

一种适于较强台风的切向风廓线方案 及其对异常台风路径的数值模拟研究*

孟智勇 徐祥德 陈联寿

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 针对现今台风数值预报中强热带气旋切向风廓线设计上的困难, 提出了一种利用台风报告中7级风和10级风的半径来确定台风切向风廓线的方法。它既可反映真实台风外围结构又避免了强风速切变问题。该方案有可能改进台风尤其是异常路径台风的预报效果, 具有广阔的业务应用前景。

关键词: 台风; 切向风廓线; 台风外围结构

1 引言

台风是发生在热带洋面上的天气系统。在广阔的洋面上观测资料十分稀少, 这就为洋面上环流形势的分析带来很大的误差。常规分析场很难给出热带气旋的真实结构, 有时甚至连整个台风系统都分析不出来。初始场的准确性是数值预报的一个关键所在。无论在台风的路径还是在台风强度的预报中, 能够在初始场中较准确地描述热带气旋的结构, 是十分重要的。因而在初始分析场中如何真实地描述热带气旋的结构越来越引起科学家们的注意。

目前, 构造台风初始场的基本思路就是首先在原始分析场中消去分析台风, 然后加入一个人造台风涡旋^[1], 即

$$\langle \text{初始场} \rangle = \langle \text{全球分析场} \rangle - \langle \text{分析台风} \rangle + \langle \text{人造台风} \rangle. \quad (1)$$

一个比较好的人造台风涡旋一般应具备以下三个特点^[1]: (1) 一致性, 即涡旋的结构必须保持动力和热力上的一致。除了风场和质量场的平衡关系外, 水汽场也要和其他要素场一致。水汽场的分布关系着台风强度的变化。(2) 真实性, 即人造台风要反应真实台风的主要特征。台风因其所处环境的不同而具有不同的大小和强度。(3) 协调性, 即人造台风必须与预报模式的分辨率及物理过程相匹配。

关于台风涡旋的构造问题(即台风的 Bogusing 问题), 人们多根据估测的台风中心位置和强度, 在现有台风结构认知的基础上构造一个台风模型。目前国内外各台风预报中心所用的台风对称风场的 Bogusing 方案一般有两种, 其一是建立在气压面上的, 通过经验公式首先计算出海平面气压场的分布, 由风压关系得到台风的对称风场^[2~4]; 其二是建立在 σ 面上, 通过某种形式的切向风廓线直接得到台风的风场分布^[5,6]。在第二

1999-12-06 收到, 2000-09-04 收到再改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49975013、49775264 共同资助

种方法中, 切向风廓线的选择就成了一个十分关键的问题。Leslie 和 Holland^[7]曾对各种廓线方案作过对比, 发现不同的廓线会对台风路径造成不同的影响。

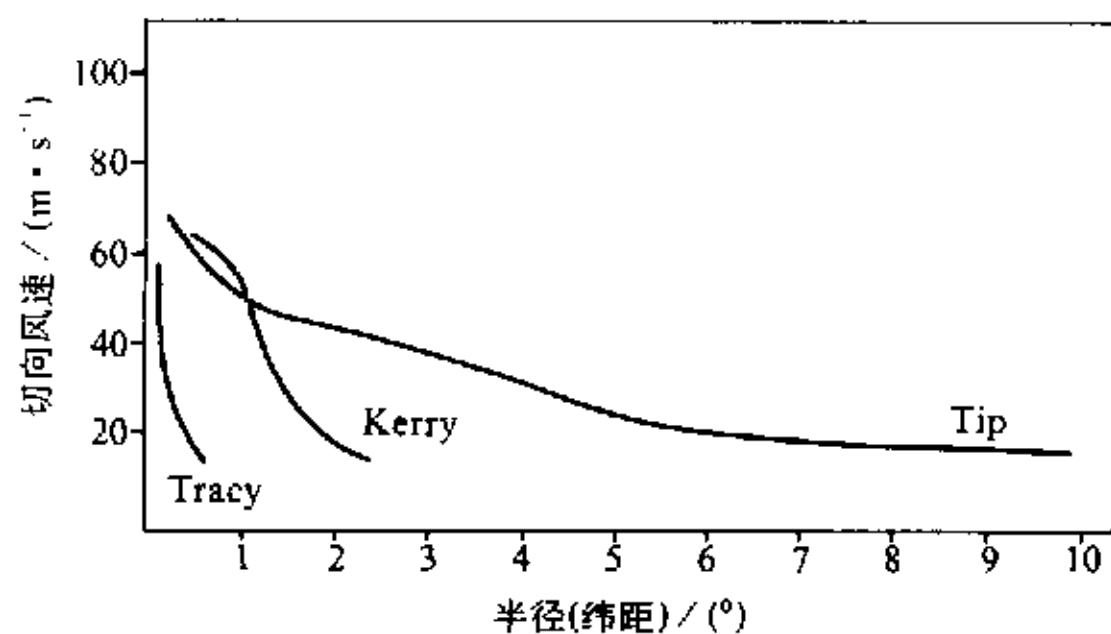


图1 台风 Tracy 和 Kerry 以及台风 Tip 中的低层切向风速的径向廓线^[8]

一般来讲, 一个比较好的廓线方案应该能够尽可能准确地反映台风的真实结构。研究表明, 中心强度差不多的台风可以具有显著不同的外围结构(图1)^[8]。就此, 科罗拉多州立大学的 Gray 教授和他的研究小组^[9]提出, 热带气旋的结构可分为三种形态: 中心强度、中心外围风强和大小。因而台风风廓线的构造应考虑这三方面的因素。目前, 国内外的台风研究和预报中心设计风廓线所用的

参数大多为最大风速、最大风速半径和 15 m s^{-1} 风速(相当于7级风)半径^[10]。这种方法对不太强的台风而言一般没什么问题, 但是对较强台风来讲, 由于模式分辨率的问题, 台风中心的强风速切变会造成某种形式的不稳定。于是人们便人为地削减台风的强度^[2,3]。但是究竟该如何削减却无定论, 而且, 中心强度的削减将不可避免地影响台风整个风场的分布, 从而给台风路径的预报带来误差。近年来的研究^[10~13]表明, 台风的运动与台风的中心强度关系不大, 却对台风外围结构十分敏感。这样, 在台风较强时, 仅靠人为确定的最大风速及7级风速半径来构造切向风廓线必将给台风外围结构的描述带来一定的误差, 从而造成台风运动上的偏差。因而有必要利用更多的结构信息来尽可能准确地反映台风的外围结构。

针对这些问题, 本文提出了一种利用台风报告中7级风和10级风的分布来确定台风切向风廓线的方法, 该方法既可反映真实台风外围结构又避免了强风速切变问题, 并且可明显提高台风尤其是异常路径台风的预报效果, 具有广阔的业务应用前景。

2 强台风切向风廓线方案

本文的廓线方案是在 Chan 和 William^[4]1987年提出的方案基础上设计的, 他们的廓线分布方程为

$$V(r) = V_{\max} \left(\frac{r}{r_{\max}} \right) \exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r}{r_{\max}} \right)^b \right] \right\}, \quad (2)$$

其中, $V(r)$ 为切向风, V_{\max} 为最大风速, r_{\max} 为最大风速半径, b 为控制台风外围风速分布的因子, b 越小, 台风外围的风强度减弱越慢。在以往的研究及业务预报中, 参数 b 一般取为某一固定经验值, 这种做法对具有显著不同外围结构分布的台风而言显然是不合适的。

在国内外的台风报告中有关台风结构的参数包括中心最低气压、近中心最大风速、30 kn 和 50 kn 风速半径。从引言中我们知道, 台风外围强度而非台风中心强度是结构

参数中影响台风运动的主要因子, 于是本文设计了一种基于台风报告中的 30 kn (约 15.4 m s^{-1}) 和 50 kn (25.7 m s^{-1}) 风速半径的 (2) 式中各待定参数的确定方案, 即利用廓线去拟合 30 kn 和 50 kn 风区分布来求得 b 和 V_{\max} 。这样得到的 b 是比较客观的。这种方案既可反映真实台风外围结构又避免了强风速切变问题。

首先把 30 kn 风速 V_{30} 和 50 kn 风速 V_{50} 及其半径 r_{30} 和 r_{50} 代入 (2) 式:

$$V_{30} = V_{\max} \left(\frac{r_{30}}{r_{\max}} \right) \exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r_{30}}{r_{\max}} \right)^b \right] \right\}, \quad (3)$$

$$V_{50} = V_{\max} \left(\frac{r_{50}}{r_{\max}} \right) \exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r_{50}}{r_{\max}} \right)^b \right] \right\}. \quad (4)$$

把 (3) 和 (4) 式相结合可消去 V_{\max} 而得到只含有 b 和 r_{\max} 的方程:

$$\frac{V_{30} \times r_{50}}{V_{50} \times r_{30}} = \frac{\exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r_{30}}{r_{\max}} \right)^b \right] \right\}}{\exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r_{50}}{r_{\max}} \right)^b \right] \right\}}, \quad (5)$$

其中 r_{\max} 根据经验估计为 r_{50} 的 0.8 倍。

得出 b 后代入 (3) 式即可得到 V_{\max} 。这样得到的 V_{\max} 要比台风报告中的小, 从而避免了强风速切变所造成的不稳定。把 b 、 V_{\max} 和 r_{\max} 代入 (2) 式即可得到切向风的径向分布。在第 3 节的对比试验中我们将看到这种方案要优于其他形式的廓线分布。

本文采用王玉清修正的平衡方程方案^[15]从风场分布来计算质量场, 然后把人造台风按一定的权重平滑地加到模式的初始场中。

3 数值模拟个例

利用本文介绍的台风切向风廓线方案及 MM5 模式对 9806 号台风进行了模拟试验。

9806 号台风是一个典型的东海西折异常路径^[16], 它于 1998 年 9 月 15 日生成于菲律宾东部海面, 以后呈倒抛物线形依次向东北、北、西北、西方向移动 (图 2)。从中央气象台及日本的热带气旋报告上的 24 小时预报位置来看, 17 日 00 时前后 (世界时, 下同) 的预报误差较大, 约 400 km (图 2), 这说明两个预报中心均未在异常路径出现前期作出准确的预报。因而处于转向前期的 17 日 00 时, 是 9806 号台风异常路径预

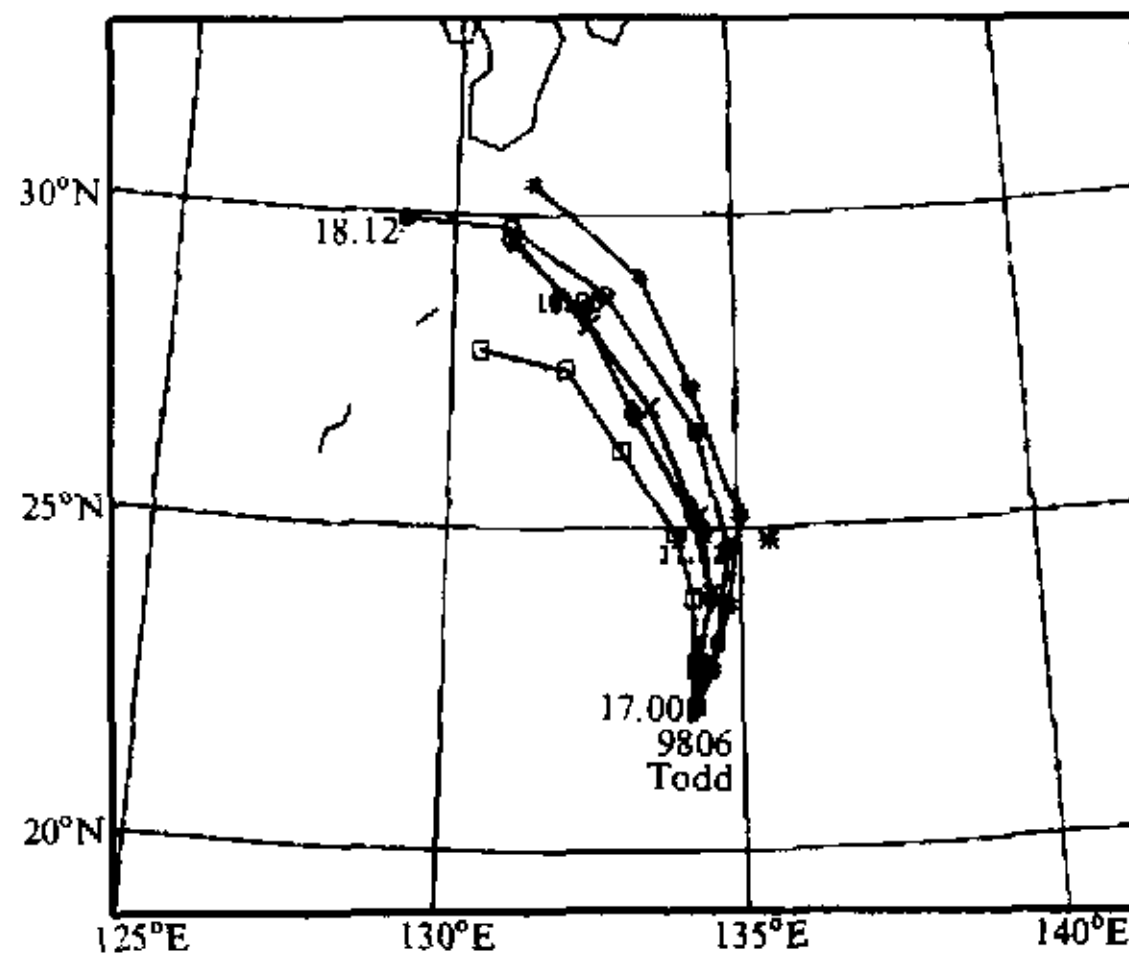


图 2 9806 号台风的路径

- : 台风的实际路径; ×: 试验 2 模拟路径;
- ◇: 试验 3 模拟路径; □: 试验 4 模拟路径;
- #: 试验 5 模拟路径;
- *: 中央气象台 17 日 00 时发布的 24 小时的预报位置;
- ★: 日本 17 日 00 时发布的 24 小时的预报位置

报的关键时段。于是本文数值试验以 17 日 00 时为初始时刻，利用 MM5 模式作了 36 小时的数值模拟试验。

3.1 数值模式概述

本文所用模式为 PSU/NCAR 的 MM5 中尺度模式第二版本。垂直方向采用 23 层仿地形 σ 坐标。积分区域为 $3\ 330\text{ km} \times 3\ 930\text{ km}$ ，其中心经纬度为 130°E 和 26°N ，格距为 30 km ，侧边界采用 6 h 时变边界，水循环采用 Grell 方案。

3.2 试验方案

试验 1: 初始场仅用国家气象中心提供的 T106 全球分析场 (图 3a)。

试验 2: 在 T106 分析场中加入按本文第 2 节的方案设计的人造台风 (图 3b)。根据中央气象台的热带气旋报告，9806 号台风的 30 kn 和 50 kn 风半径分别为 300 km 和 100 km ，中心位置在 $(134.2^\circ\text{E}, 22.2^\circ\text{N})$ ，人造台风的切向风和温度距平廓线见图 4 及图 5 中的实线。

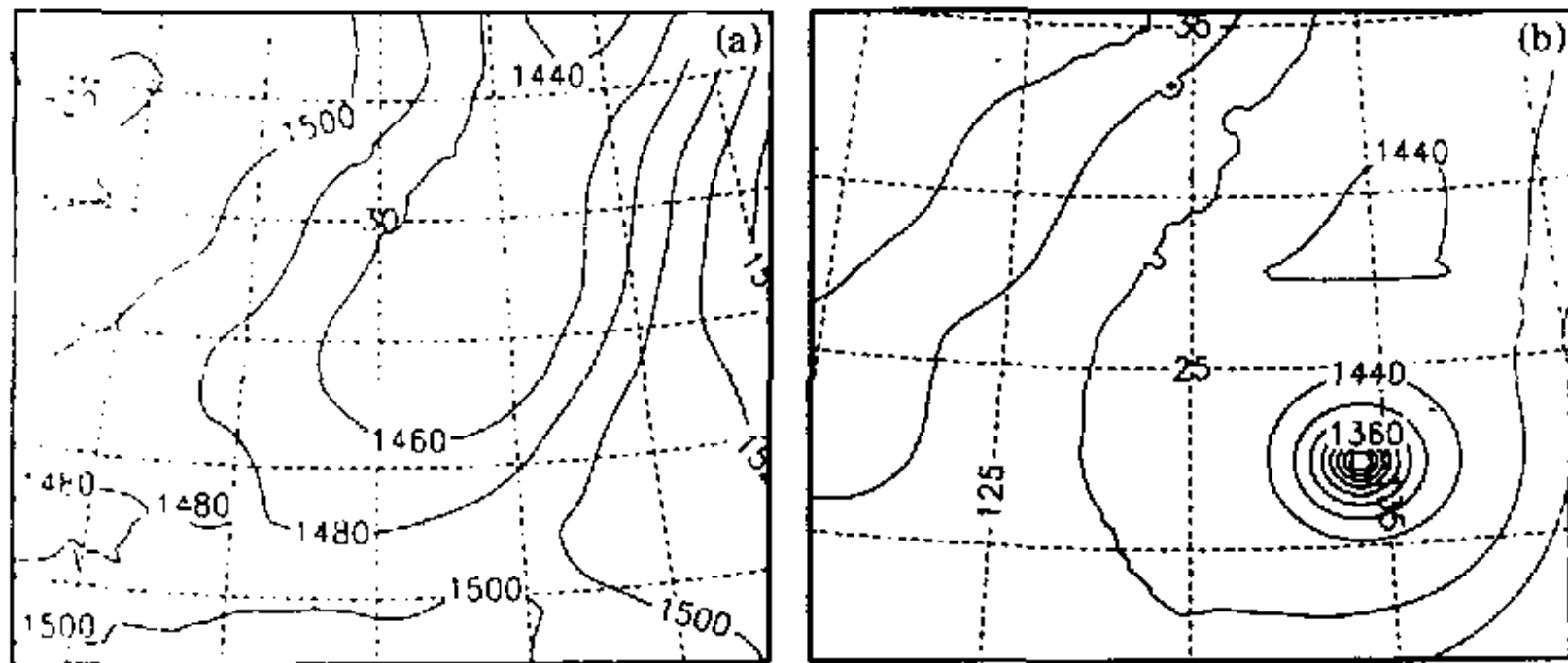


图 3 初始时刻 850 hPa 高度场
(a) 试验 1; (b) 试验 2

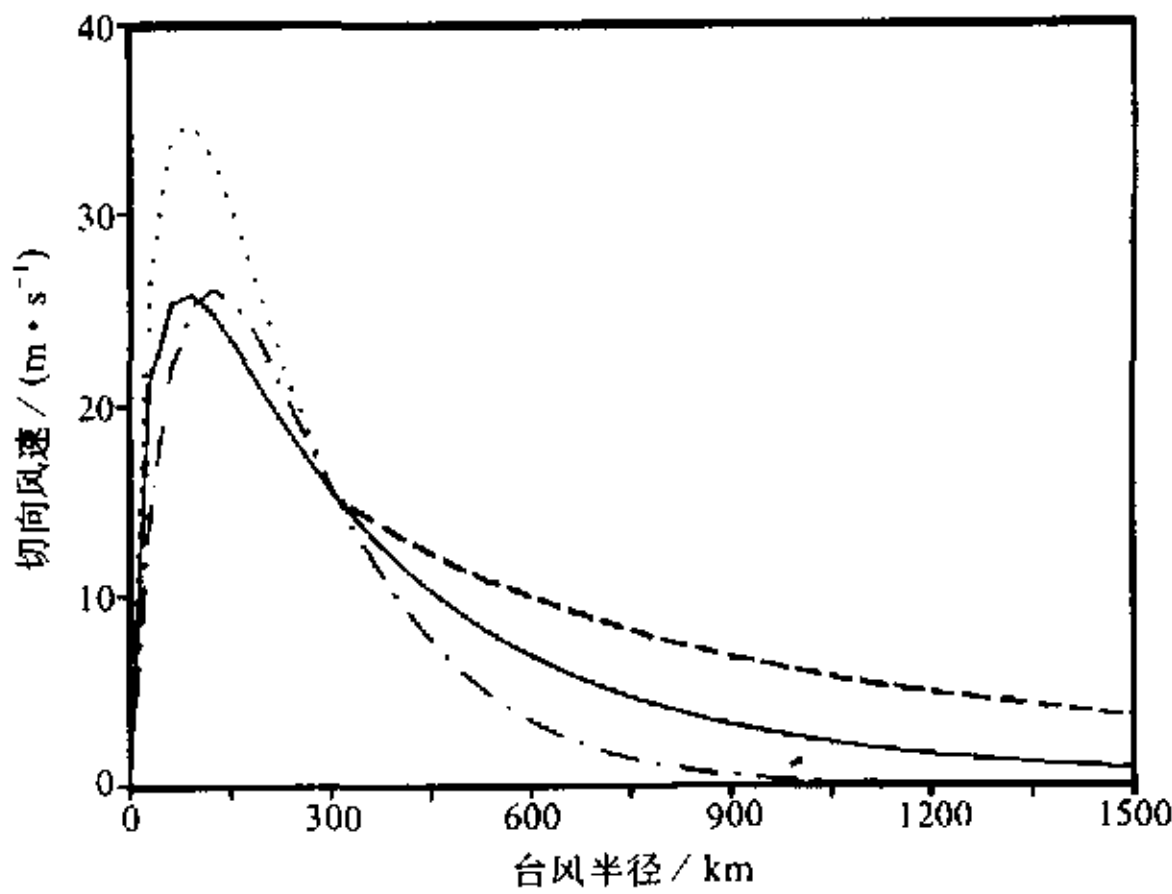


图 4 台风水平切向风廓线
实线: 试验 2; 虚线: 试验 3;
短划线: 试验 4; 点划线: 试验 5

台风的运动与其外围风的分布关系比较密切，而与台风中心的强度关系不大^[10]。为了对比第 2 节的方案与其他形式廓线的效果以及 MM5 模式中台风结构对台风运动的影响，本文设计了另外三个试验。

试验 3: 台风外围风分布同试验 2，中心强度加强，取为台风报告中的最大风速，切向风的径向分布廓线和台风中心温度距平的垂直分布廓线见图 4 和图 5 中的虚线。

试验 4: 台风中心强度同试验 2，外围风加强，切向风的径向分布廓线和台风中心温度距平的垂直

分布廓线见图 4 和图 5 中的短划线。

试验 5: 台风中心强度与试验 2 差不多, 但外围风速减小, 切向风的径向分布廓线和台风中心温度距平的垂直分布廓线见图 4 和图 5 中的点划线。

3.3 结果分析

由于海上观测资料的缺乏, 17 日 00 时 T106 分析场中台风位置附近仅为—宽广槽区, 而无闭合中心 (图 3a)。由于初始场的问题, 试验 1 的积分场虽出现了闭合中心, 但其中心位置却与实际台风位置相距甚远, 环流结构也较弱而且

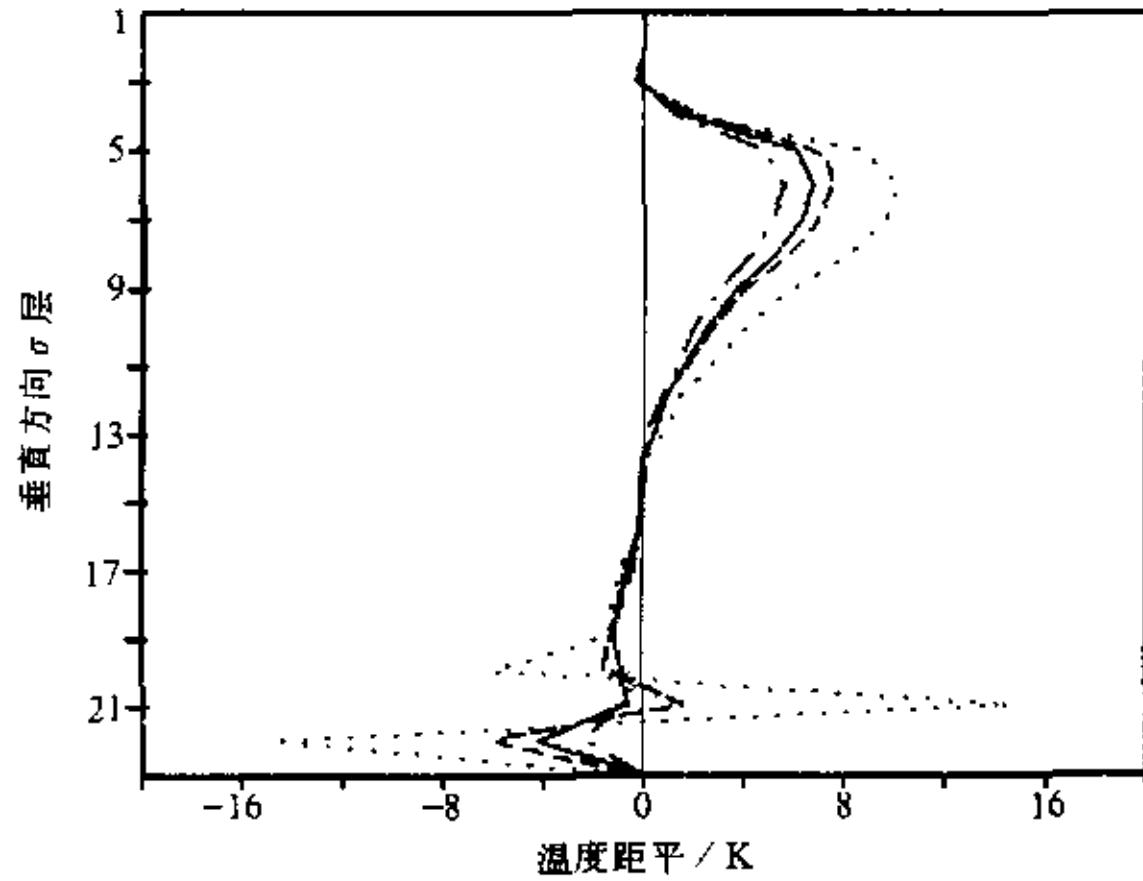


图 5 人造台风中心温度距平的垂直分布
实线: 试验 2; 虚线: 试验 3;
短划线: 试验 4; 点划线: 试验 5

松散。到了 36 小时已没有闭合中心了 (图 6a)。这说明仅用 T106 分析场无法准确预报海上台风的运动。而加入人造台风的试验 2 (图 3b) 则较为准确地模拟出了台风向北及西北的转向 (图 2)。36 小时的预报场的台风系统仍然比较清楚 (图 6b)。由此可见, 本文所设计的台风初始化方案可显著改进台风异常路径的预报。模拟的台风初始运动偏慢可能是由于模式初始阶段的适应过程造成的。

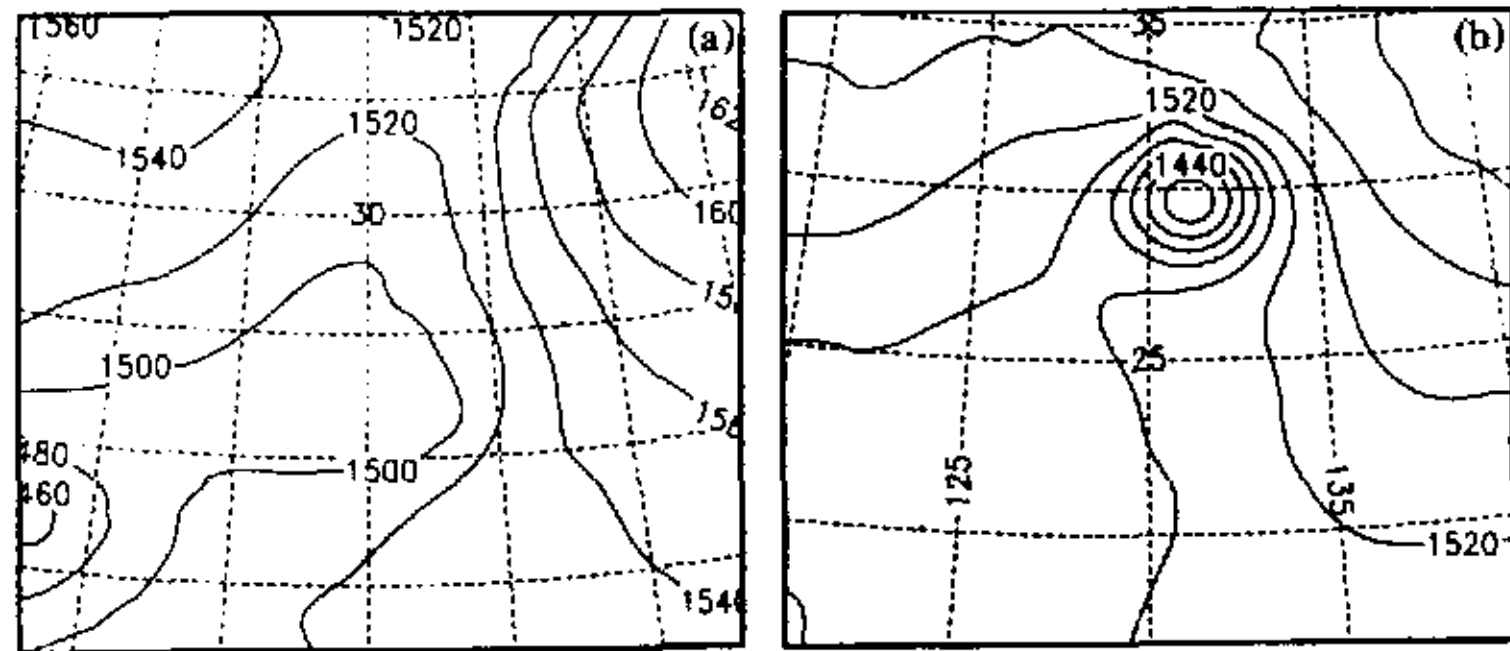


图 6 模式积分 36 小时的 850 hPa 高度场
(a) 试验 1; (b) 试验 2

从试验 4 及试验 5 的模拟路径 (图 2) 可以看出, 中心强度一样, 外围风力不同的台风, 其路径明显不同。外围风力较大的台风较偏西, 外围风力较小的台风较偏北, 二者与实际台风的路径相差均较大。这说明, 初始台风外围结构的不准确描述会给台风的路径预报带来相当大的误差。试验 3 的结果表明, 外围风力相同中心强度不同的台风, 其路径比较接近。然而加强后的台风中心附近较大的风速切变却造成了低层温度距平的强烈震荡 (图 5)。这意味着在分辨率不太高的数值模式中, 不能把台风的实际中心强度直接放入模式。

总之,对台风及强热带风暴而言,采用本文第2节所提出的廓线方案是比较合适的。它既较真实地描述了台风外围风的分布,又避免了台风中心强风速切变造成的不稳定。

4 结语

本文提出了一个针对于较强台风的切向风径向廓线的构造方法,该方案既反映了实际台风7级风和10级风的分布,又避免了强风速切变的问题。该方案有可能改进台风尤其是异常台风的路径预报效果,有着广阔的业务应用前景。

另外,本文的数值试验还表明,Fiorino等^[10]通过正压模式试验得出的台风结构对运动的影响特征在斜压模式中依然成立,即台风的路径主要受台风外围风强的影响,而与台风的中心强度关系不大。而且外围风较强时,台风偏西运动分量增大;外围风较弱时,台风偏北运动分量增大。

参 考 文 献

- 1 Kurihara, Y., Bender, M. A., Ross, R. J., An initialization scheme of hurricane models by vortex specification, *Mon. Wea. Rev.*, 1993, **121**, 2030~2045.
- 2 Iwasaki, Nakano H., Sugi, M., The performance of a typhoon track prediction model, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **85**, 555~570.
- 3 Mathur, M. B., The National Meteorological Center's quasi-Lagrangian model for hurricane prediction, *Mon. Wea. Rev.*, 1991, **119**, 1419~1447.
- 4 王国民, 王诗文, 李建军, 一个人造台风方案及其在移动套网格模式中的应用, *热带气象学报*, 1996, **12**(1), 9~17.
- 5 Davidson, N. E., Puri, K., Tropical prediction using dynamic nudging, satellite-defined convective heat sources, and a cyclone bogus, *Mon. Wea. Rev.*, 1992, **120**, 2501~2511.
- 6 Wang Yuqing, On the bogusing of tropical cyclones in numerical models: the influence of vertical structure, *Meteor. Atmos. Phys.*, 1998, **65**, 153~170.
- 7 Leslie, L. M., G. J. Holland, On the bogusing of tropical cyclones in numerical models: a comparison of vortex profiles, *Meteor. Atmos. Phys.*, 1995, **56**, 101~110.
- 8 Holland, G. J. and R. T. Merrill, On the dynamics of tropical cyclone structural changes, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 1984, **110**, 723~745.
- 9 陈联寿等译, 热带气旋全球观, 北京: 气象出版社, 1987, 34pp.
- 10 Fiorino, M. and R. L. Elsberry, Some aspects of vortex structure in tropical cyclone motion, *J. Atmos. Sci.*, 1989a, **46**, 979~990.
- 11 Fiorino, M. and R. L. Elsberry, Contributions to tropical cyclone motion by small, medium and large scales in initial vortex, *Mon. Wea. Rev.*, 1989b, **117**, 721~727.
- 12 Demaria, M., Tropical cyclone motion in a non-divergent barotropic model, *Mon. Wea. Rev.*, 1985, **113**, 1199~1210.
- 13 Demaria, M., Tropical cyclone track prediction with a barotropic spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**, 2346~2357.
- 14 Chan, J. C.-L. and R. T. Williams, Analytical and numerical studies of the beta-effect in tropical cyclone motion. Part 1: Zero mean flow, *J. Atmos. Sci.*, 1987, **44**, 1257~1265.
- 15 Wang Yuqing, An inverse balance equation in sigma coordinates for model initialization, *Mon. Wea. Rev.*, 1995, **123**, 482~488.
- 16 陈联寿, 丁一汇, 西太平洋台风概论, 北京: 科学出版社, 1979, 263pp.

A Method to Study the Tangential Wind Profile for Strong Tropical Cyclone and Its Contribution to Abnormal Tropical Cyclone Track Simulation

Meng Zhiyong, Xu Xiangde and Chen Lianshou

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract A kind of tangential wind profile for strong tropical cyclone is constructed in this paper with the consideration of real 30 knots and 50 knots wind radius. This profile scheme can not only describe TC outer structure accurately, but also solve the strong wind shear problem. Numerical simulation of this paper shows that this scheme does have positive contribution to abnormal tropical cyclone track simulation and would have a broad prospect for operational practice.

Key words: typhoon; outer structure; tangential wind profile

《涂长望文集》出版

由中国气象局组织, 温克刚为编辑组组长, 陶诗言院士任主编, 叶笃正院士作序的《涂长望文集》, 已于近日由气象出版社出版。

涂长望先生(1906~1962)是中国近代气象科学奠基人之一, 中国长期气象预报的开拓者, 中华人民共和国气象事业的主要创建人, 是新中国首任气象局局长。在涂长望先生的领导下, 新中国气象事业得到突飞猛进的发展。

涂长望先生研究中国气象, 无论是起点还是所达到的水平都是很高的。早在 20 世纪 30 年代, 他的《大气运行与世界气温之关系》的论文, 就引起国际气象界的瞩目; 40 年代, 他的《中国夏季风之进退》提出的季风进退的跳跃现象, 不仅澄清了当时气象界对季风的模糊认识, 在后辈学者进一步完善了他的这一经典性的基础理论后, 至今对用副高脊线的北跳南退预报降水仍有着重要的启示和指导作用; 60 年代初, 涂长望先生撰写了《关于二十世纪气候变暖的问题》, 分析了全球气候变暖的可能、特点和原因, 至今仍为人们重视和研究。

《涂长望文集》收集了涂长望先生自 20 世纪 30 年代至 60 年代初的绝大部分著作, 全书 62 万字, 分为气象科学论文、关于气象工作的讲话和气象科普著作、社会科学及有关著作 3 部分。广大的气象工作者和有关方面的科技工作者, 都能从《涂长望文集》中得到教益。

(张桂森)