

李杰, 蒋小平, 元慧慧, 等. 混合层深度对热带气旋强度的影响[J]. 气象, 2010, 36(4): 27-29.

混合层深度对热带气旋强度的影响

李 杰¹ 蒋小平² 元慧慧¹ 王骥鹏¹

1 61741 部队, 北京 100081

2 75200 部队司令部气象室, 惠州 516001

提 要: 利用建立的中尺度海气耦合模式进行一组敏感性试验, 以考察初始混合层深度对热带气旋(TC)强度的影响。试验结果表明, 初始混合层深度对 TC 最大强度和增强时间影响都较大。一般来说, 初始混合层越深, 模拟的 TC 最大强度越大, TC 增强时间越长。另外, TC 与混合层深度的关系并不是线性的。当混合层较浅时, TC 强度对其变化更为敏感。

关键词: 混合层深度, TC, SST, 耦合

The Impact of Mixed Layer Depth on the Tropical Cyclone

LI Jie¹ JIANG Xiaoping² YUAN Huihui¹ WANG Jipeng¹

1 61741 Troops of PLA, Beijing 100081

2 Meteorological Observatory of 75200 Troops of PLA, Huizhou 516001

Abstract: In order to explore the impact of the mixed layer depth on the tropical cyclone (TC), some sensitivity tests have been conducted using a new coupled meso-scale ocean-atmosphere model. The result shows that the initial mixed layer depth has great impacts on both the maximum intensity and the enhancement time of TC. Generally speaking, the initial mixed layer gets deeper, the maximum intensity becomes greater, and the enhancement time becomes longer. In addition, the relationship between TC and mixed layer depth is nonlinear. When the mixed layer depth is shallower, the TC intensity is more sensitive to its changes.

Key words: mixed layer depth, tropical cyclone (TC), SST, coupling

引 言

海洋水温变化对热带气旋(TC)的影响是当前海气相互作用研究领域的一个热点问题。观测表明, TC 只能在大于 27 °C 的洋面上形成^[1]。Baik 等^[2]研究指出, 87% 的西北太平洋 TC 将在 SST 27 ~ 29 °C 时达到它们生命史的最大强度。SST 越高, TC 的最大可能强度(Maximum Potential Intensity, MPI)越强^[3-8]。

还有不少学者指出, SST 的空间分布特征主要是混合层深度对 TC 也有较大的影响。秦曾灏等^[6]认为 SST 及其空间分布与 TC 有着非常密切的关系。王昭正等^[7]指出, 南海表层断面的 28 °C 等温线所达深度(≥ 50 m)越大越有利于南海台风的发生发展。吴迪生等^[8]分析了西太平洋暖池次表层水温变化对 TC 的影响, 结果表明, 当赤道西太平洋暖池次表层水温下半年持续出现正(负)距平时, 西北太平洋生成的 TC 个数比常年偏多(少)是主要现象。

Chan 等^[9]指出, 海洋对 TC 强度的影响是通过表面热通量来实现的。由于表面热通量的分布不仅取决于 SST, 还与海洋混合层深度等海洋热力结构因素有关, 因此混合层深度等海洋热力结构因素也会影响 TC 强度。

尽管混合层对 TC 强度影响的研究已取得一些成果, 但仍然存在许多问题, 如混合层深度对 TC 强度影响的方式和大小。下面将通过一系列的敏感性试验来探讨这个问题。

1 试验设计

在前面的工作中^[10], 作者采用中尺度大气模式 MM5 和区域海洋模式 POM 构造了中尺度海气耦合模式, 并利用该耦合模式模拟了台风珍珠(2006)从热带低压发展到台风再逐渐衰减的全过程。耦合试验中 POM 模式范围设定为 0° ~ 30°N、99° ~ 130°E, 水平分辨率为 0.25° × 0.25°, 在垂直方向上, 模式采用不均匀间隔的 21 个 σ 层, 对上层海洋的分

层进行加密,外模的时间步长是 60 s,内模的时间步长是 1800 s,采用真实地形。MM5 模式采用二重嵌套网格,模拟区域 D01 范围是 $7.18^{\circ}\sim 26.33^{\circ}\text{N}$ 、 $105.93^{\circ}\sim 130.07^{\circ}\text{E}$,水平方向分辨率 15 km,时步 50 s,垂直方向分为 32 层,不采用任何 Bogus 方案,模式的初始场和边界条件由 NCEP 的 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 分辨率的再分析资料提供,从 2006 年 5 月 12 日 06 时开始积分到 17 日 12 时,共积分 126 h,包括了台风珍珠从热带低压发展到台风再逐渐衰减的全过程。MM5 模拟区域 D02 采用单向嵌套,水平方向分辨率 5 km,时步 18 s,垂直方向分为 32 层,范围 $12.32^{\circ}\sim 22.56^{\circ}\text{N}$ 、 $111.82^{\circ}\sim 119.87^{\circ}\text{E}$,细网格模式利用 D01 每小时的预报场作为初始场,起始于 2006 年 5 月 14 日 13 时,积分 48 h。在模式的物理过程参数化方面,两个模拟区域都选用 Betts-Miller 积云对流参数化方案和 Reisner I 型显式云物理过程方案,两重网格均采用 MRF 高分辨边界层方案。

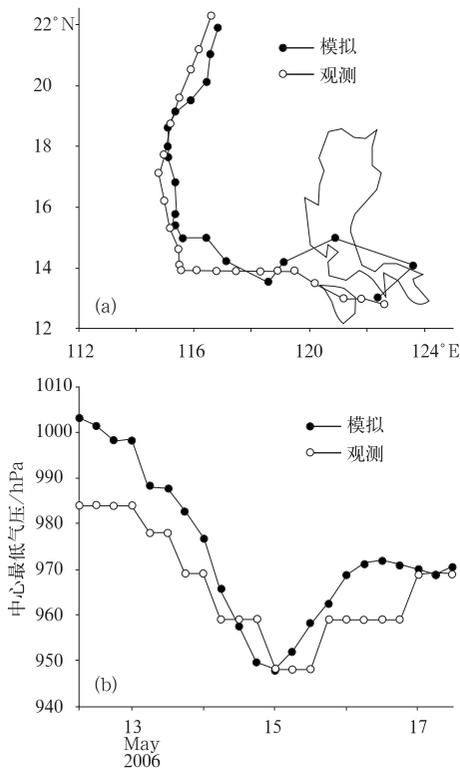


图 1 对比试验模拟的和观测的珍珠路径(a)与中心最低气压演变(b)

Fig. 1 The Chan Chu's track (a) and development of center minimum pressure (b) for both simulation (dots) and observation (circles)

本文以该耦合试验作为对比试验(以下称为 CON),对比试验中珍珠经过海域混合层深度约为 31 m,设计 4 个敏感性试验来考察混合层深度变化对 TC 强度的影响,其初始深度分别设为 8 m、16 m、63 m 和 125 m (表 1),这些试验除初始混合层深

度不同外,其他均相同。各个试验开始运行前先进行 POM 模式的初始化,初始化时将模式上混合层分别设定为 8 m、16 m、63 m 和 125 m,海温等因素与对比试验相同,之后保持上混合层海温不变,积分 30 天进行动力调整。

表 1 混合层深度变化的试验

Table 1 The experiments for changes of mixed layer depth

试验名称	试验描述
OM1	初始混合层深度设为 8 m
OM2	初始混合层深度设为 16 m
OM3	初始混合层深度设为 63 m
OM4	初始混合层深度设为 125 m

2 结果分析

由图 2 可知,初始混合层深度对 TC 强度影响较大。初始混合层越深,模拟的 TC 最大强度越强。初始混合层深度分别为 8 m(OM1)、16 m(OM2)、31 m(CON)、63 m(OM3) 和 125 m(OM4) 的各试

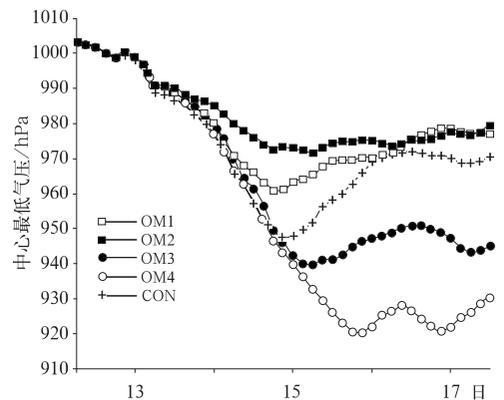


图 2 试验 OM1~OM4 以及 CON 模拟的 TC 中心气压随时间的演变 (2006 年 5 月 13—17 日)

Fig. 2 The development of TC's center minimum pressure for experiments OM1-OM4 and CON

验模拟的 TC 最大强度分别为 973 hPa、961 hPa、948 hPa、936 hPa 和 918 hPa。各试验除初始混合层深度不同外,其余初始海洋因素均相同,由此可见,初始混合层深度对 TC 强度影响是较大的。尽管各试验初始 SST 均相同,但其达到的最大强度存在较大差异,这也表明考虑海洋对 TC 的影响时仅考虑初始 SST 是不全面的,混合层深度也会通过影响 SST 来间接影响 TC 的强度。

另外,初始混合层深度也较大地影响了 TC 增强的时间。一般来说,初始混合层越深,TC 增强时间越长。如表 2 所示,试验 OM1、OM2、OM3、CON 和 OM4 模拟的 TC 增强时间分别为 63 h、66 h、66 h、72 h 和 90 h,即一般初始混合层越深,TC 增强的

时间越长,TC开始衰减的时间越晚。

从图2还可以看出,当混合层深度从125 m(试验OM4)变为63 m(试验OM3)时,模拟的TC最大强度从918 hPa变为936 hPa,衰减了18 hPa,而从63 m降低到31 m(试验CON)时,TC强度衰减了13 hPa,从31 m(试验CON)降低到16 m(试验OM2)时,衰减了12 hPa,从16 m降低到8 m(试验OM1)时,衰减了11 hPa。表明TC强度与混合层深度的关系并不是线性的。当混合层较浅时,TC强度对其变化更为敏感。

在前面的工作中^[10],我们的分析表明,耦合模式能考虑TC过程中的海气相互作用,即一方面TC通过夹卷等物理过程将冷水带到混合层,使得SST降低;另一方面,TC引起的SST降低反馈到TC,使得海洋向TC提供的潜热通量和感热通量减少,削弱了TC强度。因此相比单一的大气模式,耦合模式能更全面更准确地考虑海洋对TC的影响,也能更准确地模拟出TC强度的变化。我们的研究还表明,尽管TC引起的最大SST降低一般出现在TC中心的右后方,但TC削弱主要是由TC内核区的SST降低引起的。在本文中,试验OM1~OM4模拟的TC达到最大强度后都开始衰减,且初始混合层越深,TC内核区SST降低越显著。如表2所示,由于OM1初始混合层较浅,风夹卷效应显著,SST降低幅度很大,TC内核区最大SST降低达到7.4℃,由此反馈到TC使得TC强度衰减很大,而OM4由于初始混合层较深,风夹卷效应较小,内核区最大SST降低仅有1.8℃,对TC的衰减作用较为有限。

各个试验达到最大强度后都开始衰减,这是由于台风引起的海面降温所致,这表明如果台风在海洋上移动的时间长,其引起的海面降温可以使得台风在发展到最大强度后开始衰减。

这也可以用来解释TC强度与混合层深度的关系并不是线性的,因为海洋中夹卷等物理过程在混合层浅时能较为有效地将冷水带到混合层,使得TC内核区SST降低幅度较大。

表2 OM1~OM4各试验信息

Table 2 The information of experiments OM1~OM4

	TC最大强度 /hPa	TC引起的内核区 最大降温/℃	TC增强的时间 /h
OM1	973	7.4	63
OM2	961	6.2	66
OM3	936	3.6	72
OM4	918	1.8	90
CON	948	5.1	66

3 小结

本文利用中尺度海气耦合模式进行一组敏感性试验,以考察初始混合层深度对TC强度的影响,各试验除混合层深度不同外其余都相同。试验结果表明初始混合层深度对TC最大强度和增强时间影响都较大,一般来说,初始混合层越深,模拟的TC最大强度越大,TC增强时间越长。另外,TC与混合层深度的关系并不是线性的。当混合层较浅时,TC强度对其变化更为敏感。分析表明,初始混合层较浅时,风夹卷效应显著,SST降低幅度很大,由此反馈到TC使得TC强度衰减很大;初始混合层较深时,风夹卷效应较小,对TC的衰减作用有限。

参考文献

- [1] Gray W M. Hurricanes: Their formation, structure, and likely role in the tropical circulation[J]. Meteorology over the Tropical Oceans, D B Shaw, Ed, Royal Meteorological Society, 155-199.
- [2] Baik J J, Paek J S. A climatology of sea surface temperature and the maximum intensity of western North Pacific tropical cyclone[J]. J Meteor Soc Japan, 1998, 76: 129-137.
- [3] Emanuel K A. An air-sea interaction theory for tropical cyclones, Part I: Steady-state maintenance[J]. J Atmos Sci, 1986, 43: 585-604.
- [4] Emanuel K A. The maximum intensity of hurricanes[J]. J Atmos Sci, 1988, 44(7):1143-1155.
- [5] Demaria M and Kaplan J. Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones[J]. J Climate, 1994, 7: 1324-1334.
- [6] 高拴柱,孟智勇,杨贵名. 台风麦莎渤海转向的可预报性研究[J], 气象,2009,35(2):8-14.
- [7] 季亮,费建芳. 登陆台风等熵面位涡演变的数值模拟研究[J], 气象,2009,35(3):15-20.
- [8] 杨昌贤,陈红,郭东艳,等. 强台风黑格比的路径和降水诊断分析[J], 气象,2009,35(4):76-86.
- [9] 秦曾灏,端义宏. 我国热带气旋强度变化研究的新进展[G]. 全国热带气旋科学讨论会论文集,北京:气象出版社,2001:25-30.
- [10] 王昭正,袁叔尧. 南海台风发生于海洋环境[G]. 台风业务试验研究文集,上海台风研究所. 北京:气象出版社,1986:177-185.
- [11] 吴迪生,白毅平,张红梅,等. 赤道太平洋暖池次表层水温变化对热带气旋的影响[J]. 热带气象学报,2003, 19(3):253-259.
- [12] Chan J C L, Duan Y H, and Shay L K. Tropical cyclone intensity change from a simple ocean-atmosphere coupled model[J]. J Atmos Sci, 2001, 58: 154-172.
- [13] Jiang Xiaoping, Zhong Zhong, Liu Chunxia. The effect of typhoon-induced SST cooling on typhoon intensity: A case of Typhoon Chanchu (2006) [J]. Adv Atmos Sci, 2008, 25(6):1062-1072.