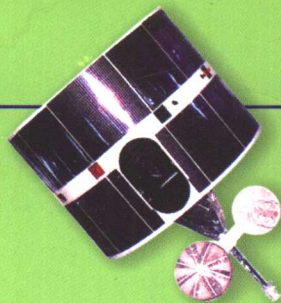


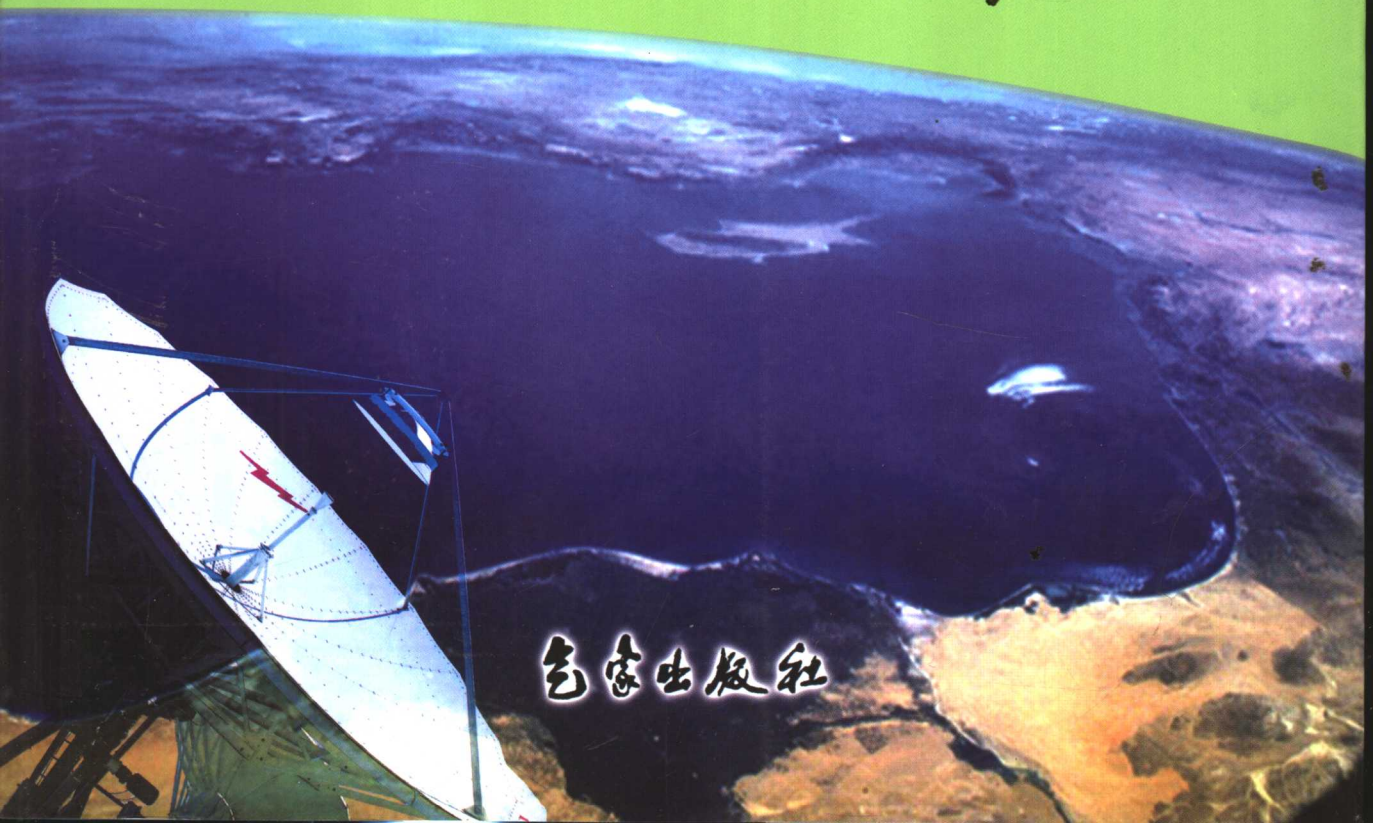


◆ 现代大气科学丛书 ◆



大气科学概论

黄荣辉 编著



气象出版社

现代大气科学丛书

大气科学概论

黄荣辉 编著

气象出版社

内容简介

本书扼要地介绍了大气科学的研究对象、内容和方法;系统地概述了大气成分、结构与状态,基本的物理、动力和化学过程;较全面地简述了大气中的天气系统、大气环流、气候变化和气候系统;此外,本书还回顾了20世纪大气科学的发展成就,并展望了21世纪大气科学的发展趋势。

本书不仅可作为非大气科学专业的人士了解大气科学的入门书,又可作为大气科学专业的本科和研究生的教科书,也可作为从事大气科学教学、科研和业务人员的一本参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大气科学概论/黄荣辉编著.

—北京:气象出版社,2005.10

ISBN 7-5029-4027-8

I. 大… II. 黄… III. 大气科学-概论 IV. P4

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第111352号

Daqi Kexue Gailun

大气科学概论

黄荣辉 编著

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街46号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcsb@263.net

责任编辑:李太宇 章澄昌 终审:汪勤模

封面设计:张建永

*

北京中新伟业印刷有限公司印刷

气象出版社发行

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:365千字

2005年10月第一版 2006年3月第二次印刷

ISBN 7-5029-4027-8/P·1449

印数:1001~4000 定价:35.00元

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

《现代大气科学丛书》
编辑委员会

主 编 黄荣辉
副主编 李崇银 王绍武 黄美元
编 委 (以姓氏笔画为序)
王明星 刘式适 孙淑清
朱瑞兆 邱金桓 陈洪滨
郑循华 徐华英 高守亭
编 辑 耿淑兰

作者简介

黄荣辉,1942年8月17日出生于福建省惠安县。1965年毕业于北京大学地球物理系。1983年获日本东京大学理学博士。1985年起晋升为中国科学院大气物理研究所研究员、博士生导师,1991年被选为中国科学院院士。曾任中国科学院大气物理研究所副所长、中国科学院咨询委员会委员、中国科学院地学部常委、国家气候研究委员会常务副主任,是第八、九、十届全国政协委员、国务院学位委员会学科评议组成员、中国科学院学位委员会副主任、中国气象学会副理事长、国家级有突出贡献的中青年科学家,1986年曾获国家“五一”劳动奖章。

主要从事大气环流动力学和短期气候变化物理基础的研究,在行星波动力学、东亚大气环流和短期气候异常机理方面作出了系统而有创见性的研究,发表了百余篇文章和多部著作。曾获国家科技进步奖一等奖一次,国家自然科学基金三等奖三次,并获中国科学院科技进步奖一等奖二次,自然科学奖二等奖一次。

序

大气科学是研究地球大气圈及其与陆面、海洋、冰雪、生态系统、人类活动相互作用的动力、物理、化学过程及其机理。由于人类的生产和生活活动离不开大气,因此,这门科学不仅在自然科学中具有重要的科学地位,而且在国家的经济规划、防灾减灾、环境保护和国防建设中都具有重要的应用价值。

随着人类生产活动的发展和科学技术水平的提高,特别是电子计算机和气象卫星及太空遥感探测大气技术的提高,大气科学得到了迅速的发展,它已形成了诸多分支学科,如大气探测学、天气学、气候学、动力气象学、大气环境学、大气物理学、大气化学等分支学科。为了回顾近百年来大气科学的发展成就以及展望 21 世纪初大气科学的发展、创新与突破,我们编写了这套《现代大气科学丛书》。它包括《大气科学概论》、《大气物理与大气探测学》、《大气化学概论》、《大气环境学》、《动力气象学导论》、《现代天气学概论》、《现代气候学概论》、《应用气候学概论》共八卷。本书是其中的一卷。

在编写这套丛书时,内容力求简明扼要、通俗易懂,每部书的内容结构力求全面、系统。各卷还包括了对各分支学科的发展历程、研究方法和对今后的展望,以使读者对现代大气科学各分支学科有一个全面的了解。

由于我们学识有限,加之本套丛书涉及的内容较为广泛,书中难免有不妥之处,希望读者给予指正。

本套丛书得到了中国科学院大气物理研究所的大力支持和资助,在此表示衷心的感谢。

此外,《中国现代科学全书》编辑工作委员会对本套丛书的组稿和书稿的排版做了不少工作,在此给予说明。王磊和刘春燕两同志对于本套丛书书稿做了许多工作,鲍名博士在此套丛书出版的联系方面付出许多精力,也在此表示感谢。

《现代大气科学丛书》编辑委员会

主编 黄荣辉*

2005 年 5 月 18 日

* 黄荣辉,中国科学院院士

前 言

大气是人类和地球上大部分生物赖以生存的环境。人类为了更好地发展经济和改善生活,很早就重视对地球大气的研究。

大气科学不仅是研究大气状态及其变化规律、成因的一门科学,而且也是研究大气与周围的海洋、陆面、冰雪和生物圈相互作用的动力、物理和化学过程的一门综合性科学。由于观测技术的发展,特别是空基和地基遥感技术的发展和运用,以及现代高速计算机和通信网络的迅速发展,使得大气科学获得高速发展,它已成为一门拥有多分支学科,如大气探测、天气学与大气环流、大气动力学、气候学、大气物理学、大气环境学、大气化学、全球变化等的综合性科学。

大气科学涵盖了很丰富的内容,要用有限篇幅简单地概述大气科学的全貌,这是比较困难的,国内外也较少见此书籍。在国际上虽然在 20 世纪 70、80 年代有过此书,但当时大气化学、大气环境学、气候学和全球变化研究等领域还没有得到长足发展。因此,编写本书时力图在前人的基础上增加当今大气科学热门领域的研究内容,如大气环境、气候和全球变化等,以使大气科学的内容更加全面、丰富。本书既介绍了大气科学的研究对象、内容、方法、主要的科学成就与进展,又介绍了大气科学的发展与方向。

本书章节安排力求由浅入深:第一章,概述:主要介绍大气科学的重要性,研究对象、内容和方法;第二章,大气的成分、结构与状态:主要介绍行星大气、地球大气的起源、成分、大气的垂直结构、状态参数及其它它们之间的关系;第三章,大气基本物理过程:主要介绍大气中雷电现象、太阳和大气辐射与传输、大气中的相变过程及云、雨、雾等相变现象、大气热力学和大气的绝热过程等;第四章,大气基本动力过程:主要介绍地球大气运动的时空尺度、基本的平衡关系、基本动力方程组、基本的动力特征和过程以及大气中的波动和运动的稳定性;第五章,大气中的化学过程:主要介绍大气中温室气体的循环过程、气溶胶、臭氧的光化学反应、酸雨等,以及这些过程对气候环境的影响;第六章,天气系统与大气环流:主要介绍中高纬和热带大尺度天气系统、中、小尺度天气系统、季风和梅雨、全球大气环流的基本事实以及平流层大气环流;第七章,气候变化:主要介绍全球气候变化的多时间尺度、全球和我国近百年气候的年际和年代际变化特征;第八章,气候系统:主要介绍地球气候系统的各子系统特征及其它它们的相互作用过程以及对气候变化的影响,这一章所述内容是前七章内容的综合;第九章,20 世纪大气科学发展的回顾与 21 世纪初展望:主要回顾了 20 世纪大气科学的发展和 21 世纪初大气科学的发展趋势、优先发展领域以及当前正在开展的几个大型国际研究计划。

在编写此书时,力求做到深入浅出,通俗易懂,并尽量做到图文并茂。本书力

大气科学概论 ◇

求既能成为具有大学文化程度非大气科学专业的人士能够读懂并感兴趣的一本入门书,又能作为从事大气科学教学、科研和业务人员的一本参考书。

在编写此书时参考了许多著作(见本书的参考文献),并得到王磊、刘春燕和李新荣等同志的大力帮助以及《中国现代科学全书》编辑工作委员会有关同志的关照,谨在此表示感谢。

由于编写时间匆忙,不妥之处,敬请批评指正。

黄荣辉

2005年4月26日

目 录

序
前言

第一章 概述	(1)
第一节 大气科学的重要性	(1)
第二节 大气科学的研究对象与研究内容	(4)
第三节 大气科学的研究方法	(6)
第二章 大气的成分、结构与状态	(14)
第一节 太阳系的行星大气	(14)
第二节 地球大气的起源	(16)
第三节 大气的垂直结构	(17)
第四节 大气的状态参数及其变化	(19)
第五节 全球大气的纬向平均温度与风的垂直分布	(21)
第六节 大气中基本状态参数之间的关系	(23)
第三章 大气基本物理过程	(25)
第一节 大气中雷电现象及过程	(25)
第二节 太阳的短波辐射	(31)
第三节 地球大气的辐射与传输	(37)
第四节 地球大气的辐射收支	(40)
第五节 大气中的相变过程与雨、雾、雪和冰雹	(42)
第六节 大气热力学	(49)
第七节 大气中绝热过程与位温	(50)
第八节 大气中静力平衡与静力稳定度	(51)
第四章 大气基本动力过程	(53)
第一节 地球大气运动的基本动力特征	(53)
第二节 大气运动的空间和时间尺度	(56)
第三节 大气中最基本的动力平衡关系	(59)
第四节 中纬度天气系统运动的动力方程组和位涡度方程	(63)
第五节 大气运动的基本动力过程	(65)
第六节 大气中的波动	(69)
第七节 大气的动力不稳定性	(76)

第五章 大气中的化学过程	(82)
第一节 大气中微量气体的循环过程	(82)
第二节 大气气溶胶	(87)
第三节 平流层臭氧的光化学反应	(89)
第四节 大气中降水化学与酸雨	(93)
第五节 大气中化学过程对气候的影响	(96)
第六章 天气系统与大气环流	(98)
第一节 中高纬度地区的天气系统	(98)
第二节 温带气旋与反气旋	(100)
第三节 中、小尺度天气系统	(103)
第四节 热带天气系统	(109)
第五节 季风与梅雨	(113)
第六节 对全球大气环流的认识	(118)
第七节 全球大气环流的基本事实	(120)
第八节 平流层大气环流	(127)
第九节 平流层爆发性增温与准两年周期振荡	(131)
第七章 气候变化	(137)
第一节 气候变化的全球性	(137)
第二节 全球不同时间尺度的气候变化	(138)
第三节 我国气候变化	(141)
第四节 我国的气候灾害种类与分布特征	(148)
第五节 北半球大气环流和气候异常遥相关	(152)
第八章 气候系统	(156)
第一节 气候系统	(156)
第二节 海-气耦合子系统及其对气候变化的作用	(158)
第三节 ENSO 循环及其对短期气候变化的作用	(160)
第四节 西太平洋暖池及其对气候变化的影响	(167)
第五节 青藏高原对气候变化的影响	(170)
第六节 陆面过程与陆-气相互作用及其对气候变化的影响	(174)
第七节 人类活动对气候的影响	(176)
第八节 气候数值模式与气候数值模拟	(180)
第九节 气候系统动力学的研究	(183)

第九章 20 世纪大气科学发展的回顾与 21 世纪初的展望	(188)
第一节 20 世纪大气科学发展的回顾	(188)
第二节 21 世纪初国际大气科学发展趋势及需求	(201)
第三节 21 世纪初国际大气科学的优先发展领域	(203)
第四节 与大气科学有关的几个大型全球研究计划	(204)
参考文献	(209)

第一章 概述

包围地球的空气称大气层。虽然它的总质量只有地球的 120 万分之一,但是它是一切生物和人类赖以生存最重要的环境。并且,从地表到 80 km 左右高空的大气层中,特别是地表到 10 km 高度的大气层存在着各种不同尺度大气的运动,发生着各种物理现象和天气现象,如雾、霜、冰雪和雨、冬季的寒潮、夏季的台风、暴雨、冰雹、雷电等,以及发生着各种化学现象,如温室气体 CO_2 、稻田排放的 CH_4 、工厂烟囱经常排放的 SO_2 、汽车产生的 N_2O 等。因此,大气科学是自然科学中非常重要的学科之一,它有着广泛的研究内容;并且,它有着自己独特的研究方法和研究特点。本章将介绍大气科学的重要性、大气科学的研究内容、研究方法与特点。

第一节 大气科学的重要性

由于地球大气是一切生物和人类赖以生存最重要的环境。一切生物和人类的生存均需要阳光、空气和清水,不仅空气直接与大气有关,而且阳光也要经过大气才到达地面,至于清水主要来自天空的降水,它们也与大气密切相关,因此,大气科学可以说是自然科学中最重要的一门学科之一。

一、大气科学理论在自然科学中的作用

不仅大气科学所研究的现象是自然界中重要的现象,而且大气科学的理论对自然科学的发展也起了很大作用。20 世纪 20 年代挪威著名气象学家皮叶克尼斯(V. Bjerknes)提出斜压大气和环流理论,推动了整个宏观流体动力学的研究;1922 年英国科学家理查逊(L. F. Richardson)提出逐步积分的概念,促进了后来计算机技术的发明和发展;30 年代著名的美籍瑞典气象学家罗斯贝(C. G. Rossby)提出,我国著名气象学家叶笃正、曾庆存所发展的大气适应理论说明了在大气、海洋这种自然界中质量的分布与运动互相作用,运动产生于质量分布不均匀中,而质量的分布是在运动中形成的,这是自然辩证法的一个很好的发展;在 60 年代初,美国伟大气象学者洛伦兹(E. N. Lorenz)提出分岔、混沌和怪吸引子概念,他提出科学上的确定论与随机论不能截然分开,它们是可以互相联系起来的,这被公认为当代自然科学的重大突破。这些概念的提出不仅使气候动力学大大发展,而且使数学、物理学、生物学等自然科学取得重大突破,同时使社会科学得到很大发展。哲学界认为自然科学发展中有三次革命:第一次科学革命是 17 世纪初牛顿创立的经典力学,它使观测和实验所得到的科学现象上升为理论,产生了近代自然科学理论;第二次科学革命是 20 世纪初爱因斯坦提出的狭义和广义相对论,为量子力学等现代科学的发展提供了理论基础;第三次科学革命就是伟大气象学家洛伦兹所提出的非线性的“分岔、混沌和怪吸引子”概念,这个理论把自然界的确定变化与无序变化联系起来,从而可以描述自然界物体运动的多样性、奇异性和复杂性。

从上面一些例子可以说明大气科学的理论对于自然科学的发展是有很大大作用的。

二、大气科学研究在国民经济建设和社会发展中的作用

大气科学研究对于国民经济建设和社会的发展有着重大作用,下面从大气科学在防灾减灾、环境保护、航线航路安全等方面来论述它的作用。

(一)在防灾减灾中的作用

大气科学与社会和经济的发展有着密切关系。发生在大气中的各种现象及其变化,如雨水和温暖等可以造福人类,但是它们也可带来严寒、酷暑、干旱和雨涝、冰雹、龙卷等灾害性气候和天气,这些都直接影响了工农业生产、交通运输和人民生活,甚至威胁了人民的生命财产。发生在大气中的气象灾害,每年给全世界带来数百亿美元的经济损失。

我国是世界气候脆弱区之一,气候异常给我国带来了严重气候灾害,尤其是旱涝灾害。一般年份,旱涝灾害的受灾面积可达 $0.3 \times 10^8 \sim 0.4 \times 10^8 \text{ hm}^2$,重灾年可达 $0.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$,约占耕地总面积的 $1/3$ 。这些灾害每年约造成 $200 \times 10^8 \text{ kg}$ 的粮食损失和 $1000 \sim 2000$ 亿元的经济损失,约占 20 世纪 90 年代国民总产值的 $3\% \sim 6\%$ 左右。这就是说,全国人民辛辛苦苦一年所取得国民经济的发展增加值,其中一部分要被严重的气候和天气灾害损失掉。因此,气候和天气灾害的成因及预测已成为我国大气科学的前沿研究问题。

习惯上,人们把气候灾害与天气灾害统称为气象灾害,其实两者还是有区别的。天气灾害是指局地性、短时间的强烈天气而带来的灾害,如台风、暴雨、冰雹、龙卷风等,这类天气常伴随有强风和暴雨,对农作物生长有很大的毁坏作用;而气候灾害则是大范围、长时间的气候异常造成的灾害,如长时间气温偏高、偏低、或降水量偏多、偏少等。气候异常会带来干旱、洪涝、低温、冷害等,较严重的会对农业、工业、牧业、水利、交通等产生巨大影响,造成巨大经济损失。

20 世纪 90 年代以来,我国因气象灾害造成的经济损失每年平均在 1000 亿元以上。1991 年夏季淮河流域及长江中、下游地区发生的特大洪涝,以及华南和河套地区的严重干旱,约造成 1200 亿元的经济损失;1994 年江淮流域的严重干旱及华南与辽南地区严重洪涝造成的经济损失竟达到 1800 亿元;1997 年因受厄尔尼诺事件的影响,气象灾害约造成 1975 亿元的经济损失;1998 年夏季长江流域和嫩江、松花江流域发生的特大洪涝,造成了约 2600 亿元的经济损失。我国气候灾害中以干旱与雨涝两种气候灾害最为严重,约占气象灾害总损失的 78% 。由于气候和天气灾害造成的经济损失如此之大,因此,研究这些气候和天气灾害的发生及成因,特别是关于这些气候和天气灾害预测机理和方法的研究是当前国际科学研究的热门课题,更是我国社会发展和经济建设中急需研究的一项重要的科学问题。

(二)在环境保护中的作用

大气为人类生活和生物的生存提供环境条件,然而,人类在生产和生活过程中也不断影响着大气环境。随着世界各国工农业的不断发展,大量使用化石燃料和燃烧有机物、大量施用化肥、人类生活中大量使用冰箱和汽车、汽车尾气大量是氮氧化合物、冰箱大量使用氟里昂,而氟里昂将会破坏大气中的臭氧(O_3),由于水稻种植和有机物的腐化会产生大量甲烷(CH_4)。这就是说人类活动大量产生温室气体;另一方面,由于工农业生产大量砍伐森林,吸收二氧化碳大大减少。这样大气中温室气体浓度不断增加,从而导致全球气温上升。根据科学家的估算,当二氧化碳增加 1 倍时,全球气温将升高 1.5°C 左右。由于全球气温升高,这将导致全球海平面升高,到 2050 年前后,海平面平均将要升高 22 cm 左右;并且,干旱化、荒漠化加剧,水资源缺乏;此外,全球生态系统、人类居住的环境恶化、水资源和空气污染等严重地影响着人类的生

活。因此,大气环境变化不仅是当前全世界各国政府和人民普遍关注的问题,而且也是各国政府制定工农业发展规划和决策必须考虑的问题。

研究大气的成分如何变化及其在大气中如何通过物理的、化学的和动力的过程来改变着地球环境也是大气科学主要研究内容之一。大气科学的研究结果可以告戒全世界人民和政府如何来保护地球大气和人类的生存环境。因此大气科学不仅对于环境保护具有重要作用,而且对于各国经济可持续性发展也是必不可少的一门学科。

(三)大气科学在现代交通运输上的重要作用

1. 对飞机起飞、飞行和降落的影响

从第二次世界大战之后,飞机已逐渐成为世界上快速、方便的交通工具,到 20 世纪 90 年代每天都有千万次航班的飞机在大气层中飞行。由于飞机的速度很快,每小时上千公里,因此空中的颠簸、能见度、雷电等严重地影响起飞、飞行和降落的安全。空中颠簸主要是由于气流切变大而产生湍流以及由于强盛积云对流产生强的垂直运动所致。空中颠簸过强容易使飞机受到破坏,有时也会引起空难事故。并且机场能见度太差严重影响飞机起飞和降落,大气中雾将直接影响机场的能见度,据统计,美国由于浓雾每年机场大概关闭 115 h(小时),造成很大损失。我国一些海滨城市冬、春季浓雾也经常发生,严重影响机场能见度。由于能见度太差,飞机起飞或降落看不清跑道,从而在一定程度上也影响飞机的起飞和降落,甚至产生空难事故。雷电经常破坏地面上的建筑物,在空中当然会毁坏飞机,特别在机场上空发生的雷电,对飞机的起飞和降落有严重影响。因此,在雷电发生的时候,为了确保飞机起飞和降落的安全,机场一般将会关闭。由于雷电时间比浓雾时间短,故机场遇到雷电天气时会短时间关闭,待产生雷电的中尺度天气系统过境后才重新开放。此外,暴雨或大雪天气,由于跑道滑,且能见度也受影响,在一定程度上也影响飞机的起飞与降落。

综上所述,对于雾、雪、雷电等的准确预报对保证飞机飞行安全是极其重要的。

2. 对海港和轮船航行的影响

轮船由于可以运输较重的货物,因此它是现代洲际之间货物主要运输工具。海浪、海冰、风暴潮等严重影响海上轮船的航行。由于台风、强风暴引起的巨浪经常使轮船发生海难事故,特别在大西洋由于强风暴引起的海难时有发生。并且,全世界较大海港有 3000 个年吞吐量约 50×10^8 t(吨),其产值 10000 亿美元以上,而由于台风、寒潮或强风暴引起的风暴潮不仅将对海港吞吐产生严重影响,而且还对海港建设起一定破坏作用。我国是多台风、多寒潮的国家,经常在沿海引起风暴潮,如 1994 年 8 月 21 日 17 号台风在浙江省瑞安登陆,由于台风带来了强风暴潮给浙江沿海海港造成重大损失。

据统计,我国 1966~1990 年发生浪高 6m 以上的狂浪有 700 次,平均每年 28 次;出现 8 m 以上的狂涛有 146 次,平均每年 5.8 次。一般海上浪高大于 4 m 的巨浪极易造成恶性海难,由此可见,狂涛对海上轮船航行、海上生产作业肯定会造成重大生命和经济损失。由此可见,准确的天气预报对于避免恶性海难事故和保证海上生产作业、生命和财产的安全是极其重要的。

此外,海冰对于航海和海上作业也有很大影响,造成上千人死亡的著名的“泰坦尼克号”海难事故就是由于海冰所造成。在我国北方海域(渤海和黄海北部)冬季经常受寒潮影响,因而经常有结冰现象,例如 1964 年冬季华北、东北和渤海海域遭遇一次强寒潮的袭击,整个渤海海面被海冰封锁,不仅许多航行的船舶、正在作业的渔船都被冻结在海上,而且有两个在海上作业的石油平台也被海冰推倒,造成了严重经济损失。因此,由于寒潮造成的海冰对于海上航行的

轮船、作业的渔船、石油平台会造成严重损失,正确预报寒潮与海冰对于海上航行与作业也很重要。

3. 对于铁路和高速公路交通的影响

由于汽车迅速发展,地面上一般车道满足不了迅速发展汽车的需要,造成汽车拥堵,因此,高速公路急剧发展。由于在高速公路行驶的汽车速度很快,因此,能见度或暴雨雪对于高速公路行驶汽车的安全有十分重要的影响。由于浓雾和暴雨而关闭高速公路在沿海冬、春、夏季时有发生,而由于浓雾和暴雪关闭高速公路在北方冬、春季也不是偶见。因此,浓雾、暴雨雪的准确预报对于保证高速公路的安全行驶十分重要。

铁路是当代陆路上最主要的客、货运交通工具,气象条件对于铁路运输也有重要的影响。由于暴雨造成的洪涝经常冲垮铁路,如1963年8月由于华北连降暴雨而引起严重洪涝,津浦铁路许多路段被冲垮,济南到天津段的客、货运中断了1个多月,给这地区的经济造成严重损失。由寒潮引起的暴风雪也会造成铁路运输的中断。1999年4月23日兰新铁路西端的哈密地区由于受从西伯利亚来的强寒潮引起的暴风雪袭击,几十列客、货车都无法运行,停滞在十三间房车站附近。因此,准确的灾害性天气预报对于铁路运输也是很重要的。

从上可见,大气科学所研究的一些问题已成为各国政府在社会发展和经济建设规划时必须考虑的科学问题。

第二节 大气科学的研究对象与研究内容

一、大气科学的研究内容与对象

大气科学要研究空气是如何流动的,空气成分是如何变化的,阳光如何从太阳经过大气到达地面又如何被反射回大气,天空为何会降水等等现象的机理。因此,大气科学是研究地球大气状态的演变和发生在大气的动力、物理、化学的各种现象的形成原因及其随时间和空间的演变规律,以及研究如何采用这些规律为人类服务和人类活动对大气影响等方面的一门科学。大气科学研究对象是覆盖整个地球的大气圈以及大气圈与地球的水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈之间的相互作用。近年来,随着宇宙飞船的发展,大气科学的研究范围已延伸到发生在某些行星的大气现象。

大气科学是一门古老的学科。有关天气、气候的知识起源于人类长久的生产劳动和社会生活经验中。近代的气压、温度、湿度和风等测量仪器的发明使大气科学逐步发展成为能够用物理量定量来描述的学科。最近几十年来,随着气象卫星和高速电子计算机的发展以及气象卫星的红外和微波等遥感新技术的应用,使大气科学得到迅速发展。目前,大气观测网已遍布全球,其观测数据通过现代通讯系统使各种大气信息迅速传递到全球每一地区,特别是近几年发展起来的“信息高速公路”为大气信息的快速传递提供方便的手段,这也为大气科学的发展提供一个良好的条件。

大气中各种现象,大到全球气候和大气环流的演变,小到冰晶和雨滴的形成,从全球污染物的输送到某一烟囱的排放都可应用近代物理、化学和流体力学的数学形式来表示,并借助于高速电子计算机可以把这种现象和演变模拟出来,从而来预测这些现象的演变。经过几十年的努力,人类已经能够运用高速电子计算机把1~10 d的天气以及月—季度气候异常的趋势在

不同程度上把它预报或预测出来,使之为国家经济建设、社会发展、人类生活和防灾减灾服务。

二、大气科学研究内容的综合性

大气科学之所以能够成为今天这样一门综合性学科,首先是由于人类社会和经济的高速发展对大气科学发展的需求。工业生产的污染物的大量排放,带来了诸如温室气体 CO_2 和 CH_4 等浓度的增加,改变了大气成分的分布,造成了全球增温;由于人类生活使用大量冰箱,而冰箱中氟里昂泄漏招致平流层臭氧的耗损;硫、氮氧化物排放造成严重的酸雨,这些污染问题使得大气化学有了很大发展。其次是由于人们认识到大气环流和气候变化不仅仅是大气内部动力、热力过程所决定,而且也是由于大气、海洋、陆地、冰雪和生物圈相互作用的结果。因此,把地球大气、海洋、陆面、冰雪和生物圈看成是一个完整的相互作用的体系,这就必然要拓宽大气科学的研究内容。这种内容的拓宽使得大气科学与地质学、地理学、海洋学、冰川学、生态学等相关学科相互交叉和相互渗透,从而使得大气科学成为地学中一门综合学科。

大气科学的综合性还表现在它对新的其他相关学科学术思想的敏锐。最近 20 多年来大气科学发展的事实说明了许多数学、物理学新成就很快就在大气科学中得到应用,如摄动论、奇异摄动理论、耗散结构理论、分数维理论都在大气科学中得到广泛应用。由于大气科学一个重要研究内容是大气与地球其他各圈层的相互作用,因此,非线性动力理论最早来源于大气科学,目前在自然科学理论界、工程技术界掀起研究热潮的灾变理论、混沌理论和分岔理论最早都是气象学家提出的。

三、大气科学的分支学科及研究内容

大气科学是一门分支学科众多的综合性学科,它包括了气象学、大气物理学和大气化学与大气环境学,其主要分支学科有大气探测学、天气学、动力气象学、气候学、大气物理学、大气环境学、大气化学和应用气象学等。近年来“全球变化”已逐渐成为大气科学的一个分支学科。

(1)大气探测学:它主要研究各种大气要素观测仪器、方法和大气常规观测仪器原理、构造与观测方法、地基遥感与空基遥感仪器原理、构造和观测方法等。

(2)天气学和大气环流:它主要研究大气中如暴雨、龙卷风、飑线、台风、气旋、反气旋等天气系统特征、变化规律以及大气环流系统,如季风、副热带高压、阻塞高压和西风带槽脊等的特征、演变规律和成因以及天气预报原理和方法。

(3)动力气象学:有的国家也称大气动力学,它主要研究控制大气运动的基本动力、热力方程组,大气中动力、热力过程的基本问题,大气中各种空间尺度运动的物理机制等。

(4)气候学:它主要研究全球和区域气候季节内、季节、年际以及年代际和更长的时间变化规律和成因、全球气候系统各圈层相互作用过程和机理以及人类活动对气候的影响。

(5)大气物理学:它主要研究大气各层(对流层、平流层、中间层、电离层等)结构与成分,大气中所发生的声、光、电和雾、霜、雪、雨等物理现象及机理,大气热力学原理以及人工局部影响大气中发生的物理现象的原理。

(6)大气环境学:它主要研究大气边界层的物理过程、大气污染及其污染物在大气的扩散过程、酸雨、环境保护与治理等。

(7)大气化学:它主要研究大气温室气体和痕量气体、气溶胶的化学过程及其气候效应,在大气、海洋中化学物质的循环过程以及它们对全球气候的影响。

(8)应用气象学:它主要研究天气学和气候学在工农业、交通运输、水文、医疗等领域的应用以及天气、气候灾害对工农业、交通运输和国民经济的影响。

第三节 大气科学的研究方法

大气科学是一门最重视理论与实际相结合的学科,是建立在大量观测事实基础上的学科,也是地学中一门与数学、物理和化学联系最广泛、最密切的边缘学科。

一、观测是大气科学的基础

大气科学的研究对象是地球大气,故不同于力学、物理、化学等一些可以在实验室作实验的学科。大气科学的一切知识均来源于对大气中发生的物理的、动力的和化学的现象进行实地观测,然后根据观测事实分析出这些现象变化的规律和成因。因此,大气科学中每一推论和原理均来源于实际观测,或用实际观测事实来证实过的。

(一)观测手段的发展在大气科学发展中的作用

由于大气科学的主要研究内容是研究大气状态以及发生在大气中各种物理、动力和化学现象及其它们的变化规律,这就要求必须在全球各个地方对大气状态以及发生在大气中各种现象进行长时段的观测,然后从这些观测资料中来分析大气状态以及所发生的动力、物理和化学现象的变化规律。

大气科学的发展历程说明了大气科学每一重要发展都与观测手段、方法和观测资料的收集、整理分不开。大约在16世纪末到17世纪中,气象观测仪器,如温度表、气压计、雨量器,相继发明,使天气变化能够得到定量的记录,而且使得天气变化可以用气压、温度和湿度等物理量来表示和描述;从17世纪中期以后,由于航海事业发展,导致了气象观测仪器大量应用,这使得气象学诞生;并且,在1860年前后,由于无线电报的发展,使得世界各地观测的地面气压、温度、降水的资料信息可以迅速通过电报集中和传递,从而形成了有一定密度的地面观测网,并随之产生了天气图;由于地面天气图的出现,这才促使挪威著名气象学家皮叶克尼斯(J. Bjerknes)创立了锋面学说,从而奠定了近代天气学基础;并且,在1928年无线电探空仪的发明,以及由于第二次世界大战对气象预报的需求,使得高空观测网迅速建立,从而出现了高空环流图。这为以罗斯贝(C. G. Rossby)为首的芝加哥学派提出的控制天气变化的罗斯贝波和准地转理论提供了观测事实,从而奠定了近代大气环流理论和大尺度动力学的基础;从20世纪60年代以后,气象卫星的发射成功以及气象卫星的更新换代,这不仅使得广大海洋、高原无法建立气象观测站的地方可以通过气象卫星来获得气象观测资料,从而大大提高了天气预报的准确率,而且由于气象卫星学的需求,大大促进了大气遥感、卫星气象学、大气辐射和大气光学的发展。因此,到了20世纪70年代后,大气科学已发展成为分支学科众多的综合性学科。

从20世纪90年代开始由于空间和地面遥感以及气象信息系统的高度发展,已经形成了多种观测手段的三维空间连续监测全球大气变化的全球大气探测系统。

(二)全球观测系统对当代大气科学发展的作用

由于大气科学发展必须对全球各个地方的气象要素进行观测,这就依赖于全球大气观测系统的完善。但是,直到20世纪70年代到80年代,全球地面、高空、飞机和气象卫星的观测精度还远不能满足实际天气和气候预测的要求。