

## 椒江河口湾海床演变分析\*

王震, 韩正权, 康彦彦, 张长宽

(河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏南京 210098)

**摘要:** 通过分析水文泥沙资料和多年海图资料, 研究 1931—2004 年间椒江河口湾海床演变及其原因。结果表明: 1931—1970 年, 椒江河口湾岸线向海推移、推移速率较快, 湾内普遍发生淤积; 之后, 由于来沙减少、口外两侧滩面减小和海堤的束水作用等原因, 河口深槽及口外航道冲刷, 其余区域淤积变轻、并趋于床面基本稳定。

**关键词:** 椒江河口湾; 海床演变; 历史变迁; 近期变化; 海门港

中图分类号: TV 81

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0028-06

### Analysis of seabed evolution of Jiaojiangkou bay

WANG Zhen, HAN Zheng-quan, KANG Yan-yan, ZHANG Chang-kuan

(Key Laboratory of Ministry of Education for Coastal Disaster and Protection, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The seabed process of the Jiaojiangkou bay from 1931 to 2004 and its mechanism are studied by analyzing the hydrology, sediment and topography data. The results show that from 1931 to 1970, the shorelines of the Jiaojiangkou bay were advanced rapidly towards the sea, and siltation occurred widely in the Jiaojiangkou bay; After 1970, erosion was presented in the channel of the bay top, while siltation in the rest of the Jiaojiangkou bay became slight and the rest tended stable, which mainly resulted from the reduction of incoming sediment, decrease of the shoals on both banks and effect of seawall's converging.

**Keywords:** Jiaojiangkou bay; seabed evolution; historical process; recent change; Haimen harbor

椒江河口湾是琅矾山以北的台州湾海域<sup>[1]</sup>。椒江口外岸滩开阔、连片分布, 潮滩资源丰富。椒江河口湾的另一个优势资源是港口岸线, 已建成海门港、头门港等港口。

海床演变问题是海涂圈围、港口建设等工程中必须研究的一个课题<sup>[2]</sup>。为开发椒江河口湾资源、发展沿海经济, 一些学者进行过海床演变研究<sup>[3-6]</sup>。李伯根等利用近期 19 个不同年份的地形资料, 基于 GIS 技术进行地形冲淤分析; 结合实测水文泥沙资料和人类活动, 探讨了椒江山溪性

强潮河口河床冲淤机理。谢钦春等通过 1931、1970 和 1982 年海图资料对比, 分析了椒江河口湾的淤积特征; 根据 1982 年 5 月和 1984 年 6—7 月实测水文泥沙资料以及潮滩沉积地貌的特征, 阐明了沉积的原因。

本文通过 1931、1970、1998 和 2004 年海图资料对比, 分析椒江河口湾的海床演变; 结合 2009 年 5 月实测水文泥沙资料和人类活动, 研究海床冲淤变化的原因; 为椒江河口湾资源的开发利用提供参考。

收稿日期: 2014-02-23

\*基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2010CB429001); 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室开放基金 (201102)

作者简介: 王震 (1963—), 男, 副教授, 主要从事潮流泥沙数值模拟工作。

## 1 地形和水文泥沙特征

### 1.1 地形

椒江河口湾的平面形态呈喇叭状(图1)。自湾顶老鼠山至湾口附近的白沙, 两侧堤岸迅速展

宽, 老鼠山至杜下浦闸长 6.0 km, 南北两侧堤岸间距由 1.9 km 展宽至 4.1 km, 放宽率为 0.48; 由杜下浦闸至白沙长 12.0 km, 堤岸间距由 4.1 km 展宽至 23.0 km, 放宽率为 1.37。

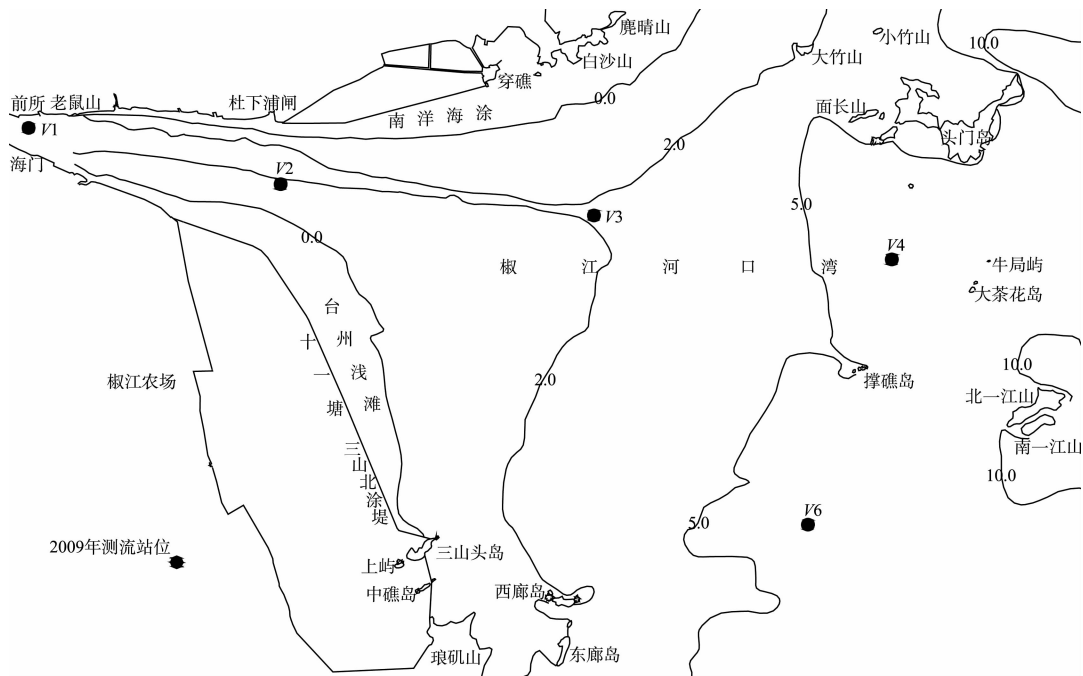


图 1 椒江河口湾地形

湾的外缘有东礁列岛、台州列岛等岛屿, 形成一道屏障; 湾内潮滩发育, 水深浅, 水深不足 2 m (理论最低潮面, 下同) 的拦门浅滩长达 18 km, 并与南、北岸滩(台州浅滩和南洋海涂)连成一体; 因船舶频繁进出海门港, 在拦门浅滩中形成了一条走向呈  $97^{\circ} \sim 277^{\circ}$ 、宽度不超过 500 m、水深超过 2 m 的航道。

### 1.2 水文泥沙<sup>[7]</sup>

#### 1.2.1 径流

椒江是流入海湾的一条山溪性河流, 由上游的灵江和永宁江汇合而成。据石仙妇断面观测资料, 河口径流比较丰富, 丰水年均流量为  $289 \text{ m}^3/\text{s}$ , 枯水年均流量仅  $72 \text{ m}^3/\text{s}$ , 多年平均年径流量  $51.7 \text{ 亿 m}^3$ 。径流量年内分配极不均匀, 洪枯季径流量变化悬殊, 汛期(5—10月)径流量占全年总径流量的  $3/4$ , 枯期(11月—翌年4月)径流量占  $1/4$ , 多年年均最大洪峰流量为  $6\ 195 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

多年年均最小流量仅  $4.19 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

#### 1.2.2 潮位

在椒江河口湾东部和南部海域, 潮汐属正规半日潮, 涨潮历时与落潮历时大致相等; 在西部海域, 浅海分潮显著, 潮汐属非正规半日潮, 其涨、落潮历时差值达 2 h 以上, 甚至达 5 h 以上, 是我国潮汐不等较显著的海区之一。

椒江河口湾是强潮海区, 潮差大。海门多年平均潮差 4.01 m, 最大潮差 6.30 m, 湾东部和南部潮差较西部河口区小。

#### 1.2.3 潮流

湾外潮流以旋转流为主, 湾内潮流由东向西逐渐过渡到以往复流为主。湾内的涨潮流为西北向, 落潮流为东南向; 椒江口受河口地形及河槽的约束, 涨、落潮流向与河槽轴线基本一致。

潮波进入椒江河口湾后逐渐过渡为驻波, 在中潮位附近流速最大, 而在高(低)潮位时流速最

小。在椒江河口湾，潮流具有明显的区域分布特征。在湾南水域，大潮涨、落潮平均流速 0.45 m/s 左右，涨、落潮流速大致相等，沿程流速变化不明显；湾北水域和河口区属强潮流区，沿程流速变化明显，椒江口的大潮流、落潮平均流速分别为 1.05 m/s 和 0.90 m/s。

### 1.2.4 波浪

椒江河口湾是浙江沿岸强浪作用区之一，年平均波高 1.2 m，周期 5~6 s；5.0 m 以上大浪多集中在 7—11 月，以台风浪为主。湾外的大陈岛曾记录到波高 12.5 m、周期 14.5 s 的暴风浪。

### 1.2.5 泥沙

椒江河口湾的含沙量变化较大，大潮潮段平均含沙量为 0.077~7.354 kg/m<sup>3</sup>。含沙量东部低、西部高，尤其是椒江口为高含沙量区。悬沙中值粒径为 0.005~0.007 mm，底质中值粒径为 0.008~0.023 mm，底质主要为黏土质粉砂和粉砂。

椒江为少沙河流，流域多年平均年输沙量为 122 万 t。流域输沙主要集中于 4—9 月汛期，输沙量占全年的 94.4%。较粗颗粒泥沙一般在藕节状较宽阔的河段中落淤，少量的粉沙级泥沙有可能在汛期时随洪水输移至椒江河口。海湾沉积主要来自海域泥沙，椒江河道来沙很少。

## 2 椒江河口湾历史变迁

唐朝以前椒江河口湾基本上处于自然变化状态，之后海湾发育主要受人类活动的影响。根据史料记载，南宋年间兴建水利和废湖围田活动频繁，主要集中在海门沙堤以西的湖沼低洼地，使多汊椒江河道变成单一河道，潮量减少，径流作用加强，河口外延；南宋以后，椒江口外不断修筑海塘，致使岸线不断向海推进。

### 2.1 南岸岸线历史演变

公元 7 世纪初，椒江口南岸线在泽国—联树一长屿—白峰一线，海门沙堤以东已滩涂发育；至南宋绍兴十五年（1145 年），岸线仍与海门沙堤相当。公元 11 世纪，南部海岸移至高桥—蔡洋—塘下一

白峰。最早的海塘建于元末至正年间（1341—1368 年），称为万户塘。明弘治年间（1488—1505 年）建丁进塘，正德年间（1506—1521 年）建洪辅塘，海岸外移约 2 000 m。清代筑塘 9 条，海岸线外移约 5 500 m；康熙年间（1677 年）建张塘，乾隆年间（1738 年）建头塘、二塘和三塘，光绪二十一年（1895 年），知县关钟衡建横山头金字坝，筑金清四塘、头塘和新塘，增田万亩。民国时期（1923 年），汤赞清主持围筑五塘（汤塘）和沙南沙北六塘，北起海门岩头，南至金清南直塘，岸线外移 1 000 m。新中国建立后，1951—1988 年筑塘 4 条，海岸线外移约 2 500 m；1951 年 4 月，围筑七塘，自三甲岩头闸至金清解放闸，长 22.30 km，围涂 927 hm<sup>2</sup>（1.39 万亩），同年 8 月完工；1957 年，围筑八塘，自金清张家坦至三甲岩头闸，长 23.73 km，围涂 1 200 hm<sup>2</sup>（1.8 万亩），1959 年完工；1966 年，围筑九塘，自金清白沙堤至椒江口岩头，长 22.77 km，围涂 1 200 hm<sup>2</sup>（1.8 万亩），1969 年 12 月完工，能防 10 a 一遇特大潮；1977 年 12 月，围筑十塘，自王屿堤至长浦河口，长 6 476 m，围涂 456 hm<sup>2</sup>（6 846 亩），1983 年底完工<sup>[8]</sup>（图 2）。

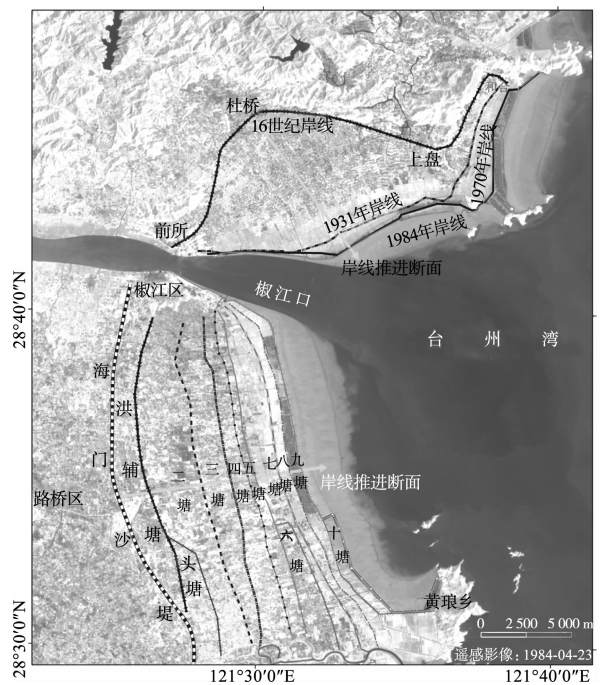


图 2 椒江河口湾岸线历史变化

根据建塘年代和各塘之间的距离, 估计岸线外移速率。表 1 显示, 明中叶至清末 (1521—1900 年), 岸线外移 7 200 m, 平均速率为 18.5 m/a; 民国期间, 岸线外移 1 000 m, 平均速率为 38.5 m/a; 1949—1983 年, 岸线外移 2 500 m, 平均速率为 78.0 m/a。1951 年以后的海塘修筑进程明显加快, 岸线向海推进的速率较以前提高了 1~3 倍。

表 1 海塘建筑年代及岸线外移速率

海塘名称	建塘年代	塘间距/m	岸线外移速率/(m·a <sup>-1</sup> )
洪辅塘	1506—1521	1 700	
头塘		1 500	
二塘		1 500	18.5
三塘	1738—1895	1 500	
四塘		1 000	
五塘(汤塘)			
六塘	1923—1949	1 000	38.5
七塘	1951	500	
八塘	1957—1959	600	
九塘	1966—1969	700	78.0
十塘	1977—1983	700	

## 2.2 北岸岸线历史演变

宋熙宁五年 (1072 年) 已有杜下盐场, 明中期涌泉附近建有新亭盐场, 表明宋朝杜下桥处于滨海, 涌泉为椒江口口外海滨。16 世纪岸线在前所—杜桥—上盘一线, 即当今的公路线; 17 世纪上盘仍为海涂, 20 世纪初建北海塘, 1968—1972 年建滨海大堤和白沙堤 (图 2)。明中叶至清末共围土地 1.05 万 hm<sup>2</sup> (15.80 万亩), 1949—1987 年围垦面积达近 3 313 hm<sup>2</sup> (4.97 万亩)。根据塘间距和淤涨速率, 将北岸岸线演变分为 3 个阶段: 明中期前, 岸线外移速率约 3 m/a, 成陆平均速率 0.14 km<sup>2</sup>/a; 明中叶至清末 (1521—1911 年), 岸线外移平均速率 17.6 m/a, 成陆速率 0.78 km<sup>2</sup>/a; 1949—1987 年, 岸线外移速率 23 m/a, 成陆速率 3.08 km<sup>2</sup>/a。上述数据表明, 明中叶至清末, 岸线外移比自然状态增加 4~5 倍; 最近 38 a (1949—1987 年), 岸线外移比明清时期增加 0.3 倍。

## 3 地形近期变化

### 3.1 岸线变化

将 1931、1970、1998、2004 和 2012 年的椒江河口湾岸线叠置, 分析椒江口外两岸岸线向海推进过程。图 3 显示, 1931—1970 年, 南岸岸线向东推移约 1 500 m, 平均推移速率 38.5 m/a, 北岸岸线向南推移 1 000~2 500 m, 平均推移速率 25.6~64.1 m/a, 穿礁山至白沙山之间岸线推移较快; 1970—1998 年, 南岸岸线的两端分别向海推移约 500 m, 平均推移速率 17.9 m/a, 北岸岸线向南推移约 400~1 200 m, 平均推移速率 14.3~42.9 m/a, 穿礁山西端岸线推移较快; 1998—2004 年, 南、北海塘岸线基本不变; 2004—2012 年, 南岸岸线向东推移约 4 060 m, 平均推移速率 507.5 m/a, 杜下浦闸至穿礁山之间的北岸岸线向南推移约 1 200 m, 平均推移速率 150.0 m/a。南岸岸线向东、向北推移以及北岸岸线向南推移, 对椒江口外航道起到一定的束水作用。

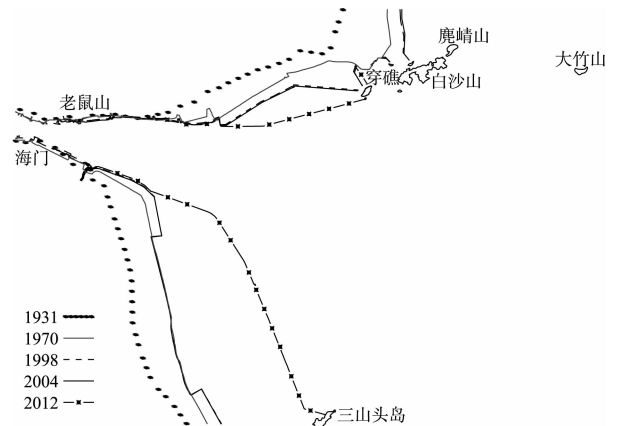
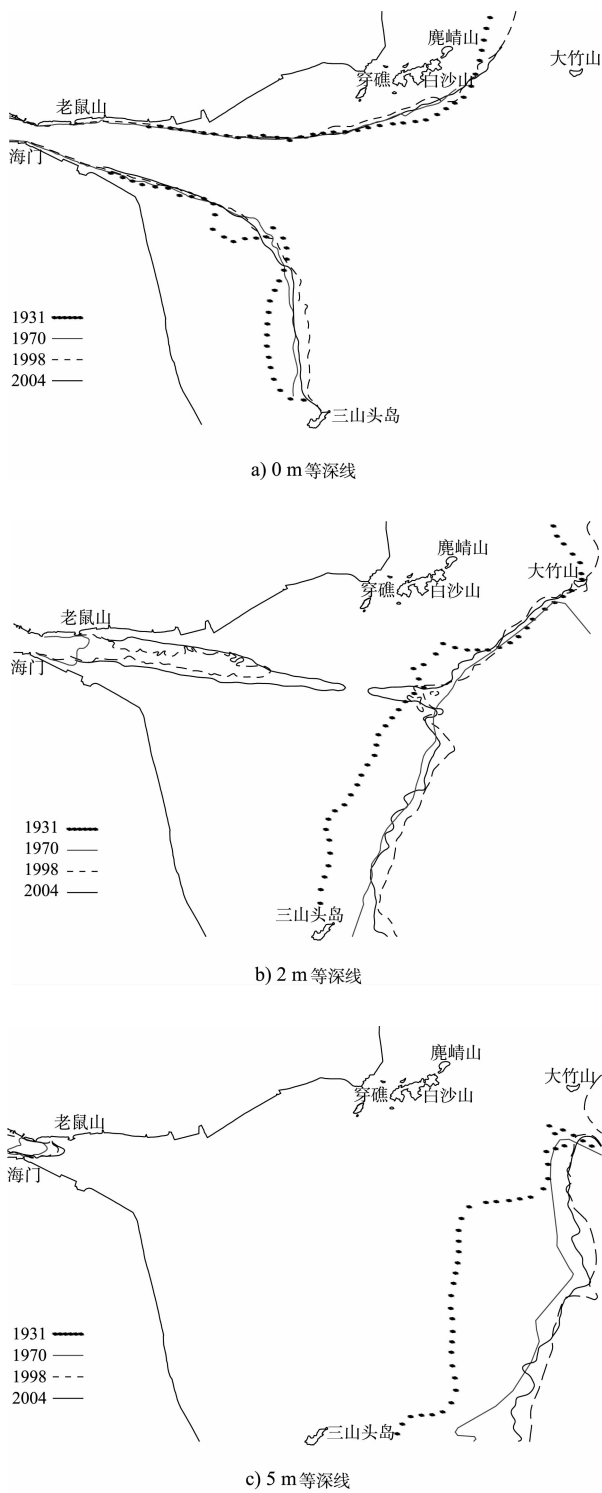


图 3 岸线变化

### 3.2 水下地形变化

图 4 为 1931—2004 年椒江河口湾 0 m、2 m 和 5 m 等深线变化。可以看出, 椒江河口湾水下地形变化呈现如下特点:

1) 1931—1970 年, 湾内绝大部分区域发生淤积, 0 m、湾口的 2 m (航道以南部分) 和 5 m 等深线均向海方向推移, 以湾口的 2 m 和 5 m 等深线外移最为显著。



注：岸线选自海图（台州湾及海门港，1977年6月）

图4 等深线变化

2) 1970—1998年，0 m、湾口的2 m（航道以南部分）和5 m等深线继续向海方向推移，但推移的速率变慢；以湾口的5 m等深线为例，1931—1970年间的东移平均速率为87.0 m/a，然

而，1970—1998年间的东移平均速率为25.0 m/a。

3) 1998—2004年，0 m、2 m（除航道以北的湾口）和5 m等深线均向岸回退0~500 m不等。

4) 1970—2004年，椒江河口的2 m和5 m等深线一直沿航道走向往湾口推进，至2004年西部的2 m等深线与湾口的2 m等深线相距很近，航槽即将贯通。

### 3.3 冲淤变化原因

椒江河口湾地形冲淤变化受水沙环境、人类活动等因素的影响。椒江河口深槽及口外航道冲刷的原因，初步分析认为<sup>[9]</sup>，首先，20世纪70年代以来，港口吞吐量逐渐增加，通过口外航道的船舶吨级明显增大，往来的船只增多。台州电厂建成后的20世纪80年代，口外航道出现了历史上未有过的3 000吨级运煤船和经减载后的5 000吨级和万吨级宽浅运煤船。由于口外航道水深小，且航道底质系中值粒径为0.01 mm左右的细粉沙，当大吨位船舶频繁通过时，船底贴近航道底部，航道底质极易被搅动扬起，随流悬浮，年复一年，航道逐渐加深。其次，椒江口南岸的椒江十塘和北岸的海堤对椒江口外航道起到一定的束水作用。

来沙量减少、围垦工程修建和促淤手段变化是造成湾内浅滩向海淤涨速率减慢、并趋于床面基本稳定的原因。

1) 长江入海泥沙减少。20世纪80年代长江入海泥沙为4.68亿t/a，20世纪90年代减少为3.52亿t/a，2002—2004年又减少至2.49亿t/a，比20世纪80年代以前减少了47%。三峡水库修建是30 a内长江口入海泥沙锐减的原因，也是滩涂淤涨变缓的根本原因。

2) 邻近海域围垦工程修建。20世纪90年代以来，沿海城市对土地需求量急剧增加，滩涂围垦速度加快，造成来沙量进一步减少。

3) 促淤手段变化。台州地区常用工程促淤和生物促淤的手段解决人多地少的矛盾。20世纪80年代，在高滩种植大米草促淤，涂面高程比周围高12~20 cm，能提早4~5 a围涂。如今，一般在

中滩或低滩筑海堤, 堤身结构采用下部斜坡、上部陡墙的复式断面形式, 波浪的反射增强, 堤前波浪大, 泥沙不易落淤。

#### 4 结论

1) 唐朝以前, 椒江河口湾基本上处于自然变化状态; 以后, 海湾发育主要受人类活动的影响。

2) 口外南、北两岸不断筑塘致使椒江河口湾岸线向海推移。

3) 1931—1970 年, 椒江河口湾普遍发生淤积; 之后, 由于来沙减少、口外两侧滩面减小和海堤的束水作用等原因, 河口深槽及口外航道冲刷, 其余区域淤积变轻、并趋于床面基本稳定。

#### 参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第六分册 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 22 页)

#### 4 结论

1) 最底层的评价指标的随机性和模糊性较低, 评价比较合理, 随着云朵的升级, 其随机性和模糊性会明显增加; 2) 我国 VTS 在提高交通流和提升海事部门社会形象方面发挥了很大作用, 同时我国 VTS 的内部组织效率要明显高于外部监管服务的效率; 3) 我国 VTS 的效率性、效果性和公平性都很好, 经济性较低; 4) 在云模型的应用过程中, 定量指标比定性指标具有更低的随机性和模糊性。本文很多指标需要专家打分方法获取, 带来很大的不确定性, 对本文评价结果的可信度产生一定影响。

#### 参考文献:

- [1] Hans M W. Cost benefit analysis for vessel traffic systems[C]. Washington D C: Proceedings of an International Symposium, 1976.
- [2] Fuji Y, Yamanouchi H, Matui T. Survey on Vessel Traffic Management Systems and Brief Introduction to Marine Traffic Studies[R]. ENRI Papers, No. 45, 1984: 47-52.

- [2] 李孟国, 吴以喜, 蒋厚武. 瓯江口中沙采沙对温州港航道的影 响研究[J]. 水道港口, 2005, 26(4): 195-200.
- [3] 李伯根, 王才洪, 周鸿权, 等. 近 70 年来椒江河口河床冲淤调整机理[J]. 海洋学报, 2009, 31(5): 89-100.
- [4] 谢钦春, 张立人, 李伯根. 台州湾淤积及其原因探讨[J]. 东海海洋, 1988, 6(1): 25-33.
- [5] 麦苗, 闫勇, 吴以喜. 台州湾海域水文泥沙环境及海床冲淤演变分析[J]. 水道港口, 2009, 30(4): 246-252.
- [6] 孙英, 黄文盛. 浙江海岸的淤涨及其泥沙来源[J]. 东海海洋, 1984, 2(4): 34-42.
- [7] 方伟. 台州东部新区启动区块项目临时航道疏浚工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2011.
- [8] 严振非. 黄岩县志[M]. 上海: 三联书店, 1992.
- [9] 张瑾. 椒江口外航道整治工程可行性研究[R]. 杭州: 浙江省交通规划设计研究院, 2007.

- [3] 田宏伟. 船舶交通管理系统的费用—效益分析[D]. 大连: 大连海事大学, 2000.
- [4] 唐强荣. VTS 管理水平模糊综合评价[D]. 大连: 大连海事大学, 2002.
- [5] Fan Y T. Application of risk-based decision making on planning VTS [D]. Sweden: World Maritime University, 2005.
- [6] 张树奎. 我国 VTS 的效益评价研究[D]. 上海: 上海海事大学, 2006.
- [7] 李华文. 船舶交通管理系统经济社会影响评价研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
- [8] 考燕鸣, 王淑梅, 马静婷. 地方政府债务绩效考核指标体系构建及评价模型研究[J]. 当代财经, 2009(7): 34-38.
- [9] 丁昊, 王栋. 基于云模型的水体富营养化程度评价方法[J]. 环境科学学报, 2013(1): 251-257.
- [10] 杜湘瑜, 尹全军, 黄柯棣, 等. 基于云模型的定性定量转换方法及其应用[J]. 系统工程与电子技术, 2008(4): 772-776.
- [11] 沈进昌, 杜树新, 罗祎, 等. 基于云模型的模糊综合评价方法及应用[J]. 模糊系统与数学, 2012(6): 115-123.

(本文编辑 武亚庆)