

# 海南岛海风锋逐月统计与数值模拟分析

施萧<sup>1</sup>, 冯箫<sup>2</sup>, 赵小平<sup>1</sup>, 郭学文<sup>1</sup>, 杨本湘<sup>1</sup>, 樊晶<sup>1</sup>

(1. 中国人民解放军 63796 部队气象室, 四川 西昌 615000;

2. 海南省气象台, 海南 海口 570203)

**摘要:** 利用 1979—2014 年的欧洲再分析月平均资料统计海南岛海风锋辐合的逐月演变情况, 了解到 4—8 月海南岛北部沿海午后有海风锋辐合, 其他月份海南岛西南部沿海在午后有海风锋辐合。在此基础上, 利用 WRF 模式进行了风场的模拟, 对 4—8 月海风锋的初始辐合位置和移动路径进行了分析。结果表明: 4—8 月海风锋辐合多产生在儋州—临高—澄迈—海口一带; 6 月以后, 海风锋辐合初始位置最东发生在海口—文昌北部, 海风锋辐合向东最远能推至文昌—琼海沿海一带; 同时, 海南岛东北部环境风场受海风增幅作用抑制了海风锋辐合的向东推进。

**关键词:** 边界层; 风场辐合; 海风锋

**中图分类号:** P732.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2016)02-0022-08

## 1 引言

海南岛位于我国最南端, 四周环海, 受海洋性气候影响, 气象、海洋灾害较为频繁<sup>[1-4]</sup>。海南岛北部是我国雷暴的高发区域之一, 对流天气非常频繁。据统计, 雷暴多发生在夏季的午后, 而海风锋则是夏季局地对流天气的主要触发系统。随着文昌成为我国第四座航天城, 海南岛东北部的对流天气对航天试验的顺利进行就变得尤为重要。海风锋源于海陆风环流, 在白天由于海陆热力差异引起的海风向陆地推进, 进而与低层环境风场相辐合形成的中小尺度锋面。海南岛的海陆风研究由来已久<sup>[5]</sup>, 在观测分析方面, 吴兑等<sup>[6]</sup>通过加密测站得出在雨季海口地区海陆风出现频率达 75%, 张振洲等<sup>[7]</sup>选择 9 个常规观测站统计出海南岛月平均海陆风日达 12.2 d, 且夏季出现频率最高。在理论和数值模拟研究方面, 柯史钊等<sup>[8]</sup>利用一层数值模式对包括海南岛在内的华南区域海陆风进行数值模拟, 发现海南岛存在环岛海陆风环流系统, 钱维宏<sup>[9]</sup>、翟武全等<sup>[10]</sup>

通过数值模拟指出复杂地形和海陆分布对海陆风环流形成的重要性。以上这些研究主要针对环绕海南岛的海陆风环流, 对海南岛北部的海风环流研究的还不够深入。本文将对海南岛边界层风场进行统计, 并在此基础上进行风场的逐月模拟, 以此了解海南岛北部海风锋辐合的变化情况, 进而为系统分析海风锋的演变规律提供依据。

## 2 资料来源及可信度分析

### 2.1 资料来源

本文所用资料为 1979—2014 年欧洲中心逐月平均的再分析资料(EC\_interim), 时间分辨率为 6 h, 分别为 02、08、14、20 时(北京时, 下同), 空间分辨率为 0.125°。通过逐月对再分析资料进行 36 a 平均, 得到各月 4 个时次的平均风场数据并对平均风场进行逐月分析。由于资料做过两次平均, 滤去了一些信息, 因此这套资料主要用于揭示海南岛海风锋最

收稿日期: 2015-08-12

基金项目: 海南省气象局青年基金项目(HNQXQN201401)

作者简介: 施萧(1986-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事航天气象保障工作。Email:shi\_xo@163.com

容易辐合的区域。

然后,将各月平均物理量场数据写成WRF所需的intermediate格式<sup>[1]</sup>,利用WRF进行风场模拟。WRF动力框架采用ARW,无嵌套,垂直分为36层。模式中心位于19.63°N、110.95°E,水平分辨率为10 km,模拟区域为10.3°—28.4°N、99.3°—122.6°E。为了刻画低层风场,ETA层分别为1.000 0、0.999 0、0.998 0、0.997 0、0.996 0、0.995 0、0.994 0、0.992 0、0.990 0、0.986 0、0.978 0、0.964 0、0.946 0、0.922 0、0.894 0、0.860 0、0.817 0、0.766 0、0.707 0、0.644 0、0.576 0、0.507 0、0.444 0、0.380 0、0.324 0、0.273 0、0.228 0、0.188 0、0.152 0、0.121 0、0.093 0、0.069 0、0.048 0、0.029 0、0.014 0、0.000 0。模拟分析结果采用模式积分10 h之后的风场数据。WRF模拟的风场相对再分析资料的平均场要详细一些,能够进一步描述海风锋的一些特征,如海风锋的锋面走向、移动路径等。

## 2.2 模拟风场的可信度分析

虽然WRF所用的初始场是欧洲再分析资料36 a的平均场,但是随着数值模式的向后积分,某些扰动会变的明显起来,比如海风锋辐合会更加明显,中部山区的辐合也能给模拟出来。这些与实际观测是能够对应起来的。比如,在2015年的6月5日,海南岛北部有一次海风锋降水过程。根据海南全岛自动站的风场观测,上午11时,澄迈—临高—海口海岸线附近的自动观测站风场转为偏北的海风,与东南向的环境风在海边产生风向辐合,形成海风锋。刚开始,海风锋基本沿着海岸线分布,此后,海

风锋风场辐合整体向东南方向推进。到了14时,海风锋锋面已经移至海口南部及定安一带,同时东海岸受海风增幅影响,转为东南风,东南风虽然增强了海风锋的辐合强度,但是也抑制了海风锋进一步发展,因为海风锋是向东南方推进的。图1a是6月5日13时45分的全岛自动站风场,图1b是模拟的6月13时10 m风场,通过对比发现:此次海风锋的大致辐合区域、移动路径与6月模拟的海风锋辐合基本能吻合起来,说明模式模拟的风场是能够进行后续海风锋辐合一般特征分析的。

## 3 边界层逐月风场统计

由于海南岛受季风影响明显,因此取冬季风影响的1月、夏季风爆发前的4月、夏季风影响的6月、夏冬季风过渡的9月这4个月代表全年的冬、春、夏、秋四季。分析时次为14时、02时,分析层次为10 m、975 hPa、925 hPa。时次对应着午后和夜间;高度层次对应边界层厚度,也包含了海风锋的平均影响高度。为详细了解边界层风场的辐合情况,选择海南岛及周围海域进行分析。

### 3.1 10 m风场

图2a、2b是1月14时和02时的边界层风场,本月受盛行冬季风影响,海南岛上空及周围区域均以东北风为主,由于海南岛整体地形呈东北—西南走向,盛行风向随海南岛地形有弱绕流存在。即在海南岛东北部盛行东北风场分为两路,在海南岛西南方向的海域东北风和偏东风又重新汇合。弱绕流

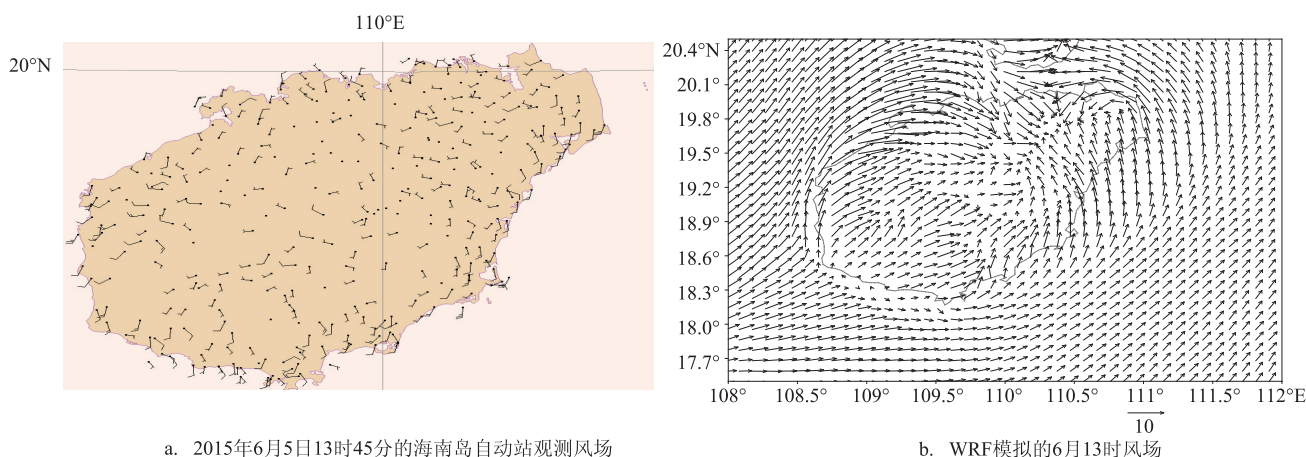


图1 10 m风场(单位:m/s)

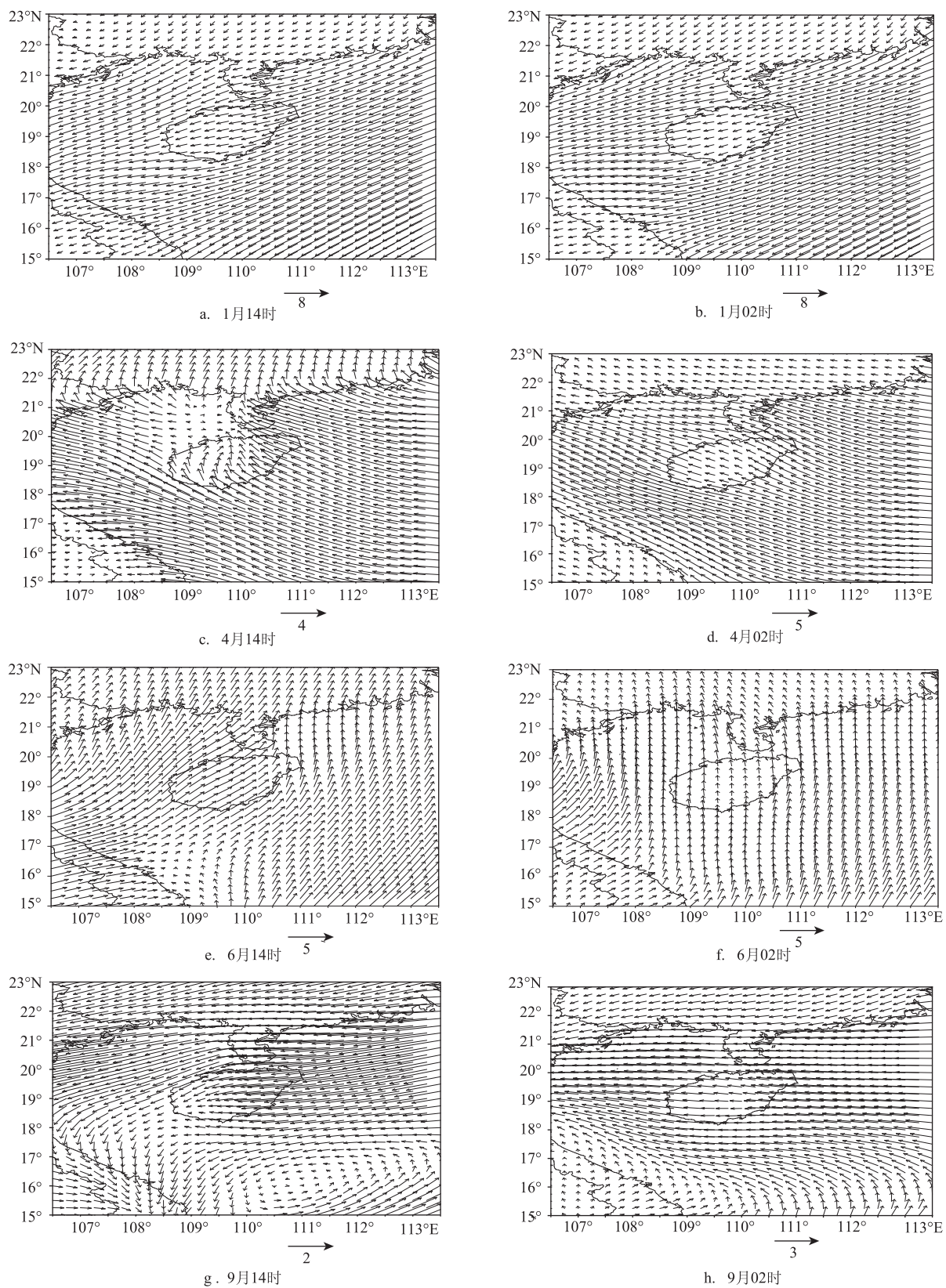


图2 各月10m平均风场(单位:m/s)



在14时相对明显,具有一定的日变化。绕流应该与海陆热力差异造成的海南岛西南部海风变化有一定关系。

4月10 m平均风场转为东南风(见图2c、2d)。14时海南岛西北部环境风场开始转变,由西南风转为偏南风,同时海岛西北部的儋州-临高-澄迈一带海边有偏北海风产生,并与环境风场有辐合,产生海风锋。02时海陆热力差异趋于消失,10 m风场又整体转为东南风。

6月夏季风开始,盛行风向为偏南风(见图2e、2f)。14时,海南岛上空环境风场整体转为西南风。02时,海陆热力差异趋于消失,环境风场又转回偏南风。午后海南岛上空风场的整体转向说明本月海陆热力差异明显,极易有海风锋辐合产生。

9月南海低压槽活跃,中纬开始有冷空气影响,海南岛及其周围区域的10 m风场由夏季风影响期间的偏南风转为偏东风(见图2g、2h)。本月海南岛北部海风辐合消失,在海南岛的西南部也就是偏东风的下风向开始有海风锋辐合形成。辐合形成时间仍然为午后14时,02时环境风场转为偏东风。

由1月、4月、6月、9月的环境风场演变可知,海南岛各季节盛行风场均不同,在盛行风向的下风向容易有海风锋辐合产生。另外对各月975 hPa风场进行分析,发现与10 m风场的变化相吻合,说明海风转换和海风锋辐合在975 hPa依然存在。

### 3.2 925 hPa风场

由于925 hPa高度接近自由大气底层,风场情况与自由大气较为相近。1月受高层东亚大槽影响,冷空气一般从海南岛东部开始影响到本岛,海南岛北部上空及两广区域以偏东风为主,南海海域为东北风。本月地形弱绕流情况消失,说明绕流现象属于一浅薄情况,当月海风转换影响不到925 hPa(见图3a、3b)。4月该层风向整体更加偏东南,14时海南岛西北部风向由东南风转为南风,海风锋辐合不明显,但是环境风场的转变说明海陆温度差异对海风的增幅作用还是比较明显,能够影响到925 hPa(见图3c、3d)。6月925 hPa的风场在14时西风分量的加入,与海风有一定联系,说明本月海风转换能够影响到该层(见图3e、3f)。9月925 hPa的风场没有明显的日变化,海风转换达不到该层(见图3g、

3h)。

## 4 逐月风场数值模拟分析

根据前述平均风场统计,海南岛北部海风锋辐合主要在夏季风影响之前以及影响期间较为明显,因此下面对4月、6月、8月的模拟结果进行分析。其中4月为夏季风影响之前、6月是夏季风影响初期、8月是夏季风影响中后期。对海风锋辐合初发位置及大致移动方向进行具体分析。考虑到海风锋一般较为浅薄,所以着重分析10 m的风场的辐合变化。另外800 m风场变化情况稍加分析。水平分析区域仍然为海南岛及周围海域。

### 4.1 4月10 m风场数值模拟

4月10 m环境风场为东南风。11时前后海南岛陆地受热力作用,增温大于周围海域,导致海风的产生,海南岛西部到北部海岸附近的风场开始转变,由东南风转为偏北风(见图4a)。海风锋辐合为偏北海风与东南向环境风的风场辐合,初始位置发生在盛行风向的下风向,即海口-澄迈-临高-儋州-昌江一带,整体呈东北-西南走向。同时,由于局地增温或者小地形辐合等原因在中北部山区也开始出现风场的辐合。环海南岛的地形绕流辐合发生在西部海域,为偏南风与偏北风的辐合。海风锋在13—17时得到增强,并与中部山区的辐合结合到一起,呈东北-西南向整体向东部推进(见图4b)。17时之后,辐合强度减弱,辐合线逐渐消失。在海南岛东部,海风增幅使得环境风增大并深入影响到离海岸10—30 km的区域,阻碍了下风向的海风锋从西部沿海向内陆的推进,使得本月海风锋东推到澄迈-儋州-白沙一带就开始减弱。

### 4.2 6月10 m风场数值模拟

6月,夏季风爆发,环境风场以南西南风为主,由于环境风场带有偏西风分量,因此海风锋辐合初始位置移至文昌-海口-澄迈-临高-儋州一带,整体仍呈东北-西南走向,海风锋辐合初始位置最东移至文昌北部(见图5a)。同时,中北部山区的辐合依旧明显。另外,文昌东部海岸由于海南岛地形绕流作用盛行偏南风,在海陆热力差异作用下,文昌东

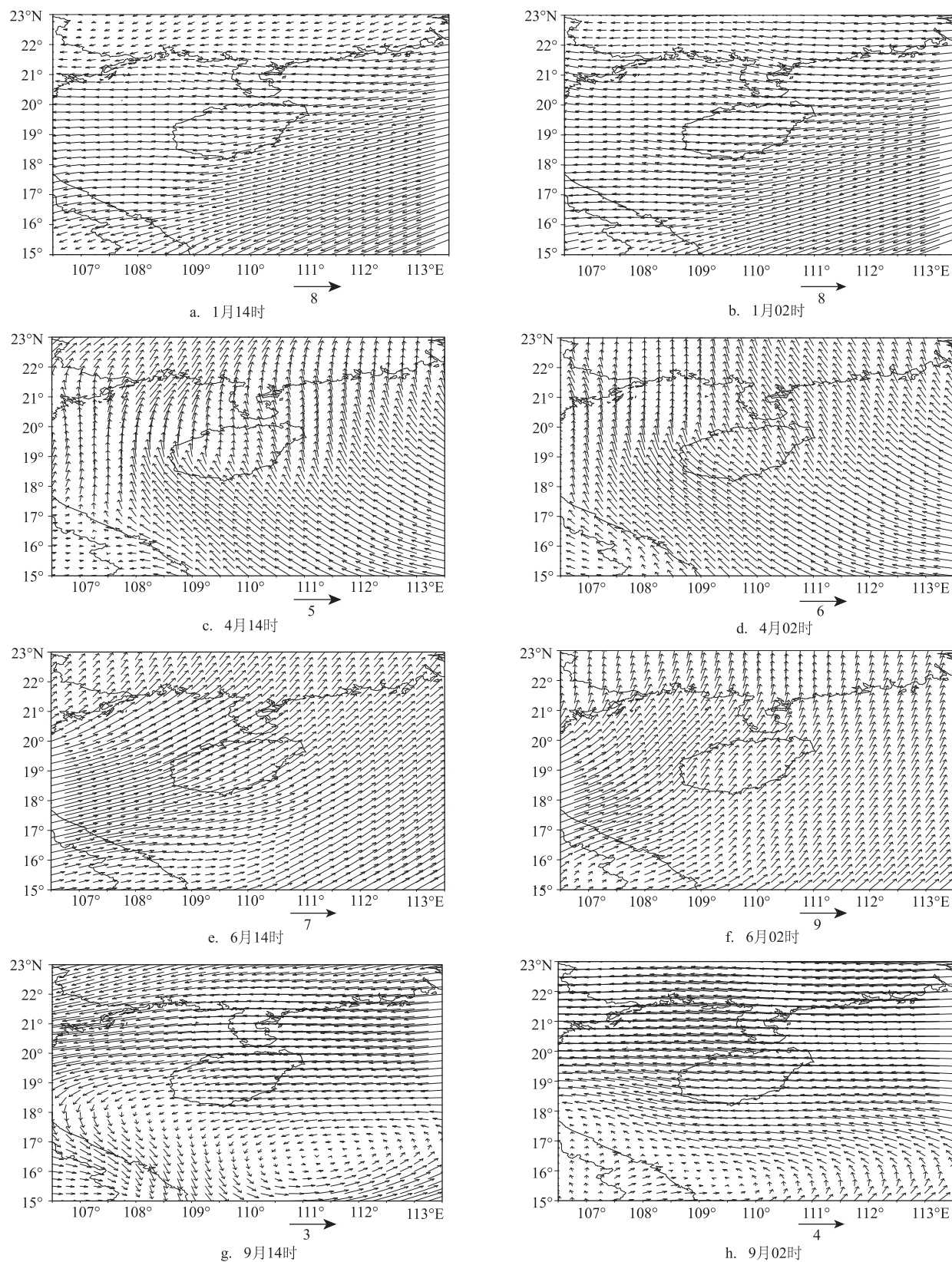


图3 各月925 hPa平均风场(单位:m/s)



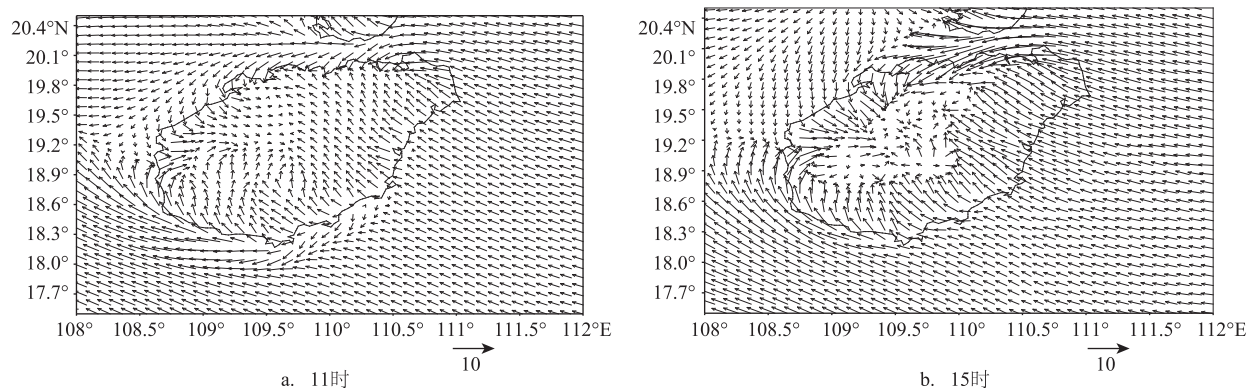


图4 4月10 m模拟风场(单位:m/s)

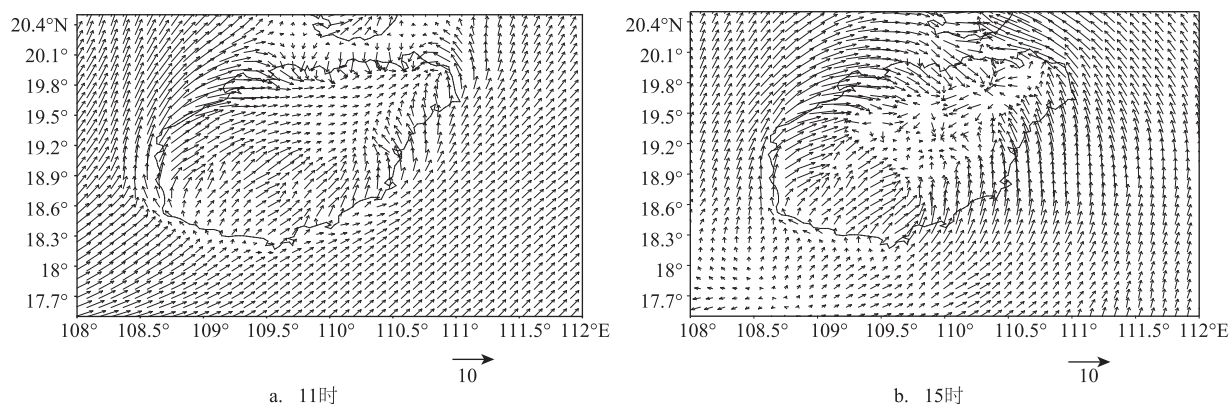


图5 6月10 m模拟风场(单位:m/s)

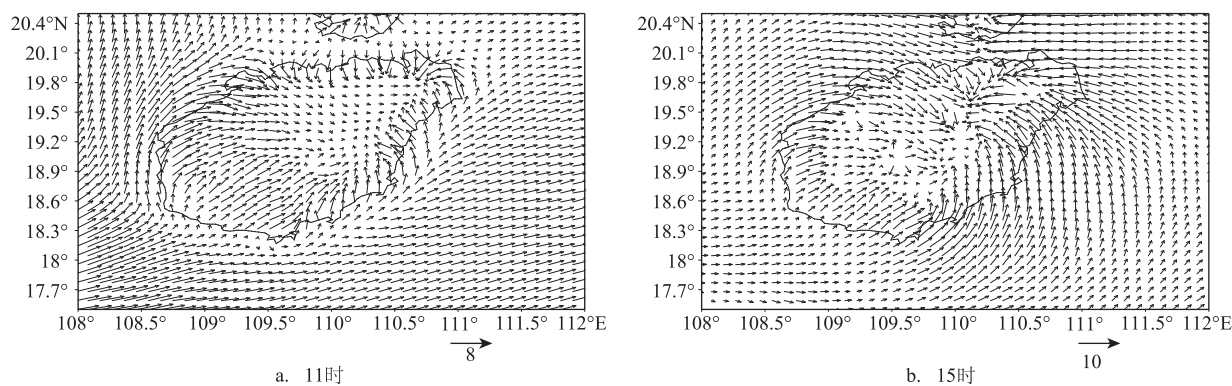


图6 8月10 m模拟风场(单位:m/s)

部海岸产生的海风分量使得偏南风转至东南风,东南风分量与北海岸的偏北风分量相辐合,虽然海风锋辐合位置更偏东,但是却抑制了海风锋整体的东推。本月海风锋辐合初始位置更加偏东,在15时已推至文昌-琼海一带(见图5b),17时几乎到达文昌-琼海的东海岸,此后辐合减弱消失。

由于本月夏季风已经爆发,强劲的西南风开始

影响整个海南岛及周围海域,海南岛的西南部由于正处于上风向,再加上海风的增幅,海风锋辐合在西南部不易发生;但是这种强劲的西南风深入内地,使得中部山区的局地辐合较4月更频繁。

#### 4.3 8月10 m风场数值模拟

8月海南岛继续受夏季风控制,海风锋辐合初

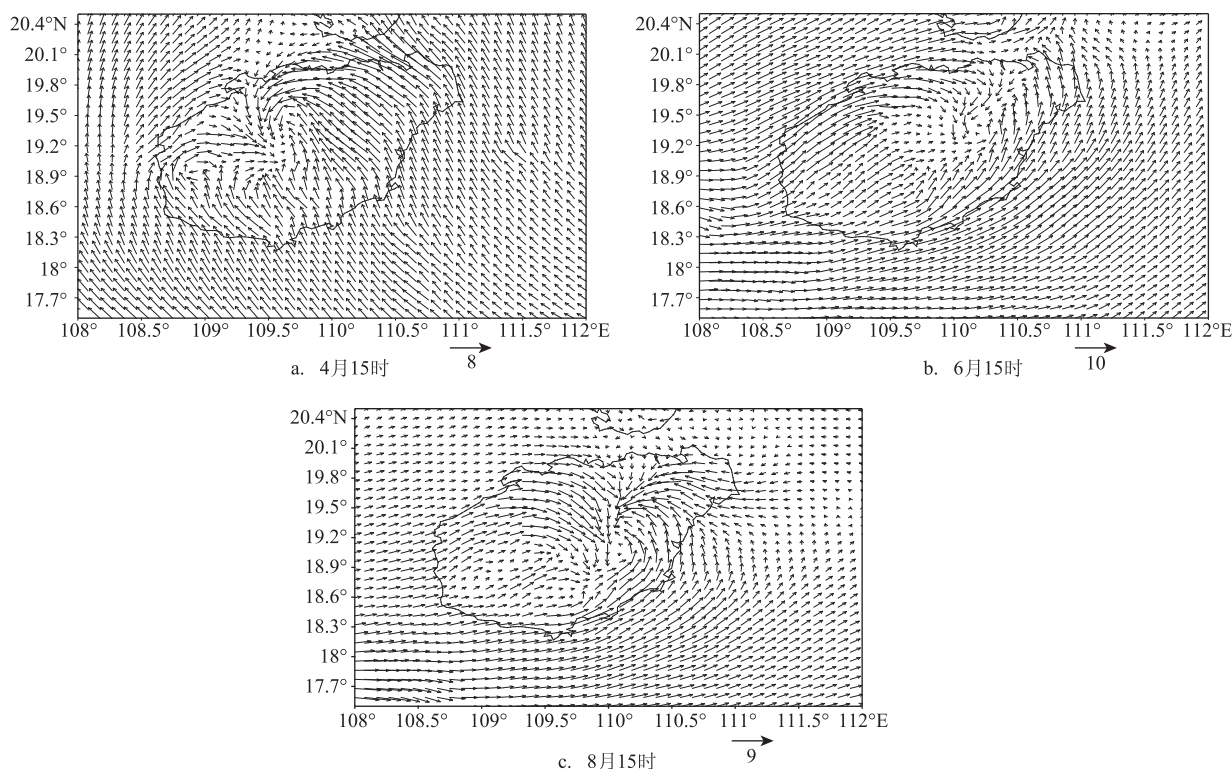


图7 800 m模拟风场(单位:m/s)

始位置仍然为儋州-临高-澄迈-海口-文昌北部,本月中部山区依然有局地风场辐合,两类辐合叠加到一起呈东北-西南走向(见图6a)。由于本月是夏季风盛行期,西南向的夏季风比6月要略偏大,东海岸受海风增幅产生的东南风要比6月向西推进内陆的距离更远,导致海风锋辐合较难推进到东海岸附近(见图6b)。

#### 4.4 800 m风场模拟分析

对800 m风场进行分析,发现在海风锋辐合最强的时刻,各月的风场辐合均能反映到800 m高度,只是辐合强度及区域相对10 m风场有明显的减弱(见图7)。说明海南岛北部的海风锋一般能够影响到800 m高度,但强度已经明显减弱。

## 5 结论

结合以上对月平均风场的统计和模拟,得到以下结论:

(1)海南岛海风锋辐合多始于中午前后,全年均存在。辐合初始位置受海南岛低层盛行风场影

响较大,多发生在盛行风向的下风向陆地与海域的交界处。冬季到夏季,海风锋辐合从海南岛西南部转到海南岛北部;

(2)海风锋辐合影响高度一般到925 hPa就明显减弱,说明海风锋属于一浅薄系统;

(3)4月开始,海南岛北部就已经受海风锋影响,中部山区在午后容易产生局地辐合;6月以后海风锋的初始辐合位置最东能到文昌北部。海风锋与中部山区辐合结合到一起,大致呈东北-西南走向,受环境风场引导,整体向东海岸推进,最东能推至文昌-琼海一带;

(4)中午前后,东部海岸在海风增幅作用下,偏南的环境风转为较强的东南风并深入内陆大约30 km。虽然东南风有利于海风锋的整体辐合,但是却抑制了海风锋辐合带的东推。

#### 参考文献:

- [1] 梁海萍, 梁海燕, 车志伟, 等. 近五十年登陆海南省的热带气旋统计特征分析[J]. 海洋预报, 2015, 32(4): 68-74.
- [2] 王红心, 陆惠祥, 余晓军, 等. 海南岛沿岸风暴潮特征分析[J]. 海洋预报, 1998, 15(2): 34-42.

- [3] 李文欢. 2000年10月海南特大洪灾成因分析[J]. 海洋预报, 2001, 18(2): 67-69.
- [4] 王青颜, 梁海燕. 海南省临高儋州2003年“11.26”特大潮灾调查分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(3): 40-44.
- [5] 邱晓暖, 范绍佳. 海陆风研究进展与我国沿海三地海陆风主要特征[J]. 气象, 2013, 39(2): 186-193.
- [6] 吴兑, 陈位超, 游积平. 海口地区近地层流场与海陆风结构的研究[J]. 热带气象学报, 1995, 11(4): 306-314.
- [7] 张振洲, 蔡旭晖, 宋宇, 等. 海南岛地区海陆风的统计分析和数值模拟研究[J]. 热带气象学报, 2014, 30(2): 270-280.
- [8] 柯史钊, 黄健. 华南海陆风的数值模拟[J]. 热带气象学报, 1993, 9(2): 169-176.
- [9] 钱维宏. 海南岛地形及热源对气流影响的数值模拟试验[J]. 海洋预报, 1988, 5(1): 14-22.
- [10] 翟武全, 李国杰, 孙斌, 等. 海南岛附近四季风场的中尺度环流[J]. 热带气象学报, 1997, 13(4): 315-322.
- [11] 彭军, 张立凤, 邓冰. LAPS资料在WRF模式中的应用[J]. 热带气象学报, 2013, 29(6): 1037-1045.

## Monthly statistics and numerical simulation analysis of sea breeze front over the Hainan Island

SHI Xiao<sup>1</sup>, FENG Xiao<sup>2</sup>, ZHAO Xiao-ping<sup>1</sup>, GUO Xue-wen<sup>1</sup>, YANG Ben-xiang<sup>1</sup>, FAN Jing<sup>1</sup>

(1. Meteorological Division of PLA 63796 Troops, Xichang 615000 China;

2. Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203 China)

**Abstract:** Based on the monthly-averaged European re-analysis data from 1979 to 2014, the monthly evolution feature of sea breeze front is analyzed. The results show that the sea breeze convergence front is occurred along the coastline at the northern of Hainan Island in the afternoon from April to August, and along the coastline at the southwest of Hainan Island in other months. The initial convergence position and movement path of sea breeze from April to August is analyzed by using WRF model simulated. The sea breeze front convergence is mostly occurred at the Danzhou-Lingao-Chengmai-Haikou area from April to August. After June, the initial convergence position of sea breeze front is occurred at Haikou-North Wenchang easternmost and convergence can promote to the eastern coast of Wenchang-Qionghai. The sea breeze front convergence is not conducive eastward due to environmental wind field which is increased by sea breeze at Hainan northeast.

**Key words:** boundary layer; wind convergence; sea breeze front