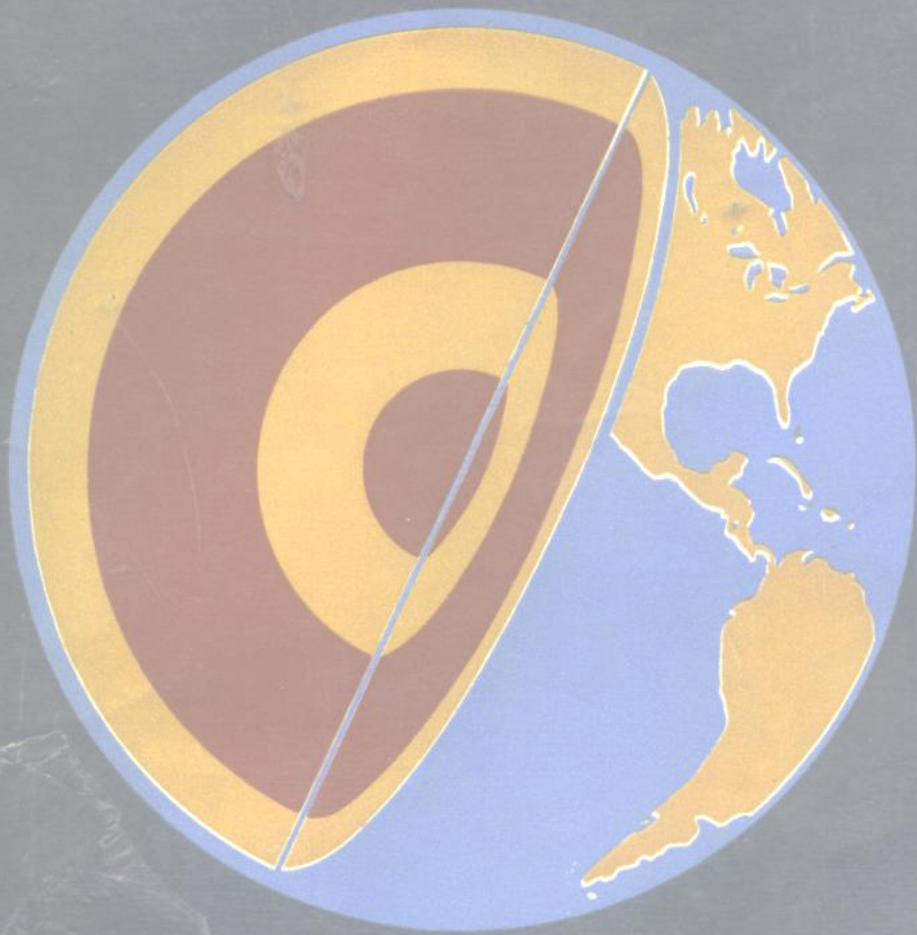


地球

〔美〕F.普雷斯 R.锡弗尔 著



科学出版社

P 183

595

地 球

[美] F. 普雷斯 R. 锡弗尔 著

高名修 沈德富 译

TW55/117



科学出版社

1986

32335

内 容 简 介

本书以现代地球科学的新观点——板块构造学说为基础，利用新的资料把传统地质学的基本概念和现代的新发现、新理论分成几个专题进行论述。

全书内容分三部分，共 22 章，每章按一个主题论述地质现象、基本概念和研究方法。第一部分论述地球的发展历史和研究地球的方法；第二部分论述地球的外部动力作用；第三部分论述地球内部动力引起的各种地质现象。这是一本资料新颖、研究问题广泛、内容丰富和图文并茂的高级科普读物。可供中学地理教师和地质院校的学生、研究生和教师阅读和参考。

Frank Press, Raymond Siever

EARTH

W. H. Freeman and Company

地 球

【美】F. 普雷斯 R. 锡弗尔 著

高名修 沈德富 译

责任编辑 陈菲亚

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986 年 12 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1986 年 12 月第一次印刷 印张：39 1/4 插页：1

印数：0001—2,200 字数：916,000

统一书号：13031·3311

本社书号：4341·13—14

定 价：9.45 元

译 者 的 话

随着人类社会文明建设的日益扩大,对粮食、能源和矿产资源的需求不断增长,而地震、火山和海啸等自然灾害不时对社会文明的突然袭击,促使世界各国政府和人民从来没有像今天这样关注地球科学的发展。

谈起人类赖以生存的地球,人们并不陌生;我们每天几乎一切活动都在地球表面上进行。然而,稍加揣摩,就会发觉悬在太空中不停旋转的地球是多么神秘而又多么生疏!人们能够把探测器发射到宇宙空间中探测其他星球,而对我们自己脚下的地球却认识得不多。例如,地球是什么物质组成的?它是如何形成的,怎样演变成今天这样的?地球的年龄有多大?它千姿百态的外貌是如何塑造成的?为什么地球上有生命,而其他星球上没有呢?地球的内部是什么样的?为什么会产生热、磁场和重力场?沧海桑田、山川巨变是怎么回事?山脉如何隆起,大洋盆地为什么张开?哪里能找到矿产或能源?什么地方会发生地震或火山?多少问题和疑难有待地球科学家去解决和探索!

人类自早期就开始为揭示地球的奥秘而辛勤劳动着,懂得了地球物质成分和物理性质的利用,积累了许多关于地球的局部、零星的知识。约在两个世纪前,形成了地球科学的主要学科——地质学,随后出现了地球物理学、地球化学。自本世纪六十年代以来,随着现代科学技术的发展,地球科学进入了一个新的发现和探索的时期,涌现了大批新资料和新观点,许多长期争论的问题得到了初步的解答,提出了全球板块构造理论,使地质学、地球物理学和地球化学遇到的一些疑难,能够用统一的地球动力学观点来解释,从而促使了地球科学各学科联合起来,共同探索单学科无法解决的普遍性、综合性的课题。

作者 F. 普雷斯和 R. 锡弗尔在本书《地球》中根据板块构造理论,用地球动力学观点,对地球科学的基本概念进行深入浅出的论述,用“厨房物理学”和“厨房化学”的类比法和现代的基本资料,通俗地解释了自然界中的各种地质现象。书中引用许多精美的照片和图表,生动而形象地描绘了现有人们对地球的认识,在写法上本书各章自成体系,阐述一个主题;而全书用地球动力学体系把各主题统一连贯起来。文字力求避免过于专业化,附图和数据大多引自新近文献,并对一些基本概念与方法用附注加以说明,所以本书对于非地质专业读者来说易于阅读和理解,也可以供地质院校的学生、研究生参考。在不到十年间,本书于 1974 年、1978 年和 1982 年先后发行了三版,内容不断修正,充实。中译本是按第二版译出的,成稿后又参考第三版作了适当调整。本书第一章至第九章和第十二章由沈德富翻译,第十章、第十一章和第十三章至第二十二章由高名修译出。我们希望本书的出版能在介绍科学的现代地球观、增进更多的读者对地球科学的兴趣和促进我国地学的发展方面,为四化建设起到点滴作用。

1984 年 3 月于北京

作 者 简 介

本书《地球》是由美国弗兰克·普雷斯(Frank Press)教授与莱蒙德·锡弗尔(Raymond Siever)教授合著的。普雷斯于1924年出生在纽约州布鲁克林城,1946年毕业于纽约市立学院物理系,1949年在哥伦比亚大学获地球物理学博士学位。他于1955年任加利福尼亚工学院教授,1965年主持马萨诸塞理工学院地质与地球物理系,后发展为地球行星科学系。普雷斯教授先后获15个名誉博士衔,成为几个教授组织的成员,担任过美国地震学会和美国地球物理联合会主席。1958年他被选入美国国家科学院,1981年被选入法国科学院当外籍成员。1977年被任命为卡特总统的科学顾问,领导科学政策办公室,1981年当选为期6年的美国国家科学院第19届院长。普雷斯教授在地球物理学、海洋学、月球与行星科学以及自然资源开发方面均有开拓性的成就,尤其在地震学和地球内部结构方面有重要贡献。他领导过不少国内和国际科学研究计划工作,参加组织国际地球物理年,国际南极与海洋开发,领导美国地震预报研究工作,以及与中国、日本、苏联的地震预报研究合作计划。他曾任美国禁止核试验谈判代表团成员,1982年被《美国新闻与世界报道》评为科学上最有影响的人物。普雷斯教授撰写过160余篇学术论文,与锡弗尔教授合著《地球》一书,此书已成为美国和其他一些国家的大学教材。

锡弗尔于1923年出生在伊利诺斯州芝加哥城,1943年毕业于芝加哥大学,1950年获地质学博士。他曾在伊利诺斯地质调查所工作,1957年起在哈佛大学任教,1965年提为教授。锡弗尔教授1968—1971年和1976—1981年曾两度出任哈佛大学地质系主任,1965—1975年任实验地质与地球物理学委员会主席。1957—1968年他在伍兹霍尔海洋研究所兼职,1981年赴日本任东京大学访问教授。锡弗尔作为一名沉积岩石学家和地球化学家,成为美国地质学会、国际沉积学家协会、美国科学促进会等团体的主要成员,1970—1971年任国家科学委员会普通教育分会主席,国家科学基金会顾问小组成员,环境保护局成员,并在技术评价办公室供职。锡弗尔致力于地球内力与外力相互作用的物理化学效应研究。为探索大气、海洋与地壳的相互作用,他进行了大量的野外、海洋和实验室研究工作。同时他还兼任国际《沉积岩石学杂志》等多种学术刊物的编委会成员。除了与普雷斯合作编写本书《地球》与《科学美国人:地球行星》外,还与佩蒂宗(F. J. Pettijohn)等人合著《砂及砂岩》一书。

译者

1984年3月

目 录

第一部分 地球的演变,我们如何研究它

第一章 地球和太阳系的历史.....	2
地球行星的特点 地质学的概貌 行星系的成因 地球:一颗还在演变的行星	
加热、翻转和分异地球的形成 地球机器在运转和我们目前对它的认识程度	
概要 练习题 参考文献	
第二章 岩石记录与地质时代表.....	26
长时间有多长? 岩石记录 岩石是地球运动的记录 生物进化和时代表	
绝对年龄和地质时代表 岩石中的时钟:放射性原子 陨石的年龄	
如何使地质钟同步:地层表与绝对年龄表 地质钟综述 概要 练习题	
参考文献	
第三章 岩石和矿物.....	59
地球的物质 晶体:面 and 对称矿物和显微镜矿物的原子结构	
X射线:矿物学的鉴定手段 矿物的物理和化学性质 岩石是矿物集合体	
概要 练习题 参考文献	

第二部分 地球的表层:地表各种作用

第四章 风化作用:岩石分解.....	94
一种岩石会保持多长时间 长石的风化作用 毫无踪迹的溶解作用 稳定性的概念	
碎裂作用 土壤:风化作用的残余物 风化作用:沉积物的来源	
化学风化是大气、海洋与地壳之间的反应 概要 练习题	
参考文献	
第五章 侵蚀作用和景观.....	121
土体运动 地表的形态:高地与低地 地形差异 普遍的模式	
气候和地形 地形:地球的外貌 景观的演变 概要 练习题	
参考文献	
第六章 自然界水的循环和地下水.....	148
水到处存在 水的运移:水文循环 地下水 水质 水从何处来	
海水成分的恒定性 概要 练习题 参考文献	
第七章 江河:水流、河道及河网.....	174
水流如何搬运颗粒 水流的侵蚀作用 河流体系 排水网 河流的末端:三角洲	
概要 练习题 参考文献	
第八章 风、尘土和沙漠.....	205
风能携带多少物质 风的侵蚀作用 沙漠:多风缺水的地区 风成沉积	
地形:砂丘 尘土降落 概要 练习题 参考文献	
第九章 冰的流动:冰川.....	227
冰川的形成 冰如何运动 冰川的形状和规模 冰川的侵蚀和沉积作用	

更新世及冰川作用的间接影响	概要	练习题	参考文献	
第十章 海洋的各种作用				253
海洋边缘	沙滩	潮汐	大陆架	大陆坡和大陆坡基
流	大洋剖面	大洋环流和陆源沉积物的搬运		概要
参考文献				练习题
第十一章 沉积作用与沉积岩				294
沉积作用是一种顺坡的过程	碎屑沉积物	碳酸盐沉积	各种生物的沉积作用	
其他化学沉积物	沉积环境	沉积物的埋藏与堆积		构造作用与沉积物成分
沉积物变为岩石: 成岩作用	概要	练习题		
参考文献				
第十二章 地球和生命				325
生命的开端	最老的化石	氧的供应	地球以外的生命	生命与环境的相互作用
对环境的危害	二氧化碳和气候	根据地质的预见利用土地		
概要	练习题	参考文献		
第三部分 地球体: 内部的各种作用				
第十三章 地球内部的热				346
地球内热的生成与传输	地球内部的热状态	概要	练习题	参考文献
第十四章 火成岩的形成				359
花岗岩	熔岩的结晶作用	岩浆分异作用	岩浆成因	概要
练习题	参考文献			
第十五章 火山活动				372
火山沉积物	喷发型式	火山实例	全球火山活动模式	火山活动与人类
概要	练习题	参考文献		
第十六章 火成活动与变质作用				404
深成岩体	变质作用	变质结构	区域变质作用	接触变质作用
变质过程的化学变化	概要	练习题	参考文献	
第十七章 地震学与地球内部				425
地震仪	地震	应用地震波探测地球内部	概要	练习题
参考文献				
第十八章 地球的磁性与重力				457
地球的磁场	应用重力探测地球	概要	练习题	参考文献
第十九章 全球板块构造: 统一的构造模式				480
板块构造: 回顾与概述	海底扩张与大陆漂移: 重新认识地球的历史		板块构造的驱动机制	
概要	练习题	参考文献		
第二十章 地壳的变形				507
岩石是怎样变形的	地壳的区域性运动	褶皱	断裂	构造变形与地形显示
大区域构造	变形力	概要	练习题	参考文献

第二十一章 行星：现代知识概述	545
有关行星的某些极其重要的统计资料	月球 水星 金星 火星
木星 土星 天王星、海王星和冥王星	陨石 概要
练习题 参考文献	
第二十二章 地球的资源 and 能源	575
矿物燃料的能源	石油与天然气 煤 油页岩和沥青砂岩 矿物
燃料的未来	取代矿物燃料的能源 核动力 矿物经济资源 矿
床地质 找矿 概要	练习题 参考文献
附表 1	617
附图 1	618

第一部分 地球的演变, 我们如何研究它

我们居住的这颗行星, 在漫长的历史中一直是在不断地变化着。要了解地球是什么, 目前是如何活动的, 我们必须把对地球上发生的各种作用的直接观测结果, 与对地球内部作用的力的间接测量结果结合起来。最全面的知识是由推断行星从开始时如何演变到目前的状态得出的。

地球是大约在 50 亿年前由围绕初期太阳旋转的尘团形成的, 尘团渐渐生长成中等规模的行星, 其过程曾受两种驱动机制所控制。第一种是地球内部的放射性生成的内热, 第二种是太阳供给地表的外热。内热使岩石熔融, 造成火山, 向上推挤成山脉。外热驱动着大气和海洋, 引起山脉剥蚀, 岩石变成沉积物。研究驱动地球的外力和内力的新方法, 已得出了大量的新资料, 并出现了许多使人激动的新问题。近 10 年来, 地质学家们逐渐地提出了一个新的统一的理论, 它把地球的各种动力作用与构成行星外壳的巨大板块运动联系起来。所谓板块构造理论, 是指地质学家们经常用来解释地球是如何活动的最为综合性的模型。

本书的第一部分中, 我们探讨了研究地球的方法, 了解地球起源的成果。前几章是本书的缩影, 我们可以从中预习许多将在后面各章中详细探讨的课题, 特别是地球的时间和物质组成的本质。

第一章 地球和太阳系的历史

本章介绍我们的地球，它起源于尘云和气体，太阳系也是在不到50亿年前由它们形成的；地球约在47亿年前诞生；我们目前所知的地球，具有适于人类的大气和丰富的资源；这颗行星的内部仍在活动，这点已由地震、火山、张开和闭合的大洋及漂移开来的大陆所证实。

地球行星的特点

哲学家兼历史学家韦尔·杜兰特（Will Durant）说过：“地质学的舆论支持文明的存在，若不注意，就会改变它。”这使我们想起一些使地球适于熟知的生物生存的惊人环境。地球毕竟是一个非常特殊的场所——不仅仅是因为有我们人类居住着。在太阳系的这个唯一场所上，有100多万种生命形态发展着。人类是一个具有理性能力的物种，是在相当晚期才出现的。在地质学研究中，我们不仅探索目前存在的地球，而且还寻求如下问题的答案：如地球是如何形成的，它初期生长时的形状如何，它怎样演变成目前的行星；或许最为振奋人心的是，什么东西使它能够提供生命活动。

没有一个人能够确切知道，什么时候地球的原始大气成分和状态正好是适合生命的开始和进化的。然而，我们知道，显然在最早的生命形态进化之前，如果原始大气的氧含量像我们现在所享受的这么多，那就不会形成大的有机分子。化学家告诉我们，氧会把它们破坏掉。地球的大气圈和磁场如同现在一样，起着阻挡对生物有害的宇宙辐射的屏蔽作用。未受气体燃烧减速的流星，会轰击地球，结果形成坑痕累累的、并非剥蚀变软的荒芜地表。今天存在的大气圈不仅可以滤去最大部分的破坏性紫外辐射，而且它同大洋一起可以储存并重新分配太阳能，从而调节了气候。如果没有大气圈和大洋，就会出现更剧烈的昼夜温差、夏冬季温差以及赤道与极地的温差。

这种有利于生命存在的偶然条件的清单是很长的¹⁾。就我们所知，生命只能存在于很窄的温度范围——基本上是在水的冰点和沸点的限度内。这个限度大概是绝对零度与太阳表面温度间的温度范围的百分之一或二。说来也算是幸运，地球正好形成于太阳系内的适中位置，即离太阳不太远，也不太靠近它。而且地球的大小也恰好适当，它不至于小得失去大气，因为重力太小会使气体逸散到宇宙空间中去；另外，它也不太大，太大就会保持相当厚的大气圈，包括有害的气体。

我们将可看到，地球内部是一部由放射性作燃料、巨大而灵巧平衡的热发动机。这种放射性同地表的演变进程有关。假如热发动机运转较慢，地质活动就会以较小速度发生。大陆也就不会演变成现在的形状，火山就不会喷出成为大洋和大气的水和气体，铁就不会熔融并沉降成液态的地核，而且磁场也决不会发生。于是地球就会像月球那样演变成满

1) 可以使生物在宇宙任何地方繁殖的条件，与那些已经使生物在地球上进化的条件没有多大不同。这种观测结果使天文学家假设，其它行星若离它们的恒星同我们的地球距离太阳一样远，那么也就会有生命存在。

布冲击坑的行星。可以想像出另一种情况：如果从前的放射性燃料较多，而且发动机运转较快，那么火山气体和灰尘就会遮蔽太阳；大气就会受压缩变得密集；地表就会因每天的地震和火山爆发而发生变形。大概地球在其历史的早期曾经有过这种快速的旋转期。

难怪“阿波罗”号宇航员们从月球上观看地球行星是如此深刻动人，因为地球具有引人注目的蓝色大气圈和白色云层，这与月球上所看到的荒芜月面正好形成对照。

地质学的概貌

虽然地质学列为现代学科还只有 200 年，但人类从史前时期开始就渴望了解地球及其起源。在早期文化的传说和民间故事中，总会发现有许多天地万物的故事。在这种情况下，可能古代人或许产生某种安全感，或许是通过向年轻人讲述天地万物的神话来满足他们自己的神秘感，似乎他们不考虑未知的宇宙是原始混乱的状态。但是一个共同的论题是：关于宇宙与至今一直有过的概念相反，它是形成起来的。

自然界的威胁 人类为了避免难以预测的变化，保护生存到今天，就需要了解自然界，并能解释自然界，这就有赖于地质学研究的重大推进。现代的人正在探索防护措施，避免自然界的威胁（呈现为地震、滑坡、火山喷发、洪水、旱灾和破坏性海啸）。大概更大的危险性还是人为的，因为一种特殊的核试验产生的威力，可以诱发地震，污染大气和海洋，而且使气候变为冰期的顶点，或使极地冰盖溶化，从而淹没海岸城市。如果人们能够做到这些，也就能够预测或控制大部分自然灾害。

经济地质学 若不是地壳中矿产的利用和改造，人类的文化水平就不会进展到超过石器时代。地质学家的任务就是发现地球矿产资源。如果我们积少成多地扩大所享受的财富，而且只保持现在的生活标准，就必须寻找新的矿床。探矿者很久以前就寻找显见的铁矿、铜矿、锡矿、铀矿、石油和其他重要矿床。现在仍向地质学家提出重新探明世界，利用新的工具和技术去探寻未发现的矿床。地质学家的新的紧迫事情是保护自然或保护环境。我们如何能够在没有废料和没有破坏景观的情况下最有效地开发自然资源呢？对这些问题我们必须找出答案。

广博的地质学 对于那些从事地质学、有兴趣于这门科学并且为这门科学工作的人，

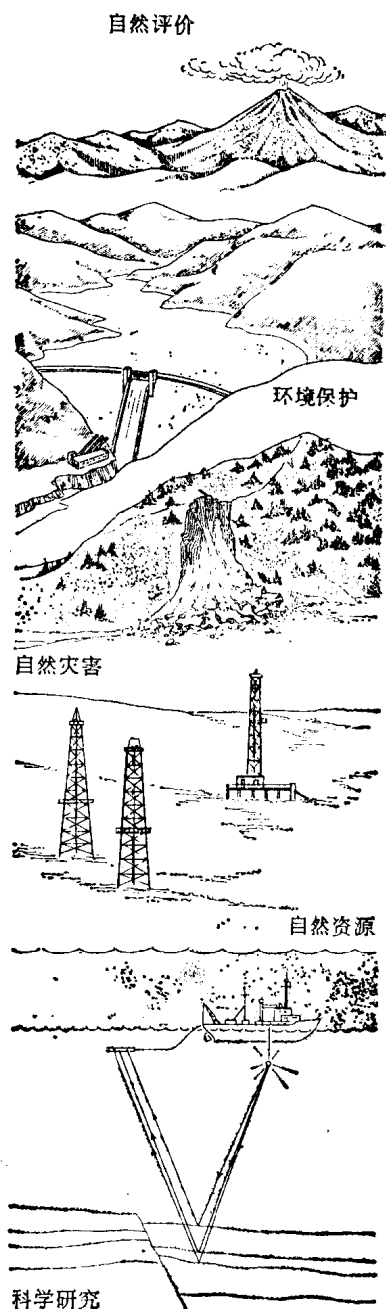


图 1-1 地质学的各个方面：自然评价、环境保护、减轻灾害、自然资源、科学研究

地质学还具有它的“纯粹”概念。如地球作为一颗行星是如何诞生的——其演变的原因，以及它目前是如何活动的，这些问题还只是得到部分回答。地质学家们正积极地寻找答案。因为他们同所有科学家一样，具有不受拘束的好奇心，而且当重要的自然现象仍未得到解释时，甚至具有不安的心情。地质学家们会努力研究岩石露头，绘制地质图，探明海底，并仔细检查月球岩石，但长期以来对造山作用、大陆漂移、海底扩张、地震及其他全球性特征仍然未能完全解释。

诗人的地质学 大部分学习地质课程的学生，并没有意图成为专业的地质学家。他们选择地质学有许多理由。大概他们希望通过观察自然的多种形式来提高他们对自然界的评价。现代的环境危机可能激发他们去学会一门基本的环境科学。麦勒(Norman Mailer)在他描写“阿波罗号”宇航员的月球飞行时大概就表达了他们的动机：“是的，在新发现的神秘会促使我们再次作为诗人去看待世界之前，我们已经可能走上空间了。”

行星系的成因

让我们首先从最困难的一个问题开始，即行星系是如何起源的？这个问题在过去 200 年间引起了许多大哲学家和科学家的重视。迄今极少有地质的或天文的会议不从最新的实验数据和涉及这个问题的最新理论进展爆发出一场新的争论。

观测结果解释 如果每个人都希望把他所喜爱的假说列成一览表，那么这种程序是相当简单的。根据逻辑推理，提出了**行星系形成的机理**——一种可以解释行星质量和体积分布、它们的轨道特殊性、行星和太阳内的元素相对丰度的自相一致的机理¹⁾。有用的线索还可以根据其它星体的研究结果找出。

自 47 亿年前，当行星开始形成时，不管发生过什么事情，太阳系内出现了一些惊人的规律性和难以理解的群集：

1. 所有行星都以同一方向绕着太阳旋转，其**轨道呈椭圆形**，但几乎为圆形，处在同一平面上(图 1-2)；它们的大多数卫星也以同一方向旋转着。

2. 除金星和天王星外，其余行星在绕太阳旋转时都以同一方向发生自转，即若从地球北极向南极看，都是以反时针方向自转的。

3. 每颗行星与太阳的距离，大致为下一颗与太阳的距离的一半〔即按一种称为提丢斯-波得定则(Titius-Bode rule)排列〕。

4. 虽然太阳本身占太阳系质量的 99.9%，但 99% 的**角动量**集中在大行星内(见图 1-3 角动量的说明)。

5. 行星形成两族：所谓**地球族行星**，如水星、金星、地球和火星，形成一组密度大的内族小天体(其容重为水的 4 至 5.5 倍)；另一组为**大行星**，如木星、土星、天王星和海王星，是外族的大天体，其密度较低，为水的 0.7 和 1.7 之间。在某些方面，例如大行星的气体含量高、密度低，它们更像太阳，而不同于地球族行星。

根据对地球岩石、月岩和由星际空间落在地球上的陨石的化学分析结果，我们推测地

1) 我们将在第二章中说明某些放射性元素，如铀、钾和钍，可作为时钟，使我们有可能确定太阳系中主要事件的年龄，例如太阳开始于 47 亿年前。

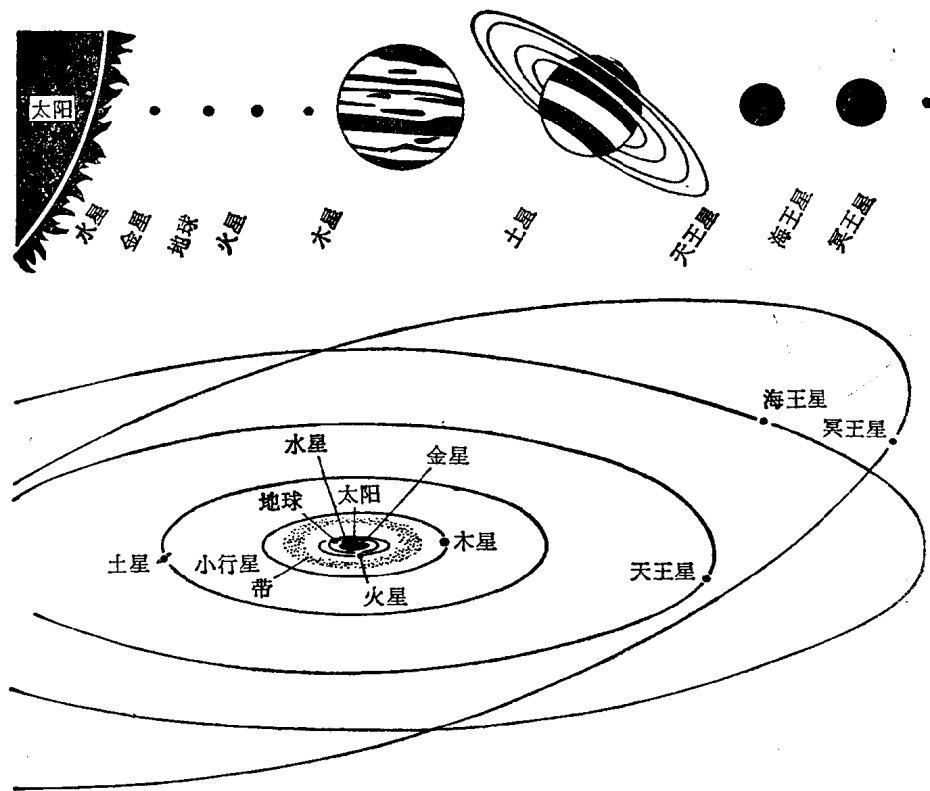


图 1-2 太阳系及其行星的图示

球族行星大部分 ($\pm 90\%$) 是由铁、氧、硅和镁四种元素组成的。对太阳的光谱研究¹⁾表明,它几乎全由 (99%) 氢和氦组成。据推测,高丰度的氧和氮也是大行星的特征。

星云说 几个世纪以来有过不少的宇宙生成理论。然而,解决这个问题的现代方法开始于 1755 年,当时德国哲学家伊马努尔·康德 (Immanuel Kant) 假设一种原始的、缓慢旋转的气体云,现在称为星云,它受某种未确定的燃烧,凝聚成许多分散的球状体²⁾。康德按这种**星云说**精辟地解释了旋转和自转方向的恒定性,因为母体星云的自转保持在太阳的自转中,所以行星绕太阳旋转和行星绕自己的轴自转都是同一方向的 (图 1-4)。

法国大数学家拉普拉斯 (Laplace) 实际上于 1796 年提出了相同的理论。令人惊奇的是他不用数学公式就能够作出这种假定。科学史家们将会解决拉普拉斯是否知道康德的工作的问题,以及他为什么不选择对自己的星云说进行数学检验。由于他这样做了,所以他的发现有一些严重缺点。

根据康德和拉普拉斯的看法,原始的气体物质逐渐冷却,并开始收缩。这种作用一旦发生,自转速度就会加大 (这是**角动量守恒定律**的结果,如图 1-5 所示),直至连续的气体

- 1) 光是由不同的气态元素燃烧至白热时,以特殊的方式发射和吸收的。将光分析成颜色组成 (更确切地说,它的光谱成分),可以阐明光源的成分。例如,当普通食盐 (氯化钠 NaCl) 在天然气火焰中燃烧(蒸发)时会产生黄色,这说明有钠元素存在。
- 2) 康德的假说是以匿名发表的,刊载了令人印象深刻的标题:“宇宙自然史和天地理论,或者一篇关于整个宇宙构成和力学成因的论文,根据牛顿原理的论说”。出版者破产了,存货被债权人扣压,所以极少几份传到公众手中。

物质环被离心力旋离中心物质为止。最后,这种气体物质环就凝聚成行星。

相反,根据晚约 100 年的英国大物理学家马克斯威尔 (James Clerk Maxwell) 和琼斯

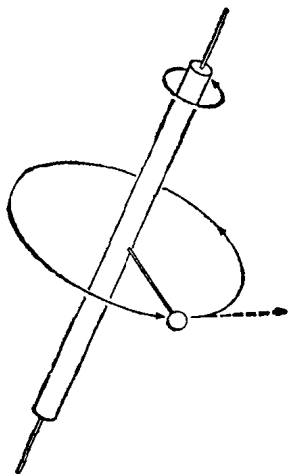


图 1-3 用重钢球加速很轻的拉杆绕中心轴旋转为例来说明角动量。转动拉杆,使钢球绕它旋转。钢球的角动量定义为钢球的质量、速度和它与旋转轴距离的积

(Sir James Jeans) 的提法,环状物质不足以提供凝聚成各个行星的万有引力。在十九世纪结束时出现了致命的打击,当时芝加哥天文学家莫尔顿 (F. R. Moulton) 指出,星云说违背了上述第 4 条,即行星的角动量很大。角动量守恒定律要求旋转的凝聚星云保持住它的角动量,而汇聚大量物质的太阳应集中太阳系的大多数角动量。简单地说,太阳并没有旋转得很快,它应该旋转得更快,正如图 1-5 的滑冰者,当她拉回手臂时旋转得更快。

碰撞说 当康德和拉普拉斯的理论不受赞成时,就要有再一种理论。地质学家张伯伦 (T. C. Chamberlin) 与莫尔顿 (芝加哥天文学博士) 共同研究一种理论,并对法国布丰 (Count Buffon) 早期 (1749) 的提法——**碰撞说**

作了修正。这个假说简单地说明,巨大的舌状物质是由于一座运行经过的大星体重力吸引,从现有的太阳上撕下来的。根据他们的说法,这种舌状物质破裂成小块体或小行星,它们作为冷的物体飞入绕太阳的轨道,处于运行经过的星体的平面上。由于碰撞和重力

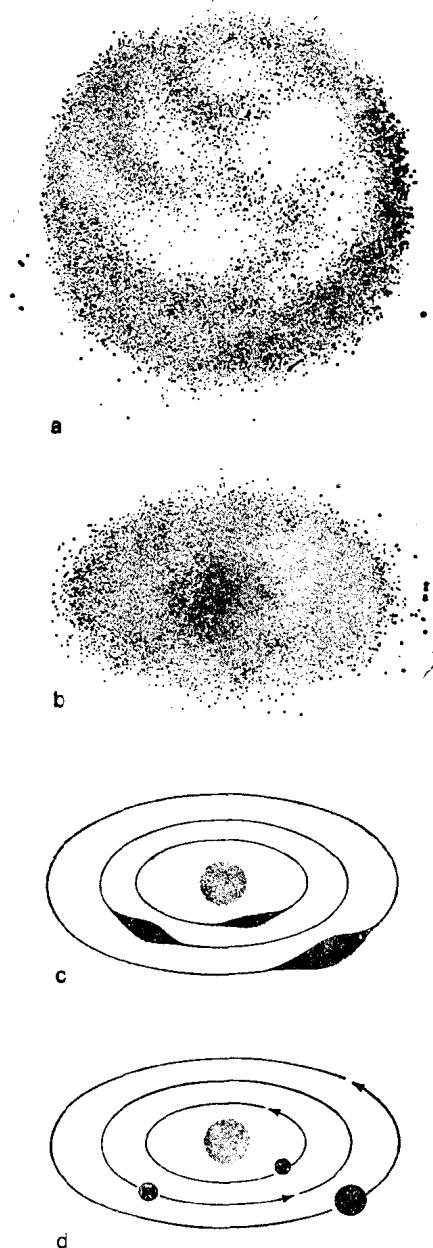


图 1-4 星云说图示: a. 弥散的、大致为球形的、缓慢旋转的星云开始收缩。b. 由于收缩和旋转,形成一个快速旋转的扁平圆盘, 随而物质向中心集聚。c. 继续收缩,形成原始太阳,留下物质环。d. 各个环的物质凝聚成行星,沿轨道绕太阳旋转



图 1-5 角动量守恒图解。当滑冰者拉回手臂时旋转速率更快。同样地，当缓慢旋转的星云收缩时，其旋转速度加快

吸引，较大的小行星扫清了较小的块体，一些保存下来的小行星就成为行星。可惜的是，碰撞论的一些说法具有致命的弱点。根据天文学家的意见，从太阳喷出的物质，大都是从内部来的，应是很热的，大概为 $100,000^{\circ}\text{C}$ 。所以气体会以剧烈的爆发而散布在空间，不会凝聚成行星。虽然会由于运行经过的星体而不是由于星云的旋转施于行星的较大动量，但这个数量仍比观测到的要小得多。最后，广垠无际的空间使得这两颗星体接近的可能性极小。

近代的理论 最近几十年来的想法受到了这样一种发现的影响，即宇宙空间不是以前认为的那样空的。天文学的观测确定，在星际空间和星云中，有大约 99% 气体和 1% 灰尘组成的稀疏物质。这种气体大部分是氢和氦；尘状质点具有类似于地球物质的成分，如硅化合物、二氧化铁、冰晶，以及许多其它细小分子，包括有机分子¹⁾。所以现代理论成为新拉普拉斯论就不足为奇了。因为他们采纳了由重力和自转力决定的形状和内部运动的原始旋转气尘云的概念。在某个时刻，万有引力成为主要因素，收缩开始，旋转加速(加之角动量守恒)。气尘云趋于变扁，成为圆盘状²⁾；物质移向中心，积聚成原始太阳 (Proto-sun)。这种原始太阳在自身重力作用下出现崩塌，由于物质压缩，成为密集的、不透明的。其内部温度上升至 $1,000,000^{\circ}\text{C}$ 左右。在这种高温点下，“核子燃烧”，或聚变开始。更确切地说，太阳开始因发生热核反应而发光(遗憾的是，现在已用氢弹来重现这一反应)，在这种反应中，氢核在强大压力下结合成氦核，释放出巨大能量。

关于气尘团是如何发展成原始太阳的？它是如何形成行星的？行星是如何获得所需的角动量的，关于行星的化学成分是如何分异的？专家们对这些问题的回答莫衷一是。

一种现代的星云团模型，即化学分凝序列模型，近来受到更多的重视，因为它似乎可以预测行星的化学成分和密度(图 1-6)。初期，星云团很热，所以大多物质处于气体状态。当旋转的星云团冷却时，由气体凝聚出各种固体化合物，形成颗粒，逐渐群集一起，成为细小块体或微行星。这种微行星出现聚结，较大的具有较强的引力，会吸引所有几乎已凝聚的物体。如果行星是在距离太阳很近的地方生长，这对某些物质要凝聚就太热了，一些物质就

1) 近代激动人心的发现：星际空间中有生物学上重要化合物，如氨、甲烷、甲酸和甲醛，以及陨石中有氨基酸，这对地球和宇宙其他地方生命的起源具有深刻意义。它们在空间中的存在表明，简单有机化合物——生命的构成单元——的形成，是银河系演变的正常结果。

2) 1977 年 6 月，新墨西哥州立大学和美国宇航局的天文学家们报告：在天鹅座的一颗远星，呈现出的能量辐射模式，表明为一颗年轻的圆盘形的星。这可能是首次发现在生长过程中俘获的太阳系。

会因太阳辐射和物体流而呈气体散失掉。(在早期阶段,太阳喷射出的物体也会造成太阳自转减慢。)在靠近太阳的地方,温度最高,要凝聚的第一批物质,是那些具有高沸点的物质,例如大部分的金属和岩石。于是,最靠近太阳的行星——水星,是最致密的(为水的密度 5.4 倍),因为它是最富铁的。水星靠近太阳,说明它是在铁能够凝聚的温度条件下形成的,而较轻的成岩化合物,例如由镁、硅和氧构成的物质,是较远离太阳的地球族行星的“较冷”环境中更迅速凝聚的。挥发(容易蒸发的)物质,如水、甲烷、氨,大部分逸散在地球族行星上,但会在太阳系的冷外围凝聚成冰,大概在大行星的卫星上凝聚成冰。木星和土星曾经是相当大的,并具有相当强的引力,才能保持它们的全部组成,从而保持原始星云的成分:大部分氢和氦极类似于太阳上的。

对于上述应当认为是什么——是一种假说,是一种可能的模型。这些说明中大概有的是接近实际发生过的事件:我们只能在大量补充工作之后才会了解到,有的现在正在进行。对不同发展阶段的星云,不仅用熟知的光学望远镜进行研究,而且还用放大 X 射线和无线电波的特殊装置进行研究。这种看不见而可测到的波,提供着遥远的宇宙空间中所发生的作用的补充信息。第一批空间探测器已经发回了有关水星、金星、火星、木星和月球的大气和表面的性质及成分的数据。数学家们已经研制了新的工具,以改进计算机对旋转的气尘云和成长的行星运动的重现。全部这种活动迟早都会给我们提供宇宙是如何开始的答案。

我们详细研究太阳系起源问题有几种理由。一座行星所沿袭的演变方向是由其原始开端决定的。我们已合情合理地了解了地球的现状,它至今约有 47 亿年了。行星演变过程中的这两种时间——其开始和现在,是提出地球在其整个历史过程中如何发生变化的模型的重要约束条件。关于行星起源的思想的成长,是科学史中一部有趣的故事。它展现出成功的学说是如何提出、舍弃、复活,以及根据新的观测数据和理论概念而修改了的。科学上的一切典型,特别是现代地质学所固有的典型,就在于其思想和概念的变革至今还在进行中。

地球:一颗还在演变的行星

本节作为本书所述的全部内容——地球的大规模演变的引论和预示。我们将概括一下地球从原始均匀的天体转变为一颗分异的行星,即其内部分化成几层或几个带的行星,每个层或带的化学和矿物成分各不相同。我们将看到分异作用是如何同大气、大洋、大陆、山脉、火山和磁场间接相关的。所强调的是这些事件的一般顺序,而不是细节,这只是因为许多细节有待未来的地球科学家去完成。

初始状态——均一化的凝聚作用 我们可以想象一下在有地质记录开始之前的地球,即在现今所知的约 40 亿年的最老岩石形成之前的时期。这个时期占地球历史的前 10 亿年,虽然我们缺乏可以测定早期时间的岩石的直接证据,但我们现在仍试图复原一下早期的事件。把这个阶段看作为约 47 亿年前由于获得微星体或微星体增积的行星集聚过程。新的行星大概是一种无分选的凝聚作用(大部分为硅化合物、铁和镁的氧化物),以及少量各种天然化学元素的凝聚作用。虽然微星体是比较冷的,但新生长的行星由于三种不同的效应马上开始变热起来。

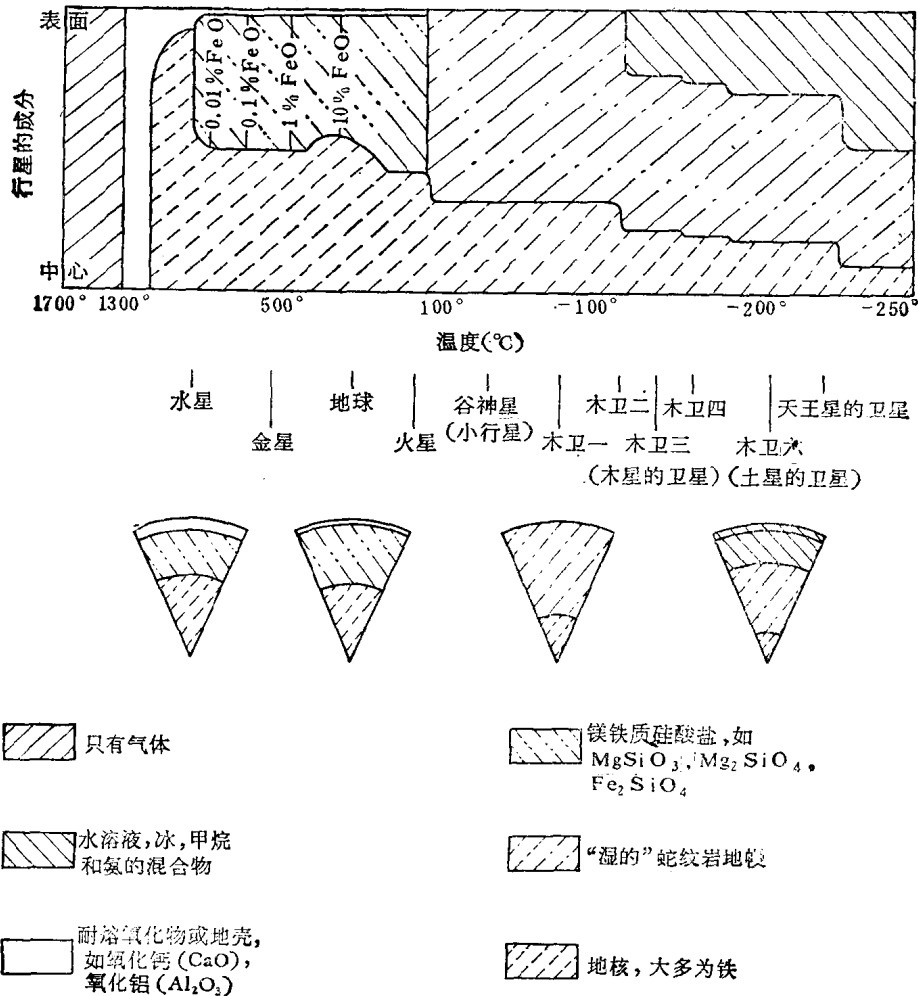


图 1-6 马萨诸塞州理工学院刘易斯(J.S.Lewis)提出的化学凝聚序列模型的简化图解。图的左边 1700°C, 表示太阳系星云的内部, 右边 -250°C, 表示海王星附近与星云中心的距离, 大约比地球要大 30 倍。垂直轴预示着从星体中心(下)到其表面(上)的内部成分, 假设全是保持凝聚的。用铁含量的减少及硅酸盐和挥发份的增加来表示星云从热的内部到冷的边缘的凝聚序列。没有表示出大行星, 因为它们的巨大重力会使它们保持原始星云的成分, 大多为氢和氦

初始温度 每个投落的微星具有很高的运动能量——因冲击转化为热能。虽然大部分热辐射回宇宙空间, 但很大一部分仍保留在生长的行星上。究竟有多少热还不能肯定, 因为它取决于微星体的质量、速度和温度, 以及微星体增积的速率。在高增积速率下, 受到加热的冲击带, 会被稍后到达的物质在能量释放回宇宙空间之前所覆盖, 这种“被埋藏的”热会使地球内部温度增高。另一种引起温度增高的效应是压缩作用。一个普通的例子是我们用来给自行车内胎打气时的气筒发热。当我们压下唧筒时, 空气受到迅速压缩, 太快就使热不易扩散开来, 气筒也就热起来。在堆积的外部重量增长的情况下, 行星内部受到挤压。消耗在压缩内部的能量转变为热, 就局部地保存下来了。因为热在岩石中的移动或传导都很慢, 所以它没有流散出去。结果, 热积聚下来, 地球内部的温度也就上升了。计算过地球受加热幅度的大多数地球物理学家认为, 增积和压缩作用会造成新形成的行星内部平均温度增高达 1000°C。