

# 东海及外缘海域表层海水 温度场的分析与预报\*

杜碧兰 袁小军

(国家海洋局海洋环境预报中心)

## 摘 要

东海及外缘海域月平均表层海水温度场变化的持续性较好, 正温度距平场最长可持续18个月, 负温度距平场可持续14个月。能谱分析结果表明, 由于该区受黑潮暖流系统的控制, 存在明显的6.7年周期。

文中给出了几种以数理统计为基础的表层水温场预报方法, 即单要素和多因子的经验正交场分解时间序列预报方法, 对东海及外缘海域月平均表层海水温度场进行了连续6年(1978-1983)的实时预报, 其效果比较稳定, 预报误差较小, 从1978~1983年的平均预报误差为 $0.53^{\circ}\text{C}$ 。

## 一、引 言

东海及外缘海域海水温度场的变动直接影响着东海渔场及外海远洋渔场的开发和利用, 因此开展这一海域的大面积海水温度分析和预报研究是十分重要的。

东海及外缘海域范围如图1所示, 内含61个点, 用于分析和预报的月平均表层水温资料序列长为31年(1953—1983)。该区由于受到西北太平洋强大黑潮暖流系和近海江、浙、闽沿岸流系的控制, 其热状况颇为复杂。两种性质不同的流系相汇, 往往形成明显的海洋锋, 而两者的消长又导致海洋锋及渔场中心位置的变动, 因此该海区为满足渔业资源开发要求的大面积海水温度预报成为急待解决的问题。

文章首先对东海及外缘海域表层水温场进行了经验正交函数分析、时间序列分析和功率谱分析, 找出了水温距平场变化的持续性和周期性, 为温度场预报提供了重要依据。

文中针对国内外为实施大面积水温预报而常用的单点集合预报方法的不足, 提出了几个经验正交函数分析与时间序列预报相结合的场预报方法[1][2]。该法不仅考虑了水温场各站点间的内在联系, 同时也考虑了水温场与影响气象因子场间的相互关系。因此较成功地实施了连续6年(1978—1983)的东海及外缘海域月平均表层海水温度预报。

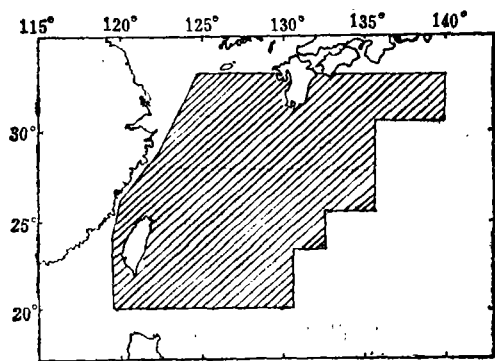


图1 预报海区图

本文1985年3月收到。

\* 张建华同志参加本文的计算工作

## 二、表层海水温度场的分析

### (一)经验正交函数分析

用经验正交函数展开的方法,对东海及外缘海域月平均表层水温场进行了分解,分为空间和时间两个分量。若用矩阵形式表示则可写为

$${}_M W_N = {}_M T_K X_N$$

其中,空间分量 $X$ 为经验正交函数(特征向量),可通过表层水温场现有资料的协方差阵求得。 $T$ 为时间权重系数,可通过表层水温场和经验正交函数求得。下标中 $M$ 为年份、 $N$ 为点数、 $K$ 为分解主成分项数。这里仅就空间分量 $X$ 的分布特征予以讨论。

表层水温场特征向量的每个分量场,在特定的研究海域内,都表征着某一特殊的物理意义[3][4]。尤其前几个特征向量占的比重大代表性好。东海及外缘海域表层水温场的第一特征向量,如图2和图3所示,表征了该海区冬季(2月)和夏季(8月)表层水温场的常年分布趋势。冬季由于近海沿岸流系减弱,相对黑潮流系较强,使第一特征向量等值线呈东北西南走向。而夏季第一特征向量的等值线分布基本呈南低北高型,济州岛西南海域值较大。这种分布主要是由于夏季浅海水体增温较大,且长江径流较强,高温淡水冲向外海并向济州岛方向伸展的结果。

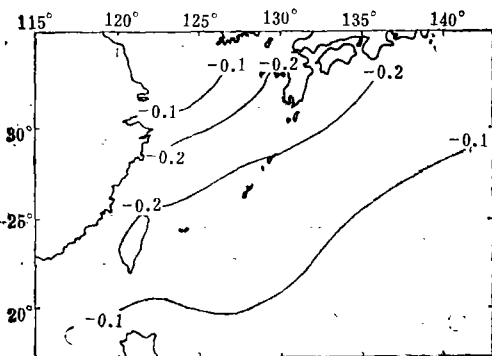


图2 2月水温场第一特征向量分布

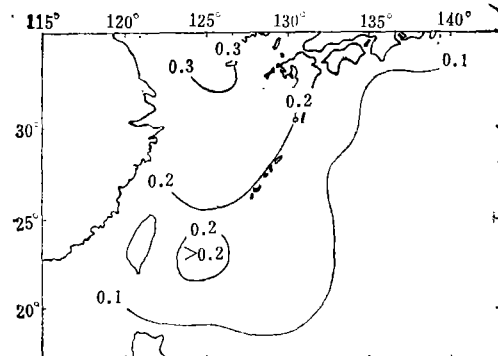


图3 8月水温场第一特征向量分布

水温场的第二特征向量分布,如图4和图5所示,表征了该海域主要冷暖中心的配置。冬季由于北半球太阳辐射的减少,东北季风的作用以及海水垂直对流的加强,研究海区表层水温显著降低,在东海南北部各出现一个相对的高值中心,在黑潮主干区出现明显的幅度较窄的热平流系统。可以看出,黑潮暖流是冬季海洋向大气输送热量的重要场所。夏季水温场第二特征向量分布中的两个各自独立的正负值区表明东海和日本以南黑潮延伸区是处于两种性质截然不同的水系之中,东海西部为浅海混合的变性水团[5],而黑潮延伸区则为高温高盐的太平洋上层水团。

水温场第三特征向量分布表征了该海区表层水温场的经向和纬向分量,冬季呈经向型、夏季呈纬向型。水温场的第四和第五特征向量分布比较散乱,体现了表层水温场局地冷暖中

心的存在。

## (二) 时间序列分析

东海及外缘海域月平均表层水温场的横向时间序列是从1953年1月至1983年12月，共含372个月。为了研究表层水温场的变化趋势，消除年变程影响，使之能在同一水平上进行比

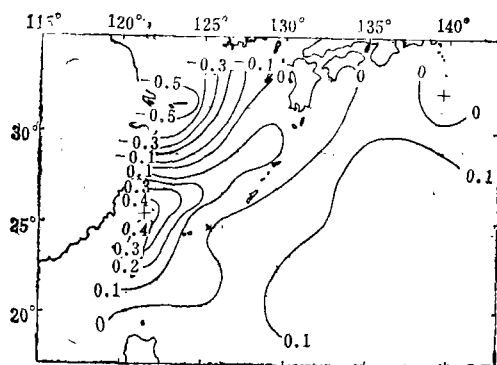


图4 2月水温场第二特征向量分布

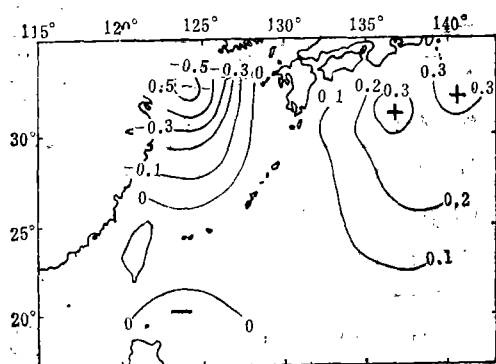


图5 8月水温场第二特征向量分布

较，对水温场进行了距平化处理，构成了水温场距平的时间序列(见图6)。从图6的表层水温场月距平变化曲线中发现，正温度距平场最长可持续18个月(1958.12—1960.5)，负温度距平场可持续14个月(1967.10—1968.11)。从整个水温场距平曲线变化趋势来看，距平符号曾

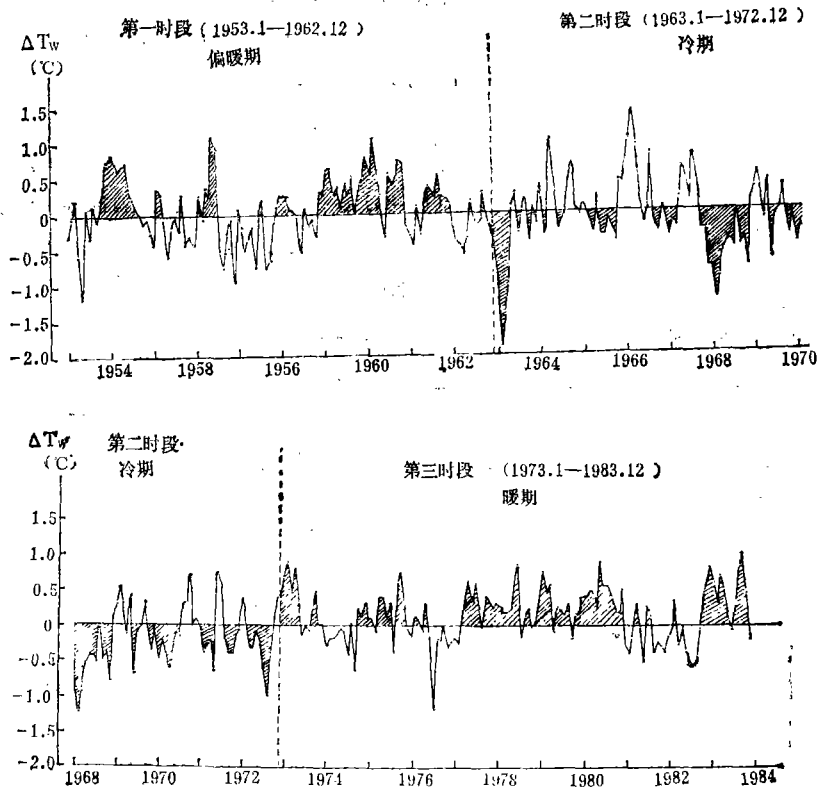


图6 表层水温场月距平变化曲线

发生过两次较大的转折,使曲线分为冷暖不同的三个时段:第一时段,从1953.1至1962.12为偏暖期(见表1);第二时段从1963.1至1972.12为冷期;第三时段从1973.1至1983.12为

表1 表层水温场趋势变化时段

时段	时段长度(月)	时段距平和值( $^{\circ}\text{C}$ )	时段距平均值( $^{\circ}\text{C}$ )	类 型
第一时段	120 (1953.1-1962.12)	5.49	0.05	偏 暖 期
第二时段	120 (1963.1-1972.12)	-10.49	-0.09	冷 期
第三时段	132 (1973.1-1983.12)	18.39	0.14	暖 期

暖期。从表中时段距平均值看出,近10年来东海及外缘海域表层水温场明显偏暖,较第一时段平均偏高 $0.09^{\circ}\text{C}$ ;比第二时段平均偏高 $0.23^{\circ}\text{C}$ 。这一分析为水温场横向预报中选取预报序列的起点和长度提供了依据,目前使用的距平序列即是第三时段,属全序列的第二个暖期,其偏暖趋势至今仍保持。

### (三) 谱分析

为了较客观地分析东海及外缘海域表层水温场变化的周期性,采用了表征频率域内各种振动方差结构的谱分析<sup>[6]</sup>,将有限时段上周期波迭加推广到无限长的时段上去,从而找出水温场的主要振动周期。对水温场距平序列进行标准化处理和落后自相关系数的计算后,求出粗功率谱估计值,然后计算平滑功率谱并进行平滑谱的显著性检验,由于水温场序列具有明显的持续性,故应用红噪声标准谱对谱估计进行检验。最后计算得出的东海及外缘海域月平均表层水温场的能谱分布如图7所示,6.7年周期最为显著。

为进一步了解研究海区不同水系温度变化的周期性,对其所含61点水温的距平序列均进行了功率谱分析,得出东海及外缘海域表层水温场主要振动周期的空间分布,从中发现黑潮暖

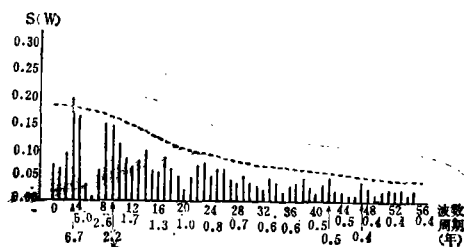


图7 东海及外缘海域月平均表层水温场能谱分析

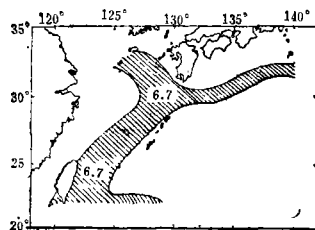


图8 表层水温场具有6.7年周期的站点分布

流区站点的水温大都具有明显的6.7年周期,并构成了大范围含有6.7年周期的水温变化区(图8),有趣的是它与黑潮流系的空间分布(图9)相对应。这一事实不能不使我们考虑,在东海及外缘海域表层水温场的形成过程中,黑潮暖流系统起了主导和控制作用,从而得知研究黑潮暖流变化规律对该海区水温场分析和预报的重要性。至于它们的6.7年周期的形成原因尚待进一步探讨。

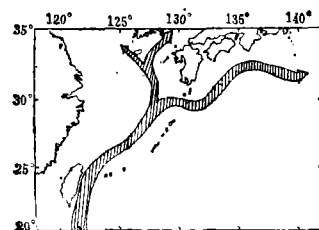


图9 黑潮暖流模式图

### 三、表层海水温度场的预报

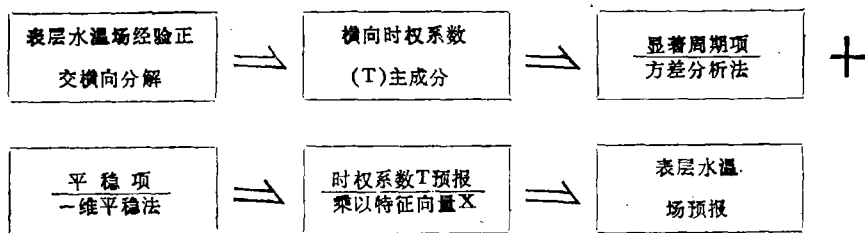
#### (一) 预报方法

大面积表层海水温度预报, 实际上是一个温度场的预报。目前国外用热力学方法进行研究的只是某些数值试验[7][8][9], 尚未解决实际预报问题。故采用数理统计预报的方法较多, 其中不少是采用单点集合预报方法的, 这类方法忽视了各站点间海水温度的内在联系, 因而预报结果不够理想。针对这类方法的不足, 提出了经验正交函数分析与时间序列预报相结合的场预报方法[1][2]。这类方法将预报海区各站点所组成的温度场视为一个整体, 经经验正交分解成空间和时间两个分量。利用其空间分量在短时间内几乎不变的特性, 再通过各种单要素和多因子的时间序列预报方法, 对其时间分量进行外推预报, 从而实现大面积表层水温预报。表层水温场的经验正交分解过程收敛较快, 用少数几项就容易逼近。在计算中一般取5~7项主成分(K值)其总方差贡献就可达85%以上, 满足预报精度的要求。

作者经过研究、验证和改进, 投入业务预报使用的月平均表层水温场预报方法有下列四种, 每种预报方法的处理方案简述如下:

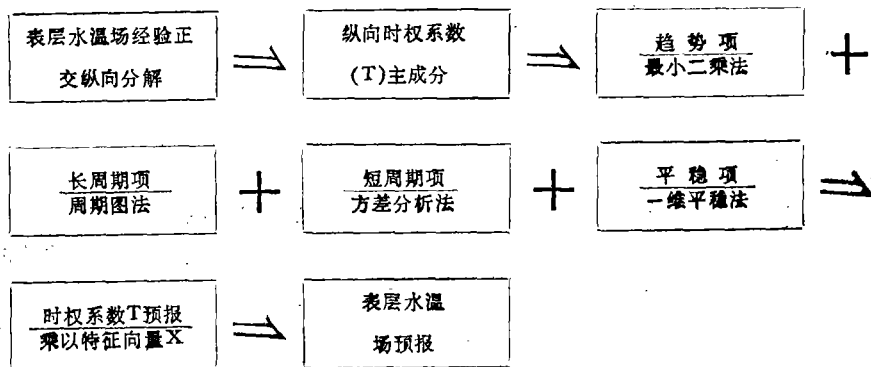
##### 1. 经验正交横向序列预报法

这一方法属于单要素场预报, 它要求连续的逐月表层水温场资料按横向时间序列排列, 再进行经验正交场函数展开, 并根据水温场自身的演变规律实现惯性外推预报。这种方法的优点是考虑了海水温度场的继承性, 预报效果较好, 但预报时效不很长。这一方法的技术细节参见文献[1], 其思路可用下列图式表示:



##### 2. 经验正交纵向序列预报法

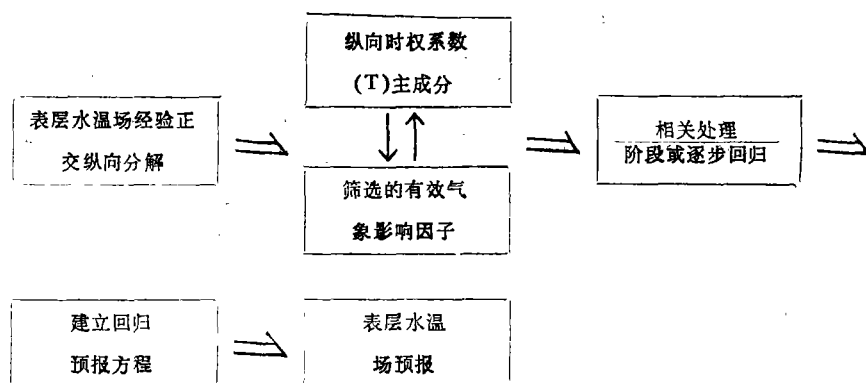
这种方法亦属于单要素场预报法, 它要求多年同月的水温场资料按纵向时间序列排列, 再进行经验正交函数展开, 根据多年同月水温场的变动规律, 实施外推预报。这一方法的优点是预报时效长, 预报方法的思路如下:



### 3. 正交多因子场预报法

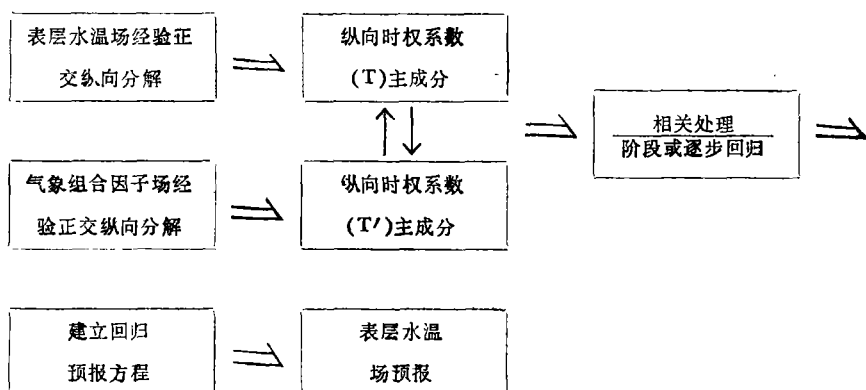
该方法属于多因子场预报,这类预报的优点是不仅考虑了水温场各点之间的内在联系,同时也考虑了水温场与气象因子之间的相互联系。因此预报效果较好。

月平均表层水温场纵向序列经经验正交分解后所得出的纵向时权系数 $T$ 主成分与通过相关普查选出的有效气象影响因子(如气压场、高度场、经向和纬向环流指数及太平洋付高指数等)建立相关关系而实现外推预报,其预报思路为:



### 4. 正交综合因子场分解预报方法

这一综合因子场分解预报法与前一多因子场预报方法的不同点,是表层水温场经验正交分解后的时权系数 $T$ 主成分不直接与有效气象因子建立关系,而是与气象影响因子组合场的经验正交分解纵向时权系数 $T'$ 主成分建立相关关系。这种预报方法对某些极端情况的预报效果较好,该方法细节参见文献[2],其预报思路如下:



## (二) 预报检验

六年(1978-1983)来东海及外缘海域月平均表层海水温度预报的实践证明,由于预报员对预报海区水温场变化过程及其规律认识的逐步深化以及对所用上述预报方法的不断改进和完善,预报效果和预报准确率是比较稳定的。这里应当提出的是,由于各种预报方法都具有某种局限性,因此在预报实施过程中,应采用各种预报结果的综合预报。1978年以来各月综合预报检验结果以水温场平均绝对预报误差(简称均绝差)形式来表示(表2)。1978-1983年

间72个月的平均预报误差为 $0.53^{\circ}\text{C}$ 。

由于东海及外缘海域表层水温场的热状况比较复杂，所以预报距平场与实测距平场之间往往出现一些差异或反号现象，但总的变温趋势报得比较接近。图10和图11分别为预报海区1980年5月表层水温距平场的预报图和实况图。从温度距平场的配置看是比较相似的，距平量值上也比较接近，尤其东海区报得比较好，琉球群岛东南方差别大一些。图12和图13分别为1981年8月表层水温距平场的预报和实况图，两者也较为相似，但负距平区报得稍大了些。

表2 1978—1983年各月月平均表层水温预报检验

均绝差( $^{\circ}\text{C}$ )	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
年														
1978		0.42	0.54	0.55	0.59	0.51	0.48	0.58	0.87	0.33	0.38	0.37	0.47	0.51
1979		0.54	0.73	0.45	0.56	0.53	0.46	0.40	0.60	0.40	0.52	0.39	0.48	0.51
1980		0.50	0.49	0.62	0.50	0.43	0.71	0.34	0.72	0.69	0.33	0.39	0.81	0.54
1981		0.52	0.46	0.44	0.50	0.58	0.51	0.66	0.38	0.42	0.34	0.53	0.49	0.49
1982		0.25	0.34	0.81	0.65	0.45	0.66	0.75	0.48	0.53	0.40	0.55	1.25	0.59
1983		0.74	0.55	0.29	0.63	0.44	0.34	0.64	0.51	0.62	0.78	0.28	0.55	0.53
平均值 (1978—1983)		0.50	0.62	0.53	0.57	0.49	0.53	0.56	0.59	0.50	0.46	0.42	0.68	0.53

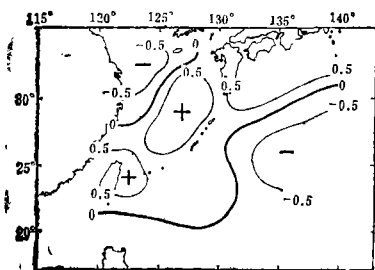


图10 1980年5月 月平均表层水温距平预报图

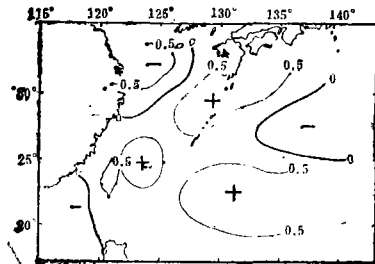


图11 1980年5月 月平均表层水温实况图

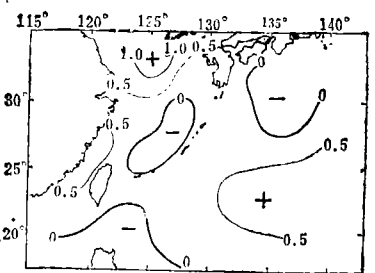


图12 1981年8月 月平均表层水温距平预报图

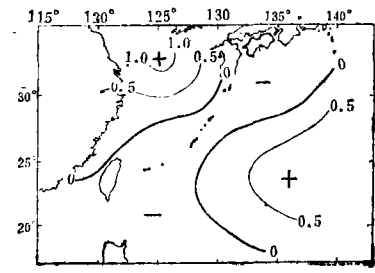


图13 1981年8月 月平均表层水温距平实况图

## 四、结 论

(一) 东海及外缘海域表层水温场，由于受黑潮暖流和近海沿岸流的共同影响，具有比较复杂的热结构。从整个预报海区水温场的功率谱分布看出，最显著的振动周期为6.7年。

同时水温变化周期为6.7年站点的空间分布区与黑潮流系的分布区相对应。这一事实说明,在东海及外缘海域表层水温场的形成过程中,黑潮暖流起了主导和控制作用。

(二)研究海区表层水温场有较好的持续性,从其距平序列变化趋势来看,可明显地分为三个时段:第一段可从1953.1至1962.12为偏暖期;第二时段从1963.1至1972.12为冷期;第三时段从1973.1至1983.12为暖期,这种暖的趋势目前仍保持着。

(三)作者提出的经验正交横向序列预报法、经验正交纵向序列预报法、正交多因子场预报法和正交综合因子场预报法四种预报方法,经实践检验证明具有思路明确、误差小、预报效果稳定的特点,是实施大面积水温预报的较为有效的方法。

(四)在表层水温场预报的实施过程中,为了提高预报的客观性,应采用多种方法的综合预报,这样可取长补短提高预报的精度。

### 参 考 文 献

- [1] 杜碧兰 宋学家,应用经验正交函数分析预报表层海水温度的方法,海洋学报,3卷1期,1981,14-27.
- [2] 杜碧兰 宋学家 张建华,表层海水温度场的正交综合因子场分解预报方法,海洋学报,4卷2期,1982,149-158.
- [3] Лебедева Н.И., О превышении поля температуры Воды на поверхности Балтийского моря, сборник работ ЛГМО вып. 9 1977, 28-36.
- [4] Weare B.C., Nava to A.R. and Newell R.E. Empirical orthogonal analysis of Pacific sea surface temperature. *Journal of physical Oceanography*, 6.5.1976, 671-678.
- [5] 苏育嵩,划分变性水团边界的温盐点聚对照法与东海西部海区变性水团的分析,海洋学报,2卷1期,1980,1~16.
- [6] 黄忠恕,波谱分析方法及其在水文气象学中的应用,气象出版社,1983.
- [7] Jacob W.J., Numerical semiprediction of monthly mean Sea Surface temperature, *J. Geophys. Res.* Vol.72, No6, 1967, 1681-1689.
- [8] Adem J., Numerical thermodynamical Prediction of mean monthly ocean temperatures, *Tellus*, Vol.27, No9, 1975, 541-551.
- [9] Несеров Е.С., Численный Прогноз Термических характеристик верхнего слоя океана: В Северной Атлантике, Труды Гидрометцентра СССР., Вып.200.1978, 22-29.

## ANALYSIS AND FORECAST OF SEA SURFACE TEMPERATURE FIELD FOR THE EAST CHINA SEA AND THE ADJACENT WATERS

Du Bilan Yuan Xiaojun

(Marine Environmental Forecasting  
Center of SOA)

### Abstract

The monthly mean sea surface temperature(SST) field of the East China Sea and the adjacent waters has good continuity, the positive temperature anomaly field is able to last for 18 months and negative



anomaly field for 14 months. The results of energy spectrum analysis show that the dominant period of 6.7 years exists in the forecasted area because of being in control of the Kuroshio warm current system.

The some forecast methods of SST field based on mathematical statistics are given in this paper, those are the methods of monofactorial and multi-factorial empirical orthogonal field decomposition with time series prediction. The suggested methods have been used for forecasting practice of monthly mean SST field in the East China Sea and the adjacent waters for six years (1979-1983). The forecasted result is relatively stable and forecasted error during 1979 to 1983 is  $0.53^{\circ}\text{C}$ .