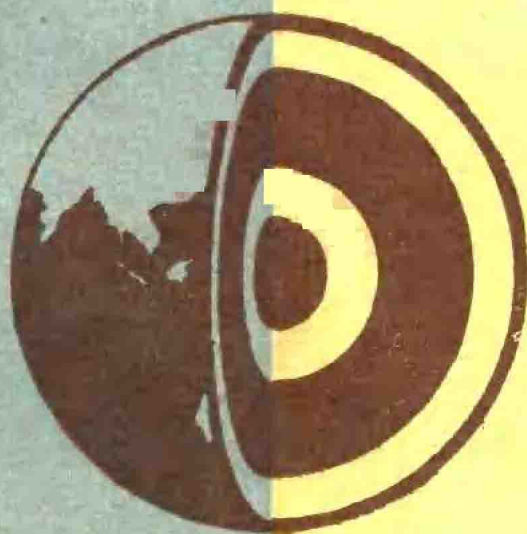


● 王家映 编

地球物理学

● 中国地质大学
出版社



高等学校试用教材

地球物理学

中国地质大学出版社

内 容 简 介

地球物理学是近几十年来应用最广、发展最迅速的一门地球学科。本书较系统地介绍了地球物理学的基本理论,基本方法,以及用以研究地球内部状态和结构的某些最新资料和最新成果。

全书共分五章。第一章从太阳系和地球的关系向读者简要介绍我们借以寄居的这颗星球的现状、历史及其演化,给人一个粗略的印象;第二、三、四、五各章介绍应用地球物理学研究地球的现状和历史的一般方法及其主要最新结论。

全书约20万字。内容简明扼要,避免较多的数学推导,比较通俗易懂,具有较大的适用范围。可作为地质院校物探专业的教材,也可作其他专业《地球物理学》参考书。

地球物理学

主 编 王家映

责任编辑 刘先洲

中国地质大学出版社出版

湖北省石首市第二印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 9.375 字数 228千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数 1—2000册

ISBN 7-5625-0060-0/P·28

定价: 1.75元

前 言

现在正处在地球科学大发展的时代。而在新地球观的形成过程中，地球物理学起了很大的促进作用。因此，学习地球物理学不仅成了地球物理专业的学生，而且也是一般地质工作者的强烈愿望和共同要求。

为适应地球科学蓬勃发展给教学提出的要求，促进地球物理学的进一步发展，从1984年起，我们给物探专业的学生开设了这门课。经过多年的试用、修改和补充，在原讲义的基础上，编写成了这本教材。

在编写过程中，詹正彬副教授为第二章的资料收集和编写作了大量工作，陈思群、杨雅仙同志绘制了全部图件；周国藩教授、张昌达高级工程师抽暇为本书审阅，特此致谢。

由于本人水平有限，加之时间仓促，因此在内容取舍、章节编排、文字叙述、图表绘制等方面难免有不妥甚至错误之处，欢迎读者提出宝贵意见。

作者

1987年10月 于武昌

绪 言

“地球物理学”是应用物理学的方法研究地球的一门科学。“Geophysics”是从希腊文译成英文的，其原意就是地球的物理学。它和地质学、地理学、地球化学一样在地球科学中占有重要地位。

地球物理学研究的范围包括从最深部的地核直至大气圈边界的整个地球。因此它包含了许多学科，涉及了极其广泛的领域。根据研究的对象或使用的方法不同，可以对它进行分类。由于我们每天都和地球的大气圈、水圈和岩石圈打交道，所以把它划分为大气物理学、流体物理学和固体地球物理学。这种划分地球物理学的方法是根据从地心向外物质状态的差异。但是，当我们讨论地球物理现象时，就会感到这种划分法有不足之处。因为大气圈、水圈和岩石圈不是固定不变的，在一定条件下它们是可以互相转化的。而且物质状态，也并不涉及人们早已熟悉的物理场的本质。然而，在实际应用中，人们已经部分地接受了这种方法，甚至默认地球物理学是指研究“固体地球”这部分的物理学这一狭义的定义。本教材所指的“地球物理学”就是这种含义。

从理论和实践的关系上，又把地球物理学划分为理论（或纯）地球物理学和应用地球物理学。本文所讲的内容属于理论地球物理学的范围。

即使在狭义的地球物理的辖域内，也涉及许多研究领域（图1）。我们将对它们作一个简单的介绍。

“地震学”（Seismology）：“Seismos”是一个希腊文，意思是“地震”。因此 Seismology 就是一门研究地震的科学，研究地震的产生，地震波在地球内部的传播以及地球的速度结构等问题的科学。

“大地测量和重力测量学”（Geodesy and Gravimetry）：是一门研究地球的形状，重力场的观测与解释，潮汐以及地球密度结构等问题的科学。

“地磁学和地电学”（Geomagnetics and Geoelectricity）：是一门研究地磁场的起因、地磁场和地电场的特征及其在研究地球的电学和磁学性质中的作用的科学。近年发展起来的“古地磁学”，是地球物理学的一个重要分支，它研究地球磁场的历史及其在地质学特别是板块构造学说中的应用。

“地热学”（Geothermicity）：是一门研究地球热场的测量、分布、起因和利用的新兴学科。有的科学家认为，地球物理学今后的面貌，必然和地球的热状态联系在一起。因此近年来人们大力开展了地热场、火山、地球的放射性以及地球化学生热等问题的广泛研究。

“大地构造物理学”（Tectonophysics）：我们知道，在地球内部存在的应力和应变，引起了地球表层极其巨大的位移，这种现象叫大地构造运动。研究地球内部这种应力的产生和作用，区域构造和全球构造的物理特性的科学叫大地构造物理学。

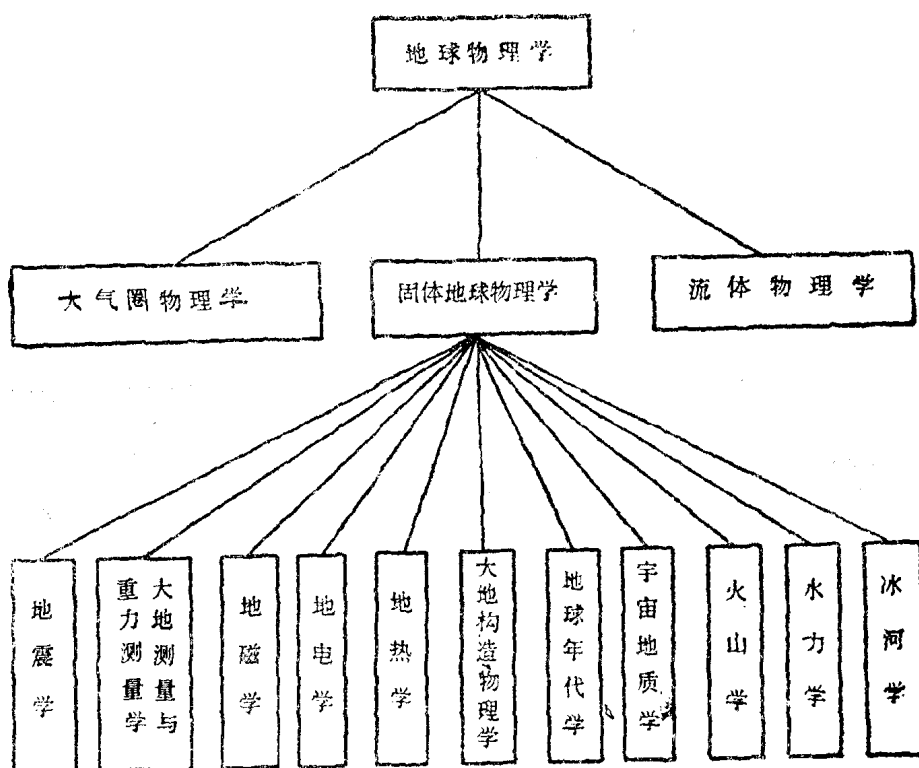


图1

“地球年代学” (Geochronology)，是一门用物理的方法研究地球历史事件的年代测定的科学。

应该指出，随着科学的发展和时间的推移，新的现象的发现，必将形成崭新的地球物理学分支，同时也会促使现有地球物理学各分支的补充和完善。

人类对地球物理现象的研究从远古就开始了。东汉的张衡就是一位地震学家，唐朝的僧一行就是一位大地测量学家。现代物理学也可以说是从研究地球物理问题开始的。正是由于研究地球和月球的运动，牛顿才发现了万有引力定律。牛顿以后的许多数学家和物理学家都对地球物理学研究作出过重要的贡献。A.C.Clairaut研究地球的形状，C.F.Gauss研究地磁场，P.S.Laplace研究地球的起源，L.Kelvin研究地球的弹性、热传导和许多其他地球物理问题。当代的诺贝尔奖金获得者有好几位也致力于地球物理问题的探讨。

地球物理学的发展并不是一帆风顺的，在发展过程中也曾有起伏变化。这是由于生产的需要和科学本身的发展所决定的。一度曾在18、19世纪中盛极一时的地球物理学，而在20世纪初叶由于没有取得什么决定性的进展几乎被人忘记；相反，在这段时期内物理学却接连出现了许多引人注目的发现。到了本世纪30年代，由于地球物理勘探方法显示出了优异的效果，此后地球物理学才又为人注意。

在地球物理学的发展过程中，各个分支之间的关系也在不断进行调整。重力理论和重力测量曾经是地球物理学的一块柱石，但是20世纪以来，直至60年代，除重力探矿以外，它几乎不大受到重视，而人造卫星的上天又给地球重力的研究开辟了一个新的途径。在重力学受到冷遇的时候，地震勘探却取得了突飞猛进的发展。

在地球物理探矿大踏步前进的同时，对地球内部的研究也取得了重大的进展。其

标志就是“板块大地构造假说”的建立。板块说是地学发展史上的一个里程碑。其意义之重大和影响之深远可以与现代科学的任何重大发现相媲美。板块学说的建立不是闭门造车的结果，而是根据多年积累的大量资料（地震、地磁、古地磁、重力、海上地球物理观测、地热、地质、深井等）提出来的。这是一项综合性的研究成果，其中地震学起着最显著的作用。

1960年到1970年有50多个国家参加的国际“上地幔计划”为板块学说的建立作出了重要贡献。其主要研究内容包括：①全球性的地壳断裂系统；②大陆边缘地带及岛弧的构造；③地幔的物质成分及地球化学过程；④地壳及地幔的结构及其横向不均匀性。

1974年到1979年期间的“地球动力学计划”在研究板块运动的驱动力方面又有了新的认识。地球动力学计划的完成并不意味着地壳和上地幔研究的终结。因此在此之后，80年代国际上又提出了岩石圈计划，这是合乎逻辑的。这个计划的中心课题是岩石圈的现状、形成、演化。重点在研究各大陆和陆缘，也包括海底岩石圈的进一步研究。毫无疑问，这些计划对推动地球物理学的发展起了并正在起着积极的作用。

现代科学的一个重要特点是互相交叉，在地球物理学各分支之间已经形成了自己互相交叉和渗透的独特的格式。因此任何试图硬性割裂地球物理学各分科，在它们之间画一条不可跨越的鸿沟，都是错误的。随着科学的发展，各学科都趋于互相交叉，互相渗透和补充，不存在一种“与世隔绝”的分支。例如大地构造物理学就和地震学、地热学、重力学、火山学、古地磁学等有关。再如地热学，它不但与火山学、地震学、放射性科学有关，同时还与大地构造物理学、宇宙地质学等有关。

还必须指出，想在应用地球物理学和理论地球物理学之间架设一道人为的屏障也是徒劳的。它们之间的区别仅仅在于，前者偏重于应用和解决局部问题，而后者偏重于理论和研究全球问题。它们在理论基础、研究方法、使用仪器的原理等方面都没有明显的区别。

最后还应该强调，把地球物理学作为一门孤立的学科来研究，更是不可思议的。因为它是从地质学和物理学发展起来，以物理学为基础研究地球的一门边缘科学。随着地质学家采集资料使用工具精度的提高，解释手段的现代化，他们需要更多的地球物理知识；随着勘探目的层的加深，矿体复杂程度的加大，地球物理学家也需要更多的地质知识对自己进行补充。因此那种传统地根据定性和定量工作来划分地质学和地球物理学的概念已日趋消失。只有地质学家、地球物理学家和地球化学家以及众多的数学家、物理学家、化学家、天文学家等共同努力，联合一致才能更好地完全了解和研究地球这一共同课题。

作为一个勘探地球物理学家，担负着为祖国寻找宝藏的神圣任务。向地球开战，“打入地下，准备上天”，这是一场艰巨的战斗。打仗就要有战略和战术。知己知彼才能百战百胜。只有知道地球这个全局，了解您所勘探的区域，才能更好地指导地球物理勘探的布局。了解区域正是地球物理学的任务；其次作为地球物理学家，特别是作为勘探地球物理工作者，必须熟知您所用的地球物理方法的效果和局限性，而且要深知地球物理反演问题的多解性。我们强调各个学科之间的相互联系和渗透，但并不否认它们所依据的物理场的性质及其解决地质问题的能力上的差别和不同。只有巧妙地利用各种方法之间的差别，才能克服它们各自的局限性，减少解的非唯一性。毫无疑问，单靠某一种地球物理方法要完成揭开地球的秘密这样一个极其困难和复杂的任务，是完全不可能的。只有多兵种、大兵团配合作战，综合使用各种地球物理方法，作到互相补充，才能凑效。这正是学习地球物

理学的目的；第三，作为一个勘探地球物理学家，不但要有牢固的数学和物理基础，而且要有坚实的地质和地球物理基础。学习地球物理学就是为了打好这个基础，为今后地球物理学的发展准备条件。

目 录

前言

绪言	(1)
----------	-------

第一章 太阳系和地球	(1)
------------------	-------

§ 1 太阳系	(1)
---------------	-------

§ 2 太阳系的起源	(4)
------------------	-------

1. 灾变说	(5)
--------------	-------

2. 俘获说	(5)
--------------	-------

3. 原始星云说	(5)
----------------	-------

4. 次生星云说	(6)
----------------	-------

§ 3 地球的运动	(6)
-----------------	-------

1. 地球的自转	(7)
----------------	-------

2. 地球的公转	(9)
----------------	-------

3. 地球的平动	(10)
----------------	--------

§ 4 地球的结构和物理性质	(10)
----------------------	--------

1. 地球的外貌和形状	(10)
-------------------	--------

2. 地球的结构	(11)
----------------	--------

3. 地球内部的物理性质	(12)
--------------------	--------

§ 5 地球的大气圈和水圈	(15)
---------------------	--------

§ 6 岩石圈板块及其运动: 板块构造说 (一)	(17)
--------------------------------	--------

§ 7 地球的演化	(20)
-----------------	--------

第二章 地震学	(22)
---------------	--------

§ 1 地震学及其研究内容	(22)
---------------------	--------

§ 2 地震波的基本概念	(23)
--------------------	--------

1. 弹性体和弹性形变	(23)
-------------------	--------

2. 应力和应变	(23)
----------------	--------

3. 虎克定律的一般形式	(25)
--------------------	--------

4. 波动方程	(27)
---------------	--------

§ 3 地震波的反射和折射	(28)
---------------------	--------

§ 4 地震射线理论	(30)
------------------	--------

1. 水平层状介质中的地震射线	(31)
-----------------------	--------

2. 球对称介质中的地震射线	(32)
----------------------	--------

§ 5 走时曲线	(33)
----------------	--------

1. 近震和地方震的走时曲线	(34)
----------------------	--------

2. 远震的走时曲线	(38)
------------------	--------

§ 6	由走时曲线求地球内部地震波速度结构	(39)
1.	拐点法	(39)
2.	积分法	(40)
§ 7	面波及其应用	(42)
1.	瑞利波	(42)
2.	洛夫波	(43)
3.	面波的群速度与相速度	(46)
4.	面波色散曲线的求取与反演	(46)
§ 8	地球的自由振荡及其应用	(48)
§ 9	速度和地球其他物性之间的关系	(50)
§ 10	地球介质的非弹性	(53)
§ 11	几种地球模型评述	(54)
1.	布伦的分层模型	(55)
2.	安德森-哈特模型	(55)
3.	初步参考地球模型	(55)
§ 12	天然地震	(59)
1.	地震的分类和分布	(60)
2.	地震的几个基本名词和概念	(62)
§ 13	震源机制	(64)
1.	P 波的初动与震源机制	(64)
2.	S 波的初动与震源机制	(66)
§ 14	地震参数及其确定	(67)
1.	发震时刻 (T_0)	(67)
2.	震中位置的确定	(68)
3.	震源深度的确定	(68)
4.	震级的求法	(68)
5.	最小方差法	(68)
第三章	重力学	(71)
§ 1	位场简介	(71)
1.	重力与重力场	(71)
2.	重力位和拉普拉斯方程	(72)
3.	其他有关的物理量	(73)
§ 2	大地水准面和地球的形状	(75)
1.	地球的基本形状	(75)
2.	大地水准面形状	(78)
3.	地球形状参数	(80)
4.	国际正常重力公式	(80)
§ 3	重力校正和地壳均衡说	(81)
1.	普拉特假说	(82)

2. 艾利假说	(83)
§ 4 重力异常和地球内部构造	(84)
§ 5 潮汐	(87)
1. 起潮力位	(87)
2. 潮汐的规律性	(89)
§ 6 固体潮	(91)
§ 7 潮汐摩擦和地月系统的历史	(95)
第四章 地磁学	(100)
§ 1 基本地磁场	(100)
1. 地磁要素	(100)
2. 地磁场的球谐分析	(101)
3. 高斯系数的确定与内外源场的区分	(102)
4. 国际地磁参考场 (IGRF)	(104)
5. 偶极子的磁场	(104)
6. 地磁异常	(106)
§ 2 基本地磁场的长期变化和向西漂移	(107)
§ 3 基本地磁场的成因	(108)
1. 历史回顾	(108)
2. 发电机说的产生	(108)
§ 4 古地磁学: 板块构造说 (二)	(110)
1. 岩石的剩余磁化	(110)
2. 极移和大陆漂移	(111)
3. 地磁倒向和海底扩张	(112)
§ 5 地球的变化磁场	(115)
1. 平静变化	(115)
2. 扰动变化	(115)
§ 6 电磁感应与地壳的电性结构	(119)
1. 基本方程	(119)
2. 主要方法	(120)
3. 关于地球电性的某些结果	(121)
第五章 地热学	(123)
§ 1 岩石的热学性质	(123)
1. 热导率 (K)	(123)
2. 常压下的比热 (C_p)	(123)
3. 热扩散率 (χ)	(123)
§ 2 地温梯度和大地热流值	(124)
§ 3 全球热场分布和我国的热流数据	(125)
1. 海陆热流值几近相等	(125)
2. 海洋地区热场的分布特点	(126)

3. 大陆地区热场的分布特点	(127)
4. 我国的热流值数据	(127)
§ 4 地球中的热传递	(128)
1. 热传导 (声子传热)	(128)
2. 热辐射 (光子传热)	(129)
3. 热激发 (激子传热)	(129)
4. 热对流	(130)
§ 5 地壳和上地幔的热结构	(130)
§ 6 地球内部的温度分布	(132)
1. 地壳和岩石圈的温度	(132)
2. 地幔温度	(133)
3. 地核温度	(135)
4. 地球内部的温度分布	(135)
§ 7 地球的热历史	(136)
参考文献	(138)

第一章 太阳系和地球

地球科学(包括地球物理学)是以地球为研究对象的一门综合性科学。它研究地球的形状、运动、物理化学特性、结构和演化等。今天是昨天的继续和发展,研究地球的现在,必须知道她的过去,只有了解地球的现在和过去,才能更好地预测她的未来,使她更好地为人类服务。为了认识地球的现在和过去,我们还需从太阳系说起,即从较大的时间和空间的尺度上来认识我们这颗得天独厚的行星。

§1 太 阳 系

现在我们都知,地球——这颗在太空中翱翔的蓝色明珠,只是太阳系中的普通一员。而太阳只是银河系中亿万颗恒星中的一名小卒。银河系只是宇宙太空中沧海一粟,银河系外还有无数个河外星系。地球不是宇宙的中心,太阳系也不象哥白尼的日心说那样是宇宙的中心,甚至也不是银河系的中心。科学的结论是无情的。现在已经查明,太阳系只是在不断旋转着的带有旋涡状的扁平状的银河系之旋臂上的一个小点,如图1-1和1-2所示。

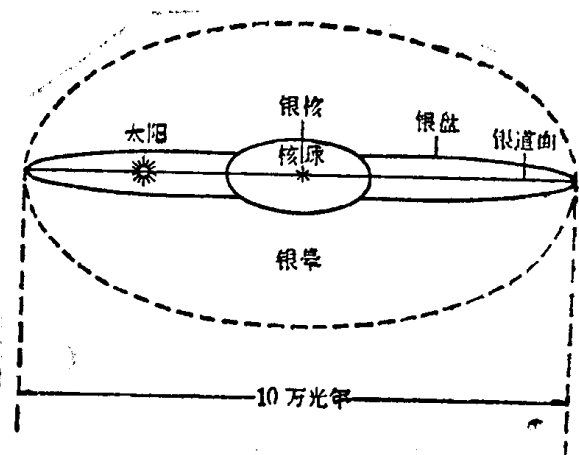


图1-1 银河系侧视图

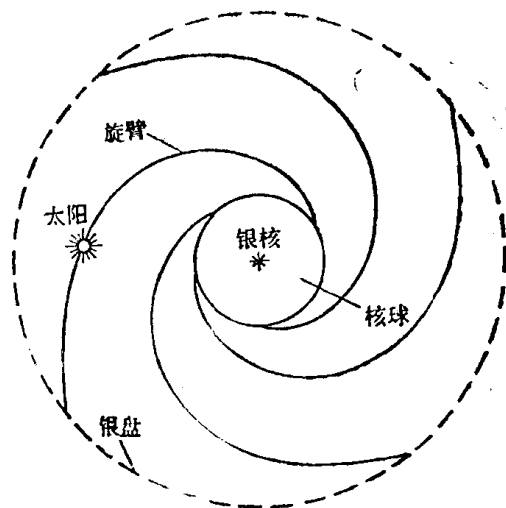


图1-2 银河系俯视图

太阳系有九大行星。它们是:水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。除此以外,现已发现在火星和木星轨道间至少还存在30 000颗小行星,其中最大的一颗叫谷神星(Ceres),是1801年发现的,直径约730km。

九大行星中,大多数都有自己的卫星,最多的是木星,已发现有12个卫星。卫星也是太阳系的组成部分。

彗星也是太阳系的成员。到目前为止,已观测到的彗星有1500多颗。其中计算过轨道

的有 600 多颗，而暗弱彗星占多数。它们绕太阳运行的轨道和周期也各不相同。最短的周期只有 3.3 年。彗星的轨道有椭圆的，也有双曲线和抛物线的。具有双曲线和抛物线轨道的彗星，只不过是太阳和地球身边的“过路客人”，它们差不多是一去不复返了。当彗星从太阳和地球身边路过时，壮丽的彗尾，耀眼夺目，给人以难忘的印象。彗星的出现，并不表明灾难的降临，而是一种天体的自然现象。它非但不是不吉祥的预兆，而且为人类提供了研究太阳系的起源和演化的难得的良机。

表 1-1 列出了太阳系的特性。可以看出，太阳系中最大的行星是木星，其次是土星，海王星和天王星。地球的体积只有太阳的一百三十万分之一，质量是太阳的三十五万分之一。在太阳系家族中，地球是一个比较小的成员，但按距太阳的远近，她却排行“老三”。

表 1-1 太阳系的特性

星 体	平均密度 (g/cm ³)	总质量*	平均半 径(km)	转动周 期(天)	已发现的 卫星数	恒星周期 〔年(a)〕	平均距日距离 〔天文单位(A)〕	轨道偏 心率	轨道对黄道 的倾角(rad)	其他
太 阳	1.4	333441	696000	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	5.5 ²	1.10123	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	69900	0.40	12	11.865	5.2037	0.049	0.0228	
土 星	0.68	95.2254	58500	0.43	10	29.650	9.5803	0.051	0.0434	
天王星	1.56	14.5805	23300	0.89	5	83.744	19.1410	0.046	0.0135	
海王星	2.23	17.2642	22100	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	

* 把地球质量记为 1.10123 单位，计算太阳和其他行星的质量。

如果我们以地球和太阳之间的平均距离 14 960 万 km 作为一个天文单位，最远的冥王星距太阳有 39.5 个天文单位（即 59 亿 km）。

根据天文学的观测和研究，我们相信，太阳系在同一时期形成。因此，关于地球起源的学说既要能解释地球的形成，也要能解释太阳系及其他行星的起源。事实是各种学说的检验标准。现在是过去的钥匙。“将今论古”是地质学分析问题的方法。人们正是根据太阳系的现状，它的规律性提出了太阳系起源的各种假设。当今太阳系有哪些规律性呢？从表 1-1 可以看出

1) 轨道的规律性：

共面性——行星的轨道几乎在同一个平面上，且和太阳的赤道平面接近；

同向性——行星的公转方向，除金星、天王星和冥王星外都和太阳的自转方向相同，为反时针方向。所以人称太阳系是一个反时针运动系统；

近圆性——行星的偏心率都很小，除了水星（0.206）和冥王星（0.250）以外都小于 0.1。

大部分卫星也具有共面性、同向性和近圆性等轨道特点，这种卫星称为规则卫星。太阳系中不规则卫星只是少数。

2) 角动量的分布

角动量或动量矩是转动物体动量的一种量度。太阳系中有行星绕太阳、卫星绕行星公

转的轨道角动量，行星、卫星和太阳的自转角动量等。根据计算列于表 1-2。

表 1-2

角动量类别	角动量数值 ($\text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$)	占太阳系总角动量的百分比
行星的轨道角动量	3.1361×10^{50}	99.3928
行星的自转角动量	3.1348×10^{45}	0.000 99
卫星绕太阳转的角动量	8.8625×10^{46}	0.0281
卫星绕行星转的角动量	5.415×10^{43}	0.000 017
卫星的自转角动量	1.533×10^{38}	0.000 000 000 07
太阳绕太阳系质心转的角动量	2.0542×10^{47}	0.579
太阳的自转角动量	1.63×10^{48}	
小行星的公转角动量	1.2996×10^{44}	0.000 04
太阳系的总角动量	3.1553×10^{50}	

太阳的质量占整个太阳系的99.865%，而角动量只占0.6%不到；行星及卫星的质量虽小，但角动量却占99.4%。这就是太阳系角动量分布的主要特征。

对卫星系统基本上不存在角动量特殊分布问题。行星的总角动量等于太阳角动量的170倍，但对木卫系、土卫系、天卫系，卫星绕行星的轨道角动量总和只有行星自转角动量的百分之一左右。

3) 距离分布——Titius Bode定则

如以天文单位 (A)表示行星距太阳的距离；则根据 Titius Bode定则，行星到太阳的距离：

$$r_n = 0.4 + 0.3 \times 2^n \quad (\text{天文单位}) \quad (1.1)$$

式中，水星的 n 取 $-\infty$ ，金星取 0，地球取 1，火星取 2……，冥王星取 8。

从表 1-3 可以看出，按 Titius Bode定则计算的 r_n 值，除海王星和冥王星以外，与观测值都非常相近。

表 1-3

行 星	r_n 观测值	r_n 计算值
水 星	0.387	0.4
金 星	0.723	0.7
地 球	1.000	1.0
火 星	1.523	1.6
木 星	5.203	5.2
土 星	9.52	10.0
天 王 星	19.2	19.6
海 王 星	30.2	38.8
冥 王 星	39.5	77.2

4) 质量和密度分布

如果我们把九大行星分为两组，从表 1-1 可以看出，内行星（水星、金星、地球、火星）密度高，平均为 $4\text{g}/\text{cm}^3$ ；而外行星密度低，平均约为 $0.7\text{—}1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

根据行星的性质，有人又把九大行星分为三类：类地行星（水星、金星、地球、火星），巨行星（木星、土星）和远日行星（天王星、海王星、冥王星）。

从表 1-1 不难看出，行星的大小和质量的分布是两头小、中间大。即类地行星和远日

行星小，巨行星大，而密度的分布是类地行星大，远日行星次之，巨行星最小。而且三类行星的化学组成也有很大的差别。类地行星的成分主要是Fe、Si、O、Mg、S、Ni等，而巨行星和远日行星的密度接近水，所以估计由H₂O、NH₄、CH₄等组成，并且挥发物质丰富。

除月球以外，其他卫星的质量、半径和密度的误差都很大。原因之一是观测误差。据分析，规则的木卫、土卫和天卫在质量和大小的分布方面也有两头小，中间大的趋向。

5) 年龄

根据放射性同位素的测定，地球、陨石和月球的年龄都大约为45亿年。如果太阳系中所有行星、陨石等都在同一个时期形成，那么它们的年龄也应为45亿年。

6) 太阳系天体的自转

九大行星的自转情况，经过长时间大量的观测、研究，到本世纪60年代才全部测定出来(表1-4)。从表1-4可以看出，类地行星和远日行星自转慢，而巨行星自转快。

表 1-4

行 星	自 转 周 期	赤道和轨道交角(e)
水 星	58.6天	<28°
金 星	243天	177°
地 球	23时56分4.1秒	23°27′
火 星	24时37分22.6秒	23°59′
木 星	(赤道)9时50分5秒	3°05′
土 星	(赤道)10时14分	26°44′
天 王 星	(24±3)时	97°55′
海 王 星	(22±4)时	28°48′
冥 王 星	6.3867天	>60°

太阳的自转呈现表面“赤道加速”现象。即赤道处自转最快，纬度越大，自转越慢。赤道自转周期为25.4天，纬度15°处25.5天，30°处26.5天，60°处31.0天，靠近两极处约35天。据研究，太阳内部的自转速度可能比表面大十倍到几十倍之多。

§ 2 太阳系的起源

辩证唯物主义认为，任何事物都有它的产生、发展和衰亡的过程，太阳系也不例外。

太阳系的起源，也即地球的起源问题，很早就被人们所注意。早在2200年前，战国时代大诗人屈原在他的《天问》中就有了从混沌中产生天地的思想；唐代柳宗元（公元773—819年）在《天对》中把天地的起源归结为元气的运动变化；在明代一本叫《蒙龙子》的书里，对宇宙的起源问题，作了十分深刻的阐述：“或问天地有始乎？曰：无始也。天地无始乎？曰：有始也。未达曰：自一元而言，有始也；自元元而言，无始也”。这里所谓的“元元”指宇宙，“一元”指一个世界。换言之，从一个天体来说，是“有始”的，即有起源的。但宇宙是“无始”的，即没有起源，宇宙是不生不灭的，在时间上是无穷无尽的。

但是，由于时代的局限，古人只能提出一些有关地球起源的朦胧的思想。随着科学的进步，太阳系的起源问题，才又被提到议事日程上来，人们对于太阳系的起源这一基本理

论问题的认识，才逐步深化。从1775年康德根据牛顿的万有引力定律，提出星云说以来，国际上先后提出过40多种假说，归纳起来，主要有“灾变说”、“俘获说”、“原始星云说”，以及“次生星云说”。

1. 灾变说

这种假说认为，太阳系的形成是某种极其偶然事件的结果。如恒星和原始太阳相碰，或恒星走到原始太阳附近时，从太阳“拉出”一些物质，并给它以相对太阳而言的巨大的角动量，这些物质后来就形成了行星和卫星。“灾变说”认为太阳先形成，行星和卫星后形成。

1745年，法国生物学家布封（G.L.L. Buffon, 1707—1788）在《一般的和特殊的自然史》中，提出了第一个行星形成的“灾变说”。认为一颗彗星掠碰了太阳，行星、卫星是由撞出的太阳物质形成的。布封的学说，虽然在科学上是错误的，但在反对宗教的上帝创造说中起过进步作用。“灾变说”的兴旺时期是本世纪初叶，从1900年以来，先后提出了各种各样的“灾变说”，其中著名的有张伯伦（T.C. Chamberlain, 1843—1928）和摩尔顿（F.R. Moulton, 1872—1952）在1900年提出的“星子假说”（过去又称“微星假说”）；金斯（J.H. Jeans, 1877—1946）于1916年提出的“潮汐假说”；捷弗里斯（H. Jeffreys）1924年提出的“碰撞假说”；罗素（H.N. Russell, 1877—1957）1935年提出的“双星假说”等等。

2. 俘获说

风靡一时的俘获说是1944年由O.Ю.施密特（O.Ю. Шмидт, 1891—1956）提出来的。有时又被称为“陨星学说”。这个学说认为太阳比行星先形成。几十亿年前太阳在银河系星际空间里运动时，和一个星际物质云相遇，穿过这个由气体分子和固体质量组成的云。穿过星云时，太阳的光压把小的质点推开，但可俘获较大的质点和一些气体。太阳在离开星际云以后，就被一个气体尘埃云围绕着，它提供了形成行星和彗星的物质，所以称为“原行星云”，简称“原云”。原云从一开始就具有一定的角动量，质点都绕太阳转动，但轨道是多种多样的。施密特认为原云内主要是尘埃，尘埃在偏心率、长短半径、公转轴取向等都相差很多的轨道上运行，大部分朝同一方向顺行，小部分逆行。这样，质点之间便发生碰撞，有些结合在一起，逐渐增大而成为固体块，即行星的前身——行星胎。行星胎在绕太阳运行时，把它周围的尘埃、小固体块和气体都吸引过去，体积和质量逐渐增大，最后形成行星。

质量结合形成行星的过程中，运动轨道逐渐“平均化”，轨道面更接近于不变平面。施密特认为卫星的形成是行星形成的附带结果。

按施密特的意见，地球从来不是全部炽热的或气态的，而是由冷的尘埃般的陨石物质形成的，这是施密特假说不同于其他假说的地方。

俘获说虽有其合理的地方，但仍存在许多没有解决的问题。例如，当太阳和星际物质云的角动量相差很大时，俘获是不可能的。1953年施密特自己也承认这一点。

3. 原始星云说

原始星云说属于“渐变说”范畴。这种学说认为，太阳系乃由同一原始星云物质形成，行星和卫星是由一度围绕太阳的星云盘物质凝聚而成的，并非某种偶然突变性事件的结果。

1755年，康德（I. Kant, 1724—1804）根据牛顿的万有引力定律，提出了关于太阳系