

物理初值化在台风数值天气预报中的应用试验

阎敬华 薛纪善

(广州热带海洋气象研究所, 广州 510080)

提 要

根据 P. R. Julian (1984)^[1] 的物理初值化方法, 利用有限区数值预报模式, 针对台风系统的预报做了物理初值化试验。结果表明, 物理初值化不但可以改善台风、低压和副高区域的初始流场形势以及初始降水率, 而且可以改善台风强度的发展变化过程和路径的预报, 是一种有效可行的方法。

关键词: 物理初值化; 数值试验。

1 引 言

物理初值化, 其实就是将非绝热加热的观测信息(如 OLR, 降水率等), 通过一些半经验的物理关系加入到常规分析场中去, 对常规分析场进行修订, 从而使模式的初始状态更加合理, 这方面主要包括对流场(散度场)的修订^{[1][2][3]}和对湿度场的修订^[2]。90年代后, 美国佛罗里达州立大学又尝试了一种新的物理初值化方法^[4], 即首先诊断出边界层过程、对流和辐射等各种参量, 然后再通过一系列反演运算使模式初值与诊断结果一致, 并提前一天做动力学调整(Nudging)。试验表明此法对热带数值预报的初值和预报有较好的改进。但此法较为复杂, 目前难以在业务模式中实现。

本文的目的, 是尝试将国外一些较为有效可行的物理初值化方法, 引进到我们的热带数值预报业务模式中进行试验, 以期改进模式的初值和预报。

2 方法步骤及模式、资料简介

我们采用了 Julian (1984)^[1] 的方法, 即:

$$\text{EBB} \xrightarrow{\text{半经验统计}} D(\text{散度})$$

其中 EBB 表示云顶相当黑体温度, 可由 OLR 算出:

$$EBB = \sqrt[4]{\frac{OLR}{\sigma}} \tag{1}$$

上式中, $\sigma = 5.6696 \times 10^{-8}$ 瓦·米⁻²·度⁻⁴。

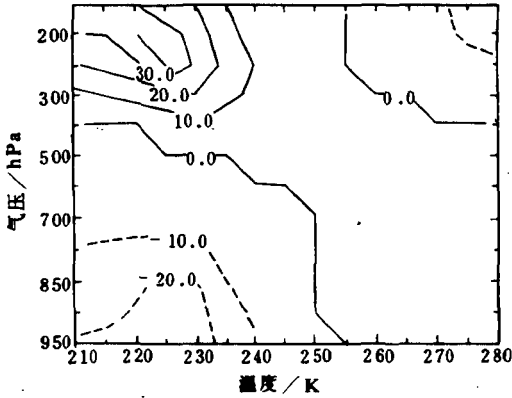


图1 云顶相当黑体温度(EBB,单位:K)与各层散度(DIV,单位:10⁻⁶/s)的关系图(横坐标为K,纵坐标为气压,等值线为散度,等值线间隔为10)

EBB 与 D 的关系在文献[1]中给出。谢安等(1990)*详细地比较了用 ECMWF 资料算出的速度势和用 Julian 的这一方法由 OLR 算出的速度势,认为这一方法能够比较准确地应用于热带风场分析和数值预报的初值化。

具体的做法如下:

(1) 由 OLR, 根据式(1) 求出 EBB 值。

(2) 由文献[1] 给出的 EBB 与各层散度的关系(见图 1) 求出对应的散度场, 即为修订后的散度场, 用 D' 表示。

(3) 将原始分析场中 P 面上的 $\vec{V}$ 分解为辐散风 $\vec{V}_\phi$ 和旋转风 $\vec{V}_\chi$ 两部分:

$$\vec{V} = \vec{V}_\phi + \vec{V}_\chi \tag{2}$$

则有:

$$\begin{cases} \vec{V}_\phi = \vec{k} \times \nabla \psi \\ \vec{V}_\chi = \nabla \chi \end{cases} \tag{3}$$

式中 ψ 为流函数, χ 为速度势, 且有:

$$\begin{cases} \nabla^2 \psi = \zeta \\ \nabla^2 \chi = D \end{cases} \tag{4}$$

式中 ζ 为垂直涡度, D 为水平散度。

由原始分析风场 $\vec{V}$, 根据涡度和散度的定义求出 ζ 和 D , 然后通过式(4) 用迭代法^[5] 求解出 ψ 和 χ , 再代入式(3), 求出 $\vec{V}_\phi$ 和 $\vec{V}_\chi$ 。

(4) 用第2步中修订后的 D' 取代第3步中未修订的 D , 同样用式(4) 迭代求出修订后的速度势 χ' , 进一步代入式(3) 得到修订后的辐散风 $\vec{V}'_\phi = \nabla \chi'$ 。

(5) 得到修订后的风场 $\vec{V}'$:

$$\vec{V}' = \vec{V}_\phi + \vec{V}'_\chi \tag{5}$$

由式(5) 可见, 在调整中, 对风的旋转部分是保留不动的, 只对辐散部分进行修订。

在本文的初值化试验中, 应用了广州热带海洋气象研究所的热带区域6层套细网格 σ 坐标原始方程业务模式^[6]。其中粗网格格距为333.3公里, 细网格距为166.6公里。所用资

* 谢安、白人海. OLR 资料在低纬风场中的应用, 第五次全国数值天气预报会议材料, 1990, 北京。

料为 ECMWF 的格点分析资料和逐日全球 OLR 资料。

3 在台风数值预报中的应用试验结果分析

本文选取了一个移近华南沿岸,并登陆西行的台风个例(8106号)进行对比试验。

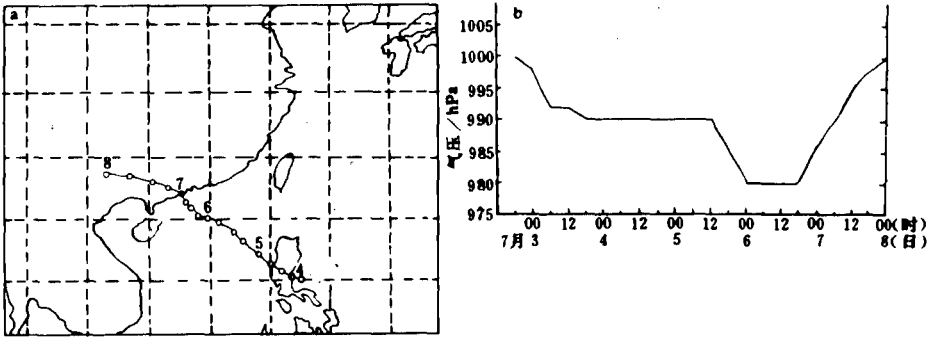


图2 8106号台风的位置(a)和中心地面压(b)的时间演变图

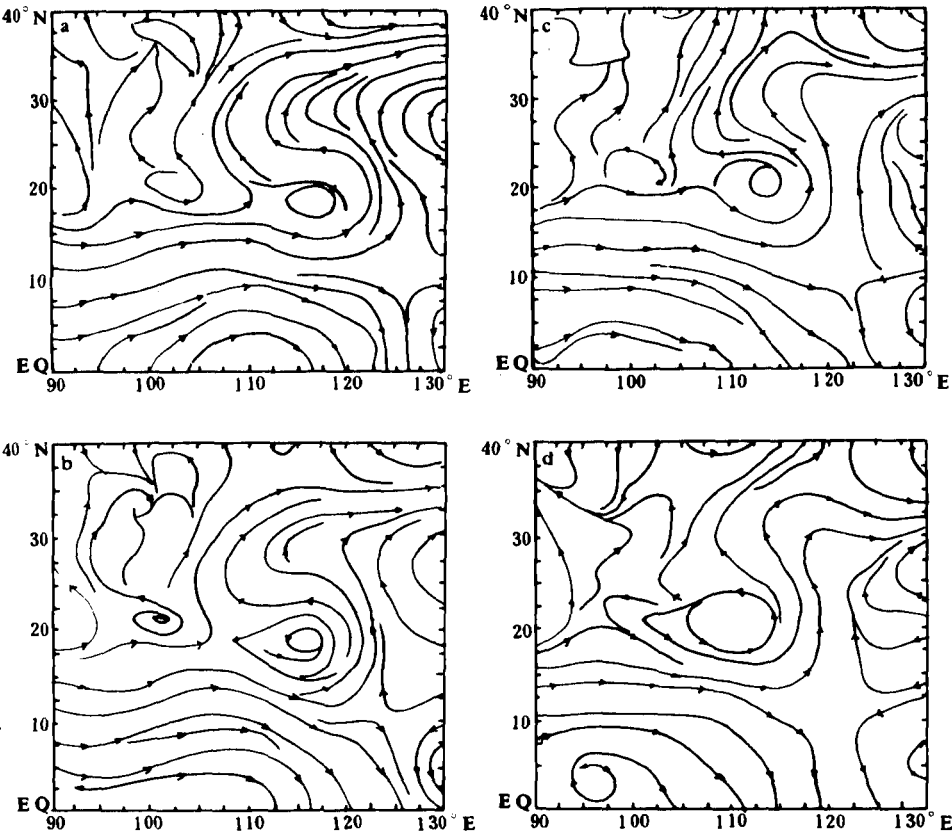


图3 1981年7月5日至7日的700hPa 流场实况演变图
(a)5日12Z(b)6日00Z(c)6日12Z(d)7日00Z

3.1 台风个例的实况特征

8106号台风(LYNN)是一个西太平洋台风,于1981年7月1日在热带太平洋生成,然后向西和西北方向移动,于7月6日18Z在广东省上川岛附近登陆,并迅速西行减弱,8日消失。图2(a)给出了此台风的后期路径图。图2(b)为该台风的中心地面气压演变曲线。可见,该台风在5日12Z至6日00Z风速加强,以后维持不变,6日18Z登陆后迅速减弱。根据实际需要和短期数值天气预报的特点,我们重点研究5日12Z至7日12Z这48小时时段,即台风加强移近华南并登陆西行减弱的过程。因此,数值试验中我们以5日12Z为初始场,做48小时预报。

图3给出了5日12Z至7日12Z的每隔12小时的实况流场演变情况。很明显,5日12Z至6日12Z都存在两个闭合气旋环流,东边一个就是8106号台风,西边一个是季风低压。此过程中,台风逐渐加强并朝西北方向移动,逐渐靠近季风低压;而季风低压则基本维持不动。到了6日12Z至7日00Z,台风与季风低压迅速吸引合并,成为一个统一的环流圈。因而台风迅速向西北偏西方向移动(参见图2a)。500hPa的情况也基本相同(图略)。

3.2 台风的对流特征及物理初值化

由7月5日16Z的OLR值的水平分布图(图略)看到,台风区域是明显的OLR低值区,OLR值小于 140W/m^2 的范围直径约700—1000km,其中最低值为 106W/m^2 。而且OLR低值区呈西北—东南向较长的不对称分布。可见,台风区具有较强的对流活动,这正是进行物理初值化的依据。

图4给出了物理初值化前和后的500hPa初始流场。由图可见,初值化前,台风环流以及其北侧的副高环流都较弱,表现为台风闭合环流区域较小,其西侧勉强闭合,其中心位置较实况(见图2a)偏西,副高为一狭长的脊,没有闭合中心。而初值化后,台风环流得到了显著的加强改善,闭合环流范围扩大,符合一般台风的水平流场分布特征,且其中心位置变得与实况一致,这一点非常重要。同时,副高环流与季风低压也有所加强,表现为副高出现闭合中心,季风低压环流更明显。对于西行台风情况,初值化后的副高形势更合理,更利于台风西行。同时看到,初值化后,大范围的环境流形势基本维持不变。这是合理的,因

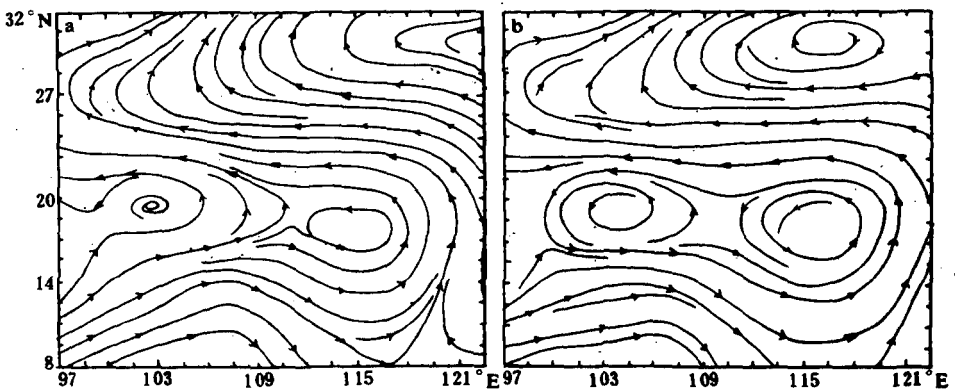


图4 物理初值化前后的500hPa初始流场(a)初值化前(b)初值化后

为物理初值化只修订流场的辐散部分,不改变旋转部分(一般热带区的旋转风部分观测分析较好,而辐散风部分较差),而对大部分区域来说,旋转风比辐散风大一个量级.因此,修订了辐散风后,总流场形势变动不大.但变动的部分意义非常大。

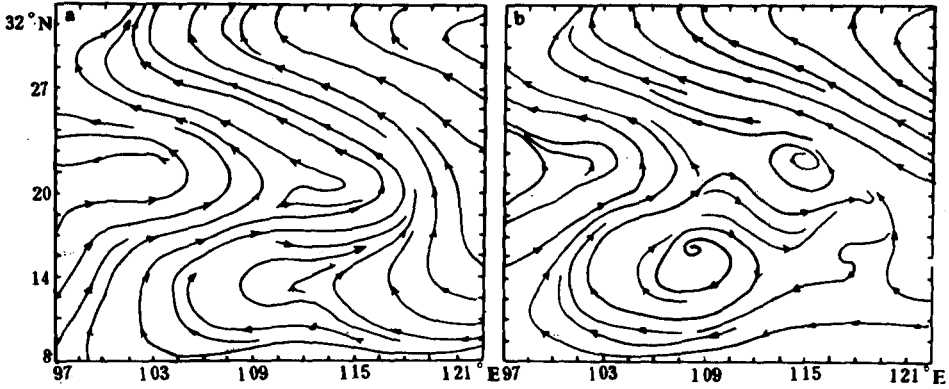


图 5 未进行物理初值化的 500hPa 流场预报图(a)24 小时(b)48 小时

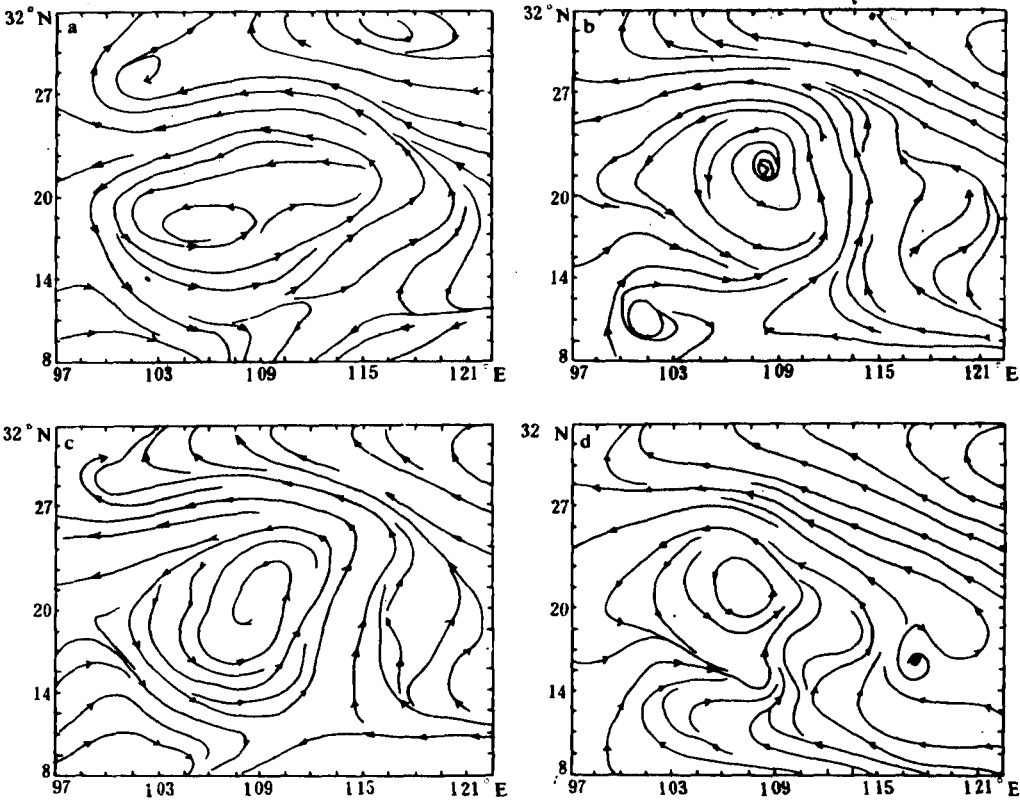


图 6 经过物理初值化的 500hPa 流场预报图(a)12 小时(b)24 小时(c)36 小时(d)48 小时

3.3 预报结果分析

为了进行比较分析,我们分别做了未进行物理初值化的预报和经过物理初值化的预报。

从模式初始降水率分布图(图略)看到,未进行物理初值化时,台风区域降水率很小,每天仅5—9毫米,而经物理初值化后,降水率提高到每天50—67毫米。这更加合理,因为一般台风的降水率每天为100—300毫米。

图5给出了未经物理初值化的500hPa流场的24小时和48小时预报图。很明显,台风系统迅速减弱消失,24小时台风已减弱成横槽,季风低压也迅速减弱成槽。这与实况(参见图3)完全不同。因此,预报是失败的。

图6分别给出了经过物理初值化后500hPa流场的12、24、36和48小时预报图。比较图5与图6可看到,台风在0—24小时的加强过程和24—48小时的维持转减弱过程预报得很好;西侧的季风低压与东侧的台风的互吸合并过程也预报出来了,当然互吸合并过程较实况稍为提前。正是成功地预报了台风强度的发展变化过程和台风与季风低压的互吸合并过程,方使得预报的台风路径和环流形势与实况相当一致。可以说,经物理初值化后,台风的强度预报和路径预报都是成功的。

综上所述,通过对流场进行物理初值化,不但可以改进台风、低压及副高等系统的初始状态(流场形势和降水率等),而且可以改进台风的发展变化过程和路径的预报。

4 问题讨论

(1) 物理初值化中采用的统计、经验、理论关系有待改进。尽管本文所用的方案对热带系统的分析有比较好的改进,但仍是粗的。这一方案并没有区别不同系统(如台风、季风、低压、副高、中层气旋等),而不同系统中散度场的分布特征各有差异;也没有区别对待不同尺度(大、中、小尺度),不同区域,不同季节以及在不同网格距模式中应用时的变幅因子(如同一系统在小尺度模式中和在大尺度模式中所表现出的散度值应有所不同,网格越大,散度越小)。因此,今后有必要针对上述各因素对物理初值化所依据的各种经验、统计和理论关系进行改进,这样才能对各系统各区域各模式都有比较好的初值化,从而在业务模式中加以应用。

(2) 物理初值化中所用到的非常规观测资料的获取及分析处理需要加强。如卫星OLR资料或云顶亮温资料等的实时数字化及其精度控制(在适当细的网格点上),以及从云的观测推算降水率和判别系统类型(如热带气旋,副高,中层气旋,热带积云团,信风云等)的方法,从而在初值化中区别处理。

(3) 初值化后模式初始场应保持平衡。这就需要配合进行动力初值化或非线性正规模式初值化,但这些方法本身也还存在许多不足,需要改进。例如非绝热NMI^[7]方法中,非绝热加热的量和分布的确定非常重要,但这一确定目前有很大困难。Nudging方法可以对上述困难有所改进,但它需要更多的机时和资料,目前在业务上难以实现。

(4) 对水汽场的物理初值化很重要,它对有效地缩短模式的运转时间很关键,特别对

超短期预报更加重要。国外许多专家都认为水汽场的调整非常重要,但这更加困难。一方面是资料差,另一方面是物理关系更为复杂。目前美国佛罗里达州立大学已通过反演方法对水汽场等进行物理初值化,澳大利亚气象局也在进行对水汽场的物理初值化试验。因此,下一步我们将参考国外的方法和经验,建立对水汽场的物理初值化系统。

参 考 文 献

- 1 Julian P. R., Objective analysis in the tropics, a proposed scheme. *M. W. R.*, 1984, **112**, 1752—1767.
- 2 Krishnamurti T. N., Kevin Ingles, Steven Cocks, et al., Details of low latitude medium range numerical weather prediction using a global spectral model, Part II: Effects of orography and physical initialization. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1984, **62**(4), 613—649.
- 3 Krishnamurti T. N., Simon Low—Nam., On the relationship between the outgoing long wave radiation and the divergent circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1986, **64**, 709—719.
- 4 Krishnamurti T. N., J. Xue, H. S. Bedi, et al., Physical initialization for numerical weather prediction over the tropics. *Tellus*, 1991, **43A**(4), 53—81.
- 5 郑良杰, 中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟. 北京: 气象出版社, 1989. 33—35.
- 6 Xue Jishan, Wang Kangling, Wang Zhiming, et al., Test of tropical limited area numerical prediction model including effect of real topography. *Adv. Atmos. Sci.*, 1988, **5**(1), 1—14.
- 7 Puri K., Some experiments on the use of tropical diabatic heating information for initial state specification. *M. W. R.*, 1987, **115**, 1396—1406.

THE APPLICATION OF PHYSICAL INITIALIZATION TO THE NUMERICAL PREDICTION FOR TYPHOONS

Yan Jinghua Xue Jishan

(Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic Meteorology, Guangzhou 510080)

Abstract

Several experiments of the physical initialization in the numerical prediction of typhoons, by using P. R. Julian's scheme (1984) with the operational tropical limited area operational NWP model, are conducted. The results show that not only the initial state (stream and rainfall rate) in the areas of the typhoon, the monsoon depression or the subtropic high, but also the predictions of the strength and the track of the typhoon can be largely improved by the use of physical initialization, which proved to be an effective and feasible method in the tropical NWPs.

Key words: Physical initialization; Numerical experiment.