

北部湾海雾过程的天气系统分型研究

郑凤琴¹, 李生艳², 苏志¹, 叶庚姣¹

(1.广西气象服务中心,广西 南宁 530022;2.广西气象台,广西 南宁 530022)

摘 要: 采用2011—2016年NCEP/NCAR再分析格点资料和北部湾沿海6个气象站的常规气象观测资料,利用天气学方法对北部湾沿海出现大雾时的大尺度天气背景、地面形势进行了分类总结,探寻北部湾发生海雾时各类型天气系统的共同特点。结果表明:北部湾海雾的天气环流类型可分为西南倒槽型、入海高压后部型、均压场型、静止锋型、冷锋前部型和高压底部型,其中西南倒槽型、入海高压后部型、均压场型、静止锋型是4种主要的环流型,造成的北部湾海雾日数相对较多,而冷锋前部型和高压底部型造成的海雾日数较少;西南倒槽型、静止锋型的海雾过程持续时间较长、能见度较低,高压底部型的海雾消散较快;地面风速小、500 hPa高空存在偏西或西南急流、大气层结稳定是海雾出现时各类天气型的共同特点。

关键词: 海雾;天气系统;北部湾

中图分类号: P732 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2019)04-0044-08

1 引言

海雾是海洋上低层大气中的水汽凝结现象,是影响海面大气能见度的重要因素之一^[1-2]。近年来,随着我国经济的快速发展,海上船舶运输日益繁忙、通航密度增大,海雾对航海活动、平台作业和海上渔业的影响也越来越明显^[3-4]。相关研究表明,天气系统的变化是影响海雾发生、发展和消散的主要因素^[5-9],大气边界层内的层结与水汽状况的演变也与相应的天气系统密切相关^[10-11],因此开展海雾发生时的天气系统分型研究,对全面认识不同类型海雾的发生发展规律、以及促进海雾预报预警业务发展具有重要意义。李昀英等^[12]将台湾海峡地区形成雾的天气形势,分为冷平流主导型、暖平流主导型、均压场型和台风外围型4种天气类型;黄彬等^[13]归纳出黄海海雾的850 hPa和地面形势有冷锋型、高压后部型和均压场型3种;郑怡等^[14]指出当渤海中西部各海区处于均压场时,海雾出现的概率最高;

黄克慧等^[15]研究指出西南暖湿气流的输送是浙南沿海海雾生成的必备环流背景;而冷高压东移南下、风速增大和层结不稳定是浙南海雾消散的影响因素。徐峰等^[16]总结出粤西海雾发生、发展的天气形势是高压型、低槽型、冷锋型、静止锋型和均压场型共5类;张曦等^[17]发现2013年春季厦门的海雾主要与冷锋、低压倒槽和高压入海密切相关;卢峰本等^[18]指出北部湾海雾天气过程的主要天气形势包括冷锋前、地面高后和弱冷空气影响等。

北部湾三面为陆地环抱,是我国南向通道的枢纽区域,同时也是我国沿海主要的海雾多发区之一,年海雾日达到20 d以上^[19],研究北部湾海雾出现的天气特点,有助于深入了解北部湾海雾的生成机理,对提升海雾的预报能力、防范因雾造成的灾害具有重要的现实意义。本文利用2011—2016年最新的能见度观测等资料,研究北部湾海雾的天气系统分型,分析了不同大气环流对北部湾海雾的影响,以期北部湾海雾预警预报业务提供一些有益

收稿日期: 2018-12-29; 修回日期: 2019-03-22。

基金项目: 广西自然科学基金(2016GXNSFAA380330)。

作者简介: 郑凤琴(1978-),女,高级工程师,硕士,主要从事专业气象预报研究与服务工作。E-mail:zhengfengq@sohu.com

的参考。

2 资料与方法

根据中国气象局《地面气象观测规范》对雾的定义,将某地水平能见度低于1 km判定为出现雾,若一天中4个观测时次内任一个时次出现雾,则这一天为有雾。选取北部湾沿岸东兴、钦州、合浦、北海、防城和涠洲岛共6站为代表站,凡是一天中有3站或以上出现雾定为一个海雾天气过程。采用2011年1月1日—2016年12月31日北部湾6个气象站的逐日能见度、相对湿度和观测雾日资料,以及NCEP/NCAR(美国国家环境预报中心, National Centers for Environmental Prediction/美国国家大气研究中心, National Center for Atmospheric Research)逐日海平面气压场、500 hPa和850 hPa高度场、风场等再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,利用天气气候学方法对北部湾海雾过程的天气系统分型进行研究,采用Pasquill稳定度分类法^[20]计算大气层结稳定度和混合层高度,大气稳定度分为强不稳定、不稳定、弱不稳定、中性、较稳定和稳定6级,分别用A、B、C、D、E和F表示。

3 天气系统特征

统计了2011—2016年北部湾海雾的观测数据,共获得北部湾87个海雾天气过程。通过对相应的历史500 hPa高度场、850 hPa高度场和地面天气图进行统计分析,发现造成北部湾海雾的地面天气形势主要包括:西南倒槽型、入海高压后部型、均压场型、静止锋型、冷锋前部型和高压底部型(见表1)共

6种天气类型,其中西南倒槽型和入海高压后部型造成的北部湾海雾过程所占的比例相对较高,分别为28.7%和26.4%,而冷锋前部型和高压底部型造成的海雾很少,分别占9.2%和4.6%。西南倒槽型和静止锋型的海雾过程持续时间相对较长、能见度较低,时常造成长时间大雾笼罩,影响航海通行和平台作业等;而高压底部型造成的海雾过程,一般情况下持续时间最短,多出现在夜间至清晨,太阳出来后随即消失。

3.1 西南倒槽型

西南倒槽型海雾多数出现在2—3月份,此时正值冬春季节交替、大气环流调整时期,冬季风逐渐减弱、夏季风尚未建立的特定环流背景下,近海岸海面温度较低。当地面在中南半岛或云贵高原形成一个向西开口的西南倒槽时,北部湾沿海位于倒槽南侧,受西南或偏南气流的影响。对应850 hPa在中南半岛或云贵高原有一个暖中心,海面有暖平流存在,低空增暖不仅促使地面倒槽不断加强成为暖低压环流,并且有利于地面或低空出现逆温。500 hPa高空受南支槽前西南急流或较宽厚的偏西气流影响,暖湿空气深厚,有利于水汽源源不断地向北部湾地区输送。在这种天气形势背景下,来自海上温度、湿度均较高的气流经过北部湾沿海水温较低的海面上,冷却形成平流雾。这与朱乾根等^[21]分析指出的气旋发展与我国近海平流雾的形成密切联系,西南倒槽引起的平流雾主要出现在华南沿海,结论是一致的。据统计,这类海雾维持时间较长,有时出现连续几天的雾,西南倒槽型的海雾过程次数占总雾过程的28.7%,为各类天气型海雾过程次数之冠。

表1 2011—2016年北部湾海雾过程天气类型出现概率

天气类型	天数	频率/%	雾类型	天气形势
西南倒槽型	25	28.7	平流雾	主要出现在春季,低压倒槽位于中南半岛或云贵高原,向西南开口
入海高压后部型	23	26.4	平流雾	多数出现在冬季和春季,高压中心位于120°E以东,28°N附近的海上
均压场型	17	19.5	辐射雾	多数出现晴朗的早晨,无明显的高低压系统
静止锋型	10	11.5	平流雾	冷空气南下过程中势力减弱在沿海地区形成静止锋
冷锋前部型	8	9.2	平流雾	海雾区域处于冷锋前部的暖区
高压底部型	4	4.6	辐射雾	主要出现在冬季,高压中心位于大陆,125°E以西

2012年3月4—7日北部湾出现了大范围的海雾天气,其中涠洲岛、北海连续4 d均处于大雾的笼罩之中,钦州也出现了3 d的雾天气,各站平均能见度低于500 m,涠洲岛能见度仅为200 m。图1为2012年3月4日12时(世界时,下同)的海平面气压场和500 hPa高度场分布,由图1a可见,3月4日在中南半岛有一暖低压发展,广西境内出现向西南开口的西南倒槽,北部湾位于倒槽的边缘,等压线呈西南-东北走向,受西南气流影响,平均风速小于4 m/s;500 hPa受南支槽前西南暖湿气流影响(见图1b),大量水汽向广西上空输送,暖湿气流经过水温较低的海面时,水汽冷却凝结从而形成了3月4—7日的北部湾海雾天气过程。

3.2 入海高压后部型

入海高压后部型的北部湾海雾常见于春季和冬季。这类海雾天气形势的特点是:地面高压主体从华东沿海逐渐东移变性入海,高压中心位于 120°E 以东、 30°N 附近的海洋面上,北部湾沿海处于变性高压脊后部偏东到东南气流影响,来自南海的暖湿气流向北部湾输送和聚集。500 hPa高空通常受南支槽后偏西波动气流影响,850 hPa在北部湾附近存在一支强盛的西南暖湿平流(12 m/s),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,暖湿空气经过冷水区时冷却达到饱和从而形成平流雾。该类型的北部湾海雾天气,往往伴随着绵绵细雨或小雨天气,水平能见度甚至更低,

海雾的持续时间长短关键看变性高压的维持时间而定,有时可出现连续2~3 d的雾日,有时仅维持几个小时。入海高压后部型的海雾过程次数占总雾过程的26.4%,在各类天气型中居第二位。

图2是2014年3月10日地面气压场和500 hPa高度场的分布情况,由图2a可以看出,影响大陆的冷高压逐渐回暖并向偏东方向移动,在长江口入海,受冷空气东移入海变性为暖高压的影响,北部湾沿海处于其后部气压梯度力较小的区域,近地面受弱的东南气流影响,风速为 $1\sim 2\text{ m/s}$,大气层结较为稳定。500 hPa高空受偏西多波动气流影响(见图2b),表明水汽源源不断地向北部湾上空输送。从图2分析可知,北部湾沿海位于入海高压的后部,受东南气流影响,来自南海的暖湿气流向广西聚集,经过北部湾沿岸水温较低的冷水区域时,冷却饱和形成海雾过程。雾最早出现在南部涠洲岛,而后逐步蔓延到沿岸地区,平均能见度只有200~300 m;雾出现在11、12日晚上到第二天上午,下午大雾转为轻雾,能见度为3 km左右。

3.3 均压场型

研究区域均压场形成的原因主要有两种,一是西太平洋高压脊西伸至海南岛沿海,但主体势力不强,致使北部湾地区处于均压场内;二是西太平洋高压与青藏高原高压对峙,北部湾地区处于鞍形场内,受大范围的均压场控制。地面处于均压场内,没有明显的高低压天气系统,气压梯度小,风速接近静

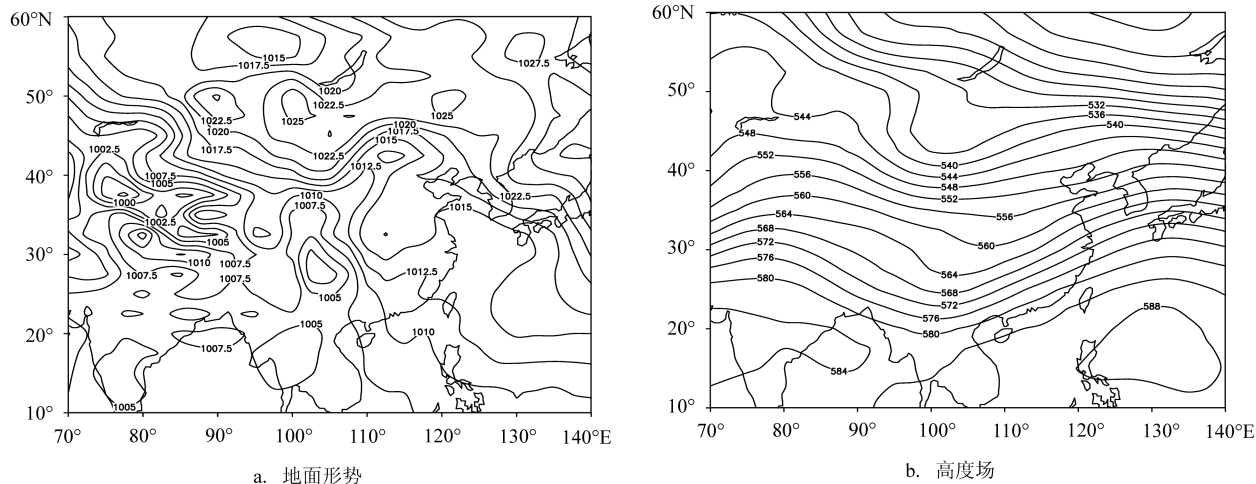


图1 2012年3月4日12时西南倒槽型地面形势和500 hPa高度场

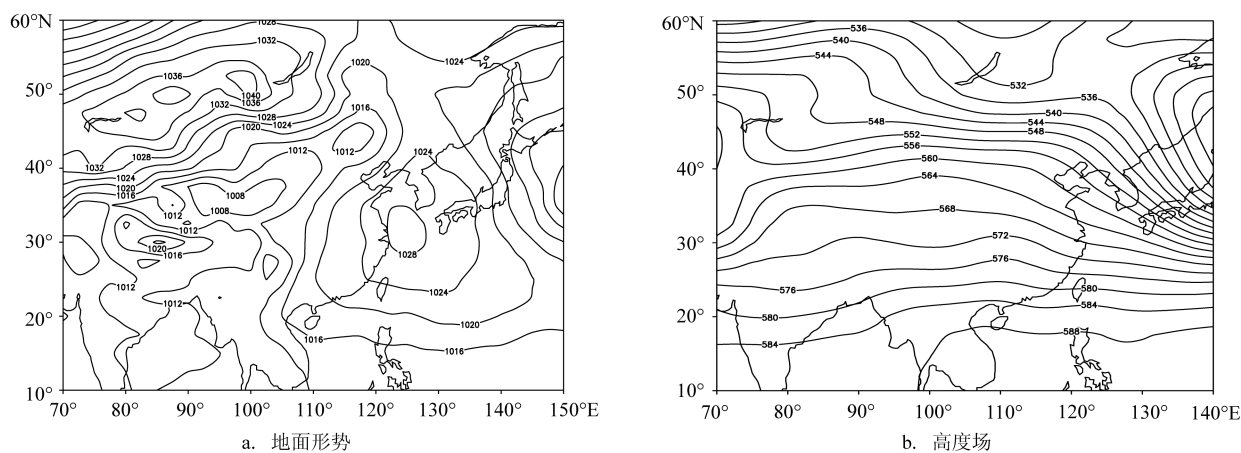


图2 2014年3月10日12时入海高压后部型地面形势和500 hPa高度场

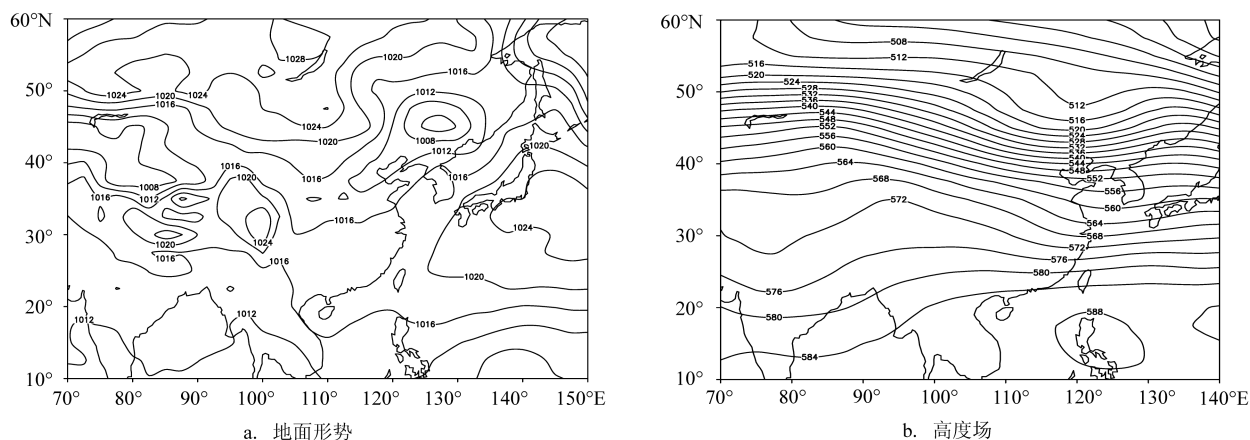


图3 2014年1月29日12时均压场型地面形势和500 hPa高度场

风,大气层结稳定,天气晴朗。500 hPa受偏西气流影响、环流较为平直,850 hPa华南大部地区受西南气流控制,有利于大量的水汽向北部湾地区聚集、空气湿度层增厚,在夜间强烈的辐射冷却作用下,北部湾沿海在夜间或清晨时常有大雾生成,属于辐射雾,持续时间不长,通常白天太阳出来后很快就消散。均压场型的海雾过程次数占总雾过程的17.5%,在各类天气型中居第三位。

2014年1月29—30日,受均压场天气形势影响,北部湾夜间出现大片海雾天气,平均能见度为800 m,雾区覆盖北海、涠洲岛、防城和钦州等地;30日白天天气晴朗,太阳出来后雾很快消散,能见度增至近20 km。从地面天气图(见图3a)看到,北部湾地区的地面气压为1 018 hPa左右,气压分布比较均

匀,没有明显的气压梯度,地面以东南风(0~2 m/s)为主,风力很小;从图3b的500 hPa高度场分析可见,高层受弱南支槽前的偏西气流影响,槽区无明显云系对应,西太平洋副热带高压强度偏弱、位置偏南,同时850 hPa北部湾沿海受偏东气流和西南气流的共同影响,带来了海上大量的暖湿空气,但风场辐散,天气晴朗,气流在夜间辐射冷却作用下形成短暂的海雾天气。

3.4 静止锋型

静止锋型造成的海雾天气形势是冷空气主力偏东,冷锋在南下过程中受下垫面加热和摩擦影响,进入华南沿海时冷空气势力已大大减弱,冷气团与海上暖气团相互对峙,在沿海地区缓慢摆动或

静止从而形成静止锋。北部湾地面吹偏东到东北风,850 hPa切变线和锋区在广西中部一带维持和摆动,500 hPa高空通常有较宽厚的偏西急流与之配合。静止锋附近气压差较小,风速差也较小,但冷暖空气充分混合,弱冷空气经北部湾海面,由于海面水汽蒸发遇冷凝结,容易在北部湾形成海雾,并时常伴有毛毛雨、小雨等天气。据统计,此类型海雾过程次数占总雾过程的11.5%,平均维持时间可达1.2~2 d。

分析了2012年1月14日的地面气压和500 hPa高度场的分布情况(见图4),由图可以看出,从1月12日开始,冷空气逐渐扩散南下影响广西,逐渐移动到沿海地区一带,14日在北部湾沿海形成静止锋,中低层切变线在广西中部摆动,静止锋暖区一侧主要为偏南气流控制,中高层500 hPa以槽前偏南气流为主,在静止锋附近暖气团交绥,湿度较大,在海面水汽蒸发和锋面抬升作用下形成了北部湾海雾过程,并伴有小雨天气。海雾天气持续了2 d,平均能见度为650 m,其中14日北海的能见度只有200 m,直到新一股冷空气南下,海雾天气才得以缓解。

3.5 冷锋前部型

冷锋前部型天气形势的主要特点是,冷空气强度较强、移速较快,冷空气主力从中路到西路大举南下,当冷锋移到长江以南至南岭以北地区时,广西沿海及北部湾正处在冷锋前暖区之中,地面吹偏

南风,气温较高、湿度较大,日夜温差也较大,冷锋引导850 hPa切变线南移到桂北、桂中一带,500 hPa一般有华北槽或高原槽东移,整个广西受强盛的偏西南气流影响,当冷锋南移至沿海地区,冷锋后的冷空气迫使锋前的暖湿空气沿锋面爬升,冷却凝结形成雾滴。据统计,此类型海雾维持时间较短,发生次数也较少,仅占总雾过程的9.2%。

2014年3月4日出现了冷锋前部型的海雾过程,大约17时开始各站点相继出现能见度低于1 km的情况,涠洲岛能见度为500 m。从大雾出现前一日的地面气压场和500 hPa高度场(见图5)可以看到,地面冷锋南移到华南中北部,500 hPa高原槽东移,引导850 hPa切变线和锋区南移到桂北、桂中一带;雾出现时,地面冷锋已经移到沿海地区,但高空仍然受偏南暖湿气流影响,冷锋后的冷空气迫使锋前的暖湿空气沿锋面爬升,冷却凝结形成雾滴,造成了北部湾沿海锋面雾的出现。随着冷锋推进到海上,北部湾各站点的能见度增大,涠洲岛能见度达到10 km,大雾过程结束。

3.6 高压底部型

高压底部型造成的海雾主要出现在冬季(12月)。此类型的天气形势主要是地面冷锋快速南移到南海海面,北部湾处于冷锋后的高压底部,500 hPa西太平洋副热带高压从东南沿海迅速西进,稳定地控制华南及沿海大部分地区,以辐散下沉气流为主,天气晴好,日夜温差较大,白天受太阳照射海面

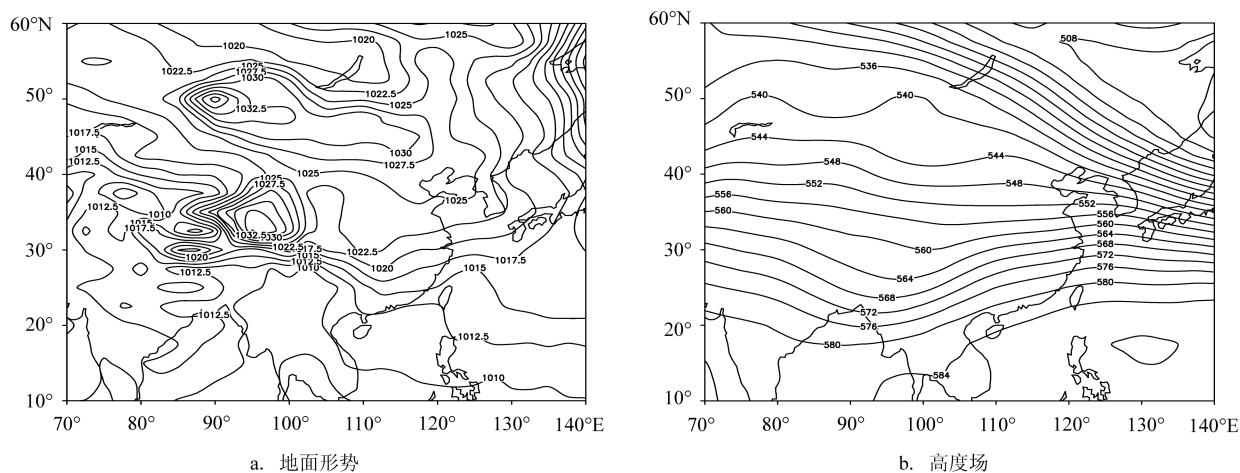


图4 2012年1月14日12时静止锋型地面形势和500 hPa高度场

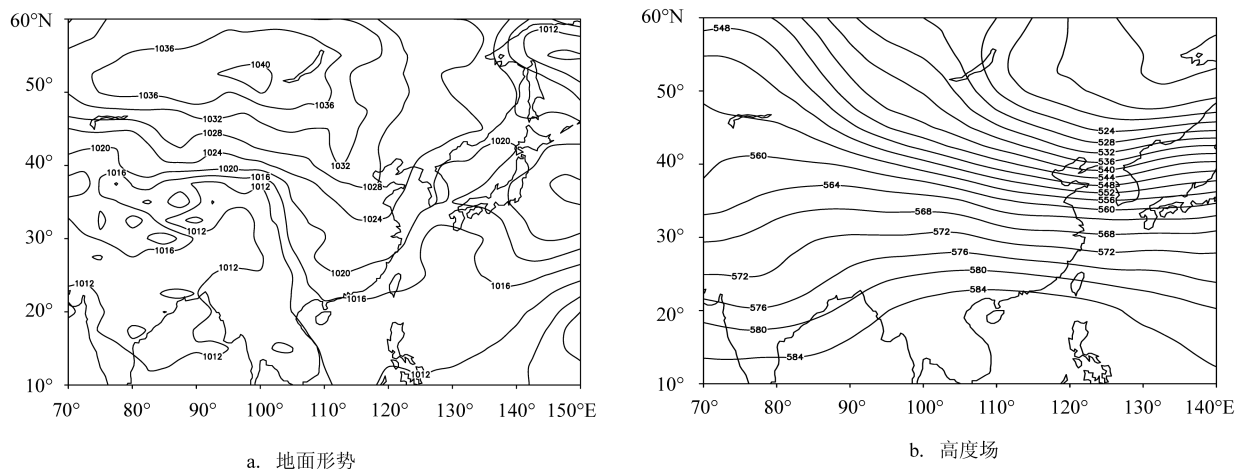


图5 2014年3月4日12时冷锋前部型地面形势和500 hPa高度场

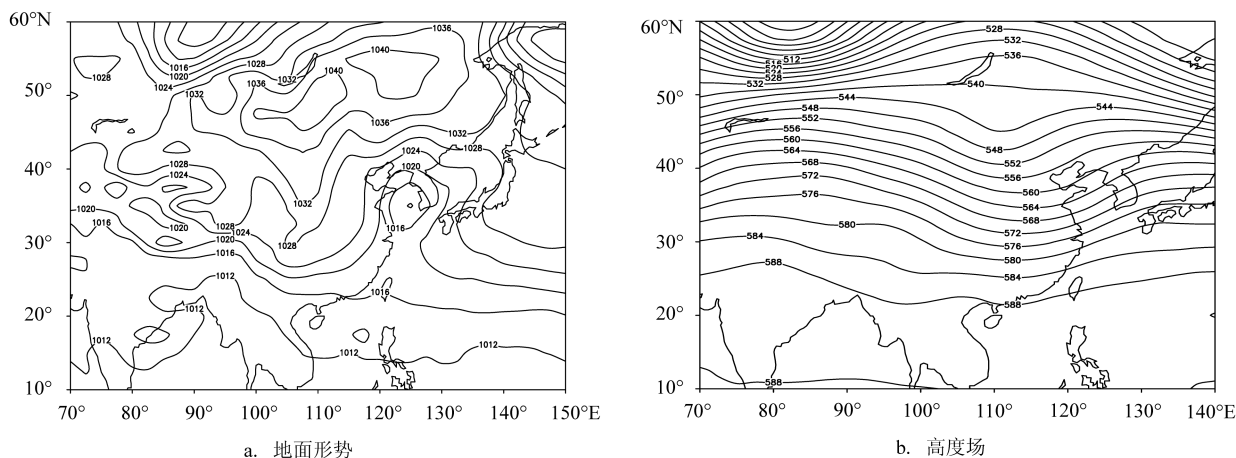


图6 2016年12月21日12时高压底部型地面形势和500 hPa高度场

温度较高,夜间海面上空的气团冷却、大气趋于饱和,形成辐射雾。此型出现概率较小,在2011—2016年87个海雾过程中仅有4个,约占4.6%。海雾持续时间也较短,通常出现在夜间或早晨,太阳出来即消失,但经常可连续几天出现。

2016年12月21日,北部湾出现了高压底部型的大雾天气过程。过程开始的时候,广西地面等压线呈东西走向(见图6a),较为密集,说明冷空气强度偏强,地面广西盛行偏北风,引导冷空气南下到达海面,北部湾位于高压底部。同时从12月21日500 hPa高度场(见图6b)的分布情况可见,西太平洋副热带高压从东南沿海迅速西进,控制整个华南地区,副高脊线位于22.5°N,受副高控制,大气层结稳定,天气晴朗,夜间海面气团迅速冷却从而形成

这次海雾过程。雾区覆盖东兴、防城和钦州,大雾出现在21日夜里到22日凌晨,持续时间仅4 h,平均能见度为800 m,太阳出来后大雾消失,天气晴好。

4 不同类型海雾大气层结特点

低空风场是海雾形成的一个重要因子,而其它因子如大气稳定度、混合层高度都与风场有关。根据2011—2016年海雾过程出现当天14时的风向、风速统计表明(见表2),除高压底部型外其它类型海雾的风速均低于4 m/s,其中入海高压后部型海雾的风速甚至小于2 m/s或出现静风,风向多为偏南风或偏东风。从大气稳定度的分布来看,西南倒槽型、入海高压后部型、静止锋型和冷锋前部型稳定

表2 不同类型海雾过程稳定度、混合层高度情况

天气类型	西南倒槽型	入海高压后部型	均压场型	静止锋型	冷锋前部型	高压底部型
稳定度	D~E	E~F	B~C	D	D	B~C
混合层高度/m	523	207	1309	392	621	1776
风向	偏南	东南	偏北	偏南	偏北	偏东
风速/(m/s)	2.3	1.5	3.6	2.6	2.7	5.1

度为D~F,即大气层结较稳定,混合层高度为207~523 m,大多数情况低于500 m,而均压场型、高压底部型稳定度为B~C,大气存在弱不稳定,相应的混合层高度更高,雾持续时间较短。

5 小结

(1)造成北部湾海雾过程的天气形势有6种类型:西南倒槽型、入海高压后部型、均压场型、静止锋型、冷锋前部型和高压底部型,其中西南倒槽型、入海高压后部型、均压场型和静止锋暖区型是4种主要的环流型,其频率之和达到86.1%,西南倒槽型造成的北部湾海雾过程最多,为28.7%;而冷锋前部型和高压底部型造成的海雾过程较少;

(2)在西南倒槽、静止锋影响下生成的海雾过程,通常情况下生持续时间比较长、能见度比较低,经常造成长时间大雾笼罩,对海上航行、渔业养殖影响较大;而高压底部型造成的海雾,一般情况下持续时间最短,多出现在夜间至清晨,太阳出来随即消失;

(3)北部湾海雾过程主要出现在冬春季节,各类天气型的共同特征:北部湾及华南地区500 hPa高空一般有偏西或西南急流,有利于高空水汽向该区域输送,增大空气湿层厚度,低层和地面一般为偏南风,但风速不大,利于水汽的积聚。大气层结稳定,混合层高度较低,有利于低能见度海雾过程的维持。

参考文献:

[1] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983: 1-352.
 [2] 曲平, 解以扬, 刘丽丽, 等. 1988—2010年渤海湾海雾特征分析[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 285-293.
 [3] Li Y, Zhang S P, Thies B, et al. Spatio-temporal detection of fog and low stratus top heights over the Yellow Sea with geostationary satellite data as a precondition for ground fog detection—a feasibility study[J]. Atmospheric Research, 2015, 151: 212-223.

[4] 傅刚, 宋亚娟. 北太平洋海雾发生频率的气候特征[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(10): 35-41.
 [5] 岳岩裕, 牛生杰, 赵丽娟, 等. 湛江地区近海岸雾产生的天气条件及宏微观特征分析[J]. 大气科学, 2013, 37(3): 609-622.
 [6] Lewis J, Koracin D, Rabin R, et al. Sea fog off the California coast: viewed in the context of transient weather systems[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D15): 4457, doi: 10.1029/2002JD002833.
 [7] Tachibana Y, Iwamoto K, Ogawa H, et al. Observational study on atmospheric and oceanic boundary-layer structures accompanying the Okhotsk anticyclone under fog and non-fog conditions[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2008, 86(5): 753-771.
 [8] 徐旭然. 胶东半岛北部沿海海雾特征及成因分析[J]. 海洋预报, 1997, 14(2): 58-63.
 [9] 孔宁谦. 广西沿海雾的特征分析[J]. 广西气象, 1997, 18(2): 41-45.
 [10] 杨悦, 高山红. 黄海海雾天气特征与逆温层成因分析[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(6): 19-30.
 [11] 廖国莲, 郑凤琴, 曾鹏, 等. 广西霾天气系统分型[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 149-154.
 [12] 李昉英, 王汉杰. 台湾海峡地区雾形成的天气类型分析[J]. 热带海洋, 2000, 19(4): 65-70.
 [13] 黄彬, 毛冬艳, 康志明, 等. 黄海海雾天气气候特征及其成因分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(6): 920-929.
 [14] 郑怡, 李冉, 史得道, 等. 渤海中西部近海与沿岸海雾的特征分析[J]. 海洋预报, 2016, 33(6): 74-80.
 [15] 黄克慧, 张意权, 周功铤, 等. 浙南沿海海雾特征分析[J]. 浙江气象, 2006, 28(1): 18-22.
 [16] 徐峰, 王晶, 张羽, 等. 粤西沿海海雾天气气候特征及微物理结构研究[J]. 气象, 2012, 38(8): 985-996.
 [17] 张曦, 牛生杰, 魏锦成, 等. 厦门春季海雾天气分类及典型个例宏微观结构分析[J]. 气象科学, 2016, 36(1): 121-127.
 [18] 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.
 [19] 屈凤秋, 刘寿东, 易燕明, 等. 一次华南海雾过程的观测分析[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 490-496.
 [20] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 58-100.
 [21] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1981: 412-414.

Study on weather types of sea fog process in Beibu Gulf

ZHENG Feng-qin¹, LI Sheng-yan², SUZhi¹, YE Geng-jiao¹

(1. Guangxi Meteorological Service Center; Nanning 530022 China; 2. Guangxi Meteorological Observatory; Nanning 530022 China)

Abstract: Based on the National Centers for Environmental Prediction(NCEP) reanalysis grid data from 2011 to 2016 and observations of 6 meteorological stations in Beibu Gulf, we analyze the large scale synoptic background and ground situation using the method of synoptic meteorology and study the common characteristics of different weather systems during sea fog events in the Beibu Gulf, . The results show that the weather systems that cause sea fog in Beibu Gulf can be categorized into 6 types: southwest inverted trough, high pressure rear entering the sea, equal pressure, stationary front, front of cold front and bottom of high pressure. The first four of the aforementioned types are the main weather systems that cause relatively more sea fog days in the Beibu Gulf, while the last two types cause less sea fog days. The duration of sea fog process caused by southwest inverted trough and stationary front types last longer with a relatively lower visibility, whereas and the sea fog dissipates quickly under bottom of high pressure type. The slow ground wind speed, west or southwest jet at 500hPa and stable atmospheric stratification are the common features of different weather systemss that cause sea fog process.

Key words: sea fog; weather system types; the Beibu Gulf