

# 长江口外表层盐度预报方法初探

曹 欣 中

(国家海洋局第二海洋研究所)

## 提 要

本文运用正交经验函数场分解法对长江口外表层盐度预报进行了初步探讨。采用了有较大实用意义的横序预报法。研究表明,用该方法对长江口外表层盐度进行预报,有较大的潜力和优越性。根据1975年4月至1978年6月,共35个站位的断面观测盐度资料找出35个与时间无关的本征矢量,且获得一组仅和时间有关的新资料序。利用这组资料给出了十九阶自回归预报模式进行了试报。任何一月的35个站的盐度偏差均可表示成35个本征矢量的线性组合,系数可由回归预报模式给出。实际预报中,只需取前6—8个相应大本征值的本征矢量来进行组合,就有足够的精度。

## 引 言

海水盐度预报与海水温度预报一样,是人们在研究海洋要素及其变化规律的同时,为了能进一步控制海洋而提出的研究课题。该课题所以重要,是因为它与海洋渔业生产、水下通讯设备的设计等有关,是因为它与认识海区环流和温盐结构有关。事实上,海水盐度“乃是影响鱼类回游的一个最有力因素”<sup>[2]</sup>,所以海水盐度分布的变化将迫使或引导鱼类转移。例如,1953年黄河改道,引起黄河口小黄鱼产卵场的改变就是明显一例<sup>[3]</sup>。无疑,如对海区的海水盐度分布能及时预报,必对渔场、渔汛的分析和预报有重要意义。

长江口外及其周围海区历来是我国重要经济渔场的所在地,温盐场预报工作格外重要。可惜该区的盐度预报工作仍然空白。笔者认为除了缺乏较长系列的盐度同步调查资料以外,主要是该区盐度场是和流场紧密相关,难度较高的缘故。本文应用正交经验函数场分解法对该区表层盐度分布进行尝试性预报探讨,获得一定的效果,现作一介绍,供有关方面参考。

研究海区为 $122^{\circ}30'$ — $126^{\circ}E$ ,  $29^{\circ}$ — $33^{\circ}N$ 。共选取35个站位(见图1),使用了表层盐度实测资料672个,线性插补资料28个。

## 理 论 基 础

假设实测表层盐度资料构成二维场 $S(t, x)$ ,其中 $t$ 是时间标号、 $x$ 为站位标号。令

1975年4月为  $t=1$ , 以后每二月  $t$  增加1, 即 1975年6月为  $t=2, \dots$ , 1978年6月为  $t=20$ 。站位标号可以对选取的站位任意标定, 我们所用站位号见图 1。

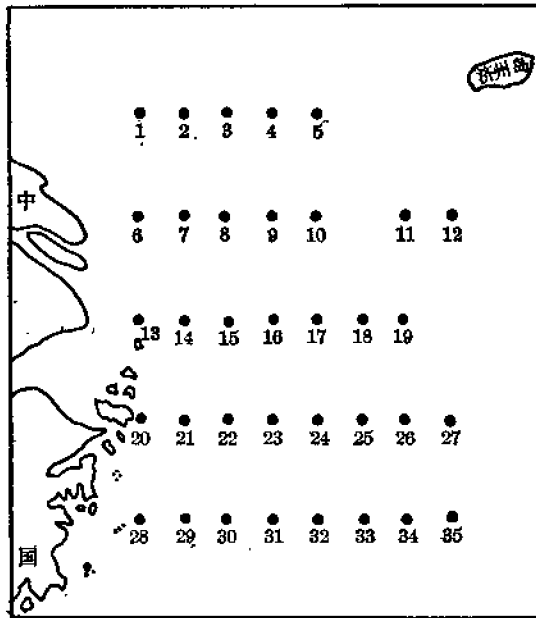


图1 站位标号图

由于表层盐度有明显的年周期变化, 故设  $S(t, x)$  有下列二种量构成:

$$S(t, x) = SA(t, x) + SD(t, x) \quad (1)$$

式中  $SA(t, x)$  为历年资料的月平均值,  $SD(t, x)$  为盐度偏差值。为了方便起见, 用  $(SD)_{ij}$  来表示  $SD(t, x)$ 。下标  $i$  与时间标号  $t$  相应, 下标  $j$  与站位标号  $x$  相应。  $(SD)_{ij}$  实为下列  $n \times m$  矩阵  $(SD)$  的元:

$$(SD) = \begin{pmatrix} (SD)_{11}, (SD)_{12}, \dots, (SD)_{1m} \\ (SD)_{21}, (SD)_{22}, \dots, (SD)_{2m} \\ \dots \\ (SD)_{n1}, (SD)_{n2}, \dots, (SD)_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

这里的  $n$  为所用资料的总月数,  $m$  为所选站位的总数。本文所用的  $n=20, m=35$ 。

定义上矩阵中任一行为下列横向量:

$$(SD)_i = ((SD)_{i1}, (SD)_{i2}, \dots, (SD)_{im}) \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n.$

假设它们是  $m$  维线性空间  $E_m$  中的向量。该线性空间  $E_m$  中有一组 ( $m$  个) 正交归一化的基矢  $\underline{F}_k, k = 1, 2, \dots, m.$  定义如下:

$$\underline{F}_k = (F_{k1}, F_{k2}, \dots, F_{km}), \quad (4)$$

$k = 1, 2, \dots, m.$

它们满足下列关系:

$$(\underline{F}_k, \underline{F}_l) = (\underline{F}_l, \underline{F}_k) = \sum_{p=1}^m F_{kp} F_{lp} = \delta_{kl} = \begin{cases} 1, & k=l. \\ 0, & k \neq l. \end{cases} \quad (5)$$

$k, l = 1, 2, \dots, m.$

上式中  $(\underline{F}_k, \underline{F}_i)$  表示矢量  $\underline{F}_k$  和  $\underline{F}_i$  的内积。根据线性代数理论知:  $(SD)_i$  可以表示为上述基矢的线性组合:

$$(\underline{SD})_i = \sum_{k=1}^m Q_{ik} \underline{F}_k, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

显然  $Q_{ik}$  是横向量  $(SD)_i$  在  $\underline{F}_k$  基矢方向的投影或分量。不难看出, 各分量有下列关系:

$$(\underline{SD})_{ij} = \sum_{k=1}^m Q_{ik} F_{kj}, \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

写成矩阵形式有:

$$\underline{(SD)} = \underline{Q} \underline{F}. \quad (8)$$

其中

$$\underline{Q} = \begin{pmatrix} Q_{11}, Q_{12}, \dots, Q_{1m} \\ Q_{21}, Q_{22}, \dots, Q_{2m} \\ \dots \\ Q_{n1}, Q_{n2}, \dots, Q_{nm} \end{pmatrix}; \quad \underline{F} = \begin{pmatrix} F_{11}, F_{12}, \dots, F_{1m} \\ F_{21}, F_{22}, \dots, F_{2m} \\ \dots \\ F_{m1}, F_{m2}, \dots, F_{mm} \end{pmatrix}$$

利用(5)式的正交性于(6)式可得:

$$Q_{ik} = (\underline{(SD)}_i, \underline{F}_k) = \sum_{l=1}^m (\underline{SD})_{il} F_{kl} = \sum_{l=1}^m (\underline{SD})_{il} F_{lk}^T, \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

注意式中元的上标“T”表示转置矩阵的相应元。写成矩阵形式有:

$$\underline{Q} = \underline{(SD)} \underline{F}^T. \quad (11)$$

由(8)式和(11)式不难得到:

$$\underline{F} \underline{F}^T = \underline{F}^T \underline{F} = \underline{I} \quad (12)$$

式中  $\underline{I}$  为  $m \times m$  单位矩阵。由此可见,  $\underline{F}$  矩阵是么正矩阵。

对于(11)式进行转置运算得:

$$\underline{Q}^T = \underline{F} (\underline{SD})^T \quad (13)$$

$$\therefore \underline{Q}^T \underline{Q} = \underline{F} [(\underline{SD})^T (\underline{SD})] \underline{F}^T = n \underline{F} \underline{R} \underline{F}^T \quad (14)$$

其中

$$\underline{R} = \frac{(\underline{SD})^T (\underline{SD})}{n} = \underline{R}^T \quad (15)$$

$\therefore \underline{R}$  为  $m \times m$  的实对称矩阵。由文献[1]知, 其有本征矢量和本征值。设  $\underline{Q}^T \underline{Q} = n \underline{L}$ , 其中  $\underline{L}$  为对角化矩阵, 则不难得到:

$$\underline{F} \underline{R} = \underline{L} \underline{F} \quad (16)$$

$$\text{或 } \underline{R} \underline{F}^T = \underline{F}^T \underline{L} \quad (17)$$

由此可见,  $\underline{F}$  的横向量或  $\underline{F}^T$  的列向量实为实对称矩阵  $\underline{R}$  相应各本征值 (即对角化矩阵  $\underline{L}$  的对角元) 的本征矢量。利用 Jacobi 法 (或迭代法) 可以求出  $\underline{R}$  的本征矢量和本征值。于是利用(11)式或(13)式可求出  $\underline{Q}$  或  $\underline{Q}^T$ 。 $\underline{F}$  只与站位 (即空间) 有关, 各本征矢量反映盐度偏差场的形势特征, 本征值的大小反映了形势特征在该场中的重要性程度;  $\underline{Q}$  是只与时间有关的新资料序列, 为我们研究盐度偏差场的演变过程提供了  $m$  个现实。利用它们, 借助于最小二乘法则可以得到各阶的自回归预报方程, 通过检验找到最佳预报模式, 利用模

式外推未来的  $Q_{n+i,j} (j=1,2,\dots,m)$ , 这里的  $i$  为预报模式的有效时段。利用(7)式得到  $(SD)_{n+i,j}$ , 加上相应月的平均值  $SA(n+i,j)$ , 即可得到相应各站的盐度值  $S(n+i,j)$ 。

本文使用了十九阶自回归预报模式

$$Q_{n,i} = \sum_{l=1}^{n-1} A_l Q_{n-l,i}, \quad (18)$$

$$j=1,2,\dots,m.$$

其中系数  $A_l$  用最小二乘法求解。

## 实例计标结果

为了清楚起见,我们把回报和预报的结果列于图2—图3之中。

本文算得的(18)式中的系数  $A_l$  分别为:

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.291, & A_2 &= 0.737, & A_3 &= -0.221, & A_4 &= 0.428, \\ A_5 &= 0.047, & A_6 &= -0.997, & A_7 &= 0.295, & A_8 &= 0.726, \\ A_9 &= -0.215, & A_{10} &= 0.424, & A_{11} &= 0.049, & A_{12} &= -0.998, \\ A_{13} &= 0.305, & A_{14} &= 0.732, & A_{15} &= -0.217, & A_{16} &= 0.433, \\ A_{17} &= 0.044, & A_{18} &= -1.002, & A_{19} &= 0.304. \end{aligned}$$

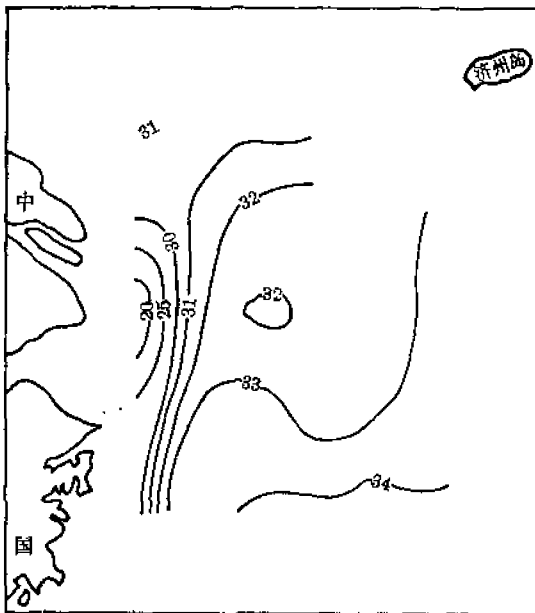


图2 回报的1978年6月表层盐度分布

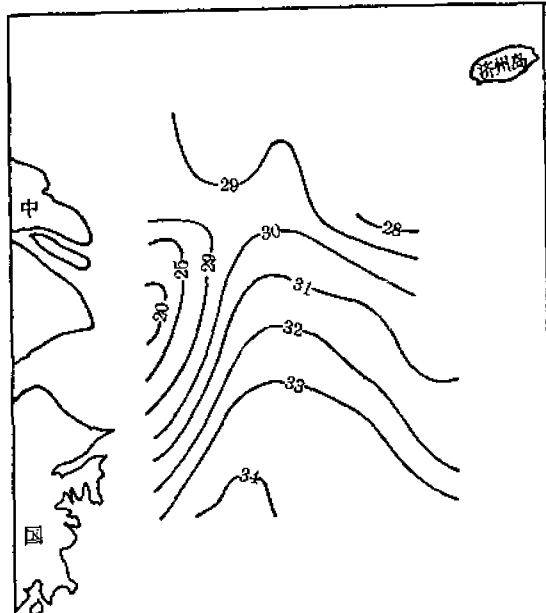


图3 预报的1978年8月表层盐度分布

## 讨 论

由于实测盐度资料的序列太短,因此应用纵序处理方法,是无法进行统计分析和研究

的。为此我们在寻找长江口外表层盐度分布的预报模式时,采用了横序处理方法。计算表明,模式回报算得的长江口外表层盐度分布(1978年6月)与实测结果吻合很好。由此可见,正交经验函数的场分解方法把实测盐度分解为只与空间有关的各种特征场和只与时间有关的时间序列,提供我们研究海区的典型的盐度偏差特征形势场及其时间演变规律打开了大门,也许是一种相当好的客观分析方法,值得我们注意。当然,横向预报问题能否顺利进行而取得较好的效果,其本身就具有十分重要的现实意义。我们从本文外推得到的1978年8月的预报结果来看,能明显地看出长江冲淡水、台湾暖流等的影响。这一预报的表层盐度分布,与历史上同月结果相比,是令人满意的。可惜1978年8月的实测资料,分上中下三旬分别测出35个站位的表层盐度资料,应该讲不具备代表性,硬作比较是不合理的。尽管如此,从预报的总态势来看,使我们感到本方法在解决横向预报问题上确有相当的潜力可挖,值得进一步去研究。从继续外推预报出的1978年10月和12月的表层盐度,结果逐差,这是研究前早已料到的。但是,如果我们推断出下二月的表层盐度预报值后,将其当作实测值,重新寻找新的预报模式再进行推断,可能比原模式要好。这些在作正式预报时,应该注意到。当然预报效果好坏与所用资料有否代表性是有直接关系的。除此以外,在方法上对 $Q$ 采用何种模式也有关系。如果在资料许可的条件下,再考虑环境预报因子,采用最佳的 $Q$ 预报模式,可以期望得到较好的预报效果。

本文在预报计算时,使用了全部本征矢量进行分解。事实上,没有这个必要。我们只要取前几个大本征值所相应的本征矢量来分解就足够了。例如用前五个大本征值所相应的本征矢量来分解,逼近程度已达88%;而采用前六个,可达93.5%;当取前八个来分解,那么逼近度将达97.1%。因此,收敛性很高。我们完全没有必要用全部本征矢量来分解,只要取前6—8个本征矢量来分解就足够了,这样得出的精度已相当高了,而工作量将缩小6至4倍左右。

虽然我们的研究是对表层进行的,但是空间分布同样可用本方法进行预报。当然,站位数、时标数变了,本征函数也变了。由于目前资料所限,究竟取多少年,多少月的资料来寻找本征函数比较稳定,不能在此回答,有待今后有足够的资料,才能进行这方面的研究。

尽管我们在盐度预报方法的研究中,作了一些探讨,但是由于沿海地区海况的复杂性,要满足实用预报的需要,给出较为完满的预报模式还是不容易的。除了改善观测手段,积累立体的同步资料以外,还需进行海况的研究。以上意见是否正确,请有关专家多批评指正。

### 参 考 文 献

- [1] 王宗皓等,1974。天气预报中的概率统计方法,科学出版社。
- [2] 施米德特,П. Ю (李思忠译),1958。《鱼类洄游》,336。科学出版社。
- [3] 黄海水产研究所编,1960。《海洋水产资料调查手册》,204—207。上海科技出版社。
- [4] 森口繁一(刘璋温译),1961。统计分析,22—24。上海科技出版社。
- [5] Kutzbach, J. E, 1967. Empirical eigenvectors of sea-level pressure, surface temperature and precipitation complexes over north America. *J. Appl. Met.* 6(5): 791—802.

## A PRELIMINARY INVESTIGATION ON THE PREDICTION METHOD OF SURFACE SALINITY OFF CHANGJIANG MOUTH

Cao Xinzong

*(The Second Institute of Oceanography, The National Bureau of Oceanography)*

### Abstract

The predictive way of two-dimensional fields of surface salinity off Changjiang (Yangtze River) mouth with empirical orthogonal functions, herein referred to as eigenvectors, is discussed. The eigenvectors are derived from monthly measurements of sea-level salinity at 35 points off the area during April 1975 to June 1978. The 35 eigenvectors only depend on selected 35 stations, and they are independent on time. The observed salinity deviation vectors  $(SD)_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 35$ ) can be expressed as a linear combination of the 35 eigenvectors. The element  $Q_{ik}$  of the matrix  $\tilde{Q}$  is referred to as the coefficient associated with the  $k$ -th eigenvector for the  $i$ -th observed salinity deviation vector. The coefficient is only dependent on time. These coefficients are used to find selfregression model of the prediction. It is shown that the empirical orthogonal function analysis has a larger potential and some advantages.