

文章编号: 1673-8411(2019)03-0047-06

北部湾典型大雾过程环流特征及气象要素对比分析

古明悦¹, 韦晶晶², 郑凤琴², 钟利华²

(1. 广西南宁市气象局, 南宁 530028; 2. 广西壮族自治区气象服务中心, 南宁 530022)

摘要: 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和北部湾地区 5 站地面观测资料, 对比分析了 3 次典型大雾过程的环流背景和气象要素特征。结果表明: (1) 平流雾维持时间最长、强度最强, 辐射雾发生范围最广, 锋面雾发生范围最小、持续时间最短; (2) 锋面雾和平流雾 500hPa 有较明显的南支槽, 副高偏强, 850hPa 偏南风偏强, 因冷空气入侵或冷空气减弱东移与暖湿气流相遇而成雾, 辐射雾过程无冷空气直接影响, 因夜间辐射冷却而成雾; (3) 辐射雾过程气温与能见度呈同相变化特征, 露点温度呈逐日上升趋势, 锋面雾前期和后期气温、露点温度与能见度分别呈反相和同相变化特征, 平流雾过程气温、露点温度呈逐日升高趋势, 能见度具有较明显日变化特征; (4) 辐射雾和锋面雾发生时相对湿度 $\geq 93\%$, 偏南风 and 偏北风风速减小; 平流雾期间相对湿度持续 $\geq 90\%$, 风速由弱偏北风转偏南风。

关键词: 北部湾; 海雾; 典型个例; 分析

中图分类号: P467

文献标识码: A

Circulation Features and Meteorological Elements of Typical Heavy Haze Processes in the Beibu Gulf

Gu Mingyue¹, Wei Jingjing², Zheng Fengqin², Zhong Lihua²

(1. Nanning Meteorological Service, Nanning Guangxi 530028; 2. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: Based on NCEP/NCAR reanalysis data and ground observation data of 5 stations in Beibu Gulf, the circulation background and meteorological characteristics of 3 typical fog processes are compared and analyzed. The results show that: (1) the advection fog has the longest duration and the strongest intensity, the radiation fog has the widest range, the frontal fog has the smallest range and the shortest duration. (2) Frontal fog and advection fog have obvious south branch grooves and strong sub-high intensity at 500hPa, southerly wind is strong at 850hPa. They are formed due to the cold air intrusion or cold air weakening eastward and meeting the warm-humid airflow. Cold air has no direct effect on radiation fog process, which is caused by night radiation cooling. (3) Temperature and visibility of radiation fog are in phase change, and dew point temperature increases day by day. Temperature, dew point temperature and visibility of frontal fog in the early and late stages show opposite phase and phase changes, respectively. The temperature and dew point temperature of advection fog process increase day by day, and its visibility has obvious diurnal variation characteristics. (4) When radiation fog and frontal fog occur, the relative humidity is greater than or equal to 93%, the southerlywinds and northerly decreases. The relative humidity is continuously greater than or equal to 90% during the advection fog process, and the wind changes from weak northerly wind to southerly wind.

Keywords: Beibu Gulf; sea fog; typical case; analysis

收稿日期: 2018-12-05

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2016GXNSFAA380330)

作者简介: 古明悦 (1987-), 男, 大学本科, 主要从事天气预报。E-mail: 149491895@qq.com

引言

近 10a 以来,广西北部湾沿岸和近海地区大雾天气影响趋于增加。大雾发生后,水平能见度降低,对北部湾近海渔业生产、海上和港口航行船舶等安全带来很大危害,沿海高速公路交通运输也会因此受阻而关闭,大雾已成为影响社会及人民健康的重要灾害性天气之一。我国许多学者对雾的形成、环流特征以及气候变化等方面开展许多分析和研究,林建等^[1]根据 1971~2005 年全国 714 站大雾资料,统计分析了大雾时空分布特征和环流形势,表明我国大范围大雾发生的环流形势可分为均压型和锋前型两大类型。一些学者对广西区域或北部湾大雾气候和天气形势特征等方面开展了研究,李生艳等^[2]利用 1971~2006 年广西 89 站大雾资料,对广西大雾的气候特征和地域特征进行分析;陈燕丽等^[3,4]利用广西北部湾地区 6 站大雾以及降水量、气温、相对湿度等逐小时气象数据,分析了北部湾地区轻雾、大雾的年际、年代际和逐月变化规律,利用相关分析和主成分分析法,分析确定大雾形成的关键影响因子以及特征规律,采用逻辑回归分析法建立了海雾预测模型;卢峰本等^[5]以 1981~2000 年涠洲岛资料为代表,分析了海雾的季节特征以及天气形势背景;黄滢等^[6]利用 1963~2009 年广西沿海气象站雾的观测资料和 NCEP 再分析资料,从气候特征、天气形势和气象条件等 3 方面分析了广西沿海雾的气候特征和形成条件;邓英姿等^[7]利用广西沿海 7 站 1971~2006 年雾的观测资料及地面气象观测资料,分析了广西沿海大范围雾的气候特征与天气形势;孔宁谦^[8]利用 8 站资料,分析了广西沿海雾的季节变化、生消特征、持续时间及雾日的风向风速特征;蒋静^[9]从天气学角度,对 2006 年 3 月广西防城港市沿海地区出现的连续性大雾天气过程的形成原因、特点进行诊断分析;冯厚文^[10]通过对东兴市 47a 大雾资料及 2006 年大雾个例的分析,得出大雾成因及特征,总结出适合当地的大雾短期预报方法。

北部湾典型大雾过程环流特征及气象要素对比分析等方面的研究鲜见。为了提高对北部湾沿岸和近海地区典型大雾过程发生情况的了解,本文对比分析了 3 类不同类型大雾过程的环流背景特征和近地面气象要素特征,为进一步提高大雾的预报水平,减轻大雾灾害造成的损失提供参考文献。

1 资料来源

利用 NCEP/NCAR 逐日平均 500hPa 高度场、850 hPa 风场和海平面气压场再分析资料(水平分

辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$),以及广西气象信息中心提供的常规气象数据,包括广西北部湾地区北海站、钦州站、防城港站、东兴站、涠洲岛 5 个气象观测站的地面观测资料和每天 4 次(02 时、08 时、14 时、20 时)能见度观测资料。大雾定义为水平能见度小于 1 km。

2 大雾过程天气概述

2011 年以来,广西北部湾地区出现了 27 次 ≥ 3 站连续 ≥ 2 d 的大雾天气过程,最长连续为 5d,分为 3 类:平流雾、辐射雾和锋面雾,出现最多为平流雾过程,达 15 次。本文选取 3 次大雾天气过程,即:2011 年 2 月 6~9 日的辐射雾过程、2012 年 1 月 13~15 日的锋面雾过程、2012 年 3 月 15~19 日的平流雾过程,作为上述 3 类大雾的典型案例分析。据统计,辐射雾过程,北部湾地区 5 站出现大雾,连续最长时间为 3 天(钦州市),雾浓时能见度 ≤ 300 m,大雾期间天气持续晴好,气温日较差 $\geq 10^{\circ}\text{C}$,因夜间至清晨迅速的辐射散热,近地面空气层中的水汽凝结达到饱和而形成大雾天气。锋面雾过程,钦州站、防城港站、北海站 3 站出现大雾,连续最长时间为 3d(钦州站),雾浓时能见度 ≤ 200 m,大雾期间阴天有小雨,受弱冷空气影响,大雾前 48h 大部气温日较差为 6°C ,由于冷平流的流入,使得沿海地区近地面层空气中的水汽出现凝结(或凝华)而产生大雾天气。平流雾过程,钦州站、防城港站、北海站、涠洲岛 4 站出现大雾,连续最长时间为 4d(防城港站和北海站),防城港站出现连续 2d 能见度 ≤ 200 m 的浓雾,大雾期间阴天大部有小雨,由于暖湿气流的不断流入,大雾前 48h 气温日较差 $\leq 3^{\circ}\text{C}$,因暖湿空气平流到较冷的下垫面,水汽冷却凝结而形成大雾天气。

3 环流背景对比分析

3.1 典型辐射雾过程

分析了大雾发生当日 20 时环流形势场(图 1),从图 1 可见,500hPa 高原东部有浅槽,槽底位于 27°N 以北,华南和西南受偏西气流控制,850hPa 受弱偏南风影响,广西南部偏南风风速 $\leq 6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,地面为均压场,冷锋位于长江流域及以北地区,雾发生时对广西无直接影响,西南暖低压呈发展趋势,华南和西南地区为明显的东高西低形势,等压线呈南北向分布,近地层吹偏南风,湿度较大;北部湾地区受锋前暖区、暖低压的控制下,后半夜天气晴朗,地面有效辐射强,散热迅速,辐射降温使沿海地区暖湿空气饱和凝结而形成大雾。

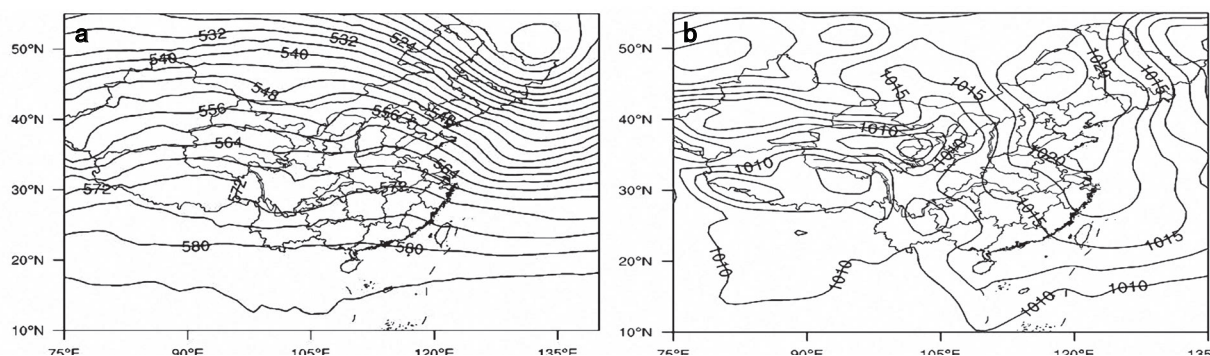


图 1 2011 年 2 月 6 日 20 时环流形势场 (a) 500hPa 高度场 (b) 海平面气压场

3.2 典型锋面雾过程

分析了大雾发生当日 08 时环流形势场(图 2), 从图 2 可见, 500hPa 高原东部有小槽东移, 引导 850 hPa 切变线南移到贵州和桂西北, 广西处于切变线前偏南气流, 广西南部偏南风风速大部在 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ – $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 500hPa 南支深槽位于印度北部, 槽前有明显的西南气流, 同时副热带高压在华南

加强, 在二者相互作用下, 偏南风加强, 使得暖湿气流不断输入到华南沿海地区, 此时, 地面冷锋南移至广西沿海, 1020 等压线已到达沿海地区, 地面转偏北风, 冷锋后的偏北气流迫使锋前的暖湿空气沿锋面爬升, 冷却凝结形成雾滴, 是由于冷平流到达相对暖的下垫面, 暖湿空气饱和凝结而形成大雾。

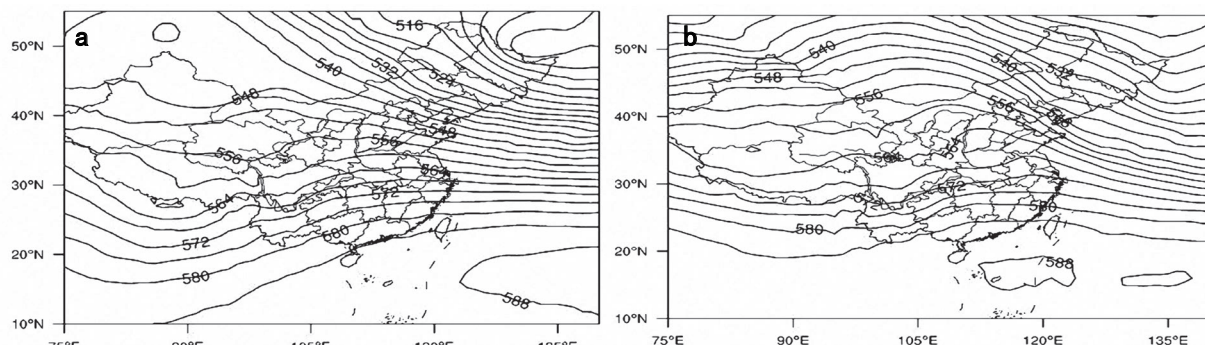


图 2 2012 年 1 月 13 日 08 时环流形势场 (a) 500hPa 高度场 (b) 850 hPa 风场

3.3 典型平流雾过程

分析了大雾发生前 20 时环流形势场(图 3), 从图 3 可见, 500hPa 南支深槽位于印度北部, 华南和西南地区受西南气流影响, 南海北部受副高脊控制, 二者相互作用下, 使得偏南风加强, 低层(850hPa)出现较强的西南暖湿平流, 广西区域有一支强劲的偏南风急流, 广西南部偏南风在 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ – $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 地面冷高压从华东沿海入海,

锋区位于华东, 北部湾沿海处于其后部的均压场, 华南和西南地区为明显的东高西低形势, 等压线呈南北向分布, 近地层吹偏南风, 湿度较大; 由于前期受冷空气影响, 北部湾沿岸存在着表层水温较低的冷水区域, 强劲的低层暖湿空气到达北部湾沿岸后冷却达到饱和而形成大雾。此次过程由于锋面北退缓慢, 使得北部湾地区连续出现 5d 大雾。

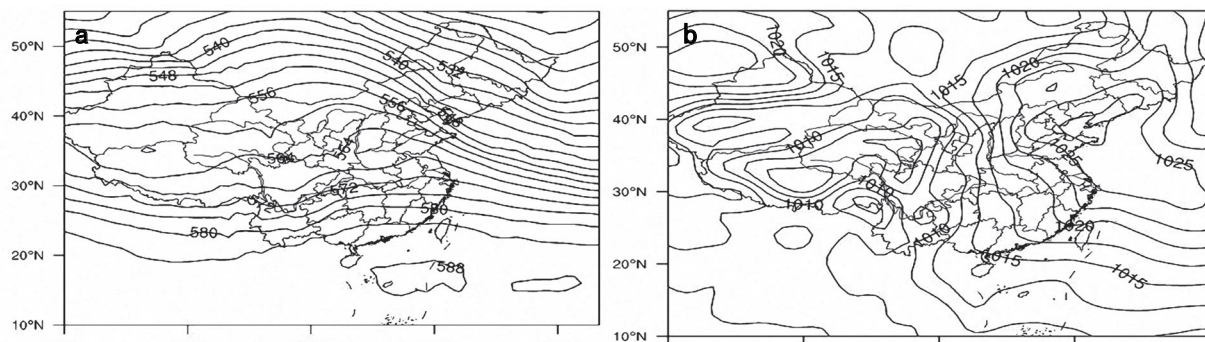


图 3 2012 年 3 月 14 日 20 时环流形势场 (a) 500hPa 高度场 (b) 海平面气压场

4 大雾期间气象要素对比分析

为了了解 3 种不同类型大雾过程的气象要素演变特征,对典型辐射雾、锋面雾和平流雾过程主要气象要素与能见度的变化特征进行对比分析。每类典型大雾过程分别选取大雾持续时间最长的沿海站和海岛站(涠洲岛站)各 2 个站进行分析,即:辐射雾过程选取钦州站(沿海站)、涠洲岛,锋面雾过程选取钦州站、防城港站,平流雾过程防城港站、涠洲岛站。

4.1 气温、露点温度与能见度变化特征

图 4 给出典型大雾过程北部湾地区气温、露点温度和能见度随时间演变情况。从图 4a、4b 可见,辐射雾发生期间(2011 年 2 月 6 日至 9 日),钦州站、涠洲岛气温与能见度呈同相变化特征,日最低气温出现清晨,日最高气温出现在午后,气温日较差较大,钦州站在 7.0°C – 9.6°C ,涠洲岛在 5.5°C – 5.9°C ,露点温度呈逐日上升趋势,清晨大雾发生时温度露点差($T-T_d$,下同)达到最小值(在 0°C – 0.6°C),午后至傍晚能见度转好, $T-T_d$ 明显增大。

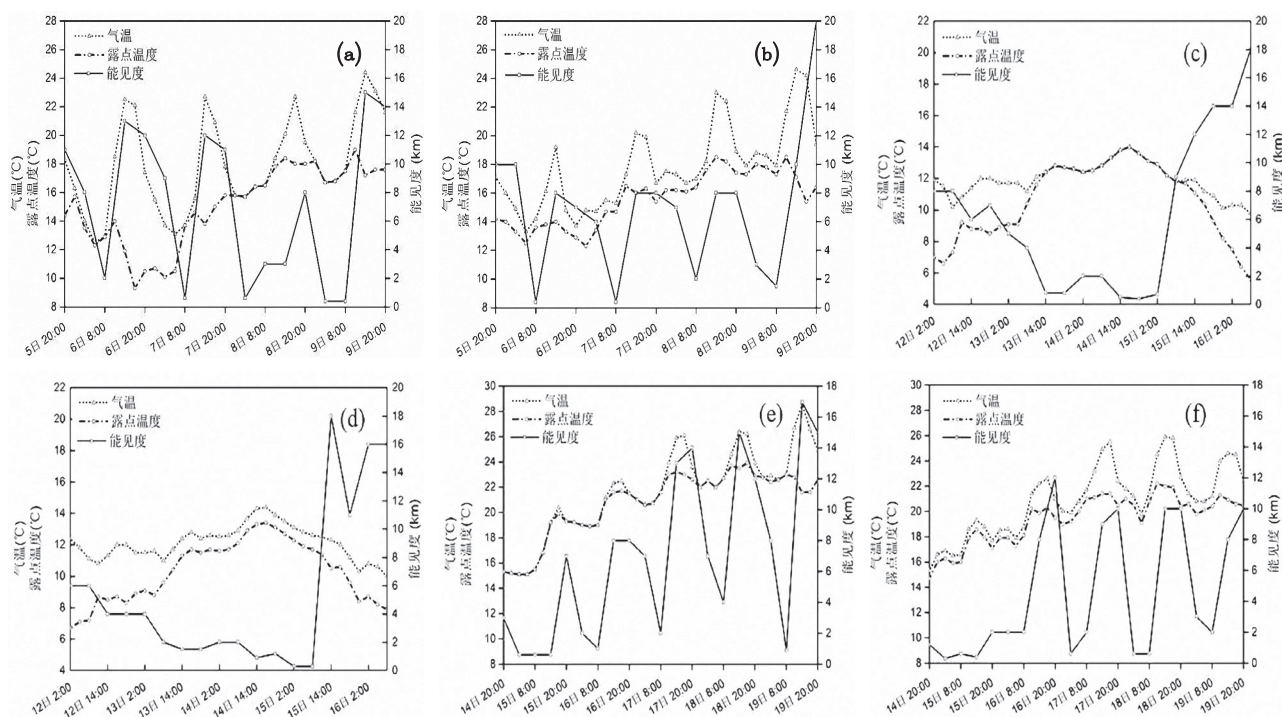


图 4 辐射雾过程(a:钦州市, b:涠洲岛)、锋面雾过程(c:钦州市, d:防城港)、平流雾过程(e:防城港市, f:涠洲岛)气温、露点温度、能见度演变情况

从图 4c、4d 可见,钦州站和防城港锋面雾过程(2012 年 1 月 13 日–15 日)发生前期,气温、露点温度与能见度呈反相变化特征,锋面雾发生后,气温、露点温度与能见度呈同相变化特征;大雾期间气温变化幅度不大,在 11°C – 15°C 之间,气温日较差在 1.6°C – 2.5°C , $T-T_d$ 在 0°C – 1.0°C ,空气长期处于饱和状态。

从图 4e、4f 可见,平流雾发生期间(2012 年 3 月 15 日–19 日)防城港市、涠洲岛气温、露点温度呈逐日升高趋势,能见度具有较明显日变化特征, $T-T_d$ 出现持续性的偏小,防城港市日最高气温从 17°C 逐日升高至 25.8°C ,最低气温从 12.5°C 逐日升高 21.4°C ,气温日较差在 3.4°C – 5.5°C ,露点温度从 11.3°C 逐日波动升高,有 25 个时次 $T-T_d \leq 1^{\circ}\text{C}$,其中 15 日 02 时–14 时和 17

日 02 时–08 时出现持续性大雾;涠洲岛日最高气温从 16.2°C 逐日升高至 25.9°C ,最低气温从 13.7°C 逐日升高至 19.8°C ,气温日较差 2.5°C – 6.1°C ,露点温度从 12.9°C 逐日波动升高,有 30 个时次 $T-T_d \leq 1^{\circ}\text{C}$,其中 15 日 02 时–14 时和 18 日 02 时–08 时出现持续性大雾。

4.2 风场、湿度场与能见度变化特征

图 5 给出典型大雾过程北部湾地区相对湿度、风速和能见度随时间演变情况。从图 5a、5b 可见,辐射雾发生期间,钦州站、涠洲岛相对湿度与风速、能见度呈反相变化特征;钦州站在大雾出现前一天午后,相对湿度最小,偏南风较大($2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ – $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),次日清晨(大雾时)相对湿度升高至 93%–100%,偏南风风速减小至 $\leq 1.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;涠洲岛大雾生

成的前一天午后,相对湿度较小,次日清晨(大雾时)相对湿度升高至96%,风向为东南风转东北风,风速在 $1.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ – $4.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从图5c、5d可见,锋面雾期间,钦州市、防城港相对湿度与风速、能见度呈反相变化趋势,大雾期间相对湿度 $\geq 94\%$,风向均为东北风或西北风,大雾生成前一天为 $3.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ – $6.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,期间降至 $\leq 1.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

从图5e、5f可见,平流雾期间,防城港站、涠洲岛维持较高的湿度条件(相对湿度 $\geq 90\%$),防城港站大雾发生时由弱偏北风(风速 $\leq 0.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)转偏南风(风速 $\leq 1.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),大雾消散时偏南风加大(风速 $4.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);涠洲岛大雾发生时为弱东北风(风速 $\leq 1.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)加大至 $4.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ – $6.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,大雾消散时转东南风($2.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。

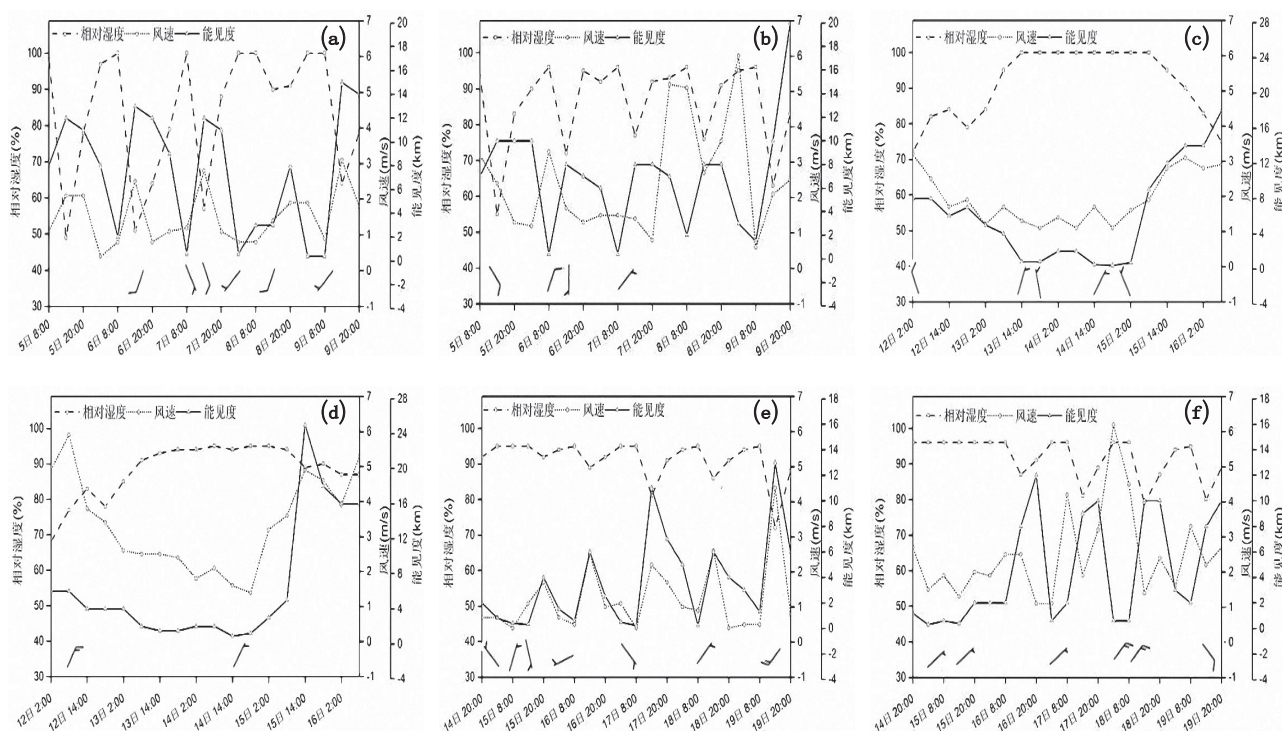


图5 辐射雾过程(a:钦州市, b:涠洲岛)、锋面雾过程(c:钦州市, d:防城港)、平流雾过程(e:防城港市, f:涠洲岛)相对湿度、风速、能见度演变情况

5 结论

利用常规气象观测资料和 NCEP/NCAR 再分析资料,对比分析了北部湾地区 2011 年以来 3 类典型大雾过程环流背景特征以及能见度与地面气象要素特征,得到以下结论:

(1) 平流雾维持时间最长、强度最强,辐射雾发生范围最广,锋面雾发生范围最小、持续时间最短。

(2) 锋面雾和平流雾过程 500hPa 有较明显南支槽、副高偏强,850hPa 偏南风偏强,锋面雾是由锋前冷平流与暖的下垫面相遇而成雾,平流雾是由暖平流与冷的下垫面相遇而成雾,辐射雾过程无冷空气直接影响,夜间晴朗、地面有效辐射强,因辐射冷却而成雾。

(3) 辐射雾过程气温与能见度呈同相变化特

征,露点温度呈逐日上升趋势,锋面雾前期和后期气温、露点温度与能见度分别呈反相和同相变化特征,平流雾过程气温、露点温度呈逐日升高趋势,能见度具有较明显日变化特征;辐射雾过程气温日较差最大,平流雾次之,锋面雾最小;3 类大雾期间 $T-T_d \leq 1.1^\circ\text{C}$,平流雾有持续性的 $T-T_d \leq 1.0^\circ\text{C}$ 时段,因而发生持续性的强浓雾。

(4) 辐射雾和锋面雾过程相对湿度与风速、能见度呈反相变化趋势,相对湿度 $\geq 93\%$;辐射雾的沿海站大雾前偏南风大,大雾时偏南风减小,涠洲岛为东南风转东北风,风速变化不大;锋面雾大雾前后偏北风大,大雾时偏北风减小;平流雾维持较长时间的高湿度,沿海站大雾发生时由弱偏北风转偏南风,消散时偏南风加大,涠洲岛大雾时为弱东北风转强北风,消散时转东南风。

(下转第67页)

(4) 百色市各地各月的度假气候指数 (HCI) 均达到“适宜”等级或以上, 全年 12 个月均适宜旅游度假; 其中“很适宜”和“特别适宜”的月份多达 9~10 个月, 主要出现在 2~5 月和 8~12 月。

(5) 综合 THI、WEI、BCMI 和 HCI 等 4 个指数的舒适性评估, 隆林、乐业、靖西 3 地最为适宜旅游度假的月份为 4~10 月, 右江区最为适宜旅游度假的月份 3~4 月和 10~11 月, 其余时段的旅游适宜性尚需要进一步探讨。

用不同指数计算百色市气候舒适度, 得到的评估结果出现较大的差异, 每一个指标都是在某一时段上具有一定的准确性。根据计算分级结果及参照当地实际情况, 评估百色市气候旅游资源, 用温湿指数 (THI) 和风效指数 (WEI) 的效果最佳, 其次是人体舒适度指数 (BCMI), 而度假气候指数 (HCI) 的准确性最不好, 这尤其表现在右江区夏季 6~8 月, 此时人体感觉很热, 但度假气候指数 (HCI) 却显示为“适宜”等级, 明显不符合实际情况。

参考文献:

- [1] 刘清春, 王铮, 许世远. 中国城市旅游气候舒适性分析 [J]. 资源科学, 2007, 29(1): 133-141.
- [2] 程静静. 黄山风景区气候旅游资源分析及开发研究 [J]. 黄山学院学报, 2010, 12(1): 42-45.
- [3] 杨银华, 徐苏佩, 刘继尧. 内江市东兴区旅游气候资源的评价及开发利用 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(4): 77-81.
- [4] 黄东林. 桂林市旅游气候舒适度评价 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31(3): 27-29.
- [5] 黄梅丽, 苏志, 周绍毅. 金秀大瑶山旅游气候资源评估 [J]. 广西气象, 2006, 27(2): 18-21.
- [6] 刘文杰. 涠洲岛旅游气候资源分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33(S2): 91-92+94.
- [7] 梁浩成, 朱世海, 黄梅丽. 巴马长寿旅游发展的气象保障思考 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34(2): 54-57.
- [8] 黄归兰, 黄增俊, 黄磊, 等. 广西大明山景区气候特点及气象指数研究 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(1): 76-79.
- [9] 黄冬梅, 卢丽莉, 黄卓帆. 凤山县气候特征及其适宜性评价 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(3): 50-52+63.
- [10] 梁键锋, 邓碧娜. 梧州市冬半年旅游气象条件分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33(S2): 86-87.
- [11] 张涛, 古明媚, 吴瑕. 气候变化对茂名旅游气候舒适度影响分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(1): 68-71.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. 人居环境气候舒适度评价 (GB/T27963-2011). 北京: 中国标准出版社, 2012: 1-2.
- [13] 李艳兰, 周美丽. 西江流域旅游气候舒适度的时空变化特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35(3): 65-70.
- [14] Mantao Tang. Comparing the “Tourism Climate Index” and “Holiday Climate Index” in Major European Urban Destinations [M]. University of Waterloo, 2013.

(上接第51页)

参考文献:

- [1] 林建, 杨贵名, 毛冬艳. 我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势 [J]. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 171-181.
- [2] 李生艳, 周能, 苏洵. 广西大雾天气的气候及环流形势特征 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30(4): 14-17.
- [3] 陈燕丽, 黄永麟, 何立, 等. 北部湾海雾气候特征及变化初步解释 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16(36): 127-132.
- [4] 陈燕丽, 郭晓薇, 黄永麟, 等. 广西北部湾海雾天气形成预测研究 [J]. 科学技术与工程, 2017, 17(27): 133-137.
- [5] 卢峰本, 黄滢, 覃庆第. 北部湾海雾气候特征分析及预报 [J]. 海洋预报, 2006, 23(S1): 68-72.
- [6] 黄滢, 江源源, 郭亮. 广西沿海雾的气候特征及形成条件分析 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(31): 15343-15345.
- [7] 邓英姿, 李勇, 许文龙, 等. 广西沿海地区大范围雾气候特征与天气形势分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29(4): 20-22.
- [8] 孔宁谦. 广西沿海雾的特征分析 [J]. 广西气象, 1997, 18(2): 41-45.
- [9] 蒋静, 凌宗良, 李新华, 等. 广西防城港市一次连续大雾天气的特点 [J]. 广东气象, 2010, 32(2): 39-41.
- [10] 冯厚文. 东兴市大雾特征及其预报 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S1): 78-80.
- [11] 郑凤琴, 高晋徽, 罗小莉, 等. 北部湾经济区工业排放对广西二氧化硫浓度分布影响的数值模拟 [J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1): 82-86.

(上接第59页)

- [5] 古鸣, 黄帆. 梧州市及贺州市春季 (2-3 月) 气温变化气候诊断分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29(S): 66-67.
- [6] 黄归兰, 王庆国. 数值预报产品南宁 24h 降水预报检验 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S): 60-61.
- [7] 郑凤琴, 孙崇智, 陈冰廉. 2002 年 7-9 月数值预报产品广西降水预报检验 [J]. 广西气象, 2003, 24(3): 6-8.
- [8] 扬仁勇, 黄红. 用多元线性回归分析作凯里站 5 月逐日晴雨预报 [J]. 贵州气象, 2001, 25(1): 18-19.
- [9] 吴书君, 李建华. 用日本数值预报产品结合单站资料作春季晴雨预报 [J]. 山东气象, 1996, 16(1): 32-34.
- [10] 万日金, 何夏江, 李世华. 用一次最佳子集回归作晴雨预报 [J]. 广东气象, 1999, (2): 3-6.