

# 黄海春季海雾形成的气候特征

周发<sup>1</sup>, 王 鑫<sup>1</sup>, 鲍献文<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋环境学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:**采用合成与个例分析相结合的方法,对黄海春季(4月)海雾形成的大气环流条件、水汽输送条件以及海面条件(SST)进行了分析,并讨论了海面的有效长波辐射,结果表明,黄海春季海雾形成的水汽不是由局地提供的,而是由热带大气提供的,大气环流提供了暖湿空气的输送条件,海面条件相对并不重要,海雾在低层大气与海洋的热交换中具有明显地反馈作用.

**关键词:**黄海;海雾;气候特征

中图分类号: P722.5:P732

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2004)03-0028-

10

## 1 引言

海雾是海上和沿海一带的灾害性天气之一,雾中水平及垂向能见度低劣,严重影响航海及飞行安全,常常引起灾难性的事故.雾是边界层的一种凝结现象,由于雾的性质不同,其形成的物理过程不尽相同,但就其凝结的微物理过程而言,却有许多相似之处,例如凝结过程的湍流效应、辐射效应、液体水滴的碰并与沉降等<sup>[1~3]</sup>.然而,任何一种雾都是在一定的环境背景下产生的,包括大气环流条件、水汽条件、垫面条件等,只有当环境条件配置得当时,在边界层才有可能生成雾.黄海是我国近海海雾发生最频繁的海区,尤其春、夏季.雾季一般从4月开始,7月结束,3月之前,8月之后,海雾较少发生.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工作<sup>[4~6]</sup>.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,关于海雾的气候背景的研究不多.

分析表明,黄海4月海雾的年际变化趋势与春季(3~5月)基本一致,从4月海雾的年际变化切入,分析海雾形成的气候条件.由于海洋上雾的直接观测报告甚少,只能依靠沿岸测站雾的观测记录,尤其是长时间的气候序列.青岛站是黄海沿海历史久远很有代表性的气象站,分析表明,青岛站与黄海沿海其他站在海雾的季节变化、年际变化上,具有一致性,青岛站的雾

收稿日期: 2003-08-15; 修订日期: 2003-12-28.

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2001AA630304).

作者简介: 周发<sup>1</sup>(1937-),男,山东省青岛市人,教授,博士生导师,从事海洋气象研究. E-mail: zfx@mail.ouc.edu.cn

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

日记录可以用来研究黄海雾日年际变化的趋势. 必须指出, 黄海海雾多属平流冷却雾<sup>[5,7]</sup>, 春季尤甚. 平流雾的形成需要一定的环境背景和天气条件, 为此, 重点研究了对春季海雾形成最具影响力的气候条件, 包括大气环流、水汽输送、海表温度、海面有效长波辐射等条件以及各条件之间的相互关系, 以期有效地把握海雾形成的宏观条件, 为短期气候预测提供依据.

## 2 资料和方法

本文所用资料为 NCEP/NCAR 提供的  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  网格点 1948~2000 年 52 a 月平均的温度、位势高度、风场资料; NCEP/NCAR 提供的  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  网格点 1958~1997 年 40 a 月平均的地面温度、气压、地面相对湿度、高空比湿资料; COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  网格点 1945~1989 年全球表层月平均 SST 和 SAT 资料; 青岛气象站 1948~1997 年 4~7 月雾日数资料. 为揭示成雾条件的共性, 采用合成的方法, 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, 分析两者在环流结构、水汽通量、海面条件等的异同. 雾日偏多、偏少的判据是按 4 月雾日距平百分率大小确定的, 当雾日距平百分率大于 60% (小于 -60%) 作为海雾异多(少)的年份. 计算结果为 4 月雾偏多年份是 1952, 1961, 1963, 1964, 1987, 1991, 1994 年; 偏少年份是 1955, 1956, 1976, 1978, 1989, 1997 年.

在 1948~1997 年 50 a 中, 4 月雾日极端的年份是 1964 年(14 d), 而极端少的年份是 1978 年(2 d). 作为个例, 分析了这两个月份的水汽输送, 海面温度、净长波辐射等的主要差异.

## 3 结果分析

### 3.1 环流背景

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, 将分析  $0^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ ,  $50^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$  范围内的环流特征, 并以对流层中层 500 hPa 环流为主兼顾 850 hPa 环流. 4 月大气环流的基本流型仍然属于冬季流型, 在 500 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.

海雾异常(多或少)的年份环流形势存在显著差异, 合成结果表明, 雾日偏多的年份 500 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, 我们用异常年份 500 hPa 的位势高度、温度场的合成图来表示(见图 1). 从图 1 看出, 在雾日偏多的年份, 东亚有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, 直到西北太平洋, 中心沿  $40^{\circ} \text{N}$  在日本海以东, 中心强度 +60 m, 与其相应的暖中心略偏西, 中心强度  $3^{\circ} \text{C}$ ; 在贝加尔湖以西是一温度和位势高度负距平区, 中心强度 -70 m, 副热带以南地区无明显的系统变化. 在雾日偏少的年份, 东亚有一个强大的冷性负位势距平系统, 在贝加尔湖以西是一温度和位势高度正距平区, 系统配置与雾日偏多年份相反, 但系统位置比前者偏北, 副热带以南地区也无明显变化. 这两种配置的异常系统加到平均环流场上, 便导致东亚大槽位置在纬向大幅移动, 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, 伴有很强的暖平流; 相反, 在雾日偏少的年份, 黄海位于槽后, 伴有强冷平流. 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(850, 700 hPa)也保持了一致性(图略). 这一事实表明, 影响黄海春季雾日

多寡的环流系统主要是中纬度系统,其实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.

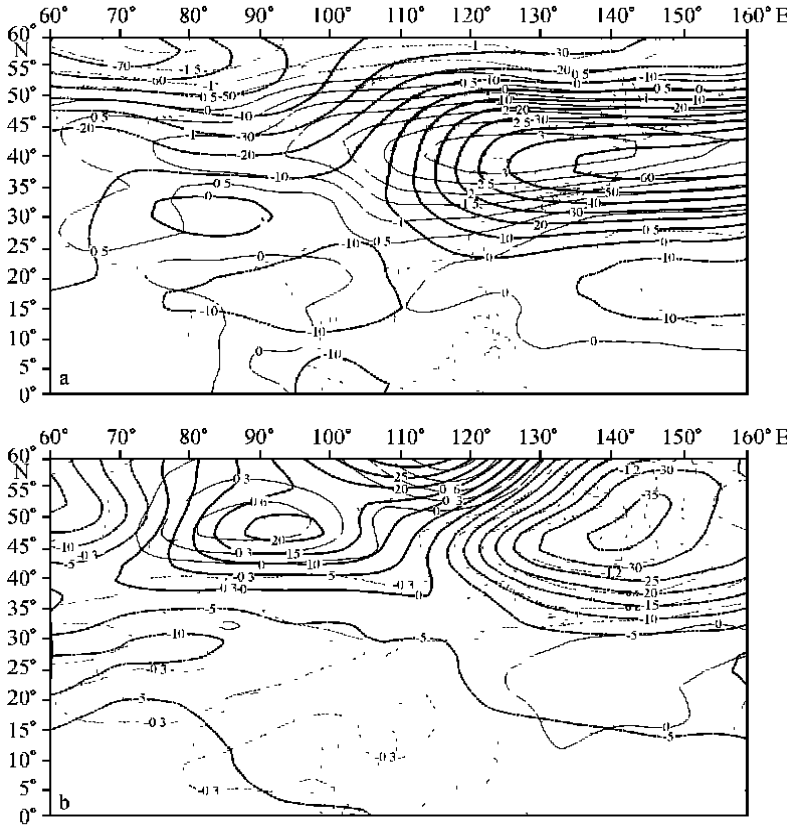


图 1 4 月 500 hPa 温压场的距平合成图[粗线为位势高度(m), 细线为温度( $^{\circ}\text{C}$ )]

a. 雾日异常多, b. 雾日异常少

为了进一步揭示冬季环流强弱对春季黄海海雾多寡的影响,我们分析东亚季风区  $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$  纬向平均的区域性径向环流合成图(见图 2),该图是由风矢量的经向分量  $v(\text{m/s})$  和垂直速度  $-\omega \times 100$ (单位:  $\times 100 \text{ Pa/s}$ )沿经向剖面合成. 由于垂直速度较小,为了能与水平速度相比拟,所以将其扩大了 100 倍. 比较两种情况,经向环流的最大差异是:多雾的年份极锋环流较弱且偏北,极锋的低层位置在  $45^{\circ}\text{N}$  附近,其前有完整的逆环流(局地 ferrel cell),Hadely 环流较弱,其下沉支在  $150^{\circ}\text{N}$  附近(见图 2a);少雾的年份极锋环流强而偏南,极锋位置在  $35^{\circ}\text{N}$  附近,比前者偏南 10 个纬距,局地 Hadely 环流的上升支强而偏北,其下沉支也在  $15^{\circ}\text{N}$  附近,但返回支比前者强,这正是冬季环流加强的特征,不过极锋环流前的逆环流不如前者完整(见图 2b). 这一事实印证了冬季环流的强弱是黄海春季海雾多寡的基本条件.

### 3.2 水汽输送

水汽是海雾生成的物质基础,是在环流背景下最终发生凝结的根据. 毫无疑问,水汽充沛,相对湿度大的空气,在有利的流场下成雾的机会多. 图 2 给出了 4 月雾日异常(多,少)情况下,海平面相对湿度的合成结果:雾日异常多(见图 3a)时,相对湿度大于 90% 的区域分布

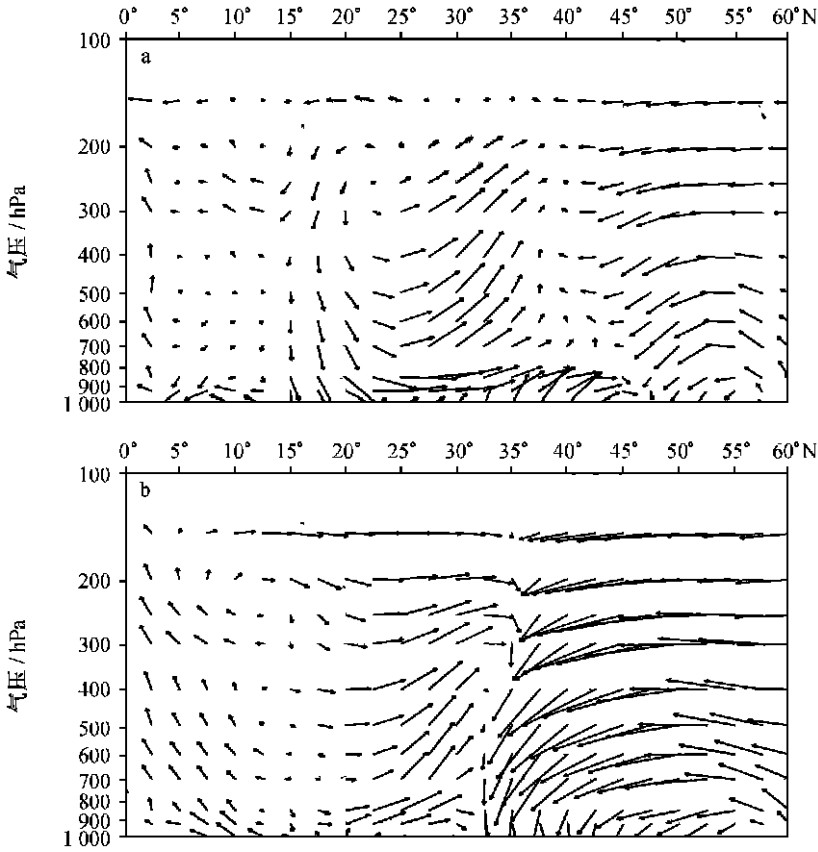


图2 4月沿110°~130°E纬向平均的经向环流合成图  
 (经向速度单位:m/s,垂直速度单位:×100 Pa/s)  
 a. 雾日异常多, b. 雾日异常少

在从华南经黄海到朝鲜半岛大范围区域,而雾日异常少(见图3b)时相对湿度大于90%的区域主要分布在长江中下游以南地区,北界不超过30°N,黄海不在其中,范围也小得多。

地面高湿区并非局地增湿的结果,而是来自低纬度水汽输送的结果。作为个例,利用NCEP/NCAR提供的2.5°×2.5°网格点的风速、比湿资料,计算1964年4月和1978年4月低层大气的水汽输送通量。计算公式如下:

$$F_x = \int_{p_0}^p uqdp, \quad F_y = \int_{p_0}^p vqdp,$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2},$$

式中,  $u, v$  分别为纬向、径向风速;  $q$  为比湿(g/kg), 积分厚度从1000 hPa到850 hPa。  $F$  的矢量表示水汽通量在空间的输送方向及其大小, 矢量模表示水汽通量大小在空间的分布。

图4是1964年4月(见图4a)与1978年4月(见图4b)的水汽通量(矢量模)的空间分布, 两者有着十分显著的差异, 在1964年4月, 一方面从孟加拉湾经华南、华东直到黄海有强劲的水汽输送, 另一方面从西太平洋到南海也有一股大的水汽输送, 两者为东海、黄海提供了充沛

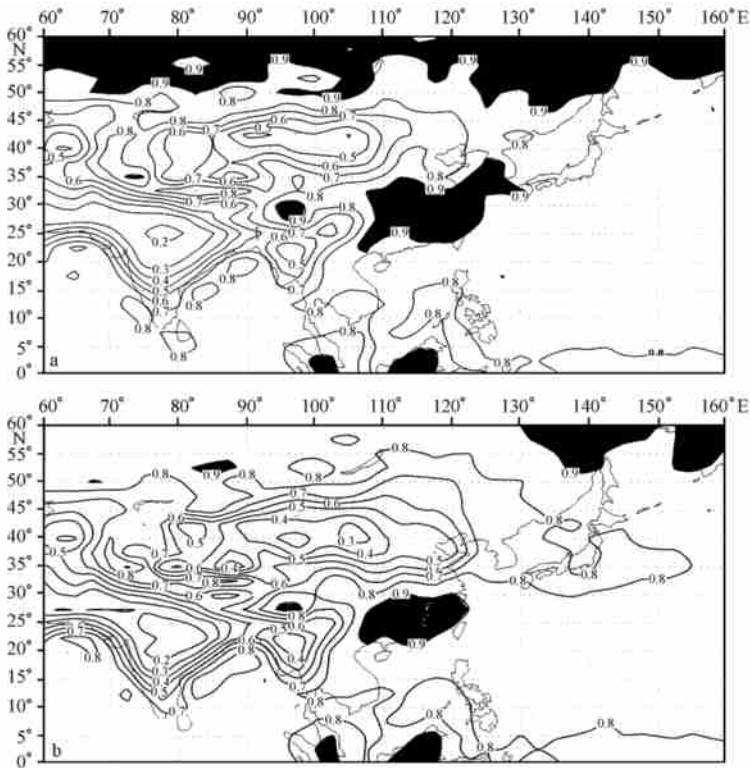


图3 4月海平面相对湿度(100%)合成图

a. 雾日异常多, b. 雾日异常少

的水汽;1978年4月情况就大不相同,热带西太平洋虽有一股较强的水汽输送带经南海向西,但主流在 $10^{\circ}\text{N}$ ,向北只波及 $30^{\circ}\text{N}$ ,更值得一提的是,从孟加拉湾几乎没有水汽通量进入华南,黄海的水汽匮乏,不具备成雾的物质条件,这个月很少有雾发生是必然的.总之,在雾日多的月份,黄海的水汽主要来自孟加拉湾、南海以及西太平洋;相反,在雾日少的月份,几乎断绝了上述水汽来源,黄海春季不可能依靠局地水汽形成海雾.

水汽输送是由天气系统完成的.分析对流层中层天气过程的动态可以找到根据,图5是 $500\text{ hPa}$ 比湿沿 $35^{\circ}\text{N}$ 纬向一时间剖面图,从图5可见,在海雾最多的1964年4月,黄海经历了3次携带高湿的西风带系统自西向东的影响海域(见图5a),分别是4月2~5,13~21,23~26日,这3个过程在青岛沿海都观测到海雾;相反,1979年4月(见图5b)影响黄海且伴随湿度较高的西风带系统只有两次,弱而短暂,只有4月18~19日的过程在青岛沿海观测到海雾.

水汽条件分析表明,黄海春季海雾形成的水汽条件并不是由局地提供的,而是由特定的天气系统从低纬度输送过来,在当地边界层经海气相互作用产生海雾.

### 3.3 海表温度(SST)

平均而言,4月黄海除海岸带外,气温接近或略低于水温,如果没有持续的气温高于水温的暖湿空气流经黄海海面,低层大气几乎不可能因平流冷却而产生凝结.但是,如果一些年份海面温度异常低,再配合良好的大气条件,成雾的机会必然大幅度增加;相反,如果海面温度异

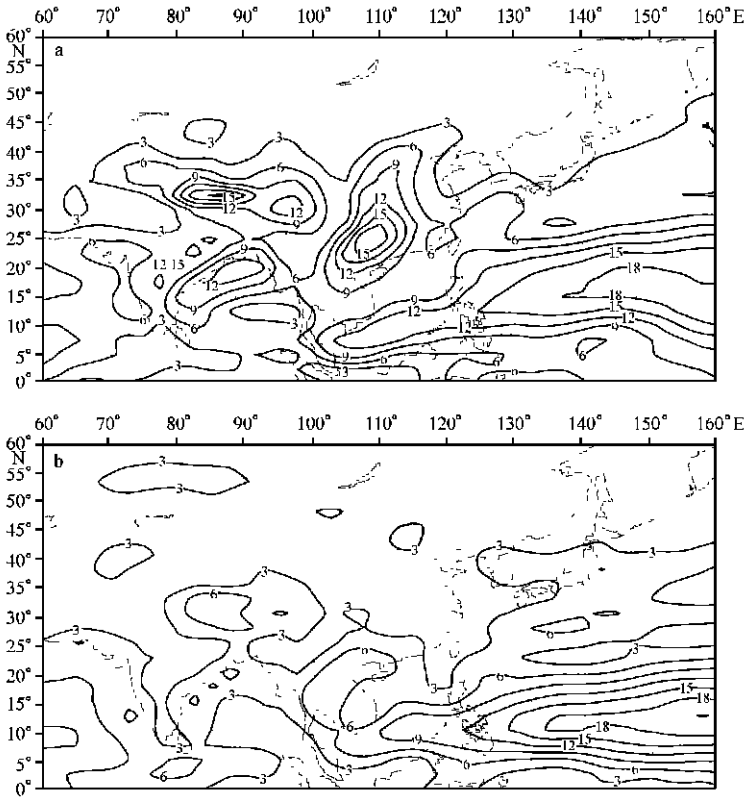


图4 1 000~850 hPa 水气通量 $[g \cdot m \cdot hPa / (kg \cdot s)]$   
a. 1964年4月(雾日最多), b. 1978年4月(雾日最少)

常暖,成雾的机会必然减少. 利用COADS资料,分析了4月雾日异常(多、少)年份海表面温度的距平合成结果(见图6),结果表明,雾日异常多时,黄海SST大范围负距平,东海和日本以南海域是正距平,且SST距平的经向梯度较大(见图6a),这种海温场的配置,有利于源自东海或热带西太平洋的暖湿空气在流经黄海时,与海面相互作用失去热量而降温,产生凝结;雾日异常少时,黄海大范围海温正距平,东海和日本以南海面上是弱和正距平,且SST距平的经向梯度很小(见图6b),在这种海面条件下,成雾的机会必然减少. 虽然良好的海温条件在海雾形成过程中是重要的,但并不是充分的. 例如,1964年4月是雾日最多的月份,这个月黄海SST却是弱的正距平(图略). 这一事实表明,黄海SST在春季成雾条件中是必要的,但并不充分,只具相对重要性.

### 3.4 经向风切变

对于黄海海雾,平流、湍流、辐射等物理过程是重要的,研究表明,在雾生成的初期平流作用很重要,中后期辐射效应相对重要,而湍流效应取决于风的垂向结构<sup>[8]</sup>. 春季,当大气环流条件合适,暖湿空气从高湿区向低湿区输送,平流效应对海雾的形成起了重要作用,而海雾生成时风速往往较大,湍流效应对凝结是正贡献,且有利雾在离海面一定高度上首先形成<sup>[8]</sup>,这是海雾与辐射雾的重要区别.

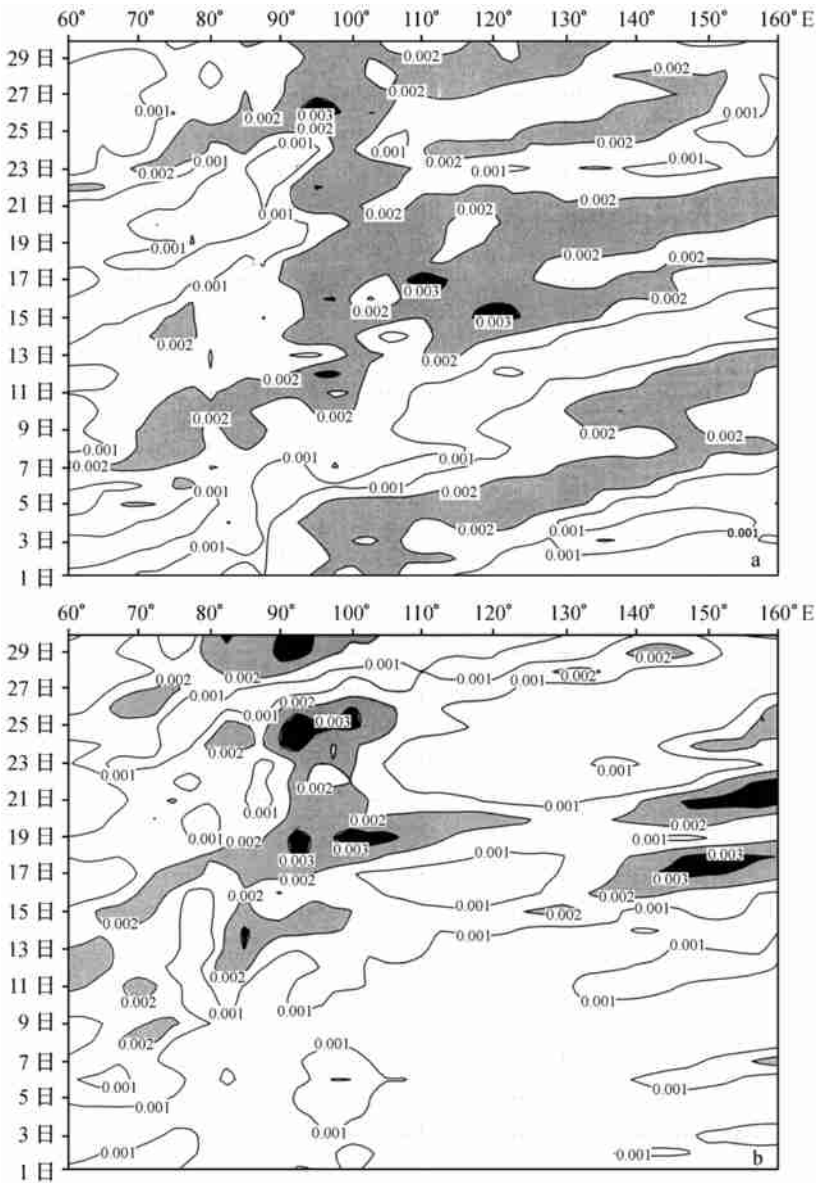


图5 500 hPa 比湿沿 35°N 纬向—时间图(单位:g/kg)

a. 1964 年 4 月(雾日最多), b. 1978 年 4 月(雾日最少)

边界层中的湍动能的制造很大程度上依靠垂直的风切变和热力作用。春季黄海经向风的垂向分布,一方面反映大气环流的结构,另一方面可以反映低层大气的垂向切变特征。比较沿 125°E 4 月雾日最多(1964 年)和雾日最少(1978 年)时的经向风的垂向分布的差异(见图 7),可以发现:雾日最多时的(见图 7a)黄海从海面到高空都在南向风控制下,最大风速区位于 500 hPa 以下,且在 35°N 低空等值线比较密集,风速的垂向梯度比较大,而 1978 年 4 月(见图 7b)却不同,南向风集中在 30°N 以南,最大风速在 500 hPa 高空,黄海低空大气的垂向切变较

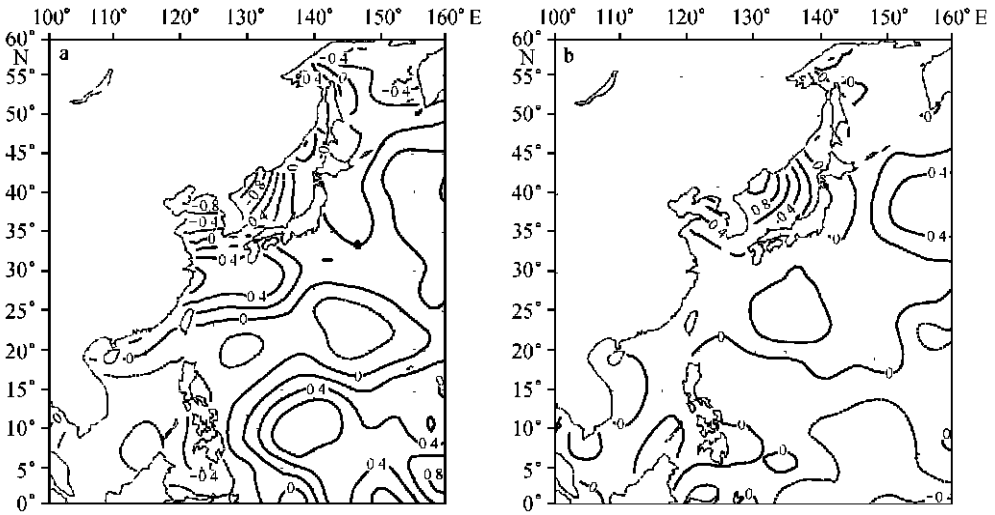


图6 4月海表面温度(°C)距平合成图  
a. 雾日异常多, b. 雾日异常少

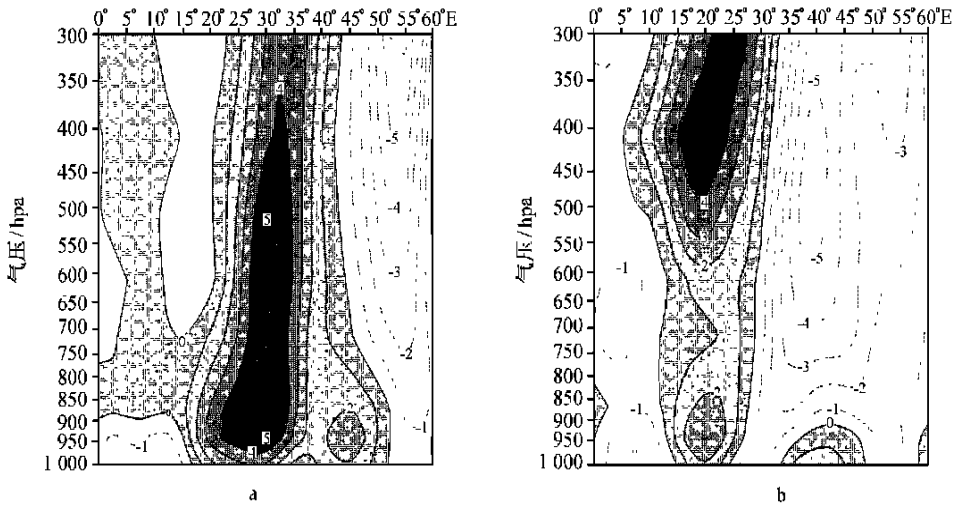


图7 经向风沿 125°E 的垂直剖面  
a. 雾日最多(1964年4月), b. 雾日最少(1978年4月)

弱. 这种差异在图 2 上也可以看到.

### 3.5 海面有效长波辐射

水汽条件分析表明, 黄海春季海雾的多寡主要取决于来自热带水汽输送, 与此相应的必然带来云雨的差异. 比如, 雾日最多(1964年4月)青岛的月平均降水达到 76.1 mm, 而在雾日最少(1978年4月)的月平均降水只有 1.1 mm. 云(雾)雨的差异必定导致海面有效长波辐射的差异. 有效长波辐射亦即净长波辐射, 是地面长波辐射和大气逆辐射之差. 大气逆辐射主要是水汽和液体水所发射的能量, 所以净长波辐射决定于地表温度以及大气中的温度、水汽含量



和云况. 水汽含量越大, 云量越多, 有效长波辐射的值越小.

比较青岛 4 月雾日最多(1964 年)、少(1978 年)时的海面有效长波辐射(图 8a, b), 可以看到, 无论雾日最多还是最少, 黄海的净长波辐射都比大陆上同纬度地区要低, 这说明海上大气的水汽含量较陆地上要高. 在雾最多的 1964 年 4 月黄海、东海有一仅  $20 \text{ W/m}^2$  的最低中心, 这显然是云雾影响的结果; 相反, 在 1978 年 4 月黄海的净长波辐射比 1864 年 4 月大 2 倍以上. 这一事实一方面说明海雾对海面有效长波辐射的影响, 另一方面反映了海雾在低层大气与海洋的热交换中的反馈作用.

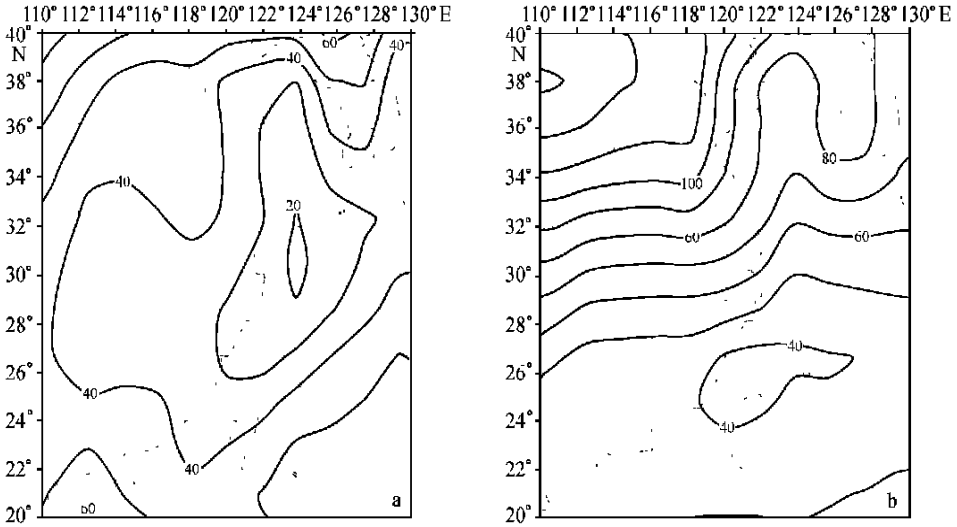


图 8 4 月海面有效长波辐射( $\text{W/m}^2$ )  
a. 雾日最多(1964 年 4 月), b. 雾日最少(1978 年 4 月)

## 4 结论

从气候意义上讲, 黄海春季海雾之所以存在很大的年际变化, 最根本的原因是大气环流的变化. 春季是由冬季环流向夏季环流转换的过渡季节, 是大气环流结构多变的季节, 因而天气过程也多变. 当冬季环流强而稳定, 黄海春季仍处在冬季环流控制下, 低纬暖湿空气少有机会北上到达黄海, 海面(SST)条件即使再好, 也难以达成凝结. 当冬季环流弱时, 西风带系统北退, 低纬天气系统活跃, 可以把暖湿空气输送到中高纬, 向黄海提供充沛的水汽, 在暖湿空气输送的过程中, 相对湿度平流本身就有利于凝结, 再者, 暖湿空气到达黄海, 海面气温一般高于 SST, 海面条件也有效地支持凝结过程. 必须强调指出, 黄海春季海雾形成的水汽条件不是由局地提供的, 而是由热带大气提供的, 大气环流提供了输送条件, 把热带的暖湿空气输送到黄海, 在当地凝结. 因此可以说, 黄海春季海雾具有一定的季风特征. 此外, 海雾在低层大气与海洋的热交换中具有明显地反馈作用.

## 参考文献:

[1] BERTIL Rodhe. The effect of turbulence on fog formation[J]. Tellus, 1962, 14: 49-86.

- [2] ROACH W T. The physics of radiation fog I —— a field study [J]. *Quart J R Met Soc*, 1976, 102: 313—333.
- [3] EMMONS G, MONTGOMERY R R. Note on the physics of fog formation[J]. *J Met*, 1947, 4: 426.
- [4] FLEAGLE R G. A theory of fog formation [J]. *J Marine Res*, 1953, 12: 43—50.
- [5] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983. 352.
- [6] 苏鸿明. 台湾海峡海雾的气候分析[J]. *台湾海峡*, 1998, 17(1): 25—28.
- [7] 周发, 刘龙太. 长江口及济州岛邻近海域综合调查报告(第七节, 海雾)[J]. *山东海洋学院学报*, 1986, 16(1): 115—131.
- [8] 胡瑞金, 周发. 海雾生成过程中平流、湍流、辐射效应研究. I. 理论分析[J]. *海洋学报*, 1998, 20(1): 25—32.
- [9] 周明煜, 李诗明, 钱粉兰, 等. 我国大陆地区和近海海域能量收支分布及其季节变化的数值模拟[J]. *地球物理学报*, 2002, 45(3): 319—328.
- [10] 王衍明. 大气物理学[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1993.

## Climatic characteristics of sea fog formation of the Huanghai Sea in spring

ZHOU Fa<sup>x</sup>iu<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1</sup>, BAO Xian<sup>w</sup>en<sup>1</sup>

(1. *Ocean University of China, Qingdao 266003, China*)

**Abstract:** By combining composition with case study the climatic background of sea fog formation of the Huanghai Sea in spring(April)has been analyzed, which includes circulation, vapour transport condition, and SST. The results show that vapour required isn't afforded by local atmosphere but by tropic atmosphere. The warm and moist air is offered by appropriate macroscale circulation from the tropics. Compared with circulation, vapour and its transport condition, SST isn't important. Otherwise sea fog would feedback to the net long wave radiation. The sea fog of the Huanghai Sea has distinct monsoon characteristics and is the production of monsoon circulation.

**Key words:** Huanghai Sea; sea fog; monsoon characteristics