

全球气象观测系统的数值模拟试验

李 崇 银

随着现代技术的发展,尤其是气象卫星等非常规观测系统的出现,人们可以用各种手段来观测多种气象要素,使天气分析和预报能够提高到一个新的水平。但是,生产和技术发展的同时又给天气分析和预报提出了更高的要求,希望有更准确、更客观、更长时效的天气预报。因此,人们提出了作两周左右的中期数值预报的问题。围绕作好两周左右时间的中期数值预报,从气象要素的观测角度又有这样几个基本问题要解决:即作好中期数值预报必需的气象资料是哪些?所需观测资料要求何种精度?为获得这些观测资料采用哪些观测系统以及这些观测系统又如何配置?

所谓全球气象观测系统的数值模拟试验就是探讨上述问题的一种方法。它从大气动力学出发,利用数值预报模式,在各种不同的模拟条件下进行数值试验,通过大气动力过程的内在规律性,模拟试验将为必须观测什么要素而不必观测什么要素提供依据,为观测系统的观测误差提出合理的要求,也为观测系统的最佳配置提供依据。

与一般的数值试验有所不同,观测系统的模拟试验绝大部分采用“资料更新”的办法,即在试验过程中要用“观测”值代替模式中的预报值。为了避免因引入观测资料而产生“排斥现象”,试验中的所谓“观测”值一般都由预报模式模拟出来,并不直接使用真实观测。因此,这种模拟试验一般有四个步骤:首先用一个较完善的大气环流模式计算出大气环流的历史演变,作为真实大气环流演变的模拟,并称为“真正环流”;第二步是根据更新的不同形式,用“真正环流”中的要素加上小扰动而得到所谓“观测”资料,附加的小扰动也就是观测误差;第三步是形成所谓“受扰环流”,一种“受扰环流”是用某一时刻的“观测”资料作初值所得到的预报环流,另一种是通过资料更新所得到的新的预报环流;第四步是用“真正环流”“和受扰环流”的相应要素进行比较,表征试验的效果。

国外不少气象工作者分别用不同的环流模式相继作了不少研究,取得了一些有意义的结果,下面几个问题分别介绍这些试验结果。

一、气象量的可诱导性

顾震潮^[1]在1958年就指出,作为历史演变问题的天气预报和作为初值问题的数值预报在一定条件下是等价的,证明在理论上,任何一层上温压场的历史演变可以代替整个空间的温压场初值。后来,Charney等^[2]作了数值试验,试图用不完全的历史记录推断大气的现有状态,他们不断周期地更新温度,结果在10—20天后可以诱导出较好的风场。在Charney等之后,不少作者进行了进一步试验研究,图1是美国国家大气研究中心(NCAR)

1976年10月21日收到。

所得试验结果,他们每12小时更新温度和地面气压,大约在两周时间之后全球均方根风速误差由原来的2.7米/秒左右减小到0.7米/秒左右,即由于温度和地面气压的不断引入,诱导出了较好的风场。同样,周期地引入风场材料,在约两周左右的时间亦可诱导出较好的温度场(图2)。

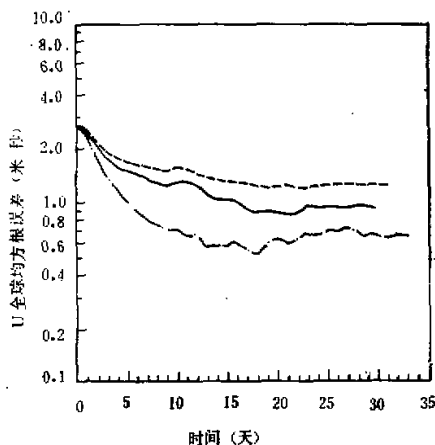


图1 NCAR所作温度更新试验的结果

实线表示每12小时更新温度,更新温度没有误差,虚线表示每12小时更新温度,更新温度有1°C误差,点划线表示每12小时更新温度和地面气压,更新的温度和地面气压均没有误差。

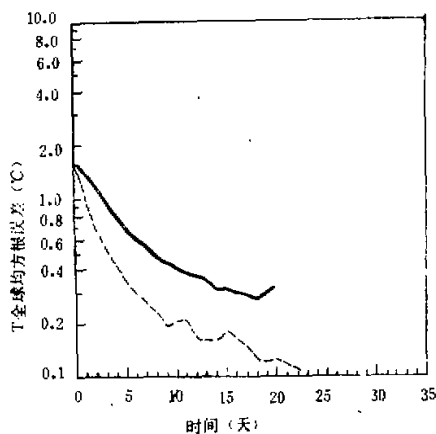


图2 NCAR所作风场更新试验的结果。

实线表示每12小时更新风场,更新的风场没有误差,虚线表示每6小时更新风场,更新的风场没有误差。

任何一种气象要素都只是大气运动的某一特性的表征,但各个要素间有着紧密的联系。运动方程、状态方程、静力方程和连续方程等就是它们彼此关系的数学表达式。通过这些方程,某一气象要素可以在一定条件下由其他要素求出来,这种气象要素间由此及彼的性质称为可诱导性。风场和温度场的相互诱导,说明了在非线性的演变过程中也存在着地转适应或更一般的动力学适应过程。

气象要素的可诱导性给气象观测系统的规划提供了一定的依据,即不必花费很大人力和物力去对每种气象要素进行直接测量,而只需花较小的力量去测量最重要的气象要素。由温度场可以诱导出风场、尤其为卫星遥测温度资料的使用指出了令人鼓舞的前景。

二、资料观测的精度

模拟试验中,资料所取误差是实际观测误差的模拟,因此,试验中资料误差的影响也就是观测误差的影响。

Charney 等的试验表明,如果温度有1°C误差,则诱导出的风速的均方根误差约为0.9米/秒,诱导出的地面气压的均方根误差约为1毫巴。Williamson 等^[4]1971年的试验表明,观测误差的影响较 Charney 等的试验稍大一些,如果温度有1°C误差,诱导出的风速的均方根误差为1.3米/秒,而诱导的海平面气压的均方根误差为1.8毫巴。Jastrow 等^{[5][6]}用1°C

误差的温度廓线进行连续更新试验,诱导的风速的均方根误差为1.5米/秒,诱导的地面气压的均方根误差是2毫巴。

Jastrow 等的试验模式和更新方式都与 Williamson 等不一样,但结果基本上相一致。因此他们认为“全球大气研究计划”(GARP)所规定的资料的误差标准(风速 ± 3 米/秒,温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,海平面气压 ± 3 毫巴)是不协调的,认为内在协调的误差标准应为:风速 ± 1.5 米/秒,温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,海平面气压 ± 2 毫巴。Jastrow 等还从可预报性的角度指出,按 GARP 所规定的误差标准,只能作四天的有效预报,而为了准确地预报到 12—14 天,误差标准必须定为:风速 ± 0.5 米/秒,温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,海平面气压 ± 0.5 毫巴。显然,这个标准不但相当苛刻,而且同他们提出的所谓内在协调的误差标准有矛盾。

为了合理地规定观测系统的一套观测精度,满足中期数值预报的需要,这无疑是重要的事情,但根据目前的试验结果尚难定论,这方面的工作有待深入研究。

三、参考层问题

为了从某一气象要素(如温度)的探测值推算其他气象要素(如位势高度等),以满足数值预报的要求,就需要先已知某层的一些气象要素(如气压或位势高度),该层即所谓参考层。关于参考层问题,近年来也有相当研究,归纳起来是要不要参考层和选在哪层这样两个问题。

参考层的重要性问题,从已有的试验研究表明,它是需要的。例如在更新试验中,地面气压也参加更新(参考层选在地面)的结果要比不更新地面气压(不要参考层)的结果好得多。

参考层的位置,考虑到获得观测资料的手段,现在一般考虑两层。其一是地面,可用常规气象台站和船舶测量海平面气压;其二是 200 毫巴,可以用定高气球测其位势高度或用同步卫星测风。一系列的试验表明,200 毫巴高度引入更新要比地面气压引入更新的结果差得多,甚至 200 毫巴高度的引入反而使风速误差增大。因此,似乎可以认为地面气压是一种较好的参考层资料。

四、在热带直接测风的重要性

虽然由温度可以诱导出风场,但在热带地区这种诱导的效果很不理想,NCAR 的试验表明有 0.6°C 均方根误差的温度资料在热带诱导出的风速的均方根误差始终保持在 3 米/秒左右,即不能由温度探测获得较好的风场,在热带地区必须直接测风。

美国“地球物理流体动力实验室”(GFDL)和“戈达德空间科学研究所”(GISS)都做了热带地区风场作用的试验,图 3 是他们的试验结果。图中曲线 I 表示全球更新温度廓线的结果;曲线 II 表示除了更新温度廓线外,在热带(26°S — 26°N)还更新两层风的结果,这两层风分别在 850 毫巴和 200 毫巴高度,它们都有 ± 2 米/秒的均方根矢量误差,分别是同步卫星测风和定高气球测风资料的模拟;曲线 III 表示在曲线 II 试验的基础上还在赤道地区(10°S — 10°N)用高空风垂直廓线参加更新的结果,这种高空风有均方根矢量误差 ± 1 米/秒,模拟运载气球系统(Carrier Balloon System)的测风。可以看到,仅有温度廓线

更新所得到的风速的误差在热带地区大大超过 GARP 规定的误差标准；在热带地区增加更新两层风则显著地使各个纬度的风速误差都减小，但热带的风速误差仍然超过 GARP

的规定；如果赤道地区再更新高空风垂直廓线，那么热带地区的风速误差可以小于 GARP 规定的 ± 2 米/秒的误差标准。

可见，一系列的试验告诉我们，在热带地区仅有温度资料是很不够的，在那里，尤其是在赤道地区，直接测风很重要，因为这些风场资料不但影响热带地区而且对中高纬度地区亦有明显影响。

天气分析和预报的实践也告诉我们，热带地区的流场对于热带地区的天气过程、甚至对温带地区的天气过程都有极其突出的作用。显然，模拟试验同实际大气的状况是一致的。

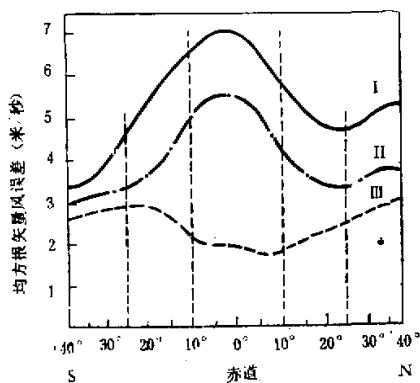


图3 GFDL 和 GISS 所作的热带风试验结果

五、卫星资料的使用

极地轨道卫星可以获得全球范围的大气温度的垂直廓线，这无疑是可贵的气象资料，尤其是在大洋和沙漠地区。这种温度垂直廓线在数值预报中到底有多大用处，Jastrow 等专门作了使用两个极地轨道卫星遥测的温度廓线的模拟试验。图4是他们试验的结果，曲线A表示没有引进卫星遥测的温度廓线时“真正环流”和“受扰环流”间平均风速差（这里所谓平均风速差是 u 取纬向平均、 v 取经向平均后求得的全球范围的均方根误差）随时间的变化，平均风速差随预报时间迅速增加。曲线B、C和D分别表示在不同的时间（即预报第5天、9天和15天）开始引入卫星遥测的垂直温度廓线进行更新后平均风速误差的变化。更新的方式是在计算的每一个时间步长都引入模拟的温度廓线资料（ $\pm 1^\circ\text{C}$ 的均方根误差），但是只在两个极地轨道卫星所对应的扫描区域内的格点上才进行更新，随着卫星的移动，更新的格点也就不断改变。几条曲线的比较可以看到，卫星遥测的温度廓线引入更新使平均风速误差迅速减小，而且不论初始时刻风速误差如何，更新温度廓线后风速误差都差不多趋于2米/秒的渐近值。因此可以认为，卫星遥测的温度廓线资料是相当重要的，连续地使用这些资料可以间接得到很好的风场。同样，连续地使用卫星遥测的温度廓线资料也可以得到很好的海平面气压场。

极地轨道卫星是通过仪器对地球扫描而获得温度廓线资料的，扫描天底角取多大比较合适？模拟试验表明，为了使所推得的风场和气压场满足 GARP 规定的精度要求，卫星的扫描角必须大于30度。模拟试验还表明，极地轨道卫星数目的多少同所推算出的风场精度有关，如图5所示，如果使用四个极地轨道卫星的温度廓线资料，则可以推算得到平均风速误差为1.5米/秒的风场。模拟试验还表明，在使用两个极地轨道卫星遥测的温度廓线的基础上，如果还同时使用（每小时一次）四个同步卫星的深空资料，则推导出的风速误差比只使用两个极地轨道卫星的资料时风速误差可改进达百分之三十五。

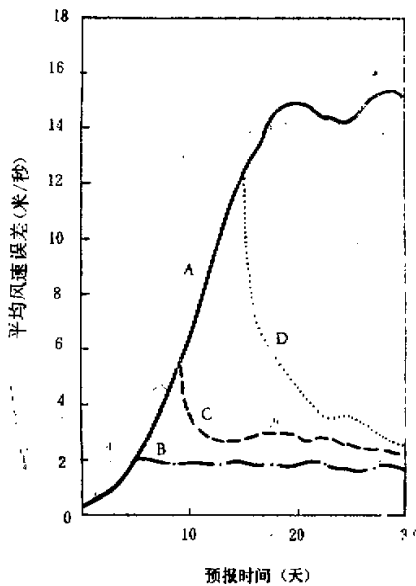


图4 引入两个极地轨道卫星获得的温度资料后风速误差的变化

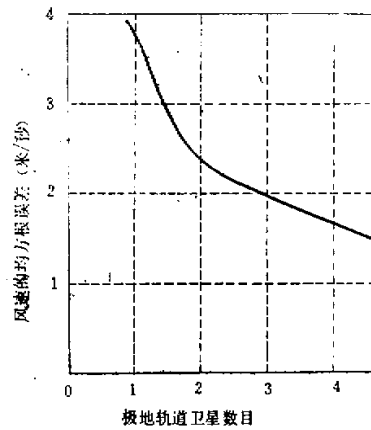


图5 风速误差同极地轨道卫星数目的关系。

六、未来的全球综合观测系统

除上述模拟试验外 NCAR 1972 年还专门作过同全球观测系统配置有关的试验,试验的结果可以归纳成这样两点:中高纬度地区用温度和地面气压更新对于推出热带地区的风场和温度场比较好,即中高纬度地区最好有温度和地面气压的观测资料;如果热带地区有风场更新而热带以外地区有温度和地面气压更新则有利于在热带以外地区推出风场,而仅有热带测风或仅有热带以外地区的温度和地面气压观测都不能满足要求。

观测系统的一系列模拟试验使人们初步认为,要作好两周左右时间的中期数值天气预报,需要有全球的垂直温度廓线和地面气压资料。热带地区至少还要有两个高度上的测风资料,赤道地区(10°S — 10°N)还要有高空风的垂直廓线资料。由所需资料又可以设想出这样的综合观测系统:(两个)极地轨道卫星测量全球大气的垂直温度和湿度廓线;常规地面站和海洋飘浮站测量地面气压;(五个)同步卫星测量热带和副热带地区两个高度上的风场和垂直温度廓线;运载气球系统测量赤道地区高空风的垂直廓线。另外,考虑到南半球的 50° — 65°S 地带经常维持着一条阴云带,卫星资料可靠性差,因此还认为在南半球用定高气球测量风和气压有重要意义。上述综合观测系统的计划有其试验基础,现在虽未真正建立,但有些资料(如卫星)已投入使用,有些正在试验(如运载气球)且有相当好的结果。随着技术的发展,这一综合观测系统是有可能较快实现并投入业务使用的。

参 考 资 料

- [1] 顾震潮, 气象学报, 1958, **29**, 93—98.
- [2] J. Charney, M. Halem and R. Jastrow, *J. Atmos. Sci.*, 1969, **26**, 1160—1163.
- [3] A. Kasahara, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1972, **53**, 252.
- [4] D. Williamson and A. Kasahara, *J. Atmos. Sci.* 1971, **28**, 1313—1324.
- [5] R. Jastrow and M. Halem, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1970, **51**, 490—513.
- [6] R. Jastrow and M. Halem, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1973, **53**, 13—21.
- [7] A. Kasahara and D. Williamson, *Tellus*, 1972, **24**, 100—115.
- [8] D. P. Baumhefner and P. R. Julian, *J. Atmos. Sci.*, 1972, **29**, 285—299.
- [9] GARP Special Report 1973, No. 10.
- [10] GARP Publications Series 1973, No. 11.