

普通高等教育地震类专业“九五”省部级重点教材

地震地质学基础

韩 健 方洪银 刘懋现 编著

地震出版社

普通高等教育地震类专业“九五”省部级重点教材

地震地质学基础

韩 健 方洪银 刘懋现 编著

地震出版社

1998

内 容 提 要

本书包括地质学基础与地震地质学两部分,系统扼要地介绍了地质学、地震学与地震地质学的有关基础理论、基本知识与方法。主要内容有:地震的成因,地震的时空分布与地质构造,活动断裂的鉴定与观测,地震与岩石力学性质及深部构造,地震调查与古地震研究,现代构造应力场研究及地震地质在地震预测预防中的应用等。本书内容丰富,深入浅出,并汲取了部分国内外新的科研成果,适用于高等院校地震类非地震地质专业教学,也可供地质、地震工作人员参考。

地震地质学基础

韩 健 方洪银 刘懋现 编著

责任编辑:张 平

责任校对:王花芝

地 震 出 版 社 出版发行

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 23.5印张 2插页 602千字

1998年9月第一版 1998年9月第一次印刷

印数 001—800

ISBN 7-5028-1435-3/P·892

(2049) 定价: 35.00元

前 言

《地震地质学基础》是针对高等学校地震类非地震地质专业的教学需要而编写的，为普通高等教育地震类专业“九五”省部级重点教材。在广泛征求从事地震地质研究和教学的专家、教授意见的基础上草拟了教材大纲稿，由《地震地质学基础》教材审查小组修保琨、杨景春、高名修对教材大纲进行了审查，并根据审查意见又作了多次修订。

教材完稿后，由《地震地质学基础》教材审查小组进行评审，编者根据评审意见多次进行修改和补充，使教材质量得到进一步提高。在此我们谨向《地震地质学基础》教材审查小组成员以及对教材内容与编写提出宝贵意见的国家地震局丁国瑜，国家地震局地质研究所徐煜坚、邓起东、汪一鹏、强祖基、叶洪、蒋溥、高庆华，国家地震局地球物理研究所时振梁，国家地震局地壳应力研究所刘光勋、赵国光，兰州地震研究所陈志泰、崔中元、滕瑞增，四川地震局黄圣睦，北京大学金凤英等专家、教授表示衷心的感谢。

本教材分地质学基础与地震地质学两篇。全文由韩健统一修改和校核。各章节的具体分工为：第一、二、三章由刘懋现编写；绪论及第四、六、七、八、九章由韩健编写；第五、十、十一、十二章由方洪银编写。

教材结合编者多年的地震地质工作经验和教学实践，并汲取了部分国内外新的科研成果，从专业特点出发对地壳运动与地质构造、活动断裂与地震、活动断裂的鉴定与观测、地震调查与地震地表破裂带研究、古地震研究、构造应力场研究及地震地质在地震预测预防中应用等方面内容进行了阐述。全书深入浅出，浅显易懂，亦可作为地质、地震工作人员的参考书或培训教材。

由于编者的实践经验和理论水平有限，缺点、错误在所难免，敬请使用单位和读者批评指正。

编 者

1995年11月

目 录

绪 论

上篇 地质学基础

第一章 地球	(1)
第一节 地球在宇宙中的位置	(1)
第二节 地球的起源和年龄	(4)
第三节 地球的主要物理性质	(6)
第四节 地球的圈层构造	(13)
第五节 地质作用概述	(18)
复习思考题	(20)
第二章 地壳的物质组成	(21)
第一节 地壳的化学元素	(21)
第二节 矿物	(22)
第三节 岩石及其形成过程	(31)
复习思考题	(63)
第三章 地壳历史简述	(64)
第一节 地史的研究方法	(64)
第二节 地层单位与地质年代	(69)
第三节 我国地史简述	(74)
复习思考题	(80)
第四章 地壳运动与地质构造	(81)
第一节 地壳运动	(81)
第二节 岩石变形的力学概念	(89)
第三节 地质构造	(108)
复习思考题	(133)
第五章 大地构造学说简介	(134)
第一节 有关地壳运动的假说	(134)
第二节 地槽-地台说	(136)
第三节 板块构造学说	(141)
第四节 地质力学	(152)
复习思考题	(164)

下篇 地震地质学

第六章 地震概述	(165)
----------------	-------

第一节	地震现象及有关地震的术语	(165)
第二节	地震的成因	(173)
第三节	地震的时空分布与地质构造	(190)
第四节	中国地震分布及地震活动特点	(202)
	复习思考题	(206)
第七章	活动断裂与地震	(207)
第一节	活动断裂与地震的关系	(207)
第二节	断陷盆地与地震	(222)
第三节	活动断裂的鉴定与观测	(225)
	复习思考题	(253)
第八章	地震与岩石力学性质及地震活动带的深部构造问题	(254)
第一节	地震与岩石力学性质	(254)
第二节	关于地震活动带的深部构造问题	(260)
	复习思考题	(280)
第九章	地震调查与古地震研究	(282)
第一节	地震宏观调查	(282)
第二节	地震地表破裂带研究	(293)
第三节	古地震研究	(301)
	复习思考题	(307)
第十章	现代构造应力场研究	(309)
第一节	构造应力场的一般概念	(309)
第二节	现代构造应力场的研究方法	(310)
第三节	我国现代构造应力场的主要特征	(327)
	复习思考题	(330)
第十一章	对地震活动规律的认识	(331)
第一节	板块构造与地震	(331)
第二节	地质力学与地震	(339)
	复习思考题	(344)
第十二章	地震地质研究在地震预测预防中的应用	(345)
第一节	地震烈度区划工作中的地震地质基础	(345)
第二节	地震监测台站的地震地质条件	(350)
第三节	震害的地质条件	(351)
	复习思考题	(359)
	参考文献	(360)

绪 论

一、地震地质学研究的对象、目的与任务

地质学是研究地球的科学，主要研究地球的形成和演化历程、地壳的组成物质、各种内外因引起的地质作用，及在国民经济建设中的应用等。

在地质学研究范围内，由于研究对象及方法各不相同，因此可分为相互联系，而又各有特性的许多分支学科，如研究地壳的物质成分及其形成、分布和变化规律的矿物学、岩石学；研究地壳构造变动、地表形态的演化特征及发展规律的构造地质学、大地构造学、动力地质学、地貌学等；研究地壳的形成历史、发展规律及古生物演化特征的地史学、地层学、岩相古地理学、古生物学等；研究地质学应用问题的矿床学、石油地质学、煤田地质学、水文地质学、工程地质学等。随着近代科学技术的发展，其他有关自然科学的原理方法已逐渐应用到地质学领域中，产生了许多新的边缘学科，如地球化学、地质力学、数学地质学、海洋地质学、深部地质学、同位素地质学、宇宙地质学、遥感地质学、环境地质学、地震地质学等。

地震地质学是用地质学的理论和方法研究地震现象的一门新兴学科，目的在于探索地震成因、研究地震活动规律、寻求预报地震和减轻地震灾害等的理论与实际问题。

地球上每年大约要记录到 500 万次地震。从历史和现今记录来看，地震具有三个明显的特点：其一，95% 以上的地震都发生在 70km 范围内的浅源地震，大都在莫霍面以上的地壳内；其二，破坏性地震集中分布在现代地壳强烈活动的构造带内，在地理位置上呈带状展布。这些活动性构造带，有的暴露在地表，有的隐伏在地下，有的是新生的，但多数是老构造带重新活动，并且地震常常发生在这些活动性构造带的某些特殊构造部位；其三，绝大多数地震是只能为仪器记录到的微震和小震，真正造成破坏的地震是极少数。

由此可见，地震现象与地质构造之间存在着密切的联系。因此，地震是一种地质现象，是现代地壳运动的一种表现形式。

从全球范围看，地震活动带与活动构造带的展布大致吻合，这一事实一方面说明地震的发生与活动构造带，特别是活动断裂带关系极为密切；同时也说明现代地壳运动是晚第三纪以来构造运动的继续和发展。因此，研究现代地壳运动必须从研究活动构造入手，反过来，研究活动构造是了解现代地壳运动的基础。

从我国地震地质工作发展来看，地震地质学研究的对象和任务概括起来有以下几方面：

地震地质学是研究地震发生的地质条件的科学。它的主要任务是研究地震发生的构造条件、介质性质、地壳构造应力分布状况和变化规律；查明地质构造带的分布特征以及每个地震区、带中的地震地质标志；研究活动断层及活动性构造的活动成因、活动方式、活动幅度、活动的动力过程和应力条件；从地壳构造运动、构造应力场、地震活动性、模拟实验等方面研究入手，探索地震的成因、机制及产生地震的动力来源。

在上述研究的基础上，结合地壳形变测量、地球物理勘探、历史地震和古地震等多方面

的方法和资料，科学地划分地震区、带，并对危险区、带进行地震烈度区划及震害预测，为经济建设提供必不可少的地震中、长期预报依据。

二、地震地质学的研究方法

地震地质学是用地质学的理论和方法来研究地震现象。地质学的研究方法也是从地质构造的角度来研究地震发生的地质条件的最基本的研究方法。地质学的研究方法是由地质学研究对象的基本特点所决定的，地质学研究对象有三个基本特点：

其一是时间的悠久性。地球和地壳从其起源至今，已有数十亿年的发展历史，绝大多数地质变化需要经历一段十分漫长的发展过程。如喜马拉雅山脉从海底隆起至今约有 2500 万年；大西洋的形成至今约 2 亿年。有些地质变化，如地震、火山爆发等看起来其表现时间很短，但它们在发生之前都先经历了一个相当漫长的能量聚集过程。因此，人们难以对正在进行的地质变化的全过程作完整的观察，对于地质历史中的地质变化更不可能直接了解。

其二是空间的广阔性。在地球漫长的历史发展中，经历了无数的地质事件，都不可避免地反映到地壳的物质中来。这些组成地壳的物质从原子到离子的空间排列，到矿物、岩石、岩块、地块、板块乃至整个岩石圈都在不同层次上留下丰富多彩的各种地质事件的记录。由于地壳物质的形成和形变都不是均匀发展的，不同地区地质物质组成与演化经历不同，地质特点就会因地制宜，甚至有很大区别，所以具有显著的区域性特点。另外，地球（包括水圈、气圈）又是一个整体，在认识局部地质变化时，必须与大区域和全球联系分析和研究，探索这些地质变化的条件及与区域和全球地质变化的联系。

其三是地质现象的复杂性。地质现象性质上包括物理的、化学的、生物的；规模上大至全球，甚至是太阳系的宏观现象，小到原子和离子的微观世界，与生物、气象、天文、地理等学科关系密切，涉及知识领域极其广阔。

地质学研究对象广阔的空间、悠久的历史和地质作用的多样性等特点，决定了地质学研究方法的特殊性。地质学的研究方法主要有以下几种：

(1) 野外观察。野外观察是地质学研究的基本手段和前提。我们应观察地质事实、收集第一手资料、发现问题、寻找答案、总结规律。其实大自然就是最好的地质博物馆，在某种意义上也是实验室。野外地质是地质工作的基础工作，因而要求观察有一定的深度与广度，要系统和全面。观察可以是综合性的，做到点、线、面相结合，多学科相结合；观察也可以是专题性的，为了解决某种特定问题，有重点地进行某种专门观察。地质学涉及的范围很广，包括高山、海洋、平原、天空，应到一切可能的地方去观察。不仅用简单的罗盘、铁锤、放大镜，而且用现代化的仪器、设备配合进行。现代地质学更侧重上天（行星比较学）、入地（深部地质）和下海（海洋或海底地质），没有现代化科学技术是不可能的。

(2) 室内实验。室内工作是地质工作的又一基础，为了研究矿物、岩石等的化学成分、物理性质及内部结构，以及各种化学、物理和力学性能、年龄等的测试，必须采取各种手段进行实验和分析工作，并提高分辨能力、穿透能力、模拟能力。现代电子显微镜能放大 80 万倍，分辨力达 $1.44 \times 10^{-10} \text{m}$ ，对于矿物中原子、离子的排列能够直接进行观察。由于许多地质作用过程时间长、规模大、条件复杂，事实上不能在实验室条件下“重演”，因而只能采用“模拟实验”的方法。这种实验是利用数学原理选用适当的技术试验材料，尽可能仿照实际地质

资料，按比例设计出符合拟定模式要求的近似模型，模拟地质现象与某些作用过程，获得定性和相对定量数据，为研究地质作用过程提供一定的参考依据。高温高压及超高压技术同地球化学与地球物理学的理论知识相配合，已应用于模拟地幔的物质性状及组成，目前已能提供 3.5×10^6 MPa 以上的压力与 3727K 的温度。放射性同位素年龄测定方法可以有效地测定地质作用发生的时间。

(3) 历史比较法。这一方法的基本思想是建立在不同时期的地质作用有其共性，故可以今论古，“现在是认识过去的钥匙”，即通过研究现在正在发生的地质作用帮助推断过去、类比过去、认识过去。例如在现代海洋的浅海区，波浪作用力小，阳光充足，繁生底栖的螺蚌、珊瑚等海洋生物，大量的生物遗体不断被沉积的陆源细碎屑及化学物质所掩埋成为化石，在现代的高山区出露的地层里往往可发现类似的生物化石。人们因而可判定该高山的前身曾经是一片浅海区，并可进一步得出结论，高山、海洋的存在并不是永恒的，它们可以互相转化，都是地壳历史发展的产物。

以今论古的方法是进行地质研究有效的武器。地质学的现有成果很大程度上是建立在这一方法基础之上。但是已经证明地质演化并不是简单地重复着过去。因而不能机械地将现代正在进行的地质作用不加分析地和过去的地质作用等同起来。例如，现今的海百合只生长在深海，而数亿年前却生活在浅海。生物的进化本身就是从低级向高级发展，不适应环境的消亡了，新的种属又诞生了。因而历史的发展不是简单的重复和循环，过去不会和今天完全一样，今天也不是过去的重演。所以，只有用历史的、辩证的、综合的思想作指导，而不是简单地、机械地以今论古，才能得出正确的结论。

上述只是地质学研究方法的一般原则，对于地质学各分支学科而言还各有自己的规律和相应的特殊方法。

地震地质学的研究方法从根本上来说，离不开地质学的基本方法，但由于其特定的研究对象和要求及随现代技术的发展，尽可能采用了许多特殊的研究方法、手段和技术。地震地质学着重研究现代地壳运动，因而广泛采用了遥感信息技术，包括野外地震地质调查中使用的经过各种技术处理的卫星照片和不同种类的航空照片，大范围系统的专题制图和大比例尺地震地质填图，活动断层运动特征的实测图件的测制越来越成为重要手段。在研究古地震及确定有地震活动性的活动断层时广泛采用了开挖探槽的方法。为观测与研究现代地壳变动，除采用常规的水准复测和三角测量外，还广泛采用了跨断层的流动观测与固定点连续观测。近年来，还使用人造卫星激光测距、超长基线测量 (VLBI) 和全球定位系统 (GPS)，更精确地了解地壳各大块体及大断裂的运动状况。在研究地壳及地球内部结构时，除主要采用地球物理和地球化学等间接探测手段外，还打超深钻直接取得地下深部信息，利用浅层地球物理勘探如浅层地震、地震雷达等了解隐伏活动断层的特征。室内实验技术也是地震研究中不可缺少的手段，如开展高温高压实验，研究震源处岩石的破裂过程及产生的各种物理现象。利用 ^{14}C 法、K-Ar 法、热释光法等测定技术，确定活动断裂的活动时间、滑动速率以及古地震的年代。采用数理模拟研究地震发展、迁移及应力场特征等。另外，对构造岩进行显微构造研究，为了解断层的活动性提供多方面的信息等。

三、地震地质学与其他学科的关系

地震本质上是一种地质现象，它的孕育与发生，受地质构造条件、介质性质、应力状态和变化等多种因素制约，并反映在地壳形变场、地球物理场和地球化学场等的变化上，通过对地壳形变、大地电流、电位场、地磁、重力场、海水面升降、地下水动态及其物理性质和化学成分等方面变化的观测，都可直接或间接地反映地壳运动及其力学过程。为了完成地震地质学的研究内容与任务，就必须和其他学科密切协作，互相渗透，从不同的侧面和角度共同探索地震现象的规律问题。这就要求地震地质学在研究方法上不限于一般的工作方法，应有针对性地与深部地球物理探测工作、其他各种动态观测及模拟实验工作密切结合，来充实本学科的研究内容和方法。如使用人工地震测深、大地电磁测深、天然地震转换波、航磁资料解译居里面、重力资料计算地壳深部界面、地震机制分析、深源岩石矿物学、深源地下水地球化学、地热测量等方法对表层和深部资料进行综合的地震地质解释；采用人造卫星信息解释、统计地貌和微地貌研究、考古地震和古地震、大地测量及多种定点监测手段，对现代地壳运动进行研究和定量观测；根据实际材料抽象出典型化的结构、介质和力学参数来进行物理、数学模拟，反演地震发展迁移及应力状态，或正演前兆的发展理论模式；开展高温高压实验，对震源处变形破裂过程和地表各种物理现象，地震前兆的本质进行探索。只有这样才能做到由浅入深、由静到动、深浅结合、动静结合的研究途径。因此，在地震地质研究工作中需要许多地质学的其他分支学科（如构造地质学、地貌学、第四纪地质学、新构造地质学、动力地质学、水文地质学、工程地质学、遥感地质学、区域地质学、地球化学、土质学、土力学、地热学、大地构造学、地球动力学等等）的密切配合，并应广泛利用和吸收其他学科（如地震学、地球物理学、测量学、历史考古学、断裂力学、天文学、数学等等）的基本原理、技术方法和研究成果，来开拓自己的研究新领域，扩展自己的视野。一方面，它应当向微观进军，研究地震活动和岩石、矿物、晶体及地球化学变化之间的联系；另一方面，它应当向宏观进军，研究地震活动与地球作为行星运动之间的联系，从而促进其发展。地震地质学的研究成果，又为其他学科的发展提供实践上和理论上的依据。

上篇 地质学基础

第一章 地 球

第一节 地球在宇宙中的位置

一、宇宙和天体

宇宙在空间上和时间内是无限的。宇宙中存在着各种各样的物质，这些物质有的集中形成日月星辰，通称天体。根据它们各自的特征可归纳为恒星、行星、卫星、流星、彗星和星云六大类。在天体间的广大空间里，充满着极其稀薄的弥漫物质，称为星际物质。

恒星是宇宙中最主要的天体。恒星一般是由炽热的气体组成的自己能发光的天体。恒星的质量很大，具有强大的吸引力，因而能够在相互的吸引过程中使质量较小的天体围绕它运动。恒星是宇宙普遍存在的天体，夜空里凭肉眼可看到的点点繁星，99%以上都是恒星。太阳就是离地球最近的恒星。恒星与地球的相对位置似乎是固定不变的，因而被误认为是“恒”星。但实际上，恒星的运动速度很快，只是由于它们距离地球很远，不易被人们觉察。

行星是沿着椭圆形轨道环绕恒星运转的天体。其质量远较恒星小，行星自己不能发光，它只能反射恒星的光辉。地球就是环绕太阳运转的行星之一。

卫星是环绕行星运转的天体。它的质量比行星更小，本身也不发光。如月球就是地球的卫星。

流星的质量更小，也不发光。流星在星际空间运行，当其接近地球，受到地球引力的作用，可以改变其轨道，甚至陨落。流星一旦进入地球大气层后，因与大气摩擦，迅速增温至白热化而发生燃烧。绝大部分流星在到达地面以前，就已完全烧毁，少数落到地球表面者，称为陨石。

彗星是一种质量很小并具有特殊外表和轨道的天体。它由彗核，彗发和彗尾三部分组成。彗星实际上仅限于彗核，它是由比较密集的固体质点组成的。当彗星接近太阳时，受太阳光、热影响，从彗核“蒸发”出气体物质，围绕彗核，形成云雾状光辉，就是彗发。构成彗发的气体，在太阳光压力和太阳风作用下，被推向和太阳相背的方向，形成一条或几条漫长的光带，这就是彗尾。彗尾一般长达几千公里，甚至几亿公里。彗尾逐渐接近太阳时，不断增长；彗星慢慢远离太阳时，彗尾逐渐缩短，最后消失。

星云是由气体和尘埃物质组成的有云雾状外表的天体。离地球非常遥远的河外星云，是一些恒星系统，而作为银河系组成部分的银河星云，则是极端稀薄和高度电离的氢和氮的混

合物。和恒星相比，星云有特别大的质量和体积，特别低的密度和温度。一个普通星云的质量至少相当于上千个太阳的质量，半径大约为 10 光年；平均密度通常不超过每立方厘米几百个质子和电子，温度是摄氏零下 200 多度。

宇宙中的一切天体都在不断地运动：月球一面自转，一面绕地球公转，构成了地月系；地月系又绕着太阳公转，太阳和绕着它公转的全部天体构成了太阳系；太阳系又围绕着银河系的质量中心在公转……。所以恩格斯说：“运动是物质存在的方式。无论何时何地，都没有也不可能没有运动的物质。”

宇宙物质的运动是在空间和时间中进行的，宇宙在空间上是无边无际的。从宇宙中分布的无数天体之间的距离来看，就可以说明宇宙是多么巨大。月球是地球唯一的天然卫星，也是距地球最近的一个天体，它们之间的平均距离为 384400km；地球和太阳之间的平均距离为 14960 万 km，天文学上把日地距离称为一个天文单位。用这个单位来计算宇宙中恒星之间的距离仍嫌太小，所以天文学上就采用“光年”（光在一年中传播的距离约为 94600 亿 km）作为量度天体之间距离的单位。如距我们太阳系比较近的牛郎、织女两颗恒星，前者距离地球为 15.7 光年，后者距离地球为 27 光年。现有的仪器已经能够观察到远离地球 100 亿光年的空间，而没有观察到的部分仍然是无限广大的。在可以观察到的这部分宇宙中，约有 10^{22} 个恒星。几十亿个到上千亿个恒星以及它们的行星和卫星的集合体称为一个星系。到目前为止，已经发现了 10 亿多个这样的星系，银河系则是这些星系中的一个。

宇宙在时间上也是无穷无尽的。这种无限性是同物质不灭的规律相联系的。因为物质是不可能被创造的，所以宇宙就无所谓起点；同样物质也是不可被消灭的，因而宇宙也就无所谓终结。宇宙的物质只能是从一种运动形式转变为另一种运动形式。对于某一天体来说，有产生、发展和消亡的过程，这是有限的；但对于整个宇宙来说，不存在什么“起源”和“终结”，所以宇宙在时间上是无始无终的。

二、银河系及河外星系

银河系是一个具有旋涡状结构的圆盘形星系。银河系大体可分为银盘和银晕两个部分，银盘为其主要部分。侧视它的主要部分呈扁平状，像一个铁饼，边缘薄而中央厚（图 1-1）。它的

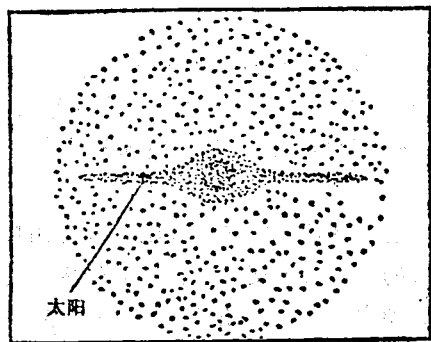


图 1-1 银河系结构示意图（侧视）

直径约为 10 万光年，厚度最大处约为 16000 光年。在银河系中约有 1600 亿颗恒星，它们主要散布在“铁饼”平面上，越近中心越密集。太阳位于距银河系中心约 3 万光年处，它绕银河系中心旋转的速度是每秒 200 多 km，旋转一周约需 2.2 亿年。由于太阳系靠近银河系平面，因此，从地球上沿着银河系平面向外看，恒星最为集中，肉眼不能把它们一个一个地分辨出来，只能看到一条连续的银白色的光带，这就是通常所说的银河。银晕是一个范围更大，接近球形的区域，其直径大约为 16 万光年。银晕中不仅恒星稀疏，星际物质也比银盘少得多。

在银河系之外，还有许许多多由恒星组成的，与银河系同样庞大的恒星系统，叫做河外星系。目前凭借最强有力的射电望远镜已观测到距离地球 100 亿光年的河外星系，其数量已达 10 多亿个。它们有的呈不规则形状，有的呈旋涡状，有的呈椭圆状。星系形态上的差别，

表明它们处于不同的发展阶段。现在认为，呈不规则形状的是较年青的星系，呈旋涡状的是中年星系，呈椭圆状的是老年星系。同恒星一样，星系也聚成大小不等的集团。如100~1000个左右在一起组成的星系团，目前已知的约有2700个，许多星系团又组成更大的星系集团。现在观测到的所有星系，可能是属于一个称为总星系的巨大星系集团。至于在目前所能观测到的范围之外还存在什么东西，有待今后进一步发现。

三、太阳系

太阳系是以太阳为中心，并围绕它旋转的一个行星系统（图1-2）。它包括太阳、九大行星（水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星）、已编表的1800多个小行星和34个卫星、已观测过的约1000个彗星和数百个已知的流星群以及散布其间的星际物质。此外，还有一些人造天体等。

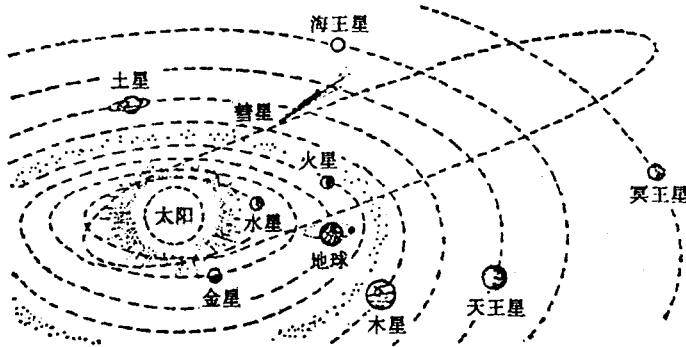


图1-2 太阳系

太阳位于太阳系的中心，它是一个炽热的发光球，其内部不断进行着巨大的热核反应，并向宇宙空间放射出光和热，以及太阳紫外线、X射线和各种粒子流。太阳表面绝对温度高达6000K，越向内部温度越高，中心可达2000万K。在已知的宇宙中，太阳是一个中等大小的恒星，其直径为140万km，相当于地球直径的109倍；表面积约为 $6.07 \times 10^{12} \text{km}^2$ ，相当于地球表面积的12000倍；体积为 $1409 \times 10^{18} \text{km}^3$ ，相当于地球体积的130万倍；质量为 $1.989 \times 10^{27} \text{t}$ ，相当于地球质量的33.3万倍，并且占整个太阳系质量的99.86%。它的外层可见部分的密度约为水密度的1/100万，中心部分的密度比水的密度大85倍，而平均密度则为 1.4g/cm^3 ，相当于地球密度的1/4。质量如此巨大的太阳，以其巨大的引力维持着一个天体系统围绕着它运动，这个天体系统就是太阳系。

太阳是对地球影响最大的天体，它对地球的自然地理环境，对人类社会的生产实践和科学实验，都有重要的影响。

到达地球表面的太阳光和热，是地球表面热量的主要来源。它引起了地表各种地质作用过程的发生、发展，不断改变着地球的自然地理环境，保证了地球上一切生命的正常生长和繁衍。

来自太阳的紫外线、X射线和各种粒子流对许多地球物理现象产生影响。当太阳上发生耀斑时，来自太阳的紫外线和X射线会突然增强，产生电离层干扰。耀斑出现时，还会抛出大量带电粒子流引起电离层扰动和磁暴。电离层扰动和磁暴会中断地面短波无线电通讯，使磁

针抖动、失效，进而给短波通讯、电视传真、航空、航海带来巨大的影响。产生磁暴的带电粒子流在地球磁场的作用下，以极高的速度冲进高纬度上空，和稀薄空气碰撞，使大气分子和原子激发而发光，形成极光现象。

太阳活动对地震的发生也有一定的影响。有人认为太阳活动增强时，电磁辐射剧烈增加，某些地区的地壳因电阻率十分低而吸收了大量电磁波，并转化成热能，引起地壳膨胀，对邻近地区产生压力，并使岩石破裂，从而促使地震的发生。同时，磁暴也可能对地壳产生力的作用，引起地震。

作为太阳系中心的太阳，在银河系中只不过是银河系旋涡臂上的一个点，是一颗普通的恒星。而地球仅是太阳系中一个普通的行星。

第二节 地球的起源和年龄

一、地球的起源和演化

地球和太阳系的起源，一直是人们所关心的一个问题，也是有争论的问题。但科学家们都一致认为太阳系中的行星与太阳是近于同时形成的，因此，只要了解了太阳系的起源问题，地球的起源也就随之解决了。

随着生产和科学的不断进步，近两三个世纪以来，对于地球和太阳系的起源曾经出现几十种假说，主要有灾变假说、俘获假说、星云假说等。在这些假说中，比较能被人们接受的，又能比较合理地解释太阳系中某些现象的是星云假说。

1755年，德国哲学家康德（Keant）根据万有引力原理提出了“微粒假说”。他认为宇宙中散布着微粒状的弥漫物质，称为原始物质。在万有引力作用下，较大的微粒吸引较小的微粒，并逐步聚集成较大的团块。团块形成后，引力增大，促使聚集加快，结果在弥漫物质团的中心形成巨大的球体即原始太阳。在原始太阳周围的微粒继续向引力中心垂直下落时，由于原始太阳质量增大而斥力也增大，微粒受到斥力而发生偏转，一部分因受到其他微粒的排斥而改变了方向，从而绕太阳转动。最初，转动有不同的方向，后来有一个主导方向占了上风，便形成一扁平的旋转状星云。星云状物质中后来又逐渐聚集成不同大小的团块，在引力和斥力共同作用下，这些团块绕太阳旋转，便形成行星。行星周围的微粒以同样过程形成卫星（图 1-3）。

1796年，法国天文学家拉普拉斯提出一个太阳起源于星云的假说。他认为太阳是由一团体积很大、温度很高、并缓慢旋转着的气体星云形成的。星云一边冷却一边收缩，由于角动量守恒，随着星云收缩，旋转速度不断加快，当星云边缘物质的离心力和内部较密物质对它的吸引力相等时，在星云赤道边缘的气体便不再收缩，从而留下一个气体环。这样的分离过程不断地重演，形成了和行星数目相等的气体环。星云中心收缩形成太阳，气体环内又有吸引排斥作用，靠收缩而形成了行星。在形成行星时，同样发生了和前述类似的分离过程，从而形成了卫星系统。刚形成的行星和卫星是气体的，后来冷却凝固成固态。

之后，许多学者从不同侧面提出了不同观点的太阳系起源假说，如量子说，气体潮生说、陨星说、灾变说等。

60年代以来，由于观测技术的改善，发现了很多新的天文现象，于是又提出许多新的太阳系起源假说，以霍伊尔（E. Hoyle）为代表的新星云说认为，太阳系起初是一团星云（图 1-4），

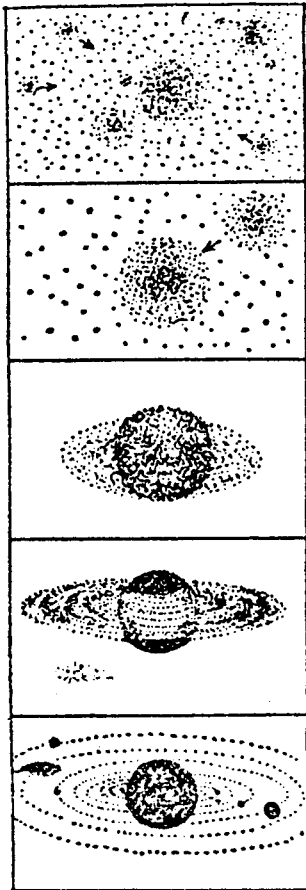


图 1-3 康德星云假说示意

温度不高，转速也不大，由于冷却收缩，旋转加快；当其半径缩小到现今太阳与水星的距离时，星云外部不再收缩，两极变扁，物质沿赤道抛出，形成一环绕原始太阳的盘状物。圆盘的质量只有原始太阳质量的百分之一；圆盘中心的原始太阳继续收缩，温度继续增高，旋转继续加快，最后与圆盘脱离，形成现今的太阳。圆盘脱离太阳后，形成一环状物，环绕太阳旋转，质量也不再增加；环状物又冷却聚集，最后形成环绕太阳运行的行星。卫星形成与行星形成方式相同。

原始地球形成之后，由于火山活动释放的物质以及巨大陨石（碳质球粒陨石）冲击时所释放的气体，形成了地球的原始大气圈和水圈。最后，在有碳、氧、氢和氮化合物存在的情况下，通过闪电或紫外线辐射，或两者兼而有之的作用，产生愈益复杂的有机分子，它们最后又结合为能够自身繁殖的有机分子。生物这种自身繁殖的分子，经过漫长时代的逐渐演化，生物形成了。

从上述几个假说我们可以看出，太阳系和地球的形成仍然是一个众说纷纭的问题，随着科学技术的不断发展，想必今后一定会有一个更为合理、更能使人们接受的新假说出现。

二、地球的年龄

地球的年龄一直是人类探索的命题，很早以前就有传说，并带有神话的色彩。例如，我国古代有所谓盘古氏开天辟地之说。在国外，亦有类似的传说。如 1654 年爱尔兰有位大主教把地球的来源归功于上帝的创造。当然，这些说法都是无稽之谈。

18 世纪之后，随着近代地质学的兴起，地球的年龄问题又引起人们的关注。例如，有人根据河口地带埋藏的文物和沉积物的厚度推算出每年的沉积速率，然后统计出全球沉积岩的总厚度，再推算出地球的年龄约为 2.5 亿年。也有人用海水的含盐量来推算地球的年龄，首

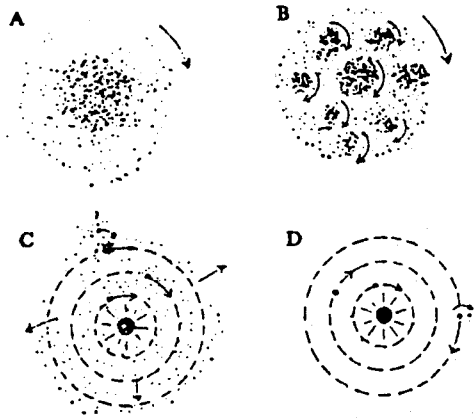


图 1-4 太阳系起源的星云假说

A. 星云是一种旋转缓慢的气体和尘埃云；B. 星云在其本身引力、拉力的作用下，开始收缩，在中央形成了大质量浓缩的太阳毛坯和几个外部涡流；C. 进一步浓缩就形成了行星和卫星，而星体中心的质量破坏并释放出足够的重力能就发生了核反应。与此同时，中心质量把角动量向外传送，并且把星体内部比较自由的气体排出；D. 形成我们今天所见到的太阳系

先假定原始海洋的海水是淡的，后来才慢慢变咸，于是从河口测量每年流入海洋的含盐量约为 16 亿 t，得出地球的年龄迄今约有 1 亿年。这些方法可靠性相当差。

1862 年，英国物理学家开尔芬从假定地球原是一团炽热液体，以后冷却、凝固的概念出发，根据热传导计算，认为地球的年龄为 4000 万年。当时即遭到地质学家的反对。直到 19 世纪末叶，地质学家和物理学家关于地球年龄的争论仍然异常激烈。

进入 20 世纪以后，天文科学迅速发展，资料不断丰富，于是，天文学家根据潮汐摩擦、宇宙膨胀、太阳能辐射等原理，运用各种方法算出地球年龄约为 40 亿~50 亿年。这个数字，实际上是间接获得的，并不是直接算出来的。

目前，根据对陨石的铀-铅、钾-氩和铷-锶等同位素年龄测量，它形成于 45 亿~47 亿年间。这些数据和最老月岩标本（46.6 亿年）以及根据大洋玄武岩铅同位素测定的地球年龄（45.3 亿年）都较协调一致地表明，地球和太阳系的其他成员形成的时间是距今约 46 亿年前。

第三节 地球的主要物理性质

地球是迄今所知，在太阳系内，唯一适合生命生存繁衍发展的星球，最重要的特点之一就是，地球在太阳系中所处的位置使从太阳光吸收的热量与地球辐射到宇宙中去的热量达到平衡，它提供了合适的地表温度，允许水以液态形式存在。液态水是地球上生命起源和演化所必需的。环绕地球的大气性质对生命的生存是非常有利的。大气的成分随时间有缓慢的变化，生物作用不同程度影响着大气成分的变化。植物利用太阳能把二氧化碳和水转变成有机化合物和氧气的合作用，为人们的生存提供了足够的氧气即一例。

太阳能除了在生物作用中起着核心作用外，还是许多重要的物理地质作用的动力。除此之外，地球内部的热量是引起内力地质作用的主要能源之一。地球在内力地质和外力地质作用的作用下，不断改变着自己的面貌。

一、地球的形状和大小

早在公元前 300 多年，人们就设想地球像个球，但直到近代人造卫星轨道的研究，才获得了对地球形状和大小的准确认识和数据，尤其是通过从宇宙飞船上拍摄到地球表面的照片更逼真地反映了地球的形态。

由于地球上每一个质点随地球自转时都会产生惯性离心力，这个力的水平分量是指向赤道的（图 1-5）。在这个力的作用下，地球的形状就不可能是一个理想的球体，而是一个赤道突出，两极扁平的扁球体。又因地球内部物质分布是不均匀的，所以地球也不是一个有严格规律的理想的扁球体。它的真实形状是以大地水准面（是大地测量学中采取以平均海水面的标准并延伸到大陆下面的一个封闭包围面）包围所成的北极略为凸出、南极略平、好似梨形的一个巨大实心椭球体（图 1-6）。

根据精确的天文测量、大地测量，尤其是据人造地球卫星轨道平面转动速度的计算，获得了有关地球形态的基本参数：

地球的赤道半径 $a = 6378.1724\text{km}$

极半径 $b = 6356.7986\text{km}$

地球的平均半径为 6371.229km

扁率为 $e = (a - b) / a = 1/298.3$