

基于强风圈半径的台风风场模型

张余得¹, 商少平^{1,2,3*}, 谢燕双^{2,3}, 张莉¹, 袁凯瑞¹, 张峰¹

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 2. 厦门大学海洋观测技术研发中心,

3. 水声通信和海洋信息技术教育部重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361102)

摘要: 首先用 Jelesnianski 台风风场模型及美国联合台风警报中心(JTWC)整编的台风资料, 计算 10 级和 7 级风圈半径, 并与气象部门的发布值相比, 发现两者存在较大误差。进而, 在 Jelesnianski 台风风场模型的基础上, 提出一种基于最大风速半径、10 级和 7 级风圈半径的台风风场模型, 并比较两种台风风场模型的风速剖面。结果表明: 该模型比包括被广泛应用的 Jelesnianski 台风风场模型在内的前人提出的台风风场模型都更接近台风风场实况, 其中 10 级和 7 级风圈半径与气象部门的发布值是一致的。

关键词: 台风参数; 风圈; 台风半径; 台风风场模型

中图分类号: P 732; P 444

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2014)02-0252-05

台风是一种强烈的灾害性天气过程, 由其引起的风暴潮、台风浪常常对近海、近岸产生灾害性影响。风暴潮、台风浪等的计算精度很大程度上受到台风风场精度的影响。英国专家 Heaps^[1]曾指出风暴潮准确预报的先决条件是计算过程中提供准确的气象资料。王喜年^[2]、梁必骐^[3]的研究也表明, 台风风暴潮的强度与海面气压场和风场存在十分密切的联系。为满足台风风暴潮、台风浪等灾害性海况的数值预报和其他方面的海洋环境研究的需要, 人们提出了各种经验的或半经验半理论的风场模型^[4]。常见的有: Rankine 涡风场、Jelesnianski(1965)、Jelesnianski(1966)、Miller(1967)经验风场。陈孔沫^[5-8]对风场的改进也做了许多工作, 先后提出 4 种台风风场模型。朱首贤等^[9]、沙文钰等^[10]、杨支中等^[11]分别提出了利用特征等压线构造台风气压场和风场模型。其中, Jelesnianski 圆对称台风风场模型在我国运用十分广泛^[12]。然而, 当我们将 Jelesnianski 圆对称台风风场模型与实测风场对比时, 却发现二者之间尚存在着很大的偏差。为此, 提出了一种新的台风风场模型——基于强风圈半径的台风风场模型。

1 Jelesnianski 圆对称台风风场模型

Jelesnianski 在 1965 年针对风暴潮数值计算提出的一个 Rankine 风场的修正模型^[13], 本文简称为 J 氏模型, 其风速表达式如下:

$$\begin{cases} V_r = V_R (r/R)^{\frac{3}{2}} & (r \leq R), \\ V_r = V_R (R/r)^{\frac{1}{2}} & (r \geq R). \end{cases} \quad (1)$$

这个模型在我国海洋数值计算中运用非常广泛。

2 台风风场实测资料

本文选取了 2006—2009 年进入台湾海峡及其周边海域的 30 场台风共 290 时次的资料对 J 氏模型进行验证。台风的参数资料来源如下。

2.1 台风中心基本参数

来源于《最佳路径数据(best track data)》, 为美国联合台风警报中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)整编的热带气旋参数资料。资料下载于 JTWC 的网站(http://www.usno.navy.mil/NOOC/nmfc-ph/RSS/jtwc/best_tracks/wpindex.html)。该资料包括时间、台风中心位置、近中心最大风速(V_R)、最大风速半径(R)等台风参数。每 6 小时有一组数据, 时次分别为每日的 0 时、6 时、12 时和 18 时(格林尼治时间)。其中 V_R 的分辨率为 2.57 m/s, R 的分辨率为 9.26 km。该资料是综合卫星、雷达等各种探测设备所获取

的资料,是目前应用最广的热带气旋资料^[14].

2.2 台风资料

来自福建省海洋预报台网站上的台风参数(<http://www.fjmf.gov.cn/QuickMenu/QuickMenuPage.aspx?type=1>).该资料综合了中国、美国、日本和韩国等气象预报所获取的资料,包括台风期间每 6 小时台风中心位置、 V_R 、7 级风圈半径(r_7)和 10 级风圈半径(r_{10})等台风参数发布值.在后续数据分析中,只使用其 r_7 和 r_{10} 等台风参数.

3 J 氏模型与实测风场间的差异分析

表 1 为 0716 号台风根据 J 氏模型表达式(1)计算的 r_{10} 、 r_7 与气象部门发布值的比较结果.由表 1 可见,气象部门的发布值与 J 氏模型计算的 r_{10} 之间的最大绝对误差达到了 351 km,过程平均绝对误差 101 km; r_7 最大绝对误差甚至达到 1 161 km,过程平均绝对误差 366 km.显然,J 氏模型的计算值与气象部门的发布值之间差异非常大.

本文对 30 场台风 290 时次进行了误差统计,得出 r_{10} 和 r_7 的绝对误差直方图,如图 1,2 所示.从图 1 可见, r_{10} 的绝对误差大多在 0~130 km,最大绝对误差达到 351 km.平均绝对误差为 51 km.从图 2 可见, r_7 的绝对误差集中在 0~300 km,最大绝对误差达到 1 161 km.平均绝对误差为 164 km.

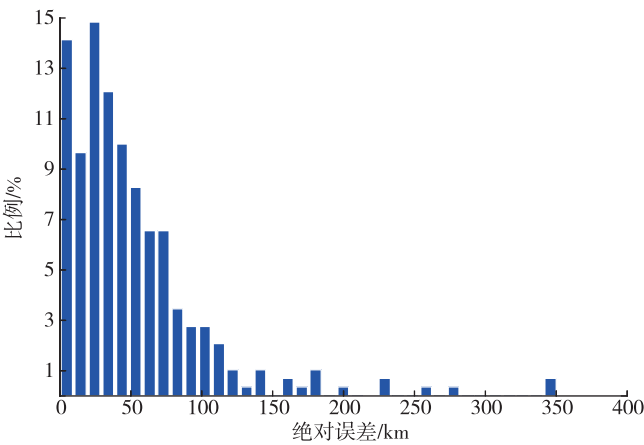


图 1 r_{10} 计算值与发布值的绝对误差直方图
Fig. 1 Histogram of the absolute errors of r_{10}

表 1 0716 号台风 r_{10} 和 r_7 的发布值与 J 氏模型计算值的比较
Tab.1 Comparison of J's calculated and released of r_{10} and r_7 of 0716 typhoon

日期	时刻	$V_R /$ ($m \cdot s^{-1}$)	R / km	r_{10} / km			r_7 / km		
				发布值	计算值	绝对误差	发布值	计算值	绝对误差
10-02	20:00	33.4	83.3	100	155	55	350	481	131
10-03	02:00	39.1	64.8	150	165	15	400	513	113
10-03	08:00	41.1	55.6	150	156	6	400	486	86
10-03	14:00	46.3	74.1	150	265	115	400	822	422
10-03	20:00	51.4	37.0	150	163	13	450	506	56
10-04	02:00	59.1	37.0	180	215	35	450	669	219
10-04	08:00	61.7	27.8	180	176	4	450	548	98
10-04	14:00	61.7	64.8	180	411	231	500	1 277	777
10-04	20:00	61.7	64.8	180	411	231	500	1 277	777
10-05	02:00	64.3	46.3	200	319	119	550	991	441
10-05	08:00	66.8	46.3	200	344	144	550	1 069	519
10-05	14:00	66.8	74.1	200	551	351	550	1 711	1 161
10-05	20:00	66.8	74.1	200	551	351	550	1 711	1 161
10-06	02:00	66.8	27.8	200	207	7	550	642	92
10-06	08:00	64.3	27.8	200	191	9	550	595	45
10-06	14:00	64.3	27.8	200	191	9	550	595	45
10-07	08:00	38.6	46.3	140	115	25	430	357	73

注:绝对误差=|发布值-计算值|.

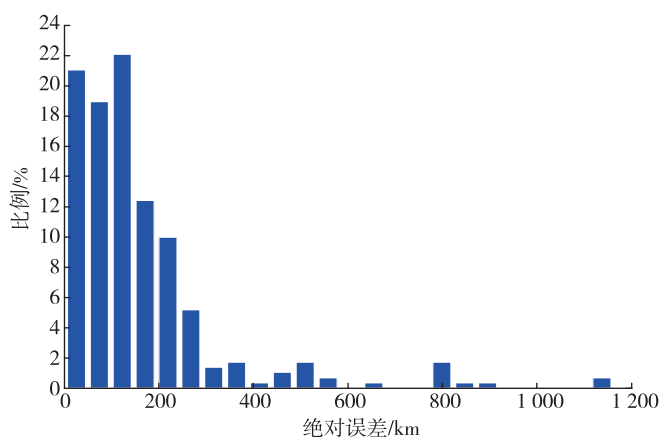


图2 r_7 计算值与发布值的绝对误差直方图
Fig. 2 Histogram of the absolute errors of r_7

4 一种基于风圈半径的台风风场模型

4.1 台风风场模型的提出

从以上讨论结果可见,J 氏模型的计算值与实测值(气象部门的发布值,下同)存在较大的误差.基于此,本文在 J 氏模型的基础上,对其进行改进.从式(1)可以看出,J 氏模型所表达的台风中心静风区半径为 0,但从历史的观测资料分析可知,静风区半径并不为 0,在 5 km 左右^[15];在 R 以内的区域,风速变化采用 J 氏模型的指数变化.在 R 以外的区域,J 氏模型的风速衰减总体趋势基本符合台风风速衰减规律,但由于其风速衰减指数是固定的,无法准确描述实际台风的变化,从图 1 也可看出,J 氏模型计算的 r_{10} 与实测值存在较大偏差,为此,在 $(R, r_{10}]$ 的区域,利用 R, r_{10}, V_R 及 $V_{r_{10}}$ 对模型的指数进行修订,令 β_1 为该区域模型公式的指数,指数 β_1 由 $V_{r_{10}}=V_R(R/r_{10})^{\beta_1}$ 确定,求得 $\beta_1=\log_{\frac{R}{r_{10}}}(V_{r_{10}}/V_R)$,该区域的风速表达式为 $V_r=V_R(R/r)^{\beta_1}$.从图 2 也可看出,J 氏模型计算的 r_7 与实测值存在较大偏差,为此,在 $(r_{10}, r_7]$ 的区域,利用 $r_{10}, r_7, V_{r_{10}}$ 及 V_{r_7} 修订模型的指数,令 β_2 为该区域模型公式的指数,指数 β_2 由 $V_{r_7}=V_{r_{10}}(r_{10}/r_7)^{\beta_2}$ 确定,求得 $\beta_2=\log_{\frac{r_{10}}{r_7}}(V_{r_7}/V_{r_{10}})$,则该区域的风速表达式为 $V_r=V_{r_{10}}(r_{10}/r)^{\beta_2}$.在大于 r_7 的区域,模型风速衰减采用 J 氏模型的指数衰减.

综上所述,本文提出一种基于强风圈半径的台风风场模型(下文简称为本模型):

$$\begin{cases} V_r=0 & (0\leqslant r\leqslant 5\text{ km}), \\ V_r=V_R[(r-5)/(R-5)]^{\frac{3}{2}} & (5\text{ km}<r\leqslant R), \\ V_r=V_R(R/r)^{\beta_1} & (R<r\leqslant r_{10}), \\ V_r=V_{r_{10}}(r_{10}/r)^{\beta_2} & (r_{10}<r\leqslant r_7), \\ V_r=V_{r_7}(r_7/r)^{\frac{1}{2}} & (r>r_7). \end{cases} \quad (2)$$

其中: $\beta_1=\log_{\frac{R}{r_{10}}}(V_{r_{10}}/V_R),\beta_2=\log_{\frac{r_{10}}{r_7}}(V_{r_7}/V_{r_{10}})$.

4.2 台风风场模型的比较

图 3~6 是 0716、0601、0613、0813 4 场台风某时刻 J 氏模型和本模型的风速剖面对比图,分别代表 4 种典型情况:图 3 是 J 氏模型计算的 r_{10} 和 r_7 均比实测值大的情况;图 4 是 J 氏模型计算的 r_{10} 和 r_7 均比实测值小的情况;图 5 是 J 氏模型计算的 r_{10} 比实测值小, r_7 计算的比实测值大的情况;图 6 是 J 氏模型计算的 r_{10} 比实测值大, r_7 计算的比实测值小的情况.

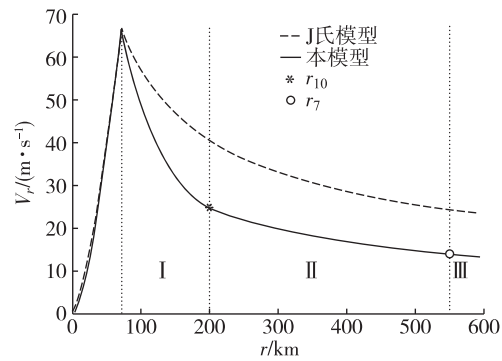


图3 0716 号台风 10 月 5 日 14 时台风风速剖面比较
Fig. 3 Comparison of typhoon wind profiles of 0716 typhoon at 2 pm on October 5th

从图 3 可见,在 R 至 r_{10} 的区域内(区域 I),风速衰减应是从 V_R 衰减至 $V_{r_{10}}$ (24.5 m/s),而不应该是如 J 氏模型所算的衰减至 40.8 m/s.在 r_{10} 至 r_7 的区域内(区域 II),风速衰减应从 $V_{r_{10}}$ 衰减至 V_{r_7} (13.9 m/s),而不应该是如 J 氏模型所算的从 40.8 m/s 衰减至 24.6 m/s.在大于 r_7 的区域(区域 III)风速应从 V_{r_7} 开始进一步衰减,而不应该是如 J 氏模型所算的从 24.6 m/s 开始衰减.

从图 4 可见,在 R 至 r_{10} 的区域内(区域 I),实际风速应从 V_R 衰减至 $V_{r_{10}}$,而不应该是如 J 氏模型所算的从 V_R 衰减至 18.8 m/s.在 r_{10} 至 r_7 的区域内(区域 II),风速应从 $V_{r_{10}}$ 衰减至 V_{r_7} ,而不应该是如 J 氏模型所算的从 18.8 m/s 衰减至 9.4 m/s.在大于 r_7 的区域(区域 III)风速应从 V_{r_7} 开始进一步衰减,而不是如 J

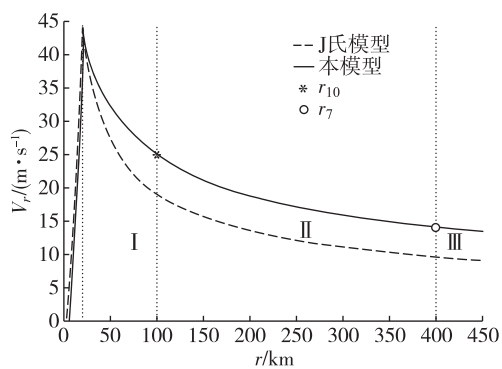


图4 0601号台风5月13日2时台风风速剖面比较
Fig. 4 Comparison of typhoon wind profiles of 0601 typhoon at 2 am on May 13th

氏模型所算的从 9.4 m/s 开始衰减。

从图 5 可见,在 R 至 r_{10} 的区域内(区域 I),实际风速应从 V_R 衰减至 $V_{r_{10}}$,而不应该是如 J 氏模型所算的从 V_R 衰减至 22.0 m/s。J 氏模型和本模型在离台风中心 251 km 的位置,两者风速相等(为 19.6 m/s),在 r_{10} 至 251 km 的区域(区域 II),实际风速应从 $V_{r_{10}}$ 衰减至 19.6 m/s,而不是如 J 氏模型所算的从 22.0 m/s 衰减至 19.6 m/s;在 251 km 至 r_7 的区域(区域 III 所示),实际风速分布范围应从 19.6 m/s 衰减至 V_{r_7} ,而不是如 J 氏模型所算的从 19.6 m/s 衰减至 16.4 m/s。在大于 r_7 的区域(区域 IV)风速应从 V_{r_7} 开始进一步衰减,而不是如 J 氏模型所算的从 16.4 m/s 开始衰减。

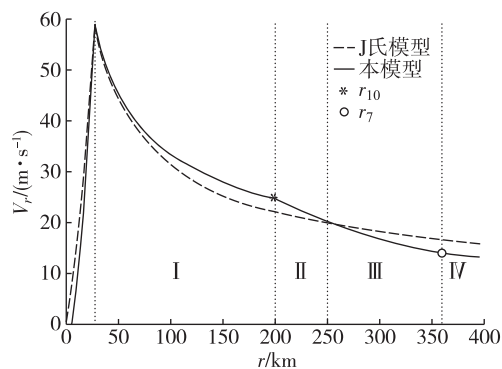


图5 0613号台风9月16日14时台风风速剖面比较
Fig. 5 Comparison of typhoon wind profiles of 0613 typhoon at 2 pm on September 16th

从图 6 可见,在 R 至 r_{10} 的区域内(区域 I),实际风速应从 V_R 衰减至 $V_{r_{10}}$,而不是如 J 氏模型所算的从 V_R 衰减至 29.4 m/s。J 氏模型和本模型在离台风中心 176 km 的位置,两者风速相等(为 17.1 m/s),在 r_{10} 至 176 km 的区域(区域 II),实际风速应从 $V_{r_{10}}$ 衰减至 17.1 m/s,而不是如 J 氏模型所算的从 29.4 m/s

衰减至 17.1 m/s;在 176 km 至 r_7 的区域(区域 III),实际风速分布范围应从 17.1 m/s 衰减至 V_{r_7} ,而不是如 J 氏模型所算的从 17.1 m/s 衰减至 12.5 m/s。在大于 r_7 的区域(区域 IV)风速应从 V_{r_7} 开始进一步衰减,而不是如 J 氏模型所算的从 12.5 m/s 开始衰减。

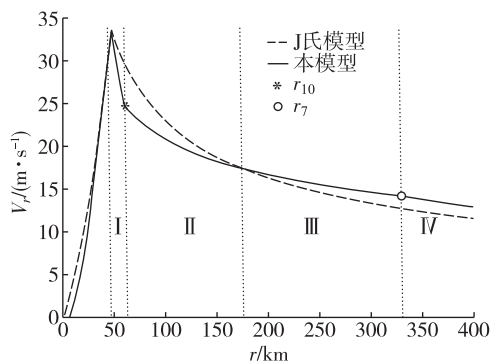


图6 0813号台风9月9日14时台风风速剖面比较
Fig. 6 Comparison of typhoon wind profiles of 0813 typhoon at 2 pm on September 9th

从图 3~6 还可见, r_{10} 和 r_7 计算与实测的误差,本模型为 0,而 J 氏模型却很大。台风中心静风区半径, J 氏模型并未考虑,本模型取为 5 km,更符合台风实况。在距离台风中心大于 R 的区域,本模型的风速分布比 J 氏模型的风速分布更接近实况。

以上讨论的是在不同场台风的某一时刻, J 氏模型和本模型的风速剖面的对比。在同一场台风的不同时刻, J 氏模型和本模型的风速剖面的对比情况也有不同,如图 7 所示。

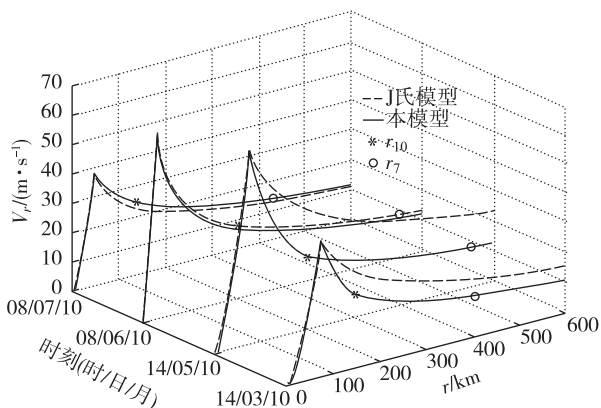


图7 0716号台风不同时刻的台风风速剖面比较
Fig. 7 Comparison of typhoon wind profiles of 0716 typhoon

从图 7 可见,不同时刻,二者的风速剖面的差异并不相同。在 10 月 3 日 14 时、5 日 14 时, J 氏模型计算的 r_{10} 和 r_7 均比实测大,但两个时刻的误差并不同

(见表 1); 在 6 日 8 时, J 氏模型计算的 r_{10} 比实测小, r_7 计算的比实测大; 在 7 日 8 时, J 氏模型计算的 r_{10} 和 r_7 均比实测小。

综上所述, 在不同台风、同一台风的不同时刻, 本文提出的台风风场模型的风速分布均比 J 氏模型的风速分布更符合台风实况。

5 结 论

利用 R 、 r_{10} 、 r_7 等台风参数数据验证得出, 由 J 氏模型计算的台风风场与发布值相比存在较大的误差。

本文在 J 氏模型的基础上, 对其进行改进, 提出一种基于 R 、 r_{10} 、 r_7 的台风风场模型。

J 氏模型并未考虑台风中心静风区半径, 本文提出的台风风场模型, 考虑了台风中心静风区, 取其半径为 5 km, 更符合台风实况。在距离台风中心大于 R 的区域, 本模型分 3 段采用不同的衰减指数来构造台风风场, 其风速分布比 J 氏模型的风速分布更接近实况, 其中 r_{10} 和 r_7 与气象部门的发布值是一致的。

参考文献:

- [1] Heaps N S. Storm surges, 1967-1982 [J]. Geophys J R Astr Soc, 1983, 74: 331-376.
- [2] 王喜年. 风暴潮数值模式计算中气压场和风场的处理[J]. 海洋预报, 1986, 3(4): 56-64.

- [3] 梁必骐. 热带气象学[M]. 广州: 中山大学出版社, 1990.
- [4] 安赛斯. 热带气旋的发展、结构和影响[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [5] 陈孔沫. 台风气压场和风场模式[J]. 海洋学报: 中文版, 1981, 3(1): 44-56.
- [6] 陈孔沫. 热带气旋风场的计算[J]. 热带海洋学报, 1991, 10(1): 63-70.
- [7] 陈孔沫. 新的台风风场计算方法[J]. 海洋预报, 1992, 9(3): 60-65.
- [8] 陈孔沫. 一种计算台风风场的方法[J]. 热带海洋, 1994, 13(2): 41-48.
- [9] 朱首贤, 沙文钰, 丁平兴等. 近岸非对称型台风风场模型[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2002, 3: 66-71.
- [10] 沙文钰, 杨支中, 冯芒, 等. 风暴潮、浪数值预报[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [11] 杨支中, 沙文钰, 朱首贤, 等. 一种新型的非对称台风海面气压场和风场模型[J]. 海洋通报, 2005, 24(1): 62-68.
- [12] 陈德文. 台湾岛周边海域台风海面风场及其模型化研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2006.
- [13] Jelesnianski C P. A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf [J]. Monthly Weather Review, 1965, 93 (6): 343-358.
- [14] 雷小途, 陈联寿. 热带气旋风场模型构造及特征参数估算[J]. 地球物理学报, 2005, 48: 25-31.
- [15] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 45-51.

Typhoon Wind Field Model Based on the Radii of Wind Circle

ZHANG Yu-de¹, SHANG Shao-ping^{1,2,3*}, XIE Yan-shuang^{2,3},
ZHANG Li¹, YUAN Kai-rui¹, ZHANG Feng¹

(1. College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, 2. Center for Ocean Observation Technologies, Xiamen University,
3. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information
Technology, Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: The wind radii of level ten and level seven were calculated by Jelesnianski typhoon wind field model with typhoon data from Joint Typhoon Warning Center (JTWC). The error was considerable when compared to the release value of meteorological department. Thus a new typhoon wind field model, which was based on the radii of maximum, level ten and level seven wind speed was proposed referring to Jelesnianski model. Then the wind profiles of the two models were compared. The result showed that the typhoon wind field calculated by the new model was more closer to reality than by any other models include the Jelesnianski model, which was popular used. And the wind radii of level ten and level seven in the new model were the same to the release value of meteorological department.

Key words: typhoon parameters; wind circle; typhoon radius; typhoon wind field model