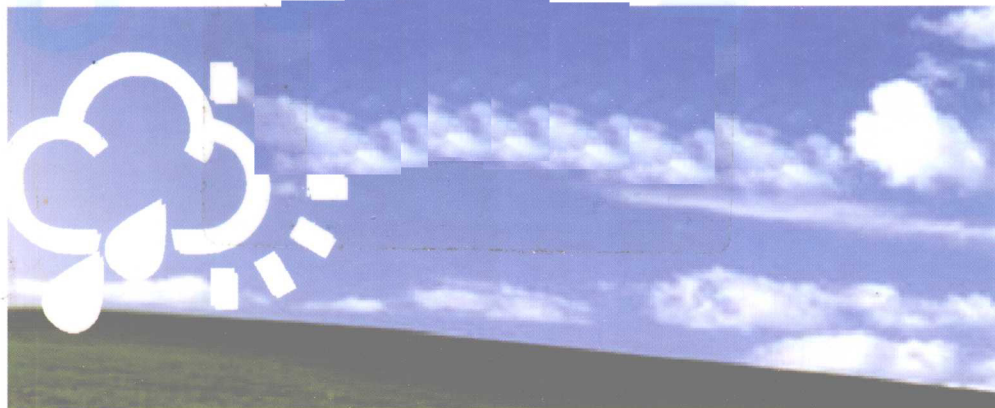


气象预报怎么做如何用

叶笃正 周家斌 著



Weather Forecasting

How to Do
USE



清华大学出版社



叶笃正 周家斌 著

气象预报怎么做如何用

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

大气科学的成果有重大的社会、环境和经济效益,其中绝大部分通过气象预报以及对预报的使用来实现。人们非常关心气象预报,许多人希望知道气象预报是怎么做出来的。由于预报有一定的不确定性,所以人们还想知道怎样才能最有效地应用气象预报。

本书是一本关于气象预报的科普书。内容涉及大气运动的基本知识、古代和现代气象预报的方法及其准确度。只有用好气象预报才能获得社会、经济和环境效益,因此本书用一定篇幅讲解气象预报的应用、对未来天气预报系统的设想和适应气候的问题。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

气象预报怎么做如何用/叶笃正,周家斌著. —北京:清华大学出版社,2009.11
ISBN 978-7-302-20695-8

I. 气… II. ①叶… ②周… III. 气象预报—基本知识 IV. P457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 126945 号

责任编辑:宋成斌 洪 英

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:140×203 印 张:7.375

字 数:194千字

版 次:2009年11月第1版

印 次:2009年11月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:19.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:033505-01

前

言

人类生活在大气层中,人类的各种生产和文化活动也都在大气层中进行。所有这一切都离不开大气,大气科学对人类的重要性不言而喻。

大气科学的成果有重大的社会、环境和经济效益,其中绝大部分通过气象预报以及对预报的使用来实现。人们非常关心气象预报,许多人希望知道气象预报是怎么做出来的。由于预报还有一定的不确定性,所以人们还想知道怎样才能最有效地应用气象预报。因此,很有必要写一本关于气象预报的科普书。这就是作者撰写本书的初衷。

下面对本书的内容作一些介绍。

气象预报是一般预报科学的一部分,它应该具备预报科学的普遍规律,因此本书第1章从一般的预报科学讲起。

我国有五千年的优秀文化,这其中就有关于气象预报的知识,因而本书安排第2章讲这方面的内容。

我们认为,要做好气象预报就必须了解大气运动的规律。目前的气象预报就是建立在人们对这些规律的了解的基础上的。因此本书用了很大的篇幅介绍关于大气运动的知识,这就是本书第3~7章的内容,其中最重要的当属锋面气旋和长波理论、数值天气预报方法和气候系统的特征。

本书第8章和第9章讲的是天气和气候预报的制作方法。这些方法基于目前人们所知道的大气运动的规律。但是大气运动的规律非常复杂,目前人们尚不完全知道这些规

律。因此,在应用已经成形的科学知识的同时,充分发挥预报员积累的经验对提高气象预报的准确率也很重要。

气象预报的用处很大,但气象预报又不可能完全准确。不同的气象预报有不同的准确度。我们在第 10 章就这方面的情况作了一些介绍,以使用户在使用预报时心中有数。

气象预报对各行各业都有重要的应用价值。而气候本身在人类的生产和生活中可以直接发挥作用。因此,如果人类能正确地使用气候,气候就是一种资源。然而气候是变化的,这就需要进行气候预测。本书第 11 章讲的就是这方面的内容。

在这里,我们特别强调了更好地发挥气象信息的作用问题,指出及时地、广泛地传播气象信息的重要性。为此我们在附录中列出了有关的气象灾害预警信息。

我们在本书第 8 章提到,数值天气预报的制作过程是:资料输入→质量控制→客观分析→四维同化→初值形成→预报计算→结果输出。容易看出,要完成这一流程,不是一个人的力量所能达到的。这里需要“大兵团”作战,需要有关部门的协调,需要建立有效的预报系统。目前,短期、中期和长期天气预报都有自己专门的系统。这就是说,气象预报不仅是一门科学,而且是一项系统工程。

我们在第 12 章中讲了对未来天气预报系统的设想,提出把用户应用预报的经验加以量化并纳入气象台的预报系统,这样就可形成一个气象台和用户互动的天气预报体系。这个体系将是一个更大规模的系统工程。

本书第 13 章讲的是适应气候的问题。这一章表面上看与气象预报关系不大,但我们认为二者之间其实是有联系的。比如说,已经发生的看来还将延续下去的气候变暖,已经对人类生活有了重大影响,这就提出了人类如何改变生活方式去适应气候变化的问题。对于科学家预测的未来 100 年的气候变化趋势,就更有一个如何适应的问题。再则,对于科学家预报的各种可能发生的天气和气候变化,在应对的时候也都有一个设法适应的问题。因此,这一章的内容可

以看作是第 11 章的拓展。

本书之所以这样安排,是因为在我们看来,制作气象预报的根本目的在于使用,在于更好地发挥气象预报的社会、环境和经济效益。而要做到这一点,纯粹从学科水平的提高出发并不能完全解决问题,还必须花大力气改善气象信息的发布和传播。同时如果能把用户应用预报的经验加以量化并纳入气象台的预报系统,就有希望最大限度地发挥天气预报的作用。

正是基于上述考虑,我们把本书的书名定为《气象预报怎么做如何》。

为便于读者阅读,我们在每一章的开头写了几句话,说明该章的主要内容。

本书涉及的内容较多,但有些章节有一定的独立性。因此只对其中一部分内容有兴趣的读者可以有选择地阅读。

考虑到本书是科普读物,所写内容基本上是已经发表过的,要一一说明出处会使参考文献太多,因此在书末只附了一部分参考文献,请读者谅解。

本书在撰写过程中得到矫梅燕、董文杰、谢庄、乔林、陈丽娟、高辉、韩荣青、贾小龙、马万顺等同志和国家气象中心、国家气候中心许多同志的热情帮助,刘宇红、徐凤平、崔桂云同志做了很多辅助工作,作者仅在此表示衷心的感谢。

本书内容广泛,而作者的知识面有限,表达能力亦难尽人意。书中不当之处请读者批评指正。

作者

2009 年 8 月

本书单位名称和符号对照

量的名称	单位名称	单位符号
长度	纳米	nm
	毫米	mm
	厘米	cm
	米	m
	千米	km
	海里	n mile
	英寸	in
面积	平方米	m ²
	公顷	hm ²
体积	立方米	m ³
时间	秒	s
	分	min
质量	千克(公斤)	kg
	吨	t
速度	米每秒	m/s
热力学温度	开[尔文]	K
摄氏温度	摄氏度	°C
华氏温度	华氏度	°F
力	牛[顿]	N
	千克米每二次方秒	kg · m/s ²
压力,压强	帕[斯卡]	Pa
	牛[顿]每平方米	N/m ²
	毫米汞柱	mmHg
功率	瓦[特]	W
电能	千瓦[小]时	kW · h
辐[射]能流率	瓦[特]每平方米	W/m ²

目 录

第 1 章 漫谈预报	1
1.1 天下预报何其多	1
1.2 预报应当怎么做	2
1.3 气象预报这样搞	3
1.4 预报难以很准确	5
1.5 用好预报需协同	6
1.6 气象预报花样多	7
1.7 天气预报历史久	9
第 2 章 古人怎样做预报	12
2.1 气候规律何其多	12
2.2 古人也测天变化	24
2.3 万千谚语测天气	25
第 3 章 不断变化的大气	27
3.1 气象要素何其多	27
3.2 内容丰富天气图	33
3.3 天气系统有许多	36
3.4 气团超过千公里	38
3.5 寒潮是个大高压	38
3.6 锋面天气变化大	39
3.7 锋面气旋很重要	41

3.8	高空景象大不同	43
3.9	东西风带很重要	51
3.10	天气系统有生死	52
第4章 气象灾害		55
4.1	赤日炎炎似火烧	55
4.2	空村避水无鸡犬	57
4.3	江村入夏多雷雨	58
4.4	有风北来寒欲僵	59
4.5	冰山万丈高崔巍	60
4.6	雹大如拳卷狂飙	63
4.7	季夏身热汗如泉	64
4.8	台风狂吹拔山怒	65
4.9	八月秋高风怒号	67
4.10	龙卷鱼虾并雨落	67
4.11	眼见风来沙旋移	69
4.12	一分为二看“灾害”	71
第5章 何为气候		76
5.1	气候天气两不同	76
5.2	气候图上多中心	77
5.3	气候不光是平均	80
5.4	各地气候不相同	82
5.5	春夏秋冬各成样	85
第6章 气候是一个大系统		88
6.1	气候系统另有义	88
6.2	太阳辐射是外因	90
6.3	气候系统非常大	93

6.4	人类可为一个圈	101
6.5	系统记忆助预报	106
第 7 章	气候是变化的	110
7.1	气候变化分尺度	111
7.2	冰期相间冷暖异	112
7.3	百多年来在变暖	119
7.4	气候变化很复杂	122
7.5	气候资料何处有	122
第 8 章	天气预报	129
8.1	天气预报历史长	129
8.2	用天气图做预报	131
8.3	数值预报作用大	137
8.4	统计预报占一席	150
8.5	概率预报很有用	153
8.6	尺度再小另有法	154
8.7	气象指数花样多	157
第 9 章	气候预报	161
9.1	气候预报何所指	161
9.2	气候预报何所依	163
9.3	气候预报如何做	164
9.4	十年预报不常做	166
第 10 章	气象台的预报	168
10.1	预报门类非常多	168
10.2	短期预报比较准	169
10.3	延伸预报在试验	173

10.4	长期预报需综合	175
第 11 章	气象预报的应用	177
11.1	气候资源用处多	177
11.2	天气预报用处广	178
11.3	预报发布花样多	180
11.4	气象信息效益大	181
第 12 章	未来的气象预报系统	185
12.1	气象预报会失准	185
12.2	用户参与做预报	187
12.3	如此系统最理想	191
第 13 章	与气候和谐相处	193
13.1	古人顺着自然走	194
13.2	今人合当多自省	197
13.3	人类自然互影响	199
13.4	未来气候宜呵护	200
13.5	全球共建好家园	203
附录 A	天气符号表	205
附录 B	气象灾害预警信号	206
参考文献		221

漫谈预报

预报并非气象学家的专利，许多行业都有预报问题。

预报方法的发展经历了如下过程：总结经验，找出统计规律，研究事物发生发展的内在原因，对预报准确率进行评估。

预报难以准确的原因有：目前人们还难以完全掌握事物发展的内在规律和事物发展过程的随机性。

1.1 天下预报何其多

气象预报是人们非常关心的事，因为天气和气候的变化与人类的日常生活关系很密切，我们每天都能从广播电视里收看到天气预报。然而，预报并非气象学家的专利，许多行业都有预报问题。

人类社会中有各种各样的经济活动。经济如何发展就是一个重要的预测问题。股票是经济活动的晴雨表，也是广大股民的利益所在，因此人们非常关注股票趋势的预测。同样，各种商品（比如石油）的价格走势也是人们非常关心的预报问题。

人类经济的发展与人口状况的变化关系甚大。因此，如何对未来人口的发展趋势作出预测成为众多国家关注的大问题。

人类社会要发展，经济规模和公共设施的建设是需要经常关注的问题。在当今世界城市化速度加快的态势下，如何对城市未来的发展作出预测，就成为城市管理者不能回避的重要课题。

人类社会在发展的过程中，发生了无数战争。敌我双方都想模

清对方的实力、军情和未来的军事活动。因此军情的预测也是一个必不可少的预报问题。

地震是自然灾害之一,何时何地发生地震是一个重要的预测问题。

海洋也有预报问题,比如海浪、海冰、风暴潮、地震海啸、海岸侵蚀以及赤潮,都需要预报或者预警。

地质现象也有预报问题,特别是地质灾害,比如滑坡、泥石流、崩塌就需要预报。不过,在目前,对这些灾害发生的可能性基本上限于在气象预报的基础上作出估计。

生物灾害也是人类所关心的,像农作物病虫害、牧区和森林的鼠害与虫害、水产养殖的病害,都需要人们事先作出预报或预警。

森林和草原灾害(包括火灾)常造成很大损失,人们迫切希望对此作出预测或预警。

由此可见,预报是多种多样的,天气和气候预报只不过是其中一种。各种问题有其不同的法则,但也有一些普遍的规律。下面我们先从一般的预报问题讲起。

1.2 预报应当怎么做

预报问题极为重要,预报应当怎么做自然是人们关注的问题。

一般而言,预报方法的发展经历了如下过程:

(1) 总结经验

自然现象有自己的发生、发展规律,任何人类活动也有其历史发展过程。为了预测未来,人们需要对已经发生的事件进行总结。任何现象都不会只出现一次。人们在同这些现象打交道时必然会总结出许多经验。在经过长时间的观察后,就可以对它的规律作出经验总结。比如说,经常炒股的人对股市的变化趋势会有一定的分析,长时间管理经济的人对经济现象有它独到的见解,有经验的指挥员常

能对敌方的行动作出较为正确的判断。

(2) 找出统计规律

自然现象和人文现象不会简单地重复,总结出来的预报经验也未必次次都灵。于是人们开始寻找一些现象的统计规律。比如说,股票资料非常丰富,于是有人对它加以分析,找出其中股价升降的规律,并且用统计学方法加以整理。还把现代统计学用上,建立各种各样的统计学模式。更有些人还把这种统计学模式制成软件,供广大股民使用。

(3) 研究事物发生、发展的内在原因

要真正准确预测一个现象的发展就必须了解它发生、发展的内在原因。

以股票预测为例,股市的走势受到经济形势、企业业绩、政策调整、股民心态等方面的制约,还会受到突发事件的影响。将这些因素研究清楚谈何容易。因此,尽管老股民比新股民有经验,但也有翻船的时候。有些人用股票资料建立了一些统计模式,但这种模式也只能作为预报股票走势的参考。因此,一般说来,股票的预测是相当难的,因为人们对股价变化的内在原因还缺乏了解。

(4) 对预测准确率进行评估

人们做出的预报是否准确,需要用实际资料加以验证。如果发现有不准确的时候,就需要找出报错的原因并加以改进。

1.3 气象预报这样搞

气象预报也是一种预报,是本书的主题,因此我们需要在这里再多讲一讲。气象预报的发展也应当遵从预报问题的一般规律。

(1) 总结经验

我国的天气谚语是劳动人民千百年来观察天气变化的经验总结。谚语简单易记,又能相当准确地表达人们对气象现象的认识。

如“天上钩钩云，地上雨淋淋”就是很科学的。当然，天气谚语也有不够科学的部分。这些后面还会谈到。

(2) 找出统计规律

现代统计学是数学的一个分支，它提供了众多统计学方法用于表达事物之间的关系。因此，学好统计学对做好天气预报相当重要。

当然统计学给出的是事物之间的数量联系，至于它们之间的物理联系仍需要人们进行进一步的研究。

(3) 研究天气变化的规律

我们知道地球绕太阳公转，而且地轴与黄道面（地球公转的轨道平面）成 66.5° 的交角，因而一年之中一地接收到的太阳辐射会有规律地变化，从而形成春夏秋冬，寒来暑往。因此我们就可以预先知道春夏秋冬何时到来。但是，一年春天多风，另一年则相对平静；一年夏季酷热，另一年则相对凉爽；一年秋高气爽，另一年则秋老虎猖狂；一年寒冬难耐，另一年则相对温暖。我们不仅需要知道冬冷夏热（这已经成为常识，因而也不需要预报了），还需要知道某一年冬夏天气变化的独特风味。这一下就难了，我们知道它的变化规律吗？

经过长时间的研究，人们已掌握了不少天气变化的规律。比如说，发明了天气图，知道了影响天气变化的高压、低压等天气系统，提出了气团和锋面的概念，知道了不同天气系统到来时的晴雨分布。从天气系统的发生、发展来预报天气，叫做天气图预报方法。

在理论研究方面，人们建立了描写天气变化的大气动力学方程组，从而把天气变化的物理规律写成了严格的数学公式。用数学物理方法预报天气，叫做动力学预报方法。用计算机来实现这种预报，叫做数值天气预报。

因此，在已经研究清楚的大气运动规律的范围内，有关的天气预报可以做得相当准了。

然而预报错误的事仍时有发生，原因就在于人们对气象现象发生的规律了解得还不够深入。

不同的预报对象有不同的规律。即使同一个预报对象,预报的时段不同,其规律也不一样。比如说,1~3天的天气预报可以用解大气动力学方程组的方法来做。预报时效延长到1周,用这种方法做预报也还行。时效再长,比如说预报一个月、一个季度甚至一年,需要掌握的规律就大相径庭。而且时效不同,预报的要求也不同。比如机场的雾,人们希望预报几小时后消散。1~3天的晴雨,只希望预报出大致的雨量。而一个季度的预报,只要报出一个大致趋势就行了。比如说,春天制作预报,首先希望知道汛期是多雨还是少雨、是热还是凉,对雨量多少、冷暖程度的要求就没有1~3天的预报那么高了。

预报对象还有空间范围的差别,既有大范围雨雪和寒潮、热浪的预报,也有个别城市晴雨冷暖的预报。所有这些预报,要求各异,规律不同,制作方法也各有千秋。

气象预报时效不同、范围不同、对象不同,预报准确度是不一样的。同时,由于不同的预报要求不同,因而对预报准确与否的衡量方法也是不同的。

(4) 对预报效果进行评估

做预报是为了应用。从不同的角度看,预报效果也不尽相同。因此,对预报效果进行评估是不可或缺的重要一步,也是改进预报不可缺少的一环。

1.4 预报难以很准确

尽管人们想尽了办法,但预报还是难以非常准确。预报之所以难以准确,这有多方面的原因:

首先,预报对象有其自身的发展规律,目前人们还难以完全掌握这种规律,比如说,天气变化就涉及到复杂的物理、化学和生态过程,而目前人们对这些过程的了解还很不深入,又难以全用数学物理方

法加以描述。目前人们使用的数学物理方程,还难以全面反映大气运动的规律。

其次,现代科学证明,在人们用来描述大气运动的方程中,其实存在着一定的不确定性。当人们从大气运动的初始状态出发计算未来的大气状况时,初始状态微小差异会使后来的演变结果大相径庭,人们把这种现象叫做混沌。混沌现象在其他自然科学领域同样存在,并且这种现象使人们对未来大气运动的描述不可能做到精雕细刻。

第三,自然现象的演变很复杂,许多现象受到各种因素的外在干扰,其演变规律有着一定的随机性。这种随机性决定了人们不可能准确地预报自然现象的细节。这种随机性是外界因素干扰造成的,人们称之为外在随机性。混沌现象是描述事物发展的数学方程中固有的,人们称之为内在随机性。两种随机性同时影响预报的精度,当然预报就难以做准了。

1.5 用好预报需协同

预报是为了使用。预报发布之后,这种预报能不能起到很好的作用呢?这就不只是预报部门一家的事,而要看预报部门和用户能不能协同动作了。首先,最重要的是要将预报及时送到用户手中。这方面还有很长的路要走。2005年东北发生的一次水灾,气象部门也做了预报,可这种预报未能及时送达基层,结果村民和小学生仍然受到水灾危害。

更重要的是,现行的预报体制是气象台发布预报,用户被动地应用预报。预报部门和用户之间缺乏一种互动的机制。要做好预报需要用户参与预报应用的全过程。我们认为,做天气预报以采用如下流程为好:向用户解释预报产品的意义,用户和预报部门一起制定相应的对策(这种对策对不同的用户经常是不同的),用户向预报部