

应用北太平洋表层水温及环流场 进行海冰预报

臧恒范 张宝珍*

(国家海洋局海洋预报总台)

一、引 言

渤海及黄海北部处在中纬度地带, 每年冬季都有不同程度的结冰现象。以辽东湾结冰时间最长, 全部结冰日数平均为 100 多天, 约占全年的三分之一。从全海区看, 建国后冰情较重的有 1957、1968、1969、1977 年的 1、2 月份, 尤其是 1969 年, 渤海海面发生了该海区历史上罕见的冰封, 整个海面几乎全部被海冰所覆盖, 严重阻碍了海上的航运交通及海上石油开采工作, 从而给国民经济带来很大损失。但是, 也有的年份结冰却十分轻微。海冰的生成发展受着多种因素的影响, 然而对应该区冰情轻与重的各个年份, 都有相应的暖和冷的冬季。因此, 研究黄渤海冬季的冷暖特点, 掌握其冷暖规律, 进而及时准确地做好黄渤海冰情预报有着十分重要的意义。

在作长期天气过程预报时, 普遍认为海洋是重要热源, 海洋在长期天气变化过程形成中起着重要作用。近几年来, 不少从事天气预报的工作者和研究人员都很注意海洋的作用, 并且把它视为一个影响长期天气过程不可缺少的因子^[2-5]。本文对于运用北太平洋水温作因子预报我国的黄渤海海冰的问题, 进行了探讨。

实践证明, 造成海冰轻重的原因, 除海温场的异常外, 与大气环流的异常也有密切的关系, 所以在预报中也考虑了环流因子。为此, 首先找出前期海温场及大气环流状况与海冰关系较密切的相关场作为预报因子。但是, 由于相关不稳定性的存在, 在历史资料时段内通过较高检验水平的相关点, 仍不能保持在预报时段内具有较好的相关。为此, 本文具体地分析了这些非平稳过程, 进行了相关系数稳定性的检验, 找出了较稳定而同时又有一定物理意义的相关点作为预报因子, 我们不追求过高的拟合精度而注重提高预报准确率。同时考虑到不同时间尺度的过程形成机制可能有所差异, 所以应用了分波的方法进行了相同周期的分析^[6], 进一步了解了相关场与预报量之间的周期变化规律, 并用它改进了预报。

本文 1979 年 11 月 30 日收到。

* 张宝珍同志现在海洋出版社。

二、基本资料

渤海、黄海的冰情资料序列较短, 个例稀少, 从而对做好海冰预报带来了一定的困难。为了弥补这一问题, 首先将已有的冰情资料 (1963—1968年) 加以整理, 划分为冰情等级序列, 应用该资料与同期渤海气温 (锦州、兴城、天津、塘沽、惠民、潍坊、大连、营口八个站月平均气温为代表) 进行了 16 年的相关分析发现, 冬季 1 月、2 月平均气温序列与冰级的关系正相关显著, 其拟合曲线如图 1 所示, 可以看出, 其差值为 ± 0.2 级, 拟合平均误差为零, 这就证明了气温变化对于黄渤海海冰的生成发展起着重要的作用。

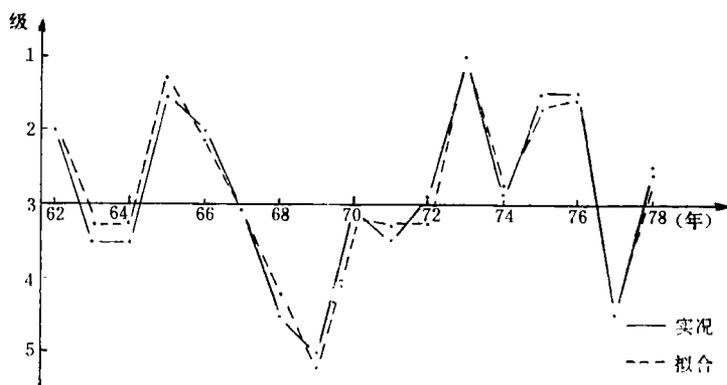


图1 黄渤海冰级与拟合曲线

为了进一步证明气温要素的变化对海冰影响, 我们又分析了秦皇岛海区冰量与气温之间的相关关系。通过分析得知, 1、2 月气温偏暖, 该年冬季的冰量就偏少, 反之则冰量偏多。其相关系数达 0.85, 从而可进一步认为, 冬季黄渤海沿岸气温基本上可以反映出冰情的轻重。因此可根据多年的气温资料将冰级序列延长为 28 年 (1951—1978 年), 为作海冰统计预报提供了序列较长的资料。

为了全面分析水温场及大气环流对冰情的影响, 我们选用了中国科学院地理研究所整理的北太平洋表层水温, 环流资料用中央气象局及北京大学的地面气压场和 500 毫巴高度场资料, 以及渤海冰级和冬季 1、2 月平均气温资料。

三、前期海温场异常与黄渤海海冰的关系

为了探讨北太平洋水温异常对渤海、黄海冬季海冰影响的可能性, 采用了北太平洋 (1949—1975年) 月平均表层水温与渤海沿岸八个站的气温及冰级进行了大面相关普查, 图 2 为前一年北太平洋月平均表层水温与冬季 2 月平均气温之间的相关分布。从图中可以

看到, 明显正负相关区主要在黑潮及西风漂流区域, 而西风漂流区域的负相关最为显著, 其负相关系数高达 0.64。这一事实说明, 前一年西风漂流区域的海温异常, 对我国冬季冰情可能有重要的影响; 而黑潮暖流相应地也起到一定的作用。为了进一步了解演变规律, 有必要进一步分析相关场的连续变化。图 2 中 *a*、*b*、*c*、*d*、*e* 图, 分别为前一年 2、4、6、8、10 月北太平洋水温场与冬季 2 月平均气温的相关分布图。从图中可以看出, 在西北太平洋有一明显的正相关区。自前一年开始, 2 月达最大, 相关系数为 0.54, 一直维持到 5 月份。自 6 月到 8 月该相关区不很明显, 从 9 月到 12 月相关区又变得比较显著。同时, 我们还可以看到, 在西风漂流区域, 为一明显的负相关区, 相关系数达到 0.62 以上, 并且信度大于 0.05 的区域范围也相当大。该相关区自 2 月开始一直维持到 8 月份, 而 8 月份以后则不显著。根据上面的结果对比, 黑潮区域及西风漂流区域对冬季 2 月份气温的影响时段不很一致。由此可见, 西北太平洋黑潮区域不仅夏末秋初对我国黄渤海的来年冬季海冰有影响, 而且更前的春季也同样起着一定的作用; 而春夏北太平洋西风漂流的强弱, 也同样起到相应的作用。这些显著相关区的出现, 不是偶然的巧合, 而是反映了海洋与大气间的相互作用的某些内在联系。但对于相互关系的物理过程有待于进一步探讨。

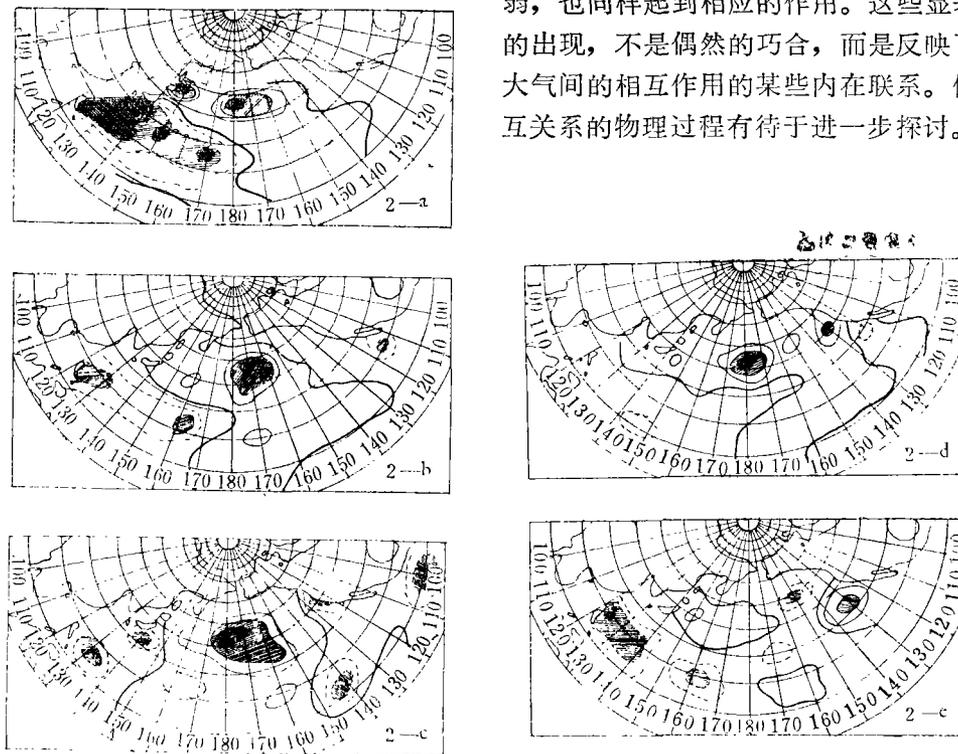


图2 各图依次为前一年 2、4、6、8、10 月北太平洋表层水温与冬季 2 月平均气温相关分布

图中粗线为零线, 实线和其中的单斜线、双斜线区分别为负相关系数等于 0.33 和大于 0.39、0.50 的区域, 它们相当于 0.10、0.05、0.01 的信度。虚线和其中的各种区域为正相关的情况

图 3a 是前一年 6 月北太平洋水温场相关区代表点 (45°N 上的 180°E 、 175°W 、 170°W) 三点距平和与冬季 2 月平均气温距平的年际变化曲线, 两条曲线的负相关系数达到 0.61, 经 F 检验已超过了 0.01 的信度水平, 特别是像 1968、1969 年的大冷年在西风漂流区的海温有明显的反应。图 3b 为前一年水温场 2 月及 3 月九点 (35°N 、 140°E 、 30°N 、 130°E 、 25°N 上的 125°E 、 130°E 、 20°N 上的 120°E 、 125°E 、 130°E 、 135°E 、 140°E) 距平和减去 2 月至 7 月 (45°N 上的 175°E 、 180°E 、 40°N 上的 175°E 、 180°E) 四点距平和值与冬季 2 月平均气温距平做成曲线, 由图可见, 两条曲线在趋势上基本一致, 同样也超过了 0.01 信度要求。以上若干事实表明, 前一年海温场的异常对我国冬季海冰的确存在着一定的影响。

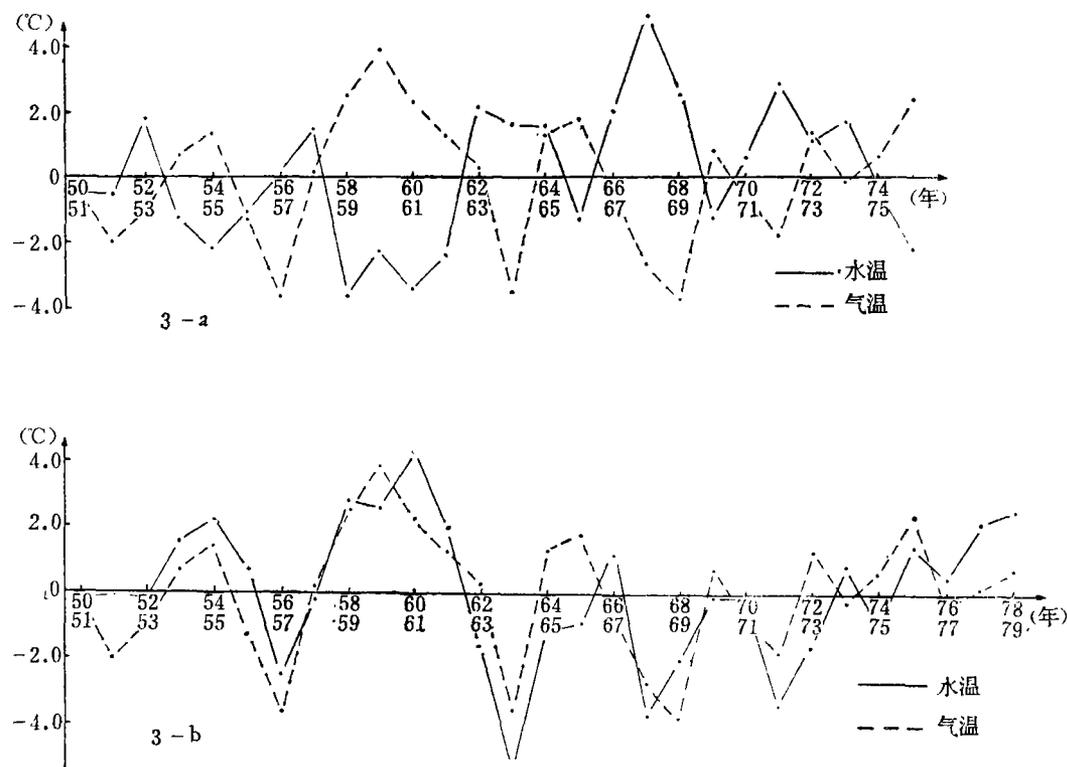


图3-a 前一年 6 月水温距平与冬季 2 月气温距平年际变化曲线

图3-b 前一年(2和3)-(2至7)月水温距平与冬季 2 月气温距平年际变化曲线

四、冬季海冰与前期大气环流的关系

按照同样的计算方法, 普查了 (1951—1976 年) 逐月海平面气压场及 500 毫巴高度场与我国渤海地区冬季月平均气温及黄渤海冰级的相关关系。从普查的结果得知, 前期海平面气压场及 500 毫巴高度场的异常对渤海地区冬季气温及冰情起着重要的作用, 可以作为冬季冰情预报的预报因子。

从 500 毫巴高度场与冬季 2 月份的相关普查结果表明, 其相关区域一般成片出现, 相

关区域有明显的规律性, 且影响近期较好, 所以选自前一年 6 到 10 月的相关区域的变化为预报因子, 以及在此基础上进行了某些大气活动中心的变化对海冰影响的分析。图 4 中的 a、b 两图分别为前一年 7、9 月份 500 毫巴高度场与冬季 2 月平均气温的相关分布图。由图 4-a 可以看出, 在北太平洋北部是负相关, 其中心位于 50°N 、 150°W , 负相关中心的相关系数高达 0.60 以上。欧洲是正相关, 它通过极地与堪察加半岛正相关区相联。非洲大陆以西的大西洋上空是正相关。从图 4-b 可以看出, 太平洋中部是负相关区, 其北部以及西到亚洲大陆为正相关区。而到 9 月份, 前一年 7 月份位于 50°N 、 150°W 附近的负相

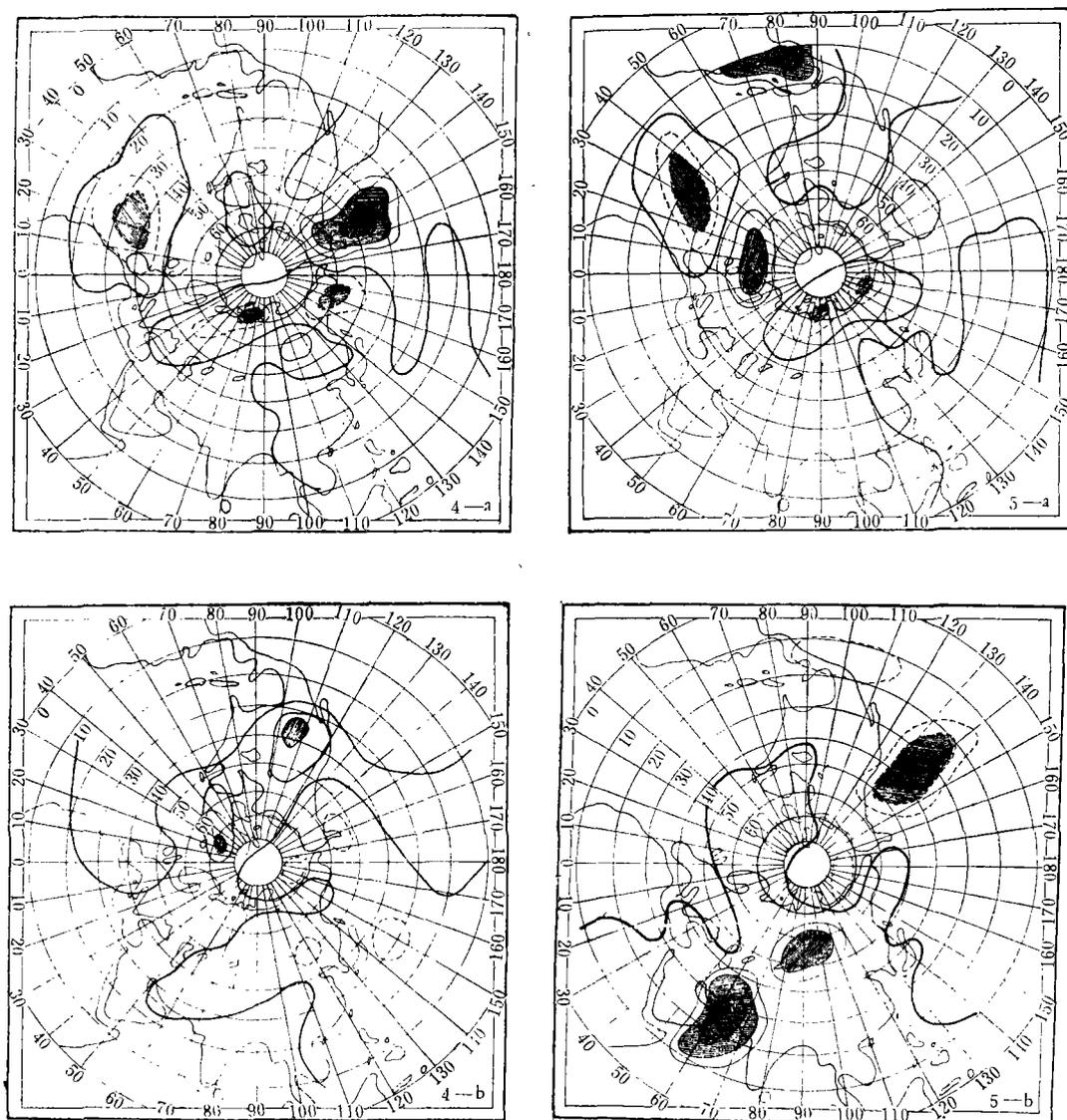


图 4 a、b 两图分别说明前一年 7、9 月 500 毫巴高度场与冬季 2 月平均气温相关分布

图 5 a、b 两图分别为前一年 7、9 月气压场与冬季 2 月平均气温相关分布

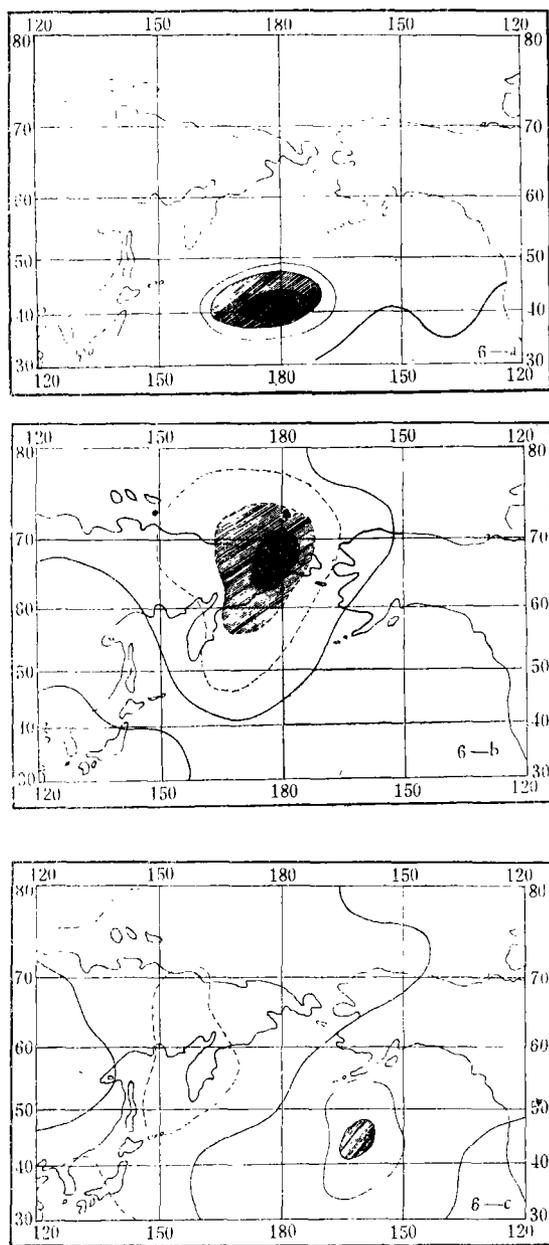


图6 各图依次为前一年7月水温场、海平面气压场及500毫巴高度场与冬季1、2月平均气温相关分布

出负相关,海平面气压场及500毫巴高度场呈现出正相关,但高空场比海平面气压场的相关中心略偏西一点,以上三者对于冬季1、2月气温影响的分析结果基本一致。这一有趣的现象正如文献^[1]在论述海洋与大气的相互作用中指出的,在洋流区,海温变化起主导作

关区移至加拿大附近,其信度大于0.05的区域范围相当大。通过分析认为,秋末冬初北美加拿大附近稳定的负相关区的存在,对冬季的冷暖起到了一定的作用。即秋末冬初北美大槽加深(加强),则冬季2月份偏暖的可能性较大,否则偏冷的可能性较大。

图5-a、b两图分别为前一年7、9月份海平面气压场与冬季2月平均气温相关分布图。由图5-a可看出,冰岛地区为一明显的负相关区,说明该固定中心的强弱变化直接影响着冬季2月气温的冷暖变化。若冰岛地区的气压值为负距平时,则冬季2月气温将趋于偏暖的趋势,否则将趋于偏冷的趋势。位于欧洲与堪察加半岛相连的正相关区以及位于非洲大陆以西的大西洋上空的正相关区,同500毫巴高度场的相关区域基本一致。图5-b表明,7月份于堪察加半岛以北的正相关区,9月份仍维持,7月份位于冰岛地区的负相关区移至欧亚大陆,其信度大于0.05的区域范围也相当大,其中心位于贝加尔湖以东,说明该区前一年9月份气压场比常年偏低时,第二年2月份气温趋于偏暖,否则偏冷。同时在太平洋东部也呈现出一明显的正相关区,对应于冬季的冷暖也起着相应的作用。

为了进一步了解水温场、气压场及500毫巴高度场三者对冬季气温的影响关系。由图6中a、b、c分别给出前一年7月水温场、海平面气压场及500毫巴高度场与冬季1、2月平均气温的相关分布图。这些图表明,在阿留申地区呈现的非常明显,水温场与1、2月平均气温呈现

用, 海温的变化影响大气环流。其原因在于明显冷暖洋流区, 当海温高时, 加热其上空大气, 而使之气压变低, 否则使气压变高。从而说明了冰情在一定程度上反映了前期海洋与大气环流在各个方面互相制约的结果。

五、预报试验

从以上所揭示的事实表明, 北太平洋水温的异常及大气环流的变化对我国渤海气温及冰情有着重要的影响。这种影响可持续一年之久。根据这种相依关系, 选出预报指标, 并对所选出的指标进行稳定性的检验, 从而对渤海气温及海冰作出检验预报和试报。

(一) 因子相关系数稳定性检验

在大面积普查的基础上, 选取相关比较显著的相关点作为预报因子, 但是该因子虽在历史资料时段内通过了较高检验水平, 是否能保持在预报时段内仍具有较好的相关系数, 必须进一步分析相关系数随时间的变化情况。为了减少计算量, 将因子序列分为 $N/2$, 首先计算出前 $N/2$ 的相关系数视为初始值, 继而不断增加年限, 这样可以求出 $N/2$ 个相关系数, $r_1, r_2, \dots, r_{N/2}$, 点绘出相关系数随时间的变化曲线, 提供未来相关系数增强或减弱的趋势分析, 进一步判断出相关系数的稳定性及其实用价值。图 7 为前一年 6 月份西风漂流区域表层水温与渤海冬季 2 月平均气温的相关系数变化曲线。此图说明了该因子比较稳定, 特别是未来相关系数趋势将是增强的趋势, 从而说明该因子的使用价值比较高。

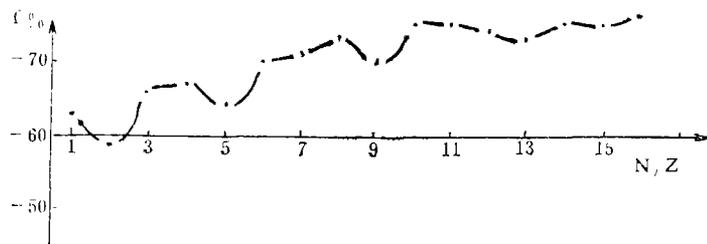


图7 相关系数变化曲线

(二) 冰情预报

第一预报关系——长、短波的分析及预报:

气象要素随时间的变化往往存在着周期性, 为了分析方便, 将三年以上的周期变化视为长周期变化, 三年以内的视为短周期, 并求其与相关区长短周期变化间的相关系数, 作出长短周期预报。

综合选取的前一年北太平洋水温及大气环流的相关区为预报因子, 共选取八个因子与冬季冰级作逐步回归分析。分别作出长短周期的预报, 然后将两种周期结果迭加, 得出冰级预报值。

(1) 长周期分析预报

通过逐步回归分析, 选入四个因子, 并得出回归方程:

$$\Delta y_1 = (12x_1 - 42x_2 + 35x_3 - 21x_6) \times 10^{-3} \quad (1)$$

其中 x_1 : (4+5) 月份 40°N 上的 170°E 、 180°E , 35°N 上的 160°E 、 170°E 、 175°E 、 180°E 六点水温距平合值。

x_2 : 2 月份 45°N 、 180°E , 40°N 、 180°E 二点水温距平合值。

x_3 : 4 月份 40°N 上的 175°E 、 180°E 二点水温距平合值。

x_6 : 7 月份 70°N 上的 170°E 、 180°E , 65°N 上的 165°E 、 170°E 四点气压距平合值。

因子复相关系数为 0.85, 经 F 检验超过了 0.01 信度要求, 拟合误差为 0.31, 图 8b 为冰级长周期波距平逐步回归拟合曲线, 可以看出, 计算值与实况基本一致, 从而预报 78—79 年冬季长周期波距平为 -0.80。

(2) 短周期分析预报

由计算得回归方程,

$$\Delta y_2 = (24x_2 + 32x_4 + 9x_5) \times 10^{-3} \quad (2)$$

其中 x_2 : 2 月份 45°N 、 180°E , 40°N 、 180°E 二点水温距平合值。

x_4 : 5 月份 45°N 上的 160°E 、 165°E 二点水温距平合值。

x_5 : 7 月份 40°N 上的 170°E 、 175°E 、 180°E 三点水温距平合值。

因子复相关系数为 0.69, 经 F 值检验超过了 0.01 信度要求, 拟合误差为 0.34, 图 8-a 为冰级短周期波距平逐步回归拟合曲线, 将 78 年预报因子代入方程 (2), 得 78—79 年冬季短周期波距平为 0.6。

(3) 长短周期波迭加

$$\Delta y = \Delta y_1 + \Delta y_2 \quad (3)$$

图 8-c 为长短周期波迭加与冰级距平拟合曲线, 从曲线的拟合情况来看, 其趋势基本

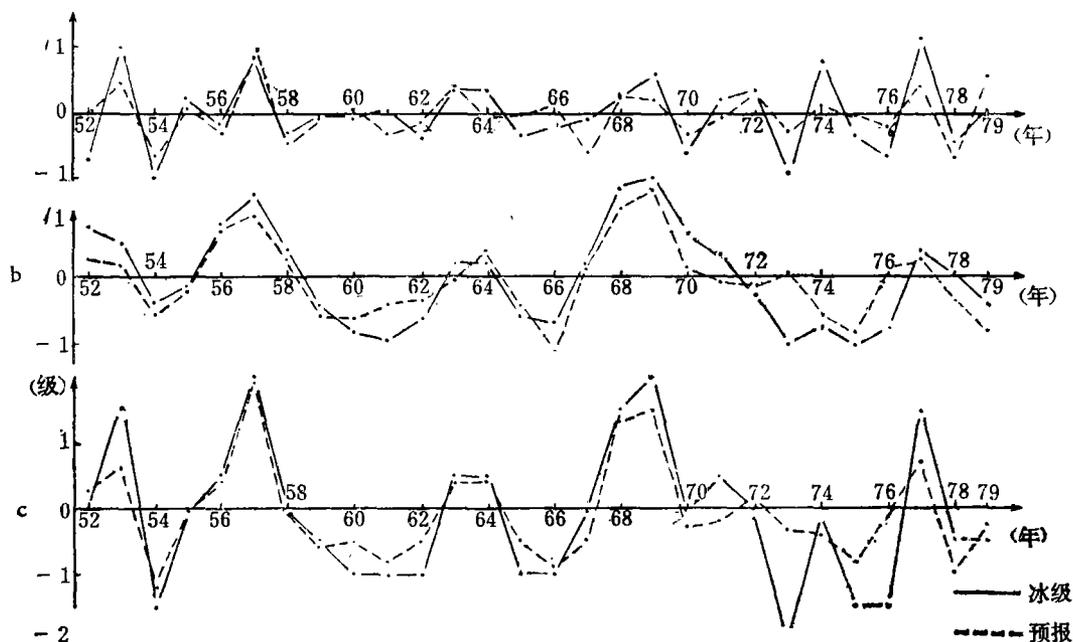


图8 a、b、c 为冰级距平长、短波及叠加拟合曲线

一致, 唯有 1973、1976 年拟合较差, 可能是由于其它原因所致。从而预报 1978—1979 年冬冰情为 2.8 级。

从长短周期分析与 1978—1979 年冬季冰情实况相比表明, 长周期波预报效果较好。充分说明选出的因子在近几年中长周期作用显示的较大。

第二预报关系:

与前一年 7 月气压场 (70°N 上的 170°E 、 180°E , 65°N 上的 165°E 、 175°E) 四点合值的相关关系, 其负相关系数达 0.67, 超过了 0.01 的信度, 应特别指出的如 1957、1968、1969、1977 年冰情严重或较严重的年份, 及 1954、1961、1966、1973 年轻冰年份在曲线上反映的比较明显, 可以看出这一因子是比较理想的, 故根据 1978 年 7 月的气压值及历史的变动规律估计, 1978—1979 年冬季冰情比 1977—1978 年可能略有偏轻, 即 2.5—3 级。

第三预报关系:

与前一年水温场西风漂流区域 5—7 月水温的相关关系, 根据其变化规律及其趋势, 预计 1978—1979 年冬季冰情为 2 级左右。

(三) 1978—1979 年预报及检验

表 1

预报项目		第一预报关系			第二预报关系	第三预报关系
		长周期	短周期	迭加		
冰 级	预报	-0.8	0.6	-0.2	2.5—3级	2级左右
	实况	-0.4	0.0	-0.4	2.5级	2.5级
1、2月平均气温	预报	1.3	0.5	1.8°C	1.5°C	1.2°C
	实况	2.1	-0.6	1.5°C	1.6°C	1.6°C
2月平均气温	预报	1.35	0.53	1.88°C	1.5°C	1.5°C
	实况	1.05	0.77	1.82°C	1.8°C	1.8°C

表 2

年代	预报	因子个数	复相关系数	拟合误差	预报值	分波真值	实测值	预报迭加值
1975年	长波	8	0.98	0.2	0.11	0.26	0.6	0.8
	短波	8	0.99	0.2	0.68	0.38		
1976年	长波	4	0.92	0.4	0.93	1.51	2.3	1.9
	短波	3	0.88	0.3	0.93	0.81		
1977年	长波	5	0.94	0.4	1.16	0.85	-0.3	0.3
	短波	4	0.90	0.3	-0.89	-1.20		
1978年	长波	4	0.92	0.4	0.18	0.05	0.2	0.2
	短波	5	0.91	0.3	0.02	0.20		

综合表 1 分析及计算结果认为, 预报 1978—1979 年冰情及气温情况与实况基本一致。

表 2 为应用分波的方法对冬季 2 月平均气温进行检验预报的结果, 从表中可以看出, 因子复相关系数均超过 0.88 以上, 拟合误差均小于 0.4, 预报检验结果与实况基本一致。

以上分析得到的一些初步结果, 只不过是应用北太平洋水温场、海平面气压场及 500 毫巴高度场进行海冰预报的一个尝试。因时间短促, 再加水平有限, 对于海气之间的相互作用的内在关系还不十分清楚, 因此难免有错误。在预报应用方面, 仅仅是开始, 有待于今后实践中验证。

六、小 结

1. 北太平洋水温异常对我国冬季海冰有一定的影响, 特别是近些年来出现的重及轻冰年, 在北太平洋前期海温场的分布中均有明显的反映。前期黑潮区域为明显的正相关区, 影响时间为一年, 前期西风漂流区域与冬季气温为一明显的负相关区, 其影响时间为前期 2 至 7 月份为最显著。

2. 2 至 7 月份西风漂流区的水温正距平, 对应冬季冰情偏重, 否则偏轻; 春季和夏末秋初北太平洋(黑潮区域)水温呈现为正距平, 对应冬季冰情偏轻的可能性大, 否则偏重的可能性大。

3. 海平面气压场的变化对我国冬季冰情的轻重也有一定的影响。前期 7 月份阿留申地区呈现为一明显的正相关区, 影响时间为半年。

4. 大气环流的变化与冬季冰情同样也存在着密切的关系, 根据初步分析认为, 秋末冬初北美大槽的加强, 则冬季冰情偏轻的可能性较大, 否则偏重的可能性较大。

5. 相关统计预报经过相关系数稳定性的分析检验和分波处理, 预报效果可以得到一定程度的提高。

本文承王绍武同志指导和协助, 谨此致谢。

参 考 文 献

- (1) 王绍武等, 冬半年海洋与大气的相互作用, 海洋学报, 2 (1980), 2, 27—40.
- (2) 中央气象局长期天气预报组, 冬季太平洋海水温度异常对我国汛期降水的影响, 海气相互作用与旱涝长期预报, 6 (1978), 1—12.
- (3) 何家骅, 西太平洋台风活动与海温场的关系, ——, 6 (1978), 73—77.
- (4) 李克让等, 北太平洋海温距平向差对副热带高压影响的若干事实, 大气科学, 3 (1979), 2, 150—157.
- (5) Сап, С. И., Температурное поле океана и предказание ледовых явлений на морях, ТР., ГМЦ, 83 (1971), 87—94.
- (6) Кап, С. И., Прогноз и расчёт ледовых характеристик в Охотском море, ТР. ЦИП, 156 (1966), 105—119.

**FORECASTING OF SEA-ICE REGIME BY USING THE SEA-SURFACE
TEMPERATURE OVER THE NORTH PACIFIC AND THE CHARAC-
TERISTICS OF THE ATMOSPHERIC CIRCULATION OVER THE
NORTHERN HEMISPHERE**

Zang Hengfan and Zhang Baozhen

(*Marine forecasting center of the National Bureau of Oceanography*)

ABSTRACT

It was found that the sea-surface temperature and the characteristics of atmospheric circulations in preceding months are closely related to the temperatures and ice regime in winter months. This relationship was most strongly reflected over the strong ocean-current regions and over the regions with quasi-permanent atmospheric center actions. It has been also shown that the influence of the ocean on the atmosphere is more pronounced over these regions. This relationship may offer a key for long-term forecasting of the sea ice regime in winter. In addition, because there is an obvious instability the stabilities of the correlation coefficients were analysed. Considering that the formation of weather process may changes with the variations of time scale, predictions for longer and shorter time scales processes are considered separately.

So the conclusion, some results and tests of forecasting in recent years are given.