

BDA 方案对台风背景高温天气预报的改进^{*1}

黄燕燕 闫敬华 蒙伟光 万齐林

HUANG Yanyan YAN Jinghua MENG Weiguang WAN Qilin

中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080

Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China

2007-10-18 收稿, 2008-01-04 改回.

Huang Yanyan, Yan Jinghua, Meng Weiguang, Wan Qilin. 2010. Improvement of summer high temperature forecasting in Guangzhou during the typhoon period using a BDA scheme. *Acta Meteorologica Sinica*, 68(1):102–113

Abstract Summer high temperature in Guangzhou is mainly caused by the dominance of the subtropical high and the peripheral subsidence airflow of typhoon systems. This paper uses a BDA (Bogus Data Assimilation) scheme to investigate the ability of the BDA scheme to improve the summer high temperature forecasting during the typhoon period. A high temperature event in Guangzhou in middle July 2005 is selected as a typical case of summer high temperature caused by both the subtropical high and typhoon (Haitang). We found from comparative analyses of the initial fields of a sensitivity experiment with and a control experiment without the BDA scheme that the scheme is able to adjust the location and intensity of the typhoon center and to make the model initial field more consistent with observations. It is also found that once better forecasts of typhoon track and its intensity change are obtained, the BDA scheme is able to improve the forecasts of summer high temperature and its distribution and the daily mean temperature of Guangzhou. Further, the mechanism leading to this difference is discussed. The strengthening of subsidence is the main reason that contributes to the improvement of temperature forecast. In the sensitivity experiment, the amount of moisture in the mid to lower troposphere above Guangzhou is reduced, and the air subsidence is strengthened. Therefore, the cloud amount in the sky is reduced and more shortwave radiation reaches the ground surface, which results in the rising of surface temperature. Consequently more sensible heat fluxes are transferred to the surface layer and the surface air temperature rises. It is concluded that using the BDA scheme is able to improve the summer high temperature forecast in Guangzhou during the period of typhoon Haitang.

Key words Bogus technique, BDA scheme, High temperature, Guangzhou, Grapes 3DVAR and Grapes Model, Numerical simulation

摘要 广州地区的高温天气主要是受副热带高压和台风外围下沉气流的影响所致。文中采用 BDA (Bogus Data Assimilation) 方法, 探讨 BDA 方案对广州地区台风背景条件下高温预报的改进能力。选取 2005 年 7 月中旬广州地区出现的高温天气进行研究。这是比较典型的受副热带高压和台风(海棠)共同影响造成高温的天气过程。分析有无采用 BDA 方案的模式初始场, 结果表明: 采用 BDA 方案同化 Bogus 模型可以调整台风中心位置和强度, 使所得到的初始场中心位置与观测更为接近, 台风强度(气压梯度力、风速)比未用 Bogus 的情况强, 与观测值更为接近。数值模拟的结果表明, 采用了 BDA 方案的敏感试验可以更好地预报台风路径和台风中心强度变化, 从而更好地预报高温天气, 对高温区分布、日平均温度大小等的预报都有改进。文中对引起这种预报差异的原因进行了讨论, 并探讨高温预报改进的可能机制。大气下沉运动的增强是高温预报改进的主要原因。敏感试验由于广州中低层大气的水汽减少, 大气的下沉增强, 致使天空的云量减少, 对太阳短波辐射的阻挡减小, 从而地面吸收热量增多, 温度升高, 输送给大气的感热增加, 大气气温升高。采用 BDA 方案可以改进模式在台风“海

* 资助课题: 广州市科技攻关项目(2005Z3-E0061), 气象科技推广项目(CMATG2005M17), “热带资料同化技术的业务应用开发”项目, 热带所开放实验室基金。

作者简介: 黄燕燕, 主要从事气候变化、模拟和预测的研究。E-mail: helio3432@hotmail.com

棠”过程对广州高温的预报。

关键词 BDA 方案, 广州, 高温, Grapes 变分同化与模式, 数值模拟

中图法分类号 P444

1 引言

随着全球变暖, 高温成为一种灾害, 对人们的工作、生活影响越来越大, 也越来越引起人们的关注。广州的高温虽然在中国各城市中并不是最为严重(如武汉、重庆等“火炉”), 但随着城市化的发展、城市热岛效应影响明显, 高温的程度加剧。特别近几年来高温频发, 持久罕见, 影响十分广泛。2003年7、8月间, 中国的华中、华东、华南大部分地区出现了罕见、持久的高温天气, 8月1日“广东省有72个市县破历史同期记录, 月极端最高气温有20个市县打破建站以来最高气温记录”(罗秋红, 2005)。2004年6月底7月初, 广州最高温度超过历史记录(38.7℃)达到39.1℃。2005年7月, 在强大副热带高压和台风“海棠”影响之下, 广东省大部分地区特别珠三角高温明显。高温暑热的天气, 不仅造成供电、供水的紧张, 加剧空气污染(空调系统的使用), 而且导致人口死亡率的上升, 严重危害人们的生活和健康。因此, 预报城市高温的能力亟待提高。

全球变暖背景下, 国外对于温度变化的研究逐渐增多。很大部分研究是从气候学角度出发, 针对人类活动影响的争论, 提出变暖的证据, 这些研究主要从海面温度着手, 利用船舶、浮标、卫星、雷达辐射计等观测资料分析其长期变化(Good, et al, 2007; Strong, et al, 2000; Casey, et al, 2001; Anderson, et al, 2002)。从天气学角度研究气温预报的不多, 这些研究大多从预报技巧(Kingtse, 2003; Laurenc, et al, 2007)(如采用集合方法)或物理动力过程(如陆面初始化)来讨论地面气温或海平面气温的预报(Anthony, et al, 1996; Eric, et al, 2006; Randal, et al, 2003; Acs, et al, 1991), 关于地面气温预报所考虑的影响因子主要是土壤湿度, 而很少跟当时、当地的天气背景状况相联系, 具体考虑其影响。虽然土壤湿度确实对蒂面气温有重要影响, 但区域高温的出现和持续往往还与局地条件紧密相关, 因此考虑特殊天气背景下的高温预报可能更好地针对天气过程来预报高温。

目前国内对高温预报的研究也不多, 其中有的是从天气预报经验上加以考虑、总结(林麟等, 2005; 杜爱兰等, 2005; 张尚印等, 2004; 汪秀清等, 2004), 有的是从天气学的角度分析影响高温的天气系统(吴国雄等, 1994; 卫捷等, 2004), 关于数值预报技术上提高高温预报能力的研究很少, 但这对提高数值模式预报能力而言十分必要。只有提高数值模式对影响高温因子及高温过程的描述能力, 才能有效地利用数值模式预报高温, 预防高温灾害。

不同地区形成高温的原因和特点有所不同(孙建华等, 1999; 高守亭等, 2005; 张尚印等, 2005), 造成广州高温的主要因素, 是区域天气背景的高温和城市热岛效应的综合影响。除此之外, 北面南岭山脉“焚风效应”也对广州高温起一定的增幅作用(林麟等, 2005)。区域天气背景的高温则主要是副热带高压和台风两大天气系统的影响所致。夏季, 广州经常处于强大的副热带高压的控制之下, 气温较高; 且广东濒临南海, 南海上生成的台风外围下沉环流强烈影响广东, 也常常造成广东的高温酷热。梁凤仪等(1988)将广州按其高温成因的天气型分为台风型(占47%)、台风副高型(占36%)和副高型(占13%), 与台风影响有关的天气型占83%。他们的研究认为, “单纯在副热带高压控制之下广州出现高温的比例很少”; 广州出现高温的天气形势中, “台风扮演了比副热带高压更为重要的角色”。谢善驹、黄伟峰的研究(1996)指出, 当台风出现在(17°—27°N, 115°—125°E)范围内时, 台风西侧由于空气下沉的绝热加压作用, 增温减湿、云雨消散、日照加强, 因而导致高温形成。近年来关于广州高温的研究(林麟等, 2005; 卢山等, 2006), 也主要与台风相联系, 利用统计手段或天气学分析方法从预报经验或提高预报技巧方面加以研究。这些研究都表明, 台风是广州出现高温的重要天气系统。同时可以发现, 这些研究主要是从天气预报经验方面着手, 很少涉及数值模式。基于台风在广州高温中的重要作用, 本文考虑着眼数值模式, 来提高数值模式模拟、预报台风和高温的能力; 若能较好地预报台风的强度、位置等,

与之相联系的空气下沉增温过程可以被较准确地描述,从而有可能提高预报广州高温的能力。

台风的初始结构对数值模式的预报有重要影响,但是背景场往往不能反映台风系统内部的动力和热力结构。一般应用 Bogus 方案构造台风模型。Bogus 方案是在背景场中加入人造台风模型,以弥补背景场台风结构信息不足的缺陷,这在一定程度上可以改善台风的初始结构。但是单独采用人造台风模型会忽略背景场中原有的台风结构信息,而且由于构造的台风结构与背景场之间的各物理量并不完全协调,这在一定程度上会影响初始场的质量。闫敬华等(2004)的研究也指出,Bogus 技术方案存在其局限和不足——单纯的 Bogus 方案无法真实刻画台风及其环境结构,也缺乏对台风产生的天气进行精细预报的能力。而且随着模式分辨率的提高和物理过程精细化,模式对理想 Bogus 的虚假效应更敏感,更易造成预报偏差。目前广泛应用的三维变分同化方法可以有效同化各种观测资料以修正背景场,但是由于热带气旋大部分时间位于洋面,海洋上常规观测资料缺乏,因此变分同化方法在台风初始结构的描述上也能力不足,难以准确描述其初始结构。因此,丁伟钰等(2004)提出 BDA 方案(Bogus Data Assimilation),将 Bogus 技术与资料同化结合起来,在中国气象科学院开发的 GRAPES 三维变分同化系统的基础上,设计了人造台风数据的切向风同化方案。通过同化台风 Bogus 的旋转信息改进初始台风结构,保留原有背景场台风环流的辐合、辐散信息,同时能够与其他观测资料的同化相结合,更客观地改进台风的初始结构。

本文将通过敏感试验(采用 BDA 方案得到模式初始场)与控制试验(未作同化)的对比,探讨 BDA 方案在台风路径、强度预报中的作用,并在此基础上探讨 BDA 方案对台风背景高温天气预报的改进。采用的模式为中国气象科学院开发的 GRAPES 模式。

2 Bogus Data Assimilation 方案与 GRAPES 模式及其同化系统

以往的研究也有把 Bogus 技术与资料同化相结合的研究(Wu, et al, 2000; Zhang, et al, 2003;

Pu, et al, 2001),大多是将台风 Bogus 模型构造的风场作为观测资料同化到初始场中。现有的 Bogus 风场模型,其切向风是在观测资料的基础上构造模型产生的,低层径向风仅仅通过切向风计算摩擦偏向得到,高层径向风则是通过低层径向风的对称补偿原理产生。从切向风和径向风的构造看,构造径向风的人为假设更多,而且忽略了背景场的背景环流。所以,若简单地同化 Bogus 模型风场,会将径向风构造的缺陷带入背景场中,影响背景场中径向风的信息。但是,若仅同化切向风,又会给同化系统增加径向风为零的约束,这也与事实不符。丁伟钰等(2004)提出的 BDA 方案,设计了切向风的同化方法,又不产生径向风为零的约束,通过同化台风 Bogus 的旋转信息,改进初始台风结构,同时保留原有背景场中台风环流的辐合辐散信息;台风的径向环流还可通过同化其他资料来进行调整,如降水资料的同化可以改善台风水汽辐合、辐散垂直结构。

本文的 BDA 方案是在 GRAPES 3DVAR 基础上,将台风 Bogus 模型的切向风场、高度场、水汽场结构与背景场同化形成初始场的方案。所采用的台风 Bogus 模型,是利用观测到的台风中心位置、台风强度(中心气压)、台风八级风半径和台风初始移动 4 个条件构造的满足静力平衡、梯度风平衡、准热力平衡并和环境场及模式对流参数化方案一致的非对称模型台风。具体的同化计算方案见文献(丁伟钰等,2004)。

采用的同化系统 GRAPES 3DVAR 是中国气象科学院数值预报研究中心开发的区域格点三维变分分析系统。该系统采用增量分析方法,在 Arakawa A 格点的经纬度网格和等压面分析,采用有限记忆变尺度(LBFGS)方法求解最优化问题。系统采用模块化、结构化设计,各类观测资料自成独立模块,通过插拔方式接入系统框架。本文采用的 BDA 方案正是在这个框架基础上,开发出的新的 Bogus 同化模块,即切向风同化方案。

本文采用 GRAPES 模式进行数值模拟。GRAPES 模式是中国气象科学院数值预报研究中心自主研发开发的多尺度统一数值预报模式。其技术特点是半隐式时间差分与半拉格朗日空间离散、静力/非静力平衡可开关式置换、Arakawa C 格式水

平跳点变量放置、Charney-Phillips 垂直隔层变量放置、可选择的多种物理过程参数化方案等。本文试验模式分辨率为 $0.36^\circ \times 0.36^\circ$, 模式区域 ($10^\circ\text{S}—55^\circ\text{N}, 60^\circ—160^\circ\text{E}$)。

3 数值试验与分析

3.1 个例选取与试验设计

选取 2005 年 7 月中旬台风“海棠”个例, 利用 GRAPES 模式加以模拟分析。

7 月中旬, 受庞大的副热带高压和第 5 号台风“海棠”外围下沉气流的共同影响(图 1a 500 hPa 高度形势), 11—20 日, 广东省出现持续 10 d 大范围的高温炎热天气, 特别是 16—19 日随着台风“海棠”的逼近, 高温炎热天气进一步加剧、范围进一步扩大。这是比较典型的由副热带高压和台风共同影响所引起的珠三角地区高温天气。由图 1b 可以清楚看出, 在这样天气背景下, 珠三角地区高温明显, 广州附近区域为高温中心。

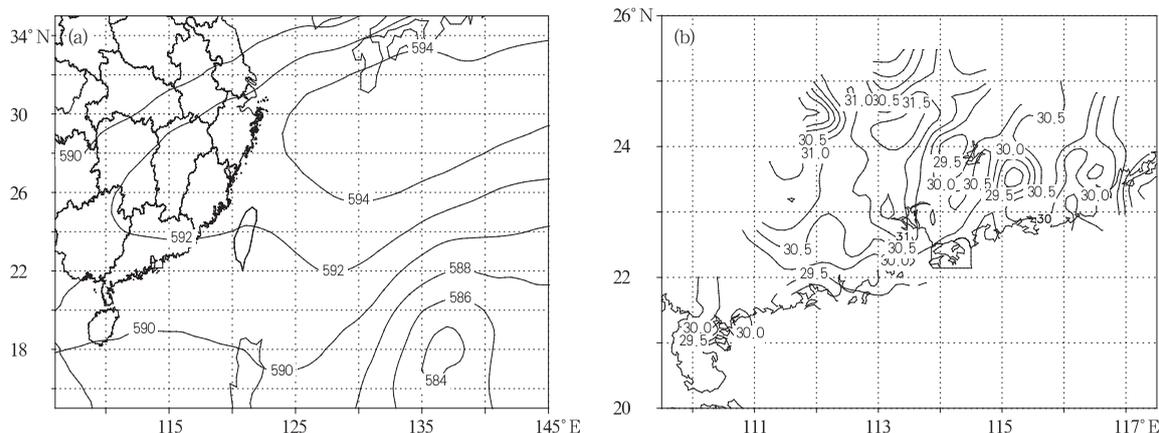


图 1 2005 年 7 月 15 日 06 时(世界时)500 hPa 高度天气形势分布 (a. 单位: dagpm) 和 15、16 日广东省平均气温分布 (b. 单位: $^\circ\text{C}$)

Fig. 1 (a) 500 hPa geopotential height field (dagpm) at 06:00 UTC 15 July, 2005 and (b) mean temperature ($^\circ\text{C}$) on 15, 16 July 2005 in Guangdong Province

作 2 个模拟试验, 控制试验未作同化, 敏感试验利用 BDA 方案将台风初始信息同化到背景场中。因 7 月 15—16 日台风“海棠”逐渐靠近广东, 并与副高共同作用引起之后广东的大范围高温天气, 故选取 15—16 日进行试验。选用 Grapes 模式进行数值模拟, 模式初始时刻为 7 月 15 日 00 时(世界时, 下同), 积分 48 h 至 17 日 00 时。

3.2 初始差异

图 2 给出有(a, c, e)、无(b, d, f)采用 BDA 方案同化的初始海平面气压、850 hPa 垂直涡度分布和风速。同化采用 Grapes3dvar 变分同化系统, 初始时刻是 2005 年 7 月 15 日 00 时。

由图 2a、2b 可以看出, 采用 BDA 方案后初始场无论海平面气压、850 hPa 垂直涡度还是风速都有明显差异, 二者台风中心的海平面气压闭合曲线的最低值相同, 均为 982.5 hPa, 观测的台风中心海平面气压为 960 hPa, 二者台风中心的强度较观测偏

弱。但是采用 BDA 方案, 台风附近气压等值线较为密集, 气压梯度力较大。而且, 850 hPa 台风涡度中心(图 2c)与观测的台风中心位置 ($19.3^\circ\text{N}, 136.9^\circ\text{E}$) 十分接近; 控制试验 850 hPa 台风涡度中心(图 2d)则明显偏离位于其北部。初始台风涡度中心的偏移有可能导致模拟台风环流的位置偏差, 从而可能导致台风影响造成的高温区位置亦有偏移。这将在后文分析讨论。图 2e、2f 为 850 hPa 风速, 采用 BDA 方案(图 2e)风速闭合曲线最大值为 40 m/s, 而控制试验最大值仅为 35 m/s。综上, 利用 BDA 方案同化 Bogus 模型所得到的初始场其台风中心位置、台风强度(气压梯度力、风速)均与观测更为接近。

3.3 数值试验与结果对比分析

3.3.1 台风路径、副高位置

华南地区受西太平洋副高控制, 初始时(图略)敏感试验西太平洋副高的位置明显比控制试验偏南、脊线位置也偏南(图 3)。这也决定了台风此后

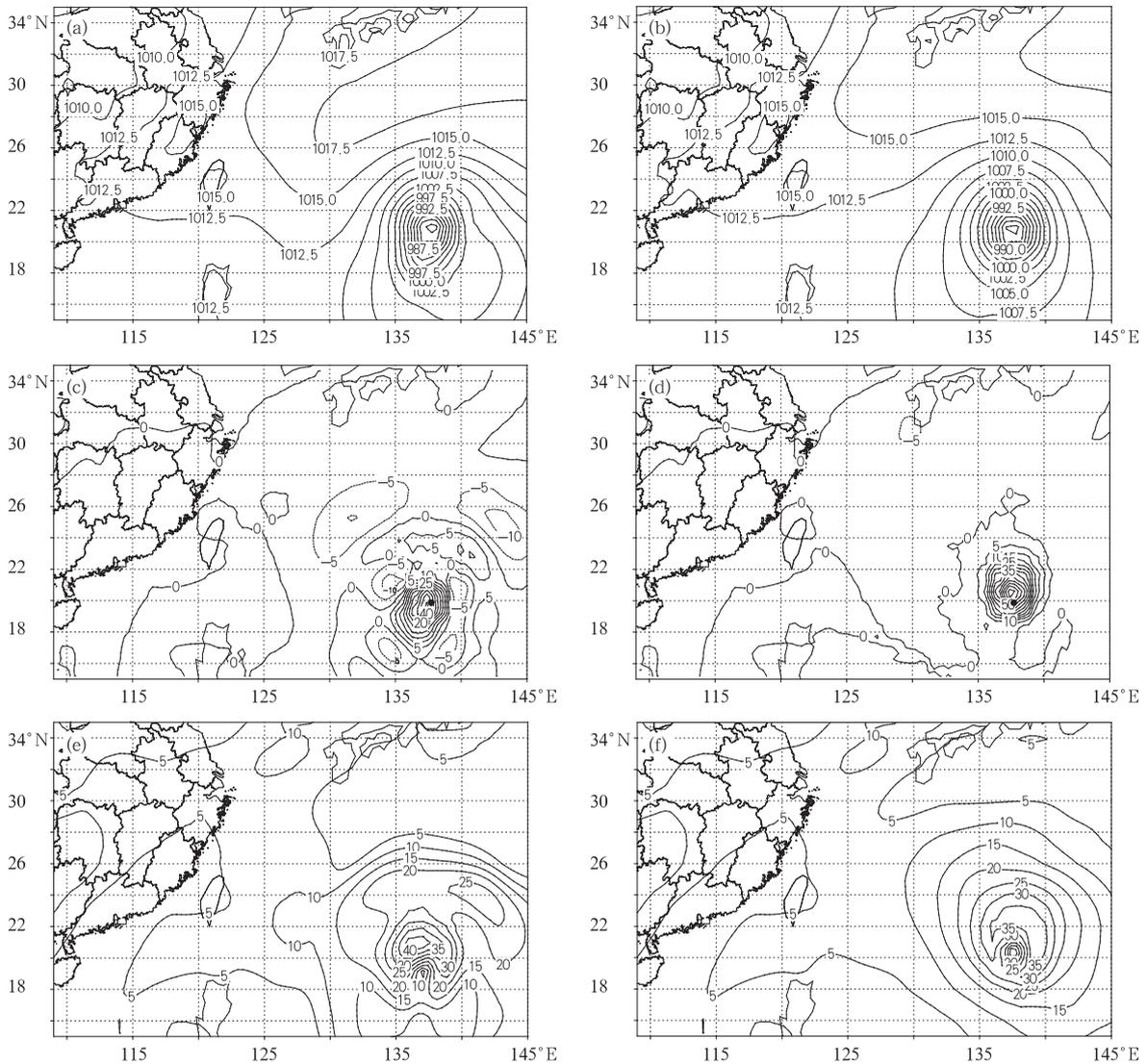


图2 不同试验方案的初始海平面气压(a,b)、850 hPa垂直涡度(c,d)和850 hPa风速(e,f)分布 ((a,c,e)采用BDA方案;b,d,f—控制试验. c,d中黑点为观测的台风中心位置;单位: hPa, $10^{-5} s^{-1}$ (c,d); m/s (e,f))

Fig.2 Distributions of (a,b) sea level pressure (hPa), (c,d) 850-hPa vertical vorticity ($10^{-5} s^{-1}$) and (e,f) wind velocity (m/s) in the sensitivity experiment (a, c, e) and the control experiments (b, d, f), respectively, at 00:00 UTC 15 July, 2005

(The black dots in (c) and (d) denote the observed location of the center of typhoon Haitang)

的移动向北的速度要小于控制试验。16日(图3a)敏感试验副高588 dagpm线比控制试验偏南约 1° , 台风的位置明显在控制试验的南侧。从台风的移动路径(图3b)可看出,敏感试验台风路径明显位于控制试验的南侧,从而与观测更为接近。台风中心位置的差异,一定导致台风环流的差异从而影响天气形势。图3c为15日23时两试验经圈环流的差值流线(经向沿 $112.9^{\circ}-113.2^{\circ}E$ 平均),其中垂直速度 ω 放大100倍。显然,该时刻敏感试验广州几乎

整层大气(200 hPa以下)下沉增强。

对比定量给出两试验预报的台风中心与观测的距离误差、两试验模拟与观测台风强度的变化趋势可见(图4),图4a中敏感试验预报的台风中心位置相对于业务定位的距离误差远小于控制试验:在24 h内距离误差在100 km以内,48 h的距离误差也在150 km以内。控制试验在整个预报时段内台风中心与业务定位的距离误差均超过150 km,结合图3b可知,是模拟的台风中心位置明显偏北所致。图

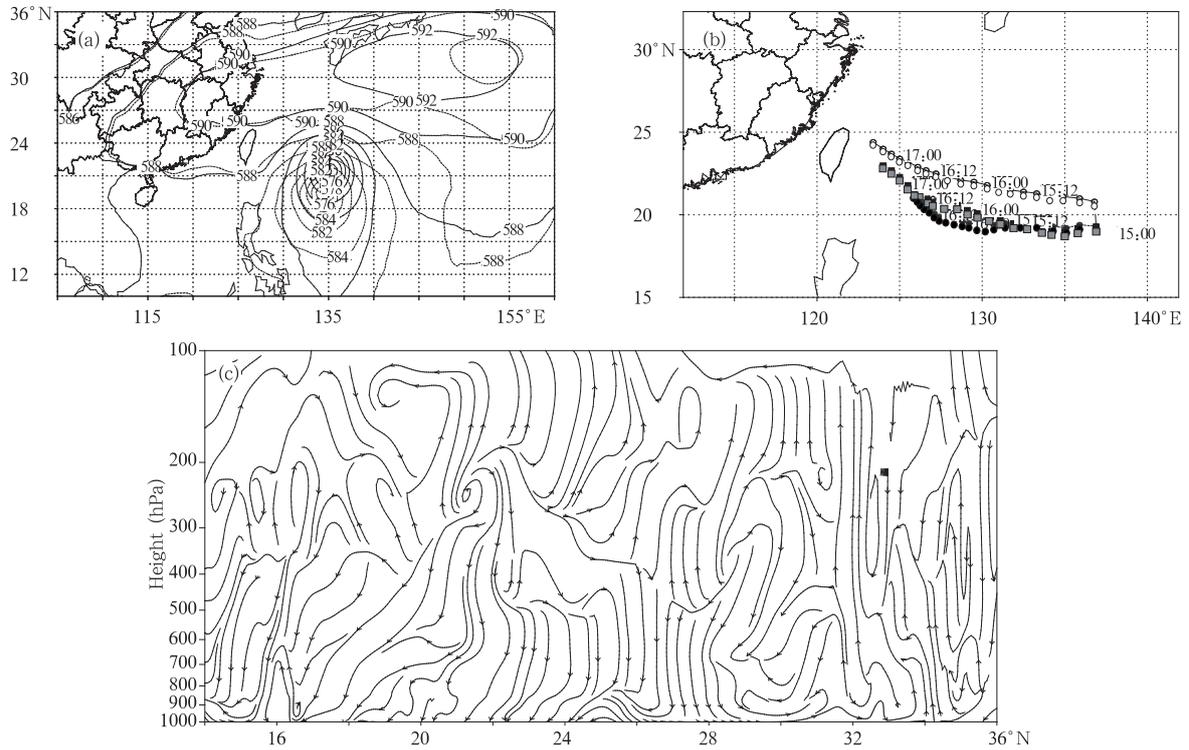


图3 台风海棠期间敏感试验与控制试验 500 hPa 形势分布差异(a)、敏感试验、控制试验与观测的台风海棠移动路径(b)、敏感试验与控制试验的经圈差值环流(c)
 (a. 16日 03 时, 图中等值线虚线表示敏感试验, 实线表示控制试验, 单位: dagpm;
 b. 台风路径, ■为观测, ●为敏感试验, ○为控制试验; c. 15 日 23 时, 其中垂直速度放大了 100 倍)

Fig. 3 (a) 500 hPa geopotential height (dagpm) at 03:00 UTC 16 July in the sensitivity (dashed line) and control (solid line) experiments, (b) tracks of typhoon Hai-tang observed (■) and predicted by the sensitivity (●) and control (○) experiments, and (c) height-latitude cross section of the difference of meridional circulations between the sensitivity and the control experiment along 112.9 - 113.2°E at 23:00 UTC 15 July (The vertical velocity has been enlarged by 100 times)

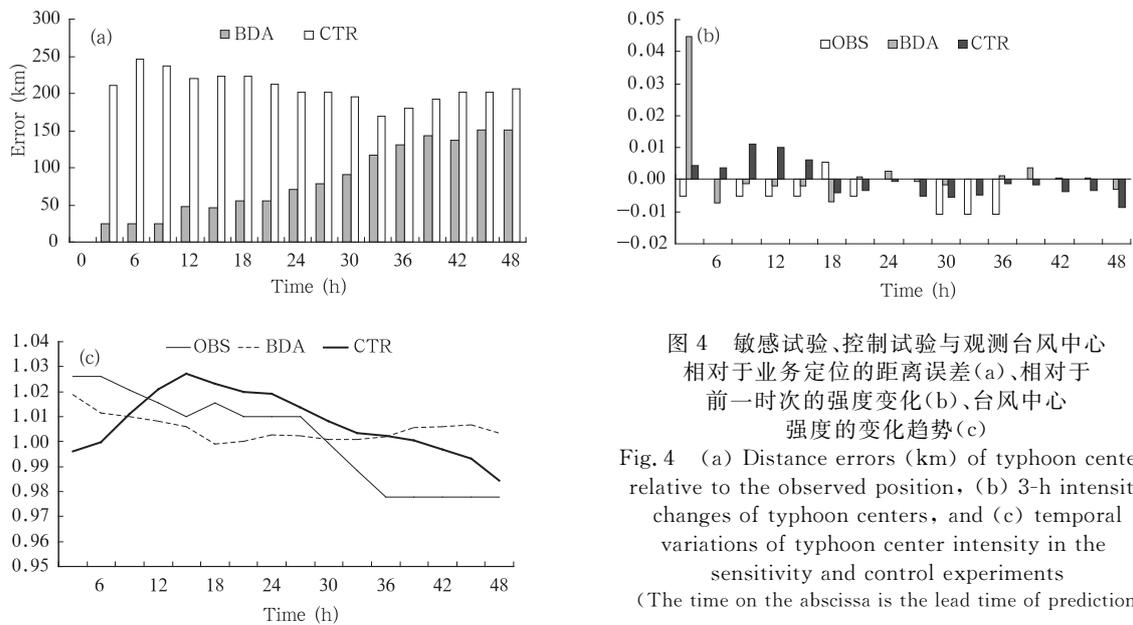


图4 敏感试验、控制试验与观测台风中心相对于业务定位的距离误差(a)、相对于前一时次的强度变化(b)、台风中心强度的变化趋势(c)

Fig. 4 (a) Distance errors (km) of typhoon centers relative to the observed position, (b) 3-h intensity changes of typhoon centers, and (c) temporal variations of typhoon center intensity in the sensitivity and control experiments (The time on the abscissa is the lead time of prediction)

4b 为敏感试验、控制试验与观测台风中心强度相对于前一时次的变化,其中观测台风中心强度为海表中心气压,控制试验和敏感试验为 850 hPa 位势高度,图中为标准化的结果(图 4c 亦作标准化)。图 4b 反映了台风中心强度在各个时次的细微变化、即时捕捉台风发展或减弱的态势,图 4c 则反映了台风中心强度的宏观变化趋势,指示台风强度在台风期间的相对强弱。由图 4b 可知,敏感试验台风中心强度相对于前一时次变化在预报初期与观测较为一致,为台风中心气压(或高度)的降低,台风加强;中期有所加强;后期则无显著变化。只是敏感试验在中期台风强度加强的幅度较弱,时段较短。控制试验在预报初期台风中心强度相对于前一时次则是减弱的,表现为中心气压(或位势高度)的增高,这与观测强度加强的事实不一致;后期其强度相对于前一时次是加强的,这也与实况不符。从图 4c 可清楚地看到,敏感试验台风中心强度的变化趋势与观测较为一致,只是在 30—36 小时台风加强的过程没有模拟出来。控制试验的强度变化趋势与实况则有较大出入,在初期相反,在后期则加强(观测台风强度维持)。21—27 小时,观测台风中心强度不变,控制试验是一个持续加强的过程,敏感试验(BDA)则是一个轻微减弱、再轻微加强的过程。综上可知,敏感试验模拟的台风中心的位置和强度变化都比控制试验更接近实况。以往的研究(梁凤仪,1988)指出,台风所在的位置、台风的强度、台风路径都与高温有关。

3.3.2 气温预报

图 5a—5c 给出敏感试验、控制试验与观测(广东省台站的气温资料)7月 15、16 日的日平均气温分布。比较图 5a、5b、5e,敏感试验和控制试验均较好地模拟出 7 月 15 日 23°N 及以北的 3 个高温中心,中心位置也与观测相近,只是敏感试验广州附近高温区的范围较控制试验稍大,二者模拟日平均气温约为 29 °C,较观测低。7 月 16 日二者气温分布的差异较为显著(图 5c、5d)。敏感试验中广州附近高温区域为南北向分布,广州、英德和梅县附近各有一高温中心,广州高温区最高温度为 29.9 °C;控制试验高温区域在广东南部沿海呈东西向分布,有一高温中心,在梅县附近。结合图 3,两试验前期温度分布形势相似、后期差异较大,其原因可能是 15 日

副高的强度和陆上形势两试验相近,海上副高中心位置和台风的差异由于远离大陆,影响较小,故两试验预报的气温分布差异不大。7 月 16 日台风西北移靠近陆地,对华南影响变大,因而气温预报也有明显不同。

结合图 1b 分析图 5f 可见,广州附近高温区在广州、花都、清远、英德一带呈南北分布,可知敏感试验模拟的高温形势与实况更为接近,高温中心位置也与观测基本一致,只是高温区的范围偏小,气温偏低;而控制试验仅模拟出梅县附近高温中心,气温偏低,南部沿海高温区呈东西向分布,与实况有较大差异。7 月 16 日两种试验与观测中南北向高温区敏感试验与观测气温的差值约在 3.0—3.5 °C(图 5g),而控制试验该区域与观测的差值为 3.5—5.0 °C(图 5h),说明在高温模拟上敏感试验在分布与程度上都与观测更为接近。观测所得广州站 7 月 15、16 日的日平均气温达到 31、31.4 °C,敏感试验和控制试验模拟的日平均气温分别为 28.9、27.9 °C,较实况约低 2.0—3.5 °C。这可能是由于敏感试验同化后台风初始强度虽有所加强,但仍然较观测低,故台风外围下沉气流强度较弱,空气下沉增温幅度较小。综上可知,敏感试验采用 BDA 方案改善 Grapes 模式对台风中心位置、强度和移动路径的模拟,也改善了 Grapes 模式高温预报效果,包括高温区的分布、高温中心和日平均温度的预报。

我们为了进一步分析两种试验的模拟结果,取区域(22.9°—23.3°N,112.9°—113.2°E)为代表,求其气温的区域平均值(图 6)可见,敏感试验、控制试验模拟气温均比观测偏低,降温阶段二者差值增大,这应与模式物理过程有关,可达 4 °C。敏感试验与控制试验气温的差异主要在上午升温阶段,降温阶段二者无明显差异;且在 15 日 22 时—16 日 08 时,二者的差异持续增大,之后差异减小。该时段是太阳短波辐射持续增长的阶段,此时段敏感试验气温高于控制试验,且温差也持续增长,这很可能是由于敏感试验气流下沉强、云量少,对太阳短波辐射的阻挡小,所以升温较快,气温较高,从而与观测更为接近;12 时后短波辐射减少,温差也减小。此外,观测的 16 日 06 时(即北京时 14 时)广州站点气温约为 34.2 °C,控制试验约为 33 °C,敏感试验约为

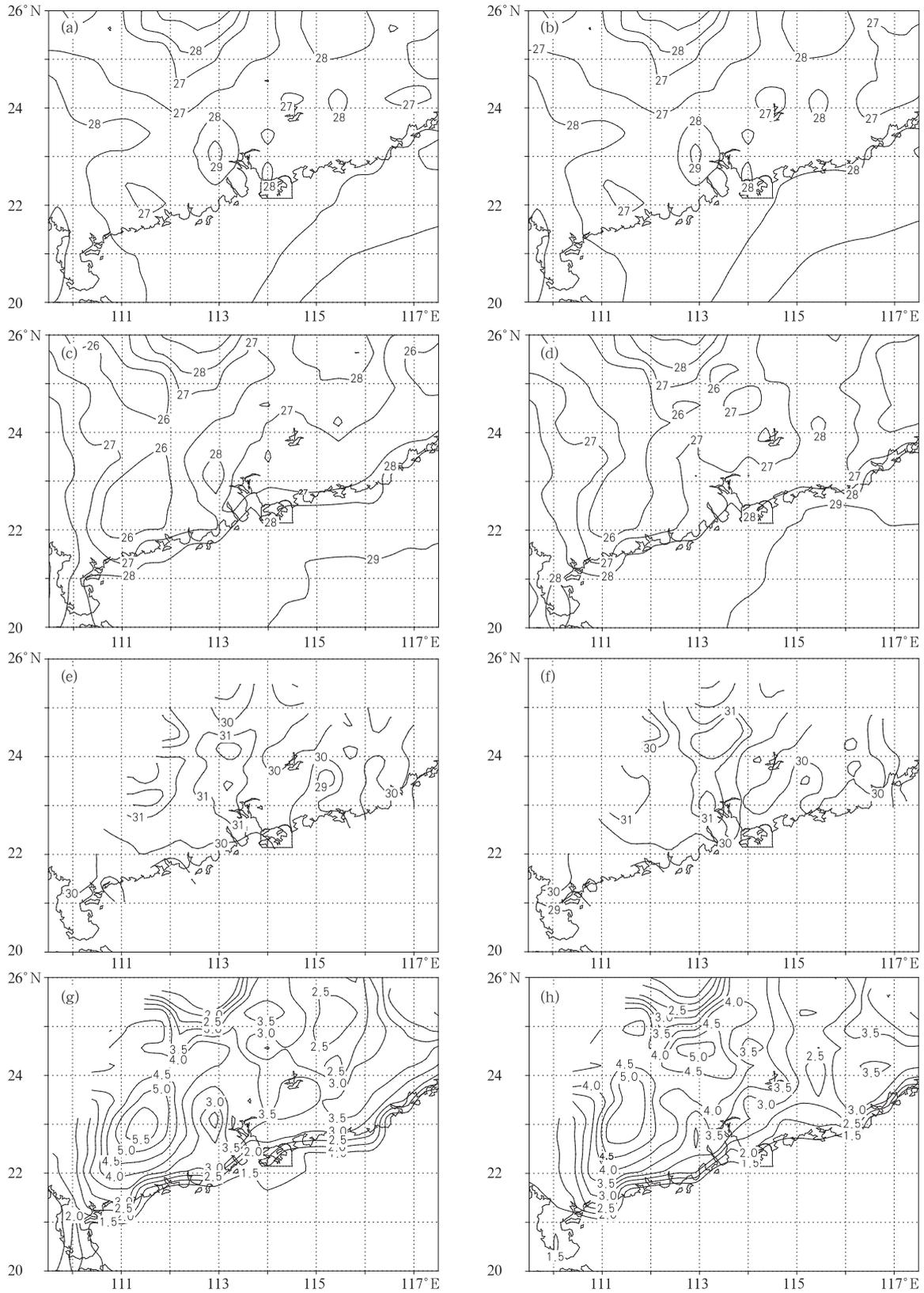


图5 7月15日(a,c,e)、16日(b,d,f)敏感试验(a,c)、控制试验(b,d)与观测(e,f)的日平均气温及16日敏感试验(g)、控制试验(h)与观测的气温差值

Fig. 5 Distributions of daily mean temperatures ($^{\circ}\text{C}$) observed (e, f) and simulated in (a, c) the sensible and (b, d) control experiments on 15 (a, c, e) and 16 (b, d, f) July 2005 and the temperature differences (g, h) between them on 16 July 2005 (g, simulated experiments, f, control experiments)

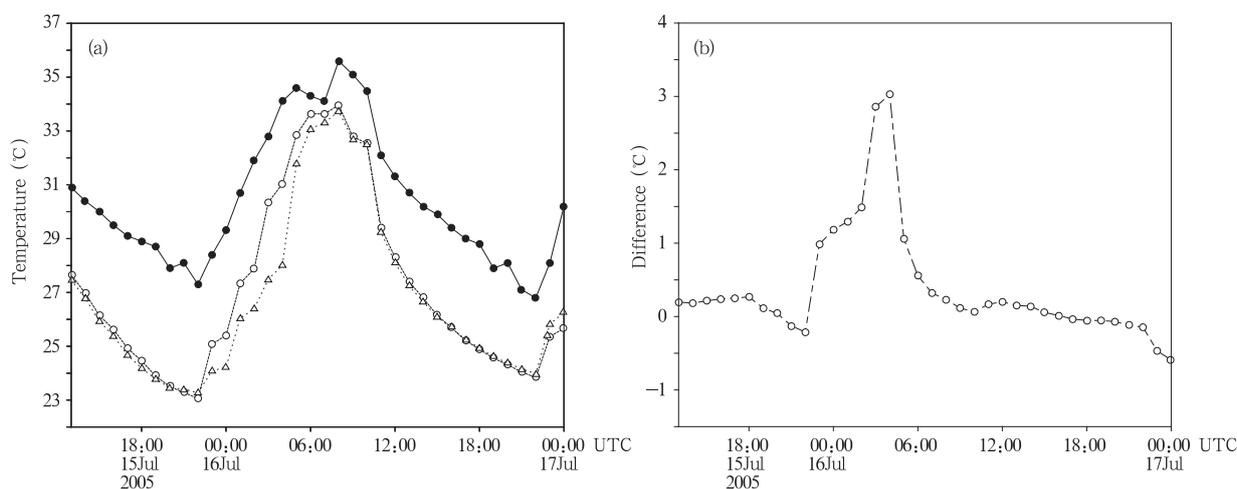


图6 敏感试验与控制试验模拟的气温(a)及其气温差值(Sen-Ctr)变化曲线(b)

(a中, ●为观测, ○为敏感试验, △为控制试验; 单位: °C)

Fig. 6 Temporal evolution of (a) 2 m temperature (°C) in the sensitivity (○) and control (△) experiments and (b) their difference (sensitivity minus control experiment). ● in (a) denotes the observed temperature

33.7 °C。虽然此气温是在一定区域内取其平均值,但在一定程度上仍反映试验模拟的广州气温偏低,不过敏感试验较控制试验有所改进。可见BDA方案对广州高温预报有一定影响。

3.3.3 可能机制

为探讨高温预报改进的原因及可能机制,从7月15、16日日平均经圈环流和日平均气温差值(阴影,敏感试验-控制试验,下文差值如未说明,同此)的高度-纬度剖面(图7)可知,受台风“海棠”影响,中纬度地区(16°—26°N)特别广州附近地区,气流的下沉明显。气流南北流动的分量极小,下沉占据了主导地位;纬圈环流其东西流动的分量也小,也以下沉为主(图略);而且各层大气在纬向、经向的气温等值线均较为平直(图略),因而排除平流增温的可能性。从15、16日平均气温的差值来看,在广大中纬度地区敏感试验整层大气的气温几乎都比控制试验要高,广州附近的差值最大,16日最大差值达到0.8 °C。由上可知,台风外围气流的强烈下沉导致了“海棠”期间广州地区的持续高温,而敏感试验中由于气流下沉更强(图7c)因而高温强度更大,而与实况较为接近。结合图7c与图6,16日早上的升温时段,也是两试验气温差值最显著的时段,敏感试验广州地区大气的下沉运动明显强于控制试验,说明正是由于气流下沉的增强致使敏感试验广州地区的

气温高于控制试验。图7d表明,台风期间敏感试验广州地区整层大气的气温基本要高于控制试验。对照图7c、7d,下沉增强的大值区基本对应于增温的大值区,说明下沉增强是主要影响因素。当然二者的结构并不完全一致,这可能是由于下沉增温过程还与大气湿度、局地地形等条件相关联。

以下针对广州地区,主要分析升温阶段(15日23时—16日08时)广州地区的大气状况和环流形势,探讨敏感试验广州大气增温的可能机制。图8a为敏感试验和控制试验到达地面的短波辐射通量。结合图6a,两试验短波辐射通量变化与气温变化曲线其趋势和差异几乎一致。可知到达地面短波辐射通量的差异对试验中气温的差异有重要影响。图8b为两试验短波辐射通量(GSW)、地面温度(T_s)和感热通量(H_{sen})的差值随时间变化的曲线。显然,这三者的差值曲线与图4气温差值曲线十分相似。升温时段,敏感试验到达地面的太阳短波辐射通量大于控制试验,差值持续增大;地面由于吸收的热量增多,温度升高,与大气的温差变大,使得地面传输给大气的感热通量增大,气温升高。为进一步分析验证造成两试验气温差异的原因,给出垂直速度(图8c)和水汽差值(图8d)的垂直变化曲线(升温阶段的时间平均)。在中低层敏感试验和控制试验垂直速度的差值基本为负(除700 hPa),结合图3c,

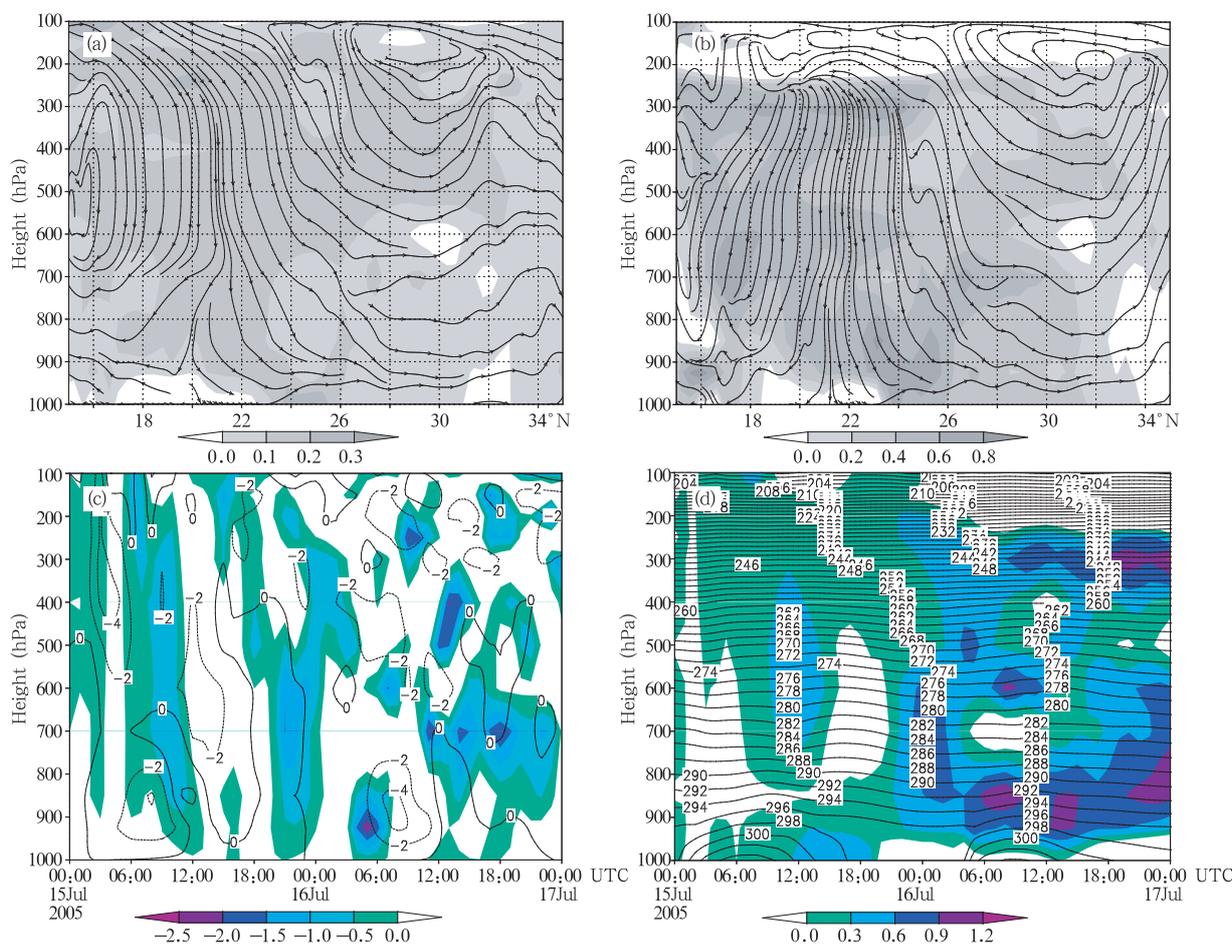


图 7 7月15、16日敏感试验的日平均经圈环流(a、b. 阴影表示敏感试验与控制试验日平均气温差值)、台风期间广州地区控制试验整层大气的垂直速度及其与敏感试验的差值(c. 等值线为控制试验的垂直速度, 阴影为差值)、台风期间广州地区控制试验整层大气的气温及其与敏感试验差值(d. 等值线为控制试验气温, 阴影为差值)(单位: $^{\circ}\text{C}$ (a, b, d); 10^{-2} m/s (c))

Fig. 7 Daily mean meridional circulation in the sensitivity experiment on 15 (a) and 16 (b) July (shadings denote the daily mean temperature difference in $^{\circ}\text{C}$ between the sensitivity and the control experiment), and height-time cross sections of vertical velocity (c) (contour; 10^{-2} m/s) and temperature (d) (contour; $^{\circ}\text{K}$) in the control experiment. Shadings in (c) and (d) denote the time averaged difference (sensitivity minus control) of the corresponding variable in Guangzhou in 15–17 July

升温时段广州的经圈差值环流向下, 均表明敏感试验中广州中低层大气的下沉加强; 中低层(1000—500 hPa)水汽含量差值也为负, 水汽减少。分析以上因素可知敏感试验改善高温预报的原因。敏感试验广州中低层大气的水汽减少, 大气的下沉增强, 致使天空的云量减少, 对太阳短波辐射的阻挡减小, 从而地面吸收热量增多, 温度升高, 输送给大气的感热增加, 大气气温升高。可见, BDA 方案通过同化台风的初始信息, 使初始场更好地反映台风结构和特征, 更好地预报台风中心位置、路径和强度变化, 从

而大气状况和环流形势更接近于真实状态, 更好地预报台风背景下广州的高温天气。

4 讨论与展望

数值模式的结果表明, 采用 BDA 方案同化台风信息, 可以改善模式初始场质量(台风中心位置、结构、强度), 进而改善模式对台风中心位置、强度变化的预报, 从而改进模式对广州区域高温的预报。但目前 BDA 方案仍需改进, 如初始场台风特征虽然较控制试验有所改进, 但与观测仍有一定差异, 特

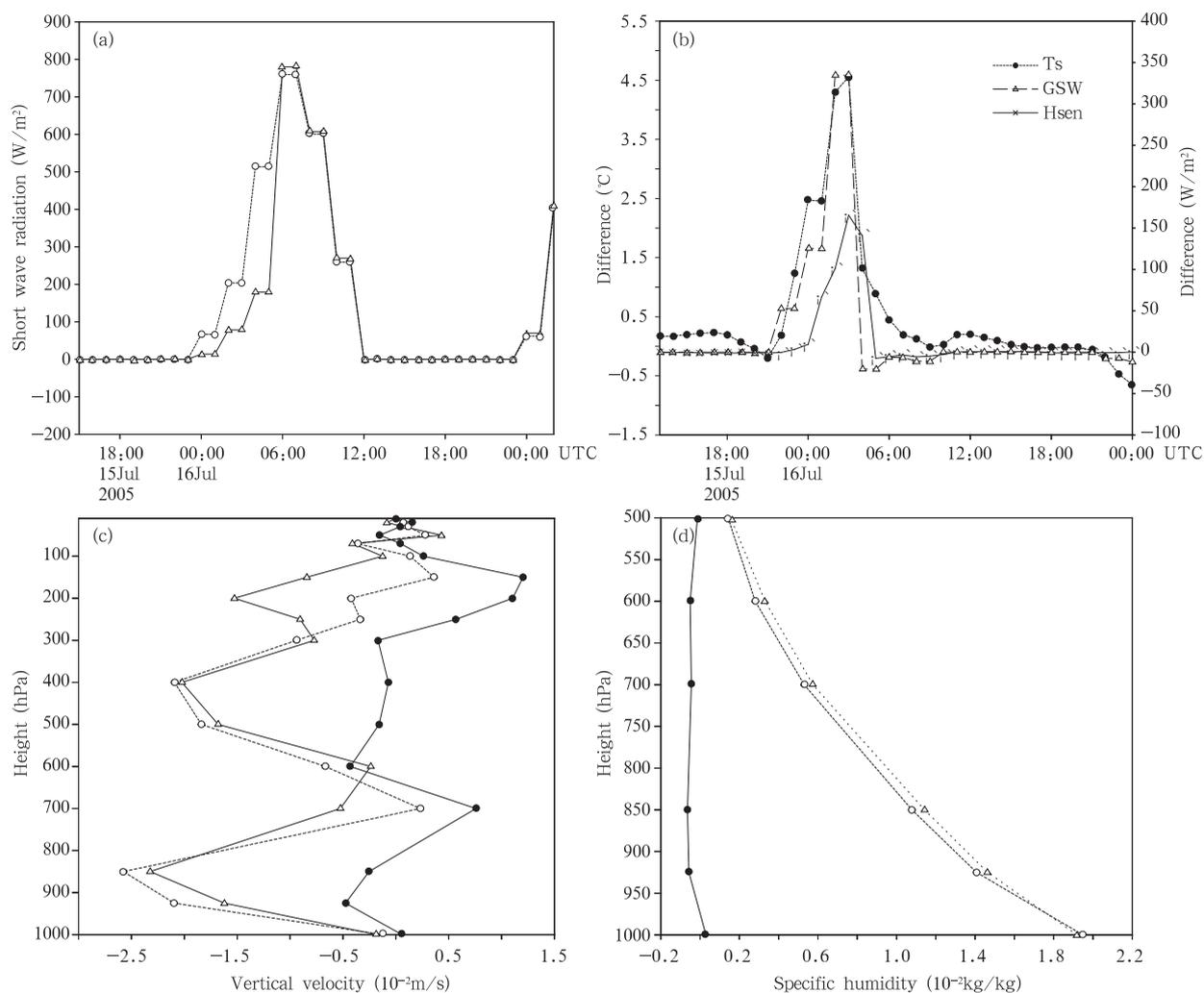


图8 广州地区敏感试验与控制试验的短波辐射通量(a)、短波辐射、地面温度和感热通量差值变化曲线(b)、垂直速度(c)和水汽(d)的垂直变化曲线
(○为敏感试验,△为控制试验,●为差值)

Fig. 8 Temporal evolution of short wave radiative fluxes (a), the differences of ground surface short-wave radiation (GSW), surface temperature (T_s), and sensible heat fluxes (H_{sen}) (b) in the sensitivity and control experiments in Guangzhou during 16–17 July, the vertical profiles of average vertical velocity (c) and specific humidity (d) in Guangzhou between 23:00 UTC 15–08:00 UTC 16 July
(○/△ denote sensitivity/control experiment; ● denotes sensitivity minus control experiment)

别是强台风在同化后强度仍然偏弱。同时发现,数值模式所报气温(敏感试验和控制试验)均比观测明显偏低,高温程度偏弱,这可能也与同化后台风初始强度仍然偏弱有关。若能进一步改进 BDA 方案,更好修正初始台风强度,有可能使模式对台风背景下广州高温天气的预报能力进一步提高。

5 结论

(1) 利用 BDA 方案同化 Bogus 模型所得到的

初始场有效引入观测台风信息,其台风中心位置、结构、强度等与观测更为接近。

(2) “海棠”台风个例模拟中,敏感试验采用 BDA 方案能改善 Grapes 模式对台风中心、强度和移动路径的预报,从而改善广州高温的预报,包括高温区的分布和日平均温度的预报。特别在升温阶段,敏感试验预报效果改进更明显,与控制试验差值可达 $3^{\circ}C$ 。

(3) 原因、机制。敏感试验由于广州中低层大

气的水汽减少, 大气下沉增强, 致使天空云量减少, 对太阳短波辐射的阻挡减小, 从而地面吸收热量增多, 温度升高。大气下沉运动的增强是敏感试验高温预报改进的主要原因。

致谢: 广东省气候与农业气象中心提供广东省台站气温资料。

参考文献

- 丁伟钰, 万齐林. 2004. BDA 方案及其对伊布都 (0307) 台风预报的影响 // 推进气象科技创新, 加快气象事业发展 (上册). 北京: 气象出版社, 240-248
- 杜爱兰, 苏喜福, 申媚先等. 2005. 2005 年 6 月高温天气与转折性降水过程分析预报. 山西气象, (4): 6-8
- 高守亭, 周玉淑, 雷霆等. 2005. 北京城市夏季高温高湿天气过程分析及动力识别. 地球科学, 35(增): 107-114
- 梁凤仪等. 1988. 广州市的高温与台风. 热带地理, 8(4): 345-353
- 林蟒, 刘燕, 周亚军. 2005. 2004 年夏季广州一次罕见高温天气过程. 广东气象, (2): 1-3
- 卢山, 叶蒙. 2006. 热带气旋外围环流和广州灾害性高温关系的研究. 热带气象学报, 22(5): 461-465
- 罗秋红, 纪忠萍. 2005. 广东省盛夏气温异常的成因初探. 热带气象学报, 21(4): 427-434
- 孙建华, 陈红, 赵思雄. 1999. 华北和北京的酷暑天气 (II) —— 模拟试验和机理分析. 气候与环境研究, 4(4): 334-345
- 汪雪清, 杨雪艳, 石大明. 2004. 数值预报产品在夏季持续高温预报中的释用. 气象科技, 32(增): 47-49
- 卫捷, 杨辉, 孙淑清. 2004. 西太平洋副热带高压东西位置异常与华北夏季酷暑. 气象学报, 62(3): 308-316
- 吴国雄, 刘辉, 陈飞等. 1994. 时变涡动输送和阻高形成 —— 1980 年夏中国的持续异常天气. 气象学报, 52(3): 308-320
- 谢善驹, 黄伟峰. 1996. 广州城市高温及其防御对策. 热带地理, 16(4): 340-344
- 闫敬华, 丁伟钰, 徐建平. 2004. “非 bogus 初值”热带气旋数值预报及其性能. 应用气象学报, 15(5): 513-522
- 张尚印, 宋艳玲, 张德宽等. 2004. 华北主要城市夏季高温气候特征及评估方法. 地理学报, 59(3): 383-390
- 张尚印, 张德宽, 徐祥德等. 2005. 长江中下游夏季高温灾害机理及预测. 南京气象学院学报, 28(6): 840-846
- Acs F, Mihailovic D T, Rajkovic B. 1991. A coupled soil moisture and surface temperature prediction model. J Appl Meteor, 30(6): 812-822
- Anderson O, Knudsen P, Beckley B. 2002. Monitoring sea level and sea surface temperature trends from ERS satellites. Phys Chem Earth, 27: 1413-1417
- Anthony G Barnston, Thomas M Smith. 1996. Specification and prediction of global surface temperature and precipitation from global SST using CCA. J Climate, 9(11): 2660-2697
- Casey K S, Cornillon P. 2001. Global and regional sea surface temperature trends. J Climate, 14: 3801-3818
- Eric J Alfaro, Alexander Gershunov, Daniel Cayan. 2006. Prediction of summer maximum and minimum temperature over central and western United States: The roles of soil moisture and sea surface temperature. J Climate, 19(8): 1407-1421
- Good S A, Corlett G K, Remedios J J, et al. 2007. The global trend in sea surface temperature from 20 years of advanced very high resolution radiometer data. J Climate, 20(7): 1255-1264
- Kingtse C M O. 2003. Ensemble canonical correlation prediction of surface temperature over the United States. J Climate, 16(11): 1665-1683
- Laurenc J Wilson, Stephane Beaugard, Adrian E Raftery, et al. 2007. Calibrated surface temperature forecasts from the Canadian ensemble prediction system using Bayesian model averaging. Mon Wea Rev, 135(4): 1364-1385
- Liang Fengyi, et al. 1988. High temperature and typhoon in Guangzhou. Tropical Geography, 8(4): 345-353
- Pu Zhao-Xia, Braun, Scott A. 2001. Evaluation of bogus vortex techniques with four-dimensional variational data assimilation. Mon Wea Rev, 129(8): 2023-2039
- Randal D Koster, Max J Suarez. 2003. Impact of land surface initialization on seasonal precipitation and temperature prediction. J Hydrometeorology, 4(2): 408-423
- Strong A E, Kearns E J, Gjovig K K 2000. Sea surface temperature signals from satellites-An update. Geophys Res Lett, 27: 1667-1670
- Wu Chun-Chieh, Morris A Bender, Yoshio Kurihara. 2000. Typhoon forecast with the GFDL Hurricane Model: Forecast skill and comparison of predictions using AVN and NOGAPS global analyses. J Meteor Soc Japan, 78(6): 777-788
- Zhang Xiaoyan, Wang Bin, Ji Zhongzhen, et al. 20003. Initialization and simulation of a typhoon using 4-dimensional variational data assimilation-research on typhoon herb (1996). Adv Atmos Sci, 20(4): 612-622