

黄、东海海雾过程及其大气和海洋环境背景场的分析^①

赵永平 陈永利

(中国科学院海洋研究所)

王丕诤

(中国人民解放军 37010 部队)

海雾是海气相互作用的产物,是海上出现的一种灾害性天气。它对海上航运、海洋捕捞、水产养殖、港务活动及沿海地区农作物和人类身体健康都有重大的影响,因此,海雾研究受到世界各沿海国家的普遍重视。国内对黄、东海海雾研究已做了大量工作。王彬华(1983)对中国邻海海雾的分布、特性和变化,以及海雾形成的海洋和大气环境作了比较全面的论述。此外,井传才(1980)、狩生义明(1972)、赵永平(1983)等对黄、东海海雾的统计特征及天气学分类进行了分析,亦得到了有益的结果。但以上工作大多是采用沿海台站的观测资料进行分析的结果。本文根据近十几年(1983—1994 年)的卫星云图和近 3 年(1992—1994)出现在黄、东海区的 15 个典型个例,分析了海雾在海上的出现频率,海雾过程中海洋和大气背景场,提出了黄海海雾出现和不出现的 24 小时大气环流型,为黄、东海海雾的预报提供了依据。

一、黄、东海海雾形成的物理过程

一般海雾包括在海上出现的平流雾和锋面雾,而真正的海雾仅是指由于暖湿空气平流到冷海面上形成的平流雾,本文的海雾仅指平流雾。

据 Fisher and Caplan(1963)研究,海雾的控制方程可用下式表示:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -V \cdot \nabla_h Q + \frac{\partial}{\partial Z} \left(K_Q \frac{\partial Q}{\partial Z} \right) + S$$

这里 Q 为温度、水汽或液态水含量, K_Q 为上述各物理量的湍流交换系数, V 为水平风速, $\nabla_h Q$ 为 Q 值的水平梯度, S 为特征量的源或汇(包括水汽和 CO_2 的红外辐射、水汽凝结和水滴蒸发时的潜热收支)。研究表明,暖湿空气的平流输送、海气之间热量和水汽交换及红

^① 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2806 号。“八五”国家科技攻关资助项目, 85-903-08-08 号。
收稿日期: 1995 年 11 月 27 日。

外辐射冷却是海雾形成的三大主要因子。Roll(1965)的研究表明,当暖空气平流到冷海面时,在海气之间热量和水汽交换过程中,既使气温下降,又使水汽减少。Barker(1976)关于平流雾的数值计算结果表明,红外辐射冷却作用对成雾也有相当的贡献。降温有利于海雾的形成,降温不利于海雾的出现,因此海雾的形成实际上是这三种物理过程的综合结果。

分析黄、东海海区各海域的海雾形成前后的气象要素的状况发现,出雾前,上风露点温度高于成雾区水温的次数占90%,尤其对强海雾更是如此。就是说,上风区的暖湿空气平流到冷海面上时,由于近海面海气之间热量交换和水汽红外辐射冷却作用,气温下降,并逐渐形成逆温,同时近海面大气的相对湿度增加,当水汽饱和时即凝结成雾。由于海气之间水汽交换时,大气失去部分水汽,因此上风区暖湿空气的露点温度必须高于成雾区的露点温度,即表层水温。逆温层结是成雾的必要条件,但不是有逆温就有海雾,还必须看水汽是否充沛,所以,出雾前一天,海区上空可以有逆温层存在,也可以没有。逆温层顶平均高度为500m左右。据1993年6月7日至6月22日黄海海域连续16天海雾过程观测,逆温层底可以接近海面或地面,也可以离开海面一定的高度,平均离海面高度为89m,但不能离开海面太高,太高则不利于近海面水汽在海面附近聚集,难以形成海雾。

二、海雾在海上的分布形态和演变特征

海雾在海上的分布可以从对比可见光和红外卫星云图得到,红外云图反映了下垫面温度高低,可见光云图则反映了下垫面的亮度。海雾的温度与海面水温基本相当,因此在天空无云时,红外云图上均呈黑色;在可见光云图上,由于雾顶较平,反照率较大,因而色调较白。在同一区域的可见光云图上有白色亮区,而红外云图上无亮区时,则此亮区即为海雾。夜晚和恶劣天气条件下,无法从卫星云图上识别海雾的存在与否。通过卫星云图对黄、东海海雾的分析表明,在可见光云图上,雾区纹理均匀,边界比较圆滑、整齐。同时刻的雾区一般连成一片,但也可分成互不相通的数块,有时向外突出,有时向内凹陷。海雾可呈带状或块状分布,可出现在黄、东海的不同海域,可靠近海岸,也可离开海岸一定距离。雾在海上形成后,大多数在较长的时间里保持相同的形状,一般能维持一天以上,有时48小时内形状不变。在其移动时,极像理论力学中的“刚体”平动一样,虽然位置有变化,但其形状保持不变。在海雾形成的初期阶段,其形状的变化比较显著。1992年5月31日11时,黄海西部大片海区为海雾笼罩,江苏以东外海、山东南部 and 东部海面均有成块海雾,形状不一;6月1日11时,山东南部与江苏以东海面的海雾溶为一片,位置北移;6月2日11时,海雾只剩下残留在黄海北部的一小块(图版I)。

海雾的面积大小不一,各月不同,平均面积为 $9 \times 10^4 \text{ km}^2$,最大达 $40 \times 10^4 \text{ km}^2$,几乎覆盖了整个黄海海域。从卫星云图资料中发现,黄海海域大约91%的雾区与我国海岸相接,其中82%的雾区至少包含了团岛、朝连岛和千里岩3站中的一站;大约38%的雾区与朝鲜半岛相接,但大部分同时又与我国海岸相接,单独与朝鲜半岛相接的极少。

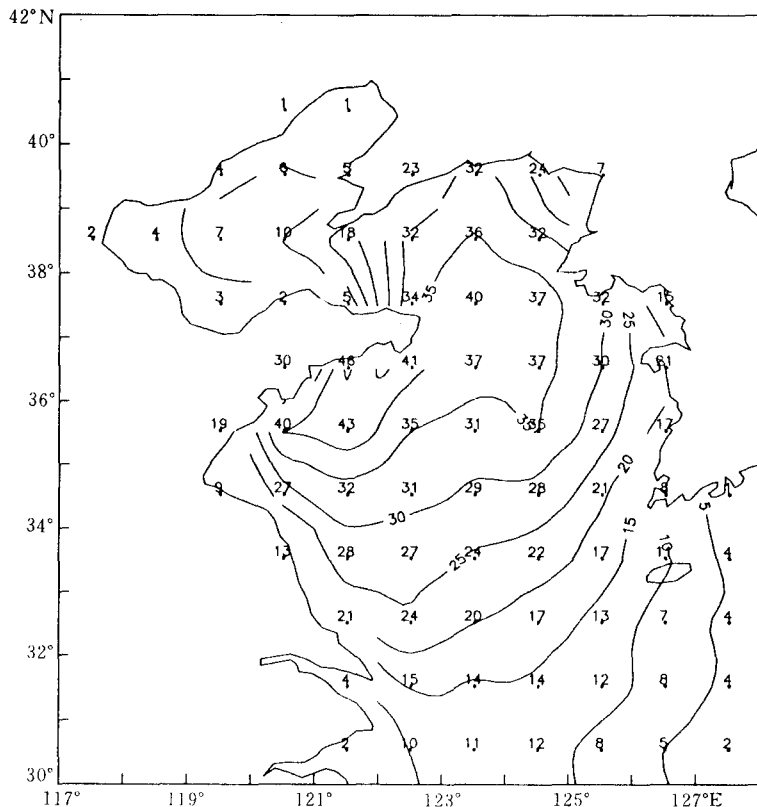


图1 雾季(4—7月)黄、渤海海雾出现频率分布(%)

三、黄海海雾的分布及其海洋和大气背景

1. 黄海海雾的出现频率 用卫星云图资料判读海上海雾,必须在天气无云或少云的情况下进行,31°N 以南的东海海域,海雾常伴随恶劣天气,在卫星云图上难以辨认,我们这里主要给出黄海及渤海海雾在海上出现的相对频率。

通过对 1982—1994 年共 12 年雾季(4—7 月)248 个个例的可见光云图和红外云图的对比,参照同期的天气图,即可判读黄、渤海海雾和统计海雾在海上的出现频率(图 1)。由图 1 可见,多雾区出现在山东南部 and 东部海区,沿海岸线呈东北-西南走向,出现相对频率达 40% 以上。由于山东半岛和辽东半岛的阻挡,渤海海峡以西海域海雾极难形成,出现频率仅为 5—10%,此外,江苏以东近海和朝鲜半岛以西海域海雾出现频率亦相对较小,在 30% 以下。这种出现频率的分布与王彬华(1983)给出的结果有同有异,相同的是雾季期间海雾频发海区均出现在山东半岛东部和南部海面;不同的是,王彬华指出朝鲜半岛以西海面也是一多雾区,而本文统计结果此区为一相对少雾区,这可能是由于王彬华的统计资料缺少海雾的实测数据所致。

2. 雾季期间黄海表层流和海面温度场 4—7 月黄海表层流图(图略)表明,在黄海

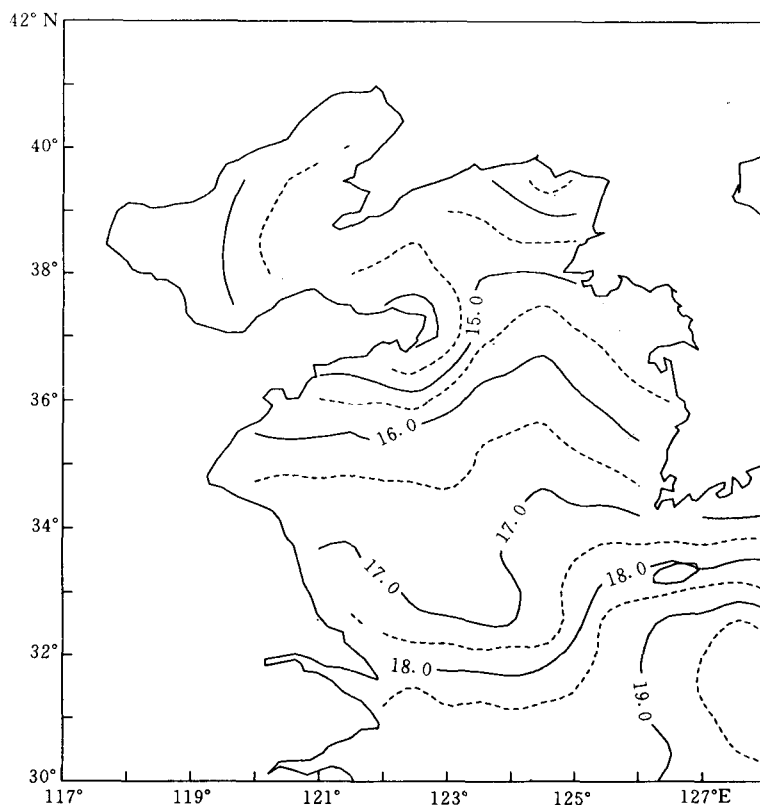


图2 雾季(4—7月)黄、渤海平均海温分布(°C)

中部,以 $35^{\circ}\text{N}, 124.5^{\circ}\text{E}$ 为中心有一逆时针环流,沿山东半岛至江苏沿海为一南向的冷平流,流速达 0.3 n mile/h ,这一环流在青岛外海还形成一个小的顺时针环流圈。赵保仁(1985)指出,由于强烈的潮混合作用,在成山头以东海区形成明显的低温区。由于沿岸冷平流的存在,将成山头以东海区的冷水带到山东半岛南部海域,导致了黄海海区温度的特定分布型。图2为4—7月黄海表面温度图。由图可见,黄海西部温度较低,山东半岛成山头以东和山东南部近海为一低于 16°C 的低温区,恰恰与海雾频发区位置相同。朝鲜半岛以西海面为北向的表层流,该区海温也较山东半岛以东和以南海面稍高,相应的海雾出现频率也相对较少。可见,冷水区的存在为海雾生成提供了有利的海洋背景。

3. 雾季期间黄海风场统计特性 根据40年来(1950—1989年)4—7月黄海海上船舶报资料,计算了 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 经、纬度网格点上各风向的出现频率。本海区成雾时多S—SE风,由S风(图3)和SE风(图略)在黄海海区出现的频率分布图可见,在山东半岛东、南方的黄海中部有S风出现频率超过26%的大值区,在江苏以东海面,有SE风出现频率超过20%的大值区。无论是S风还是SE风,在朝鲜半岛以西海面的出现频率均为小值区。对比雾季期间海雾出现频率图,海雾多发区正是S和SE风频繁出现区,山东半岛以东和以南海雾大值区与S风频发区的位置十分接近,可见偏S风的出现与黄海海雾形成有密切关系。

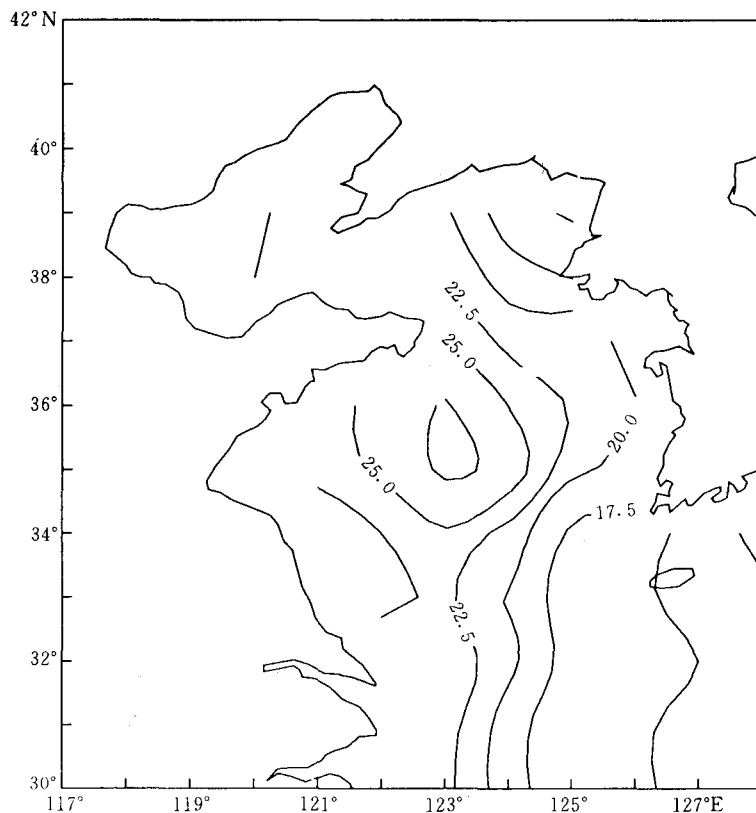


图3 雾季(4—7月)黄海S风出现频率分布(%)

四、黄、东海海雾形成的天气学分析

1. 黄、东海海雾形成的主要天气型 目前国内已有不少有关黄、东海海雾形成天气型的研究,但多数是对青岛近海海雾的分析结果。本文根据1992—1994年雾季期间,由卫星云图确定的15个海雾个例,配合地面天气图进行分析,进一步阐明黄、东海海雾形成的天气型。分析结果表明,这些天气型主要有3种:(1)海上变性高压后部型;(2)大陆低压或西南倒槽前部型;(3)以上二型的结合,即海上高压配合大陆低压型。

(1)海上变性高压后部型:15个个例中有10个属此型,该型又可据海上高压的位置分为三种情况:(a)海上高压位于黄海,S—SE风出现在黄海西部和北部,SW风出现在黄海东部,有利于江苏以东和黄海中部和北部海面形成海雾;(b)海上高压位于东海,东海和黄海西部均为S—SE气流,易在黄、东海形成大片雾区;(c)海上高压位于日本海及其邻近海域,高压范围较大,东海多偏E风,黄海多S—SE风,有利于黄海海雾生成。10个个例中,黄海高压有3例,东海有2例,日本海有5例。据1994年7月7日14时可见光云图和14时地面天气图(图略),以日本海为中心有一范围很大的高压,东海和黄海为S—SE流场,黄海中、北部有大片海雾。在同期的旬海面温度场上,25℃等温线以北的黄海南

部海温等值线密集,水平梯度达 $2^{\circ}\text{C}/100\text{km}$,此时由S—SE风带来暖水区的暖湿空气在冷水域降温、增湿,在黄海中、北部水汽达饱和凝结成雾。

(2) 低压前部型:当大陆低压缓慢东移入海或西南倒槽加深发展时,黄、东海为S—SE气流,此时也易形成海雾。在低压前部的暖湿气流中也可先在近海地带于凌晨产生辐射雾,白天陆上雾区消失,弱的偏南风或SW风可将雾区移动到邻近海面,15个个例中有3例属此型。据1993年4月17日11时可见光云图和14时地面天气图(图略),东北地区有一锋面低压东移,黄海海面为S—SE风,11时可见光云图上,在江苏南部至长江口以东海面上有一块边缘清晰的雾区。查看02时地区天气图,江苏沿海的射阳、浙江沿海的宁波和嵊泗等地都已产生辐射雾,随着低压东移,太阳辐射的加强,岸站雾消失,海上雾发展。同期的旬平均海温表明,雾区正位于小于 15°C 的海温水平梯度大值区。

(3) 海上高压和大陆低压配合型:这种型多数是日本海有一高压,同时江淮或华北有一低压。黄、东海位于高压后部、低压前部的S—SE流场中,当低压位于江淮流域时,海雾易出现在东海和黄海南部;当低压位于华北,海雾则易出现在黄海北部,15个个例中有2例属此型。据1993年6月24日11时可见光云图和08时地面天气图(图略),华北有一气旋东移,以日本海为中心有一高压,黄海北部为大片雾区。由1993年6月下旬的海表温度可以看到,雾区恰恰位于低于 21°C 的冷水区。

综上所述,在雾季期间,黄、东海海区均具备形成海雾的海洋背景,何时、何地有海雾出现,主要取决于给冷海区带来S—SE风的天气型。同一天气型条件下,海温低、水平梯度大的海域易产生海雾。

2. 可用于黄海海雾预报的天气形势分析 综合分析08时850hpa和14时地面天气图,得到了未来24小时黄海海域有雾和无雾形成的天气型,这种天气型可直接用于业务预报。

(1) 有雾天气形势:预报次日有雾的天气型有3类:南风型、倒槽型和东风型。

a. 南风型:在850hpa图上,济南至汉口以东的大陆为一致的偏S风,相应的等高线呈南北走向。当槽线或冷锋在北京和济南之间时,且锋前高压强于锋后陆上高压,上海14时露点比团岛16时气温高 2°C 以上。

b. 倒槽型:地面图上,山东半岛为倒槽控制,850hpa图上,槽前的高压强于槽后高压,且无新的冷空气并入槽后高压中。

c. 东风型:地面图上,日本海高压强于我国东南沿海地区的高压,两高压之间有波动,波动中心位于东海、黄海南部及日本南端等不同地区,山东半岛以东为偏E风,江浙沿海地区为偏N风。

(2) 无雾天气形势:预报次日无雾的天气形势可分为四类:北风Ⅰ型,北风Ⅱ型,高压跨海型和整层东南风型。

a. 北风Ⅰ型:地面图上,系统性偏N风可达 118°E 以东,当黄海有波动时,波后高压强于波前高压。

b. 北风Ⅱ型:在850hpa图上,呼和浩特和郑州以东沿海岸为一致的偏N风。

c. 高压跨海型:地面图上,黄、渤海和相邻大陆为高压,且跨海高压强于海上原高压。

d. 整层东南风型:山东半岛的东部沿海地面至1500m上空为上下一致的SE风,在

850hpa 图上,此型往往在江淮流域有明显的切变线。

根据以上有雾和无雾的天气型,可以较好地预报次日黄、渤海区是否有可能出现海雾。

五、一次强海雾个例分析

1993 年 6 月 11 日,在黄海海域出现了较强的海雾,并伴有连续性轻毛毛雨,其范围几乎覆盖了整个黄海海域。从 1993 年 6 月 11 日 14 时可见光云图上(图略)可以看到,除朝鲜半岛南部以西海面无雾外,其余整个黄海海域都被海雾占据。1993 年 6 月中旬海温场,32°—34°N 为海温水平梯度大值区。青岛近海的团岛自 6 月 11 日 01 时至 03 时就有海雾形成,除短时无雾外,海雾一直持续到 6 月 12 日 12 时(表 1)。青岛崂山以东 50km 海上的朝连岛,自 6 月 11 日 11 时到 12 日 17 时一直有浓雾存在,能见度极差(表 2),团岛和朝连岛大部分时次的能见度均维持在 0.1km。可见,这次海雾过程是很强的。

表 1 1993 年 6 月 11—13 日团岛气象观测资料

月	日	气温(°C)	露点(°C)	能见度(km)	风向	风速(m/s)	气压(hpa)	天气现象
11	02	17.0	17.0	.7	SE	6.0	1010.8	,
	05	17.0	17.0	2.5	SE	6.0	1009.8	
	08	17.0	17.0	.9	SE	8.0	1009.5	≡
	11	18.0	17.0	.3	ESE	6.0	1008.8	.,
	14	18.0	17.0	1.0	ESE	8.0	1007.1	.,
	17	17.0	17.0	.2	E	6.0	1004.6	≡
	20	17.0	17.0	.2	ESE	6.0	1003.4	≡
	23	17.0	17.0	.1	ESE	8.0	1002.7	≡
12	02							
	05	17.0	17.0	.2	ESE	8.0	1000.3	≡
	08	18.0	18.0	3.0	ESE	6.0	998.1	V
	11	18.0	17.0	.4	SE	6.0	997.1	≡
	14	18.0	18.0	1.5	SE	6.0	996.0	
	17	21.0	21.0	3.5	NW	6.0	996.8	
	20	20.0	19.0	6.0	NW	4.0	997.9	
	23	19.0	18.0	5.0	NW	4.0	999.7	
13	02	19.0	18.0	4.0	NW	6.0	1000.3	

注:≡ 浓雾;., 毛毛雨;V 阵雨。

1. 形成原因分析 在 6 月 10 日 08 时 850hpa 图上,山东半岛和黄海海域为暖脊控制,山东、江苏上空均为 SW 气流,槽线位于河南地区,此种天气形势有利于黄海低空形成逆温层。6 月 10 日 14 时地面图上,黄海地区处于高压后部,SE 流场已经建立,且上海附近的露点都在 21.7°C 以上,比团岛 17 时气温 18°C 高 3.7°C,此时暖湿条件已具备,海雾在黄海生成。在 6 月 11 日 08 时,槽线移至太行山地区,山东半岛仍为暖脊控制,有利于低空逆温层的维持和加强。据 6 月 11 日 13 时青岛观象山的探空资料,逆温层厚达 900m,

远远超过了逆温层的平均高度。6月11日14时,海上流场不变,且上海附近露点为 21.9°C ,仍比团岛17时气温(17.0°C)高,有利于海雾的维持,6月12日海上仍有海雾存在。

表2 1993年6月11—13日朝连岛气象观测资料

月	日	气温($^{\circ}\text{C}$)	露点($^{\circ}\text{C}$)	能见度(km)	风向	风速(m/s)	气压(hpa)	天气现象
11	02	17.0	16.9	3.0	SE	6.0	1009.7	
	05	17.0	16.9	3.0	SE	8.0	1003.8	
	08	17.9	17.6	2.0			1008.9	
	11	17.6	17.6	.2	S	6.0	1008.0	≡
	14	17.9	17.9	.1	SE	6.0	1005.6	≡
	17	17.7	17.7	.1	SE	6.0	1003.8	≡
	20							
	23	17.9	17.7	.1	S	8.0	1002.3	≡
12	02	17.6	17.6	.1			1003.3	≡
	05	17.8	17.8	.1			998.0	≡
	08	17.9	17.8	.1	SE	8.0	998.0	R
	11	18.5	18.5	.1	SW	10.0	998.0	≡
	14	18.8	18.8	.1			995.8	≡
	17	18.4	18.4	.1	S	2.0	997.1	≡
	20	20.0	19.6	3.0	NNW	4.0	998.0	
	23	18.7	18.7	5.5	N	6.0	999.4	
13	02	18.0	17.1	2.0			1000.3	

注:≡浓雾;R雷暴。

2. 海雾消失的天气形势 由6月12日08时850hpa图上,槽线已移至山东半岛中部,槽后NW气流,暖脊东移,冷平流入侵到山东半岛西部。从6月12日14时,冷锋已移至青岛以东,20时850hpa图上,槽线移至黄海北部,槽后NW气流,此时海雾自西向东逐渐消失,青岛近海的团岛,在12日12时雾消,朝连岛于12日17时海雾消失。

六、结 束 语

根据适宜的海洋背景场和有利于海雾形成的大气环流型,定性地预报海雾是否出现,在沿海气象台站的业务预报中已能达到较高水平,在青岛近海海域的海雾预报中准确率已接近80%(井传才,1980),但对黄、东海海雾形成的物理机制,海雾在海上的形成和发展及其浓度的预测仍有相当大的距离。进一步从物理机制方面了解海雾在海上的生消过程,用数字模型进行三维数值模拟是今后海雾研究的主要任务。

参 考 文 献

- 王彬华,1983,海雾,海洋出版社,170—232。
井传才,1980,青岛海雾的初步分析,气象,65:6—8。

石沉、王丕浩,1985,黄渤海区海雾成因和分布,海洋调查,2:35—44。

赵永平、陈永利,1981,东黄海海雾的初步分析,海洋科学,2:9—15。

赵保仁,1985,黄海冷水团锋面和潮混合,海洋与湖沼,16(6),451—460。

狩生义明,1972,东け海の雾,海の气象,18(5—6):52—70。

Barker, E. H. 1973. Oceanic fog, a numerical study, Environmental Prediction Research Facility, Naval Postgraduate School, Monterey, California. AD767934.

Fisher, E. L. and P. Caplan, 1963, An experiment in numerical prediction of fog and stratus, *J. Atmos sci*, 20: 425—437.

Roll, H. V. 1965, physics of the marine atmosphere, New York, Academic Press. , 227—285.

ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC CONDITIONS FOR MARINE FOG FORMATION OVER THE YELLOW SEA AND EAST CHINA SEAS*

Zhao Yongping and Chen Yongli

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

Wang Pigao

(*Meteorological Station of 37010 Unit, PLA*)

ABSTRACT

Satellite photographs and weather charts during the 1983 to 1994 marine fog seasons were used to analyze the distribution and formation, movement pattern and occurrence frequency of marine fog. The results showed that during the marine fog seasons, the SST in the Yellow and East China Seas was optimum for marine fog formation as soon as S—SE winds occur. Three patterns for favoring marine fog formation and the synoptic type for following day predicting marine fog were indicated. Finally, a heavy fog case is discussed in detail.

* Contribution No. 2806 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.

图 版 说 明

图版(Plate) I

1. 1992年5月31日11时可见光云图; 2. 1992年6月1日11时可见光云图; 3. 1992年6月2日11时可见光云图。

