

零距离

嫦娥六号月壤研究成果上新

揭开“月之暗面”神秘面纱

中青报·中青网见习记者 李 思
记者 樊未晨

大约 42.5 亿年前，月球形成初期，一颗直径约 200 公里的天体撞击月球南极，形成了一个直径约 2500 公里、深度达百公里的岩浆池，这就是现在月球背面的南极—艾特肯盆地，也是月球三大构造单元之一。

斗转星移，随着岩浆池冷却结晶，诸如橄榄石、辉石等重的矿物沉到底部，形成月幔；长石等轻的矿物则浮到顶部，形成月壳。这里形成了月球上特定的岩石——南极—艾特肯撞击熔岩，被科学家命名为南极—艾特肯苏长岩。

撞击导致下部的月幔发生熔体抽取、变得“非常贫瘠”“极度亏损不相容元素和水”。理论上说，“极度亏损”这些物质的月幔是不会再熔融的。但约 28 亿年前，月球内部活力突然增强，触发月幔产生熔融，从而引起了火山喷发。火山喷发的熔岩记录下了这次月球内部活力增强的事件。

“这就是我们所说的‘大撞击理论’和‘岩浆洋理论’。”在中国科学院 7 月 9 日举行的新闻发布会上，中国科学院院士、中国科学院地质与地球物理研究所研究员吴福元生动描绘了月球演化进程。当天，他还公布：我国科研团队利用嫦娥六号采回的月球背面样品取得的 4 项最新研究成果，以封面文章形式发表于国际学术期刊《自然》杂志。

这 4 项研究分别揭示了月背岩浆活动、月球古磁场、月幔含水量及月幔演化特征，首次为人类揭开了月球背面的演化历史，取得多个“首创性”的关键进展。

此前，科学界对于月背的认识主要基于遥感研究。“如今我国科学家从嫦娥六号月球样品中获得的一系列重要发现，正不断颠覆和刷新人类对月球的认知。”中国科学院院士王赤说。

“嫦娥”发射升空前，科研计划已“上线”

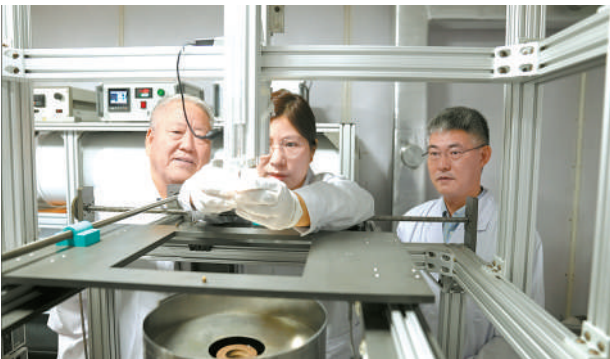
长期以来，人类都对难以企及的“月之暗面”充满着好奇，科学家们也在不懈探索月球“二分性”之谜。

与地球类似，月球自内向外分别由月核、月幔与月亮构成。但月球的正面和背面差异巨大：正面相对平坦，有广阔的玄武岩平原；背面则高地遍布，月海稀少……月球“二分性”就是指其正面和背面在形貌、成分、月亮厚度、岩浆活动等方面存在显著差异。

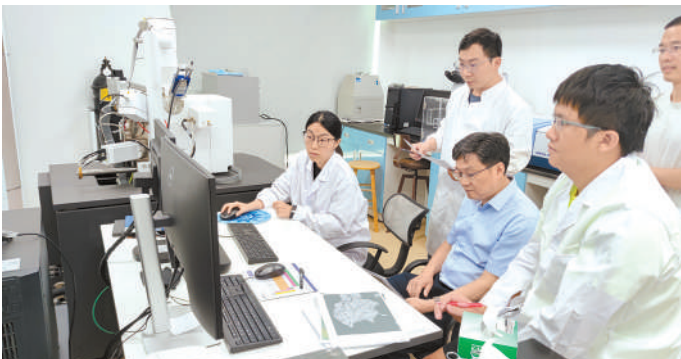


科研人员查看岩屑显微镜成像照片。

国家天文台供图



科研团队向超导磁力仪中放置月壤样品。
中国科学院地质与地球物理研究所供图



科研团队讨论实验数据。
广州地球化学研究所供图

2024 年 6 月，嫦娥六号成功携带 1935.3 克月背月球样品返回地球，为人类带来了解码月球演化历史的“钥匙”。美国科学院院士理查德·卡尔森评价：“嫦娥六号最令人印象深刻的是，它成功在先前被认为无法到达的月球着陆点执行采样返回任务。最关键的是，它从月球背面靠近南极—艾特肯盆地的区域带回了样本。”

此次成果研究论文第一作者、中国科学院国家天文台副研究员周琴及其团队，对嫦娥六号返回样品的玄武岩屑进行分析，包括观察岩石结构、矿物成分和特殊的“化学指纹”（Sr—Nd 同位素）分析。

结果发现，形成这些玄武岩的“初始原料”——月球内部的深处物质，状态极其“贫瘠”，科学上称为“超亏损”。周琴

说：“这些为我们了解月球早期内部如何分层、冷却和演化提供了独一无二的信息，是揭开月球正背面巨大差异之谜的关键一步。”

中国科学院院士李献华表示，系列成果首次系统揭示了南极—艾特肯大型撞击效应，这是月球科学的一级科学问题，也是未来研究的重要方向。

其实，早在嫦娥六号发射升空的一年

前，各项科研计划就已“上线”。

吴福元介绍，2023 年 5 月，地质与地球物理研究所在嫦娥五号样品研究的基础上，成立专门的工作组，每周开展科学研讨。

2024 年 5 月 3 日嫦娥六号发射当日，地质与地球物理研究所在文昌航天发射场就地成立了一支嫦娥六号“突击队”，由该所研究员杨蔚担任队长。5 月 31 日，地质与地球物理研究所部署嫦娥六号样品重点项目。“我们设置了四大研究课题，其中课题 2 是嫦娥六号样品实验分析，我们做了 7 个方面的详细设计。”吴福元说。

8 月 24 日，该所李秋立、杨蔚、蔡书慧 3 位研究人员终于盼来了他们心心念念的嫦娥六号月球样品。“目标明确，紧张有序，方案周密，协同奋战”，这是当天的嫦娥六号返回月球样品研究项目启动会上，嫦娥六号“突击队”喊出的口号。

9 月 10 日，各团队就已完成玄武岩年代、岩石学、地球化学、含水量、磁学、稀有气体等 6 篇研究论文的投稿。

在嫦娥六号任务中，国家天文台承担了从科学目标设计、着陆点选址，到载荷指令上行、数据接收处理，再到样品解封、制备、分析的全链条工作。中国科学院广州地球化学研究所建立了以院士领衔、汇集全所三四十位青年科研工作者的研究小组，制订了从样品前处理、影像学工作到成分定年、微量元素分析、同位素分析的测试计划，甚至具体到每人每天。

李林曦是地质与地球物理研究所一名 00 后在读博士生，同时也是月幔含水量论文的共同第一作者，回忆那段时光，他说：“收到嫦娥六号月球样品之后，各课题组的导师们立马开启集中攻关，一起研究、一起写论文。”他所在的“月球挥发分”课题组，基本上是按照“三班倒”进行实验和论文修改工作。

令他最激动的是，测试到可以证明月背内部“超干”特性的月球含水量数据，“当时就觉得几天的夜没有白熬”。

来自同一课题组的博士后何会存也认为：“这是因为前期大量的‘预演’、预实验，把该踩的坑都踩过了，所以对研究结果有预期，也能在关键时刻快速有效地交出一份满意答卷。”

从一颗“岩屑”中探知整个宇宙

发布会现场，中国探月工程一期首席科学家、中国科学院院士欧阳自远表示，长期以来，“美苏样本”仅揭示了月球 40

亿年前至 30 亿年前的片段，“相当于我们只知道月球的青壮年时期”，月球演化的历史图谱是一幅“残卷”。

嫦娥五号从月球正面采回了迄今最“年轻”的、约 20 亿岁的月球火山岩；嫦娥六号样品最古老的玄武岩可追溯至 42 亿年前，那时月球仅形成 2 亿—3 亿年。从嫦娥五号到嫦娥六号的样品研究，为月球演化历史补上了关键几笔。

中国科学家的研究成果率先解开月球研究中“一老”“一新”两大核心问题。“可以说开创了月球研究的新时代，作出了重要贡献。我也一直感受到你们们工作的努力，谢谢你们！”欧阳自远动情地说。

从嫦娥五号到嫦娥六号，南京大学一批批青年学子来到地质与地球物理研究所实习、工作，已在老一辈科学家的指导下发表论文 29 篇，逐步开始“挑大梁”。

李林曦小时候很喜欢捡各种“小石头”，本科就读于南京大学岩石学专业。大三暑假，他来到地质与地球物理研究所实习，参与了嫦娥五号的样品研究工作。

他告诉中青报·中青网记者，“在嫦娥五号任务之前，我国探测器还未获得地外样品，我也在学习样品分析的流程；而现在嫦娥六号样品研究，大家在前期就划分了明确的时间点、任务，集中协作攻关。包括我在内的很多同学，也能在自己的科研工作中独当一面了。”

从一颗“岩屑”中探知整个宇宙，这也是“探月者”的工作。此次发布的 4 项最新研究成果中，地质与地球物理研究所博士后张谦主要参与了嫦娥六号玄武岩样品的高精度年代学分析工作。“相对于嫦娥五号月壤主要由采样时‘本地’的玄武岩风化破碎形成，嫦娥六号月壤具有更多的‘外来’物质、明显更加复杂。这对年代学研究提出了更高的要求，需要将每一颗微小的‘岩屑’当成独立样品看待，尽可能给每一颗‘岩屑’进行定年。”

功夫不负有心人，张谦所在团队对嫦娥六号月壤样品中具有代表性的 108 颗玄武岩岩屑系统开展了岩相学和年代学分析，发现其中 107 颗玄武岩岩屑形成于采样点本地 28 亿年前的火山喷发，此外还发现了一颗特殊的“高铝”玄武岩岩屑，它的形成年龄为 42 亿年前，是从月球背面其他玄武岩区域溅射而来。

此次发布研究成果中，参与月幔含水量研究的何会存，同样参与了嫦娥五号的样品分析工作，“嫦娥五号把遥不可及的‘月亮’带到我们面前，给我机会近距离欣赏她；而嫦娥六号揭开了‘月之暗面’的神秘面纱。这些研究都非常有趣，得到的研究成果令人振奋！”

按计划，我国将在 2026 年前后发射嫦娥七号，对月球南极的环境和资源进行勘测；2028 年前后将发射嫦娥八号，验证月球资源的就地利用技术，也为后续月球科研站建设奠定基础。

何会存说：“月壤的获得是中国航天的壮举，也给我们青年科研人员提供了舞台和机会，让我们赶上了好时候！‘我们的征途是星辰大海’正在一步步走向现实。”



“让重坦壳‘凭空’升起”“会变身的机器人”……7 月初，新疆喀什干镇巴扎(集市)人头攒动，一辆科普大篷车驶来，演示多个互动科学实验，引发现场青少年阵阵欢呼。中国科技馆有关负责人表示，科普大篷车深入南疆乡村学校开展科技、文化、志愿服务一体化活动，旨在激发边疆青少年热爱祖国、投身科学事业的决心，铸牢中华民族共同体意识。

中青报·中青网记者 邱晨辉/摄

科研生态圈

民企成国自然基金“出题人”：把“各干各的”变成“产学研用协同”

中青报·中青网记者 张 茜

“以前有很高的壁垒。民企搞研发得一家一家找优势科研团队，要付出极大的时间成本。”江苏恒瑞医药股份有限公司科学发展部负责人陈号向中青报·中青网记者坦言。但这困境正在迎来转机——随着国家自然科学基金民营企业创新发展联合基金（以下简称“民企联合基金”）的正式设立，作为首批参与企业的代表，陈号近期密集收到了来自高校、科研院所和临床机构的合作咨询。“这个创新平台实现了从基础研究到产业应用的完整链条贯通。”陈号说。

6 月底，国家自然科学基金委员会（以下简称“自然科学基金委”）与江苏恒瑞医药股份有限公司、深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司、杭州协合医疗用品有限公司、齐鲁制药有限公司等 4 家民营企业签署协议，共同成立民企联合基金，

三年内共出资 4.29 亿元。

随后发布的《2025 年度国家自然科学基金民营企业创新发展联合基金项目指南》显示，2025 年度民营企业创新发展联合基金以重点支持项目的形式予以资助，资助期限均为 4 年，直接费用平均资助强度约为 220 万元/项。项目涉及“重症感染后免疫衰老及调节失衡的机制与重塑策略研究”“子宫内膜微循环超声可视化动态评估与分子机制研究”“抑郁症的发病机制及候选药物研究”等。

“过去企业有需求，但不一定能找到最好的科学家；科学家实验室的工作很好，但不知道企业需求在哪，所以我们希望能搭建一个平台。”自然科学基金委党组书记、主任窦贤康表示，此次民企联合基金签约，标志着民营企业正式以“出题人”身份参与国家基础研究。

在深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司高级副总裁李新胜看来，民企联合基金的设立有望把“各干各的”，变成真正的

产学研用协同。陈号表示，民企联合基金将构建“多方共赢”的创新生态——通过国家平台的资源整合，企业需求与科研优势精准对接，基础研究、技术开发与产业应用形成闭环，不仅大幅降低了企业的科研对接成本，更搭建起产学研协同创新的高速通道，让创新要素在 market 需求的牵引下实现高效配置。

窦贤康表示，自然科学基金委试点与民营企业共同设立民企联合基金，旨在发挥国家自然科学基金的导向作用，引导和鼓励科技创新型民营企业加大基础研究投入，吸引和集聚全国优势科研力量，紧扣国家经济社会发展的紧迫需求，聚焦关键技术领域中的核心科学问题开展基础研究和应用基础研究，促进科技创新和产业创新深度融合，激发民营企业创新活力。

杭州协合医疗用品有限公司董事长沈昌表示，此次民企联合基金签约深感责任重大。齐鲁制药有限公司隶属于齐

鲁制药集团，该集团副总裁张明会表示，企业作为创新主体没有强大的基础研究作为支持，就很难实现原始创新的“0 到 1”，也就没有产业创新的“从 1 到 100”。

“民营企业是科技创新的重要力量，在突破关键技术、推动产业升级中发挥关键作用。通过民营企业积极参与联合基金，我们收到了企业迫切寻求创新发展的信号。”窦贤康表示，此次民企联合基金之所以选择医药企业作为突破口，是因为近年来医药行业发展速度快、创新需求旺盛，但民营药企规模有限、科研基础相对薄弱，急需支持。

同时，窦贤康也希望向外释放一个信号：希望撬动社会力量多元投入基础研究，和更多优秀民企合作。他告诉中青报·中青网记者：“我们一定要把基础研究、应用基础研究和产业之间的桥梁起来，让基础研究迅速转化为国家经济实力。”

科学咖啡馆

人脑解码倒计时 中国团队正在绘制大脑“地图”

中青报·中青网记者 张 渺

显微镜下，猕猴前额叶皮层中 2231 个投射神经元的三维重构图像，正被逐帧呈现。这些神经元展现出之前所未揭示的“精简高效”的联接模式，如同精密电路般实现模块化的信息处理。这是中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心（以下简称“脑智卓越中心”）与国内外多个团队最新发布的脑图谱研究成果之一。7 月 10 日，这些成果论文以专题论文集的形式由细胞出版社在线发布。

中国科学技术大学毕国强团队新发展的成像系统，能在 40 小时内完成成年小鼠全身亚细胞分辨率三维成像，清晰呈现周围神经单纤维投射路径。与此同时，脑智卓越中心刘真牵头的研究团队合作开发

的灵长类大脑神经细胞特异性靶向标记工具突破转基因限制，使猕猴脑研究进入了精准细胞类型解析的新阶段。

“我们建立了从环路解析到疾病解码的完整研究体系。”项目负责人说。

面对人脑观测图谱绘制难题，中国科学院院士、中国科学院脑智卓越中心学术主任蒲慕明解释：“人身上不能在活体大脑进行标记，人脑的标本都是已经死亡的人脑，已经固定的组织。”他透露，目前全球七八个同步辐射光源实验室已组成联盟，“我们未来不仅需要使用 X 光成像方法，还要使用新发展出来的硬 X 光成像方法”。

这项被称作“全脑观测神经联接图谱”的大科学计划，正在筹建国际灵长类脑图谱研究联盟。其核心目标直指非人灵长类动物观测脑图谱的绘制，旨在

整合跨国技术资源建立共享数据库，最终实现“认识脑、模拟脑、保护脑”的战略目标。

为此，全脑观测神经联接图谱平台主任、研究员沈志明团队持续优化猕猴脑屏状核注射手术。操作需避开血管及功能区，立体定位仪结合 MRI 扫描定位。据团队成员回忆，“手术从早上 8 点持续到后半夜，必须保持全神贯注”。攻克猴脑切片技术时，团队改造载玻片作为防盖板，首张完整切片诞生，甚至引发了现场研究人员的欢呼。

“原本中国脑计划的成立目标是一体两翼。在基础研究上进行大规模布局，这就是一体。两翼是应用的两翼，一边是对脑疾病的诊断治疗，基于我们对基础脑科学的理解，研发早期诊断和早期干预脑疾病的方案。”蒲慕明在谈及中国脑科学规

划时说，这样的脑疾病治疗是社会重大需求。另一翼的应用方面，即脑机接口和类脑人工智能。

而此次脑图谱的技术突破，如研究人员所言，有望“搞清楚脑结构”，将会对类脑智能的研究“有启发”。

随着成像技术等取得突破性进展，人脑观测图谱绘制已进入倒计时。科研团队已经建立全球开放共享的脑图谱数据库，该库将整合跨物种细胞图谱、神经联接图谱及多模态动态数据。

正如蒲慕明所说的，这项基础研究的意义在于理解“人类大脑是如何构建的”“大脑神经元如何联接成一个高效节能的神经网络”。这些持续积累的基础研究成果，将为未来理解人脑工作原理、推动新一代类脑人工智能的发展奠定坚实基础。