

三亚红塘湾海域海床表层沉积物及泥沙运动特征

左书华, 谢华亮, 崔 成, 李怀远, 吕 彪, 解鸣晓

(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:根据红塘湾海域不同时期海床表层沉积物资料, 分析研究该海域表层沉积物分布与泥沙运动特征。结果显示: 该海域近岸海床表层泥沙颗粒较粗, 主要以中粗砂和粗中砂为主; 5~10 m 等深线之间, 底质以中砂和中细砂为主; 10~12 m 等深线附近以细砂为主, 12 m 等深线以外底质主要为粉砂和黏土类; 底质泥沙颗粒从岸向海逐渐变细。在波浪共同作用下, 当地泥沙较易起动, 波浪对泥沙运动起到关键性作用; 该岸段沿岸输沙量级不大, 而且保持相对稳定状态, 其输沙性质与弧形海岸的动力环境和地形特征相一致。目前各段海岸泥沙运动近似于动态平衡, 没有大规模的冲刷和堆积现象。

关键词: 三亚红塘湾; 表层沉积物; 泥沙运动; 运移趋势; 沿岸输沙

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2018.08003

港湾海岸是浅海区域重要的沉积环境之一, 其海床表层沉积物粒度特征是描述沉积环境的重要参数之一, 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, 在对港口航道、人工岛开发、海水养殖等方面研究具有重要意义^[1-3]。海南岛海岸类型多样, 港湾海岸发育, 对研究港湾海岸动力泥沙与沉积环境提供了丰富的资源。

红塘湾位于海南岛南岸的三亚市西侧马岭至南山岭之间(图 1), 随着当地旅游经济的迅猛发展, 重大用海建设项目相继规划实施, 如三亚新机场人工岛工程的建设等, 对红塘湾海域动力泥沙与沉积环境的研究显得尤为重要。从目前有关文献来看, 对红塘湾海域动力、沉积、海床演变等方面的研究并不多见, 仅有中国海湾志(第十一分册, 海南省海湾)中有红塘湾的相关论述^[4], 赵永

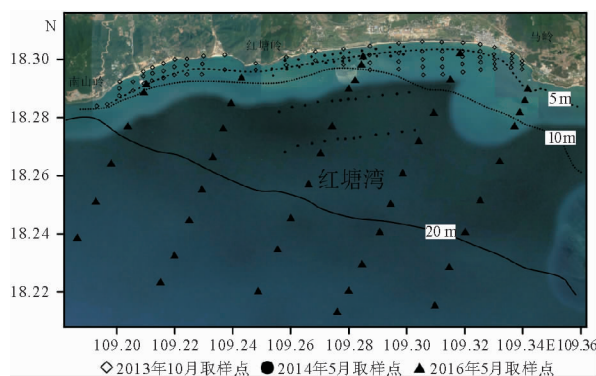


图 1 红塘湾位置与底质点位图

Fig. 1 The location of Hongtang Bay and sediment sampling points

印等^[5]根据不同年份的水深地形及遥感卫片资料, 对红塘湾海域岸线变化及海床滩冲淤进行了分析, 王艳红^[6]在分析了红塘湾海域水动力泥沙环境的基础上, 采用 Litline 软件计算了三亚新机场人工岛工程实施后岸线的冲淤响应。而针对红塘湾海域海床表层沉积物及泥沙运动特征的研究至今未见报道。本文基于不同时期不同范围的红塘湾海域海床表层沉积物资料和泥沙运动特征计

收稿日期: 2018-03-20

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(TKS170202); 国家自然科学基金(51509120; 5177912)

作者简介: 左书华(1979—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事河口海岸动力沉积与动力地貌及数值模拟方面的研究工作。
E-mail: zsh0301@163.com

算分析,力争通过海床底质特征和沉积动力学理论,探讨它们之间的联系,为相关研究提供依据和参考。

1 区域概况

红塘湾位于三亚市西部,海湾东西两侧分别为天涯海角和南山角两个基岩岬角,海湾中部为塔岭基岩岸线,沙滩岸线主要分布在塔岭和南山角之间的南山观音风景区附近和塔岭与天涯海角之间的区域,整个海岸在地貌上表现为海蚀岬角与海湾沙坝—潟湖体系相间分布的综合体系。

该海域主要受南海前进潮波控制,表现为不规则日潮混合潮性质,以日潮为主。根据红塘湾海域短期潮位资料显示,该海域平均潮差 0.77 m,最大潮差 1.37 m,平均高潮位 1.32 m(理论基面)。根据 2016 年 4 月红塘湾海域实测潮流资料显示,以规则全日潮流为主,潮流运动形式以往复流特征为主,涨、落潮流以 NW—SE 向为主,潮流动力较弱,涨落潮平均流速在 0.2 m/s 左右,涨潮略大于落潮,实测垂线最大涨落潮流速一般不超过 0.8 m/s;在一年四季中,夏季流速最大,其次为秋冬季,春季流速最小;在同一断面上,离岸远的测点流速比离岸近的测点流速大,呈现由近岸向外海逐渐增大趋势。

红塘湾海域由于受季风影响,冬季盛行东北风,夏季盛行西南风,因而波浪来向也随之变化。根据红塘湾附近测站 2016 年 5 月至 2017 年 4 月一年波浪资料统计结果显示:观测期间,年平均有效波高为 0.42 m,平均周期 5.21 s,最大波高为 1.83 m,对应的周期 13 s;全年波浪常浪向为 SSE 向,其频率为 43.61%,次常浪向是 S 向,频率为 29.49%;大浪主要出现在 SSE 向,其次是 SW 向。

红塘湾海域含沙量低,垂线平均含沙量一般在 0.004~0.020 kg/m³ 之间;近岸含沙量稍高,向外海逐渐递减的趋势;在不同季节上,夏秋季含沙量一般较冬春季略高,显示季节性的波浪动力条件对岸滩的作用。

2 资料来源与研究方法

(1)海床表层沉积物采集与分析:2013 年 10

月、2014 年 2 月与 2016 年 5 月分别在红塘湾海域近岸和大范围进行了海床表层沉积物采样(图 1)。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》^[7] 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规范计算出平均粒径(M_z)、分选系数(σ)、偏度(Sk)等粒度参数,并划分粒级标准和进行沉积物命名。

(2)泥沙运动特征分析:主要采用国内外比较经典的经验公式、规范公式对泥沙在水流、波浪作用下的泥沙起动、泥沙输移等进行计算;采用 Gao-Collins 模型^[8]对底质输运趋势进行分析。

3 海床表层沉积物特征

3.1 大范围表层沉积物特征

根据 2016 年 5 月红塘湾海域大范围底质资料分析(图 2),结果显示:该海域底质中值粒径在 0.01~0.50 mm 之间变化;底质类型显示主要有砂砾(SG)、砾砂(G-ST)、细砂(FS)、粉砂质砂(TS)、砂质粉砂(ST)以及黏土质粉砂(YT)等,其中近岸区主要以细砂或砂质粉砂,20 m 等深线附近分布有大量黏土质粉砂(图 3a)。分选系数在 1.8~3.0 之间变化,属于分选程度中常和分选程度差。从各组分含量来看,取样范围内中间区域粉砂含量最高,在 50%~70%,天涯海角景区砂的含量最高,在 75%左右(图 3d)。

3.2 近岸区域底质资料

红塘湾海域近岸底质泥沙粒径相对较粗(图 3a),以粒径>0.5 mm 的粗砂为主。其中在红塘岭至马岭岸段,除靠近东岬角(天涯海角)附近外,5 m 以浅区域粒径也相对较粗,且分布很不均匀,中值粒径大多>0.3 mm,局部>1.3 mm,砂颗粒平均含量达到 90%以上(图 3b);但在 5 m 以深区域,粒径逐渐变细,普遍分布细砂或粉砂质砂,中值粒径一般都<0.1 mm,粉砂颗粒含量在 20%~35%。

起动当地泥沙的条件;潮流对岸滩的冲淤作用有限。

加上波浪作用则有所不同。根据海南其他海域类似在 0.6 mm 左右泥沙样品的泥沙波流作用下的起动实验结果:在 5 m 水深左右,4 s 周期波

高 0.5 m 情况下,泥沙起动流速在 0.41 m/s 左右;在波高 1.0 m 情况下,泥沙起动流速在 0.35 m/s 左右。

因此,只有在波流共同作用下,当地泥沙才具备起动的条件,其中波浪起了关键性作用。

表 1 近岸水流作用下泥沙起动流速计算结果

Table 1 Critical starting velocity under the action of the current

水深/m	中值粒径/ mm	实验起动 流速/(m/s)	计算起动流速/(m/s)		实测大潮 最大流速/(m/s)
			窦国仁公式	张瑞瑾公式	
5	0.60	0.42~0.50	0.43	0.48	0.37~0.44

4.2 波浪作用下泥沙起动的临界水深

在波浪作用下,泥沙产生不同程度的运动,可将泥沙起动的临界水深分为表层移动水深和完全移动水深。泥沙表层活动临界水深系指泥沙在波浪作用下,仅表面一个颗粒厚的泥沙处于临界活动状态。对海底工程具有影响的是泥沙完全移动水深,即泥沙显著活动的临界水深,它反映在波浪作用下有数个颗粒厚的泥沙临界活动水深愈浅,泥沙活动愈剧烈。

在此,采用佐藤昭二等人^[11]通过现场试验得出的经验公式,这个经验公式在工程界得到良好应用。实际有着很好的一致性。计算泥沙的表层

活动和显著活动的临界水深公式如下:

$$\frac{H_0}{L_0} = 1.35 \left(\frac{d_{50}}{L_0} \right)^{\frac{1}{3}} \sinh \left(\frac{2\pi D_{C1}}{L} \right) \frac{H_0}{H}$$
 (泥沙表层活动的临界水深公式)

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.40 \left(\frac{d_{50}}{L_0} \right)^{\frac{1}{3}} \sinh \left(\frac{2\pi D_{C2}}{L} \right) \frac{H_0}{H}$$
 (泥沙显著活动的临界水深公式)

式中: H_0 为深水波高;
 L_0 为深水波长;
 D_{C1} 为泥沙表层活动临界水深;
 D_{C2} 为泥沙显著活动临界水深;
 L 为波浪在水深 D_{C1} 和 D_{C2} 的相应波长;
 H 为波浪在水深 D_{C1} 和 D_{C2} 的相应波高;
 d_{50} 为泥沙的中值粒径。计算结果如表 2。

表 2 不同波况作用下不同粒径泥沙的临界起动水深

Table 2 The critical water depth of sediment under different wave function

特征波况	起动状态	0.125 mm	0.25 mm	0.5 mm	1.0 mm	2.0 mm
H=0.9 m	表层起动	3.0	2.3	1.7	1.1	0.8
T=4.6 s	完全起动	1.5	0.8	0.6	0.4	0.2
H=2.8 m	表层起动	10.7	9	7.4	5.8	4.4
T=6.4 s	完全起动	5.7	4.4	3.3	2.4	1.6
H=5.2 m	表层起动	21.6	18.7	15.8	13.0	10.3
T=8.4 s	完全起动	12.4	10.0	7.8	5.9	4.2

根据该海域泥沙粒度分布,在平均波高 0.9 m 条件下,可以使水深 1.5 m 以浅水域海床泥沙完全起动,可以使水深 3 m 以浅水域海床泥沙表层起动;在 3 m 左右的大浪情况下,可以使水深 6 m 以浅水域海床泥沙完全起动,可以使水深 10 m 以浅水域海床泥沙表层起动;在 5 m 以上台风浪作用下,海床泥沙完全起动水深可达到 12 m。由此可以看出,大浪对海域泥沙运动较为强烈,同时大浪所形成的沿岸流、沿岸增水及近底回流等更加剧了泥沙运动的复杂性。

4.3 波浪作用下的沿岸输沙

根据红塘岭至马岭岸段,担油港河口口门沙嘴形态来看,该岸段存在东西双向输沙,河流处潟湖后没有产生明显的方向性沙嘴,说明该岸段东西沿岸输沙量级不大,而且保持相对稳定状态。

沿岸输沙率的计算目前有很多方法,由于波能流法把沿岸输沙率与作用在海岸上的波功率联系起来,有较多的实验室资料和现场资料作为依据,因而比较可信,为较多的人所接受,应用较为

普遍些。在此采用我国《港口与航道水文规范》^[12]中推荐的公式,对工程所在的南山岭至红塘岭岸段和红塘岭至马岭(天涯海角)岸段的断面进行了沿岸输沙计算。

依据红塘湾附近一年的实测各向各级波浪频率资料,参考莺歌海波浪资料,选取对工程岸段影响较为显著或明显的 6 个主要波向(ESE、SE、SSE、S、SSW、SW),计算了该波浪作用下的沿岸输沙量。不同岸段上受到不同入射波作用下,输沙方向也有所不同,在 SW 向波浪作用下,沿岸输沙主要向东运移;而在 SE 向波浪作用下,泥沙主要向西运移,总体而言各岸段输沙量级较小。该岸段沿岸总输沙率在 $3.31 \sim 5.88$ 万 m^3/a ,净输沙率在 $0.1 \sim 1.54$ 万 m^3/a 之间。

根据波能流沿岸分量继而得到的沿岸输沙量,实际上反映的是在波浪作用下不同岸段的输沙能力,不同于沿岸泥沙流的实际搬运量值。实际输沙量还须取决于局地的供沙能力和供沙量。

工程区岸段属于华南弧形海岸体系,其岸滩形态和动力地貌特征主要取决于波浪的持续作用^[11],而由外海传入红塘湾工程海域的持续波浪多分布在 SE—SW 方向,且以偏 SE 向浪占优势,是工程区海岸沿岸输沙、横向输沙的主要控制波浪。

红塘湾海域砂质岸滩介于马岭、红塘岭和南山岭基岩岬角之间,其间有多有海蚀岩滩分布,基岩岬角侵蚀向湾内岸滩的供沙量甚少,海蚀岩滩对波浪又有一定的抵御作用,而且又缺乏陆域来沙。从历史过程和长时间尺度来看,该海域海岸处于侵蚀型动态平衡状态,存在一定沿岸泥沙运动,但量值不大。

4.4 以底质变化分析泥沙输运趋势

沉积物粒径的空间分布是由各种动力、沉积过程综合作用的结果,其反映了这些过程的长周期的累积效应。通过对沉积物粒径空间分布的结构特征分析(如空间相关性、方向性等)进行研究,有助于对产生该结构的各种原因进行深入探讨,从而提高对泥沙运动的各种过程的认识。

根据 2013 年 10 月和 2014 年 2 月数据,运用 Gao-Collins 模型^[8]对红塘湾底质泥沙颗粒粒度参数进行计算得出的底质输运趋势图(图 4),可以从整体上看底质泥沙平均输运趋势,箭头的

起点是泥沙运移的起点,箭头指向为输运方向,长短表示其输运强弱程度。从图上可以看出以下基本特点和规律:

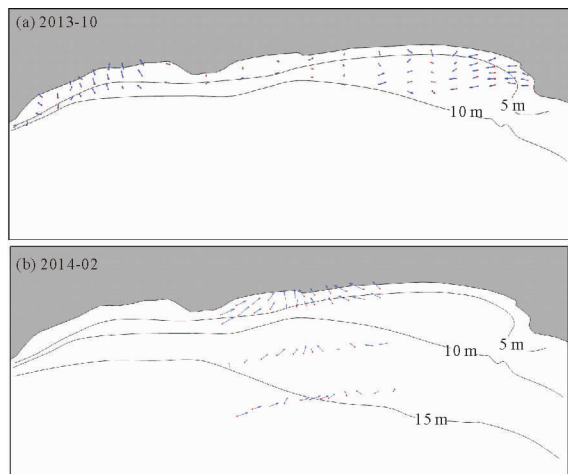


图 4 红塘湾海域底质泥沙输运趋势

Fig. 4 Surface sediment movement trend in Hongtang Bay sea area

(1)红塘湾海域以海域来沙或岸滩泥沙搬运为主,波浪为主要控制动力。

(2)马岭天涯海角岬湾处受到波浪折射作用泥沙输运趋势较强,由岬湾向西平直岸段输运趋势有所减弱,逐渐转变为垂直于岸线的横向输运趋势。

(3)南山角至红塘岭(塔岭)岸段则以垂岸横向输运趋势为主;平直岸段以垂岸横向输运趋势为主,与波控海岸的动力环境和地形特征相一致。

(4)在横向输沙表现上,在近岸表现出较强的输沙能力,反映了波浪变化对近岸岸滩的冲淤作用。外海深水区表现出了与潮流运动相一致的输沙趋势。

5 结论

红塘湾岸段(马岭—南山岭)均为开敞型海湾,该海域水动力条件为弱潮、强波能的海域。在强浪的沉积环境下,沉积物类型基本呈带状分布。2 m 等深线以浅水域波浪破碎频繁,波浪对底床沙扰动作用最为强烈,海底泥沙颗粒较粗,主要以中粗砂和粗中砂为主;5~10 m 等深线之间,底质以中砂和中细砂为主;10~12 m 等深线附近细砂为主,12 m 等深线以外底质主要为粉砂和黏土

类;底质泥沙颗粒从岸向海逐渐变细。从海域底质类型、结合水动力条件、泥沙环境以及海岸地貌特征和海岸地形格局可知,红塘湾海域底质类型以粗砂、细砂为主,海岸类型为典型的砂质海岸。

在纯流作用下,基本不具有起动当地泥沙的条件,潮流对岸滩的冲淤作用有限。在波流共同作用下,当地泥沙较易起动,波浪对泥沙运动起到关键性作用。该岸段存在东西双向输沙,沿岸输沙量级不大,而且保持相对稳定状态,其输沙性质与弧形海岸的动力环境和地形特征相一致。

总体来看,该工程岸线基本呈EW或NE—SW走向,朝南方开阔,偏南向风浪为海岸带的优势浪向;各岸段经过长期的蚀积过程,坡度日渐平稳,沿岸供沙有限,海底砂质沉积是目前海岸的主要沙源,其海岸带泥沙运动形式以横向运移为主要特点,以海底掀沙向岸堆积补充的趋势为主;纵向泥沙运动范围不大;目前各段海岸泥沙运动近似于动态平衡,没有大规模的冲刷和堆积现象。

参考文献:

[1] 左书华,韩志远,赵洪波,等. 九龙江—厦门湾表层沉积物

粒度分布特征及其动力响应[J]. 水利水运工程学报, 2011(4):74-79.

[2] 左书华,韩志远,许婷. 烟台套子湾海域表层沉积物粒度分布特征及其动力响应[J]. 泥沙研究, 2013(5): 41-46.

[3] 张伯虎,陈沈良,刘焱雄,等. 广西钦州湾海域表层沉积物分异特征与规律[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(4): 66-77.

[4] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第十一分册:海南省海湾)[M]. 北京:海洋出版社,1992.

[5] 赵永印,吕彪. 三亚红塘湾海域岸线及海床冲淤演变分析[J]. 中国水运, 2017, 17(4):269-371.

[6] 王艳红. 三亚新机场人工岛对红塘湾岸滩的影响研究[C]//第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 舟山: 2017. 09.

[7] GB/T13909-1992. 海洋调查规范——海洋地质地球物理调查[S]. 1992.

[8] 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.

[9] 窦国仁. 论泥沙起动流速[J]. 水利学报, 1960(4):44-60.

[10] 张瑞瑾,谢鉴衡,王明甫,等. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 水利电力出版社,1989.

[11] 王宝灿,陈沈良,龚文平,等. 海南岛港湾海岸的形成与演变[M]. 北京:海洋出版社,2006.

[12] JTS145—2015. 港口与航道水文规范[S]. 2015.

CHARACTERISTICS AND TRANSPORTATION OF SURFACE SEDIMENTS IN HONGTANG BAY OF SANYA, HAINAN ISLAND

ZUO Shuhua, XIE Hualiang, CUI Cheng, LI Huaiyuan, LV Biao, XIE Mingxiao

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, National Engineering Laboratory for Port Hydraulic Construction Technology, Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Transport, Tianjin 300456, China)

Abstract: Distribution and transportation of surface sediments are analyzed in this paper based on grain size data. Results show that: (1) bottom sediment particle is generally getting finer from land to sea. Within the water depth of 5 m, coarse sand and coarse-medium sand dominate; (2) the sediment is mainly medium sand and fine sand in the area between 5 - 10 m in water depth; (3) fine sand dominates the area of 10 ~ 12 m in depth, while in the area deeper than 12m, silt and clay dominate. Waves play a key role in initiation of sediment moving. Under the action of wave flow, sediments are easy to start moving. Longshore sediment transportation is limited, but remains in a relatively stable status. The sediment transport is consistent with the hydrodynamic and topographic features. At present, the sediment is under a status of dynamic balance and no large-scale erosion and/or deposition is expectable.

Key words: Hongtang Bay of Sanya; surface sediment; sediment movement; migration trend; long-shore sediment transport