

# 长江河口拦门沙变化的经验特征函数模型

黄卫凯

(广东省海洋局, 广州)

**摘要** 本文根据长江口南槽和北槽的地形实测资料, 应用经验特征函数(EOF)模型描述长江河口拦门沙的变化。结果表明, 最大的三个特征值所对应的三个特征函数说明了长江河口拦门沙的大部分变化。

**关键词** 长江 河口拦门沙 经验特征函数 模型

## 前言

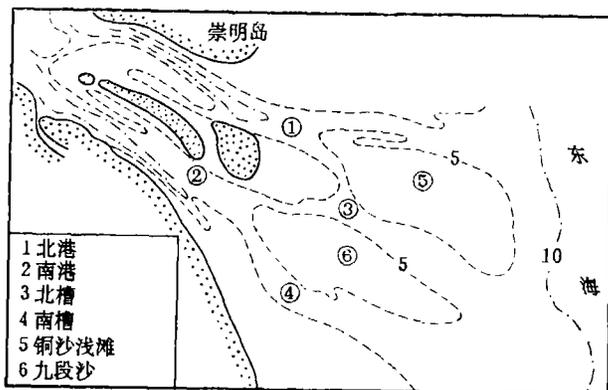


图1 长江河口拦门沙区域滩、槽分布概况

长江河口拦门沙系指长江河口口门水深小于10m等深线的浅水区域内的沉积体系, 长江河口拦门沙在纵向上呈上凸形, 在横向上则表现为滩槽相间, 自北至南分别为北港、横沙东滩、北槽、九段沙线滩、南槽(图1), 本文的研究区域是南槽和北槽两部分。

直到1987年以前, 在河口地貌研究中关于拦门沙变化的分析仍是通过测图对比和断面冲淤计算<sup>[1]</sup>。显然, 这种方法无法从整体上来揭示河

口拦门沙变化的时空结构。因此, 我们有必要寻找一种更为合适的方法来描述长江河口拦门沙的变化。经验特征函数分析是将地形观测序列数据展开成为时间上和空间上相互独立的一系列特征函数, 从而研究地形场的时空结构。基于这一思想, Winant等<sup>[2]</sup>首先将经验特征函数分析应用到海滩剖面变化的研究, 笔者<sup>[3]</sup>也首次尝试将这种方法应用到河口拦门沙变化的研究。在这些研究的基础上, 本文根据长江口南槽和北槽的多年月测地形资料, 应用经验特征函数描述长江河口拦门沙的时空变化, 获得了有意义的认识。

## 1 资料和方法

长江口最早的水深测量图件始见于1842年,迄今长江口的水深测量已有100余年历史。对长江口南槽和北槽进行比较系统的水深测量,南槽始于60年代,北槽始于70年代。南槽和北槽水深测量图件为连续的间或不连续的月测资料,测图的区域、计量单位(m)、比例尺(1:50 000)和基面(理论深度基准面)皆一致。测量仪器采用回声测深仪,误差 $\Delta \leq \pm 0.1\text{m}$ 。因此,我们直接对测图进行定点数据采样,采样点间距在纵向上为1 100m,在横向上为700m。

我们感兴趣的是河口拦门沙上某一区域变动的相对值,而不是该区域高程本身。因此,我们对河口拦门沙水深数据的距平场进行经验特征函数展开:

$$h(x, y, t) = \bar{h}(x, y) + \sum_{l=1}^{n_x} a_l c_l(t) e_l(x, y)$$

式中,  $x$ 、 $y$ 为测点在地形场中的位置,  $t$ 为测量时间,  $a_l$ 为归一化因子,且 $a_l = (\lambda_l n_x n_t)^{1/2}$ ,  $c_l(t)$ 为时间特征函数,  $e_l(x, y)$ 为空间特征函数,  $\lambda_l$ 为第 $l$ 个特征函数的特征值,  $n_x$ 为拦门沙水深测点数,  $n_t$ 为水深测量次数。关于经验特征函数的详细算法和特征可参见文献<sup>[4]</sup>。

## 2 经验特征函数模型

据研究<sup>[1]</sup>,比较近百年长江河口拦门沙水深测量图件,拦门沙前缘5m等深线普遍向海推移5~12km,10m等深线局部稍有后退外,普遍向海推展。在南港口外,其最大推展距离为14km。长江河口拦门沙的年际变幅为1.8~3.2m,季节性变化表现为洪淤枯冲,变幅约为0.2~0.9m。

然而,上述长江河口拦门沙的变化仅仅是一种基本趋势。实际上,长江河口拦门沙的变化非常复杂。其主要表现在:(1)各年的河流和海洋影响因子的变化并不完全一致,必然造成各年长江河口拦门沙的变化不完全相同。(2)在同一时期内,长江河口拦门沙各部分的变化幅度和性质亦不一致。因此,应用经验特征函数模型来描述长江河口拦门沙的变化,可以清楚地揭示其变化的复杂时空结构。

### 2.1 长江口南槽的经验特征函数模型

长江口南槽的空间测点数 $n_x=100$ ,测量次数 $n_t=50$ 。这样,南槽的原始资料构成了 $100 \times 50$ 阶矩阵。

计算结果(表1)表明,第一、二、三特征函数的累积贡献率为68.16%,这说明前三个特征函数基本上解释了南槽的大部分变化。

#### 2.1.1 第一特征函数

第一特征函数的贡献率为45.68%。这说明南槽的基本变化可以由第一特征函数来解释。即第一特征函数反映了南槽变化的一般趋势。如图2所示,第一时间特征函数的总趋势是递减的。第一空间特征函数的结构在南槽大部分区域为正值,且峰值出现在南槽下段北

表1 长江口南槽经验特征函数的计算结果

特征函数	特征根	贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	0.103	45.68	45.68
2	0.036	15.89	61.57
3	0.015	6.59	68.16
4	0.013	5.64	73.80

侧, 南槽上段北侧和下段南缘为负值。

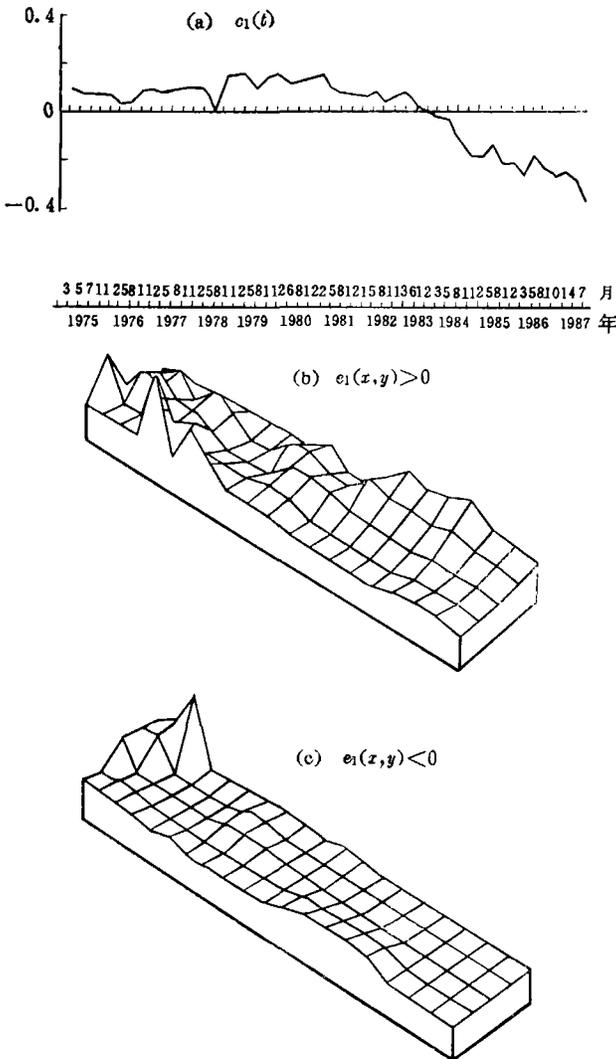


图2 长江口南槽第一时间特征函数(a)和第一空间特征函数(b)、(c)

影响因素季节性变化的控制。研究表明<sup>[6]</sup>, 南槽两侧潮滩的季节性冲淤变化对南槽的季节性变化影响较大, 南边滩每年4~5月间普遍出现淤积时, 南槽中的铜沙、江亚浅滩冲刷加

在  $e_1(x, y) > 0$  的区域中,

$c_1(t)e_1(x, y)$  的变化为:

1975年  $c_1(t)e_1(x, y) \rightarrow (+)$

(+) (+)

↓ 递减 ↓ 递减

1985年  $c_1(t)e_1(x, y) \rightarrow (-)$

(-) (+)

相反地, 在  $e_1(x, y) < 0$  的区域中,  $c_1(t)e_1(x, y)$  则呈为递增的。

根据水深的定义可知, 水深的减少意味着淤积, 反之则表示冲刷, 由此可知, 第一特征函数反映了南槽逐渐淤积的一般趋势。造成这种趋势的原因包括南港主流北偏, 南港淤积体的移入和小九段逐渐向南淤积。长江口南港环流及悬移物质输运的计算分析也表明<sup>[5]</sup>, 南槽的悬移质是净聚的。

### 2.1.2 第二特征函数

第二特征函数的贡献率为15.89%。如图3所示, 第二时间特征函数具有明显的季节性波动, 第二空间特征函数的结构在南槽绝大部分区域为正值。因此, 第二特征函数揭示了南槽具有明显的季节性变化。

一般地, 南槽水深在4~5月最大, 在8~9月最小。这种枯冲洪淤的变化特征主要受长江河口河流和海洋

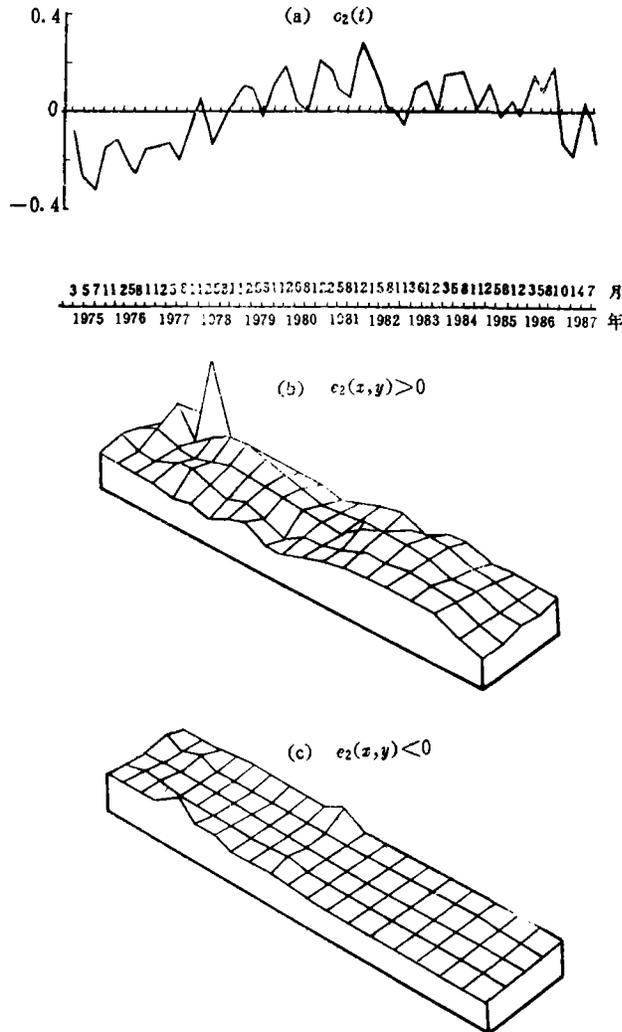


图3 长江口南槽第二时间特征函数(a)和第二空间特征函数(b)、(c)

深; 7~9月南边滩发生冲刷, 铜沙、江亚浅滩水深相应变浅。这种滩槽冲淤关系是通过泥沙的横向交换来实现的。南槽季节性变化在表层沉积物分布上也有明显的反映<sup>1)</sup>。

### 2.1.3 第三特征函数

第三特征函数的贡献率为6.59%。如图4所示, 第三时间特征函数无明显的周期, 其变化比较复杂, 在多年变化的大致趋势中, 叠加有季节性的波动。第三空间特征函数的结构在南槽中段为正值, 在南槽上段和下段部分区域为负值。

随着第三时间特征函数的变化, 在 $e_3(x, y) > 0$ 的区域, 即南槽中段,  $c_3(t)$   $e_3(x, y)$  呈为相应的变化, 而在 $e_3(x, y) < 0$ 的区域, 即南槽上段和下段,  $c_3(t)$   $e_3(x, y)$  的变化则与同一时期南槽中段的变化相反。因此, 第三特征函数主要表明了南槽存在纵向泥沙交换。

1) 张志忠, 长江口南槽沉积特性研究, 长江口航道治理研究, 1981(1): 49~60

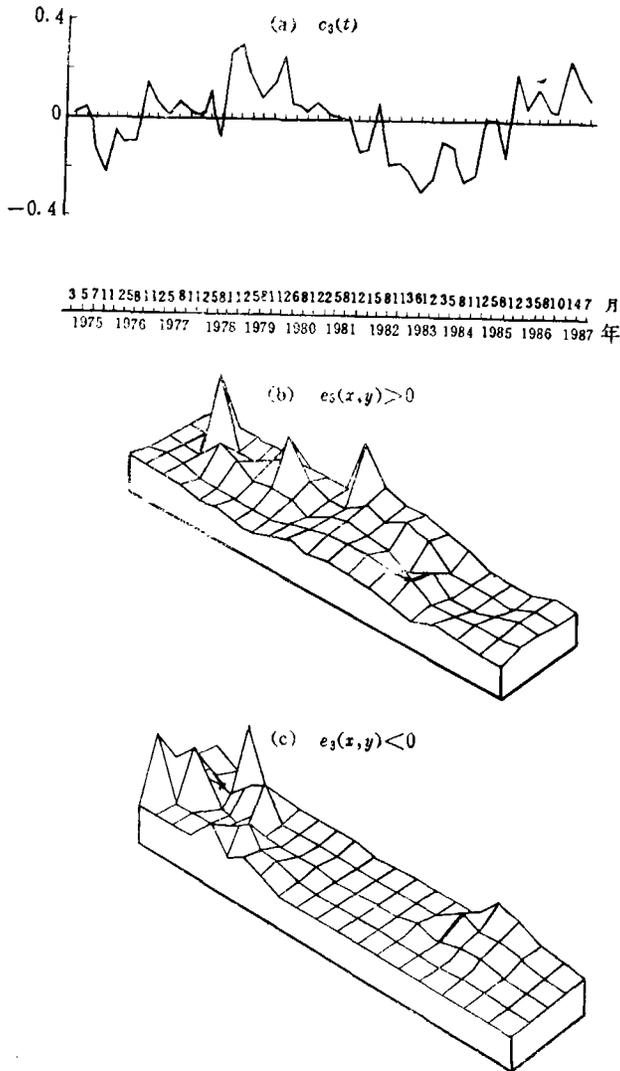


图4 长江口南槽第三时间特征函数 (a) 和第三空间特征函数 (b)、(c)

## 2.2 长江口北槽的经验特征函数模型

长江口北槽的空间测点  $n_x = 170$ , 测量次数  $n_t = 36$ , 因此, 北槽的原始资料构成了  $170 \times 36$  阶矩阵。

计算结果 (表2) 表明, 第一、二、三特征函数的累积贡献率为 80.65%, 这说明前三个

表2 长江口北槽经验特征函数的计算结果

特征函数	特征根	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
1	0.344	65.71	65.71
2	0.056	10.76	76.47
3	0.022	4.18	80.65
4	0.014	2.69	83.34

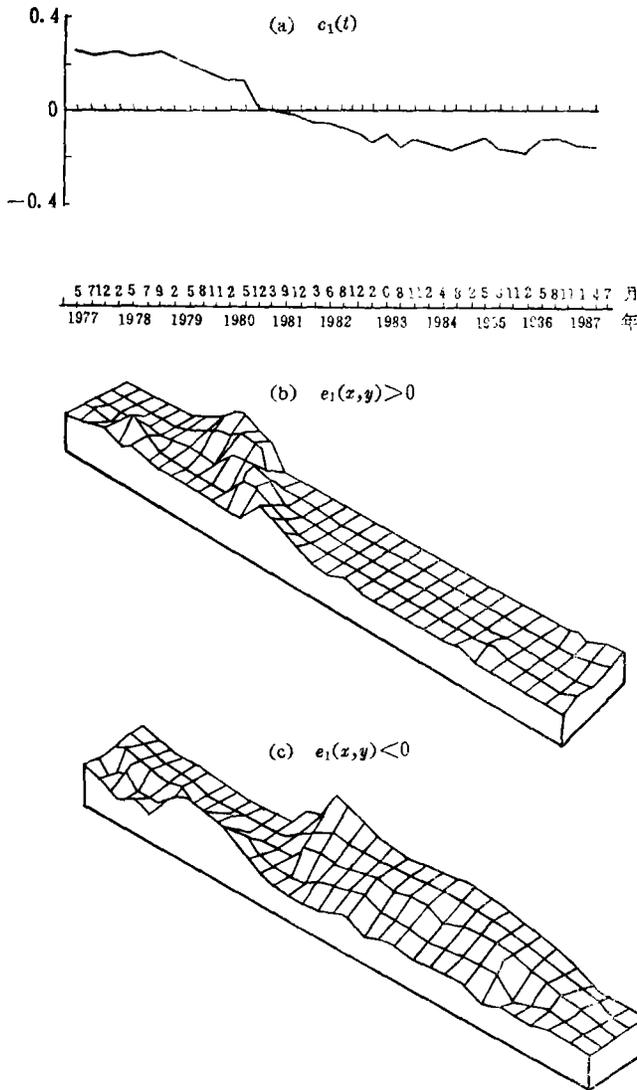


图5 长江口北槽第一时间特征函数 (a) 和第一空间特征函数 (b)、(c)

特征函数可以解释北槽的大部分变化。

### 2.2.1 第一特征函授

第一特征函数的贡献率为65.71%。这说明北槽的基本变化可以由第一特征函数来解释，即第一特征函数代表了北槽变化的一般趋势。如图5所示，第一时间特征函数呈为递减的趋势，第一空间特征函数的结构在北槽的上段中部为正值，而其余区域大部分为负值。

在  $e_1(x, y) > 0$  的区域中， $c_1(t)e_1(x, y)$  的变化为：

1977年	$c_1(t)e_1(x, y) \rightarrow (+)$
	(+) (+)
	↓ 递减                      ↓ 递减
1985年	$c_1(t)e_1(x, y)$
	(-) (+) $\rightarrow (-)$

相反地，在  $e_1(x, y) < 0$  的区域中， $c_1(t)e_1(x, y)$  则呈为递增。

由此可知，北槽具有上段中部逐渐淤浅而其余大部分逐渐刷深的一般趋势。这种趋势是由北槽的来水来沙变化所决定的。北槽在本世纪40年代形成，50年代以后发展，来水来沙逐年增加。根据1964~1983年实测资料分析可知<sup>[7]</sup>，北槽落潮分流量持续增加，从35%左右增至50%。

### 2.2.2 第二特征函数

第二特征函数的贡献率为10.76%。如图6所示，第二时间特征函数于1977~1981年具有递增的趋势，于1982~1985年具有递减的趋势，这表明第二时间特征函数具有多年周期的变化特征。第二空间特征函数的结构是，在北槽中段除涨潮槽部分外均为正值，在北槽上段和下段均为负值。

在  $e_2(x, y) > 0$  的区域中， $c_2(t)e_2(x, y)$  的变化为：

1977年  $c_2(t)e_2(x, y) \rightarrow (-)$

(-) (+)

↓ 递增

↓ 递增

1981年  $c_2(t)e_2(x, y) \rightarrow (+)$

(+) (+)

↓ 递减

↓ 递减

1985年  $c_2(t)e_2(x, y) \rightarrow (-)$

(-) (+)

在  $e_2(x, y) < 0$  的区域中,  $c_2(t)e_2(x, y)$  的变化正好与上述变化趋势相反.

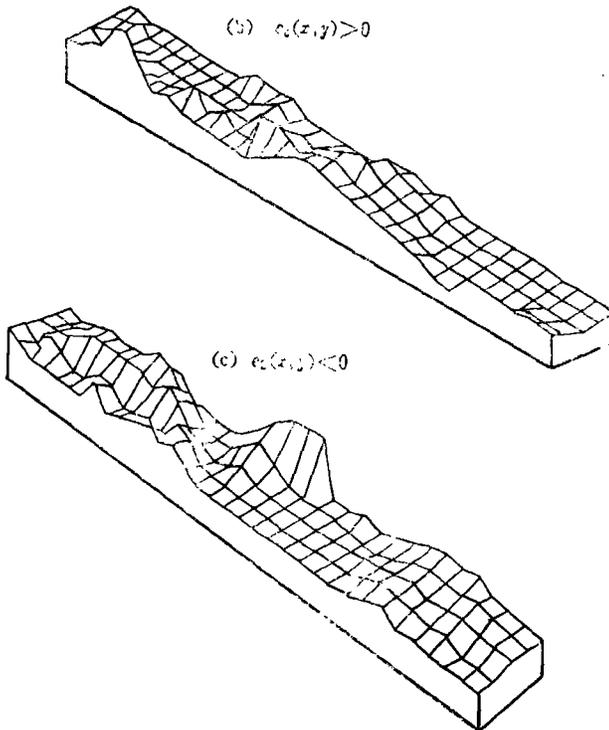
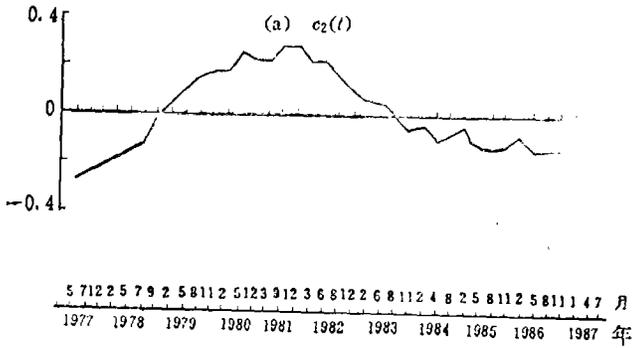


图6 长江口北槽第二时间特征函数 (a) 和第二空间特征函数 (b)、(c)

这表明，在一般趋势上还存在次一级的波动，即1977~1985年期间，北槽段存在由刷深到淤浅的变动，而在北槽上段和下段则存在由淤浅到刷深的变动。

### 2.2.3 第三特征函数

第三特征函数的贡献率为4.18%。如图7所示，第三时间特征函数没有明显的周期，在多年变化的趋势中，叠加有季节性波动。第三空间特征函数的结构，除北槽上段和中段涨潮槽部分为负值，北槽中段和下段均为正值。

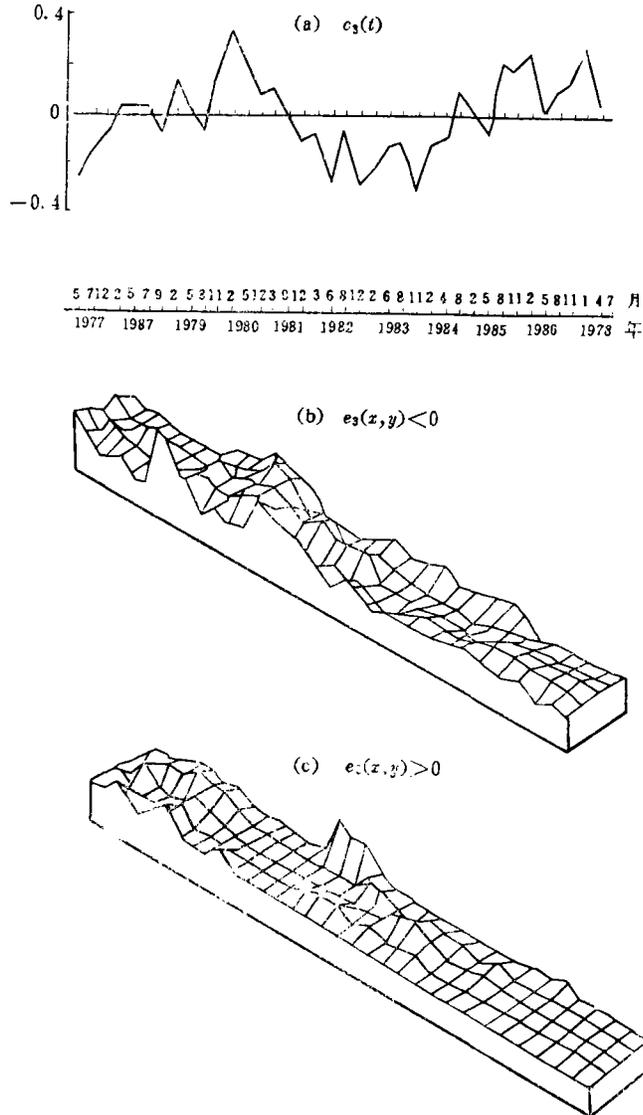


图7 长江口北槽第三时间特征函数 (a) 和第三空间特征函数 (b)、(c)

(图中1987应与1978对调)

通过分析 $e_3(x,y) > 0$ 和 $e_3(x,y) < 0$ 区域中 $c_3(t)$ 和 $e_3(x,y)$ 的变化可知，北槽中存在更次一级的波动，即北槽上段、涨潮槽与北槽中段、下段之间存在相反相位的变动，这也反映了北槽上段、涨潮槽与中、下段之间的泥沙交换。

### 3 结语

应用经验特征函数模型描述长江河口拦门沙的变化是适宜的。这种方法从整体上揭示了长江河口拦门沙变化的时间和空间结构,从中可以较详细地观察到长江口南槽、北槽各部分的变动特征及其相互关系。

长江口南槽和北槽的经验特征函数模型表明,两者存在相似性和差异性。南槽和北槽的第一时间特征函数都是趋势项,但由于两者的第一空间特征函数的结构各不相同,故两者的变动特征也有所不同。在次一级的波动中,南槽具有明显的季节性变化,北槽则呈现为多年变化。

由于长江河口拦门沙的影响因素多且变化复杂,故南槽和北槽前三个经验特征函数的累积贡献率在70%~80%左右,即模型只能说明南槽和北槽的大部分变化。因此,对长江河口拦门沙变化的进一步研究应采取统计分析和动力机理分析相结合的方法。

本文根据笔者在华东师范大学河口海岸研究所工作期间的研究成果写成。陈吉余教授指导本文工作,在成文过程中得到金庆祥教授、章可奇博士、孙建国、张波和徐建刚的大力支持和帮助,刘慧屏同志协助清绘图件,谨表谢忱。

### 参考文献

- 1 Chen Jiyu *et al.* Description of the morphology and sedimentary structures of the river mouth bar in the Changjiang Estuary, *Estuarine Comparisons*(ed. V.S.Kennedy), Academic Press, New York, 1982, 667~676
- 2 Winant, C D *et al.*, Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunction. *Journal of Geophysical Research*, 1975, 80(15): 1979~1996
- 3 黄卫凯,长江口拦门沙水下地形的数据库建立及其三维经验特征函数分析,资源·环境·区域开发,长春:吉林文史出版社,1987,79~84
- 4 Lazumasa Katoh *et al.* A new method of three-dimensional empirical eigenfunction analysis for contour maps, Report of the Port and Harbour Research Institute, 1984, 23(2): 27~47
- 5 Su Jilan *et al.* The suspended sediment balance in Changjiang Estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1986, 23(1): 71~98
- 6 恽才兴,长江河口潮滩冲淤和滩槽泥沙交换,泥沙研究,1983,(4): 43~52
- 7 徐海根等,长江口南北槽水分沙变化及其原因分析,长江河口动力过程和地貌演变,上海:上海科学技术出版社,1988,404~418