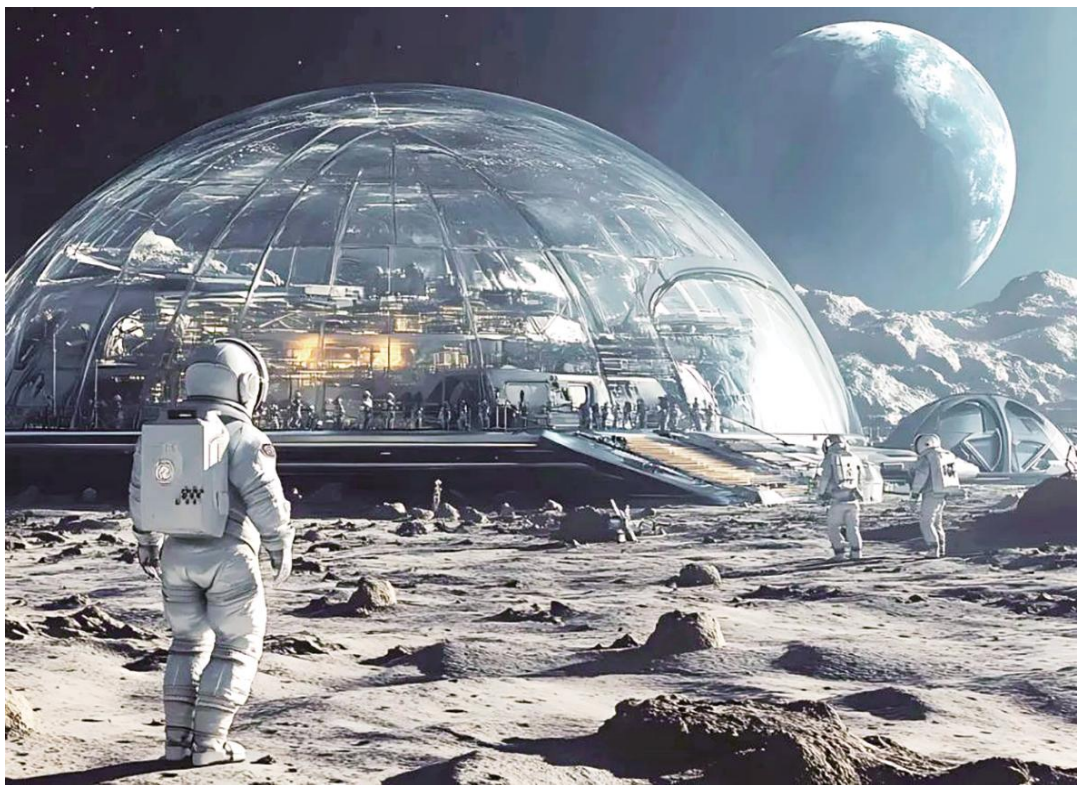
科学导报
2025年1月15日 星期三
责编：李旭阳
邮箱：kxdbstsx@163.com

生态探知 shengtai tanzhi

月壤中的奇迹 从尘埃到能源的转变

古人认为月亮上住着神仙，那里有着取之不尽用之不竭的宝贵资源。嫦娥奔月、玉兔捣药、吴刚伐桂……这些传说无不寄托了人们对月亮的美好向往。

如今，这些美丽的传说正逐渐变为现实——嫦娥号探测器已经先后6次飞抵月球。其中，嫦娥五号和六号，共带回约3.7千克月球“土特产”——月壤。那么，科学家在月壤中发现了哪些珍贵的资源呢？



月球■ 《知识就是力量》杂志

清洁能源——氦-3

科学家在月壤中发现的最重要的资源当属氦-3。氦-3是元素周期表中第二个元素氦的一种同位素。它作为一种清洁核聚变能源，在能源、国防安全和科学研究等领域具有重要应用价值。

作为一种可控核聚变燃料，氦-3核聚变产生的能量是开采所需的250倍，是铀-235裂变反应的12.5倍，是煤炭的上百万倍。

100吨氦-3核聚变产生的能量即可供全球使用1年，且氦-3核聚变过程无中子二次辐射危险，更加清洁和可控。

另外，氦-3是获得极低温环境的关键制冷剂，是超导、量子计算、拓扑绝缘体等前沿研究领域必需的物质。然而，地球上氦-3储量只有0.5吨左右，远远无法满足现有需求。

到月球去找氦-3

研究表明，由于太阳风辐照，月球土壤中储存了大量的氦。之前有观点认为，氦原子被保存在晶体缺陷或固溶体（材料科学中的一个基本概念，例如钢就是一种铁和碳的固溶体）中，提取需要高温和长时间扩散，十分困难。

近期，中国科学家在月壤钛铁矿表面玻璃层中，发现了一种以气泡形式储存的氦-3资源。这一发现为月球氦-3的开采和利用开辟了新的前景。

以气泡形式储存的氦-3资源大约占全部氦-3资源的1/10~1/4，总量有10万~26万吨，核聚变产生的电能可以供全人类使用上千年。

与传统提取方法相比，这种气泡氦-3资源的提取更为直接和高效——可通过机械破碎的方法快速提取，因此具有极大开采价值。

稀缺的水资源

月球上第二个重要的资源就是水。水是建设月球科研站及未来月球星际旅行、保障人类生存的关键资源。

然而，美国阿波罗号、苏联月球号和中国嫦娥号探月任务前期研究结果都表明，月球由于处在高真空环境，没有大气层，表面水分几乎全部挥发；只在月球南极和北极，以及常年阴影区可能存在自然态的冰。

科研人员对带回的月壤进行研究，结果表明，月壤玻璃、斜长石、橄榄石和辉石等多种月壤矿物中含有少量水。

但这些矿物中的含水量在0.0001%~0.02%之间，难以在月球原位（直接在目标天体上，利用其本土资源进行物质和能源的提取、加工和利用的过程，而无需从地球运送大量的补给物资）提取利用。因此，研究探测新的月球水资源及其开采策略，一直是探月工程的首要任务。

用月壤生产水

此前，中国科学家提出了一种基于月壤含铁矿物与内源氢反应，生产水的新策略，为未来月球科研站及空间站的建设，提供了一种全新的获取水资源的方法。

由于太阳风上亿年的长期辐照，月壤矿物中储藏了大量氢。科研人员分析了月壤中5种主要矿物（钛铁矿、斜长石、辉石、橄榄石、玻璃）的氢含量后发现，钛铁矿（$FeTiO_3$）由于具有特殊的亚纳米孔道，其含氢量最高，每个矿物分子大约含有4~6个氢原子，其次是斜长石和月壤玻璃，钛铁矿的含氢量大约是斜长石的3.5~4倍，是月壤玻璃的10倍。

在加热至高温后，月壤钛铁矿中的氢与氧化亚铁发生氧化还原反应，同步生成大量单质铁和水蒸气气泡。而其他矿物要么含氢很少，要么含铁很少，无法生成铁单质和气泡。

地球上的钛铁矿由于不含氢，加热后也不会生成单质铁和气泡。这证明了月壤矿物中固溶的内源氢以及铁氧化物是产生水的关键。

虽然内源氢与铁矿石在高温反应产生了水蒸气，但由于水蒸气气泡被束缚在矿物颗粒中，无法释放出来。科研团队将月壤加热至熔化，发现水蒸气逸出后，月壤重量减少了6.4%。同时，熔融月壤析出大量单质铁，磁性测量结果表明，1克月壤大约生成了157毫克的铁。

根据氢与氧化铁（或氧化亚铁）反应方程式估算，157毫克铁可对应产生51~76毫克水，即产水量占月壤重量的5.1%~7.6%，这与重量测量数据一致。据此估算，每吨月壤将可以产生约102~162瓶（每瓶500毫升）水，可以满足50人一天的饮水需求。

在星辰大海的征途上，每一步探索都承载着人类对未知的渴望和对未来的憧憬。中国科学家的不懈努力，正逐步将月球变为人类探索宇宙的又一重要平台，开启一个充满无限可能的新篇章。

王军强

3000多米地下，年产百万吨页岩油怎么压出来

科学认知 kexue renzhi

近日，新疆吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区传来消息，页岩油年产量首次突破100万吨。

页岩油的开采，有多难？

页岩油，是储藏在生油的泥页岩中的石油。由于孔隙度、渗透率都较低，它们不像常规油气那样，可以在地下的储层空间中自由流动、轻松采出，开采时需要对含油页岩进行压裂改造，形成人工裂缝并给地层加入支撑剂，以免裂缝闭合，页岩中的油可以经这些裂缝流入井筒后采集，人们形象地比喻——像从磨刀石里“榨”油一样。

“常规石油可以自由流动，钻井到了油层，石油顺着管道就流出来了。页岩油可不是。要在3000多米以下的地层，精准钻进1.5米左右厚的油层，再用高压压裂，才能从石头缝中压出油来。”中国石油新疆油田公司吉庆油田作业区（吉木萨尔页岩油项目经理部）副经理李文波介绍。

准噶尔盆地东南缘的这片戈壁滩上，技术人员花了10多年时间，将地层识别、钻井、压裂、投产等一系列页岩油开发技术一一突破，形成特色技术体系，终于实现了对这片10亿吨级大油田的规模化、效益化开发。

2011年，在新疆昌吉回族自治州吉木萨尔县，新疆油田公司发现了深埋地底、来自约2.5亿年前的页岩油藏，初步探明有超10亿吨储量。

“我们当时没有相关技术，也没有经验。”吴承美是吉木萨尔页岩油项目经理部工程师，他回忆，当时邀请了一家外国公司来承接打井的任务。“第一口页岩油井成功出油，证明吉木萨尔页岩油完全可以开采，储量真实存在。”吴承美说，“但是国外公司钻井要价很高，也不同意转让页岩油井钻探的技术，这让我们下定了自主研发、科技创新的决心。”

新疆油田吉庆油田作业区展示的页岩样品。■ 于江艳摄

随后，新疆油田公司又开辟了10口先导试验井。令人沮丧的是，这10口井虽然出油了，但产能远远达不到设想。“连建设成本都收不回来，大家心里非常难受。”吴承美说。

技术团队立刻对这10口井产量不高的原因进行分析。首先要对吉木萨尔页岩油藏有充分的认识，毕竟3000多米的地下，看不见、摸不着，到底哪里有油？什么样的油页岩可以压榨出来页岩油？要压出油，到底需要多大的压力？

从零开始摸索。2017年，新打的两口水平井通过精准轨迹控制，密切割压裂获得高产，开发团队重拾信心。但随后试验开发的49口井，却只有半数产能达标，技术团队再次陷入了困境。

“页岩油在地下并非均匀分布，而是在特定的某一地层大量存在，这一个1.5米厚的地层，我们称之为‘甜点层’。而同样是富含油藏的油页岩，必须满足一定条件，它里边的油才是可动的，是我们采得出来的。”吴承美说。

在吉木萨尔，具备页岩油开采条件的地层有上下两层，被形象地称为“上甜点”和“下甜点”。“‘下甜点’分布更稳定、范围也更广。我们主力建产层位转向‘下甜点’，落实了300万吨产能有利建产区。”吴承美说。

同时，开采页岩油的技术也一次次迭代。

识别更加精准。示范区开创黄金靶体跟踪方法，将“黄金靶体”钻遇率由43%提升到87%。“我们提升了钻头在‘甜点层’钻探的比例，产量肯定就会更高。”吴承美解释。

随之而来的问题是要“压得开”。钻井的压裂技术，要用高压的砂石流在地底撑起一条1800多米的通道，把页岩油压榨出来。“压裂是个细致活儿，可不是压强越大，产量就越高。”吴承美说，示范区技术团队开发了混积型页岩油配套密切割、大砂量、高排量集成压裂技术。油井首年平均日产油由14.6吨提升到26.7吨，一口井的可采储量从2.5万吨提升到3.5万吨。

同时，示范区引入市场竞争机制——“项目制”管理，单井投资从7000万元降到了4200万元。李文波介绍，目前一吨油的成本从72.7美元降低到了44美元，可以挣钱了，也就意味着页岩油可以进行规模化、效益化开发了。

“我们已经攻克10多项关键技术，先后获得省部级科学技术奖4项、授权发明专利5项、软件著作权1项，出版专著3部。”吉庆油田作业区页岩油运行维护中心党支部书记汤涛这样总结，“我们的油田省水、省地、省碳、省工。”

正在进行压裂的平台井一侧，可见篮球场大小的一个水池子。示范区创新性地对压裂反排液进行集中净化处理，实现水循环利用。仅今年，示范区已节约用水超过116万立方米。

“以前一个油井就需要一块土地。现在，我们建设一个大平台，可以部署几十口油井。在地下做文章，通过水平井的方式，每个油井在不同区域采油。目前共计减少占地1500余亩。”汤涛说。

同时，示范区实现全电采油。通过碳捕集、利用与封存技术，年均埋碳超6万吨。

“今天的石油工人，不用天天巡井了。”汤涛说，集智能监测、故障诊断与高效处理于一体的“单井智能诊断系统”，可实现现场无人巡井和故障报警检修。

“经过持续攻关和技术迭代，我们在基础理论、开发技术、工程技术、管理模式、绿色环保等5个方面均取得了突破。”李文波说。

蒋云龙

科普问答 kepu wenda

什么是活性炭？

活性炭是用煤炭、木材、果壳等含碳物质通过适当的方法成型，在高温和缺氧条件下活化制成的一种黑色粉末状或颗粒状、片状、柱状的炭质材料。其中碳占80%~90%，还包括未完全炭化而残留在炭中或者在活化过程中外来的非碳元素与活性炭表面化学结合的氧和氢。

活性炭产品种类繁多。按原料不同可分为木质活性炭、果壳（椰壳、杏核、核桃壳、橄榄壳等）活性炭、煤基活性炭、石油焦活性炭和其他活性炭（如纸浆废液炭、合成树脂炭、有机废液炭、骨炭、血炭等）；按外观形状不同可分为粉状活性炭、颗粒活性炭和其他形状活性炭（如活性炭纤维、活性炭布、蜂窝状活性炭等）；根据用途不同可分为气相吸附炭、液相吸附炭、工业炭、催化剂和催化剂载体炭等；按制造方法不同可分为气体活化法活性炭、化学活化法活性炭和化学物理活化法活性炭。

此外，不同的用途对活性炭孔结构分布的要求也不同。例如，用于溶剂回收、气相分离的气相吸附用活性炭要求以微孔为主，并含有相当数量的大孔；用于脱色、液体净化的液相吸附用活性炭，则要求以中孔为主，以保证尽快达到吸附平衡。

什么是灌溉水源？

灌溉水源主要指可以用于灌溉的大自然水体，包括地表水和地下水。地表水是主要灌溉水源，包括河川径流、湖泊和水库拦蓄的径流；地表水主要来自降雨，降雨随季节和气候变化，在时空上分布极不均衡。浅层地下水是次要灌溉水源，它的来源主要通过降雨入渗、河道渗漏、灌溉渗漏、山坡侧渗等方式补给，存在于地壳表层含水层中。深层地下水由于取用成本高，一般不宜作为灌溉水源。经过淡化的海水和处理达标的污水也可用于灌溉，但因费用昂贵，极少采用。

我国灌溉水源中可利用的水量与耕地面积在地区上的分布极不相适应。长江流域和长江以南其他河流流域，年径流量占全国总量的80%以上，但耕地只占全国耕地面积的40%左右；而北方的黄河、淮河、海河三大流域，年径流量只占全国总量的7%左右，但耕地却占全国总量的40%左右。而且水量在时空上呈现不均匀分布，一般是夏季丰水、冬季枯水，年降雨量的50%~70%集中在夏季或春夏之交季节。丰水与枯水年份水量相差也非常大。

为了保护灌溉水源和防止水污染，2017年6月《中华人民共和国水污染防治法》（第二次修正版）正式发布，是水资源管理与防护的最新法律依据。目前全民节水意识正在不断增强，节水型灌溉也在广泛推广采用，灌溉水源将得到根本保障和更为高效利用。

什么是光热效应？

光热效应是指材料在吸收光能后将其转化为热能的过程。这种效应广泛存在于物理、化学、生物及工程等领域，其核心机制是光子被材料吸收后，导致其内部能量态发生变化，从而释放热量。这种热量的产生伴随着光与物质相互作用时的非辐射弛豫或散射过程。

目前，光热效应的应用领域十分广泛，具体包括：医疗领域，光热疗法利用特定材料（如金纳米棒或碳纳米管）在近红外光照射下产生的热量杀死肿瘤细胞。热效应对周围正常组织的损伤较小，因而具有较高的治疗精度；.能源领域，通过结合光热效应与催化反应的技术，用于促进化学反应（如水分解制氢或二氧化碳还原），提高能源利用效率。此外还有常见的太阳能热水器，通过吸收太阳光将水或其他液体加热，用于日常生活或工业过程；纳米技术与材料科学领域。利用光热效应对纳米结构材料进行局部改性或雕刻，以实现高精度的功能化设计。此外，基于光热效应构筑的传感器可以用于检测温度、气体浓度等环境参数；环境科学领域，利用光热效应分解或去除环境中的污染物，如通过光热催化降解有机污染物或杀灭水体中的病原体。基于光热效应的太阳能蒸馏技术可有效提升海水淡化的效率，为水资源匮乏地区提供可行的解决方案。

当心！智能门锁成为起火源头

日前，贵州省贵阳市一小区高层住宅发生火情，消防员发现是智能门锁锂电池自燃所致。

天津大学材料科学与工程学院教授许运华表示，若电池的电芯有瑕疵，或者电池的保护电路设计不完善，就可能导致短路。电路短路会产生大量热量，引燃门锁中的塑料配件，进而引发火灾。

另外，锂电池在高温环境下会变得不稳定，如智能门锁安装在阳光直射或者靠近热源的位置，电池长时间处于高温环境中会增加起火风险；不规范的充电方式，使用不符合标准的充电器或者过度充电，也可能导致电池损坏引起火灾。

许运华提醒，在使用智能门锁的过程中，应尽量避免让智能门锁处在高温、潮湿或者阳光直射的环境中；定期检查门锁的电池状态，如发现电池有鼓包、漏液等情况，应立即更换；使用配套充电器要按照正确的方式给电池充电，避免过度充电和长时间充电；如果长时间不使用门锁，可将电池取出单独存放，防止电池受损。

陈杰