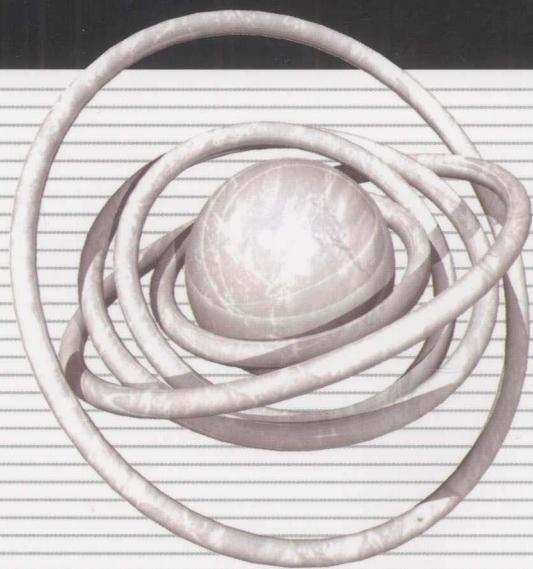


中国气象局 南京信息工程大学共建项目资助精品教材

# 大气科学概论

主 编：何金海 郭品文  
银 燕 申双和




 气象出版社  
China Meteorological Press

中国气象局 南京信息工程大学共建项目资助精品教材

# 大气科学概论

何金海 郭品文 主编  
银 燕 申双和

 气象出版社  
China Meteorological Press

## 内容简介

本书是在参阅大量有关的教科书、专著和论文的基础上,结合多年教学经验和体会编写而成的。在内容上力求完整、准确而又简练地阐明大气科学的基本原理、基本概念和基础知识,达到学术性、可读性和应用性的统一。本书的主要内容包括基础知识篇的大气成分与结构、大气现象、大气系统的能量收支与平衡、大气运动的规律与特征;探测篇的常规气象观测、天气雷达、气象卫星原理及其应用、大气探测新技术;预报篇的气旋和反气旋、气团和锋、天气预报的基本方法和技术、季风与中国雨带、厄尔尼诺与南方涛动及气候变化;应用篇的农业气象、气象能源、交通气象、健康气象和气象防灾减灾。

本书可供大学低年级学生学习使用,亦对气象行业工作者和其他大气科学爱好者有参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

大气科学概论/何金海等主编. —北京:气象出版社,2012.5

ISBN 978-7-5029-5471-0

I. ①大… II. ①何… III. 大气科学-概论

IV. ①P4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 078457 号

---

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:林雨晨

封面设计:燕 彤

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:750mm×960mm 1/16

字 数:641 千字

版 次:2012 年 4 月第 1 版

定 价:58.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: [qxcbs@cma.gov.cn](mailto:qxcbs@cma.gov.cn)

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:32.75

插 页:6

印 次:2012 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1—6000

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

# 序

大气科学是研究大气中的各种现象及其演变规律,以及利用这些规律进行预报预测进而为人类服务的一门学科。它的研究对象主要是覆盖整个地球的大气圈,也研究大气与其周围的水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈相互作用的物理和化学过程,此外还研究太阳系其他行星的大气。自 17 世纪以来,大气科学历经建立、主要分支形成以及迅速发展三个阶段。现今的大气科学是一门分支学科众多的综合性学科,其在地球及地球生物系统研究学科中地位很高。它的基础包括数学、物理学、流体力学、动力气象学和天气学。探测、预报及预测、应用服务是大气科学的主要构成部分。大气科学的各个分支学科彼此不是孤立的,而是相互交叉与渗透的,它还包括大气物理学、大气环境学、大气化学、人工影响天气等等。

研究和发展大气科学对于人类改善自身生活环境,促进人类社会发挥着重大的作用。随着理论研究的加深以及实践经验的积累,大气科学在防灾减灾,环境保护以及现代交通运输上均起到重要作用,并在农林、渔盐、交通、工程、医疗卫生和军事国防等方面取得显著效益。

南京信息工程大学大气科学相关学院的部分教授和专家,为适应大气科学学科深化教学改革的需要,让更多的学生了解大气科学,尽可能地为全校其他各专业向大气科学的拓展提供基础,在中国气象局和南京信息工程大学局校共建项目的支持下,编写了这本《大气科学概论》。中国气象局 1992 年确定气象事业为探测、预报预测、应用服务“三大块”结构,据此,该教材由基础篇、探测篇、预报篇、应用篇四大部分组成,从而和现代的中国气象业务板块有相应的衔接。

本书共有 20 章。在第 1 章进行概述的基础上,以基础篇、探测篇、预报篇、应用篇四大部分为核心进行阐述。其中基础篇包括第 2 章大气成分与结构:主要介绍大气质量与大气成分,大气垂直结构及表征大气的基本要素;第 3 章大气现象:主要介绍云、降水、雾、霾、露、霜、雷暴、龙卷、闪电、大气光学现象等大气现象;第 4 章大气系统的能量收支与平衡:主要介绍大气热量传输,大气的吸收、发射与温室效应以及太阳辐射与地球能量平衡;第 5 章大气运动的规律与特征:主要介绍大气中基本动力过程的特征、大气所受的力、动力过程的分类以及天气和气候的基本过程。探测篇包括

第6章常规气象观测:主要介绍常规气象观测内容,包括地面气象观测、自动气象站和高空气象探测三大部分;第7章天气雷达:主要介绍天气雷达的组成、工作原理及其探测原理以及雷达资料的应用;第8章气象卫星原理及其应用:主要介绍气象卫星原理,卫星资料的应用及星载仪器;第9章大气探测新技术:主要介绍风廓线仪、微波辐射计、激光雷达和GPS气象探测技术。预报篇包括第10章气旋和反气旋:主要介绍气旋反气旋的基本概念、天气学特征和分类,讨论涡度的概念,并重点介绍台风的结构和特征;第11章气团和锋:主要介绍气团和锋的相关知识;第12章天气预报的基本方法和技术:主要介绍天气预报的基本概念,短期天气预报思路、方法与技术,气象要素预报及其他天气预报;第13章季风与中国雨带:主要介绍季风的基本概念,亚洲季风环流系统,亚洲季风变率及东亚季风与中国雨带的关系;第14章厄尔尼诺与南方涛动:主要介绍海水温度分布及洋流,厄尔尼诺及其发生基本成因、生命期和基本特征以及厄尔尼诺对气候的影响;第15章气候变化:主要介绍不同时期气候变化的主要特征及其原因,重点介绍近百年气候变化的事实及其与人类活动的关系,探讨气候变化的影响与应对措施。应用篇包括第16章农业气象:主要介绍气象与农业的关系,影响农业的气象要素,农业气象预报以及气候变化对农业生产的影响;第17章气象能源:主要介绍气象能源,着重介绍太阳能以及风能的利用;第18章交通气象:主要介绍交通气象产生的背景,影响交通的不利气象条件和气象灾害以及交通气象业务;第19章健康气象:主要介绍气象要素如何影响人体健康、气象与人体疾病的关系、人体对气候的适应性和健康气象预报等方面的基础知识;第20章气象防灾减灾:主要介绍气象灾害特点,主要气象灾害种类以及气象防灾减灾技术。

该教材是在参阅了大量有关的教科书、专著和论文的基础上,结合教学经验和体会编写的,在内容上力求完整、准确而又简练地阐明大气科学的基本概念、基础知识和基本原理,达到学术性、可读性和应用性的统一,以便使本教材不仅能适应大气科学教学的需要,而且对气象行业工作者和其他大气科学爱好者也有参考价值。我相信广大读者定会从中受益。

丁一汇\*  
2012年3月

\* 丁一汇,中国工程院院士

# 前 言

《大气科学概论》课程通过介绍大气科学的基本概念和基本知识,对专业课程中详细讨论的大气现象及其本质进行初步的描述和解释,将科学性和趣味性相结合,目的在于激发学生学习大气科学的热情和兴趣。该课程原本是为大气科学专业新生开设的《天气动力学引论》,后更名为《大气科学导论》,2010年定为《大气科学概论》。

大气科学是一门多学科交叉的综合性学科,不仅涉及到物理、化学、流体力学、数学等学科,还与地球科学、社会科学、生态科学等方面有着密不可分的关系。同时,大气科学还是一门应用科学,需要用一系列监测、建模、推演等科学手段来深刻理解大气与地球系统、人类社会之间的关系,准确进行天气、气候和大气环境的监测和预报,从而减少大气活动对人类社会的负面影响。因此,大气科学本身的特点及其与经济社会发展之间的关系决定了大气科学及其研究的重要地位,使大气科学有着永无止境的科学前沿和不断发展的驱动力。随着全球变暖,极端灾害天气和气候频发,减缓和应对气候变化的需求更加迫切,大气科学的重要性更加日益凸现。

得益于中国气象局和南京信息工程大学局校共建的支持,为适应我校大气科学学科深化教学改革的需要,让更多的学生了解大气科学,尽可能地全校其他各专方向大气科学的拓展提供基础,我们联合了本学科相关学院的部分教授和专家,编写了这本《大气科学概论》。中国气象局1992年确定气象事业为探测、预报预测、应用服务“三大块”结构,据此,我们确定该教材由基础篇、探测篇、预报篇、应用篇四大部分组成。本教材是在参阅了大量有关的教科书、专著和论文的基础上,结合教学经验和体会编写的,在内容上力求完整、准确而又简练地阐明大气科学的基本原理、基本概念和基础知识,达到学术性、可读性和应用性的统一,以便使本教材不仅能适应大气科学教学的需要,而且对从事气象行业工作者和其他大气科学爱好者也有参考价值。

本教材由何金海、郭品文、银燕、申双和共同担任主编,全书由何金海负责统稿、定稿,具体修改事宜由卢楚翰、蔡佳熙、刘琳负责。各章撰稿人分工如下:

第1章 何金海、卢楚翰、包云轩;

第2章 朱彬;

第3章 银燕;

- 第4章 杨军;
- 第5章 郭品文、王文;
- 第6章 陈爱军;
- 第7章 魏鸣;
- 第8章 官莉、陈爱军;
- 第9章 黄兴友;
- 第10章 徐海明、祁莉;
- 第11章 徐海明、高庆九;
- 第12章 苗春生;
- 第13章 郭品文、王黎娟;
- 第14章 郭品文、周顺武;
- 第15章 江志红;
- 第16章 申双和;
- 第17章 缪启龙;
- 第18章 包云轩;
- 第19章 胡继超、申双和;
- 第20章 景元书。

本书是首次印刷,其中基础篇和预报篇的部分内容取自大气科学专业(含大气探测方向)的《大气科学导论》教材(何金海等主编),并在教学中使用多年。新教材的效果还有待教学实践的检验。我们拟在该教材使用一段时间后根据教学实践和学生反映,对书中内容做进一步的调整和修改。由于水平有限和时间仓促,书中错误和不妥之处并不少见,因此可称为待修改的第1版。作为本书的作者,我们热切盼望读者提出宝贵意见和建议。

本书在编撰过程中得到学校各级领导和职能部门的大力支持,气象出版社陈云峰总编多次来校督促指导,国家信息气象中心周自江研究员提供了许多宝贵意见,在此谨向他们,向所有支持我们的人表示衷心的感谢。还要特别感谢中国工程院院士丁一汇教授能够拨冗为本书作序,全面阐述了本书内容和大气科学的重要作用。

本教材得到中国气象局和南京信息工程大学局校共建精品教材项目以及国家科技支撑计划“极端天气气候事件的检测和可预测性关键技术研究(No. 2007BAC29B01)”课题的资助。

何金海

2010年9月

# 目 录

## 序

## 前言

<b>第 1 章 概 论</b> .....	(1)
1.1 大气科学的重要性 .....	(1)
1.1.1 大气科学在人类生存与发展中的重要性 .....	(1)
1.1.2 大气科学在自然科学中的重要性 .....	(3)
1.2 大气科学的研究对象、内容和学科体系 .....	(3)
1.2.1 大气科学的研究对象和内容 .....	(3)
1.2.2 大气科学的学科体系 .....	(6)
1.2.3 大气科学与其他学科的关系 .....	(6)
1.3 大气科学的发展历史及展望 .....	(7)
1.3.1 大气科学的建立 .....	(7)
1.3.2 大气科学主要分支的形成 .....	(8)
1.3.3 大气科学的迅速发展及发展趋势 .....	(9)
1.4 气象业务与气象服务 .....	(10)
1.4.1 气象业务 .....	(11)
1.4.2 气象服务 .....	(14)
<b>第 2 章 大气成分与结构</b> .....	(16)
2.1 大气质量与大气成分 .....	(19)
2.1.1 大气质量 .....	(19)
2.1.2 大气成分 .....	(20)
2.2 大气的垂直结构 .....	(28)
2.2.1 按温度垂直结构分层 .....	(28)
2.2.2 按化学成分分层 .....	(33)
2.2.3 按电离特性分层 .....	(34)
2.2.4 按压力结构分层 .....	(34)
2.3 表征大气的基本要素 .....	(34)
2.3.1 温度 .....	(35)



2.3.2	气压 .....	(37)
2.3.3	湿度 .....	(39)
2.3.4	风 .....	(41)
<b>第3章</b>	<b>大气现象 .....</b>	<b>(47)</b>
3.1	云与降水 .....	(47)
3.1.1	云的形成与分类 .....	(47)
3.1.2	降水的形成与分类 .....	(51)
3.2	雾、霾、露和霜 .....	(52)
3.2.1	雾 .....	(52)
3.2.2	霾 .....	(54)
3.2.3	霜 .....	(55)
3.2.4	露 .....	(56)
3.3	雷暴、闪电与龙卷 .....	(56)
3.3.1	雷暴与闪电 .....	(56)
3.3.2	龙卷风 .....	(57)
3.4	大气光学现象 .....	(57)
3.4.1	海市蜃楼 .....	(58)
3.4.2	虹 .....	(58)
3.4.3	晕 .....	(59)
3.4.4	华 .....	(60)
3.4.5	其他大气光学现象 .....	(61)
3.5	其他大气现象 .....	(61)
3.5.1	光化学烟雾 .....	(61)
3.5.2	臭氧洞 .....	(62)
3.5.3	酸雨 .....	(64)
<b>第4章</b>	<b>大气系统的能量收支与平衡 .....</b>	<b>(67)</b>
4.1	大气热量传输 .....	(67)
4.1.1	潜热 .....	(68)
4.1.2	传导 .....	(68)
4.1.3	对流 .....	(70)
4.1.4	辐射 .....	(71)
4.2	大气的吸收、发射与温室效应 .....	(74)
4.2.1	大气的选择性吸收与温室效应 .....	(74)
4.2.2	温室效应的增强 .....	(76)

---

4.2.3 地面加热空气 .....	(77)
4.3 太阳辐射与地球能量平衡 .....	(78)
4.3.1 散射与反射 .....	(78)
4.3.2 地球能量平衡 .....	(79)
<b>第5章 大气运动的规律与特征 .....</b>	<b>(83)</b>
5.1 描述大气运动的基本物理定律 .....	(83)
5.1.1 基本作用力 .....	(84)
5.1.2 控制大气运动的基本定律 .....	(91)
5.1.3 热力学能量方程 .....	(92)
5.2 参照系 .....	(93)
5.2.1 地球的基本特征 .....	(93)
5.2.2 旋转坐标系 .....	(93)
5.3 大气运动的多尺度性 .....	(96)
5.3.1 中纬度地区天气系统的特征尺度 .....	(96)
5.3.2 大气运动时间、空间的多尺度性 .....	(97)
5.4 决定大气运动的主要因子 .....	(99)
5.5 风场和气压场的关系 .....	(100)
5.5.1 地转风 .....	(101)
5.5.2 梯度风 .....	(101)
5.5.3 地转风随高度的变化——热成风 .....	(102)
5.5.4 地转偏差 .....	(104)
5.6 天气与气候 .....	(104)
<b>第6章 常规气象观测 .....</b>	<b>(107)</b>
6.1 地面气象观测 .....	(107)
6.1.1 云的观测 .....	(108)
6.1.2 能见度的观测 .....	(110)
6.1.3 天气现象的观测 .....	(111)
6.1.4 气温的观测 .....	(114)
6.1.5 气压的观测 .....	(119)
6.1.6 空气湿度的观测 .....	(124)
6.1.7 风的观测 .....	(129)
6.1.8 降水的观测 .....	(137)
6.1.9 辐射的观测 .....	(141)
6.1.10 日照的观测 .....	(147)

6.1.11	积雪的观测	(149)
6.1.12	蒸发的观测	(151)
6.2	自动气象站	(154)
6.2.1	概述	(154)
6.2.2	体系结构	(154)
6.2.3	工作原理	(155)
6.2.4	主要功能	(155)
6.2.5	主要硬件	(156)
6.2.6	软件系统	(158)
6.2.7	采样和算法	(158)
6.3	高空气象探测	(159)
6.3.1	高空风的探测	(159)
6.3.2	高空温度、气压、湿度探测	(162)
<b>第7章</b>	<b>天气雷达</b>	<b>(166)</b>
7.1	天气雷达的组成和工作原理	(167)
7.1.1	触发信号产生器	(167)
7.1.2	发射机	(168)
7.1.3	天线转换开关	(168)
7.1.4	天线	(169)
7.1.5	接收机	(170)
7.1.6	天线传动装置	(170)
7.1.7	显示器	(171)
7.2	天气雷达探测原理	(172)
7.2.1	气象目标对雷达电磁波的散射	(172)
7.2.2	气象目标对雷达波的衰减	(178)
7.2.3	雷达气象方程	(180)
7.2.4	超短波在大气中的折射	(181)
7.2.5	雷达定量测量降水量	(184)
7.3	多普勒雷达探测	(184)
7.3.1	多普勒频率和目标径向速度的关系	(185)
7.3.2	最大不模糊速度与最大不模糊距离	(186)
7.3.3	多普勒径向速度分析	(186)
7.4	回波识别与分析	(188)
7.4.1	非降水回波识别	(188)

7.4.2	降水回波强度分析	(189)
7.4.3	多普勒速度图像分析	(192)
<b>第8章</b>	<b>气象卫星原理及其应用</b>	<b>(195)</b>
8.1	气象卫星原理	(196)
8.1.1	卫星遥感的基本概念	(196)
8.1.2	卫星图像	(196)
8.1.3	气象卫星的种类	(198)
8.1.4	全球卫星观测体系	(200)
8.2	卫星资料的应用	(201)
8.2.1	增加和丰富了气象观测及其他领域资料的内容和范围	(201)
8.2.2	卫星资料是天气分析预报的重要依据	(202)
8.2.3	监视暴雨、强雷暴等灾害性天气系统	(202)
8.2.4	监视热带洋面上的低压、台风等天气系统	(202)
8.2.5	改进短期天气预报	(203)
8.2.6	为数值天气预报提供资料	(203)
8.2.7	在气候研究方面的应用	(203)
8.2.8	为农业提供气象资料	(204)
8.2.9	监视森林火灾、地表热异常	(204)
8.2.10	卫星资料在水文方面的应用	(204)
8.2.11	为海洋活动提供气象资料	(204)
8.2.12	为航空提供飞行保障	(205)
8.2.13	为军事提供气象服务	(205)
8.2.14	收集和转发各种气象资料	(206)
8.2.15	空间环境监测	(206)
8.3	星载仪器介绍	(206)
8.3.1	星载辐射计及其观测	(206)
8.3.2	星载雷达及其观测	(209)
8.3.3	EOS 主要观测仪器	(210)
<b>第9章</b>	<b>大气探测新技术</b>	<b>(215)</b>
9.1	风廓线仪	(215)
9.1.1	风廓线仪概述	(215)
9.1.2	风廓线仪硬件组成及工作流程	(217)
9.1.3	风廓线仪测量水平风的原理	(218)
9.1.4	风廓线仪基本产品及初步应用	(220)

9.2	微波辐射计	(221)
9.2.1	微波辐射计概述	(221)
9.2.2	微波辐射计的工作原理	(222)
9.2.3	微波辐射计的组成	(223)
9.2.4	微波辐射计的应用	(226)
9.3	激光雷达	(227)
9.3.1	激光雷达分类	(228)
9.3.2	气溶胶光学特性参数的测量	(230)
9.4	GPS气象探测技术	(232)
9.4.1	概述	(232)
9.4.2	地基GPS探测水汽原理	(233)
<b>第10章</b>	<b>气旋和反气旋</b>	<b>(238)</b>
10.1	气旋和反气旋的基本概念	(238)
10.2	气旋和反气旋的天气学特征及其分类	(239)
10.2.1	气旋	(239)
10.2.2	反气旋	(243)
10.3	涡度	(246)
10.4	台风	(248)
10.4.1	台风活动的地区和季节	(248)
10.4.2	台风的命名	(249)
10.4.3	台风的结构和天气	(251)
10.4.4	台风的生命史	(253)
10.4.5	台风生成的必要条件	(253)
10.4.6	台风的路径	(253)
10.4.7	台风灾害	(254)
<b>第11章</b>	<b>气团和锋</b>	<b>(257)</b>
11.1	气团	(257)
11.1.1	气团的概念	(257)
11.1.2	气团的形成和源地	(257)
11.1.3	气团变性	(258)
11.1.4	气团的分类及其标记	(258)
11.1.5	气团的特征	(259)
11.2	锋面	(260)
11.2.1	锋的概念及其分类	(260)

11.2.2	锋的分类及其表示 .....	(261)
11.2.3	锋的移动以及锋生和锋消 .....	(264)
11.2.4	锋与天气的联系(暖锋天气、冷锋天气、准静止锋天气、锢囚锋天气) .....	(264)
<b>第12章</b>	<b>天气预报的基本方法和技术 .....</b>	<b>(269)</b>
12.1	天气预报的基本概念 .....	(277)
12.1.1	天气、天气系统、天气过程的含义 .....	(278)
12.1.2	天气预报分类 .....	(278)
12.1.3	天气预报步骤 .....	(278)
12.2	短期天气预报方法与技术 .....	(279)
12.2.1	天气图预报方法 .....	(280)
12.2.2	数值模式预报方法 .....	(282)
12.2.3	天气预报业务自动化 .....	(290)
12.3	短期天气预报思路 .....	(292)
12.3.1	了解检查上一班的预报效果 .....	(292)
12.3.2	熟悉上级指导预报意见 .....	(293)
12.3.3	分析大型环流背景,判别主导系统 .....	(293)
12.3.4	分析判断影响系统 .....	(294)
12.3.5	分析中小尺度系统 .....	(295)
12.3.6	分析局地气象条件 .....	(295)
12.3.7	考虑地形影响 .....	(297)
12.3.8	应用客观定量预报方法 .....	(298)
12.4	气象要素预报 .....	(298)
12.4.1	降水预报 .....	(298)
12.4.2	云雾的预报 .....	(300)
12.4.3	温度及相关气象预报 .....	(300)
12.4.4	风的预报 .....	(301)
12.5	其他天气预报简介 .....	(301)
12.5.1	短时临近天气预报简介 .....	(301)
12.5.2	中期天气预报简介 .....	(303)
12.5.3	长期天气预报简介 .....	(304)
<b>第13章</b>	<b>季风与中国雨带 .....</b>	<b>(308)</b>
13.1	季风的概念 .....	(308)
13.1.1	季风的定义 .....	(308)

13.1.2	季风形成的基本因子 .....	(309)
13.1.3	世界季风区 .....	(310)
13.1.4	我国夏季风和冬季风的特点 .....	(311)
13.2	亚洲季风系统 .....	(312)
13.2.1	南亚(印度)季风环流系统 .....	(312)
13.2.2	东亚季风环流系统 .....	(313)
13.2.3	东亚夏季风的经圈环流 .....	(315)
13.3	亚洲季风的变率 .....	(316)
13.3.1	亚洲季风的季节内振荡 .....	(316)
13.3.2	亚洲季风的年际变率 .....	(317)
13.3.3	亚洲季风的年代际变率 .....	(318)
13.3.4	亚洲夏季风变率与中国旱涝的关系 .....	(318)
13.4	东亚季风与中国雨季的几个阶段 .....	(320)
13.4.1	中国降水的气候概况 .....	(320)
13.4.2	东亚夏季风的建立和推进与雨带活动 .....	(320)
13.4.3	江淮梅雨 .....	(323)
13.4.4	东亚夏季风的撤退与冬季风的建立 .....	(324)
<b>第 14 章</b>	<b>厄尔尼诺与南方涛动 .....</b>	<b>(327)</b>
14.1	海水温度分布及洋流 .....	(327)
14.1.1	海表面温度水平分布特征 .....	(327)
14.1.2	海温的垂直分布特征 .....	(328)
14.1.3	信风对赤道太平洋海水结构的维持作用 .....	(328)
14.2	厄尔尼诺概述 .....	(330)
14.2.1	厄尔尼诺现象 .....	(330)
14.2.2	恩索(ENSO)系统 .....	(331)
14.2.3	沃克环流 .....	(332)
14.2.4	恩索的监测与指标 .....	(333)
14.3	厄尔尼诺发生基本成因及其生命期和基本特征 .....	(335)
14.3.1	厄尔尼诺发生基本成因 .....	(335)
14.3.2	厄尔尼诺的生命期 .....	(336)
14.3.3	厄尔尼诺的基本特征 .....	(337)
14.4	厄尔尼诺对气候的影响 .....	(337)
14.4.1	厄尔尼诺对全球气候的影响 .....	(338)
14.4.2	厄尔尼诺对中国气候的影响 .....	(339)

---

<b>第 15 章 气候变化</b> .....	(342)
15.1 气候变化的背景 .....	(342)
15.1.1 第四纪大冰期气候 .....	(342)
15.2 近百年全球和中国的气候变化 .....	(345)
15.2.1 全球地表气温变化 .....	(345)
15.2.2 近百年全球降水变化 .....	(347)
15.2.3 全球降水变化的区域特性 .....	(348)
15.2.4 近百年中国气候变化 .....	(349)
15.2.5 极端气候的变化 .....	(351)
15.3 气候变化的自然原因 .....	(353)
15.3.1 地球轨道参数的变化 .....	(353)
15.3.2 板块漂移和地形变化 .....	(354)
15.3.3 太阳活动对气候的影响 .....	(355)
15.3.4 火山活动与气候 .....	(356)
15.3.5 温盐环流与气候 .....	(357)
15.4 人类活动与气候变化 .....	(357)
15.4.1 人类活动与温室效应 .....	(358)
15.4.2 人为气溶胶及其气候效应 .....	(359)
15.4.3 土地利用的变化及其气候效应 .....	(360)
15.5 气候变化的影响与应对措施 .....	(361)
15.5.1 气候变化的影响 .....	(361)
15.5.2 应对气候变化的相关措施 .....	(364)
<b>第 16 章 农业气象</b> .....	(368)
16.1 气象与农业 .....	(368)
16.2 影响农业的气象要素 .....	(369)
16.2.1 光合作用理论和光周期现象 .....	(369)
16.2.2 温度影响与积温学说 .....	(373)
16.2.3 水分与农业生产 .....	(376)
16.2.4 二氧化碳、风与农业生产 .....	(381)
16.3 农业气象预报 .....	(385)
16.3.1 农业气象预报方法 .....	(385)
16.3.2 农业气象预报类型 .....	(386)
16.4 气候变化对农业生产的影响及其对策 .....	(389)
16.4.1 气候变化对农业生产的影响 .....	(390)



16.4.2	气候变化对作物病虫害的影响 .....	(392)
16.4.3	农业应对气候变化 .....	(393)
<b>第 17 章</b>	<b>气象能源</b> .....	(395)
17.1	气象能源概述 .....	(395)
17.1.1	气象能源的概念 .....	(395)
17.1.2	气象能源的特点 .....	(395)
17.2	太阳能的利用 .....	(397)
17.2.1	地面太阳总辐射 .....	(397)
17.2.2	太阳能的空间分布 .....	(398)
17.2.3	太阳能的时间变化 .....	(399)
17.2.4	太阳能的综合利用 .....	(401)
17.3	风能的利用 .....	(405)
17.3.1	风能的计算 .....	(406)
17.3.2	风能评估技术 .....	(408)
17.3.3	风能资源的时空分布 .....	(409)
17.3.4	风能利用和开发 .....	(414)
<b>第 18 章</b>	<b>交通气象</b> .....	(418)
18.1	交通气象产生的背景 .....	(418)
18.1.1	气象条件对交通运输的影响 .....	(418)
18.1.2	交通气象灾害 .....	(419)
18.1.3	交通气象的主要特点 .....	(421)
18.1.4	交通气象服务需求 .....	(421)
18.2	影响交通的不利气象条件和气象灾害 .....	(422)
18.2.1	视程障碍 .....	(422)
18.2.2	下垫面状况 .....	(425)
18.2.3	强外力作用 .....	(427)
18.2.4	雷电 .....	(429)
18.3	交通气象业务 .....	(430)
18.3.1	分析了解交通气象灾害的时空分布 .....	(430)
18.3.2	实时监测 .....	(431)
18.3.3	预警 .....	(432)
18.3.4	临近预报 .....	(433)
18.3.5	交通气象信息发布 .....	(434)
18.3.6	气象信息在交通运营管理中的应用 .....	(437)