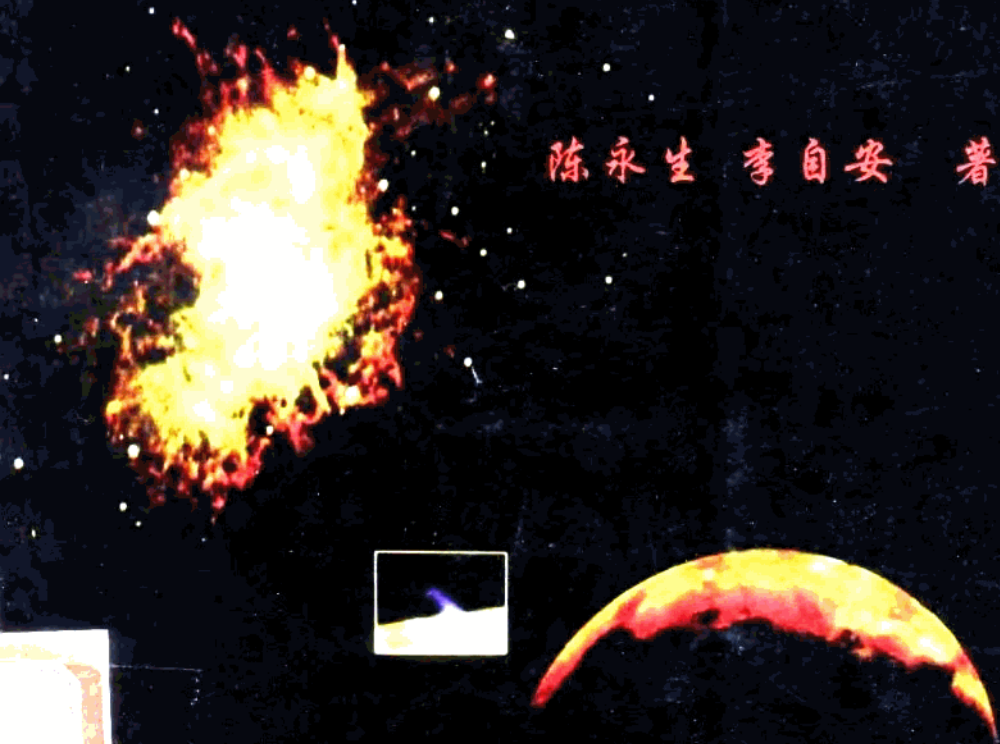


NEW

地球在太阳胚爆炸中诞生，地球在冷凝中演化发展，
有了软流层，在三种力的作用下，才有丰富多彩、错综
复杂的地质构造运动

地球形成与演化的 一种新说法

陈永生 李自安 著



石油工业出版社

序

地球起源问题是三大起源问题之一，随着科学技术的发展，已经发展成星系、宇宙起源问题了。本书的第一章仍只限于讨论地球起源问题，也即太阳系的起源问题。只有把地球形成初期的原始状况搞得比较清楚，才有可能研究地球的变化和发展。

在研究地球起源问题时，要采用粗线条，只有把握住总趋势，才能不失大体。从星云到太阳系，有两个本质的变化：一是物质从分散状态变成凝聚状态；二是从冷却状态变成高温核聚变状态。对于前者已经研究很多，而对于后者则分析的不够。笔者正是在注意第一点的同时，认真分析了第二点变化所提示的本质内涵，才提出一个新的想法。

在这个新说法的基础上，吸收了大陆地质学、海洋地质学，以及最新的月球及行星探测结果，才勾画出地球发展史。讨论了地球发展的总趋势，四个发展时期（地质史前时期，热力动力时期，地槽台洼时期和大陆漂移时期），和不同时期地质动力学特点。

本书仅想粗线条地勾勒出地球从起源到现代 46 亿年中，形成和发展变化的轮廓。文章中引用了许许多多前人的成果，列出的只是少部分，致表歉意。

文章形成过程，得到很多同志的帮助，借此期会表示感谢。

前 言

地质学是一门以地球为主要研究对象的科学，一门古老的科学，也是一门探索性很强的科学。该学科研究地球的结构、历史、发展变化及探索这些变化的原因。历史上有火成说、水成说、灾变说、均变说、收缩说、膨胀说、垂直运动说，以及近期较流行的大陆漂移说、地质力学、地台活化说、板块假说，……。值得庆幸的是，由于天体演化学的发展，宇宙探测的成功，及研究地球早期运动的需要，地质家注意到地球起源问题的研究了。目前大家公认地球的年龄约 46 亿年。今天我们回顾地质学的发展，可以看到当年任何一种有影响的假说，都有比较充分的依据，都在地质发展史上起过推动作用，立下了丰碑，但也都有局限性。

研究地球的演化发展，离不开地球初期的原始状态，而地球初期的原始状态则离不开对地球怎么形成的认识，所以我们研究地球地质，就应该从研究地球起源开始。

目 录

第一章 地球在太阳胚的爆炸中诞生	(1)
第一节 太阳系的基本事实.....	(2)
第二节 几个基本问题.....	(7)
第三节 地球在太阳胚的爆炸中诞生.....	(9)
第二章 地球演化的主要动力	(13)
第一节 万有引力	(13)
第二节 地球的自转	(32)
第三节 热力作用	(40)
第四节 吸积作用和撞击作用	(71)
第五节 太阳能的作用	(78)
第六节 磁力作用	(79)
第三章 地球的演化趋势	(80)
第一节 地球由热变冷	(81)
第二节 重力分异和岩浆的物理化学分异作用的不可逆性	(81)
第三节 大陆壳继续扩大	(82)
第四节 地球继续增大	(84)
第四章 地球演化的四个时期	(87)
第一节 地质史前时期	(88)
第二节 热力动力时期	(89)
第三节 地槽台洼时期	(91)
第四节 大陆漂移时期	(93)

封面作者名左侧照片：蟹状星云（海尔天文台照片），引自《引星——恒星——星系》。

封面作者下侧照片：“伽利略”木星探测器拍摄的木卫Ⅰ拉帕拉火山爆发的情形，象这种罕见的蓝色可能是二氧化物和雪引起的（引自《航天》杂志）。

第一章 地球在太阳胚的爆炸中诞生

地球的初始状态是炽热的、还是冷却的呢？上个世纪多数学者认为是炽热的，可以称为先期炽热说；而现在不少学者认为地球先是冷的，由于放射性元素蜕变和地球吸积过程产生的热量，才使地球炽热起来，这可称为后期炽热说。他们之间的共同点是都认为地球曾经炽热熔融过。为了使地球地质学研究的起点更科学些，有必要先来研究地球的起源问题。

回顾一下众多的地球起源假说（特别感谢戴文赛先生的《太阳系演化学》，给了我们众多帮助），就地球和太阳的物质来源的认识，可分为两大类：一是地球与太阳有相同的物质来源（可称为同源说）；二是太阳形成之后，俘获来的，可以称为异源说。

同源说又可以分为：

（1）分出说：已经形成的太阳，由于某种外力的作用，分离出一部分物质，这部分物质形成行星、卫星、……；

（2）爆发说：个别人认为由于太阳爆发，分离出的物质形成行星等；

（3）星云说：太阳和行星等都是同一星云演化而形成的。从康德、拉普拉斯直到戴文赛先生都是这种观点。下面引用“地球演化”一书中，对戴文赛先生太阳系起源学说的简要叙述。

此学说认为，整个太阳系是由同一原始星云形成的。这个星云的主要成分是气体，也有少量固体尘埃微粒，约占星云质量的1%左右。形成太阳系的原始星云，原是属于比其大几千倍的巨大星际云中的一个旋涡，因此它一开始就有自转，且角动量很大。原始星云一面自转，一面因自吸引而收缩；在此过程中，由于角动量守恒，自转便逐渐加快，星云也逐渐成为一个扁旋转体。当赤道离心力等于引力时，赤道带上的物质便停止收缩，而其它部分仍在收缩，结果便形成内薄外厚的星云盘。原始星云的中心部分在收缩中密度变大，最后演化为太阳。星云盘内的尘埃颗粒和小冰粒则沉降至赤道面，形成薄薄的尘层；当尘层的密度足够大时，出现引力不稳定性，导致尘层瓦解为许多粒子团，并聚集成许多星子。星子吸积周围的物质而增长。在吸积过程中，较小星子结合成为大星子；其中，最大的星子构成了行星胚，它再进一步吸积小星子及残余物质而形成行星（图1—1）。据此学说，行星绕太阳公转轨道的同向性、共面性和近圆性特征，是其在转动的薄尘层内形成的必然结果。行星自转起源于星子的撞击作用，即星子把角动量带给行星。在由原始星云形成太阳系的过程中，由于磁场和较差自转，可以发生角动量转移过程。在太阳形成后，经过金牛T星阶段，有大量物质抛射。太阳抛出的带电粒子沿着与太阳共转的磁力线运动，带走了角动量；由此，经历几百万年，将大部分太阳角动量转移到了恒星际空间。卫星也可能是由星子聚集形成的。由于行星演化中不经历抛射物质阶段，因而行星—卫星系统没有角动量转移；至于月球转动角动量较大，则可能因为它是后来被地球所俘获。由于小行星区内供星子吸积的物质被木星区过来的大星子拉走一部分，而使星子生长受到影响，结果成为‘半成品’，即为小行星。按戴文赛先生的假说，很明显是属于后期炽热说。

历史地看看地球起源问题的认识，不同学者从不同的角度讨论了地球的起源。虽存在种种局限性，但在某些方面肯定取得了一些进展。

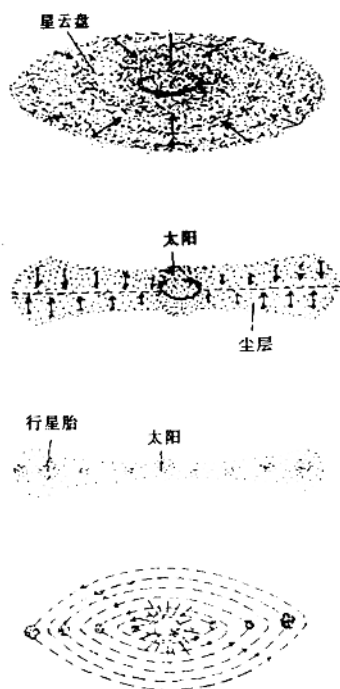


图 1—1 戴文森学说图示，
引自《地球演化》

从以往众多的学说中，及现有的天体最基本的事实中，有几方面问题是讨论地球起源问题的基本认识：

首先，通过对众多假说的比较分析，我们认为太阳与地球等行星是同一星云演化形成的应该是基本出发点；

其次，康德的古老命题，即最基本的运动是吸引与排斥这对矛盾运动，应该是基础。各种各样的运动形式都可以归结到这个最基本的运动形式中来。万有引力是吸引，离心力、光、热可视为排斥，电、磁有吸引也有排斥。康德这一古老的命题，当今内容虽然大大的丰富了，但没有跳出这一古老的哲学命题。

第三，本文研究地球起源问题，重点放在地球是先期炽热，还是冷却的问题上，至于卫星问题，小行星问题，慧星问题等只在一些地方做些很简单的讨论。

第四，从现代科学成果看，天文学、地质学的发展，月质学的诞生，对行星探测所取得的崭新成果，特别是 1994 年发生的慧核对木星的撞击，更给人许多启示，把地球起源的假说建立在天文学、地质学、行星观测新成果的基础上，建立去把这些新成果和原有的成果综合起来研究、思考，肯定会给人以新的构想。

第五，星云，弥漫物质是宇宙中看得见的客观存在，我们把它看成是太阳系的前身，形成太阳系的物质基础；而现在的太阳也是活生生的事实，它的质量、温度、能量都是可以测量的，我们天天看得见的。前者和后者之间的差别有千千万万，但根本的只有两点：一是太阳是一个有一定质量、形状、结构的星体，而星云都没有；二是太阳是一个不断通过氢核聚变，产生巨大的能量，自行发光、发热的恒星，而星云是冷却的，不发生核聚变的天体。这两者之间怎么联系起来呢？以往的学说对第一个问题讨论得多，而对第二个差别，尤其是这个差别的演化过程，带来的影响注意的少了。下面从一些最基本的事实分析起。

第一节 太阳系的基本事实

地球的起源离不开太阳系的起源，但任何一种构想最终的推理结果，都必须认真考虑下面的基本事实。

一、行星的运行特点

行星围绕太阳的轨道运动有下面几个特点：

(1) 除水星 (6°)、冥王星 ($15^\circ 34'$) 外，其它 7 颗行星的运行轨道面对不变平面倾角均小于 3° ，近似地可认为在同一平面上运行，有人称之为“共面性”；

(2) 行星的公转方向相同，除金星、天王星和冥王星外，6 颗行星的自转和公转方向一致，有人称之为“同向性”；

(3) 行星的偏心率除水星 (0.206)、冥王星 (0.250) 外，都小于 0.1，有人称之为“近圆性”。

二、行星的分类

除了冥王星外，其余 8 颗行星分为两大类，各 4 颗。离太阳较近，且密度较大的类地行星和离太阳较远，且密度较小的类木行星，中间隔了 3 个小行星带。

三、波得定律

波得定律可用下式表示：

$$u_n = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n \quad (\text{天文单位})$$

式中 水星 $n = -\infty$;

金星 $n = 0$;

地球 $n = 1 \cdots \cdots$;

冥王星 $n = 8$ 。

实际观测值与理论计算值去天王星以内误差并不大，海王星误差达 8.6 天文单位，冥王星则高达 27.7 天文单位。

四、太阳系的角动量分布

太阳的质量占整个太阳系的 99.865%，而角动量只占 0.6% 不到，这是太阳系角动量分布的主要特征，也是星云说的主要障碍。

对卫星系统则不存在这个问题，木卫系、土卫系和天卫系的卫星绕行星的轨道角动量总和只有行星自转角动量的一百分之一左右。

五、太阳系内有小行星、慧星和弥漫物质

以上 5 点是早已观测到的现象，只需要简单地叙述，下面的问题则需要多说明一些。

六、类地行星、陨星的年龄问题

陨石的年龄普遍在 45~45.5 亿年。

月球最古老的岩石的年龄为 44 亿年，月壤的年龄多为 44~46 亿年。

地球上最古老岩石的年龄约 40 亿年。

如果按月球陨石坑密度与月球年龄关系推测，水星、火星年龄不比月球小。

这样，我们可以认为类地行星与陨石是同年龄阶段的天体，也即它们是同时代生成的。而且我们注意到地球上的陨石及已观测到的小行星，都曾经熔融过。我们有理由认为，这么小的天体，后期不可能完全熔融，先期熔融的可能性要大很多。

七、喷发或爆炸是质量较大天体的共同特点，而且质量越大，爆炸力越强

纵观宇宙空间，喷发、爆炸是广泛存在的。喷发是小规模的或小小规模的局部的爆炸。而爆炸则是大规模、大范围的喷发。这个现象来自星体（或星体的前身）的内部，是局部或更大范围的排斥，超过吸引的一种表现形式，也是最剧烈的一种形式。喷发和爆炸之间的规模上是有明显差别的。要把两者的界线分开的话，可以这样的认为，喷发是指星体喷射出的物质的主要部分，或者说大部分没有脱离开星体而进入星体之外的空间；至于爆炸可以认为是指星体抛出的大部分物质，脱离星体，进入星体之外的空间。下面看一些现象。

新星和超新星，是天文观察到的一种星体爆炸现象。我国记载最早，约公元前 1300 年，甲骨文记有“月的第 7 天，新大星并火”，一块同时代的骨片上，又记有“辛未有毁新星”。金牛座中的蟹状星云（距地球 4000 多光年）就是一颗超新星爆炸后的产物（见封面、封底），是我国首次发现并记录的。据记载这颗星最亮超过天上所有的星星，而且白天也能看到。目前，它的中心还发射出强烈的电磁波。蟹状星云就是超新星爆炸后的产物，虽然与星

体有联系，但已不能认为是原星体的一部分了。新星、超新星在银河系内并不少见。

太阳的日冕、日珥也是一种喷发现象。

在地球上，火山爆发也是一种喷发现象，而且是常见的现象。“1883年8月26—27日，苏门答腊和爪哇之间的海峡中的东印度小火山岛—克拉卡陶岛发生了一次火山爆发，同时发出了巨响。这声巨响被描述成有史以来地球从未有过的声响，甚至在5000公里以外的人，单凭耳朵也可以听到它，而且全世界的仪器都可以收听到。这个声波曾围绕地球好几圈。有20km²的岩石变成碎片而被抛向空中。火山灰散落在77万km²的范围内，并使几百万km²的天空变成昏暗无光，同时还在平流层中留下了大量尘埃。这些尘埃在以后许多年里使得晚霞变得格外灿烂”（引自《宇宙、地球和大气》中译本）。大规模的火山爆发，地球历史上应该是不少的，不多例举了。

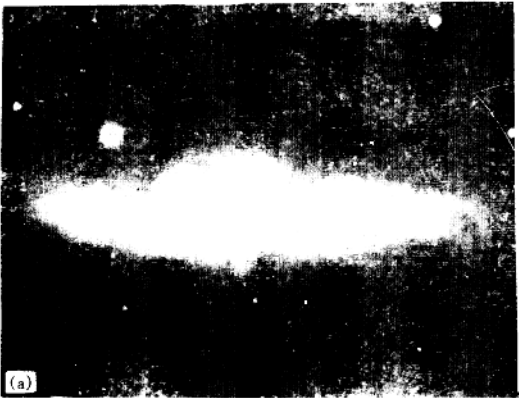


图1—2 分别用白光 (a) 和氢的红光 (b) 摄制的爆发
星系 M₈₂，引自《行星—恒星—星系》

封面封底有一张“旅行者一号”拍摄的“木卫1”上火山爆发时的照片。火山喷发的强度比地球上大得多。

火星上有火山爆发，月球、水星都曾有过火山活动，有人还认为金星上也有火山活动。

当我们把视线离开太阳系，投向更广大的宇宙中巡视时，就会发现不但“新星”会发生爆炸现象，星系也会发生爆炸。

图1—2是M₈₂星系的照片，据推算外围气体以角秒600英里的速度向外喷发，预计这次爆炸大约发生在200万年前。

图1—3这一光环是离我们地球5亿光年的雕塑家中正在爆发的星系，它是由“哈勃”望远镜新换上的宽视场行星相机在1994年10月16日拍到、今年初传回来的。该星系和银河系一样，在爆发前是一典型螺旋星系。图中该星系看起来如同一正在滚动的马车轮子，科学家将之戏称为“滚轮”星系。只是该轮里至少存在70亿颗新星。图右边的“闯入者”也是一星系。

爆炸、喷发都是能量释放过程。图1—4则是典型的新星光变曲线。这图告

诉我们，爆炸是突发的，而后逐渐降低，直到恢复到接近爆炸前的水平。复杂一些的，只是主爆炸前，或能量降低过程，夹着一些多次小爆炸而已。

大到星系，小到行星，我们都能观察到爆炸和喷发现象，可以认为这现象在无限的宇宙和无边的天体历史长河中是经常发生的。在一定的条件下是星体发展过程常见的、必然的现



图 1-3 雕塑家座中的一个带光环的星系、

引自《航天》杂志 1995 年第 3 期

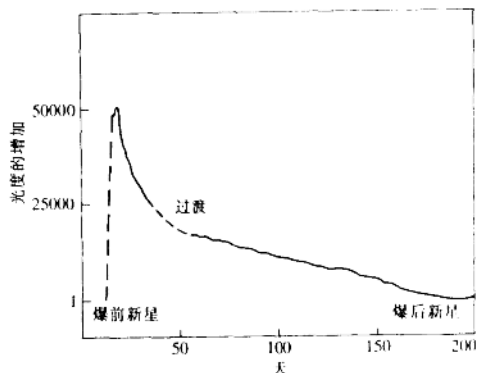


图 1-4 一颗典型新星的光变曲线示意图、

引自《行星 恒星 星系》

象。这里既然想研究太阳系的起源，自然仅仅承认这一现象是不够的，应该做进一步的分析。

首先，应该分析一下，在什么样的天体上，发生爆炸、喷发现象。如果将天体按质量的大小顺序排列，可以有星系、星团、恒星（这中间也许还有类星体、巨星、矮星）、行星、卫星、小行星、彗星、弥漫星云、星际物质、星际分子等等。从前面谈到观察到的现象，可以看出一定规模的爆炸、喷发现象，多发生在有一定质量的星体上，而且还可以看出的总趋势是星体的质量越大，一般说来，在相同的发展阶段上，出现爆炸、喷发的规模也越大。

我们知道排斥和吸引是对立的统一。吸引力越大，克服吸引力所需的排斥力就越大。宇宙空间吸引力的大小是和星体质量成正比的，星体质量越大，吸引力越大。星体出现爆炸或爆发是大部或局部排斥力大于吸收力的结果，是能量释放的一种形式。质量越大的星体，吸引力越大，出现爆炸现象所需的排斥力就越大，启动爆炸所需的能量就大，所以爆炸也剧烈。这就解释了为什么星体越大，爆炸规模越大的原因。而小的行星、卫星多只能出现喷发现象。地球上火山、地震释放能量的大小，也可以认为阻尼大的地方，发生的规模也大，破坏性也强。所以有人主张，将一次大地震，化为多次小地震的防震方案。这样就有两个界线问题，一是多大质量以上的星体才能发生爆炸（在不同的星体发展阶段，界限应该不同）；二是多大质量以上的星体会出现喷发。要回答这两个问题是很困难的。根据现有星体的质量，可以做一个简单的分析，以地球的质量为单位，那么火星的质量为 0.107，有火山喷发；水星的质量为 0.053，有过火山喷发；木卫 1 的质量为 0.0149，也有强烈的火山喷发；月球的质量为 0.0123，在早期的月球发展史上，有过火山喷发，但是近 30 亿年的历史上，不再有喷发现象了。其它小行星、小卫星都没有发现喷发现象。这样，我们有可能大略地划个界限，大约是地球质量的 1% 左右或更大的天体，有可能依靠自身能量的聚集，产生喷发现象。太小的天体依靠自身的能量聚集，是难以出现喷发现象的。至于多大质量的天体会发生爆炸现象，有的学者认为是 1 个太阳质量左右才有可能发生。

八、撞击（或称碰撞）

陨石是天外来客撞击地球的剩余物体。据统计每年约有 1500 个质量大于 10kg 的陨石撞击地球。若 1 万年、百万年累积起来，数量就更大了，而且越古老越多。

陨石撞击星球，会给天体带来各种各样的影响，有的被吸收了，有的撞碎了，有的

……，这些影响都是有条件的，所以哪种作用在太阳系形成过程，或者说过程的某一阶段占主要地位，也是那时的条件决定的。

星体碰撞结果，可以分几类。

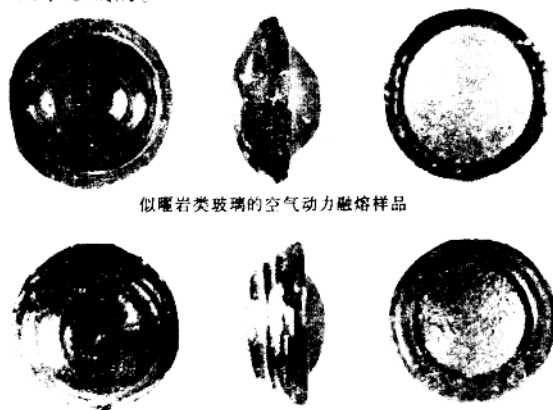
1. 俘获

原苏联学者 O. IO. 施密特做过详细的研究，目前已得到不少学者的认同。他的俘获理论最基本的特点是，俘获时，被俘获天体与俘获天体之间不发生剧烈的碰撞，而这儿讲的俘获除上述外，还包括吸引碰撞后而被俘获的天体。有人对流星发生的机率做过研究后，推算出每天整个地球要遭受大约 2400 万颗流星的撞击，也就是地球每天要俘获 2400 万颗流星，若再加上视力不及的流量，数字可估计 80 亿个。推成重量，估计每年有地外物质 500 多万吨落到地球。假定地球年龄为 46 亿年，每年按 500 万 t 计算，那么总量有 2.3×10^{16} t 的地外物质被地球吸收，约占地球总重量的 30 万分之一。现在大量资料证明，陨石撞击地球过去比现在多，尤其是 30 亿年之前要多得多，所以可以认为，俘获到地外物质的总量比上述估计还要大许多。

现代行星探测资料证明，水星、月球、火星上存在大量密集的陨石坑（见封面、封底照片）。此外，木卫 4、木卫 3、土卫 1、土卫 3、土卫 4、土卫 5、火卫 1、火卫 2 等都存在几十亿年前的陨击坑。这些陨石绝大部分成了这些星体的一部分，所以说撞击吸附是星体成长变大的一种基本形式。

撞击除了造成吸附之外，很重要的是在一定条件下，还会造成一部分质量飞离被撞击的星体。从下面的一些叙述中可以证明这一点。

有人提出，陨星（指玻璃陨石）系来源于月亮。……奇怪的是，这种玻璃陨石的发现总是局限于世界上的某些地区：如澳大利亚、爪哇、菲律宾以及中南半岛。而在捷斯洛伐克、非洲与美国的得克萨斯州等地则又发现了另外一种完全不同的玻璃陨石，玻璃陨石独具酷似玻璃的结构，且其形状显然是在以低于陨星焚毁所需的速度飞入地球大气层时的加热过程中形成的。



似曜岩类玻璃的空气动力熔融样品

图 1—5 上面是三块曾在风洞之中用一弧形喷嘴模拟了驰入大气过程的似曜岩类玻璃碎片。为便于比较，

下面的三块是在澳大利亚发现的天然玻璃陨石，

引自《行星 恒星 星系》

特殊，为 14 亿年。……R. 贝克卡和 R. 佩平对这两块陨石进行研究，认为它们与在南极发

颇有意义的是，在实验室中把似曜岩类玻璃的碎片放在高速风洞之中已经复制出一种形状的玻璃陨石来（图 1—5）。……而有相当的理由（当然还不是定论性的）认为，落在澳大利亚的一些玻璃陨石是来源于形成月面第谷环形山的冲碰以及随之而来的爆炸过程之中。这一见解是在考虑到冲撞爆炸之后这些陨星在地球—月亮引力场中的可能轨道运动和它们在地球上的分布之后提出的（引自《行星 恒星 星系》中译本）。

下面摘引“陨星 地球 太阳系”中的另一段引人而又很说明问题的叙述：“在收集的无球粒陨石当中有两块性质比较特殊的标本，尤其是年龄比较

现的陨石相同。他们都有‘火星的’化学和同位素特征。因此，应该承认，曾在某一时期，有一颗巨陨星与火星发生了碰撞，碰掉了火星壳的某一块。……”并被抛到宇宙空间，运行几百万年，最后落到地球。这两块陨石的名称是油克拉陨石和谢尔科蒂陨石。

该书又写到：“最近又在南极发现了一块真正的月岩。”作者也认为是陨石撞击月球的结果。

根据最新资料，美国去南极还发现了一块火星陨石。

这些现象说明陨星对大星体的撞击结果，主要作用是吸附，同时也存在有部分物质被分离的可能。

2. 破碎

两个天体在一定条件下碰撞，可能破碎，如有这种情况发生，就会留下遗迹，实际上也会被人们观察到。

首先，应该提到的是陨石的暴露年龄问题。根据现代研究，球粒陨石型或无球粒陨石型中，硅酸盐化陨石的暴露年龄一般为0.2~1.5亿年；铁陨石的暴露年龄一般为0.5~20亿年。前面已经说到陨石的年龄绝大多数都在40亿年以上，这说明在40亿年前陨石的母体形成后，经过长期的太空漫游，并被破碎，才使陨石表面暴露在宇宙线的直接辐射下。陨石的暴露年龄问题，证明了碰撞造成星体的破碎作用是存在的，而且是不少见的。

1976年落在吉林省的石陨石，其年龄在40亿年以上，但其完全暴露年龄约800万年。学者们认为，可能是母体经过多次碰撞破碎才形成的。

类木行星的光环，也是小天体间碰撞破碎的一个表现。土星有光环早已为人们所熟知。最近行星探测表明，不但土星有，而且木星、天王星也有，光环已构成大行星正常的特征。1982年还观察到海王星的光环。光环虽然多，但仍以土星的环最为壮观。

土星的环是宽6.5万多千米，厚几千米的条带，由1000多个单独的小圆环组成。这些光环是由无数个冰雪球，或被冰覆盖的岩石（大小为几微米到1米）组成。在土星的吸引力作用下，它们高速运动，围绕行星旋转。在这些小天体运行过程中，它们互相碰撞、破碎，以至运动平均化，形成了比较均匀的环。所以说环的存在也是碰撞破碎的一种佐证。

第二节 几个基本问题

地球的形成与发展，与太阳系的形成与发展可以认为是同步的，而且前者一直受后者的影响。地球一直在太阳的万有引力场、电磁场、光（热）场的作用下。这些场的作用总起来说，可以归结为吸引与排斥这两种相互对立的矛盾运动形式。这种看法在康德的《宇宙发展史概论》有所反映，他认为：“主要表现在当物质分解成微粒时它们之间的相互排斥，表现在排斥和吸引相互斗争所引起的那种运动，这种运动好象是自然界的永恒生命。”现代科学发展了，具体内容丰富了，但没有脱离吸引和排斥这对最基本的矛盾运动，这是一个哲学家的概括。到1996年，是拉普拉斯发表《宇宙体系论》200周年。他发展了康德的星云说，使这个学说广为流传。康德—拉普拉斯星云假说，由于历史的限制，有很多具体问题出现错误是可以理解的，但是太阳系角动量分布问题，成了该学说总体上不可逾越的障碍。正因为这样，出现了各种各样的地球起源假说。又由于这些假说均有些不尽人意，所以假说多达几十种。其中天文学家提出的约占60%，其他占40%。这里有哲学家、数学家、化学家、地质学家、地球物理学家，……。所有的学者从不同角度都想把问题解释得完美些，虽然还没

达到目的，但不少学者从某些方面都有进展，比如“沙兹曼机制”等等。

这些假说，归纳起来有下列几类：第一类是以星云说为基础，在天体发展的力学机制上做了不少修改、完善和补充；第二类是各种星—星作用假说。这些假说虽然诱人，但种种前提条件太苛刻了些，难以为人们所接受；第三类是俘获说，始于原苏联的 O. IO 施密特，目前有不少学者经过改进，重新提出这一看法；第四类是爆炸说。

这些假说均有成功的一面，也有局限性，能不能吸收成功的一面，而综合提出一种新的认识呢？大家知道地球起源问题是三大起源问题之一，是个探索性非常强的问题。所以应该先从总体开始，弄清基本发展趋势。至于次要的一些问题，在大轮廓认识基本一致时，再讨论也不晚。下面先讨论几个最基本的问题。

第一、假定星云是形成太阳系的基本物质，至于星云是高温还是低温，就不是主要问题。只要它远远低于引起核聚变的温度就行，而这个温度星云是绝对达不到的。低温的星云向高温转化是很正常的

星云是旋转的，还是相对不旋转的也无碍大局，因为在它的演化过程会旋转起来的，而且是越来越快。

星云的质量有多大，有的学者认为是 2 个太阳质量，有的认为有 10 个，但可以肯定要大于太阳系的质量比较多。

根据上面的分析，我们假定地球和太阳是由同一星云发展起来的，而且星云是旋转的、冷的，质量比太阳系质量大比较多的。

第二、核聚变的问题。

原始星云无疑不存在核聚变，而现在的太阳存在剧烈的核聚变。从没有到有是个发展变化过程，也是个从量变到质变的过程。其中还有个产生核聚变的起点问题。当核聚变发生后，太阳的内能急剧增加，而且可以推想核聚变首先发生在原始太阳内部深处。产生核聚变需要高温高压，而核聚变发生处，压力、温度将急剧上升，由原来是吸引占明显优势的情况，而转化成排斥作用越来越增强，也即吸引与排斥的矛盾运动越来越尖锐。大家知道，产生核聚变的温度要达到 $1000 \times 10^4^\circ\text{C}$ ，要达到这样的高温度是逐渐积累的结果。它一方面是靠位能、势能转化成热能形成的；另一方面是放射能积累的结果。在达到核聚变温度之前，各种地球上的元素、物质早已不是目前在地球或太阳上所看到的相态了。

第三、陨石生成的年代和熔融的原因分析。

在研究陨石时，国外的研究者发现了一些很有趣的现象。下面几段是引自《陨石 地球太阳系》的文字。

“雷诺兹和他的学生 C. 霍恩伯格 (Chuck Hohenberg) .F. 波多赛克 (Frank Podosek) 宣布的一个惊人的成果是，认为所有的陨石都是在非常“短”的一个时间内（这对宇宙化学而言是短的），即 2000 万年内形成的 (C. Hohenberg 等, 1967)。由此可知，具有 45.5 亿年历史的太阳系的固体物质竟是在 2000 万年间形成的！”

大约又过了 20 年，雷诺兹的研究成果才被诸如 Rb—Sr 法这类更加普及的测量方法所证实。不过，一开始，加利福尼亚理工学院 (Caltech) 的沃赛布格 (Wasserburg) 研究小组获得的成果曾一度削弱了伯克利大学学者的研究成果。所有的陨石的形成时间似乎是约 1.5 亿年，而不是 1500 万年。这个“长”年代学似乎要取代“短”年代学，Rb—Sr 法似乎要比 I—Xe 法更可靠 (Wasserburg 等, 1969)。

直到近几年，笔者在巴黎的实验室里所进行的研究工作才算解释了这个矛盾，并取得了

一致的意见 (J.F.Minster 等, 1983)。

陨石, 包括“所有的”陨石, 它们原始形成的时间约用了 1000 万年或者 500 万年, 正确的历史是在距今 45.52 亿年前”。

这是个非常有趣的现象, 陨石寿命很长, 而形成的时间却很短。可以设想 35 亿年前撞击在水星、火星、月球以及木卫 3 等星体上的密集的陨石, 也应该是那时形成的。这样就构成一幅图画, 就是早期太阳系空间里除了一些行星, 卫星之外, 充满了小星体, 而且这些小星体是在很短的时间内形成的。那么这意味着什么呢? 意味着太阳胚曾经爆炸过, 陨星形成年限可能是太阳爆炸的年限, 也是太阳从太阳胚发展初始太阳的发展时间。

当我们再仔细研究陨石时还会发现一些更有趣的现象:

球粒陨石约占陨石总数的 80%, 这类陨石的成分与太阳的成分 (除掉氦与氮) 相差不多;

铁陨石, 被认为是分异过的陨石, 大部分是由熔融的铁液经过凝固而成的, 地质年龄 45.5 亿年;

无球粒陨石, 多是玄武岩质, 由熔融的熔岩凝固而成, 年龄也有 45.5 亿年, 也被认为是分异过的陨石。

此外还有一种有意思的陨石, 它是由内部金属铁块和外部胶结着的一种富含橄榄石的岩石组成, 好像是熔融的铁块与橄榄石被抛向太空, 在自转的作用下形成的陨石母体。

陨石的种类虽多, 但有 3 个基本相同点:

一是年龄相近, 可近似称为同龄陨石;

二是均熔融过, 也即都经过 $1000 \sim 2000^{\circ}\text{C}$ 以上的高温;

三是太阳系空间内到处都有, 大到象小行星、火星的卫星, 小到直径 1m, 甚至更小的陨石。

这 3 个基本特点只能说明一个问题, 太阳曾经爆炸过, 而且不止一次, 这些陨石是在不长时间发生的多次爆炸的产物。

第四、太阳系内太阳与周围行星角动量分布存在突出的矛盾, 而行星系如木星系、土星系等, 都不存在突出的矛盾。太阳与大行星比起来突出的差别是: 太阳的质量远大于行星, 而且有剧烈的核聚变, 所以角动量问题, 就应该从这里入手来分析。

至于其它方面, 太阳系与行星系有不少相似之处。

最后值得一提的是: “伽利略”号探测器在飞往木星途中, 发现小行星“艾达”也有卫星。

综上所述, 可以勾画出一幅地球形成的新想法。

第三节 地球在太阳胚的爆炸中诞生

太阳系的现状只是变化的结果。我们设想地球的诞生经历过下面几个阶段。

一、原始星云阶段

假设形成太阳系的原始星云是冷却的, 旋转的, 比现在太阳系的质量大比较多的星云其成分以氢为主, 氢所占的比例远比现在的小, 其它重组分所占的比例与现在太阳系相当。这团星云是形成太阳及整个太阳系的基本物质来源, 其中的一小部分形成了地球。

这团星云在收缩、旋转，组成星云的质点，气体分子相互碰撞、摩擦。这样位能、动能及原子能不断转化成热能，使星云的温度不断升高。

二、星云收缩，太阳胚形成阶段

吸引与排斥都在对这团星云起作用，这一时期吸引一直占绝对优势。吸引使星云收缩，体积缩小，位能、动能、原子能继续不断转化为热能，星云温度不断升高，尤其是星云的中心部分，不但温度升高，而且压力也越来越高。温度升高，热分子运动、热辐射作用增强，意味着排斥作用在不断的增强。

星云收缩过程，半径缩小，按照动量矩守恒原理，星云的自转速度越来越快，离心力在加大。在它的作用下，星云发展成椭圆形，重质成分不但向星云内部相对富集，而且往赤道附近相对富集，这样在赤道面附近成了吸引与排斥这对矛盾运动最突出的地方。

星云由于吸引而收缩、变热、旋转加快，以至造成排斥作用的不断增强。但这阶段，吸引一直占主导地位。

星云收缩到一定程度，温度升高到足以使岩石、铁等重元素熔融的温度，同时压力也升高到足够高的水平。这样就在星云的某一深度，出现了物质由分散状态逐步凝聚，而且开始了重力分异作用。可以认为这个深度是随着星云的发展在变化的，而且这个作用持续了一段时间。随着凝聚体的扩大、吸积、合并，到一定时期，太阳胚开始形成。这时的太阳胚已经可以发出微弱的红光，但是大量的氢气并没有发生核聚变，变成核燃料。太阳胚的形成加快了太阳发展的进程，吸引、凝聚、收缩仍然是这个阶段太阳胚发展变化的基调，而前面所说的排斥作用也随着太阳胚的形成，发展在不断地增强。

当太阳胚形成一个整体，高速旋转时，在这个整体之外，旋转着大量的氢气和它物质，有的部分星际物质相对富集些，在赤道面附近更多些，由于达不到足够高的温度，它们难以熔融，凝聚成一个整体。太阳胚外表与这些物质之间虽然有区别，但又没有很明显的界限。

以上两个阶段与现在的星云说没有什么明显的差别，但从第三阶段开始就有新的特点了。

三、太阳胚爆炸阶段

力总是向平衡方向发展的，吸引是前两个阶段发展的主流动力，并不断向它的对立面排斥转化。所以可以说，吸引收缩的一个重要结果是排斥的不断增强。

太阳胚的进一步吸引收缩及分异作用，使位能、动能、原子能不断地变成热能，使太阳胚内的温度、压力不断升高，也就是斥力增强。吸引与排斥这对矛盾运动之间差异越来越小，在赤道面附近表现的尤为明显。

太阳胚内温度、压力升高到一定程度，引起核聚变，事物由量变发展到质变。这时太阳胚内部温度急剧升高，斥力以飞跃的方式加大。随着核聚变的规模越来越大，斥力不断增强，到了局部斥力超过引力，并足以克服物质的凝聚力时，就发生了爆炸。以现代天文学所观察到的事实说明，像设想中太阳胚的爆炸，哪怕是局部的，也是很巨大的，要抛出大量的物质。由于赤道面附近，离心力大，重组分相对富集，发生爆炸的可能性，机率相对也高此。太阳胚就是由局部爆炸逐步向更大规模的爆炸中发展变化的。地球也就是在这样的环境下形成的。这些被抛出的物质有的又回到了太阳，有的飞出了太阳系；有的成为后来行星的主体或者一部分；有的在太阳系中遨游 45 亿年，经历种种劫难，终于来到地球作客，这就是陨石，这就说明了陨石的年龄为什么相差不大。从陨石大约都诞生在 1000 万年的时间里

的资料告诉我们，太阳胚向太阳变化时间，大约经历了 1000 万年。

太阳胚的爆炸所抛出物质对太阳系的形成、地球的形成起着关键的作用。

第一、太阳胚爆炸抛出大量的物质，加上原来在太阳胚外旋转的物质，是组成行星、行星系的主要物质来源。由此我们可以做出以下的推论：太阳系的行星、卫星、小行星应该是“同龄人”。目前从陨石、月球、水星、火星上已经得到证实。

第二、爆炸发生在太阳胚内部，处于高温高压。由于分异作用有不少的重组分。所以说内部抛出来的物质都是高温高压的。压力突然的降低，可能引起一系列的小爆炸，小喷发。高温抛出来的重组分都呈熔融状态的，形成了许许多多的从巨大的直到小小的熔融团块，可以称为一级团块。一级团块在突然降压的情况下，又会产生次一级的爆炸、喷发，可能形成二级，甚至三级熔融团块。这些就可能是卫星形成的物质基础。如果这个设想成立，那么不但行星有卫星，一些独立的小天体也可能有卫星，最近发现小行星“艾达”有卫星就是例证。由此可以大胆地推测，那些足够大的，又占有足够空间的卫星，可能有它的卫星。当然这只是大胆推测，还有待于进一步观察验证。

这些大大小小的熔融的团块不少保留在太阳系内，绕太阳胚旋转。加入并改造了原来就绕着太阳旋转的、较冷的物质中去。

第三、抛出的物质有轻组分，有重组分。高温下轻组分多是散发了，能保存在太阳系内的，也是在较远的地方，这样就构成了类地行星和类木行星在密度分布上的特点。

第四、不论是爆炸抛出的物质，还是太阳胚外的部分物质，爆炸时都会产生蘑菇云状的涡流、物流。这种旋涡物流虽然绕太阳胚旋转，但自转方向都是向四面八方的。再加上后期的吸积、撞击作用，就构成了太阳系行星公转方向的一致性，和自转方向多数行星一致，金星、海王星等例外情况。预测在太阳系内，将来会发现自转方向特殊的，而公转方向一致的小天体。

第五、太阳胚自转较快，爆炸时又给抛出的物质高的初速度。这样，被抛出的物质具有高的初速度和转动惯性，动量很大。它们被抛出时，同时产生对太阳胚巨大的反作用力，反作用力的一个分力起降低太阳自转速度作用。太阳转得越快，抛出的物质越多，速度越快，产生的反作用力越大，对太阳的自转速度起了“制动”作用。反复多次的爆炸“制动”，是太阳自转速度逐渐降低的重要原因之一。加上“沙兹曼效应”，太阳爆炸时的抛物具有极大的初速度等因素作用，就出现了目前太阳系角动量分布特点。

第六、每次爆炸，太阳都要发出一次物质大对流，热量大对流，磁性大旋流。都使太阳成长一步，直到太阳胚变成初始的太阳。

四、太阳的形成

阳光越来越强，光压越来越大，粒子流越来越强。原来在太阳附近的轻组分处于相对平衡状态。在排斥力越来越强的情况下，轻组分均被驱到一定范围之外，这也是类地行星轻组分少的重要原因之一。

五、地球的形成

太阳爆炸，抛出的大量的大大小小的熔融的物质，加上原来在太阳胚外旋转的物质，这就是地球的主要物质来源。这些物质在碰撞、吸积中不断成长。公转的平均化，轨道的平均化，自转的平均化，以至形成原始状态的行星（包括地球）、卫星（包括月球）。由于这阶段是熔融状态，所以没有留下任何陨石坑痕迹。但应该说这时期是碰撞、吸积最频繁，地球长得最快的时期，也是地球及其行星成球形，圈层结构基本形成的时期。

被太阳胚抛出的大量的大大小小的岩块，离开太阳胚母体之后，就开始冷凝，而且体积小的，冷凝得快，先固化，能较早地保留下陨击坑的痕迹。若没有外力的作用，就可以保存至今。陨击也可以造成星体局部的熔融，但不足以改变总的发展趋势。这样的发展过程，告诉我们，陨石将得到较古老的年龄，而且可能是小的陨石更早些。而小的星体将记录下较早些陨击，如果星体大到陨击多发期还没有凝固，或后来的地质作用剧烈，那么在星体的表面就不会有早期的岩石记录和陨击记录。

上面简要地叙述了太阳系及地球形成的基本轮廓，很难说明太阳系的许多基本特点。从地球本身来看，很明显，地球的早期是炽热熔融的，不断受陨石的撞击。绝大多数陨石都成为地球的一部分，地球一直保持成一个独立的整体。

由于表面张力的作用，使地球呈球形；

由于自转离心力的作用，使地球发展成近似椭球形；

由于重力分异的作用，地球形成明显的圈层结构，并形成高密度的地核。

地球形成了，开始了它自己的发展史，总的可以说，地球是在冷凝中发展演化的。

第二章 地球演化的主要动力

前面已经说了,在约 46 亿年的地球发展进程中,虽然一些最基本的动力学作用一直存在,但由于地球状态不同,基本运动状态的变化。太阳系空间环境的变化,主要动力作用是不同的。所以说地球构造动力发展史是分阶段的。从现在看来可以分四个时期。在这一节中,我们先讨论地球上存在的动力学内容。

第一节 万有引力

万有引力作用在地球的发展过程起着重要的作用。在地球上表现为重力吸引作用、重力分异作用和重力平衡作用;在星体之间,尤其是地—月系统,引力作用主要表现为潮汐作用。在地球与星际物质,小星体之间,主要表现为吸引,及由此而引起的碰撞、吸积。

一、重力、重力分异和重力平衡作用

重力是最基本的吸引力,由于重力吸引、收缩作用,才有地球的形成。在一定条件下,则表现出重力分异作用和重力平衡作用。当力达不到平衡时,就会产生运动。当重力作用、重力分异和重力平衡作用达到相对平衡时,地球的外形,地球的圈层结构,就能基本保持不变,局部的不平衡将引起局部的构造运动。

1. 重力

重力是地球上最基本的作用力,在太阳系形成过程中,万有引力更起着关键性的作用。重力在地球上不同位置,大小是不同的,而且有不同的表达式。

(1) 质点处于地球表面,所受重力的大小可以用下式表示:

$$G = mg \quad (2-1)$$

式中 m ——质点的质量;

g ——重力加速度。

地球表面的重力,是地球的引力和地球自转所产生的惯性离心力的合力。根据地球的平均半径和质量以及万有引力常数 (6.67×10^{-8}),海平面上的平均引力,大致为 980 伽。由于惯性离心力很小,980 伽这个量值可看作是地球海平面上的平均重力。与此平均值相比较,各处实际重力仅有 2~3 伽的差别。地面重力场的变化是随纬度的增加而增加,随高度的增加而减少。对于重力随纬度的变化,若设纬度为 φ ,则重力 G (伽)按下式变化:

$$G = 978.0318(1 + 0.0053024\sin^2\varphi - 0.0000059\sin^22\varphi) \quad (2-2)$$

式中的几个常数值,是 1967 年根据卫星轨道研究和新的天文测量成果提出的。以海平面为基准计算出来的地面重力场,代表地球物质在均匀状态下的标准重力场。实际上,由于地球物质分布的不均匀性,各处密度不同,就出现实测值与标准值不相符合的情况,这种现象叫重力异常。研究区域重力异常,可了解地球内部的结构状况。重力测量表明,高大山脉呈现