中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

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

扫二维码 看科学报　扫二维码 看科学网

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

总第 8730 期　2025 年 4 月 15 日　星期二　今日 4 版

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

揭秘月背水密码，他们仅用 18 天

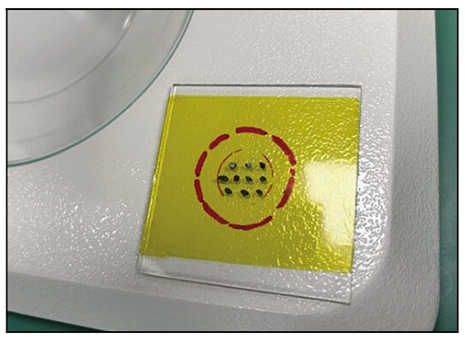
■本报记者 冯丽妃

近日，基于嫦娥六号样品，中国科学家在《自然》在线发表研究，首次发现月球背面的月幔比正面更干，其水含量不足百万分之二（小于 2 微克 / 克）。

研究论文由中国科学院地质与地球物理研究所（以下简称地质地球所）研究员胡森、林杨挺和南京大学教授惠鹤九团队合作完成。

“我们参与了国家航天局组织的嫦娥六号月球样品预先研究，去年 8 月 24 日拿到样品，9 月 10 日就投稿了。”胡森对《中国科学报》记者介绍说。

从几克月壤样品推断月背水含量，样品筛选、数据分析、逻辑推理都不可少。而完成这一过程，加上论文撰写，他们仅用了 18 天。



岩屑样品被固定在胶片上，等待后续分析。

玄武岩岩屑样品筛选。　受访者供图

一气呵成

当日下午，在地质地球所领到 5 克月壤样品后，胡森团队便开始了紧锣密鼓的攻关——“见微知著”地推断月球背面水含量。

在胡森看来，水对于行星就像“维生素”一样关键，是行星演化历史、宜居性，以及是否可能存在生命的重要参考。他表示，行星水研究主要包括两个层面：一是行星表面水状况；二是行星内部水含量及来源。

理论上，科学家预期月球极度贫水。根据月球大碰撞起源假说，约 45 亿年前，一颗火星大小的天体——忒伊亚撞击了原始地球，抛射出的物质经过重新吸积形成月球。这个极其高温的撞击事件导致月球贫水。

基于阿波罗号到嫦娥五号返回的月壤样品，科学家也证实了这一点。然而，目前所有发表的数据都集中在月球正面。由于月球二分性致使正面和背面存在巨大差异，那么月球背面含水量如何？嫦娥六号采集的首个月背样品为回答这一问题提供了契机。

然而，从少量样品中找到答案并非易事。

样品筛选是研究的第一步，也是关键环节。研究团队在超净实验室中使用极细的筛子精心分离出不同颗粒度的玄武岩样品，期待其中含有磷灰石和熔体包裹体。“寻找这些研究对象很不容易，磷灰石颗粒极其微小，最大直径不足 10 微米，相当于头发丝直径的 1/10；熔体包裹体不仅数量稀少，且分布在橄榄石等矿物中，而嫦娥六号玄武岩中的橄榄石含量极少，寻找它们就像大海捞针。”论文第一作者、胡森团队成员李林曦介绍说。

即便如此，团队成员凭借极大的耐心，在显微镜下仔细甄别，在 500 多颗岩屑中最终确认了 160 多颗玄武岩样品。

为加快研究进度，在同位素、岩相、年代等实验分析环节，研究人员“歇人不歇机器”，采取人员两班倒、机器 24 小时运转的工作模式，一周内便拿到全部数据。

数据获取后，研究团队进入撰写论文的“闭关”模式。他们充分发挥各自专长，有的负责数据分析和结果讨论，有的负责撰写各章节，还有的负责审核和修改，确保论文质量与科学性。“大家从早上 8 点工作到晚上 11 点，经过 7 天的努力便完成了论文，并在 9 月 10 日投出稿件。”胡森说。

在这项研究中，胡森与合作者采用多种方法计算月幔水含量，最终确定小于 2 微克 / 克，比嫦娥五号样品更干。此前，他们用嫦娥五号玄武岩测量正面月幔水含量为 5 微克 / 克，而前人用火山玻璃珠的测量结果为 70 微克 / 克。

“这些水主要是以羟基形式赋存的结构水，与老百姓日常认知中的液态水不同。”胡森说。

月幔位于月壳与月核之间，其水含量在揭示月球起源、岩浆活动、资源环境效应等方面具有重要意义。这一发现不仅对学界关于月幔“富水”“贫水”的长期争议作出了答复，更揭示出月球最大撞击盆地——南极·艾特肯盆地（SPA）的形成过程可能进一步改造了月幔水分，为研究月球早期演化历史提供了重要参考。《自然》审稿人评价该研究是“月球背面月幔水研究的里程碑”。

未雨绸缪

凡事预则立，不预则废。胡森表示，研究团队如此快速地取得成果，离不开地质地球所前期的未雨绸缪。

在 2023 年 7 月嫦娥六号发射之前，地质地球所就成立了“突击队”，近百名来自多个实验室的研究员、工程师、学生参与其中。“那时我们就开始讨论嫦娥六号样品的主要研究方向、预期要解决哪些重要问题。”胡森说，虽然研究团队有嫦娥五号的实战经验，不像第一次拿到月壤看到一堆“黑乎乎的土状面粉”时那样犯愁，但依然有很多问题需要提前解决。

开展月背月幔水含量研究，要用哪种矿物作为研究载体？研究人员也是摸着石头过河。他们通过查阅大量文献，创新性提出利用月球玄武岩中的磷灰石和熔体包裹体这两个“时间胶囊”反演月幔含水量。“玄武岩来自月球内部，是研究月幔水含量的重要样品。但玄武岩里不是所有的矿物都含水，我们的前期研究表明磷灰石富含水，和早期淬火的母岩浆或熔体包裹体，都可以用作参考标准。”胡森说。

此外，在前期研究中，研究团队还作了一系列假设与猜想，如根据钍（Th）含量与水含量的相关性，推测月壤钍含量低可能意味着水含量也低；SPA 撞击事件可能会改造月幔，进而影响水含量。这些思考和分析为后来的研究提供了重要方向和依据。

（下转第 2 版）

冲击地表最强、成为亚洲第一，“强磁”团队如何练成？

■本报记者 张双虎

研制成功 32.35T（特斯拉）极高磁场超导磁体，中心磁场超过地球磁场 64 万倍；制备出 9.4T、800 毫米口径人体全身成像磁共振磁体系统，一举成为亚洲第一；进军 0.7T、1.5T、3T、7T 等不同磁场强度无液氦磁共振成像系统领域，满足我国科研、医疗、国防等关键领域液氦供应需求……

因突破无液氦超导磁体成套关键技术、研发出多种适应苛刻环境的无液氦特种强电磁装备，中国科学院电工研究所（以下简称电工所）无液氦高场强磁装备研究团队荣获“2024 年中国科学院年度团队”称号。

这个“磁力”超强、战力“爆表”的团队，正以“不畏挑战”“先干再说”的攻坚精神，冲向超导磁体科学领域的一座座高峰。

王秋良在装调 9.4T 超导磁体。　受访团队供图

一路冲向新世界纪录

2012 年，国家重大科技基础设施项目启动立项，电工所作为主要参建单位，无液氦高场强磁装备研究团队在中国科学院院士、电工所研究员王秋良的带领下，承接了研建磁场强度高达 26T 的超导磁体任务，以破解大科学装置的“强磁场”难题。

那时，王秋良团队已在强电磁工程与技术领域探索多年，储备了扎实的基础知识和丰富的工程经验，也闯过了该技术的前期工艺摸索期。但建造 26T 超导磁体，技术难度仍然极大。此后几年，该团队艰苦摸索，持续进行工艺探索，直到实现 24T 超导磁体，建造 26T 超导磁体的技术路线才逐渐清晰。

习惯自我“加码”的王秋良给团队制定了 27T 的目标。“达到 26T 就满足立项要求，但我们自己的目标要高一点。”王秋良告诉《中国科学报》。

当时，世界最强磁场纪录是日本的 27.6T。团队计划对原方案进行改造升级，“冲击”27T。

没想到就在这个节骨眼儿上，美国国家强磁场实验室宣布打破日本纪录，成功研制出磁感应强度为 32T 的超导磁体。

在刷新世界最强磁场纪录的“较量”中，王秋良团队选择再度“加码”，冲击 32T。

虽然研制目标一路“走高”，但王秋良依然信心十足。“我们‘冲’30T 级别的能力还是具备的。”他回忆说。

强磁磁体装配完成后，就是最让人兴奋和紧张的测试环节。测试过程中，随着磁场强度一点点提高，磁体各方面参数逼近极限，出现问题的概率不断飙升。

“当时已经实现了 30T 的目标，要不要往上‘冲’？能不能冲击成功？那时候我们心里是完全没底的。”团队成员、电工所研究员刘建华说，当时大家最担心的是磁体像日本磁体那样被烧毁。

据悉，因热管理和机械应力问题，美国、日本的超导磁体都在冲击峰值后掉了下来。日本的磁体更因“失超”（失去超导能力，温度快速升高）导致线圈烧毁无法工作。团队成员拿不定主意，来征求王秋良的意见。王秋良态度依然很坚定：冲！

磁体有 3 个重要参数——磁场强度、稳定性和均匀性。最终，王秋良团队研制的极高场超导磁体，在这三方面都实现了性能突破，创造了 32.35T 全超导磁体的新世界纪录，磁体没有失超并安全退磁。

“我们建造的两套极高场全超导用户磁体系统，目前已在怀柔综合极端条件大科学装置中稳定运行超过两年。”刘建华补充说。

无人相信，他们选择“干了再说”

2010 年，9.4T 超高场人体全身磁共振成像系统拟作为国家重大装备研制项目立项。

立项论证时，很多专家认为用超导磁体研制这么高场强的人体全身成像系统“难度极高、极具挑战性”，甚至有人提出质疑。

“也难怪有专家质疑。”团队成员、电工所研究员程军胜说，“当时国内技术还停留在开发 1.5T 成像磁体阶段，临床使用的核磁共振成像设备也以 1.5T 为主。9T 以上系统全球只有英国特斯拉一家公司能做出来，我们忽然站出来说要干到 9.4T，当然没人相信。”

在一片质疑声中，王秋良决定“干了再说”。

研制过程中，团队经历了前所未有的挑战。从工艺研究到系统改造，新问题、新状况层出不穷。例如，13 万匝超导线的绕制，每一匝超导线由上百根头发丝般粗细的超导芯丝构成；长 3 米、直径 2 米、重数吨，多个大尺寸、高精度超导密绕线圈设计制造关键工艺技术的突破；50 吨重磁体的精准装调……任何一处小小的误差都会影响这个巨大磁体的精度。

无论是零下 10℃的严寒，还是 45℃的酷暑，每个人都坚守在试验场。

然而，在磁体测试环节，始料未及的情况还是出现了—— 一台性能稳定的制冷机突然毫无征兆地“罢工”了。

“之前从未碰到这么高强度和大空间范围的杂散场，连厂商都不知道这种工况下制冷设备会无法工作。”团队成员、电工所副研究员王晖说，“制冷过程中，压缩机依靠活塞运动工作，但在强磁场条件下，活塞功能失效了。”

历经多年攻关，2019 年底，团队终于研制出 9.4T 超高场人体全身磁共振成像用超导磁体，使我国成为亚洲第一个掌握此项关键技术的国家。该磁体配套形成的高场人体核磁共振成像系统，能够实现多核成像，获得更高信噪比、更高分辨率的图像，且成像速度更快。

（下转第 2 版）

弘扬科学家精神

一年 2 万多篇 SCI 论文，中国成为储能研究最活跃国家

本报讯（记者陈欢欢）4 月 10 日，由中关村储能产业技术联盟、中国能源研究会和中国科学院工程热物理研究所主办的第十三届储能国际峰会暨展览会在京开幕。会上，中关村储能产业技术联盟理事长、中国科学院工程热物理研究所所长陈海生表示，2024 年，中国储能技术领域发表 SCI 论文 20025 篇，占全球发表论文的 49%，已成为世界上储能基础研究、技术研究最活跃的国家。

陈海生表示，2024 年，我国在储冷储热、锂电池、钠电池、超级电容器等领域发表的 SCI 论文数均超过 1000 篇，申请中国发明专利数量超过 1000 个。在国际专利方面，中国继续保持第一。

我国在关键技术和集成示范方面也取得多个突破。例如，360 万千瓦 /4000 万千瓦时双世界第一的丰宁抽水蓄能电站全面投产发电，山东肥城 300 兆瓦 /1800 兆瓦时盐穴压缩空气储能电站并网发电，国内单体规模最大的 505 兆瓦 /1010 兆瓦时磷酸铁锂电池储能电站在内蒙古成功并网等。陈海生表示，从技术路线来看，多种储能技术并存，不同储能技术适用于不同场景，至于哪种储能技术能成为主流，还要市场来投票。从目前来看，抽水蓄能和锂电池最为普及。

2024 年是中国能源加速转型的一年，可再生能源装机首次超过火电，占总装机的 56%。而根据本次峰会上发布的《储能产业研究白皮书 2025》，2024 年也是中国储能具有历史意义的一年，新型储能装机规模首次超过抽水蓄能，成为最主要的储能方式。据不完全统计，截至 2024 年底，中国已投运电力储能项目累计装机规模 137.9 吉瓦，占全球市场总规模的 37.1%，同比增长 59.9%。新型储能连续 3 年新增和累计装机规模增速均超 100%，2024 年累计装机规模达到 78.3 吉瓦，占全球市场的 47%。其中锂离子电池占据主导，但多个百兆瓦级长时储能项目相继投运，使得锂电池累计装机占比有所下降，与 2023 年同期相比下降了 0.2 个百分点。

“很欣慰，过去 5 年我国储能市场一直按照预测的理想场景发展。”陈海生表示，预计我国新型储能装机 2025 年将突破 100 吉瓦，未来 5 年继续高速增长，保守场景下在 2030 年将累计达到 236 吉瓦，理想场景下将达到近 300 吉瓦。

近日，被誉为“全球医疗风向标”的第 91 届中国国际医疗器械博览会（CMEF）在上海召开。展会设有医学影像、体外诊断、医用电子、医用光学、医院建设等 22 个主题展区，来自全球 30 多个国家和地区的近 5000 家企业集中展示了医疗器械领域全科室、全产业链产品技术与解决方案。

本届展会特别设立“医疗机器人专区”与“AI＋特色活动”。全球首款搭载了人工智能深度学习技术、拥有“数智脑”“数智眼”和“数智手”的骨科智能手术机器人，智能啄木鸟微型脊柱手术机器人，腔镜手术机器人等新品一一亮相。

图为康诺思腾手术机器人。

图片来源：视觉中国

德国将成立“超级高科技部”

寰球眼

本报讯 根据德国新一届政府近日公布的联合执政协议，该国将成立“超级高科技部”，负责研究、技术和航空航天领域。

据《科学》报道，这是 4 月 9 日公布的 144 页联合执政协议中与科学相关的举措之一。经过数周谈判，基督教民主联盟（CDU）与基督教社会联盟（CSU）组成的德国联盟党和德国社会民主党（社民党）达成协议，预计将于 5 月初正式获得批准，从而为 CDU 领导人 Friedrich Merz 出任德国总理铺平道路。

根据计划，目前的研究和教育部将被拆分，新设研究、技术和航空航天部，而教育部门将由德国联邦家庭、老年人、妇女和青年事务部接管。这是 30 年来德国首次将“研究”与“技术”划归同一部门，并与“教育”分开。

德国最大独立研究资助基金——大众汽车基金会首席执行官 Georg Schütte 表示，这是一项积极举措，将本该在一起的事务归到了一起。他说，技术和航空航天与研究紧密相连，但此前这些事务由经济部管理。

协议规定，“超级高科技部”将由 CSU 负责。尽管 CSU 尚未提名部长人选，但外界普遍预测，曾在前几届政府负责“数字基础设施”的 Dorothee Bär 将出任该职。

协议列出了新政府的一些科研优先领域，包括人工智能、量子技术、生物技术、微芯片，以及聚变能源。“我们的目标是在德国建成世界上第一个核聚变反应堆。”协议中写道。协议还将个性化医疗、海洋研究和可持续发展研究列为战略领域。不过协议未提及具体预算，观察人士称，目前尚不清楚新项目的资金从何而来。协议确认了当前的承诺，即到 2030 年，德国主要研究机构的预算每年增加 3%。

在“科学自由”章节中，该协议还间接提到了美国的情况——全球健康和气候变化等科研项目的资金被削减，重要数据集从联邦机构网站上被移除。协议指出，“资助决策将基于科学驱动的标准”。联盟党和社民党表示，“希望保护那些受威胁的、与科学相关的数据集，并使它们在全球范围内都可访问”。

分析认为，德国可能会从美国和全球其他地区的政治动荡中受益。德国海德堡大学的肿瘤学家和医学伦理学家、德国伦理委员会成员 Eva Winkler 表示，期待协议将“使招募最优秀的国际人才变得更容易”。她说，当前德国的做法使得国际招聘尤为复杂。

Schütte 指出，联盟党和社民党还关注科研在强化德国军事和国防能力方面的作用。新政府计划扩大和平与冲突研究，并将在公共机构、企业和军队的研究人员之间促进“更有针对性的合作”，以开展安全和防务研究。　（文乐乐）

研究发现温室气体六氟化硫的有效替代品

本报讯（记者孙丹宁）中国科学院大连化学物理研究所研究员董文锐、杨学明团队，联合贵州民族大学教授龙波、美国明尼苏达大学教授 Donald G. Truhlar，在克里奇中间体双分子反应动力学研究中取得新进展。他们发现全氟异丁腈在大气中主要通过与克里奇中间体反应途径被消耗，为评估全氟异丁腈作为六氟化硫替代气体提供了科学依据。近日，相关成果发表于《美国化学会志》。

六氟化硫因其卓越的绝缘性能广泛应用于电力设备中，但它也是最强效的温室气体之一。寻找既具备良好绝缘性能又环境友好的替代物是减缓气候变化的关键。全氟异丁腈是一种无毒化合物，有着良好的绝缘性能和较低的全球变暖潜能值，是最有可能替代六氟化硫的介质绝缘气体之一。

这项工作中，科研人员对克里奇中间体与全氟异丁腈的反应进行了系统研究，通过测量反应速率常数随温度的变化，并结合最新的电子结构计算及双层次动力学理论，发现如果将克里奇中间体反应作为新的清除途径，并将其纳入全球大气模型中，全氟异丁腈的大气寿命将从原先估计的 56 年大幅降至 2 至 34.5 年。理论模拟与实验测量结果高度一致，表明利用最新的电子结构计算和反应动力学理论方法，能够准确预测高反应活性物质的反应速率常数，并为理解复杂反应体系提供了可靠的理论框架。

该工作进一步确认了全氟异丁腈的低碳特性，证明其是温室气体六氟化硫的有效替代品。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1021/jacs.5c01737