



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 8763 期 2025 年 6 月 4 日 星期三 今日 4 版

新浪微博 <http://weibo.com/kexuebao>

科学网 [www.sciencenet.cn](http://www.sciencenet.cn)

# 杨春和：把“绝不可能”变成“完全可行”

■本报记者 李思辉 实习生 张鸿悦

5月的一天，武汉暴雨。当《中国科学报》记者一早来到中国科学院武汉岩土力学研究所（以下简称武汉岩土所）准备采访时，中国工程院院士、武汉岩土所油气中心负责人杨春和刚刚送走一拨客人。接下来，还有一场小范围的技术交流活动等着他。不久前，杨春和获得了2025年“全国先进工作者”荣誉称号。

事实上，不论刮风下雨，酷暑严寒，早来到所里开启一天的工作，是杨春和几十年如一日的习惯。曾经，为应对国家重大工程中的突发状况，他甚至不顾尚未完全恢复的旧病体带病进行科研攻关，最终成功破解了技术难题。

杨春和告诉《中国科学报》，身体是革命的本钱，他并不主张年轻人“996”甚至“007”。但他坚持认为，勤劳依然是这个时代最美好的品质之一。对科研工作者而言，以造福大众为目标的勤奋劳动，是取得科研突破、实现自身价值的根本办法。



武汉岩土所供图

对国内外专家的盖棺定论，杨春和没有盲从，他认为只有开展充分的调查研究才有发言权。

于是，他默不作声地带队带领团队成员深入江苏金坛、湖北潜江等地采集样本，通过大量力学实验验证技术路径。实验数据最终表明，中国层状盐岩的长期强度与欧美均质盐丘相当，夹层反而增强了稳定性。

也就是说，尽管有一定的困难，但我国一些地方的盐穴具备较好的储能条件，可以进行开发利用。他为此做了大量的理论研究和实地勘探工作，形成了一套适用于层状盐岩储能的技术体系。

机会出现在2003年。彼时，我国西气东输工程急需配套储气库，此前具有大量研究积累的杨春和的建议得到有关方面的重视。面对国家重大工程的需求，杨春和积极投身其中，在相关产业部门的支持下，开展系统而深入的调查研究。随后，他力推江苏金坛作为首个建库选址。

针对当地薄层易塌难题，他创新性提出“高压注浆加固+双井定向溶蚀”技术，大幅缩短工期并提升腔体利用率。在各方通力合作下，2007年，中国乃至亚洲首座盐穴储气库——江苏金坛盐穴储气库建成投产。次年南方冰灾期间，该储气库紧急释放5亿立方米天然气，保障了长三角地区千万户家庭用气。

这标志着“此前被认为‘绝不可能’的事情在中国的大地深处变得‘完全可行’”。而这背后凝聚着杨春和等科学家无数个日夜的理论推导、野外实测、餐风露宿、艰苦跋涉。

### 储能新突破

“地下储能技术要服务国家战略需求，问题越难，越要早一点攻克。”在前期研究的基础上，

杨春和带领团队成员将研究视野从传统油气储备拓展至氢能、氨能等战略领域，以技术创新回应国家能源转型的迫切需求。

2023年，湖北大冶启动我国首个岩穴储氢科研项目。针对氢能规模化储存的技术瓶颈，杨春和团队自主研发盐穴储氢库围岩氢渗透测试装置，系统揭示氢气与盐岩的相互作用机制。

“氢能是未来能源体系的核心，但安全、高效储存是前提。”杨春和积极推动编制《盐穴储氢技术导则》，为国内首座百万方级储氢库建设提供标准支撑。

该团队完成国内首个盐穴储氢中试工程，破解氢气微渗漏控制难题。这一突破为我国大规模氢气储备能力的提升提供了理论及关键技术支撑。

该团队进一步攻关，将废弃盐腔改造为全球最大的压缩空气储能电站。面对企业提出的半年筛选周期，他们仅用一个月便从百余处废弃盐腔中锁定目标，并通过“高位注气、低位排卤”技术将沉渣空间利用率提升至70%。电站投运后，监测显示，单机功率、储能规模与转换效率3项指标均创世界第一。

### 多能联储梦

“要让盐穴储库在中国落地生根，四面开花。”杨春和说。

从突破层状盐岩建库理论，到开拓氢氨储能新领域，他参与攻关的30余座岩穴储气库遍布全国，支撑起“西气东输”“川气东送”等国家能源动脉，并在极端气候下保障天然气应急供应。

在此基础上，杨春和提出“多能联储”战略构想——依托湖北潜江、江苏金坛等盐岩富集区，构建“储油、储气、储氢、储氨”综合储能系统，形成覆盖全国的地下能源储备网络。

“中国地质条件比欧美复杂得多，但正因如此，我们的技术路线更具普适性。”杨春和说。

“一切梦想的实现都必须靠勤奋劳动实现，科研也是如此。”杨春和直言，尽管时代发生了变化，但全社会依然需要大力倡导热爱劳动的品格，形成“劳动最光荣”的氛围。对于科研工作者而言，劳动的意义就在于以国家需求为导向，开展周而复始的艰苦探索，进行长期而有效的创造性劳动，努力解决现实难题、不断取得新突破。

## 弘扬科学家精神



### 深地拓荒者

过去几十年，杨春和做了一件大事，那就是进行包括盐穴储气在内的深地储能研究。

何谓盐穴储气？通俗地说，就是利用盐矿开采后留下的空腔，或者在地下盐岩中溶出一口巨大的“天然溶洞”，将天然气储存在其中。

盐穴储气具有储量大、成本低、密封好、使用寿命长等优点，还能节省地面土地资源，它的运营费用仅相当于地上建库的1/3左右。作为一种重要的能源储备方式，美国早在上世纪就开始相关探索。上世纪70年代，地下盐穴天然气储备已占美国全部储备量的30%。

“我国油气进口依赖度高，一旦遭遇自然灾害或者遇到不确定因素，就可能造成供应中断，因此能源储备至关重要。”杨春和说，与建在地面上的储气库不同，地下油气储备具有规模大、安全性高、经济性好等优势，如果有了足够的盐穴储气库，一旦上游供应中断，还可以利用储气库保障安全。

1999年，杨春和从美国内华达大学博士毕业回国。彼时，我国盐穴储能领域尚处空白，而美国在墨西哥湾的盐穴储油库已建成30年，战略石油储备规模可支撑国家90天需求。

“国家需要能源安全，地下储能是必由之路。”带着这份使命，杨春和毅然选择层状盐岩储库研究作为突破口。

尽管这项工作非常重要，但一提出立马遭到强烈质疑。我国盐层属于层状结构，盐层厚度小、不溶层多，地质条件的复杂程度超乎想象。欧美、日等发达国家的专家遇到类似地质条件，大多直接放弃建库。国内专家反对声很大，主要是担心发生泄漏、坍塌甚至爆炸等重大安全事故。

“中国的盐穴虽多，但只能废弃，不可储能。”面

受太阳爆发活动影响，北京时间6月1日14时至2日14时，全球先后出现了6小时特大磁暴、6小时大地磁暴、9小时小地磁暴，全球地磁活动指数最大值为8。受本次地磁暴的影响，我国黑龙江、内蒙古等地出现绚丽的极光美景。

图为新疆博斯腾湖上空星光璀璨，粉色极光渲染夜幕。

图片来源：视觉中国

## 科学家倡议保护濒危微生物



本报道作为一种从墨西哥托西涅加山谷富盐的潟湖中分离出来的细菌，*B.coahuilensis*与爪哇犀、毛伊岛鸮嘴雀一样，都是濒临灭绝的物种。然而，像*B.coahuilensis*这样的微生物的濒危状态，并没有在微生物圈外引起太多关注。近日，据《科学》报道，在美国克利夫斯海洋研究所举行的一场学术会议上，一个由科学家和环保人士组成的多学科小组希望改变这种状况。

保育生物学家、在国际野生生物保护学会和

大自然保护协会担任过领导职务的Kent Redford是这次会议的倡导者和组织者之一。他指出，该小组面临一项艰巨任务，即说服其他人相信濒危微生物也应该得到保护。Redford说：“作为一种实践，从传统意义上讲，保护是试图保持事物的现状，甚至它们过去的样子。但微生物不同，它们一直处于不断进化、变动之中。”

会议组织者之一、美国加利福尼亚大学圣地亚哥分校的Jack Gilbert指出，地球上有一万种细菌、病毒、古生菌、原生生物和真菌。它们产生了世界上大部分的氧气，在人们的肠道中“定居”，为生命起源提供线索，可引起疾病，也可治疗疾病，能酿酒并制作奶酪，还能帮助植物生长。通过生物工程，它们帮助人们创造新药，筛选毒素，减少植物

对肥料的需求，提高作物产量。

Gilbert和其他与会者计划成立一个微生物专家小组，作为世界自然保护联盟(IUCN)物种生存委员会的一部分。该委员会负责更新一份濒危物种红色名录，追踪动物、植物和真菌(仅限于肉眼可见的蘑菇等物种)的灭绝风险。赞助这次会议的戈登与贝蒂·摩尔基金会已承诺为该组织提供10万美元的支持。

这个研究小组计划在10月于阿联酋阿布扎比举行的IUCN世界保护大会上提出他们的倡议。Redford希望，能像IUCN的红色名录那样，列出一份基于微生物保护的区域清单，比如库托西涅加峡谷、美国黄石公园以及深海的热液喷口。(文乐乐)

# 质量约地球 10 倍！一颗“超级地球”找到了

■本报记者 袁一雪

人类是否是宇宙中唯一的智慧生命？有没有另一颗像地球一样适合生命存在的行星？这都是人们长期以来特别关心的宇宙谜题。

近日，由中国科学院云南天文台(以下简称云南天文台)牵头的国际研究团队，在一颗类太阳恒星周围发现了一颗位于宜居带的行星——“超级地球”Kepler-725c。它的质量大约是地球质量的10倍。6月3日，相关研究成果发表于《自然-天文学》，得到多位审稿专家的高度评价。

### 新的宜居“超级地球”

据论文作者之一、云南天文台研究员顾盛宏介绍，这颗行星围绕一颗名为Kepler-725的G9V型宿主恒星运行。该宿主恒星的光谱型与太阳相似，但比已经46亿年的太阳年轻，年龄仅为16亿年，表面的磁场活动比太阳活动更为剧烈。

这颗行星位于Kepler-725的宜居带，即一个适合液态水存在的区域。液态水存在被认为是类地生命诞生的关键条件。这一行星绕宿主恒星运行一圈大约需要207.5天，与地球公转周期相近。

“‘超级地球’在一个像太阳一样的恒星附近的宜居带里，也就是说它有可能存在类似于地球上的碳基生命。”顾盛宏介绍，“它离我们有着将近1.6亿个地球到太阳之间的距离这么远。”

### 新方法推演“隐藏”行星

一直以来，这颗行星没有被开普勒太空望远镜捕捉到，似乎躲在了盲区中。而在此次研究中，科研人员首次利用凌星中间时刻变化(TTV)反演技术，通过观察Kepler-725行星系统中另一颗行星穿过宿主恒星表面的时刻与公转轨道周期的微小偏离，成功推断出它的存在。

论文第一作者、云南天文台青年副研究员孙磊磊介绍，TTV反演技术类似于通过观察时钟走得快慢，来判断是否有只“看不见的手”在悄悄拨动时钟指针。

过去，科学家主要使用两种方法寻找低质量系外行星。一种是凌星法，即通过观察行星遮挡宿主恒星发出的光来发现行星；另一种是视向速度法，即通过检测宿主恒星在视线方向是否被行星拖拽得轻微抖动来发现行星。但是，对于像地球这样体积小、轨道远离宿主恒星的行星，由于观测精度不够，这两种方法都很难奏效。

此次，研究团队使用的TTV反演技术，不需要看见待发现行星遮挡宿主恒星的过程，也不需要检测宿主恒星在视线方向发生轻微摆动，只需测量与待发现行星轨道共振的另一颗行星的凌星时间，就能间接感知待发现行星的存在。

“这是一个非常重要的结果，因为这是第

一次通过TTV反演技术发现类太阳恒星宜居带中的行星。”审稿人评价道。

期刊编辑认为，这项研究提出了一个在类太阳恒星宜居带探测包括类地行星等在内的低质量系外行星的互补途径。

### 接下来还要探索什么？

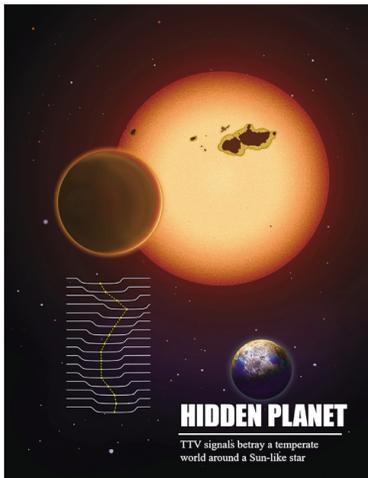
这项发现标志着中国科研团队在寻找第二个地球的征途上迈出了关键一步。

顾盛宏表示，此次建立的新途径和相关研究成果将为中国未来的空间天文任务提供新的观测目标和探测技术支持，如中国载人航天工程巡天空间望远镜、地球2.0项目等。

“相关研究团队计划将TTV反演技术应用到更多的系外行星系统，从而寻找‘隐藏’在类太阳恒星和红矮星宜居带中的系外行星。”顾盛宏说，“同时，我们还将结合其他观测手段，如系外行星透射光谱、发射光谱和直接成像技术等，进一步研究这些宜居带行星是否真的具备类地生命存在的条件。”

顾盛宏透露，在国际合作方面，未来他们将积极参与欧洲的行星凌星与恒星振动探测计划(PLATO)和ARIEL望远镜项目的数据分析工作，与全球科学家共同推动对类地系外生命的探索。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41550-025-02565-z>



恒星Kepler-725(中)、行星Kepler-725b(左)和利用TTV反演技术发现的“隐藏”在类太阳恒星宜居带内的行星Kepler-725c。

云南天文台供图

## 郭守敬望远镜发现“时间胶囊”揭秘重元素起源

本报道(记者甘晓)在郭守敬望远镜(LAMOST)观测数据的帮助下，中国科学院国家天文台领导的国际合作团队在银河系的“盖亚-香肠-恩克拉多斯”(GSE)吸积矮星系遗迹中，发现了一颗具有高钍/铀比的钐元素增丰极贫金属星。这不仅是具有明显钐元素增丰的天体第一次在GSE中被发现，也是这类天体第一次在已知吸积遗迹中被发现。近日，相关研究成果发表于《天体物理学杂志快报》。

LAMOST J0804+5740 是一颗极贫金属、r-过程增丰的恒星。研究人员利用LAMOST巡天数据和日本昴星团望远镜高精度后续观测，精确测定了这颗特殊恒星的48种元素的丰度。

结果显示，这颗恒星的钐元素(如钍)的含量显著高于普通的r-过程增丰星，是目前已知少数几颗钐元素增丰星之一，同时表明它可能诞生于一次极端的钐元素合成事件。

钐元素增丰现象一直是现代天文学研究的谜团之一。传统观点认为，双中子星合并

或者中子星-黑洞合并是其主要来源。

在最新发表的论文中，研究团队通过对比理论模型，发现磁旋驱动喷流超新星模型与J0804+5740的观测丰度模式最为匹配。这意味着，磁旋驱动喷流超新星也可能产生钐元素增丰现象，为其起源提供了新解释。

同时，动力学研究发现，J0804+5740 作为一颗钐元素增丰星，属于银河系吸积矮星系GSE的一部分。

研究团队进一步分析了48颗具有钍丰度测量的r-过程增丰星，发现约2/3的钐元素增丰星均倾向吸积起源。这表明被银河系吸积的矮星系可能是此类特殊天体的重要来源。

研究人员表示，LAMOST J0804+5740 如同一枚“时间胶囊”，保存了百亿年前矮星系中剧烈钐元素合成事件的证据。这项研究不仅为银河考古学提供了新线索，也为理解宇宙中最重元素的形成和演化开辟了新思路。

相关论文信息：  
<http://doi.org/10.3847/2041-8213/adc8a3>

## 新技术抑制产业级钙钛矿模组不可逆退化

本报道(记者陈彬)中国科学院院士、南京航空航天大学教授郭万林和该校教授赵晓明团队开发的气相辅助表面重构技术，成功抑制了产业级钙钛矿模组在户外环境下的不可逆退化。在30厘米×30厘米钙钛矿模组中，首次实现与商用晶硅太阳能电池相当的户外运行稳定性。日前，相关成果发表于《科学》。

目前，小面积金属卤化物钙钛矿太阳能电池的光电转换效率已达27%，与商用硅电池相当。然而，它们的长期运行稳定性尚未满足光伏产品要求，尤其是对产业级钙钛矿模组来说，其寿命远低于商用晶硅太阳能电池。

在前序研究中，郭万林团队开发了一种气相氟化技术，可以实现大面积钙钛矿模组在室内长期稳定运行。然而，该技术虽然在产线中显著提升模组寿命，但在转化验证时却碰到了新难题：针对更大尺寸的钙钛矿薄膜处理需要在工业产线中引入专用氟化反应器，这将显著增加生产成本，降低技术方案的经济效益。能否开发更普适、后处理更温和、成本更低的大面积模组稳定化方案？

团队在户外实测中观察到了一种奇特现象——钙钛矿模组在昼夜循环中呈现出有趣的“可逆衰减”行为，即模组在白天工作时出现性能衰退，但经过夜晚的“休息”又能恢复部分性能。研

究发现，这种特殊行为与钙钛矿薄膜中碘离子的可逆/不可逆迁移行为密切相关——可逆迁移发生在钙钛矿层内，所引起性能衰减具有夜间自修复特性，而不可逆迁移涉及离子向电荷传输层或电极逃逸，将导致器件性能的永久性衰退。

针对上述问题，团队开发出气相辅助表面重构技术。相较于前代气相氟化技术，新方法无需专用设备，仅通过气相沉积多齿配体即可实现钙钛矿表面结构的原位重构，隔离缺陷富集的表面单元，抑制离子不可逆迁移。

这项创新技术首次在钙钛矿电池上实现了与硅太阳能电池比肩的户外稳定性，同时工艺成本较前代技术大幅下降，且完全兼容现有光伏产线设备体系，为钙钛矿光伏技术的规模化应用扫清了关键障碍，标志着该领域从实验室创新向产业化落地迈出了里程碑式的一步。

研究团队在高温高湿环境中将钙钛矿模组和商用晶硅太阳能电池相比较，发现产业级钙钛矿模组展示出了与商用晶硅太阳能电池相当的稳定性。由于钙钛矿电池较低的温度系数，其在高温条件下的功率保持率甚至优于晶硅太阳能电池，证明了钙钛矿太阳能电池实际应用的可能性。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1126/science.adv4280>