

短期气候预测试验研究的进展

袁 重 光

(LASG, 中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文回顾了用大气环流模式及大气-海洋耦合模式进行短期气候预测试验研究的进展情况, 综述了试验研究得出的一些初步结论, 文中也介绍了我国在这方面进行的一些初步试验研究的结果, 供短期气候预测研究工作的参考。

关键词: 中期数值预报; 短期气候预测。

一、引 言

本世纪初, V. Bjerknes 首先提出, 原则上可以通过求解天气预报方程组而决定未来的大气状态, 但对高度非线性的偏微分方程组则无法求得其分析解; 1922年, L.F. Richardson^[1]建议用数值方法求解天气预报方程组, 但一方面由于数值方法求解计算工作量巨大, 不可能用手工计算实现; 另一方面, 当时对大气中存在的各种波动及天气预报方程组解的性质尚未有深入的认识, 因此设想未能实现; 其后, 长波理论、准地转理论的发展, 特别是电子计算机的发明, 推动了数值天气预报的实现, 1950年, J. Charney, R. Fjortoft 及 J. von Neumann^[2]作出了第一个数值天气预报, 推动了短期数值天气预报的发展。五十年代后期开始了大气环流模式的研制, 其后又致力于延伸积分时间以制作中期数值预报, 1965—1975的十年期间, 中期数值天气预报研究取得了很大进展; 1975年开始作出了第一个月预测, 其后的十年中月预测的研究受到注意并取得了相当好的进展; 预计, 季度以及更长时间的预测研究今后也将受到重视。

本文将介绍月预测研究方面的进展情况以及与月预测研究有关的问题, 也将简略叙述一些季度及更长的预测的情况。月、季以及更长的预测, 有人称之为“短期气候预测”, 也有人叫它为“长期数值预报”。

短期气候预测与中期天气预报的一个明显区别是: 随着积分时间的延长, 随机性增加了, 初值上微小的不确定性将增长发展; Epstein^[3]认为应当求助于“随机-动力”模式, 但是这方面还没有好的设想, 而大多数试验研究仍然是使用大气环流模式以初值问题延伸积分时间来实现, 和中期数值预报有某些共同之处; 因而, 我们在介绍短期气候预测的研究进展之前, 也将简略叙述一下中期数值预报试验取得的一些主要经验。

预报可能性的研究指出, 数值模式的可预报期约为2—3周, 天气尺度运动的瞬时状

1989年6月21日收到

国家自然科学基金资助项目

态,一个月以上具有不确定性,作为短期气候预测的对象应该是统计特征和某种平均量^[4],通过大气环流模式积分的结果来求得这些平均值及统计量是很方便的,目前也是这样做的,当然这只是一种途径,也许并不是最好的途径,在此意义下的可预报期应该和模式的性能有直接联系,以及与此直接有关的其他问题,本文的目的主要是介绍用大气环流模式进行这方面研究工作的进展.至于长期预报的理论问题以及其他的方法和途径将不在这里介绍.

近年来,自然灾害频繁出现,工农业生产的发展迫切要求有月、季甚至年度的预测,虽然某些条件并不成熟,但开展这项工作势在必行,希望这个材料能提供一些参考.

二、中期数值预报

1967年 GFDL 作出了第一个中期数值预报——两周预报,采用的模式是半球极射赤面投影的大气环流模式,初值场是 1965 年 3 月 1 日的天气资料.其后,许多气象学家做了一系列有关问题的试验.

第一个问题是讨论中期数值预报采用哪一种网格,Grimmer 及 Shaw(1967)^[5]、Dey (1969)^[6]以及 Sankar-Rao 及 Umscheid(1969)^[7]通过试验考察了 Kurihara 网格^[8],他们认为:Kurihara 网格在极区有系统性的误差,产生过多的质量积累,甚至波及全球,在初值场有穿极气流的情况下,积分 36 小时就有虚假的反气旋增长;在极区的格点加密后有所改善,在此基础上后来发展了改进的 Kurihara 网格.Umscheid 等(1977)^[9]比较了 OK——原来的 Kurihara 网格、MK——改进的 Kurihara 网格及 LL——经纬度网格等三种网格,取 RH 波及实测初值场作 10 天积分,结果表明:以 LL 网格效果最好,OK 网格最差,MK 网格略逊于经纬度网格,在水平分辨率不高时优劣差别极其明显,在高水平分辨率时 OK 网格的效果也有所改善.近年来大多数格点模式都采用经纬度网格.

第二个问题是水平分辨率的试验,Umscheid 等同时比较了不同分辨率下的预报效果,他们对 N24、N48、N96 三种不同分辨率下积分 10 天的结果相比较(N_{xx} 表示极点至赤道间分为 xx 个格距,N48 相应于水平分辨率为 1.875°),当分辨率由 N24 提高至 N48 时改进十分明显,由 N48 进一步提高至 N96 时改进的程度变慢.Miyakoda 等^[10]也发现 N48 分辨率时的预报效果比 N40 的预报有明显改进.其后的许多中期数值预报试验多数采用 N48 水平分辨率进行.

Miyakoda 及 Sirutis(1983)^[11]进一步比较了垂直方向分辨率的影响,取 L9(九层)及 L18(十八层)的积分结果进行比较,发现 L18 模式预告的槽比 L9 强,瞬变涡旋也多些,阻塞高压脊比 L9 报得好,急流也更为狭而集中;虽然这一比较所根据的例子不多,但是值得进一步加以探讨.

第三个问题是次网格尺度物理过程对预报的影响.Miyakoda 及 Sirutis(1977)^[12]比较了三种不同物理过程方案下积分的结果,这三种方案是:

- (1) A 模式 GFDL 1965 年方案,见文献[13,14];
- (2) E 模式 采用 Mellor-Yamada(1974)^[13]的湍流方案,Monin-Obukhov 的边界层处理及 Delsol 等(1971)^[16]的土壤热传导计算方案;
- (3) F 模式 应用 Arakawa-Schubert(1974)^[17]的积云参数化方案,采用 N48 的

MK 网格进行.

试验的结果是: E、F 模式预告的中纬度气流槽、脊较 A 模式为强, 阻塞高压也报得较好.

上述中期数值预报问题的试验说明: 空间分辨率的提高是首要的, 次网格尺度物理过程的改进也不容忽视.

三、短期气候预测

1. 短期气候预测中的初始场问题

1976 年 Blackmon^[18]、1977 年 Blackmon 等^[19]比较了 2.5—6 天带通滤波与 10 天的低通滤波的结果, 发现滤波后的要素场在结构、传播及演变特性上都有明显的不同; 巢纪平等^[20]也指出: 海气联合系统中的闭合运动方程组, 存在两类在性质上完全相异的运动形式, 一类为周期几天的行波, 一类是时间尺度为月的长期波, 可以把短期波看成是一种“噪音”而滤掉, 长周期大气运动主要向初始海温场适应, 适应时间不到一个月; Miyakoda 等人所作月预测试验中就对初始场作了 10 天滤波, 但是也有人认为“噪音”与“信号”场之间的相互作用可以存在一段时间, 某些情况下的预测效果不佳, 可能与此有一定联系.

关于初始场的另一个问题是: 不同机构分析出的初始场有多大差别, 用来作初始场对预测有多大影响. Hollingsworth 等 (1985)^[21]认为, 应由下列几点来评价初始场分析的质量: i) 分析场与观测资料的拟合程度; ii) 能准确地表示个别风暴的结构及天气现象; iii) 与平均大气环流统计结果及其误差量度相容; iv) 有利于用该分析实现预告.

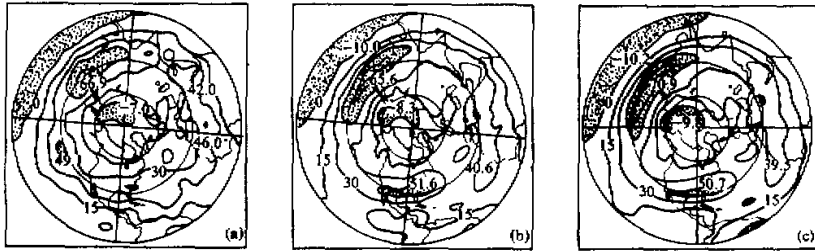


图 1 三家分析的 1979 年 1 月 200hPa 月平均纬向风^[22]

(a) STATION, (b) GFDL, (c) ECMWF

Hollingsworth 等比较了 UKMO、ECMWF、NMC 三家分析的结果, 认为: UKMO 分析的单层风场与该层风的观测资料最为接近, 质量场的分析基本符合, 而地转关系则不如其他两家好, 分析场的噪音也较多, ECMWF 的分析平衡关系较好, 中等光滑, 与观测资料的拟合性也不错; NMC 在分析中舍弃了一些资料, 最为光滑, 分析场与观测资料的拟合也不如前两家; 将 GFDL 的分析结果进行比较时, 发现 GFDL 的分析结果小尺度的系统比 ECMWF 的分析多一些.

Rosen 等 (1985)^[22]给出了一个具体比较结果, 图 1 是三个机构分析的 1979 年 1 月 200hPa 月平均纬向风, 图 a (STATION) 只取测站无线电探空资料用 Oort 的客观分析方

案而得, b、c 两张是 GFDL 及 ECMWF 的分析, 分别用他们两家的资料同化方案处理, 三者确实存在差别, 北太平洋上空的急流、最大风速、中心、范围都有明显差别, 南半球的差别则更为明显; 由三家不同分析计算出的经圈环流, 其强度、范围、中心位置的差别比纬向风更为清楚。

用这三个不同分析做初始场作月预告, 比较发现, 在 $30-50^{\circ}\text{N}$ 的流型较为一致, 低纬、高纬均存在明显的差别, 说明了不同分析的初始场对月预告的影响是相当大的。

Arpe 等 (1985)^[23] 通过中期预告分析认为: 初始场的分析误差在预告的第 5 天明显, 至少至第 10 天仍然清楚; Baumhefner (1984)^[24] 也得出其影响在热带地区至少到第 10 天仍很清楚; 按照 Baumhefner 的意见, 赤道带的环流在 8 天后对温带扰动发生影响, 那么, 低纬度地区初始场分析的误差将影响中纬度的环流, 从而影响短期气候预测的效果, 低纬度地区正是观测资料稀少, 最容易产生分析误差的地区, 为了提高月、季预测的水平, 发展、改进观测资料的搜集、分析及四维同化的系统是十分必要的, 这一点正是我国气象科研中的薄弱环节, 特别值得加以重视。

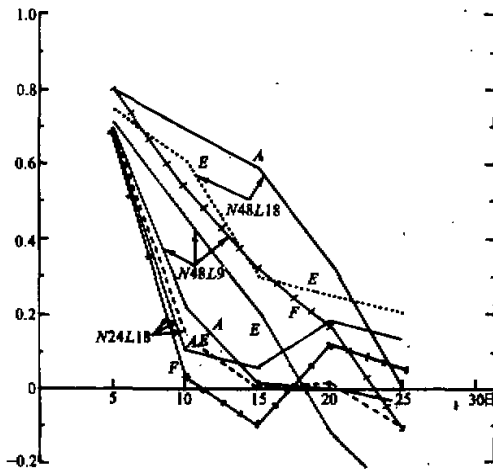


图 2 1965 年 3 月预告 10 天平均 500hPa 位势与观测值的相关系数^[11]

2. 分辨率与次网格物理过程参数化

前面介绍了在中期数值天气预告试验研究中对模式分辨率及次网格过程参数化讨论中的一些结论, Miyakoda 及 Sirutis (1983)^[11] 就月预告进行了上述问题的试验, 图 2 是试验结果的综合, 是不同分辨率及不同参数化方案下月预告 10 天平均 500hPa 高度距平与实况的相关系数曲线, 个例是 1965 年 3 月, 计算相关系数的范围是北半球 $25-90^{\circ}\text{N}$, 图上的一个显著特点是: 相同分辨率、不同参数化方案下的相关系数曲线相互密集, 而不同分辨率下的相关系数曲线却分开较远; 这一特点说明模式分

分辨率的改进是基本的, 与中期预告试验的结论一致, 和 Umscheid 的试验综合起来看, 似乎可以对模式的水平分辨率提出一个最基本的要求——不大于 2° , 这个要求对我国目前计算机水平来看还比较难于实现, 在 Miyakoda 等的试验中采用的次网格参数化过程与前面中期预告试验基本相同, 同时在 F 模式的试验中采用了欧洲中心的包络地形, 称为 FM 模式, 试验得出: 预报阻高活动 E 模式比 A 模式好, 热带降水 F 模式比 E 模式好, 上旬及下旬的预告以 FM 模式较好, 中旬的预告 FM 模式的结果不佳, 但 FM 模式的预告中瞬变涡旋的活动被压低了, 同时, 在东欧、亚洲及北大西洋经常出现较大的误差, 其原因有待探讨。

3. 短期气候预测的内容

作为初值问题预告气旋尺度的天气变化,其预告可能性不超过两周,10天左右气旋尺度的活动作为中期数值天气预报的内容是可行的,但是作为月、季预测的内容,至少在目前大气科学发展的水平上是不能实现的;多年来的分析研究发现了大气活动的许多现象,如“活动中心”、“遥相关”、“环流指数”、“ENSO”等现象,给短期气候预测提供了良好的启示,可以作为月、季预告研究分析的内容,月预告试验分析比较了各个模式对5种遥相关型的预告效果,试验指出:F模式对正的PNA型及负的EA型预告较为成功;FM模式预告WA型较好;E、F模式不能预告正WP型的增长,又错误地夸大了负WP型;这些试验对于短期气候预测是有益的,需要进行。

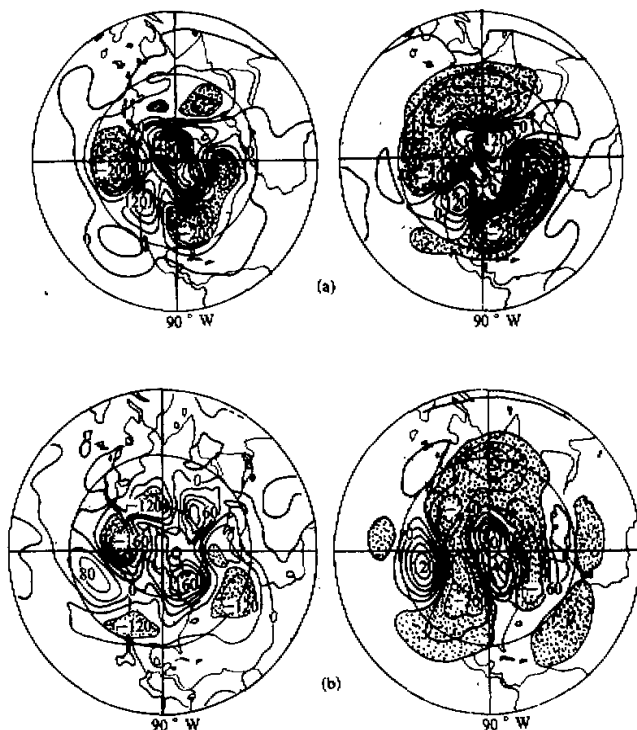


图3 10—30天500hPa的观测与预测位势距平^[25]

(a) 1977年1月, (b) 1979年1月, 阴影区为距平 >60 , 左侧为观测, 右侧为预测

在 Miyakoda 等人的月预测试验中大都给出了月平均要素场, 有时也给出三个旬的平均图; 目前月预测的成功与否和初始场的形势有密切关系, 初始场是长时间稳定的流型如阻塞形势维持, 则其月预测效果较好; 初始场不是稳定形势的其预测效果不佳; 图3是 Miyakoda^[25]给出的两个月预测个例, 图3a是8个预测试验中效果最好的一例, 其相关系数达0.62, 左侧是实况, 右侧是预测, 可见: 北太平洋、美洲东岸、北大西洋三个负距平中心, 美洲西岸、极区二正距平中心, 中心位置基本正确, 距平数值有误差, 60°E 、 45°N 处

的负距平中心则偏离了 30 个经度以上.图 3b 是较差的一例,相关系数为 0.28,距平中心的位置、范围、数值除少数几个外均有较大误差.两个例子都有一个共同特点,预测的负距平过强,有整个过冷的倾向.

4. IAP GCM 月预测试验

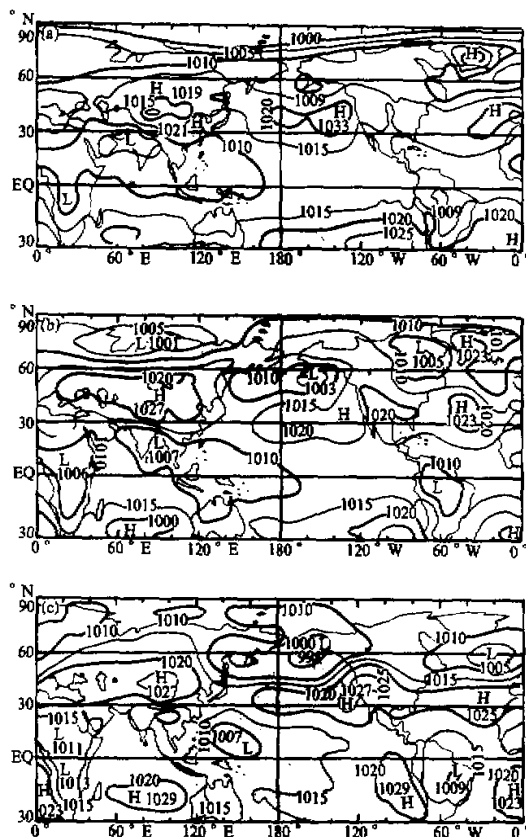


图 4 用 IAP GCM 作的 1988 年 10 月平均海平面气压预测

(a) 初始场, 1988 年 9 月, (b) 实况, 1988 年 10 月,

(c) 预测, 1988 年 10 月

1988 年王万秋、张荣华用 IAP 2—L AGCM 及 IAP 4—L OGCM 分段耦合的方法作了一次月预测试验,用 1988 年 9 月月平均大气状态及 SSTA(太平洋区域)作 10 月份的预测,图 4 是 9、10 月的观测月平均地面气压及预测的 10 月月平均地面气压场,9 至 10 月正是季节转变的时期,北半球亚洲太平洋区域的变化主要表现为:i) 亚洲大陆冷高压加强、范围扩大,中心强度由 1021hPa 上升为 1027hPa, ii) 阿留申低压加深,中心气压由 1009hPa 加深为 1003hPa, 向南移动约 10 个纬度,低压向西伸展至大陆边缘, iii) 北太平洋副高南退 10 个纬度,中心气压略有降低, iv) 亚洲南部的低压区分为两个,一在非洲,一在东南亚略有东伸,西面的一个中心略有填塞;预测的结果是:亚洲大陆冷高压的位置、强度、范围都极为成功,阿留申低压的南压、西伸、扩大的趋势也较为成功,只是低压中心气压预测比实况深 5hPa,北太平洋副热带高压的南退也预测得很好,

但高压强度不理想,亚洲南部低压的分裂在预测中也有反映,这是 IAP 模式所作第一个月预测试验,从初步分析情况来看是令人满意的.

5. 季度预测

人们预计,在过去两个十年对中期数值预报和月预测研究进行了努力之后,未来的十年季度预测也将受到注意.这将有两方面的问题需要深入研究,其一是大气中缓慢变化过程的机制,这主要包括大气内部过程的动力学、外强迫及热带动力学;其二是“信号”场长

期演变过程模拟研究方面的努力,这包括改进模式、随机过程的预测及海气耦合模式的发展。Miyakoda 特别强调大气内部动力学研究的重要性,认为这方面过去注意得不够。在数值模拟的发展中也较多地注意了物理过程参数化的研究,在短期气候预测的试验研究中,对如何改进数值模式框架的动力性能以更好地描写大气运动的非线性相互作用及长期演变过程,将会重新受到注意,在这方面 IAP 模式在动力框架的设计中作了初步尝试,试验表明对模式的模拟性能有一定的改善。

1985 年 Philander 和 Seigel 模拟了 1982—1983 年 El Niño 现象的发生,提出:为了模拟 El Niño 现象海温的形成,需要海洋模式在赤道带有很高的分辨率,能够描写 Kelvin 波,以模拟好赤道东太平洋海水的垂直运动,同时在海洋资料的分析中要保留适量的重力波。Miyakoda 等最近用海洋—大气耦合模式做了一次季度预测试验,大气部分采用 Gordon 及 Stern (1982)^[26] 的谱模式 R21L9 及 R30L9;海洋模式采用 Rosati 及 Miyakoda (1988)^[27] 的方案,水平分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$,在 10°N — 10°S 的赤道带,经度方向的分辨率提高到 $1/3^\circ$,垂直方向分为 15 层;由于海洋过程远较大气为缓慢,其资料四维同化比大气部分提前 10 个月进行;以 1979 年 10 月 1 日初始场作 1980 年 1 月的预测,预测的大气状态与实况有相当程度的相似,在 40°S — 50°N 区域与实况的相关系数达 0.4 左右,预测的海温距平在日本附近、南、北大西洋及印度洋有过大的负距平,有整个地过度冷却的趋势。

6. 汛期预测

1989 年初,中科院大气物理所又用 IAP AGCM 及 IAP OGCM 分段耦合的方法做了 1989 年夏季汛期的预测,用 1989 年 1 月的月平均大气状态及 SST 作初始场,积分 7 个月,预测即将来临的夏季气候状况;太平洋赤道区的海温直至 1989 年 1 月冷水年状态维持,从现已得知的 2、3 月份观测实况来看, SST 继续维持冷水型,但稍有减弱的趋势,预测是成功的,大气部分也基本属于正常年份,与预测一致;预测 5 月份海温场的形势将开始变化,夏季将接近正常,赤道西太平洋将有微弱的负距平,同时夏季的大气状态也接近正常年份。

四、展 望

经过 1975 年以来十多年的努力,短期气候预测的试验研究取得了相当好的进展,为实现月预测虽然还有许多问题需要继续深入探讨,但预计在未来十年月预测将实现业务化,围绕季度及更长时间预测的研究也将得到更多的重视。

参 考 文 献

- [1] Richardson L.F., 1922, *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge Univ. Press, London, 236pp. Reprinted by Dover.
- [2] Charney J.G., R. Fjortoft, and J. Von Neumann, 1950, Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equations, *Tellus*, 2, No.4, 237—254.
- [3] Epstein E., 1969, Stochastic dynamic prediction, *Tellus*, 21, 739—759.
- [4] 丑纪范, 1986, 长期数值天气预报, 气象出版社, 329p.

- [5] Grimmer M. and Shaw D.B., 1967, Energy preserving integrations of the primitive equations on the sphere, *Q.J.Roy. Meteor. Soc.* **93**, 337—349.
- [6] Dey, C.H., 1969, A note on global forecasting with the Kurihara grid, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 597—601.
- [7] Sankar-Rao M. and Umscheid L., 1969, Tests of the effect of grid resolution in a global prediction model, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 659—664.
- [8] Kurihara Y., 1965, Numerical integration of the primitive equations on a spherical grid, *Mon. Wea. Rev.*, Vol.93, 399—415.
- [9] Umscheid L. and Bannon P.R., 1977, A comparison of three global grids used in numerical prediction models, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 618—635.
- [10] Miyakoda K. et al., 1973, A prediction experiment with a global model of the Kurihara-grid, *J. Met. Soc. Jpn.*, **49**, Spec. Issue, 521—536.
- [11] Miyakoda K. and Sirutis J., 1983, Impact of subgrid-scale parameterizations on monthly forecasts, In: "ECMWF Workshop on convection in Large-Scale Models", 231—277.
- [12] Miyakoda K. and Sirutis J., 1977, Comparative integrations of global models with various parameterized processes of subgrid-scale vertical transports; Description of the parameterizations, *Contrib. Atmos. Phys.* **50**, 445—487.
- [13] Smagorinsky J., Manabe S. and Holloway J.L., 1965, Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere, *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 727—768.
- [14] Manabe S., Smagorinsky J. and Strickler R.F., 1965, Simulated climatology of a general circulation model with a hydrologic cycle, *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 769—798.
- [15] Mellor G.L. and Yamada T., 1974, A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1791—1806.
- [16] Delsol F., Miyakoda K. and Clarke R.H., 1971, Parameterized processes in the surface boundary layer of an atmospheric circulation model, *Q.J.R. Meteor. Soc.*, **97**, 181—208.
- [17] Arakawa A. and Schubert W.H., 1974, Interaction of cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 674—701.
- [18] Blackmon M.L., 1976, A climatological spectral study of the 500mb geopotential height of the Northern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1607—1623.
- [19] Blackmon, M.L., Wallace J.M., Lau N.-C. and Mullen S.L., 1977, An observational study of the Northern Hemisphere wintertime circulation, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1040—1053.
- [20] 长期数值天气预报研究小组, 1977, 一种长期数值天气预报方法的物理基础, 中国科学, 第2期, 162—172.
- [21] Hollingsworth A., D.B. Shaw, P. Lonnberg, L. Ilari, K. Arpe and A.J. Simmons, 1985, Monitoring of observation and analysis quality by data assimilation system, ECMWF / WMO Seminar / Workshop Report on "Data Assimilation Systems and Observing System Experiments with Particular Emphasis on FGGE" September 3—11, 1984, Vol.2, 293—347.
- [22] Rosen R.D. et al., 1985, Circulation statistics derived from level III-b and station-based analyses during FGGE, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 65—88.
- [23] Arpe K., 1985, Fit of FGGE level III-b analysis by ECMWF and by GFDL to observational data during the period 27 February to 7 March 1979., GARP Special Report No.44, Report of the seminar on progress in tropical meteorology as a result of the global weather experiment at Tallahassee, October, 1984, WMO / ICSU, pp.1—36—45.
- [24] Baumhefner D.P., 1984, Analysis and forecast intercomparisons using the FGGE SOP I Data base, Proceedings of the first National Workshop on Scientific Results of the Global Weather Experiment, Woods Hole, July 9—20, 1984.
- [25] Miyakoda K. and Sirutis J., 1986, Extended Range Forecasting, *Advances in Geophysics*, **28B**, 55—85.
- [26] Gordon C.T. and W.F. Stern, 1982, A description of the GFDL global spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 624—644.
- [27] Rosati A and K. Miyakoda, 1988, A general circulation model for upper ocean simulation, *J. Phys. Oceanogr.*, **18**, 1601—1626.