

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20212217

# 温州地区海滩剖面形态变化特征分析

张世安<sup>1</sup>, 卜瑜辉<sup>2</sup>

(1. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 浙江省钱塘江管理局勘测设计院, 浙江 杭州 321000)

**摘要:** 通过选取温州地区6个典型岬湾型沙质海滩,对温州地区自然环境概况进行梳理,运用抛物线平面形态模型(MEPBAY),通过比较静态模拟岸线与近期实际岸线相对位置,研究了岬湾弧形砂质海岸的岸线进退趋势,探讨了目前温州地区岬湾海岸海滩的稳定性。结果表明,海岸线整体处于稳定状态,沙质海滩剖面形态主要分为下凹型、上凸型、斜坡型、斜坡+上凸组合型四大类;剖面年际冲淤变化特征主要分为上冲下淤型、全面冲刷型、基本稳定型三种模式。

**关键词:** 岬湾海岸; 海岸侵蚀; 剖面形态; 抛物线模型

**中图分类号:** TV148; P748

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)02-0049-04

## 1 引言

海岸侵蚀与淤积一直存在于海岸带系统内并塑造着现有的海岸线,然而近年来不当的人类活动及全球气候变化加剧了海岸侵蚀现象,使海岸侵蚀在区域或局部地区已成为一种自然灾害,导致沿海土地资源大量流失,威胁到人们的生命财产和健康安全<sup>[1]</sup>。海岸线长期变化的一个自然原因为海平面上升,海平面上升将导致沿海岸线的侵蚀与后退<sup>[2]</sup>。我国海岸线长达约18 000 km,其中浙江省居于首位,海岸线总长6 895 km<sup>[3]</sup>,砂砾质海岸所占的比重超过30%,约70%的砂质海岸遭受侵蚀,岸线蚀退率 $>1.1$  m/a,局部5.5 m/a或更大<sup>[4]</sup>。海岸侵蚀从定义上讲是由自然因素、人为因素或两种因素叠加引起的岸线位置后退,或促使滩面下蚀、变窄变陡的一种地质现象<sup>[5]</sup>。温州市位于浙江省东南部,濒临东海,海岸线长达1 015 km,面积在500 m<sup>2</sup>以上的海岛有436个<sup>[6]</sup>。其中,苍南县、平阳县和洞头海岛地区海岸线类型主要有人工岸线、自然岸线,海岸类型包括粉沙淤泥质海岸、基岩海岸和砂质海岸。通过历史遥感影像提取温州地区大陆与岛屿海岸线,发现近二十多年来海岸线位置加速外推,但岸线总长度有所缩短,局部地区海岸线变得平滑、规整、顺直,最终导致自然岸线占比下降了8.4%。

为此,本文以平阳县、苍南县、洞头海岛地区的岬湾弧形砂质海岸为例,通过抛物线平面形态模型模拟了岬湾海岸平面形态的静态岸线,并与实际岸线进行对比,确定了温州地区的岬湾弧形海岸的平衡状态,结果可供参考。

## 2 抛物线模型基本原理

一般波浪会以一定角度对岬角海湾的砂质海岸进行岸线塑造,最终将其塑造成形状不对称的弧形海岸,同时又将岬湾弧形海岸分成曲线段、过渡段、直线段<sup>[7]</sup>。大多数平衡形态模型仅考虑了海湾的几何要素,而忽略了波浪方向和岬角点的位置。抛物线模型充分考虑了这些因素,是目前拟合岬湾海岸静态平衡认可度较高和应用最广泛的经验模型<sup>[8]</sup>。抛物线平面形态模型(图1)<sup>[9]</sup>的

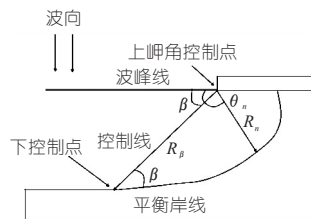


图1 抛物线模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of parabolic model

曲线方程具体表达式为:

**收稿日期:** 2021-10-12, **修回日期:** 2021-10-27

**基金项目:** 水利技术示范项目(SF-202204); 中央级科研院所所长基金项目(HKY-JBYW-2021-6)

**作者简介:** 张世安(1992-),男,工程师,研究方向为湖库泥沙处理与资源利用、水力学及河流动力学, E-mail: 4228874@qq.com

$$R_n/R_\beta = C_0 + C_1(\beta/\theta_n) + C_2(\beta/\theta_n)^2 \quad (1)$$

其中

$$C_0 = 0.0707 - 0.0047\beta + 0.000349\beta^2 - 0.00000875\beta^3 + 0.0000004765\beta^4 \quad (2)$$

$$C_1 = 0.9536 + 0.0078\beta - 0.0004879\beta^2 + 0.0000182\beta^3 - 0.000001281\beta^4 \quad (3)$$

$$C_2 = 0.0214 - 0.0078\beta + 0.0003004\beta^2 - 0.00001183\beta^3 + 0.0000009342\beta^4 \quad (4)$$

式中,  $R_\beta$  为控制线长度, 表示上岬角控制点与下控制点间的距离;  $\beta$  为波峰线与控制线之间的波浪倾角, 其范围为  $10^\circ \sim 80^\circ$ ;  $R_n$ 、 $\theta_n$  分别为上岬角控制点到海岸上任意一点的极坐标距离、角度;  $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  均为系数, 是关于  $\beta$  的函数, 是由 27 个原型海湾和试验模型海湾的模拟结果经回归分析所得, 并与波浪入射角  $\beta$  有关<sup>[9]</sup>。

### 3 平面形态稳定性及剖面形态变化特征分析

#### 3.1 监测断面选取及数据采集

2019~2020 年 11 月期间对温州地区海岸进行现场勘探, 根据实际沙滩平面形态, 依次选取具有代表性的监测断面, 每个沙滩布设了 3~6 条监测断面。主要使用 RTK-GNSS 设备进行地形及海岸线测量, 通过应用浙江省卫星定位综合服务系统, 来精确定位作业的空间地理位置。平面坐标系采用 CGCS-2000 大地坐标, 高程采用 1985 国家高程基准面。采用移动 CORS 站的测量形式进行数据资料收集。每个沙滩各条断面均采用人工跑滩、碎步测量的方式, 每隔 0.5 m 进行取点测量, 获取该处的经纬度和高程数据。剖面测量从海滩后滨沙丘起始, 沿垂直于岸线的方向, 直至沙滩低潮位线附近截止, 在沙滩地形有明显变化的位置进行加密测量, 如存在明显侵蚀陡坎部位。通过在岸堤上设立稳定的相对基准点, 布设控制平面, 确保各监测点位每次都在相同的剖面上。对典型断面进行重复测量, 以获取海滩地形冲淤变化的有效数据。对所获高程数据进行统一处理, 绘制成断面图, 并将同一剖面的不同时期进行对比, 来研究潮滩剖面形态随时间的变化过程, 从定量角度统计分析海岸侵蚀现状。

#### 3.2 结果与分析

##### 3.2.1 西湾金沙滩

西湾金沙滩湾位于温州市平阳县的东南部, 朝东方向, 沙滩岸线总长 411 m, 平均低潮位以上面积 18 966.4 m<sup>2</sup>。沙滩 6 个剖面(S1-S6)形态均

为斜坡型(图 2), 断面平均坡度为 2.9°。海滩两边及后方均为基岩海岸, 高潮位涨潮时淹没整个海滩。断面监测结果显示, 2020 年较 2019 年滩面平均下蚀了 2.6 cm, 沙滩越往南方向, 滩面受侵蚀作用越强。其中 S5、S6 剖面低滩部位下蚀较严重, 最大下蚀量分别达 23、22 cm。

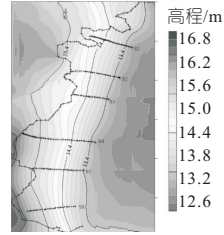


图 2 西湾金沙滩实测岸线及断面测站位置

Fig. 2 Location of measured shoreline and cross-section station of Xiwan Jinshatan

##### 3.2.2 炎亭沙滩

(1) 平面形态稳定性分析。炎亭湾在海湾东部建设渔港码头, 于 2008 年在海湾东南隅方向修建了一条长约 370 m 的防波堤 C(图 3), 湾外 E-SSE 向来波受到较大阻挡, 海湾原先的水动力平衡被打破, 产生了自西向东的沿岸输沙流。目前平衡岸线由天然岬角 A 与防波堤 C 共同控制, 结合该海域全年入射波浪的常方向, 沙滩西侧模拟的静态平衡岸线偏向海域(图 3 中的弧线为模拟的静态平衡岸线位置), 此处海岸易遭受侵蚀, 断面监测数据也证实, 该沙滩西侧侵蚀现象比沙滩东侧更严重, 总的来说现阶段炎亭湾海岸线处于动态平衡状态。

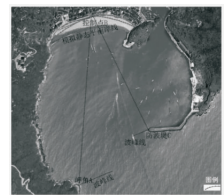


图 3 炎亭湾实际岸线与 MEPBAY 预测静态平衡岸线对比

Fig. 3 Comparison of actual coastline of Yanting Bay and static equilibrium coastline predicted by MEPBAY

(2) 剖面形态变化特征。炎亭湾为开敞面朝 SSE 方向的山丘溺谷型岬湾, 三面环山, 两边为基岩海岸, 平时停有渔船。沙滩岸线长 856 m, 平均低潮位以上面积 66 371.5 m<sup>2</sup>, 布设了 6 处监测断面(S1~S6, 见图 4), 海滩剖面形态为上凸型, 断面平均坡度为 6.1%。通过对比 2020、2019 年监测断面, 发现 6 条断面地形变化均表现为明显淤积, 断面平均变化介于 9~33 cm/a。曹慧美等<sup>[10]</sup>研究发现, 炎亭湾在防波堤建成后, 湾外 E-SSE 向来波受到较大的阻挡, 一定程度上打破了海滩

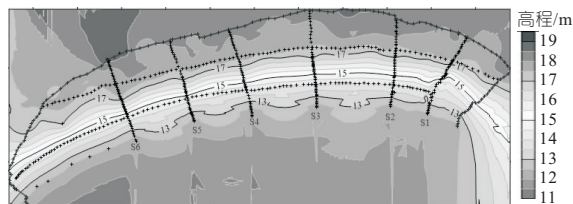


图 4 炎亭金沙滩实测岸线及断面测站位置

Fig. 4 Location of measured shoreline and cross-section station in Yanting Jinshatan

原先的平衡状态,产生了自西向东的沿岸输沙流,导致海岸西段逐渐侵蚀,海滩面变窄,沉积物粗化,造成海滩质量下降,变成砾石滩。

### 3.2.3 雾城澳沙滩

(1)平面形态稳定性分析。雾城澳沙滩由于其独特的地形条件,虽然在沙滩北侧修建了一个小型人工护堤,但海滩的稳定性主要受沙滩南侧天然山体岬角点 A 控制,结合该海域全年入射波浪的常方向,对比模拟的静态平衡岸线位置(图 5 中的弧线)与实际岸线,发现静态平衡岸线总体偏向海一侧,表明雾城澳沙滩处于侵蚀型动态平衡状态,沙滩南侧湾顶段部位会更易遭受海岸侵蚀作用影响。

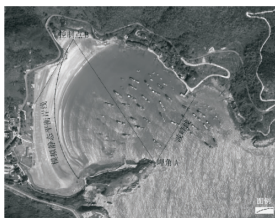


图 5 雾城澳实际岸线与 MEPBAY 预测静态平衡岸线对比

Fig. 5 Comparison of actual coastline of Wuchengao and static equilibrium coastline predicted by MEPBAY

(2)剖面形态变化特征。雾城澳海湾面朝东南方向,为渔船平时停靠的天然港湾。沙滩岸线长 856 m,平均低潮位以上面积 66 371.5 m<sup>2</sup>。沙滩剖面形态为侵蚀下凹型,6 处断面 S1~S6(图 6)平均坡度为 3.9%。2020 年海滩滩面整体冲淤量与 2019 年维持基本相同,主要海滩北侧淤积,南侧发生侵蚀。2020 年沙滩 S1、S2、S3 剖面中滩

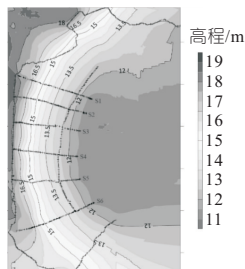


图 6 雾城澳沙滩实测岸线及断面测站位置

Fig. 6 Location of measured shoreline and cross-section station in Wuchengao Beach

部位较 2019 年有明显淤涨,然而断面 S5、S6 低滩部位较 2019 年侵蚀明显,分别下蚀了 19、29 cm。结合静态平衡岸线,沙滩南侧湾顶段的模拟平衡岸线更靠近海域一侧,更易遭受到波浪侵蚀作用,与实际地形监测结果相一致。

### 3.2.4 渔寮沙滩

(1)平面形态稳定性分析。渔寮沙滩位于苍南县渔寮乡,沙滩被马鼻山分隔为南北两段,总长约 1 600 m,宽约 800 m,呈新月形,为我国东南沿海最大的天然沙滩。渔寮沙滩主要受北侧的天然上岬角点影响,结合该海域波峰线的主要方向,与实际岸线相比,模拟岸线与海湾实际岸线形态吻合良好,表明渔寮湾海岸线总体处于(准)静态平衡状态。

(2)剖面形态变化特征。渔寮湾为东向的开敞海湾,海域开阔,外无岛屿,风浪长驱直入,动力作用强,为基岩砂质海岸。渔寮湾海岸线总长 20.1 km,其中基岩海岸 15.4 km,砂砾质海岸 4.7 km<sup>[11]</sup>。海湾总面积为 17.2 km<sup>2</sup>,其中潮间带面积 0.96 km<sup>2</sup>,前海面积 16.24 km<sup>2</sup>,潮间带为中细砂组成的海滩,潮上带有砂堤发育<sup>[11]</sup>。渔寮沙滩北面朝东方向,岸线长约 1 060 m,平均低潮位以上面积约为 163 287 m<sup>2</sup>,其中所布置的 6 个剖面 S1~S6(图 7(a))2020 年较 2019 年均有一小幅淤涨,平均断面变化介于 2~6 cm/a。断面剖面形态为斜坡型,6 个典型断面的平均坡度为 2.6%。坡度较缓,滩面易淤涨。渔寮沙滩南面为东北朝向,岸线长约 530 m,平均低潮位以上面积约为 178 120 m<sup>2</sup>,选取 6 个典型断面 S1~S6(图 7(b))测得平均断面坡度为 2.1%,断面剖面形态为斜坡型。渔寮南沙滩 6 条断面中 5 条出现淤积,断面平均变化介于 -4~6 cm。其中 S6 断面高滩部位 2020 年较 2019 年有明显侵蚀,最大下蚀高度为 15 cm。

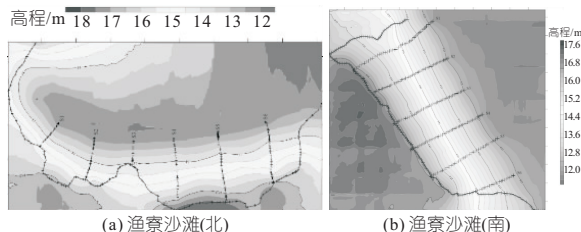


图 7 渔寮沙滩实测岸线及断面测站位置分布

Fig. 7 Distribution of actual coastline and cross-section station locations in Yuliao Beach

### 3.2.5 长沙村沙滩

(1)平面形态稳定性分析。长沙村沙滩位于苍南县霞关镇长沙村,沙滩面积较小,主要受上游

一个岬角点控制,结合该海域波峰线的方向,与实际岸线相比较,模拟岸线偏向海域一侧,表明长沙村海岸线处于侵蚀型动态平衡状态。

(2)剖面形态变化特征。长沙村沙滩为天然沙滩,受人为干扰影响较小。根据现场地形测量结果,沙滩岸线长 479 m,平均低潮位以上面积约 34 416.8 m<sup>2</sup>。断面剖面形态为侵蚀下凹型,所布设的 6 个监测剖面 S1~S6(图 8)平均坡度约为 7%,沙滩坡度较陡。2020 年长沙村沙滩滩面较 2019 年整体下蚀了 2.3 cm。

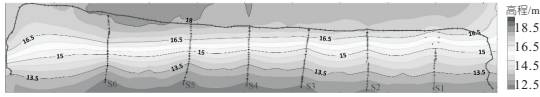


图 8 长沙村沙滩实测岸线及断面测站位置  
Fig. 8 Location of measured shoreline and cross-section station in Changsha Village Beach

### 3.2.6 东岬沙滩

(1)平面形态稳定性分析。东岬海滩主要以两个人工后期修建的堤岸作为岬角点,结合该海域波峰线的方向,与实际岸线相比,模拟静态平衡岸线偏向陆地一侧,说明该岬湾海岸总体处于动态平衡状态。

(2)剖面形态变化特征。东岬沙滩面朝西南方向,海岸线长约 170 m,低潮位以上面积约 1.1 × 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>,断面形态为斜坡+上凸组合型,断面平均坡度为 5.2%。2020 年与 2019 年沙滩斜坡段部位坡面较接近,整体滩面平均下蚀了 0.3 cm。沙滩后方及两侧修建了人工护岸,其中 S1、S4 断面(图 9)高滩部位 2020 年较 2019 年有明显侵蚀陡坎,最大下蚀高度分别达 46、40 cm。

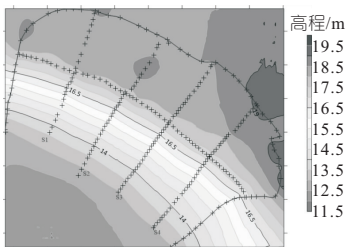


图 9 东岬沙滩实测岸线及断面测站位置  
Fig. 9 Location of measured shoreline and cross-section station in Donggao Beach

### 3.2.7 沙岬沙滩

(1)平面形态稳定性分析。沙岬沙滩位于洞头岛沙岬村附近,总体面积不大,主要由一个天然岬角点控制,结合该海域波峰线的方向,与实际岸线相比,模拟岸线处于靠海一侧。沙岬沙滩局部海岸线处于侵蚀型动态平衡状态,沙滩东侧岸线更易受到海岸侵蚀作用的影响。

(2)剖面形态变化特征。沙岬为天然沙滩,面

朝西南方向,沙滩岸线长约 85 m,低潮位以上面积约 4 500 m<sup>2</sup>。断面形态为上凸型,断面平均坡度约为 5.3%。沙滩北侧为基岩岸线,东南侧为人工岸线。沙岬 3 条断面(图 10)整体表现为淤积,但其中 S3 断面低滩部位出现最大下蚀量 0.283 m,与静态平衡岸线趋势相一致。

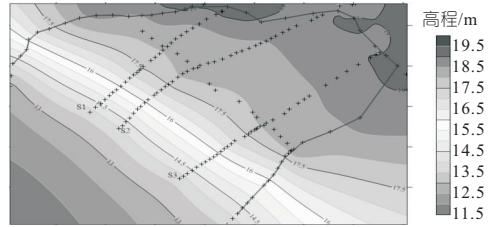


图 10 沙岬沙滩实测岸线及断面测站位置  
Fig. 10 Location of measured shoreline and cross-section station in Shaao Beach

## 3.3 原因分析

调查研究的 7 个沙滩中,目前只有渔寮沙滩处于(准)静态平衡状态。虽然温州地区绝大多数弧形沙滩被海岸岬角分割成一个个独立的动力沉积系统且与相邻海岸泥沙交换量不大,很少与上下游海岸发生联系,海岸泥沙只在系统内部循环,但岬湾海岸在平面形态上达到(准)静态平衡的占少数,大部分还处于动态平衡状态。这在一定程度上与温州地区处于亚热带季风区有关,即受全年随季节的变化风向影响较大,特别是在夏季还会遭受台风、风暴潮等自然灾害性天气及人类生产、生活作用的影响,在岬湾海岸两边修建了许多堤坝、护岸工程,改变了海岸原有的水动力平衡,进而对海岸平面的平衡形态造成了一定程度的影响。

## 4 结论

a. 温州地区的岬湾弧形海岸分为接近静态平衡(准静态平衡)状态、(淤进型)动态平衡状态、(侵蚀型)动态平衡状态,大部分岬湾砂质海岸还是处于动态平衡状态,少数处于静态平衡状态。

b. 温州地区砂质海岸年际剖面形态目前基本保持稳定,砂质海滩剖面类型主要分为下凹型、上凸型、斜坡型、斜坡+上凸组合型四大类型。同时剖面变化存在三种模式,即上冲下淤型、全面冲刷型、基本稳定型,分别对应于洞头海岛地区的砂质海岸、平阳地区的基岩海岸、苍南地区的渔寮砂质海岸。

### 参考文献:

[1] 罗时龙,蔡锋,王厚杰. 海岸侵蚀及其管理研究的若干进展[J]. 地球科学进展,2013,28(11):1239-1247.

差,三个流量过程的趋势基本一致,大小基本吻合,这说明本文提出的流量校正方法能有效、合理降低区间谬误率。

### 4 结 论

a. 与传统径流非一致性修正方法相比,本文采用校正水库水电站特征曲线的方式获取准确的出入库流量过程,该方法不仅使各区间的流量过程更贴合实际,且区间谬误率有效降低,同时也发现分水头/水位校正方法最优。

b. 将本文方法应用到梯级水电站径流逻辑非一致性处理工作中,可有效提高径流过程的合理性,为流域水量调度工作提供更准确的基础数据。

### 参考文献:

[1] 陈超,方国华,颜敏,等. 基于洪水调度资料的水库闸门泄流曲线率定方法研究[J]. 水电能源科学, 2022,40(6):24-27.

[2] 张明,王随玲,蒋志强,等. 基于动态规划算法的额勒赛下游水电站防洪优化调度研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(11): 127-131.

## Study on Characteristic Curve Correction of Cascade Hydropower Stations in the Middle and Lower Reaches of Dadu River

ZHU Yan-jun<sup>1</sup>, DU Hao<sup>2</sup>, QIU Bin<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>3</sup>, HE Shan-shan<sup>2</sup>, JIANG Zhi-qiang<sup>2</sup>

(1. CHN Energy Dadu River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610000, China; 2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of interval flow inversion of cascade hydropower stations, taking the cascade hydropower stations in the middle and lower reaches of the Dadu River basin as an example, the characteristic curve correction of the six reservoirs in the basin was carried out. In order to accurately calculate the inflow and outflow of each reservoir by correcting each characteristic curve, and make the flow inversion rate of each interval meet the requirements, four correction methods of characteristic curve correction methods were proposed with the goal of minimizing the flow inversion rate, which includes single-point discrete optimization, multi-point discrete optimization, curve cluster overall translation optimization, and distinguishing different water head/water level translation optimization. The simulation calculation shows that although each curve correction method has certain effect, the distinguishing different water head/water level translation optimization method has the best effect. After using this method to correct the characteristic curve, the interval flow inversion rates of PuSheng and GongTong decreased from 53% and 77.96% to 13.93% and 4.37%, respectively. Although the flow inversion rates in the remaining intervals has slightly increased after correction, they are all within a reasonable range. It can be seen that the curve correction method effectively reduces the inversion rate of interval flow and improves the consistency of runoff series, which can provide a data basis for the accurate water regulation of cascade hydropower stations in the Dadu River basin.

**Key words:** flow inversion; characteristic curve correction; runoff inconsistency; interval flow inversion rate; cascade reservoirs; Dadu River



(上接第 52 页)

[2] 林峰竹,王慧,张建立,等. 中国沿海海岸侵蚀与海平面上升探析[J]. 海洋开发与管理,2015,32(6):16-21.

[3] 叶玮. 中国省市地理:浙江地理[M]. 北京:北京师范大学出版社,2013.

[4] 王永红. 海岸动力地貌学[M]. 北京:科学出版社,2012.

[5] 罗时龙. 海岸侵蚀风险评价模型构建及其应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.

[6] 刘述锡,孙钦邦,孙淑艳,等. 海岸带开发强度评价研究——以温州为例[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(2): 9-15.

[7] 程武凤. 岬湾海滩的稳定性与沉积行为[D]. 上海:

华东师范大学, 2017.

[8] 张小玲. 华南弧形海岸近期稳定性分析[D]. 上海:华东师范大学, 2013.

[9] HSU J R C, EVANS C. Parabolic bay shapes and applications[J]. Proceedings of the institution of civil engineers,1989, 87(4): 557-570.

[10] 曹惠美,蔡锋,苏贤泽,等. 海滩养护和修复工程的动态平衡滨线设计研究——以浙江省苍南县炎亭湾海滩修复工程设计为例[J]. 应用海洋学学报, 2018, 37(2): 185-193.

[11] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志·第六分册·浙江省南部海湾[M]. 青岛:海洋出版社, 1993.

## Analysis of Characteristics of Beach Profile Changes in Wenzhou Area

ZHANG Shi-an<sup>1</sup>, BU Yu-hui<sup>2</sup>

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China;

2. Surveying and Design Institute of Qiantang River Administration of Zhejiang Province, Hangzhou 321000, China)

**Abstract:** This paper selected 6 typical cape-bay sandy beaches in Wenzhou area to sort out the natural environment. The parabolic plane morphology model (MEPBAY) was used to compare the relative positions of the static simulated shoreline with the recent actual shoreline. The advancing and retreating trend of the coastline of the shaped sandy coast was analyzed. The current stability of the coastal beaches of Cape Bay in Wenzhou area was discussed. The results show that the coastline is in a stable state as a whole, and the profile of sandy beaches is mainly divided into four types: concave downward, upward convex, slope, and slope + upward convex combination. The characteristics of the interannual erosion and deposition changes of the profile are mainly divided into three modes: the upward erosion and the downward siltation, the overall erosion type and the basic stable type.

**Key words:** cape bay coast; coastal erosion; profile morphology; parabolic model