

(原书第12版)

PEARSON

气象学与生活

**The Atmosphere:
An Introduction to Meteorology, 12th Edition**

◇ [美] Frederick K. Lutgens Edward J. Tarbuck 著

◇ [美] Dennis Tasa 绘

◇ 陈星 黄樱 等译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

(原书第 12 版)

气象学与生活

The Atmosphere: An Introduction to Meteorology
12th Edition

[美] Frederick K. Lutgens Edward J. Tarbuck 著

[美] Dennis Tasa 绘

陈 星 黄 樱 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从科学探索的角度和物理学原理出发,详细介绍了气象学的基本概念和原理,包括:地球主要组成圈层、大气组成、物理性质、空间结构、要素变化;大气运动各种过程的物理原因;地球上各种天气和气候现象、形形色色的云和降水的形成原因;气压和风、气团、气旋和锋面天气的形成;强对流、雷暴、龙卷风和飓风(台风)等灾害性天气;人工影响天气的各种途径、天气分析和预报的方法、卫星在天气预报中的应用;空气污染及其原因;气候变化与气候系统、人类对全球气候的影响、全球变暖的可能后果、世界气候和气候分类及大气中各种奇特的光学现象和形成的原理等。

本书内容丰富、概念清楚、深入浅出、图文并茂。可以作为对气象学感兴趣的人们学习了解大气变化奥秘的入门读物,也可作为高等院校非大气科学专业学生的通识课程参考教材,并可供气象学相关专业人员作为参考书和工具书。

Simplified Chinese edition Copyright © 2016 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

The Atmosphere: An Introduction to Meteorology, 12th Edition ISBN: 978-0-321-75631-2 by Frederick K. Lutgens and Edward J. Tarbuck. Copyright © 2013. All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培训教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2014-7564

图书在版编目(CIP)数据

气象学与生活:原书第12版/(美)弗雷德里克·K.鲁特更斯(Frederick K. Lutgens),(美)爱德华·J.塔巴克(Edward J. Tarbuck)著;陈星等译. —北京:电子工业出版社,2016.10

书名原文: The Atmosphere: An Introduction to Meteorology, 12th Edition

ISBN 978-7-121-29920-9

I. ①气… II. ①弗… ②爱… ③陈… III. ①气象学—普及读物 IV. ①P4-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第221857号

策划编辑:谭海平

责任编辑:窦昊

印刷:中国电影出版社印刷厂

装订:三河市良远印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:675千字

版次:2016年10月第1版(原著第12版)

印次:2016年10月第1次印刷

定价:99.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254466, douhao@phei.com.cn。

译者序

刚拿到“*The Atmosphere: An Introduction to Meteorology*”的第12版原版书，就急切地浏览了书的目录和全书各章内容。虽然这只是一本普通的、几乎没有任何数学公式的有关气象学的概论性教材，却一下就让我爱不释手。我从事气象学相关教学30多年，见过国内外许多类似教科书，我自己也编写过教材，然而这一本现译名为《气象学与生活》的书却让我耳目一新！

作为专业教材或科学专业图书，很容易描述太专业化、太深奥而让人感到枯燥乏味，望而却步。因此，如何将专业性、趣味性、可读性很好地融合在一起，对于科学专业书籍是否受欢迎至关重要。而由 Frederick K. Lutgens 和 Edward J. Tarbuck 合作编写，由 Dennis Tasa 承担绘图和美工设计的这本《气象学与生活》做到了这一点。30多年来，这本书先后修订了12版，畅销不衰，深受欢迎和好评。Frederick K. Lutgens 与 Edward J. Tarbuck 从20世纪70年代起就是好朋友和同事，已经有50多年的教学和编写大学教材的经历，而且他们都是公认的杰出和著名的教授。从1983年起，Dennis Tasa 加入了他们的团队。他们三人合作的这本书不仅涵盖了所有气象学科学问题的详细信息和内容，而且包括了过去几十年来的重要天气事件信息、典型的灾害性天气事件和资料介绍，在本书译稿中我们将这些介绍分别归类为“极端灾害性天气”和“知识窗”，作为正文知识的补充。

气象学或大气科学是研究和探讨各类天气现象、气候变化及其形成原因的科学。如果你对这一科学感兴趣，那么这本《气象学与生活》就是为你开启这一科学大门的极佳读物。该书概念清楚、简捷明了，很容易阅读理解，不需要太多的数学基础就可以获得你所关心和感兴趣的气象学问题的最基本、最全面的知识，进而初步了解天气和气候是如何形成和变化的。

本书作者从科学探索的角度和物理学原理出发，配以丰富精美的图表，系统详细、深入浅出地介绍了气象学最基本的概念和原理。作者没有使用任何复杂的数学公式就将各种天气过程和现象的物理原理讲得清清楚楚，并在其中穿插了人们发现天气现象形成原因的历史进程和故事，使得阅读更有趣味性。虽然书中使用的许多有关天气的例子和图取自北美大陆，但并不影响读者对科学概念的理解和认识，而且在讨论气候变化、空气污染等全球性问题时，作者仍引用了全球各地甚至中国的例子。全书的章节和知识窗的安排具有很好的逻辑和衔接，可以帮助读者理解相关知识点；同时各章又都是一个相对完整的知识体系。因此，在阅读该书时，既可以系统地从头到尾循序渐进地逐章阅读，也可以作为工具书随意查找某些知识点和资料；同时，“极端灾害性天气”和“知识窗”两个栏目还可以作为资料卡片来阅读，以了解相关的概念和一些特殊天气事件。本书的另一个特点是，作者始终关注和强调人与天气的关系：人们认识天气过程是为了更好地预报天气，进而更有效地减少异常恶劣天气和气候灾害给人们日常生活与活动带来的损失，并充分利用气候资源，如太阳能、风能等为人类服务。

近几十年来，越来越多的极端天气和气候事件给人们带来巨大的生命和财产损失，全球气候变化问题越来越引起人们的广泛关注。人们常常在谈论频繁的强台风的肆虐、大暴雨带来的洪涝和城市内涝、极端严寒冰冻和热浪酷暑、空气污染和雾霾，还有“千年极寒”、“微冰期”等，似乎这些年来天气和气候从来没有正常过。每当出现异常天气气候和极端灾害性天气事件时，都会引起社会和媒体的极大关注，会通过电话或邮件来询问是不是气候异常？为什么会这样？是不是与全球气候变暖有关？亲朋好友也会提出各种各样有关天气和气候变化及空气污染的问题。此外，人们日常更为关心的是天气预报准不准。可以看出，无论是从事什么行业的人们，都越来越关心

我们所面临的天气和经历的气候变化，渴望了解天气和气候的变化原因。因此，了解和掌握一些基本的气象和气候学的知识可以帮助人们认识天气和气候变化的奥秘和原因，而这本《气象学与生活》就是一个好的选择。读完这本书，你就会对上述问题有更多的了解，甚至可能成为一名不错的业余气象专家。

在这里，我要感谢我的同事黄樱博士，还有研究生惠画、王娜、于雪莹、孟翊星和陈澍，他们参与了本书部分章节的翻译工作，使得翻译得以在较短的时间内完成。

面对变幻莫测的天气和不断变化的气候，人类需要不断地探索地球大气的奥秘，寻求与自然和谐相处之路。我相信，《气象学与生活》的翻译出版将会使更多的人对气象学这一科学产生兴趣，并在认识和了解大气与天气奥秘的过程中获得乐趣，从而使我们的生活因气象万千而更加丰富多彩。是为序。

陈 星

2016年8月10日于南京仙林

前 言

在自然环境中，很少有像我们称之为天气的现象能对我们日常生活产生这么大的影响。各种媒体每天都会把大量的天气事件作为主要新闻加以报道——这充分反映了人们对大气是多么感兴趣和多么好奇！

不仅大气影响人们的生活，人们也对大气造成显著影响。人们通过改变大气的成分而减少了平流层的臭氧、在全世界的城市和乡村造成严重的空气质量问题；还有，人类产生的排放很可能在全球气候变化中起着重要作用，这正是人类在21世纪所面临的最严重的环境问题之一。

为了了解影响我们日常生活的天气现象和与大气有关的严重环境问题，扩展我们对气象学原理的认识十分重要。一本基础的气象学教科书，可以让我们对天气产生极大的兴趣和好奇心，激起我们去了解人类是如何影响大气环境的愿望。

本书就是一本为了满足有这种愿望的人们需要的基础读物。我们希望这本书所介绍的知识，能激励更多的人积极投入到环境改善中去；甚至有些人由此而立志于继续气象学的研究。同样重要的是，我们相信，对大气及其过程最基本的了解将使读者更多地去欣赏我们的地球，并由此而使日常生活更加丰富多彩。

此外，除了给出大量信息和新的内容以外，本书以其可读性和人性化的内容，适合初学者作为一本非常有用的学习基本气象学原理和概念的工具书。

目 录

第 1 章 大气概述	1	第 2 章 地球表面和大气加热过程	27
1.1 大气——天气和气候	2	2.1 日地关系	28
1.1.1 美国的天气	2	2.1.1 地球的运动	28
1.1.2 气象学、天气和气候	2	2.1.2 季节是怎样形成的	28
1.2 大气灾害：来自自然的袭击	5	2.1.3 地球的朝向	30
1.3 科学探索的本质	7	2.1.4 两至点和两分点	31
知识窗 1.1 从外空看地球	7	知识窗 2.1 季节变化	31
1.3.1 假设	8	2.2 能量、温度和热量	34
1.3.2 理论	8	2.2.1 能量的形式	34
1.3.3 科学方法	8	2.2.2 温度	35
1.4 地球圈	9	2.2.3 热量	35
1.4.1 地质圈	10	2.3 热量传输机制	35
1.4.2 大气圈	11	2.3.1 传导	35
1.4.3 水圈	11	2.3.2 对流	36
1.4.4 生物圈	12	2.3.3 辐射	37
1.5 地球是一个复杂系统	13	2.3.4 辐射定律	38
1.5.1 地球系统科学	13	知识窗 2.2 辐射定律	38
1.5.2 地球系统	14	极端灾害性天气 2.1 紫外线指数	39
知识窗 1.2 地球的子系统之一的碳 循环	14	2.4 太阳入射辐射	41
1.6 大气的组成	16	2.4.1 反射与散射	41
1.6.1 大气的主要成分	16	2.4.2 太阳辐射的吸收	43
知识窗 1.3 地球大气的形成与演变	17	2.5 大气圈中各种气体的作用	44
1.6.2 二氧化碳	18	2.5.1 加热大气	44
1.6.3 变化的大气成分	19	2.5.2 温室效应	45
1.7 臭氧减少——一个全球性问题	20	2.6 地球的热量收支	46
1.7.1 南极臭氧洞	20	2.6.1 年能量平衡	46
1.7.2 臭氧减少的效应	21	知识窗 2.3 太阳能	47
1.7.3 蒙特利尔议定书	22	2.6.2 热量平衡的纬度分布	48
1.8 大气层的垂直结构	22	第 3 章 温度	49
1.8.1 气压变化	22	3.1 气温记录资料	50
1.8.2 温度变化	23	3.1.1 基本计算方法	50
1.9 大气成分的垂直变化	25	3.1.2 等温线	50
1.9.1 电离层	26	3.2 影响气温的因素	51
1.9.2 极光	26	3.2.1 海陆分布	52
		知识窗 3.1 北美最热和最冷的地方	54

3.2.2	洋流	55	4.10	空气抬升过程	91
3.2.3	海拔高度	56	4.10.1	地形抬升	92
3.2.4	地理位置	57	知识窗 4.3	降水记录和山地地形	92
3.2.5	云量和反照率	58	知识窗 4.4	山地效应: 迎风坡降水和背风坡无雨带	93
	极端灾害性天气 3.1 热浪	59	4.10.2	锋面楔入	94
3.3	温度的全球分布	61	4.10.3	辐合	95
	知识窗 3.2 纬度与温度较差	63	4.10.4	局地对流抬升	96
3.4	气温变化的周期	64	4.11	恶劣天气的起因: 大气稳定度	96
3.4.1	气温日变化	65	4.11.1	稳定度类型	97
	知识窗 3.3 城市热岛效应: 城市是如何影响温度的?	66	4.11.2	稳定度和每日天气	99
3.4.2	温度日变化幅度	68	4.11.3	稳定度如何变化?	100
3.4.3	温度的年变化	68	4.11.4	温度变化和稳定度	100
3.5	气温的测量	68	4.11.5	空气垂直运动和稳定度	101
3.5.1	机械式温度计	69	第 5 章	凝结和降水类型	102
3.5.2	电子温度计	70	5.1	云的形成	103
3.5.3	百叶箱	70	5.1.1	高空凝结	103
3.6	温标	71	5.1.2	云滴的增长	103
	知识窗 3.4 气温资料的用途	72	5.2	云的分类	104
3.7	炎热和风寒: 人体不舒适指数	74	5.2.1	高云	105
3.7.1	炎热——高温高湿	74	5.2.2	中云	105
3.7.2	风寒——大风降温作用	75	5.2.3	低云	107
第 4 章	水分和大气稳定度	76	5.2.4	垂直发展型云(直展云)	107
4.1	大气中水的运动	77	5.2.5	云的形态变化	107
4.2	水: 独特的物质	78	知识窗 5.1	飞机航迹和云量	108
4.3	水的相变	79	5.3	雾的类型	109
4.3.1	冰、液态水和水汽	79	5.3.1	冷却雾	109
4.3.2	潜热	80	5.3.2	蒸发雾	111
4.3.3	蒸发和凝结	80	5.4	降水的形成	112
4.4	湿度: 空气中的水汽	82	知识窗 5.2	科学与意外发现	113
4.5	水汽压与饱和	83	5.4.1	冷云降水: 伯杰龙过程	114
4.6	相对湿度	85	5.4.2	暖云降水: 碰并过程	115
	知识窗 4.1 干空气的相对湿度是 100%吗?	85	5.5	降水的类型	116
4.6.1	相对湿度如何变化?	85	5.5.1	雨	116
	知识窗 4.2 增湿器和除湿器	87	5.5.2	雪	118
4.6.2	相对湿度的自然变化	87	5.5.3	雨夹雪和冻雨	118
4.7	露点温度	88	5.5.4	冰雹	119
4.8	如何测量湿度?	89	5.5.5	雾凇	120
4.9	绝热温度变化	90		极端灾害性天气 5.1 最糟糕的冬天	120
4.9.1	绝热冷却和凝结	90	5.6	降水的观测	122

5.6.1	标准雨量计	122	7.2.1	海陆风	155
5.6.2	降雪测量	122	7.2.2	山谷风	155
5.6.3	天气雷达测量降水	123	7.2.3	钦诺克风(焚风)	156
5.7	人工影响天气	124	7.2.4	下坡风(下降风)	157
5.7.1	人工增雨(雪)	124	7.2.5	乡村风	157
5.7.2	人工驱云消雾	125	7.3	全球环流	157
5.7.3	人工消雹	126	7.3.1	单圈环流模型	157
5.7.4	预防霜冻	127	极端灾害性天气 7.1 圣安娜风		
第6章 气压和风		129	(干热风)与山火		158
6.1	风和气压	130	7.3.2	三圈环流模型	159
6.2	气压的测量	131	7.4	气压带与风	160
6.3	气压随海拔高度变化	133	7.4.1	理想的纬向气压带	160
6.4	气压变化的原因	133	7.4.2	半永久性气压系统: 真实大气	161
6.4.1	温度对气压的影响	133	7.5	季风	162
知识窗 6.1 气压与航空		134	7.5.1	亚洲季风	163
6.4.2	水汽对气压的影响	135	7.5.2	北美季风	163
6.4.3	气流和压力	135	7.6	西风带	164
6.5	影响风的因素	135	7.6.1	为什么存在西风带?	165
6.5.1	气压梯度力	136	7.6.2	西风带的波动	165
6.5.2	科里奥利力(地球自转偏向力、科氏力)	137	7.7	急流	166
6.5.3	摩擦力	139	7.7.1	极地急流	166
6.6	高空风	140	7.7.2	副热带急流	168
6.6.1	地转流	140	7.7.3	急流和地球热量收支	168
6.6.2	曲线流和梯度风	142	7.8	全球风场和洋流	169
知识窗 6.2 棒球在丹佛的库尔斯			7.8.1	洋流的重要性	169
球场真的会飞得更远吗?		142	7.8.2	洋流和涌升流	170
6.7	地面风	143	7.9	厄尔尼诺、拉尼娜和南方涛动	170
6.8	风与空气的垂直运动	144	7.9.1	厄尔尼诺的影响	171
6.8.1	气旋和反气旋的垂直气流	145	7.9.2	拉尼娜的影响	173
6.8.2	影响垂直气流的因子	146	7.9.3	南方涛动	173
6.9	风的观测	147	7.10	全球降水分布	174
知识窗 6.3 风能: 一种潜在的替代能源		148	7.10.1	降水的纬向分布	175
			7.10.2	陆地上的降水分布	176
			知识窗 7.2 假想大陆上的降水季节特征		176
第7章 大气环流		151	第8章 气团		178
7.1	大气运动的尺度	152	8.1	什么是气团	179
7.1.1	小尺度环流和大尺度环流	152	8.1.1	气团的源地	180
知识窗 7.1 尘卷风		153	8.1.2	气团的分类	181
7.1.2	风场结构	154			
7.2	局地风	155			

8.1.3 气团的变性	181	9.9 现代观点: 传送带模型	217
8.2 北美气团的特征	182	第 10 章 雷暴与龙卷风	219
8.2.1 极地大陆 (cP) 气团和北极 大陆 (cA) 气团	182	10.1 名称的含意	220
8.2.2 湖泊效应降雪: 暖水上的 冷空气	183	10.2 雷暴	221
极端灾害性天气 8.1 西伯利亚 寒流	185	10.3 气团雷暴	222
8.2.3 极地海洋 (mP) 气团	186	10.3.1 发展阶段	222
8.2.4 热带海洋 (mT) 气团	187	10.3.2 发生区域	224
极端灾害性天气 8.2 湖泊效应产生 的暴风雪	190	10.4 强雷暴	224
极端灾害性天气 8.3 2011 年 1 月 12 日, 一次典型的东北风暴	191	10.5 超级单体雷暴	225
8.2.5 热带大陆 (cT) 气团	192	10.5.1 飏线	226
第 9 章 中纬度气旋	193	10.5.2 中尺度对流复合体	227
9.1 锋面天气	194	极端灾害性天气 10.1 突发洪水 ——雷暴雨的头号杀手	228
9.1.1 暖锋	195	10.6 闪电和雷声	229
9.1.2 冷锋	197	极端灾害性天气 10.2 下击暴流	230
9.1.3 静止锋	199	10.6.1 闪电发生的原因	232
9.1.4 锢囚锋	199	10.6.2 雷击	232
9.1.5 干线	201	10.6.3 雷声	233
9.2 中纬度气旋与极锋理论	201	10.7 龙卷风	234
9.3 中纬度气旋的生命周期	202	10.7.1 龙卷风的发生与形成	236
9.3.1 形成: 两个气团的碰撞	202	10.7.2 龙卷风气候学	237
9.3.2 气旋流的发展	203	极端灾害性天气 10.3 强龙卷风后 的幸存	238
9.3.3 中纬度气旋的成熟阶段	203	10.7.3 龙卷风的特征	239
9.3.4 锢囚: 消亡的开始 (消亡 阶段)	203	10.8 龙卷风的破坏性	240
9.4 理想的中纬度气旋天气	204	10.8.1 龙卷风强度	241
知识窗 9.1 预报的工具——风	205	10.8.2 死亡率	242
9.5 高空气流与气旋形成	207	10.9 龙卷风预报	243
9.5.1 气旋性和反气旋性环流	207	10.9.1 龙卷风监视和警报	243
9.5.2 高空辐散与辐合	207	10.9.2 多普勒雷达	244
9.6 中纬度气旋的形成区域	209	第 11 章 飓风	246
9.6.1 气旋移动类型	209	11.1 飓风概况	247
9.6.2 高空气流与气旋移动	210	知识窗 11.1 角动量守恒	250
9.7 反气旋天气与大气阻塞	211	11.2 飓风的形成与消亡	250
9.8 中纬度气旋个例研究	212	11.2.1 飓风的形成	251
极端灾害性天气 9.1 2008 年和 1993 年美国中西部大洪涝	215	11.2.2 飓风消亡	252
		11.3 飓风的破坏性	252
		11.3.1 萨菲尔-辛普森分级	253
		11.3.2 风暴潮	253
		11.3.3 大风灾害	254

11.3.4	强降雨和内陆洪水	255	敦大烟雾	294
	极端灾害性天气 11.1 气旋		知识窗 13.1 污染正在改变气候	295
	纳吉斯	256	13.2.2 二次污染物	298
11.3.5	飓风强度评估	257	13.3 空气质量的变化趋势	299
11.4	飓风的探测、跟踪和监控	258	13.3.1 质量标准的建立	300
11.4.1	卫星监测	259	13.3.2 空气质量指数	300
11.4.2	飞机勘测	259	13.4 影响空气污染的气象因素	301
11.4.3	雷达和数据浮标	263	13.4.1 风	302
11.4.4	飓风监视和警报	264	极端灾害性天气 13.2 从空中看	
11.4.5	飓风预报	264	空气污染过程	302
第 12 章	天气分析和预报	266	13.4.2 大气稳定度	303
12.1	气象业务概述	267	13.5 酸雨	305
12.2	天气分析	268	13.5.1 酸雨的范围和强度	305
12.2.1	获取数据	269	13.5.2 酸雨的危害	306
12.2.2	绘制天气图	270	第 14 章	变化的气候
知识窗 12.1	制作天气图	272	14.1 气候系统	309
12.3	计算机在天气预报中的应用	273	14.2 气候变化的检测	310
12.3.1	数值天气预报	273	14.2.1 海底沉积物——气候资料的	
知识窗 12.2	数值天气预报	273	仓库	311
12.3.2	集成预报	275	14.2.2 氧同位素分析	312
12.3.3	预报员的作用	276	14.2.3 冰川中的气候变化记录	312
12.4	其他预报方法	277	14.2.4 树轮——环境历史档案	313
12.4.1	持续性预报	277	14.2.5 其他类型的代用资料	314
12.4.2	气候学预报	277	14.3 气候变化的自然原因	315
12.4.3	类比法	277	14.3.1 板块构造与气候变化	316
12.4.4	趋势预报	278	14.3.2 火山活动与气候变化	317
12.5	高空环流和天气预报	278	知识窗 14.1 地质时期的火山活动	
12.5.1	高空图	278	与气候变化	319
12.5.2	高空气流与地面天气		14.3.3 地球轨道变化	319
	预报	280	14.3.4 太阳活动与气候	321
12.6	长期天气预报	283	14.4 人类对全球气候的影响	322
12.7	预报准确率	284	14.4.1 二氧化碳、微量气体和	
12.8	卫星在天气预报中的应用	285	气候变化	322
12.8.1	气象卫星图像	286	14.4.2 大气二氧化碳含量的	
12.8.2	卫星探测的其他内容	289	增加	323
第 13 章	空气污染	290	14.4.3 大气响应	324
13.1	空气污染的危害	291	14.4.4 微量气体的作用	325
13.2	空气污染源和类型	293	14.5 气候反馈机制	327
13.2.1	一次污染物	293	14.5.1 气候反馈机制的种类	327
	极端灾害性天气 13.1 1952 年伦		14.5.2 气候模式：重要但	
			尚不完善的工具	328

14.6	气溶胶对气候的影响	328		草原气候 (BSk)	353
14.7	全球变暖的可能后果	329	15.7	冬季温和湿润的中纬度气候带 (C)	354
14.7.1	海平面上升	330	15.7.1	副热带湿润气候 (Cfa)	354
14.7.2	变化的北极	331	15.7.2	西海岸海洋性气候 (Cfb)	356
14.7.3	增大的海水酸性	333	15.7.3	副热带夏干 (地中海) 气候 (Csa, Csb)	357
14.7.4	意想不到的后果	333	15.8	冬季寒冷的湿润大陆气候 (D)	358
第 15 章	世界气候	334	15.8.1	湿润的大陆性气候 (Dfa)	358
15.1	气候的分类	335	15.8.2	副极地气候 (Dfc, Dfd)	360
知识窗 15.1	气候图	337	15.9	极地气候 (E)	361
15.2	气候控制因素: 概述	339	15.9.1	苔原气候 (ET)	362
15.2.1	纬度	339	15.9.2	冰原气候 (EF)	364
15.2.2	海陆分布	339	15.10	高原气候	364
15.2.3	地理位置与盛行风向	339	极端灾害性天气 15.1	干旱——代价巨大的大气灾害	366
15.2.4	山脉高原	340	第 16 章	大气的光学现象	368
15.2.5	洋流	340	16.1	光和物质的相互作用	369
15.2.6	气压和风	340	16.1.1	反射	369
15.3	世界气候综述	340	16.1.2	折射	370
15.4	潮湿的热带气候 (Af, Am)	341	16.2	海市蜃楼	372
知识窗 15.2	热带雨林砍伐对土壤的影响	342	知识窗 16.1	高速公路海市蜃楼是真的吗?	372
15.4.1	温度特征	344	16.3	彩虹	374
15.4.2	降水特征	344	16.4	光晕、幻日和日柱	377
15.5	热带干湿季气候 (Aw)	345	16.5	光环	380
15.5.1	温度特征	345	16.6	其他光学现象	381
15.5.2	降水特征	346	16.6.1	华	381
15.5.3	季风	347	16.6.2	彩虹云	381
15.5.4	气候类型的变型 Cw	348			
15.6	干旱气候 (B)	348			
15.6.1	“干旱”意味着什么?	349			
15.6.2	副热带沙漠气候 (BWh) 和草原气候 (BSh)	349			
15.6.3	西海岸副热带沙漠气候	352			
15.6.4	中纬度沙漠 (BWk) 和				

第 1 章 大气概述

地球大气是独一无二的。正如我们所知道的，在太阳系中还没有哪颗行星上有与地球完全一样、由各种气体组成的大气或热量和水汽条件可以维持生命的存在。组成地球大气的各种气体以及特定的比例对人类的生存至关重要。本章介绍我们生存于其中的大气的“海洋”。



2012年2月2日，成百上千辆汽车因历史性的冬季暴雪滞留在芝加哥湖畔的公路上。

1.1 大气——天气和气候

1.1.1 美国的天气

美国国土面积从热带一直延伸到北极圈,有约 20000 千米的海岸线和远离海洋影响的广阔内陆,有山地,也有平原。这一广大地区的西海岸会受到太平洋风暴的袭击,而东边则又受到大西洋和墨西哥湾天气事件的影响。中部地区的天气状况主要受到来自加拿大冷气团冷空气与来自墨西哥湾向北移动的热带气团交汇的影响。

天气是每天新闻中必有的内容,有关冷热旱涝、雾雪冰霜和大风等的报道和名词在报纸中是经常见到的(见图 1.1)。引人注目的天气事件在我们的行星上无所不在。美国可能是世界上有着最多天气类型的国家。在美国,灾害性天气如龙卷风、山洪暴发、强雷暴以及飓风和暴风雪等可能比任何其他国家都要更频繁、更具有破坏性。除了对个体生命的直接影响外,天气还通过影响农业、能源利用、水资源、交通和工业对经济产生严重影响。

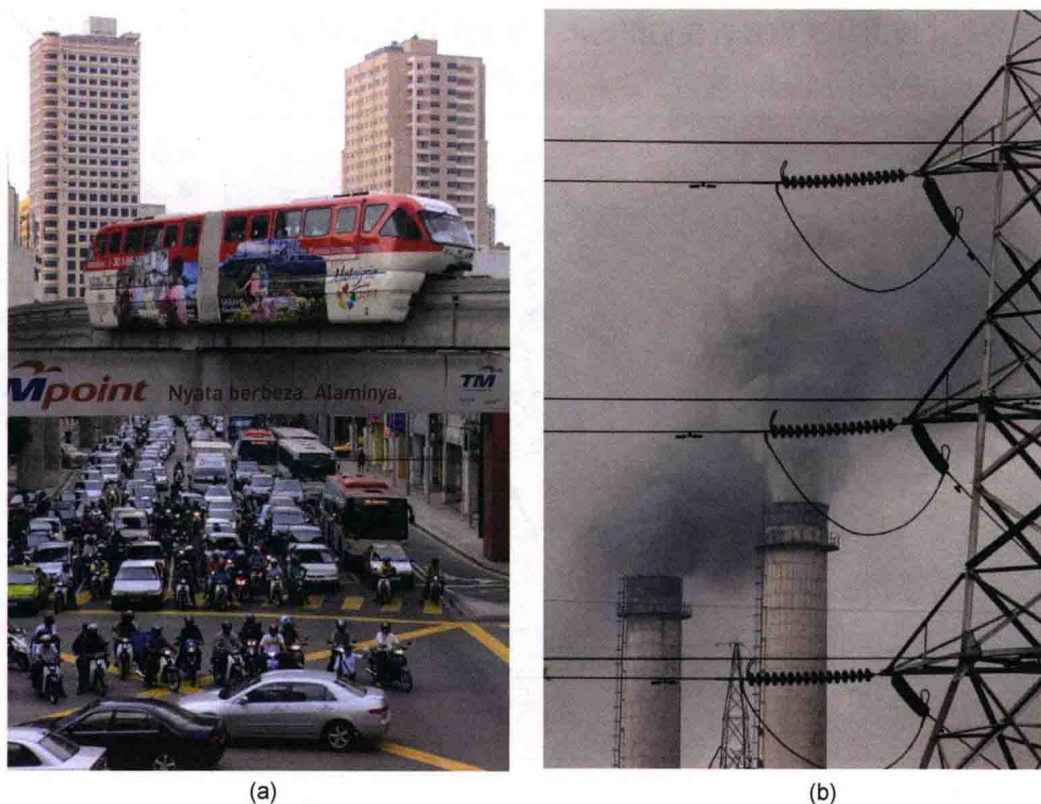


◀图 1.1 没有什么自然环境比天气更能影响我们的日常生活。龙卷风是强烈和毁灭性的短时局地风暴,在美国平均每年造成 55 人死亡

天气对人们生活的影晌太大了。但必须承认,人类对大气和大气行为的影响也很大(见图 1.2)。现在和将来,重大的政治和科学决策都涉及这些影响,例如对空气污染及其控制和各种排放对全球气候的影响就是最好的例子。因此,需要更加关注和了解我们的大气及其行为。

1.1.2 气象学、天气和气候

气象学是研究大气及其现象,即我们通常称之为天气的科学。它与地质学、海洋学和天文学一样,是地球科学的组成部分,即试图认识地球这颗行星的科学。应该指出,地球科学中没有严格的界限,在很多情况下,这些科学是有重合的。此外,所有地球科学包括对来自物理学、化学和生物学的知识及原理的认识与应用。在气象学的学习中,可以看到许多这样的例子。



▲图 1.2 这些例子提醒我们，人类行为在影响大气：(a)汽车是造成空气污染的重要原因，图中是马来西亚首都吉隆坡的交通拥堵状况；(b)2008年6月，印度新德里一家火电发电厂排出的浓烟

受到地球运动和来自太阳能量的综合影响，包裹我们行星的、看不见、变化无形的空气产生了无数变幻莫测的天气现象，并形成了全球气候的基本形态。虽然不能完全确定，但天气和气候在很多方面是相关联的。

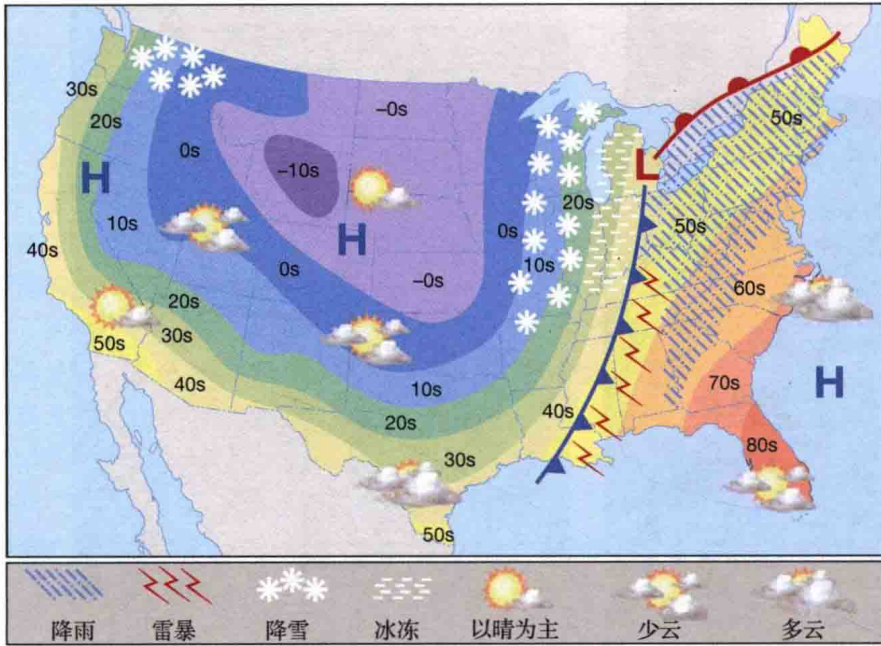
天气总是在变化，每小时、每天都在变化。因此，所谓天气，指的是表示大气在某个特定时间和空间的状态的名词术语。然而，天气的变化是连续的，有时甚至表现得很不稳定。不过我们可以概括这些变化，这种对天气状况的综合概括描述就称为气候。这种综合基于几十年的观测资料。通常气候被简单地定义为天气的“平均”，但这是一个不恰当的定义。为了准确地描述气候这一术语，必须包括天气的变化和极端情况，以及异常情况的发生等。例如，农民需要知道生长季节的降水量，同样重要的是还需知道极端湿润和极端干旱的年份。因此，气候是表示一个地区或区域的所有统计的天气信息的总和。

图 1.3 所示是人们每天早上从报纸或电视上了解天气时都熟悉的一张图。这张天气图除了告诉我们当天最高温度的预报外，还包括云量、降水和锋面等其他基本的天气信息。

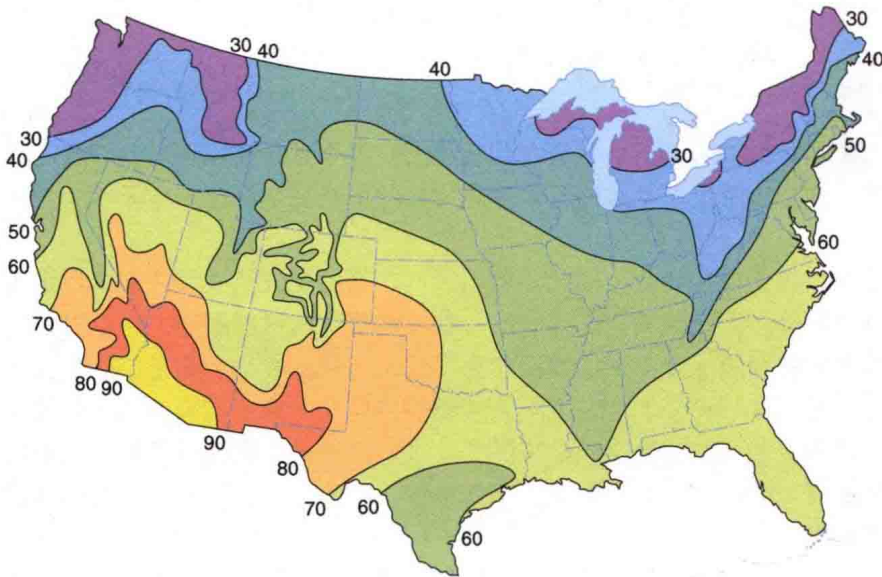
假如我们计划去某个不熟悉的地方度假，这时可能会想知道那里是什么天气。这类信息会有助于我们准备携带的衣物，并影响我们做出在度假期间参加什么活动的决定。遗憾的是，超过几天的天气预报非常不可靠。因此，我们不可能得到旅行期间最可能遇到的情况的可靠的天气预报。

作为一种补充，我们可以向熟悉当地情况的人了解可能出现的天气，例如，“会经常有雷暴吗”“夜间会很冷吗”“下午是晴天吗”等。而我们询问的这些信息正是那里的气候情况。另一个有用的信息来源是大量的各种气候图表。例如图 1.4 那样的图，告诉我们美国 11 月份出现

晴天的百分比; 而图 1.5 则告诉我们纽约市一年中平均最高/最低温度和出现过的极端最高/最低温度情况。



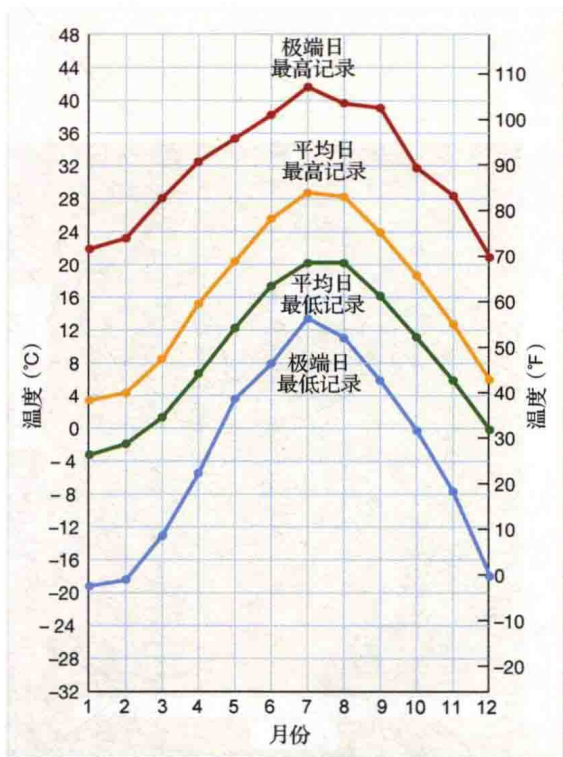
◀图 1.3 报纸上的典型天气图。这是 12 月下旬的某一天, 彩色带代表一天中最高温度的预报值 (图中使用的是华氏温标, 色阶间隔是 10 华氏度, 例如, 50s 表示温度为 50~59 华氏度, 依次类推——译者注)



◀图 1.4 美国 11 月份的可能日照平均百分比 (%)。南部的亚利桑那州是日照最好的地区, 靠近太平洋的西北地区的日照较少。这类气候图是根据多年资料得到的

毫无疑问, 这类信息对我们的旅行计划是有帮助的。但重要的是, 必须知道这些气候数据不能预报具体的天气。同时可能在计划旅行期间那里通常是 (即从气候上讲) 温暖、阳光灿烂且不下雨的, 而实际经历的却可能是又冷又阴的天气, 而且还下雨。这就是人们熟知的那句话: “你在好气候的地方遇到了坏天气。”

天气和气候的本质都是用同样的常规观测的定量或定性的基本要素来表达的, 其中最重要的要素包括: (1) 气温, (2) 空气湿度, (3) 云型和云量, (4) 降水类型和降水量, (5) 气压, (6) 风速和风向。这些要素构成了描述天气类型和气候分类的变量。下面我们将开始学习这些要素, 要记住它们彼此密切相关, 一个要素的变化经常会引起其他要素的变化。



◀图 1.5 图中曲线表示纽约市日温度变化，图中不但给出了每个月平均日最高（黄线）、日最低温度（绿线），还给出了各月记录的极端最高（红线）和极端最低（蓝线）温度

1.2 大气灾害：来自自然的袭击

地球上的自然灾害是我们生活的一部分。每天，自然灾害都会危害到世界上数以百万计的人并造成巨大的破坏。有些自然灾害是地质灾害，如地震和火山爆发；而其他更多的自然灾害与大气有关。

恶劣天气远没有平常的天气看上去那么文静迷人，由灾害性的雷暴所引发的巨大闪电让人感到恐惧和害怕（见图 1.6a）。当然，飓风和龙卷风更加引人注目。龙卷风或飓风可能造成数十亿美元的财产损失和大量人员的受灾与死亡。

当然，其他大气灾害也会给我们带来不利影响。例如，与风暴有关的雪暴、冻雨等。还有其他一些灾害不是直接由风暴引起的，如热浪、寒潮、雾、野火和干旱等，都是很重要的大气灾害例子（见图 1.6b）。在有些年份，由于各种天气事件形成的过热或过冷的天气都会造成人员死亡。此外，虽然强烈的风暴和洪水通常更被人们所关注，但干旱也可造成毁灭性的灾害和更大的经济损失。

1980—2010 年，美国遭受了 99 个总损失超过 10 亿美元的与天气有关的灾害（见图 1.7），与这些灾害事件有关的花费超过 7250 亿美元（按 2007 年价格算）！1999—2008 年的 10 年间，美国每年平均有 629 人直接因天气意外而死亡。在此期间，仅灾害性天气对国家高速公路系统造成的影响带来的年平均损失就超过 400 亿美元；而由于天气原因引起的航班延误的年损失达 42 亿美元。

在本书中，我们将有机会在相关的章节了解更多的大气灾害。第 10 章和第 11 章几乎全部都是讲述灾害性天气的。此外，书中许多有趣的特别小栏目将提供广泛的有关恶劣和灾害性天气的介绍，包括热浪、冬季风暴、洪水、沙尘暴、干旱、泥石流和闪电等。

我们的行星每天都在遭受难以置信的大气袭击。因此，认识和了解这些重要的天气事件是非常重要的。

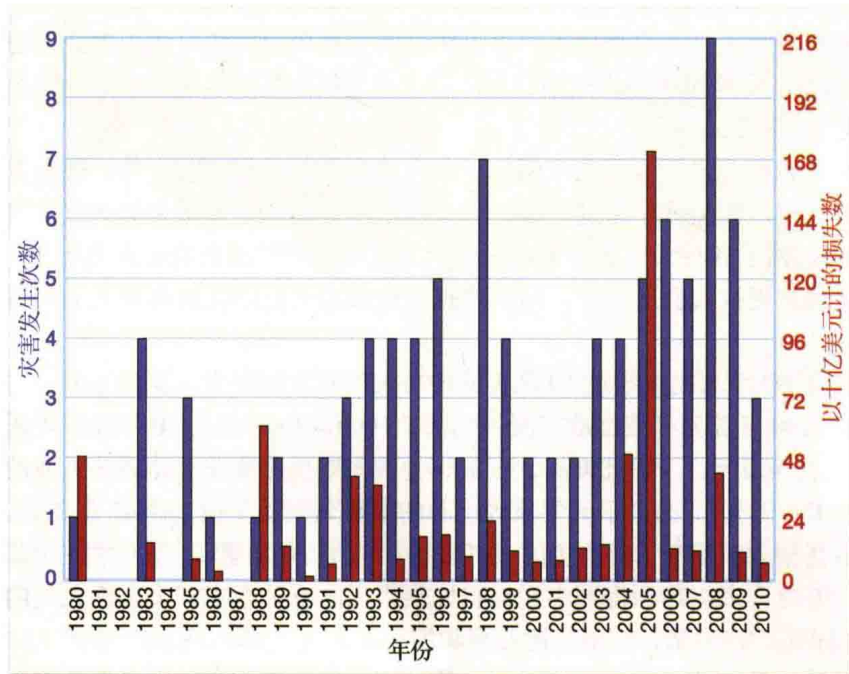


(a)



(b)

▲图 1.6 (a)许多人对天气危险有不正确的观念,不注意天气对人类生命的不同危害。例如,人们因害怕飓风和龙卷风而设法应对(比如在每年春季的“龙卷风安全教育周”),却没能意识到闪电和冬季风暴雪也具有极大危害;(b)夏季的干燥天气伴随闪电和大风可能引起大火,但紧接着而来的大雨可能带来枯死植被群落的加速风化,图为 2010 年 10 月发生在科罗拉多博尔德附近的大火情况



◀图 1.7 1980—2010 年美国遭受的天气灾害,每年灾害造成的损失和费用都达到或超过 10 亿美元。这张柱状图给出了每年发生的天气灾害次数和以 10 亿美元为单位的损失(按 2007 年美元比价)。全部 99 次灾害的总损失超过 7250 亿美元!更多此类异常的例子见 www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/billionz.html (NOAA)