

九龙江口-厦门湾海域表层沉积物粒度分布特征及其动力响应

左书华, 韩志远, 赵洪波, 杨 华

(交通运输部天津水运工程科学研究所 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 根据2008年9月采集的九龙江口-厦门湾大范围表层沉积物样品以及收集到的实测水文资料,分析研究九龙江口-厦门湾表层沉积物的粒度分布特征,同时在应用GSTA模型对沉积物进行运输趋势分析的基础上探讨该区域泥沙运移趋势。结果表明:九龙江口-厦门湾海域沉积类型较多,主要以黏土质粉砂为主,显示该区域以细颗粒物沉积为主的沉积特性,同时不同区域沉积物分布特征又略有差异,揭示了九龙江口-厦门湾各海区沉积物颗粒的粗细、水动力条件以及沉积环境的不同。应用GSTA模型对表层沉积物运移趋势分析结果显示,来自九龙江径流的物质一部分在九龙江口受到潮流作用沉积,一部分通过厦门湾口往外海输运,还有少量在涨潮流的作用下进入厦门西海域,该趋势与水动力条件密切相关。

关键词: 九龙江口; 厦门湾; 表层沉积物; 粒度特征; 动力响应

中图分类号: P736.21

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0074-06

沉积物粒度是描述沉积环境的重要参数之一,近岸海床或河口表层沉积物的基本特征在很大程度上反映了局部区域动力作用以及地貌反馈的相互耦合机制。沉积物在沉积后不断受到水动力、生物等作用,其物理、化学性质会发生一定程度的变化,而这些变化必然会在粒度参数上有所体现,因此可以根据沉积物的粒度参数及组合特征,分析沉积物的沉积动力、沉积物来源和沉积物搬运趋势等重要的环境信息^[1-2]。

许多学者已分别就河口海岸地区表层沉积物的粒度特征、沉积物输移以及沉积环境演化等进行了较多的研究^[2-3],而针对厦门海域的沉积物的研究至今却不多见。本文选择九龙江口-厦门湾大范围海域为研究区,力争通过大范围底质粒度特征和沉积动力学理论,探讨它们之间的联系。

1 区域概况

九龙江口和厦门湾地区位于福建省南部沿海,属于亚热带气候,常年温暖湿润。厦门湾海岸地貌较为复杂,近湾陆地属闽粤沿海花岗岩丘陵区,风化强烈。湾内岸线曲折,岬湾相间,岛屿众多,受地质构造控制,形成沉溺的潮汐汊道型海湾^[4]。

本区域全年常风向为NE向,频率15%;波浪以风浪为主,常浪向为E-SE。厦门湾的潮汐为正规半日潮,最大潮差6.00 m,最小潮差0.99 m,平均潮差3.00 m^[4-5]。

九龙江口及厦门湾地区是河流径流和海洋潮流相互作用的地区,主要承接了九龙江两大支流(北溪、西溪)的来水和泥沙,同时随着潮汐运动吞吐着台湾海峡的潮流。由于受其独特的海岸以及水下地形地貌和沿海诸岛(厦门岛、大小金门岛等)的影响,水水泥沙情况比较复杂,特别是在不同的径流和潮流情况下,具有不同的特征。九龙江是流入本区的最大河流,流域总面积为14 740 km²,年平均径流量为121.1亿 m³,年平

收稿日期: 2011-07-15

基金项目: 交通运输部科技项目(2007-353-X02-160)

作者简介: 左书华(1979-),男,河北邱县人,助理研究员,博士,主要从事河口海岸动力地貌方面研究。

E-mail: zsh0301@163.com

均输沙量为 239.2 万 t,最大年可达 647 万 t(1991—2009)^[5].

2 资料来源与研究方法

2008 年 9 月在九龙江口和厦门湾海域采集了约 230 个海床表层沉积物样(图 1),布点范围覆盖了九龙江河口区、厦门西海域、东海域、同安湾以及厦门湾口海域.采样器为蚌式抓斗采样器,采样深度为 5~10 cm,每次采样前后均严格按照《海洋调查规范》的规定清洗采样器,以防样品污染,样品采集后充分搅拌混合,经现场描述后装袋标识,运回实验室以备分析.所采样品经由实验室处理之后,采用河海大学研制的 NSY-2 型宽域粒度分析仪进行粒度分析,然后根据国家海洋调查技术规范^[6]计算出平均粒径、分选系数、偏度等粒度参数,并划分粒级标准和进行沉积物命名.

对整个研究区域做了不同区域的划分,Ⅰ为九龙江河口汉道区;Ⅱ为九龙江河口区;Ⅲ为厦门西海域;Ⅳ为河口湾区;Ⅴ为厦门东海域;Ⅵ为同安湾水域.

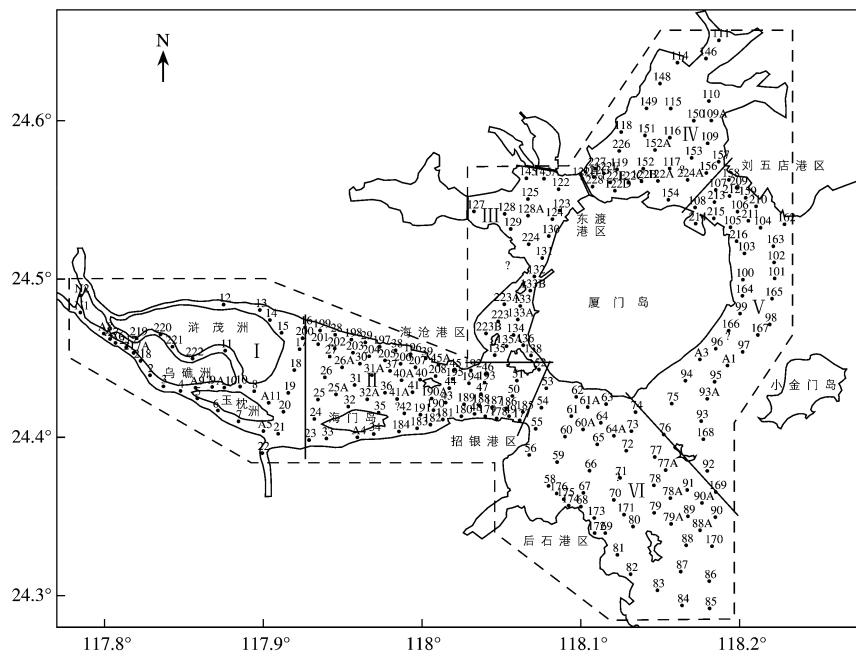


图 1 九龙江口-厦门海域区域分布及沉积物取样点

Fig. 1 Area distribution and sediment sampling points of the Jiulongjiang estuary and Xiamen bay

3 沉积物粒度特征

3.1 沉积类型分布特征

研究区域内沉积类型比较复杂,物质由粗至细共包括 8 种物质成份,即砾石(G)、砾石-粗砂(G-CS)、粗中砂(C-MS)、粗砂(CS)、中砂(MS)、粉砂(T)、砂-粉砂-黏土(STY)和黏土质粉砂(YT).其中所占比例最多的是黏土质粉砂(占 65.22%),其次是粗中砂(占 15.42%);黏土质粉砂中细颗粒物所占比例最大,达 60% 以上,显示出该区域以细颗粒物沉积为主的沉积特性.

从沉积物沉积类型分区图(图 2(a))中可见,九龙江河口汉道区底质沉积物主要以相对较粗的粗中砂(C-MS)为主,游茂洲东侧的大埕坪浅滩主要以黏土质粉砂(YT)为主;九龙江河口湾水域,主要以粗中砂(C-MS)和黏土质粉砂(YT)为主,粗中砂围绕着海门岛分布,其主要是受到岛屿影响,黏土质粉砂则主要分布在海沧港区和招银港区范围内;厦门西海域(东渡港区)主要以黏土质粉砂为主;同安湾海域也主要以黏土质粉砂为主;刘五店港区—澳头附近水域以黏土质粉砂为主,其中少量的粗中砂分布区;厦门岛东侧海域则主要以粗颗粒为主,即以砾石-粗砂(G-CS)为主,其中有夹杂着砾石-粗中砂(G-CMS)、粗中砂、中砂

(MS)等较粗颗粒的分布;厦门湾口外海域主要以黏土质粉砂为主,在岛屿附近受到岛屿影响有一些粗颗粒分布,如粗中砂、粗砂、砾石-粗砂等。

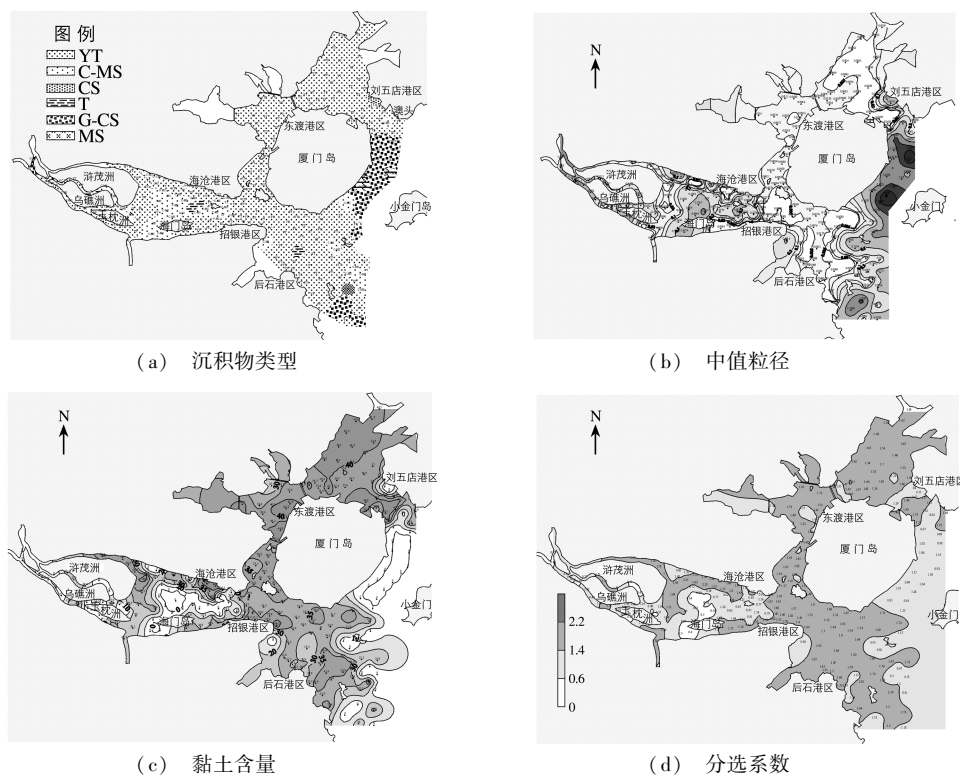


图2 厦门海域沉积物特征分布

Fig. 2 Characteristic distribution of surface sediment in Xiamen sea area

3.2 沉积物粒度参数特征

3.2.1 中值粒径 研究区表层沉积物的粒径分布与沉积物类型有着较好的对应关系,从沉积物中值粒径分布(图2(b))可见:九龙江河口汉道区底质中值粒径较粗,其中在北溪和西溪交汇处颗粒最粗,约为1.500 mm;北港、中港和南港这3个汉道中,由于北港不是主要的水沙下泄通道,底质最细,在0.006 mm左右,南港最粗,大部分在0.500~0.800 mm之间。在河口湾水域,可以分为4部分,一是海沧港区水域,二是招银港区水域,三是海门岛附近水域,四是鸡屿岛附近。海沧港区底质除了个别点外,中值粒径一般在0.005~0.010 mm之间;招银港区水域底质中值粒径也很细,一般在0.006~0.008 mm之间;海门岛南北水域底质中值粒径则相对较粗,在0.100~0.500 mm之间,海门岛北侧较粗颗粒向东扩展至鸡屿岛附近,鸡屿岛附近底质中值粒径也在0.100~0.500 mm之间。厦门西海域内,由于没有直接泥沙来源,主要通过嵩鼓和厦鼓水道与外海进行水沙交换,底质沉积物中主要以水体中的悬沙落淤为主,沉积物中值粒径较细,相差幅度小,一般在0.005~0.010 mm之间。同安湾内沉积物中值粒径也比较细,一般在0.006 mm左右。厦门东海域,自刘五店港区至大担岛附近,底质中值粒径都比较粗,一般超过0.100 mm,特别是小金门岛与厦门岛之间的水道,其中值粒径在1.000 mm左右。厦门湾口外海域,除了个别受到岛礁影响底质颗粒较粗外,一般都在0.005~0.020 mm之间;主航道CDE段水域底质沉积物中值粒径一般在0.005~0.010 mm之间。

3.2.2 黏土含量 底质沉积物的黏土含量,对泥沙的起动、沉降及对近岸工程区淤积物的可挖性,有着重要影响。经分析,除了九龙江河口汉道区和厦门岛以东海域沉积物黏土含量小于20%以外,其他海域黏土含量均超过20%,其中厦门西海域和同安湾海域黏土含量约为40%,主要因该海域隐蔽条件较其他区域明显要好,且没有直接的泥沙来源,沉积物以涨落潮进出该水域的悬沙为主,因此沉积泥沙的黏土含量明显偏高,泥沙粒径偏细。

厦门海域沉积物黏土含量分布见图2(c).由图可见:在九龙江河口湾水域,海门岛南北侧延伸至鸡屿岛水域黏土含沙量都很小,基本为零;海沧港区和招银港区除个别点外,黏土含量都在30%左右;东渡港区(厦门西海域)海域黏土含量较高,在30%~40%之间;刘五店港区除了个别点受到工程影响,颗粒较粗,黏土含量少以外,该水域黏土含量也在30%左右.但是刘五店港区航道(厦门岛与小金门岛之间)水域黏土含量基本为零;厦门湾口外水域,为厦门港主航道所在水域,黏土含量也在30%左右.

3.2.3 分选程度 厦门海域底质沉积物分选系数在0.29~2.18之间(图2(d)),6个分区平均分选系数介于1.10~1.55.分选系数的分布特征,一般与中值粒径分布有很好的对应关系,中值粒径粗的区域分选系数较好,中值粒径细的区域分选系数较差.粒径较细的沉积物分选系数大多都在1.0~2.5,粒径较粗的沉积物分选系数大多在0~1.0,两者相比差别明显.

4 讨论

4.1 沉积物特征的沉积动力学反映

九龙江口、厦门湾海域沉积物粒度参数在各个分区存在着不同的特征,这主要是由于沉积物来源及水动力过程的差异所造成.

I区为河口汉道区,主要是受上游径流的影响.上游径流携带的泥沙随着水面逐渐的拓宽而沉降下来,而细颗粒泥沙在水流作用下又继续向下游输移,因此在该区内沉积物主要以相对较粗的粗砂、粗中砂为主. II区为河口区,沉积物类型粗细均有分布,主要以粗中砂和黏土质粉砂.这是因为该区域既受到上游来沙的影响,又受到外海涨潮流输沙和盐淡水混合的影响,其间又有岛屿分布,局部水动力变化较强.不过港区内(海沧港区、招银港区)主要以细颗粒物为主. III区为厦门西海域,该海域隐蔽条件较其他区域好,不会明显受到风浪作用的影响,潮流动力较弱,大潮平均流速在0.3~0.4 m/s,且没有直接的泥沙来源,因此该海域沉积物主要由悬沙落淤而成,泥沙来源为滩面泥沙在潮流作用下的反复搬运. IV区为河口湾区,该区域受到九龙江径流和潮流的双重影响,主要以潮流作用为主,使得其沉积物类型相对单一,主要以黏土质粉砂为主,局部有粗颗粒,主要是受到岛屿效应影响;另外沉积物频率曲线及其峰形近于常态,也显示该区沉积环境相对稳定. V为厦门东海域,沉积物粒径较粗,除了与地质条件有关外,该海域水动力比较强,大潮平均流速在1.0 m/s,外加风浪的影响,导致该区域沉积物颗粒较粗. VI为同安湾水域,沉积物颗粒较细,沉积物类型为黏土质粉砂,表明其所处海域水动力条件相对较弱,沉积环境稳定,这与同安湾所处位置靠近河口区(浯江口),且之间被高集海堤阻断,水流交换不畅有关.

4.2 影响沉积环境的水动力因素

水动力对沉积物起着改造、搬运及再分配的作用.

4.2.1 径流 九龙江为福建省第二大河,是汇入厦门湾的主要河流.九龙江由西溪、北溪和南溪组成,受地质构造影响,九龙江口是一个山溪性沉溺河谷,河口三角洲为湾内三角洲,发育着水下浅滩、脊槽地貌.

根据北溪浦南站和西溪郑店站(1991—2009年)水文资料^[5],浦南站年平均入海径流量 $8.19 \times 10^9 \text{ m}^3$,多年平均流量 $259.8 \text{ m}^3/\text{s}$;西溪郑店站年平均入海径流量 $3.92 \times 10^9 \text{ m}^3$,多年平均流量 $124.2 \text{ m}^3/\text{s}$;两站合计年径流量 $1.211 \times 10^{10} \text{ m}^3$,年平均流量 $384 \text{ m}^3/\text{s}$.南溪则为一小支流,其水系流程较短,水量小(无水文站资料统计).

九龙江为山区性河流,径流量受降水影响,洪水主要由暴雨、台风降雨造成,具有明显的季节性特点,洪枯流量变幅很大.年内4—9月为洪季,10月至翌年3月为枯水期.5—9月连续5个月的径流量,约占全年径流量的69%.九龙江来沙量和来水过程基本一致,泥沙主要在洪季下泄,枯季基本为清水河,全年输沙量几乎决定于几次洪峰.因此径流所携带的泥沙成为九龙江口、厦门湾海域主要的泥沙来源.

4.2.2 潮流 潮流是塑造厦门湾现代地貌发育过程的主要动力.厦门湾的潮汐以正规半日潮为主,其潮流亦为正规半日流.厦门港区的潮汐为外海传来的协振潮(主要来源于太平洋潮波)进入港湾的潮波,因地

形影响及海岸的反射作用而成为驻力潮波,从而具有潮差大、潮流强的特点^[7].不同区域的潮流强度和分布特征对沉积物的分布也起到了重要作用.例如,根据《泥沙手册》起动流速相关公式^[8],石码港区(乌礁洲南侧)附近泥沙的起动流速一般在0.9 m/s左右,而该水域水流流速一般在0.6 m/s左右,不足以起动底质沉积物中的粗颗粒成分,导致该区域底质沉积物粗颗粒较多,而细颗粒泥沙成分可以在该流速下起动随着水流向外海输移.

厦门湾海域表层余流方向指向口外,底层余流流向多数指向河口内.余流上层的流向有利于排放各种悬浮物质,下层流向不利于底层泥沙向外输移,这一底层余流对九龙江的来沙将起顶托作用而导致这一海域泥沙淤积的加大,对沉积物分布起到一定影响.

4.2.3 波浪 除潮流外,近岸波浪也是引起岸滩变化的主控因子之一,厦门地区属亚热带海洋性季风气候,冬半年偏北风居多,夏半年偏南风为主,波浪主要以风浪为主,出现频率为88%,平均波高在1.0 m左右.对厦门湾沉积作用影响较大的波浪是冬季偏北向、夏季偏南向的风浪.同安湾一般冬半年(10月至翌年3月)以东北向风浪为主,湾口区略受东南向涌浪影响,平均波高在1.4 m以下;夏半年(4—9月)多为南和西南风浪和涌浪,平均波高在1.5 m以下,其中冬半年厦门岛北侧沿岸和湾口南侧沿岸的波浪作用比其他岸段强,夏半年呈相反趋势.特别是台风来临时,风浪作用强烈,岸滩泥沙容易被扬起带走,近岸相对开敞水域海床的泥沙将被大量悬扬,水体变得异常浑浊.

4.3 表层沉积物运移趋势

S. Gao 等在一维粒径趋势分析模型^[9]基础上提出了二维粒径趋势分析模型(GSTA模型)^[10].将九龙江口-厦门湾海域沉积物的粒度参数带入GSTA模型后即可得到该区域各采样点表层沉积物的输移矢量及方向,剔除边界矢量后将其绘制成粒径运移趋势图(图3).图中矢量箭头表示沉积物净搬运方向,矢量长度仅表示粒径趋势的显著性,并不代表搬运速率的大小.

由图3可见,来自九龙江径流的物质一部分在九龙江口受到潮流作用沉积,一部分往厦门湾外输运,还有少量在涨潮流的作用下往厦门西海域输运、沉积在西海域南部.同安湾沉积物自湾顶向湾内、再从湾内输向湾口,并向高集海堤方向运移,与海堤洞口东余流沙汇聚,使海堤东侧浅滩不断淤涨,反映了该区以潮流作用为主、波浪和径流作用为辅的泥沙运移所产生的淤积环境.厦门东部海域沉积物输运方向为向北输运趋势,该运移趋势与厦门东海域涨潮流大于落潮的性质有一定的关系.表层沉积物的运移趋势也从侧面反映了研究区域涨落潮流特点与泥沙沉积物来源.

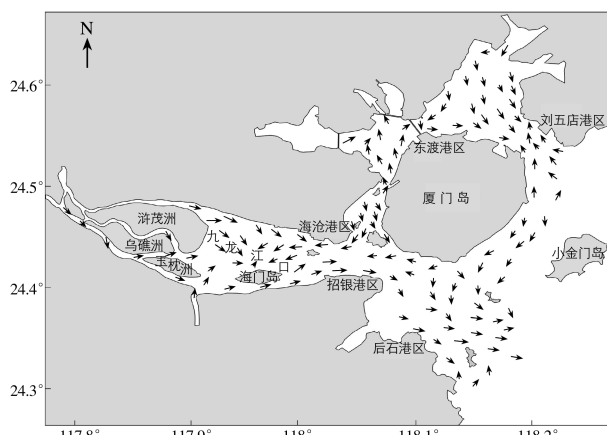


图3 九龙江口-厦门湾海域表层沉积物运移趋势

Fig. 3 Surface sediment migration trend in the Xiamen sea area

5 结 语

(1) 研究区域内沉积类型比较复杂,主要以细颗粒物沉积为主,黏土质粉砂占到65.22%.

(2) 各个分区的海域沉积物粒度参数不同,这主要是由沉积物来源及水动力过程的差异所造成,其中水动力对沉积物起着改造、搬运及再分配的作用.

(3) 应用粒径趋势分析表明,来自九龙江径流的物质一部分在九龙江口受到潮流作用沉积,一部分往厦门湾外输运,还有少量在涨潮流的作用下往厦门西海域输运、沉积在西海域南部;同安湾沉积物自湾顶向湾内、再从湾内输向湾口,并向高集海堤方向运移,与海堤洞口东余流沙汇聚,使海堤东侧浅滩呈现不断淤涨趋势;厦门东部海域沉积物输运方向主要向北输运.

参 考 文 献:

- [1] 程鹏,高抒. 北黄海西部海底沉积物粒度特征和净输送趋势[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 604-615. (CHENG Peng, GAO Shu. Net sediment transport patterns over the northwestern yellow sea, based upon grain size trend analysis [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31(6): 604-615. (in Chinese))
- [2] 左书华,时连强. 南汇嘴潮滩沉积物粒度特征研究[J]. 水道港口, 2008(2): 88-93. (ZUO Shu-hua, SHI Lian-qiang. Hydrodynamic explanation and characteristic of sediment granularity of Nanhuizui foreland in Changjiang Estuary[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2008(2): 88-93. (in Chinese))
- [3] 李九发,李为华,应铭,等. 黄河三角洲飞雁滩沉积物颗粒度分布和粒度参数特征及水动力解释[J]. 海洋通报, 2006(3): 38-44. (LI Jiu-fa, LI Wei-hua, YING Ming, et al. Characteristic and hydrodynamic explanation of distribution and parameters of sediment granularity in Feiyan shoal of Yellow River Delta[J]. Marine Science Bulletin, 2006(3): 38-44. (in Chinese))
- [4] 刘维坤,唐宗福,刘强池. 厦门港湾海底地貌及其冲淤变化[J]. 台湾海峡, 1984, 3(2): 179-188. (LIU Wei-kun, TANG Zong-fu, LIU Qiang-chi. Submarine geomorphology of the Xiamen harbor and its scouring-silting change[J]. Taiwan Strait, 1984, 3(2): 179-188. (in Chinese))
- [5] 左书华,吴以喜,杨华. 《厦门港深水航道建设与维护关键技术研究》专题二之九龙江口、厦门湾海域动力地貌及泥沙环境分析[R]. 天津:交通运输部天津水运工程科学研究院, 2010. (ZUO Shu-hua, WU Yi-xi, YANG Hua. Dynamic geomorphic process and sediment environment analysis in the sea area of Jiulongjiang estuary and Xiamen bay [R]. Tianjin: Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, MOT, China, 2010. (in Chinese))
- [6] GB/T 13909—1992, 海洋调查规范—海洋地质地球物理调查[S]. (GB/T 13909—1992, Ocean survey standard: Marine geology geophysical survey[S]. (in Chinese))
- [7] 曾刚. 厦门湾海流分布特征[J]. 台湾海峡, 1987, 6(1): 1-5. (ZHEN Gang. Characteristics of the distribution of the currents in the Xiamen harbor[J]. Taiwan Strait, 1987, 6(1): 1-5. (in Chinese))
- [8] 中国水利学会泥沙专业委员会. 泥沙手册[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1992. (Sediment Professional Committee of Chinese Hydraulic Engineering Society. Sediment manual[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992. (in Chinese))
- [9] MCLAREN P, BOWLES D. The effects of sediment transport on grain-size distributions[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1985, 55: 457-470.
- [10] GAO S, COLLINS M. Net sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of “transport vectors”[J]. Sedimentary Geology, 1992, 81(1/2): 47-60.

Grain size characteristics of surface sediments and dynamic response in sea area of Jiulongjiang estuary and Xiamen bay

ZUO Shu-hua, HAN Zhi-yuan, ZHAO Hong-bo, YANG Hua

(Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Transport, Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, MOT, Tianjin 300456, China)

Abstract: Grain size parameter is the most important information of sediment which can point out the characteristics of distribution and transportation. Based on analysis data of 230 samples which were collected from the sea area of Jiulongjiang estuary and Xiamen bay in Sep. 2008, a study on the grain size properties distribution of seabed surface sediment in the study sea area is conducted. At the same time, through the GSTA(Grain Size Transport Analysis) model, a conveying trend analysis of sediment in this basin has been studied, on the basis of which a research of sand movement trend is primarily discussed. The results indicate that: (1) seven types of sediments have been identified, the main sediment type of which is clayey silt, with a percentage of 65.22%. It shows the domination of fine sediment in the area; (2) in the different subareas the characteristics of grain size parameters are obviously different due to different hydrodynamic conditions; and (3) sand movement trend is closely related with hydrodynamic conditions.

Key words: Jiulongjiang estuary; Xiamen bay; surface sediments; grain size characteristics; dynamic response