

从探月到登月：只有敢想，才能做到

——访探月工程四期总设计师、中国科学院院士于登云

■本报记者 陈欢欢 崔雪芹

近日，美国驻华大使馆在社交平台上表示，要在特朗普任期内把美国人重新送上月球，赢得“第二次太空竞赛”。

探月工程四期总设计师、中国科学院院士于登云近日在接受《中国科学报》专访时表示，我国将在2030年前建成月球科研站基本型，同时实现中国人登上月球。他同时指出，中国探月工程20余年来屡战屡胜的最重要经验是按照自己的步调，走中国特色的探月之路。我国一向欢迎国际合作，2026年即将发射的嫦娥七号上就有一个与美国民间机构合作的载荷。

作为20余年来全程参与中国探月的“老人”，于登云在专访中讲述了探月工程的“今天、昨天和明天”，也回顾了自已同“嫦娥”的故事：每次发射前都“心里打鼓”，生日当天临危受命、因为玉兔“趴窝”“不能原谅自己”……

“今天”：嫦娥七号难度升级

《中国科学报》：我国规划在2030年前建立无人月球科研站并实现载人登月，目前进展如何？何时能实现在月球的长期驻扎？

于登云：嫦娥七号计划2026年8月实施发射，主要在月球南极实现环绕、着陆、巡视、飞跃，实现对月面高精度探测，同时在阴影坑中探测水冰等物质。嫦娥八号计划2028年或2029年发射，以月球资源利用技术验证为主。利用嫦娥七号、八号携带的智能机器人、科学载荷和2024年发射的鹊桥二号中继星，构成一个多器协同、互联互通的月球科研站基本型。一旦成功，又将在中国探月史上留下浓墨重彩的一笔，创造多个世界第一。

近期目标是在2030年前实现中国人登上月球。我认为，未来10至15年，月面工作还是以无人探测为主，有人短期参与，人并不会长期在月球值守。

月球科研站不是一朝一夕就能建成的，我们会继续扩充完善建成国际月球科研站，吸引更多国家参与，共同促进对月球的科学研究和资源开发利用。更远的将来，我们可以

展开无限想象，一切皆有可能。至于未来会不会像科幻电影里一样建成房屋式月球基地，关键在于敢想。你想不到的，还能做到吗？

《中国科学报》：目前这一阶段有哪些难点问题需要克服？

于登云：探月工程四期包括嫦娥四、六、七、八号。其中，嫦娥四号2019年实现了人类首次月球背面软着陆和巡视探测，这是大家公认的一次重大挑战。嫦娥六号更进一步，2024年成功实现世界首次月球背面采样返回。

现在正在研制的嫦娥七号挑战更大。首先是温度极端低，着陆区选址在月球南纬85°以上区域，最高温度约零下110摄氏度，阴影坑中最低温度低于零下230摄氏度；其次是地形极端复杂，必须在极端环境中实现高精度着陆；最后是光照条件、测控条件比以往严酷得多，太阳照射高度角只有2度左右。

“昨天”：九战九胜的背后

《中国科学报》：我国探月工程9次发射全部成功，成功的经验是什么？

于登云：近年来世界上探月的国家很多，失败的也很多。我认为，最大的经验是从中国实际出发，按照自己的步调，走中国特色的探月之路，一茬接着一茬干，稳扎稳打，每一次都是在上一次成功的基础上挑战自我。

很多挑战都是人类首次，风险确实很大。如果把嫦娥四号的可供着陆区域比喻为网球场，嫦娥七号的着陆区就相当于乒乓球桌。即便世界上没有任何国家能做到，我们也在给自己设定新的科学目标。敢于挑战自我是非常不容易的，也是一次次成功的主要原因。

《中国科学报》：虽然9次发射都成功了，是不是也出现过意外的情况？每次发射你紧张吗？

于登云：坦白说，我作为总设计师，每次发射前都非常紧张。但是，我不能在大家面前表露出来，而是表现出很有信心。信心来自哪里？就是我们按照目前的认识把工作做到位了，所有想到的风险预案都做了。

例如，嫦娥二号当时出现问题，载荷不

能正常工作。好在发射前，工程总师吴伟仁院士带领我们制定了几百个故障预案，我们用了预案，最终成功获得国际最高7米分辨率的全月影像图。嫦娥三号在出厂前测试都没问题，到了靶场“箭在弦上”出现了问题。我刚从发射场回来才两天——正好是我生日，当天晚上又坐飞机到成都再转汽车，凌晨3点到基地，跟大家讨论分析，最后找到原因是在发射塔多路径效应上，还好探测器本身没问题。

也有失败的经历。大家都关注的嫦娥三号玉兔月球车，我们做了内场试验、外场试验和各种冲击试验，结果到月球上没多久就“趴窝”了。虽然老百姓很理解，没人怪我们，网上多是鼓励的话，但我们心里很难受，不能原谅自己。玉兔的大脑、眼睛都行，就腿不能走，多可惜。经过我们反复分析判断，有可能是电缆防护不足导致的。通过举一反三，这个问题在2019年着陆的玉兔二号上得到彻底解决。如今已经6年多了，玉兔二号依然状况良好，创造了人类月球车月面工作时间最长的纪录。

《中国科学报》：近年来，人工智能(AI)技术的迅速发展为深空探测带来哪些机遇？

于登云：我们在探月工程中早就利用了初级的AI技术。例如，嫦娥三号软着陆一次成功，得益于首次采用了全自主避障技术，从此结束了首降月球的历史——过去美苏曾经失败过很多次。利用这一技术，它在距离月球表面100米时就悬停下来，通过图像自主判断地面着陆条件，然后再着陆。

每次看到玉兔给嫦娥三号拍的正面照我都很激动，要感谢我们团队的贡献。这张照片上可以看到玉兔后面就是一个大坑和白花花的大石头，但是嫦娥三号不仅没有掉到坑里，还预留出空间放下梯子让玉兔下来，打开电池帆板让载荷正常工作。这都得益于我们采用了AI技术，尽管还不是高级的AI。

你们有没有发现，嫦娥四号是带国旗的侧面照？这是因为玉兔二号下去后发现正面上有大坑过不去，只能在侧面拍照，但是着陆很成功。在我看来，正面照很漂亮，侧面照

又是另一种美，这是丰富多样的美。

深空探测有很强不确定性，将来AI大有可为，尤其是将高级AI应用于航天，又是另外一番景象。比如，地球到月球的通信时间来回只有3秒，还能以人工决策为主，但是火星到地球有20多分钟通信延时，到木星甚至太阳系边缘通信时延就更长了，AI将会大显身手。

“明天”：保持人才队伍活性

《中国科学报》：随着我国深空探测领域研究逐渐深入，未来更需要哪类青年人才？

于登云：航天是复杂系统，对专业需求广泛，各种人才都能在航天事业中发挥作用。目前急需掌握前沿技术的人才，比如AI、核能等。

我看到很多人质疑美国登月的真实性，其中一条理由是为什么后来再也没返回月球。主要是后来间断了快50年，任务一旦停止，人才队伍也断档了。中国发展得快，跟人才培养有很大关系。我们的年轻人才在国家任务的牵引下一茬接着一茬成长起来，支撑每次自我挑战的成功。

《中国科学报》：在航天人才培养方面，哪些品质更为重要？

于登云：航天是个大熔炉，能够坚持干下来的，第一，要有过硬的专业知识，没有金刚钻拿不下瓷器活；第二，要有团队意识、协作精神，必须善于团结、善于交流、善于沟通，否则很难发挥自身价值；第三，要有家国情怀。

这么多人参与深空探测，但能被大家认识的没几个，大部分都是默默无闻地工作，经受艰难困苦考验。我的经验体会是，带队伍要坚持老带新，一方面经验传承，一方面精神传承。试验队一线人员在荒无人烟的敦煌戈壁滩上进行玉兔月球车月面行走模拟时，住的是铝板搭的房子，一觉醒来，耳朵里、头发里都是沙子，吃饭时碗里也有沙子，但毫无怨言地把试验做完。如果没有家国情怀，他们是做不到的。未来我们要继续推进，保持人才队伍的活性和科学研究的连续性。

《2025全球碳中和年度进展报告》发布

本报讯(见习记者赵婉婷)9月26日，全球碳中和进程论坛暨《2025全球碳中和年度进展报告》发布会在京举行。

今年的报告在延续“目标-政策-行动-成效”量化指标体系的基础上，首次系统评估了全球国家自主贡献(NDC)目标更新进展。

报告指出，全球碳中和进程呈现出“目标深化”与“技术创新”构成前进推力，但“气候资金”与“国际合作”滞后的结构性失衡。2025年，全球绝大多数国家已提出碳中和目标，可再生能源电力装机有望实现2030年3倍目标，但清洁氢、碳捕获和封存(CCUS)等关键技术部署严重滞后。全球气候资金缺口持续扩大，发展中国家获得的资金支持与其实际需求相比仍存在显著差距。实现全球碳中和亟须破解技术与资金瓶颈，通过强化NDC力度、消除不利的单边措施、改革金融架构等，加速行动从“承诺”迈向“落实”。

《2025全球碳中和年度进展报告》由清华大学碳中和研究院联合中国石油大学(北京)经管学院、中国人民大学生态环境学院等机构研究人员编制。



近日，2025云栖大会在浙江杭州召开。大会以“云智一体·破壁共生”为主题，500余家企业的大模型、具身智能等3500多件产品集中亮相，全景呈现人工智能(AI)的技术演进与产业落地。

2025云栖大会上迎来了一群“特殊访客”——来自我国山区的10名学生和10名老师。作为“阿里巴巴少年云助学计划”的“体验官”，他们在展区参观了AI应用展示，并亲身与机器人互动。

图为四川省康定市多绕嘎子学校的昂翁拥占在阿里云无影云电脑展区，看到机器人通过动作捕捉与自己一起跳藏族舞时，感到非常震撼。

本报记者赵广立报道
云栖大会供图

技能大赛上，智能无人“论剑”

■本报记者 蒲雅杰

9月25日至26日，在北京八达岭机场秋日的微风中，许多无人机正在展开各式作业。它们时而灵活地掠过天际，稳稳投送物资；时而化身拥有“火眼金睛”的“空中助手”，精准识别树林间的静态目标……这场热闹的“空中展演”，正是中国科学院第四届职业技能大赛智能无人应用领域比赛。赛事由中国科学院工会主办，吸引了23家院属单位组队参加。

赛场上，从无人机的精准操控到科研场景的适配应用，参赛队伍各展所长；赛场背后，展现出中国科学院在智能无人系统领域的硬核实力，以及科研工作者的专业风采与创新活力。

过五关斩六将

“本次大赛共设5个核心赛道，覆盖了无人机应用的关键场景。”大赛组委会委员、中国科学院怀柔综合试验站站长肖青介绍，5个赛道各有侧重，有考验人工智能(AI)路径规划与复杂环境投送能力的物资精准投送赛道、智能正射影像生成赛道、特定目标智能识别及定位赛道、依托多源数据与AI打造建筑区域精细模型的三维模型智能构建赛道，以及借多源数据与大数据库模型完成光伏场地巡检的光伏智能巡检赛道。

“比赛的评审不侧重单一指标，无人机精准操作、数据处理效率、信息提取精度等共同

决定了最终成绩。”肖青强调，“只有全方位展现出扎实技能，才算真正达到比赛‘发掘工程思维、展示科研积累’的目标。”

以三维模型智能构建赛道为例，任务要求团队在3小时内完成无人机载多源数据处理、报告撰写，生成建筑区域高分辨率三维模型。面对挑战，中国科学院空天信息创新研究院(以下简称空天院)团队交出了亮眼答卷。开赛仅30分钟，他们的遥感图像便以3厘米分辨率呈现在屏幕上，不仅完整还原了八达岭机场特定空地地貌，标志性的海陀塔更是“细节拉满”。最终，综合多条赛道总成绩，空天院团队凭借全程稳定的发挥，拿下了本次比赛的第一名。

这一成绩源于团队万全的准备。空天院团队领队、副研究员时丕龙表示，他们依据比赛需求组成“能打硬仗”的队伍，再通过反复测试飞行稳定性、载荷适配度，从数十台无人机中筛选出5台最贴合比赛任务的设备，为后续发挥打下基础。到了赛前几天及比赛期间，团队白天在模拟场地反复推演航线规划，晚上还对电脑逐一传感器参数进行调试打磨。

为了让评审更公平、更贴合科研需求，赛事除了硬性客观指标外，还特别设置了核心加分点。“比如团队的多机协同作业能力、无人机平台和载荷硬件方面的创新，以及基础处理、信息提取软件的自主研发等，经过裁判组的认定，均能获得额外加分。”

肖青说。

多个场景，各显神通

中国科学院举行的全院职工技能大赛作为为加快抢占科技制高点发现和培养技能型人才、助力科技创新的年度赛事，如今已走过了4年。据肖青介绍，随着低空经济上升为国家战略，AI与感知技术迅猛迭代，智能无人应用领域比赛在今年应运而生。

工作棚内、室外旷地，参赛科研人员的身影穿梭其间。地理遥感、农业生态、海洋探测、高原研究等多个学科背景的科研力量在赛场上生动展现。比如，中国科学院成都山地灾害与环境研究所(以下简称成都山地所)团队选择了智能正射影像生成赛道和物资精准投送赛道，而这两个方向恰好是他们在西南山地实践中最熟悉的领域。

“精准投送是提高成绩的唯一法宝。在模拟强风投送场景，我们在每个点的降落误差都控制在10厘米左右。”成都山地所团队成员、无人机遥感工程师杜小林说，这种能力正是从山地灾害防治的实际需求中练出来的。

“和比赛里的平原低海拔环境完全不同，我们的工作场景大多在青海、西藏的高原或峡谷里。比如，针对三江源的生态调查覆盖上千平方公里，对无人机的续航、稳定性要求极高。”正因为这些极端场景的打磨，团队凭借扎实积累取得了第三名的佳绩。

在交流中“更上层楼”

“快乐”是不少参赛团队接受《中国科学报》采访时，提及此次参赛最多的感受。这是一份交织了“开眼界、长见识”的新鲜与“跨领域交流”的欣喜。为职工搭建展示技艺、交流技能的平台，也是中国科学院工会举办技能大赛的目的所在。

“在灾害防治中，我们经常要建立灾害体的三维模型。”赛事期间，杜小林及团队成员与多个院所团队展开了技术交流，其中与时丕龙团队的探讨让他印象深刻。“我们聊过用照片建模的关键。在已有的技术基础上，他们的三维建模技术带给我们很多新的参考和启示，能让我们的模型建得更快、更细。”

“比赛相当于一个‘信息交流站’，不同院所的团队带着各自的科研积累交流，从兄弟单位的实践里找到新灵感。”肖青说，很多团队在赛后复盘时会发现自身在解决问题或数据处理等方面还存在提高的空间，这种直面不足的交流有助科研人员明确后续技术提升的方向。

这场赛事里的智能技术应用也给了杜小林新的灵感。几年前，团队用无人机测量山体裂缝宽度，需依赖人工分析数据，判断裂缝宽度。如今他有了新想法：“想试试把AI技术融入进来，让系统自动识别相关信息。这样既能减少人工成本，也能让灾害监测更高效。”

发现·进展

中国科学院合肥物质科学研究院等

证实铜镍氧材料的高温超导抗磁特性

本报讯(记者王敏)近期，中国科学院合肥物质科学研究院研究员刘晓迪团队联合吉林大学教授黄晓丽团队、中山大学教授王猛团队，利用金刚石氮-空位(NV)色心以及电输运手段，在高压下的铜镍氧单晶材料中同步观测到超零电阻和抗磁性，证实了铜镍氧单晶材料的高温超导特性，为这类高温超导材料的研究提供了充分的实验证据。相关结果发表于《物理评论快报》。

为攻克超导抗磁性测量这一难题，研究团队创新性地将金刚石NV色心量子传感与高压金刚石对顶砧技术相结合，自主搭建了基于固态色心量子传感的高压低温磁探测系统，实现了对铜镍氧单晶材料局部抗磁性的原位高灵敏度检测。研究人员进一步将该技术与四探针电输运测量结合，在同一块单晶样品上同步观测到存在零电阻和抗磁性，为铜镍氧的超导属性判定提供了相互印证的三重实验证据。

研究团队通过系统的压力调控实验，成功揭示了铜镍氧单晶材料超导特性随压力变化的演化规律。该研究采用基于自旋量子传感原理的金刚石NV色心技术，该技术在磁测量领域具有优异的灵敏度和空间分辨率。即使在高压环境和材料不均匀性的极端实验条件下，金刚石NV色心量子传感技术仍展现出高灵敏度和高分辨率。利用这一技术，研究人员成功实现了对金刚石压砧中高压非均匀超导样品局部抗磁性的高灵敏度磁成像，测量精度达到微米级空间分辨率。

该研究不仅证实了铜镍氧单晶材料的高温超导特性，更凸显出金刚石NV色心技术在极端环境磁测量领域不可替代的独特优势。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/physrevlett.131.110301>

松山湖材料实验室等

破解红细胞低温保存难题

本报讯(记者朱汉斌)松山湖材料实验室副研究员魏裕双、研究员元冰团队联合苏州大学教授杨彬、东莞市人民医院主任技师罗京，借鉴mRNA疫苗递送技术中的核心机制，成功设计并构建了一种可冻干的离子型脂质纳米颗粒(LNP)平台，为红细胞低温保存提供了一种新的解决方案。相关成果近日发表于《先进医疗材料》。

让珍贵的红细胞实现长期“休眠”并在需要时安全“苏醒”，一直是输血医学领域亟待攻克的重大难题。海藻糖是一种性能优异的生物相容性保护剂。开发一种能够高效、安全地将海藻糖递送至红细胞胞质内的策略，是技术发展的关键。

该技术核心在于LNP的智能pH响应特性。这项研究系统性阐明了pH响应性LNP与非内吞细胞的直接膜融合机制，通过这一过程，LNP所包裹的海藻糖得以高效释放到红细胞的胞质中。

该研究在红细胞低温保存领域取得了显著进展。一是高回收率与简化的操作流程。该方法实现了高达85%的冻融后红细胞回收率，保护效果与传统甘油法相当。同时，操作流程显著简化，仅需短暂的室温孵育和单次离心步骤。二是可冻干制剂实现长期稳定。该研究成功将LNP/海藻糖制剂冻干成稳定的固体粉末，这一形态不仅解决了LNP水溶液长期储存稳定性不足的问题，也为制剂的运输和分发提供了便利，显著增强了实用性。

这项研究为输血医学领域提供了一个具有应用潜力的技术方案，也为其他类型细胞，如干细胞、免疫细胞等的低温保存技术开发和更广泛的药物靶向递送研究提供了新思路。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adhm.202501245>

香港理工大学

开发3D微打印传感器助力早期疾病诊断

本报讯(记者刁雯蕙)近日，香港理工大学电机及电子工程学系教授张阿平团队研发出一种新型3D微打印光学回音壁模式(WGM)微激光器传感器，具有高灵敏度的特点，可在芯片上集成生物传感功能。相关研究成果发表于《光学快报》。

这款新型传感器的研发得益于团队自主研发的3D微打印技术，该技术能快速制造特殊设计的3DWGM微腔，并对微腔悬挂微盘进行高精度加工定制。传感器能够通过微小微腔让光波进行谐振循环传播，当目标分子在微腔表面结合时，就会引起激光频率的细微变化，从而实现生物分子的高灵敏度检测。

然而，实际应用这些传感器的一大挑战是将光波耦合进3DWGM微腔传感器。这通常需要用直径小于两微米的拉锥光纤。纤细的光纤不仅难以对准耦合，也容易受到各种环境的干扰影响，从而限制了WGM微腔传感器与芯片实验室的技术融合。为此，团队设计了一款采用蜿蜒形悬挂微盘的3DWGM微激光器传感器。这种创新设计使传感器兼具低激光阈值与定向光发射特性，有效提高了光耦合效率，实现传感器在芯片上集成。

研究表明，该传感器具有极低的激光阈值，仅为3.87微焦耳每平方毫米，而激光线宽度约为30皮米。此外，研究人员将传感器集成到可用于即时诊断的芯片实验室器件上。实验结果显示，该传感器能够检测浓度低至约70克每毫升的人体免疫球蛋白G，彰显了其在早期疾病诊断中，实现超低浓度生物标志物检测的应用潜力。

未来，WGM微腔传感器与微流控芯片集成，能研制成新一代芯片实验室器件，可为多种生物标志物进行超灵敏度检测，且有望应用于癌症、阿尔茨海默病等疾病的早期诊断及重大公共卫生危机处理。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1364/OL.557384>