

入“坑”后,他们发现火星 7.5 亿年前存在水活动

■本报记者 冯丽妃

距今约 7.5 亿年,火星乌托邦平原南部浅表层仍存在显著水体活动。这是《国家科学评论》2025 年 12 月刊发的一篇论文的结论。该结论意味着火星上的水活动比过去认为的要晚数亿年,为重新认识火星气候演化、地质过程及探索潜在宜居生命提供了新的重要证据。

这一发现过程并非坦途。“一开始觉得还挺简单的”,深入研究才发现,真是入了个“大坑”!“回忆研究历程,论文第一兼通讯作者、中国科学院地质与地球物理研究所(以下简称地质地球所)研究员刘伊克曾这么对时任所长、中国科学院院士吴福元说。

“‘大坑’好啊!如果‘坑’不大,别人就都做出来了。”吴福元笑着回答。

入“坑”:读雷达信号

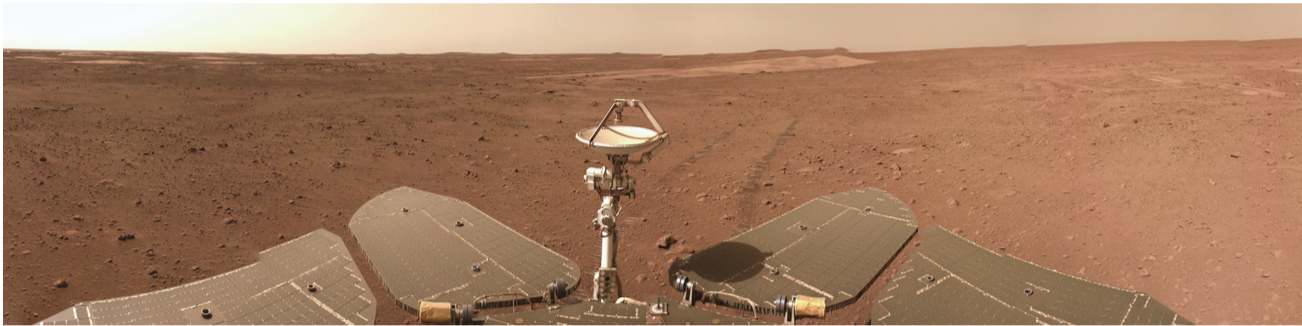
今天,距离地球最远 4 亿公里的火星是一颗寒冷干燥的星球,但它并非一直如此。科学家发现,这颗红色星球在约 40 亿至 37 亿年前,曾广泛发育河流、湖泊乃至海洋;约 37 亿至 30 亿年前,气候逐渐由湿润转向干旱;30 亿年前至今,整体进入寒冷干旱环境,仅保留冰、卤盐沉积、地下水上升、地表冰融化及局部洪水等有限水活动。

“了解火星水与气候活动,对未未来人类探索火星、选择着陆点及持续支持人类活动具有重要意义。”刘伊克说,这正是科学界执着于探究这一目标的重要原因。

2021 年 5 月 15 日,祝融号火星车在乌托邦平原南部成功着陆。其携带的六大科学装备中,次表层探测雷达是全车唯一能够探测地表以下数十米的设备。该雷达有低频、高频两种。

低频雷达能够探测地下几十米深的地层。地质地球所利用相关数据的研究已经表明,该区域曾经历两期洪水沉积事件——35 亿年前至 32 亿年前曾发生大型洪水活动,16 亿年前仍有小型洪水事件发生。这些发现将火星水活动时间延长了近 14 亿年。

但低频雷达对火星浅表 10 米的地层结构探索“无能为力”。“若能在火星



祝融号火星车在工作。

受访者供图

浅层地表发现水冰,将具有更重大的现实意义。”刘伊克说。高频雷达正好能够弥补低频的“缺憾”。“祝融号高频雷达有 4 个极化方向,信息量多,成像分辨率高,对 10 米内浅表的探测精度可以达到厘米级。”

“伊克,你来分析雷达高频信号吧。”刘伊克还记得,吴福元最初把这项任务分给自己时,他为能够参与这一重要分析而喜不自胜。“高频数据分析和我的专业比较近——我一直在做地震方面的研究,主要是油气和应用地球物理领域,因此比较适合做这项分析。”他回忆说。

与用地震波给地下结构“做 CT”一样,雷达会向地下发射电磁波信号,反射的信号被接收器接收,可以用这些信号“推测”火星地下的结构,从而对巡视区地下浅层结构进行精细成像。

不过,刘伊克没有想到的是,高频数据的处理难度远超预期。“数据噪声特别大。就像你发出一连串的声音,收到无数个回声,噪声与原声反复叠加,很难分辨原来的声音。”这让他一时感觉“真是跳进了一个‘大坑’”。

好在他们在地球上作业的经验丰富。刘伊克因在地震多次波成像与压制理论和方法方面的创新性研究,成为首位获得国际勘探地球物理学家学会雷吉诺德·范信达奖的中国学者。他带领团队利用这一方法压制雷达多次散射噪声,终于还原出浅层地表清晰的原始信号。

他们还将地震学研究中常用的测井分析、各向异性等方法,迁移到雷

达信号解读中,解析火星地层,绘制出着陆区 7 米深的浅层地表“高清照片”——垂向分辨率高达 5 厘米,能清晰分辨薄层沉积。

陷“坑”:推理火星演化史

雷达数据成像与介电常数分析显示,祝融号着陆区 7 米深的浅层地表存在上、中、下三层反射面,上、下层为弱反射面,中层为强反射面;中、下层普遍存在整体向北倾斜的坡面和裂缝构造,存在一处向南倾斜的铲形断层,并呈现“碗形”特征——它们是两个已被掩埋的陨石坑。

怎么根据这些信息判断祝融号着陆区是否存在水呢?这是另一个让刘伊克挠头的问题。

为了作出科学合理的判断,刘伊克团队拉来了全所不同领域的专家“把脉”。“岩石学、构造学、沉积学、地质学、遥感学……不同方向的人都加进来了,我们花了很大的功夫,一块儿讨论问题。”他对《中国科学报》说,“所以论文的作者有 27 人之多。”

刘伊克记得,在吴福元和中国科学院院士、天问一号火星探测首席科学家潘永信的带领下,在地质地球所召开了近 10 次讨论会,展开“头脑风暴”。大家经常争论得面红耳赤。有人提出假设,有人将其推翻,如此反复。

以沉积层形成为例,其形成原因主要分为 4 类,即火山熔岩沉积、变质岩沉积、风沙沉积、水沉积。团队利用“排除法”,逐一排除了前 3 个成因。多项

证据都指向“水沉积”的形成机制:火星表面成分分析仪在地表识别出多处板状岩石和海滨交错层理的片状岩石,并检测到含水矿物;高频雷达成像揭示了掩埋于中部地层的厘米级薄层沉积结构,形态与地表沉积岩石层理高度相似,表明其形成于水环境沉积过程;向南倾斜的铲形断层结构表明,下层岩石相较于上覆地层更具塑性变形特征,暗示其可能富含石膏或岩盐等盐类矿物,此类地层通常与水下沉积环境密切相关。

此外,与美国毅力号所在的杰泽罗区相比,祝融号着陆区介质损耗角正切远小于毅力号所在的火山熔岩覆盖区,进一步表明该区域属于沉积环境。尽管火星表面成分分析仪未直接在地表探测到黏土矿物,但下层反演获得的介电常数约 6.5,与富盐或富黏土沉积层的典型数值一致。底层各向异性参数也指示富盐沉积物的存在,进一步暗示了历史上水活动的参与。

“这些都说明,水沉积是唯一的合理解释。”刘伊克说。

根据陨石坑计年法,团队发现,底层沉积物形成时间约为 7.5 亿年前。陨石坑掩埋深度与规模进一步指示,该区域在沉积时期处于浅水环境。与祝融号低频雷达在 10 至 30 米深度揭示的古海岸线特征形成良好对应。

综合多重线索,团队逐渐“拼出”火星祝融号着陆区 7.5 亿年以来的演化图景:最初处于液态水环境;此后,局部湖泊或地下水上升,带来沉积物沉积、碎屑堆积、坡面;随着时间推移,逐渐形成以含水沉积物为特征,经风化、沉积改造的浅地表结构。

出“坑”:有成就感

《国家科学评论》审稿人认为,这是一项“高质量的研究”,“创造性地将地震成像方法应用于探地雷达数据……揭示了新的地质学信息和解释依据”。

至此,刘伊克终于出“坑”。不过,当被问及未来是否还会开展行星科学探测相关研究,他直言:“会。”

刘伊克表示,行星科学正成为地球科学的新生增长点。地质地球所是国内最早进行这一领域布局和研究机构,早在 2003 年就开始布局这一学科,2017 年在中国科学院大学设立地球与行星科学专业。

“这几年,从月球到火星,我们在行星科学探测方面做得‘轰轰烈烈’。”他笑言,“这方面的研究有挑战,也有成就感。”

(本报实习生赵月亦有贡献)
相关论文信息:
<https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf505>



首款实现乙肝“功能性治愈”的药物有望上市



本报讯 一份未包含任何数据的企业新闻稿,在乙肝研究界引发热议。近日,英国葛兰素史克公司宣布,其在研药物贝匹罗韦森(以下简称贝匹)在两项关键的 3 期疗效临床试验中,展现出治疗乙肝的积极效果,公司即将向药品监管机构提交上市申请。

据《科学》报道,贝匹有望成为帮助一小部分患者实现乙肝“功能性治愈”的首款疗法,这意味着患者可停止每日

服药,这一目标此前长期难以企及。

“研究人员为此奋斗了数十年,如今终于迈出了正确的一步。”美国巴鲁克·布隆伯格研究所所长郭巨涛表示。

全球约有 3 亿人感染慢性乙型肝炎病毒(HBV),该病毒最终可能引发肝硬化、肝癌等多种疾病,每年合计导致超 100 万人死亡。开发彻底清除体内病毒的“根治性疗法”,是一项极具挑战性的任务。因此,研究人员长期以来将功能性治愈作为主攻方向,即通过一段有限周期的治疗,将患者体内的病毒载量降至足够低的水平,使免疫系统能够依靠自身力量控制病毒。

贝匹是一种反义寡核苷酸药物,需

每周注射一次。其作用机制是将特定核酸序列与 HBV 信使核糖核酸(RNA)相结合,阻止新的病毒蛋白合成。有证据表明,该药物还能增强人体对 HBV 的免疫应答,不过这一结论尚存争议。

2022 年《新英格兰医学杂志》发表的一项 2b 期临床试验结果显示,在接受贝匹联合现有获批药物治疗的患者中,约 10% 的人在所有治疗结束后至少 24 周内,体内的 HBV 脱氧核糖核酸(DNA)和表面蛋白均处于检测不到的水平。此外,贝匹几乎不会引发严重的副作用。

葛兰素史克公司开展了两项安慰剂对照的 3 期临床试验,共纳入 29 个

国家的 1800 名正在接受常规乙肝药物治疗的患者。尽管葛兰素史克发布的新闻稿未披露具体数据,但声明这两项临床试验“实现了具有统计学显著性和临床意义的功能性治愈率”,并计划于 4 月前提交全球监管申请。

“这一结果清晰表明,功能性治愈乙肝的目标具有现实可行性。”肝病流行病学家 Nick Walsh 指出,若试验结果得到验证,这款药物“无疑是朝着这一长期难以企及的目标迈出了关键一步”。

乙肝基金会医学主任 Robert Gish 对此表示认同,如果试验证实贝匹可帮助至少 10% 的患者停药,“这无疑是振奋人心的消息”。

(王方)

新疆新发现铬铁矿矿群,为近 40 年之最

本报讯(记者冯丽妃)记者近日从自然资源部中国地质调查局了解到,该机机构联合新疆维吾尔自治区自然资源厅,组建萨尔托海铬铁矿找矿突击队,开展铬铁矿找矿会战,新发现萨尔托海 27 矿群,圈定矿体 20 个,平均品位 30.73%,是该地区近 40 年来最大找矿发现。

此次找矿过程中,团队创新形成一套有效的铬铁矿勘查技术方法,建立“岩相分带+蚀变分带+构造”的

找矿标志组合,创新“物探多方法多尺度微弱异常信号提取”技术,基于物探成果实施 13 个钻孔验证,其中 10 个见厚层块状铬铁工业矿体,矿体定位精度大幅提升。

研究团队还重新厘定了萨尔托海地区铬铁矿含矿岩相,在碳酸盐化超基性岩中发现了 11 个铬铁矿体,占此次发现矿石量的 70%;确定底部碳酸盐化超基性岩也是重要赋矿岩相,极大拓展了该区找矿空间。

科学家首创高电压无负极钠硫电池新体系

本报讯(见习记者江庆龄)上海交通大学副教授孙浩团队和中国科学院院士、复旦大学教授彭慧胜团队合作,在国际上首创高电压、无负极的钠硫电池新体系,有效突破了放电电压和安全性方面的限制,为发展新一代大规模储能技术提供了新路径。相关研究成果近日发表于《自然》。

当前,如何开发资源丰富、运行安全、储能高效的电池新体系是全世界面临的重大挑战。室温钠硫电池具有高元素丰度和低成本优势,是大规模储能技术的重要候选路线。然而,基于单质硫到硫化钠的低价态反应路径(S⁰/S²⁻)使电池的放电电压普遍低于 1.6 伏,远低于传统锂/钠离子电池。同时,该低价态反应导致负极需要过量使用化学性质活泼的金属钠,给电池制备及运行带来严重的安全隐患。

针对上述挑战,研究团队提出基于高价态硫反应路径(S²/S⁴⁺)的高电压、无负极的钠硫电池体系,使该电池放电电压大幅提升至 3.6 伏,并能于充电时在负极原位生成钠金属,从而实现在电池制备过程中不使用钠金属,显著提升了电池安全性和成本效益。团队进一步揭示了 S²/S⁴⁺ 高价态氧化还原反应机制。通过优选含二氰胺钠的氯铝酸盐电解液,从分子尺

度上破解了高价硫转化反应能垒高、可逆性差的难题。

在此基础上,研究团队合成了能够高效催化硫单质高价态转化的铋/共价有机框架材料,显著提升了硫正极的充放电深度和反应动力学。高价态正极反应及无负极结构赋予该电池体系优异的应用潜力,使其可在零下 40 摄氏度至 80 摄氏度的超宽温度域内稳定运行,且在搁置 400 天后仍能正常工作,预估材料成本与传统钠电池相比具有优势。

此外,研究团队制备出安时级电池及柔性纤维状电池,并系统验证了其在点燃、弯曲、切割等实际应用场景下的安全性,展示出多场景应用潜力。团队还将钠硫电池拓展至高电压、无负极锂硫电池体系,初步验证了高价态硫转化反应路径的普适性。

该研究不仅突破了长期制约碱金属-硫电池体系发展关键性能局限,更为构建低成本、可持续、高性能的新型储能体系提供了理论依据与技术支撑,有望在大规模储能、低空经济、人工智能、国防军事等重大需求领域发挥关键作用,为实现国家能源转型与“双碳”目标提供关键支撑。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09867-2>

完善环境治理体系,开启固废全链条治理新时代

■刘振刚

2026 年 1 月 4 日,国务院正式印发《固体废物综合治理行动计划》(以下简称“固废十条”)。继“大气十条”“水十条”“土十条”之后,“固废十条”是我国环保领域的又一里程碑式政策,这标志着我国固体废物进入全链条治理新时代。

政策定位:战略转向破解治理困局

“固废十条”的出台恰逢环保产业从“增量基建”向“存量运营”转型关键期。

我国历史堆存工业固体废物超 330 亿吨,赤泥、尾矿等固废综合利用率不足 30%,非法倾倒、跨区域污染等问题突出。而传统环保基建已基本完成,“基建红利”逐渐消退,政策顺势实现三大战略转向:一是治理逻辑从“末端被动处置”转向“全过程主动管控”,首次将全品类固体废物纳入统筹;二是驱动模式从“财政补贴依赖”转向“市场机制主导”,让固废资源化具备经济可行性;三是发展目标从“污染控制”转向“减污降碳协同”,绑定“双碳”目标与产业升级。

“固废十条”区别于“财政补贴驱动基建”传统治理模式,按照减量化、资源化、无害化的原则,构建源头减量、过程管控、末端利用和全链条无害化管理的固体废物综合治理体系,推动固体废物从“环境包袱”向“生态资产”全面转型。

核心举措:筑牢全链条治理防线

源头减量是固废治理的根本。“固废十条”通过政策约束与技术创新双轮驱动固废源头减量。

政策上,工业领域要淘汰落后产能,原则上不再批准无配套尾矿利用处置设施的选矿项目;城镇领域将建筑垃圾减量、运输、利用、处置所需费用列入工程造价;农林领域严禁非标地膜入市下田。技术上,工业企业大力推行绿色设计,强化工业生产精细化管理,降低固体废物产生强度;快递行业加快推进快递包装绿色转型,加强商品过度包装治理;推广循环型农业生产模式。

资源化利用是固废“减污降碳协同增效”的重要路径。政策通过“标准—数据—市场—政策”协同,构建“规模化利用+高值化突破”双路径保障。国家制定再生资源材料质量标准、计量规范和产品碳足迹方法学,为规模化应用提供统一“标尺”,并通过绿色采购、认证互认推动再生品真正进入产业链循环,实现“有标准可采、有渠道可销”;建设再生资源信息化追溯平台,提供来源、成分、碳减排量等关

键参数,增强供应链透明度,破解“信任瓶颈”,为企业批量使用提供数据支撑,放大规模化效应;将再生材料减碳效益纳入全国温室气体自愿减排交易市场,建立“循环利用碳资产”交易路径,使高值化产品附加收益“变现”,形成“卖产品+卖碳汇”双盈利模式,激励企业向高附加值环节延伸。

政策明确各地安排不少于 1% 的产业用地用于支持资源循环利用设施建设;大力发展绿色金融,引导金融机构和社会资本加大投入。政策明确,到 2030 年,大宗固体废物年综合利用量达到 45 亿吨,主要再生资源年循环利用量达到 5.1 亿吨。

全链条监管是固废治理核心保障。在科技监管层面,打造“卫星遥感+无人机+执法系统”的天空地一体化模式;开展危险废物“电子身份码”溯源,贯通产生、转移、处置全环节。法治化层面,建立健全跨部门跨区域联合监管执法机制,并通过完善工业园区管理平台与跨省转移审批制度,加强固体废物全生命周期信息化监管等。

通过构建“源头可溯、过程可控、末端可查”立体网络化监管体系,推动固废治理从“被动查处”向“主动防控”转型,根治非法倾倒、跨区域转移等“牛皮癣”顽疾,为 2030 年遏制固废非法处置高发态势提供刚性支撑。

(下转第 2 版)