

物理学与地质学

J. A. 雅各布斯
[加拿大] R. D. 拉塞尔 著
J. T. 威尔逊

海洋出版社

18219

物理学与地质学

J. A. 雅各布斯

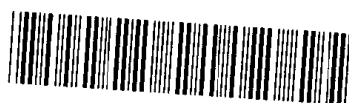
[加拿大] R. D. 拉塞尔 著

J. T. 威尔逊

刘 光 鼎 译



00276610



200306230

海洋出版社



1984年·北京

内 容 简 介

本书运用板块大地构造的观点,在大量资料的基础上,对地学的各个方面作了简要的阐述。全书分两部分,共十七章:第一部分讨论了地球的一般物理、地质和化学性质,其中包括宇宙与太阳系、地震学与地球内部、地球的成分、地质年代学、同位素地质学、地球的热历史、地磁学、上部大气圈物理学、地幔与地核的结构和成分、断层和褶皱以及造山运动等十一章;第二部分主要讨论现代地壳与上地幔的演化,其中包括地球状态的理论、支持与反对大陆漂移的论据、海底扩张与全球构造对大陆漂移的证据、大洋盆地的生命旋回,以及对运动机制的探讨等六章。

本书内容全面而概括,系统性很强,是地质学与地球物理学紧密结合的一本优秀教材,适合于地质系与地球物理系高年级学生,特别是研究生,作为基础理论必修读物;也可供地质、地球物理,以及广大地学科技人员和教师参考。

Physics and Geology

(Second edition)

J. A. Jacobs, R. D. Russell,

J. Tuzo Wilson

1974

物 理 学 与 地 质 学

J. A. 雅各布斯

〔加拿大〕 R. D. 拉塞尔 著

J. T. 威尔逊

刘 光 鼎 译

★

海洋出版社出版

(北京复兴门海贸大楼)

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

★

1984年6月第1版 1984年6月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 27

字数: 500千

印数: 1—4800

统一书号: 13193·0192 定价: 4.95 元

前 言

本书第一版是作者们于1946年与1959年期间，在多伦多大学物理系与地质系，为高年级学生和研究生讲授地球的物理学课程的副产品。因此，本书有两个目的：

1. 对学习地质学的学生给出地球物理学的导论；
2. 对其它领域的科学家提供一些地质学及其与地球物理学关系的知识。

在我们看来，应将地球看成一个活动体，它的生理学和解剖学都是可以研究的。过去，地质学主要描述暴露于海面以上的地球表面部分，并追索化石所标示的地球晚期的历史。然而，在过去几年内发展起来并加以使用的方法，却可能用来描述整个地球，从它的深邃内部到其外部大气圈。地球的发展已经被有远见地放上了绝对时标，从而有可能提出其一些过程的物理性质与原因。作者企图勾绘出地球状态的广泛图形，用较新的物理色彩来充实较老的地质轮廓。

本书的宗旨仍和第一版一样，但课题的发展是如此之快，以致书的各个部分都经过了重新编写。并借此机会补充了广泛的文献目录。

在进行第一版的写作时，三位作者都在多伦多大学物理实验室工作，他们的基础背景使之很容易分头来准备原稿，因为除物理学的训练之外，雅各布斯博士为数学家，拉塞尔博士为化学家，而威尔逊博士为地质学家。尽管如此，他们在写作并重写第一版时进行了密切合作。

此后，三位作者中有两位转到其它大学去工作，以致第二版的准备就成为十分困难的任务，但作者们仍希望此版能反映出其发展的各种背景。三位作者继续协作，当然，应进一步说明：雅各布斯博士撰写其中第一、二、四、七、八、九、十章和11-4到11-6节的大部分，拉塞尔博士撰写第五、六章和部分第三章，而威尔逊博士撰写其余部分。雅各布斯博士还承担了全书的汇总任务。

作者们希望向他们所在的三个大学（艾伯塔大学、不列颠哥伦比亚大学和多伦多大学）以及各地提出建议和帮助的同事们表示感谢。艾肯先生和克安先生帮助准备了许多图件。G.J. 沃台夫人在搜集资料，尤其在详细编排参考文献中起了重要作用。

除开上述三个大学及其各地区机构之外，作者们还得到加拿大国家科学研究委员会、加拿大国防科学研究厅、加拿大地质调查所、多米尼昂观测站（现在的地球物理学分部）以及在第一版前言中说明的一些团体和公司等的帮助，才使研究工作得到完成，为本书许多部分提供了基础。我们谨向这些单位表示感谢，并向他们多年来给手稿誊写和重新打字的许多有耐心的秘书们致以谢意。

J. A. 雅各布斯

R. D. 拉塞尔

J. T. 威尔逊

译者的话

研究地球，认识地球，不仅在当代科学中居于重要位置，而且在生产实践中也有十分重要的意义。但是，如何研究并认识地球，在科学发展的历史上，却一直存在着不同的途径和方法。地质学从野外对矿物、岩石，以及古代动植物遗体——化石的观察到室内的化验、分析，积累了大量的资料，通过多少代人的总结与概括，认识到地壳的运动，并努力阐明其演化的历史。地球物理学则根据物理学的各种原理和仪器，对地球的物理性质进行广泛的研究，从而出现了地震学、地磁学、重力学，以及其它一些分支学科。尽管如此，正确地认识地球，还必须使地质学与地球物理学紧密地结合起来，使之相互渗透，相互补充。

本世纪初，放射性元素的发现促进了科学的发展，影响所及，也推动了地球科学的前进。根据放射性同位素的衰变规律，现在已经出现了地质年代学和同位素地质学，不但为地史研究提供了绝对时标，而且为了解现代沉积及其过程提供了手段，使我们可以将今论古，追溯以前时期的地质环境，推断地质历史。本世纪中叶，各种地球物理资料采集系统的完善和发展，其中包括电子计算机的应用，使观测能够在高精度下快速地进行。因此，现代科学的发展，一方面更迫切地要求地质学与地球物理学相互结合起来；另一方面也为这种结合提供了广阔的活动天地。应该说，现代科学技术的成就为我们研究地球展示了十分美好的前景，尽管地球经历了漫长而复杂的演化过程，表现出极其多种多样的形态，但人类完全能够进一步深刻地认识地球及其发展历史。

在地学领域的现代舞台上，地质学和地球物理学无疑是两个十分重要的角色。但是，如果地质学家不能很好地理解地球物理“语言”中的符号和公式，不能充分地应用多种地球物理资料，则必将仅作为一名观众而不参与演出，以致始终会是一件令人感到遗憾的事。同样，如果地球物理学家只将自己局限于数据的采集和资料的解释，则不仅会使工作部署失去依据，也会湮没在资料的汪洋大海之中，而无从表现高超的技艺。因此，现代的地球科学要求她的演员，既是一位地质学家，又是一位地球物理学家，否则就难于作出精彩的表演。

但是，地学领域是如此广阔，无论是地质学，还是地球物理学，都有众多的分支学科，都有浩瀚的文献与资料，如何才能从中粹取精华，作简明而系统的阐述，有益于正在从事地学工作的学者、专家，有助于一代新人的培养呢？这确实是一个很大的难题。尤其是，在地质学中，一直存在着铅垂运动与水平运动的不同认识，同时，也一直存在着固定论与活动论之争。在科学发展的道路上，争论是自然的，也是促进科学发展的主要动力之一。然而，在此情况下，编写为培养训练人材用的教材，却是困难的。幸好，多半个世纪以来，地学的发展已经呈现出一条清晰的脉络，可以有所遵循。这就是从大陆漂移到海底扩张，进而出现板块大地构造的发展线索。

1912年左右，魏格纳（Alfred Lothar Wegener）在前人工作的基础上，搜集了广泛的资料，探讨了海陆成因，提出了大陆漂移学说，在地质界引起轩然大波。可惜，支持者的热情很快受到冲击。这固然是因为论据还缺乏充分的严密性，无法合理地阐释反对者提出的种种矛盾；同时也由于当时知识的局限。但是，大陆漂移学说在沉寂了三十多年之后，却由于海底扩张学说的出现而重新复苏（H.H.Hess, 1962; R.S.Dietz, 1961）。此时，大洋探测已经发现了规模雄伟的大洋洋脊，它在整个地球上的大洋地区内作连续分布；洋脊裂谷

两侧磁异常条带，由内向外作对称分布，而古地磁学研究更说明它们的年龄随着离开脊峰而增长；标准地震台网对地震震源深度分布的研究，说明大洋地壳在海沟处倾没于大陆地壳之下，从而，可以设想地壳演化的模式，正如一台巨大的传送带，它在洋脊裂谷处产生新地壳，而老地壳在海沟处俯冲下去，并在地幔中消失。结果，于1968年左右，全球板块大地构造学说脱颖而出（W.J.Morgan, 1968）。尽管迄今为止，板块大地构造还有许多不完善之处，也还有人表示反对，但是，它毕竟得到了相当广泛的承认，而且是当前世界上最流行的学说之一。

在前述指导思想之下，1945年，三位加拿大教授：J.A.Jacobs（数学家）、R.D.Russell（化学家）和 J.T.Wilson（地质学家），合作进行使地质学与地球物理学紧密结合的尝试，开始撰写“物理学与地质学”一书，并在多伦多大学为高年级学生和研究生讲授。经过十四年的工作，“物理学与地质学”于1959年首次问世。尽管这本书是长期巨大劳动的结晶，但由于作者们当时还没有掌握住上述地学发展的脉搏，其中包括海洋地质与地球物理工作方兴未艾，海底扩张虽已提出却还没有取得充分证据等，以致作者们对于刚刚出现的板块大地构造采取了既不支持，也不反对的观望态度。其结果是，此书的第一版并没有在世界上引起很大的重视与影响。此后，板块大地构造学说迅猛发展，有关论述和著作如雨后春笋，尤其是三位作者之一——J.T.Wilson 急转直下，积极而热情地投入了发展板块大地构造学说的工作中去，从转换断层到大洋盆地的生命旋回（Wilson 旋回），作出了重要的贡献。这样，已经出版的“物理学与地质学”就必须适应时代的要求，加以重新编写。于是，三位作者又经过十四年的协作，终于使“物理学与地质学”第二版问世。凡是读过此书第一版的人，再读它的第二版，都会产生一个共同的想法，那就是，它不仅在占有资料的丰富程度上有很大的差别，反映了时代的进展，更重要的是在思想的确切性与阐述的系统性上有了完全不同的提高，确实令人有面目一新之感。因此，实际上可以将“物理学与地质学”第二版看成是现代地学成就的概括与总结，是使地质学与地球物理学相结合的优秀教材。

译者认为，将“物理学与地质学”译成中文，介绍给我国的读者，对于我国地学的发展，以及地学人材的培养都具有重要的意义。但是，本书内容所涉及的范围十分广，限于译者的水平和能力，书中必然存在着不少错误和问题，请读者不吝指正。

刘光鼎

1981.3.1

目 录

第一章 宇宙和太阳系	(1)
1-1 引言	(1)
1-2 太阳系	(2)
1-3 地球和宇宙的年龄	(4)
1-4 太阳系的起源	(5)
1-5 流星与陨石	(9)
1-5.1 有关陨石碎片的发现	(13)
1-5.2 裂碎锥	(14)
1-5.3 柯石英和超石英	(14)
1-5.4 冲击变质作用	(15)
1-5.5 火山根的缺失	(15)
1-6 陨石的起源	(15)
进修读物	(16)
第二章 地震学与地球内部	(18)
2-1 应力和应变	(18)
2-2 波动	(20)
2-3 走时表与速度-深度曲线	(21)
2-4 地球的主要分层	(24)
2-5 地球内密度的变化	(26)
2-6 地球内的压力分布、重力引起的加速度变化以及弹性常数	(34)
2-7 地震的震级、烈度和能量	(35)
进修读物	(37)
第三章 地球的成分	(38)
3-1 引言	(38)
3-2 天体与宇宙物质的成分	(38)
3-3 大气圈与水圈的成分	(40)
3-4 矿物与岩石	(42)
3-5 岩石的分类	(44)
3-5.1 沉积岩、火成岩、变质岩与深成岩的分类	(44)
3-5.2 火成岩的分类	(45)
3-5.3 沉积岩的分类	(47)
3-5.4 变质岩与深成岩的分类	(47)
3-6 岩石共生组合	(50)
3-6.1 裂谷共生组合	(50)
3-6.2 大陆平原共生组合	(51)

3-6.3 大陆边缘共生组合	(54)
3-6.4 大洋底	(56)
3-6.5 大洋岛共生组合	(59)
3-6.6 岛弧共生组合	(61)
3-6.7 原生山脉的共生组合	(63)
3-6.8 出露地盾的共生组合	(65)
3-7 地壳的平均成分	(67)
第四章 地球形状与重力	(68)
4-1 地球的形状	(68)
4-2 地球的转动	(68)
4-3 重力引力	(71)
4-4 重力理论	(73)
4-5 重力的测量	(75)
4-6 重力异常	(76)
4-7 均衡说	(78)
进修读物	(84)
第五章 地质年代学	(85)
5-1 引言	(85)
5-2 地层历史的注释	(85)
5-3 地质时代后期的再划分	(87)
5-4 放射性方法的出现	(89)
5-5 闭合系统与张开系统	(90)
5-6 铀法	(90)
5-7 钾法	(96)
5-8 铷法	(98)
5-9 裂变——示踪记年	(99)
5-10 放射性碳与氡法	(100)
5-11 不整合年龄的解释	(101)
5-12 地球的年龄	(103)
5-13 前寒武纪年代学历史的注释	(105)
5-14 前寒武纪时代的再划分	(106)
进修读物	(107)
第六章 同位素地质学	(109)
6-1 引言	(109)
6-2 普通铅的解释	(109)
6-3 普通铍的解释	(113)
6-4 同位素平衡理论	(115)
6-5 硫	(117)
6-6 氧和氢	(118)

6-7 碳和其它元素	(123)
6-8 元素的起源	(123)
进修读物	(124)
第七章 地球的热历史	(126)
7-1 引言	(126)
7-2 热流测量	(126)
7-2.1 方法	(126)
7-2.2 结果	(128)
7-2.3 大洋测量	(131)
7-2.4 陆地测量	(137)
7-2.5 热流与重力变化	(138)
7-3 原始地球与地球内核的温度	(139)
7-4 熔点与绝热梯度	(141)
7-5 热流与放射性	(142)
7-6 地球的热历史	(144)
进修读物	(147)
第八章 地磁学	(148)
8-1 地球磁场的一般特征	(148)
8-2 均匀磁化球	(154)
8-3 地球磁场的起源	(156)
8-4 地球磁场的发电机理论	(157)
8-5 长期变化与西向漂移	(158)
8-6 发电机模型	(159)
8-7 磁流体动力学与地核	(161)
8-8 古地磁学	(162)
8-9 磁场反向	(165)
8-10 极游移	(170)
进修读物	(171)
第九章 上大气层物理学	(173)
9-1 瞬时磁变	(173)
9-2 静磁日太阳日变Sq	(174)
9-3 大气潮汐	(179)
9-4 磁暴	(181)
9-5 上大气层的物理性质	(186)
9-6 极光与气辉	(189)
9-7 磁圈	(191)
9-8 磁暴与极光的理论	(193)
9-9 宇宙射线	(195)
进修读物	(197)

第十章 地幔与地核的结构和成分	(199)
10-1 引言	(199)
10-2 莫霍洛维奇契间断的性质	(199)
10-3 上地幔 (层B)	(204)
10-4 冲击波研究	(206)
10-5 过渡层 C	(207)
10-6 下地幔 D	(208)
10-7 地幔的粘滞性	(209)
10-8 地核	(211)
10-9 Bullen的可压缩性-压力假说.....	(215)
10-10 地球中的化学不均匀性.....	(216)
进修读物.....	(218)
第十一章 断层、褶皱、流动与造山作用	(219)
11-1 引言	(219)
11-2 地壳得到保存处的断层作用：正断层、横断层与冲断层	(219)
11-2.1 正断层	(220)
11-2.2 逆断层或冲断层.....	(221)
11-2.3 横断层	(221)
11-3 地壳遭受破坏处的断层作用：转换断层	(222)
11-4 流变学	(225)
11-5 褶皱作用的动力学	(227)
11-6 造山运动的物理学	(228)
第十二章 地球状态的学说	(229)
12-1 引言	(229)
12-2 铅垂运动作用的早期历史及其认识	(229)
12-3 均变说	(229)
12-4 收缩假说	(230)
12-5 波动说、脉动说和铅垂构造说	(230)
12-6 膨胀假说	(231)
12-7 对流流的早期学说	(231)
12-8 岛弧问题	(232)
12-9 横向位移学说或大陆漂移学说的发展	(236)
12-10 地球科学的统一化.....	(238)
第十三章 支持与反对大陆漂移的老争论	(240)
13-1 引言	(240)
13-2 海岸线的拼合	(240)
13-3 相对大陆之间的比较地质学	(240)
13-4 大型水平位移的断层与褶皱证据	(241)
13-5 古气候变化	(242)

13-6 化石的分布与生物的生态	(242)
13-7 漂移的仪器测量	(243)
13-8 反对漂移的地球物理论点	(244)
13-9 地质学家反对漂移的论点	(245)
第十四章 大陆漂移从海底扩张假说和全球板块大地构造假说得到的新证据	(247)
14-1 引言	(247)
14-2 洋底与盆地的研究	(247)
14-3 海底断裂带	(249)
14-4 大洋中脊系统	(251)
14-5 岛屿与岩心的年代	(253)
14-6 冰岛的扩张	(255)
14-7 古地磁学	(256)
14-8 三个恒等的地磁量	(259)
14-9 海底扩张	(262)
14-10 全球板块大地构造假说	(262)
第十五章 大洋盆地的生命旋回：生长阶段	(267)
15-1 大洋盆地的增长与衰退阶段	(267)
15-2 阶段1的典型实例：东非裂谷系统	(267)
15-3 阶段1的其它可能实例	(271)
15-4 阶段2的典型实例：亚丁湾	(271)
15-5 红海，阶段2的一个实例	(272)
15-6 大西洋的开张	(273)
15-7 北冰洋盆地，其中似乎欧亚盆地阶段2的一个活动实例	(274)
15-8 格陵兰与挪威海和巴芬湾：阶段2的实例	(276)
15-9 阶段3：欧洲与北美之间的大西洋	(280)
15-10 阶段3：美国与非洲之间的大西洋	(282)
15-11 阶段3的典型实例：非洲和南美之间的大西洋	(284)
15-12 印度洋和南部大洋	(286)
第十六章 大洋盆地的生命旋回：衰落阶段	(290)
16-1 阶段4的典型实例：太平洋盆地	(290)
16-2 东太平洋隆起	(290)
16-3 东太平洋隆起的西部边界	(293)
16-4 东太平洋隆起的岛屿及与它们有关的一些对称性	(294)
16-5 东太平洋隆起与南美和中美关系	(295)
16-6 东太平洋隆起与北美西部的关系	(299)
16-7 阿留申岛弧、阿拉斯加湾和白令海	(304)
16-8 西太平洋的洋底和大洋岛屿	(306)
16-9 东亚岛弧和边缘海	(307)
16-10 太平洋的西南边界	(311)

16-11 阶段 5 的典型实例：地中海.....	(315)
16-12 阶段 5 的其它实例：黑海与里海.....	(318)
16-13 阶段 6 的典型实例：喜马拉雅山脉.....	(320)
第十七章 地球的历史及其状态的可能机制.....	(322)
17-1 引言	(322)
17-2 地槽	(322)
17-3 不活动的褶皱山脉，消失大洋的遗迹	(323)
17-4 前寒武纪问题	(326)
17-4.1 再划分与对比的困难	(327)
17-4.2 三大类前寒武纪岩石	(329)
17-4.3 前寒武系时标与对比方法	(334)
17-5 地球表面板块运动的可能原因和机制	(336)
17-6 岛弧和边缘海的形成	(342)
17-7 结论	(346)
附录	
A. 从走时曲线推导速度-深度曲线	(347)
B. 克列洛定理	(349)
C. 同位素平衡	(350)
D. 均匀磁化球的力线方程式	(352)
E. 地球中的化学不均匀性	(353)
参考文献.....	(354)

第一章 宇宙和太阳系

1-1 引 言

在详细讨论地球表面形态或内部结构的任何特殊情况之前，最好根据地球的特定环境，将它看成为太阳系中的一员。地球内部发生的物理过程的任何讨论，迟早都会引起关于它的起源与早期历史的问题。而这就必将导致太阳系的起源问题，以及其它遥远的天文学问题。这些问题，就其本性来说，是有极大争论的；但对它们一无所知则是错误的，因为答案在涉及地球后来发展的许多方面都将是重要的。例如，详细研究地球的热历史，就需要十分苛刻地依赖于所选择的初始温度。因此，在本章中以一定的篇幅来讨论地球的起源，将会有助于评定以后各章中组成特殊地球模型的有效性。在讨论之前，先简略引述地球表面和内部的某些主要形态所要使用的一些术语，会是有益的。

地球在形状上近于圆球，其直径略小于8000英里。本书通篇采用的 cgs 单位的数字更精确地给出，地球具有平均赤道半径为 6378.388 公里和极半径为 6356.912 公里的扁球形状。这是国际上采用的数字。具有相同体积的圆球半径为 6371.2 公里，而在任何计算中都将使用 6371 公里。地球的质量为 5.975×10^{27} 克，而其平均密度刚好超过 5.5 克/厘米^3 。另一方面，地表岩石的平均密度约为 2.8 克/厘米^3 ，从而密度必须从表面向中心增加；在地球中心，压力超过 3.5×10^{12} 达因/厘米² ($\approx 3\frac{1}{2}$ 百万大气压)。温度也向中心增加。表面温度梯度的平均值为 30°C/公里 ，但在深部并不保持此梯度。地球中心的温度差不多肯定是小于 $10,000^\circ\text{C}$ ，而不可能超过 $5,000^\circ\text{C}$ 。

地球表面形态有许多特色。地球表面不到30%为陆地，它主要集中于北半球，而大洋集中于南半球。这种差异在两极地区是相反的。此外，全部陆地的81%集中于一个半球上，它的极在布列塔尼，相应“水半球”的极在新西兰附近。在陆地和海洋之间还有奇妙的对映关系。虽然，表面约45%是海对海，只有1.4%是陆对陆。T. Hatherton 曾指出，对着海的大多数陆地（如同现在这样）可能是由于偶然性，虽然表面形态的这种排列是否存在于整个地质时代，还是一个有争论的问题，而且仍未得到完全一致的意见（见第十三章与第十四章，那里对极游移和大陆漂移讨论得比较详细）。大洋具有和大陆一样多的地球物理问题，或者更多一些。最大的大洋深度超过最大的山脉高度，而且在大洋底有着可与今天在陆地上见到的任何山脉相匹敌的雄伟山系。

地球的最外层称为地壳 (crust)。其厚度与成分都不是常数，而是在大陆地壳与大洋地壳之间变化；大陆地壳由30公里到60公里的淡色岩石（如片麻岩、花岗闪长岩和花岗岩）组成，大洋地壳由通常不超过5—6公里厚度的暗色岩石（如玄武岩）组成。地壳的上部是薄的和不连续的沉积岩与大洋沉积层。地球在地壳下面到2900公里左右深度的部分称为地幔 (mantle)，

对于其余部分，即地幔的内部，使用地核 (core) 这个词。地球的这三个主要分区之间，即地壳、地幔与地核之间的边界，是急剧而明显的，并在地震波速度中有显著变化，在下一章中将对它们的论据进行更充分的讨论。地壳与地幔之间的边界称为莫霍洛维奇契 (Mohorovičić) 间断或莫霍 (Moho) 面。

另一个有用的分区是以不同层的流动性质为依据的。地壳与深度约70公里的地幔最上部，由于温度足够低冷而变得坚硬和易碎，以致它们产生断裂而不是流动，从而称为岩石圈 (lithosphere)，或构造圈 (tectosphere)。此圈下面称为软流圈 (asthenosphere)，或流变圈 (rheosphere)，由于温度足够热，而且处于充分的低压之下，从而能够缓慢地变形和流动。在几百公里的深度上，压力又使硬度增加，相和成分都发生变化，尤其是水含量的变化将使粘滞性起变化。硅铝 (sial) 和硅镁 (sima) 两个术语，在地震资料出现之前用来区分富含硅和铝的岩石与富含硅和镁的岩石之间的化学成分，但随着精确知识的增长，这两个术语和许多其它较老的概念与术语都已废弃。

1-2 太 阳 系

直到哥白尼 (Copernicus, 1473—1543) 时代为止，一般都认为地球是宇宙的中心，太阳、月球、后来了解的行星，以及星体都绕地球转动。宇宙的这种地心说或托勒密天动说 (Ptolemaic theory)* 一度曾变得复杂化，并人为地根据它来增加观测的精度和新发现天文现象。哥白尼重新引用公元前200年以前亚里士多德 (Aristarchus) 的概念：太阳是地球及其它行星以圆形轨道绕行的中心星体。这样，地球就从作为宇宙中心的位置转移到只不过是银河系中一颗普通星体的情况，而银河系本身仅是无数银河系的一个平常成员。随着望远镜的发明，伽利略 (Galileo, 1564—1642) 的天文观测证实了哥白尼学说。根据比哥白尼所采用的更为精确的观测，开普勒 (Kepler, 1571—1630) 的研究证明，行星的轨道并不恰好为圆形，而是太阳在其一个焦点上的椭圆。牛顿 (Newton, 1643—1727) 发现万有引力定律，促进了行星运动的理论研究，而以前似乎截然不同和没有联系的开普勒定律被证明是作为牛顿定律简单推导而得出的。最耸人听闻的成就是1846年发现一颗新的行星——海王星。利用计算的与观测的天王星之间的差异，Adams (1819—1892) 和 Le Verrier (1811—1877) 彼此独立地和相互不知地证明：这种差异是由一个未知星体对天王星的引力所造成的；而且，他们还确定出未知行星的位置，并相继用望远镜观测了这个位置。

将行星分成两组，称为内行星和外行星。以离开太阳的距离为序，内行星为水星、金星、地球和火星，而外行星为木星、土星、天王星、海王星和冥王星。表1-1中给出行星一般特性的一些资料，其中还包括太阳和月球的数据。可以看出，四个内行星都是小行星，而地球是组中最大的。除开冥王星，外行星都要比内行星大很多。冥王星是1930年发现的，而现在对于它仍知道得很少。曾经有人认为，它可能是海王星的一个逃逸卫星。

1801年发现，在火星和木星轨道间路径上运动的一个小行星，称为谷神星 (Ceres)。这是人们发现的第一个小行星 (或者时常将它们称为 asteroids)。这种小行星可能至少有30,000个，谷神星是最大的，直径约730公里。小行星的轨道主要在火星和木星的轨道之

* 译者注：Ptolemy为古希腊天文学家，他的学说称为托勒密说或天动说。

表1-1 太阳系的特性

星 体	平均密度, 克/厘米 ³	总 质 量 (地球质量)	平均半径, 公里	转动周期 ^a , 天	已发现卫星数 ^b	恒星周期 ^c 年	平均距日距离, AU ^d	轨道偏心率	轨道对黄道的倾角 ^e 弧度
太 阳	1.4	333,441	696,000	25.36					
水 星	6.03	0.0556	2434	59.7	0	0.241	0.3871	0.206	0.1221
金 星	5.11	0.8161	6056	-243.09	0	0.615	0.7233	0.007	0.0591
地 球	5.52	1.0123	6370	1.00	1	1.000	1.0000	0.017	
火 星	4.16	0.1076	3370	1.03	2	1.881	1.5237	0.093	0.0322
木 星	1.34	318.3637	69,900	0.40	12	11.865	5.2037	0.049	0.0228
土 星	0.68	95.2254	58,500	0.43	10	29.650	9.5803	0.051	0.0434
天王星	1.55	14.5805	23,300	0.89	5	83.744	19.1410	0.046	0.0135
海王星	2.23	17.2642	22,100	0.53	2	165.451	30.1982	0.005	0.0309
冥王星	4.(?)	0.926(?)	3000	6.39	0	247.687	39.4387	0.250	0.2995
月 球	3.34	0.0123	1738	27.32		0.0748		0.055	0.0899

- a. 水星和金星的转动周期是由雷达测量得到的。直到最近都认为，水星的转动周期与其绕日转动的速率相同。金星有一个很致密的大气圈（几乎完全是二氧化碳），它将金星的面隐藏起来，使光学估算其转动周期非常困难。太阳的转动周期从在其赤道上的24.7天变化到纬度35°处的26.6天。
- b. 土星的第十个卫星是A.Dollfus于1966年发现的。
- c. 恒星周期是绕恒星一周的时间。
- d. 一个天文单位（AU）是地球到太阳的平均距离。它为92,960,000英里，或149,598,000公里（地球到太阳的距离在91,500,000英里和94,500,000英里之间）。地球到月球的距离在252,710英里和221,463英里之间变化。平均距离为238,857英里，或384,403公里。
- e. 黄道为地球绕日轨道的平面。

间，曾有人认为，这些小行星是一个大行星的残余，它在其历史的某个阶段上毁灭成碎片。然而，已经提出许多论点反对这一理论（例如，见 E. Anders, 1964, 1965）；小行星的起源将在 1-5 节中作简短的讨论。以天文单位（AU）表示的行星离太阳的距离 r 可用称作 Titius Bode 定律的经验关系式表达：

$$r = 0.4 + 0.3 \times 2^n. \quad (1-1)$$

式中对于水星， $n = -\infty$ ，对于金星等于 0，对于地球等于 1，等等。在距离相当于 $n = 3$ 处没有行星，虽然小行星的轨道处于火星（ $n = 2$ ）和木星（ $n = 4$ ）轨道之间的地区。

有两件关于行星轨道的事情特别有意义：（1）所有绕日转动的行星都处于相同的方向中；（2）行星的轨道平面，除冥王星之外，与黄道平面相差都很少。此外，太阳、月球和行星，除金星和天王星之外，都以相同方向绕其轴转动，正如行星绕日转动一样。在建立太阳系起源的任何理论时，都必须考虑这些极其特殊的情况。

在本世纪头 15 年内，大型光学望远镜和分析光的光谱方法的发展已经揭示出，称为星云（nebulas）的一些漫射并发光的星体云，是在遥远地方集中的千百万个星体，称为银河。银河系（milky way system）是呈透镜状的由数千亿个星体组成的螺旋状银河系的实例。太阳距离以约 200 百万年周期转动的螺旋中心约 26,000 光年。许多银河系在空间中相隔的距离平均为其直径的几倍。它们扩散在我们用最大望远镜所能看到的整个空间。最遥远的地方其距离是那么地远，以致光从它们那里出发，要经过约 20 亿年才到达地球，加利福尼亚帕罗马山上的 200 英寸反射望远镜，经数小时的曝光，才能在摄影底片上记录下一些微弱标志。最近几年内，其它一些工具，如射电天文学方面的发明，已经可以在更大的距离上探测银河系。调查表明，银河系群集成一千个以上的群组。群组的分布关系到解答现代宇宙起源中许多争论的问题。

1-3 地球和宇宙的年龄

地球和宇宙的年龄一直是最引人入胜的问题。宇宙起源于过去某个确定的时间，还是它永远存在着？许多较老的宇宙学家假设宇宙产生于很象我们现在发现它的状态；反之，一些现代理论都假定宇宙没有开始。如果第一种假设是正确的，就很难解释在自然界中观测到的不可逆过程的存在；另一方面，第二种假设很难说明放射性的持续存在。

至于地球具有有限的年龄，是在科学家能够支持这样一个观点之前，哲学家长期猜疑的，但现在在这个课题上，已经有了大量的科学资料。例如，世界河流以能够测量出来的速率，持续地为大洋提供钠盐，尽管存在着大洋中盐量是固定的事实。已经认识到演化规模中分开的许多阶段，并从一些模糊不清但有真正开始的现象中提出生命的进展。从遥远的星云收到的光中，著名的红移表明，它们正从我们的银河系以正比于其距离的速率而匆忙离去。如果此运动是真实的，而且如果它们在过去就已连续地进行，则扩展于整个宇宙的全部物质，在某些时间之前必定压缩在一个很小的范围内。这将意味着宇宙可能有一个爆炸性的起源。假定在整个时间内速度并没有变化，估计这一爆炸性起源发生于不少于 55 亿年以前。

放射性和地质年代学的现代方法已经被使用到这个问题上。在自然界中存在着 10^9 — 10^{10} 年半衰期的放射性元素的事实，证明地球的年龄不能比这些数字大很多；反之，大多数较短半衰期的放射性同位素的缺失，提出年龄不能太小。测量超过 3000 百万年的放射性母元

素所产生的最终产物的总量，能够测量出特定岩石与矿物的年龄（第五章）。在铅同位素丰度比中观测到的变化所提出来的假定性解释，要求地球有30—50亿年的年龄。它还证明，从某些陨石中包含着微量铀和钍的铅可以转换成现代岩石中所发现的铅，在这些岩石中的铀和钍周期约45亿年（详见第5-11节）

现在似乎很少怀疑地球年龄在40—50亿年之间。45亿年这个数字是通常被接受的，并能满足科学的各个分支。它可能和测定形成某些矿物与岩石的年龄一样精确。

1-4 太阳系的起源

必须意识到，决不能事先肯定对太阳系的起源问题能够给出一个科学的解答。正如，考虑一条船内的空气曾经摇动过，而某个时间之后并没有找到摇动的性质与时间的线索。在此系统中所有事件的记忆都已丧失。

然而，太阳系并不是无限古老的，而且表现出直接或间接反映其形成模式的一些性质。大多数证据都表明，太阳系的产生是一些单独过程的结果，而且提出这是否是星体形成基本过程的问题。还必须考虑到，刚形成的太阳系是否主要有与今天相同的物理过程和动力过程的问题，或者在形成时期之后，在40—50亿年前，是否发生过重要演化的问题。G.P.Kuiper (1956) 对于从那时起行星的质量和成分没有改变的认识给出良好的解释。然而，必须发生内部的重新安排，如地壳在变化中的形态就是明显的例子。这种变化是否持续发展或是有旋回的，则还没有得到完全的一致看法。必须作出回答的一些问题是：在地质时代内，大陆已经从核心增长起来，或者它们总是有大体相同的形状，而且它们仅仅是受到改造？水圈的起源如何？在地质时代内，地球内部发展的大多数证据中，都没有从内部发现水演化的直接证据。在下面几章中，企图对这些问题与另外一些问题作出回答。

再回到太阳系的起源问题上来。能够作的全部工作是从遥远的过去所发生的一个假定事件或某些情况中推论其现在的状态。从某种意义上说，方法是一种试验性的和有误差的。已经提出的各种过程，大体上可以分成两类：将起源看成一种逐渐演化过程的结果，以及将它归因于一些灾变性作用，通常关系到假定太阳与遥远过去的星体相遭遇。第一种类型的实例是拉普拉斯（Laplace）早在1796年发表的星云说，其主要来源于康德（Kant, 1755）。拉普拉斯认为，回溯到十分遥远的时候，太阳是一个转动的气体星云。在普遍的重力引力作用下，星云逐渐收缩，而其转动变得越加快速。于是，拉普拉斯认为，在星云外层的离心力超过星云的重力引力时，作为一个整体的气体物质被抛了出来，正如转动充分快速时，泥块被抛到转动轮的边缘之外一样。被抛出的物质后来形成一个在星云赤道平面内转动的环，象土星环那样。星云继续收缩，使环的物质缓慢地聚拢成气体物质的单独集合，它进一步凝聚并冷却，发展成绕中心物体转动的行星。星云进一步收缩及其转动速度的增加，结果使另一部分物质被抛出来，形成另一个行星，过程如前所述。

拉普拉斯假说的原始形式，在本世纪初已经一般地被放弃。在其方案中有两个主要的难点：

1. 1859年J.C.Maxwell与1900年F.R.Mouton都指出，如果将现在行星的质量沿拉普拉斯环展开，则环永远不能聚合成行星。在这方面放弃拉普拉斯的土星环类比是有意义的。Maxwell研究环的稳定性证明，不管组成如何，它永远不能象拉普拉斯设想的那样，集合成