

地形及冷热源扰动不同分布对南沙海域西南大风形成过程影响的数值试验*

张翔 周学群

(南海舰队气象区台,湛江 524001)

提 要

利用一个 $p-\sigma$ 混合坐标五层原始方程模式,进行了地形及冷热源扰动的不同分布对南沙海域西南大风过程形成作用的数值试验.结果表明,亚洲南部特殊的地形及海陆分布是形成南沙海域西南大风过程的基本条件,但它造成的最大风速只能达 8m/s ,比观测值要小.试验中发现,在有地形作用的前提下,澳大利亚冷空气的向北爆发及菲律宾附近热源扰动的作用均可各自在南沙海域形成 12m/s 以上的大风过程,而孟加拉湾附近的热源扰动则对南沙海域西南大风过程的形成无明显作用.

关键词:冷热源扰动;西南大风;数值试验.

1 引 言

亚洲地区特殊的地理分布及海陆热力差异使这一地区成为世界上著名的季风区.该地区季风环流形成中的大地形及非绝热加热的作用许多人曾经作过研究. Sadler 等^[1]指出在亚洲南部海面有 3 个西南风强风中心,它们分别与 3 支著名的越赤道气流相联系.陈晶华等^[2]利用数值试验的方法发现这 3 个强风中心主要是由于亚洲南部较小尺度的海陆分布差异所造成,它们出现后才诱发出南半球的越赤道气流.王安宇等^[3]则认为如果没有印度半岛和中南半岛,3 个西南强风中心则可能变成一个,而青藏高原大地形则对近地面的季风强度有明显的增强作用.此外,沈如金等^[4]还就不同的热源分布对夏季风环流的贡献进行了数值试验,考察了亚洲南部几个热源中心及澳大利亚冷源扰动对亚洲夏季环流的贡献,这些研究成果均在一定程度上揭示了亚洲地区特殊的地理环境及热源扰动与该地区大范围夏季风环流的形成之间的关系.

周学群^[5]曾发现,在南沙海域夏季常出现周期性的风速在 12m/s 以上的西南大风过程,而在文献[1]中指出的位于 12.5°N 112.5°E 的南沙海域的强风中心风速在气候平均场上只有 7m/s ,文献[2][3]中由地形造成的南沙海域西南大风中心风速也只在 8m/s 左右,均小于实际观测值.这说明仅有地形的作用是不足以造成南沙海域的大风过程的.此

* 1993-03-18 收到,1994-04-01 收到再改稿.

外,文献[5]还指出北半球热源扰动及南半球的冷空气爆发对南沙海域西南大风过程的形成均有一定的启动作用.由于人们往往着眼于考察加热场的不同分布对行星尺度季风环流的形成与演变的贡献,而对于不同的冷热源扰动与某一特定地区特有的天气现象的关系(例如与南沙海域西南大风形成的关系)却了解不多.为此,我们利用钱永甫等人^[6]的五层原始方程模式,就地形及夏季不同的冷热源扰动的分布对南沙海域西南大风形成的贡献进行了一系列试验,从中得到了一些有益的结论.

2 模式初始场及冷热源的分布

本文采用的是钱永甫设计的 p - σ 混合坐标五层原始方程模式,水平范围为 $30^{\circ}\text{S} \sim 60^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$, 网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬网格.取欧洲中心多年平均的6月的纬向平均作初始场,分别考察了地形、北半球几个热源扰动中心及南半球澳大利亚冷空气爆发对南沙海域西南大风过程的贡献.地形均采用实际地形高度,冷热源扰动在水平方向上呈椭圆分布:

$$\bar{Q} = Q_0 \left[1 - \frac{(X - X_0)^2}{a^2} - \frac{(Y - Y_0)^2}{b^2} \right] \quad (1)$$

Q_0 为扰动中心 (X_0, Y_0) 处的强度, a, b 则为扰动在纬向和经向方向上的半轴长度.

在垂直方向上,热源扰动的加热主要在对流层中上层,采用

$$Q = \bar{Q} \sin \left[\frac{(p - p_T) \times \pi}{p_s - p_T} \right] \quad (2)$$

将加热场分配到五层 p - σ 面上.

对于冷源扰动,则认为主要的冷却在低层,垂直方向上根据下式

$$Q = \bar{Q} \sin \left[\frac{(p - p_T) \times \pi}{(p_s - p_T) \times 2} \right] \quad (3)$$

分配冷却值.

为考察南半球澳大利亚冷空气的启动作用,根据文献[5]提出的南沙海域西南大风形成的南北半球两种启动机制的观点,我们在这一地区设置了一个冷源,其中心位于 $20^{\circ}\text{S} \ 120^{\circ}\text{E}$, 菲律宾以东附近地区夏季月份为一个加热中心,该地区常有热带气旋的发生发展.为考察该地区热源扰动的作用,我们在中心位于 $15^{\circ}\text{N} \ 112.5^{\circ}\text{E}$ 处设置了一个热源扰动;此外,孟加拉湾为夏季最强的加热中心之所在,印度季风往往可以东伸到这一地区,为此,我们在该地区也设置了一个热源扰动,中心位于 $17.5^{\circ}\text{N} \ 92.5^{\circ}\text{E}$, 分别考察了它们与南沙海域西南大风过程的关系.具体试验方案见表1:

在表1中,有地形是指包含了高原大地形及亚洲低纬地区几个半岛地形,无地形则指将模式范围内地形高度取为0.

表1 数值模式的试验方案

Table1 Numerical experiment schemes		
方案	地形	冷热源扰动
方案一	有	无
方案二	无	澳大利亚冷源扰动
方案三	有	澳大利亚冷源扰动
方案四	有	菲律宾附近热源扰动
方案五	有	孟加拉湾热源扰动

3 大地形对南沙海域西南大风形成的作用

试验方案一中我们考察了青藏高原大地形及亚洲南部几个半岛地形对南沙海域西南大风过程形成的作用. 模式中引入了实际地形而没有考虑非绝热过程的作用. 积分 48 小时的结果表明, 在地形的动力强迫作用下, 亚洲低纬地区分别出现 3 个风速大值中心. 这 3 个强风中心位于阿拉伯海、孟加拉湾和南中国海, 位置分别在 $10^{\circ}\text{N } 60^{\circ}\text{E}$ 、 $7.5^{\circ}\text{N } 87.5^{\circ}\text{E}$ 和 $10^{\circ}\text{N } 112.5^{\circ}\text{E}$, 它们分别对应着非洲大陆、印度半岛和中南半岛. 这 3 个中心位置与 Sadler 等人的分析结论是大体吻合的, 其中位于南沙海域 $10^{\circ}\text{N } 112.5^{\circ}\text{E}$ 处的最大风速为 8m/s . 积分 72 小时后这 3 个中心的位置及强度均变化很小(图 1), 表明模式积分已基本上处于准平衡状态. 为进一步考察低纬几个半岛地形与上述 3 个强风中心的关系, 我们在试验中去掉了非洲大陆、印度半岛和中南半岛 3 个半岛地形, 仅考察高原地形的作用. 积分 72 小时结果表明, 低纬地区仅出现西南风强风带, 并无强风中心存在. 由此可见, 青藏高原大地形可造成亚洲低纬地区为一西南风强风带. 而亚洲南部特殊的海陆分布对于

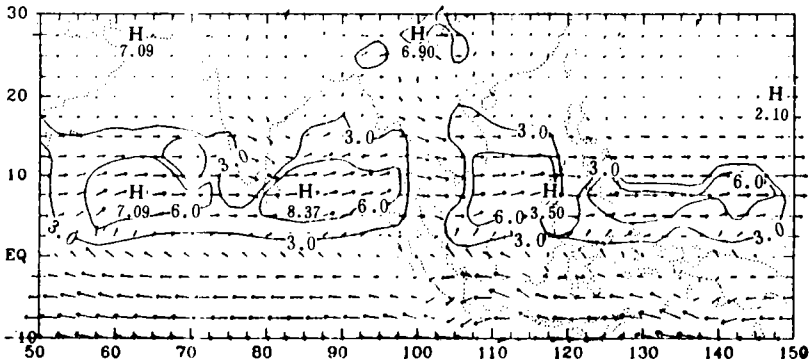


图 1 试验方案一积分 72 小时结果

Fig. 1 Integral result of scheme 1 in model time 72h

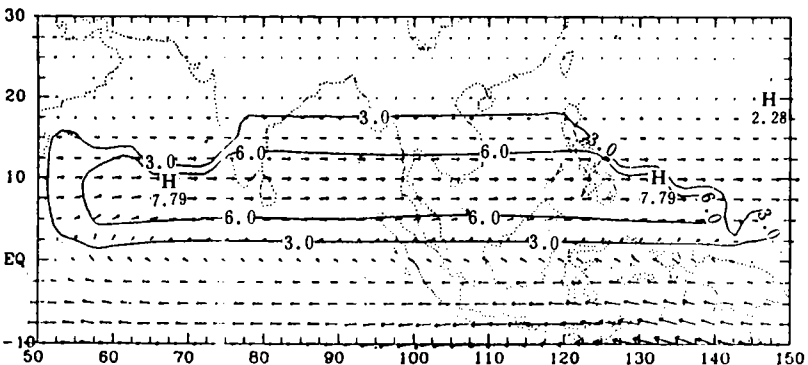


图 2 试验方案二积分 72 小时的结果

Fig. 2 Integral result of scheme 2 in model time 72h

低纬几个特定地区大风中心包括南沙海域大风中心的形成确实是必不可少的. 这一点通过试验二可进一步得到证实.

试验方案二中我们在模式中引入了澳大利亚的冷源扰动, 这个扰动中心强度为 $-4^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 消除了地形的作用. 积分结果表明, 72小时以后, 风速等值线基本上仍呈准纬向分布, 低纬3个大风中心蜕变成一个不太明显的大值中心, 位于 10°N 65°E 附近, 另外两个风速大值中心均消失(图2). 比较试验一和试验二可知, 地形的作用是形成低纬地区几个大风中心包括南沙海域西南大风中心的基本条件. 没有地形的动力强迫, 即使包含非绝热过程, 南沙海域的西南大风中心是难以形成的. 由于南沙海域西南大风过程爆发时其风速常在 $12\text{m}/\text{s}$ 以上, 而地形强迫作用在该地区形成的大风中心的风速却一般只在 $8\text{m}/\text{s}$ 左右, 因此, 不难想象地形的动力强迫作用不是唯一的条件. 文献[5]中曾指出南沙海域西南大风过程与南半球冷空气爆发和北半球热带气旋的两种启动机制有关. 基于这一基本思想, 我们在考虑地形作用的前提下, 对北半球几个热源扰动中心及南半球冷源扰动的作用进行了进一步的试验.

4 澳大利亚冷空气的爆发对南沙海域西南大风形成的影响

试验方案三中在引入地形作用的前提下, 在澳大利亚西北部引入了中心强度为

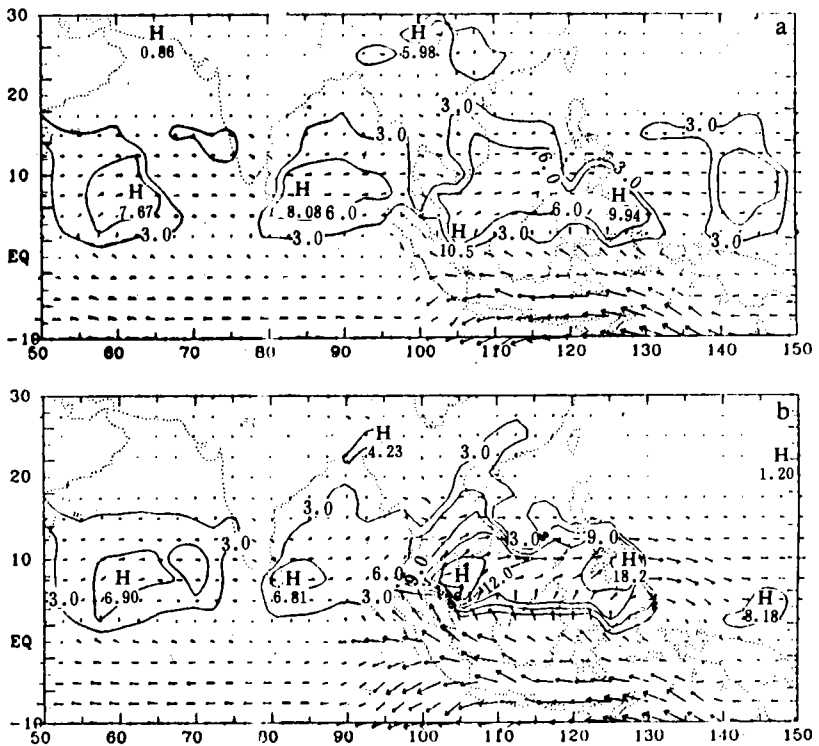


图3 试验方案三的积分结果 (a)72小时 (b)120小时

Fig.3 Integral result of scheme 3 in model time (a)72h (b)120h

— $4^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 的冷源扰动. 水平方向上按式(1)分布,再由式(3)分配到模式各层. 积分 24 小时后,在阿拉伯海、孟加拉湾和南海南部均分别有大风区形成,其中在南海南部的风速较弱,为 $8\text{m}/\text{s}$ 以下,对应的越赤道气流也不强;积分 48 小时以后,南海南部的大风中心风速达到 $8.7\text{m}/\text{s}$,其中心位于 10°N 112.5°E 的南沙海域;当积分至 72 小时,阿拉伯海、孟加拉湾和南海南部均各自形成一个相对独立的大风中心,风速分别为 $7.7\text{m}/\text{s}$, $8.1\text{m}/\text{s}$ 和 $10.5\text{m}/\text{s}$,南海的越赤道气流与以前相比已有所加强(图 3a). 值得注意的是南海南部的强风速中心与 24 及 48 小时的积分结果相比发生了明显的变化,其中心位置由原来的 10°N 112.5°E 移到 2.5°N 105°E . 可见 72 小时以前的强风中心位置与试验一的位置基本一致,表明此刻以地形作用为主,南半球冷源扰动尚未影响到北半球. 而积分 72 小时的强风中心位置则表明,此刻南半球冷空气作用已取代地形作用成为主要影响因子,致使中心位置发生明显变化,只是此时南半球的冷源扰动只能影响到北半球的近赤道地区. 当模式积分到 96 小时,阿拉伯海和孟加拉湾的大风中心在位置和强度上均变化较小,相对趋于稳定. 而在南海南部的风速及相应的越赤道气流却明显增强,中心风速已达 $13.6\text{m}/\text{s}$,其中心位置也由 2.5°N 向北扩展至 5°N , $9\text{m}/\text{s}$ 的等风速线向北可扩展至 12.5°N ,东西方向上从 100°E 东伸到 117.5°E . 当模式积分到 120 小时,南海 105°E 附近的越赤道气流明显加强,远远超过 60°E 和 87.5°E 附近的两支越赤道气流. 南海南部强风中心的风速达到 $19.1\text{m}/\text{s}$,位置北抬至 7.5°N 105°E 附近, $12\text{m}/\text{s}$ 的等风速线向北扩展到 12.5°N ,整个南海南部的风速均在 $12\text{m}/\text{s}$ 以上(图 3b),出现了明显的西南大风. 与此同时,阿拉伯海和孟加拉湾中心风速仍在 $8\text{m}/\text{s}$ 左右,中心位置和强度均无明显变化.

由此可见,澳大利亚冷空气的爆发对南沙海域西南大风的形成是有较明显的作用的,而对位于阿拉伯海和孟加拉湾的强风中心的强度和位置则没有明显的影响. 冷空气的作用主要表现为 105°E 附近的越赤道气流的逐渐增强并向北扩展. 72 小时以后冷空气开始影响北半球并逐渐北抬,最后影响到整个南海南部,造成南沙海域 $12\text{m}/\text{s}$ 以上的西南大风过程.

5 北半球中低纬地区不同的热源扰动对南沙海域西南大风形成的影响

试验方案四、五中我们在引入地形作用的前提下,分别就菲律宾附近的热源扰动和孟加拉湾热源扰动对南沙海域西南大风过程的贡献进行了数值试验. 扰动中心的强度分别为 $4^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 和 $5^{\circ}\text{C}/\text{d}$. 方案四积分 24 小时在南海南部海域即有大风形成,中心位于 10°N 117.5°E ,风速为 $10\text{m}/\text{s}$,与试验三相比不同的是该大风中心的位置相对偏东. 积分 48 小时,南海南部海域的大风中心风速增大到 $13\text{m}/\text{s}$,中心仍位于 10°N 117.5°E ,但 $12\text{m}/\text{s}$ 的等值线可扩展至 115°E . 积分 72 小时, 10°N 117.5°E 处的中心风速已达 $14.7\text{m}/\text{s}$, $12\text{m}/\text{s}$ 的大风等值线向西扩展至 112.5°E ,向北扩展至 12.5°N . 此刻南沙海域的风速已达 $12\text{m}/\text{s}$ 以上(图 4(a)). 当模式积分至 96 小时, $12\text{m}/\text{s}$ 的大风等值线向西已扩展至 110°E ,大风中心强度达到 $15.4\text{m}/\text{s}$. 积分 120 小时的结果与 96 小时相比, $12\text{m}/\text{s}$ 大风等值线位置变化不明显,只是中心风速更强(图 4(b)). 从上面的分析中我们可以发现,当菲律宾以东附近有热源扰动作用时,同样可以造成南沙海域的西南大风过程. 与南半球冷空气作用不同的

5),最强的大风区在孟加拉湾附近,中心风速达 13.7m/s ,位于 $12.5^{\circ}\text{N } 92.5^{\circ}\text{E}$ 附近.该大风区并未随积分时间增加而向东扩展,主要表现为在 95°E 附近转向北上,造成云贵高原地区西南气流增强.与此同时,在阿拉伯海和南海南部虽然也各有一大风中心存在,但风速却只有 8m/s 左右.积分 96 小时和 120 小时,除孟加拉湾北部气旋性环流及中心风速进一步增强外,南海南部海域的风速却没有明显的变化.表明了该热源扰动对南海南部大风过程的影响是不明显的.

6 结 论

前面我们对影响南沙海域西南大风过程的动力和热力因子进行了一系列数值试验,从中发现:

(1)地形的动力强迫作用是形成南沙海域西南大风过程的基本条件,如果没有地形作用,即使存在热力扰动作用,低纬地区的几个大风中心,包括南沙海域的大风中心也难以存在;另一方面,地形的作用不是唯一的,还必须有冷热源扰动的共同作用.

(2)在引入地形作用的前提下,澳大利亚冷空气的向北爆发及菲律宾附近热源扰动均可各自对南沙海域的西南大风(12m/s 以上)有明显影响.其中澳大利亚冷空气的向北爆发在 72 小时以后开始影响北半球,其大风中心随时间逐渐增强并北抬,120 小时后南沙海域的风速已在 12m/s 以上.而菲律宾附近热源扰动的作用形成的大风中心则较稳定,位置偏东,但其 12m/s 大风等风速线却随时间逐渐向西扩展,72 小时以后,即可使南沙海域的风速达 12m/s 以上.

(3)孟加拉湾热源扰动的的作用主要造成云贵高原附近西南气流的增强,它形成的大风中心的位置偏西.对南海南部的风力变化作用不明显.

致谢:本文在研究过程中得到空军气象学院喻世华教授的热情指导和帮助,特此致谢.

参 考 文 献

- 1 Sadler T C, et al. Tropical marine climatic atlas. Vol. I. Indian Ocean UHMET87-01, University of Hawaii, 1987.
- 2 陈晶华, 陈隆勋. 亚洲南部的海陆分布对亚洲夏季风形成的作用. 应用气象学报, 1991, 2(4): 355~361.
- 3 王安宇, 黄佩玲. 海陆分布对夏季东亚季风影响的数值试验. 热带气象, 1991, 7(4): 307~316.
- 4 沈如金, 纪立人. 热源扰动对亚洲夏季环流的影响. 气象学报, 1990, 48(2): 139~149.
- 5 周学群. 南沙海区西南大风成因及预报着眼点. 海洋科学, 1991, 3: 35~37.
- 6 Kuo H L, Qian Y F. A five-layer primitive equation model with topography. *Plateau Meteor.*, 1985, 4(2): 1~28.

THE NUMERICAL EXPERIMENTS OF SOUTHWESTERLY FORMATION OVER THE NANSHA SEA AREA WITH THE EFFECTS OF TERRAIN AND HEAT PERTURBATION

Zhang Xiang Zhou Xuequn

(Meteorological Observatory of South China Sea Naval Fleet, Zhanjiang 524001)

Abstract

By using a five layer limited area primitive equations model, the terrain, heating perturbation over South Asia and a cooling perturbation over Australia are incorporated, respectively in the numerical model to discuss their effects on the southwesterly formation over the Nansha Sea area. The experiments of terrain show that the topographic effect is necessary on the southwesterly formation, but the topographic effect is not strong enough to make the southwest wind velocity reach 12m/s. Furthermore, with the help of the effect of terrain, the experiment results including heating perturbation over the Philippines and the cooling perturbation over Australia, respectively, show that they can both make the southwesterly formation of above 12m/s over the Nansha Sea area. However, the heating perturbation over the Bay of Bengal has no effect on the formation of southwesterly over the Nansha Sea area.

Key words: Heating and cooling perturbation; Southwesterly; Numerical experiment.