



大陸漂移

J. T. 威尔逊 等著

科学出版社

内 容 简 介

本书是《科学美国人》杂志论文选编,共收入该刊 1952—1971 年间发表的有关大陆漂移学说的论文十五篇,分为三部分:第一部分,讨论了地球的活动性,根据已有的海洋地质及地球物理资料阐明地球是在不断地缓慢变形;第二部分,论述了大陆漂移说本身的发展过程,内容包括海底扩张和板块构造等理论的探讨;第三部分,从地理、地质、古生物、地震等方面进一步论证大陆漂移问题。作者之一图佐·威尔逊为这本文选写了序言和结束语以及每一部分的引言。

大陆漂移学说,半个多世纪以前即已出现,其后一度沉寂,到五十年代中期才又引起注意。由于大量的海洋地质和地球物理工作取得新的资料,促进了学说的发展,有关大陆漂移、海底扩张、板块构造的理论,今天以传统地球科学理论的挑战者姿态出现于七十年代,其影响所及是多方面的。为了便于较系统地了解其历史概貌,特选译了这本《大陆漂移》,供广大读者参考。

J. Tuzo Wilson *et al.*
CONTINENTS ADRIFT
Freeman 1972

大 陆 漂 移

图佐·威尔逊 等著
《大陆漂移》翻译组 译

*

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

*

1975 年 10 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1975 年 10 月 第一次印刷 印张: 12
印数: 0001—10,450 字数: 270,000

统一书号: 13031·363

本社书号: 558·13—15

定 价: 1.20 元

译 者 的 话

《科学美国人》为了介绍“大陆漂移”学说，最近将该刊历年来曾登载过的十五篇有关这方面的著作汇集起来编成这本文集。

根据毛主席关于“古为今用、洋为中用”的指示精神，我们翻译了这本文集，目的就是向国内读者介绍“大陆漂移”的学说，使更多的地球科学工作者和广大读者对大陆漂移、海底扩张、板块构造等概念有进一步的了解，作为研究我国境内广大地区的地壳运动、深部结构、成矿规律和地震成因等问题参考。

从广义上说，此学说涉及到许多科学领域，除地质学和地球物理学以外，还与诸如古地磁、古气候、古生物、海洋学、天文学、地球化学等学科有关。这样一种较为普及性的参考读物，或将有助于读者较系统地初步理解这一学说的来龙去脉。

本文集作者大多数虽是在发展“大陆漂移”学说的过程中直接或间接参加过实际科研工作的人，但对其文章中所反映作者的某些学术思想和立场、观点、方法，希读者注意批判对待；至于其中提到“大陆漂移”学说的出现是当代地球科学发展中的一场“科学革命”的看法，也需读者加以分析。

1973 年 12 月

序 言

本书汇集了《科学美国人》杂志中的十五篇文章。这些文章叙述最近科学上的革命，即关于地球表层动态概念上的革命。以前，大多数科学家认为地球是坚硬的，而大陆是固定的。但是，现在人们发现，地球表层是在缓慢地变形，而大陆如同“木筏”浮在密度较高的岩石之“海”上。大陆之间曾屡次碰撞和拼合，以及反复破裂和分离，成为不同的图型，而在这些过程中，它们很可能变得较大了。

这次科学革命象以前的其他科学革命一样，是在很长的时期内发展起来的，但直到六十年代末期，它才开始获得成功。1971年8月，在一次世界地球物理学家会议上，大陆漂移的概念明确了，这个在几年以前还被视为异端邪说的概念，现在已被大多数人所承认。

本书的文章可分三类，追述了这个值得注意的变化历史。第一部分文章写于作者们在转变为相信大陆漂移学说之前，但他们仍然论述了一些新发现，使人们可以接受关于地球正在缓慢形变这一观念。第二部分文章讨论海底扩张观念的建立，同时揭示了伴随破旧立新而引起的学术争论。第三部分叙述了这场科学革命的某些例证。

我把这种观念的颠倒称之为一次科学革命是仿效那些历史学家们的提法。他们认为，大多数科学分支是从矿工、水手、农民、铸工等这样一些人的实践经验中发展起来的。起初，每个科学分支只不过是许多世代知识积累的汇集；因此，它提不出什么令人惊奇的东西，所提供可预期的根据也很少。科学史家们——特别是库恩(T. S. Kuhn)——曾指出，随着知识量的增加，每一科学分支达到了这样一个阶段，即理论家们把实践者所得到的知识给予重新解释，使之成为新的较为精细的系统论述。初看起来，这样的许多解释是违背理性的，但由于它们符合全部积累的观测结果，所以迟早会被人们接受下来作为卓越的解释。

在《科学革命的结构》(第二版，芝加哥大学出版社1970年出版)这本书中，库恩引证地球乃太阳系中心的地静天动学说的被废弃而支持哥白尼的天文学作为科学革命的一个古典的例子。把地球设想为宇宙的中心，并认为它需要一个固定的支持体，这就是明显的推论；认识到地球是在空间自转，而太阳——不是地球——是人类宇宙的中心，这是一个巨大的成就。这个新的启发性思想，为伽利略、开普勒、牛顿开辟了道路，他们为科学领域提供了一批重大发现。然而为了免于太轻率地抛弃那些地静天动学说的星相家们，我们应该想起，是他们创制了我们今天所用的曆法，发明了准确预测日月蚀的方法，以及他们

是发现新大陆的航线和完成第一次环球航行的航海者。

同样,从古代的火气炼金术到现代化学的变化,从相信许多孤立的创始造物到相信有机进化论的变化,以及承认近代物理学中的量子力学和相对论,这都是在没有放弃较老的观测结果而导致了科学革命的重大发展。

现在,许多地球科学家都相信,近十年中,在他们自己的学科中已经发生了一场科学革命。如以前一样,新的信仰并没使过去的观测失效,新的信仰决定于对地质学和地球物理学的重新解释,并且表明了这两门学科的互相依赖关系。大陆漂移学说的被接受已把地球科学从过去基于对自然现象的平凡解释的一系列拘于事实的研究改变成为一门统一的科学。这是令人振奋的和富有生命力的,并对未来的科学实践提出了展望。

图佐·威尔逊

1971年12月

目 录

译者的话

序言.....图佐·威尔逊 (i)

I. 地球的活动性

引言..... (1)

地球的起源.....哈罗德·尤里 (4)

太平洋海沟.....罗伯特·费舍尔、罗吉·雷维尔 (11)

大陆的起源.....马歇尔·凯伊 (18)

地球内部..... K. E. 布伦 (24)

地幔塑性层.....丹·安德森 (32)

II. 大陆漂移、海底扩张和板块构造

引言..... (42)

大陆漂移.....图佐·威尔逊 (45)

大陆漂移的论证.....帕特里克·赫尔利 (62)

海底扩张.....詹姆士·海茨勒 (76)

深洋底.....亨利·梅纳德 (90)

大洋的起源.....爱德华·布拉德 (102)

III. 大陆漂移的一些后果和实例

引言..... (114)

联合古陆的解体.....罗伯特·迪茨、约翰·霍尔登 (116)

大陆漂移与生物进化.....包恩·库尔滕 (130)

地槽、山脉和造陆.....罗伯特·迪茨 (142)

阿法尔三角地区.....哈劳恩·塔齐也夫 (152)

圣安德烈斯断层.....丹·安德森 (162)

结束语..... (181)

I. 地球的活动性

引言

大陆可移动的概念在我们之中存在已有一个世纪之多,但迄今尚未获得广泛的承认,而地球科学家们传统上将地球看作是僵硬的。这一部分论文并不直接涉及大陆漂移的假说,而是谈一谈导致理解地球内部可能缓慢变形的那些发现。既然地球内部是可变形的,那么很自然的地球表面就可能是活动的。

自从大西洋海岸首次测绘成图以来在四个世纪中,许多观察家——其中包括弗朗西斯·培根(F. Bacon)、普莱斯特(P. Placet)和巴丰(C. G. L. Buffon)——讨论了它的形成理论。包括洪堡(A. von Humboldt)在内的某些人指出过非洲和南美之间海岸形状的相似性。但是这些人的评述是笼统而简短的,直到1858年*法国的斯奈德(A. Snider)才明确提出以前大陆曾经贴合在一起,是单一的泛大陆,后来移动而分开。只有少数人能够理解大陆怎么可能沿坚硬岩石的海底移动,大部分人都忽视了斯奈德的想法。

地质学家们摆脱地球是坚硬的概念是逐步开始的。他们观察到阿尔卑斯山区地层的巨大褶皱和缩短,并得出结论,认为每一条这样的山脉两侧必定向一起移动过。地球物理学家通过间接的仪器手段发现,挤压使轻的表层岩石在其深部形成山根,它有效地浮托起山脉。他们还观察到斯堪的纳维亚在升起,那里最近融化了巨大的冰盖。他们推论,维持这种垂直运动要求有物质的某种水平运动。他们认为,地球内部某些部分一定是活动的,它将允许地表存在水平运动。在1910年至1912年间,弗雷德里克(B. Frederick)、泰勒(F. B. Taylor)、贝克(H. D. Baker)和魏格纳(A. L. Wegener)都提出了大陆漂移的观点,和今日广泛得到支持的观点甚为相似。第一次世界大战的爆发,延迟了对他们论据进行讨论,但是从1925年到1929年魏格纳将他的那本《大陆和大洋的起源》(*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*)出了四版,并被译成好几国文字。魏格纳的理论引起了一场巨大的论战。欧洲的一些地质学家[特别是阿尔岗(E. Argand)、斯托布(A. Staub)及霍姆斯(A. Holmes)]及南半球的另一些人同意他[由都德(A. L. du Toit)带头,后来又有马奇(A. Maach)、凯里(S. W. Carey)和阿马德(A. Ahmad)],但是大多数北美地质学家不同意他,特殊例外的是格拉希特(W. A. J. M. van der Waterschoot van der Gracht)。大多数地球物理学家同意哈罗德·杰弗里斯(H. Jeffreys)的观点,认为大陆漂移在物理上是不可能的,这一代人中仅有少数地质学家积极支持这种思想。在南美及非洲工作的一些地质学家认为,一个大陆的地层和古生物与另一大陆极为相似,可见它们曾经是构成泛大陆[他们称之为冈瓦纳古陆(Gondwanaland)]的一部分,而后破裂分开。

因为杰弗里斯继续强调,坚硬岩石沿坚硬岩石漂移在力学上看来是不可能的,并且这

* 原文为1958年,有误。——译者注

种假定的运动其原因也不知道,所以在第一部分的论文中所讨论的发现对于接受大陆漂移的理论是重要的。

第一篇论文《地球的起源》是由诺贝尔奖金获得者哈罗德·尤里(H. C. Urey)所著。他认为,太阳系是从气体状态下发展起来的那种陈旧的观点——行星由太阳分出,月球由地球分出——是错误的。他主张太阳系的所有部分是从巨大的尘云中同时形成的,这种尘云与现今在宇宙中仍能观测到的尘云相似。(地球起初是冷的而后来变热的假说现已普遍地接受)。在地球历史的早期阶段,重力能和比现在更丰富的放射性元素的蜕变,提供了足够的热,引起熔化。尤里提出仅金属成分被熔化,并向中心移动,形成地核。其他一些人相信全部地球被熔化。假如这样,那么地幔是再次固结的,但它不能冷却到比它的熔点低很多,因为它一旦固结,热就只能慢慢地逸出。有可能这就是大陆漂移机制的重要支持,因为固体在温度接近于熔点时是可以变形的。尤里还讨论了某些地球化学问题,包括大洋的沉积建造。它们在大陆的形成上肯定是起了作用的,因为很少有这样的机会大洋盆地具足够的深度以保存海水,而大陆则具恰当的高度以使陆地干燥。

罗伯特·费舍尔(R. L. Fisher)和罗吉·雷维尔(R. Revelle)在他们的《太平洋海沟》一文中,提供了太平洋大海沟早期勘探的记录,这些巨大的海沟围绕太平洋成环状分布,并居其最深部。这篇论文描述了海沟的地震和活火山,并且指出海沟中只有少量沉积,在它们附近重力值不足,标志着下伏为轻的物质。文章还指出,汤加海沟一坡的海底山曾下沉而变得倾斜。从这些标志中作者得出结论认为,反重力作用的运动一定正在将地壳推向海沟之下,同时将沉积物拖向地球内部。他们并不知道这些力的性质,也不相信大陆漂移,然而他们的发现仍支持了我们现今的信念,海沟形成在消减带上,在那里地壳的一个活动板块叠覆在另一个正在沉入地幔的板块之上。

下一篇论文为马歇尔·凯伊(M. Kay)的《大陆的起源》。这篇论文很重要,因为在这里凯伊提出海沟和岛弧发展为地槽和山脉,火山岩沿着这些岛弧被带到地表加到大陆上,使大陆生长。某些理论上的细节在后来的工作中得到修改,并且至今还没有人确切知道在地球历史的很早阶段形成的地壳及海洋的水有多少,以及后来又增加了多少,但是大陆、海、大气圈随着地质时代的演进而有所发展和变化,这一点看来是对的。

这一部分的最后两篇论文讨论地球内部的性质。其中的第一篇,布伦(K. E. Bullen)的《地球内部》表明,地球内部可分为一系列同心壳体,其最外部分(布伦的“A层”)为地壳。称为莫霍洛维奇不连续面的突变界面将地壳与地幔分开。地壳的成分与地幔不同,这一点是得到普遍承认的。地壳在大陆下面是花岗岩质的(厚约20哩),在太平洋下面为玄武岩质的(厚约3哩),而地幔的最上部250哩(它构成布伦的“B层”)可能大部分由橄榄岩所组成,它是铁镁硅酸盐。

丹·安德森(D. L. Anderson)的《地幔塑性层》一文比布伦的文章晚发表七年,在这篇文章中大体上同意布伦的看法,但是作了重要的补充,指出在上地幔上部有一个塑性层,在此塑性层上大陆可以移动。安德森修正了岩石圈和软流圈的老概念,并指出,这些层并不等同于地壳、地幔。莫霍洛维奇不连续面是一个突变的边界,他标志着硅酸质较多的地壳与更偏基性的地幔之间的化学成分的变化。与此相反,岩石圈与软流圈的区别与其说是化学上的区别不如说是强度上的区别。岩石圈冷却到足以使之成为僵硬的,而且是坚固的。它从地表向下延伸,平均深度为40哩,这样便包括了整个地壳以及地幔的顶

部。岩石圈虽不能变形,但是脆性的,可以破裂为板块或球面状帽盖。其下面热的软流圈是可变形的,假如它不具持久的强度,则岩石圈板块易于在它上面滑动,它们的垂直运动可用均衡作用来说明,很可能这个软流圈至少部分地被熔化。这意味着它是大量熔岩的来源,它说明何以地震波的传播经过它时比经过岩石圈或经过更深的地幔更慢些。

地 球 的 起 源

哈罗德·尤里

当人一旦具备了较发达的头脑并相应地有了思想时，大概就会开始思索：大地延伸多远，是什么在支撑着它，太阳、月亮和星星的性质如何以及它们是怎样起源的。人们的思想在宗教作品中反映出来，诗篇般的《创世纪》第一章就是很好的例子。多少世纪以来这些作品就是我们文化的一部分。但是我们大多数人并不了解古代人类关于地球和太阳系的有限的一些想法，其中有些今天仍然很可以接受。

爱琴海萨摩斯岛的希腊学者(Aristarchus)第一个提出了地球和其它行星围绕着太阳旋转的思想，这种思想直到二千年以后哥白尼(N. Copernicus)再次提出以前，一直没有被天文学家所接受。古希腊人知道地球的形状、大致的大小以及日蚀的原因。哥白尼之后，丹麦天文学家第谷·布腊(Tycho Brahe)从他在波罗的海赫汶岛的观察台观察了火星的运动，其结果使开普勒(J. Kepler)得以说明火星、地球及其它行星按椭圆形轨道绕太阳运转。此后，杰出的牛顿提出了万有引力定律和运动定律，由此可以精确地描绘整个太阳系。这些成就主导了以后几个世纪一些最著名科学家和数学家的思想。

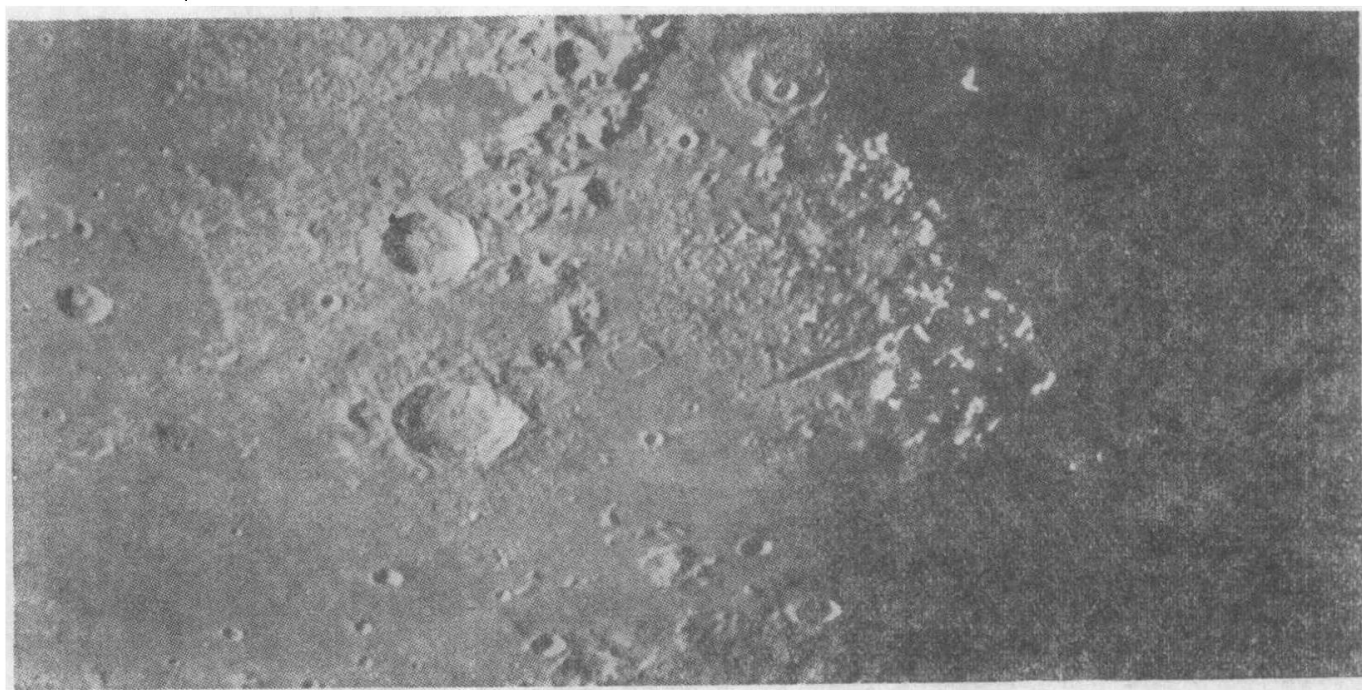


图 1-1. 在月亮表面由坚韧的金属物体形成的大沟(右边中心)。作者认为是从右边冲入月亮的巨大物体的一块碎片。

遗憾的是，描述太阳系的起源远比描述其一些局部的运动困难得多。我们在地球和太阳上发现的物质必然原来处于极为不同的条件。要了解这些物质集聚起来的过程，需要许多科学新概念的知识，如气体分子理论、热力学、放射学和量子理论。因此在这方面一直到二十世纪之前进展很慢是不足为奇的。

早期的理论

知识广博的人普遍认为月亮是从地球分出来的，可能就从现在的太平洋那里分出。这是六十年前乔治·达尔文 (Geoge Darwin) 提出的。莫尔顿 (F. R. Moulton) 经仔细考虑后认为是不可能的。1917 年哈罗德·杰弗里斯 (Harold Jeffreys) 再次研究这个问题，按照他的分析，认为月亮可能由于潮汐从完全熔化状态的地球分离出来。但是 1931 年杰弗里斯回顾这个问题时得出了否定的结论。从此大多数天文学家和他看法一致。

虽然莫尔顿和杰弗里斯说明月亮不可能起源于地球，但是他们提出了太阳系起源的理论，认为地球和其他行星是从太阳分离而来的。他们和金斯 (James Jeans) 与张伯林 (T. C. Chamberlin) 一起提出，一个恒星从太阳近处通过或碰撞，由这种宇宙遭遇而产生的松散物质凝聚成行星。关于太阳系起源的这种思想到现在仍被普遍接受。

现在用巨大的望远镜获得的证据告诉我们，宇宙中的很多星是成对或三、四个一组的。根据牛顿的运动定律和万有引力定律我们确定了聚星的质量，借助星球光谱的显著变化以及实测了临近星体的运动研究了星球的速度。发现双星的两个星体极少有相同的质量，一个星体与另一个星体之间的质量比变化很大。芝加哥大学杰拉德·凯珀 (Gerard P. Kuiper) 的结论是双星的个数与它们之间的质量比无关，即一种质量比并不比其他种质量比出现的几率多。实际上，发现双星中一个星体是另一个星体质量的千分之一与发现一个星体是另一个星体质量的千分之 999 的机会是一样的。

当然，当双星中一个星体是另一个的千分之一时是很难看到的，特别当它是不发光的时候。太阳和最大的行星木星可以看成是双星：木星是太阳重量的千分之一。它仅仅能

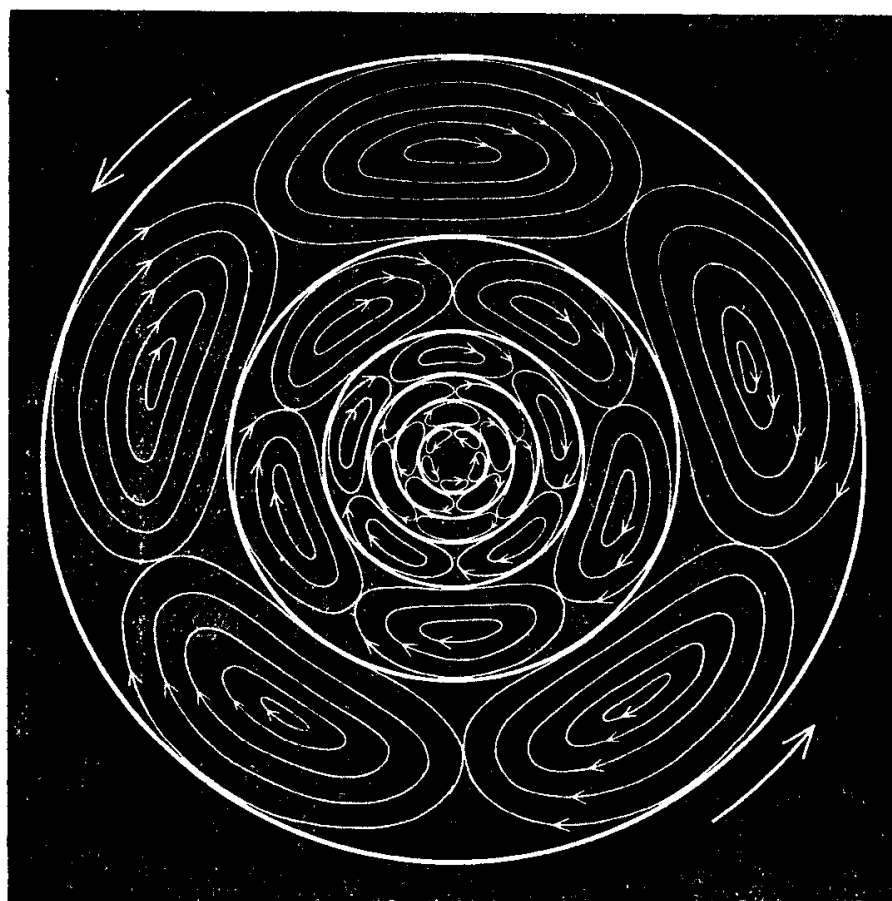


图 1-2. 德国物理学家魏茨泽克设想变成太阳系的星尘云形成错综复杂的风暴线条。每个旋涡中的尘埃逐渐凝聚起来。

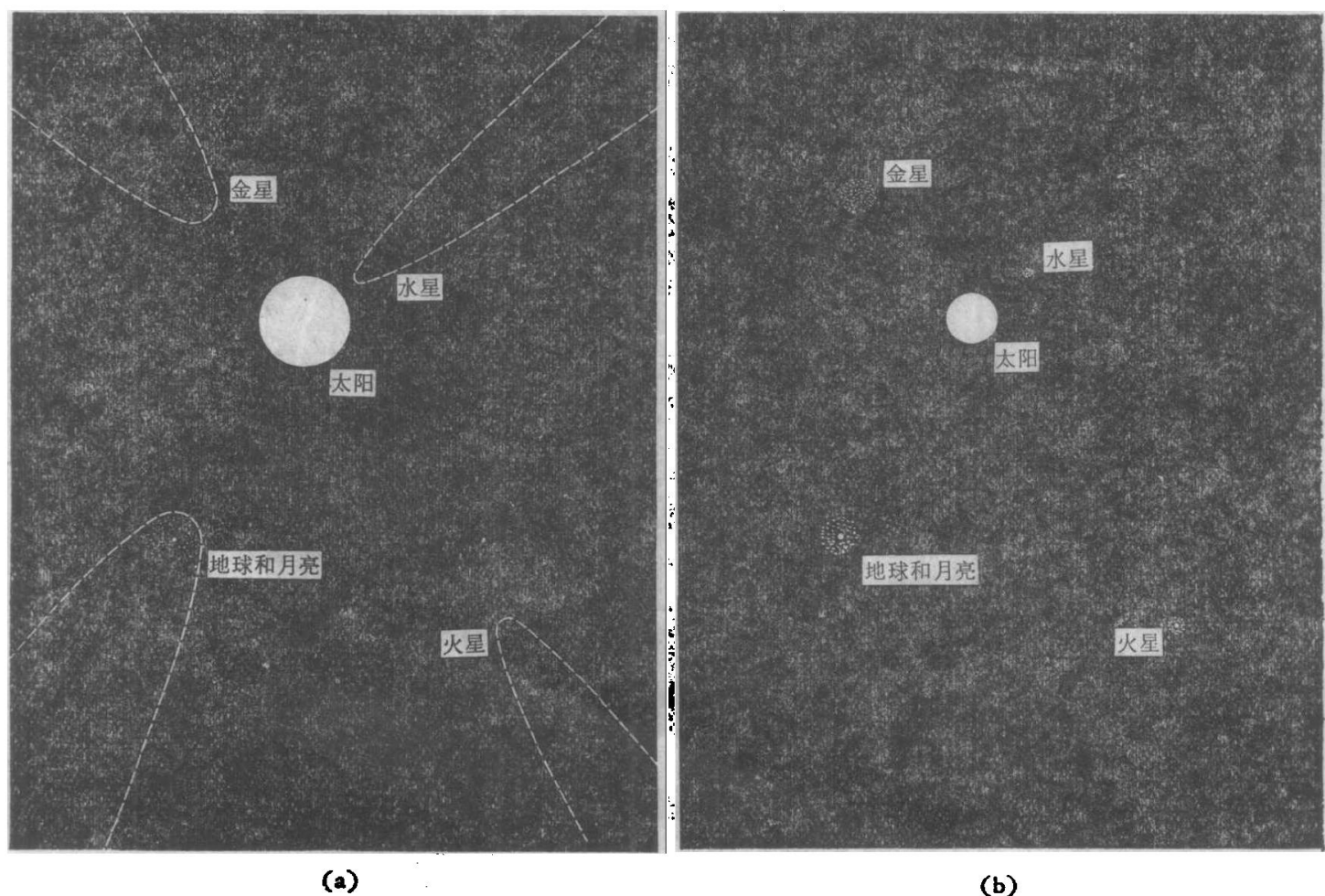
靠反射的太阳光来发光。即使从最近的恒星上也不能看见木星。显然像太阳和木星这样的双星必然有规律地存在于银河中，同时可以想像银河中有成亿个太阳系。太阳系肯定是一种普遍的现象而不是由两个星碰撞才产生的偶然发生的事情。

星 尘 云 假 说

许多年前耶克斯观测台的巴纳德 (E. E. Barnard) 观察到银河中广泛存在的巨大扩散星云的前面有一些黑点。哈佛大学的博克 (Bart S. Bok) 研究了这些由尘埃和气体组成的不透明的球状体，它们的质量和太阳差不多，大小差不多有从太阳到最近的恒星之间的距离那样大。普林斯顿大学的小施皮策 (Lyman Spitzer, Jr.) 说明如果空间存在大量的尘埃和气体，它们将被其周围的星光推聚起来。最后，当尘埃质点被压缩到一定程度的时候，重力将使整个物质坍塌在一起，于是其内部的温度和压力足以开始恒星的热核反应。

如果恒星，例如太阳，是这样形成的，那末必须有足够多的物质以构成太阳系。当这个过程更复杂时，结果产生双星而不是单星，或者是三个星一组、四个星一组。这一理论现在看起来好像比行星是以某种方式从已经完全形成的太阳分离出来的假说更有理一些。我个人认为老的理论之所以不能令人满意是因为在说明行星的起源时没有考虑到太阳的起源。当考虑太阳是怎样形成的时候，我们立即可以发现一些途径，使得现在组成行星的物质可以留在太阳之外。

任何关于太阳起源的理论，必须考虑我们观察到的角动量这一证据。角动量存在于自转的太阳和围绕它转的行星之中。行星的角动量等于质量、速度与太阳的距离的乘积。木星具有太阳系中最大的角动量，太阳只有大约 2%。另外必须包括在任何理论中



的是泰特斯-博德定律。这个定律指出行星与太阳的距离遵从简单的数学关系变化：离太阳越近的行星彼此靠近；离太阳越远的行星彼此分开。这只是个近似的定律，可能过高强调了它的价值。我自己在研究这个问题时寻找太阳起源的其它证据。

十五年前，普林斯顿大学的亨利·拉塞尔（Henry Norris Russell）和哈佛大学的唐纳德·门泽尔（Donald H. Menzel）指出地球大气中元素的比例和恒星（包括太阳）大气中元素的比例之间有很奇妙的关系。特别值得注意的是，我们用来做电子讯号灯的氦气，在地球大气中极稀少但在恒星上却比较丰富。拉塞尔和门泽尔认为不构成化合物的氦气在地球早期处在热的时候与构成当时大气层的水和其他易挥发物质一起逸出。他们提出，现在的大气和海洋是由地球内部的水、碳、氮飞逸出来后形成的。相似的是，德国物理学家魏茨泽克（C. F. von Weizsäcker）也提出空气中的氩大部分是由地质时期中放射性钾衰变并从地球内部逸出而来的。剑桥大学的阿斯顿（F. W. Aston）也提出其他惰性气体氖和氙实际上在从地球上消失。

化 学 的 途 径

我自己对地球起源的研究出于这种思想，即易挥发的化学元素从地球表面逸失。这些元素是什么时候和怎样从地球逸出的呢？我认为不大可能从已经完全形成的地球上蒸发，蒸发过程必然发生在地球历史的较早时期。一旦地球形成，重力场很强使挥发气体很难飞往宇宙空间。但是如果这些气体是早期从地球逸出的，那末现在地球上的物质从何而来呢？比如水必然趋于和氦一起飞走，但是现在却汇聚成了海洋。答案似乎是：由于水的化学性质在低温时是不进入挥发化合物的。如果地球曾经比现在还冷，就会有一部分水存在于地球内部，以后再出现。但是陨石含有石墨和铁-碳化合物，这是需要高温才能形成的。如果地球和其他行星是冷的，这些化合物是怎样形成的呢？

地球和其他行星实际是怎样形成的呢？我们之中没有人可能在那个时期存在，因此我们做的各种设想很难是完全真实的。尽可能做的只是描述事情可能发生的过程，并使它与物理定律和观察到的事实相一致。目前还不能用严格的数学方

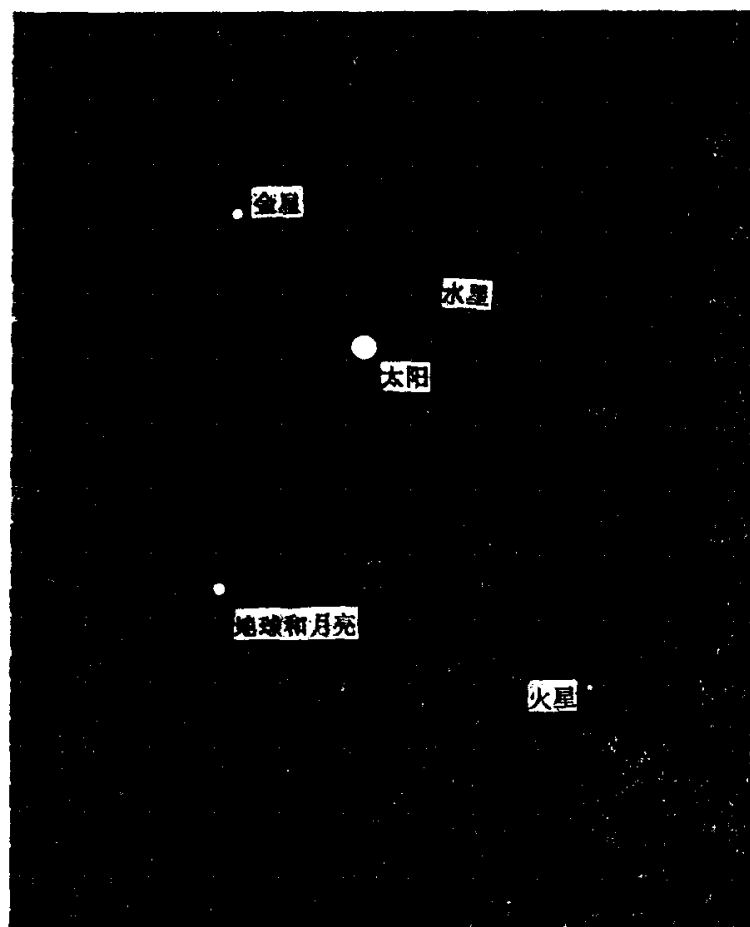


图 1-3. 地球以及水星、金星、火星的发展用这一组图示描绘。(a)图中原始尘云凝聚成微星组成的原始行星。和微星一起凝聚的气体被太阳光压(虚线表示)抛开。(b)图中气体完全脱离了原始行星。(c)图中微星形成了行星。为了图示清楚，太阳和行星的大小和距离的相对关系是示意性的。

(c)

法来推算由尘埃球体开始发展的准确历史。由于不能做到这一点,就不能严格地接受或排除那些被提出来解释行星进化过程的各个阶段。但是我们可以说明哪些阶段是可能的,哪些是不大可能的。

凯珀相信尘埃和气体的原始物质发生分异,一部分形成太阳,其他部分最后形成行星。称为类地行星的水星、金星、地球、火星,在初生阶段失去它的气体。巨大的行星(类木行星)——木星和土星保存了气体,甚至保存了大部分极易挥发的氢和氦。天王星和海

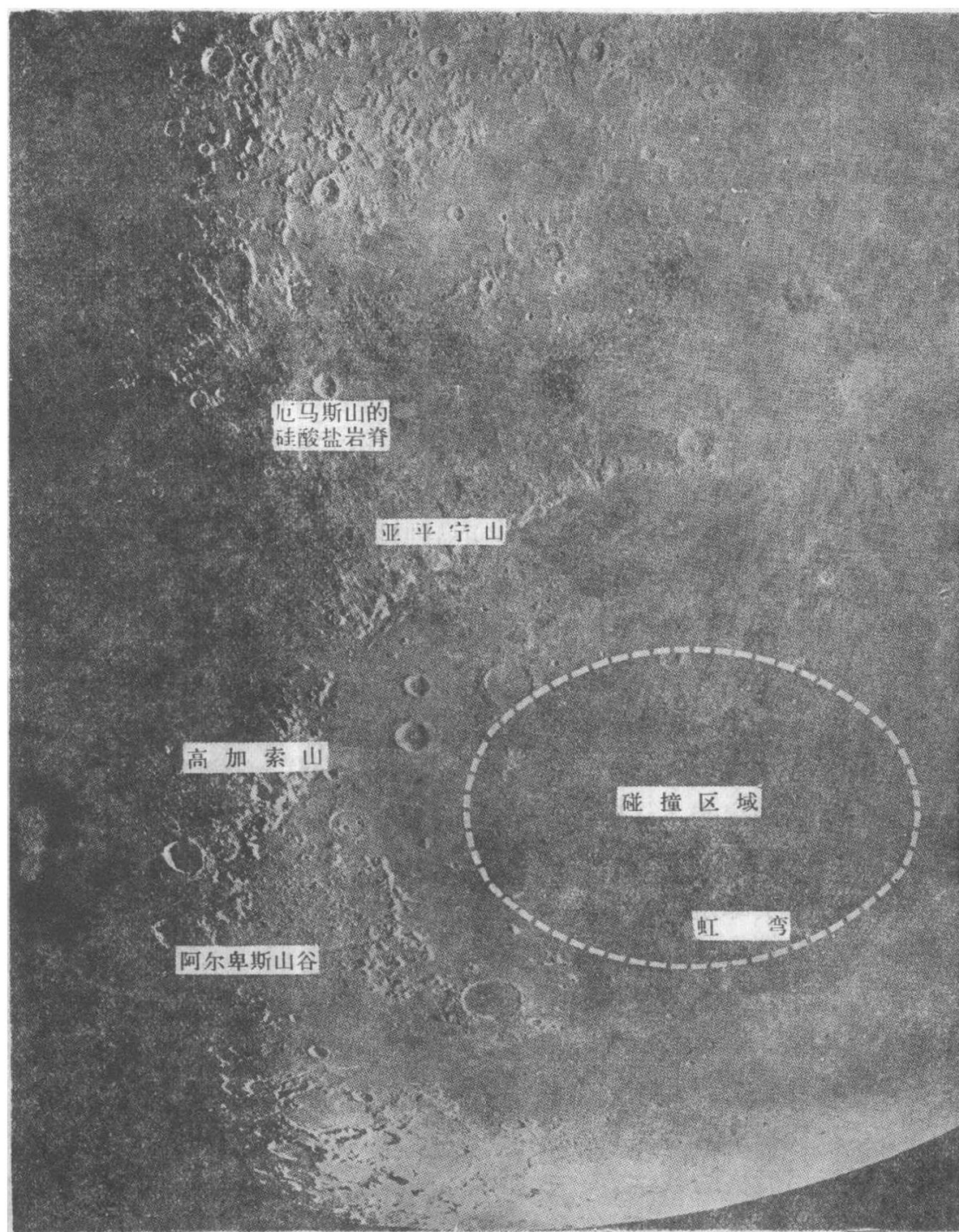


图1-4. 雨海 (Mare Imbrium), 靠近月亮北部边缘的圆形平原,可能是由 60 哩直径的物体落下而形成的。这个微星显然撞于虹湾(Sinus Iridum)地区并在碰撞地区散开,碰撞地区周围有较小的冰山状的东西。微星的硅酸盐岩石溅散于厄马斯山、亚平宁山。阿尔卑斯山谷是如上所述的同样方式由金属物体所形成的。

王星失去大量的氢、氦、甲烷和氖,但保存了水、氨和少量挥发物质。所有这些与行星现在的密度一致。

有理由认为,水、氨、碳氢化合物如甲烷在这些原生行星上集聚成固体和液体。尘埃

在巨大的暴风雪中凝聚起来,这种暴风雪弥漫的区域有现在行星间的空间那样大。过了一段时期由水、氨、碳氢化合物、铁和铁的氧化物组成的物体形成了。这样的小行星有的像月亮那样大,月亮可能就是这样形成的。像月亮这样大的天体在积聚过程中产生足够蒸发那些易挥发物质的热。但较小的天体能保持这些挥发物质。无疑大多数小天体会落到大天体上。火卫二(Deimos)和火卫一(Phobos)——火星的两个小月亮,是这些小天体的倖存者。

大质量的铁块也形成了。月亮上有一块大平原叫做雨海(Mare Imbrium),被山环绕着,山被砍成几道长沟痕。美国海军电子实验室的罗伯特·迪茨(Robert S. Dietz)和《月亮的表面》一书的作者拉尔夫·鲍德温(Ralph B. Baldwin)设想这是由一块大约直径60哩的物体落下造成的。沟痕必然是由很坚硬的物质(可能是嵌在物体中的铁-镍合金)碎片切成的。大的铁块仍然在星际空间漂游,偶尔闯入地球成为陨石。

这些金属物体是怎样由细粉状的原始尘云物质形成的呢?除了尘埃之外,小微星含有大量的气体,最多的是氢。我设想在收缩的微星中气体压缩时产生很高的温度熔化了硅酸盐,硅酸盐是构成地球岩石地壳的主要成分。这样的高温,在存在有氢的情况下,把铁的氧化物还原成铁。熔化的铁穿过硅酸盐积聚成大块。

现在看来,陨石可能是曾经在火星与木星轨道之间运动的小行星的组成部分。这些天体中形成的铁块可以只有几码厚。而形成雨海和其周围沟痕的天体,其铁块必须有几哩厚。如果微星的温度足够高,硅酸盐将挥发掉,而使微星富含铁。这些微星最后必然变冷,否则它的铁-镍碎片就不能坚硬到足以在月亮表面砍50哩长的沟。

就在这个阶段微星失去气体。凯珀相信是太阳的光压把气体排开。这样留下富含铁的天体即现在的地球和其他行星。整个过程留给现在的太阳系少数极有意义的遗迹:陨石、月亮的表面以及火星的卫星。

转 动 惯 量

最近重新确定了月亮和各个行星的密度,低压下计算出的一些密度如下:水星5;金星4.4;地球4.4;火星3.96;月亮3.31。密度的差异用含铁量不同来解释似乎比较合理。反过来用由于硅酸盐蒸发量的不同来解释也同样合理。显然,一个行星失去较多的硅酸盐就相当于含铁量较高。

实际上所有的人都假设为地球在形成初期是完全熔化的,铁在这时沉到地心。这种思想和地球从太阳分离而来,月亮从地球分离而来的概念一样,几乎成了民间传说般的東西。地球初生时真是液态的吗?鲍恩(N. L. Bowen)和其他地质学家于1950年一月在国家科学院的兰乔·圣菲会议(Rancho Santa Fe)上不这样认为。他们论证道,如果地球曾经是液态的,那么在地球外部就会有更多的硅,更少的铁。

还有其他的例子。在某些方面与地球类似的火星其重量的30%是铁和镍,同时由天文学研究得知火星的化学组成各处几乎是均一的。如果是这样,火星就不可能熔化过。月亮表面的伤痕表明在其形成末期金属的铁-镍曾落在其表面。同样铁-镍必然会落到地球上,但在落入大得多的星体时所产生的能量中蒸化了。即使这样,如果地球在这个时期不是熔化状态的,一些铁-镍仍然会在地幔外层发现。

如果地幔中存在着铁,将慢慢筛入到地心去;铁向地心移动,地球的转动惯量将改变。

转动惯量等于地球上各个质点的质量与其对自转轴距离的平方的乘积之总和。如果铁向地球内部流动这个量就减小。由力学可知旋转体的转动惯量减小,其旋转速度就会加快。那末如果地球旋转速度加快,日长就会逐渐变短。

大家都知道时间单位在改变着。但是是在加长而不是在变短。即地球自转不是在加速而是在慢下来。非常精确的天文计算(有些资料来自 2,500 年前对各种蚀的观察),指出日长大约以每世纪每天增加千分之一、二秒的速度在增长着。认为日长增长是由太阳和月亮引起的潮汐磨擦产生的。但是如果只从这个效果出发预测月亮视位的改变,发现计算与观察不相符。如果从另一方面假设铁向地心渗透,转动惯量的改变也将影响日长。实际上,兼顾到潮汐和转动惯量改变两者来进行计算才与观察相一致。

为了使计算相符,必须假设每秒有 50,000 吨铁从地幔流入地核。斯塔杰林(Staggering)认为这是可能的,这样,形成地球金属地核需要 5 亿年之久。有些计算表明可能是 20 亿年。重要之处是这个数字的量接近地球的年龄(一般认为 20 亿到 30 亿年)。如果这些理由是正确的,那末地球初始时有一些铁在其外部,而且地球不可能是完全熔化的。

斯克里普斯海洋研究所的芒克(Walter H. Munk)和雷维尔(Roger Revelle)指出地球转动惯量的减小可能由于水从海洋转移变成格陵兰岛和南极洲的冰盖,这个过程可以解释日变长而无须假设铁向地心的运动,至少不像我所计算的那样快速。鉴于芒克和雷维尔的这一论证,我们现在确实没有铁向地心流动的证据。我们毕竟有少量相反的证据。尚待新的观察。

让我们简单复述一下事情发展的过程。银河系中一块广阔空间里的一个巨大的尘埃和气体云被恒星光压缩。后来万有引力加速了积聚过程,以某种目前尚不清楚的方式形成了太阳,像现在一样产生大量的光和热。围绕太阳运转着一团尘埃气体云,它破碎后形成很多激烈的旋涡,变成了原始行星,一些变成了行星,一些可能变成了火星与木星间较大的小星体。通过水和氨的凝集在这个阶段大的小行星发生积聚。这些小行星中一个较大的形成了月亮的主体,一个更大的最后形成了地球。小天体的温度开始低,以后升高到足以熔化铁。在低温阶段水积聚起来,在高温阶段得到石墨和碳化铁形态的碳。这时气体逸出,微星由碰撞组合起来。

可能就是这样形成了地球!

在这之后发生了什么呢?当然有很多事情,其中包括地球大气层的演化。在地球变成了固体的时候,很可能大气层是由水蒸气、氮、甲烷、一些氢和少量其他气体组成的。都柏林大学的普尔(J. H. J. Poole)提出基本假设:氢从地球逸出形成氧化性的大气层。甲烷和氨中的氢慢慢逸出,剩下氮、二氧化碳、水和自由氧。我相信这是对的,但是含有氢、碳、氮和氧的许多其他分子必然在自由氧之前出现。最后发生了生命,光合作用(植物把二氧化碳和水变成食物和氧的基本过程)。于是开始了现在知道的氧化性大气层的发展。地球及其大气层的物理、化学进化现在仍在进行着。

原题:《The Origin of the Earth》

作者: Harold C. Urey (美国加利福尼亚大学)

原出版日期: 1952 年 10 月

太平洋海沟

罗伯特·费舍尔 罗吉·雷维尔

一七八九年四月二十八日海军少校布莱 (W. Bligh) 指挥英国船“邦蒂”号, 在太平洋上同他的兵曹长克里斯琴 (F. Christian) 发生了一次值得回味的争吵。结果, 他们俩分了手, 克里斯琴乘“邦蒂”号, 布莱则乘该船的舢板向相反的方向航行。这个历史上的争吵就发生在友谊群岛, 即现在大家所熟知的汤加群岛的图法 (Tofua) 大火山附近。布莱和克里斯琴都非常清楚这一事实, 即这些岛周围的海洋地形是极复杂的, 到处都是不好走的浅滩, 岛屿之间的通道很狭窄。但是, 由于当时水声测深方法还没有发明, 所以他们不能够了解这种复杂地形的真实情况, 也不知道将会有一天在这个地方得到了海洋探险史上一个最重要的发现。

在汤加群岛东侧平静的海面之下张开着一条近七哩深的巨大裂缝。“邦蒂”号事件发生后一百年, 另一艘英国船首次用铅锤测量了它的深度。阿尔德里奇 (P. Aldrich) 指挥英国船“伊格里亚”号测量群岛周围的海底, 他非常惊奇地发现: 曾有两次他们把 24,000 呎长的测绳全部放下去, 铅锤都碰不到海底。阿尔德里奇的发现, 引起其它国家派出探险队来勘测汤加的海底深渊。最后, 他们追溯出一条从汤加群岛向南到克马德克群岛的大海沟。新近, 由斯克里普斯海洋研究所“地平线”号考察船探测到的最大深度大约为 35,000 呎。巨大的裂缝埋在海平面以下的深度比珠穆朗玛峰的海拔高度还多 6,000 呎。

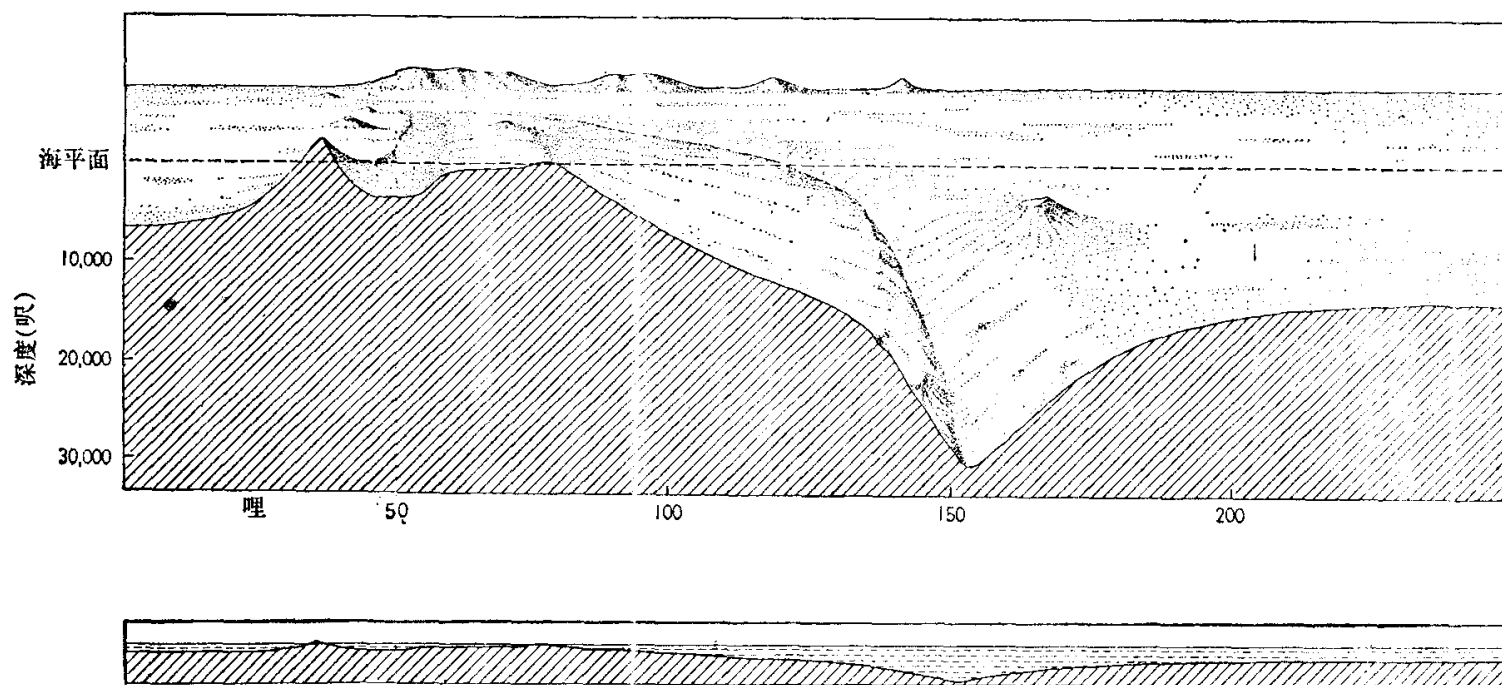


图 2-1. 上图是从汤加群岛中心向北看汤加海沟的立体图, 垂直距离比水平距离放大 10 倍。下图是垂直比例尺不夸大的横剖面图, 左侧露出水面的是高岛 (Island of Kao), 一座死火山。远处是萨摩亚群岛。海沟东坡的海底平顶山是世上最高山之一。它的顶部向西倾斜大约 1 度, 大概在海沟较浅和山露出水面时被波浪切割而磨平。