

国外中期数值天气预报的现状

随着生产的发展,人们日益要求气象部门能够作出比较准确的4—10天的中期天气预报。与短期和长期预报所不同的是,中期预报既要求有较准确的初始资料,又要考虑大气过程的演变。因此长期以来有不少气象工作者认为,中期预报是天气预报中一个最难解决的问题。现将国外这方面的现状和进展综述如下。

一、概况

近年来,国外在大气可预报性方面作了不少研究

工作,多数的研究证明,逐日数值天气预报在理论上的可预报时限一般不超过两周,平均预报不在此限。这种关于大气可预报性的研究为中期数值天气预报提供了一定的理论根据。七十年代以来,在短期数值天气预报取得显著成绩后,有不少国家在进行中期数值天气预报的研究。现将已建立中期数值预报业务的一些国家或地区及其所用的业务模式和预报时效等列表如下。

由表可见,国外用数值方法作中期业务预报的方式不外:一是先用多层模式作较短中期预报,然后用

国外中期数值预报业务模式(1—3), <8>

| 国 家 | 数 值 模 式 | 时 效 |
|------------|--|----------------------------------|
| 美 国 | 1. 7层北半球原始方程模式(7L—PE) 2. 3层北半球原始方程模式(3L—PE) 在7层模式的84小时预报后,每周用3层模式作三次直到10天半的预报 3. 正压过滤模式 作为比较,在7层模式的预报后,也接着用此模式积分到10天半(500毫巴),除逐日形势预报外,尚作6—10天的平均形势预报及平均温度和总降水量预报。 | 84小时 252小时 252小时 |
| 日 本 | 1. 4层北半球原始方程模式(4L—NHM2) 2. 辐散正压模式(DB) 在4层模式的4天预报后,接用辐散正压模式作直到8天的500毫巴预报。 1978年内,已用4层模式作了一些试验性的8天预报,今后将用4层模式作8天业务预报。 | 96小时 192小时 |
| 西 德 | 1. 6层原始方程模式 2. 半隐式正压原始方程模式 在6层原始方程模式的48小时预报后,接用此模式每天作两次72或96小时的500毫巴延伸预报。 | 48小时 96小时 |
| 加 拿 大 | 1. 5层、20波谱原始方程模式,每天作一次预报。 2. 结合回归和相似法作温度和降水概率预报。 | 120小时 |
| 澳大利亚 | 1976年在墨尔本世界气象中心用单层、波数15的半球谱模式作直到4天的延伸预报。1977年因预报效果欠佳,停止发展这种单层模式。 | 96小时 |
| 苏 联 | 1. 莫斯科世界气象中心用6层原始方程模式作为84小时半球形势预报,发布10张预报图。 2. 西伯利亚区域水文气象研究所用6层原始方程模式的绝热方案每天作一次北半球流型、风向和垂直速度的84小时预报。 3. 1973年起用天气—动力—统计预报法作候、旬、温度和降水预报。 4. 用3层准地转模式,及正压原始方程模式作3—7天延伸预报。 5. 1977年4月起苏联南极站用半球正压谱模式作500毫巴高度和温度的7—10天预报。 | 84小时 84小时 10天 7天 10天 |
| 欧洲中期天气预报中心 | 按计划,欧洲中期天气预报中心(EMCWF)于1979年第4季度开始用15层全球原始方程模式(水平分辨率为1.5°经纬度),每天作一次10天业务预报。 | 10天 |

正压模式作“接力”预报;二是用多层半球或全球模式直接作10天预报。这些预报,多是前5天发布逐日预报,对6—10天发布平均预报。此外有的国家用短期数值预报结果(如第三天预报)作预报因子,结合统计方法作10天预报。

以上是业务预报。在研究试验中预报时效则已超

过10天。例如美国国家气象中心用3层全球模式作了大量预报试验,通过技术上的不断改进,如消除计算噪音、缩短机器计算时间以及改进初始分析等,试验预报的时效已延长到16天<2>。又如美国的地球物理流体动力学试验室(GFDL)及哥达德空间科学研究所(GISS)等均用半球或全球原始方程模式作了不

少 14 天试验预报〈4〉。

二、业务和试验预报效果

1. 美国气象中心 (NMC)

1977 年 11 月起, 美国气象中心已将数值预报业务的时效延长到 10 天半〈3〉。除逐日预报外, 尚作第 6—10 天的平均气压形势图、平均温度及总降水量预报。验证表明, 6—10 天的逐日预报价值不大, 其平均预报则具有一定水平。图 1 为其业务预报的验证结果〈5〉。

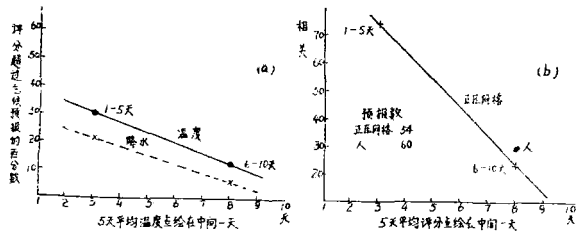


图 1 1—5 和 6—10 天预报的 5 天平均验证评分 (a) 温度 (5 级) 和降水; (b) 500 毫巴形势预报。验证时间为 1977 年 12 月 8 日至 1978 年 5 月 4 日

由图可见, 6—10 天的 5 级 (甚高于常值、高于常值、接近常值、低于常值及甚低于常值) 温度预报评分比气候预报高 12%, 降水预报也在一定程度上超过了气候预报。此外, 人工修改后的 6—10 天平均环流

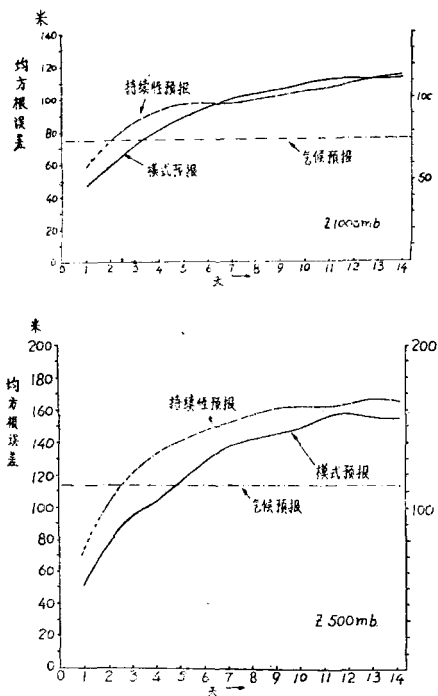


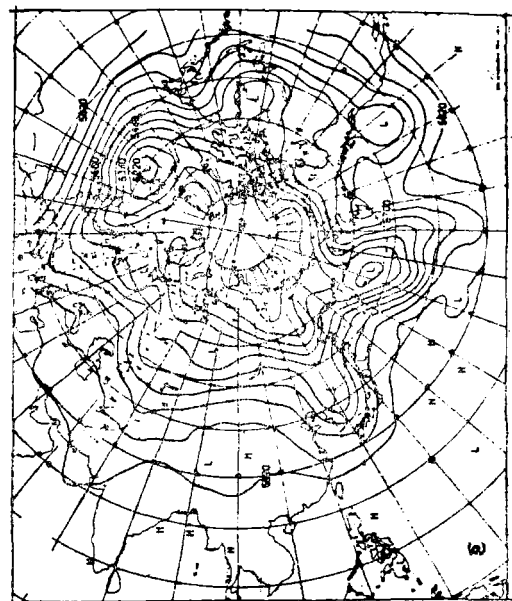
图 2 GFDL 大气环流模式等压面高度预报的平均标准差 (就 6 个个例平均)

预报显著地优于正压预报。

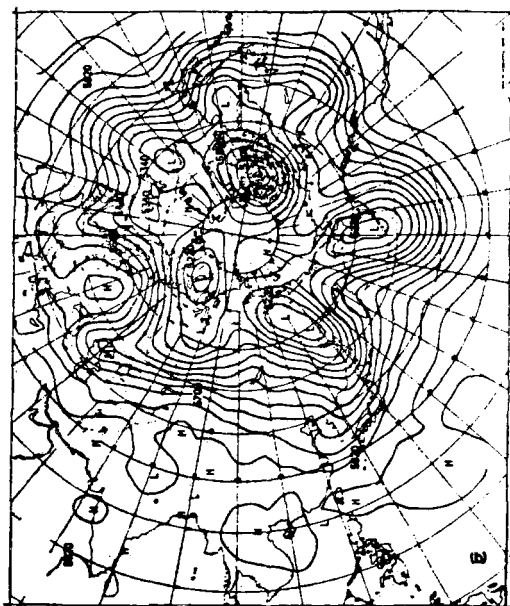
2. 美国海洋大气管理局地球物理流体动力学试验室 (GFDL)

美国的 GFDL 及 GISS (哥达德空间科学研究所) 等单位作了大量的中期数值天气预报的试验研究工作。图 2 是 GFDL 用 9 层原始方程模式 (水平网格距为 220 公里) 所作的 14 天预报试验结果〈4〉。

由图可见, 1000 毫巴模式预报的标准差曲线在第



(a)



(b)

图 3 日本气象厅 4L—NHM2 的 500 毫巴高度的 8 日预报示例, 1977 年 10 月 10 日 12 时 (世界时), a 为预报图, b 为实况。

3天与气候预报的标准差线相交，直至第7天前，模式预报误差低于持续性预报。500毫巴模式预报的标准差曲线在第5天与气候预报的标准差曲线相交，在两周内，模式预报误差均低于持续性预报。

此外，都田总结 GFDL和GISS的试验尚指出，500毫巴的模式预报优于1,000毫巴预报、夏季预报优于冬季预报。在冬季，500毫巴预报的水平在第10天为零，而1,000毫巴在第6天为零⁴。

3. 日本气象厅

日本气象厅从1977年4月起，用4层半球原始方程模式(4L-NHM)和辐散正压原始方程模式(DB)作8天预报。1978年8月1日，在业务工作中换用改良的4层模式4L-NHM2。同时，已用4L-NHM2作了一些试验性的8天预报，结果是令人满意的，模式较好地模拟了基本流型(或主要的波分量)，现在在作进一步试验，以确定是否可用4L-NHM2取代DB模式直接作出8天业务预报³、⁶、⁷。图3为日本气象厅4L-NHM2模式的6天和8天预报示例⁷。

4. 欧洲中期数值天气预报中心(ECMWF)

欧洲中期数值天气预报中心自1975年成立以来，用不同的大气环流模式作了大量中期数值预报试验工作，取得了较好的成就。图4—6为计划用于业务预报的15层全球原始方程模式的两种方案 X_{27} 、(取美国GFDL的参数化方案)及 X_{33} 、(取ECMWF参数化方案)试验预报的误差检验⁸。

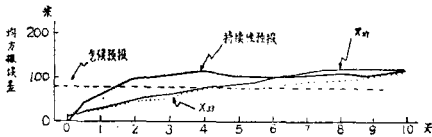


图4 1000毫巴高度场预报的均方根误差 (就20°N和82.5°N取平均)

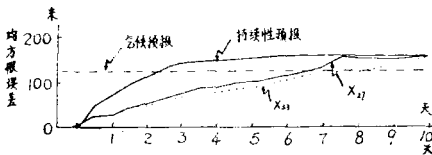


图5 500毫巴高度场预报的均方根误差 (就20°N和82.5°N之间取平均)

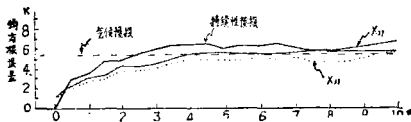


图6 850毫巴温度场预报的均方根误差 (就20°N和82.5°N之间取平均)

由图可见， X_{33} 的1,000毫巴高度预报直至第10天前均优于持续性预报，而 X_{27} 在第6天后不如持续性预报。模式的500毫巴预报要更好些，约在7天前

的预报误差均低于气候预报，也均低于持续性预报。而两类方案的850毫巴温度预报，7天前均优于持续性预报，且优于气候预报。总的看来，直到7日之前，预报效果是好的，7天后的效果较差，但用于作平均预报，也仍有一定实用价值。

此外，欧洲中心总结用不同模式所作的预报试验指出，高分辨模式的预报效果优于低分辨率模式；仅就500毫巴等压面的预报图看，谱模式和格点模式之间无明显差别；水平差分方法的不同将影响预报效果⁶、⁷。

三、问题和发展途径

中期数值天气预报的特点是既要求有较完善的初始资料，又要能较好地描述能量的消耗和转换过程。在这些方面仍然存在着不少问题，发展中期数值预报，也仍然要从解决这些问题入手。

1. 资料问题

随着预报时效的延长，对预报有影响的范围呈3次方地扩大。据研究，作10天预报必须要用北半球并扩大到20°S范围，以及从约30公里高的大气到深至海面以下5米范围的资料⁹。目前不能满足这一要求。

其次是观测网问题。理想的情况是300平方公里一个观测点，至少也要大陆上500平方公里一个点，海上700平方公里一个点⁹。而目前，测站集中在北半球陆上，而在南半球和海上，特别是低纬地区有很多空白点。因此要依靠气象卫星、飞机、船舶、浮标等观测的气象资料。虽然这些资料观测时间不一，资料的质量也不够好，但这是唯一解决资料问题的途径。因此，进一步研究四维资料同化方法就非常必要。近年来这方面的工作有进展，但尚不能满足需要。

2. 分辨率问题

一般认为，对中期预报来说空间尺度较大的系统才有重要意义，因此分辨率的大小无关紧要。但研究证明，甚至大尺度的流型在较长时间内也受空间分辨率的影响。例如都田等(1971)曾用不同分辨率($N=20$ 、 $N=40$ 及 $N=80$)^{*}的模式进行试验，发现 $N=20$ 的预报结果与实况相差很大，而 $N=40$ 的模式则很好地报出了反气旋的活动。此外，水平分辨率对涡旋动能、对波动的性能均有明显的影响，尤其是对行星波，分辨率不仅影响波的位相，也影响波的振幅⁴。模式的水平分辨率愈高，预报的行星波振幅愈接近实况。

模式的垂直分辨率对大气环流特征也具有显著的影响。例如都田等用9层和18层模式所作的比较试验说明，用18层模式预报的位势高度和温度场均远优于9层模式⁴。因此，在计算能力允许的条件下，加大模式的分辨率也是提高中期数值预报的一个重要途径。

3. 物理过程

(1) 山脉效应：大型山脉对大气运动的影响是

* 指从赤道到极点之间的格点数为20、40、80。

众所周知的。无论是大气环流模式或业务预报模式均需考虑山脉的影响。但至今还没有一个在数值模式中较妥善地引进山脉效应的办法。在这方面,还有不少需解决的问题:如何表现山脉效应、山脉如何影响大尺度流型、使用什么座标引进山脉效应等等^{<9>}。因此,山脉效应的处理仍是目前中期数值预报中急待解决的问题。最近,全球大气研究计划(GARP)已制定了关于研究气流越过和绕过山脉的子计划;日本在处理4L-NH₂的山脉效应方面已作了一些有效的改进,在一定程度上提高了预报的精度^{<3>}。

(2) 次网格尺度过程的参数化

所谓参数化,系指用大尺度参数描述次网格尺度过程对大气状态变化的效应。在中期预报中,既然要考虑大气过程的演变,考虑能量的消耗和转换,就必须对地表面和大气间的显热、水汽、动量的交换,这些变量在边界层内的垂直输送,从边界层向自由大气的输送,有关水汽的凝结过程和大尺度场的相互作用等加以参数化。亦即要用大尺度参数说明这些过程对大气状态变化的影响,但至今这仍是一个有待进一步研究的问题。

此外,为提高中期数值预报,也需进一步研究辐射传输、海面温度、云量和水文状况对大气状态的影响。

四、前景和应用

综上所述,中期数值天气预报取得了一定成绩,但也存在着不少问题,要达到业务上完备的地步仍需作大量工作。

从目前的情况看,随着空间探测技术的提高,卫星、飞机和浮标资料的应用,以及世界天气监视网(WWW)的发展,将为中期数值预报提供逐步完善的初始资料。海温和水汽资料近来也有逐步充实的趋势,过去以中、高纬度为中心的客观分析将逐步向范围更广的四维分析发展。全球大气研究计划(GARP)的主要目标也是为了研究如何提高中期天气预报。1979年进行的全球大气研究计划第一次全球试验(FGGE)将会对中期数值预报的进展起到一定的促进作用。

最近在客观分析、初值处理以及数值方法和模式研制等方面均有所进展。例如哈佛函数谱分析,三维多变量最优插值法的应用,非线性正交模初值化方法的发展,将进一步为数值预报提供更好的初值^{<3>};半隐式和显式分离方法的利用将进一步缩短模式的计算时间,加上电子计算机能力的提高,如美国在八十年代业务预报中可能采用每秒3—10亿次的计算机,这些均将为提高模式分辨率提供条件,有助于进一步提高预报精度,从而也有助于延长预报时效。

关于模式大气中物理过程的描述,今后将会进一步提高,但现阶段不可能有飞跃性的改变。当前还只能是在不影响实用性的原则下累积一些小的改进^{<9>}。

综上所述,通过加强试验研究,今后中期数值天气预报将会逐步有所提高^{<7>}。估计到九十年代,某些科

学技术较发达的国家,如美国、欧洲中心和日本,有可能将中期预报业务的时效延长到两周。但对第二周很可能是采取平均预报的形式。

如何应用中后期数值预报的结果,这是一个较现实的问题,也是当前国外正在业务实践中研究解决的问题。

首先,由于中期数值天气预报的复杂性,以及如前所述存在的一些问题,现有的中期形势预报的准确度是有限的。因此,应用中后期数值预报要经过人工订正。国外现用的订正方法有两种:一是统计学方法,二是天气学方法。

所谓统计学方法,即通过一定的统计处理,从数值预报的预报值中除掉由过去的预报资料按统计规律求出的预报误差。其中又有两种具体作法:一是全面修改预报图,二是只着重订正扰动,这是一种客观的、定量的作法。

天气学方法是,先根据大气的物理性质,建立起天气学上的大气结构模式或扰动模式(例如涡管倾斜度和低压强弱变化的关系),再用这种模式来检查预报图上表示的大气结构或扰动结果,并进行订正。这种方法在一定程度上具有定性化和主观性。为弥补此缺陷,可考虑同时使用统计学方法,并用实况值进行订正。然后,利用数值预报的环流参数,经过加工转换成各种天气要素的预报。这就是一般所说的气象要素的动力—统计预报,也就是国外所谓的“数值天气预报的解释”,这种“解释”也正在向着自动化的方向发展。

主要参考资料

1. WMO: Numerical Weather Prediction Progress Report for 1966
2. WMO: Numerical Weather Prediction Progress Report for 1977
3. WMO: Numerical Weather Prediction Progress Report for 1978
4. EMCWF: Seminars on Scientific Foundation of Medium Range Weather Forecasts I, II. 1977
5. J. F. Andrews: Medium-Range Forecasting in the National Meteorological Center
Conference on Weather Forecasting and Analysis and Aviation Meteorology 1978
(译文见《气象科技》1979年译文集第二期)
6. 中央气象局气科院情报所, 情资(79)12号内部参考资料: 新田尚;《十天数值延伸预报试验近况》, 胡圣昌译, 马鸣宇校(摘要稿见《气象科技动态》1979年11期)
7. 新田尚: 数值的中期预报の最近の話題, 日本《天气》1979年8月号
8. EMCWF: The Interpretation and Use of Large-scale Numerical Forecast Production Seminar, 1978
9. 日本气象厅预报部: 数值预报による延長预报 1978年《气象科技》1979年译文集第二期, 马鸣宇、史国宁、纪乃晋、侯宏森译

殷显曦 综合