

目 录

序言

第一章 地 球..... 1

1. 地球——我们居住的行星 2
2. 地球概观 3
3. 地球上的水 8
4. 固体地球 12
5. 大气 14
6. 能量 16
7. 地球的年龄 19
8. 大陆漂移 22
9. 时间方面——
地球上周期性
和演化性变化 25

第二章 天文观测 31

1. 来自空间的辐射 32
2. 恒星的亮度 35
3. 天文学家的工具
..... 37
4. 观测光谱 40
5. 星象宁静度 44
6. 发射和吸收过
程 45

第三章 太 阳 57

1. 太阳的性质 58

2. 太阳活动性 64

3. 太阳能源 71

4. 太阳射电及 X 射线 74

5. 日地关系 77

第四章 月 球 82

1. 观察月球 83

2. 撞击月球 36

3. 无人宇宙飞船 获得的科学成 果 39

4. 阿波罗载人登 月的科学成果 91

5. 月球的内部 95

6. 月球的起源和 演化 97

第五章 行 星 101

1. 行星的运动 102

2. 日心太阳系 105

3. 类地行星 108

4. 大行星 130

5. 太阳系的其它 成员 137

第六章 恒 星 149

1. 观察恒星	150
2. 恒星的颜色	152
3. 星团和星协	153
4. 赫罗图	156
5. 恒星光谱	159
6. 测定恒星温度	164
7. 双星	165
8. 恒星的大小	167
9. 恒星的星族	169
10. 非一般类型的 恒星	172

第七章 银河系187

1. 恒星的分布	188
2. 银河系的自转	192
3. 银心	194
4. 星际尘埃	195
5. 星际氢	197
6. 银河系射电信 标	202
7. 其它星际原子	202
8. 星际分子	204
9. 星际颗粒的起 源	208

第八章 星系和宇宙214

1. 星系的分类	215
2. 本星系群	220
3. 本星系群以外 的红移	223
4. 附近的星系	226

5. 非寻常星系	231
6. 射电星系	233
7. 类星体	236
8. 哈勃定律	238
9. 星系际空间	242

第九章 相对论和

宇宙论248

1. 宇宙模型—— 牛顿的观点	249
2. 奥尔勃斯佯谬	253
3. 狭义相对论	254
4. 广义相对论	257
5. 宇宙学原理	262
6. 弯曲的时空	263
7. 宇宙的膨胀	265

第十章 宇宙论——

宇宙演化275

1. 大爆炸模型	276
2. 早期的宇宙	281
3. 大爆炸当中元 素的形成	284
4. 星系的形成	287
5. 大爆炸的证据	291
6. 宇宙是开的还 是闭的?	294
7. 稳恒态模型	295

第十一章 恒星和

星系的 演化299

1. 恒星演化概要	300
2. 星际气体云—— 恒星诞生的地 方	302
3. 太阳的诞生	306
4. 主星序上的太 阳	309
5. 太阳将来的演 化	310
6. 其它主星序恒 星	313
7. 恒星的年龄	314
8. 晚期恒星演化 的原则	316
9. 恒星衰亡	318
10. 磁场和自转在 恒星形成上的 影响	323
11. 恒星演化小结	327
12. 银河系的形成 和第一代恒星	330
13. 以后各代恒星 的形成	332
14. 星系演化概观	335

第十二章 太阳系

的起源340

1. 太阳星云	341
2. 陨石的研究	242
3. 太阳星云的塌 缩	345

4. 太阳星云中的 对流	347
5. 早期的凝聚	349
6. 行星和太阳的 形成	351
7. 卫星和彗星的 形成	353
8. 与星际物质的 关系	355
9. 其它行星系的 含义	356
10. 与观测比较	357

第十三章 早期地球

.....361

1. 地球起源	362
2. 地球原初是熔 化的吗?	366
3. 大气的起源	368
4. 为什么是碳?	373
5. 原始地球上的 能源	375

第十四章 生命的

起源和

演化382

1. 问题	383
2. 从原子到人类	384
3. 生命的定义	386
4. 生命起源理论	388
5. 生命的分子基 础	393

6. 模拟实验.....	397
7. 小分子的合成.....	401
8. 聚合物.....	402
9. 细胞的演化.....	405
10. 化石记录	410
11. 人类的演化	420
12. 自然选择	423
13. 从原子到空间 探测.....	424

第十五章 地外生

命

1. 地球生命和地 外生命概观.....	431
2. 生命的顽强性.....	432
3. 地外生物化学.....	434
4. 太阳系中生命 研究的目标.....	436
5. 地外的智能生 命.....	437
6. 银河系其它地 方存在生命的 可能性.....	446
7. 通讯方法.....	448

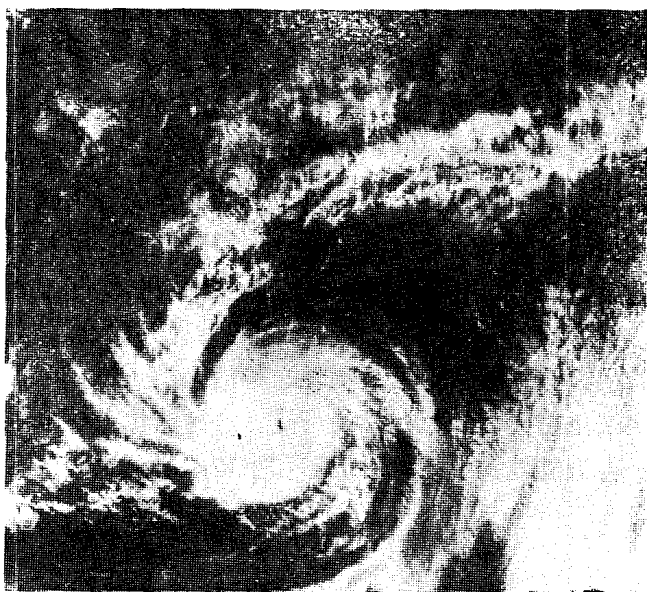
8. 独眼巨人计划.....	452
9. 偶然接收.....	456
10. 过去、目前和 未来的联系.....	458

第十六章 未 来.....

1. 宇宙的未来: 开模型.....	436
2. 闭宇宙的未来.....	463
3. 振荡的宇宙.....	465
4. 星系和恒星的 未来.....	467
5. 太阳的未来.....	468
6. 宇宙中生命的 未来.....	470

附 录.....

A. 视差	471
B. 在天空中给天 体定位	475
C. 太阳的光度、 大小和质量	477
D. 质子-质子链 和太阳中微子	481
E. 测定恒星距离	483



第一章 地 球

宇宙演化课题是讲述宇宙是怎样朝愈来愈复杂的方向演化,终于局部地导致智能生物在地球上发展起来的一个局面。在我们的思想中地球仿佛是巨大的,因为它是我们的故乡。但是太阳系外遥远空间中可能还有无数载有生命的行星在围绕其它恒星运行。

本章中我们将地球作为一个天体来研究,它在绕太阳的周年轨道上运行并且被阳光照暖。只能用地震学方法大概地了解到由岩石和铁组成的地球的内部情况。已对薄薄的地球表层,包括海洋和大气作了极为广泛的勘察;由于来自太阳的

能量流入；这个薄层永远在运动。通过光合作用，植物繁盛起来，这能量也使一切生命成为可能。

精密的定年方法已将地球和太阳系中的其它天体的产生确定于大约 47 亿年以前。那时地球内部强大的能源造成它的表面特征，引起像我们今日所了解的那样的各大陆缓慢地漂移。虽然大陆漂移伴有激烈的火山爆发、地震、以及新的山脉的诞生，却不仅未能阻止地球上的生物演化，实际上还可能帮助了它的演化。新的物种产生，老的物种灭亡，形成愈来愈复杂的生物链。地球上无数物种之一的人类正惊叹宇宙的演化，这演化使人类的存在成为可能。这种演化在整个宇宙中是否一再重复地发生呢？对地球和宇宙的研究表明，这是可能的。

1. 地球——我们居住的行星

我们居住的地球是人类以及直到目前我们所知道的一切生物的故乡。我们开始讲述宇宙演化是把地球作为生命的生活环境。作为代表太阳系或宇宙其它地方的行星的天体来考察的。

地球物质分为三种基本形态：固态、液态和气态，它们构成地球的岩石、海洋和大气。每种形态对生物都起着特殊的作用。除物质外，生物需要能量来维持生存；地球上可供利用的最大能源是阳光，它不断地照射着并照暖地球表面。以这种方式投放的能量最后导致海洋里出现洋流，大气里出现风。但最重要的是它促成了绿色植物的光合作用，因此为大多数生命过程提供了基本能量的储藏所。

乍看起来地球似乎在一个长时期里是不变的，然而我们知道地球曾经与今天大不一样。地球存在的将近 47 亿年的

时间里,大陆漂移了,山脉和海洋出现又消失了。环绕地球的大气完全改变了它的成分。只在地球已经形成并演化到适合于居住的条件时才在地球上出现生命。那时生物开始分化成无数物种,它们之中智慧最高的,具有人性的一类现在能够观察着世界并考虑着它的起源和演化。

2. 地球概观

形 态

每个在校儿童都知道地球是圆的。然而甚至在科学时代的今天,没有多少人能提出支持这个观点的证据。但是亚里士多德(公元前 384—322 年)能够,并且做到这一点。他注意到在月食期间,当地球投射阴影到月球上时,地球的影子总是呈现圆形(图 1.1)。因为每次月食时遮蔽月球的是地球的不同部分,地球的各部分必定都是圆的。因此地球必定是球形的。



图 1.1 月食进行期间地球投在月球上的阴影。弯曲的影子意味着地球也是弯曲的,这首先向古代人民指明地球是圆的。

亚里士多德的论证是理想化科学方法的一个基本例子。他在自然界中已观察到一种规律性,从而提供了一个尝试性的解释,足以用来预示日后的观测。在这情况下,每次月食时阴影总会是圆的,这个预言,已证明为正确,所以即使在今

天没有其它证据(例如从空间拍摄地球照片)可供使用的情况下,我们也有理由接受地球是球形的事实。我们可以在本书里看到,实验证据并不总是这样容易找到的,但我们所讲述的大部分是基于实验事实。然而,对这些事实的解释并不总是容易做到,更不容易取得一致意见。

大 小

地球为球状的一个含义是天空对地球上不同地点的观测者来说应当显得不一样,因为某观察者所见到的位于地平线以上的星,在另一位处于很远距离以外的观察者来说则位于地平线以下。亚里士多德想到了这一点,并且引证了旅行家的经验作为地球是球状的证据。这个现象为测定地球半径铺平了道路。亚历山大城的天文学家爱拉托逊尼斯(公元前276—195年)完成了这项工作。在图 1.2 中描绘了他使用的方法。

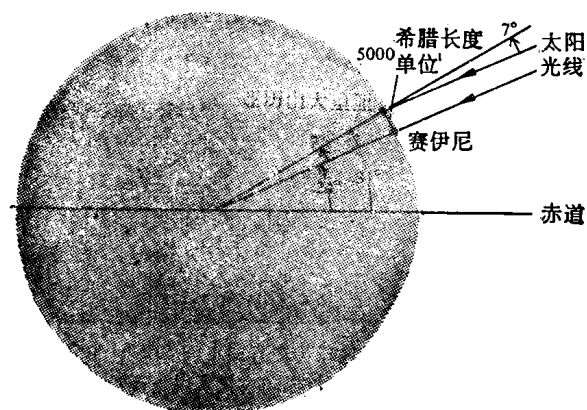


图 1.2 测定地球大小的爱拉托逊尼斯方法。太阳在赛伊尼的天顶(头顶),但在它以北 5000 希腊长度单位的亚历山大,太

阳约在天顶以南 17° , 或约为大圆的 $\frac{1}{50}$ 。因此地球的周长约

为 $50 \times 5000 = 250,000$ 希腊长度单位或约 25,000 英里。

他得到的地球周长数值(25,000英里)很接近于现在的24.837英里(40,030公里),它相当于半径约6000公里^①。

运 动

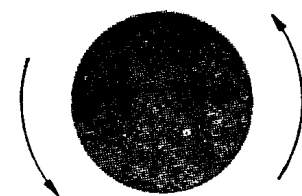
地球绕它自己的轴每天转一周,所以我们看见恒星、行星、月球和太阳在它们的周日运动中从东到西穿过天空。除了绕轴自转外,地球也沿它的轨道绕太阳公转。古人注意到太阳在固定的恒星中呈现出向东的移动,每年完成一周。自哥白尼(1473—1543)时代以来观测者相信这是地球环绕太阳作周年运动的结果。太阳只是看起来象绕地球作周年旋转,恰如从一辆疾驰的车辆上看,前景中的物体看起来好象对于它的背景是在相对地运动那样。地球作轨道运动的一个证据是当以十分遥远的恒星背景对照看时,较近的恒星显出它每年在一个小椭圆路径上运动。这个效应是视差的一个例子,视差是前景中的恒星相对于其背景更遥远的恒星的视位移。(附录A进一步讨论了这种特殊类型的视差)。

在宇宙中的地位

当地球绕太阳运行时,太阳自身不是一直不动的。图1.3中描绘了地球和太阳运动的体系。虽然我们通常不觉得太阳正绕银河系中心运行。银河系是一个巨大的恒星盘,太阳只不过是其中的大约二千亿颗恒星中的一颗。(太阳在银河系中的位置将在第七章中讨论)。太阳(连同它的行星一

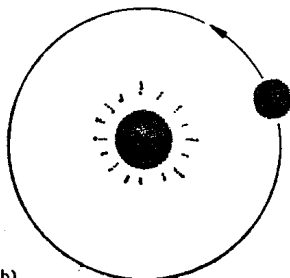
① 本节中我们使用米制,即以米(1.094码)为基准,一厘米是 $1\%(10^{-2})$ 米。一公里是一千(10^3)米。这里10的幂次相应是对0.01和1000的缩写。一般地10自乘P次幂意味着1.0的小数点向右(如P为正)或向左(如P为负)移动部位。但需注意,例如,符号克·厘米⁻²的意义是“克·每平方米”这里负号读作“每”。

地球以大约每秒 0.4 公里
的速度绕轴自转



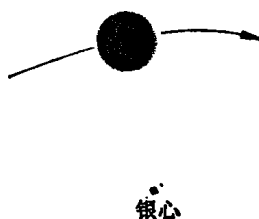
(a)

地球以大约每秒 30 公里
的速度绕太阳运动



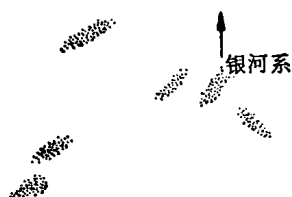
(b)

太阳以大约每秒 250 公里
的速度绕银心运动



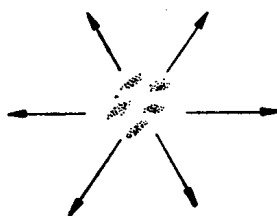
(c)

银河系以每秒几百公里的
速度在本星系群中运动



(d)

遥远星系呈现以每百万秒
差距 50 公里·秒⁻¹的速度
背离银河系退行



(e)

图 1.3 地球所处各运动系统的示意图

起)以每秒 250 公里的速度环绕银河系中心运行。正如地球绕太阳一周需要一年一样,太阳及其行星以二亿五千万地球年(此数称银河年)绕银河系中心一周。一银河年以前恐龙正活跃在地球上。

银河系又是位于称作本星系群的小星系团中。在这星系群里约有 20 个星系成员;有些在大小和外貌上像银河系,而其余的星系则小得很。这些星系以复杂的路径相互环绕运行通过星系际空间的空隙。此外在非常大的距离上有无数的其它星系,估计在数量上同我们银河系中的恒星数目一样多。值得注意的是那些更遥远的星系,它们中的大多数也聚于星系团或群中,都在背离我们退行。离得近的星系中,这个规则有少数例外,但当我们往愈来愈远地看时,我们发现较遥远的星系都在背离我们在退行并且距离愈大速度愈大。

宇宙中的生命

前面我们简短地谈到地球在宇宙中的地位。不幸的是我们尚不能确定人类在宇宙中的地位。数千年来许多人相信地球是宇宙一切事物的中心,而且恒星、行星甚至太阳都围绕地球旋转。这种地球中心说让位于进步的太阳系的日心说(heliocentric 中的 helios 意思是太阳)。本世纪之前人们就不相信太阳本身是宇宙的中心,认为它只不过是无数星系中的一个星系里面的亿万颗恒星之一。

我们关于人类在宇宙中地位的观念迄今尚没有一个相当的演变。我们深深地陷于这种概念总是认为生命仅仅存在于地球上,而有智慧的生物只局限于人类,关于生物我们仍然极端地抱着以人类为中心的观念。几千年以前人类就已考虑到他们在各项事物中的地位问题,但是能使我们相信地球上的

生物已不只是银河系中无数生物圈^①中的一个小小事物的情况还没有碰到过。考虑别处的生命就意味着考虑其它行星上可能存在生物圈。

过去十年左右，出现了许多有关恒星和行星的性质以及演化的新资料，有关以某些分子形成生命基本单位的观点。这些资料综合起来，对于几十亿年以前生命的基础分子如何能在地球上形成的更好的理解。使科学家更有理智地推测地球上生命的演化以及银河系其它行星上生命演化的可能性。虽然我们远远不能毫无疑问地证明其他地方还存在着生命，但是现在却有证据认为本行星之有生命，难以说是唯一的一处。长久以来，已有许多人相信这一点。

3. 地球上的水

从地球的照片上立即看出地球外表的三个主要部分——海洋、大陆和大气，或者正如古人所说的：水、地、风（古代辞典中的第四个元素火，可认为是从太阳到达我们这里的能量）。

水对我们的生命形态是必不可少的。它能取三种物态——固态（冰）、液态（水）或气态（水蒸汽）中的任何一种形态。地球上的水主要是液态——你只需看一下大洋，就可以被存在于地球上的水的数量所倾倒。这对生物是个良好的环境，生物需要液态介质以便从食物中释放能量时所需的化学变化（新陈代谢）能够发生。

海洋不仅藏有大量各种各样的有机物。而且据认为栖息在陆地上的许多物种是古代海洋栖息生物的后裔。对生活条件，一个惊人的返祖现象是人类的血液中保存着水起源

^① 生物圈 指地球上的整个生物系统，类似于专门名词大气圈（大气系统），水圈（水系统）和岩石圈（岩石系统）。

的遗迹，人体血液中盐的补体与海水中的类似。太阳的热不断使水从海洋中蒸发形成云，然后它作为雨而还原给陆地上干渴的生物，事物的这种循环对生命是必不可少的。当然，海洋也是人们的一种基本运输工具，而干扰海洋的波浪和潮汐在航海事业中是重要的。

地球表面上的温度范围在 -50°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ ^①之间；这意味着地球上的水很少沸腾，而且只在高纬度或很高的高度上才结冰。一个例外是水与地下热岩石接触，热岩石将它加热到沸点，产生热喷泉。

地球的水大部分集中在海洋盆地。海洋覆盖地球表面的70%，平均深度为3.8公里，但在任何时候都有它的极小一部分(约 10^{-5})作为水蒸汽、云和降水而悬浮在大气中。但事实上这一小部分虽小，却在大气中迅速循环，供给灌溉土地的湖泊和河流。它对于当代的生物是非常重要的。

在重力的影响下水总是向下流，注入最低的可供填充的容积之中。因此，被太阳的热量从海洋里蒸发出来的水，或者作为液体(雨)或者作为固体(雪或冰雹)最后凝结而落到地面上，而且通过微小的地下溪流到巨大的冰川之类的河川，最后流回海洋。这些河流持续不断地作用，遂将大量的固体的大地从一个地方移到另一个地方(侵蚀作用)。

波 浪

在任何干扰都没有的情况下，海面应当是光滑而平静的。实际上因为各种各样的力不断地干扰海水，海洋绝不是平静的。最重要的干扰力之一是气流。由于摩擦，这些气流激起了波纹，然后波纹受到风力并被风刮得不断增加高度形成波

^① 摄氏温标(百分温标)是按水在 0°C (32°F)结冰，在 100°C (212°F)沸腾而标调动的。

浪。水波是自然界一般波动现象的一个很好的例子，因为在本书中我们将会遇到其它波的例子，我们在这里稍微详细一点地研究波。

波浪似乎将海水从海面上的一个地方输送到另一个地方，但实际发生的情况是水的每个单独的质点在表面固定点附近振动（图 1.4），主要是作上下运动并总是返回到它的初始位置。对某一给定的振动周期，波速与“波长”即相邻波峰间的距离有关（见图 1.5）。由邻近质点完全同步所实现的个别质点振动的总和，给出了波在前进的印象。然而波虽不在较大的距离上传递水，它传递能量，正像在平静水池的一边搅动水时你能看到所产生的波如何引起一定距离之外的漂浮

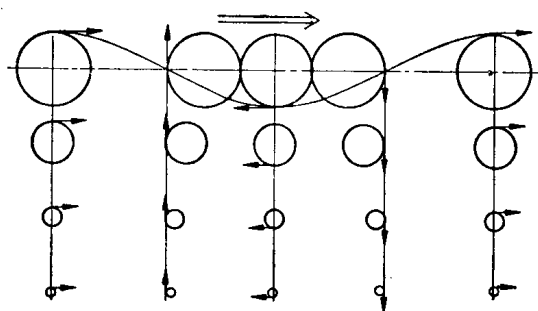


图 1.4 水波中质点的运动。由波状实线标明的波，正向右运动。箭头表明在某一瞬间波中质点的运动。当时间延续下去时，每颗质点圆运动；如图所示；愈往深处这些圆运动轨道愈小。注意没有质点被永久地移开。

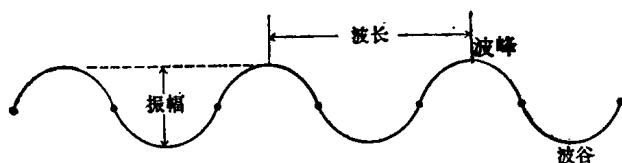


图 1.5 水波的示意图。振动愈慢波长愈长。振幅由引起波的力量强度例如风的强度决定。

物体上下浮动。作为另一个例子，海浪漫过愈来愈浅的海底而冲向海岸，波的能量则施于愈来愈少量的海水上。结果，波浪的高度增加直到破裂，将它们的能量散失到叫做湍流的许多微小水流中去。最后湍流被耗散成为热。当来自太阳或恒星的光波经过巨大的空间距离碰到像地球这样的固体障碍物并作为热散失了它的能量时，涉及同样的基本过程。

潮 汐

从古时起，人们通过海面每天两次称为潮汐的涨落察觉潮汐的周期性变动与月球有关，但直到牛顿(1642—1727)提出万有引力定律后才明白了潮汐和月球的关系。正如地球的万有引力将月球吸引在环绕地球的轨道上一样，月球的引力吸引地球和它上面的一切东西。因为引力随距离而变弱，地球上靠近月球一边的水比地球本身更强烈地被吸引朝向月球，与此同时相反一边的水被吸引得较少。因此地球上最近一边和最远一边的水相对地球而言都经受一个离开地球的潮

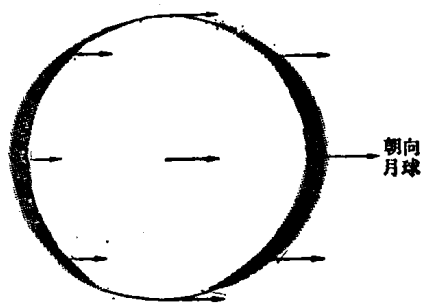


图 1.6 潮汐。月球的引力吸引地球的各部分。愈近月球的部分所受吸引力比平均值愈大，愈远离月球的部分所受吸引力比平均值愈小，正如粗箭头所示。当影响地球整体的平均吸引力被扣除后，一个小的净余潮汐力被保留下来，如细箭头所示。与潮汐力相对应，海洋(阴影部分)在离月球最近和最远处上升而在其它地方下降。

汐力，如图 1.6 所示。在中间各点，潮汐力趋向于指向水平面，使水流向两个潮汐隆起中的一个，当地球每天在两个隆起下自转时，我们局部地经历着两次高潮。

实际的潮汐比这里描述的要复杂些，因为太阳也影响潮汐（虽然不及月球的一半）而且大陆又阻隔了海流。结果我们不能依赖我们的简单描述来精确地预报高潮的时间和高度。但是在更详细的理论帮助下，为了海运的目的我们可以作出精确的预报。

4. 固体地球

人类事实上已经勘察了整个地球表面、在大气内外飞行，并用火箭和卫星探测了空间本身。迄今我们脚下的固体地球在很大程度上仍是神秘的。固体地球最深处的标本只取自大约 9 公里的深度上，为地球半径（约为六千多公里）的极小部分。

面对这样的限制，地质学家由穿透地球内部的波的研究破解了关于地球内部的资料。这样的资料是间接的，因而某些结论是初步的。地球内有两种类型的波：一种是纵波（P 波），它很像空气中的普通声波。这样的波，物质在波通过时交替地膨胀和压缩。另一种是横波（S 波），它里面的物质相对波传播的方向作上下位移（图 1.7）。每种类型的波有一个特定的传播速度，其范围由于波所通过的物质不同，从每秒几公里到大约 11 公里。S 波依赖于物质位移后恢复到原始形状的趋势。液体没有这种性质，所以 S 波不能在液态物质中传播。在地球中心附近，S 波被中断，我们可以由此推断，这里的物质实际上是液体。

地震是地球上层的突然错动，它产生两种类型的波。由

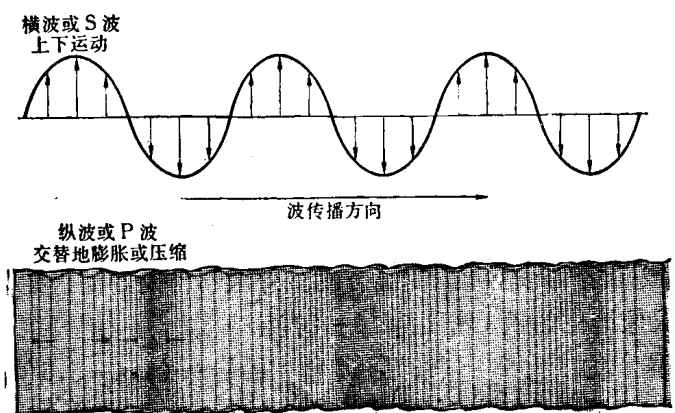


图 1.7 地球中波的类型。在横波或 S 波中，物质首先位移到传播方向的上面然后位移到下面，而在 P 波中物质被压缩和膨胀。地震波可以在二者中变化。电磁波类似于 S 波而声波类似于 P 波。

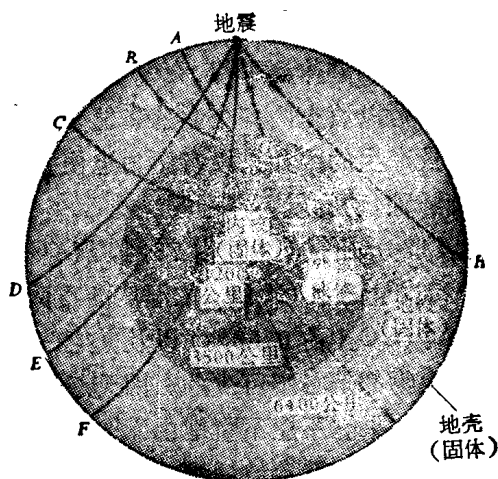


图 1.8 地球内部。地震学家已学会解释地震波。在这张附图里，实线表示 P 波，虚线表示 S 波。P 波在地幔（如在 D 点），外核 E 和内核 F 中传播。人们可从波弯曲的程度推出每层的密度。射向地核的 P 波部分被反射。反射波 A 和 B 确定外核的位置，而反射波 C 确定内核的位置。横波给出有关地幔 H 的资料，它们被外核 G 吸收掉的事实表明外核是液体。