



新世纪高等学校教材

陈 颢 史培军/编著

自然灾害

NATURAL DISASTER



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

X43/7

2007



新世纪高等学校教材

自然灾害

Natural Disaster

陈颢 史培军 编著



北京师范大学出版社

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

自然灾害/陈颢, 史培军编著. —北京: 北京师范大学出版社, 2007.10

ISBN 978-7-303-08872-0

I. 自… II. ①陈…②史… III. 自然灾害—普及读物
IV. X43-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2007) 第153155号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街19号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170 mm × 230 mm

印 张: 26.5

字 数: 350千字

印 数: 1~10 000册

版 次: 2007年9月第1版

印 次: 2007年9月第1次印刷

定 价: 48.00元

责任编辑: 胡廷兰 李 强 装帧设计: 天泽润

责任校对: 李 菡 责任印制: 董本刚

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

本书如有印装质量问题, 请与出版部联系调换。

出版部电话: 010-58800825

前言

为什么要写这本书

当你翻开报纸时，几乎每天都可以看到来自世界各地的关于自然灾害的报道。随着经济的发展和人口的城市化，减轻自然灾害已经成为全社会最关心的话题之一，成为社会安全的重要组成部分。

遗憾的是，目前国内大学还没有开设这方面的课程，也没有相关的教科书。一方面，新的探索从传统学科中成长起来需要一段时间和过程；另一方面，自然灾害涉及自然科学、工程科学和社会经济科学，是一个学科跨度较大的新的研究领域。

几年前，纽约大学石溪分校的黄庭芳教授告诉我，在美国史坦福大学等几所著名的大学，陆续开设了有关自然灾害的大学公共课程，令人想不到的是，选课的人数超出了预期，非常多。这说明，如何认识自然灾害以及将自然灾害损失减到最小，已经成全社会都关心的重要问题。黄庭芳教授还指出，尽管遭受自然灾害最严重的是东方国家，但目前教材中自然灾害的例子几乎全部来自西方国家。

在这种情况下，从2004年开始，我在中国科学院研究生院开设了一门公共课程，课程的名称最初叫作“新闻中的自然灾害”（这是受到国外大学课程名称的影响——Natural Disaster on the News），第二年改成“自然灾害中的物理学”，最后，定为“自然灾害”。史培军教授在北京师范大学也讲授了类似的课程。本书就是在这些课程的讲义的基础上，由史培军教授和我一起重新整理和加工而成的。

如何写这本书

史培军教授和我希望把这本书写成一本大学本科课程的教科书，但是我们面临不少困难。首先，本书涉及地震、海啸、火山、气象、洪水、滑坡和泥石流、空间等多种自然灾害，不同灾害产生的原因不同，特点也不同。既然把它们放到一本书中来讲，需要找到一条“线”把这些不同的灾害串在一起，从而形成一个关于多种灾害的整体观。我们找到的这条“线”就是能量。我们生活的地球是一个活动的星球，它每时每刻都在发生变化。这些变化，特别是快速变化就造成了自然灾害。但地球为什么会变化呢？我们试图从地球的外部能量（太阳能）、内部能量（地球地热能）和重力能量的角度，介绍变化的原因和变化的特点，用能量分析把不同的自然灾害串在一起。

本书共有9章，第1章对由大气圈、水圈、生物圈和岩石圈组成的地球系统进行概括的介绍，重点是介绍造成这些圈层运动和变化的能量来源，这就为理解各种自然灾害的发生机理和原因提供了基础。第2章至第8章，分别对地震灾害、海啸灾害、火山灾害、气象灾害、洪水灾害、滑坡和泥石流灾害、空间灾害进行了介绍。介绍这7种灾害的章节保持相对的独立性，读者可以有

选择地阅读。每章后面提供的思考题、参考文献和许多有关的网站，供有兴趣的读者进一步学习、研究和思考。每章中都有参考性阅读的框图，一些框图涉及公式的数学推导，另一些框图提供了基础知识的背景介绍，读者可根据自己的兴趣选择性地阅读，也可以跳过去，只读正文。

在编写这本书时，我们遇到的另一个问题是：教科书不同于专著。专著是某一学科的某一专题方面的专门著作，读者都是该方面的专家，写专著时可以少考虑读者能不能看懂的问题。而教科书则不同，它的读者是广大的学生，也许还包括从事减灾的各级领导和工作人员，包括对某一灾害比较熟悉但很少接触其他灾害的同志。能不能让这样广大的读者读懂，能不能将科学性、普及性和趣味性结合起来？对我们来说，这是有一定的难度的挑战性工作。在科普性和趣味性方面，史培军教授和我尽了我们的最大努力，我们真心地欢迎大家提出批评和建议。在科学性方面，从获取素材到修改内容，我们得到了许多专家的真诚的帮助。这些专家有：

地球系统和自然灾害：丁仲礼、汪品先

地震灾害：刘瑞丰、王兰民

海啸灾害：王水、林间

火山灾害：洪汉琼、张有学、刘嘉琪

气象灾害：吴国雄、秦大河

洪水灾害：刘昌明、李坤刚

滑坡和泥石流灾害：黄润秋、刘希林、崔鹏

空间灾害：魏奉思、胡有秋

除了上面列举的，还有其他许多专家也为本书的写作提供了帮助，我们对他们表示衷心的感谢。

我们的希望

我们尝试将这本书写成一本图文并茂、知识性和实用性并重的书。书中的图片和插图，少数是我们自己制作的，大部分来自其他的来源。我们十分感谢美国宇航局 (NASA) 和地调局 (USGS) 的帮助，当他们知道我们在编这本教科书时，授权我们可以为教育目的使用他们网站上的所有图片。我们也十分感谢国内和国外的许多图片作者，他们同意引用他们的作品，在书中我们均作出了说明。但还有一部分图片，由于各种原因，我们无法找到原作者或难于与原作者取得联系，我们在书中尽量给出了间接的出处，在这里，我们向这些作者致歉，并希望得到他们的谅解和支持。

在多年与自然灾害斗争的过程中，特别在严重自然灾害的救灾过程中，除了及时地运送救灾物资，向灾区送去减灾的知识、提高全社会的防灾意识，也是救灾工作的重要环节，这就是本书写作的初衷，希望能得到广大读者和社会公众的批评和建议，以便把这个工作做得更好。

感谢

在本书编写过程中，得到了中国地震局、北京师范大学、中国国家减灾委员会、中国科学院地质部的支持和鼓励，得到了张尉、方伟华、刘宁、王宝善、彭菲等同志的大力帮助，他们为本书的完成，做了大量的工作。北京师范大学出版社的编辑李强、胡延兰等为本书的编辑出版，做了出色的工作。在此，我们向他们表示衷心的感谢！

第1章 地球系统和自然灾害

- 1.1 地球——我们的家园/003
- 1.2 活动的地球/011
- 1.3 地球活动的能量来源/025
- 1.4 自然灾害的特点/037
- 1.5 灾害类型/042
 - 思考题·参考资料·相关网站/044

第2章 地震灾害

- 2.1 地震/050
- 2.2 地震的特点/063
- 2.3 地震灾害/072
- 2.4 减轻地震灾害/093
 - 思考题·参考资料·相关网站/101

第3章 海啸灾害

- 3.1 海啸的物理/105
- 3.2 海啸的特点/115
- 3.3 海啸灾害/120
- 3.4 减轻海啸灾害/140
 - 思考题·参考资料·相关网站/147

第4章 火山灾害

- 4.1 什么是火山/151
- 4.2 岩浆/160
- 4.3 火山与板块构造的关系/164
- 4.4 火山灾害/167
- 4.5 火山的作用/176
- 4.6 中国的火山/177
 - 思考题·参考资料·相关网站/183

第5章 气象灾害

- 5.1 地球的大气层和天气系统/188
- 5.2 台风/194
- 5.3 沙尘暴/208
- 5.4 干旱和洪涝灾害/216

5.5 极端天气(热浪和寒潮)/221

5.6 强对流天气/228

5.7 全球变化和气象灾害/237

5.8 减轻气象灾害/243

思考题·参考资料·相关网站/249

第6章 洪水灾害

6.1 洪水/253

6.2 洪水的形成/255

6.3 洪水灾害/271

6.4 减轻洪水灾害/285

思考题·参考资料·相关网站/299

第7章 滑坡和泥石流灾害

7.1 滑坡/304

7.2 泥石流/316

7.3 滑坡和泥石流的危害和分布/322

7.4 滑坡和泥石流灾害实例/328

7.5 滑坡和泥石流灾害的预防和减轻/336

思考题·参考资料·相关网站/344

第8章 空间灾害

8.1 空间环境/350

8.2 空间环境与人类活动的关系/361

8.3 空间灾害/366

8.4 陨石撞击地球/374

8.5 空间灾害的减轻/382

思考题·参考资料·相关网站/388

第9章 减轻自然灾害

9.1 21世纪自然灾害的特点/393

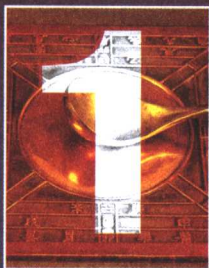
9.2 自然灾害的预测预警/401

9.3 灾害预防/404

9.4 应急反应和灾害救援/408

参考资料/416

人类居住的地球是由大气圈、水圈、生物圈和岩石圈组成的，这些圈层每时每刻都在发生着运动和变化。运动和变化的能量主要来源于外部的太阳能和内部的地热能，从能量角度认识各种自然灾害的起因，是减轻灾害的重要基础。



地球系统和自然灾害

- ① 地球——我们的家园
- ② 活动的地球
- ③ 地球活动的能量来源
- ④ 自然灾害的特点
- ⑤ 灾害类型



1 地球系统和自然灾害



1.1 地球——我们的家园



图 1-1 在太阳系中的行星 (planets), 距离太阳从近到远分别为: 水星 (Mercury), 金星 (Venus), 地球 (Earth), 火星 (Mars), 木星 (Jupiter), 土星 (Saturn), 天王星 (Uranus), 海王星 (Neptune)。冥王星 (Pluto) 已经降级为矮行星 (dwarf planets)。只有地球和火星, 处在很得天独厚的距离范围: 离太阳不远不近, 温度不高也不低, 是仅有的两颗可能存在生命的星球

在太阳系的天体中, 地球是得天独厚的。地球离太阳恰到好处的距离, 使其具有最适于生物生存的地表温度, 它离太阳不太近, 温度不会太高; 离太阳也不那么远, 温度也不会太低。地球上的海洋, 自从在 45 亿年前形成以后, 就一直把液体保存了下来。

地球是太阳系中唯一具有板块构造的行星。正是板块构造把构成生命基础的营养物质和其他物质送进地球内部，然后再循环回到地表。

地球是唯一拥有一个氧气占 $1/5$ 的大气圈的行星——这种氧气是由单细胞生物在漫长的历程中产生的，它反过来又刺激了多细胞生物的演化。

地球是人类惬意的家园。我们日常生活中所使用的一切物质都来自地球，如燃料、矿产、地下水，甚至我们的粮食（通过土壤、水和肥料等媒介）。

要了解地球的全貌，最好是从宇宙空间的角度来看地球。从地球的空间照片上，地球的全貌表现得一览无余：云彩、海洋、两极冰盖和各个大陆。从宇宙空间也可以看到别的星球，但是其面貌和地球大不相同。

首先，地球照片上白色的是厚厚的大气圈。在地球引力的作用下，大量气体聚集在地球周围，形成包围地球的大气层。大气圈的范围很广，从地面一直伸展到遥远的太空，探空火箭在 3 000 km 高度仍然发现有稀薄的大气。



图1-2 从空间看到的地球：蓝色的是海洋，白色的是含有大量水蒸气的大气，绿色的是被植被覆盖的陆地，所有这些，在太阳系其他星球上都是看不到的，于是，地球成为了太阳系中一颗非常独特的星球

资料来源：
NASA

大 气 圈

在地球引力作用下,大量气体聚集在地球周围,形成数千千米的大气圈。气体密度随离地面的高度的增加而变得愈来愈稀薄。大气质量约 $6\,000 \times 10^{12} \text{ t}$,差不多占地球总质量的百万分之一。

根据各层大气的不同特点(如温度、成分及电离程度等),从地面开始依次分为对流层、平流层、中间层、热层(电离层)和外大气层。

接近地球表面的一层大气,空气的移动是以上升气流和下降气流为主的对流运动,叫作“对流层”。它的厚度不一,其厚度在地球两极上空为 8 km ,在赤道上空为 17 km ,是大气中最稠密的一层。大气中的水汽几乎都集中于此,是展示风云变幻的“大舞台”:刮风、下雨、降雪等天气现象都是发生在对流层内。

对流层上面直到高于海平面 50 km 这一层,气流主要表现为水平方向运动,对流现象减弱,这一大气层叫作“平流层”,又称“同温层”。这里基本上没有水汽,晴朗无云,很少发生天气变化,适于飞机航行。在 $20 \sim 30 \text{ km}$ 高处,氧分子在紫外线作用下,形成臭氧层,像一道屏障保护着地球上的生物免受太阳高能粒子的袭击。

平流层以上到离地球表面 85 km ,叫作“中间层”,又称“散逸层”。中间层以上到离地球表面 500 km ,叫作“热层”。在这两层内,经常会出现许多有趣的天文现象,如极光、流星等。人类还借助于热层,实现短波无线电通信,使远隔重洋的人们相互沟通信息,因为热层的大气受太阳辐射,温度较高,气体分子或原子大量电离,复合概率又小,形成电离层,能导电,反射无线电短波。

热层以上是外大气层,延伸至距地球表面 $1\,000 \text{ km}$ 处。这里的温度很高,可达数千摄氏度;大气已极其稀薄,其密度为海平面处的一亿亿分之一。

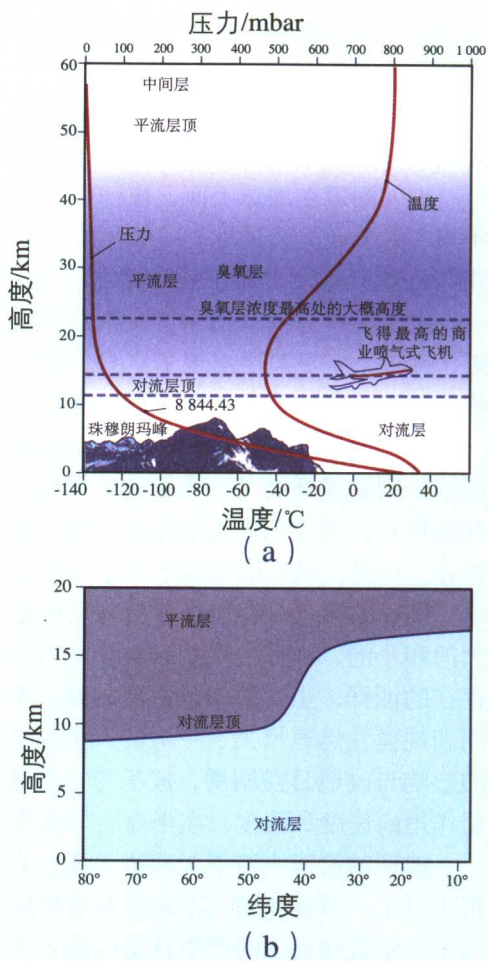


图 1-3 (a) 为在地球外部的太阳热量作用下,地球表面上方大气层的平均剖面,并给出了温度和压力随高度的变化情况。可以看出,随着高度的增加,压力急剧下降;而温度则是先降低,然后再升高。(b) 为对流层和平流层厚度随纬度的变化,喷气式飞机多数飞行在平流层。从图中可以看到,在纬度 $40^\circ \sim 45^\circ$ 之间,有一对流层厚度的急剧变化。多数气象灾害都发生在对流层

大气圈中的混合气体叫作空气，空气包含氮气（78%）、氧气（21%）、水蒸气、其他气体和尘埃。我们依靠呼吸氧气才能生存。没有空气，地球上就没有生命了。

射入地球的太阳光遇到空气后产生散射，对于低层的分子来说，主要是散射蓝色光，从而使天空成为蓝色。有了大气圈，在昼夜交替的过程中，我们才能欣赏到晨光明霞、黄昏夕照的壮丽景色。

我们经常能看见夜空中美丽的流星，那是闯入地球的天外来客——陨石正在燃烧。要不是大气圈挡住它们，地球早就被砸得坑坑洼洼、不成样子了。

大气圈罩在地球上，像一个大温室，让地球保持适宜的温度，这叫“温室效应”。近十年来，由于人类大量排放二氧化碳（ CO_2 ）气体，“温室”里面热量增多，导致全球气候变暖。我们要爱护地球，就必须控制对大气圈有害的行为。

大气圈中有一层薄薄的臭氧层，能挡住太阳光中的紫外线，保护地球生物免遭伤害。最近，南极上空臭氧层出现了空洞。科学家发现，是人类生产的氟利昂等化学物质排放到天空，把臭氧层“撕破”了一个大洞，这是非常危险的。

地球上的江、湖、海、川、南北极的冰盖和大陆上的冰川组成了地球的水圈，这是地球区别于别的星球的又一个重要的区别。离太阳太远的星球温度太低，水不可能以流体和气体状态存在；离太阳太近的星球温度太高，水不可能以固体状态存在。其他星球也可能有水圈存在，但是，只有地球的水圈才可能以水、冰和水蒸气三种状态存在。

地球的第三个特点是存在着生物圈，图 1 - 2 上的绿色是植被覆盖着的大陆。植物和动物，大的和小的，地球上生物种类多达百万种以上。迄今为止，我们尚未发现其他星球上有生物存在的证据。生物圈中最重要的是人类活动。随着经济的发展和社会的进步，人类活动的空间和规模在迅速增大，今天的人类活动已成为地球上最为活跃的因素，其对岩石圈表层环境的影响与改造日益剧增，成为与自然地质作用并驾齐驱的营力，某些方面甚至已超过自然地质作用的速度和强度，在当今全球变化中起着巨大的作用，成为影响地球的重要力量。

地球的第四个特点是有岩石圈。岩石圈是地球最外边的一个圈层。在地球内部的动力作用下（下一节要谈到：不是所有的星球都有内部的动力作用），地球的岩石圈处在不断的运动当中，地震和火山的产生就是这种运动的结果。如果很久很久以前也有地球的空间照片的话，和现在的空间照片一对比，就可以发现地球表面岩石圈的运动。地球的许多表面过程，如风和冰的作用、海洋的洋流和潮汐、表面水的流动、风化和侵蚀等都发生在岩石圈的表面。由于岩石圈受到各种复杂的作用：物理的、化学的和生物的，地球的岩石圈也是十分独特的。

水 圈

水圈是地球上（包括地表、地下和大气中）液态水、固态水及气态水的总称。从太空来看，地球是一颗海洋的行星，如果把它叫作“水球”，也许更为合适，因为海洋面积约占地球表面积的70.8%，海洋平均深度为3 800 m。由地球上所有的水构成的水圈厚度约为地球平均半径的1/1 630，如果平均覆盖在地球表面，只是很薄的一层。受大气环流、纬度、高程和海陆分布等因素的影响，地表水、地下水以及冰雪固态水在地球上的分布极不平衡。

地球上的水在不断地进行着循环，水循环的结果形成了水在地球表面的相对稳定的分布，大约97%的水在海洋中，海洋是水圈中最主要的水体；在剩下的3%的水中，77%储存在冰川里，22%为地下水，而河流、湖泊中的水则不到1%。洪水是一种比较频繁的自然灾害，它是由河流泛滥造成的。从地球上水的总体来看，河流中的水占地球上水总量的千分之一都不到。水的分布的微小变动，就可以产生巨大的自然灾害，地球真是一个整体，牵一发足以动全身。因此，在讨论自然灾害时，一定要有地球的整体观。

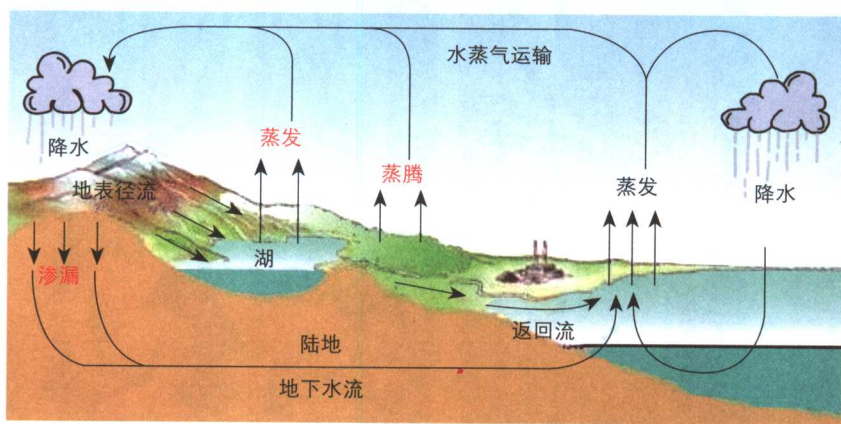


图1-4 地球水圈中水的循环

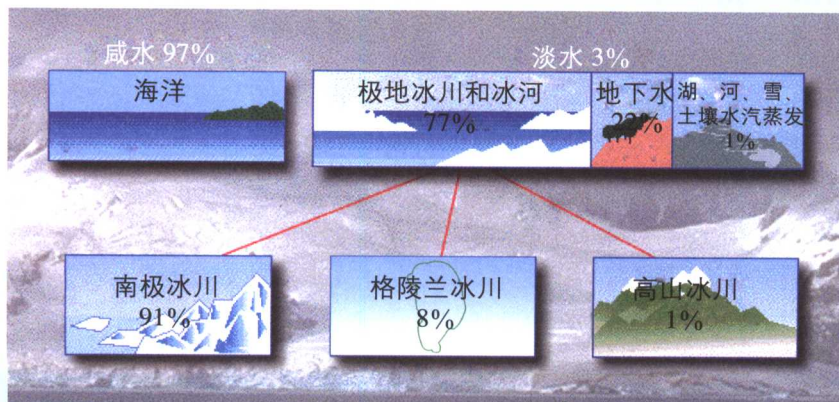
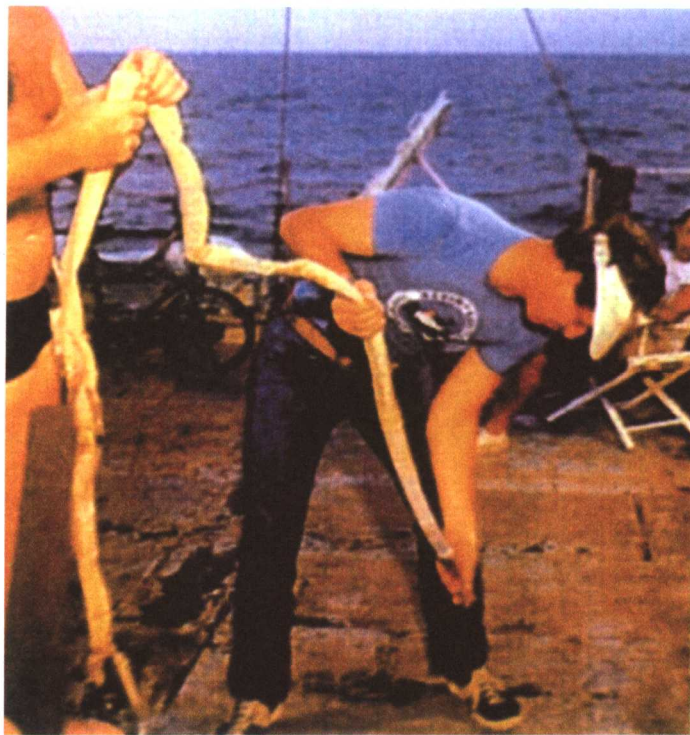


图1-5 世界上最大的水资源是海洋上的咸水，占有97%，淡水只有3%，淡水资源中有77%在冰川里面，但这些冰川主要分布在格陵兰、南极和一些高山上面。在3%的淡水资源中，地下水占22%，江、河、湖泊水等占1%~3%。实际上在水圈里面比较活跃的只是3%里面的1%~3%

生 物 圈

生物圈是地球上一切生物（人、动物、植物和微生物）及其生存环境的总称。它是地球特有的圈层，包括整个水圈，对流层顶（距地面约 12 km 高）以下的大气圈，岩石圈的上层（包括土壤在内的风化壳，其界线在海洋不超过 12 km 的深度）及全部生物体。生物圈中，生物与生物之间、生物与环境之间都不断地进行着物质循环和能量转换而构成一个复杂而巨大的生态系统。



Riftia pachytila 三米长的管状蠕虫



热液产地是深海“沙漠中的绿洲”，生物密度高出周围 10 000 到 100 000 倍

图 1 - 6 地球生物圈的新成员——深海生物圈。20 世纪地球科学的重大成就之一，是发现了深海生物圈。在深海大洋之下，曾认为其不仅是黑暗无光的世界，而且毫无生机，但热液生物群和深海生物圈的发现表明存在“黑暗食物链”，尤其引人注目的还有“古细菌”。许多深海生物无口、无消化器官，依靠硫细菌提供营养，热液产地是深海中的绿洲，生物密度高出周围 10 000 到 100 000 倍。这种深海生物圈据估计占全球总生物量的 1/10

资料来源：孙枢提供

岩石圈

地球是一个扁的椭球体，其长轴为 a ，短轴为 b ，我们用参数 e 来表示地球的扁度。

$$e = \frac{a - b}{a}$$

如果地球是一个均匀的流体，则在自转时为了保持平衡，它的形状应是一个旋转椭球体。我们假设地球内部处于流体静压状态，而其余像密度分布、转速等都和真实的地球一样，在地球完全是流体的假设下，杰弗瑞斯计算地球的扁度应为 $1/299$ 。实际人造卫星对地球扁度 e 的精确测量值是 $1/298.25$ 。这表明真实地球的扁度和理想流体静压力状态下地球的扁度非常接近，差值很小，也就意味着整个地球内部是可以流动的。

但是，地球表面存在着山脉、大陆、海洋等各种地形，许多大陆（山脉）实际上存在几百万年甚至几十亿年了。如果地球介质都是可以流动的，就无法解释这些长期存在的山脉。

实际上，地球绝大部分是可以流动的（在长期力的作用下），而地球表面有一层由坚硬岩石组成的外壳，具有很高的强度，可以长期保持各种形状，厚度约 $70 \sim 150 \text{ km}$ ，它被称为地球的岩石圈，其下面可以流动的部分被称为地球的软流圈。软流圈和岩石圈的分界，大约在地面以下 100 km 。

板块理论的构造单位——板块，即是由岩石圈划分而成的不同块体。据岩石圈的区域地质构造与岩性差异，还可划分若干次级单元。

地球的外表面是一层薄薄的地壳，其厚度在大陆平均为 40 km ，在海洋约为 10 km 。地壳下面有 2900 km 的地幔。地球的地核分两部分，外核厚为 2250 km ，是液态的，内核厚为 1220 km ，是固态的。地球有些像鸡蛋：地壳像鸡蛋壳，地幔像鸡蛋清，地核像鸡蛋黄。

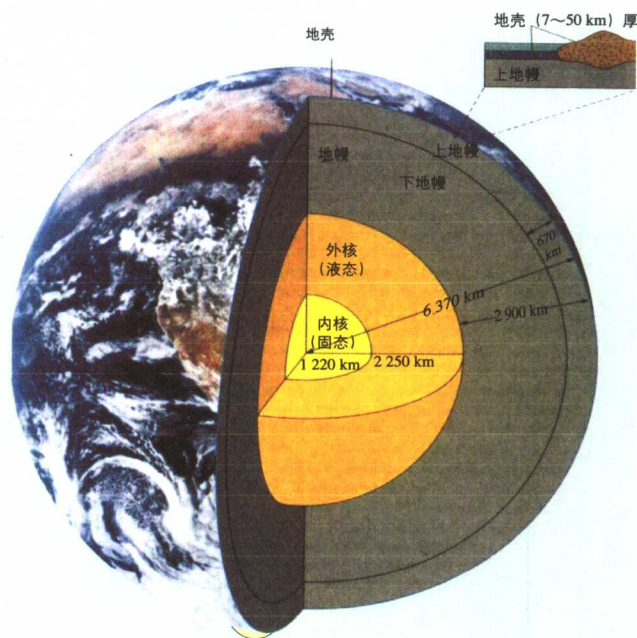


图 1-7 地球的内部。地球的外表面是一层薄薄的地壳，其厚度在大陆平均为 40 km ，在海洋约为 10 km 。地壳下面有 2900 km 的地幔。地球的地核分两部分，外核厚为 2250 km ，是液态的，内核厚为 1220 km ，是固态的

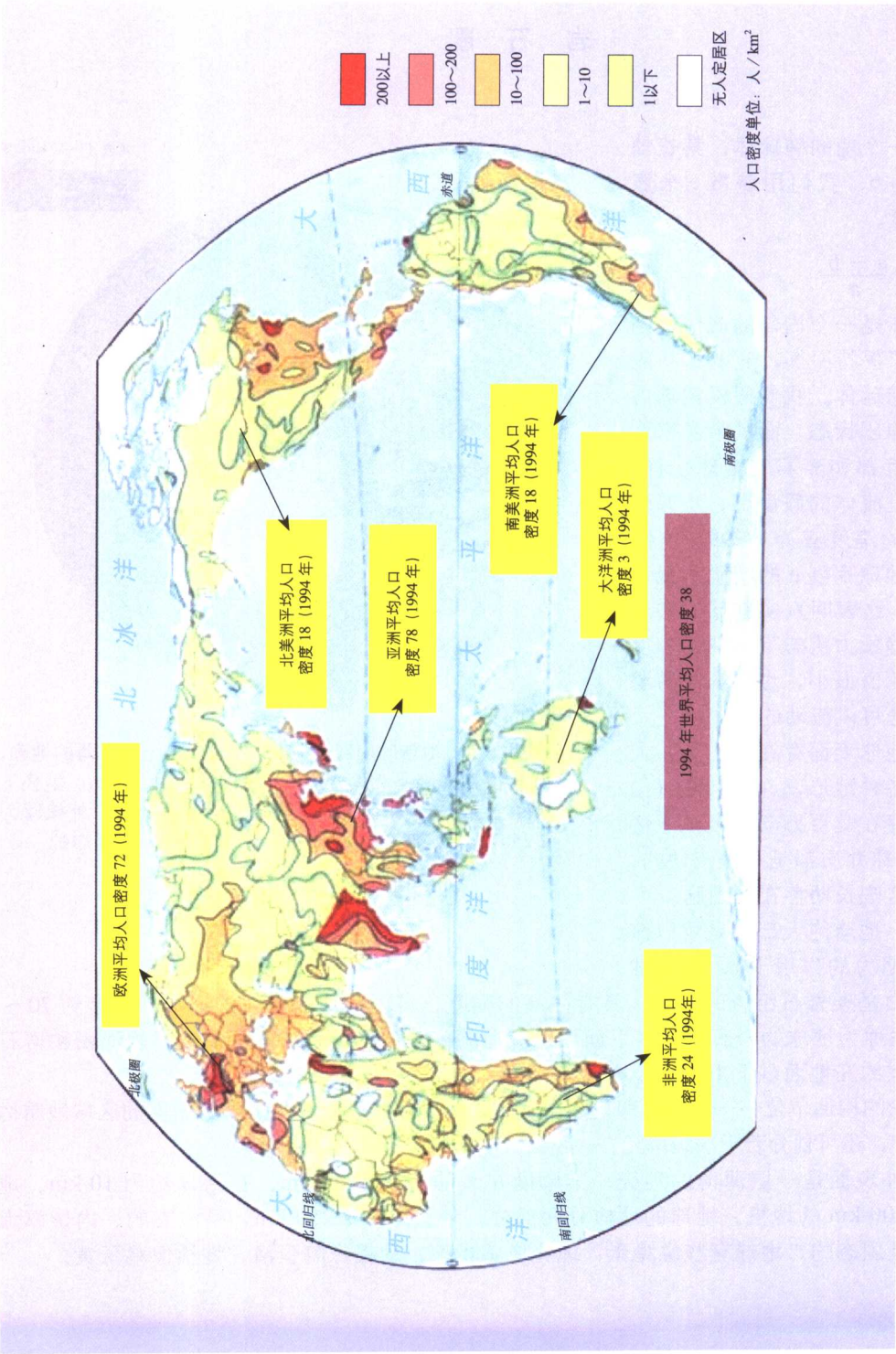


图 1-8 人类是地球生物圈中最重要的部分——世界人口分布图。从全球来看,世界人口主要分布在北半球,南半球的人口只占世界总人口的 11.5%。即使在北半球分布也不平衡,北纬 20°~40°和 40°~60°两个纬度带人口最为集中,分别占全球总人口的 50%和 30%,而赤道至北纬 20°这一带仅占 10%,以北人口最为稀少,只占总人口的 1.5%

资料来源: http://www.geoeedu.cn/Article/jiaolan/gaosanjiacuan/200609/Article_20060916174351_29386.htm