企业参展，整体展览面积首次突破 44 万平方米，吸引世界 500 强和行业龙头企业超过 300 家，并带来了多项全球首发、亚洲首展及中国首秀的前沿展品与创新技术。

图为观众在博览会现场了解中国出口海外的最大直径盾构机“帕蒂加朗号”。　**图片来源：视觉中国**

科学家发布开源 RNA 序列基础模型

本报讯（记者王敏）中国科学技术大学教授周少华、特任研究员熊鹏团队发布了一款开源 RNA（核糖核酸）序列基础模型 structRFM，提高了模型在 RNA 结构预测与功能推断一系列下游任务中的性能，有望助力人工智能驱动的科学研究、生物学机制理解、药物发现等。11 月 5 日，相关成果发表于《自然》。

RNA 是一种重要的生物大分子，存在于生物细胞以及部分病毒、类病毒中，其功能与序列、折叠结构密切相关。RNA 分子通过碱基配对形成二级结构，并进一步折叠为三维构象，这些结构影响着分子的生物学活性及与其他分子的相互作用。因此，理解序列、结构与功能之间的联系，是揭示 RNA 生物学机制的重要基础，也是药物发现的支撑要素。

随着测序技术的发展，研究者积累了海量的 RNA 序列数据。借鉴自然语言处理中的预训练方法，RNA 基础模型能够从这些数据中学习序列规律，提取可用于不同任务的通用特征，为结构预测和功能分析提供支持。

此次研究旨在将结构知识融入大规模序列学习，同时保持模型在不同结构与功能任务中的适应性和泛化能力。为研发 RNA 序列基础模型 structRFM，团队首先构建了约 2100 万条经计算注释的序列—二级结构配对数据；在此基础上，设计算法同时预训练学习序列上下文与结构依赖。预训练后的模型仅需输入序列，即可提取序列级、核苷酸级和核苷酸对级特征，用于多种结构与功能的推断任务，并在多项任务中达到国际前沿水平。

实验显示，structRFM 在零样本同源性分类中表现良好，并提高了二级结构预测性能；将其特征融入三级结构预测模型后，改善了三维结构及其对应二级结构的预测结果。在功能推断方面，模型支持剪接位点预测、内部核糖体进入位点识别和非编码 RNA 分类。此外，模型在新发布的 RNA 家族上保持了较好的二级结构预测表现，并通过分段策略扩展至长非编码 RNA 分类。消融实验进一步验证了结构信息的引入及掩码策略对模型性能提升的作用，为算法设计提供了实验支持。

研究人员介绍，目前实验室已开放完整配对数据、模型权重和源代码，为研究结果的复现和相关模型的开发提供了可复用资源。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41586-026-11210-2

声子热霍尔效应机制研究获突破

本报讯（记者李思辉 通讯员黄双子）华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心教授李亮、朱增伟和副研究员李小康团队联合法国巴黎高等物理化工学院教授卡姆兰·贝尼亚，在蜂窝反铁磁绝缘体 $NiPS_3$ 中首次从热力学角度确认了声子热霍尔效应源于材料内禀机制，而非杂质或缺陷导致的外在散射。相关成果近日在线发表于《科学》。

通常所说的霍尔效应是指电流在磁场中发生偏转，从而产生横向电压，这一现象只发生在带电粒子身上。而声子热霍尔效应是指热量在绝缘体中通过声子传递，当施加磁场时，热流也会发生横向偏转，产生温差。由于声子不带电，按常理不应受磁场影响，因此自 2005 年首次观测到以来，人们对这一现象究竟是材料的固有属性还是杂质缺陷造成的“假象”，一直争论不休。

团队在最高 55 特斯拉的脉冲强磁场下对多块单晶样品开展了精密测量。实验发现，在 5 块“路况”基本一致的样品中，热流偏转程度最大相差近 10 倍，且偏转大小与声子平均自由程无关，却与材料的磁各向异性紧密关联。这说明偏转并非杂质“碰巧”导致，而是材料本身的内禀属性。进一步分析揭示，材料中的磁振子与声子能带存在多处交叉，两者耦合后形成新的杂化模式，使原本电中性的声子获得了对磁场的“感知能力”，从而发生偏转。李亮表示，量子霍尔效应让人们发现了电子的拓扑量子态，而声子热霍尔效应表明声子这类“中性粒子”同样拥有精彩的量子世界。

该成果拓展了霍尔效应家族的认知边界，促使物理学界重新审视声子与磁场相互作用的理论框架。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1126/science.adt1992

美国中期选举对科学意味着什么

寰球眼

本报讯 多家美国主流媒体预测，美国民主党在 11 月 3 日举行的美国中期选举中大获全胜，将重新夺回该国国会参议院和众议院掌控权。

据《科学》报道，在美国科研界许多人看来，即将到来的权力更迭意味着，当他们批评美国总统特朗普的政策时，将有更多富有同情心的“听众”。他们迫切希望遏制特朗普削减科研预算、对科研资助施加政治控制的举措。他们还期待新组建的国会能够抵制特朗普限制移民、减少国际合作以及削弱各领域联邦数据集的做法。

“我们认为这次选举对科研来说是个好兆头。我们必须确保科研仍被列为重要的优先事项。”美国非营利科学组织联盟“Research!America”的首席执行官 Russ Paulsen 表示。

与此同时，特朗普还有两年任期，仍然能够通过行政命令和监管改革推进他的施政纲领。此外，他还可以否决国会通过的任何与他意愿相悖的法案。而民主党若要推翻总统的否决，则需要获得共和党人的支持。尽管如此，由民主党主导的国会仍可对特朗普的可疑行为展开调查，并针对政府高级官员举行听证会。

此外，新一届国会中将涌现大批名字前冠以“首位”的议员。其中最引人注目的是佐治亚州民主党众议员 Jasmine Clark，她是首位拥有科学博士学位并当选的非洲裔女议员。

随着几名民主党人当选，拥有医学背景的议员人数将大幅增加。美国密歇根州的新当选参议员 Abdul El-Sayed 是一名拥有医学学位的流行病学家；而在南卡罗来纳州，选民选择儿科医生 Annie Andrews 担任参议员。

负责制定科研机构及其他机构预算的拨款委员会也将迎来隶属民主党的新领导人，他们都有支持科研工作的历史。

美国莱斯大学的 Kenneth Evans 表示，中期选举结果预示美国将发生一场“历史性变革”，可能会在科学界产生深远影响。他表示，新一届国会将有机会证明，在科学领域，联邦政府是值得信赖的合作伙伴，可以与美国各所大学携手共进。（文乐乐）