

东黄海水雾的初步分析*

赵永平 陈永利

(中国科学院海洋研究所)

海雾是出现在海上的灾害性天气现象。发生在我国海面上的雾多数是平流雾,它是在海洋大气边界层中,海洋与大气相互作用的结果之一。对中国海雾的研究,国内不少单位进行了大量的统计和分析,得到了一些有益的结果。由于缺乏海上观测资料,迄今除狩生义明^[2]在东海海区作出了初步的雾日统计以外,其它海区的分析工作大多是用沿岸台站和岛屿上的资料。为弥补这些缺陷,本文拟根据海雾形成的机制,对东黄海水区内的水文气象要素进行适当处理,制作了基本上能反映海雾形成过程的“饱和吹程图”,并以此来分析整个东黄海水雾的时空分布规律及其与

水文气象要素的关系。

中国海雾主要集中在东黄海,南海发生较少,渤海更少。因此,本文将讨论海区限制在东、黄海水区。

一、“饱和吹程图”及其物理意义

根据 Fisher 和 Caplan^[4],平流雾的控制方程可表示为下式:

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

式中 Q 代表温度,水汽或液态水含量, K_Q 为上述变量的交换系数, V 为水平风速, S 为特征量的源和汇(包括水汽和二氧化碳的红外辐射,水汽凝结及水滴蒸发时的潜热收支)。研究结果表明,暖湿空气的平流输送,海气之间的热量

及水汽交换和红外辐射冷却是形成雾的三项主要因子。当冷却过程充分时,平流来的暖湿空气的温度和湿度是决定性因子;当温度足以构成必要的稳定层结时,湿度又变为关键因子。

Roll^[5]指出,海气之间热量和水汽的相互交换,既使气温下降,又使水汽减少,使露点温度下降,而这两种作用的效果基本相当。同时还指出了辐射冷却作用对成雾过程的重要性。Barker^[6]关于平流雾的数值计算结果表明,在成雾过程中,辐射冷却有略小于海气热量交换的冷却效果。因此,我们可以把辐射冷却所造成的温度下降来近似平衡因海气、水汽交换使空气失去水汽所相当的温度,从而简单地认为海雾的形成是由于海气热量交换使空气降温达到饱和所致。在以上的假定条件下,当一个温度为 T_a ,露点温度为 T_d 的暖湿气块,随适当流场移到水温为 T_w 的冷海面时,只要 $T_a > T_w$,冷却过程就能在大气低层形成稳定层结;在近海面首先出现 $T_a' = T_w = T_d$,空气饱和,水汽凝结,然后逐渐扩展到整个逆温层内。随着液态水含量的增多,在整个低层大气逆温层内形成浓厚的海雾。

根据以上原理,我们采用东、黄、渤海水温和空气湿度的逐月分布图^[1],首先将空气湿度场换算成相对应的露点温度场,然后在水温图上逐点($1^\circ \times 1^\circ$ 网点)计算在各种风场时,各点达到水温 $T_w = T_d$ 的纬距数,即露点为 T_d 的气块到达水温 $T_w = T_d$ 处的“吹程”(当吹程小于零时,一律填写为零),然后绘制等值线图。该图表示,当冷却过程充分时,气块可能达到饱和的最小距离,故此我们定名为“饱和吹程图”。而当风速一定时,该图又可以换算为在给定风向下可能成雾的最快时间图。

为了更清楚地表明“饱和吹程图”的物理意义及其用途,我们将该图与实况进行比较。

* 本文所用资料取自渤海海面热量平衡图集,并参考了山东海洋学院海雾研究组及狩生义明的工作;本文承王彬华、任允武副教授审阅,张必成同志提出宝贵意见,杜渭山同志绘图,特此致谢。

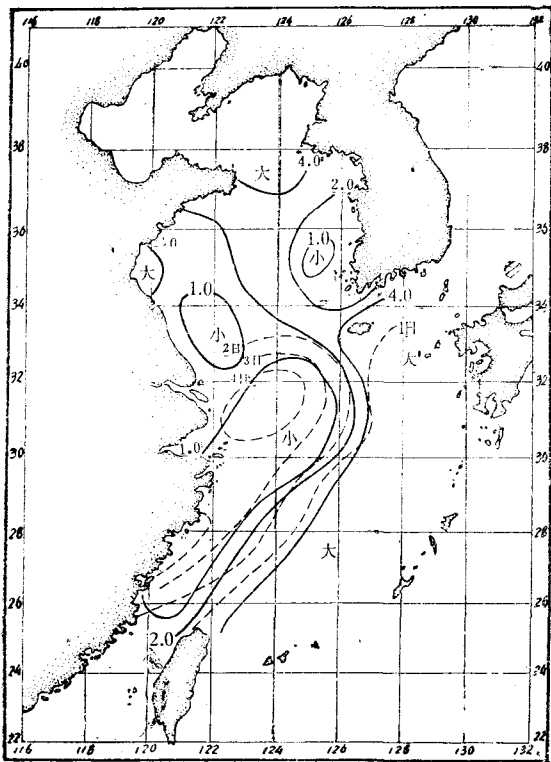


图1 三月饱和吹程图 (SE)

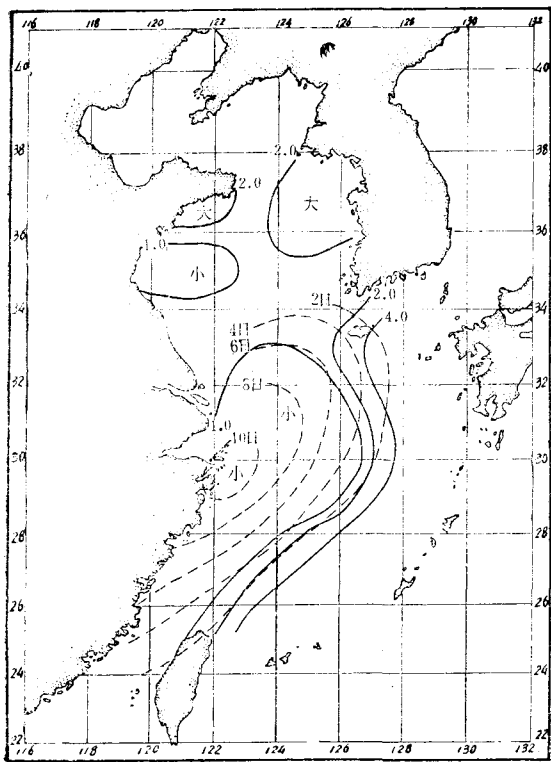


图2 四月饱和吹程图 (SE)

预报实践指出, 偏南风是本海区成雾的最有利流場, 这里仅作出 3—8 月东南风饱和吹程图 (图 1—6*), 并以此为代表与东海雾日分布图进行比较。

东海雾日取狩生义明^[2]的统计资料, 其雾日等值线用断线叠加在同月的吹程图上。经比较可以发现二者时空分布形势在东海海区区内是十分一致的。具体地说, 1 月小吹程和多雾日都集中在浙江、福建沿海。2 月中心均移到杭州湾至长江口一带。3 月雾日和吹程中心也均有相应的变化, 中心在 30—32°N 124°E 附近。4 月、5 月二中心均向北移。6 月雾日和小吹程中心都向北扩大。7 月二中心再次北移, 整个黄海南部均为多雾区。8 月本海区吹程达最大, 雾日最少。9 月以后吹程逐渐下降。直至 11 月, 相对小的吹程才回到浙江、福建沿海,

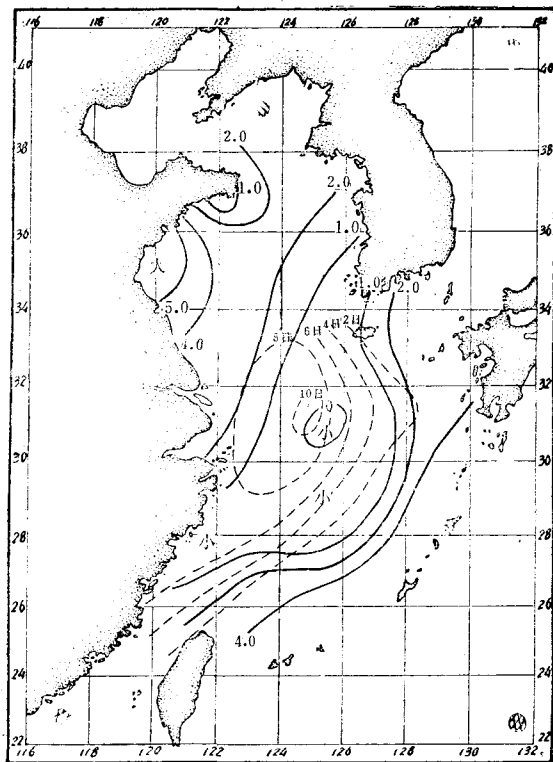


图3 五月饱和吹程图 (SE)

* 图中断线为雾日等值线, 单位为日 (下同); 实线为吹程等值线, 单位为纬距 (下同)。

这时雾日也很少。12月雾日在浙江、福建沿海，开始增多。可见，吹程图基本上可以表示海上雾日分布及季节变化。此外，如将雾日分布图与饱和吹程图仔细比较，还可以粗略地给出两者的换算关系。3—7月，当饱和吹程图中出现零值时，大致相当于月雾日在8—10天以上；出现1值时，相当于月雾日5—7天；2值时，相当于3—4天；3值时，相当于1—2天；4值时相当于1天以下；6值时无雾出现。从3月到8月吹程值从相当雾日数的下限逐渐相等与相当雾日数的上限。根据以上关系也可以绘制出3—8月东黄海海雾月雾日的近似分布图（图略）。

二、东黄海海雾季节分布特征

根据以上分析，饱和吹程图具有一定的理论依据，可以用它来描述海雾在海上的时空分布。为此，我们作出了各种风场下的饱和吹程图，发现3—7月的S、SE、SW、E以及7月的

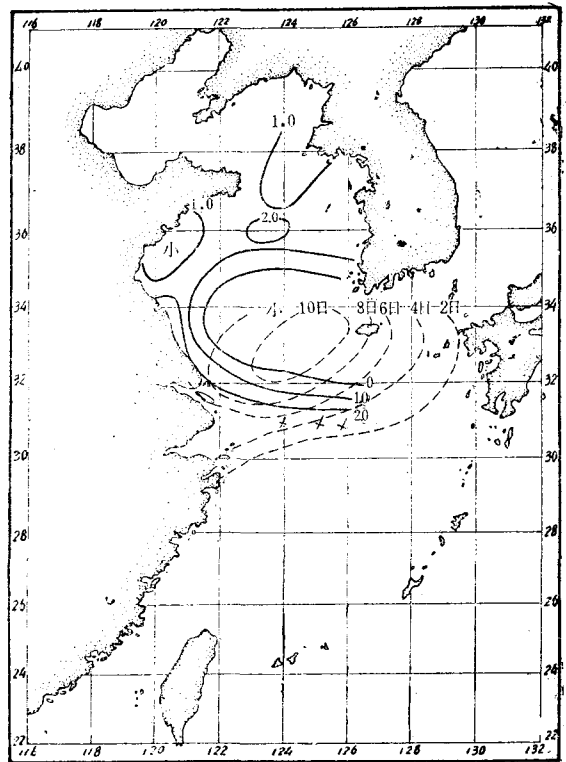


图5 七月饱和吹程图 (SE)

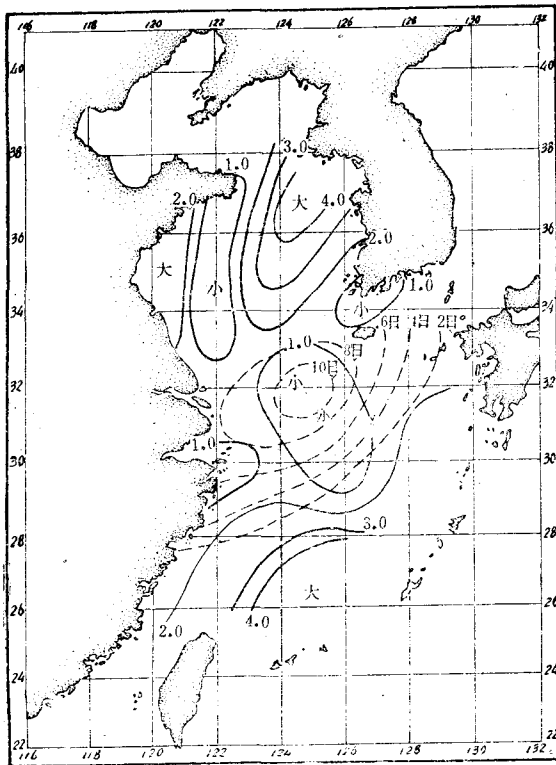


图4 六月饱和吹程图 (SE)

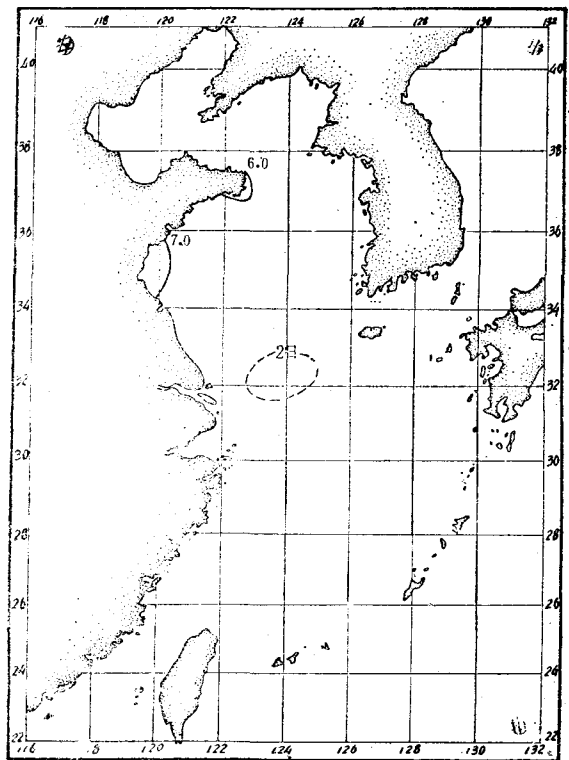


图6 八月饱和吹程图 (SE)

NE等风場都有可能在本海区产生海雾。由于地理位置的特定分布,对黄海来说,SW风仅影响朝鲜西岸海区,而SE风则对该区无影响。为简明地阐明本海区海雾分布特性,我们这里主要综合了S、SE两种风場时的饱和吹程图来进行讨论(S风风場图省略)。由图可以看到3月最易成雾区在东海中部的 $30-32^{\circ}\text{N}122-125^{\circ}\text{E}$ 范围内,沿岸易成雾区在福建北部、苏北—山东半岛南部及朝鲜西部沿海。以上地区,小吹程约一纬距,3月雾日均在4—5天。4月东海多雾,中心在 $30^{\circ}\text{N}123^{\circ}\text{E}$ 附近,中心小吹程已出现零值,最多雾日8—10天。沿海多雾区在福建沿海、苏北及青岛外海,月雾日5—7天,在 $36^{\circ}\text{N}124^{\circ}\text{E}$ 附近及黄海北部的辽东半岛海区,月雾日3—4天,其它地区约为4—5天。5月东海最易成雾区位置较4月东移,中心在 $31^{\circ}\text{N}126^{\circ}\text{E}$ 附近,吹程零值已成片出现,中心最大雾日在10天以上。沿海易成雾区分别在浙江、福建沿岸,山东成山头及南朝鲜沿海月雾日6天左右。少雾区在黄海中部从 34°N 至 38°N 沿 124°E 的狭长区域内,吹程达到二纬距以上,月雾日约3—4天。其它地区月雾日5天左右。6月东海成雾中心进一步北移,吹程图中1值线由黄海南部北伸到山东成山头以东海面,其中零值也相继出现,月雾日达10天以上;但在 $26^{\circ}\text{N}124^{\circ}\text{E}$ 附近仍残留一个相对少雾区(月雾日约4天)。另一个多雾区在朝鲜西部沿海,零值吹程也相继出现,月雾日可达10天。7月东海除北部外很少有雾;黄海中部及朝鲜西部沿海出现大片零值吹程区,相应的月雾日均在10天以上,黄海的其它海区均在8—9天(除山东半岛北部和辽东半岛南部月雾日少于6天外)。8月吹程图发生急剧变化,仅成山头及朝鲜南端西岸沿海有2值线存在外(月雾日相当于4—5天),其它海区,特别是黄海中南部和东海海区几乎无雾出现,9月以后,整个东、黄海吹程均在7—8个纬距,直至11月才在浙江、福建沿海出现一个相当于月雾日少于1天的4值吹程线。

以上图式基本符合东海及沿岸台站岛屿的

雾日统计规律。中国沿海多雾区与朝鲜西岸沿海多雾区也能明显地表示出来。值得一提的是4—6月,在黄海中部沿 124°E 有一南北走向的少雾区夹在山东南部沿海和朝鲜西部沿海多雾区之间。出现这一现象的原因是此处4—6月有一温度梯度很小的均匀暖水域存在。时至7月因该处水温分布已基本改变,均匀水温的暖水区已不复存在,在偏南流場作用下,大陆沿海多雾区与朝鲜西岸沿海多雾区联成一片,成为本海区海雾的最盛期。目前该海区海雾观测资料不太多,这一少雾间隔区的存在尚有待大量的观测资料来证实。

三、东黄海海雾分布与风向风速的关系

根据沿岸台站观测资料的分析,风場对海雾形成有着决定性的影响。东海海区的海雾多数出现在S—E—NE风向的范围内,其中以南风形成雾的频率最大。黄海的雾多数发生在S—E风向的范围内。资料中也指出海雾形成时的风速范围很广,从2—6级大风均可出现。为解释这些事实,并将讨论的范围从沿海扩展到整个东海、黄海海区,本文作出了SW、S、SE、E及NE等八个方向的饱和吹程图,结果仅上述五个方向有利于海雾形成。现就这些图例来说明雾季各海区海雾形成对风向风速的依赖关系。

为节省篇幅,这里仅再给出6月的SW风、7月的E和NE风(图7—9),略去其它各月不同风場的图例。

由图可见,在东海海区,S和SE风对海雾形成的作用基本是一样的。5—6月该流場对海雾形成作用最大;E风的作用在4—6月明显,其中5月最盛;西南风则以5—6月的成雾作用最大,其它月份基本上无雾形成。这一事实说明5—6月东海海雾最多。在黄海中部和南部海区,3—4月主要成雾流場为南到东南风,但西部东南风成雾机会比南风时稍多,东部南风成雾则比东南风多。5月苏北至

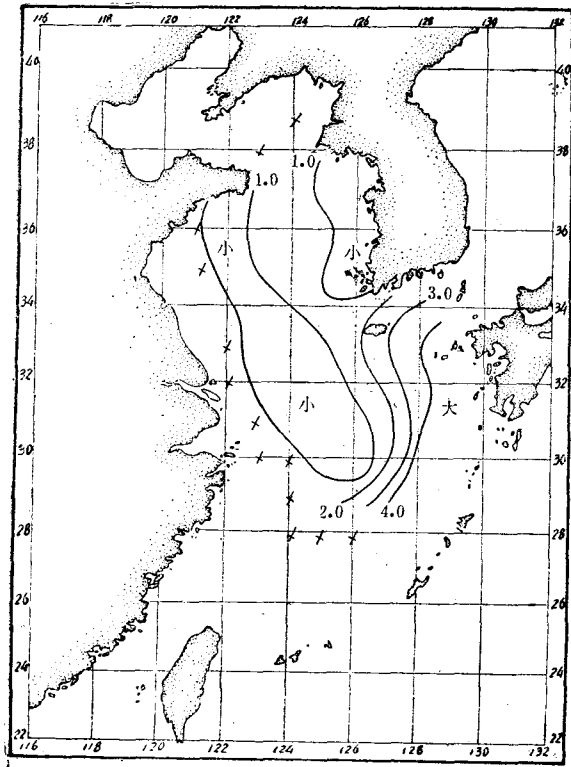


图7 六月饱和吹程图 (SW)

青岛沿海成雾流场以南风为主，黄海中部以西南风为主，黄海东部以南到东南风为主。6月南到西南风是黄海中南部成雾的主要流场，而当吹东南风时，由于沿122°E有一狭长冷水存在，似有可能沿122°E产生一南北条状的多雾区。7月西南—南—东以及东北范围内的风场均能使本海区生雾，这也许就是7月黄海雾最多的理由。在黄海北部海区，由于地形影响，仅当南风流场时，雾才有较多的形成机会，其它流场时一般成雾机会较少。

风速对海雾形成的作用有两个方面。一是产生一定风速切变，促使边界层内的湍流加强，造成逆温层内上下层之间的热量和水汽输送，它的大小与温度垂直分布一起决定了涡动传递系数 K_Q 的量值；有利于海雾形成的风速上限取决于逆温层结的高度。二是平流输送暖湿空气。在控制方程的右边第一项即表示平流输送作用，而风速愈大，则传送愈快。如果取其风速 $V = 5$ 米/秒时，1个纬距的行程约需6—7小时，这就是说饱和吹程图中1值线内

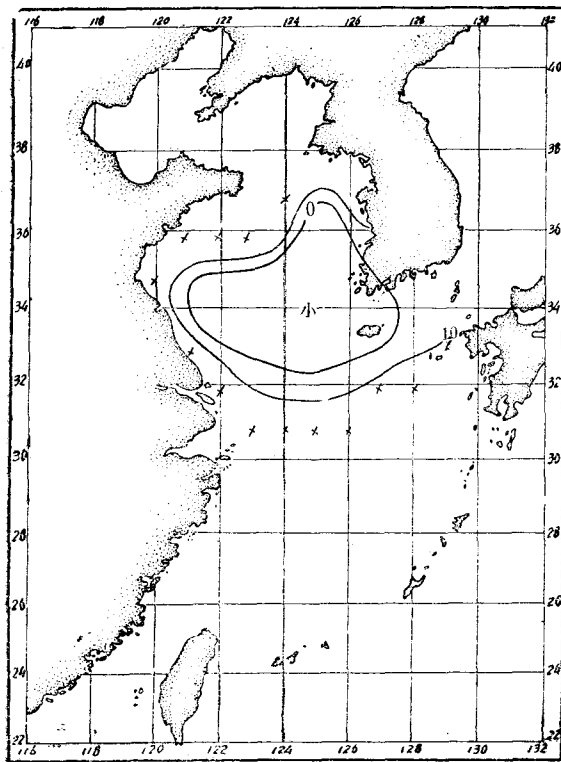


图8 七月饱和吹程图 (E)

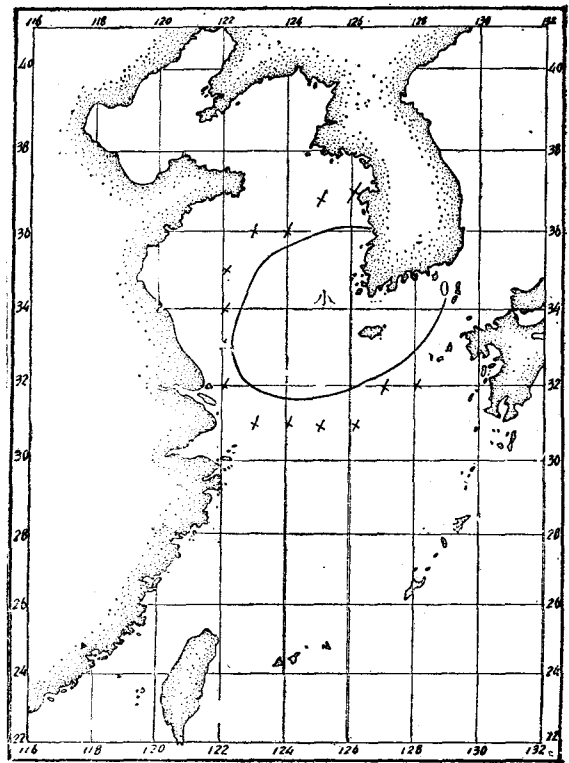


图9 七月饱和吹程图 (NE)

的地区，在上述给定风场下，至少要吹6—7小时之后，才可能成雾。此外，由吹程图也可以看到不同海区各月所需成雾时间也是不一样的，同一地区，同一流场，雾季最盛期与其它月份所需时间也是不同的。以上结论也已由预报实践所证实。

四、东黄海海雾与水温、气温及海流的关系

观测资料证实，海雾形成时，大气层结是稳定的。预报经验也指出，当水温低于气温1—2℃时，最有利于海雾的形成。本文仍以东、黄海大面水文气象资料来进行讨论。

1. 海雾与水温、气温的关系

水温是海雾形成必不可少的下垫面条件，但这一条件似随不同海区而异。唐津^[3]等认为北海道以东海区夏季(5—8月)海雾发生在20℃以下海面，4—9月则在30—40°N之间，海雾南界随水温20℃线北上。就该雾区南界的判据，对东、黄海海区来说，春季似有此现象，但夏季则无此规律。海面温度仅是平流雾形成过程中的一个因素。不同海域内的空气湿度不一样，成雾所要求的海面温度也应不一样。为确定海雾形成最有利的海面温度，首先要分析东、黄海雾季(3—8月)的水温与雾日分布的关系。比较该海区雾日分布与月平均水温分布图^[1]可以看到，3月份雾日5天以上雾区中心的北界在33°N123°E附近，此处水温为8℃左右。8℃水温等值线在4月移至黄海中部时恰是黄海雾季的开始。黑潮西侧一直均有少量海雾出现(黑潮主干地区终年无平流冷却雾)。6月水温26℃线在台湾东北部出现后，该线北侧雾日有所减少，雾日零线也明显北上，较显著的是台湾东北海面几乎无雾出现。

26℃线在7月进一步北上，雾日零线也随北上。

8月26℃水温线已控制整个南黄海，此时东海和黄海西南部均无雾出现，但在成山头与朝鲜西岸沿海仍是雾区。这种现象的存在是由东黄海海区特定的湿度场决定的。3月在30—32°N124°E附近有一小吹程区，它表明南来不远处的暖湿空气湿度充沛，极易达到饱和，而此处正是水温8℃。6月份26℃水温线出现在台湾北部，大吹程值也随之北上，至8月最为显著，除朝鲜南端和山东半岛东端及黄海北部外，吹程均大于8值。就是说，即使有足够大的吹程，能将遥远的南方空气带到黄海海面，但由于南来空气没有足够的水汽也不能成雾。事实是，整个海区的空气湿度，除8月有一小块范围外均未达到露点温度(26℃)所相应的饱和水汽压(33.6mb)。因此，我们可以粗略地认为8℃水温线是雾区的北界，26℃水温线为雾区的南界；在26℃线出现之前，雾区南界以黑潮主干西侧为界。

图10是沿124°E、26—38°N逐月水气温差演变图，它表明3—8月28°N以北的东海、黄海海区水气温差均为负值，该差值达-1℃以下。在9月至第二年2月水气温差又很快由9月小的负值变为正值。3—8月正是东黄海海区的雾季，可见气温高于水温是海雾形成的必要条件。

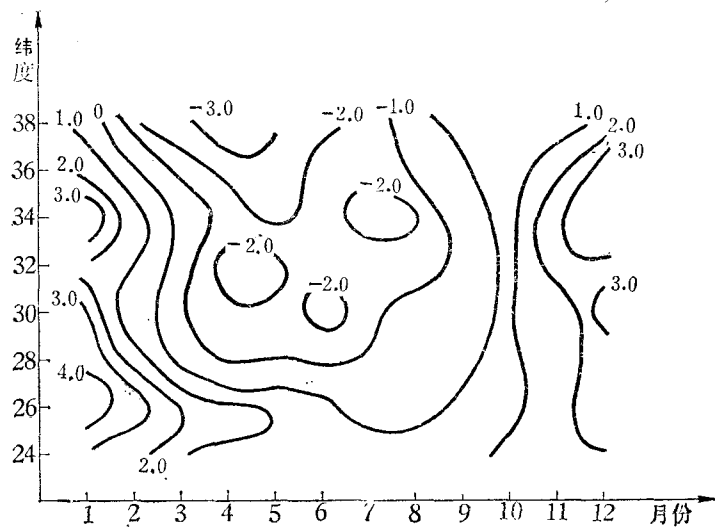


图10 沿124°E水气温差年变图

2. 海雾与海流的关系

关于冷暖洋流交汇促成海雾的形成已有不少论述,本文只着重指出黑潮暖流对黄、东海海雾的大面分布的影响。

就黑潮暖流区全年来说,除8月有部分地区气温稍高于水温外,水气温差均为正值,因此,在黑潮区及台湾东侧就平流冷却雾而言,全年平均为无雾或少雾。黄海暖流从对马暖流分出后进入黄海中部,致使该处水温高于两侧,造成黄海中部少雾区的存在。5月黄海中部的大吹程区也许就是由此所制。图11为东黄海海流示意图,由图中可以看到,南来的台湾暖流在长江口外转向东去,其北部有一来自黄海的冷流与之交汇,而此处恰恰是3—6月东海多雾区的位置。有趣的是如果将海流图与东黄海多雾区叠加,可以清楚地看到,黄海暖流区少雾;东海、大陆沿海及朝鲜西岸沿海为多雾区,而黑潮暖流主干部分几乎无雾出现,两者的配合是十分好的。由于资料欠缺,不能就黑潮对海雾季节的变化进行详细讨论,但可以估计,它仍然可能是一个重要的影响因子。

五、小 结

综上所述,可以得到以下结论:

1. 饱和吹程图基本上能反映本海区海雾的时空分布。对没有足够统计资料的海区是一个有用的工具,它可以定量地给出所需海区海雾时空分布的气候模式。

2. 南到东南风是东黄海水区形成海雾的最有利流场。这也是5—6月东海海雾最多、7月黄海海雾最多的原因。

3. 水温、气温和湿度的时空变化与风场一起规定了海雾的季节变异,气温高于水温是海雾形成的必要条件。雾季期间,在湿度场的配置下,8℃水温线为雾区北界;26℃水温线为雾区南界;在26℃线未出现之前,雾区南缘以黑潮主干西侧为界。

4. 海流流系的分布基本上规定了海雾的

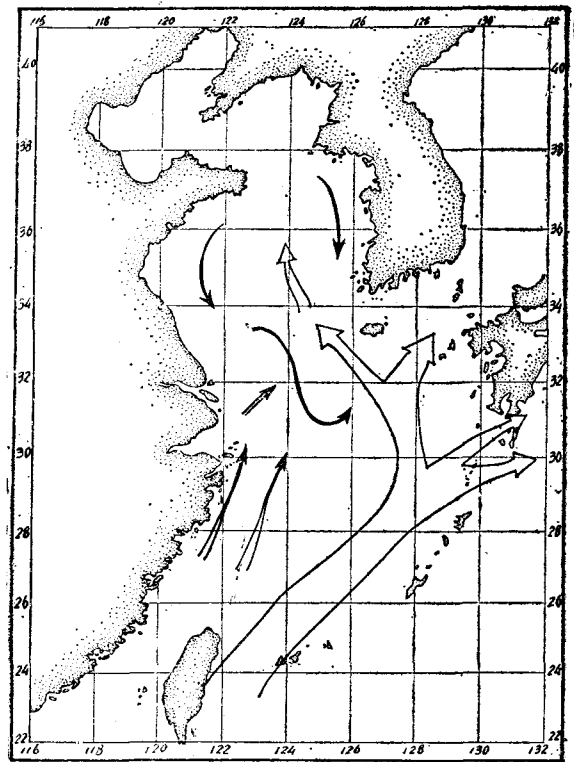


图11 东黄海海流示意图

空间分布。东黄海无雾或少雾区出现在黑潮主干;相对少雾区出现在黄海暖流的位置;多雾区分别出现在有相对冷水存在的中国大陆沿海及朝鲜西岸沿海。

由于饱和吹程图具有明确的物理意义,我们认为它除能解释海雾季节和分布规律外,如果海上水温、气温及空气湿度等资料能及时提供的话,还可以用来制作大面海雾的短期预报,这一工作有待进一步试验和研究。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所、中国科学院地理研究所,1977。渤黄东海海面热量平衡图集。科学出版社。
- [2] 狩生义明,1972。海の気象。18: 5—6。
- [3] 唐津等,1963。気象研究ノート。14。
- [4] Fisher, E. L. and P. caplan, 1963. J. Atmos Sci. 20: 5.
- [5] Roll, H. V., 1965. Academic Press.
- [6] Barker, E. H., 1976. Boundary Layer Meteorology. 2.