

东高红,尉英华,解以扬,等. 2015. 天津地区城市热岛环流与海风环流相互作用的研究. 气象, 41(12):1447-1455.

天津地区城市热岛环流与海风环流 相互作用的研究^{* 1}

东高红^{1,2} 尉英华² 解以扬¹ 刘一玮² 李英华¹

1 天津市气象科学研究所, 天津 300074

2 天津市气象台, 天津 300074

提 要: 利用中尺度数值模式(TJ-WRF)模拟资料及天津加密自动气象站资料等,选取几个典型天气过程(城区附近局地强雷暴天气过程、受海风影响明显的无天气过程)个例,分析研究天津城市热岛环流与海风环流的空间结构特征及相互作用;重点对城市热岛环流与海风环流相互作用触发局地强雷暴的机制进行分析。结果表明:城市热岛环流的伸展高度基本在 800 hPa 附近,空间范围约为 20 km,环流内有弱的辐合上升;海风环流的伸展高度在 800~750 hPa,空间范围 40~60 km,海风环流前沿海风锋的伸展高度为 950~900 hPa,垂直上升速度平均为 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,略强于城市热岛环流。海风环流对城市热岛环流有明显消弱作用,城市热岛环流对海风环流有一定的阻挡作用,其阻挡的程度与城市热岛环流强度有关。随海风环流向内陆推进,海风环流与城市热岛环流相遇出现叠加,叠加后的辐合上升运动明显加强,最大上升速度可达 $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,并在不稳定天气形势条件下能触发局地强雷暴天气的出现。

关键词: 城市热岛环流, 海风环流, 相互作用, 中尺度数值模式

中图分类号: P458.2

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.12.002

Research on the Interaction of Tianjin Urban Heat Island Circulation and Sea Breeze Circulation

DONG Gaohong^{1,2} WEI Yinghua² XIE Yiyang¹ LIU Yiwei² LI Yinghua¹

1 Tianjin Institute of Meteorological Sciences, Tianjin 300074

2 Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074

Abstract: Using the mesoscale TJ-WRF model data and encryption automatic weather station (AWS) data, etc., we analyze the distribution characteristics of Tianjin urban heat island circulation and sea breeze circulation as well as the interaction of them. Through several typical weather cases (Local strong thunderstorms seen in urban areas and the weather without any processes affected by the sea breeze), the trigger mechanism of the interaction between urban heat island circulation and sea breeze circulation for local thunderstorms is analyzed. The results show that the extended height of urban heat island circulation is near 800 hPa, spatial extension is about 20 km, and the upward motion is obvious. The extended height of sea breeze circulation is near 800–750 hPa and spatial extension is about 40–60 km. The stretch height of the sea breeze front is about 950–900 hPa in the forefront of the sea breeze circulation, and the upward speed is $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ on average, slightly stronger than the heat island circulation. The sea breeze can weaken the urban heat island effect while the urban heat island can block the sea breeze circulation. With the sea breeze circulation pushed near to the urban, the sea breeze circulation and the urban heat island circulation

* 中国气象局预报员专项(CMAYBY2014-003)和天津市科委自然科学基金项目(14JCYBJC21600)共同资助

2014年9月22日收稿; 2015年8月4日收修定稿

第一作者:东高红,主要从事城市气象和中尺度天气预报技术研究. Email:qwerty8825@sina.com

encounter, then the two circulations get superimposed and the upward motion is significantly strengthened, causing the maximum upward speed to go up to $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Under the favorable weather conditions the local severe thunderstorms can be triggered.

Key words: urban heat island circulation, sea breeze circulation, interaction, mesoscale TJ-WRF model

引 言

随着世界各国城市化的进展,城市热岛效应及其对全球气候变暖的贡献已经引起了广泛的关注。有研究表明,城市热岛效应不仅造成城市及其周边地区气温的升高,还可能通过流场的作用,对冬夏季降水过程产生影响。Daniel(2000)研究认为,城市热岛效应将造成城市下游降水增加;毕宝贵等(2004)的研究指出城市化过程造成的地表特征变化也有可能对降水过程产生较大影响;孙继松(2005)和孙继松等(2007)针对北京地区,分析了地形与城市热岛及下垫面物理属性造成的热力差异对不同天气过程的作用;丁仁海等(2010)和单机坤等(2013)分别就不同地区下垫面对局地对流的影响进行了分析。而对于海滨城市而言,在快速城市化和工业化的过程中,城市热岛环流和海陆风环流相互作用,可形成沿海地区独特的边界层结构(Edmilsin et al, 2007;蒙伟光等,2007;张雷鸣等,1993;佟华等,2004;杨鹏等,2013;邱晓暖等,2013)。近年来,国内外很多学者都对海滨城市的城市热岛环流与海陆风环流的相互作用进行了大量的观测研究和数值模拟研究。其中 Kim 等(2004)研究了韩国几个大城市的日最大热岛强度,发现海滨城市与内陆城市相比,即使城市规模大于内陆城市,日最大热岛强度的年平均值仍然小于内陆城市。Freitas 等(2007)的研究表明,城市热岛环流能使海风锋向城市中心的推进速度比在没有城市存在的情况下增加 $0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;苗曼倩等(1998)通过数值模拟证实,长江三角洲地区的海(江、湖)风环流与城市热岛效应之间存在相互增强的过程;Lin 等(2008)研究认为,台湾北部的热岛环流白天能使海风增强,夜间则能削弱陆风。

天津位于渤海西岸,是我国环渤海地区的中心城市。刘树华等(2008)研究发现,天津地区的地理环境特征能使城市热岛环流和海陆风环流相互耦合,通常海陆风环流极盛时可深入陆地 200 km 左右,而城市热岛环流只发生在城市中心周围几十千米的范围内。于恩洪等(1987)和陈彬等(1989)的研究表明,渤海湾西部海陆风与天津城市热岛效应的

相互作用主要表现为:在城市东部,海风环流和城市热岛环流的叠加使海风加强,在城市西部热岛环流又阻止了海风的西伸,海陆风效应和城市热岛效应使海风加强西伸到天津市中心,进而又削弱了城市热岛效应。黄丽萍等(2013)通过观测分析了天津地区夏季海陆风对城市热岛日变化特征的影响。东高红等(2013)通过个例分析指出,当海风环流与城市热岛环流相遇时,城市热岛环流对海风环流有明显的阻挡作用,海风会出现分支、绕流和爬升,且两者相遇处的辐合上升运动迅速加强。

本文利用天津中尺度数值天气模式(Weather Research and Forecasting Model, TJ-WRF)模拟结果及常规观测资料和加密自动站资料,对天津地区城市热岛环流与海风环流(海风锋)的分布特征及相互作用进行分析,重点对城市热岛环流与海风环流两者相互作用对局地强雷暴的触发加强机制进行分析,以期预报预警沿海城市局地突发雷暴天气提供参考依据。

1 中尺度 TJ-WRF 数值模式介绍

中尺度 TJ-WRF 模式是天津气象科学研究所与北京大学合作引进本地化业务运行的一套数值预报业务化系统。该系统采用 ARPS-ADAS 数据同化系统,应用 GFS 预报场作为初始场,同化了雷达、卫星、探空地面报等实测资料。模式区域采用两重嵌套方案,模拟区域如图 1a 所示(内层区域仅包括天津地区,图 1b 为其放大图);区域中心在 40.0°N 、 115°E ,两个区域的水平分辨率分别为 5 和 1 km ,格点数分别为 401×369 和 150×196 ,模式层顶为 50 hPa ,垂直分层为 51 层,边界层内大致有 11 层。模式预报时效 72 h ,每 3 h 输出一次预报结果,对于降水量资料每 1 h 输出一次预报结果。模式主要参数设置如表 1。模式中的土地利用类型分类是依据美国地理测量土地利用系统提供的 24 类全球土地利用分布(戴俐卉等,2008),其是利用 2008 年遥测资料得到的。从图 1b 看到,WRF 模式中天津市区周围土地利用类型为城市建筑用地。

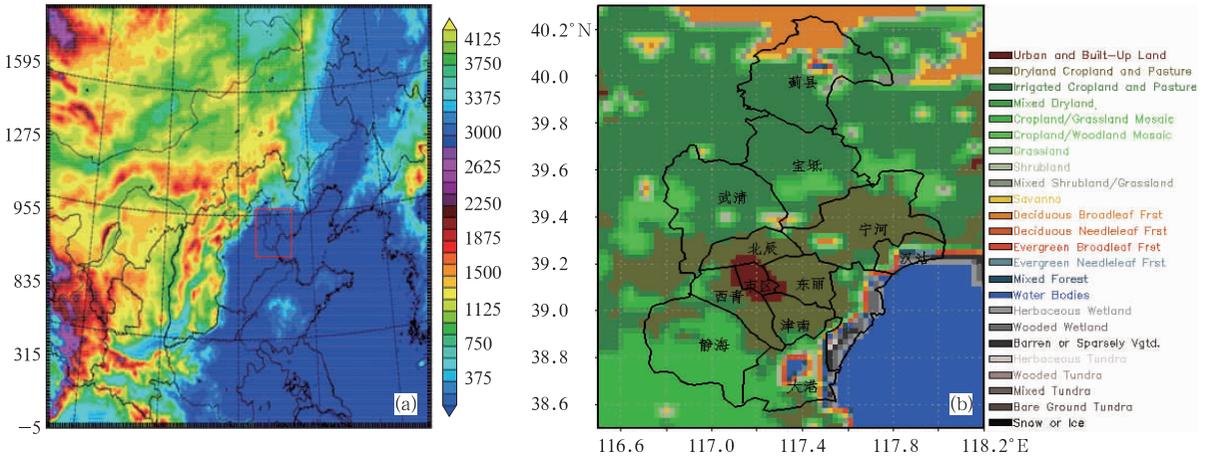


图 1 (a) TJ-WRF 模式模拟范围, (b) 模式下垫面土地利用类型

Fig. 1 (a) Simulation range of TJ-WRF model, (b) types of underlying land used in TJ-WRF model

表 1 TJ-WRF 模式的主要参数设置

Table 1 The main setting of mesoscale TJ-WRF model

参数	模式设置
微物理方案	WSM 6 类冰雹方案
辐射方案	长短波辐射(RRTM/Dudhia 方案)
边界层方案	YSU 方案
近地面层方案	Monin-Obukhov 方案
陆面过程方案	Noah 陆面过程方案

2 所用资料

由于本文重点研究的是城市热岛环流与海风环流的空间结构特征及相互作用机制,因此选取的天气过程个例分为有降水天气过程(城区附近的局地强雷暴天气过程)和受海风影响明显的无降水天气过程两类。具体分别为 2010 年 7 月 12 日、8 月 16 日和 8 月 31 日三次局地强雷暴天气过程及 2010 年 6 月 16 日和 2012 年 4 月 6 日两次无天气过程。

所用资料包括:常规观测资料,天津自动气象站观测资料(风向、风速、温度、相对湿度、降水量)。中尺度 TJ-WRF 模式输出资料。2010 年 7 月 12 日、8 月 16 日、8 月 31 日三次局地强雷暴过程 TJ-WRF 模式模拟的起始时间为当天的 00:00(文中所用时间为世界时,未特别说明,下同);2010 年 6 月 16 日和 2012 年 4 月 6 日两次无天气过程模式模拟的起始时间为前一天的 12:00。

3 个例过程的天气概况

三次局地强雷暴天气过程(2010 年 7 月 12 日、

8 月 16 日和 8 月 31 日)均发生在天津市区的傍晚,强降水时间均仅有 1~2 h,且自动站单站最大雨强都在 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上,最大雨强达到 $63.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,出现在 2010 年 7 月 12 日的 10:00—11:00。从三次天气过程发生前的天气形势看,主要影响系统各不相同:7 月 12 日过程主要受低层 850 hPa 切变影响,8 月 16 日过程降水发生在低层槽后弱反环流天气形势下,而 8 月 31 日过程的主要影响系统为东北冷涡槽;从地面形势看,三次过程均发生在低压前或高压后部的弱气压场形势下(图略)。

对于两次无天气的个例,2010 年 6 月 16 日天津上空处于暖脊控制,地面位于低压前部,在城区附近有一偏南风 and 偏东风的东西向中尺度辐合线,辐合线南侧吹偏南风、北侧吹偏东风;辐合线南侧地区的日最高气温达到 $37 \sim 38^\circ\text{C}$,而渤海沿岸塘沽站的日最高气温仅有 30°C 左右。2012 年 4 月 6 日高空三层均处于西北气流控制,地面场由高压前转为弱低压控制,中午前后在宝坻—北辰—市区—静海一线形成一近似南北向的中尺度辐合线,辐合线东侧为 $6 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的东到东南风、西侧为 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的弱西北风,辐合线两侧温差最大达到 10°C 以上(图略)。

4 数值模式模拟结果分析

4.1 模拟结果的可用性

分别将 2010 年 7 月 12 日、8 月 16 日和 8 月 31 日三次局地强雷暴天气过程降水发生前 TJ-WRF

模式输出的温度及风场与实况场进行比较看到,模拟的温度及风场分布和实况分布大体相同,只是在天津北部山区的风场的某些个例有差异(图 2b 和 2a 为 2010 年 8 月 16 日过程模拟结果与实况对比,另两次过程对比略)。而三次天气过程模式输出的降水落区预报主观预示作用较好,但和实况相比降水量值均相对偏小,降水范围和落区也略有偏差(图

略)。对于无天气过程,也分别将 2010 年 6 月 16 日和 2012 年 4 月 6 日两次过程模式输出的温度及风场与实况场进行比较看到,模拟场与实况也基本一致(图 2d 和 2c 为 2012 年 4 月 6 日过程模拟结果与实况对比,2010 年 6 月 16 日过程对比略)。对比分析说明模式模拟的结果可以用于对这几次过程发生发展机制的分析。

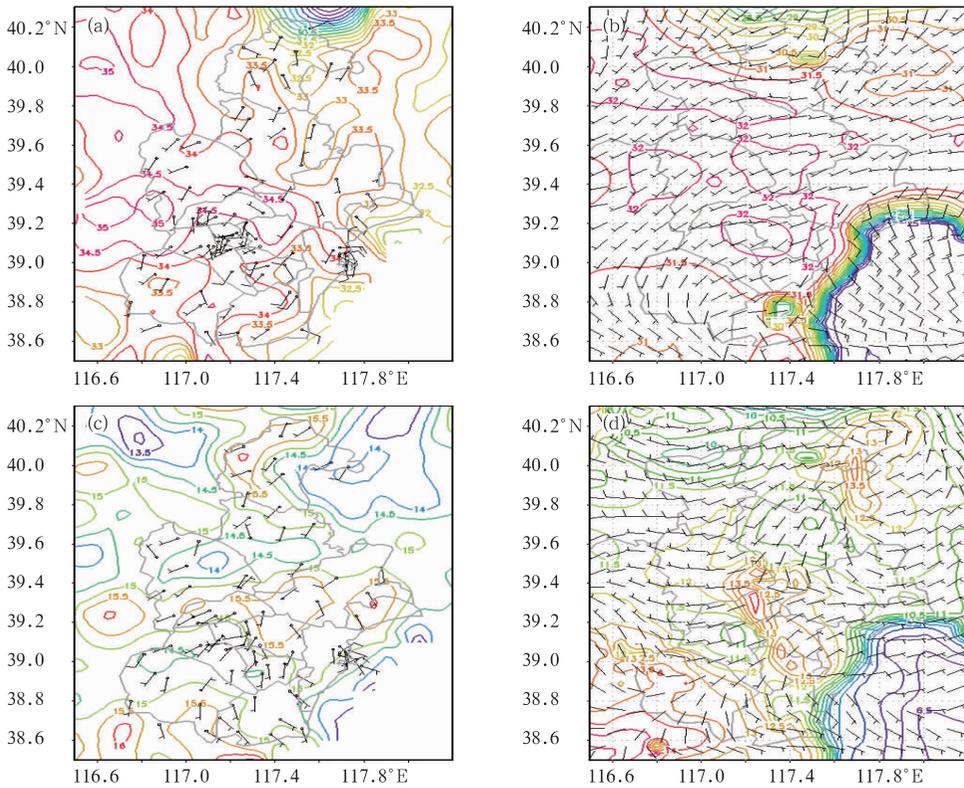


图 2 实况温度与风场分布(a, c)和 TJ-WRF 模式模拟结果(b, d)

(a, b) 2010 年 8 月 16 日 06:00, (c, d) 2012 年 4 月 6 日 01:00

Fig. 2 The temperature and wind field distribution (a, c) and TJ-WRF model simulation results (b, d)

(a, b) 06:00 UTC 16 August 2010, (c, d) 01:00 UTC 6 April 2012

4.2 城市热岛环流与海风环流的空间结构分布特征及相互作用

4.2.1 局地强雷暴天气过程模拟结果分析

分析三次局地强雷暴天气过程雷暴发生前局地的物理量参数特征看到,降水发生前,三次过程局地对流不稳定均较强。我们利用本地逐时自动站资料对北京探空进行订正后看到,2010 年 7 月 12 日过程降水发生前局地的对流有效位能最大达到 $3201.1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,而对流抑制非常小仅为 $12.91 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,抬升指数也降低到 -6.91°C , K 指数达到

38°C 。其他两次过程的物理量参数特征也都表现出强的局地不稳定(表略)。这说明三次过程降水发生前大气为不稳定层结,局地的动力、热力条件均有利于该地强对流天气的发生。

分析 TJ-WRF 模式模拟结果看到(表 2),三次局地强雷暴天气发生前,天津市上空温度层结与沿海地区温度层结分布低层等温度线的高度差平均为 0.5 km 。市区附近城市热岛环流高度基本在 800 hPa 附近,环流范围约为 20 km ;环流低层为辐合、上层为辐散,上升运动较明显,三次过程城市热岛环流辐合中心最大上升速度平均为 $0.11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

而海风环流高度要明显高于城市热岛环流的,达到 800~750 hPa 高度,环流范围也相对较大;海风环流前沿海风锋的伸展高度为 950~900 hPa,而且海风锋本身带有辐合上升区,其垂直上升速度平均为

$0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,明显强于城市热岛环流的(图 3b)。随着海风向内陆推进,当海风环流移到市区附近时,市区东侧偏东风的风速明显小于市区南北两侧而温度却高于周围的温度。说明海风在此处受到城市热岛

表 2 三次局地强雷暴过程城市热岛环流与海风环流的空间结构特征

Table 2 Space structure features of urban heat island circulation and sea breeze circulation during three local thunderstorms

热岛环流 /年.月.日	城市与沿岸层结温度 高度差值/km	环流高度/hPa	环流范围/km	散度 / 10^{-5} s^{-1}	垂直速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	
2010.7.12	0.6	800	20	-15	0.1	
2010.8.16	0.4	700	20	-20	0.15	
2010.8.31	0.5	800 hPa 以下	30	-30	0.08	
海风环流	东风高度	海风锋高度 /hPa	环流高度 /hPa	环流范围 /km	最大散度 / 10^{-5} s^{-1}	最大垂直速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2010.7.12	950 hPa	900	750	40~60	-10	0.15
2010.8.16	0.2 km	900	750	40	-40	0.25
2010.8.31	0.2 km	950	800 hPa 以上	40	-40	0.21
合并后环流	东风高度	中心高度 /hPa	环流高度 /hPa	环流范围 /km	最大散度 / 10^{-5} s^{-1}	最大垂直速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2010.7.12	925 hPa	850	650	60	-80	0.6
2010.8.16	950 hPa	850	650	40	-70	0.5
2010.8.31	0.4 km	925	750	40~50	-35	0.25

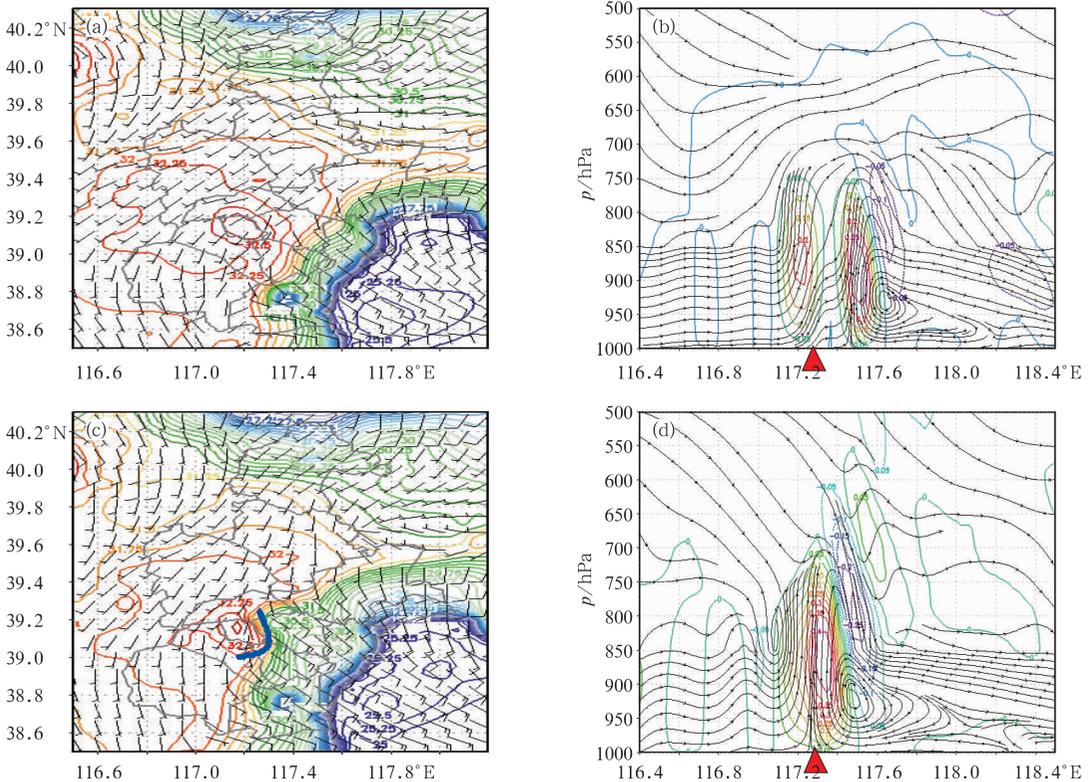


图 3 2010 年 8 月 16 日 08:00 (a, b)和 09:00 (c, d)风场与温度分布(a, c)及
过市区沿 39.1°N 的流场与垂直速度剖面 (b, d)
(三角位置为市区位置)

Fig. 3 The wind and temperature distribution (a, c), the cross section of flow field and vertical velocity profiles along 39.1°N through the city center (b, d) at 08:00 UTC (a, b) and 09:00 UTC (c, d) 16 August 2010 (The triangle location is the location of Tianjin city)

环流的阻挡,出现风速辐合,海风气流被迫抬升和南北分支绕流,才得以越过城市继续西进;而城市南北两侧的海风气流没有受到阻挡,所以在海风环流与城市热岛环流相遇的地方等温线出现明显的弧状弯曲(图 3a 和 3c);同时受海风影响地方的温度迅速降低,城市热岛效应的特征变得不明显了。而且从过市区沿 39.1°N 做的流场与垂直速度剖面上看到,随时间推移,当海风推进到市区附近时,海风环流与城市环流相遇叠加,叠加后环流的高度、环流中心的上升速度、辐合强度均明显强于之前两者的(图 3d),辐合中心最大垂直上升速度平均增大一倍以上,最大达到 $0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (表 2)。分析说明城市热岛效应对海风环流有一定的阻挡作用,同时海风对城市热岛效应有消弱作用。两环流相遇后叠加、环流自身的辐合上升运动相叠加得到加强。分析加强原因应是城市热岛环流本身为相对暖干气团,而海风环流带来的是相对冷湿的气团,两种不同性质气团相遇,暖干气团会被迫抬升,从而形成上暖下冷湿的不稳定层结,而两者自身都带有明显的辐合上升,为不稳定触发区,所以当两者相遇后相遇处变得更加不稳定,辐合上升运动明显加强,而加强的上升运动又为雷暴的发生发展提供了有利的动力和热力条件,从而触发了该地不稳定能量的强烈释放,导致该地强雷暴的新生发展。

4.2.2 无天气过程模拟结果分析

分析 2010 年 6 月 16 日和 2012 年 4 月 6 日两次无天气过程模式模拟结果可以看到,近地层上空温度分布天津城区与渤海沿岸地区相同温度的高度差基本为 0.4 km ,在天津城区东侧沿岸地区存在明显温度梯度,这利于在近地面层产生辐合。同时中

午时分在城区附近存在明显的温度大值区,说明存在城市热岛效应,但城市热岛的强度较弱。而海上海风的垂直伸展厚度为 0.4 km ,随时间其厚度略增加;海风环流的高度不同个例差别较大,海风环流最高约在 850 hPa 附近,环流空间范围平均为 60 km ,海风环流前沿即海风锋所在高度基本为 950 hPa ,海风锋自身都存在辐合上升,但不同个例辐合中心的散度值相差较大(表 3)。随时间海风环流不断向城区推进,当海风移到城区附近,海风环流与城市热岛环流相遇,两环流相叠加,叠加后的辐合上升明显加强、辐合中心的最大上升速度达 $0.6\sim 0.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,环流的高度也抬升到 $750\sim 700\text{ hPa}$ 附近(图 4)。这与有天气过程的模拟结果相一致。

分析表明 TJ-WRF 模式模拟结果不但较好地模拟出了城市热岛环流与海风环流,而且模拟出了两环流相遇叠加后环流的空间结构及辐合上升速度的变化特征。从上面分析看到这两次过程城市热岛环流与海风环流相遇两环流相叠加,辐合上升运动明显加强,那为什么没有出现强对流天气?从两次过程的天气形势概况和 00:00 背景场物理量参数值特征看到(表 4),2010 年 6 月 16 日过程天气形势虽然存在不稳定,但对流抑制非常大、动力条件和水汽条件均不利于对流的发展;而 2012 年 4 月 6 日过程为稳定天气形势。所以可以说,对受海风影响明显的无天气过程,城市热岛环流与海风环流均存在且两者本身均存在弱的辐合上升。随海风环流向内陆推进遇到城市热岛环流,两环流相遇叠加,叠加处的辐合上升运动会明显加强;但在稳定的天气形势条件下,不会触发出强对流天气。

表 3 无天气过程个例城市热岛环流与海风环流的特征

Table 3 Features of urban heat island circulation and sea breeze circulation without any weather processes

热岛环流 /年.月.日	城市与沿岸层结温度 高度差值/km		环流高度	环流范围 /km	散度 / 10^{-5} s^{-1}	垂直速度 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
2010.6.16	0.4		弱	20	-10	0.06
2012.4.6	0.4~0.6		弱	20	-10	0.1
海风环流 /年.月.日	东风高度 /km	海风锋高度 /hPa	环流高度 /hPa	环流范围 /km	最大散度 / 10^{-5} s^{-1}	最大垂直速度 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
2010.6.16	0.4	950	850	80	-15	0.03
2012.4.6	0.6	950	850	40	-90	0.6
合并后环流 /年.月.日	东风高度 /km	中心高度 /hPa	环流高度 /hPa	环流范围 /km	最大散度 / 10^{-5} s^{-1}	最大垂直速度 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
2010.6.16	0.8	900	700	20~40	-80	0.6
2012.4.6	0.4	750	750	20~30	-100	0.8

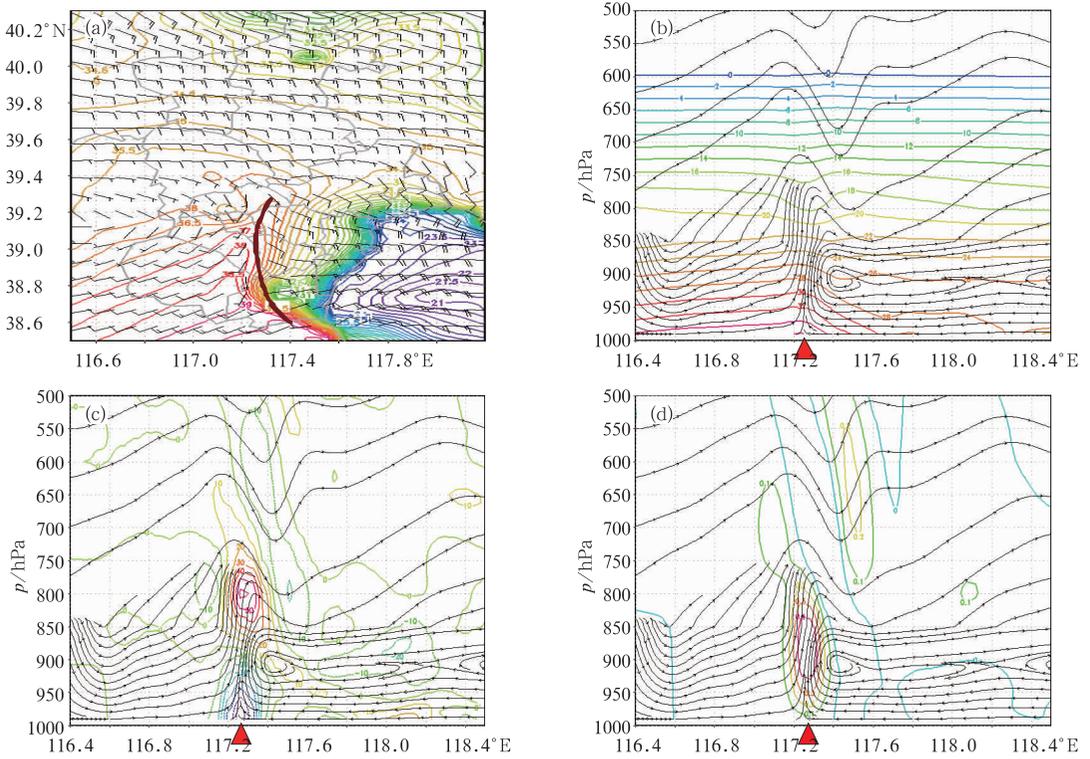


图 4 2010 年 6 月 16 日 06:00 TJ-WRF 模式模拟的温度与风场分布(a)及过市区沿 39.1°N 的流场与温度(b)、散度(c)和垂直速度(d)剖面 (三角位置为市区位置)

Fig. 4 The wind and temperature distribution (a), the flow field with temperature (b), divergence (c) and vertical velocity profiles (d) along 39.1°N through the city center at 06:00 UTC 16 June 2010 (The triangle is the location of Tianjin City)

表 4 无天气过程物理量参数特征

Table 4 The characteristics of physical parameters without any weather processes

日期 /年.月.日	K/C	CAPE /J · kg ⁻¹	CIN /J · kg ⁻¹	SI/C	LI/C	SWEAT	q /g · kg ⁻¹	T - T _d /C
2010.6.16	29	585.6	769.2	-2.21	-1.86	213	9.93	8
2012.4.6	8	0	0	9.39	12.56	97.2	1.74	21

4.3 城市热岛环流与海风环流相互作用的机制

分析城市热岛环流与海风环流相互作用的可能原因,主要有动力和热力作用两方面。动力作用方面,随城市发展、城市建筑群面积增多,当海风由沿岸向内陆推进的过程中遇到城市,由于建筑群的阻挡和地面摩擦的加大,使海风在此处受到阻挡,出现阻挡和绕流;同时因城市热岛效应的存在,海风环流被迫出现抬升,当海风越过城市,其风速明显加大、移速加快。热力作用方面,因城市地区为相对干暖气团控制,当海风向内陆推进移到城区附近时,其携带的相对湿冷气团与城区附近的干暖气团相遇,通过湍流混合交换,两种不同性质的气团均出现变性:海

风携带的湿冷气团变暖变干,城市地区的干暖气团变冷变湿,相遇处会辐合上升运动得以明显加强。

从不同时次流场与垂直速度的垂直剖面图上看(图 5),海风向内陆推进的速度约为 5 ~ 10 km · h⁻¹,推进过程中海风的厚度不断增加,海风环流前沿海风锋处辐合上升运动有所增强。海风环流上岸后向城区移动的过程中,因受到路面摩擦等因素的影响,其移速略有减慢,其前沿海风锋自身辐合上升运动的强度也略有减弱。当其接近城区中心位置时,其速度明显加快,同时城市热岛环流的辐合上升强度略减弱。但当海风环流移到城区附近,与城市热岛环流相遇时海风受城市热岛环流阻挡又出现减速绕流爬升,但两者相遇处的辐合上升明显

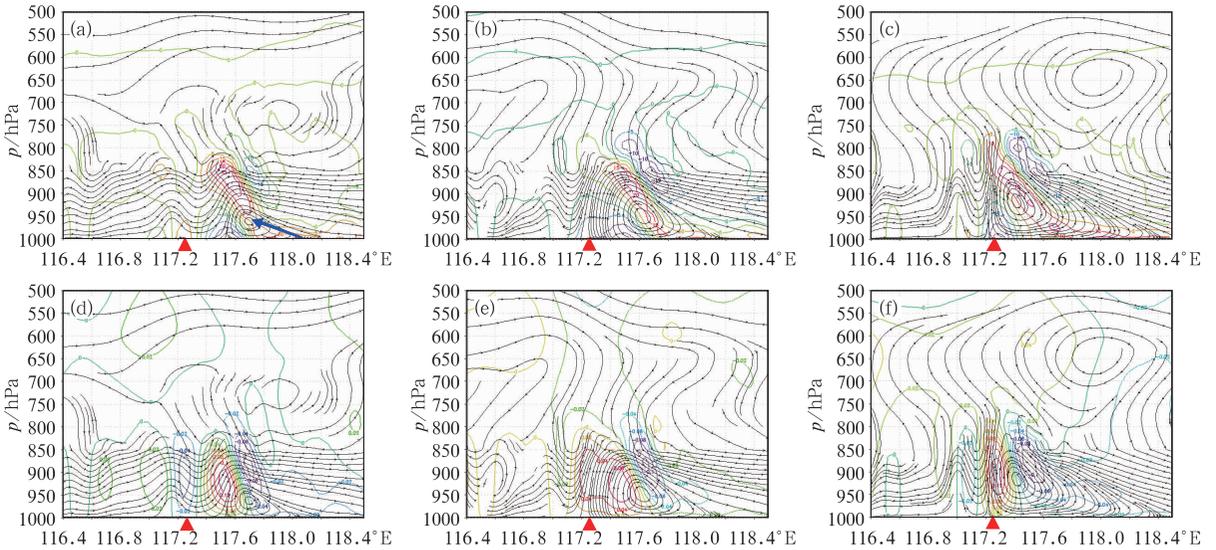


图 5 2010 年 8 月 31 日 06:00(a, d)、07:00(b, e)和 08:00(c, f) 过市区沿 39.1°N 的
 流场与散度(a, b, c)及垂直速度(d, e, f)剖面
 (三角位置为市区位置,箭头所指为海风环流)

Fig. 5 The flow field with temperature, divergence (a, b, c) and vertical velocity (d, e, f) profiles along 39.1°N through the city center at 06:00 UTC (a, d), 07:00 UTC (b, e), 08:00 UTC (c, f) 31 August 2010 (The triangle is the location of Tianjin City, arrows indicate the sea breeze circulation)

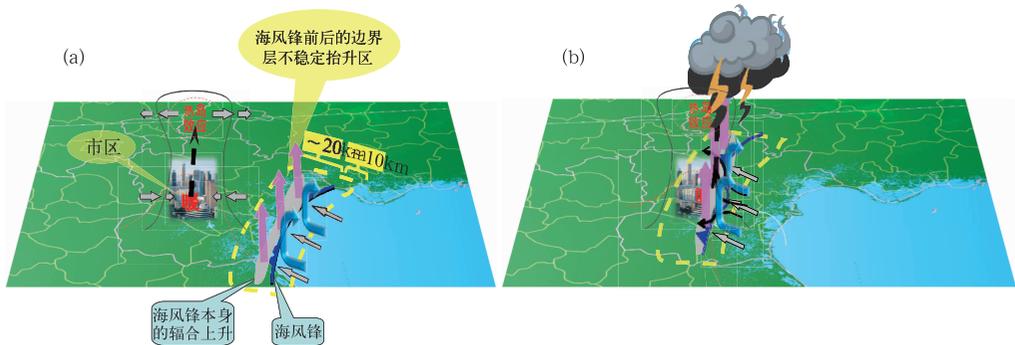


图 6 城市热岛环流与海风环流的空间结构示意图(a);城市热岛环流与海风环流
 相互作用触发局地强雷暴天气的概念模型(b)

Fig. 6 The spatial structure schematic diagram of the urban heat island circulation and sea breeze circulation (a), conceptual model of interaction between urban heat island circulation and sea breeze circulation that trigger local thunderstorms (b)

加强。这说明海风对城市热岛效应有消弱作用,同时城市热岛环流对海风有阻挡作用,但却使海风环流在移动到城区中心附近时移速加快,这虽然与 Freitas 等(2007)的研究结果相吻合,但还需具体深入的数值模拟试验来证实。

另外分析看到,海风环流的移动过程中受阻挡的程度及出现绕流爬升的强度与城市热岛效应的强度有关。天津滨海新区处于渤海岸边,受海风影响明显,城市热岛效应的强度明显弱于天津城区(另文

分析)。所以当海风环流上岸遇到滨海新区较弱的城市热岛时,海风风速在此处减速,此地出现弱的风场辐合;但由于城市热岛效应强度较弱,海风受阻挡的程度要小,等温线的弯曲率小一些,而且东南风绕流的空间范围也略小(图略)。当海风通过绕流、爬升,越过滨海新区继续向内陆推进时,之前出现的绕流现象消失,海风移速加快。而当海风移到天津城区附近时,遇到市区附近城市热岛环流,海风环流再次受阻挡被迫减速出现绕流现象,因市区城市热岛

效应强度较强,城区东侧温度梯度较大,所以此地等温线分布出现更明显的弯曲,海风在此出现较之前更明显的减速和风速辐合分支绕流现象(图略),所以两环流在此处相遇叠加后的辐合上升运动也会更强一些,从而在不稳定天气形势条件下会触发不稳定能量的释放,导致局地强雷暴天气的出现。

5 城市热岛环流与海风环流相互作用概念模型

通过上述分析,给出城市热岛环流与海风环流的空间结构示意图(图6a),并给出在不稳定天气形势条件下,城市热岛环流与海风环流相互作用触发局地强雷暴天气的概念模型(图6b)。

6 结 论

本文利用中尺度TJ-WRF模式输出资料及天津加密自动气象站资料等,对天津城区附近出现的几次局地强雷暴过程(有天气过程)和受海风影响明显的无天气过程(无天气过程)进行对比分析,得出以下结论:

(1) 有天气过程的城市热岛环流与海风环流相遇叠加后环流的强度明显强于无天气过程的。对于有天气过程来说,城市热岛环流的伸展高度基本在800 hPa附近,环流范围约20 km,环流内有弱的辐合上升运动;海风环流的强度强于城市热岛环流的,海风环流的伸展高度在750~800 hPa,环流范围约40 km,海风环流前沿海风锋的伸展高度为950~900 hPa,上升速度平均为 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(2) 海风对城市热岛效应有明显削弱作用、同时城市热岛环流对海风有一定的阻挡作用,其阻挡的程度与城市热岛效应的强度有关,城市热岛效应的强度越强,海风环流受阻挡出现分支绕流的程度就越大,两环流叠加后的辐合上升运动越强,反之越弱。

(3) 随海风环流向内陆推进,城市热岛环流与海风环流相遇,两环流相叠加加强,两者相遇处的辐合上升运动明显加强;在不稳定天气形势条件下,城市热岛环流与海风环流相叠加可以触发局地不稳定能量的释放,从而导致该地强雷暴天气的出现。

参考文献

毕宝贵,李泽椿,李晓莉,等. 2004. 北京地区降水的特殊性及其预报

- 方法. 南京气象学院学报,27(1):79-89.
- 陈彬,于恩洪. 1989. 渤海湾西部海陆风的天气气候特征. 海洋通报,8(1):23-27.
- 戴佩卉,洪景山,庄秉洁,等. 2008. WRF模式台湾地区土地利用类型之更新与个案研究. 台湾大气科学,36:43-61.
- 丁仁海,轴后福. 2010. 九华山区下垫面对局地降水的影响分析. 气象,36(3):47-53.
- 东高红,刘一玮,孙蜜娜,等. 2013. 城市热岛与海风锋叠加作用对一次局地强降水的影响. 气象,39(11):1459-1468.
- 黄丽萍,苗峻峰,刘月琨,等. 2013. 天津地区夏季海陆丰对城市惹到日变化特征影响的观测分析. 大气科学学报,36(4):417-425.
- 刘树华,刘振鑫,马雁军,等. 2008. 京津冀地区局地大气环流耦合效应与区域可持续发展的战略思考. 前沿科学,4(2):61-74.
- 蒙伟光,闫敬华,扈海波. 2007. 城市化对珠江三角洲强雷暴天气的可能影响. 大气科学,31(2):364-376.
- 苗曼倩,唐有华. 1998. 长江三角洲夏季海陆风与热岛环流的相互作用及城市化影响. 高原气象,17(3):280-289.
- 邱晓暖,范绍佳. 2013. 海陆风研究进展与我国沿海三地海陆风主要特征. 气象,39(2):186-193.
- 单机坤,沈学顺,李维京. 2013. 陆气相互作用对中尺度对流系统影响的研究进展. 气象,39(11):1413-1421.
- 孙继松. 2005. 气流的垂直分布对地形雨落区的影响. 高原气象,24(1):62-69.
- 孙继松,舒文军. 2007. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究. 大气科学,31(2):311-320.
- 佟华,陈仲良,桑建国. 2004. 城市边界层数值模式研究以及在香港地区复杂地形下的应用. 大气科学,28(6):957-978.
- 杨鹏,陈静,侯晓玮,等. 2013. 基于多源数据的城市热岛效应研究——以石家庄地区为例. 气象,39(10):1304-1313.
- 于恩洪,陈彬. 1987. 渤海湾西部海陆风的空间结构. 气象学报,45(3):379-381.
- 张雷鸣,苗曼倩,洪钟祥,等. 1993. 城市发展对夜间海陆风环流影响的预测模拟. 大气科学,18(3):366-372.
- Daniel R. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. Science,287(10):1793-1796.
- Edmilin D F,Christopher M R,William R C,et al. 2007. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil 2007. Bound-Layer Meteorol, 122(1):43-65.
- Freitas E D,Rozoff C M,Cotton W R,et al. 2007. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Aulo, Brazil. Bound-Layer Meteorol, 122(1):43-65.
- Kim Y H,Baik J J. 2004. Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. Theor Appl Climatol,79:151-164.
- Lin C Y,Chen F,Huang J C,et al. 2008. Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan. Atmos Environ,42:5635-5649.