

世界数值预报模式的研究情况

1. 前 言

现在,世界上许多国家使用数值预报或打算今后使用数值预报。这些国家的数值预报技术在气象业务中已经发挥了巨大的作用。进一步说,应用数值预报所作预报的种类也是多种多样的。

从过去的情况来看,数值预报的先进国家有美国、英国、加拿大、日本、澳大利亚、瑞典、挪威、西德、苏联、丹麦等国,现在数值预报处于领先地位的国家是美国、英国、加拿大、日本、澳大利亚和最近迅速发展起来的欧洲中期数值天气预报中心(ECMUF)。最近进展比较快的国家有中国、芬兰、沙特阿拉伯等国;与此相反,瑞典、苏联(可能由于电子计算机不好)、西德、埃及各国进展比较缓慢。其中挪威、丹麦、法国等据说预报只停留在本国范围内,给人的印象是欧洲各国现在是围绕欧洲中期预报中心开展工作。

如果在不久前写类似这样的介绍时,会认为介绍美国国家气象中心(NMC)的近况比较全面。但现状变化很大,也就是在各先进国家的实力平均化的同时,数值预报的内容也变得丰富多样,不能用哪一种来代表。与此同时,数值预报的准确率也达到一定的高水平。无论怎样说,美国的水平仍然是世界第一,其模式层次之多是其他国家所不及的。

另一方面,最近一个值得注意的明显倾向是在普遍地推行数值预报系列化,这个试验的成功,对数值预报的普及作出了贡献。即华盛顿、莫斯科和墨尔本(仅负责南半球)三个世界气象中心,将担负全球规模的资料服务,日本东京、英国的布拉克内尔等23个区域气象中心(RMC),对所负责地区内各国的国家气象中心(NMC)承担提供所需要的半球范围的资料服务。在上述这些服务中当然也包括数值预报的有关资料(也就是客观分析值和预报值)。

这样一来,适合WMO各成员国的电子计算机的资料可由上一级中心供给,对这些资料除直接利用外,同时可用以作为各国自己研究的数值预报模式的边界条件。这样的体制如果很好地发挥作用,数值预报的结果就不会象从前那样只限于特定的国家,如果

感兴趣,哪一个国家都能够得到。沙特阿拉伯的迅速发展就是适应了上述的情况变化。

2. 世界的数值预报模式

世界数值预报模式的研究情况,一般可简单地归纳为以下几个项目。即:预报区域和分辨率,物理过程,数值计算技术,资料处理。

(a) 预报区域和分辨率

数值预报对应预报对象的不同尺度,制作各种模式,各自具有不同的预报区域和分辨率。各种模式大致可分为:

1) 边界层模式:用于局部地区,在水平、垂直方向有非常细的分辨率。对象是边界层的模拟。

2) 台风模式:用于稍大的局部地区,水平、垂直方向都具有非常细的分辨率。对象是台风路径预报。

3) 有限区域模式:只限于亚洲等有限区域,在水平和垂直方向都具有一定程度的分辨率。对象是与天气尺度现象和超长波有关的中期预报(10天—2周)。

上述这些模式各自都可以独立使用,还可以采用将小区域模式放入大区域模式的套网格方式,目的是力求用最少的力气得到最大的效果。

另外,垂直方向的座标用P系统(气压)、 σ 系统(气压/场面气压)、Z系统(高度)、 θ 系统(位温)等,这是适应目的和使用简便而采用的各种不同座标。

(b) 物理过程

在数值预报中,当分辨率充分提高后,可以说在很大程度上决定预报质量好坏的是对大气物理过程的模拟程度。从数值预报的初期开始,人们就深刻地认识到物理过程的重要性,并不是说来容易做来难的事。最近终于采用原始方程模式,随着大体上了解其预报能力之后,在对数值预报业务中所取得的成果给予高度评价的同时也要求作出更好的预报,要求更小的误差。

然而,对于上述的期望没有取得显著的进步。对此,有人认为气象学本来就是一门比较难而且进步慢的科学,但尽管进步慢,有进步总是好的。在研究的道路上肯定没有平坦的道路,仍要曲折前进。最近几年来,这样的情况主要表现在对物理过程的处理方面,

这种看法至今没有很大改变。

在美国的地球物理流体力学试验室的都田小组曾做过许多设想，最近曾发表了将物理过程引入高精度预报模式，比较根据物理过程不同的处理方法所得到的不同预报结果，比较的结果大致相同。也就是说即便是花费力气成果也不那么显著。这反映了数值预报的难度。对于业务模式应用最小的力气取得最大的效果，所以过于复杂的处理是不适宜的。

因此，对于现行模式中的数值预报模式的物理过程的研究，要着手研究“大力提高在模式大气中描述物理过程的精度”和“适合于业务模式的简便处理”两个大致相反的课题。目前，世界各国也都本着少而精的原则，开展描述物理过程的研究。这方面对我们来说也是持乐观态度。

在描述物理过程时，通常分别说明下列几个项目，即：

1) 边界层内的交换、输送过程的描述：在近地面及行星边界层，动量、显热、潜热等垂直交换和水平输送过程，因为由次网格尺度的现象承担，在模式大气中，采用参数化（在模式中由直接表现的物理量代替）的方法。如山田、米勒等的参数化方法。研究大气与海面、地面、冰面之间的相互作用也通过这一方法来处理。

2) 积云对流群的整体效应的描述：在湿不稳定的大气中，积云对流群的整体效应对大尺度场影响很大。特别是对动量、显热、潜热的垂直输送及凝结过程具有影响。在此也用参数化方法，但没有超出真真的对流调整，郭晓岚的方法及荒川-休贝鲁特的方法范围。

3) 降水机制的描述：除上述的积云对流群外，根据大尺度场也会产生水汽的凝结，带来降水。这一过程也要正确地描述，对于确定雨量预报是很重要的。

4) 辐射过程的描述：从数值预报的立场来看辐射过程，在很小的局部现象的短时间变化和中期预报中，对热平衡进而对气温场的确定起直接作用，对于其中的时间变化，在效果的大小上，一般只起间接的作用。对于辐射过程，由于相当严密地分析了它的物理性质，所以可能在模式大气中非常准确地加以描述。这与尚没充分理解的积云对流群的整体效应有着本质的不同，要加以注意。但是辐射过程和水汽分布密切相关，因此模式大气中的水汽分布预报如果不正确，预报的辐射效果也不能正确地判断，这一点也必须加以注意。从全世界来看，存在尽可能严密地处理辐射过程的趋势，其中水汽分布是一个难以处理问题。

5) 山岳系统的力学、热力学效应的描述：这个问题并不是一个新问题，目前的现状如果往好处说只是作了一些适当的处理，如果说得差一些只是中等水平。我认为今后还要做出努力，努力的方向已确定。从物理过程所用的外部参数来看，和辐射一样，在短时间里地变化预报和中期以上的延伸预报中，对海面水温一般要考虑到它对常年平均值的偏差的影响。这方面的评价工作也应该进行。

(c) 数值计算技术

由于使用代表荒川方案的“守恒方案”，可以毫无

问题地进行稳定而高精度的数值计算。所以，现在世界上的发展趋势是以“用更少的计算时间进行更多的数值计算”和“进行更一般性的数值处理”为目标。这一问题具体说明如下。

首先在努力节约时间方面，最近已经广泛地使用半隐式方案。日本也已引入，预计不久将投入实际业务应用。继半隐式方案发展起来的显式分离式方案，英国已经在日常业务中应用，其他一些国家也正在进行试验。

其次，仍以缩短计算时间被受到重视的方法是谱方法，和原来用的网格法相比，对这种谱方法评价很高，全球模式、半隐式方案因适合于下面要说明的正交模初值化，计算的效率会大幅度提高。

另一方面，在具有一般性的数值计算方法方面，引人注意的是有限元法，从这种方法在网格形式不均一的情况下也可以进行处理来看，它适合于对山周围和台风中心附近的近似描述。对这种方法，现在各国正在试验中。

与上述两种趋势都有关的是套网格的方法。这种方法的基本考虑是将大区域具有粗分辨率模式和小区域具有细分辨率的模式结合起来，全面地预报大尺度现象，也部分地预报小尺度现象。对此，一般考虑只从大区域模式得到小区域模式所需要的侧边界条件的单向方式，及将小区域模式的预报结果也用大区域的反馈方式。这种套网格方法世界上已有许多国家使用，现阶段各国的状况是采用方法多种多样，各国根据自己的条件大多选用最适合的方法。但为处理简便起见，多是采用单向方式。在这样场合，关于如何连接大、小两个区域的内部边界，已提出各种方案，但还没有得出明确的结论，也许得不出明确的结论。总之，一般来说是采用比原来更好的方法。

(d) 资料处理

这个问题不是物理模式所研究的问题，而是和输入资料有关的问题。最近引用了各种新气象资料并在研究采取的相应新处理方法，这对于今后的数值预报是十分重要的问题。再加上和GARP的FGGE有关，这一问题将越来越重要。

这样说的意思是对于资料处理和客观分析问题，今后和物理模式的问题一样，需要作为单独的项目处理。这方面在此只概述一下。

首先，想把最近输入的新资料的主要内容列记如下。

1) 和气象卫星有关的资料：通过静止气象卫星观测的风矢量、数字化的图象（对应云的分布）、每10天的海面水温。用极轨卫星观测的气温（或厚度）、可降水量等。

2) 和飞机有关的资料：利用机载自动气象观测装置（一种自动化的飞机报告，ASDAR，飞机-卫星的资料转播系统）观测的气温、高度、风向、风速。

3) 和自动气象观测站有关的资料：陆上的地区气象观测网等资料及海上移动浮标和固定浮标资料。

由于上述这些新资料的利用，有世界影响的有两点，其一，“用有限的资源、财富开展工作，怎样组

成最佳的综合观测系统”；其二，“怎样适应打破原来的定点、实时观测和非定点、非实时观测的增多的概念”。

关于最佳组成综合观测系统，从单纯的技术观点到经济观点，因包括各种因素，要一个一个慎重地探讨。

另一方面，对于非定点、非实时的观测，要采用四维分析的方法。具体地说，要使用分析的预报模式，从某一时刻出发进行预报计算，在计算的过程中，如果有来报的话，就将它转换成预报值（与此资料观测点及观测时间最为接近的模式大气的位置和时间为中心进行订正）。等到绘图时刻再次进行客观分析和初

值化，输入预报计算，然后重复上面的过程。这样的分析—初值化—预报过程和数值预报是同时进行的，我认为今后的预报中心应按照这个样子工作。

对于上述的四维分析，目前多是处于试验阶段，但在欧洲中期预报中心，已接近于实际业务应用。

关于初值化若以全球区域为对象，原来的方法无论如何都存在适用的界限问题，在本文我考虑根据全球区域的线性基本解，应采用除掉高频波的正交模初值化方法。采用这种方法会进一步提高近似的程度，还要考虑非线性项和山脉影响的有关研究。

张庆阳译自《数值天气预报模式的研制现状与展望》（日本气象厅预报部编）殷显曦校