

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22420101151358

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于强风圈半径的台风风场模型研究

The study of typhoon wind model based on
the radii of wind circle

张余得

指导教师姓名: 商少平教授

专业名称: 物理海洋学

论文提交日期: 2013年09月

论文答辩时间: 2013年09月

2013年09月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为厦门大学风暴潮(商少平)课题组和海洋公益性行业专项课题的研究成果,在遥感与数值模拟实验室完成。

声明人(签名):

2013年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- ()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- ()2. 不保密，适用上述授权。

声明人(签名)：

2013 年 月 日

目 录

摘要	I
ABSTRACT	II
第一章 绪 论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究进展	2
1.3 本文的研究内容	4
第二章 台风风场模型介绍	6
2.1 台风气压分布模型	6
2.2 圆形台风风场模型	8
2.3 台风移行风场模型	10
第三章 台风风场模型分析	13
3.1 台风参数资料	13
3.1.1 台风中心基本参数	13
3.1.2 网站整理的台风资料	13
3.2 前人台风风场模型计算值与发布值的差异分析	14
3.2.1 Jelesnianski (1965) 台风风场模型	14
3.2.2 Jelesnianski (1966) 台风风场模型	16
3.2.3 Holland (1980) 台风风场模型	18
3.2.4 陈孔沫 (1994) 台风风场模型	19
3.3 本章小结	21
第四章 基于强风圈半径的台风风场模型	22
4.1 新台风风场模型的提出	22

4.2 新模型与几种模型的比较	24
4.2.1 新模型与 Jelesnianski (1965) 台风风场模型比较	24
4.2.2 新模型与 Jelesnianski (1966) 台风风场模型比较	29
4.2.3 新模型与 Holland (1980) 台风风场模型比较	32
4.2.4 新模型与陈孔沫 (1994) 台风风场模型比较	34
4.3 本章小结	37
第五章 台风风场模型应用验证——风暴潮数值模拟	38
5.1 风暴潮数值模型	38
5.1.1 计算区域	38
5.1.2 风暴潮全流方程组	39
5.1.3 初始条件和边界条件	40
5.1.4 台风风场和气压场	40
5.1.5 差分方案	41
5.2 两种不同风场下的风暴潮数值模拟	42
5.2.1 台风资料	42
5.2.2 风暴潮增水实测资料	44
5.2.3 模拟结果分析	44
5.3 本章小结	51
第六章 总结与展望	52
6.1 总结	52
6.2 展望	52
参考文献	54
致 谢	57
攻读硕士学期期间及发表完成的论文	58

CONTENT

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	II
Chapter.1 Introduction	1
1.1 Study background and significance.....	1
1.2 Over view of the research	2
1.3 Research content	4
Chapter.2 Typhoon wind field model introduction	6
2.1 Pressure distribution model	6
2.2 Round typhoon wind field model	8
2.3 Typhoon transitional wind field model	10
Chapter.3 Typhoon wind field model analysis	13
3.1 Typhoon parameter data	13
3.1.1 The basic parameters of the typhoon center	13
3.1.2 Typhoon data from website.....	13
3.2 The variance analysis of calculated and measured	14
3.2.1 Jelesnianski(1965)typhoon wind field model	14
3.2.2 Jelesnianski(1966)typhoon wind field model	16
3.2.3 Holland(1980)typhoon wind field model.....	18
3.2.4 Chen Kongmo(1994)typhoon wind field model	19
3.3 Conclusion	21
Chapter.4 Typhoon wind field model based on the radii of wind circle	22
4.1 The new typhoon wind field model.....	22
4.2 The comparison of new model with several models.....	24
4.2.1 The comparison of new model with Jelesnianski(1965)model.....	24

4.2.2 The comparison of new model with Jelesnianski(1966)model.....	29
4.2.3 The comparison of new model with Holland(1980)model.....	32
4.2.4 The comparison of new model with Chen Kongmo(1994)model	34
4.3 Conclusion	37
Chapter.5 The application of typhoon wind field model validation	
-numerical simulation of storm surge	38
5.1 Storm surge numerical model.....	38
5.1.1 Computation domain.....	38
5.1.2 Governing equations	39
5.1.3 Initial and boundary conditions	40
5.1.4 Wind field and pressure field.....	40
5.1.5 Different scheme	41
5.2 Storm surge simulation under two different wind models	42
5.2.1 Typhoon information.....	42
5.2.2 Storm surge measured data	44
5.2.3 Simulation results and analysis	44
5.3 Conclusion	51
Chapter.6 Summary and Expectation.....	52
6.1 Summary.....	52
6.2 Expectation	52
References.....	54
Acknowledgements	57
Published or Accomplished Papers.....	58

摘要

本文对应用比较广泛的几种台风风场模型进行了分析比较,将这几种台风风场模型计算的 10 级风圈半径、7 级风圈半径与气象部门的发布值进行比较,发现均存在较大的误差,其中 10 级风圈半径最大绝对误差达到 351 km,7 级风圈半径最大绝对误差达到 1161 km。鉴于此,本文提出一种基于最大风速半径、10 级风圈半径、7 级风圈半径的台风风场模型,该模型在台风内域分两段描述,在台风外域分三段描述。新模型的 10 级风圈半径和 7 级风圈半径与气象部门的发布值是一致的,风速分布相比其他几种模型的风速分布更接近实况。

同时,为了进一步验证新台风风场模型的适用性,本文建立了宁波近海风暴潮数值模型,并选取对宁波市影响较大的 0509 号台风“麦莎”和 0515 号台风“卡努”,分别采用不同台风风场模型,模拟了宁波沿岸的风暴潮增水过程。模拟结果表明:采用本文提出的新台风风场模型模拟的风暴潮增水过程与实测比较,平均绝对误差和增水峰值绝对误差分别为 27.8 cm 和 18.7 cm,比采用 J-1 台风风场模型的结果(43.1 cm 和 79.2 cm)小得多,模拟结果更符合实况。可见,新的台风风场模型更适用于台风风暴潮增水的数值计算。

关键词: 台风参数; 风圈半径; 台风风场模型; 风暴潮; 数值模拟

Abstract

In this paper, we compared several kinds of typhoon wind field models which are widely used, the radii of level ten and level seven wind speed calculated by these models are compared with the value released by the meteorological department, found that the errors are relatively large, the maximum absolute error of the radius of level ten wind speed is 351 km, and the maximum absolute error of the radius of level seven wind speed is 1161 km. Then a new typhoon wind field model based on the radius of maximum wind speed and the radius of level ten wind speed and the radius of level seven wind speed is proposed, in the area within the radius of maximum wind speed, the wind speed description is divided into two sections, in the area outside the radius of maximum wind speed, the wind speed description divided into three sections. The radius of level ten wind speed and the radius of level seven wind speed calculated by this new model are the same with the value released by the meteorological department, compare the models' typhoon wind speed distributions to the real one, the new model has the best match.

Meanwhile, in order to verify the applicability of the new typhoon wind field model, a storm surge numerical model for Ningbo was established in this paper. Then we simulated the storm surge of 0509 typhoon Matsa and 0515 typhoon Khanun which influenced Ningbo coast seriously. Adopt different typhoon wind field models to simulate the storm surge process the along Ningbo coast. Comparing the storm surge simulation generated by the new typhoon wind field model with the observed data, the results show that the mean absolute error (MAE) and the absolute error of increased water peak are 27.8 cm and 18.7 cm, both smaller than the J-1 model results (43.1 cm and 79.2 cm). The simulation results of the new model fit well with the observed data. Thus, the new typhoon wind field model is demonstrated be applicable in the storm surge simulation.

Key words: typhoon parameters; the radii of wind circle; typhoon wind field model; storm surge; numerical simulation

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

台风（泛指热带气旋），是一种生成于热带洋面上具有暖心结构的强气旋性涡旋，它是最具破坏力的灾害性天气系统之一。由其引起的风暴潮、海浪也常常对近海产生灾害性影响。西北太平洋（包括南海）是全球热带气旋生成最多的海区，其热带气旋生成数量占全球总数的 36%^[1,2]，其中风级达到热带风暴级别以上的台风数量占全球总数的 38%。据统计，年均发生 28 个，最多年达到 40 个，最少年也有 20 个^[3]。此外，西北太平洋还是生成的热带气旋强度最强、大风范围最大的海区，据观测记录记载，最大风速达到 80 m/s，七级大风半径达到 1100 km^[4]。我国处在全球台风活动最为频繁而强烈的太平洋西岸，是全球少数几个受台风灾害影响最严重的国家之一。据统计，在 1949 年-1996 年 48 年间，登陆我国的台风年均达到 9.44 个；在 1951 年-1978 年，1980 年-1996 年总共 45 年里，我国年均受影响的台风有 15.69 个^[4]。

台风会引起一系列的灾害产生，诸如风暴潮、台风浪、大风、强降雨等重大灾害。其中风暴潮造成的灾害损失是最为严重的。在中国历史上，由风暴潮造成的生命财产损失令人触目惊心。据历史资料记载，清朝康熙 35 年（1696 年）上海大海潮“淹死者共十万余人”，这是我国有史以来死亡人数最多的一次特大风暴潮灾害。1862 年 7 月发生在珠江三角洲的一次特大风暴潮灾害造成约 10 万人死亡。1922 年 8 月 2 日汕头地区发生的一次特大风暴潮，造成的死亡人数达 7 万多人，是 20 世纪死亡人数最多的一次特大风暴潮灾害^[5]。在 1949 年-1998 年 50 年间，我国发生最大增水超过 1 m 的风暴潮达 270 次，最大增水超过 2 m 的严重风暴潮有 48 次，最大增水超过 3 m 的特大风暴潮有 15 次，其中造成显著灾害损失的风暴潮共计 112 次^[6]。据 1999 年统计，自新中国成立以来，我国每年由台风灾害造成的直接经济损失在 10-100 亿元以上，因灾死亡人数在 100-1000 人以上^[7]。近年来，随着对台风监测技术手段和预报水平的提高，台风造成的死亡人数大大减少，但随着我国海洋开发活动的不断增加和沿海地区经济的迅速发展

展, 台风灾害造成的直接经济损失呈显著的上升趋势^[8-10]。

为了提高沿海防灾减灾的能力, 保障人民的生命财产安全, 最大限度的减少损失, 台风及其带来的台风暴潮、台风浪等灾害性海况的计算和预报日趋重要。自 20 世纪 50 年代以来, 随着计算机技术和数值计算方法的发展, 数值模型逐渐地成为海洋灾害模拟、预报及相关海洋环境研究的一个有效工具并得以广泛应用。台风暴潮、台风浪等主要是由台风风场驱动的, 在台风海洋灾害数值模型中, 台风风场的准确性直接影响了模型的计算或预报结果^[11]。因此, 无论从科学发展的角度还是从社会经济发展的角度来看, 台风风场的研究都有着显著的意义。

1.2 国内外研究进展

早在 1860 年, 气象学家就已经了解了台风的低层结构, 而对台风高层结构的研究, 则要晚得多。直到有了雷达观测之后, 对台风结构才算有了较完整且系统的了解。早期的观测研究基本来源于船舶报告和陆地台站的观测资料。1936 年全球无线电探测网建立之后, 对台风的高空观测才开始进行。在第二次世界大战之前, 台风的观测主要是海岸、岛屿的气象台站和海上船只的观测, 这段时期台风观测的非系统性使得台风观测数据不完整。二战期间, 由于军事活动的需要, 航空母舰和军用飞机被用于探测台风, 到二十世纪 40 年代末, 台风的观测成为业务化的观测任务。1955 年, 全球第一个以台风观测为主要目的的沿海雷达观测网在美国建立, Doppler 雷达被用来测算气象探测飞机的基速度, 至此, 才实现了台风风速的准确测算。在 1960 年 4 月, 第一张台风卫星照片由泰罗斯一号极轨卫星拍摄于澳大利亚以东 1300 km 的洋面上, 从此拉开了卫星探测台风的序幕^[12]。到了 70 年代, 几乎所有发生的台风都被卫星观测所覆盖。

随着科学技术的不断进步, 多种观测手段的综合应用是台风观测技术的发展方向之一。由美国和德国科学家共同研制的, 用于监测台风内部风速风向的高空间分辨率 Synthetic Aperture Radar(SAR), 将很快作为卫星探测设备搭载在进入台风内部进行探测的飞行器中, 这项技术成功地综合卫星探测和飞机探测技术^[13]。Wurman 等^[14]利用车载 Doppler (Doppler On Wheels, DOW) 移动天气雷达对台风 Fran (1996) 进行了观测, 揭示了次千米尺度边界层强滚动的存在, 同时提出

边界层流动结构能够影响近地面风速，是造成地面破坏性风速变化的原因之一。自 1997 年，全球卫星定位探空仪（GPS Sonde）被用来观测台风中海洋边界层之上的强风廓线。Powell 等^[15]通过分析 GPS Sonde 资料，对台风中海-气边界层理论的拖曳系数做出修正，其研究发现在低层的 200 m 范围内，风速随高度而呈指数型增长，至 500 m 高度风速达到最大，500 m 之上至 3 km 高度逐渐减小。Powell 等的研究结果对台风模拟中的边界层参数化的修正起到了很好的指导作用。

目前，我国对台风的观测主要靠卫星和雷达。一般在远离陆地时以卫星观测为主，当台风靠近沿岸不足 300 km 时，由于台风受陆地影响较大，台风眼不清晰，主要靠气象雷达观测。我国的气象卫星分为两种：一种是极轨卫星，卫星绕地球南北两极运行，其优点是可以获得全球的气象资料，但对某一地区每天只有 2 次的观测数据。另一种是静止卫星，可以观测地球表面三分之一的固定区域，可以对同一目标地区进行持续不断的气象观测，其主要优点是观测频次高。此外，2001 年我国“追风”行动在广东展开，发现了许多台风内部结构的规律；同年，我国首个研究台风边界层（从海洋到陆地瞬间变化时）探测基地在广东阳江海陵岛设立，对揭示台风强度、暴雨等的影响很有意义，对我国台风观测研究、台风预报精度的发展起到重要作用。

近年来，卫星观测技术在大气科学中的应用又有了新的进展，已经从过去的定性的气象卫星图像研究发展到了定量的卫星遥感信息数字化研究，尤其是高分辨率微波辐射探测器的发展，使得定量卫星资料反演技术得到了进一步的发展。国际上一些业务气象中心如美国国家环境预报中心（NCEP）、欧洲中期天气预报中心（ECMWF）等开始采用变分方法对卫星资料进行直接同化，这样可以对大气状况有了更加精确的描述。利用同化所获得的资料研究台风天气系统的结构是一个十分有效的途径^[16]。

通过各种观测研究所得到的台风的结构特征，为台风风场和气压场模型的提出打下了良好的基础。

为满足台风暴潮、台风浪等灾害性海况的数值预报和相关海洋环境研究的台风环境场（风场、气压场）需要，人们提出了各种各样的台风气压模型，如 V.Bjerknes^[17]、高桥^[18]、藤田^[19]、Myers^[20]、Jelesnianski^[21]和 Holland^[22]等气压模型，利用这些气压模型根据梯度风或地转风方程求解得到台风海面风场。它们计

算简便,对大洋上成熟台风的气压分布有很好的模拟。但是这些气压模型也存在诸多的局限性,其中 V.Bjerknes 公式在台风外域的气压计算结果并不好;高桥公式在台风中心附近的气压计算结果不好;藤田公式和 Myers 公式在台风外域或内域均能较好的吻合,但是无法表现不同台风气压结构的气压分布情况。为此,陈孔沫^[23]通过对藤田公式和 Myers 公式的改进,提出了适用于不同台风气压结构的气压分布式,并推导出不含最大风速半径 R 和台风常数 r_0 的气压分布式,提高了由气压场求出风场的精度。

上世纪 60 年代起,研究者们还提出了大量的静止台风风场模型,常见的有: Rankine 涡风场、Jelesnianski (1965) 风场^[21]、Jelesnianski (1966) 风场^[24]、Miller 经验风场^[25]等。与实际台风风场相比,这些模型在风速计算中存在着不同程度的偏差,如: Rankine 涡风场在最大风速半径附近风速衰减太快、风速计算结果偏小,而 Jelesnianski 两个风场模型的风速计算均偏大。陈孔沫^[26-29]先后提出 4 种台风风场模型,其中 1991 年提出的是一种适用于任意热带气旋的风场和气压结构且更具普适性的热带气旋风速分布一般式。由于实际台风是不断移动的,其风场结构是不对称的,为了表示这种不对称的风场分布特征,宫崎正卫等将台风移行过程中产生的风场与静止台风风场进行矢量叠加。目前常用的移行风场模型主要有:宫崎正卫^[30,31]、Jelesnianski^[24]、上野武夫^[32]等移行风场模型。

1.3 本文的研究内容

本文在前人研究的基础上,提出一种基于最大风速半径、10 级风圈半径、7 级风圈半径的台风风场模型,并将提出的新模型应用于宁波沿岸风暴潮数值模拟,以验证台风新风场模型的适用性。具体内容如下:

第一章阐述了本文的研究背景、意义和内容,回顾了国内外台风风场、气压场的研究进展。

第二章分别介绍了前人提出的台风气压分布模型、圆形台风风场模型以及台风移行风场模型。

第三章选取 30 场 290 时次的台风参数资料,对 4 种常见的台风风场模型进行分析,发现 4 种台风风场模型的 10 级风圈半径和 7 级风圈半径计算值与气象

部门的发布值均存在较大的误差。这 4 种模型不能较准确地描述台风风场，特别是台风最大风速半径以外的区域。

第四章本章参照被引用最广泛的 J-1 台风风场模型，提出一种基于最大风速半径、10 级风圈半径及 7 级风圈半径的台风风场模型。并将本文提出的新模型与前人提出的几种模型进行风速分布剖面的比较。

第五章建立宁波近海风暴潮数值模型，以 0509 号台风“麦莎”、0515 号台风“卡努”2 个计算实例，通过模拟宁波沿岸 3 个水文观测站的风暴潮增水过程，对本文提出的台风风场模型和 Jelesnianski (1965) 台风风场模型进行比较，以验证新台风风场模型的适用性。

第六章对本文的研究成果进行讨论和总结，以及对未来工作的展望。

第二章 台风风场模型介绍

热带气旋是一种生成于热带洋面上具有暖心结构的强气旋性低压涡旋，它是最具破坏力的灾害性天气系统之一，在西北太平洋通常称之为台风。台风的气压、风场的分布通常具有对称性。在涉及台风的海洋环境数值计算中，台风风场的确定，一般是在已知或预报的台风路径及台风基本参数的前提下，分别利用经验或理论或半经验半理论的台风模型，独立计算圆形台风风场和台风移行风场，再将风场的计算结果叠加得到完整的台风风场分布。静止台风风场的计算一般有 2 种途径：第一种方法是通过圆对称气压模型计算得到气压分布，然后利用地转风方程或梯度风方程求解得到台风风场风速的分布；第二种方法是利用圆形台风风场模型的风速公式直接计算台风风场。对于移行风场的计算，通常直接利用移行风场模型计算得出。因此，将气压分布模型、圆形台风风场模型和移行风场模型进行合理的组合便可构建完整的台风风场模型。

2.1 台风气压分布模型

前人在对台风海面气压分布研究的基础上，提出台风气压场模型一般分为理论模型、经验模型和半经验半理论模型。常见的气压分布模型主要有以下 6 种。

(1) V.Bjerknes (1921) 气压模型：

$$P(r) = P_{\infty} - \frac{\Delta P}{1 + (r/R)^2} \quad 0 \leq r < \infty \quad (2.1)$$

(2) 高桥 (1939) 气压模型：

$$P(r) = P_{\infty} - \frac{\Delta P}{1 + r/R} \quad 0 \leq r < \infty \quad (2.2)$$

(3) 藤田 (1952) 气压模型：

$$P(r) = P_{\infty} - \frac{\Delta P}{[1 + 2(r/R)^2]^{1/2}} \quad 0 \leq r < \infty \quad (2.3)$$

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫