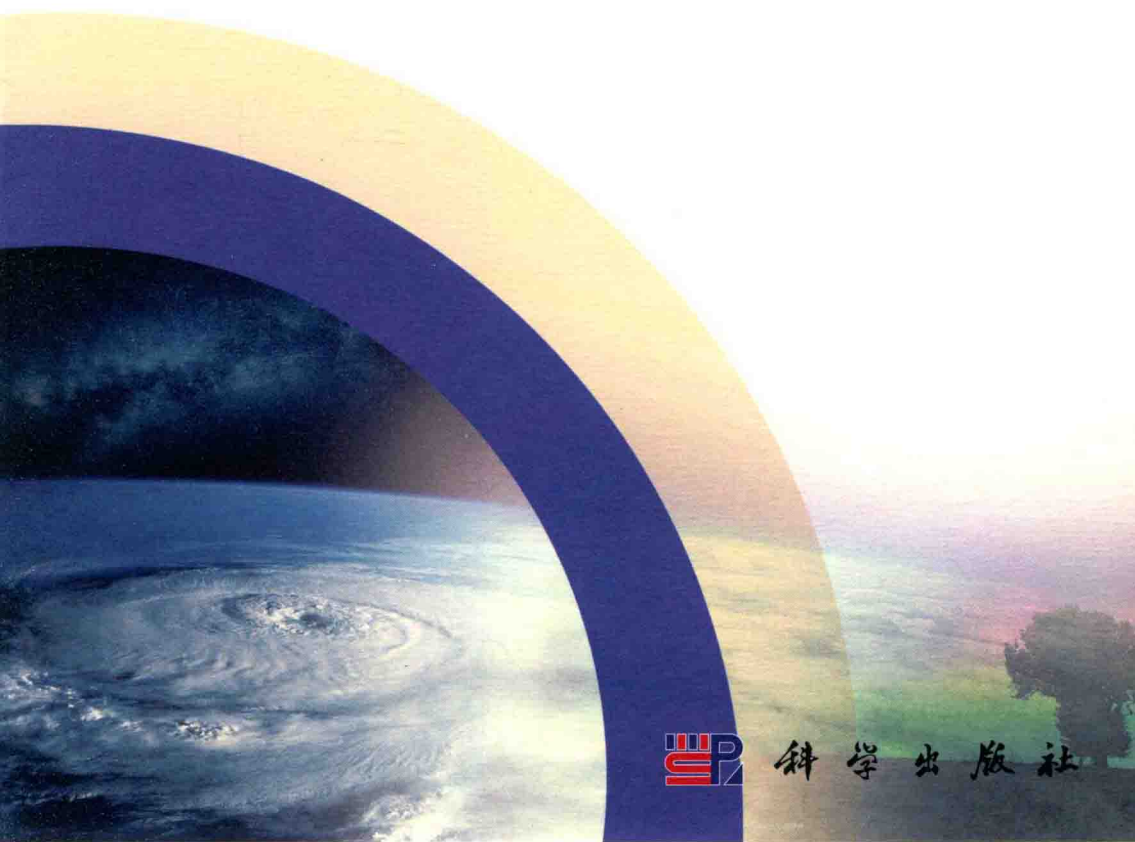


 科学方法大系

大气科学研究方法

浦一芬 戴新刚 张人禾 陈文 王绍武 纪立人 等 编著



科学出版社



科学方法大系

大气科学研究方法

浦一芬 戴新刚 张人禾 陈文 王绍武 纪立人 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书收集了大气科学发展过程中一些导致重大科技创新或转折性突破的经典案例,系统总结了这些案例中科学思维的突破、技术或工具的创新,归纳成可供借鉴和运用的大气科学研究方法。特别着重剖析了在大气科学发展史上具有里程碑意义的典型案例,如 Rossby 波(罗斯贝波)的发现、Lorenz(洛伦茨)混沌理论的提出等。其内容涉及大气探测技术方法、天气预报发展过程、数值天气预报及其理论基础、气候系统概念、海气相互作用、短期气候预测、全球变暖、非线性及可预报性研究等。

本书主要供大气科学的研究人员和业务工作者,高等院校相关专业的大学本科生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气科学研究方法 / 浦一芬等编著. —北京: 科学出版社, 2015. 5
(科学方法大系)

ISBN 978-7-03-044472-1

I. 大… II. 浦… III. 大气科学—研究方法 IV. P4-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 114938 号

责任编辑: 李 敏 刘 超 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 21 1/2 插页: 2

字数: 500 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序 一

“创新方法”工作非常重要，对促进中国的科学发展具有非常重大而深远的意义。“创新方法”工作的开展有助于突破传统思想对科学思维的束缚，促进中西科学思维和科学方法的相互渗透与交融。中国在“创新方法”领域的研究是不足的，因此，“创新方法”工作应抓紧开展，尽快弥补不足，以促进科学思维的创新，推动科学的发展。

回顾历史，大气科学的每一次重要进展几乎都离不开研究方法的创新和探测技术的进步。研究大气科学方法首先应该看看所有科学有没有共同点，如化学、物理学、生物学等。如果有，对大气科学方法的研究可能有好处，可以相互借鉴。其次要注意大气科学与其他科学相比，有没有特殊之处，如果有，特殊在什么地方，为什么特殊？众所周知，气象学或大气科学是一门古老而崭新的学科，与人类生产、生活的关系非常密切。这就是它的特殊之处。例如，我们天天做天气预报，如果报错了，听众就会批评。要经常听听人们的批评，对于改进预报有好处。另外，一般用户，如水库、农业、工厂等，都知道天气预报或气候预测可能不会百分之百准确，因此，他们在听了预报后会采取各自的应对措施，以减少万一报错可能带来的损失。知道这些信息对研究人员或预报业务人员都有好处，能让我们更好地为人们服务。因此，在为用户或公众提供预报信息时需要同时提供预报的不确定性信息。这些信息与用户经验的结合可以产生最优决策。这是未来天气气候预测体系的发展方向。

现在，由于经济的快速发展，人们的活动越来越多，对天气预报的要求越来越高，预报的对象也越来越广，预报的种类也越来越多。比如奥运会期间奥运村会不会下雨、国庆60周年阅兵天安门会不会下雨等。我们以后碰到的特殊的要求将会更多。我们要有思想准备，未来大气科学碰到的问题也会越来越多，涉及的学科也越来越宽，与人类的关系也越来越密切。目前大气科学面临着前所未有的挑战。我们这些从事大气科学的人要经常思考这些问题，不但我们这些老同志要发挥作用，年轻人也要发挥更大的作用。

大气科学的进一步发展有赖于科技创新，需要提出新的研究方法或技术手段，在研究中要注意区分方法的层次性和方法的交叉融合问题。这不仅要过去大气科学的发展历程中提炼大气科学特有的方法，弄清这些方法是如何产生的，

对解决当时的问题起到什么重要作用，还要在此基础上提出未来可能的发展方向并估计研究方法的特点。《大气科学研究方法》一书就是在这一方面的尝试。它主要围绕天气、气候预测、大气探测技术发展等几个方面，比较系统地梳理和总结了其发展历史和研究方法，重点分析了在一些里程碑式的事件中科学方法的作用，对于年轻人是很有启发和教育意义的。我相信该书的出版必将有助于大气科学的创新研究。大气科学大有可为、大有发展。

叶笃正

2013年3月于北京

序 二

人类的生产与生活的需要导致了气象学的诞生。在漫长的历史中气象学的学科维度和方法维度都在不断扩展，目前已发展成一个综合性很强的学科——大气科学。大气科学经历了从定性描述到定量观测，再到理论分析和数值模拟的综合性研究方法，从经验的天气预报发展成为一个先进的学科体系。其中，大气探测技术的进步，大气动力热力学理论的发展，计算机的出现和计算技术的发展是其主要驱动因子。在大气科学的每一次重大进展中，科学思维、科学方法或技术手段的创新都起着至关重要的作用。大气科学有很多具体的研究方法，概括为观测、理论与实验。大气科学研究的前提是获取观测数据，这是现代大气科学发展的一个重要支撑。过去单靠气象站的局地观测获取气象资料，现在已拓展为地面台站结合卫星遥感等的综合立体的全球观测系统，以及面向特定科学问题的大型场地实验等。观测的时空分辨率、精度及变量都在不断增加，观测数据已成海量，大气中越来越多的现象和规律被发现。实验是科学研究中不可或缺的方法。大气运动的特殊性决定了其不可能在实验室中完全被复制，必须以整个地球系统作为实验室。为此，科学家发展了数学模型方法，即根据大气运动满足的物理原理或定律写出大气运动控制方程组，通过数学方法建立起离散数学模型或模式，在设定的初始条件和边界条件下在计算机上进行积分。这种模式即可用于模拟大气环流，也可以用于预报未来的天气，或探索气候变化的规律和原因等。这种方法称之为数值试验方法或数值模拟（numerical simulation）方法。

大气科学及其研究方法经历了从物理学到多学科交叉融合的发展过程，其中最重要的是在科学思想层面的交叉融合，这属于哲学范畴。过去地球科学各个分支都是分开研究的，这样一种长期的思维方式，形成了各个学科各自不同的研究方法。但是随着科学的发展，人们越来越认识到地球系统的各组成部分之间是互相联系的，不能彼此分割。过去只见树木、不见森林的做法，是不可能了解整个地球系统的演变规律的。现代大气科学的研究方法就是与其他学科的交叉融合过程中形成的。例如，传统的单一大气环流模式正在发展成包含地球五大圈层即大气圈-水圈-岩石圈-生物圈-冰雪圈的地球系统模式，模拟整个地球系统的演变。此外，人类活动对全球气候的影响越来越重要。人类圈和人类纪概念的提出，使气候变化及其适应研究中社会科学的研究方法逐渐受到重视，正在发展成

自然科学与人文科学方法结合的多学科交叉融合的研究局面。

古人云：“工欲善其事，必先利其器”。方法是实现创新的手段。先进的科学方法、科学手段可以大大推动科技创新。这些先进思想和方法都是科学家们在从事科研活动中不断产生和形成的。《大气科学研究方法》一书回顾了大气科学的发展历程，梳理了围绕天气和气候的主要脉络，深入剖析了一些典型案例，如 Rossby 波的发现、Lorenz 的混沌案例、数值天气预报的艰难发展历程等，努力挖掘其中先进科学思想的产生过程，以及科学方法、技术手段等在其中的关键作用。我认为该书对于启迪后辈学人的创新研究，弘扬科学精神是很有裨益的，尤其会有助于大气科学领域的青年学生的学习。

舒济斌

2014 年 7 月

前 言

2007 年,王大珩、刘东生、叶笃正三位著名科学家提出开展科学方法研究的建议。温家宝总理高度重视并作出批示:“自主创新,方法先行”,从此揭开了我国创新方法研究新的一幕。创新方法是科学研究中的思维、工具和手段创新的总称,是自主创新的根本之源。据统计,从 1901 年诺贝尔奖设立以来,其中 60%~70% 的科研成果是由于科学思维、工具和手段上的创新而取得的。因此,创新方法的能力建设也是国家核心竞争力的重要保障。

大气科学作为地球科学领域的分支学科之一,是一门古老而崭新的学科,与人类生产、生活的关系非常密切。中国是气象灾害最频繁的国家之一,平均每年受台风、暴雨、干旱、洪涝、高温热浪、沙尘暴等重大气象灾害影响的人口达 4 亿人次,气象灾害造成的经济损失约占中国自然灾害总损失的 71%,并占到国内生产总值(GDP)的 1%~3%。这些给中国经济社会的快速发展、生态环境的建设以及人民生命财产安全构成了严重的威胁。大气科学方法的研究和突破承载了科学和社会发展的需求。

大气科学的发展与生态学、地理学、海洋学、水文学、环境科学、地质学乃至社会和经济等学科的发展密不可分。现代大气科学发展的重要特征之一就是与相关学科的交叉与融合,并同经济、社会等各方面的可持续发展紧密相关,大气科学已经成为地球系统科学和可持续发展科学的重要组成部分。经过最近 30 多年的发展,中国气象科技日新月异,建立了卫星、飞机、雷达等高科技手段的大气探测体系,更加全面地获取天气和气候系统的各类信息,中国大气科学研究的发展往往与大气探测技术的不断进步和创新有关,可以说每一次大气科学观测技术或方法的创新,都必然会导致理论上的创新或突破。中国在东亚季风、青藏高原气象学、大气环流理论、数值预报的理论基础、全球变化与人类有序适应等方面取得了一批有代表性、具有国际先进水平的成果。虽然取得了这些成绩,但总体而言,中国大气科学的研究水平与国际先进水平还有一定差距。大气科学方法的创新是中国全面赶超国际大气科学研究先进水平的一个重要保证。

本书系统收集、归纳、总结了已有的常用大气科学研究方法,并给出了相应的案例分析和总结评述。从满足国家社会经济发展需求以及科学本身发展需求两个着力点出发,本书重点突出天气预报和气候预测研究发展的主线,并注重那些在大气

科学发展史上具有里程碑意义事件的挖掘与总结,本书共分14章。第1章是总论(浦一芬、周晓平编写),第2章是大气探测技术方法(王普才、王庚辰编写),第3章是天气预报发展历程(钱维宏编写),第4章是数值天气预报(纪立人编写),第5章是天气预报的理论基础——大气 Rossby 波的发现和大气长波理论(陈文编写),第6章是对流天气及其预报方法(高守亭编写),第7章是气候与气候系统(王绍武编写),第8章是海气相互作用(张人禾、容新尧编写),第9章是短期气候预测(林朝晖、孙建奇、詹艳玲编写),第10章是全球变暖(石广玉、王标编写),第11章是轨道时间尺度上过去气候变化与模拟(姜大膀、张冉编写),第12章是洛伦茨的混沌理论与天气预报(戴新刚、浦一芬编写),第13章是天气、气候可预报性研究的若干动力学方法(段晚锁、丁瑞强、周非凡编写)。此外,在本书即将定稿之时,叶笃正先生不幸辞世,他不仅是创新方法研究的发起人之一,也是大气科学诸多领域的开拓者和引路人。为了纪念叶笃正先生,我们增写了第14章“叶笃正的科学贡献及研究方法”(黄刚,戴新刚,董丹宏,吕建华,严中伟编写)。全书统稿工作由张木兰及各章编写人完成。

本书得到科学技术部创新方法工作专项项目(2008IM020500)的资助;同时感谢科学技术部21世纪议程管理中心副主任周元教授在本书出版过程中给予的大力支持;我们邀请了同行权威专家对全书及每一章节进行评审,提出修改意见,在此对符淙斌院士、黄荣辉院士、吴国雄院士、丁一汇院士、李崇银院士、丑纪范院士、穆穆院士、毛节泰教授、孙淑清研究员、薛纪善研究员、罗德海研究员、胡永云教授、王元教授、周天军研究员、刘式达教授、李建平研究员、杜钧博士的宝贵意见,致以衷心的感谢。在第14章“叶笃正的科学贡献及研究方法”编写过程中,感谢冯士德为本文提供的转盘实验的图片,感谢吴津生对叶先生多年材料的整理,感谢陈国森对本文的校正,感谢姚帅磊、丁兆敏、张珊等对材料的收集。在本书即将付梓之时,王绍武教授和周晓平研究员不幸离世,二位先生曾对本书材料的组织及写作做出了重要贡献,本书的出版也作为对他们的纪念,希望本书能将他们的研究成果、学术思想传承下去。本书涵盖了大气科学、尤其是气象学方面的创新方法及其发展历程,既可作为一本工具书,也可作为学科发展的概述,谨供从事大气科学的研究者以及教师和学生参考。希望这本关于大气科学研究方法的书,能够推动加入中国气象事业的大批青年科技人才加速成长,促进中国大气科学事业的快速发展。由于编者学识水平的限制,对大气科学方法认识的深度和广度会存在一些不足,希望得到广大读者的批评指正!

编者

2013年12月29日

目 录

序一

序二

前言

第1章 总论	1
1.1 引言	1
1.2 大气科学研究对象和学科组成	2
1.3 大气科学研究方法的特点和地位	3
1.4 大气科学发展历程中的典型案例分析	8
1.5 大气科学研究方法重点	16
1.6 大气科学研究方法的前沿与发展趋势	19
第2章 大气探测技术方法	22
2.1 引言	22
2.2 百叶箱仪器与无线电气球探空仪	23
2.3 雷达大气探测	27
2.4 飞机大气探测	30
2.5 卫星全球大气遥感	33
2.6 全球大气监测网络	38
2.7 全球气象信息的快速传递与电子计算机	41
2.8 结语	43
第3章 天气预报发展历程	45
3.1 引言	45
3.2 天气预报	45
3.3 古代天气预报	47
3.4 早期天气预报	49
3.5 近代天气预报	51
3.6 现代天气预报	56
3.7 未来天气预报	60
3.8 结语	66

第 4 章	数值天气预报	68
4.1	引言	68
4.2	数值模式 (一) ——动力框架	69
4.3	数值模式 (二) ——次网格物理过程参数化	81
4.4	观测资料的分析和同化	91
4.5	集合预报系统	97
4.6	若干里程碑事件的回顾	102
4.7	结语	107
第 5 章	天气预报的理论基础——大气 Rossby 波的发现和大气长波理论 ...	109
5.1	引言	109
5.2	罗斯贝、Rossby 波及长波理论建立的背景	110
5.3	大气长波理论的建立	114
5.4	大气长波理论的应用和发展	119
5.5	结语	122
第 6 章	对流天气及其预报方法	124
6.1	引言	124
6.2	对流天气基本概况	124
6.3	对流天气系统形成的物理条件	126
6.4	强烈中尺度对流系统	130
6.5	对流天气的预报方法	139
6.6	结语	148
第 7 章	气候与气候系统	149
7.1	引言	149
7.2	经典的气候概念	149
7.3	全球气候系统概念的建立	152
7.4	建立全球气候系统概念的科学基础	153
7.5	气候变化的事实	155
7.6	气候变化的预测和预估	166
7.7	结语	173
第 8 章	海气相互作用	174
8.1	引言	174
8.2	热带海气相互作用与 ENSO	174
8.3	年代际海气相互作用	190
8.4	热带外与 ENSO 的相互作用	197

8.5	现在的研究发展阶段和未来的方向	200
8.6	结语	207
第9章	短期气候预测	209
9.1	引言	209
9.2	短期气候预测概念及方法	209
9.3	季度-年际气候预测理论及实时预测	213
9.4	短期气候预测新挑战	220
9.5	结语	223
第10章	全球变暖	224
10.1	引言	224
10.2	辐射强迫	225
10.3	全球变暖的可能原因	231
10.4	未来气候变化的预估	250
10.5	结语	251
第11章	轨道时间尺度上过去气候变化与模拟	252
11.1	引言	252
11.2	新生代气候变化简史	255
11.3	末次冰期冰盛期	260
11.4	全新世中期	263
11.5	结语	266
第12章	洛伦茨的混沌理论与天气预报	268
12.1	引言	268
12.2	天气预报困境——非周期	269
12.3	意外	272
12.4	机遇与奇怪吸引子	273
12.5	简化与抽象	274
12.6	确定性与随机性	275
12.7	偶然性与必然性	277
12.8	技术路线图	278
12.9	结语	279
第13章	天气、气候可预报性研究的若干动力学方法	281
13.1	引言	281
13.2	可预报性问题	281
13.3	预报误差增长动力学的研究方法	283

13.4	预报时限的研究方法	291
13.5	结语	294
第14章	叶笃正的科学贡献及研究方法	296
14.1	引言	296
14.2	大气能量频散	297
14.3	东亚大气环流季节突变	298
14.4	转盘实验	300
14.5	大气运动的演变与适应	301
14.6	青藏高原气象学的创立	302
14.7	全球变化与有序人类适应	304
14.8	与用户结合：未来的天气气候预测体系	306
14.9	结语	307
	参考文献	308

第 1 章 总 论

1.1 引 言

大气圈是人类赖以生存的特殊自然环境,因此大气中发生的各种现象广受关注,人们很早就对这些现象开展观测与分析研究,探究机理,发现规律,逐渐建立了一门科学——气象学。20 世纪中叶以后,随着对大气中各种现象研究的深入以及新的观测技术、手段与方法的逐步形成,气象学的研究领域不断拓展,包括了更多的大气物理、大气化学、大气动力学、气候变化等研究内容,发展成为一门系统完整的大气科学。

大气科学是一门多学科交叉的综合性、基础性、应用性学科,既涉及数学、物理和化学等基础学科,又与海洋科学、资源与环境科学、空间科学、生态科学、农业科学、军事科学和社会科学等密切联系。一方面,大气科学为这些学科的发展提出新的研究领域或方向;另一方面,也为在这些学科的应用提供出口。此外,人类活动和经济发展均与天气气候和大气环境密切相关。由于大气科学的这些特点及其与社会经济的紧密关系,它的重要地位不言而喻。

中国是暴雨、台风、雷电、酷暑等灾害性天气频发的国家,每年都要遭受巨大的生命和财产损失。沙尘暴、酸雨、雾霾等大气污染现象已经严重地危害着人体健康,威胁粮食安全。随着经济社会的发展和人民生活水平的提高,中国对于极端天气气候和大气环境的预测需求日益增强,传统的几天尺度的短期天气预报即将发展为从几个小时到两个星期左右的“无缝隙”天气预报。而短期气候预测也将要从预测季节平均发展到将要针对极端气候事件开展预测技术的研发,大气环境预报也将发展到包含单个城市和城市群的精细大气环境预报。所有这些都对大气科学的研究方法提出了更高的要求 and 新的挑战。

鉴于现代大气科学的发展对自身基本研究方法的迫切需求,我们编著了本书,旨在结合一些大气科学研究中革命性案例的剖析,对其中的关键性研究方法及其演变过程做进一步梳理与挖掘,并以天气预报、气候预测为主线,阐述“研究方法和手段”在学科发展历史中起到的重大推动作用。同时,通过案例分析,侧重于对若干重大里程碑事件的分析,获得对大气科学研究方法的启迪,提出现代大气科学未来发展趋势,以促进中国大气科学的进步,服务于学科的发展及国

家经济社会发展对大气科学日益增长的需求。

1.2 大气科学研究对象和学科组成

大气科学研究大气圈内的一切物理、生物和化学过程，并研究大气圈与水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈的相互作用，以及人类活动与天气气候及大气环境的相互影响。人类生活在地球表面的大气圈中，其社会活动，生产活动，以及生命、财产和经济发展都受到发生在大气中的风雨雷电、冷暖阴晴、空气污染等大气现象的制约或影响。大气科学的研究对象就是发生在地球大气层中的各种天气和气候现象。准确的天气和气候预报不仅对减少自然灾害造成的生命财产损失有重要作用，而且对合理有效开发和利用自然资源具有重要的应用价值。

传统的大气科学研究对象是自然发生的大气过程，其首要的任务是摸清大气现象的基本规律及其内在机理，理解并预测未来的现象与过程。但随着大气科学研究对象的日益复杂和研究领域的不断扩展，现代大气科学的定义是系统地研究地球大气的结构、组成、物理和化学过程、演变规律和机制、大气圈与其他地球系统圈层相互作用及其建模预测的一门科学。现代大气科学研究领域不仅仅局限于地球大气，甚至也拓展到对其他行星大气如火星大气的研究。

大气科学是地球科学的一个重要分支，它研究的时空范围很广，空间尺度从微米到全球，时间尺度从数秒到上千年；研究的主要方法包括观测、理论分析、资料诊断、实验和数值模拟等。大气科学作为一个一级学科，其二级学科有气候（系统动力）学、天气学（和大气动力学）、大气物理学、大气化学和全球变化等。大气科学中还包括应用气象学，涉及诸多学科领域，如海洋、生态、环境、水文、军事、农业、航空、医学健康等，也与社会和人文科学紧密结合。

天气学研究的主要方法是根据实际观测资料，通过统计、诊断以及热力学和动力学分析，概括出天气系统或重要天气现象在天气时间尺度上的演变规律和物理过程，以动力气象学为理论基础，运用天气图表及数值模式等手段来制作天气预报。天气学主要研究瞬变的大气现象及其短期天气变化过程。

大气动力学研究特点是应用物理学原理和数学方法来研究大气运动的动力学和热力学过程及其与大气运动的关系，从理论上探索大气运动的基本成因，探讨大气环流、天气系统和其他大气运动演变规律的 dynamics 过程及其形成机制，为数值天气预报奠定理论基础。

大气物理学研究特点是应用基本物理定律，对大气中观测到的物理现象和过程（云和降水、声、光、电、大气湍流和能量转化等）进行理论解释和定量描述，并为数值天气预报和空气质量预报模式、气候系统模式的设计及其物理过

程参数化提供理论基础。

大气化学的研究方法特点是实验室实验、大气化学过程的理论分析、外场观测和数值模拟的结合，早期的大气化学研究较多地关注大气环境，近年来，大气化学与天气、气候研究交叉，这不仅有助于天气、气候研究的深入，也有助于更准确地描述与气象参数密切相关的化学物质的化学反应、排放、传输和沉降过程，并已成为当前国际上研究的热点与前沿。

与天气学不同，气候学主要研究特征时间尺度较长的气候现象及其变化规律。它的研究方法特点是通过长期观测的气候资料进行诊断分析和动力理论研究，特别是运用超级计算机和研发的气候系统模式进行气候模拟，揭示气候系统的演变规律和成因，并预测或预估未来气候变化。气候学的研究范围涉及气候系统五大圈层（大气圈、水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈）的相互作用以及外强迫对气候系统的影响。

全球变化是20世纪80年代出现的一个新兴学科领域，是研究全球增暖背景下地球环境变化及机理的一门分支学科。它主要是应用多学科交叉方法来描述和理解人类赖以生存的地球环境系统的运转机制、变化规律以及人类活动的影响，从而提高人们对未来几十年至百年尺度地球环境变化的认识及其预估能力。现阶段，它已经从认识地球系统基本规律的基础研究为主，扩展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境的实际问题研究；从研究人类活动对环境变化的影响，扩展到研究人类如何适应全球环境的变化，并在更高层次上进行地球系统的综合集成研究。

1.3 大气科学研究方法的特点和地位

科学方法论概括了主要的科学研究方法，包括了观测、实验、类比、抽象、归纳、演绎、分析、综合等。这些方法应用到各门科学中要用到不同的具体的方法和手段，例如，在观测工具上有的用显微镜，有的用放大镜或望远镜；在实验方法上有的用室内实验法，有的用室外实验法。科学方法论的普遍原理和大气科学发展的紧密结合，既可以增加成果的产出率又可以借鉴他山之石拓展视野，增强对大气学科发展前景的观察和判断能力。

由于大气运动中存在多时空尺度、复杂非线性相互作用，注定了大气科学研究方法的特点为确定性与随机性的统一，这也决定了它的研究方法既有决定论方法也有概率统计方法。大气科学是一门与物理、化学、数学、生态、海洋、信息学科等交叉性很强的学科，对观测技术高度依赖，与人类生活、生产活动关系密切。大气科学作为一门以数学物理方法作为主要研究手段的学科，具有许多值得

分析、挖掘和总结的科学问题，这对于指导当前和未来的大气科学研究工作肯定有重要帮助。

始于 17 世纪的现代大气科学发展的标志是人们发明了重要的气象观测仪器，建立了观测站；18 世纪初步创立信风和大气环流理论；20 世纪大气动力学得以形成；20 世纪上半叶成功实现数值天气预报，20 世纪 60 年代以来当代大气科学蓬勃发展，分支学科发展迅速。可以说，近代大气科学研究更加重视大气圈与水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈之间的相互作用、数值模式的应用、气候变化的全球特征与区域差异、分支学科之间的交叉等。总体来说，大气科学的基本研究方法是观测、分析、理论、模拟、验证和应用相结合。

1.3.1 大气科学研究的探测方法

确立观测要素和把要素定量化是所有科学研究两个前提。百叶箱和无线电探空仪的普遍推广使得气象学的四大要素（温度、湿度、气压、风）实现了定量化观测，并在 20 世纪上半叶逐渐标准化和全球化，使得气象学研究拓展到了三维空间。百叶箱是仪器与大气接触式测量，探空仪也是直接测量后经过无线电传到人们手中，这两种观测方法在大气科学发展上具有里程碑的意义。后来发明的雷达气象观测是接收雷达本身发射电磁波的回波，它不直接接触观测对象，人们称为遥感。这种观测在时间和空间方面有较好的连续性，不再像百叶箱和探空仪那样，只能在时间和空间上观测几个有限点的数值。雷达观测方法是研究暴雨、冰雹和大风等强对流天气最重要的方法，它的出现对这类灾害天气的研究和预报有了飞跃式的发展。20 世纪后期人类开始跳出大气层，从宇宙空间来观察地球和大气，这就是人们熟知的气象卫星观测。它为大气探测领域开辟了一个新时代，能较全面地了解全球大气状况，观测更多的要素。卫星观测是近代大气科学研究中不可缺少的工具和方法。卫星观测方法将来一定还会有难以估量的发展。

从地面直接观测到遥感观测反映了大气观测方法的进步。但是这并不是终结，随着科学和技术的进步，新的观测方法还可以被大量发明。此外，新型观测手段不但推动了新的气象资料分析方法的发展，如直接使用卫星辐射观测资料的变分同化方法产生；也促成了一些新学科的产生，如卫星气象学、雷达气象学等。