



## 论数值预报发展的途径

数值预报作为预报天气的一种方法，发展至今已二十多年的历史了。认真总结二十多年来正反两方面的经验，对于指导今后的工作是有益的。

里查逊(1922)首先近似地球流体—热力学方程的数值解，进行了六小时的预报，结果失败了。后来罗斯贝(1939)总结了天气分析预报的实践经验，提出了长波理论。在此基础上，恰尼等人对流体—热力学方程作了很大的简化，于1950年用简单的正压涡度方程成功的作出了500毫巴形势的短期预报，很好地报出了长波的演变。恰尼等人之所以在短期大形势数值预报上能取得这样一个突破，从原则上讲，是因为抓住了中纬度自由大气大尺度运动的矛盾特殊性的一面。实际上，一般的流体—热力学方程(这种未作简化的方程也称为原始方程)所描写的运动，既包含有天气意义的长波，也包含没有天气意义的声波，重力波。前者是慢波，后者是快速波。要预报天气变化，就是要预报长波运动，如何报出长波，是主要的问题。里查逊对原始方程不作任何处理，就是不分矛盾的主次，不抓矛盾的特殊性，结果在声波、重力波与长波共存的情况下，由于快速波对慢波的干扰破坏作用，导致失败。恰尼等人当时在作数值预报时，比较能和广大预报员的实践经验相结合，从天气图上可以看到数值预报的定性结果，数值预报的定性规则，也容易应用到天气图上。基于这样的实践和认识，简化原始方程(实质上是滤掉了声波、重力波)后，用一个非常简单的微分方程就抓住了中纬度短期大形势演变的主要特征。五十年代末，伴随着计算技术的飞速发展，注意力又转到原始方程上，十多年来，经过多方面努力，原始方程的预报精度比过滤模式有了显著提高，原因何在呢？应该看到，现在的原始方程模式，首先是在过滤模式研究的基础上，利用风和气压场平衡的关系来处理初始资料，实际上就是在初始资料中过滤掉重力惯性波，近年来不少人专门讨论所谓初始化问题，就是如何给出各要素间相互协调的初始场以求更彻底的滤波，尽管在初始资料中滤掉了重力惯性波，由于方程中包含有这种波动，所以在计算过程中还会产生，必须再通过合适的差分格式，人为的平滑等进行抑制，这一切在实质上就是另一种方式的滤波。从滤波以突出长波，抓主要矛盾这一点来看，两种预报方案

是一致的。从历史的发展来看，只有过滤模式的先行和成功，才可能产生现在的有别于里查逊的原始方程模式，也就是只有在抓住了长波运动的矛盾特殊性和主要矛盾的基础上，才能再作过细的工作以进一步改进长波的预报。

数值预报在短期大形势预报方面取得成功时所面临的任务是：一、做局地范围的具体天气预报。二、延长预报时效，做中、长期数值预报。

西方的学者们通过大气环流的数值模拟，看到方程组愈近于实际情况，空间和时间步长愈小，结果就愈好一些，于是认为数值预报进一步发展的关键是要建立一个“逼真”的数值模式，这样一来对计算机和观测资料的要求愈来愈高，似乎目前是计算机运算速度和观测资料不足妨碍了数值预报的进展。只要这几个问题解决了，数值预报的时效和准确性就会大大提高。这种观点英国气象局长梅森是说得最明白的。这难道是正确的观点吗？

首先，问题是什么叫做“逼真”？把不论主要和次要的所有因素都放进模式就算逼真了吗？正压涡度方程能说它不“逼真”吗？实践表明，不分主次的追求所谓“逼真”，越抓得多抓得细，就越会掩盖主要矛盾和丧失矛盾的特殊性。一般说来，用数学方法来研究物理过程时，问题的理想化是不可避免的，要考虑到过程的基本特点，而不能主次不分地考虑到所有各个方面，否则不仅使问题复杂化，而且会导致错误的结果。恰尼等人的实践结果正说明了这一点，他们在同一个短期模式的基础上力求逼真于实际大气，增加模式所包括物理过程，加细网格(采用大小网格相套，有的套数达三、四个，目前已做出步长为60公里的预报试验)，增多层次(垂直方向最多的达到18层)，延伸预报时间，企图一揽子解决局地天气预报和中、长期预报问题。如英国花了很大力量搞的十层细网格的原始方程模式，可是日降水量大于50毫米就报不出来，日本也类似。目前，局地范围的具体天气预报仍是用统计方法做的，数值预报不过是给统计方法提供预报因子，所谓“模式输出统计法”(简称MOS)的办法就是这样。至于延长预报时效的努力也未取得期望的效果，美国至今只发表36小时的预报准确率，不是没有缘故的。

我们认为,局地天气是和中、小尺度运动相联系的,而中、长期天气过程则主要和超长波相联系。现在的原始方程模式,实质上是针对长波尺度运动而设计的,而中、小尺度运动和超长波在物理机制方面与长波存在质的差别,这种不同质的矛盾运动,只能用不同的方法加以解决。不区分矛盾的性质,企图依靠同一种模式来解决所有的问题,是行不通的。

对于数值天气预报而言,利用现代观测技术加强和改进观测系统以得到更多更精确的资料无疑是需要的(特别是海洋,高山地区),但是二十多年来气象观测的进展是非常迅速的,人们所掌握的观测资料也较前大大丰富了,对比起来数值预报的进展就显得缓慢多了。可是同时我们看到目前动力模式普遍采用的古典初值问题,只用到一个初始时刻的资料,大量的历史资料并没有得到充分的利用。一方面强调资料不够,另一方面又将大量的历史资料弃而不用,在资料问题上,数值预报就这样陷入了矛盾之中。

现代高速计算工具的出现和发展对数值预报工作起了很大的促进作用。但是二十年来电子计算机已经更新到第四代,发展是相当快的。对比起来,数值预报并没有相应的进展。现在没有根据说计算技术的发展水平满足不了数值预报的需要。以某一种预报方案对计算机提出要求作论据是不充分的。

总而言之,短期大形势的数值预报,在1950年之所以取得突破,是因为当时恰尼等人能够总结广大预报员的实践经验,在实践的基础上,抓住了矛盾的特殊性,把流体运动的普遍规律和天气预报的具体实践结合了起来。但后来,却企图用解决短期预报的方法来解决中、长期预报问题,把精力主要放在差分格式的设计,计算不稳定性克服和新的计算方法的应用上(当然计算数学上减小误差是必要的,应该认真做)把数值预报这样一个物理问题几乎变成了一个单纯的计算数学问题,这是外国在数值预报工作中的唯心主义和形而上学倾向。在某种意义上说,正是这种错误倾向妨碍了数值预报取得应有的进展,我们应该注意并吸取教训。

伟大领袖和导师毛主席在光辉著作“论十大关系”中指出“自然科学方面,我们比较落后,特别要努力向外国学习。但是也要有批判地学,不可盲目地学。”在数值预报方面,我国的气象工作者努力学习毛主席著作,既认真学习外国的先进经验,又打破了常规、土洋结合,努力走我国自己发展的道路。

早在1958年顾震潮首先论证了对大尺度运动在动力方程保持准确的条件下,在一个瞬时使用多层资料和对指定层次使用多时刻资料其效果是等价的,在此基础上,建议改变问题的提法,象预报员一样,使用多时刻的资料<sup>[1]</sup>。后来,其他人也在这方面进行了工作<sup>[2][3]</sup>。1972年中央气象局研究所终于将使用多

时刻资料的模式在业务中试用。以后又提出用粘连函数及用二维数进行预报试验,也取得了初步成果<sup>[4]</sup>。在台风路径预报上,早在1961年中央气象局研究所就注意到高空图在正点观测八、九个小时后才能出来,在开始作预报时,一般除了初始时刻以外,还掌握有其后三小时和六小时的台风中心实况位置,由此可以得到开始三至六小时的预报误差情况,并探索了以此为依据的订正引导方案。董克勤等提出了一个机器定量计算与预报员分析判断相结合的两层订正引导方案,经检验其准确率超过了关岛美国气象机构和日本气象机构所发布的预报<sup>[5]</sup>。应该指出,这种机器定量计算与预报员的经验相结合的办法,不仅适用于台风,许多问题都可以这样做。甘肃省气象局吴国雄等所作的“高原东北部大暴雨过程物理量的分布及预报方法的初步探讨”,也是这方面的有成效的工作。

在局地范围具体天气预报问题方面,杜行远等认为可以根据大尺度数值预报结果,再使用中小尺度的动力模式进行计算,预报中小系统的天气,提出“大、小模式配套”,这与“大、小网格配套”不同,认为不同尺度的天气现象各有其矛盾的特殊性,应分别建立不同的物理模式,用不同的方法来解决不同的矛盾。这方面的工作在世界气象组织1976年10月于华沙召开的数值预报学术讨论会上作了报告<sup>[6]</sup>,受到与会者的重视和好评。

长期数值预报,首先碰到一个“可预报性问题”,这是外国用短期预报的方法(多层原始方程模式)延长预报时效,以对短期预报的要求作数值试验来搞长期预报而产生出来的一个问题,这是一个没有积极意义的问题。如果说,长期数值预报至今进展甚微,可能是由于没有在正确思想指导下进行充分的探索,而不是确实“不可预报”。我们认为所谓“可预报性”问题是和对长期天气预报如何提要求相联系的。要求长期预报像短期预报一样细致是不可能的。因为人们对客观世界的认识总是由表及里,由近及远,事物发展中的矛盾暴露有一个过程,人的认识也需要有一个过程,离得我们近的东西,我们认识得清楚些,离得我们远的东西,我们就只能知道它的大概,天气预报也是这样。就一次降水过程而言,它是由锋面,气旋等降水天气系统所造成的,但是这些降水系统常受一些半永久性的活动中心(如副热带高压,东亚大槽等)所制约。对长期天气过程的研究来讲,虽然不能在很早以前,对以后发生的某次具体的降水过程特点作出预测,但对空间尺度更大,时间尺度更长的半永久性活动中心的演变作出分析是可能的。弄清了某些半永久性活动中心的演变规律,对造成某一地区,某一时段较长时期降水的天气系统的多、寡、强、弱,在统计上大致就有数了。如果说,个别的天气过程,气旋和反气旋的可预报时限不能超过两周,这并不意味着不

能做长时期的天气预报,可能存在对这种时期来说是可以预报的个别过程整体的综合平均特征。这种综合特征比如月总降水量是有很大实际意义的。长期天气预报只报大的趋势,但力求准确。由此可见,长期天气过程和短期天气过程的对象是不同的,它们有着不同的物理基础。对短期来说主要是斜压不稳定使位能转化为动能,过程可以近似看成是绝热的。这就意味着初始场起决定性的作用。长期预报正好相反,初始场的作用随时间衰减,主要取决于能量耗散和补充的情况,即长期天气过程是非绝热过程。基于这种认识,中期过程是初始场影响和非绝热作用都重要,没有一个可以略去。所以我们认为,继解决短期预报之后,数值预报可能在长期预报上取得突破,最后解决中期预报问题。

非绝热过程物理上有许多东西现在还没有完全搞清楚,因此,有的人,如苏联的帕柯香<sup>[7]</sup>认为长期数值预报似尚无条件开展。其实,人类的认识总是从不知到知,从知之不多到多,这一切都离不开实践。只有通过实践我们才对长期天气过程的物理机制,逐步加深了认识。

1974年巢纪平在《长期天气数值预报的物理基础》一文中指出,长期天气的非绝热过程,是在太阳-大气-地球下垫面(包括海洋和陆地)的相互制约和矛盾斗争中形成的;在长期预报的数值模式中,必须考虑非绝热加热作用,应该象在短期预报中滤掉声波、重力波那样滤掉短期天气过程,仅仅预报长期天气过程的演变。

在我们最近的工作中,考虑到大气的加热场除决定于外界的因素如辐射和地表面状况以外,还决定于大气运动(温压场)本身,抓住初始场衰减的特点,揭露了大气中存在着温压场和加热场相互调整适应的过程。从物理上看,地气交界面上的热量平衡过程,决定了大气的加热场,这一过程联系到土壤和海洋中的热力过程,这些热力过程比起上述大气中温压场和加热场的相互调整适应过程来说是慢过程。这实质上是气体中的热力混合过程比液体和固体中的过程要来得快得多的反映。因此,在数值模式中忽略相对快得多的温压场与加热场调整适应的过程,即认为这一调整适应不需要时间,结果大气的温压场和加热场都由地气交界面上的温度场所决定,而地气交界面上的温度场本身是随时间改变的,它受到土壤中的热传导和海洋中的洋流的影响,也受到大气运动状况的影响,后一种影响叫做“反馈”,这是云引起的,云的存在使得在空间和时间上恒定的太阳辐射变为不均匀的,这样,就使地-气系统中的过程互相紧密联系起来。反映出对长期天气过程而言,下垫面的热状况是主要矛盾,决定性的因素(不是唯一的因素)。在工作中提出了描述上述物理过程的长期数值预报模式<sup>[8]</sup>,该模式用两参数描述大气的温压场和流场,着重考虑

了青藏高原的地形影响,在地温的处理中,求得了热传导方程的解析解,从而避免了时间上的差分。这里最主要的是提出了物理参数的统计决定的办法,动力模式中的物理参数(湍流系数,摩擦系数,热传导系数等等)本来应是一些可变参数,但实际取为常数,而所取之值有很大的任意性,用历史资料采取统计方法决定物理参数,使其随时间和空间取不同的值,这当然更符合气象问题的实际。这样作一方面使模式能容纳更多的气象实况资料,同时也使动力方法和统计方法接近起来。更本质的讲,大气运动有服从物理定律,即满足流体-热力学方程确定性的一面,又存在不完全确定的随机性的一面。进一步可以把动力模式中的物理参数看成一组随机变量,用其数学期望值确定,这样得到微分方程的解,就既考虑了大气运动确定性的一面,又考虑了随机性的一面,使动力方法和统计方法更有机地结合起来。

上述模式是在物理参数的统计决定上应用了历史资料,当这些参数确定之后,问题仍然是一个初始值问题,不过对长期预报而言,这个值不是某个时刻的值,而是某种平均值,例如月平均值。需要用到的资料是大气的温压场和下垫面的温度分布。最近我们进一步论证了大气温压场的连续演变与上述初值问题是等价的,得到了多时刻的长期数值预报模式,用连续演变的大气温压场图来代替下垫面的温度(地温、海温)分布。这在理论上和实践上都是很有意义的,从理论上,这表明了考虑下垫面热状况和从环流报环流在物理上是并不矛盾的。在环流的连续历史演变中形成了下垫面的一定热状况,这一定的热状况就是从环流报环流的物理基础。从环流报环流与考虑太阳-大气-下垫面的相互制约以及下垫面起决定作用实际上是统一的<sup>[9]</sup>。在实践中,我们现在还缺乏各层地温和海温的资料(在数量上和质量上都不能满足要求),但却有连续演变的大气温压场资料,充分利用已有的多时刻资料来做预报,应该是一个多快好省的办法。

从上述部分工作可以看出,我国在数值预报工作中从实践经验入手,注意分析矛盾的性质,抓住矛盾的特殊性,用不同的方法解决不同质的矛盾,尽量简化问题以便突出主要矛盾,把握住问题的本质和主要特征,再在此基础上进一步改进工作。

在长期数值预报工作中,我们要认真学习和总结我国广大劳动人民在生产实践中积累的丰富的长期预报经验,要吸取天气气候方法、统计方法等方面的预报经验,加强长期天气变化的物理规律的研究,逐步建立具有我国特点的长期数值预报理论和预报方法。

目前国内数值预报还未广泛开展,人们对它的评价也不一致,但是应该指出,只要数值预报的发展不偏离正确的道路,是有生命力的。数值预报与天气学预报、统计预报的共性在于都是探寻天气变化的规律

以预报天气，但是它们探寻的角度和深度是不尽相同的。天气学方法、统计方法没有也不可能更本质地揭示大气运动的物理成因，更无法定量的说明各种物理因子对天气系统的影响，而数值预报正是在这些方面比其他方法前进了一步。由于天气变化的复杂性，需要多种途径进行研究，数值预报方法与其它预报方法一起，共同构成了天气预报方法的不可分割的整体，它们之间的关系，不是谁好谁差的问题，更不是谁取代谁的问题，而是要互相配合，取长补短，彼此借鉴，共同提高的问题。

我国的数值预报工作开展以来，在基本理论，模式设计和业务预报方面都作了一定的工作。由于林彪的反革命修正主义路线特别是“四人帮”的干扰和破坏，也使这一工作受到了很大的损失。以英明领袖华主席为首的党中央，继承毛主席的遗志，一举粉碎了祸国殃民的“四人帮”，全国人民意气风发，斗志昂扬，抓纲治国，形势大好，我们相信，我国的数值预报工作，也像其他各项工作一样，必将取得更为迅速的进展。

## 参 考 资 料

- 〔1〕 顾震潮 天气数值预报中过去资料的使用问题  
气象学报 1958年第3期
- 〔2〕 丑纪范 天气数值预报中使用过去资料的问题  
中国科学 1974年第6期
- 〔3〕 郑庆林，杜行远 一种新数值天气预报模式  
中国科学 1973年第3期
- 〔4〕 数值预报工作介绍 中央气象局研究所二室
- 〔5〕 董克勤 李曾中 张婉佩 张杰英  
“两层订正引导”台风路径预报方案初步应用  
气象科技资料 1976年第8期
- 〔6〕 杜行远 徐一鸣 纪立人 华沙数值预报会议情况介绍  
大气科学 1977年第1期
- 〔7〕 帕柯香 苏联天气预报的情况和问题  
气象科技资料 1976年第6期
- 〔8〕 长期数值预报若干问题的初步研究  
兰州大学学报（自然科学） 1977年第2期
- 〔9〕 一九七五年长江流域长期水文气象预报讨论会技术经验交流文集 长江流域规划办公室编印  
(兰州大学 郭秉荣 丑纪范)