

三篇嫦娥五号月球样品研究论文同时登上《自然》，刷新人类认知，提出行星科学全新重大课题——

月幔“干”而不“热”，月球何以“延寿”8亿年

■本报记者 许琦敏

昨天下午，国际顶尖学术期刊《自然》同时在线发表了三篇来自中国中科院地质与地球物理研究所的研究成果。研究证明，嫦娥五号月球样品为一类新的月海玄武岩，填补了美国和苏联月球采样任务的“空白”。

围绕嫦娥五号月球样品年龄、源区性质和水含量三个科学问题，研究团队发现，就在20亿年前，月球还“活着”，喷发过滚烫的岩浆，比此前预计的28亿至30亿年推迟了8亿至10亿年。

然而，与科学家此前猜测不同，研究发现，月幔中既没有放射性生热元素，也没有大量水的存在，由此提出行星科学全新重大课题——既然月幔“干”而不“热”，究竟是什么使月球“活”到了至少20亿年前？

以小时计速

7天完成月壤分析

2020年12月17日，嫦娥五号返回舱成功着陆在我国内蒙古四子王旗，带回了1731克月球样品。这是我国首次完成地外天体样品采集，也是时隔44年，人类再次从月球采回样品。

2021年7月12日，第一批嫦娥五号月球科研样品正式发放。当天下午，接到样品的中科院科学家立即投入实验，仅用20多个小时就完成了样品的初步鉴定和分选，7天内完成样品的年龄、矿物、元素和同位素分析，16天完成样品年代学以及月幔地球化学特征和水含量研究论文，并投稿到《自然》编辑部——三篇论文在线发表总共只用100天，创造了月壤研究“中国速度”。

“在月球样品到来前，我们已把所有的技术环节都演练过了。”中科院地质地球所嫦娥五号样品研究组骨干杨蔚研究员说，研究组48名科研人员平均年龄仅39岁，几乎从未接触过月球研究，但每个人都各尽所能，不眠不休地展开研究。

从样品中选取需要的岩石碎片（也叫岩屑），是研究人员遇到的第一关。“这些碎片与地球岩石差别较大，我们第一次在显微镜下挑选时，也不太确定。”杨蔚说，他们把部分碎片放在电镜下鉴定之后，再去样品中挑选。

由于“选材”精准，在分到的3克样品中，他们只损耗了150毫克，剩余的已归还给中科院探月工程地面应用中心，供别的研究团队研究。

就在这100天里，中国科学家获得了嫦娥五号着陆区岩浆年龄、源区性质的最新发现，刷新了人类对于月球的认知。

精确测定

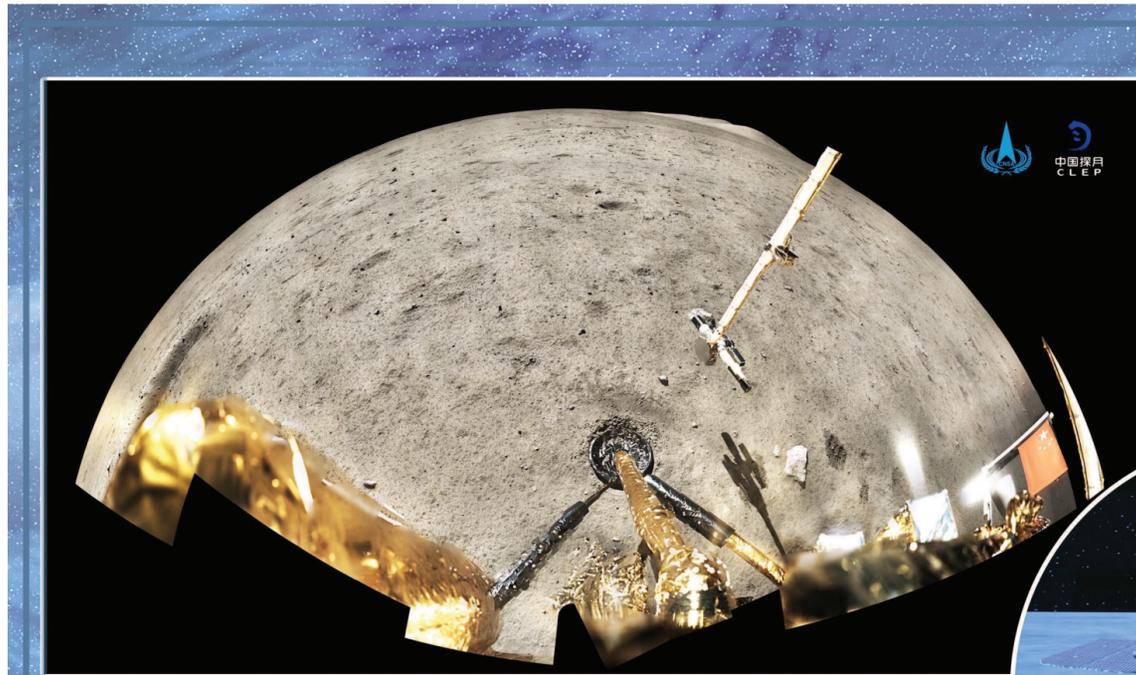
20亿年前月球还“活着”

嫦娥五号的着陆点位于风暴洋西北处吕姆克山附近，那里有月球最年轻的月海玄武岩，也远离美国“阿波罗”和苏联“月球号”采样点。

行星是有“生命”的，其标志就是岩浆活动，一旦岩浆活动停止，就意味着行星“死亡”。来自美国、苏联的月球样本和地球上月球陨石的证实，月球上的岩浆活动至少持续到大约28亿至30亿年前，古老的岩浆喷发活动留下的黑色玄武岩形成了所见的“月海”。但是，对于月球岩浆活动停止的确切时间，科学界一直存在争议。尤其是嫦娥五号采集带回的月海玄武岩，科学家预测其年龄在距今10亿年至30亿年间。

中科院地质地球所嫦娥五号样品研究组负责人、中科院院士李献华介绍，过去，科学家以统计撞击坑数量来大致判定岩石年龄——被小天体撞出的坑越多，岩石就越古老。可真要精确定年，还需要高分辨率的矿物分析设备。“这些岩屑含铁高、含镁低，结构各不相同，但都来自于同一次玄武岩喷发事件。”李献华说，在观察了100多个岩屑后，他们从中挑选了50多个具有代表性的样本。样品岩屑90%以上只有3至5微米大小，得益于地质地球所耗费十多年发展起来的、测定精度高达3微米的超高分辨率铀—铅定年技术，研究团队顺利确定出玄武岩形成年龄为20.30±0.04亿年，证实月球最“年轻”玄武岩年龄为20亿年。

这说明，月球直到20亿年前仍存在岩浆活动，比以往月球样品限定的岩浆活动停止时间延长了约8亿年。这一年代的精确测定数据，还为



▲嫦娥五号探测器着陆器和上升器组合体着陆后全景相机环拍成像（2020年12月2日摄）。
新华社发

▼2020年12月2日，在北京航天飞行控制中心拍摄的落月后的嫦娥五号探测器。
新华社记者 金立旺摄

▲嫦娥五号月球样品实物图。
制图：冯晓瑜

“今天，月球演化最重大的科学问题，由中国科学家提出并开展研究，我感到非常震撼与自豪”

—— 欧阳自远

记者手记

相隔40多年，从“答题”到“出题”

■本报记者 许琦敏

“今天，月球演化最重大的科学问题，由中国科学家提出并开展研究，我感到非常震撼与自豪。”在昨天举行的中科院嫦娥五号月球样品研究成果新闻发布会上，中国月球探测工程前首席科学家、中国科学院院士欧阳自远动情地说。

回首43年前，当收到美国送来的国礼——仅1克重的月壤，中国科学家所面对的研究任务就像是“完成一场考试”。此后，欧阳自远集结起全国相关科研力量，发表了14篇论文。通过研究，中国科学家“回答”出了月壤取自何处、成分结构如何，知道了美国人“什么都没说”的那些“秘密”。欧阳自远说：“今天，当我们研究中国人自己从月球上带回的样品时，则是一场探索，为的是做出真正高水平、有价值的研究，提出新的有价值的行星科学问题。”

“这是一个全球瞩目，特别是在行星科学界广泛关注、期待已久的重大成果。”通过视频连线，国际知名同位素地球化学和宇宙化学家、美国加州大学戴维斯分校教授尹庆柱向中国同行表示祝贺。

撞击坑统计定年曲线提供了关键锚点，将大幅提高内太阳系星体表面的撞击坑统计定年精度。

新课题浮现

月球何以维持长时间岩浆活动

那么，月球这8亿年的“寿命”是如何维持延续的呢？月球最晚期岩浆活动的成因一直是行星科学的未解之谜。目前，科学家认为存在两种可能解释：其一是月球岩浆源区富含生热元素以提供热源，其二是该区域富含水以降低熔点。

围绕这两种可能性，地质地球所与国家天

文台团队对嫦娥五号月球样品中的玄武岩岩屑进行了年代学和岩石地球化学研究，结果令他们大为意外。

利用地质地球所研发的超高分辨率同位素分析技术，研究团队发现，嫦娥五号玄武岩初始熔融时并没有卷入富集钾、稀土元素、磷的“克里普物质”——这几种元素在地球化学上被称为“不相容元素”，意为不容易进入到固体中。

也就是说，嫦娥五号样品富集克里普物质的特征是在岩浆后期形成的，排除其月幔源区富含放射性生热元素的主流假说，揭示了月球晚期岩浆活动过程。

而且，他们还发现，嫦娥五号玄武岩的岩浆源区并不富含水，其月幔源区每克岩石的水含量仅为1至5微克，可以说月幔非常“干”。科研人员指出，这一发现也排除了月幔初始熔融时因含水量高而具有低熔点，从而导致该区域长时间存在岩浆活动的猜想。

既然此前猜测的两种可能性都不存在，“这就需要科学家通过更多研究，去给出月球演化的新解释”。李献华说，嫦娥五号样品研究的第一批成果，恰恰推开了一扇新的科学之门。

续写新篇

“嫦娥”将补全月球演化历史

通过嫦娥五号月球样品的研究，人类终

于对月球“死亡”前的历史，有了更加清晰的认识。然而，月球最初是怎样形成的，至今还是一个谜团。

在中科院院士欧阳自远看来，补全这一头一尾两段月球演化史，中国科学家将会作出独到的贡献。

他透露，在“嫦娥工程”后续任务安排中，有望飞到月球背面最古老的岩层那里去，并将采样带回地球。“嫦娥四号在月球背面着陆，仅在月面进行探测，并未带回样品，嫦娥六号将可能实现这个愿望。”

据悉，中国科学院正在积极推动月球样本研究的国际合作，目前与法国科研中心在月球样本合作研究方面已达成初步共识。



在中科院地质与地球物理研究所，研究人员处理月球样品。新华社记者 金立旺摄

以五年为周期，在三家单位先期试点，给予人均每年30万至50万元稳定经费支持

上海首设“基础研究特区”，鼓励科研探险家勇闯“无人区”

■本报记者 沈湫莎

市政府近日印发《关于加快推动基础研究高质量发展的若干意见》（简称《意见》），首次提出试点设立“基础研究特区”，引发广泛关注。“基础研究特区”设立的初衷是什么？怎么做？由谁来做？记者就此采访了相关专家。

市科委副主任朱启高表示，上海要加快形成具有全球影响力的科技创新中心核心功能，必须全力做强创新引擎，把提升原始创新能力摆在更加突出的位置，千方百计把基础研究搞上去。

鼓励原创破土，给基础研究划出一方“小天地”

中科院院士蒲慕明曾把科研人员分为三种类型：探险家、导游和游客。探险总会看到新天

地，新天地就是新领域，那里蕴藏着“从0到1”的新发现。之后，这些“探险家”就能以“导游”的身份带着“游客”在这一领域继续探索，由此成长为新领域的领军科学家。

如今，无论是中国科技自立自强，还是经济社会转型升级，都呼唤更多“从0到1”的颠覆式创新，基础研究从未像今天这样重要。和“导游”“游客”相比，“探险家”付出的艰辛、承担的风险都是最大的，因为他们探索的是从未有人涉足的“无人区”。

中科院上海分院科技发展部主任赵小龙说，“从0到1”原创项目有些是非共识项目，有些研究风险极高，在传统科研立项的指挥棒下，这类项目很可能无法通过评审。

市科委基础处处长朱扬表示，试点设立“基础研究特区”，就是希望给从事基础研究的科研人员划出一方“小天地”，让他们在相当长一段时间内不用为申请经费、课题验收等发愁，引导

科研人员以“宁打一口井、不挖十个坑”的态度心无旁骛地搞科研，同时兼顾自身兴趣和国家战略需求。

经过初期调研，“基础研究特区”今年率先在复旦大学、上海交通大学、中科院上海分院三家单位开展试点。以五年为周期，市政府每年给予一定金额的支持，试点单位匹配相应的资金，争取实现人均30万至50万元/年的经费支持力度。

科研立项“指挥棒”转向，从“求稳”到“求新”

在赵小龙看来，“基础研究特区”的关键词就是“特”，即根据基础研究的特点，在项目选择、经费使用、评价标准等方面都要有所不同。

在项目选择上，中科院上海有机化学研究所研究员左智伟感受到了明显变化，评委对项目的关注点从“纠错”转为“鼓励”：“以往答辩，

评委常常会指出研究方案中存在的缺陷与漏洞，尤其是原创研究往往充满不确定性，比较难以获得评委共识。这次答辩，专家们在方案亮点的基础上提出了一些优化建议，鼓励我去试试。”

事实上，“指挥棒”转向背后的一个关键问题就是如何看待失败。作为一名基础研究人员，上海树图区块链研究院总监杨光表示，撰写一篇基础研究的原创论文可能需要五六年，而一篇“跟风”文章可能只需要几个月，如果只有单一的成果导向，那么科研“指挥棒”只会引导大家去做“热闹”的研究。

从项目申请的情况看，“基础研究特区”受到了科研人员的热捧，仅中科院上海分院目前已收到近50份申请。中科院分子植物科学卓越创新中心研究员辛秀芳说，有了这笔持续稳定的支持，课题组就可以招募更多博士后等科研力量，“走进”以前不敢涉足的研究方向。

设立“项目专员”，全程跟踪项目进展

宽容失败，并不意味着对进入“特区”的项目放任自流。虽然基础研究强调兴趣导向，但“基础研究特区”的项目遴选坚持战略导向与原创探索相结合的标准；在运行机制上，“基础研究特区”也将借鉴国际上成功的科研管理经验与做法，设立“项目专员”，全程跟踪项目进展。

“项目专员”并不参与项目研究，但对项目从立项、研究到结题进行全周期跟踪，了解项目每一阶段的进展和困难，有时也会为项目寻求各类资源和支持。“中科院上海分院院长胡金波表示，以‘特区’形式加强基础研究，放手让试点单位自行部署、自行立项、自行管理，给科学家一个找‘空白点’的机会，这是一项非常有意义的尝试。”