

我国探月成果，凝聚在这张“写真”上

□长江日报记者翟晓林 实习生罗俊锋

月球地质图是月球地质研究成果的综合反映和载体。一张精准的月球地质图，是人类探索深空、认识宇宙的重要基石。近日，由中国地质科学院地质研究所牵头，联合中国科学院地球化学研究所、吉林大学、山东大学、中国地质大学(北京)共同编制的1:500万《月球地质图》正式完成，即将出版。它实现了更精细的年代划分，并自主制定编图标准，为月球研究立下了属于中国的“新坐标”。

2022年绘图工作立项以来，科研人员以嫦娥工程获取的全月影像、地形等数据为基础，在数字平台上识别岩石类型，勾绘地质界线，圈定撞击坑和构造，再按统一的年代框架和表达标准，把所有信息集成到一张图上。4年时间里，他们在图上标出月球的1.3万多个撞击坑、81个撞击盆地、14类构造和17种岩石类型。

牵头编制1:500万《月球地质图》的是中国地质科学院地质研究所一支十余人团队，记者采访了其中的两位代表：研究员丁孝忠和副研究员金铭。

通过“三把钥匙”，解密月球时空信息

月球地质图承载了月球丰富的时空信息。简单来说，界线管“空”，颜色管“时”。图上的每一条界线，圈出的是一个岩石单元的空间范围——它在哪里、有多大；而每一个单元的颜色和代号，代表的是它的形成时代和岩石类型——它什么时候形成、由什么构成。读图时，先看位置知道“在哪”，再看颜色知道“多老”，两者叠加，就是一张时空一体的地质图。

以这张月球地质图的一个局部为例，丁孝忠和金铭通过颜色、符号、界线“三把钥匙”，告诉大家怎么看懂地质图承载的信息。

这张局部图(右图)展示了月球正面雨海盆地内嫦娥三号着陆区附近区域的地质特征。

颜色代表岩石类型和时代：蓝色系是月海玄武岩，表示这里曾是火山熔岩充填的洼地；浅黄色是年轻撞击坑的坑物质。

界线围出的每一个闭合区域，是一个独立的地质单元。不同的符号代表不同的地质要素。左上角的“勒韦里耶”是一个典型的撞击坑。上方的蓝色线状符号指示一种月海中广泛存在的线性构造“皱脊”，由玄武岩冷却收缩形成。数字“1300”代表月海玄武岩的厚度是1300米。

图中右侧及下方的标注，“Ga”(Giga-annum)代表“10亿年”。3.04Ga即30.4亿年前，2.66Ga即26.6亿年前。“E”代表“Eratosthenis(爱拉托逊纪)”，“1”代表“早爱拉托逊世”。后缀字母代表具体的岩性，“lt”“mt”分别为低钛玄武岩和中钛玄武岩。

把这些信息叠加起来，就能还原这个区域的地质演变：先有古老基底，后来被玄武岩覆盖，最后又遭到陨石撞击。

“绘月”14年，中国“月图”接力集成、全面超越

月球地质图的编绘历史已有400余年。1610年，意大利天文学家伽利略用望远镜观测研究月面地形结构，绘制出第一幅月面图。

20世纪60年代起，随着月球科学探测高潮的兴起，人类对月球的认识逐渐深入，美国、苏联等国科学家先后编制了月球地形图、地质图、构造图等图件。

我国首次编制月球地质图是在2012年，中国地质科学院地质研究所的丁孝忠、韩坤英等科研人员根据嫦娥一号提供的科学数据，编制了月球虹湾地区数字地质图，建立了空间数据库，并探索制定了月球数字地质图编制方法、标准

访 谈

1.3万多个撞击坑怎么画出？机器“找坑”，人来“认坑”

猎鹰9号火箭撞月的坑，地质图不会标注

读+：地质图是什么，它与地形图、构造图、岩石类型图之间是什么关系？地质图的“底图”是哪一张？

丁孝忠、金铭：月球地质图回答的是“月球表面由什么岩石构成、这些岩石什么时候形成、经历了什么改造”。它比地形图多一个“时间维度”。地形图是地质图的底图——先有地形框架，才能往上填地质信息。构造图和岩石类型图可以理解为地质图的“专项拆解”，分别是地质图信息的一部分。

读+：绘制月球地质图的意义和迫切性在哪里？

丁孝忠、金铭：没有地质图，关于月球的认识都是零散的点；有了地质图，才能把点连成面，从全局上理解月球怎么形成、怎么演化。绘制月球地质图，既是人类探月历史积累到一定阶段的必然产物，也是各国迈向更深空、争夺未来战略制高点的迫切需求。

读+：人造天体(如猎鹰9号火箭二级残骸)撞击月球后，形成的撞击坑会不会被地质图标注上去，为什么？

丁孝忠、金铭：不会。至少在这张1:500万全月地质图上，不会标注。

1:500万比例尺下，撞击坑直径要达到10公里才上图。猎鹰9号火箭二级残骸撞击月球产生的坑，远远达不到这个指标(这个撞击坑直径约18米、深不足3米，记者注)，在图面上连一个点都占不到。

更深层的原因是：地质图的使命是表达月球自然演化的历史，而不是记录人类活动留下的痕迹。人造天体撞击坑本质上是一种工程事件，不是月球地质过程。它不反映月球自身的岩浆活动、撞击历史或构造演化，目前的科学价值非常有限。

当然，如果未来月球表面的人类活动痕迹多到需要专门管理，会有另外的“人为痕迹图”去记录它们。这不是地质图的任务。

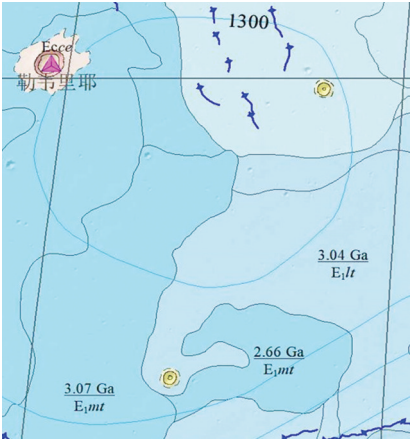
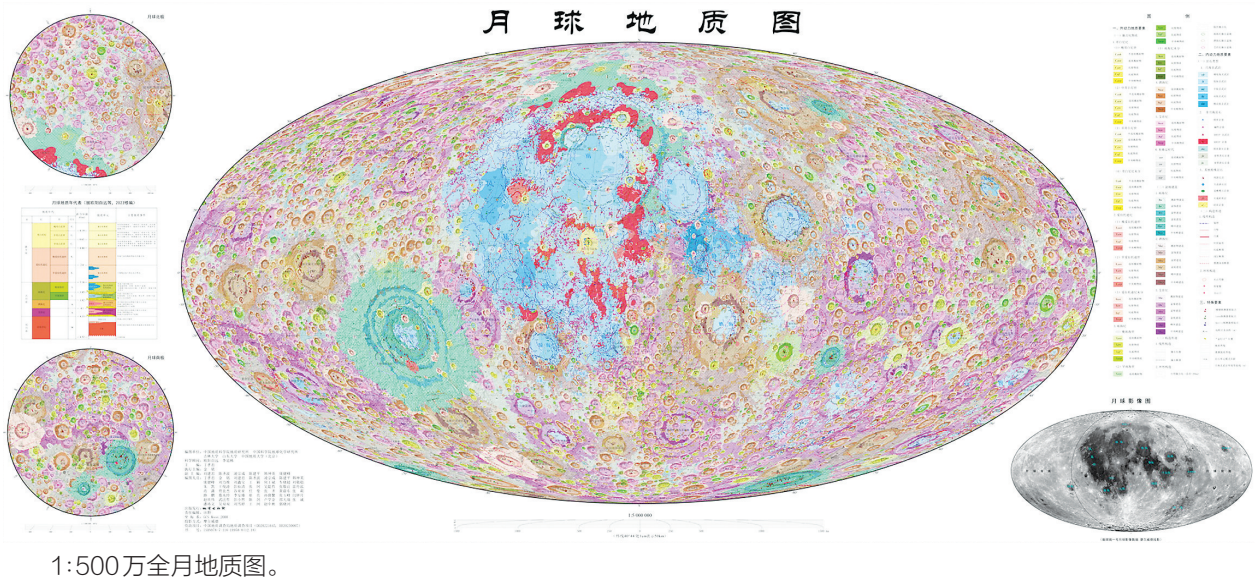
“1:500万”不是能力上限，是为了一图看清全月

读+：1:500万的比例尺是如何确定的，是按“木桶原理”或“短板原理”、由分辨率最低的数据决定的吗？1:500万或1:250万是目前我国能达到的最高精度吗？

丁孝忠、金铭：1:500万是科学表达的需要，不是数据分辨率的限制。全月图的任务是提供整体概览，图幅不宜过大，否则失去“一眼看全月球”的功能。选这个比例尺，是在“看得全”和“看得清”之间取平衡。全月图选1:500万，不是能力上限，而是定位选择。事实上，团队已开展1:100万月球地质图的编制。

读+：单看比例尺，会产生疑惑：2024年我国发布的1:250万版全图精度似乎更高。为什么两图发布时间间隔这么短，为什么新图精度看起来下降了？两图各自的侧重点在哪里？

丁孝忠、金铭：这里需要先澄清一个常见误解：比例尺数字变小，不等于科学精度降低。1:250万的“大”，是图幅和细节量的大；1:500万的“小”，是表达尺度的收束。两者的关系，1:250万像一幅内容丰富的长卷，信息密集，适合



月球地质图局部(月球正面雨海盆地内嫦娥三号着陆区附近)。

与技术规范。后来，中国地质大学(北京)教授陈建平等多源卫星探测数据编制了月球虹湾—雨海地区大地构造纲要图；山东大学特聘教授凌宗成、中国地质大学(北京)博士王翔等对月球岩石进行了分类。这些研究成果都为我国编制全月地质图奠定了基础。

全世界较有影响力的综合性全月地质图，此前以美国地质调查局的系列图件为主，包括20世纪70年代的版本和2020年的更新版。2024年我国发布了1:250万月球地质图集，今年又发布了1:500万全月地质图，集大成地反映了我国探月工程的成果，并实现全方位超越。

嫦娥一号、二号提供了全月影像和地形数据，是全月地质解译的基础底图。嫦娥三号在雨海的着陆探测为月海玄武岩的岩性划分提供了约束。嫦娥四号在冯·卡门撞击坑区域的探测，揭示了南极—艾肯盆地的物质信息。嫦娥五号带回正面月海样品，给出了20亿年的绝对年龄锚点，成为划分“爱拉托逊纪”早、晚两世的关键依据。嫦娥六号带回背面样品，为认识月球最古老的物质组成提供了前所未有的样本。

丁孝忠和金铭介绍，2026年最新版全月地质图与2024年发布的我国首版全月地质图之间，同样是接力关系：前版解决“有没有”，这版解决“新不新”。

深入研究：1:500万则像一册经过精心提炼的总纲，每一类信息都经过更严格的筛选和规范。

再澄清一个时间概念：1:250万版是2021年完成编制的，2024年正式出版；这次1:500万版是2026年完成。所以确切地说，中间隔了五年，不是两年。这几年里发生了什么？嫦娥五号样品的系统分析、嫦娥六号背面样品和研究结果的陆续产出、编图标准的反复打磨，都在持续更新我们的认知。到2024年出版时，一些新认识已经超出了那版图能承载的范围。所以这次不是把旧图缩小，而是在更高认识水平上的一次体系化迭代。

读+：绘制这一版全图，是不是仍然是“智力密集型”+“体力密集型”劳动？1.3万多个撞击坑，依然靠人力画坑、数坑吗？有没有更先进的技术手段起到关键作用？

丁孝忠、金铭：还是“智力密集型”+“体力密集型”劳动，但“体力”的内涵变了。1.3万多个撞击坑，不是拿笔在纸上一个画一个。实际流程是：先由算法在遥感影像上自动识别，再由科研人员逐一进行人工校验和属性判定。机器把大部分“找坑”的活干了，但“认坑”的活，最终还是得人来——哪些是真实撞击坑，哪些是地形假象；哪些边界清楚，哪些被溅射物掩盖；哪些需要上图，哪些应该归并。这些判断，算法替代不了。

所以准确地说，科技手段解决的是“从无到有”的效率问题，人的经验解决的是“从有到对”的质量问题。这张图的每一处界线，最终都是人—毫米—毫米校出来的。

过去跨度十几亿年的“纪”，已经粗到无法描述新认知

读+：研究团队对月球地质年代代表进行了系统性重构，2024年版中我国首创的“三宙六纪”到这一次出现了怎样的变化，为什么还要划分出世和期？“20亿年前”这个月球“死去”的年份，是否将作为晚月代关键界线，从此被世界引用？

丁孝忠、金铭：月球的“时钟”被校准得更精细了。古老纪元的界线调整，依据的是国际上对月球陨石和阿波罗样品锆石的最新同位素测年成果。爱拉托逊纪被一分为二，则完全是因为嫦娥五号样品给出的20亿年这个中国锚点。哥白尼纪细分早、中、晚三期，靠的是撞击坑形态退化程度的量化标准。

为什么还要划分“世”？因为数据精度够了。过去跨度动辄十几亿年的“纪”，已经粗到无法描述新认知。爱拉托逊纪被拉长到20亿年后，如果不分世，等于用一个时间单位装下两种完全不同的演化状态。

20亿年这个节点，因为是中国样品实测出来的，有望成为全球晚月代的关键界线，但被世界引用的过程，需要更多国际同行在后续研究中采纳和验证。

读+：公布了以KREEP(克里普)岩为代表的月球“家底”储量超预期，其意义主要在哪里？会在可见的未来进行开掘吗？

丁孝忠、金铭：KREEP岩富含稀土、钍、铀等战略资源，它的分布范围和储量估算，直接影响未来月球资源开发的战略判断。但“可见未来”不会开掘。以目前的技术和经济成本，从月球运回资源远不划算。更现实的路径是未来就地利用，服务月球基地建设。这张图的价值，是为那一天的选址和规划提前画好了靶区。

定点取壤，“20亿年”中国锚点改写月球演化史

月球是一颗沉寂已久的星球。以往的认知是，大约在30亿年以前，它内部的能量就耗光了，只在外场的作用下自转。科学家们猜测这个时间并不准确，但需要证据。

嫦娥五号登月采样之前，中国科学院院士、中国探月工程首席首席科学家欧阳自远经过精密计算推演，要求将嫦娥五号降落到月球最“年轻”的火山喷发区域，寻找那里的月壤。2020年12月，嫦娥五号返回器从风暴洋北部吕姆克山附近带回了1731克月球样品。通过对样品的研究，科学家们证实，月球火山活动可以一直追溯到20亿年前。这是由中国人独立获取的年龄锚点，直接改变了月球晚期演化史的时间框架。

此前，国际上通常按照“五分法”划分月球地质演化历史，但“五分法”把主要由内动力作用和主要由外动力作用形成的地质单元混在一起，不能科学精准地划分月球整个地质演化历史。

基于新的认识，我国科学家在编制1:250万月球全月地质图集时，构建了“三宙六纪”的月球地质年代划分体系，将月面历史分为冥月宙、古月宙和新月宙三个阶段，改写了月球演化历史。大约从距今45.2亿年到43.1亿年为冥月宙，这是月球早期的岩浆作用期，又称岩浆洋纪；大约从距今43.1亿年到31.6亿年为古月宙，为内外动力地质作用并重阶段，包括了艾肯纪、酒海纪及雨海纪；此后的30多亿年为新月宙，分为爱拉托逊纪和哥白尼纪。

此次“绘月”，编制团队根据最新研究成果，将古月宙的艾肯纪起始年微调为43.3亿年，酒海纪起始年调整为41.7亿年，雨海纪起始年调整至39.2亿年。更关键的是，团队以20亿年为界，首次将“爱拉托逊纪”划分为早、晚两个世。这是全球月球地质年代表中，第一次出现由中国自主月球样品测年数据锚定的年龄界线。

月球的故事还是那些故事，但时间线变了。月球内部的热演化机制需要重新审视，很多因果链条需要重新梳理。我们对月球的认识还在不断刷新。

人类从来就不被限定为只栖息于一颗行星的物种，我们注定要不断探索太空奥秘。以月球为起点、延伸向更多星辰的一张张地质图，将指引我们出发，飞天揽月，伸手摘星。

读+：对月球背面的描绘有没有什么突破？

丁孝忠、金铭：突破在背面南极—艾肯盆地。首次将亚铁苏长岩套细分为辉长苏长岩与斜长苏长岩。

读+：“团队在南极—艾肯盆地新识别出辉长苏长岩，并将亚铁苏长岩套细分为辉长苏长岩与斜长苏长岩，首次通过岩性填图证实了该盆地撞击挖掘物质具有‘分层掘出’特征，为月球早期演化研究提供了迄今最直接的遥感证据。”这段话能否理解为月球的“出生证明书”被重写了？

丁孝忠、金铭：辉长苏长岩和斜长苏长岩的细分丰富了月球最早的演化记录，但距离重写“出生证明”，还需要更多样品和更精确的年代学证据。

读+：新图采用的全套图示图例和用色标准为什么重要？

丁孝忠、金铭：因为标准是话语权的载体。从符号到配色全部自主制定，并通过了中国团体标准认证。今后任何国家要引用或对话(比阅读、校勘性对话，记者注)这张图，都必须了解中国的表达体系。

画完月亮，未来还要画火星、小行星

读+：这份月球地质图除了用于科学研究，未来是否会影响载人登月、太空旅游、深空资源开发？普通人多久能享受到这项工作带来的红利？

丁孝忠、金铭：载人登月的着陆区选择、月球基地的规划、资源勘查的靶区圈定，都要参考地质图。太空旅游和资源开发是更远的事，但它们的起点同样是先把月球摸清楚。对普通人来说，短期内不会直接使用这张图，但它本身就是一部浓缩的月球演化史，可以作为科普读物，帮助公众理解月球经历了什么。至于更实际的红利，要等载人登月、资源利用等工程推进到一定阶段后，通过技术溢出和产业带动逐渐显现，时间尺度取决于国家深空探测的整体节奏。

读+：月球上的洞穴被认为是人类建造永久基地的理想场所，有这个可能吗？

丁孝忠、金铭：有可能。月球洞穴能提供天然的辐射屏蔽和温度稳定环境，是建设基地的理想候选。但目前对洞穴内部结构的了解还非常有限，需要专门探测。地质图能帮助识别洞穴所在的区域地质背景，判断其稳定性和科学价值，但能否真正建基地，还要等未来实地探测验证。

读+：下一步“绘月”，我们还有什么计划？

丁孝忠、金铭：下一步的重点有两个方向：一是针对局部区域开展更大比例尺地质编图；二是把这套编图技术规范应用到火星、小行星等天体的地质编图中。月球是起点，目标是建立中国深空探测地质编图的完整体系。

读+：未来可能像导航软件那样，出一个App或小程序，让平面图立体起来吗？

丁孝忠、金铭：技术上没有障碍。全月地质图本身是二维图件，但可以叠加在月球数字高程模型上，做成三维可交互的展示平台。用户可以在手机或电脑上旋转、缩放月球，点击任何区域查看岩石类型、形成时代和地质信息。对科研人员是工具，对公众是科普。

你看你看月亮脸

□王永芳

“小时不识月，呼作白玉盘。”儿时抬头，见满月像一枚温润的玉盘，弦月似一张弯弯的弓。我们在月下听嫦娥奔月、吴刚伐桂的故事，以为那清辉里藏着的，尽是浪漫与神话。那时的“绘月”，是诗，是梦，是宣纸上的一团墨晕。

今年8月，我看到了一张全新出炉的1:500万全月地质图，图上密密麻麻记录了海量月球信息。中国科学家们用嫦娥一号至六号的全序列数据，在图上标注出月球上每一处撞击坑的年龄、每一片月海的岩性、每一条断裂带的走向。他们把月球从“白玉盘”绘成了一部厚重的“石头史书”。科学家的“绘月”，是在用数据把遥远的月亮“翻译”给人们看。

这一译，就是好多年。

嫦娥一号传回全月遥感影像，第一次让中国科学家看清月球的“脸”；嫦娥五号从月面取回一捧土壤，发现月球在20亿年前仍有火山喷发，把月球地质寿命延长了10亿年，相当于在人类以为早已沉寂的“白玉盘”里，找到了它心脏最后一跳的回响；嫦娥六号则从月背带回42亿年前的古老样品，锚定了月球从躁动到沉寂的完整编年史。科学家将月球地质年代中的“爱拉托逊纪”首次细分为早晚两世，这是全球月球年代表中第一条由中国数据锚定的年龄界线。

此刻再看这张全月地质图，我不再看见银白的圆盘，我看见广袤的月海玄武岩以深浅不一的蓝色铺展成古老的熔岩平原；我看见哥白尼纪撞击坑的辐射纹以明亮的浅黄色延展，如同巨人掷出的石子激起的水波；我看见克里普岩层在图上以暗红基底色呈现，那里而浓缩着人类梦寐以求的稀土和铀钍。每一个色块背后，都藏着一场发生在亿万年前的宇宙事件；每一条界线，都是中国科学家用数据和逻辑重新划定的“国标”。

这张图是既往科研的结晶，也可能成为未来探月的新起点。它将为载人登月遴选最安全的着陆场，为月球科研站寻找最稳固的地基，为未来太空资源开发圈定第一块“靶区”。可以想象，若干年后，当第一座月球基地在洞穴熔岩管里亮起灯光，当第一艘从月球出发的深空飞船点火升空，它们的起点，可能就在这张高清全月地质图上。

更令人动容的是，科学家们表示，地质图还可以做成三维可交互的展示平台向公众开放。未来我们不必只对着夜空想象，还可以在手机上旋转、缩放这颗星球，点击任何一个撞击坑，读出它的年龄和故事。从“呼作白玉盘”的诗意，到“点击即知”的精确，这是科学赋予人类的新浪漫。

小时候画月亮，只画它的轮廓；如今科学家绘月，绘的是它的骨骼、血脉与年轮。从想象到了解，从仰望到抵达，中国人的“绘月”之路，也是我们这个民族把浪漫种进现实、用科技探索星辰的最好注脚。