

乐清湾大乌港水道冲淤变化分析

巩明, 李伯根, 周鸿权

(国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局工程海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 大乌港水道位于乐清湾中湾西侧, 是乐清湾内外湾水沙交换的主要潮流通道之一。根据1933—2005年间5个年份的水深地形资料, 采用GIS技术建立大乌港水道不同年份的数字高程模型 (DEM)。通过模型叠合对大乌港水道近70年间进行数字化冲淤定量计算, 结合实测水文泥沙、地貌形态、人类开发活动等资料综合分析表明: 大乌港水道整体上处于缓慢淤积的趋势, 其南北两端潮流分汇流缓流区的淤积幅度大于中间的潮流畅通区段, 断面形态及深槽位置未发生大的改变; 堵港、围涂等人类活动加速了大乌港水道的淤积过程。

关键词: 乐清湾; 潮流通道; 冲淤变化

中图分类号: P737.14

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2011)02-0205-08

Calculation of the amount and analysis of the trend of siltation and erosion in Dawugang channel of Yueqing Bay

GONG Ming, LI Bo-gen, ZHOU Hong-quan

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Dawugang channel is located in the west of the middle bay of Yueqing Bay, which is one of the main tidal channel where water and sediment exchange between inner bay and outer bay, with abundant deepwater coastal areas. Supported by GIS, five bathymorphological maps from 1933 to 2005 are transformed to digital elevation models to calculate the amount of the erosion and deposition and analyse the general trend of the erosion and deposition, also based on the data of the observed tidal current, suspended sediment, geomorphology, etc. It is shown that Dawugang channel is in a slow sedimentation trend on the whole, the area of slack water where the tidal current separates and joins at both ends depositing more than the middle part where the current can flow freely, and the form of the cross section and the site of the groove don't change greatly. Besides, coastal engineering such as reclamation speed up the deposition of Dawugang channel.

Keywords: Yueqing bay; tidal channel; erosional and depositional change

引言

我国东南沿岸发育着众多的基岩淤泥质海湾, 从北往南依次为象山港、三门湾、乐清湾、沙埕港、三沙湾、福清湾等海湾, 湾内拥有岛礁、水道、滩涂、深水岸线等多种空间资源, 乐清湾便是其中比较典型的一个。它位于浙江沿海南部, 瓯江口、温州湾北侧, 向西南开口, 其东北西三面为低山丘陵环绕, 1977年漩门堵口后, 乐清湾从一个潮流通道型海湾变为为一个典型的半封闭海湾 (图1)。湾内岛屿众多, 岛屿之间, 岛陆之间形成潮流

通道^[1]。大乌港水道便是其中规模较大的一支, 拥有丰富的港口和航道资源。随着经济社会的发展, 人类加强了对海洋资源的开发, 引起了该地区动力环境和海床地形局部的人为改变。

工程所引起的冲淤影响分析等方面, 给予了普遍的关注, 做出了大量的工作与成果^[2-6], 其中不少研究已经涉及到了乐清湾^[7-9], 但尚未见对大乌港水道的冲淤特性进行细致深入的调查与研究。因此研究自然条件及人为影响下该地区的海床冲淤特性, 对该地区岸线资源的有效合理开发利用、促进该地

收稿日期: 2010-07-09; 收修改稿日期: 2010-10-19

基金项目: 国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项资助项目 (JG0907)。

作者简介: 巩明 (1984-), 男, 硕士研究生, 电子邮箱: gm-321@163.com。

通讯作者: 李伯根, 男, 研究员, 电子邮箱: libogen@126.com。

区经济社会发展具有现实意义。本文根据历年水深地形资料,采用 GIS 技术进行数字化定量冲淤计算,并结合实测水文泥沙,地貌形态以及人类开发活动等资料分析大乌港水道进行冲淤变化特性。

1 研究区环境特征概述

乐清湾属于溺谷式基岩淤泥质海湾,根据地貌形态组合特征,以大青山—大横床—东山埠头连线和连屿—大乌岛—钟山连线为界,乐清湾由北向南依次可分为内湾、中湾和外湾。内湾地貌形态以树枝状潮流汊道与脊岭状、舌状潮滩相间发育为最大特征;中湾地貌组合总体以潮滩窄,岛屿多,岛间或岛陆间潮流通道为主要特征,水下地形起伏较大;外湾则海域相对开敞,海底地形西浅东深,西岸潮滩发育,东岸滩涂窄边坡较陡,深槽逼岸^[10]。大乌港水道位于乐清湾中湾的西侧,南起大乌岛~

钟山连线北接清江、白溪港,长约 10 km 左右,由大乌岛、江岩岛、茅埏岛、茅坦山、大横床等岛屿与其西侧大陆海岸构成(图 1),是内外湾水沙交换的主要通道之一。该水道两侧潮滩总体狭窄,水下地形相对平缓,仅在大乌岛和茅埏岛西侧抛西礁两处形成局部深潭,水深大于 2 m、5 m 宽度分别达到了 2~3 km 和 1.5 km^[10]。受口门及湾内岛屿阻挡,外海波浪不易传入,径流作用影响也十分有限,水道冲淤演变以潮流塑造作用为主。大乌港水道海域为正规半日潮海区,潮波呈现驻波性质^[1];实测平均潮差和最大潮差分别达到了 4.43 m 和 7.23 m,属于强潮海区;潮流呈以落潮流为优势流的往复流,实测最大涨落潮流速分别为 1.26 m/s 和 1.49 m/s。泥沙以悬移形式运动为主,实测垂线平均含沙量大潮期为 0.309 至 0.518 kg/m³,小潮期为 0.107 至 0.335 kg/m³。

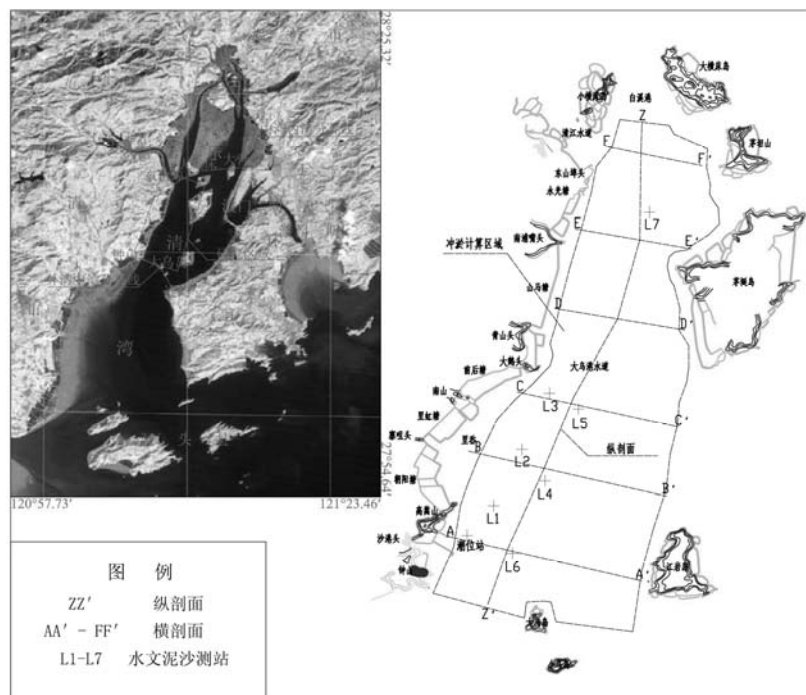


图 1 大乌港水道地理位置、站位及剖面示意图

Fig. 1 Sketch map of the Dawugang Channel, stations and sections

2 大乌港水道冲淤分布特征

通过收集选取了大乌港水道 1933、1964、1984、2002、2005 年 5 个年份水深地形图,其中 1933、1964、2005 年采用理论深度基准面,1984 年采用 1956 年黄海高程基准面,2002 年采用 1985 国家高程基准。在长约 10.6 km,面积约 31.7 km²的狭长

形研究区域内,利用 Mapinfo 软件对其进行配准并提取水深点。然后利用 Sufer 软件,采用 Kriging 插值方法将离散数据网格化,并将各年份水深地形图基面统一为 1985 国家高程基准,从而建立该海域不同年份的数字高程模型(DEM)进行冲淤计算。

2.1 大乌港水道纵剖面冲淤分布

大乌港水道深槽区不同年份纵剖面的地形高

程对比绘于图 2。由图可知, 70 余年来, 该水道纵剖面总体上处于缓慢淤积状态, 仅在茅埏岛西侧岬角前沿深潭附近出现最大可达 4.88 m 的较大冲淤幅度, 整个剖面平均淤积幅度为 1.95 m, 淤积速率为 2.71 cm/a, 但不同的年间, 存在一定的差异。1933 年—1964 年间, 剖面总体上缓慢淤积, 剖面形态表现为北淤南冲, 平均淤积幅度 0.97 m, 淤积速率 3.12 cm/a。1964 年—1984 年间, 剖面淤积趋缓, 除茅埏岛西侧深潭附近出现最大为 2.3 m 的淤积外, 其他区段冲淤基本平衡或出现微冲, 平均淤积幅度 0.29 m, 淤积速率 1.45 cm/a。1984 年—2002 年间, 剖面总体继续以缓慢淤积为主, 茅埏岛西侧深潭以北出现冲淤交替, 以南则以缓慢淤积为主, 平均淤积幅度 0.30 m, 淤积速率 1.67 cm/a。2002 年—2005 年间, 剖面呈现加速淤积, 整个剖面均表现为淤积, 茅埏岛西侧深潭附近淤积较为严重, 最大淤积幅度达 1.1 m, 平均淤积幅度 0.39 m, 淤积速率 13.0 cm/a。

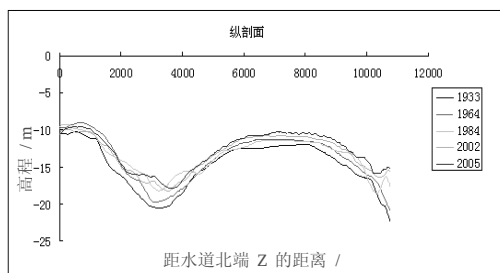


图 2 大乌港水道深槽纵剖面水下地形变化

Fig. 2 Elevation variation of the longitudinal section along the groove of the Dawugang Channel

2.2 大乌港水道横断面冲淤分布

为了了解大乌港水道沿程的冲淤变化, 选取 6 条典型横断面 (图 1), 通过这些横断面的水下地形高程对比, 绘于图 3。由图可知, 大乌港水道沿程横断面的冲淤变化基本上表现为缓慢淤积, 与纵剖面冲淤特征基本一致, 70 多年来冲淤幅度为 1.08~3.23 m, 平均冲淤速率为 1.50~4.49 cm/a。但在不同时段大乌港水道沿程横断面冲淤变化存在一定的差异。

1933 年—1964 年间, 沿程横断面出现不同程度的淤积, 位于水道南北两端的 AA'、EE'、FF'断面淤积明显较快, 淤积幅度为 1.00~1.80 m, 淤积速率为 3.23~5.80 cm/a, 其余相对较小, 如 DD'断面淤积幅度仅 0.15 m, 淤积速率为 0.47 cm/a。在侧向冲淤变化上, 除 EE'断面底部深潭较大幅度淤积外,

其余横断面表现为普遍轻微淤积且侧向淤积较为均匀。

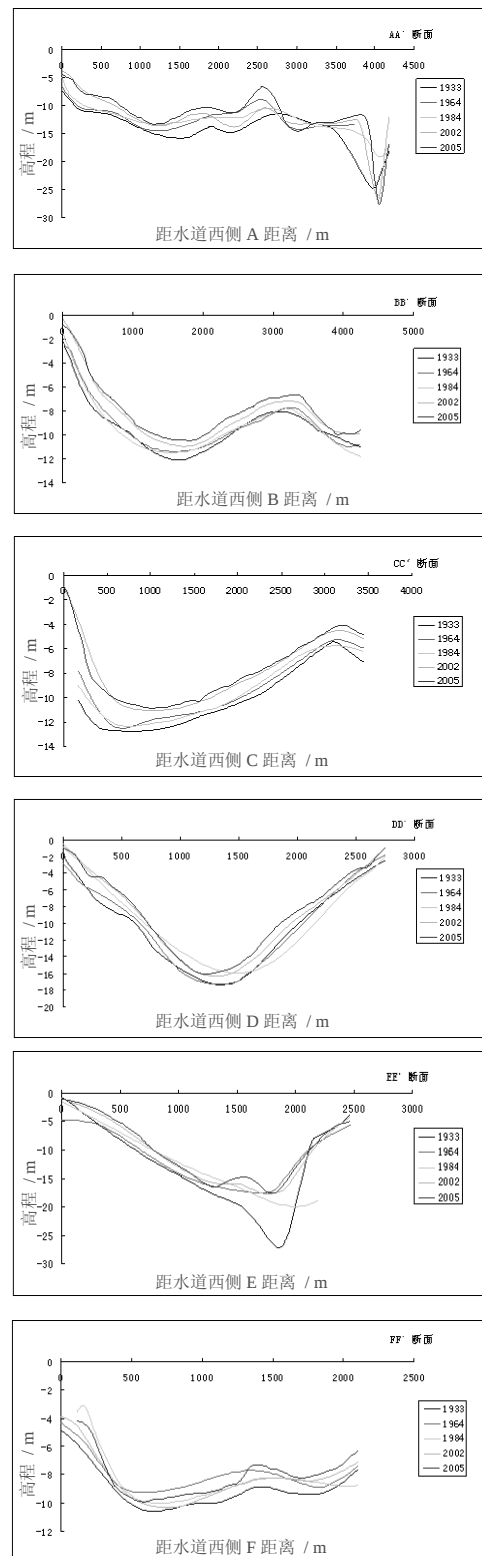


图 3 大乌港水道沿程横断面水深变化

Fig. 3 Water depth variation of the cross sections along the Dawugang Channel

1964 年—1984 年间, 各断面有冲有淤, 冲淤幅度差异较大, 位于水道北部的 EE'、FF'断面冲刷较明显, 冲刷幅度分别为 0.24 m 和 0.25 m, 冲刷速率为 1.20 cm/a 和 1.25 cm/a, 而中部的 DD'断面淤积幅度最大, 为 0.44 m, 淤积速率为 2.20 cm/a。在侧向冲淤变化上, 各横断面侧向变化主要表现为冲淤交替, 其中 DD'、EE'、FF'断面呈现出较明显的西淤东冲的特点, 除 EE'断面东侧冲刷幅度较大外, 其余则冲淤较为缓慢且均匀。

1984 年—2002 年间, 各横断面冲淤幅度较为均匀, 除最北端的 FF'断面出现 0.11 m 的冲刷外, 其余则均表现为缓慢淤积, 淤积幅度为 0.47~1.32 m, 淤积速率为 2.61~7.33 cm/a。在侧向冲淤变化上, 各横断面差异较大, AA'、DD'、FF'断面呈现冲淤交替的状态, 中部的 BB'、CC'断面表现为普遍轻微淤积, 其中 CC'断面底部及西边坡淤积幅度较大, EE'断面除东侧深潭区域快速淤积外, 其余则基本保持冲淤平衡状态。

2002 年—2005 年间, 各横断面冲淤幅度分布与 1933 年—1964 年类似, 水道南北两端的 AA'、EE'、FF'断面淤积较快, 淤积幅度和速率分别为 0.43~0.84 m 和 14.43~28.10 cm/a, 而中部 CC'断面淤积最弱, 淤积幅度和淤积速率分别为 0.10 m 和 3.23 cm/a。在侧向冲淤变化上, BB'、DD'、FF'断面表现为较均匀的缓慢淤积, AA'、EE'断面底部出现较大淤积, 边坡冲淤基本平衡, CC'断面则出现西边坡缓慢冲刷, 底部及东边坡缓慢淤积的趋势。

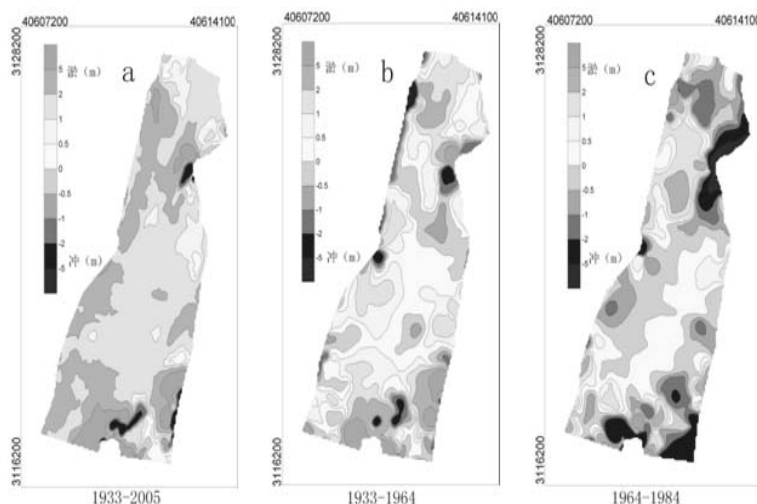
从上述不同时段沿程横断面冲淤分布来看, 近 70 年来大乌港水道经历了缓慢淤积、轻微冲刷、加速淤积的过程。总体上水道呈现南北部淤积幅度大于中部海域的特征; 横断面的侧向冲淤分布也比

较均匀, 形态基本可以保持相对稳定的状态。

2.3 大乌港水道平面冲淤分布

据 5 个年份的数字高程模型进行叠合计算分析结果可知 (图 4, 表 1), 1933 年—2005 年 70 余年间, 大乌港水道淤积区面积大于冲刷区面积, 年均淤积量大于冲刷量, 总体趋于淤积, 淤积幅度一般在 1~2.5m 之间, 平均淤积速率约为 3.01 cm/a, 但在不同的地貌部位存在着较大的差异。在水道南北两端以及水道边坡的部位淤积较强, 幅度大多超过 2 m, 局部可达 5 m 左右, 而水道中部区域, 淤积较弱, 幅度基本在 2 m 以下 (图 4a)。在不同的时段, 海床冲淤幅度及其分布也不尽相同。

1933 年—1964 年的 31 年间, 水道淤积区面积大于冲刷区面积, 年均淤积量大于冲刷量, 总体趋于淤积 (图 4b), 全区平均淤积幅度及速率分别为 0.89 m 和 2.86 cm/a (表 1)。1964 年—1984 年的 20 年间, 水道冲刷区面积大于淤积区面积, 年均冲刷量大于淤积量, 总体表现为冲刷, 而在清江口以南的水道束窄段则出现了显著淤积 (图 4c), 全区平均冲刷幅度及速率分别为 0.22 m 和 1.10 cm/a (表 1)。1984 年—2002 年的 18 年间, 水道淤积区面积大于冲刷区面积, 年均淤积量大于冲刷量, 总体上再次出现淤积, 而茅埏岛西侧海域出现了明显的冲刷 (图 4d), 全区平均淤积幅度及速率也分别增加到 1.09 m 和 6.06 cm/a (表 1)。2002 年—2005 年的 3 年间, 水道淤积区面积大于冲刷区面积, 年均淤积量大于冲刷量, 总体趋于淤积 (图 4e), 全区平均淤积幅度及速率分别达到 0.41 m 和 13.69 cm/a (表 1), 淤积出现加速的趋势。



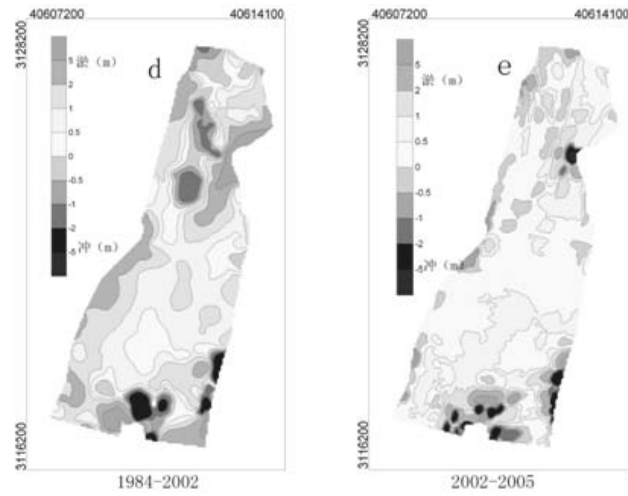


图 4 大乌港水道海床平面冲(-)淤(+)分布

Fig. 4 Horizontal distribution of the erosion and deposition of the seabed of the Dawugang Channel

表 1 大乌港水道海床不同时段冲淤特征值

Tab. 1 Characteristics of the erosion and deposition of the seabed of the Dawugang Channel in different periods

年 份	淤积区面积 (km ²)	冲刷区面积 (km ²)	净冲(-)淤(+)量 (万 m ³)	年平均净冲(-)淤(+)量 (万 m ³ /a)	平均冲(-)淤(+)厚度 (m)	年平均冲(-)淤(+)厚度 (cm/a)
1933-2005	30.45	1.27	6865.85	95.36	2.16	3.01
1933-1964	24.29	7.43	2811.5	90.69	0.89	2.86
1964-1984	14.78	16.94	-697.61	-34.88	-0.22	-1.1
1984-2002	26.98	4.74	3448.75	191.65	1.09	6.06
2002-2005	26.97	4.75	1303.21	434.4	0.41	13.69

3 讨 论

3.1 大乌港水道冲淤对人类活动的响应

随着周边社会经济的发展的需求，自 1977 年以来，乐清湾顶部先后建成了漩门一期（堵港）、漩门二期 5.59 万亩围涂和清江上游方江屿 1.36 万亩建库蓄水等三大主要工程^[10,11]，这些工程的实施使乐清湾中、内湾纳潮量、流场以及泥沙来源等环境因素发生了变化，势必引起该海域相应的局部冲淤调整。

1933 年—1964 年时段，大乌港水道平面轮廓除主要受到西侧人工堤岸制约外，在其上游及附近尚未修建堵港截流的海岸工程，水动力和泥沙环境接近自然状态，海床应处于自然环境作用下的缓慢淤积状态（图 4b）。

1964 年—1984 年时段，漩门一期堵港（漩门水道）工程和清江上游方江屿修建水库工程分别于 1977 年和 1979 年竣工完成^[11]，这些工程对其附近海域的冲淤产生了相应的影响。漩门一期工程一方面使乐清湾进潮量减小了 7%^[10]，改变了流畅结构；另一方面，隔断了漩门口的高含沙水体的进入，造

成水体含沙量的降低，出现局部微量冲刷^[12]。大乌港水道距离漩门口较远，并且有茅埏岛等大小岛屿的阻隔，流场受其影响改变较小，但经过涨潮期海水在湾顶纳潮区的混合作用，大乌港水道含沙量较为明显的减小，造成水道淤积作用减弱，部分区域出现冲刷，这种现象在大乌港水道边坡比底部区域更为显著（图 4c）。方江屿修建水库工程位于清江感潮河段上游，该工程的建成，拦截了上游的径流，阻断了洪水期洪峰径流和强输沙作用，并且缩短了感潮河段，减小了清江口以上的纳潮量，从而削减了洪水和落潮流对清江口以及大乌港水道北部的冲刷作用，因此该海域出现明显的淤积除了由于地处分汇流的缓流区外，还可能与方江屿修建水库工程有关（图 4c）。

1984 年—2002 年时段，经历了乐清湾综合开发围垦阶段^[11]，乐清湾的蓄潮面积相应减小，纳潮量也随之减小，导致大乌港水道再次出现淤积。大乌港水道西岸中部山马塘围涂工程于 1994 年完成^[11]，它加强了附近狭窄段水道的束窄作用，使该海域出现冲刷的情况（图 4d）。2001 年完工的漩门二期工程，

使乐清湾纳潮量进一步减小达 7%^[10], 包括大乌港在内湾内的水道流速减缓, 有利于细颗粒泥沙的落淤, 从而造成了 2002 年—2005 年时段的加速淤积现象, 水道平均淤积速率达到了 15.0 cm/a (图 4e), 其冲淤区域及幅度分布与 2002 年李志永等作出的预测基本一致^[8]。

3.2 大乌港水道冲淤动态趋势

大乌港水道冲淤动态变化主要取决于乐清湾海域泥沙来源, 水沙运动, 地形地貌等环境因素及其变化。乐清湾水域泥沙来源主要有 4 个方面: 沿岸山溪性河流输沙; 瓯江北口来沙; 长江入海泥沙扩散南移的悬浮物质及东海内陆架再悬浮物质, 其中前两者的影响十分有限, 后两者则是参与乐清湾海床塑造的主要物质基础^[1]。乐清湾内相当隐蔽, 外海波浪不易传入, 处于相对低能动力沉积环境, 有利于细颗粒沉积物落淤, 滩槽冲淤调整以潮动力作用为主^[1]。外海泥沙随涨潮流进入大乌港水道及其以北海域, 随着潮流动力逐渐减弱而沿程落淤。由于驻波等因素^[13], 部分泥沙落淤于潮滩。这使得乐清湾该海域纳潮量减小, 从而造成大乌港水道过水断面的潮流量及潮流流速的相应减小, 冲刷作用减弱。所以包括大乌港水道在内的整个海湾整体上处于缓慢淤积的状态, 仅在岛礁聚集区和基岩岬角前沿附近海域出现缓慢冲刷(图 4a)。

乐清湾是典型的强潮海湾, 大乌港水道以北有

宽广的蓄潮盆地以及大片的滩涂, 从而纳潮量以及潮汐汉道潮流流速都比较大并且具有以落潮流为优势流的特征。大乌港水道既是乐清湾内外湾涨落潮流交换的主要通道, 又是上游径流入海的通道之一, 而入湾河流来沙有限, 海域含沙量亦较低, 通过水文泥沙实测资料计算的单宽输沙以随涨落潮流的往返搬运为主, 净输沙量较小(表 3), 因而水道尤其是深槽区不会出现较大幅度的冲淤变化; 由于受到岛屿及基岩海岸的束窄, 断面形态不会发生较大变化, 深槽也不会产生大范围的摆动, 所以在自然条件下大乌港水道能长期维持一定的水深条件和其基本不变的形态特征。围涂、堵港等工程的实施通过改变流场、含沙量等可以引起该海域海床的冲淤变化, 从而不同程度得改变大乌港水道缓慢淤积的自然过程。与外海含沙量、外海潮波、径流量等宏观自然条件对大乌港水道冲淤趋势的影响相比, 工程效应可能更为明显。近期已经建成的工程效应前面已经讲述。近期, 根据浙江省滩涂总体规划, 至 2020 年在大乌港水道及其以北海域沿岸将规划数万亩, 这将导致包括大乌港水道在内的整个乐清湾的纳潮量的进一步减小, 从而造成加快淤积的趋势; 水道西南侧乐清湾北港区以及水道北部跨海大桥建成后, 将会使局部流场发生改变, 引起工程附近海域的冲淤调整^[10]。

表 2 大乌港水道各测站的垂线平均流速(m/s)和流向(°)
Tab. 2 Depth-averaged velocity(m/s) and direction(°) at the stations of the Dawugang Channel

站号	潮型	涨潮时段				落潮时段			
		最大流速	流向	平均流速	流向	最大流速	流向	平均流速	流向
L1	大潮	91	27	57	24	115	203	59	205
L2		80	37	52	29	106	216	64	219
L3		83	26	53	38	115	221	68	221
L4		126	32	73	34	138	214	81	206
L5		122	35	73	36	149	202	92	205
L6		92	19	61	17	94	204	61	203
L7		74	18	42	10	92	193	53	194
L1	小潮	38	28	21	26	33	211	20	209
L2		35	26	22	33	38	207	23	211
L3		41	36	39	39	37	209	24	210
L4		47	31	55	43	36	225	18	212
L5		37	31	42	41	60	194	25	206
L6		67	16	44	19	68	200	37	204
L7		51	13	36	11	75	185	37	193

表 3 大乌港水道各测站的单宽输沙率 $[t/(d \cdot m)]$ 及方向($^{\circ}$)Tab. 3 Sediment discharge of unit width $[t/(d \cdot m)]$ and direction ($^{\circ}$) on the stations of the Dawugang Channel

站号	潮型	涨 潮		落 潮		净输沙	
		输沙量	方向	输沙量	方向	输沙量	方向
L1	大潮	99	25	117	204	18	204
	小潮	8	21	8	206	1	263
L2	大潮	99	27	123	218	33	256
	小潮	8	29	10	209	2	210
L3	大潮	97	42	108	223	10	230
	小潮	10	39	12	208	3	174
L4	大潮	101	31	84	193	33	82
	小潮	22	29	14	210	8	26
L5	大潮	215	36	221	204	43	128
	小潮	19	31	20	206	2	146
L6	大潮	137	15	111	204	23	330
	小潮	99	17	58	200	29	12
L7	大潮	96	11	91	195	8	259
	小潮	67	11	60	192	1	7

在大乌港水道南北两端 (L6, L7 站), 周边岛屿和水道在涨落潮时起到分流和汇流的作用, 形成缓流区, 致使潮流流速较弱 (表 2), 水流挟沙力也相应减弱, 一般有利于细颗粒泥沙沉降, 因而淤积幅度较大; 而在水道中部平面形态顺直及潮流流畅区段细颗粒泥沙则相对不易沉降, 因而淤积幅度较小, 这与据实测资料计算的单宽净输沙总体上偏向水道两侧边坡是相一致的。在茅埏岛西侧和大乌岛北侧, 由于基岩岬角挑流作用, 深潭发育, 随着局部冲淤调整以及深潭的缓慢拓展, 造成该区域水下地形出现较大的起伏。此外, 单宽净输沙结算结果 (表 3) 表现为大潮期水道北端偏南向输沙, 南端偏北向输沙, 这种输沙特性很大程度上使泥沙发生汇集并引起海床的淤积; 小潮期则表现为南北两端同为偏北向输沙, 输沙量南端大于北端, 同样可以造成淤积。这与 2002 年—2005 年间冲淤特征基本吻合, 意味着大乌港水道总体仍趋于缓慢淤积方向发展。

4 结 论

通过大乌港水道数字化定量冲淤计算, 结合实测水文泥沙资料, 地貌特征以及人类活动的影响进行了冲淤分布变化及其动态趋势分析, 得到了以下认识:

(1) 大乌港水道环境隐蔽, 潮动力是海床冲淤调整的主要因素。该区域属于正规半日潮强潮海域, 潮流运动以往复流为主, 落潮流占优势, 含沙量相对较低, 泥沙运动主要以悬移质形式, 随涨落

潮流往复搬运, 净输沙量很小。

(2) 自然状态下, 受往复流的水动力条件有限的来沙数量, 以及基岩岛屿的制约, 大乌港水道长期以来保持缓慢淤积的相对稳定状态; 堵港、围垦等人类活动导致纳潮量的减小以及局部流场改变, 加速了大乌港水道淤积过程, 改变了局部冲淤状态。

(3) 近 70 年来, 在自然和人类活动的共同作用下, 大乌港水道总体上表现为缓慢淤积, 呈现出冲淤速率边坡大于底部, 南北两端缓流区大于中部区域的特性, 平均淤积幅度和淤积速率为 2.16 m 和 3.01 cm/a, 单宽输沙计算结算结果表明, 该水道总体仍趋于缓慢淤积的方向发展。

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: 110-157.
- [2] 张忍顺. 中国潮汐汉道研究进展 [J]. 地球科学进展, 1994, 9(4): 45-48.
- [3] 边淑华, 夏东兴, 吕京福. 中国基岩海湾潮流地貌模式及其沉积动力特征 [J]. 海洋科学进展, 2003, 21(3): 298-307.
- [4] 曹佩奎, 严肃庄, 董永发, 等. 浙闽淤泥质港湾的基本特征 [J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 1997, (2): 76-82.
- [5] 王永红, 沈焕庭, 李广雪, 等. 长江口南支涨潮槽新桥水道冲淤变化的定量计算 [J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 145-150.
- [6] 周鸿权, 李伯根. 象山港航道冲淤变化初步分析 [J]. 海洋通报, 2007, 26(4): 34-41.
- [7] 李伯根, 许卫忆, 陈耕心. 乐清湾悬沙的浓度分布与运移 [J]. 东海海洋, 1994, 10(1): 33-39.
- [8] 李志永, 倪勇强, 耿兆铨. 乐清湾泥沙运动数值研究 [J]. 泥沙

- 研究, 2004, 4: 77-81.
- [9] 季小梅, 张永战, 朱大奎. 乐清湾近期海岸演变研究 [J]. 2006, 25(1): 44-53.
- [10] 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州国海海洋工程勘测设计研究院. 甬台温高速公路复线工程可行性研究 [J]. 乐清湾桥隧位海域滩槽演变分析报告, 2006, 5: 2-38.
- [11] 乐清市水利水电局. 乐清市水利志 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1998: 8: 179-192.
- [12] 许卫忆, 陈耕心, 李伯根. 乐清湾动力沉积过程 [J]. 海洋与湖沼, 1992, 25(1): 20-29.
- [13] 陈耕心, 李伯根, 许卫忆. 乐清湾潮汐特征及对潮滩沉积作用的影响 [J]. 东海海洋, 1992, 10(1): 1-9.