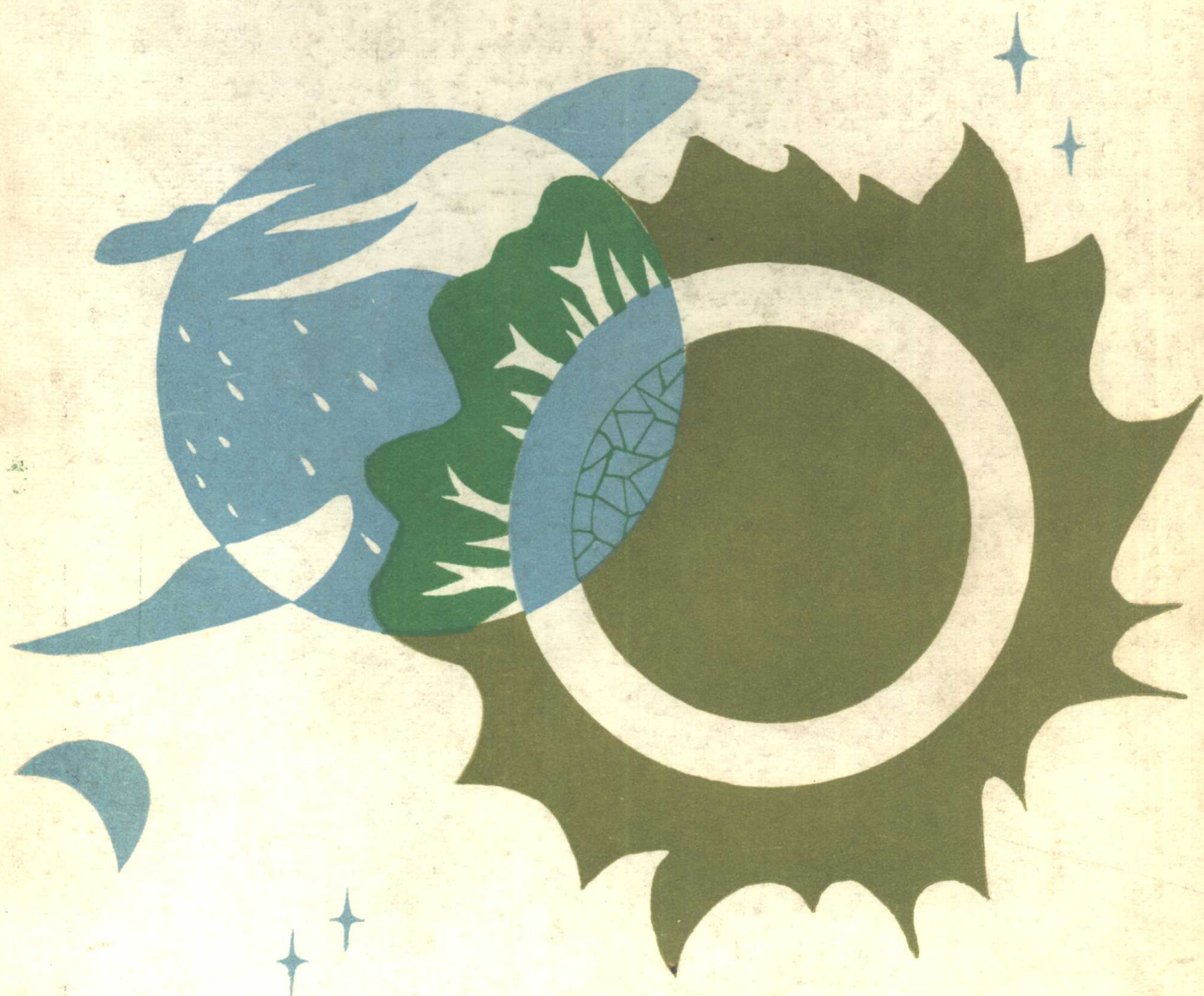


全球变化

地球四大圈异常变化及其天文成因

任振球 著



科学出版社

全球变化

地球四大圈异常变化及其天文成因

任振球 著

科学出版社

1990

内 容 简 介

全球变化问题是当今国际科学界瞩目的一个重大课题，本书就此问题系统地总结了地球大气圈、水圈、生物圈、岩石圈异常事件的群发现象及其天文原因。书中通过大量事实，揭示了大旱大涝、大地震、严重低温、海洋异常、生态灾害、火山爆发等自然灾害，以及地质时期的冰期、地质过程、海平面变化、生物灭绝等灾变事件在不同时间尺度上都呈现大体同步发生的特征，论证了此种全球性变化的形成分别与地球自转变化、九大行星地心会聚、地球轨道参数变化、太阳绕银道面和银心运动等有关，并讨论了它们之间的物理联系。

本书可供地学、天文学以及农业、水利、生态等有关学科的科研人员和大专院校师生参考。

全 球 变 化

地球四大圈异常变化及其天文成因

任 振 球 著

责任编辑 廖琴仙

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

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

*

1990年9月第一版 开本：787×1092 1/16

1990年9月第一次印刷 印张：14 3/4 插页：2

印数：0001—1150 字数：339000

ISBN 7-03-001765-X/P·345

定价：17.00元

前 言

全球变化问题是当今国际科学界瞩目的一个重大课题，它对于世界各国的经济建设和人类生活有着重大和深远的影响。国际科学联合会理事会已召开多次会议，正在制定将在 90 年代开始实施的全球变化计划——国际地圈、生物圈计划 (IGBP)，旨在对全球系统相互作用的物理、化学和生物过程、生态系统变化与人类活动的关系进行多学科研究。本书引用大量事实，指出不仅地球的大气圈、水圈、生物圈和岩石圈都是开放的，它们之间存在着重要的相互作用，而且整个地球系统也是开放的，外界的能量和物质交换，对于地球系统运转的维持及其重大变化往往有着决定性的作用；地球各圈层发生的重大事件往往呈现着群发性和大致同步的特点，它们是全球变化相互作用的极为重要的环节；在历史时期和地质时期，全球变化在时间尺度上存在着多种层次，较大的层次对于较小的层次具有制约作用，各个层次有其各自的特点和成因；引起多尺度全球变化的原因都与相应时间尺度的天文参数变化有关，其中尤以地球运动状态的种种改变对于外界能量和物质的输入起着重要的调节作用。可以说，各种时间尺度的全球性变化大多直接或间接地与地球运动变化有关，并且通过地球系统内部的反馈作用加强这种效应。书中对多种地球运动与全球变化之间的物理联系进行了讨论。

本书部分内容为国家自然科学基金资助项目。本书得以完成，与气象学家杨鉴初先生，学部委员、天文学家叶淑华先生等长期以来对作者从事这方面的交叉研究给予热情支持，以及学部委员、中国气象学会理事长陶诗言先生，气象科学研究所所长周秀骥先生等对作者从事天地生学术活动和交叉研究给予热情支持都是分不开的。多年来，在多学科的诸同事与作者的真诚合作和有益讨论中，尤其在共同发起和组织全国第一、二、三届天地生相互关系学术讨论会的过程中，作者受益匪浅，这些为本书思路的逐步形成和本书的写作奠定了基础。在这些志同道合的研究者中，特别要提到的有北京天文台张国栋、李致森、韩延本、高建国同志，国家地震局地质研究所马宗晋、徐道一同志，北京大学地质系张淑媛同志，中国地质科学院张勤文、浦庆余同志，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所徐钦琦同志，自然科学史研究所宋正海同志，科学出版社李文范同志，国家地震局分析预报中心耿庆国同志，哲学研究所王维同志，国家海洋局第一研究所修日晨同志，以及国家气象局气象科学研究所张先恭、陈玉琼同志等。本书在撰写过程中，还得到了北京天文台台长李启斌同志和北京天文台李竞同志等有关部分的指点。书中的许多内容都是与作者长期的课题合作者张素琴及李松勤同志一起讨论完成的。李松勤同志还清绘了本书全部图样。作者对他们表示诚挚的感谢。

需要说明的是，本书中的许多问题尚待进一步深入探索，尤其是在一些物理机制方面。本书的目的主要在于揭示事实，对某些问题的物理联系进行初步讨论。由于本书内容涉及的学科甚多，虽经努力力求尽可能准确表达，但仍不免有不妥之处，请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 绪论	1
§ 1.1 问题的提出.....	1
§ 1.2 地球系统的结构.....	2
§ 1.3 地球系统的特性.....	3
1.3.1 相对稳定性.....	4
1.3.2 开放性.....	5
1.3.3 整体性.....	7
1.3.4 灾害群发性.....	8
1.3.5 时空层次性.....	8
1.3.6 人类影响日趋显著.....	9
§ 1.4 地球运动的多样性.....	10
§ 1.5 地球运动与大气谱.....	11
§ 1.6 地球的能量流和物质流输入.....	13
§ 1.7 世界气候计划和全球变化计划.....	14
第二章 地球的十四种运动	16
§ 2.1 地球自转.....	16
§ 2.2 地球公转.....	18
§ 2.3 绕地月系质心运动.....	20
§ 2.4 绕太阳系质心运动.....	23
§ 2.5 自转速率变化.....	24
§ 2.6 地极移动.....	27
§ 2.7 轨道偏心率变化.....	29
§ 2.8 黄赤交角变化.....	30
§ 2.9 近日点进动.....	31
§ 2.10 岁差.....	31
§ 2.11 章动.....	33
§ 2.12 浮动.....	33
§ 2.13 绕银河系中心运动.....	33
§ 2.14 穿越银道面运动.....	35
第三章 地球定常运动对全球系统的影响	36
§ 3.1 地球自转效应.....	36
3.1.1 温度等要素日变化.....	36
3.1.2 高空大气和地磁日变化.....	42

3.1.3	地转偏向力及其效应	44
3.1.4	引潮力的周日、半日变化	47
3.1.5	地转的长期效应	48
§ 3.2	地球公转效应	49
3.2.1	太阳辐射周年变化	50
3.2.2	气候带和气候季节的形成	55
3.2.3	大气圈周年变化	56
3.2.4	水圈周年变化	59
3.2.5	其它圈层的周年变化	61
第四章	地球自转变化与地球系统异常	63
§ 4.1	大气角动量与自转的季节变化	63
4.1.1	大气角动量对日长季节变化的影响	63
4.1.2	大气角动量变化的原因	66
4.1.3	自转季节变化对海洋、大气的反作用	70
§ 4.2	地球自转与 ENSO 事件	71
4.2.1	厄尼诺事件和南方涛动及其成因	72
4.2.2	自转速度变量与厄尼诺事件	77
4.2.3	极移振幅与厄尼诺事件	79
4.2.4	自转速度减慢影响厄尼诺的物理途径	81
4.2.5	地球自转速度减慢与四大圈异常	84
§ 4.3	本世纪地球自转和大气、海洋环境的长期变化	90
4.3.1	自转长周期与大气环境变化	90
4.3.2	自转长周期与海洋环境变化	92
4.3.3	自转长周期与地震活动	93
4.3.4	本世纪温度变化的成因问题	95
§ 4.4	极移长周期与地球系统变化	97
4.4.1	极移振幅“40 年”周期与气候振动	97
4.4.2	地极 29.8 年波动与气候、地震、内核振动	99
第五章	地球绕太阳系质心运动与自然灾害群发现象	102
§ 5.1	九大行星会聚及其计算	102
5.1.1	九大行星会聚的定义	102
5.1.2	九星地心会聚的计算	103
§ 5.2	百年尺度的九星会聚与自然灾害相对频繁期	103
5.2.1	九星会聚与低温冷害	105
5.2.2	九星会聚与旱涝灾害	109
5.2.3	九星会聚与大地震及其它	110
§ 5.3	千年尺度的九星会聚与自然灾害群发期	113
5.3.1	九星会聚长周期与温度变迁	113
5.3.2	九星会聚长周期与干湿变迁	117
5.3.3	九星会聚长周期与岩石圈异常	119
5.3.4	九星会聚长周期与海平面变化	120

5.3.5 九星会聚长周期与古代文明发展	122
§ 5.4 物理机制讨论	125
5.4.1 过去对九星会聚效应的认识	125
5.4.2 九星地心会聚的力矩效应	127
5.4.3 南半球的反证问题	129
5.4.4 其它可能的物理成因	131
§ 5.5 当前的气候阶段	133
5.5.1 气候展望	133
5.5.2 实况检验	134
第六章 地球轨道参数与第四纪冰河期	135
§ 6.1 地球轨道参数和太阳辐射量	135
6.1.1 关于地球轨道参数	135
6.1.2 轨道参数对辐射量的影响	137
§ 6.2 轨道参数变化与冰河期	140
6.2.1 第四纪古温度序列的建立	140
6.2.2 日射率与冰期、间冰期	143
6.2.3 物理效应问题的讨论	149
§ 6.3 轨道参数变化与全球环境变迁	154
6.3.1 轨道参数与海洋状况的变化	154
6.3.2 轨道参数与生态变迁	158
6.3.3 轨道参数与地质、地貌变迁	161
6.3.4 轨道参数与大气成分变化	164
§ 6.4 冰期气候及其天文成因的数值模拟研究	166
6.4.1 末次冰期气候模拟	166
6.4.2 轨道参数影响冰期气候的数值模拟	169
第七章 地球跟随太阳绕银河系运动与地球系统大旋回	171
§ 7.1 太阳穿越银道运动与地球系统异常	171
7.1.1 太阳穿越银道运动与地质纪分界	172
7.1.2 太阳穿越银道运动与古温度异常	174
7.1.3 太阳穿越银道运动与古生物盛衰	176
7.1.4 太阳穿越银道运动与海平面变化	179
§ 7.2 银河年与地球系统重大变异	181
7.2.1 银河年与地球大冰期	181
7.2.2 银河年与海平面变化	183
7.2.3 银河年与古地磁倒转	184
7.2.4 银河年与其它地质事件	186
§ 7.3 影响途径讨论	188
7.3.1 银河年影响一级旋回的途径	189
7.3.2 太阳穿越银道影响二级旋回的途径	191
第八章 地球运动与全球性干旱、沙漠化	193
§ 8.1 世界沙漠概况及成因假设	193

8.1.1 当代干旱、沙漠化的严重性	193
8.1.2 几种成因假设	196
§ 8.2 干旱、沙漠区变迁史实	197
8.2.1 撒哈拉沙漠的变迁	197
8.2.2 塔尔沙漠的变迁	198
8.2.3 中国沙漠的变迁	198
§ 8.3 冷暖变迁与干旱、沙漠化	201
8.3.1 第四纪古温度变化与干旱、沙漠区变迁	201
8.3.2 历史时期温度变迁与干湿、沙漠区变迁	204
8.3.3 近代温度变化与干旱、沙漠化	206
§ 8.4 干旱、沙漠化的根源——地球运动变化	208
8.4.1 地球运动对多种时间尺度温度变迁的影响	208
8.4.2 地球运动-气候变冷-干旱、沙漠化的物理机制	209
8.4.3 两种季风雨、两类干旱型	211
参考文献	214
附录	220
一、常用天文常数	220
二、月亮和行星数据	221
三、地球基本数据	222
四、地质时标	223
五、地球自转年均值和月均值	224
六、极移年振幅	226

第一章 绪 论

§ 1.1 问题的提出

全球变化及其成因,正在成为国际上日益重视和关注的一个重大问题。从1968年开始持续到1984年的非洲大旱,使非洲许多国家遭受巨大灾难,经济遭到重大损失。60年代以来多次发生的厄尼诺事件,使众多的国家和地区出现气候异常和严重的旱涝灾害。与这些严重自然灾害相联系的大气环流异常和海洋异常,往往带有全球的性质。研究此类异常事件的形成原因和预测方法,已经超越任何单一学科的范围,而必须考虑全球各圈层——大气圈、水圈、生物圈和岩石圈的相互作用问题。近年来,有关气候系统、生态系统、地理系统、地球表层系统等的新定义,也都已包括四大圈的相互作用问题。地球科学各学科的研究视野,从来没有象今天这样广阔。在自然界的这种挑战下,一个个的国际规模的研究计划,如国际地圈、生物圈计划(IGBP)——全球变化计划、世界气候计划(WCP)、热带海洋和全球大气试验(TOGA)等,由此应运而生或正在诞生。

根据我们和国内一些科学工作者的研究,认为这一类的地球异常事件并不是孤立的,而是在四大圈都存在,并且具有大致同步的群发性特征。研究此类异常事件的成因,需要将地球作为一个整体加以考虑,而且需要从更大的尺度——地球外界环境条件的改变,探讨它们对地球系统异常可能带来的影响,全面考虑引起地球异常事件的根本原因和次级原因。

从根本上来说,地球大气和海洋的运动以及生命活动,其能源都直接或间接地来自太阳辐射。理所当然,太阳活动对于地球的影响历来受到人们的很大关注。然而,另一个重要问题是,地球的四大圈都是地球表层这一薄层的组成部分,它们都被整个地球拖着在宇宙空间中作各种各样的运动。由于地球各种不同形式的运动,可以使地球的不同半球、不同纬度、不同季节以至全球接受太阳的辐射量发生改变,从而导致地球四大圈发生重大变化。这方面的研究,同样应予以足够的重视。在某些时间尺度上,此种影响的重要性甚至已超过太阳活动本身变化对于地球系统的影响。

以一年中的四季变化为例。人们对于春夏秋冬、暑去寒来早已习以为常,有些人对季节的变化不以为然。但如果仔细加以探究,就会发觉其中包含着深刻的内容和意义。首先,在中高纬度的大陆,一年中冬季和夏季的月平均气温相差可达20—60℃之多。这一温度变化的幅度,超过了近10亿年以来各种气候周期的温度振幅。须知17世纪小冰期的平均温度比现在仅低2℃左右,大冰期的降温幅度在中纬度大陆比现代最多也只低20℃多。其次,从物理成因来看,引起四季温度变化的直接原因,是由于各地在各个季节的日照量不同所致。而各地各季日照量之所以不同,又是由于地球围绕太阳公转时的黄道面和赤道面有着一个约 $23^{\circ}27'$ 的交角,使得各地在不同季节存在不同的太阳高度角而引起。这就是说,四季变化本质上是由于地球运动调制了各地太阳入射量的结果。在不考虑太阳输出辐射量有无变化的情况下,仅仅由于地球一年中公转运动所造成的各纬度

带在不同季节接受太阳辐射量的不同，就可以导致冬夏季的巨大温差，从而使大气运动、海洋状况、作物生长、生态环境和人类活动都受其影响，都出现了显著的季节差异。又如，引起第四纪内冰期和间冰期的重大差别（冰期内海平面高度可比现在降低 120 米左右）的原因现在已基本清楚，主要在于地球公转轨道参数（偏心率、黄赤交角、近日点相对进动）的变化所致。地球运动的诸种不同方式对地球系统还存在着多种动力作用，如地转偏向力、引潮力、惯性离心力作用、力矩作用以及角动量效应等。地球运行至某些宇宙空间，可能还有某种特殊的能量流和物质流输入，从而引起地球系统的重大变异。

本书的目的，试图揭示地球运动与全球异常变化的关系，对迄今这方面的研究进展做一介绍，以期能够引起更多的研究者和读者的兴趣和重视。在详细论述地球各种运动和全球变化的关系之前，我们首先对地球系统的结构及其特征、地球运动的多样性及其意义、地球运动与大气谱、全球变化研究计划等做一简要的说明和论述。

§ 1.2 地球系统的结构

地球系统，广义地说是指整个地球及其携带的一切物质形态，它包括固体地球、地球

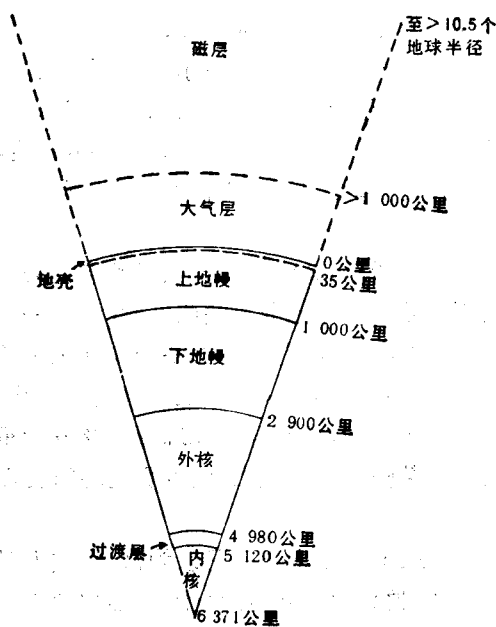


图 1.1 地球系统的结构

表层和地球空间三大部分。固体地球内部的主要分层，由地表到地心依次分为（图 1.1）：（1）地壳，平均来说，由地面至以下 35 公里；（2）上地幔，地下 35—1 000 公里；（3）下地幔，地下 1 000—2 900 公里；（4）外核（液态），地下 2 900—4 980 公里；（5）过渡层，地下 4 980—5 120 公里；（6）内核，地下 5 120—6 371 公里。地球表层指地面以上至 85 公里高的大气层的中、低层。地球空间可以包括：（1）高层大气，指高于地表 85 公里以上的大气层的高层；（2）磁层，起始于离地表 600—1 000 公里，磁层顶在向太阳一侧为 10.5 个地球半径，在背向太阳一侧可延伸到几百至 1 000 个地球半径。

狭义地说，地球系统一般是指大气圈、水圈、生物圈和岩石圈，也称为地球

表层系统。为了突出与人类生存关系密切的地球表层部分，本书涉及的地球表层系统主要是指大气圈的对流层、水圈、生物圈和岩石圈的地壳层（图 1.2）。

（1）对流层，为大气圈的底层。天气变化和气候变异以及 CO_2 温室效应主要都发生在这一层内。对流层的厚度，在中纬度地区为 10—12 公里，在两极地区为 7—8 公里，并随季节变化而异，夏季增厚而冬季变薄。对流层大气的质量约占全球大气总质量的 75%。大气中的水汽，也主要集中在这一层。如果考虑人类活动对臭氧层的破坏和火山灰对气

候的影响,也可以将地球表层系统的上界,划到大气圈平流层的中部(30公里以下)。

(2) 水圈,包括海洋和陆地上的湖泊、河流、沼泽、地下水以及固态的冰川和雪。海洋中水的质量为 1.45×10^{24} 克,约占全球总水量的 97%。海洋的平均深度为 3.9 公里。海洋的面积为 3.61×10^8 平方公里,占全球表面积的 70.8%。

(3) 生物圈,为地球上所有的生物有机体。生命现象在陆地、海洋和底层大气中到处都有存在,它是地球大气、水和地壳长期演化的产物,它又参与了对地表、大气和水的改造。

(4) 地壳,为岩石圈的上部,它以莫霍面(地震波速急剧增长的边界层)与上地幔为界。地壳的厚度,在大陆下平均约为 35 公里,在我国青藏高原下约在 65 公里以上。海洋下面的地壳厚度只有 5—8 公里。陆地的平均海拔高度为 0.86 公里。地壳表层还有土壤层、风化层和沉积层。危害极大的大陆浅源地震,就是发生在地壳这一层内。如果考虑板块运动的作用,也可把地球表层系统的下界延伸至包括整个岩石圈,即地表以下 70—100 公里。

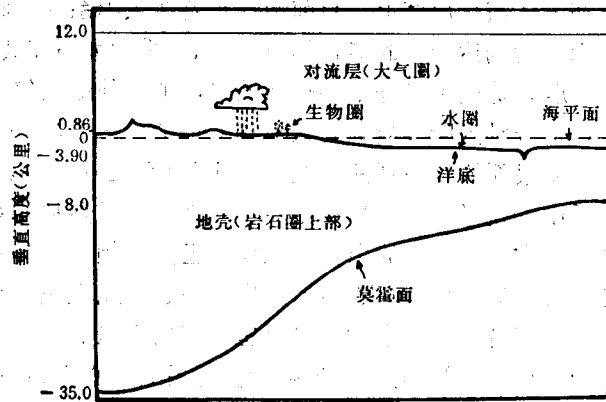


图 1.2 地球表层各圈剖面示意图

地球表层是一个巨系统,它是大气圈、水圈、生物圈和岩石圈相互联系、相互作用的整体。地球表层系统又是一个开放系统,它与外界有着物质和能量的交换。它是与人类最直接有关系的自然环境,是人类赖以生存和从事生产、生活的必备环境。这个地球表层环境内发生的异常变化,对于人们从事的经济建设和生命财产都有着不可忽视的影响。人类对森林的滥伐、过度放牧和开垦,工业排放的 CO_2 和其它污染物,以及人口膨胀等破坏了地球表层环境,而反过来又制约了人类的生产活动和生活。钱学森(1987)倡议建立的地球表层学,它的研究对象就是这个巨系统本身及其环境。

地球系统各圈层存在着各种时间尺度的异常事件,这些异常事件对于人类活动和生态环境有着重大的影响。本书所讨论的全球变化,主要就是指此种带有全球意义的四大圈的异常变化。我们认为,对于这种异常事件,需要从地球整体出发加以考察,来揭示大气、海洋、生物和地壳活动发生异常的特征及其规律,以便进一步探讨它们的基本成因。

§ 1.3 地球系统的特性

地球系统的大气圈、水圈、生物圈和岩石圈,从总体上看,它们具有明显的共同特性。大致可认为有以下几个方面:相对稳定性、开放性、整体性、灾害群发性、时空层次性,以及受人类活动的影响日趋显著。

1.3.1 相对稳定性

在天体演化尺度上,目前地球正处在太阳系演化和地月系演化的稳定平衡时期。一是太阳辐射到达地球的能量相当稳定。由于太阳在其本身的演化过程中处在成熟的“中年”时期,地球位于日地平均距离处时,地球外层大气上界垂直于太阳光的每平方米面积上,每分钟内所接受到的太阳辐射量是一常数,为 $1.95 \text{ 卡}/(\text{厘米}^2 \cdot \text{分})^{1)}$,称之为太阳常数。由最新的卫星观测表明,太阳常数的变化极小,仅有 0.15% 的变化。二是地球在太阳系中的轨道运动相当稳定。不仅地球轨道参数的变化非常规则,可以精确计算,而且地球与其它行星之间的引力相互作用已达到相当完美的程度。我们计算了太阳系行星的三星日心会聚周期(见表 1.1),发现木星、土星、天王星和海王星这四颗巨行星中的任意两颗行星与任意一颗较小的近日行星(地球、金星、火星、水星)的三星日心会聚周期的长度均相当精确地相等,并且与该两颗巨行星的日心会聚周期也相等。如木、土两星与地、金、火、水星中任一行星的三星日心会聚周期均为 19.859 316 79 年,这一周期也就是木、土

表 1.1 太阳系行星的三星和两星的日心会聚周期

三星会聚周期(年)	两星会聚周期(年)
木、海、地 12.782 335 88 木、海、金 12.782 335 88 木、海、火 12.782 335 88 木、海、水 12.782 335 88	木、海 12.782 335 88
木、天、地 13.812 462 07 木、天、金 13.812 462 07 木、天、火 13.812 462 07 木、天、水 13.812 462 07	木、天 13.812 462 07
木、土、地 19.859 316 79 木、土、金 19.859 316 79 木、土、火 19.859 316 79 木、土、水 19.859 316 79	木、土 19.859 316 79
土、海、地 35.869 597 6 土、海、金 35.869 597 6 土、海、火 35.869 597 6 土、海、水 35.869 597 6	土、海 35.869 597 6
天、土、地 45.363 428 天、土、金 45.363 428 天、土、火 45.363 428 天、土、水 45.363 428	天、土 45.363 428
天、海、地 171.392 137 天、海、金 171.392 137 天、海、火 171.392 137 天、海、水 171.392 137	天、海 171.392 137

1) 1卡=4.1868 焦耳。

两星的日心会聚周期。表明地球和其它几颗较小的近日行星的轨道运动，在太阳系的长期演化中，已被几个巨行星的引力作用调制得相当好。三是地球各圈层的空间结构、成分、质量、能量收支、运动方式和规律等，也都处在相对稳定和平衡的状态。这就使得我们地球上所特有的大气、温度、水、土壤、地表环境等在一定时期内保持相对稳定少变，为人类和生物的生存、发展提供了良好的基本条件。地球各圈层都具有各自的相对独立的运动方式和规律。在地球系统相对稳定和线性、近平衡的条件下，各圈层某些时空尺度的变化，根据内部的因子和条件可以得到较好的近似，外界因子通过各圈层内部的条件和运动规律而发生作用。

1.3.2 开放性

系统的性质可以分为：孤立系统——与外界没有能量和物质的交换；封闭系统——可与温度确定不变的外界交换能量而不交换物质，体系温度保持恒定；开放系统——可与外界交换能量和物质。对于孤立系统，由热力学第二定律可知，函数熵 S 只能单调地增加，直至极大。此时系统由热力学的非平衡态变为平衡态，即 $\frac{dS}{dt} \geq 0$ ($=0$ 为平衡态)。这就是说，在孤立系统中，由于熵愈来愈大，状态只能自发地从非平衡转变为平衡，从有序转变为无序，而不可能逆转。对于封闭系统，当体系和外界同一的绝对温度足够低时，有可能形成低熵的有序平衡结构，如晶体和相变。对于开放系统，在时间间隔 dt 内，体系熵的改变 dS 应由两部分组成

$$dS = d_e S + d_i S。$$

其中 $d_e S$ 为熵流，由体系与外界交换能量和物质所引起； $d_i S$ 为熵产生，由体系内部的不可逆过程所引起。当熵流 $d_e S$ 为负，并达相当数量时，可以使体系的总熵减少成为远离平衡态，从而可能出现有序的自组织的耗散结构。

地球系统这一巨系统及其各圈层子系统的性质较为复杂。普利高津在较早的著作(1977)中曾谈到，“地球近似地是一个封闭系统”，即与外界有能量交换而没有物质交换。最近，他在《探索复杂性》(1986)一书中，又多次谈到“气候体系的巨大复杂性”，“如果不求助于建立在不可逆性概念基础上的耗散系统”，“气候的历史等简直就无法理解”；“表明气候系统保持在远离热力学平衡态的位置上”。

我们考虑，地球及其表层系统只有在两种特定条件下，方可将它们视为近似的封闭系统。一是从天体演化尺度看今天的地球，它目前处在与外界有稳定的能量交换而质量交换可以忽略的状态；二是从短期尺度——日平均的几天和年平均的几年，并且从全球上讨论能量平衡时，则可将地球接受太阳短波辐射和向外空放射长波辐射视为处于平衡状态。除此两种特定情况外，地球在许多情况下都是一个典型的开放系统。

第一，从地球系统及其圈层的本质来看，大气运动、海洋运动和生命过程得以存在和维持，主要依靠太阳辐射提供源源不断的能量。理论计算表明，如果一旦失去太阳辐射，地球大气本身的能量仅能维持一个星期左右。洋流的动力主要来自大气环流底层的盛行风和热盐对流，其能源可看做直接、间接地来自太阳辐射。地球上一切生命过程的存在，更是离不开太阳的光和热。这就是说，地球系统由于接受太阳源源不断的能量(负熵流)，

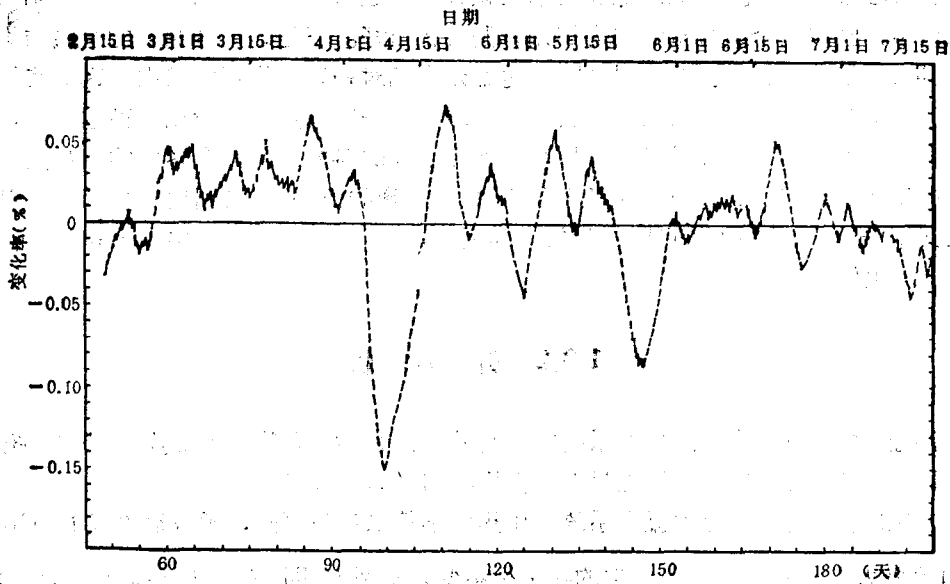


图 1.3 1980 年 2—7 月由 SMM 卫星测到的太阳常数的变化率
(Willson, 1981)

表 1.2 各纬度带冬、夏半年的辐射量及其差值(大气上界)

纬 度	夏半年(卡/厘米 ²)	冬半年(卡/厘米 ²)	差值(卡/厘米 ²)	倍 数
10°	169 950	146 800	23 150	1.16
20°	174 570	128 980	45 590	1.35
30°	174 450	107 800	66 650	1.62
40°	169 710	84 030	85 680	2.02
50°	160 860	58 740	102 120	2.74
60°	149 080	33 620	115 460	4.43
70°	138 700	13 440	125 260	10.32
80°	134 520	3 240	131 280	41.52
90°	133 300	0	133 300	

不断抵消地球表层的熵增加和降低系统的总熵，才能形成和维持大气圈、水圈、生物圈的丰富多采的自组织的有序结构。第二，即使从全球来说，到达地球的太阳辐射常数实际上是变化的。从图 1.3 可见，在半个月时间内，由卫星测量的太阳常数可变化 0.15%。全球年平均气温从本世纪 30 年代末到 1970 年降低了 0.45°C，表明全球的年平均温度也是有变化的，它隐含了地球与外界的能量交换也可能存在差别。第三，从南、北半球来看，冬半球的太阳高度角较小，得到的太阳总辐射较少；夏半球的太阳高度角较大，得到的太阳总辐射较多。由表 1.2 可见，在中高纬度地区，夏半年的辐射量比冬半年要多得多，如 60° 纬度带夏半年的辐射量为冬半年的 4.4 倍。显然，对于冬、夏半球来说，能量收支是不平衡的。第四，地球轨道参数变化引起冰河期的直接物理原因，在于改变了中高纬度的日射率所致。表明在同一半球的不同纬度带，辐射量的变化也是不同的。第五，长期天气过程和气候过程的非绝热性，决定了地球大气必然属于开放系统。尤其是本书中讨论的气候

异常以及地球其它圈层的异常事件，一般说来多为远离平衡态现象。本书所揭示的地球四大圈异常事件，在多种时间尺度上均存在大致同步的群发现象，表明此时整个地球系统处在远离平衡态。第六，除了与外界的热量交换外，在某些时空尺度上，还存在外界对地球的动量输入，如万有引力、力矩、引潮力、电磁力等，以及与外界的物质交换，如地质史上的小行星和彗星冲击地球、陨石和太阳微粒辐射等。所有这些，都说明了地球系统的开放性质是较为鲜明的。因而将地球系统及其各圈层作为开放系统处理是必然的，也是必需的。这对于地球科学和生物科学研究的进一步深化，是相当重要的。

1.3.3 整体性

地球系统及其各圈层的整体性，表现在多个方面。

首先，地球表层系统各圈层的形成，无不都是地球演化及其相互作用的产物。由太阳系演化理论可知(戴文赛、胡中为等,1986),在地球演化过程中,地球大气的主要来源是星子陨落时,高温度使其部分挥发性成分被排除出而被地球引力吸住,以及地球形成后释放出来的气体。这种原始大气,后来由于地幔分异作用排出的气体和植物的光合作用等原因,逐渐由还原性质演变成现代的氧化性大气。星子的陨落,又促使地幔上部熔化和玄武岩喷发;形成原始大洋地壳。后来的构造运动和岩浆活动又将其余的原始地壳改造成大陆地壳。大气中的水汽通过冷却凝结成水,形成了地球的水圈。板块构造理论认为,岩石圈下面的软流圈是高温的流动性物质,由于对流的带动,使得岩石圈板块在地球表面发生移动。当板块彼此移开时,地幔的玄武质岩浆向上移动而形成大洋脊系的地壳。地球上的生命现象,随着地球演化,由早期的还原性大气逐渐形成原始的有机物质——氨基酸(部分也可能来自宇宙空间),再演变为蛋白质到原始生命,然后一步步地进化成现代高度复杂、丰富多采的生物体系以及出现具有智慧的人类。可见,现代的大气、海洋、地壳、生物都是地球演化以及它们之间长时期相互作用发展到今天的产物。

另一方面,从今天的地球表层各圈层来看,它们同样是一个相互作用的整体。例如,海洋通过吸收太阳辐射成为巨大的能源库(海水热容量大),向大气输送热量(感热和潜热)。大气通过风效应推动和影响大洋环流。陆地和海洋的不同加热率,形成了季风环流。地壳的板块运动和造山运动,导致了海陆变迁,火山喷发又影响气候变化。风化和水蚀作用,导致地壳的剥蚀和沉积过程。地表和近地面空间的温度、光照、大气成分、水分、土壤等状况,是生物生存的必需条件。生物的繁殖又影响了大气成分和地表环境。所有这些相互作用,主要都是发生在地球表层系统内,它们之间彼此相互紧密联系,组成一个完整的相互作用的整体。并且,人类活动对地球表层的影响也已成为当今的重要问题之一。

从地球整体和地球表层系统的一些参数对比来看(表 1.3),与整个地球的质量、厚度、转动惯量相比较,海洋要小 3 个数量级,对流层大气要小 3—6 个数量级。地壳的质量和厚度比地球要小 2 个数量级。可见,地球表层各圈层都是附在地球表面很薄的一层。大气、海水和生物都被地球拖着随地球自转作快速旋转运动,在赤道地表的线速度达 465.1 米/秒。地球还携带着它们围绕太阳作公转运动以及跟随太阳系绕银河系中心运动。地球整体运动各种参数的改变,对于作为地球一部分的地球表层各圈层,其影响是不

表 1.3 地球和地球表层的参数对比

	质量(吨)	厚度(公里)	转动惯量(克·厘米 ²)
地球	5.88×10^{21}	6371 (半径)	8.04×10^{44}
对流层大气	3.79×10^{13}	10—12	1.41×10^{39}
海洋	1.45×10^{18}	3.9	2.94×10^{41}
地壳	2.35×10^{19}	35	

可忽视的。

1.3.4 灾害群发性

我国科学工作者的研究表明,在历史上某些时期,自然灾害往往有集中出现的现象。其间灾害的严重程度和发生频次都有明显增加的趋势,并且其地域分布也较为广泛。不仅某种自然灾害是如此,而且整个地球系统各圈层的自然灾害都在同一时段出现这种趋势。本书有关章节将对此进行详细讨论。对于自然灾害的此种群发性现象,我们曾指出(任振球、李致森,1981),近1000年以来到本世纪50年代,中国出现五次低温期,期间不仅低温冷害比较频繁而严重,而且同时出现严重干旱的峰值期、长江和黄河的特大洪水,以及华北的地震活跃期。其中,17世纪出现的各种自然灾害是近几千年来最为严重的。这种现象的发生同九大行星的地心会聚有关。王嘉荫在60年代曾指出,在16—17世纪出现了地震、雨土和陨石的峰值。徐道一等(1984)提出,16—17世纪集中发生的各种异常灾害与当时的异常天象背景有联系,可称之为明清宇宙期。我们曾在1984年论证了公元前2000年左右发生过一次至少与17世纪相当的自然灾害群发的异常期。1986年我们又提出,近1000年以来中国出现的几次气候和其它自然灾害的异常期,属于百年尺度(140—180年);近6000年以来中国和北半球发生三次(公元前2000年、公元前1000年,和17世纪)千年尺度(1000—1400年)的更为严重的恶化期。另有一次稍弱,在5世纪前后。作者与张国栋、徐道一、徐钦琦合写的一篇论文(1986)进一步指出,在近6亿年以来地球四大圈的异常事件至少存在六种时间尺度的准周期的群发现象,并且它们都发生在天文参数相应变化的情况之下。地球系统各圈层的自然灾害群发性特征的揭示,对于全球变化及其相互作用的成因研究有着重要的意义。

1.3.5 时空层次性

大气圈、水圈、生物圈和岩石圈在空间结构上都有着各种不同尺度的层次,这方面过去已做了相当多的研究。在此,我们着重指出的是,地球系统在时间尺度上的层次性。本书第四章讨论了近30年以来的厄尼诺事件、南方涛动、赤道太平洋洋平面倾斜、西北太平洋副热带高压、北半球年平均气温、我国华北和云南、四川大地震、非洲东南部年雨量等变化,指出它们均呈现3—4年的准周期形式。第五章论述了中国近1000年以来的温度变化、全国受旱县数、黄河和长江特大洪水、大气降尘、华北地震活动期,以及格陵兰温度等

的异常时段都出现 140—180 年的准周期变化。中国的温度和罕见洪水、撒哈拉地区的干湿变化、海平面变化、世界闻名大地震以及古代文明发展等，又出现 1 000—1 400 年的准周期变化。第六章讨论了准周期为 10 万年左右的冰河期、海平面变化、中国黄土-古土壤地层变迁和哺乳动物南迁事件、南美森林变迁等的同步演变。第七章指出地球系统各圈层的重大变异还存在周期分别长达 3 200 万年和 3 亿年左右的同步变化。除了这六种时间尺度的准周期外，地球系统的异常事件可能还存在其它的准周期变化及一些随机事件。可见，地球系统各圈层的异常事件在时间尺度上存在着层次性是显而易见的。

地球异常事件这种时间尺度上的层次性有一个明显的特点，就是较长的周期制约着较短的周期，较短周期往往出现在较长周期的背景之下。例如，ENSO 事件（厄尼诺和南方涛动的总称）的 3—4 年周期，主要出现在本世纪 50 年代后北半球的降温时期和地球自转长周期的减慢时段。在此之前的本世纪 30—40 年代的北半球增暖和地球自转加速时段，这个周期就不明显，其间 ENSO 事件的出现次数就比较少。又如，自然灾害相对频繁期的 140—180 年周期，主要出现在千年尺度的降温时段，而在千年尺度的温暖时代这个周期并不明显。再如，冰河期的准 10 万年周期主要出现在第四纪大冰期内，在此前的大间冰期内就不明显。由此看来，研究某一尺度的相互作用和成因，注意较大尺度的可能控制作用是很必要的。

弄清地球异常事件在不同时间尺度上的层次性，以及较长周期制约较短周期的特点，是有重要的现实意义的。如在预测今后 10 年至 100 年内地球环境的可能变化时，仅仅依据本世纪以来的资料是不够的。如果没有了解当前和今后一段时间的变化处在何种时间尺度的何种阶段，尤其是如果不考虑更大尺度的背景，即处在更大时间尺度的什么位相，就有可能对当前环境和今后变化趋势的估计带来不利后果。

1.3.6 人类影响日趋显著

在古代，由于人类生产力的低下，那时候人类活动对四大圈层的影响是微不足道的。但是，随着人口的增长、生产的发展，尤其是工业革命以后，人类活动对四大圈层的影响日趋明显。人类在利用自然、开发资源的过程中，在不同程度上也破坏着地表环境。直至今现在，这已成为全球性的一个重要问题。现今，人类活动对地表环境的破坏主要有温室效应、环境污染、资源枯竭、生态破坏和核冬天等。

以 CO₂ 的温室效应为例。前面已经提到，就全球范围来说，地球接受太阳的短波辐射和地球向外空放射的长波辐射，两者的能量是基本平衡的。然而，大气中的 CO₂ 等微量气体，对于太阳的短波辐射是相对透明的，而对于地表向外放射的长波辐射（主要在 13—17 微米的波谱区）具有强烈的吸收作用，形成温室效应。当大气中 CO₂ 的浓度异常增加到一定程度时，将使全球温度升高。自从工业化以来，由于大量燃烧煤炭和石油，向大气排放的 CO₂ 正在急速增长。大气 CO₂ 含量近百年来已由 270ppm 上升到 345ppm（1984）。图 1.4 是大气 CO₂ 浓度近 30 年来的增长情况。如果按此速度增长，到公元 2030 年左右，大气 CO₂ 含量有可能达到 540ppm，即比工业化前增加一倍。根据全球大气环流模式模拟试验，它将引起大气增温 1.5—4.5℃ 及海平面上升 0.2—1.4 米。但考虑了海气相互作用之后，其增温幅度可能要比此值低一些。由于近万年以来最温暖的时代