

# 黄海春季海雾的年际变化研究\*

张红岩<sup>1</sup> 周发<sup>2</sup> 张晓慧<sup>3</sup>

(北京大学物理学院 北京 100081; 北海舰队海洋水文气象中心 青岛 266003)

<sup>1</sup>(中国海洋大学 青岛 266003)

<sup>2</sup>(北海舰队海洋水文气象中心 青岛 266003)

**提要** 利用黄海沿岸有代表性测站的常规观测资料和 NCEP/NCAR 资料,对黄海春季海雾年际变化进行了分析发现,雾多年份冬季环流减弱、低层流场向黄海为偏南向流入、中低层水汽充足、层结稳定;有雾时气温水温差在 0.5—2.2℃范围内,地面风向以 S-ESE 为主。分析结果表明,在春季黄海雾形成过程中,高空环流提供了暖湿空气的输送条件,低层流场及地面风场的分布有利于来自西太平洋低纬地区的水汽向黄海海区输送;中低层水汽充沛,层结稳定,水气温差在一定范围内有利于海雾的形成和维持。

**关键词** 黄海, 春季海雾, 年际变化

**中图分类号** P731

黄海是中国近海海雾发生最频繁的海区,每年的 4—7 月是黄海海雾多发季节,平均每月雾日 9 天左右,但年与年之间雾日多少有显著差异,如朝连岛 1963 年 5 月雾日数 18 天,1962 年 5 月雾日数只有 3 天。对于海雾发生的天气条件包括天气形势、天气系统、大气稳定度等以及海面条件已有一些研究报道(Fleagle, 1953; 王彬华, 1983)。这些研究成果,对于认识海雾的天气背景和短期预报是很有价值的。但是迄今为止,对于海雾的年际变化研究不多。5 月份海雾年际变化趋势与春季一致,为方便计,作者以 5 月份的年际变化为研究对象,侧重研究了对春季海雾形成最具影响力的气候条件,包括环流背景、低层流场和水汽输送、大气稳定度、水文条件等,以期有效地把握海雾形成的各种宏观条件,为短期气候预测提供可靠依据。

## 1 资料及处理

由于海洋资料观测的不连续和获取资料困难,作者选用黄海沿岸最具代表性的 3 个观测站(朝连岛、海洋岛、青岛)的资料对雾日的年际变化进行分析。海洋岛与朝连岛,朝连岛与青岛站雾

季雾日数的多少具有正相关性,相关系数达 0.57 以上,并通过 95% 的显著性检验。这说明黄海海雾的年际变化在空间存在良好的一致性,整个黄海海区海雾产生的气候背景是一致的。本文中以朝连岛为代表站,讨论春季黄海海雾的年际变化。根据世界气象组织提出的“异常”判别标准,用距平与标准差的关系来衡量。由于标准差是描写气象要素相对其平均值离散程度的统计量,取距平超过标准差达一定程度为异常是适当和方便的。将 5 月份朝连岛 1954—2001 海雾日数作标准化(距平/标准差)处理,本文中取标准化值大于等于 1.2 为偏多年(1954、1963、1968、1977、1982、1983 年共 6 年),小于等于 -1.2 为偏少年(1958、1960、1962、1979、1996、1999、2001 年共 7 年),见图 1。为揭示成雾条件的共性,利用 NCEP/NCAR (2.5° × 2.5°) 月平均资料,采用环流合成的方法,即把雾日数偏多或偏少年份的相关的物理场分别求和并平均,获得各自合成场,分析二者在环流结构、水汽通量条件等的异同(以下的距平场是相对于 1968—1996 年多年月平均场的距平),并利用青岛站探空资料,水文观测资料及朝连岛地面观测资

\* 国家高技术研究发展计划 863 基金资助项目,2001AA630304 号。张红岩,硕士, E-mail: cd1973@public.qd.sd.cn  
收稿日期:2003-03-15, 收修改稿日期:2004-06-13

料对其中两个典型个例作具体分析。

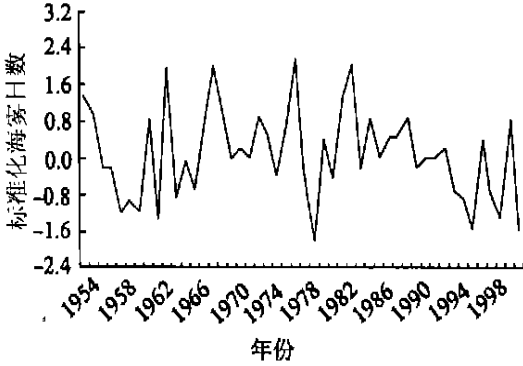


图 1 5 月份朝连岛标准化海雾日数

Fig. 1 Standardized sea foggy days of Chaoliandao in May

### 2 环流条件

春季是冬夏环流的过渡时期, 黄海春季海雾的年际变化实际上是大气环流的多变性的一种表现。黄海位于典型的东亚季风区, 分析海雾的大气环流

条件, 首先应当分析季风环流的特征。为此, 作者将分析  $60^{\circ}-160^{\circ}\text{E}, 0^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$  范围内的环流特征, 并对对流层中层  $500\text{hPa}$  环流为主, 兼顾  $850\text{hPa}$ 。5 月大气环流的基本流型仍然偏冬季流型, 在  $500\text{hPa}$  月平均图上(图略), 东亚大槽是研究区域的最重要的环流系统, 槽线位于日本海到长江口一线, 黄海及中国大陆位于槽后,  $40^{\circ}\text{N}$  以北有较明显的冷平流; 副热带高压位于  $20^{\circ}\text{N}$  以南, 黄海处在西风带。

研究表明海雾过程发生前, 低层有很强的暖平流(周发等, 1986)。本文中所分析的月平均环流结果表明, 海雾异常年份大气环流也明显异常, 海雾日偏多年份(图 2a)高空  $500\text{hPa}$ , 东亚大槽的位置明显偏西, 黄海处在槽前; 而偏少的年份东亚大槽的位置明显偏东, 黄海处在槽后(图略)。为了更突现这种环流差异, 作者用异常年份  $500\text{hPa}$  的位势高度、温度场的距平合成图来表示(图 2)。从图 2 看出, 在雾日偏多的年份, 东亚有

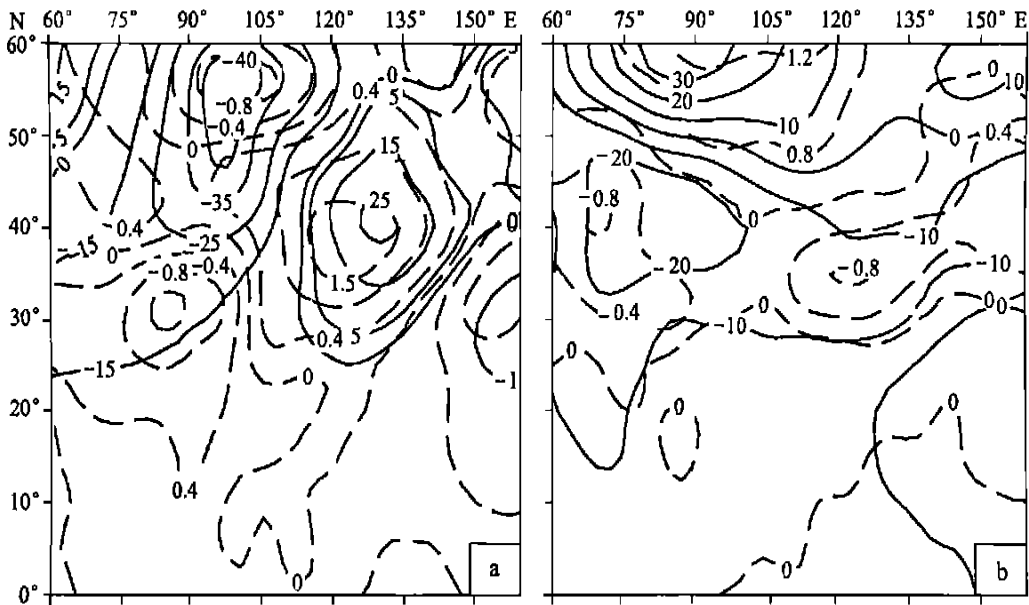


图 2 海雾日数偏多年份(a)和偏少年份(b)  $500\text{hPa}$  环流合成距平图  
(图中实线为位势高度距平, 单位: m, 长虚线代表温度距平, 单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 2  $500\text{hPa}$  circulation composite anomaly in the years with more foggy days(a) and less foggy days(b)  
(Solid line is for potential height anomaly, Unite: m; dash line is for temperature anomaly, Unite:  $^{\circ}\text{C}$ )

一个强大的暖性正位势距平系统, 跨越华北、华东、东海、黄海、渤海, 中心沿  $40^{\circ}\text{N}$  在日本海以东, 中心强度为  $+25\text{m}$ , 与其相应的暖中心略偏西, 中心强度为  $1.5^{\circ}\text{C}$ ; 在  $50^{\circ}\text{N}$  贝加尔湖附近是一温度和位势高度负距平区, 中心强度为  $-40\text{m}$ , 副热带

以南地区无明显的系统变化, 在雾日偏少的年份, 整个东亚中纬度都为位势高度负距平带,  $-10$  位势米的负位势高度距平控制  $30^{\circ}-45^{\circ}\text{N}, 60^{\circ}-160^{\circ}\text{E}$  广大地区, 整个黄海为温度负距平中心所控制; 在  $50^{\circ}\text{N}$  贝加尔湖以西是温度和位势高度正距平

区,系统配置与雾日偏多年份相反,但位置比前者偏北,副热带以南地区也无明显变化。这两种配置的异常系统叠加到平均环流场上,便导致东亚大槽位置在纬向较大幅移动,使得黄海处于东亚大槽不同的位置。在雾多的年份,黄海位于槽前,伴有较强的暖平流;相反,在雾日偏少的年份,黄海位于槽后,冷平流比常年偏强。前者便提供了黄海海雾形成的基本环流条件,而后者则相反。这种环流异常在对流层下层(850hPa)也保持了一致性(图略)。这一事实表明,影响黄海春季雾日多少的环流系统主要是中纬度系统,其是冬季环流强弱的具体表现,前者是冬季环流减弱,后者是冬季环流持续加强的结果。

### 3 水汽通量

海雾是水汽在低层大气中的凝结现象,低层充足的水汽是海雾形成和维持所需的重要条件,而暖湿气流是由风场向下游输送的,水汽通量和流场能较好的体现水汽的来源和输送。从1000hPa水汽通量和流线图(图3a, b)可以看出,在黄海海区上空的水汽通量值并不大,大值中心主要集中在低纬地区,说明海雾生成所需的水汽来源于中低纬,而不是局地提供的。海雾偏多和偏少年份水汽通量和流场的分布有很大的差别;

海雾偏多年份,在25°N以南,120°E以东西太平洋低纬地区,有一个水汽通量大值中心,水汽从该中心偏南和东南气流被输送到黄海,为黄海海雾的形成和维持提供了有利条件。这与以下分析的黄海海雾发生时地面主要为偏南-东南风是一致的。从图3a中还可以看出30°N以南,120°E以西也有两个水汽大值中心,但从流场分布来看,该处的水汽并不直接作用于黄海,而是向陆地输送的。这说明黄海海雾形成所需的水汽主要来源于西太平洋低纬地区。海雾偏少年份(图3b),虽然位于西太平洋地区的水汽大值中心和偏多年份相差不多,但从流场分布上来看,黄海海区是一个反气旋性流出中心,阻碍了源于西太平洋低纬的水汽向北输送,使黄海海区低层缺乏充足的水汽,不利于海雾的形成和维持。另外,从图4可以看出,海雾偏多和偏少年份水汽通量的垂直分布也有很大差异。海雾偏多年份(1963, 18天)(图4a),在900hPa以下,中低纬25°—30°N度之间有一水汽通量最大中心,而偏少年份(1962年,3天)水汽通量最大中心位于700hPa,低层没有充足的水汽供应。这说明海雾形成所需的水汽主要来源于中低层,中低层水汽充足,有利于海雾的形成;中低层水汽不足,则不利于海雾的形成。

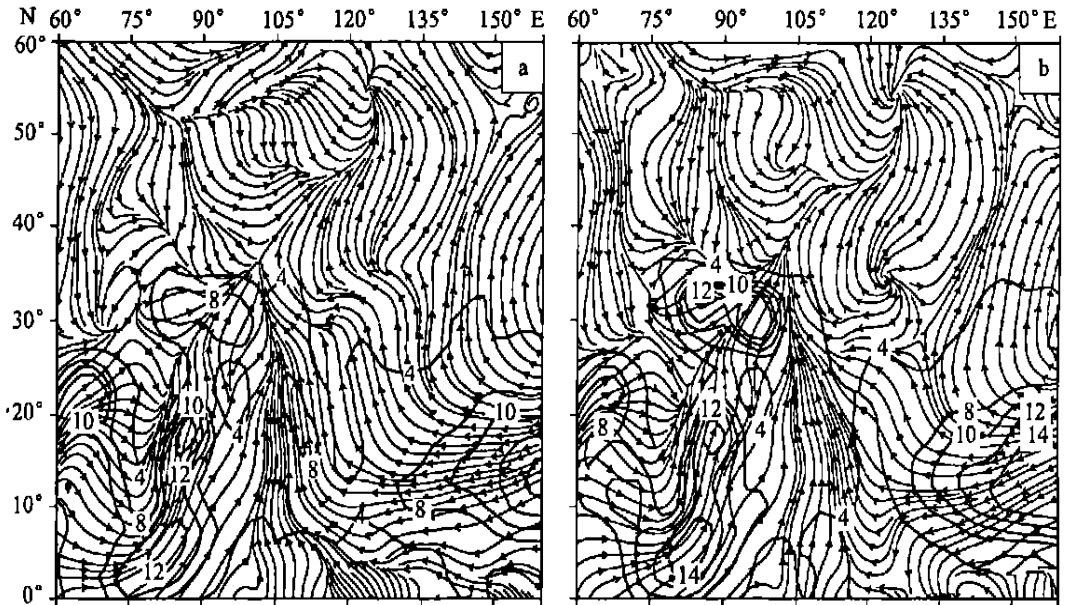


图3 海雾日数偏多年份(a)和偏少年份(b)1000 hPa水汽通量合成(单位:  $g/cm^2 \cdot hPa \cdot s$ )和流线合成图  
 Fig. 3 Map of 1000hPa vapor flux(Unit:  $g/cm^2 \cdot hPa \cdot s$ ) and stream line composition in the years with more foggy days(a) and less foggy days(b)

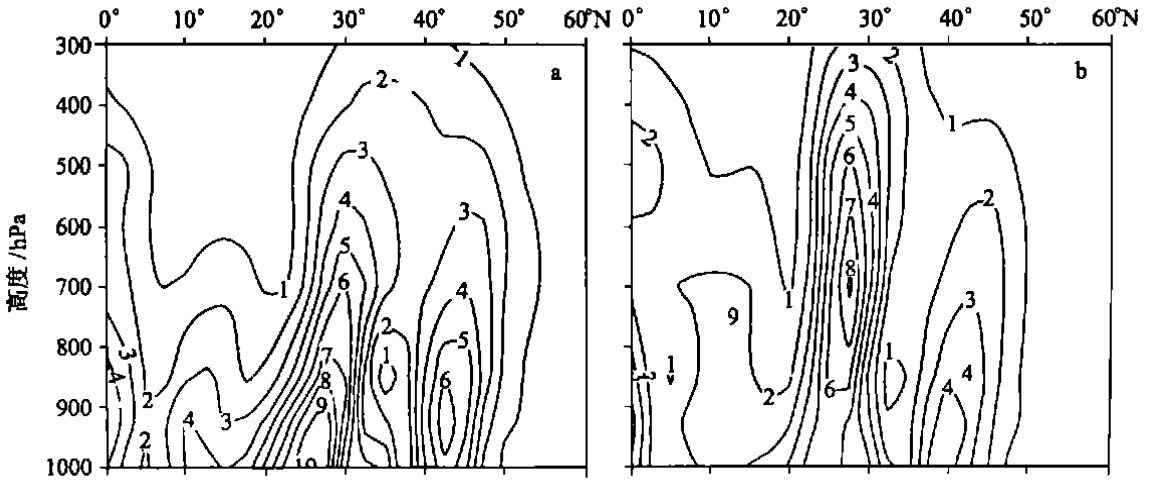


图4 1963年5月(a)和1962年5月(b)水汽通量沿122.5°E垂直剖面图

图中实线为水汽通量模(单位:  $g/cm^2 \cdot hPa \cdot s$ )

Fig.4 Vertical profile of vapor flux along 122.5°E in May 1963(a) and 1962(b)

(Solid line is for vapor flux, Unite:  $g/cm^2 \cdot hPa \cdot s$ )

### 4 风场

海雾出现在特定的天气形势下, 而天气形势最为明显的表现是在风场上。暖湿气流长时间存在, 对海雾的形成和发展十分重要, 尤其是当暖湿气流经过暖洋面时, 又获得大量的水分和热量, 一旦到达冷水面上空, 极易形成雾, 所以海雾的形成有一个盛行风向。根据朝连岛 1960—1976 年观测资料统计分析表明(图 5a): 黄海春季以 S-ESE 风时雾最多, 占 50%, 而 WNW-NW 风时出雾仅占 2%, 静风出雾占 3%; 风速条件从图 5b 可以看出, 春季各级

风速均有雾出现, 但在 2—10m/s 范围内有雾的机率占 93%, 其中风速 4—6m/s 的占 59%, 风速大于 10m/s 时出雾的机率只占 4%。显然, 海上风速的大小与海雾的形成也有密切关系。风速过大, 会使空气层中产生较强的湍流交换, 促使上下层空气的热量交换, 不利于雾的形成; 风速过弱, 上下层空气中的湍流交换较弱, 同时也不能大量输送暖湿空气到达研究海域海面, 即使有雾生成, 也不会维持较长时间。从风向、风速的最佳成雾条件可以看出, 海雾不同于辐射雾的基本特征。

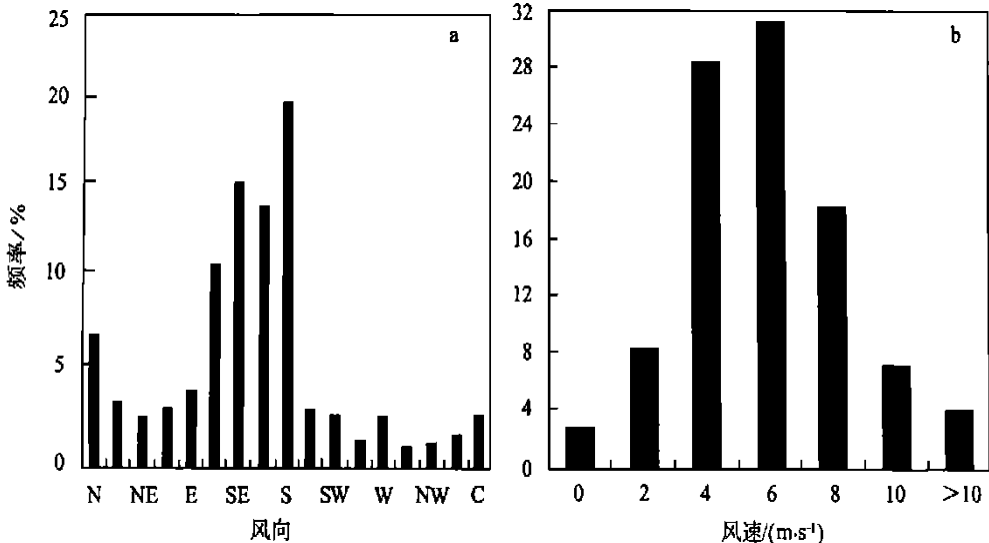


图5 朝连岛5月份有雾时风向(a)和风速(b)频率分布

Fig.5 Frequency distribution of wind direction (a) and wind speed (b) at foggy days in Chaoliandao in May

### 5 稳定度和下垫面条件

#### 5.1 稳定度条件

海雾是大气处于稳定层结状态下的一种凝结现象,在海雾的形成过程中,低层大气通常总有逆(等)温层存在(王彬华,1980)。逆温层的存在有利于海雾的维持,但对于海雾的形成不一定有直接作用。例如,1963年5月(偏多年,18天)和1962年5月(偏少年,3天)的海雾过程中,海雾发生时或发生前青岛站均有逆温存在,1963年5月(图6a)低层850hPa以下为逆温层,且露点温度的垂直递减率很小,低层温度露点差很小,湿度大,地面平均相对湿度达90%,这些都为海雾的形成和维持提供了有利条件。1962年5月(图6b),几乎整月都有逆温层,但露点温度垂直递减率很大,温度露点差也很大,中低层空气干燥,地面月平均相对湿度只有78%,海雾生成所需湿度条件不足,海雾难以形成,只出现3天海雾。

#### 5.2 下垫面条件

海面的冷暖程度是海雾生成的下垫面条件,研究朝连岛雾季各月有雾时的水温和气温关系(曹刚锋,1988)得出:雾季各月,85%—90%的雾是出现在气温高于水温的条件下,其中60%的雾出现时气温高于水温0—2℃。根据青岛近海海洋观测资料分析表明,朝连岛海雾日数和青岛近海气温水温差有明显的负相关(图7),相关系数达-0.54,通过了置信度为95%的显著性检验。1963年和1962年共21天海雾都出现在气温高于水温的条件下,且有18天海雾出现在气温高于水温0.5—2.2℃情况下。偏多年1963年月平均气温和水温差只有2.2℃,偏少年1962年月平均气温和水温差为3.3℃,说明水气温差只有在一定范围才有利于海雾的形成,过大或过小都不利于海雾的形成。另外,通过对海平面气压场的分析可知(图略),海雾偏多年份黄海位于气压正距平中心的后部,负距平的前部,这样的环流形势有利于低纬度的暖湿气流向北输送到冷海面,凝结形成雾。偏少年份黄海海区为正距平气压场控制,位于负气压距平的后部,海平面气压场的这种分布不利于低纬度暖湿气流向黄海冷海区输送,因此不利于黄海海雾的形成。

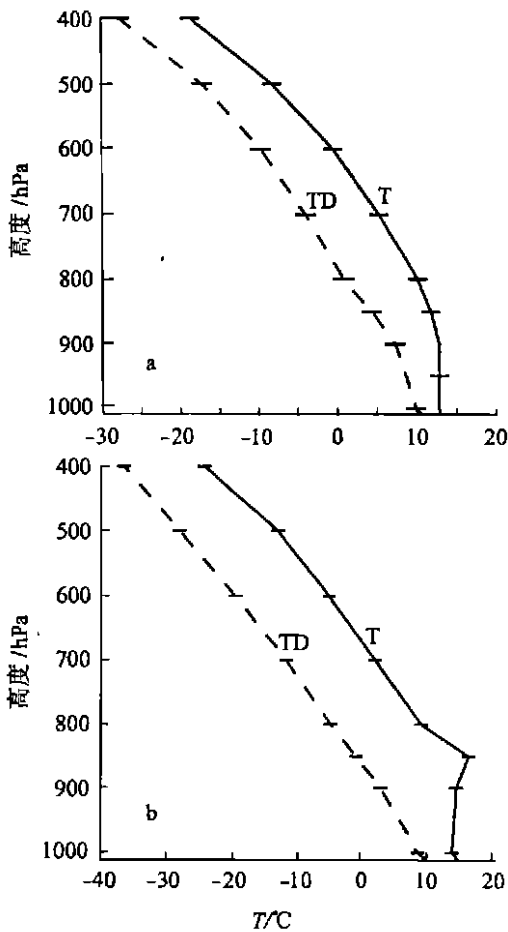


图6 1963年5月(a)和1962年5月(b)青岛月平均温度和露点温度随高度变化曲线

Fig. 6 Monthly average T and Td change curve, and altitude in May 1963(a) and 1962(b) in Qingdao

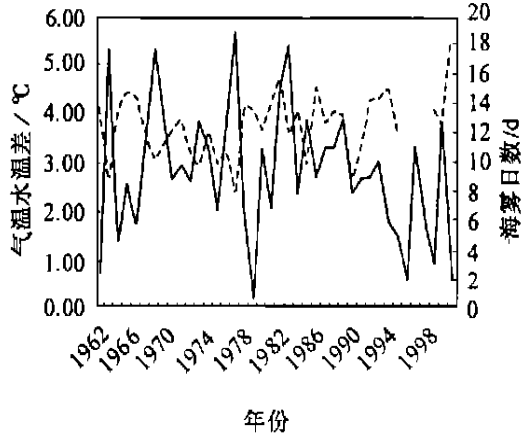


图7 5月份朝连岛海雾日数和青岛近海气温水温差变化曲线(虚线为朝连岛5月份海雾日数,实线为青岛近海气温水温差)

Fig. 7 Variation curve of sea foggy days of Chaoliandao and air-sea surface temperature difference in May (Dash line is for sea foggy days of Chaoliandao in May, solid line is for air-sea surface temperature difference in May at Qingdao offshore)

## 6 结论

(1) 春季黄海海雾的年际变化, 是大气环流多变性的一种体现, 异常年份大气环流异常。雾日偏多年份冬季环流减弱, 有利于低纬度暖湿气流向北输送到黄海海区; 而雾日偏少年份冬季环流增强, 不利于低纬度暖湿气流向北输送。

(2) 黄海海雾形成和维持所需水汽主要来源于西太平洋低纬度中低层, 而不是黄海局地提供的。海雾偏多年份流场分布使向黄海海区水汽输送充足, 有利于海雾的形成和维持; 偏少年份流场分布使黄海海区缺乏充足的水汽。

(3) 春季黄海海雾为 S-ESE 风, 风速在 2—10m/s 范围内出现的机率最大, 风速过大或过小都不利于海雾的形成和维持。这些特点明显区别于辐射雾。

(4) 海雾偏多年份空气层结稳定, 中低层空气湿度大; 海平面气压场的分布有利于低纬度暖湿空气输送到黄海海区凝结形成雾。

(5) 个例分析表明: 气温和水温差在 0.5—2.2℃范围内有利于海雾的形成和维持。

## 参 考 文 献

- 王彬华, 1980. 中国近海海雾持续和消散问题的探讨. 山东海洋学院学报, 10(2): 20—30 [Wang B H, 1980, The continuation and dissipation of sea fog along China coast and its vicinity. Journal of shandong college of oceanology, 10(2): 20—30]
- 王彬华, 1983. 海雾. 北京: 海洋出版社, 352 [Wang B H, 1983. Sea fog. Beijing: China Ocean Press, 352]
- 周发 , 刘龙太, 1986. 海雾. 山东海洋学院学报, 1: 114—127 [Zhou F X, Liu L T, 1986. Sea fog. Journal of shandong college of oceanology, 1: 114—127]
- 曹钢锋, 1988. 山东天气分析与预报. 北京: 气象出版社, 275—280 [Cao G F, 1988. Weather Analysis and Forecast of Shandong. Beijing: China Meteorological Press, 275—280]
- Fleagle R G, 1953. A theory of fog fomatation. J Marine Res, 12: 43—50

## INTERANNUAL CHANGE OF SEA FOG OVER THE YELLOW SEA IN SPRING

ZHANG Hong-Yan, ZHOU Fa-Xiu<sup>\*</sup>, ZHANG Xiao-Hui<sup>†</sup>

(The Physics College of the Peking University, Beijing, 100081;

Naval Oceanographic Hydrometeorological Centre of the North China Sea Fleet, Qingdao, 266003)

<sup>\*</sup> (Ocean University of China, Qingdao, 266003)

<sup>†</sup> (Naval Oceanographic Hydrometeorological Centre of the North China Sea Fleet, Qingdao, 266003)

**Abstract** Sea fog is sometimes dangerous condition for aviation and ocean shipping. It occurs mostly between April and July every year, with evident interannual change. It can provide reliable basis for short-range climatic forecast, in our case, to understand the climatic condition of sea fog occurrence over the Yellow Sea.

Because of the data insufficiency in the area, representative conventional observations along the Yellow Sea coast including Chaoliandao, Qingdao, Haiyangdao were used with NCEP/NCAR data to analyze the interannual change of sea fog over the Yellow Sea in spring. Good correlation was revealed in Chaoliandao, Qingdao and Haiyangdao by statistical analysis, which shows that the interannual change of the Yellow Sea fog is consistent in space, and the climatic background that sea fog occurs across the Yellow Sea is coherent. Therefore, Chaoliandao was taken as the representative station and the data there was used to analyze the interannual change. Because spring time is a transitional stage of atmospheric circulation from winter to summer, and data in May are coherent to the data of whole spring, so May was taken as the representative of spring to analyze the interannual change of sea fog. Abnormality can be evaluated in different scales by the relation between anomaly and standard deviation based on abnormal standard presented by WMO (World Meteorological Organization). Based on the standardized value, if it is greater than or equal to 1.2, more foggy days year is defined, if less than or equal to -1.2, less foggy days year is considered. The authors found that the climatic conditions favoring the fog formation are weak winter circulation, northward transportation of ample lower level vapors and stable stratification. When sea fog occurs, wind direction is range from S to ESE and the temperature difference between air and sea is range from 0.5 °C to 2.2 °C. Several conclusions are listed as follows:

1. The interannual change of spring sea fog over the Yellow Sea is related to the variability of atmospheric circulation. Abnormal circulation is accompanied by abnormal foggy year. Weak winter circulation is favorable for the northward transport of warm and wet air current from lower latitude producing more foggy days, and vice versa.

2. The vapor needed by the sea fog formation and maintenance comes mostly from lower latitude of the Pacific instead of locally provided. Favorable stream field in the lower level provides richer vapor to the Yellow Sea and generate more foggy days, and vice versa.

3. In the years of more foggy days, air stratification is stable, and the middle and low levels are moister. The pattern of the east high and west low SLP (surface level pressure) is favorable for moist air transportation from lower latitude and coagulation of the fog in the Yellow Sea.

4. Spring sea fog in the Yellow Sea occurs mostly when wind direction is between S and ESE and wind speed ranges from 2m/s to 10m/s, which is obviously different from the radiation fog.

5. Case study in the paper showed that sea fog is easy to occur when the temperature difference between air and sea is between 0.5 °C and 2.2 °C.

**Key words** Yellow Sea, Spring sea fog, Interannual change