

地球科学原理



廖永岩 著



海洋出版社

内 容 提 要

利用地质学、地球物理学、古生物学、大气科学、海洋学、地史学、地球化学、矿床学等资料的约束,本书系统论证了生物的演化引起冰川周期性形成和消融;周期性的冰川形成和消融,造成固体地球周期性的膨胀和收缩;固体地球的膨胀和收缩,导致地球周期性的构造运动,以及地磁场形成和反转、生物大灭绝、矿床形成、火山喷发和地震等地质现象周期性地发生;以上作用导致地球的演化。应用以上理论,本书合理解释了岛弧形成、海底扩张、大陆漂移、大陆增生、山脉隆升等许多地学热点和难点问题;并对将来地球的演化趋势及全球变化进行了推论。本书可作为高等院校本科生和研究生的地球科学教材,也可作为高等院校师生和地球科学爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地球科学原理/廖永岩著. —北京:海洋出版社,
2007.5

ISBN 978 - 7 - 5027 - 6805 - 8

I. 地… II. 廖… III. 地球科学 IV. P

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 063780 号

责任编辑:柴秋萍

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2007年5月第1版 2007年5月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16

字数:400千字 印数:1~2300册

定价:28.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

目次

第1章 地球演化和构造运动的假说

1.1 地球和太阳系的起源及地球的基本结构	(1)
1.1.1 太阳系的构成	(1)
1.1.2 太阳系起源的假说	(1)
1.1.2.1 灾变假说	(1)
1.1.2.2 康德-拉普拉斯假说	(2)
1.1.2.3 摩耳顿-张伯伦假说	(2)
1.1.2.4 太阳俘获气-尘埃-流星云的假说	(2)
1.1.2.5 现代得到最多支持的假说	(2)
1.1.3 地球的形成和年龄	(3)
1.1.3.1 地球的年龄	(3)
1.1.3.2 陨石冲击事件	(3)
1.1.3.3 地球外圈的形成	(4)
1.1.3.4 地球内部圈层的形成	(4)
1.1.4 地球构造概述	(4)
1.1.4.1 地球的基本圈层	(4)
1.1.4.2 固体地球的圈层结构	(5)
参考文献	(6)
1.2 地球演化及构造运动的假说	(6)
1.2.1 概述	(6)
1.2.2 目前提出的对地学界有一定影响的假说	(7)
1.2.2.1 地球收缩说	(7)
1.2.2.2 地球膨胀说	(8)
1.2.2.3 地球脉动说	(9)
1.2.2.4 涌流构造(Surge Tectonic)说	(10)
1.2.2.5 大陆漂移说	(11)
1.2.2.6 海底扩张说	(12)
1.2.2.7 板块构造说	(13)
1.2.2.8 热点-地幔柱说	(13)
1.2.2.9 地槽与地台说	(14)
1.2.3 地球演化、构造运动和动力学方面已得到公认的部分事实和证据	(15)
1.2.4 现有假说的比较分析和对“理想”假说的模拟	(16)

1.2.4.1 对现有假说的分析	(16)
1.2.4.2 对“理想”假说的定性模拟	(18)
1.2.4.3 地球演化和构造运动的能量来源	(20)
参考文献	(22)

第2章 冰川的地质作用及其证据

2.1 冰川的地质作用	(24)
2.1.1 地幔浮力面理论	(24)
2.1.2 冰川及其分类	(25)
2.1.3 诱发地震及冰川形成时的造海作用	(26)
2.1.4 冰川消融时的造山运动	(29)
2.1.5 古岩石壳的形成及大陆的演化	(31)
2.1.6 地球均衡调整和岩石圈具有塑性的证据	(34)
参考文献	(35)
2.2 冰川地质作用的证据	(37)
2.2.1 冰期旋回中碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 规律变化的机制	(37)
2.2.1.1 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的地质学特征	(37)
2.2.1.2 冰期旋回中的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 变化规律	(38)
2.2.1.3 目前学术界对 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 规律变化的解释	(39)
2.2.1.4 对已提出解释的可行性分析	(40)
2.2.1.5 冰川形成对火山喷发和地震的影响	(41)
2.2.1.6 冰川消融对火山喷发和地震的影响	(42)
2.2.1.7 火山喷发和地震造成 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的规律性变化的证据	(43)
参考文献	(44)
2.2.2 贝尼奥夫地震带的证据	(46)
2.2.2.1 板块学说及其存在的问题	(46)
2.2.2.2 人类对岛弧的认识过程及其发展	(47)
2.2.2.3 新理论对岛弧双层地震带的解释	(47)
2.2.2.4 新理论对岛弧火山作用的解释	(52)
2.2.2.5 板块及大陆的演化趋势	(56)
参考文献	(56)

第3章 地球的去气作用和地球演化过程中的化学平衡

3.1 地球去气作用	(58)
3.1.1 地球的起源及早期演化	(58)
3.1.1.1 概述	(58)
3.1.1.2 吸积作用及其演化	(59)
3.1.1.3 放射能和重力势能对地球熔融的作用	(60)
3.1.1.4 宇宙大气的形成及演化	(62)

3.1.2	岩石圈形成前的去气作用	(62)
3.1.3	岩石圈形成后的去气作用	(64)
3.1.3.1	概述	(64)
3.1.3.2	后期去气作用的阶段性	(65)
3.1.3.3	影响后期去气作用的因素	(66)
	参考文献	(68)
3.2	地球演化过程中的 pH 平衡	(69)
3.2.1	地球的去气作用及其对地球的作用	(70)
3.2.2	碳系统的平衡原理	(70)
3.2.3	碳平衡系统对地球的作用	(73)
3.2.4	硅系统的平衡原理	(73)
3.2.5	硅平衡系统对地球的作用	(75)
3.2.6	pH 值的演化过程	(76)
3.2.7	有机碳沉积的作用	(78)
	参考文献	(79)
3.3	地球演化过程中的氧化 - 还原平衡	(81)
3.3.1	光合生物出现前的氧化 - 还原平衡	(81)
3.3.1.1	宇宙大气的形成及其氧化 - 还原特性	(82)
3.3.1.2	原始大气的形成及其氧化 - 还原特性	(82)
3.3.2	有机物的能量及氧化 - 还原性和独立系统的氧化 - 还原平衡	(83)
3.3.3	光合生物出现后的氧化 - 还原平衡	(84)
3.3.4	将来的氧化 - 还原平衡	(85)
	参考文献	(87)

第 4 章 生物对冰川的作用及太阳系的生命

4.1	生物演化对冰川的作用	(88)
4.1.1	有机碳的沉积	(88)
4.1.2	二氧化碳与温室效应和冰川形成的关系	(88)
4.1.3	生物的演化过程	(89)
4.1.4	新元古宙以前冰川期的形成	(90)
4.1.5	新元古冰期的形成	(91)
4.1.6	奥陶纪冰期的形成	(92)
4.1.7	石炭纪、二叠纪冰期的形成	(92)
4.1.8	第四纪冰期的形成	(94)
	参考文献	(96)
4.2	太阳系地外星体存在生命可能性的评估	(97)
4.2.1	太阳系的组成及一般特征	(97)
4.2.2	水星上存在生命的可能性分析	(97)
4.2.3	金星上存在生命的可能性分析	(98)

4.2.4	火星上存在生命的可能性分析	(100)
4.2.5	类木行星和冥王星上存在生命的可能性分析	(101)
4.2.6	卫星上存在生命的可能性分析	(102)
4.2.7	结论	(102)
参考文献		(103)

第5章 地球构造演化的现状

5.1	地球的形状及其变化	(104)
5.1.1	人类对地球形状的认识过程	(104)
5.1.2	地球的内部结构及固体地球的塑性	(105)
5.1.3	固体地球的形变及其证据	(107)
5.1.3.1	地球南北半球非对称变化的热力学证据	(107)
5.1.3.2	地球南北半球非对称变化的板块运动证据	(107)
5.1.3.3	地球南北半球非对称变化的空间大地测量证据	(108)
5.1.3.4	地球南北半球非对称变化的速率在不断变小 (南半球在减速膨胀)的证据	(109)
5.1.4	新生代冰川的分布及其变化	(113)
5.1.5	固体地球的形变及其原因分析	(113)
5.1.6	北极冰川消失和南极冰川扩大的原因	(115)
5.1.7	南极冰川形成或加厚对大地水准面的影响	(117)
5.1.8	地球形状今后的变化趋势	(120)
参考文献		(120)
5.2	厄尔尼诺形成及其证据	(122)
5.2.1	冰川与地球的关系	(122)
5.2.2	目前地球的现状	(123)
5.2.3	厄尔尼诺和拉尼娜形成的原因	(124)
5.2.4	洋中脊岩浆上涌引起厄尔尼诺的证据	(126)
5.2.4.1	热力学证据	(126)
5.2.4.2	洋中脊证据	(127)
5.2.4.3	冰川学证据	(129)
5.2.4.4	地球扁率和自转证据	(130)
5.2.4.5	气候学证据	(131)
5.2.5	讨论	(132)
5.2.5.1	对厄尔尼诺现象的预测	(132)
5.2.5.2	有关厄尔尼诺的推测	(133)
参考文献		(133)

第6章 火山和地震的形成

6.1	岩浆和火山作用	(135)
-----	---------	-------

6.1.1	岩浆及岩浆房的形成	(135)
6.1.2	岩石圈破裂的原理及洋中脊火山的形成	(137)
6.1.3	地槽形成及其火山活动	(138)
6.1.3.1	地槽底部火山的形成	(138)
6.1.3.2	地槽与地台间火山的形成	(138)
6.1.4	海洋地背斜顶部火山的形成	(139)
6.1.5	岛弧形成及其火山活动	(140)
6.1.6	地堑形成及其火山活动	(141)
6.1.7	地外星体撞击及其火山活动	(143)
6.1.8	总结	(144)
参考文献		(144)
6.2	地震的形成和种类	(145)
6.2.1	地震的一般原理	(146)
6.2.1.1	概述	(146)
6.2.1.2	地壳运动	(146)
6.2.1.3	重力异常	(147)
6.2.1.4	地震发生地点的判定	(150)
6.2.1.5	地震发生时间的判定	(151)
6.2.1.6	2004年苏门达腊-安达曼大地震的发生机制分析	(153)
6.2.2	不同构造运动中的地震	(155)
6.2.2.1	洋中脊式地震的形成	(155)
6.2.2.2	地槽形成过程中地震的形成	(155)
6.2.2.3	海岭顶部地震的形成	(155)
6.2.2.4	岛弧式地震的形成	(156)
6.2.2.5	地堑式地震的形成	(157)
6.2.2.6	撞击式地震的形成	(159)
6.2.2.7	人致地震	(159)
6.2.3	地震的预测和预报	(160)
6.2.3.1	水平破裂导致的地震的预测和预报	(161)
6.2.3.2	垂直运动导致地震的预测和预报	(161)
6.2.4	总结	(162)
参考文献		(163)

第7章 地球演化对矿藏形成的影响

7.1	地球 pH 演化对前寒武纪成矿的影响	(165)
7.1.1	pH 演化原理	(165)
7.1.1.1	地球去气作用的降 pH 作用	(165)
7.1.1.2	硅系统的升 pH 作用	(166)
7.1.1.3	碳系统对 pH 的调节作用	(166)

7.1.2	溶矿作用	(167)
7.1.2.1	原始海洋的溶矿作用	(167)
7.1.2.2	地壳形成后的去气作用造成的溶矿作用	(167)
7.1.3	成矿作用	(168)
7.1.3.1	条带式硅铁质的沉积	(168)
7.1.3.2	其他矿质的沉积	(170)
7.1.3.3	pH 值影响矿质沉积的一般规律	(170)
7.1.4	前寒武纪矿床变质的原因	(171)
参考文献		(171)
7.2	热液矿床成因	(173)
7.2.1	地球的去气作用	(174)
7.2.1.1	地球具有去气作用	(174)
7.2.1.2	地球去气作用与火山喷发和地震有关	(175)
7.2.1.3	地球去气作用产生强酸性气体	(175)
7.2.2	岩浆与去气气体的形成	(175)
7.2.3	矿体 pH 演化机理	(177)
7.2.3.1	去气气体的降 pH 作用	(177)
7.2.3.2	围岩的升 pH 作用	(178)
7.2.3.3	矿体 pH 值演化过程	(179)
7.2.4	溶矿作用	(179)
7.2.4.1	火山形成过程的溶矿作用	(179)
7.2.4.2	次(隐)火山形成的溶矿作用	(181)
7.2.5	成矿作用	(182)
7.2.5.1	成矿作用的一般原理	(182)
7.2.5.2	成矿过程及分带沉积	(182)
7.2.5.3	围岩蚀变及分带	(184)
参考文献		(185)
7.3	风化(红土化)作用对成矿的影响	(187)
7.3.1	概述	(187)
7.3.2	红土的成土作用	(187)
7.3.3	红土的红化作用	(189)
7.3.3.1	红化作用是一种去硅作用	(189)
7.3.3.2	红化过程中的去硅原理	(190)
7.3.3.3	雨水的去硅作用	(191)
7.3.4	影响红化的因素	(191)
7.3.4.1	干、湿季交替对红化的影响	(191)
7.3.4.2	温度对红化的影响	(192)
7.3.4.3	母岩性质对红化的影响	(192)
7.3.4.4	潜水面对红化的影响	(192)

7.3.5 红土剖面的形成机制	(193)
7.3.6 红土化作用对红土的影响	(194)
7.3.6.1 红土化作用对土量变化的影响	(194)
7.3.6.2 红土化作用对红土 pH 值的影响	(195)
7.3.7 碳酸盐岩区域的特殊红土化作用	(195)
7.3.7.1 湘西碳酸盐岩台地地貌及其红土化作用	(195)
7.3.7.2 有去硅作用的河水和地下水的作用	(196)
7.3.8 红土型矿的形成机理——以红土型金矿形成为例	(196)
7.3.8.1 红土型金矿概述	(196)
7.3.8.2 金化合物向金单质的转化	(197)
7.3.8.3 单质金的下沉和富积	(197)
7.3.8.4 金成矿对红土化作用的特殊要求	(199)
7.3.8.5 其他红土型矿的形成机理	(199)
参考文献	(200)

第 8 章 冰期旋回对地磁场和生物演化的影响

8.1 冰期旋回对地磁场的影响	(202)
8.1.1 人类对地磁场的认识过程	(202)
8.1.2 冰川及其分类	(204)
8.1.3 冰川形成和消融对地球自转的作用	(204)
8.1.4 冰川形成和消融对地核自转的作用	(206)
8.1.5 冰川形成和消融对地磁场的影响	(207)
8.1.6 地核感生电动势的形成原理及过程	(208)
8.1.7 外核物质的运动及地核螺旋管磁场的形成	(209)
8.1.7.1 地球自转减慢时地核螺旋管磁场及地磁场的形成	(209)
8.1.7.2 地球自转加快时地核螺旋管磁场及地磁场的形成	(213)
8.1.7.3 地核螺旋管磁场的变化规律	(214)
8.1.8 地核外磁场及地磁反转	(215)
8.1.9 地磁场的能量来源	(216)
参考文献	(216)
8.2 冰期旋回对生物演化的影响	(219)
8.2.1 冰期旋回对环境因子的影响	(219)
8.2.1.1 冰期旋回对温度的影响	(220)
8.2.1.2 冰期旋回对氧气含量的影响	(220)
8.2.1.3 冰期旋回对 pH 值的影响	(221)
8.2.1.4 冰期旋回对盐度的影响	(222)
8.2.1.5 冰期旋回对海平面的影响	(223)
8.2.1.6 冰期旋回对海水离子含量的影响	(224)
8.2.1.7 冰期旋回对生物生存空间的影响	(225)

8.2.1.8 冰期旋回对宇宙射线和尘埃的影响	(225)
8.2.2 间冰期对生物的影响	(225)
8.2.3 冰期对生物的影响	(226)
8.2.3.1 冰川形成期对生物的影响	(226)
8.2.3.2 冰川均衡调整期对生物的影响	(227)
8.2.3.3 冰川稳定期对生物的影响	(228)
8.2.3.4 冰川消融期对生物的影响	(228)
8.2.3.5 冰后反弹期对生物的影响	(229)
8.2.3.6 冰期旋回对生物影响的复杂性	(231)
8.2.4 冰期旋回与生物进化	(232)
8.2.4.1 冰期旋回与达尔文进化学说的关系	(233)
8.2.4.2 冰期旋回对物种演化的综合影响	(234)
8.2.4.3 冰期旋回导致生物进化	(235)
参考文献	(237)

第9章 地球将来的演化趋势

9.1 将来的地球演化趋势及全球变化	(240)
9.1.1 地球的塑性和刚性及其变化趋势	(240)
9.1.2 地球的去气作用及其变化趋势	(240)
9.1.3 矿物有机物的沉积对 O ₂ 的影响	(241)
9.1.4 O ₂ 的演化趋势	(242)
9.1.5 将来全球的变化趋势	(242)
9.1.6 应变对策	(243)
参考文献	(243)
后 记	(245)

第1章 地球演化和构造运动的假说

1.1 地球和太阳系的起源及地球的基本结构

1.1.1 太阳系的构成

太阳系拥有1颗恒星、9颗行星、大量卫星和一些小行星、彗星、陨星及星际物质等。太阳系位于银河系的旋臂上,以大约两亿年的周期绕银河系的中心旋转。太阳系的最外以冥王星的轨道为边界,直径为 1.18×10^{10} km,合79个天文单位(一个天文单位为日地距离,约 1.5×10^8 km)(吴泰然,何国琦,2003)。

太阳系的中心是太阳,一颗炽热的恒星。太阳的内部温度达到 $10 \times 10^6 \sim 15 \times 10^6$ K,其能源来自内部的热核反应。组成太阳的物质主要是氢(约70%)和氦(27%),其他元素只占2.5%左右。太阳的最外部是由日冕组成的太阳大气,从日冕中升起的粒子流构成了太阳风向宇宙空间辐射,并带走了太阳热核反应的大部分能量。太阳质量大约是太阳系全部质量的99.866%,行星的质量在太阳系中可以说是微不足道的。不可思议的是,太阳的转动惯量和它所具有的质量却很不相称,只占太阳系总转动惯量的2%(吴泰然,何国琦,2003)。

太阳系的行星可以分为两大类:类地行星和类木行星。靠近太阳的4颗行星(水星、金星、地球和火星)因与地球大小、物质组成和内部结构等方面都很相似,故称为类地行星,又称内行星;太阳系靠外的除了冥王星以外的4颗行星(木星、土星、天王星和海王星),由于与木星的性质相近,称为类木行星,又称为外行星。冥王星是太阳系中一颗比较特殊的行星,按其位置应属外行星,但其性质则更接近于类地行星。

1.1.2 太阳系起源的假说

太阳系的起源问题存在着很多未知数,从18世纪起,先后出现的各种太阳系起源的假说至少有几十种,随着近30年来科学技术的飞速发展,关于太阳系起源的问题才得到一些共识。

1.1.2.1 灾变假说

法国科学家布丰(G. Buffon)于18世纪中期提出一个假说,认为行星的形成是由于太阳遭到了另一个大天体强烈的撞击,他认为这个天体可能是彗星。这是第一个关于太阳系形成的灾变假说,其后这类假说还多次提出过,直到本世纪初还有人提出,但每次都以不成功而告终。不成功是由两个方法学的缺乏所造成的:把太阳的起源和行星的起源割裂开了,而所有的特征(化学组成,更主要的是同位素组成、年龄、行星只占整个太阳系质量的0.02%等事实)都表明它们有共同的起源;给行星的形成以偶然性,而不认为是一个有规律的过程。

1.1.2.2 康德-拉普拉斯假说

德国学者康德(I. Kant)于1775年提出的假说更具有科学意义。康德坚决与以往的宗教说法决裂,他勇敢地声明:“请给我物质,我给你们看宇宙是如何从物质组成的”。康德假说的前提是,充满宇宙的物质最初以元素质点的形式均匀分布于空间之中,然后,在万有引力的作用下开始形成物质凝聚的中心,中心之一就是太阳;同时物质开始了旋转运动。继而,环绕太阳运动的尘埃云组成了行星。完善并给康德假说以数学基础的功绩属于法国的数学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1796)。因此,这个假说在后来被称为康德-拉普拉斯假说。按拉普拉斯的说法,最初存在着处于万有引力作用下旋转着的和收缩着的气状星云[在此以前不久,赫歇耳(W. Herschel)发现了这种星云],星云中有一个凝聚中心,后来演化成太阳。随着旋转和收缩的加强,星云团成了扁的形状,并分出了环,环进一步形成凝聚中心——未来行星的胚胎。卫星以类似的方式在行星周围形成。最初,行星和卫星都应该是炽热的气球,只是由于后来的冷却,才有了壳并成了固体。因此拉普拉斯的宇宙假说(注意不是康德)属于“热”宇宙假说。

1.1.2.3 摩耳顿-张伯伦假说

太阳系的一个特征参数是其转动惯量的分配,惯量是由产生它的物体距太阳的远近和该物体自转的速率决定。从太阳和行星具有共同起源出发,占整个太阳系全部质量90%以上的太阳也应有最大的转动惯量。但实际上由于太阳自转很慢,它只占有总转动惯量的2%,而行星,特别是那些巨行星,首先是木星却占有总转动惯量的98%。经典形式的康德-拉普拉斯假说不能解释这个矛盾现象。在20世纪初人们开始寻找代替的假说,英国天文学家琼斯(J. H. Jeans)的假说就是其中之一。他回到了布丰的观点,但认为组成行星的太阳物质不是彗星撞击,而是另一个行经太阳附近的星球从太阳中吸引出的结果。美国天文学家摩耳顿(F. Moulton)和地质学家张伯伦(T. Chamberlen)共同提出了一个类似的假说,按这个假说,从太阳分出气体是由行经太阳附近的一颗星的强大引力作用造成的,然后在凝聚中形成微星,继而进一步形成小行星、行星。星子的概念在科学中站稳了脚跟,然而假说本身体后来被摒弃了。

1.1.2.4 太阳俘获气-尘埃-流星云的假说

苏联学者施密特(О. Ю. Шмидт)为了走出运动惯量分布问题的死胡同,提出了有特色的太阳俘获气-尘埃-流星云的假说,这种云在后来凝聚成了行星。施氏的学生们继续发展了施密特假说中重要的肯定成分,他们提出了原始行星云凝聚过程的模型,原始行星的进一步凝聚就成了后来的行星及其卫星。他们认为星云物质初始是冷的,所以施密特的假说与康德假说一样都属于“冷”宇宙假说,而不像拉普拉斯的学说那样属于“热”宇宙假说。

1.1.2.5 现代得到最多支持的假说

在过去对太阳系起源的认识中,有三个问题困扰着科学家:其一是动量和质量的分布,为什么太阳具有太阳系全部质量的99.866%,其动量却不到2%?康德-拉普拉斯的假说正是由于不能合理解释这个问题而困扰;其二是重元素的来源,由于太阳系比许多其他恒星包含有更多的重元素,可以推知太阳是第二代行星,即形成太阳的气体云中包含着其他恒星经过核燃烧散发到空间中的余烬;其三是太阳系的行星既有许多共同的特征,又有各自的特

点,使得太阳系起源假说的建立更加困难。近30年来,随着天文学的巨大进步,许多太阳系起源的问题已基本清楚。人们惊讶地发现,现代太阳系起源假说似乎又回到了康德最初的思想。天文学家成功地观察到星际之间的等离子体的成星过程,恒星的诞生主要是由于磁场和气体云及射线压力的反作用。这个过程发生在银河外星系的悬臂的外边界,银河系也是如此。超新星的爆发可能是附近星云开始收缩的推动力,太阳系的重元素和短周期的放射性同位素可能是超新星爆发过程中强烈的核反应所形成的。现代太阳系起源假说基本包括以下四个阶段:

第一阶段,原始太阳气尘云与邻近的一颗即将成超新星的星。

第二阶段,超新星爆发,原始太阳气尘云在超新星影响的范围之内,并从超新星的爆发中获得能量和重元素、放射性同位素等物质。

第三阶段,在超新星能量的推动下,太阳气尘云开始旋转并逐步形成中心的太阳。当太阳达到一定大的时候,内部开始发生热核反应。年轻的恒星,尤其是重量大的恒星开始向外抛射物质,在太阳系的外围形成环绕太阳的环。

第四阶段,太阳系的中间部分形成太阳,环绕太阳的环逐渐凝聚成星子,并以星子为中心逐渐形成行星。行星的卫星也有着相似的过程。

太阳系形成初期,太阳周围的原始行星云和太阳都快速旋转着,但渐渐地被磁流体动力所减缓,使太阳系中的惯量重新分配。在太阳系星云的演化中,太阳可能以电磁力或湍流对流的形式向行星转移惯量(吴泰然,何国琦,2003)。

1.1.3 地球的形成和年龄

1.1.3.1 地球的年龄

近30年来,科学家利用放射性同位素定年方法获得了一系列与地球年龄相关的数据:在澳大利亚西部岩石中获得的锆石测得年龄为42亿年,虽然这颗锆石是以再沉积的方式存在于中生代的岩石中,但已足以表明地球的年龄不会小于这个数据;从月球上获得的岩石所测定的年龄有许多在46亿年以上,由于月球是地球的卫星,也是太阳系的一员,因此地球的年龄应不小于月球的年龄;从大量来自太阳系的陨石获得的年龄也都在46亿~47亿年之间。根据太阳系起源同一性的基本原理,地球的年龄应有46亿年以上。

1.1.3.2 陨石冲击事件

地球的起源问题实际上也是太阳系和行星的起源问题。在太阳系演化的早期,形成行星的原始气尘云开始积聚,形成了一系列的环,并形成了一些凝聚中心。这些大大小小的中心开始吸引周边的物质,形成类似于小行星的岩石块体,并互相撞击。这些岩石块体由于大致处于同一轨道面,且运动方向相似,因此撞击的形成慢慢地发生了变化,形成了一个比周边更大一点的积聚中心,并最终形成了行星和卫星。这次陨石冲击大约发生在距今40亿年前,时间可能长达5亿~10亿年,月球、水星以及众多的小行星至今仍布满了这次冲击事件的陨石坑。而地球、金星、火星等存在较为复杂的内外动力作用过程的行星,表面形态受到了长期的改造,陨石坑保留的数量极其有限,但仍可辨别出陨石冲击的痕迹。陨石冲击事件实际上是太阳系形成中的一个必然过程,陨石冲击事件不仅是行星形成的原因,也是地球圈层分异的主要原因之一。

1.1.3.3 地球外圈的形成

地球圈层结构的形成与太阳系早期陨石冲击事件有着密切的联系。对于岩石行星(类地行星)而言,圈层形成的重要原因是需要有很高的温度使行星处于熔融状态,在重力的作用下按密度发生分异。地球形成的早期曾存在一个原始大气圈,其成分与宇宙中的其他天体一样,以氢、氦为主。由于类地行星离太阳的距离比较近,且行星的质量都比较小,所产生的万有引力也比较小,加之氢、氦气体容易向外层空间逃逸,在太阳风的作用下很快消失了。因此类地行星的大气圈都具有次生的来源,现今地球大气圈的形成与地球的内部去气作用是密切相关的。

陨石冲击事件使得地球表面的温度不断增加,地球大部分的岩石和外来的陨石都处于熔融状态,岩石中的挥发性组分从岩石中分离出来,形成了现在大气圈的雏形。早期大气圈的成分和现在大气圈的成分相比有较大的区别,最明显的是氧和二氧化碳含量的变化,早期二氧化碳的含量相当于现在大气圈的20万倍。水圈的形成也与大气圈的形成相似,在陨石冲击下,陨石和地球岩石中大量的结晶水由于温度的升高从矿物的分子结构中分离出来,形成大量的蒸汽。陨石冲击事件逐渐减少后,地球表面的温度也开始下降,水蒸气结成水降到地球表面,并最终形成水圈。由此可见,地球的水圈和气圈都是地球演化的结果,而液态水圈的形成则略晚于气圈。

1.1.3.4 地球内部圈层的形成

陨石冲击事件不仅给地球带来了大量的物质和能量,也使地球的温度急剧升高,并使地球表层处于熔融状态,促进了地球的圈层分异。地球内部圈层形成和演化的另外一个重要因素是行星的质量,质量决定了行星的内部结构和演化历史。只有质量达到一定值,行星才能够演化成球体,小行星由于质量太小,其外形是随机的。在重力的作用下,行星物质不断分异,重物质向行星内部集中并释放势能,同时放射性物质所释放的能量使地球内部不断地升温,加速了物质的分异,最终形成了内部圈层。

在这一过程中,质量从两个方面起作用,一是质量大的星球万有引力也大,由于岩石的热导率很低,大量的放射性元素蜕变产生的能量长期保留在行星的内部,使得行星内部的圈层分异得以长期进行,保持行星活力。二是质量越大,这种分异过程也就越长,能量积累也就越多,行星的活动性时间也就越长。从地球的大地热流研究看,目前地球内部所具有的能量,仍能使地球内部的活动在一定时间内继续下去。而像水星、火星这种质量较小的行星,现在已经停止了内部的活动。

1.1.4 地球构造概述

经过近46亿年的演化,地球形成了现在的大气圈、水圈、生物圈、固体地球等圈层。

1.1.4.1 地球的基本圈层

(1)大气圈。大气圈为包围地球的空气总体。大气总质量约占地球总质量的 1×10^{-6} ,总质量的99.9%集中在大气圈下部48 km以内。按热力性质,可将大气圈分为对流层、平流层、中间层、热层和外逸层。

(2)水圈。水圈是地球表层水体的总称。水体是水的聚集体,如海洋、湖泊、河流、沼泽、地下水、冰川、积雪和大气中的水。这些水形成一个断断续续围绕地球表层的水壳,即水

圈。假设地壳是一个平坦的球面,若将水圈中的水均匀地平铺在地球表面上,那么地球将是一个被2 700 m深的水所覆盖的“水球”。

全球海洋总面积占地表总面积的71%;全球海洋总水量占地球总水量的97%以上。因此,海洋是水圈的最大水体。海洋的中心主体部分称为洋,边缘附属部分称为海,海与洋彼此沟通组成统一的世界大洋。世界大洋分为太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋。

(3)生物圈。地球表层的大气圈、水圈和岩石圈中适于生物生存的范围就是生物圈。水圈中几乎到处都有生物,在深度超过11 000 m的海沟最深处,还能发现深海生物,但生物主要还是集中在表层和浅水的底层。大气圈中的生物主要集中在下层,即与岩石圈的交界处,但在高达22 000 m的平流层中,也发现有细菌和真菌。在岩石圈中,大多数生物生存在地下几百米的土壤上层,但在地下2 500~3 000 m处的石油中,也发现有石油细菌。无论如何,就厚度而言,生物圈只占地球表面薄薄的一层(马宗晋等,2003)。

1.1.4.2 固体地球的圈层结构

1909年莫霍洛维奇(Mohorovičić, 1909)根据地震P波(或叫纵波或初至波)的走时,算出地下56 km深处存在一间断面,其上物质的波速为5.6 km/s,其下为7.8 km/s。后来称这一间断面为莫霍面或M界面,它在绝大多数地区都存在。这个面以上的圈层称为地壳。

1914年古登堡(Gutenberg)根据地震波走时,测定出在2 900 km深度处存在一间断面,其下的部分为地核,其上直至地壳底部的部分为地幔。这一间断面就是核-幔界面或核-幔边界(CMB),其深度至今一直沿用2 900 km(Gutenberg, 1959)。

莱曼(Lehmann, 1936)根据通过地核的地震纵波走时,首先提出在地核内部还存在一个间断面,由此又将地核分为内核和外核。后来,古登堡(Gutenberg, 1959)和杰弗瑞斯(Jeffreys, 1962)相继证实了莱曼的假设,并得出内核的半径在1 200~1 250 km间。因此,内、外核边界(ICB)的深度约为5 100 km。进一步观测研究表明,外核不能传播S波(横波),而内核可以传播S波,并根据地球潮汐和地球自由振荡所得地球刚性,推断外核为液态,内核为固态(马宗晋等,2003)。

布伦(Bullen, 1963, 1975)根据地球内部地震波的速度分布,将固体地球分为7层。地壳为A层;地幔为B、C、D三层;外核为E层;内、外核的过渡区为F层;内核为G层。

1914年,美国地质学家巴雷尔(J. Barrell)根据地壳均衡理论推测地球深处存在塑性层,因而,首先提出把地球上部刚性部分中岩石圈(层)其下塑性较大的部分叫软流圈(层)。1926年古登堡发现,当地震波通过100~200 km深度时,P波(纵波)速度由8.1~8.5 km/s减慢到7.2~7.8 km/s。后来,其他学者也发现过类似现象。1960年5月的智利大地震,提供了上地幔内的低速层(LVZ)可能具有全球性质的证据。这样,把地球表面至低速层,包括地壳和上地幔上部的部分称为岩石圈,而将其下的低速层称为软流圈,此构造分层概念得到普遍承认,并成为板块构造学说的立论基础之一。于是,对地球内部的圈层划分又有了岩石圈、软流圈、中圈和地核的划分方案,中圈指软流圈底至核-幔边界的地幔部分。有的学者则将地壳和上地幔称为构造圈,认为地球这个部分是内力地质作用——构造运动、岩浆活动和变质作用的直接起因。

地壳是莫霍面之上的地球最外层。无论是厚度还是成分,地壳都是很不均匀的。最明

显的差别是在大陆地壳和大洋地壳之间。因此,一般将地壳分为大陆型地壳和大洋型地壳两大类。平均而言,大陆地壳比大洋地壳厚,比大洋地壳老,也比大洋地壳的密度小。就化学和矿物成分而言,这两类地壳也明显不同。

地震波及其他的地球物理探测都表明,上地幔的地球物理场的分布,例如重力场、地震波速度分布和电导率等,在纵向和横向上都具有非均质和非均匀特性。这一特性可以延伸到上地幔深部,甚至全部上地幔(安德森,1993)。

参考文献

- 安德森 D L. 1993. 地球的理论. 北京:地震出版社
- 马宗晋,杜品仁,洪汉净. 2003. 地球构造与动力学. 广州:广东科技出版社, 1~130
- 吴泰然,何国琦. 2003. 普通地质学. 北京:北京大学出版社, 9~63
- Barrell J. 1914. The status of hypotheses of polar wanderings. *Science*, 40:333~340
- Bullen K E. 1963. An index of degree of chemical inhomogeneity in the earth. *Geophys. J.*, 7:584~592
- Bullen K E. 1975. The Earth's density. New York:John Wiley & Sons, 1~420
- Gutenberg B. 1959. Physics of the earth's interior. *Internat. Geophysics Ser.*, XII. New York:Academic Press, 1~240
- Jeffreys H. 1962. The Earth (4th edition). Cambridge:Cambridge University Press
- Lehmann I. 1936. *Publ. Bur. Cent. Assoc. Int. A*, 14:87~115
- Mohorovi č i ć. A. 1909. Das Beben vom 8, X, 1909. *Jahrb. Des Meteorologischen Observ.*, (Zagreb)

1.2 地球演化及构造运动的假说

1.2.1 概述

研究地球,就是要用地球系统科学的观点来阐明地球演化的一般规律。地球系统科学是一种新的地球观,是近10年来人们认识地球所取得的重大进展。

地球是一个巨大的系统,地球科学应当作为一门系统科学来研究,这已经成为当前全世界学术界的共识。地球系统科学就是从整体论(Holism)的观点出发,研究地球这个大系统内各个子系统,即各圈层内部以及圈层之间的运动变化的全过程、形成机制以及可能发生的变化趋势。过去地球科学内各分支学科,只注重研究各特殊子系统的内部,及其在特定时间内的结构与作用过程。例如,现代的大气圈是由气象学与大气物理学研究;现代的水圈是由海洋学、陆地水文学、水文地质学和冰川学来研究;现代的生物圈是由生物学来研究;远古时代的大气圈、水圈和生物圈主要是由地质学来研究;地壳主要由地质学、地球学、地球物理学以及地球化学来研究;地幔与地核则主要由地球物理学、地球化学与宇宙化学来研究;尽管各学科的研究对象和内容都很明确,但却都局限在某一个特定的时间与空间范围内。地球系统科学则更注意把地球当做一个行星从整体上来认识,进行各种时间尺度演化的研究,而不受地球各原有分支学科的局限。这是一种更广阔、更全面的地球观。传统的地球科学的各分支学科,对人类从地球的各个侧面去深化认识,积累了大量的资料,获得了大量地球演化的证据,对地球科学起到了积极的奠基作用,但在认识上都不免存在一定程度的局限性。

地球是一个复杂的系统,这表明它是由大量不同的、而且具有强相互作用的单元(子系