

# 美国“强对流预报哲学与技术思维方法”简述

■ 周庆亮

与其他人类探索活动不同，强天气预报是依赖科学认知中细微差别的各个方面来预测即将发生的、可能从来没有出现过的灾害。你无法在强天气预报领域里找到任何一种单独的、完全可靠的方法来解决这个问题。因此，那些习惯用一种预报方法或者完全依赖数值预报的人，在制作强天气预报时很快就会陷入困境，甚至导致预报失败。

“常规预报”已经拥有丰富的数据样本、可预报的大气动力因子（大部分是静力平衡的）和悠久的历史；而强天气预报只有一些粗略的数据，大气运动也大多不满足地转平衡，并且坚实可靠的研究只有短短几十年历史。所以，成功的强天气预报需要把客观分析和主观思考非常巧妙的结合起来。

## 一、预报流程

预报的目的是准确地断定正在发生什么，未来它将可能如何变化。其决策过程分为三部分：信息的认识、理解以及预测，分别对应着气象术语中的分析、诊断和预报。

### 1. 分析 ( Analysis, “What” )

分析过程是解决正在发生什么天气的问题。这在整个预报过程中是第一步，是一个认知的过程。预报员需要查阅各种图形的、数据形式的当前天气观测记录，查看雷达和卫星图像等遥感数据，甚至眺望窗外。这个步骤使预报员在脑海中构建了针对当前大气状态的一个四维空间模型。20世纪90年代以前，分析过程常常因为绘图或通信系统的局限而导致信息缺乏。如今情况发生了变化，预报员拥有了丰富的天气图和数据，这就需要预报员优先选择一些数据而不是随意使用，并且需要熟悉所使用的数据内涵，

从而在其中选优。因为像地面图这类的图形产品有大量的原始资料信息使得预报员应接不暇，天气图手工分析技术可以帮助预报员有条不紊地分析关键要素，从而找到天气环流特征。

### 2. 诊断 ( Diagnosis, “Why” )

诊断过程试图去解释观测到的天气现象为什么会发生。这是一个理解的过程。预报员通过综合分析各种图表、图像以及其他产品，从而在脑海中对预报区域发生的整个天气过程有一个连贯、统一的理解。当诊断工作完成后，我们在分析中关注的任何一点，比如局地低温或者风暴的存在，都能得到正确的解释。

诊断并不是一个自身独立的过程，它在分析过程中需要不断地补充和强化。诊断工作的完成，可以使预报员对某一个天气为什么发生得到一个确定的答案。

### 3. 预报 ( Prognosis, “How” )

预报过程是指对观测到的天气未来如何变化做出判断。这是一个推断的过程。该过程建立在分析和诊断的基础上，并且要依靠预报员自身对天气的直观感知、深刻洞察和丰富的经验来完成。严格意义上的人工预报，是要在即使没有计算机模式预报的时候，也能够对锋面系统、气团运动、温度趋势以及天气事件做出确定的预报。实际上，计算机模型能够提高人工预报能力，特别是对未来12~24h的预报，作用最为明显。但是，概念模型、经验、直觉，当然还有来自诊断分析的理解力，都对最终的预报有巨大的影响。

## 二、客观方法

在分析、诊断和预报天气时，

#### 【编者语】

作者于2010年3月4—6日在美国俄克拉荷马州参加美国风暴预报中心主办的“第十届全国强对流天气研讨会”期间，遇见正在签名售书的强对流预报气象学家Tim Vasquez先生，他刚刚完成新著*Severe Storm Forecasting*。作者将书中关于美国开展强对流预报的一些预报哲学与技术思维方法进行整理后，在此与大家分享。

有很多客观方法。客观方法是指建立在数学、气象、物理甚至统计关系上的一套严密分析方案。也就是说，客观方法中已经包含了很多技巧。因此，不懂气象知识的人也可以通过运用客观方法得到有意义的预报结果。

动力学预报方法（从数值模式中得到的）和主观预报方法（预报员没有借助数值预报）相比，开始的几个小时内，人类的主观预报效果是最好的，因为预报员能够对当前大气的状态做出很好的诊断，并且直觉感官能够对未来几小时之内的变化做出准确的预报。模式不能解决大气中小尺度天气的性质和雷达、卫星以及室外观测等问题，这说明在强天气风暴预报中预报员的作用是巨大的。

然而对于小尺度以上的天气系统来说，运动方程和物理参数化变成了主要因子，对于时效大于4~6h的预报，模式预报效果好于预报员主观预报。当预报时效延长到数天时，模式预报效果仅仅比气候平均量稍好，这个时段的预报称为中期预报。当预报时效超过一周时，动力学预报虽然能够精细描述大尺度的天气，但它的预报效果并不好，这个时段的预报称为长期预报。

### 1. 数值模型

在强天气预报中，动力学模型（通常被直接称为“模型”）被大量应用。这些模型，是基于运动方

程基本精确的三维空间上的模拟，从而用数学方法及时地反演出某地的大气运动、温度以及湿度的情况。因为实际大气并不能被非常精确的模式化，因此模式模拟的误差随时间逐渐增加。与实况相比，当前大部分数值模式对未来5~10d的预报效果都很不理想。随着预报时效的增长，误差会越来越大，大部分天气预报机构将16d作为最长的预报时效。

无法精确模拟大气的另一个影响，就是无法精确地模拟出那些导致雷暴天气的重要大气特性。很多情况下，在大气层中层，1℃的差别可能会导致晴天或有龙卷超级单体出现截然不同的两种情况。尽管每个州早晨仅仅放飞一到两个探空气球，但是数值模式还是高度依赖这些探空数据。如今有很多方法去改善这种局限，但是数值模式的主体依然是探空气球的数据。相比之下，人们通常可以通过简单地观测卫星、雷达影像来获取探空站之间的各种大气信息。

目前，用于日常预报的数值模式，能够很好的解决州、郡以及全国范围预报，但是对单个雷暴天气的预报效果并不好，同样模式对冰雹、龙卷以及风暴的演变过程的模拟也很不理想。因此，数值模式可以很好地描述风暴产生前的环境场，但是一旦风暴生成后模式输出产品就不是很好用了。

## 2. 诊断参数

预报员可能会用到一些诊断参数，这些参数是以预报因子的形式表现出来的观测数据。这个过程甚至不需要使用计算机或者数值模式，只需要手动计算或者估计就可以。像稳定度指数和切变指数都是大家熟知的诊断参数。诊断参数为我们提供了一个简单的方法和明确清晰的预报因子。

尽管诊断参数可以简化我们的预报工作，但是同样也存在很多问题。首先，用这些参数来代表当

前正在发生的实际天气过程，只能用抽象的方式来实现。一个参数可能存在不正确的背景代表性，比如在暖锋北侧的基于地面计算的不稳定场就是这样的。另一个问题就是输入量没有代表性，比如使用12时的观测场来描绘00时（上述时间都为世界时）要发生的风暴。诊断参数还可能有数学上的缺陷，存在不充分的或者是有关偏差的检验评估。此外，多维度构成的参数还存在噪音问题。例如，强天气威胁指数（SWEAT Index），某一个特定输入值的组合或者误差就会导致没有代表性的结果。

在20世纪60—70年代，中尺度天气预报技术和计算机技术还不成熟，基于指数的预报制作非常普遍。这些技术使用了几十种稳定度和切变指数，在某些方面形成了集合预报的方法。尽管在概念模型、临近预报和分析方法中诊断参数体现了优越性，但是我们在使用它们时还是越精简越好。

一名谨慎的预报员必须理解所有诊断参数的内涵，把它作为预报的一个组成部分，并最精炼地去使用它们，把它们和其他分析工具（如数值模式）的输出结果做同样的处理。尽管很多诊断参数，比如不稳定度和切变大小是很有用的，但是预报员仍然需要仔细地分析基本的物理量场。

## 3. 技术流程

预报完全可以基于一个流程图或者决策树进行。因此，非常重要的一点是一个诊断参数的输出完全取决于一个或多个因子条件。如今存在大量值得我们注意的方法，像1979年的Moller流程图和1987年的Colquhoun方法。他们对决策过程的诸多重要方面的诠释是非常有用的，但是这些方法很死板，并没有考虑动力条件和主观因素。也就是说，在处理一些简单问题时，这些方法是非常有用的，比如对高空风玫瑰图进行分析。然而对于一些比

较复杂的非线性问题，比如对雷暴形成或强天气类型的预报，这些方法的误差会迅速地增加。

Moller在20世纪70年代后期提出了南部平原风暴预报流程图（图1）。从图中可以看到，这是一个基于环流型（Pattern-Based）的雷暴预报流程图，这些环流型特性均来自地面天气图。大气的非线性特征使任何一个固定不变的预报“决策树”在预报中的应用都过于简单和缺乏辨别力，但是这种工具对于阐述预报因子之间的关系是非常有用的。

## 三、主观方法

主观预报方法，需要应用理解力、相关知识储备、空间想象力以及完美的推理能力。如今计算机还不具备这些能力，所以人的主观能动性是预报过程中很重要的一部分：预报员运用很多综合分析技巧、多种直觉感受。但是决策方法有很大的随意性和不确定性，主要是靠经验来获得。

1982年Len Snellman给出了一个非常有用的主观分析和诊断的框架，称为“预报漏斗”——预报天气的必要步骤：假设一种天气过程仅仅是由比其尺度更大的天气过程引发的，所以要先从“大处”出发，然后依次在比之更小的尺度中分析下去。这种自上而下（从大到小）的分析方法意味着强天气预报需要先从全球天气尺度的天气图开始分析，然后再分析其中的中尺度系统。

### 1. 手工分析

手工分析天气图，被普遍地认为是预报员以及用户们简单地强化天气图上细节的过程。然而，有经验的预报员对此看法不同。手工分析是提高预报员自身的天气形势意识能力的一种实践。预报员需要吃透数据，并且综合所有的信息，脑海里形成一个完整的大气结构图。各种信息的获取，是来自于过程，而非结果。

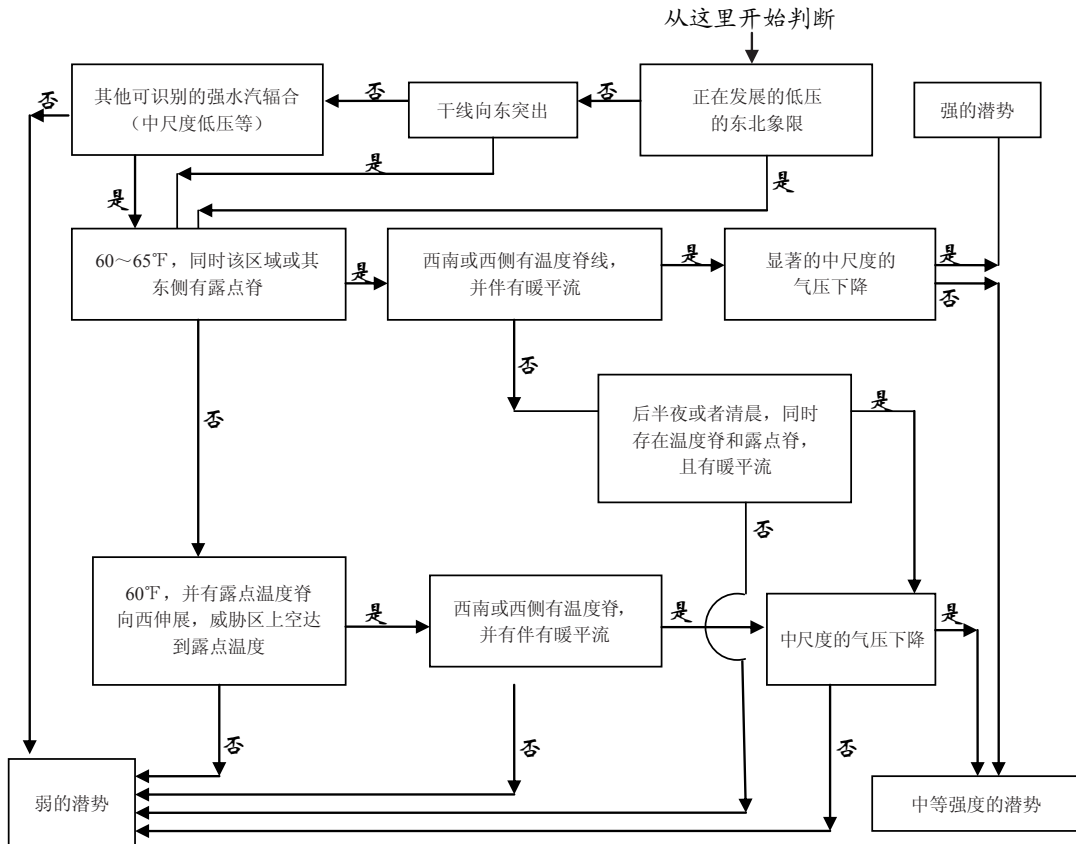


图1 美国南部平原风暴预报流程图

除非要图示给其他人看，否则天气图分析中标准的符号使用和整洁图面并不那么重要。天气图可以是集一切有效观测系统各种数据的资料同化综合分析的草图板，比如可以在地面图上勾勒出雷达动画中显示的出流边界位置的连续变化，仅仅是将之草草地速记下来。通常我们不需要去分析上层大气天气图上的等值线，因为在高空图上没有非常小尺度的观测数据，并且预报模式对高空图上的等高线、等温线、等湿度线以及风场的客观分析已经做得非常好了。然而，在图上确定急流位置、寻找短波槽、标注重要的演变都会极大地帮助预报员进行诊断分析，这些工作不能仅仅留给计算机来完成。

总之，每天大密度的地面数据为预报员提供了很好的条件，他们可以从中发现大量的重要天气形势和正在发生的天气现象。当高质

量的数据呈现时，预报员在识别天气形势重要特征方面要比电脑表现的更好，就像设计师在由计算机辅助的系统房屋设计中，领悟其社会的、美学的以及市场的价值方面要比计算机出色得多一样，尽管这种软件自身能够很容易的自动生成大量的土木工程方面的数据。大气探测、雷达数据、廓线资料和卫星影像也是分析诊断的主要工具。探空数据可以经过猜想场和数值预报场的修正，从而得到每天最大加热时刻、假想的气块能够被抬升时的探空预报场。只要有一根铅笔和半分钟的时间，这些工作就都可以完成，并且对一名有经验的预报员来说，这样做比用一大堆诊断参数有意义得多。

## 2. 概念模型

概念模型是指描绘了某一特定天气过程中大部分代表性特征的一个理想模型。它作为一个工作流

程，可以帮助我们理解一个复杂的天气过程和预测其发展变化。在 *Severe Storm Forecasting* 一书中，频繁使用了概念模型，从而用浅显易懂的方式陈述一些复杂的观点。像大家熟知的超级单体风暴示意图，风暴的每一部分都被加上了注解，就是一个概念模型的范例。

尽管概念模型可以在很大程度上帮助我们构想和记忆天气过程的主要部分，但是也会出现这样的不足，就是概念模型可能促使像“蛋糕切割器”机械地切蛋糕一样，使得考虑预报的方式千篇一律！然而为了每一份预报的制作准确，针对不同的天气过程需遵循各自特定的条件来分析预报。预报员只有通过仔细检查天气过程中的各个组成部分，考虑每个部分对天气产生的权重来避免上述问题的发生。这就是我们所说的“配料法”。换句话说，预报员应该力求去关心实际正

在发生的天气过程而不是往概念模型上生搬硬套。但是如果系统自身太过于复杂或者各种配料的作用并不是很清楚的情况下,那么从概念模型入手不失为一个明智之举。

美国著名强对流气象学家 Charles Doswell 指出,仅仅靠定量模式已经不能满足天气预报的需要。因此,作为气象学家和预报员需要对天气过程继续使用一些定性分析的信息,开展诊断分析这个关键的步骤。很多新技术的倡导者(这些人并不是气象专家或预报员)并不理解诊断工作是科学推理中不可或缺的重要一环。他们视其为一种适合自动化的、无聊的、重复性的工作。这对于气象科学来说是一场悲剧。

#### 四、平衡预报(The Balanced Forecast)

目前最常见的预报错误,是由于预报员急于分析而忽略诊断方法的运用或者是缺乏理解以及综合各类气象信息的能力导致的。有些预报员强烈怀疑,甚至公然的蔑视各种模式(比如数值模式或概念模型),但是在他们的预报过程中又强烈的依赖于这些模式,从某种程度上来讲这已经比较普遍了。这个问题就是我们通常所说的“气象癌症”,这个说法由气象学家 Len Snellman 在 1977 年提出。但我们不能完全归咎于预报员。很多预报部门由于受到技术和业务流程设计能力的限制,导致对天气的分析能力下降,并且要求许多预报员从诊断分析里面解脱出来,强调直接使用数值模式结果来预报以节省时间。在过去的三十年中,许多杂志文章都关注研究数值模拟,天气个例分析都是从数组、诊断分析量着手,而不是进行天气过程和机理分析,这也促使了“气象癌症”的发生。

预报员如果不综合运用各种预报方法与手段去制做预报,也许可以准确描述在当地发生的天气以及 RUC 模式产品有什么变化,但

是却无法正确解释为什么地面风会回转,或者为什么当地的温度会上升而不是其他地方。这些预报也许是经过认真分析和预测而得出的结论,但是很明显没有进行相关的诊断工作,缺乏深入细致的分析。

为了得到有依据的可信预报结果,预报员们必须在分析、诊断和预报这三个方面做得很好。这就需要灵活运用诊断量、模式结果和人工分析的结果。对危险天气区的探空廓线的分析是非常有必要的。随着分析过程的进行,预报员应该在脑海中对天气过程有一个完整的架构。RUC 模式可以用来预报暖锋的移动,但是在风暴即将生成时就不能直接采用了。我们要能够合理地融合各种预报工具以及数值模式指导产品的精髓,同时还要全面地理解各种工具的优缺点,明白何时该优先采用何种工具。

诊断和预报的最后阶段,也就是如何利用越来越重要的启发式决策手段来得到预报结果的一个过程。而这决定于两个关键因素:专业技能和预报经验。专业技能是指预报员运用科学知识的能力。预报员应该时刻了解最新的有关天气预报的文献、报告和相关会议,要用积极开放的心态去接受新观点和新概念。预报经验不是由年龄大小或从事预报工作的履历长短来衡量的,而是以从过去预报中总结经验的能力来判断,需要靠长时间解决问题经验的积累和对过去预报决策的不断检验和总结。

#### 五、总结与讨论

事实证明,只有那些最有天赋或最一心一意、富有献身精神的预报员才能在强天气预报中获得长

久的成功。只靠一张单一的图表或一个幸运的估计是绝对不能做出成功的强天气预报的。一所名牌大学的气象学毕业生也许可以熟练地通过解偏导数来得到垂直运动,但是却无法将其运用到实际预报中去,这说明预报技术很难从书本上学习到。课本上的知识和答题的能力并不是成功的关键,关键在于能否将这些知识运用到预报中去。只有通过认真的解读、亲身体验再结合深入地研究才能够最终领悟气象学的精髓所在。

目前,我国的气象学家、首席预报员也不断地在强对流天气预报员培训、预报方法研究以及预报业务实践中总结提炼强天气预报中的哲学以及技术思维方法。陶祖钰在总结 2009 年秋开始的中国气象局全国预报员分级培训工作时,强调了业务预报员对于基础知识、天气实践、长期积累以及哲学思维运用的重要性;俞小鼎、孙继松和章国材等也深入阐述了怎样使用科学的技术思维做好强天气预报的分析、技术方法的研究。有理由相信,在融会贯通了国内外强天气气象学家总结、提炼出的强对流预报哲学与技术思维方法后,我国的强天气业务预报员将会如虎添翼。

致谢:本文得到了国家气象中心强天气预报中心刘鑫华博士的指导和张小雯的帮助。

(作者单位:国家气象中心)

#### 深入阅读

- Vasquez T. 2009. Severe Storm Forecasting. Garland: Weather Graphics.
- 孙继松,陶祖钰. 2012. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题. 气象, 38(2):164-173.
- 陶祖钰. 2011. 基础理论与预报实践. 气象, 37(2):129-135.
- 俞小鼎. 2011. 基于构成要素的预报方法——配料法. 气象, 37(8):913-918.
- 章国材. 2011. 强对流天气分析与预报. 北京:气象出版社.