

# 中期—延伸期天气预报原理

Principles of Medium to Extended Range Weather Forecasts

钱维宏 著



科学出版社

# 中期-延伸期天气预报原理

**Principles of Medium to Extended Range  
Weather Forecasts**

钱维宏 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书涵盖短期、中期、延伸期天气预报和短期气候预测中大气变量物理分解的基本原理和方法。大气变量物理分解完善和扩展了先前人们对大气定常波,如大气活动中心、季风气候槽、大气涛动的认识;揭示了用大气传播型低频振荡信号预测极端气候事件的思路;提出了中期-延伸期极端气象事件预报的扰动天气图方法。本书中有一个新突破,即五天至月的极端天气和异常气候是可以试验性预报的;一个新概念,认识气候及其变化是天气预报的基础;一个新原理,大气变量可以物理分解成日循环、年循环的气候分量和天气扰动分量;一个新方法,瞬变和低频扰动天气图是预报极端天气事件的有用工具。

本书可供从事天气预报和气候预测的人员阅读,也可供从事气象科学研究的人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中期-延伸期天气预报原理 = Principles of Medium to Extended Range Weather Forecasts / 钱维宏著. —北京:科学出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-03-033812-9

I. ①中… II. ①钱… III. ①中期天气预报 IV. ①P456. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 041539 号

责任编辑:牛宇锋 / 责任校对:李 影

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京彩虹伟业印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 26 3/4

字数: 514 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 序 言 一

在气象研究领域，真正的难题是气象极端事件的可预报性问题。对未来的气象状况，决策者和公众最想知道的并不是降水的偏多或偏少、温度的偏高或偏低，而是未来的几天到几十天，什么地方会出现洪涝或干旱、热浪或低温。这种对社会经济和人民生活有严重影响的极端天气事件能否提前预报，用什么方法预报，这些是有待解决的难题。之所以说是真正的难题，是因为这些问题用现行的观念和方法难以解决，需要重大的创新。

极端气象事件预报的现行方法与要解决的问题之间存在两大差别：一是，现行方法作为正向问题，预报的是未来的全部情况，而极端气象事件的预报是要把问题集中在某一地区的某一时段上的某种极端气象事件发生的概率；二是，现行方法是关心初值问题，做预报时依据的是某一时刻的气候系统的初始状况，而所要求的初值有的没有观测，即便有观测，也会有误差，由此会导致预报结果的不准确。

彭实戈院士创立的倒向随机微分方程理论给我们提供了重要的启示和借鉴。当解决气象极端事件的正向道路行走有困难时，不妨先走倒向之路，也许另有捷径。

近年来，北京大学的钱维宏研究组试探性地走出了一条可喜的新路，并迈出了坚实的三步。

第一步，他们为区域持续性暴雨、热浪、低温、干旱等四类极端天气事件下定义，用我国气象台站观测资料确定事件并出版了《气候变化与中国极端气候事件图集》。他们确定了近 50 年来我国发生的上千次暴雨事件和上百次热浪、低温和干旱事件，又将热浪事件分干热浪和湿热浪等，并对事件进行了排序。一旦出现新的事件就可以依据相同的定义在排序中插队，这样一来，为社会服务就有了依据。

第二步，他们做倒向问题，即在排序中从大到小寻找每类极端事件的前期预报信号。这些前期信号都对应于某些特征气压层上的特征变量。

第三步，他们做正向问题，包括后报和实际预报。对于后报，绝对评估标准

的正确率能够达到 40%，而相对评估标准的正确率会大大提高。几个实际预报的例子都取得了成功。

从有实际意义的定义出发，先解释倒向问题，再解决正向问题的科研思路，会成为解决未来气象问题的可行之路。无论是正向问题，还是倒向问题，解决问题的出路仍然是思路和观念。与众不同的是，他们把大气观测变量和模式预报量都分解成了逐日气候部分和扰动部分。由扰动变量可以画成扰动天气图，它与传统天气图有所不同。扰动天气系统直接与极端天气事件相联系。

该书的一个新提法是，认识气候及其变化是天气预报的基础。这一思想把天气与气候有机地联系起来，难得的是把人们已经认识的所有大气活动中心、气候槽、季风槽、大气涛动、遥相关波列、低频振荡等归并到了一个四分量物理分解的框架中来，并且发现了新的涛动和新的波列。

我认为作者在气象极端事件的预报这一难题上作出了具有重大意义的开创性工作，可喜可贺！然而几乎任何难题的解决都有长期而坎坷的历史，是一批人心血和智慧的结晶。气象极端事件的预报这一难题的解决也不会例外。我相信该书的出版必将吸引更多的人到此领域，“弟子不必不如师，师不必贤于弟子”，“长江后浪推前浪，世上新人胜旧人”。我预祝后来者取得更大的成功，祝他们幸运。



2011 年 10 月 1 日

## 序 言 二

目前国际上提出要发展和建立气象的无缝隙预报系统。这个系统主要是指在预报的时间尺度上应具有从几小时的临近预报到一天甚至两周的短中期天气预报和月、季、年以及十年和百年尺度的气候变化预测的能力。如果一个国家的气象业务预报中心具有这种多尺度预测能力,其服务范围几乎可以覆盖绝大部分国民经济各部门和相关行业,并在很大程度上满足它们的需求。这是气象预报最终要达到的目标。由于不同时间尺度的天气气候预报其理论和方法十分不同,可利用的资料也不尽相同,因而要实现这个目标,对气象部门来说是一个重大的挑战,需要经历长期的努力,才有可能一步步接近这个目标。

目前,在无缝隙气象预报系统中有两个时段的空隙:一个空隙位于天气预报和气候的月预报之间,也就是两周到4~5周的预报;另一个空隙是指十年尺度,即几年到20~30年的气候预测。对这个较长时段的预测,目前已日益引起人们重视,正在加强对其研究和预报的试验。目前在业务上更为重视的是第一个时间尺度空隙的气象预报。这种预报也称延伸期天气预报,也就是该书主要研究和阐述的内容。虽然国内外在延伸期天气预报方面对可预报性理论和方法进行了不少研究,在一些重要的业务预报中心也建立了试验性或初步的预报系统,但其总体上研究水平还不是很高。我国的业务预报中心近几年对此也做了积极有益的尝试。钱维宏教授的这本书代表的是我国学者对延伸期天气预报研究和尝试的一个重要成果。钱教授出身于基层预报员,以后又通过自身的努力学有所成,并著作甚丰,在国内外发表了一系列有影响的科学论文,因而他具有坚实的理论基础和实际经验。他的这本书就是他的团队于近十几年来在这方面研究的结晶,不但具有新颖和活跃的思想,而且具有一定的可应用性。尤其是他从天气和气候相结合的观点,比较系统地阐述了延伸期天气预报的原理和方法,很值得天气和气候预报员与研究人员一读。我相信大家一定会从中获得有用的知识、方法和科学的启示。延伸期天气预报是气象预报的一个难题,需要更多的专家,尤其是年青学者去攻坚。该书也许可以作为一种指导,希望对他们有所帮助和惠益。

丁一汇

2011年11月14日于中国气象局

# 前 言

2008 年初,我国南方发生了一场持续性雨雪冰冻天气。之后,在当年春季的北京“两会”期间,5 天以上的中期-延伸期极端天气预报一时间成为社会关注的焦点话题。在北京大学,大气科学专业的研究生邀请有关专家参加了一场对此南方雨雪冰冻极端事件能否提前 5 天预报的辩论会。这种极端天气事件又是在当前全球变暖背景下发生的。因此极端天气和气候变化的科学会议和项目研究热潮持续高涨起来。

在全球变暖原因尚存在争议的情况下,极端天气事件的不断发生,使其因果关系变得非常复杂。一方面,国家和社会对 5 天以上的中期-延伸期极端天气预报有着迫切的需求,另一方面,人们对极端天气事件和异常气候事件还缺少认识。为了加深对极端天气事件的认识,2010 年开始,北京大学季风与环境研究组的师生,首先从区域持续性的暴雨、干旱、热浪和低温等四类极端天气事件的定义出发,对我国半个世纪以来的极端天气事件进行了普查和排序,最后出版了《气候变化与中国极端气候事件图集》。

丑纪范院士在《气候变化与中国极端气候事件图集》一书的序言中写道:“这种极端气候事件需要提前预报,这是现行的作为正向问题和初值问题难以解决的。需要普查历史实况为倒向问题找前期信息。”在四类极端天气事件的普查和排序工作完成之后,我们正是按照“为倒向问题找前期信息”的思路开展了一系列研究。在分解的大气扰动变量中,我们找到了这些极端天气事件的前期信号。利用当前观测的大气变量和中期数值天气预报模式产品资料,区域暴雨、热浪、低温天气可以提前 1~2 周找到前期信号。根据大气中的扰动低频振荡,持续性旱涝事件可以在前期 10~20 天,甚至一个月把握到预报信号。作者利用大量例子研究了倒向问题,也利用数值模式产品研究了一些正向问题。本书就以大量的例子介绍中期-延伸期极端天气预报的原理和方法。全书共分 8 章:

第 1 章介绍大气变量物理分解的思路、原理和方法。

第 2 章介绍气候存在日循环、年循环和十年际、年代际,以及世纪尺度的周期性变化,分析一些周期性气候变化与外源强迫的关系。

第 3 章介绍全球季风,内容包括:存在的 6 大季风区和若干小的季风区; 19

个大气活动中心 and 22 条气候槽, 其中有 3 条行星尺度季风槽和 6 条半岛尺度季风槽; 东亚季风槽的强度和位置不但有季节变化, 还有年际和年代际变化。

第 4 章介绍大气涛动和大气低频振荡, 包括稳定波和传播波, 来自赤道对流层顶的平均西风年际和季节内振荡可以向赤道外传播到副热带和中纬度地区, 较大尺度和较大振幅的大气异常扰动能够维持较长的时间并引发持续的异常天气。

第 5 章介绍分解的大气低频扰动的传播及其在持续性干旱与雨涝中的应用实例, 对 1998 年的多场暴雨、2010 年初的西南地区持续干旱和 2011 年初夏南方的旱涝急转等重大天气过程进行分析。

第 6 章介绍中国热浪事件的空间结构、时空变化特征和热浪事件预报的前期信号, 以及与热浪有关的大气波动动力学。

第 7 章介绍低温事件的定义、空间结构、低温雨雪冰冻事件预报的前期信号和中期数值天气预报产品的释用。

第 8 章介绍区域暴雨的确认方法、时空分布, 通过大量的例子给出区域性暴雨预报的扰动环流方法和扰动系统的空间结构, 以及暴雨带与湿位涡扰动的位置关系。

中期-延伸期预报的目标是要提前 5 天对暴雨、热浪、低温和干旱四类极端天气事件进行预报。从四类极端天气事件的定义、确认, 到前期预报信号的提取, 作者在研究力量上进行了分工。暴雨、热浪、低温和干旱四类极端天气事件的分析, 分别由单晓龙、丁婷、张宗婕等同学和朱亚芬老师完成; 气候变化、全球季风和环流异常, 以及旱涝异常的部分研究分别由陆波、汤帅奇、梁浩原、李进、江漫等同学协助完成。在国内外气象同事、同学和老师的启发、鼓励下, 中期-延伸期天气预报原理的基本方法已经申请了国家专利, 大部分研究内容发表在《地球物理学报》和《科学通报》等刊物上。

在向天气预报专家和气候学家学习的基础上, 作者的愿望是要担当一个“工匠”, 试图在天气与气候两座大山之间架起一座桥梁, 缝合短期天气预报与气候预测之间的时间空隙, 即为气象无缝隙预报做点贡献。这正是写作本书的用意。

自然探索的意义在于自己在享受自然之美的同时, 也把美丽带给他人。大自然是美的, 探索之路是要去伪存真、去粗取精。分解开大气运动的物理层次, 大气中的系统是那样的有组织、有结构, 而那些不尽如人意的异常事件只是少数。这些层次的内容太丰富, 没有看完, 更没有写完, 还会有很多不妥之处, 敬请读者批评指正。

钱维宏

2011 年国庆于北京大学逸夫楼

## Brief Introduction

Based on the conventional synoptic principles, the forecast of extreme weather events over five days is a great challenge both in China and abroad. This book introduces a new breakthrough that extreme weather events and climate anomalous processes over five days to four weeks can be experimentally predicted; a new concept that the understanding of climate and its change is the basis of weather forecast; a new principle that the atmospheric variables can be physically decomposed into diurnal-cycle and annual-cycle climate components and planetary-scale and regional-scale anomalies; and a new method that transient and low-frequency anomalous weather maps are useful tools in forecasting extreme weather events and anomalous climate events, respectively.

Conventionally, the upper limit period of daily weather forecast is a week, and the lower limit period of the climate prediction is a month. Thus, there was a non-predictable period in between. The extended-range weather forecast is to fill this gap, resulting in a seamless prediction.

This book covers the principles and methods of physical decomposition of atmospheric variables for the short/medium/extended range weather forecasts to the short-term climate prediction. Physical decomposition of atmospheric variables extends the existing understanding of the standing waves, such as atmospheric centers of action, monsoon troughs, and atmospheric oscillations, reveals low-frequency oscillation signals in the atmospheric propagation model to predict anomalous climate, and presents a tool of anomalous weather maps to predict extreme events from medium to extended ranges. The extended range weather forecast is an overlap of weather anomalies and climate change in the coming five or more days. The target audience of this reference book is operational weather and climate forecasters and scientific researchers.

# 目 录

序言一

序言二

前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第1章 物理分解 .....           | 1  |
| 1.1 天气与气候 .....          | 1  |
| 1.2 天气扰动与气候变化的数学描述 ..... | 11 |
| 1.3 大气变量的物理分解 .....      | 16 |
| 1.4 物理分解的分量比较 .....      | 23 |
| 1.5 物理分量的时频变化 .....      | 27 |
| 1.6 小结 .....             | 30 |
| 参考文献 .....               | 32 |
| 第2章 认识气候 .....           | 34 |
| 2.1 长期气候变化 .....         | 34 |
| 2.2 年代尺度气候变化 .....       | 40 |
| 2.3 气候变化的可能原因 .....      | 46 |
| 2.4 碳排放与全球气温变化 .....     | 50 |
| 2.5 城市气候变化 .....         | 56 |
| 2.6 小结 .....             | 62 |
| 参考文献 .....               | 63 |
| 第3章 全球季风 .....           | 65 |
| 3.1 全球季风区 .....          | 65 |
| 3.2 全球季风槽 .....          | 71 |
| 3.3 全球大气活动中心 .....       | 77 |
| 3.4 东亚季风变化 .....         | 84 |
| 3.5 季风强度与气温变率 .....      | 91 |
| 3.6 近海台风增强的季节锁相 .....    | 95 |
| 3.7 小结 .....             | 99 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 参考文献 .....               | 101 |
| <b>第4章 环流异常</b> .....    | 104 |
| 4.1 行星尺度低频振荡 .....       | 104 |
| 4.2 北半球大气涛动 .....        | 112 |
| 4.3 南半球大气涛动 .....        | 128 |
| 4.4 热带大气涛动 .....         | 135 |
| 4.5 热带大气季节内振荡 .....      | 139 |
| 4.6 小结 .....             | 147 |
| 参考文献 .....               | 148 |
| <b>第5章 旱涝异常</b> .....    | 151 |
| 5.1 干旱事件的定义 .....        | 151 |
| 5.2 西南干旱事件 .....         | 160 |
| 5.3 旱涝急转事件 .....         | 168 |
| 5.4 1998年降水过程与大气扰动 ..... | 181 |
| 5.5 大气低频扰动信号 .....       | 191 |
| 5.6 大西洋欧亚型干湿分布 .....     | 203 |
| 5.7 小结 .....             | 210 |
| 参考文献 .....               | 212 |
| <b>第6章 热浪事件</b> .....    | 213 |
| 6.1 热浪定义 .....           | 213 |
| 6.2 湿热浪事件的时空分布 .....     | 221 |
| 6.3 2003年热浪 .....        | 224 |
| 6.4 热浪事件的大气扰动结构 .....    | 231 |
| 6.5 热浪前期信号的统计特征 .....    | 240 |
| 6.6 大气扰动准静止波与热浪 .....    | 248 |
| 6.7 热浪事件的扰动信号强度 .....    | 259 |
| 6.8 小结 .....             | 262 |
| 参考文献 .....               | 263 |
| <b>第7章 低温事件</b> .....    | 265 |
| 7.1 低温定义 .....           | 265 |
| 7.2 低温事件的分布特征 .....      | 268 |
| 7.3 低温事件的前期信号 .....      | 279 |
| 7.4 南方雨雪冰冻天气 .....       | 293 |

---

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 7.5 南方雨雪冰冻事件预报 .....   | 302        |
| 7.6 东北冷涡低温 .....       | 308        |
| 7.7 小结 .....           | 318        |
| 参考文献 .....             | 319        |
| <b>第8章 暴雨事件</b> .....  | <b>321</b> |
| 8.1 暴雨事件的确认 .....      | 321        |
| 8.2 区域暴雨事件的气候分布 .....  | 326        |
| 8.3 扰动系统下的区域暴雨 .....   | 334        |
| 8.4 特大暴雨事件 .....       | 344        |
| 8.5 2010 年区域暴雨预报 ..... | 353        |
| 8.6 梅雨锋和气旋的扰动结构 .....  | 362        |
| 8.7 梅雨锋雨带与湿位涡扰动 .....  | 375        |
| 8.8 小结 .....           | 386        |
| 参考文献 .....             | 387        |
| <b>结束语——走向实践</b> ..... | <b>390</b> |

# Content

**Preface I**

**Preface II**

**Forewords**

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Chapter 1 Physical decomposition</b>                            | 1   |
| 1.1 Weather and climate                                            | 1   |
| 1.2 Mathematical description of weather anomaly and climate change | 11  |
| 1.3 Physical decomposition of atmospheric variables                | 16  |
| 1.4 Comparison of physical components                              | 23  |
| 1.5 Temporal variations of physical components                     | 27  |
| 1.6 Brief summary                                                  | 30  |
| References                                                         | 32  |
| <b>Chapter 2 Understanding climate</b>                             | 34  |
| 2.1 Climate change                                                 | 34  |
| 2.2 Inter-decadal climate variability                              | 40  |
| 2.3 Possible causes of climate change                              | 46  |
| 2.4 Carbon emissions and global temperature variability            | 50  |
| 2.5 Urban climate change                                           | 56  |
| 2.6 Brief summary                                                  | 62  |
| References                                                         | 63  |
| <b>Chapter 3 Global monsoon</b>                                    | 65  |
| 3.1 Global monsoon regions                                         | 65  |
| 3.2 Global monsoon troughs                                         | 71  |
| 3.3 Global atmospheric centers of action                           | 77  |
| 3.4 East Asian monsoon variations                                  | 84  |
| 3.5 Monsoon intensity and temperature variability                  | 91  |
| 3.6 Seasonal lock of offshore intensifying typhoons                | 95  |
| 3.7 Brief summary                                                  | 99  |
| References                                                         | 101 |

---

|                  |                                                                  |     |
|------------------|------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Chapter 4</b> | <b>Circulation anomaly</b>                                       | 104 |
| 4.1              | Planetary-scale low-frequency oscillations                       | 104 |
| 4.2              | Atmospheric oscillations in the Northern Hemisphere              | 112 |
| 4.3              | Atmospheric oscillations in the Southern Hemisphere              | 128 |
| 4.4              | Tropical atmospheric oscillations                                | 135 |
| 4.5              | Tropical intra-seasonal oscillations                             | 139 |
| 4.6              | Brief summary                                                    | 147 |
|                  | References                                                       | 148 |
| <b>Chapter 5</b> | <b>Drought anomaly</b>                                           | 151 |
| 5.1              | Definition of drought events                                     | 151 |
| 5.2              | Drought events in Southwest China                                | 160 |
| 5.3              | Sudden transition of drought and flood events                    | 168 |
| 5.4              | Rain storm processes and atmospheric anomalies in 1998           | 181 |
| 5.5              | Atmospheric low-frequency anomaly signals                        | 191 |
| 5.6              | Dry-wet distributions in the Atlantic-Eurasian anomalous pattern | 203 |
| 5.7              | Brief summary                                                    | 210 |
|                  | References                                                       | 212 |
| <b>Chapter 6</b> | <b>Heat wave</b>                                                 | 213 |
| 6.1              | Definition of heat waves                                         | 213 |
| 6.2              | Spatial-temporal distribution of humid heat waves                | 221 |
| 6.3              | Heat waves in 2003                                               | 224 |
| 6.4              | Anomaly structure of heat wave events                            | 231 |
| 6.5              | Statistical characteristics of heat wave precursors              | 240 |
| 6.6              | Quasi-stationary atmospheric anomalies and heat waves            | 248 |
| 6.7              | Anomaly signal intensity of heat waves                           | 259 |
| 6.8              | Brief summary                                                    | 262 |
|                  | References                                                       | 263 |
| <b>Chapter 7</b> | <b>Extra-low temperature event</b>                               | 265 |
| 7.1              | Definition of extra-low temperature events                       | 265 |
| 7.2              | Distribution characteristics of extra-low temperature events     | 268 |
| 7.3              | Early signals of extra-low temperature events                    | 279 |
| 7.4              | Freezing rain-snow events in South China                         | 293 |
| 7.5              | Forecast of freezing rain-snow events                            | 302 |
| 7.6              | Cold vortex events in Northeast China                            | 308 |

---

|                               |                                                                        |            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.7                           | Brief summary .....                                                    | 318        |
|                               | References .....                                                       | 319        |
| <b>Chapter 8</b>              | <b>Rain storm event .....</b>                                          | <b>321</b> |
| 8.1                           | Identification of regional rainstorm events .....                      | 321        |
| 8.2                           | Climatic distribution of regional rainstorm events .....               | 326        |
| 8.3                           | Regional rainstorm events and atmospheric anomalies .....              | 334        |
| 8.4                           | Regional heavy rainfall events .....                                   | 344        |
| 8.5                           | Regional rainstorm forecasts in 2010 .....                             | 353        |
| 8.6                           | Anomaly structures of Meiyu front and cyclone .....                    | 362        |
| 8.7                           | Meiyu frontal rain bands and moist potential vorticity anomalies ..... | 375        |
| 8.8                           | Brief summary .....                                                    | 386        |
|                               | References .....                                                       | 387        |
| <b>Postscript-To practice</b> | <b>.....</b>                                                           | <b>390</b> |

# 第1章 物理解析

什么是天气、气候、极端天气、异常气候和气候变化，它们之间如何界定，它们之间有什么关系，以及它们与大气环流和外强迫之间的关系怎样，这些都是天气-气候研究和预报业务中需要明确的概念。地球上某一地点所接收到的太阳辐射量具有日循环（昼夜）变化、年循环（季节）变化和多时间尺度的长周期变化，因而当地的大气变量也应该有日循环、年循环和多时间尺度的长周期变化。外强迫直接驱动的当地要素多周期性变化就是气候。现在人们把每天获得的气象观测数据填绘在天气图上，图上的大气变量和环流信息包含天气、气候，也有极端天气和异常气候，还有观测误差。历史上找不到在两个时刻全球大气变量分布完全相同的天气图，也没有两个完全相同的极端天气和异常气候事件，这说明我们面对的是一个非常复杂的混沌系统。而要从混沌系统出发，借助数学分解的计算机算法准确预报未来时刻的天气和气候是困难的。

我们要从理论上探讨如何提高天气预报的精度和气候预测的技巧。气候包括以小时为基本单位的昼夜循环、以日为基本单位的年（季节）循环、年代际循环和世纪循环等时间尺度的变化。这些气候变化存在确定的外强迫，是可以被认识和预报的。相对气候昼夜循环和年（季节）循环的偏差是天气扰动。天气扰动可引发极端天气事件。有技巧的天气预报正是要提前几天甚至十几天，获得扰动信号，从而预报出极端天气事件。相对气候年代际和世纪循环的偏差是气候异常，有技巧的气候预测正是要预报出这种异常。扰动天气图会大大提高短期和中期-延伸期天气预报的技巧，扰动量数值预报模式的研发也会加快中期-延伸期天气预报和气候预测水平的提高。

要提高短期、中期和延伸期极端天气事件，以及异常气候事件预报的正确率和时效，借助数学和计算机工具实施大气变量的物理解析是可预期且可行的途径。

## 1.1 天气与气候

天气是多气象要素（温度、气压、湿度、风等）随时间的连续变化及其产生的各种现象（如云、雨雪、雾霾、沙尘暴等）。天气是与中尺度-天气尺度

(200~2000km) 系统的生消和移动相联系的。因此,天气系统的移动速度和生命期决定了局地天气变化的时间尺度,或天气过程。

天气的一些要素和现象,特别是气温、降水、能见度和风,在量值变率上不超过一定的限度,对人们的生产和生活不构成威胁,这样的天气属于正常的范围,即正常的天气。它们的变化量值超过了一定的限度(阈值)会给人们的生产和生活造成危害,其对应的异常天气称为极端天气。

天气预报的基本内容就是以上的这些要素和现象。有这样的一条天气预报:“今天上午有雾,下午多云转阴,夜里阴有中到大雨,明天雨止转多云,偏南风2~3级,夜里转西北风4~5级,今天最高温度25℃,晨晨最低温度12℃,后天晴到少云。”这是一条3天的天气预报。第1天的天气现象内容最丰富,按时间顺序从雾(能见度)到多云、阴天和降水。第2天的天气内容只是雨止转多云。第3天的天气内容更简单,晴到少云。像这样1~3天的逐日天气预报称为短期天气预报。第1天“上午有雾,下午多云转阴”,这种未来几个小时的预报称为短时天气预报。

这样的一条天气预报中,天气现象、风和气温随时间的变化反映的是一个天气尺度气旋低压系统经过当地的过程。在地面低压气旋的暖湿空气区中,出现了偏南风暖平流下的雾。日近正午,太阳辐射增强,雾消,气温升高。下午气旋冷锋来临,云量增多。夜间,冷锋过境形成较大的降水,风向也随之转为西北,风力增大。后半夜,冷空气下来后,第2天早晨气温较低,白天为多云天气。到了第3天,气旋低压系统远去,当地受高压系统(反气旋)控制,天气晴好(晴到少云)。当地从受低压气旋影响出现降水,到转受高压系统影响天气晴好,为一个天气过程。下一个天气过程是否重复这一个天气过程,就看未来新的气旋和反气旋系统的强度和移动速度,一般不会完全重复。天气预报员的任务就是在预报天气系统生消和移动的基础上,推断出各地可能出现的各种天气现象。例如,推断未来第4天后至第9天,当地是否再次出现类似的天气过程影响。未来4~9天的逐日天气预报称为中期天气预报。近年来,人们还想知道10天后的逐日天气预报,但实际上做不到逐日,只能是预报出天气过程。根据大气变量的过去信息、当前信息和数值模式预报产品中的信息推断未来10~30天的天气(如降水或冷空气)过程,即为延伸期天气预报。

由此看来,天气预报包括了四个时间尺度,依次为:短时(0至几小时)、短期(1~3天)、中期(4~9天)和延伸期(10~30天)。对这四个时间尺度的预报,目前已经有了一些方法,也具有一定的预报能力。

这里,我们只从气象上定义极端天气事件。以北京4月1日的日最低气温(夜间气温)为例,1960~2008年49年的4月1日最低气温平均值是4.04℃,