

朱跃建. 预报科学 [J]. 大气科学学报, 2010, 33 (3): 266-270.

Zhu Yuejian. The prediction science [J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33 (3): 266-270.

预报科学

朱跃建

(美国国家环境预报中心 国家海洋和大气管理局, 美国 马里兰 20746)

摘要: 世界各国和各地区的环境预报中心的主要任务是向本国、本地区 and 全球公众发布科学的环境预报, 包括天气、水、气候和空间天气的预报。气象学家与其他科学家合作, 一起制作可靠、及时、准确的分析结果、指导意见、预报及预警, 以确保人们的生命和财产安全, 促进全球经济的发展, 以满足人们日益增长的对环境信息的需求。为了更准确地制作预报、更好地服务大众以及最大限度地减少生命和财产损失, 这里提出了“预报科学”思想。预报科学包括现代观测系统的资料收集、观测与预报信息的实时交流、各种科学技术的发展、无缝隙预报以及公共服务等。预报科学可以概括为三个相互独立的部分, 即科学性、工程性和艺术性, 且三者存在相互作用。总之, 天气预报是大气与环境服务的重要组成部分; 预报科学的科学性、工程性和艺术性均服务于天气预报、服务于人民。

关键词: 天气预报; 科学性; 工程性; 艺术性

中图分类号: P4; P45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097 (2010) 03-0266-05

The Prediction Science

ZHU Yuejian

(Environmental Modeling Center, NCEP/NOAA/USA, Camp Springs, MD 20746, USA)

Abstract: Mainly, the national environmental prediction centers around the world are delivering the science-based environmental predictions, which include weather, water, climate and space weather to its nation and the global community. The meteorologists collaborate with all other scientists to produce reliable, timely, and accurate analyses, guidance, forecasts and warnings for the protection of life and property and the enhancement of the global economy, supporting of the growing need for environmental information. In order to make more accurate prediction, better service the people, and maximum reduce the loss of life and property, the PREDICTION SCIENCE have been addressed here. The prediction science includes the data collection from modern observations, real time exchange of the observed and forecasted information, development of various science and technology, seamless forecasts and public services, which could be described as: the SCIENCES, the ENGINEERING and the ARTS independently, and the interaction around them. In general, the weather forecast apparently is a key part of atmospheric and environmental service. The sciences, the engineering and the arts are all servicing our weather forecast, servicing our peoples.

Key words: weather forecast; science; engineering; art

0 引言

天气预报的历史可以追溯到几个世纪以前, 其

最早起源于传统的观测, 例如风向、气温、气压等的观测。现代天气图的使用起源于 19 世纪中期, 主要是用于风暴系统的理论研究。1845 年电报网的迅

收稿日期: 2010-03-30; 改回日期: 2010-04-12

作者简介: Yuejian Zhu, Research Meteorologist, Environmental Modeling Center, NCEP/NOAA/USA, Camp Springs, MD 20746 USA, Yuejian.Zhu@noaa.gov

速发展使得来自不同地区的天气观测资料的快速收集成为可能,这也为数据的实时应用提供了保证。1875年 4月 1日第 1张天气分析图产生,主要绘制了自前一天——3月 31日起的天气状况。自此,经过了很长时间的等待人们才第 1次成功地用计算机运行数值天气预报模式制作数值预报。因此,第 1次成功地在业务运行中对数值模式进行积分并发布实时预报可以说是天气预报史上最重要的里程碑。通过科学、现代技术、业务系统的发展(主要包括(超级)计算机、卫星观测、雷达探测、信息交流等方面的发展),人们取得了一次又一次的成功。更重要的是,可以通过无线电广播、电视、互联网、报纸等这些现代播报系统向人们及时地、不断地发布最新的预报。

在预报科学中,科学、工程和艺术分别扮演着不同的角色(图 1),但又都为天气预报系统服务,以确保社会大众能够得到准确、可信的预报,帮助他们作出更好的决策以及保护他们的生命、财产安全。《Completing the Forecast Characterizing and Communicating Uncertainty for Better Decisions Using Weather and Climate Forecast》^[1]一书向我们介绍了现代预报的理念,同时也提出了对未来预报的展望。其中有两个重要的概念,分别是预报的不确定性和不确定性预报。前者主要是针对科学家及预报的发展而提出的,后者主要是针对未来我们将为大众提供怎样的预报服务而提出的。研究表明预报时效越长则预报的不确定性也就越大^[2-4]。因此,为了更完善的服务大众,我们需要在现有确定性预报的基础上增加不确定性预报。为了使公共用户能够理解不确定性预报,则需要“公共教育”来帮忙。例如,什么叫不确定性预报?这些不确定性是从哪里来的?科学家是怎样理解“不确定性”这一科学术语的?它在什么时候能够帮助我们作出正确的决策?什么是无缝隙预报?等等。

在接下来的 3小节中,本文将详细介绍预报科学的科学性、工程性和艺术性。同时,一些新的术语也将被提及,如“不确定性”、“可靠性”、“解析度”、“准确性”、“连续性”、“经验性”、“后处理”等^[2-6]。

1 天气预报——科学性

预报员根据过去的和实时的观测信息、来自不同数值模式的产品、历史的或统计的信息以及个人的经验来制作每天的天气预报。预报员需要具备足够的科学知识以正确理解和综合所有这些信息,特

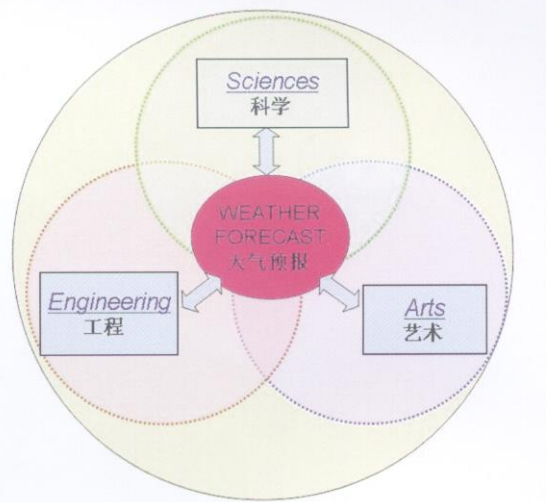


图 1 预报科学概念模型

Fig 1 The diagram illustrates the independency and interactions of the sciences, the engineering and the arts, which are all contributing to weather forecast, all servicing the peoples

别是当其中一些信息存在冲突的时候。更重要的是,一个预报员必须具备更强的能力来正确解释什么是气候特征、异常预报、高影响天气和极端事件,以及对外发布预警以保护大众的生命、财产安全。

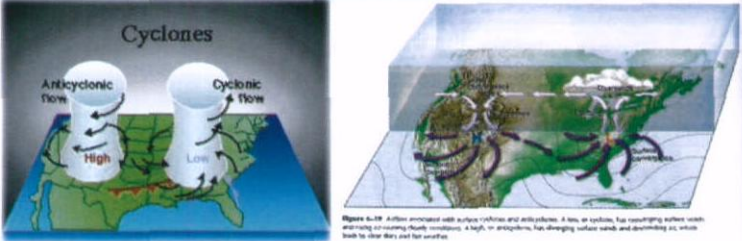
如果你阅读过朱乾根等著述的《天气学原理与方法》^[7]或 James Holton 的《动力气象导论》(An introduction to Dynamical Meteorology)^[8], 方程、涡度方程和散度方程必然会给你留下深刻的印象(图 2)。方程在气象学和大气科学中占有十分重要的地位。方程是垂直运动方程的偏微分形式(图 2),其结合了涡度平流(右边第 1项)和温度平流(右边第 2项)来判断垂直运动(应变变量)以及给出了三者之间的关系。在天气图上,气象学家和预报员可以用方程来分析系统的发展情况。方法很简单,那就是当有正的涡度平流而没有温度平流时,是负的即表明有上升运动。同样,当有暖平流时,也是负的,也会出现上升运动。但是,当有负的涡度平流或者冷平流时,则有正的,对应着下沉运动。有趣的是,垂直运动(上升或者下沉运动)与水平平流(暖平流或者冷平流)对于维持地转平衡和静力平衡也是十分必要的。

在实际天气业务预报中,也不能忽视各种预报经验的重要性。这是因为预报经验通常来自于长时期学习、开发和研究的积累。在这些经验中,有一些可以被用来当作教学材料指导他人,而有一些则可以直接进入预报后处理系统,达到提高预报能力的目的。

***Omega Diagnostic Equation* ω 诊断方程**

$$(\nabla^2 + \frac{f_0^2}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial p^2})\omega = \frac{f_0}{\sigma} \frac{\partial}{\partial p} [\vec{V}_\psi \cdot \nabla(\nabla^2\psi + f)] - \frac{f_0}{\sigma} \nabla^2 [\vec{V}_\psi \cdot \nabla(\frac{\partial\psi}{\partial p})]$$

$$\frac{\partial\zeta}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \nabla(\zeta + f) - \omega \frac{\partial\zeta}{\partial p} - (\zeta + f)\nabla \cdot \vec{V} + \vec{k} \cdot (\frac{\partial\vec{V}}{\partial p} \times \nabla\omega)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \vec{V}) = -\nabla^2(\Phi + \frac{\vec{V} \cdot \vec{V}}{2}) - \nabla \cdot [\vec{k} \times \vec{V}(\zeta + f)] - \omega \frac{\partial}{\partial p} (\nabla \cdot \vec{V}) - \frac{\partial\vec{V}}{\partial p} \cdot \nabla\omega$$


The figure contains three parts: three equations for the omega diagnostic equation, vorticity equation, and divergence equation; a 3D diagram of a cyclone showing anticyclonic flow around a high and cyclonic flow around a low; and a 3D diagram of an anticyclone showing diverging surface winds and descending air.

图 2 方程、涡度方程、散度方程以及气旋、反气旋的三维示意图

Fig 2 The omega (first), vorticity (second) and divergence (third) equations are the important tools for forecasters. The omega equation could use as diagnostic tool. The bottom 3-D diagrams illustrate the cyclone, anticyclone's flow which associated with front, and vertical motions.

2 天气预报——工程性

当开始观测和记录大气变化时,天气预报的工程也就开始了。如果没有工程师,又怎能交换、收集来自世界各地的观测资料?又怎能发射卫星和回收数字信号?又怎能用雷达来监测锋面系统和对流性降水?因此,观测、计算以及信息交流都是天气预报工程的一部分(图3)。不能否认的是,天气预报的发展十分依赖于工程技术的发展,它能够及时为天气预报的发展提供必需的资源。

(1)观测。科学家认为,卫星进入常规观测系统使得每天的天气预报水平有了很大的提高。过去,大洋上空仅有很少的常规观测设备。因此,由于分析质量或者模式初始条件的不足造成了预报水平十分有限。现今,卫星的观测几乎能够覆盖全球范围,且昼夜不停。雷达也能够帮助我们监测中尺度降水、阵风等。在过去的几十年中,全球范围内已经建立起许多自动观测站。

(2)计算。如果没有计算机,数值天气预报根本无法实现。如果没有现今的超级计算机,数以万计的观测资料也不可能在1h内实现同化。结合超级计算机和现行的地球系统模式框架,全球集合预报系统才有可能实现在一个执行模块中完成20或者40个不同初始条件的预报成员的积分。这对于

成员间在任意时刻的信息交换而不需要停止模式积分是十分有利的。

(3)通讯。通讯是气象现代化的一个重要组成部分。例如,早晨当我们开始进行资料同化时,初始时刻所接收到的观测资料数量会直接影响到分析场的质量。又比如,预报员和终端用户都需要实时的数值预报模式产品和经过后处理的产品。而这些若没有高速度的、稳定的通讯设备则根本是不可能完成的。

3 天气预报——艺术性

常规天气预报是一项公共事业,主要由政府支持。当然许多私营部门也做天气预报服务。天气预报的用户可以分为许多类,例如:一般公共用户、特殊用户、决策者和管理人员等。不同用户对天气预报的需求有所不同,他们对预报结果的理解程度也有所不同。比如,需要让用户知道什么是夏季的高温指数(HI—heat index,即通过结合温度和湿度、人体可感知的相当温度而得到的指数)。为什么在夏季同样的温度下人们的感受却不同?这主要是由于湿度起了相当重要的作用。在冬季也可能出现同样的情况。比如,在有阵风和无风的情况下,人体可感知的温度也有很大的不同。在这种情况下,气象部门会发布寒冷指数(WCI—wind chill index)。



图 3 观测资料的收集、传输及交流以及资料处理、数值计算等过程的流程示意图

Fig 3 The diagram illustrates the transition and communication of various observations, the data process, numerical integration and calculation, and interactive display system

为了体现天气预报系统的艺术性,下面将对天气预报图、预警的发布和广播气象进行讨论。

(1)天气预报图。地面天气预报图基本上是由高、低压中心,冷、暖锋,雷暴和闪电等符号以及等值线组成的。你想知道锋面的颜色、符号所代表的含义么?蓝色代表冷锋(冷色调),红色代表暖锋(暖色调),绿色代表降水(图 4 右上),这些是不是很有意思?当预报员用这样的天气预报图在电视屏

幕上预报时,你马上就可以了解大部分的预报内容。为了让大众更容易理解天气预报图,气象学家做出了许多努力来设计天气预报图。

(2)预警发布。预警主要是为极端天气而发布的。极端天气通常都是与高影响事件联系在一起。例如,当飓风靠近沿岸时,在其登录前 24~72 h 将发布官方预警。该预警会发布预测的受影响区域。一般情况下,在收拾好贵重财产后,人们需要准



图 4 气象的艺术性 (主要展示了从国家级的指导预报产品通过媒体,再到用户和决策者的过程)

Fig 4 Display the meteorological arts through out the national meteorological centers to media, finally to public users, and decision makers

备撤离这些地区,有时时间短,应以保护生命作为第一选择。但是,龙卷风的监测和预警与飓风的预警有很大的不同。目前,我们还没有办法提前 24 h 或者更长时间对像龙卷风这样生命期一般只有几分钟的系统进行预测。

(3)广播气象。从广义上说,广播气象就是利用媒体快速地传递天气预报信息,它主要通过报纸、无线电广播、电视、网络以及手机等手段向外发布预报。如果没有现今的媒体,公共用户就不能够及时、迅速地获得预报信息。媒体的另一项功能就是通过合理解释利于他人理解,例如广播气象学家并不是简单地将预报信息告知大众,同时还帮助大众理解气象,理解天气预报。又如,电视播报员,人称表演艺术家,他们通过有限的银屏,在短短的 5~10 min 内,用通俗易懂的语言,告诉每一个人已经发生了什么和即将发生什么。在现代社会里,时事要闻、体育比赛和天气预报(人称新闻三要素)已经成为人们每天生活中所关心的必不可少的内容。

4 结论

究竟什么样的预报才是好的预报呢?每个人的答案都会有所不同。对于终端用户来说,他们需要的是对每天和所有事件的准确预报(如果可能的话准确率最好能达到 100%)。但是,对于预报员来说,他们知道,所有事件的预报准确率都达到 100% 是不可能的,因此,他们更加注重预报的连续性。好的预报取决于很多方面,主要包括先进和可靠的观测系统、现代化的模式和同化系统、后处理过程、产品的释用和预报员的经验等。只有将所有方面因素都结合在一起才有可能实现技巧性的、高质量的预报。好的预报来自很多方面,而不是一个单一的过程。

预报还有两个重要特性:可靠性和解析性。这也是评判一个预报系统好坏的重要指标,可以通过一些不同的检验手段对它们进行定量评估。根据预报系统的一般特性,预报和观测之间存在着系统性关系。通过这种系统性关系可以对模式预报和系统形态进行调整,使得预报与实际观测在统计上尽可能一致。解析性——预报系统与生俱来的可预报性,也是模式系统开发者最关注的特性,它是不能用

简单的方法进行修正的。可靠性——模式表现的统计特征,在实际应用中同样十分重要,它只需要一个足够长的历史预报资料就可以进行订正,或者通过改进预报系统就可以更直接、更容易得到一个较好的可靠性预报。

天气预报具备科学性、工程性和艺术性,且三者存在相互作用。但是,它们的特点也有很大区别。科学性主要考虑的是预报的完整性和充分性,其所追求的是事情的原因。工程性主要强调的是结果,尽管预报可能并不是很完美。艺术性就是给人以完美的想像,虽然预报可能不是太好,但是你会喜欢它。简单地说,就是完备(科学性)、完成(工程性)和完美(艺术性)。

致谢:谨以此文纪念我十分敬重的朱乾根教授!感谢陈雯同学将此文翻译成中文!

参考文献:

- [1] National Research Council of the National Academic (NRC). Completing the forecast: Characterizing and communicating uncertainty for better decisions using weather and climate forecasts [EB/OL]. 2006 [2010-02-09]. <http://www.nap.edu>
- [2] Toth Z, Zhu Y, Marchok T. The use of ensembles to identify forecasts with small and large uncertainty[J]. *Wea Forecasting*, 2001, 16(4): 463-477.
- [3] Toth Z, Schultz P, Mullen S, et al. Completing the forecast: Assessing and communicating forecast uncertainty [C]//Preprint for ECMWF Workshop on Ensemble Prediction, November 7-9 2007. 2007: 23-26.
- [4] Zhu Y. Ensemble forecast: A new approach to uncertainty and predictability[J]. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22(6): 781-788.
- [5] Palmer T N, Hagedorn R. Predictability of weather and climate [M]//Toth Z, Talagrand O, Zhu Y. The attributes of forecast system. Cambridge: Cambridge University Press, 2006: 584-595.
- [6] Zhu Y, Toth Z, Wobus R, et al. The economic value of ensemble based weather forecasts [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83(1): 73-83.
- [7] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法 [M]. 4版. 北京:气象出版社, 2007.
- [8] Holton J. An introduction to dynamic meteorology [M]. 2nd ed. New York: Academic Press, 1979.

(责任编辑:倪东鸿)