

弱环境流场中台风运动的若干问题¹⁾

罗哲贤

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

概述弱环境流场中台风运动研究的若干进展, 包括非对称结构理论、非线性作用、强迫影响和准均匀流理论等 4 个方面, 并初步讨论了理论结果的应用前景。

关键词: 台风 结构 运动 进展

1 问题的提出

1.1 从 40 年代起, 台风长期以来被视为环境场气流引导的一个点涡或刚性涡旋。台风未来移动的预测归结为环境场气流的预测。这种预测方法往往获得成功。环境场气流的引导理论, 成为这种预测方法的理论基础。

1.2 尽管环境场气流的引导理论取得了一定的成功, 但是, 预报实践中, 有时台风实际移动路径会显著偏离引导气流。在环境场引导气流并无明显改变的条件下, 台风运动能够显示出移向、移速或强度的突然变化。一个典型的例子是, 在西太平洋副高南侧比较稳定的东风气流中的台风涡旋, 有时竟然会穿过高压脊, 实际移动路径近乎垂直于引导气流。

这些实践中出现的问题说明: 引导气流理论也有局限性。这种局面促使气象工作者去寻找环境场气流以外的影响台风移动的因素。此后相当一段时间内, 对 β 效应的影响很为重视。80 年代前期澳大利亚气象学家 Holland^[1] 的一篇论文, 题名即为: 台风运动, 环境流作用加 β 效应。明确指出了影响台风移

动的因子不只是环境流的引导, 还有 β 效应。可称为环境流引导加 β 效应的理论。

1.3 这个理论与环境场气流引导理论相比有所进步。另一方面, 从动力学的角度考虑, 似乎仍有欠缺。现对此讨论。

取准地转正压涡度方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + J(\psi, \nabla^2 \psi) + \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = k \nabla^2 (\psi^* - \psi) \quad (1)$$

式(1)被广泛用于台风运动的数值研究。

我们令

$$\psi(x, y, t) = \bar{\psi}(y) + \psi'(x, y, t) \quad (2)$$

式(2)中 $\bar{\psi}(y)$ 描述平直环境气流, $\psi'(x, y, t)$ 描述台风环流。将式(2)代入式(1), 得到扰动量的方程(略去“'”):

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + \delta_1 \left\{ \bar{u}(y) \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 \psi - \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right\} \\ + \delta_2 \left\{ \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} \right\} + \delta_3 \{ J(\psi, \nabla^2 \psi) \} \\ = \delta_4 \{ k \nabla^2 (\psi^* - \psi) \} \end{aligned} \quad (3)$$

初始条件: $t=0$ 时, $\psi(x, y, 0) = \psi_1(x, y)$

式中 $\delta_i = 1 (i=1, 2, 3, 4)$ 。 $\bar{u}(y)$ 为环境基流。 $\psi_1(x, y)$ 描述一个台风涡旋。

1) 全国热带气旋科学讨论会特邀大会综述报告(1996 年 11 月)。国家自然科学基金项目资助。

1.4 式(3)是一个发展方程。求出式(3)的解,即可追踪初始台风中心的位置如何一步一步地随时间演变。式(3)的解决定了初始台风未来的移动路径。另一方面,式(3)的解由方程本身和初条件两者决定。初条件不同,即 $\phi_1(x, y)$ 描述的台风初始环流的结构不同,可能导致台风未来移动路径的不同。换言之,初始台风环流的结构理应是影响台风路径的一个可能因子。

上述环境流加 β 效应理论没有涉及到初始台风环流的结构,似乎是第一个欠缺之处。

1.5 式(3)中左端第二项(含 δ_1 项)描述环境流场的作用。第三项(含 δ_2 项)描述地球旋转力场的作用。这两项的影响在环境流加 β 效应理论中已经引进。但是, δ_3 项、 δ_4 项的作用该理论并未涉及。

对行星尺度的波动而言,作为近似,一般可以先不考虑涡度非线性平流的作用,在线性框架内讨论问题。不过,对台风尺度的涡旋运动而言,这种近似可能有些问题,需要一开始就在非线性框架内讨论。而且,台风的空间尺度愈小,其非线性行为可能会愈清楚。对非线性项考虑不够,似乎是环境场加 β 效应理论的第二个欠缺之处。

1.6 式(3)中,右端含 δ_4 项描写非绝热加热强迫项和耗散项。此外,我们在式(3)中还可引进地形强迫项。环境场加 β 效应理论不能反映这些强迫过程对台风运动的影响,可能是第三个欠缺之处。

1.7 由此看来,除了环境场气流的引导作用以外,还有若干重要的因子会影响到台风的运动。与此相应,近几年来,形成了两个研究方向。一是继续深入分析环境场引导作用;一是令环境场的影响很小甚至为零,在此条件下分析台风的运动。后者又称为弱环境流场

中台风的运动。

1.8 据上所述,弱环境流场中台风运动的研究至少应注意以下4个问题。

1.8.1 台风环流的结构对台风运动的影响。注意到实际大气中台风环流往往是非轴对称的,主要考虑非对称结构的影响问题。

1.8.2 非线性过程对台风运动的影响。包括:台风环流的涡度平流,台风与其它空间尺度系统(其尺度等于或小于台风尺度)之间的非线性相互作用等。

1.8.3 地形强迫和非绝热加热强迫(如洋面海温距平区)对台风运动作用的动力学研究。

1.8.4 β 效应影响的进一步研究。

下面,对这4个问题的进展加以扼要综述。

2 非对称结构影响台风运动研究的进展

2.1 陈联寿于80年代中期首先提出台风环流的非对称结构是影响台风运动的重要因子^[2],并根据SPECTRUM特别试验3个目标台风的加强观测资料,证实了台风非对称结构确实与台风未来移向移速有密切关系^[3]。这是国际台风界第一次用特别试验资料提出观测证据。

2.2 在模式大气中,复制出台风移速突变^[4]和移向突变^[5]的现象。在移速突变和移向突变以前,台风环流非对称结构的演变均有清楚的前兆可寻。

2.3 在台风移动路径数值预报试验中,如用台风对称环流为初始场启动,异常路径的基本特征不能预报出来。若用特别试验加密观测资料确定的非对称的初始场启动,则异常路径的主要特征可以预报出来^[6,7]。

2.4 台风环流松紧结构的变化对台风沿南北方向的移动有影响能力。在台风自东向西的移动过程中,若台风环流的结构由松变紧,

有利于向偏北方向移动;若结构由紧变松,有利于向偏南方向移动^[8]。

2.5 进行了非对称结构理论向业务转化的中间试验研究,初步在业务单位试用取得一定效果^[9-12]。这是非对称结构理论在气象台站的应用情况。

2.6 台风数值预报模式中初始台风环流的正确给定问题。国内已进行了若干理论分析和有益的尝试。东京区域中心的数值预报模式近年来对此进行过逐步完善,其效果已反映到路径准确率的提高上来^[13]。这是非对称结构理论在台风数值预报方面的应用。

2.7 徐祥德和陈联寿^[14]首先提出了台风环流区域热力非对称结构的概念。指出:热力不稳定区的出现与台风路径的异常密切有关。最近,国外用 TCM-92 和 TCM-93 加密资料也分析了三维非对称结构等问题。

3 非线性项影响台风运动研究的进展

3.1 陈联寿等^[15]详细分析了相对涡度非线性平流对台风结构和运动的影响。明确指出:非线性平流和 β 项是影响台风运动的两类本质性因子。如上所述,Holland^[1]提出过环境流加 β 效应的理论。在弱环境流场的条件下,该理论退化为 β 效应的理论;可以推论,此时,影响台风运动的本质因子仅为 β 效应。文献^[15]的工作得到了更为全面的结果。

3.2 台风与中尺度系统的相互作用问题,Holland 等^[16]曾有结果发表。在台风环流的边缘区域,如出现一个中尺度系统,两者之间的非线性相互作用可以激发台风路径的一次摆动。陈联寿等^[17]得到了更广泛的结果。台风环流边缘区域扰动演变对台风结构的影响问题,也有结果发表^[18]。

3.3 为了在非线性的框架内数值地分析台风涡旋的运动,需要较高的水平分辨率。这

时,等值线动力学(CD)是一个有效的途径。CD 是孤立子理论创始人 Zabusky 提出的。Holland 等^[16]曾用 CD 分析台风的运动。但是,在 CD 方法中,只考虑了非线性平流,没有考虑 β 效应。这与 Holland^[1]80 年代前期只考虑 β 效应,没有考虑非线性平流的处理恰成对比。

我们^[19,20]首先将 β 项引进 CD,提出了柯氏力场中涡旋运动的等值线动力学。在 β 效应和 nonlinear 平流共存条件下用 CD 分析了台风的运动。李家春等^[21]、林珣等^[22]用 CD 方法做了大量研究,得到了许多重要结果。

4 强迫项影响台风运动研究的进展

4.1 分别用 MM4 模式^[23]和 CSU-RAMS 模式^[24]数值地研究了台湾岛地形对台风异常路径的影响。指出引进地形后,台风 Yancy 的异常路径特征能够显现。无地形时模拟结果要差些。因而,对于经过台湾岛附近影响东南沿海的台风路径预报,应认真分析地形作用。

4.2 指出:在台风经过台湾岛附近的情况下,地形强迫、环境流场和台风涡旋三者之间的相互作用,是导致台风移动路径偏转的原因^[25]。

4.3 数值结果表明:当台风移近台湾岛时,台风最大风速半径减小,使台风结构由松变紧,导致路径向偏北方向转折^[26]。

4.4 用实验室的模拟实验分析了台湾岛地形对台风路径的作用,并根据实验结果提出了若干预报判据^[27]。

4.5 根据 17 个台风移动路径和高分辨 SST 等资料分析,发现:在弱环境流场的条件下,台风沿着前期 SST 暖区外围的等 SST 线,并与暖轴平行移动,同时避开行进前方的 SST 冷区。结果已在路径预报中应用,效果很

好^[28]。

5 β 效应研究的进展

5.1 Elsberry 等^[29]提出准均匀流理论。在 β 项的作用下,台风环流将从初始轴对称的环流转换为非对称的流场。从非对称流场减去对称流场得到偏差流场。该偏差流场的主要特征是存在一个涡旋对。涡旋对的两个涡旋之间,存在一支准均匀流。这支准均匀流的方向和速度可以比较好地预示台风中心未来的移向和移速。

5.2 田永祥^[30,31,32]将准均匀流理论从正压范畴扩充到斜压范畴,改善了 Elsberry 等提出的准均匀流的计算方法,指出两种不同尺度的涡旋对的相互作用可以有影响台风的路径。

6 结束语

弱环境流场中台风运动的研究,在理论方面已取得重大进展,也有一些结果开始向业务转化。从总体上而言,这些理论结果处于应用的边缘。目前,理应进行更多的中间试验研究和业务试用,促进理论结果向业务能力的转化。同时,还要继续开展台风运动的理论研究,以不断加深对台风异常移动的科学认识。

参考文献

- Holland, G. J. Tropical cyclone motion: Environmental interaction plus a beta effect. *J. Atmos. Sci.*, 1983, 40: 328—342.
- 陈联寿. 热带气旋运动研究和业务预报的现状和发展. 台风会议文集. 北京: 气象出版社, 1985: 6—30.
- Chen Lianshou. The effect of different motion scales interaction and structure features on tropical cyclone motion. papers presented at the Technical conference on SPECTRUM, WMO/TD—No. 472, Iv. 1—15, 1991.
- 马镜娴, 罗哲贤. 台风移速突变的数值研究. *气象学报*, 1994, 52(3): 342—349.
- 罗哲贤. 热带气旋逆时针打转异常路径的可能原因. *中国科学, B 辑*, 1991, 7: 769—775.
- 罗哲贤, 马镜娴, 王咏青. SPECTRUM 期间目标台风移动的数值试验. *气象学报*, 1996, 54(2): 166—174.
- 王咏青. 初始场结构对台风路径的影响. 85-906-07 课题组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 59—63.
- 罗哲贤. 能量频散对台风结构和移动的作用. *气象学报*, 1994, 52(2): 149—156.
- 周桂芝, 张鹏. 非对称结构理论几个应用指标的初步验证. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 77—80.
- 周桂芝, 陈佩君. 9112, 9219 和 9309 号台风非对称结构的初步分析. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 77—80.
- 仰国光. 非对称结构理论在 9504 号路径预报中的应用. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 81—84.
- 范澄清. 非对称结构理论在 9505 号台风路径预报中的应用. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 85—87.
- Onogi, K. The effect of asymmetric typhoon bogus on JMA numerical track forecast. Fourth technical conference on SPECTRUM, Tsukuba, Japan, 27 Nov. — 1 Dec., 1995.
- 徐祥德, 陈联寿, 亢迪, 解以扬. TCM-90 现场科学试验目标台风 F10 的“ β 陀螺”偶极子型、“通风流”物理图象及其动力结构. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 277—281.
- 陈联寿, 罗哲贤. 影响热带气旋结构和运动的两类因子的数值研究. *气象学报*, 1996, 54(4): 409—416.
- Holland, G. J., et al. Contributions by mesoscale systems to the meandering motion of tropical cyclones. Papers presented at the Technical Conference on SPECTRUM, WMO/TD—No. 472. IV. 62—82.
- Chen Lianshou (陈联寿), Luo Zhexian (罗哲贤). Effect of the interaction of different scale vortices on the

- structure and motion of typhoons. *Advan. Atmos. Sci.*, 1995, 12(2): 207—214.
- 18 罗哲贤. 边缘区域扰动演变对台风结构的影响. *大气科学*, 1994, 18(5): 513—519.
- 19 罗哲贤. 科氏力作用下涡旋运动的等值线动力学. *气象学报*, 1993, 51(4): 394—404.
- 20 罗哲贤. 多圈涡旋等值线动力学研究. *气象学报*, 1995, 53(1): 3—9.
- 21 李家春等. 涡动力学在台风异常路径研究中的应用. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 249—254.
- 22 林缙, 李家春. 用 CD 方法模拟台风异常路径. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 262—268.
- 23 陈联寿, 孟智勇, 徐祥德. 台湾地形强迫对 Yancy 台风异常运动影响的数值试验. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 146—152.
- 24 杨平章等. 台湾地形对 Dot 台风运动影响的数值研究. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 400—409.
- 25 孟智勇, 徐祥德, 陈联寿. 台湾岛地形诱发次级环流系统对台风异常运动的影响机制. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 185—197.
- 26 罗哲贤, 陈联寿. 台湾岛地形对台风移动路径的作用. *大气科学*, 1995, 19(6): 701—706.
- 27 魏鼎文等. 地形对台风移动路径影响的实验和研究. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 422—429.
- 28 江吉喜, 范梅珠. 海表温度对台风移动影响的研究. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996: 430—437.
- 29 Fiorino, M., and Elsberry, R. L. . Some aspects of vortex structure in tropical cyclone motion. *J. Atmos. Sci.*, 1989, 46: 979—990. .
- 30 Tian Yongxian(田永祥), Luo Zhexian(罗哲贤). Vertical structure of beta gyres and its effect on tropical cyclone motion. *Advan. Atmos. Sci.*, 1994, 11(1): 43—50.
- 31 田永祥. 小尺度涡旋的形成及其对热带气旋移动的影响. *应用气象学报*, 1995(增刊), 108—115.
- 32 田永祥. 斜压涡旋中的通风气流与热带气旋移动的关系. *气象学报*, 1996, 54(1): 83—94.

Some Aspects of Tropical Cyclone Motion without Environmental Basic Current

Luo Zhexian

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract

Some advances in the field of tropical cyclone motion without considering the influence of the environmental basic current were described, including effects of the asymmetric structure, the nonlinear interaction, the topographic, and diabatic forcing on its motion and so on.

Key Words: tropical cyclone structure motion advances