

海南岛地闪活动的时空特征与海陆风关系

郭冬艳^{1,2} 陈红^{1,2} 陈有龙^{1,2} 李凡^{1,2}

(1 海南省气象台, 海口 570203; 2 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203)

摘要: 海陆风是触发海南岛春夏季节对流天气的主要因素, 对海南岛闪电活动有很大影响。利用2007—2008年以及2013年海南省气象局地闪定位监测网资料、中尺度气象自动站逐时地面风向风速等数据, 采用统计分析方法, 研究海南岛地闪活动的时空分布特征及海陆风对其影响。结果表明: 海南岛地闪主要发生在春夏季, 大部分地区地闪主要发生在白天, 特别是下午, 而南部沿海和西部沿海地区的地闪在夜间较白天更为活跃。春夏季活跃的海陆风对海南岛地闪活动有很大影响, 是导致海南岛地闪具有时间和空间分布特征的主要原因之一: 在西北部内陆和东北部沿海地区, 白天偏北海风与环境偏南风辐合, 造成地闪活动多发生在白天; 而在南部沿海地区, 夜间偏北陆风常和环境偏南风辐合造成地闪在半夜和早晨更为活跃。

关键词: 海陆风, 地闪, 海南岛

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.04.018

The Relationship of Temporal and Spatial Characteristics of Lightning Activities over Hainan Island and Sea-Land Breeze

Guo Dongyan^{1,2}, Chen Hong^{1,2}, Chen Youlong^{1,2}, Li fan^{1,2}

(1 Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203

2 Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203)

Abstract: Sea-land breeze is one of the main triggers of convective weather during spring and summer in Hainan Island. To better understand the relationship between sea-land breeze and lightning activities over Hainan Island, and therefore to improve the prediction capability of lightning activities over Hainan Island, based on the lightning data from Lightning Location Monitoring Network and hourly surface wind direction and wind speed data from mesoscale automatic weather stations of Hainan Meteorological Service, the relationship of temporal and spatial characteristics of lightning activities over Hainan Island and sea-land breeze was studied using statistical method. Result shows that the lightning mainly occurs in spring and summer over Hainan Island. In most areas, lightning occurs during the daytime, especially during the afternoon. On the southern and western coasts, lightning is more active during the nighttime than the daytime. Result also indicates that, in spring and summer, the active sea-land breeze has a key impact of lightning activity and is likely one of the important reasons led to the temporal and spatial distribution characteristics of lightning activities over Hainan Island. Over the northwest inland and the northeast coastal areas, the northerly sea-breeze converges with the southerly environmental wind during the daytime, resulting in more lightning activities during the daytime. Over the southern coastal areas, lightning is more active during the middle of the night and the morning due to the convergence of the northerly land-breeze and the southerly environmental wind.

Keywords: sea-land breeze, lightning, Hainan Island

0 引言

海南岛是中国雷击灾害发生最频繁的地区之一^[1-3]。理解一个地方的闪电活动特征及其形成条件是做好当

地闪电活动预报的基础。目前, 世界范围内已经开展很多关于如闪电密度分布、闪电日变化特征和海陆风对闪电影响等方面的研究^[4-7]。例如, 印尼群岛沿海地区的雷暴多发生在下午, 山风加强陆风的辐合, 导致了马六甲海峡和非洲大湖夜间和清晨雷暴的发生^[8]。郭冬艳等^[9]发现海陆风是导致海南岛大部分地区雷暴在夏季的下午发生最为频繁的原因之一, 主要原因是偏北海风和大背景偏南风的辐合; 然而, 在南部的三亚地区, 夜间偏北陆风和环境偏南风产生辐合, 导致

收稿日期: 2019年9月11日; 修回日期: 2020年5月27日
第一作者: 郭冬艳(1979—), Email: gdy_628@126.com
通信作者: 陈红(1970—), Email: ddang_2001@sohu.com
资助信息: 海南省自然科学基金项目(418MS179); 海南省自然科学基金创新团队项目(2017CXTD014)

三亚地区雷暴主要发生在夜间。本文主要研究海陆风对海南岛地闪活动的影响，寻找海陆风导致地闪活动特征的主要原因，以期帮助提高海南云地闪活动的预报能力。

1 数据和方法

地闪数据来自海南省气象局地闪定位监测网（共有5个测站，分别分布在海南岛的北部、东部、西部、南部和中部地区），资料年限为2007—2008年和2013年。地闪数据已经经过检验^[10]，结果显示监测数据能够提供雷暴发生、移动路径等预报信息。

逐时地面风向风速数据来自海南省气象局中尺度气象自动站监测网。为了提高数据的准确率，如果某个自动站测得的风速与周围自动站相比，连续2 h以上出现极大或极小值，则该风速数据将被剔除。

雷灾数据来自海南省气象局雷灾数据库，数据库中的雷灾数据包括产生财产损失或人员伤亡的雷灾事件。由于存在漏报和错报的情况，数据库的数据可能存在不完整性。

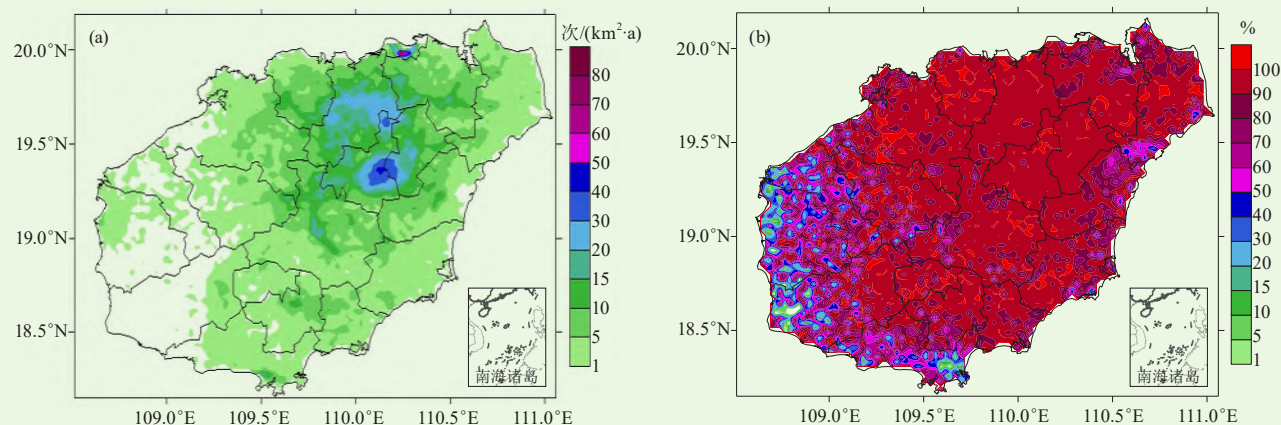


图1 2007—2008年春季（4—9月）海南地闪分布特征
(a) 地闪密度年平均分布；(b) 地闪白天比例年平均分布

Fig. 1 Distribution characteristics of CG lightning in spring and summer (from April to September) of 2007–2008 in Hainan
(a) The average number of CG lightning strikes; (b) The average percentage of lightning occurrence during the daytime

2.2 月分布

图2显示了海南2007—2008年春季地闪密度分布的逐月平均变化情况。从图2a可以看出，地闪在4月开始变得活跃，而且集中分布在中部偏北地区（平均地闪密度为5~20次/km²）；地闪活动在5—6月明显增加（图2b~2c），并在6月达到最为活跃的时期（大部分地区的地闪密度分布为1~15次/km²）；和5—6月不同，海南岛东部沿海和南部沿海地区的地闪活动在7月明显减少；8—9月，全岛的地闪活动显著减少，仅有少量分散的地闪活动。这些特征和李凡等^[11]的研究结果相似：海南岛地闪密度高值区位于西

2 海南地闪特征

监测数据表明，在2007—2008年4—9月，海南岛共测得到178483次地闪，其中175659次是负闪，占到云地闪的绝大多数，仅有2824次是正闪。

2.1 地闪分布总体特征

图1a显示了2007—2008年海南岛春夏季（4—9月）云地闪的年平均分布密度，可见海南岛地闪活动呈现出内陆多、沿海少，东部多、西部少，北部多、南部少的分布特征。整体来看，北半部内陆地区的地闪活动要比其余地区频繁得多。图1b是2007—2008年春季（4—9月）海南岛白天发生地闪比例的年平均分布图，可见全岛大部分地区地闪主要发生在白天，西北部内陆地区和中部偏南山区是白天地闪发生最频繁的地区，大部分地区白天地闪发生的比例高达80%以上。然而南部沿海和西部沿海的大部分地区则呈现出相反的特征，地闪在夜间更为活跃，白天地闪发生的比例低于40%。

北部内陆地区和中部偏北地区。

2.3 日分布

图3给出了2007—2008年春季海南地闪活动的逐3 h变化情况。由图可见，14—17时（北京时，下同）和17—20时分别是海南岛地闪活动最频繁和次频繁的两个时段，这个结果和李凡等^[11]的研究结果相似，其研究结果显示，海南岛82.4%的地闪活动发生在13—20时。此外，郭冬艳等^[4]的研究结果也显示，海南岛地闪灾害主要发生在下午（14—18时）。同时，一个重要的发现是，和大部分地区地闪主要发生在白天（特别是在下午）不同，南部和西部沿海地区

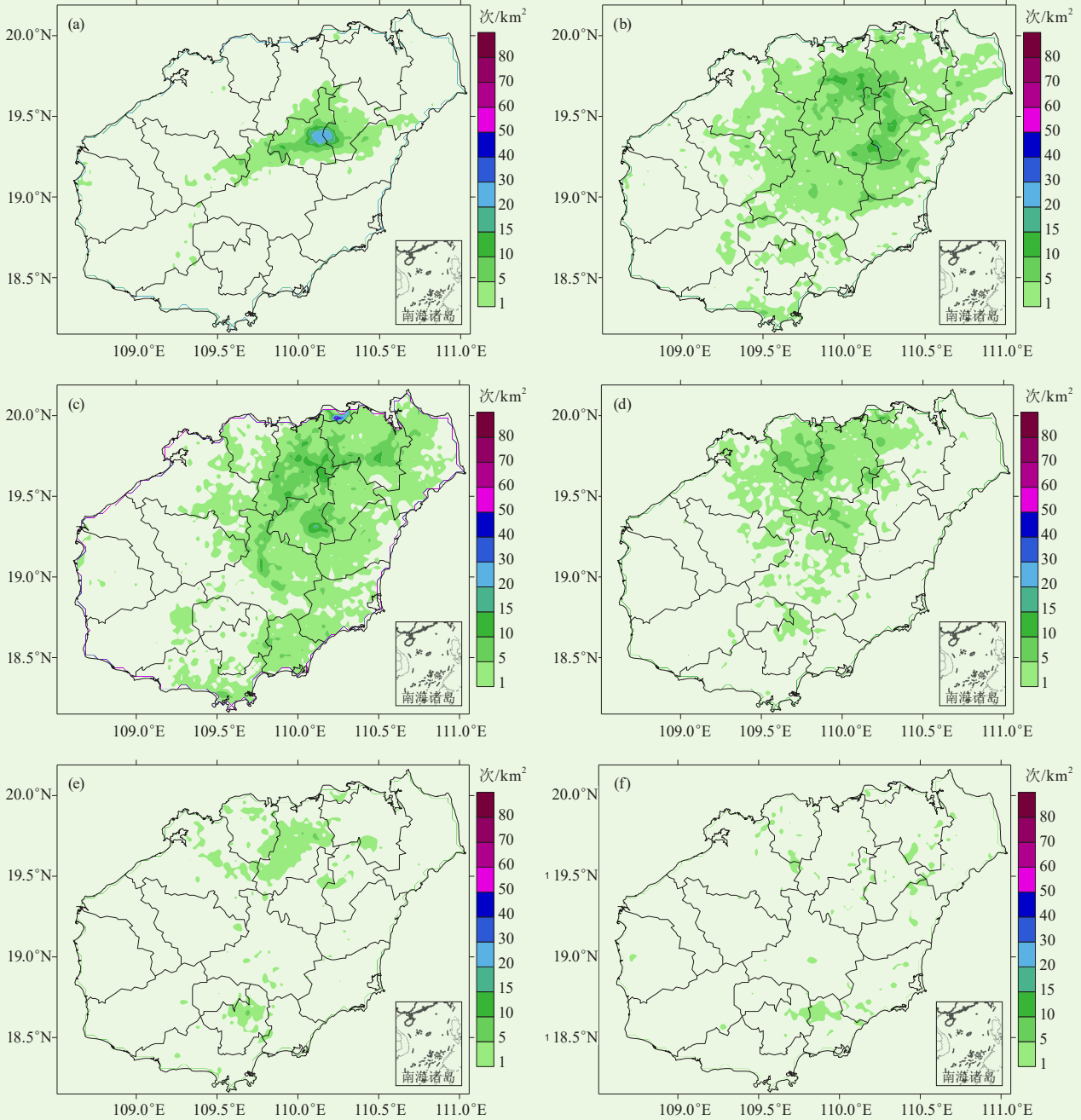


图2 2007—2008年海南岛春夏季(4—9月)地闪密度逐月平均分布
(a)4月; (b)5月; (c)6月; (d)7月; (e)8月; (f)9月

Fig. 2 The monthly average number of CG lightning strikes per square kilometer in the spring and summer(April to September) in 2007 and 2008 over Hainan Island
(a) April; (b) May; (c) June; (d) July; (e) August; (f) September

的地闪在半夜和清晨较其他时段更为活跃。

3 海陆风影响地闪活动个例分析

很多研究表明,海陆风对雷暴等对流天气有明显触发作用。如汪雅等^[12]对2009年宁波地区的一傍晚次雷暴过程进行数值模拟,通过改变下垫面覆盖类型的敏感性试验,探讨了海洋和陆地下垫面对雷暴过程的

影响。结果表明,雷暴发生前期,海风引起的抬升运动触发了雷暴,海风形成的强辐合区对应雷暴过程累积降水量的大值区。王彦等^[13]对2007年8月13日渤海湾一次海风锋触发雷暴天气进行数值模拟,并和多普勒天气雷达的观测结果进行比较,结果显示多普勒天气雷达探测到在海风锋与阵风锋碰撞交叉处形成的雷

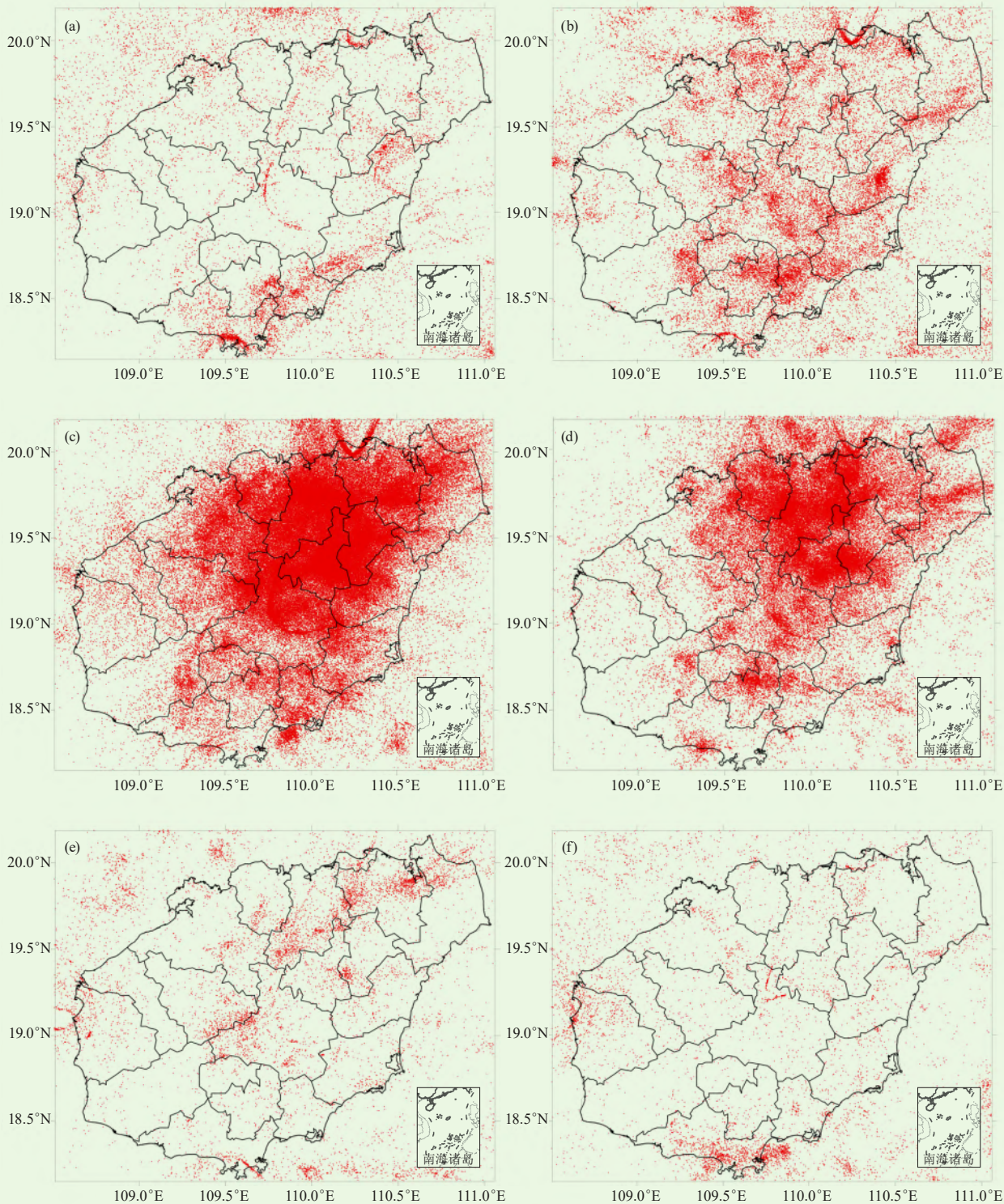
暴天气，而数值模拟揭示了碰撞交叉处形成雷暴天气的物理量特征。

本小节对海南岛海陆风触发雷暴天气的几个个例做出分析，以下个例中，大尺度环境风场均为偏南风。

3.1 白天型（北部内陆地区）

2007年4月22日下午，海南岛北部内陆地区发

生了一次由海陆风引发的较强雷电天气过程。根据海南省中尺度乡镇气象自动站逐时风资料显示，中午前后，海南岛北部内陆地区（距离海岸线约30~50 km）从海洋吹向陆地的偏北海风开始活跃起来，14时进一步加强，并与环境偏南风形成海风锋（图4a中蓝色弧线），接下来的2 h随着海风的继续增



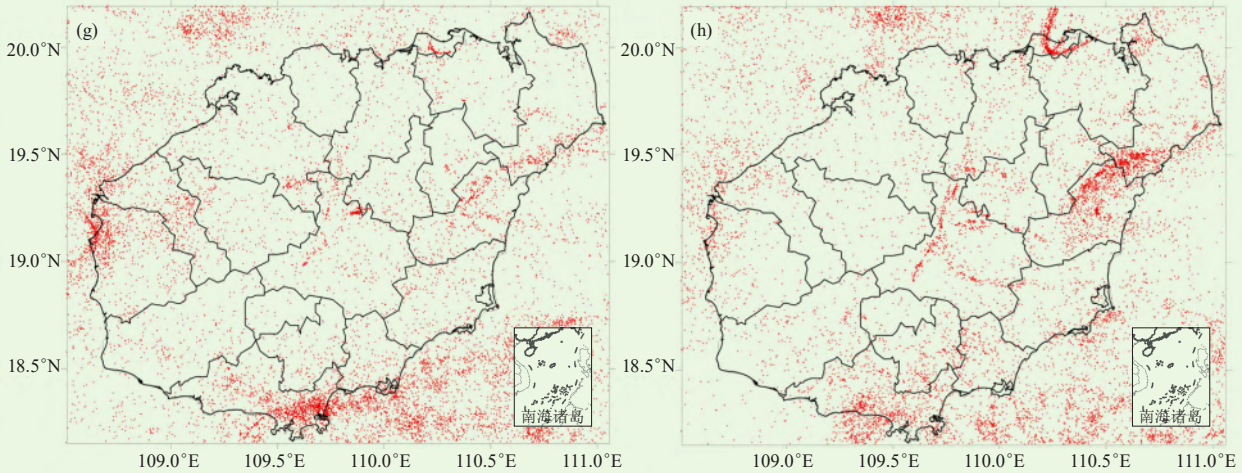


图3 2007—2008年春季夏季海南岛地闪活动(红色)逐3 h分布

(a) 08—11时; (b) 11—14时; (c) 14—17时; (d) 17—20时; (e) 20—23时; (f) 23—02时; (g) 02—05时; (h) 05—08时
Fig. 3 The number of CG lightning strikes (represented by red) every 3 h during the spring and summer season of 2007—2008 over Hainan Island

(a) 08:00 to 11:00 BT; (b) 11:00 to 14:00 BT; (c) 14:00 to 17:00 BT; (d) 17:00 to 20:00 BT; (e) 20:00 to 23:00 BT; (f) 23:00 to 02:00 BT; (g) 02:00 to 05:00 BT; (h) 05:00 to 08:00 BT

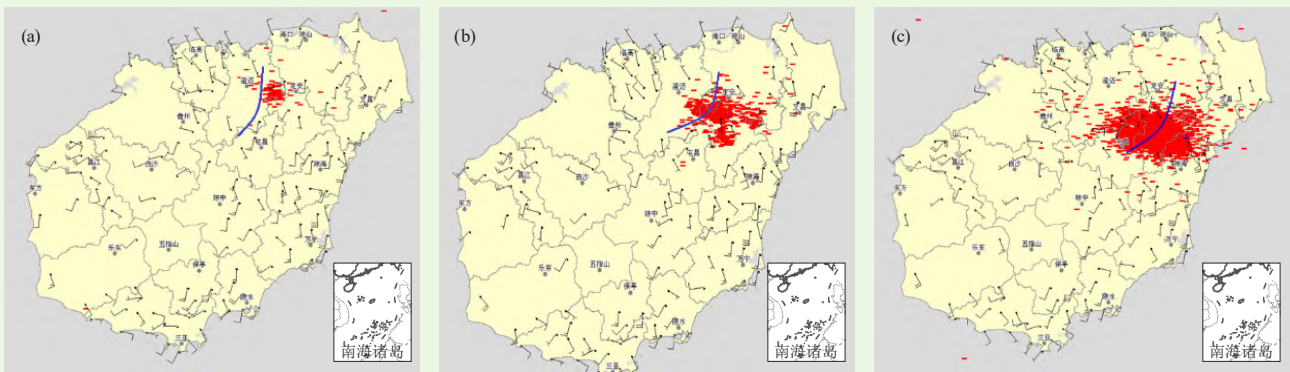


图4 2007年4月22日逐时风向风速、地闪变化(红色“-”和蓝色“+”分别代表负闪和正闪)
(a) 14时; (b) 15时; (c) 16时

Fig.4 The hourly wind direction, wind speed and the flashes of three cases showing sea/land breeze fronts effect the lightning activities (The red “-” and blue “+” represent positive flash and negative flash, respectively)
(a) 14:00 BT; (b) 15:00 BT; (c) 16:00 BT

强海风锋变得更为明显(图4b~4c);同时,从地闪资料来看,14时左右该地区开始出现地闪,在以后的2 h中地闪活动明显增加。据当地气象部门报告,在地闪活动最为活跃的16时左右,在地闪密集发生的区域一人因雷击死亡。

3.2 白天型(东北部沿海地区)

2008年6月4日,海南岛东北部沿海地区发生了另一次由海陆风引发的较强雷电天气过程。根据海南省中尺度乡镇气象自动站逐时风资料显示,中午前后,该地区开始盛行偏北海风(图5a),14时左右,海风增强,与环境偏南风形成海风锋(图5b中蓝色弧线),同时该地区开始有地闪发生,15时左右地闪发

生次数明显增加(图5c),据当地气象部门报告,15时左右,该地区雷击造成2人死亡。

3.3 夜间型(南部沿海地区)

夜间,陆地降温比海洋快,相同的机制下,由海洋吹向陆地的海风逐渐转为由陆地吹向海洋的陆风。在海南岛的南部沿海地区,白天海风为与环境风场一致的偏南风,夜间转为偏北陆风,可与环境偏南风产生辐合。图6为2007年5月27日凌晨,在南部沿海地区,由偏北陆风与环境偏南风辐合导致的一次雷电灾害天气过程。由图6a可见,03时,南部沿海地区的偏北陆风已经形成;04时,偏北陆风与偏南环境风辐合形成局地锋区(图6b),同时,在锋区附近开始有地

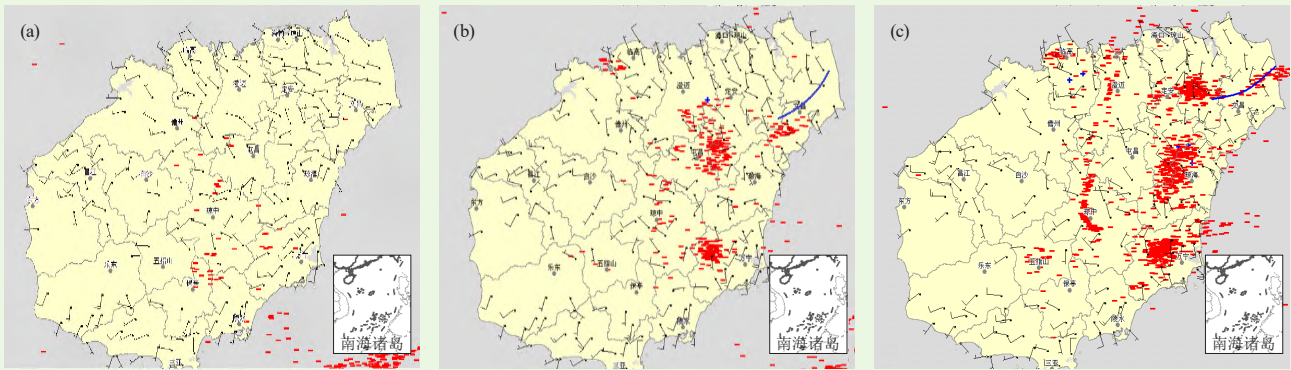


图5 2008年6月4日逐时风向风速、地闪变化 (红色“-”和蓝色“+”分别代表负闪和正闪)

(a) 13时; (b) 14时; (c) 15时

Fig.5 The hourly wind direction, wind speed and the flashes of three cases showing sea/land breeze fronts effect the lightning activities (The red “-” and blue “+” represent positive flash and negative flash, respectively)

(a) 13:00 BT; (b) 14:00 BT; (c) 15:00 BT

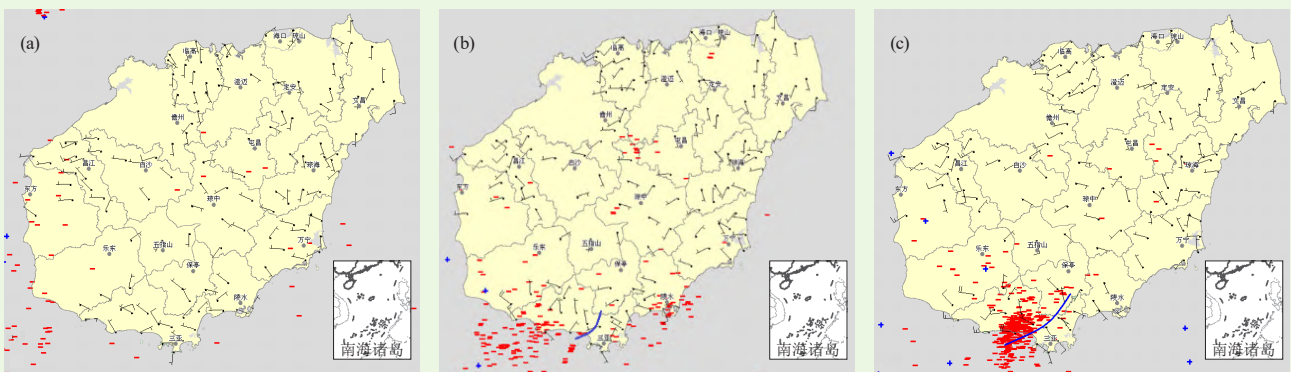


图6 2007年5月27日逐时风向风速、地闪变化 (红色“-”和蓝色“+”分别代表负闪和正闪)

(a) 03时; (b) 04时; (c) 05时

Fig.6 The hourly wind direction, wind speed and the flashes of three cases showing sea/land breeze fronts effect the lightning activities (The red “-” and blue “+” represent positive flash and negative flash, respectively)

(a) 03:00 BT; (b) 04:00 BT; (c) 05:00 BT

闪活动; 05时, 锋区明显增强, 该地区地闪活动变得密集, 导致3人在5时30分左右因雷击死亡。

4 讨论

本文分析了海陆风对海南岛地闪活动的影响, 并给出了几个典型个例, 结果表明, 在海南地闪频发的春夏季节, 海陆风是造成海南岛大部分地区白天地闪活跃的原因之一, 更重要的是, 它是造成南部沿海地区夜间地闪比白天更为活跃的主要原因。这些发现对提高海南岛地闪活动的发生时间和落区预报准确率提供了一定的帮助, 但如何将海陆风对地闪活动的影响进一步量化, 如海陆风造成的阵风锋达到何种强度时易导致强地闪的发生, 可预警提前量有多少等, 都是有待我们进一步探讨的问题。

参考文献

[1] 郭冬艳, 辛吉武, 吴胜安, 等. 海南雷暴气候特征及大气环流背景分析. 气象科技, 2008, 36(4): 404-409.
[2] 林建, 曲晓波. 中国雷电事件的时空分布特征. 气象, 2008, 34(11): 22-30.

[3] 高隼, 张义军, 张文娟, 等. 我国雷击致人伤亡特征及易损度评估区划. 应用气象学报, 2012, 23(3): 294-303.
[4] 郭冬艳, 姜涛, 陈红, 等. 海南岛雷电灾害特征及易损性分析区划. 气象研究与应用, 2010, 31(2): 78-81.
[5] 林良勋, 梁巧倩, 温晶, 等. 广州地区雷电时空分布特点及天气学分析. 气象科技, 2006, 34(6): 679-683.
[6] Kucienska B, Raga G B, Rodriguez O. Cloud-to-ground lightning over Mexico and adjacent oceanic regions: a preliminary climatology using the WWLLN dataset. Annals of Geophysics, 2010, 28: 2047-2057.
[7] Baumgardner D, Raga G B, Grutter M, et al. Evolution of anthropogenic aerosols in the coastal town of Salina Cruz, Mexico: Part I particle dynamics and land-sea interactions. Science of the Total Environment, 2006, 367: 288-301.
[8] Virts K S, Wallace J M, Hutchins M L, et al. Highlights of a new ground-based, hourly global lightning climatology. Bulletin of the American Meteorological Society, 2013, 94(9): 1381-1391.
[9] 郭冬艳, 翟盘茂, 姜涛, 等. 海南夏季雷暴时空分布特征及成因. 气象科技, 2011, 39(5): 562-568.
[10] 陈有龙, 郭冬艳, 李凡. 海南闪电监测定位系统资料检验和分析. 气象研究与应用, 2010, 31(1): 94-97.
[11] 李凡, 郭冬艳. 海南闪电时空分布规律及与天气系统关系分析. 气象水文装备, 2010, 21(6): 32-35.
[12] 汪雅, 苗峻峰, 谈哲敏. 宁波地区海-陆下垫面差异对雷暴过程影响的数值模拟. 气象学报, 2013(6): 1146-1159.
[13] 王彦, 高守亭, 梁钊明. 渤海湾海风锋触发雷暴的观测和模拟分析. 高原气象, 2014(3): 848-854.