

编者按 日前,国家自然科学基金委员会发布了2024年度“中国科学十大进展”(简称“十大进展”)。为让读者深入了解过去一年我国基础研究领域最具代表性的成果,本报将陆续刊发由“十大进展”完成人撰写的解读文章。

# 嫦娥六号返回样品揭开月背神秘面纱

□ 崔泽贤 张乐 徐义刚

## K“十大进展”系列解读①

作为地球唯一的天然卫星,月球是地球最亲昵的伙伴,但它始终以同一面朝向地球,和地球只是“一面之交”。因此,在人类数千年的仰望中,月球的背面始终笼罩着神秘面纱。

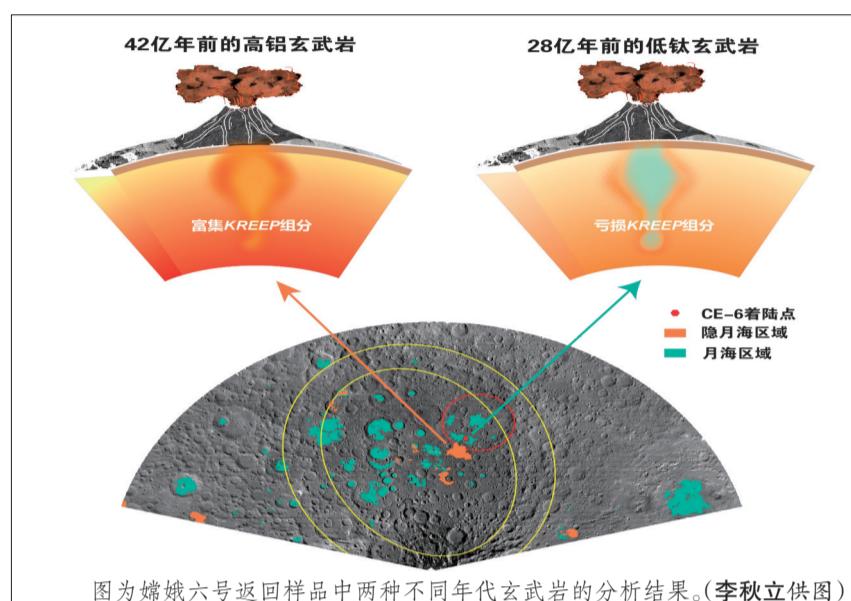
1959年,苏联的“月球3号”探测器在掠过月球背面时拍摄了29帧图像,就这一瞬的回眸,使得人类第一次看见了月球的“后脑勺”。此后数十年,多国相继发射月球轨道探测器,对月球全球进行了细致的探测活动,绘制了全月图像,但对月球背面的认知依然还停留在“远观”的阶段。

月球的正面和背面宛如“阴阳两极”——正面遍布着暗黑色的月海玄武岩,好似黑色的“海洋”,而背面的月海玄武岩却极其匮乏,以古老的高地和大大小小的陨石撞击坑为主。

除此之外,月球的两面还在地形高度、月亮厚度和物质成分等方面存在显著差异,这种强烈的反差被称为月球的二分性。其成因一直困扰着科学界,成为现月球科学最大的关键问题之一。直至2024年,嫦娥六号探测器顺利从月球背面带回1935.5克世界首份月背样品后,这一窘境才得以改善。

### 月球背面同样存在火山活动

嫦娥六号着陆区位于月球背面的南极—艾特肯盆地东北角的阿波罗撞击坑边缘。该盆地是月球上最大(直径约2500公里,相当于广州到北京的距离)、最深



图为嫦娥六号返回样品中两种不同年代玄武岩的分析结果。(李秋立供图)

(渗透深度在120公里左右)且最古老的盆地。复杂的地质构造背景和潜在的岩石种类多样性使得南极—艾特肯盆地成为研究月球二分性的最佳实验场。

同位素定年分析可以确定样品形成于什么时代,就像人可以知道什么时候出生的一样,而同位素组成就如同人的基因一样,可以用于判别岩石是从哪里来的。中国科学院广州地球化学研究所团队(以下简称“我们团队”)针对性地升级改造了现有的同位素分析技术,对月球背面月海低钛玄武岩进行分析,低钛玄武岩岩浆来自于一个极度亏损钾(K)、稀土(REE)、磷(P)组分(简称KREEP,富含放射性生热元素,传统观

点认为其能为月球持续的火山活动提供热源)的月幔源区。我们团队首次揭示了嫦娥六号着陆区的火山活动时间为2.8亿年,证实了月球背面和月球正面同样存在年轻的火山活动。

此外,中国科学院地质与地球物理研究所团队还发现一颗高铝玄武岩颗粒,它形成于4.2亿年前,证明月背至少存在了14亿年的火山活动历史。

以上认识极大地丰富了月球火山活动历史,为全面认识月球演化历史提供了关键科学证据。

### “背靠背”集体攻关

嫦娥六号返回样品是在2024年8月

24日上午10:30发放,到达中国科学院广州地球化学研究所已是19:00,相关工作马上开始展开。8月25日,我们团队完成样品前处理,8月26日进行图像学处理,锁定了定年矿物。拿到样品后一周内,完成了所有微区分析的数据采集工作。9月9日,向国家航天局探月中心提交了研究报告。

中国科学院地质与地球物理研究所团队和我们团队分别于9月7日和9月13日将研究成果投稿到了《自然》和《科学》杂志上。巧合的是,两篇研究论文均于11月15日在线发表。

嫦娥样品的科学研究作为嫦娥探月工程的延续,不仅肩负着国家月球样品科学的研究的殷殷期望,更是承载着人类对探索未知世界的美好愿景。

中国科学院广州地球化学研究所和中国科学院地质与地球物理研究所,在同一时间领到了研究任务,采取“背靠背”的模式,各自独立开展相关研究。

最终在同样高效的情况下,获得了一致的可靠数据,这充分展示了中国科研工作者在原位微区定年、原位微区同位素示踪等方面的研究实力,并为后续更多的深空探测任务返回样品的研究打下了坚实基础。

(作者崔泽贤系中国科学院广州地球化学研究所工程师,张乐系中国科学院广州地球化学研究所高级工程师,徐义刚系中国科学院广州地球化学研究所研究员、中国科学院院士)

## 2.5亿年前的“生命避难所”被发现

# 远古大灭绝时这里为何生机勃勃

□ 冯伟民

## 进化杂谈

自5.4亿年前显生宙时期以来,地球生物共经历了5次大规模的灭绝,人们对灭绝原因非常关注。但几亿年的自然变化几乎抹去了所有痕迹,留下来的证据只有少数。在灭绝与复苏的循环往复中,“避难所”理论为解读生命韧性提供了关键“密钥”。

近期,中国科学院南京地质古生物研究所团队在《科学进展》报道了新疆吐哈盆地的突破性发现,不仅填补了二叠纪末大灭绝(约2.5亿年前)陆地“避难所”研究的实证空白,更以古鉴今为应对第六次生物大灭绝提供了科学范式。

### 半个世纪的探索之路

说到“避难所”理论,我们可以追溯到1963年南非古生物学家罗伯特·哈顿提出的一个假说。当时,哈顿对发掘出

来的二叠纪—三叠纪界线层的化石记录展开了系统研究。在研究过程中,他首次发现生物多样性在某些特定区域出现了异常复苏的现象。对此,他提出了“环境缓冲带”的概念,便是“避难所”理论的雏形。

此后半个世纪里,全球科学家通过多学科交叉研究,不断给“避难所”理论“添砖加瓦”。1990年,在南非卡拉哈里盆地发现的水龙兽化石群,首次验证了河谷湿润区在新生代之前可以作为避难所的假说。2010年,在西伯利亚暗色岩系火山活动中心发现的局部“避难所”,更是打破了大家以往的认知。它证明了即使在极端环境下,一些微型生态屏障也能发挥庇护生命的重要作用。

科学家甚至在美国乞沙比克湾的一处陨石坑中发现,撞击产生的深层裂隙能为微生物提供生存必需的水和营养。这让人们不禁猜想,火星陨石坑的深处是不是也存在着类似的“生命绿洲”呢?

### 新疆“避难所”的惊人发现

中国研究团队通过对吐哈盆地南桃东沟剖面分析,发现了孢粉化石,证实这块区域的临水蕨群落与原始松柏类森林局部灭绝率只有21%,在二叠纪末大灭绝事件前后都一直保持着繁荣的状态。而在同一时期,海洋生物的灭绝率却高达80%。此次大灭绝事件之后,在短短7.5万年时间里,这块区域就形成了一个包含水龙兽—迟滞鳄的复杂生态系统。换而言之,这块区域就是大灭绝期间的“避难所”。

为什么这块区域会成为陆地其他生物快速繁衍的“生命绿洲”呢?对比南桃东沟地区和中桃东沟地层剖面,中国研究团队认为,该地区在二叠纪末大灭绝前后一直保持着半湿润至季节性干旱的气候环境,年均降水量稳定在 $1000 \pm 150$ 毫米。稳定的气候是植被得以生存的关键。

这次发现不仅重构了科学家对“避难所”理论的认知,而且证明了局域安

全区能够通过生态廊道的辐射作用,带动周边区域的生态复苏。

### 在绝境中寻找出路是生命本能

联合国的生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台早在2019年就发出了第六次生物大灭绝的警示。而此次新疆“避难所”的研究给我们带来启示:局地气候的稳定性,应该成为我们划分自然保护区的核心指标;参考二叠纪“避难所”的植被结构,设计一种由固碳乔木(如栎属植物)、保水灌木(如沙棘)以及抗逆草本组成的三层防护体系,可提升生态系统抵抗外界扰动的能力。

总之,从二叠纪的松柏林到现代的热带雨林,从远古的浅海到火星的陨石坑,“避难所”的存在印证了生命在绝境中寻找出路的本能。面对不可逆转的全球变暖,我们或许无法复制2.5亿年前的奇迹,但可以通过科学规划与全球合作,为地球生命打造新的“方舟”。

(作者系中国科学院南京地质古生物研究所研究员)