

## 地外物质研究的新进展

欧阳自远

人类对地外物质的研究手段，一种是大气外观测，即通过各种空间探测器及空间实验室对太阳系各天体进行观测，或着陆就地探测；另一途径是地面观测和实验室研究。地面实验室研究，主要通过两种途径获得地外物质样品，一是人工方法，如登月取样、火箭穿透和高空气球与飞机收集宇宙尘埃，再返回地面；或地外物质通过自然过程降落在地表，如陨石的收集，海底沉积物、极地冰层和古老地层中搜集宇宙尘。我国已收集到81次陨石，在沿海沉积物中发现有大量陨石消融的球状微粒，利用科学气球在30公里高空收集宇宙尘，并在南极冰层和古老地层中发现大量宇宙尘。

当前，地外物质研究中最引起广泛关注的是：来自月球和火星的陨石的发现与论证，以及白垩系—第三系界面中元素与同位素异常所表征的地表环境灾变与生物灭绝事件的起因——地外物质冲击。此外，陨石同位素组成的异常、太阳系物质来源及元素起源、陨石的多阶段宇宙线照射历史、宇宙尘的研究、哈雷彗星的探测与取样研究，也是当前热烈讨论的课题。

在南极洲找到的5617块陨石中，ALHA-81005、Y-791197、Y-82192和Y-82193号陨石已证实是月球岩石。ALHA-81005陨石呈角砾构造，角砾中含有重结晶的非克利普岩碎块，其矿物成分属典型的月球高地斜长岩，主量元素、稀土元素的含量与配分模式均与月球斜长岩相似；陨石的基质为褐色玻璃，成分与月球斜长岩相当；其中含有大量的太阳风气体与太阳耀斑的径迹，证明原岩曾暴露在月球表面，暴露年龄 $<2500$ 年。ALHA-81005的原岩在月表曾受到一次撞击，使月表斜长岩破碎并部分熔融再胶结各种冲击碎块，被高速溅射到地球上。最近在Bununu和Fayetteville的富气无球粒陨石中发现含有近5%的类似月球土壤物质，可能这类陨石的母体是一颗曾有过土壤的小行星。

在南极洲找到的EETA-79001角砾状无球粒陨石，形成年龄只有13亿年（一般陨石年龄为45-46亿年），变质年龄为1.3亿年。它的主量元素含量，与“海盗-1”和“海盗-2”飞船所测定的火星表土的成分接近。EETA-79001的氮同位素组成中 $^{15}\text{N}$ 具正异常，比一般陨石高十倍，而与火星大气的氮同位素组成相近。EETA-79001的玻璃中捕获有大量的稀有气体， $^{36}\text{Ar}$ 、 $^{40}\text{Ar}$ 、 $^{20}\text{Ne}$ 、 $^{84}\text{Kr}$ 、和 $^{132}\text{Kr}$ 的相对丰度与火星大气一致，而 $^{14}\text{N}$ 、 $^{20}\text{Ne}$ 、 $^{40}\text{Ar}$ 、 $^{84}\text{Kr}$ 与 $^{36}\text{Ar}$ 的比值与火星大气极相近，而与地球、月球、陨石、太阳风的比值差异较大。EETA-79001的宇宙线照射年龄约为1百万年。上述结果表明它可能是一块火星表面的岩石被溅射而落入地球南极冰层中。ALHA-81005和EETA-79001的研究，展示了人类可以在地球上找到月球和其他行星物质的新前景。

地外物质撞击行星表面形成特殊的地形——撞击坑。由撞击坑的大小、密度、内部结构可划分行星表面的相对年龄，并可研究太阳系历史中撞击体的大小与通量变化，为探讨爆炸成坑的机制及某些矿产的形成有实际意义。地球表面已发现有近100个经研究确证的地外物质撞击坑，大者直径达100公里。我们仅有一些可能是陨石撞击坑的线索，尚待验证。撞击坑与玻璃陨石的研究密切相关。中国玻璃陨石的研究为玻璃陨石的“地球起源说”——地外物质撞击地表，强烈冲击波使地面岩石气化、熔融、溅射，熔融的溅射物在空中冷凝再降落——提供了新证据。近年来开展了玻璃陨石中宇宙线成因核素的测定，为排除玻璃陨石的“月球起源说”提出了实验依据。近年来最引起科学家们关注的问题是，在地球历史中，地外物质撞击地表引起地面环境的灾变，从而使大量生物的灭绝。近年来研究证明：在地表的近50个地区的海相与陆相的白垩系—第三系界面的粘土层中，发现铍的含量比上下岩层中的含量高1—2个数量级。铍是标志地外物质的“指纹元素”。除铍外如钷、镍、钴等元素在界面粘土层中也呈现正异常，说明当时有地外物质的大量加入。1984年在我国西藏岗巴的三个白垩系—第三系界面的粘土层中也发现有铍等元素的异常富集，界面粘土层的碳、氧同位素组成与上下层位相比，也在界面处发生突变，表明当时地表的环境、海水的温度等都发生了剧烈的突变。西藏岗巴界面粘土中都发现有冲击熔融形成的球粒，而在相邻的上下层位中球粒绝迹。地层学和古生物学的研究早已发现，由白垩纪到第三纪之间极短的时间里，几乎全部海洋浮游生物绝迹了，大量底栖动物遭到灭绝，陆地上的大型爬行动物（如恐龙）也发生了灭绝。这种生物灭绝事件与地外物质的撞击及造成地表环境的灾变有关。全球性的白垩系—第三系界面研究，证明在6500万年前发生的全球性生物灭绝事件，很可能是一颗较大的彗星与地球相撞，彗星在地球大气层中高速冲击而爆炸，强烈的冲击波冲击地面直接杀伤部分生物，由击波掀起的岩石粉尘及冲击熔融物被溅射到平流层，向全球扩展而导致地表环境灾变，加快了生物的灭绝过程。

在地球演化的过程中，二叠纪—三叠纪之间也曾发生过大量生物种属的灭绝。我国学者对浙江、四川的二叠系—三叠系地层剖面及其界面作了精细研究，也发现有类似白垩系—第三系界面的铍异常和碳、氧同位素组成的突变。这项发现将引起各国学者的极大关注。当然，在地球历史中并不是所有的环境灾变及生物灭绝事件都是由地外物质冲击所引起，但地外物质冲击所产生的某些巨大灾变事件的产生是地球正常演化的一个组成部分。

陨石的同位素组成异常与太阳系物质来源及元素起源的研究，一直保持长盛不衰。陨石中Ne、O、Mg、Si、Ca、Sr、Ba、Nd、Sm、Te、Hg、Kr、Xe等同位素组成异常的发现，证明太阳星云在化学和同位素组成上都是不均一的，太阳星云凝聚时有太阳系外物质的加入与混合。近年来不仅在碳质球粒陨石的包体中发现上述异常，而且在普通球粒陨石的包体中，也发现有太阳星云早期的凝聚产物。陨石中锂、氮、钙、钛、锰、铬、钒、稀土元素同位素组成的研究，为检查和修正元素起源理论提供了新的证据。

通过宇宙线与地外物质相互作用所产生的各种效应的研究，探讨宇宙线的组成、能谱、通量的时空变化，是近代陨石学新兴的研究领域。当前大量的工作集中在测定地外物质中由宇宙线散裂成因的各种宇宙成因核素，研究地外物质的宇宙线照射历史。测定月球表面撞击坑的宇宙线照射年龄（即成星年龄）及陨石的宇宙线照射年龄（即陨石撞击破碎事件的年龄），为计算行星和月球表面的演化历史、陨石母体的形状、大小及通过地球大气层的烧蚀量

与飞行姿态、提供依据。我国对吉林陨石多阶段宇宙线照射历史的研究，为修正各种宇宙成因核素深度效应的理论模式提供了新的实验依据，为研究宇宙线与地外物质的相互作用提供了范例。宇宙尘的研究对认识彗星和小行星的类型、演化与成因以及黄道光起源有重要意义。海底沉积物、古老地层及侵入岩体中宇宙尘成分与通量的研究，为估计海洋的沉积速率、地层的相对年龄以及研究岩体的成因有重要参考价值。宇宙尘一般泛指行星际尘、彗星尘、流星与陨石通过地球大气层时的消融产物及星际尘埃。宇宙尘的收集通常采用空间探测器、火箭穿透取样、高空气球与飞机收集及地面收集等方法。从极地冰雪的溶化、海底沉积物的分选以及古老地层中分选收集流星与陨石的消融产物。近年来对近地空间内尘粒的大小与通量的分布已有了足够的统计资料。当前的研究表明：宇宙尘的形成年龄约46亿年；宇宙尘的矿物成分、化学成分与同位素组成亦与各类陨石相接近；宇宙尘的起源多来自彗星、小行星等相互撞击破碎及通过大气层的消融产物；有极少数宇宙尘的微量元素配分模式奇特，可能是星际尘埃。我国对已收集的宇宙尘进行了矿物与化学分类，并提出了成因分类；系统提出了宇宙尘与地球污染物（火山与其他岩石尘粒）及人工污染物（火箭燃料产物、工业电焊尘粒及工厂排出物）的鉴别标志。

哈雷彗星的探测与取样研究是当前天体化学研究中关注的焦点。哈雷彗星将于1986年2月9日回到轨道的近日点，为研究彗星的轨道、物理和化学物质提供了极好时机。各国学者将联合进行地面和近地空间的观测、探测、取样与研究；开展轨道观测与计算、气体与尘埃的光谱和射电谱测定、大尺度空间现象的研究；近核研究、气、尘的元素丰度，彗发与彗尾的形成与演化，彗星内部的化学反应过程与化学演化。对所取得的彗星尘埃样品，将进行精细的矿物、化学成分、同位素组成、形成年龄、微量元素配分、结构构造等一系列研究。彗星挥发组分和难熔组分的丰度研究，对太阳星云的分馏和凝聚过程的了解有特殊意义。彗星样品中太阳风粒子的研究，将对太阳风的成分、通量作出有意义的评价。彗星样品研究，将对彗星的结构与成因提供有力的论据。

许多传统的研究课题，如陨石的矿物成分、化学与成因分类、各类年龄（元素年龄、星云形成年龄、星云凝聚年龄、间隔年龄、太阳系年龄、宇宙线照射年龄、气体保留及落地年龄等）的测定、陨石的形成环境与演化历史等仍是继续研究的重要领域。对月球、水星、金星、火星、木星及土星的大气结构与成分、地形特征、地质构造、演化历史等进行综合比较研究，以月球和地球为基础发展起来的“比较行星学”获得了迅速的发展。

值得提出的是，对地外物质的分析测试技术，又有了新的发展。质子探针（PJXE）、离子探针、加速器质谱等技术已比较普遍地使用，成为测定粒径为几个微米的微细矿物，测定其主要微量元素、特别是稀土元素的主要手段。离子探针用于测定微尘粒中的H、C、N、O、Si、S等元素。快中子活化分析除对Si、Mg、O、Al等元素外，并能测定Sc、Hf、V、Mn、Na和Ca。加速器质谱为测定一些含量极微的同位素开拓了新的前景（如 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ 、 $^{129}\text{I}$ 等）。