

地气耦合非定常距平模式的 准业务预报试验

陈桂英 李小泉 林本达

(国家气象局国家气象中心) (北京大学地球物理系)

提 要

本文用地气耦合非定常距平模式对1988年1—12月北半球100hPa、500hPa、海平面气压和地面温度的月距平场进行了为期一年的逐月30天预报准业务试验。结果表明,模式对月距平场距平符号的趋势预报以100hPa效果最好,海平面气压较差;模式对500hPa、地面温度的月距平场预报优于持续性预报,表明该模式对距平场形势有一定的预报能力。试验结果还表明,模式预报在中低纬优于中高纬,但对不同层次、不同月份的预报效果不够稳定,而且对低值系统预报能力较差。模式的一个突出问题是预报场空间过份平滑,尚须作进一步试验、改进。

一、引 言

随着中期数值预报取得了突破性的进展、业务化能力的提高,以及可预报性研究的深入;人们已越来越多地把注意力转移到长期数值预报的研究和试验上来。有些模式对月平均环流形势或月距平场已具有一定的预报能力,为长期数值预报逐步实现业务化提供了一定的基础。1986—1987年,林本达等^[1]建立了一个地气耦合非定常距平模式,该模式与巢纪平等^[2]的距平滤波模式原理类似,但垂直层次及某些物理过程及计算方案有些不同。根据试验结果表明^[3],该模式对月距平场的分布有一定的预报能力。与其他模式相比,采用了改进的时间积分方案,计算效率较高,1987年12月,中央气象台与北京大学地球物理系天气动力专业达成协议,共同进行长期数值预报试验研究工作,并纳入长期天气预报研究项目之内。1988年,在北京气象中心M-170计算机上进行了模式移植,并用该模式进行了1988年12个月的30天预报准业务试验,探讨长期数值预报业务化的可能性,并进一步检验该模式的性能。

二、模式与资料处理

1. 模式概况

(1)本模式为地气耦合非定常距平模式,它以月平均场对气候平均值的偏差(距平)为预报量,同时考虑了大气与下垫面之间的耦合效应,即在大气部分考虑下边界条件对大气的影 响,在地、气交界面热平衡方程中又考虑了大气的影 响。基本方程大气部分取涡度方程及非绝热 的热力学方程,地表部分考虑了海洋平流的热传导方程,地气之间的耦合则通过地气交界面能量平衡的各种物理过程来实现。对基本方程中瞬变涡旋输送效应,采用将代表常定涡旋输送的平流项乘以瞬变影响系数的方法^[4]加以参数化,从而得到距平形式的基本方程组。

(2)大气在垂直方向取3层,即100、500、900hPa。在3个基本方程的距平形式中消去垂直运动项,并利用垂直边条件得到位势距平倾向(ϕ)方程,将位势距平倾向方程写在3层上得到它的垂直差分形式^[3]。同时将地表温度距平方程利用垂直边条件经适当处理后得到它的时间差分形式。

(3)将二维的 Helmholtz 方程组(即位势距平倾向方程的差分形式)化成水平差分形式后用超张弛法求得数值解,然后再做时间积分,求得下一时刻的位势距平 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 ,并换算出地面气压 P_s ,再利用微分方程理论,对每个格点求出地面温度 $T_s^{n+\Delta t}$ 的解析解,从而逐步外推求得未来30天的预报场。

(4)时间步长 Δt 取为2小时,各种物理参数的取法与原试验相同,在 M-170机上计算30天预报占用 CPU 时间约为27分钟。

有关模式的情况,详见文献^[2,3]。

2. 资料处理

按模式的计算要求,输入以下资料作为初始场,即北半球100hPa、500hPa 月平均高度距平,海平面气压月距平和下垫面月平均温度距平。其中3层月平均环流资料使用北京气象中心 B 模式逐日客观分析场的月平均网格点值,500hPa 即为中央气象台逐月向全国气象台站传真广播的环流格点资料,并对1951—1980年的多年平均值计算得到月距平值。下垫面温度距平场用下述方法获得:陆地部分取自北京气象中心资料室国外组,根据逐月国际气候月报中地面月平均温度距平值填绘分析后得到,海洋部分则由逐日欧洲中心海平面温度客观分析的格点值作月平均,对1951—1980年的多年平均求得距平。上述资料均为 $5^\circ(\text{纬度}) \times 10^\circ(\text{经度})$ 的经纬网格点值,范围从 $10-85^\circ\text{N}$,另加极点值。

与原来试验的情况一样,晴空太阳辐射和云的影响系数随纬度的变化值取自文献^[4],逐月地面反照率的数值取自文献^[5]。各参数均取相应月份的值以考虑季节变化的影响。

三、试验结果

我们使用地气耦合距平模式对1988年逐月进行了30天的数值积分,即分别以上一个月距平场为初始资料预报下一个月距平场,得到1988年1—12月各月的北半球(20°N以北),100hPa、500hPa高度场、海平面气压(SLP)、地面温度(SLT)四个场的月距平预报。为考察模式的预报性能,将各场的预报结果与实况对比进行评分,并把评分结果与持续性预报(即把上一个月的距平实况作为下一个月的距平预报值)的评分结果进行比较。评分办法是统计北半球20°N以北(共504个网格点)预报与实况的距平同号率预报或实况的距平值都为正(含0)、负两级作为它的预报准确率。

1. 逐月的30天预报试验结果

表1给出了1988年1—12月北半球100hPa、500hPa、SLP、SLT模式预报评分结果。可以看出,100hPa、SLT、500hPa的大部分月份模式预报的效果都高于随机预报(50%,下同)的水平,尤以夏季最高。其中又以100hPa最佳,全年平均达69.75%,但SLP预报效果较差,全年平均只有49.25%,没有达到随机预报水平。

表1 1988年1—12月地气耦合模式预报准确率(%)

月 项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	冬季 (12—2)	春季 (3—5)	夏季 (6—8)	秋季 (9—11)	年平均 (1—12)
100hPa	52	74	76	57	84	94	89	76	75	68	50	42	56.0	72.3	86.3	64.3	69.75
500hPa	62	64	55	54	58	63	81	65	64	60	61	34	53.3	55.7	69.7	61.7	60.08
SLP	39	43	48	62	43	50	45	46	61	47	38	69	50.3	51.0	47.0	48.7	49.25
SLT	63	63	54	56	64	73	73	74	71	63	64	63	63.0	58.0	73.3	66.0	65.08

图1给出了1988年1—12月预报正确频次的北半球分布。从图1(a)可以看到,在中、低纬大部地区100hPa高度月距平符号预报正确的频次都在10以上,其中亚欧地区南部、东太平洋和大西洋中部预报正确的频次都达到了12,即12个月的距平预报符号与实况相同;而极地和从阿留申地区至日本海一带预报正确的频次都低于6,说明上述地区模式的预报能力较低。500hPa(图1(b))预报正确的频次分布大致是低纬要高于中、高纬,而欧亚大陆和北美大陆也出现了相对的高频区,低于6以下的低频区出现在两大洋的北部;SLP的月距平场预报效果不理想,中、高纬大部地区预报正确的频次都低于6(图1(c));SLT的月距平场预报正确的频次分布(图1(d))与100hPa大体相似,只是达到12的高频区和低于6的低频区都较图1(a)中的要小。

为了进一步考察预报效果的地区分布,图2和图3给出了1988年1—12月模式预报准确率在经向和纬向的分布曲线。图2中可以看出,代表不同层次预报准确率随纬度的分布曲线,大致都有从高纬到低纬先升、后降,然后再明显上升的趋势,可见从趋势上看极地最差,中高纬较差,中、低纬较好。图3表明,100hPa、500hPa大致在30—130°E和10—90°W经度范围模式的月距平预报准确率要高于其他经度范围。对SLT来说,整个北半球高、低值区大致成4波形,低谷在40°E、110°E、180°、80°W附近,而波峰位于70°E、150°E、110°W、

20°W 附近。由此可以看出,总的来说本模式对大形势月距平场的预报大致是中、低纬度好于中高纬,而预报好坏沿经度的分布各层并不一致。

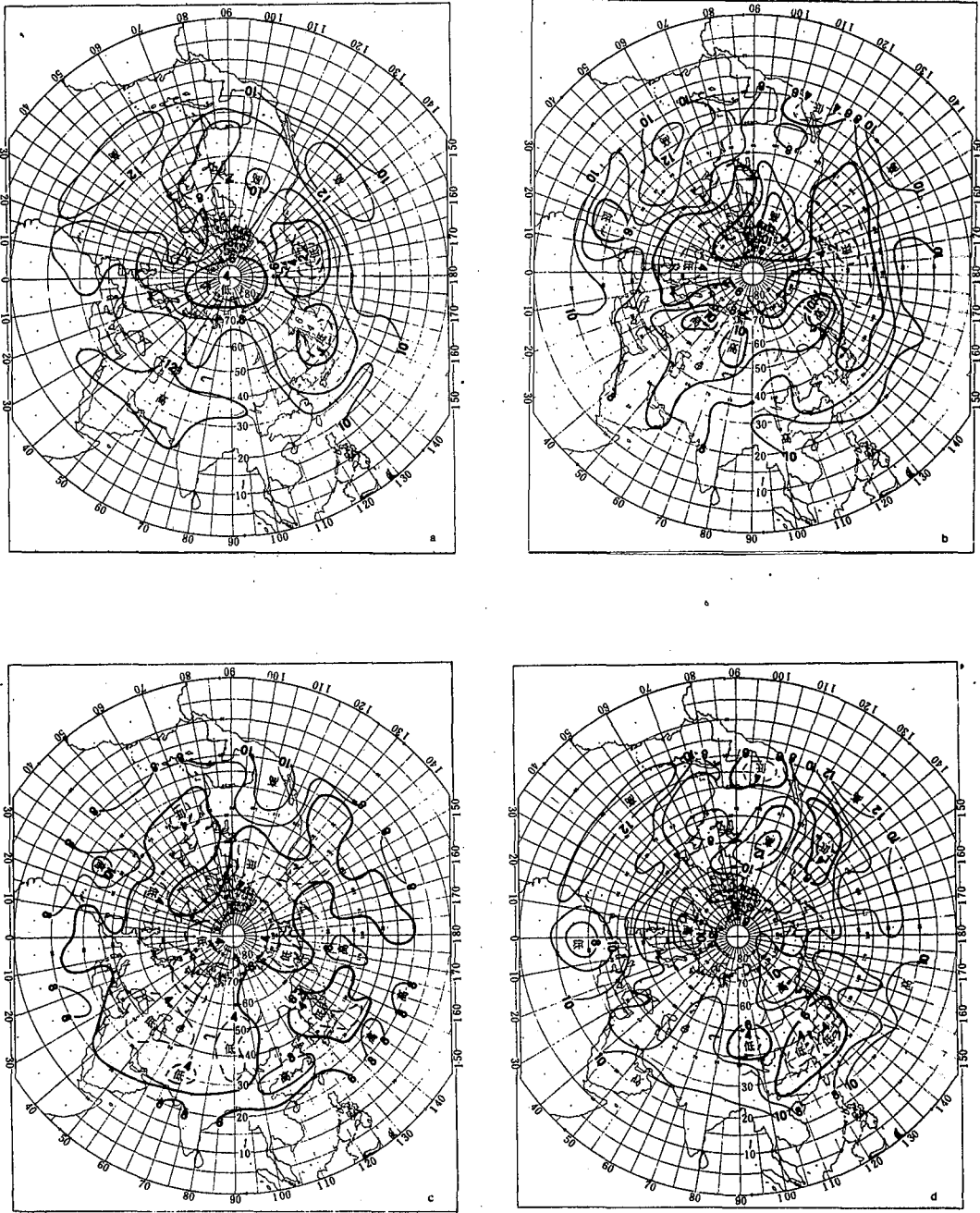


图1 1988年1—12月预报正确频次分布

(a)100hPa (b)500hPa (c)SLP (d)SLT

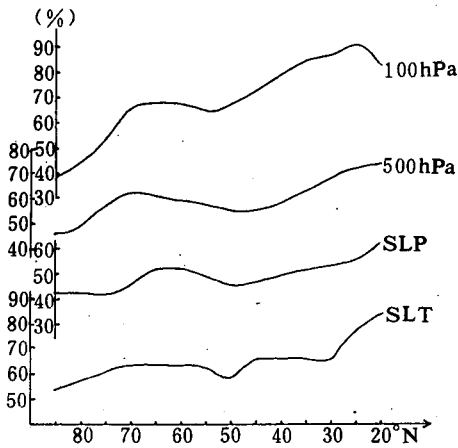


图2 模式预报准确率(%)随纬度的分布

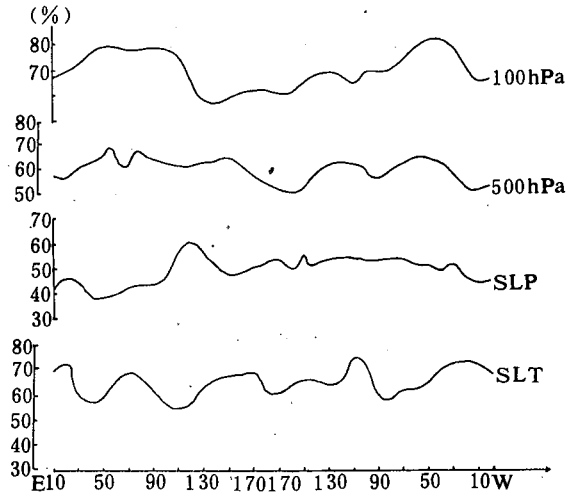


图3 模式预报准确率(%)随经度的分布

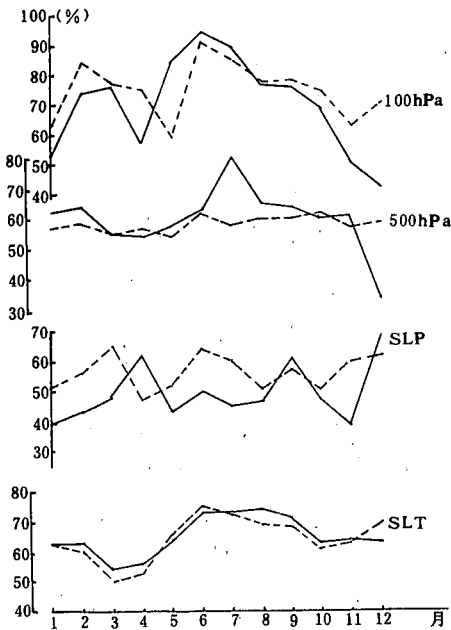


图4 1988年1—12月地气耦合模式预报准确率与持续性预报准确率比较
(图中实线为模式预报,虚线为持续性预报)

2. 模式预报与持续性预报的比较

为了进一步检验该模式预报的性能,我们把模式对北半球各层月距平场预报的评分结果与相同范围、相同时间的持续性月距平预报结果作了比较。图4是1988年1—12月地气耦合模式对北半球各层月距平预报准确率与持续性预报正确率的各月分布曲线。表2是两种预报准确率的比值,大于1表示模式预报的正确率高于持续性预报,小于1反之。从图4和表2给出的数据表明:相对于持续性预报来说,模式的500hPa月距平预报效果最好,全年平均,模式预报准确率高于持续性预报,它们之间的比平均为1.03,除12月份模式预报明显差于持续性预报外,有8个月优于持续性预报,3个月接近持续性预报。SLT从全年平均的情况看,稍差于500hPa,但100hPa和SLP模式的月距平预报准确率绝大部分都低于持续性预报,全年平均来看SLP更明显,它们之间的比平均为0.88,低于其他各项。

表2 1988年1—12月地气耦合模式预报准确率与持续预报准确率之比

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年 平均	比值>1 的月数
100hPa	0.83	0.87	0.99	0.76	1.42	1.03	1.05	0.99	0.96	0.92	0.81	0.60	0.94	3
500hPa	1.09	1.08	1.00	0.95	1.07	1.02	1.40	1.08	1.07	0.97	1.07	0.58	1.03	8
SLP	0.76	0.77	0.74	1.32	0.83	0.78	0.75	0.90	1.07	0.94	0.63	1.11	0.88	3
SLT	1.00	1.05	1.08	1.06	0.97	0.97	1.01	1.07	1.04	1.03	1.02	0.90	1.01	8

四、讨论与小结

1. 从1988年1—12月的预报与实况对照来看,该模式对北半球环流月距平场的趋势有一定的预报能力。100hPa、500hPa、SLT的大多数月份模式预报的效果都高于随机预报,其中以100hPa最佳,SLP最差;与持续性预报相比,500hPa、SLT的大多数月份模式预报效果都高于持续性预报,这是很有吸引力的。但从实际预报图上可以看到,预报为正距平的范围远远大于负距平,尤其是100hPa,各个月份整个北半球很少或完全没有出现预报为负距平的情况,这是由于模式本身的缺陷造成的还是由1988年的特点所决定的尚不清楚。我们注意到,近几年北半球对流层上部持续偏暖,100hPa等压面位势高度一般较高,正距平的范围大而且持续,加上500hPa副热带高压本身持续性较好,1988年副高又比较强大,从而在500hPa上中低纬度持续出现了大范围的正距平。另外,统计准确率时,零视为正距平,这就可能使模式在1988年的预报试验结果评分较高,表2和图4中100hPa的持续性预报平均高于模式预报就是一个证明。因此,还需要对不同年份更多的模式预报试验来进一步检验和考察该模式的性能。

2. 本模式对北半球月距平形势场的预报中、低纬度比中、高纬度的效果要好些。图1(a)和图1(b)中预报准确率低的区域主要出现在太平洋和大西洋北部和极地地区。表明该模式在对流层中、上层对低值系统的预报能力较差,原因还有待于进一步探讨。

3. 模式预报的一个突出问题是预报场空间过份平滑,超长波的分布极不明显,夏半年尤其如此。究其原因,可能主要是在用超张弛法解 Helmholtz 方程时,为了避免计算不稳定而采用了每一步都进行一次5点空间平滑的缘故。试验表明,如果不是每一步都进行空间平滑,则由于个别点出现的较大误差会造成计算不稳定,导致积分不能达到30天。为此,我们进行了环流距平预报场的极值修正试验,即每计算一步环流距平预报场,均进行一次极值检查,当距平值超过10位势什米时,便进行适当修正即除以该值以10为底的对数值,用以削弱个别不合理极值的影响。5点空间平滑减少为每积分6步才进行一次。结果表明,的确比较有效地抑制了计算不稳定,1988年每个月都可以稳定地积分到30天,预报场的超长波分布也表现得很清楚。图5和图6是1988年11月500hPa原方案与修改方案的预报图。

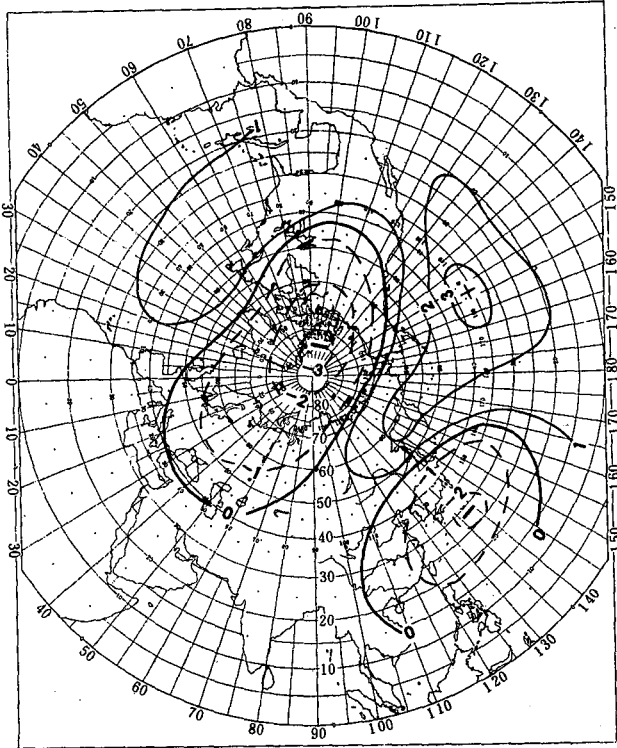


图5 1988年11月500hPa距平模式预报图

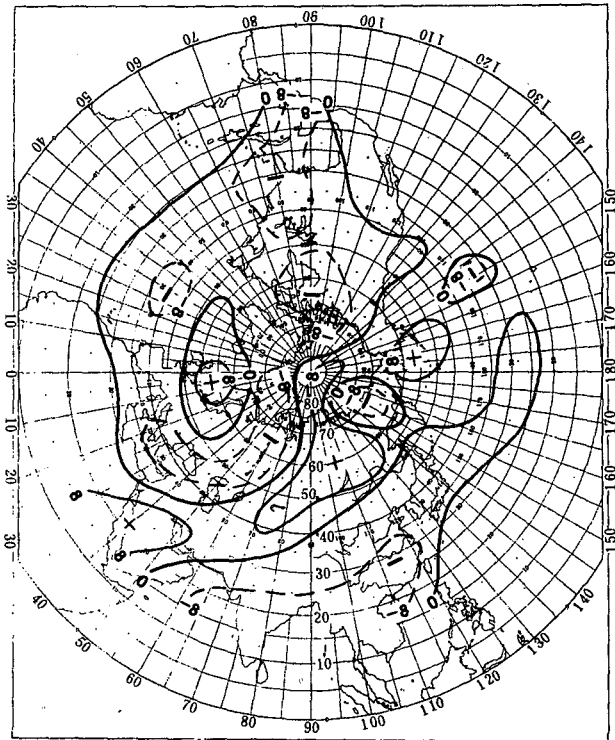


图6 1988年11月500hPa距平模式(修改方案)预报图

显然,原方案是过份地空间平滑了。但由于修改方案的距平分布与实况相比有一定偏移,统计其距平符号的准确率并未提高。不过从大范围距平的分布来说,修改方案对实际预报的应用显然较原方案更有意义。

4. 由于受国际气候报发报时间的限制,实际上只能在每个月的中旬才能算出当月的预报场,因而只能是准业务性试验。为了使本模式达到在实际业务预报工作中应用,必须试用20天初始场,现在正在准备试验用20天初始场来检查本预报模式的效果。

5. 应该说明,本模式是一个比较简单的动力学模式,至少从理论上是有缺陷的。首先模式未能包括赤道与南半球地区。其次,本模式对瞬变项做了参数化处理,这就大大地简化了计算方案,使得无论初始场或预报结果均以月平均形式出现,但参数化的方案还是值得进一步研究的。第三,无论平滑处理或对极值的抑制都是为了保证计算的稳定,但是也会对计算结果产生某些影响。第四,本模式究竟对下垫面异常的敏感性有多大,受不受季节与异常特点的影响也需进一步试验,这方面的工作正在进行。这可能是导致模式预报正确率月际差异较大的原因。

无论如何,初步的准业务化试验是令人鼓舞的,模式表明有一定预报能力,因此我们将继续努力改进这个模式,并使之进一步业务化。

参 考 文 献

- [1] Lin Benda, Xu Xiaodong and Wang Shaowu, Preliminary experiments from a nonsteady atmosphere—earth surface coupled anomaly model, *Acta Oceanologica Sinica* 7, 3, 369—380, 1988.
- [2] 巢纪平等, 海气耦合距平滤波模式的月季数值预报, *气象学报*, 44, 4, 417—425, 1986.
- [3] 林本达, 王谷、王绍武, 地—气耦合非定常距平模式的试验, 长期天气预报研究项目第一届年会论文集, 气象出版社, 即将出版。
- [4] Будыко, М. И., Тепловой баланс земной поверхности, Л., Гидрометеоздат, 1956.
- [5] Robock, A., The seasonal cycle of snowcover, seaice and surface albedo, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 267—285, 1980.

**A QUASI—OPERATIONAL EXPERIMENT FROM A
NONSTEADY ATMOSPHERE—EARTH SURFACE
COUPLED ANOMALY MODEL**

Chen Guiying Li Xiaoquan

(National Meteorological Center, SMA)

Lin Benda

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract

A quasi—operational experiment for 30—day forecast has been made for monthly anomalies of 100hPa, 500hPa, SLP and SLT during January through December of 1988 from a non-steady atmosphere—earth surface coupled anomaly model. The results show that the forecast tendency of 100hPa monthly anomaly is the best and that of SLP is not too good, the model forecasts for both 500hPa and surface temperature monthly anomalies are better than persistence forecasts. It means that this model can be used to forecast anomaly field in large scale. The results also show that it is better in the low and mid—latitude regions than in the mid—high latitude. But the forecast effects are not quite the same for the different levels and months and the forecasts for low pressure systems are not very satisfactory. The model has a defect in the spatial resolution, which is too smooth. So, it needs more experiments and improvements.

我国第一部 UHF 多普勒测风雷达研制成功

国家“七五”重点科技攻关项目之一《特高频(UHF)多普勒测风雷达系统》已由国家气象局气象科学研究所和航空航天工业部二院23所共同研制成功,并已于1989年11月11日至13日在北京通过了技术鉴定。

UHF 多普勒测风雷达是利用大气遥感原理,通过大气湍流对雷达电磁波的反射和散射机制,探测随大气风场移动的湍流散射信号的多普勒频移,从而测量对流层风场的垂直分布。这种雷达具有自动、高时空分辨率和全天候地提供对流层3维风场数据等特点,适用于观测灾害性天气,如大风、暴雨、冰雹形成前的大气运动特征,并能提供机场、试验靶场上空和飞行航线上的大气湍流和风切变信息。它还可用于局地天气监测、大气物理研究、运海平台作业、舰载或海上浮标气象观测、环境保护,以及战术测风等领域,是一种为现代化气象、航空、航天、军事以及海洋和环境保护业务使用的先进的探测装备。

在短短的三年多研制过程中,有关人员攻克了诸如多工作模式、高工作比发射机;全计算机化无线遥控的工作体制;雷达工作参数可编程技术;以及电调全固态相控阵天线系统等关键技术。更为可贵的是该部雷达的元器件国产化率高达99%以上,在无进口样机的条件下,研制成基本定型的样机。通过一年多的外场观测考核,并在1989年夏,京、津、冀地区灾害性天气预报业务预试验中初步得到应用。这套设备已连续运行了2000多小时,性能稳定可靠,精度满足要求。

我国第一部 UHF 测风雷达的研制成功,标志我国已经掌握这项先进的大气遥感技术,并跨入这一应用技术领域的世界先进水平行列。

(张婉佩)

“七五”攻关项目9—2课题“短时预报研讨会” 在武汉召开

1989年11月30日至12月2日,在武汉召开了“短时预报研讨会”,参加会议的有京津冀、长江三角洲、长江中游、珠江三角洲四个中尺度气象试验基地的专家和学者。会上交流了29篇论文和技术报告,内容包括中尺度天气概念模式、诊断方法;短时预报方法和流程;雷达、卫星、风廓线仪、天电定位等探测资料的应用;中尺度数值模式试验;和1989年汛期四基地短时预报预试验的结果。会上专家们对中尺度灾害性天气的可预报性,预报方法及效果检验进行了热烈的讨论,并对1990年短时预报的准业务试验计划作了进一步的落实。

(葛润生)