



解密地球

地球内部结构

姜运仓 主编



中央民族大学出版社

解密地球

地球内部结构

姜运仓 主编

中央民族大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

解密地球 / 姜运仓主编. —北京: 中央民族大学出版社, 2006.5

ISBN 7-81108-158-X

I. 解… II. 姜… III. 地球—普及读物
IV. P183-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 030954 号

书 名 解密地球·地球内部结构
主 编 姜运仓
出 版 中央民族大学出版社
发 行 新华书店
印 刷 北京市书林印刷有限公司
开 本 850×1168(毫米) 1/32
印 张 98
字 数 1900 千字
版 次 2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-81108-158-X/P·3
定 价 360.00 元

前言

地球是人类和一切生命的摇篮，地球的一切都与我们的生活息息相关。

纵横千万里、上下亿万年的时空，加之大自然的鬼斧神工，更为我们留下了一个个难以破解的谜团和一处处令人叹为观止的奇妙景观。只有认识地球，利用地球，保护地球，才能解决人类生存和持续发展中遇到的资源、环境、灾害等问题。为此我们汇集了关于地球科学的最新知识，编写了这套《解密地球》丛书。

本书在注重知识性与科学性的同时，充分地体现了可读性，从不同角度展示了地球的风貌。地表的演变，足以引发人沧海桑田的感慨；地球的环境，定会让人感受到保护地球的紧迫；地球的史前文明让人不可思议；地球的自然景观叫人心旷神怡；地球的神秘地带，让人



闻之色变；地球之最，让人眼界大开……

捧读此书，你会不知不觉间步入一个妙趣横生的新天地，开始一次愉快的地球之旅……

编 者

2006年4月



Jie Mi Di Qiu

目 录

地球的起源与演化	(1)
宇宙大爆炸与太阳系的形成	(1)
地球的太阳系环境	(6)
地球的天然卫星——月球	(9)
地球究竟是怎样形成的	(12)
地球的形状	(15)
地球上难以愈合的“伤口”	(16)
地球内部中心究竟为何物	(19)
地球转动为何时快时慢	(22)
地球自转速度为何变慢	(24)
地球转,地核也转吗	(27)
地心吸引力会改变吗	(30)
有关地球的种种说法	(31)
沧海何以桑田	(34)
地球气温变化的奥秘	(38)
磁场变化与气候关系之谜	(43)
古冰川理论的困惑	(46)
冰期形成的种种假说	(47)
何时揭开冰期循环原因	(50)



谁推动着大陆漂移	(54)
欧洲大陆板块变化之谜	(56)
大地为何存在沉浮升降	(59)
地球的形状和大小	(61)
地球年龄与地质年表	(63)
地球岩石的剩余磁性及地磁极性年表	(68)
地球岩石的物理性质	(71)
地球的物质组成:元素、矿物及岩石	(76)
地球化学元素丰度及地球化学分类	(79)
地球的内部圈层结构	(83)
地球的外部圈层结构	(87)
地球系统与固体地球系统	(91)
固体地球系统的流体通道网络	(95)
地球演化的能源与温度场	(99)
Pb(铅)Sr(锶)Nd(钕)同位素与地球演化	(103)
大陆壳与大洋壳	(107)
地壳的起始增长和重熔再造	(110)
大陆上地幔	(114)
地幔的不均一性与地幔演化	(116)
地幔与地壳的物质交换	(119)
岩石圈及其基本构造单元	(122)
中国大陆岩石圈的结构特点	(125)
大陆科学钻探	(129)
地球动力系统	(132)
地球上绝无仅有的黄土高原	(134)



“未知的南方大陆”何处寻	(137)
地球多大年龄了	(142)
地球会走向死亡吗	(144)
地球内部传来的消息——地震波	(147)
波 动	(147)
从地动仪到数字地震仪	(149)
地震波	(152)
在不同距离上“看”到的地震波	(155)
地震波与地球内部结构的关系	(157)
从地表到地心	(161)
地球的主要分层	(161)
地 壳	(164)
地 幔	(166)
地 核	(169)
地球的大小和密度	(171)
地球的物质组成和物理状态	(172)
地震波层析成像	(176)
什么是地震波层析成像	(177)
地震波层析成像的若干结果	(179)
地震波层析成像的前景	(182)
不安分的地球	(184)
板块构造与洋底的形成	(185)
大陆的分裂、漂移和汇聚	(187)
板块碰撞与山脉隆起	(190)
地球活动的动力源	(195)



地 震	(198)
从地震的分类说起	(198)
地震是怎样发生的	(205)
地震学家在做什么	(210)
火 山	(214)
火山是如何喷发的	(214)
全球火山的分布与板块构造	(217)
中国的活火山	(220)
一次成功的火山喷发预测	(222)
火山资源	(224)



地球的起源与演化

宇宙大爆炸与太阳系的形成

宇宙是怎样开始又是怎样形成的？太阳系及我们居住的地球是从哪里来的？怎么会有这一切？这是地球人类不懈追求和热情探索的复杂问题，可以说自古至今奇妙的假说和模型相当多。据有关资料，自 1755 年德国学者康德（I. Kant）提出太阳起源的星云说^①以来，已经有 50 多种假说（刘本培等，2001）问世，但大都为思辨式的假说，而作为观测宇宙的科学学说则是近代物理学发展的结果。目前最有影响，并为科学家所普遍接受的学说则是宇宙大爆炸学说。

宇宙大爆炸学说是由俄国血统的美籍学者伽莫夫（C. Gamov，1948）等，以宇宙正在膨胀的观测事实为根据提出来的。该学说认为，时间、空间、物质、能量都起始于 150 亿 a 前的一次大爆炸，大爆炸之初是一个超高温、超高密度的“奇点”（宇宙起源于大爆炸奇点）在 10^{-44} s（普朗克时间）的瞬间体积急剧暴胀，在

① 康德的基本思路是：尘埃微粒云→团块→太阳、行星和卫星。



10^{-34} s 内迅速膨胀约 10^{100} 倍，宇宙的温度高达 10^{12} K^①，辐射热能量为 10^{28} eV^②，原子和分子均无法存在。大爆炸以后，物质开始膨胀，密度相应降低，碎片向四周扩散，于是形成了当今观测到的各种类型天体，如星云、星系及星体，形成了我们所在的这个宇宙。

怎么才能证明 150 亿 a 前所发生的上述一切呢？按照大爆炸理论，由大爆炸形成的星系，目前测得最老的年龄也只有 100 多亿 a，符合理论推断，这是其一。其二，探测到了宇宙大爆炸所引发的各向同性的“微波背景辐射”。G. 伽莫夫等曾预言，在大爆炸特殊宇宙背景下产生的微波辐射时至今日仍存在于宇宙空间中，其等效温度约为 5K。1964 年，美国贝尔公司的工程师彭齐亚斯（A. A. Penzias）和威尔逊（R. W. Wilson）为改进卫星通讯系统，意外地发现宇宙中有消除不掉的微波背景噪音，除与 3K 黑体辐射一致外，其空间分布各向同性、均匀。经过科学家们 10 多年的不懈努力，终于证明了在宇宙背景中有 2.7K 的黑体辐射。这一发现使宇宙大爆炸模型获得了最强有力的实验证据。为此，彭齐亚斯和威尔逊分享了 1978 年的诺贝尔物理奖。1989 年在距地面 900km 的轨道上，由美国发射的探测卫星（COBE）证明，宇宙背景辐射是 $2.726\text{K} \pm 0.010\text{K}$ 的黑体辐射，能谱畸形幅度小于 0.03%。其三，天文观测发现，多数河外星

① K 即“绝对温度”也称“开氏温标”，热力学温标的零点即绝对零度，用“OK”表示， $0\text{K} = -273.16^\circ\text{C}$ 。

② $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ 。



系的谱线红移^①，即向波长增加的方向移动，而且红移量大致同星系的距离成正比。如果将红移解释为多普勒效应，则所有星系都在离我们而去，意味着宇宙中所有的星系都彼此远离，宇宙处于膨胀之中。如果星系目前正在彼此远离，那么在宇宙创生时必定靠得很近。按照哈勃（E. P. Hubble, 1929）定律，全宇宙处于极其高密状态，物质与反物质、物质与能量均呈平衡状态，也就是说，发生“大爆炸”是可能的。其四，现测到不同天体上氦的宇宙丰度为 23.6%，而英国皇家格林尼治天文台的天文学家对原始星云进行发射光谱观测，结果为 23.5%。这一结果进一步支持了宇宙大爆炸学说。

大爆炸之后，物质开始膨胀，但不是太阳系或银河系等星系在膨胀，而是空间在膨胀，即整个宇宙的尺度在均匀变大，从而构成了今天如此广袤的宇宙空间。大爆炸的整个过程是复杂的，其演化大致可区分为基本粒子（质子、中子、电子、光子及中微子^②等）形成阶段——元素起源阶段（辐射阶段）——实物阶段。实物阶段在大爆炸后约 100 万 a 前后。由于宇宙膨胀，温度下降（约为 10^3 K），辐射减退，所以宇宙间主要是气状物质。气物质在引力作用下凝聚成气体云，气体云收缩就产生了各式各样的星云、星系和恒星。在无数恒星的演化中产生了太阳系、行星、卫星等。原始地球就是在 46 亿 a 前由许多星际颗粒积聚而成的。可知：在地球诞生之前，包括地球在内的太阳系首先诞

① 当发光星体接近观察者时，见到的星光谱线向频率高的蓝光方向移动，称蓝移；当离开观察者时，向频率低的红光方向移动，称红移。

② 中微子（neutrinos）是一种不受电、磁、核力影响的基本粒子，1998 年证实中微子具有极微小的静止质量。



生。太阳系的诞生时间一般认为在 50 亿 a 前，由于太阳系的前身为在涡流中形成的原始星云，所以一开始就不断旋转，角动量（转动物体对于转动轴的转动惯量与转动角速度的乘积）很大。当原始星云在万有引力作用下收缩，并收缩到一定大小，当边缘处惯性离心力等于原始星云中心的吸引力时，在原始星云的赤道面上便形成了星云盘。星云盘直径约为 $8 \times 10^9 \text{ km}$ （相当于地球至太阳距离的 53 倍），厚度约为 $6 \times 10^7 \text{ km}$ ，质量约为太阳质量的 $1/10$ 。随着星云盘内大小不等的固体颗粒的相互碰撞，形成了尘层——星云盘，尘层因引力不稳定而瓦解后便形成星子（大星子），星子不断破裂碰撞、集合而聚集成行星胎，星胎的中心即原始太阳。由这种模型形成的太阳行星系统即现代星云说（新星云说）。20 世纪后半叶，天文学家们相继观测到的从星云到恒星之间的一系列过渡天体，以及许多恒星周围存在的气体——尘埃星云盘的事实即为现代星云说的主要根据。

现代星云说所形成的太阳行星系统还具备以下共同运动特征：

1. 同向性，大行星和小行星的公转方向都相同，而这个方向即太阳的自转方向；
2. 共面性，大行星环绕太阳的公转轨道几乎在同一平面上；
3. 近圆性，大行星的轨道形状大多接近正圆形，轨道扁平程度即偏心率都很小（唯有水星和冥王星的轨道明显呈椭圆形），这也是现在观测到的太阳系行星的运动特征。

原始行星距太阳有近有远。距太阳近的小行星区（包括水星、金星、地球、火星区域）温度高、冰物质（主要是碳、氮、氧及其氧化物）和气物质（包括电离氢、氧气、氮和氦气）大



部分被挥发，因此形成的行星密度大，但小行星区的宽度小，所以小行星的质量和体积都小。离太阳稍远的巨行星区，冰物质和土物质（主要是铁、镁、硅、镍及其氧化物）凝聚为星子，不少气物质也凝聚到行星上，形成体积大而密度小的巨行星——土星和木星。离太阳较远的外行星区（天王星、海王星和冥王星）受太阳的引力弱，一方面气物质易逃逸，因而密度比巨行星为大，另一方面外行星区可以被吸积的物质比土星、木星区少得多，所以外行星区较巨行星区行星质量和体积较小。这种行星分布与观测到的“两头小中间大”的事实是相一致的。

现代星云说由我国著名天文学家戴文赛等（1978）提出，基本思路是：星际弥漫物质→原始星云→星云盘→尘层→粒子团→星子→行星胎和卫星胎→行星和卫星。戴文赛等主张共生星云说，反对偶然性的灾变说（分出说），但不排斥灾变在太阳系演化中的作用，并认为水星、金星、火星、月球，甚至小小的火星卫星和许多小行星上的环形山和凹坑都是星子撞击的遗迹，而太阳系里的重元素可能是来自太阳星云附近超新星爆发时的“污染物”。

现代星云说虽然较好地解释了太阳系的现有结构和运动特征，但也仍然存在许多疑团。既然地球是太阳星云引力吸引收缩而形成的，引力应同等吸引所有物质，为什么地球上的元素丰度不一致；在地球形成时星云环中的粒子不断地冲击地球，由碰撞动能转化来的热能否将地球熔化，这种熔化过程又怎样影响着地球等等，诸如此类的问题都是未解之谜，还需要随着航天科技的发展和观测空间的扩大去进一步地探索 and 解决，以彻底揭开宇宙大爆炸及太阳系形成之谜。



地球的太阳系环境

地球是宇宙中的一个特殊天体，是目前所知宇宙中唯一有人类居住、有高度文明发展的星球。地球是太阳系家族的成员之一，是太阳系内的一颗普通行星，因此，地球的宇宙环境主要是地球的太阳系环境。太阳系是由中心天体太阳及其在巨大引力作用下环绕它运行的行星、卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质所组成的天体系统。在地球上生活的人类，以地球为参考系看太阳系等天体系统的其他星球，它们都在“天上”，而在宇宙飞船和其他天体上看地球，则地球也是在“天上”，是“天上”一个生机盎然的星球。

在太阳周围分布着9大行星，行星是太阳系的主要成员。按距太阳距离由近到远排列成行星系，依次为水星—金星—地球—火星—木星—土星—天王星—海王星—冥王星。9大行星^①在绕轴自转的同时，也在各自轨道上绕太阳公转。

围绕行星运动的天体称卫星，除水星和金星外，其余7大行星都有卫星。就地球而言，除天然卫星（月球）外，还有许多人造卫星。此外还有不少空间探测器和宇宙飞船在太空中遨游。

小行星是沿椭圆轨道绕太阳运行的小天体，直径大多小于60~70km。数以万计的小行星分布在火星和木星轨道间，构成小行星带。彗星外貌呈雾状，并以扁长椭圆轨道绕太阳运行，为

^① 近年来根据观测与理论推算，太阳系的第10颗行星“冥外星”很可能是存在的。但也有一些天文学家动议，因冥王星太小了，建议将冥王星从太阳系家族中“开除”出去。冥外星就更不用说了。



质量较小的天体，目前观测到的彗星已超过 1000 多颗。行星际物质由气体微粒和固体尘埃所组成。

太阳是太阳系的中心天体，太阳的质量占太阳系质量的 99.865%，也是太阳系中唯一有热核能源辐射的发光恒星，与地球的平均距离约为 14960 万 km (1.49597870 亿 km)，即 1 个天文单位 (AU)。这是一个十分美好的距离，因为在这个距离内，地球从太阳射出光线中吸收的热量与地球辐射到宇宙中的热量恰好达到平衡，而这种平衡正好使地球表面的大部分水分呈液态形式存在，液态水对地球生命的存活是至关重要的。太阳的半径是地球半径 (6371km) 的 169 倍，体积是地球体积的 130 万倍，质量约 2×10^{27} t，相当于地球质量的 33.3 万倍，平均密度约为地球平均密度 (5.52g/cm^3) 的 $1/4$ ，但各部分密度差别很大，表面为 10^{-7}g/cm^3 ，中心高达 90g/cm^3 。太阳系的引力范围为 15 万 AU。太阳又是太阳系光和热的源泉，它的能量主要来源于太阳中心的氢—氦聚变。据学者们估算，1g 氢聚变为氦核时能产生 $6.21 \times 10^{11}\text{J}$ 的热能 (相当于 2700t 标准煤所产生的热量)。然而地球从太阳获得的能量却极少，仅相当于太阳向宇宙辐射能量的 22 亿分之一，就是这极小部分的太阳能就足以维持现代地球表面各种自然现象和生物繁衍的进行，由此可知，太阳能对地球的影响多么巨大。此外，太阳活动对地球磁层、电离层、地磁场，以及地球地震活动和地球厄尔尼诺现象等都有着深刻的影响。

目前的太阳系有 9 大行星。如以地球为准，则水星和金星为地内行星，其他 6 大行星为地外行星。如以小行星带为界，则水星、金星、地球、火星为内行星，其他 5 个行星为外行星。如以



理化性质差异划分，则相似于地球的行星称类地行星，为地球、水星、金星和火星；相似于木星的行星称类木行星，为木星、土星、天王星和海王星。类地行星卫星数量较少或没有卫星，类木行星卫星数量多。

考虑到行星特征差别与太阳系演化有关，又可将类木行星加上冥王星分为巨行星（木星、土星）和远日行星（天王星、海王星、冥王星）。巨行星卫星最多，质量和体积最大，本身有辐射热源。远日行星除距太阳较远，温度较低外，多数性质则介于类地行星和巨行星之间。

太阳系的小天体包括小行星、彗星以及流星和陨石。小行星较多，目前已编号的有近 5000 颗，多数是碳质的，少数是石质的和铁质的。多数学者认为，小行星是在太阳系诞生初期，原始弥漫物质未能凝聚成大行星的结果，而小行星带则可能是一颗大行星破碎后所形成的。彗星是绕太阳运行的一类体积庞大、质量较小的云雾状天体，已发现的彗星有 1600 多颗，但计算出其运行轨道的只有 600 颗。流星是行星际空间游荡着的无数尘粒和团块的集合体（流星体），流星来源于残存的原始星云和小行星的撞击颗粒、彗星的碎片、行星和大卫星的喷发物等。大块流星体从行星际空间穿过地球大气层后如尚未燃尽，其剩余部分落到地面即为陨石，也就是说，陨石是指星子从行星空间穿过大气层后到达地表的流星体残骸。按其化学组成可划分为三大类：石陨石（以硅酸盐矿物为主）、铁陨石（以铁镍金属为主）和石—铁陨石（铁质和石质的量约各占 1/2）。陨石是人类最早能直接接触到的地外物质，它携带有太阳系的化学成分及空间环境的丰富信息，对太阳系的起源和演化，对有机质的起源和成因，具有重要

