

獐岛和大鹿岛近岸海域悬沙浓度分布与输运特征

张云,张笑,龚艳君,孔重人,雷利元,刘明

(辽宁省海洋水产科学研究院 大连 116023)

摘要:为了解獐岛和大鹿岛近岸海域悬沙浓度的分布特征及其与潮流动力的关系,促进海岛生态环境保护 and 资源开发利用,文章通过样品采集和分析计算,研究相关海域悬沙浓度的平面和垂直分布特征、潮流场分布特征、悬沙浓度与潮流的动力关系以及全潮单宽输沙量。研究结果表明:大、小潮期的悬沙浓度均存在较明显的水平梯度,同一层水体大潮期的悬沙浓度大于小潮期;悬沙浓度呈近岸较高、向海逐渐降低的分布状态;悬沙浓度与海水涨落变化的关系非常密切,具有明显的周期性,垂直分布从表层到底层逐渐变大,垂直梯度近岸海域较大、远岸海域较小;涨潮流的流速明显大于落潮流,潮流运动形式按逆时针方向旋转,主流向大致呈 NNE—SSW 走向;远岸站位各层潮流流速的平均值略大于近岸站位,同一站位的潮流流速随水深的增加而有所降低;潮流变化使悬沙浓度出现周期性变化,悬沙浓度峰值出现在流速峰值后,且在落潮期更大;全潮单宽输沙量在大潮期和小潮期分别为 151.7~1 017.9 kg/d 和 146.3~931.9 kg/d,净输沙方向均为西南向,即落潮方向。

关键词:悬沙浓度;海水动力;潮流;泥沙输运;海岛环境

中图分类号:P736.21;P76;TV148+.5 文献标志码:A 文章编号:1005—9857(2018)10—0072—08

The Characteristics of Suspended Sediment Concentration and Movement of Local Marine Environment of Zhangdao Island and Daludao Island

ZHANG Yun,ZHANG Xiao,GONG Yanjun,KONG Zhongren,LEI Liyuan,LIU Ming

(Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute,Dalian 116023,China)

Abstract: In order to understand the distribution characteristics of suspended sediment concentration(SSC)in the local marine environment of Zhangdao island and Daludao island,and their relationship with tidal current dynamics,also promote the protection of island ecological environment and development and utilization of island resources,sample collection,analysis and calculation were used to study the plane and vertical the distribution characteristics of SSC,the distribution characteristics of tidal current field,the dynamic relationship between SSC and tidal current,the

收稿日期:2018-04-10;修订日期:2018-09-25
基金项目:国家海洋局资助项目“辽宁省獐岛整治修复及保护”和“辽宁省大鹿岛整治修复及保护”.
作者简介:张云,助理研究员,硕士,研究方向为海域海岛开发利用与保护
作者简介:刘明,副研究员,博士,研究方向为海域海岛开发利用与保护

sediment discharge per unit width of whole tidal in this paper. The results showed that, there were obvious horizontal gradients of SSC during the period of spring tide and neap tide. The SSC of the same layer during the spring tide was higher than that of the neap tide. The SSC was relatively high in coastal ocean and decreased in the offshore area. The SSC was closely related to the fluctuation of ocean and had obvious periodicity, the vertical distribution increased from the surface to the bottom, the vertical gradient was larger in coastal ocean and smaller in the offshore area. The velocity in flood current was obviously larger than that in ebb current, the tidal current was mainly the rotary current and rotate in the counter clockwise direction, and the main direction was approximately NNE to SSW. The average current velocity at coastal ocean stations were slightly higher than that at the offshore area stations, and the current velocity at the same station decreased with the increase of water depth. The SSC varied periodically with the tidal current, the maximum SSC appeared after the maximum velocity and bigger at ebb tide. The sediment discharge per unit width of whole tidal was 151.7-1 017.9 kg/d during the period of spring tide and 146.3-931.9 kg/d during the period of neap tide, the direction of net sediment transport was south-west, which was the same to the direction of ebb tide.

Key words: Suspended sediment concentration, Marine hydrodynamic, Tidal current, Sediment transport, Island environment

0 引言

海水动力是塑造海底地貌形态和促进海底地貌演变的主要动力因素,而泥沙运动是动力作用与地貌演变之间的纽带^[1]。泥沙在海水动力作用下不断进行悬浮、输运和沉降过程,经过长期持续作用后,造成海底底床的侵蚀和堆积,进而影响海底地形地貌的发展演变^[2]。

悬沙浓度(质量浓度)变化是海洋环境动力研究的重要参数之一,是泥沙运移、沉积和再悬浮等运动过程的直接体现^[3]。悬沙是深入了解海洋沉积过程的重要因子,在污染物迁移和循环、海水透光度、海洋生物化学循环以及海岸侵蚀和淤积等方面发挥重要作用,因而是多学科关注的焦点,也是当前海洋研究的热点^[4]。很多学者采用不同方法、从不同角度、对不同区域的悬沙情况进行研究,分析悬沙浓度的变化特征,进而讨论该特征产生的原因及其水动力输运机理^[5-12]。

近岸海域悬沙浓度的分布通常与海底泥沙冲淤之间存在动态平衡,而这种平衡作用往往是通过水动力条件实现的,在有潮海域随涨、落潮流循环调整^[13]。当泥沙补给丰富或潮流挟沙能力减弱时,

悬沙易于沉降,底床处于淤涨状态;当泥沙补给贫乏或潮流挟沙能力增强时,悬沙易于再搬运,底床处于侵蚀状态,最后达到悬沙浓度的分布平衡。近岸海域水动力和悬沙浓度的分布特征以及二者之间的关系是海岸工程、沉积地貌演变和环境研究的首要问题。

1 研究背景

獐岛和大鹿岛位于黄海北部丹东市东港市北井子镇海域^[14],距陆地较近,是丹东市著名旅游区,每年吸引成千上万的游客。然而早期建设的防波堤由于常年遭受海浪侵蚀已严重受损,不能起到防护作用,风浪潮经常轻易漫过海堤对海岛的植被、土地和建筑物等造成破坏,对海岛生态系统和旅游环境构成严重威胁,对海岛居民生命财产和社会安全稳定产生较大影响^[15-16]。

近年来,海岛保护和修复成为研究热点^[17-18]。在地方政府与国家相关部门的支持下,獐岛和大鹿岛分别开展防波堤整治修复工程,在一定程度上缓解海岛生态压力和改善海岛环境,是实现海岛可持续发展的重要保障。但二岛防波堤前方均为珍稀的沙滩资源,是主要的休闲娱乐场所,工程的实施

对周边海域水动力和沙滩环境造成的影响不容忽视,因此开展相关基础研究十分必要。本研究根据实测数据,分析该海域水动力与悬沙浓度的变化特征,重点讨论悬沙浓度的平面和垂直分布特征、潮流特征及其与悬沙浓度的关系,利用实测结果初步分析悬浮泥沙的输运趋势和数量,对保护周边海洋生态环境和合理开发利用海洋资源具有一定的理论和实际意义,为后期研究工作奠定基础。

2 数据采集和分析方法

利用“辽东客 02”号调查船在 H1~H15 站采集悬沙样品,利用“辽东客 05”号和“辽东客 08”号调查船分别观测 M 站和 N 站的潮流状况并同步采集悬沙样品,于大、小潮期各调查 1 次。调查海域和站位如图 1 所示。

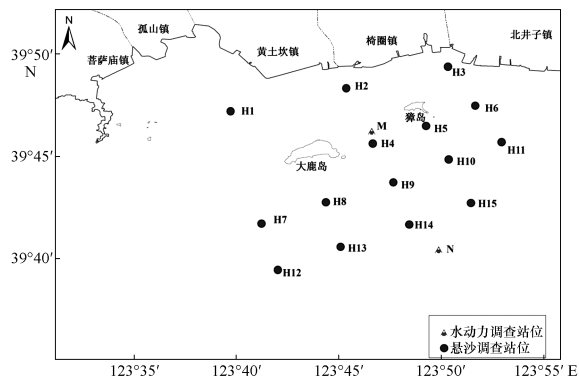


图 1 调查海域和站位

采用日本亚克力公司的 AEM213-D 电磁式海流计现场观测潮流状况,每小时观测 1 次。根据站位的水深情况, M 站的观测层次为表层和底层, N 站的观测层次为表层、中层和底层,对每个层次的流速和流向连续观测 2 组数据后取平均值。

采用天津海华公司的 SBE32 型采水器 (5 L),与潮流观测同步采集悬沙样品。样品冷冻密封保存,带回实验室进行抽滤,滤膜直径为 47 mm、孔径为 $0.45 \mu\text{m}$;过滤后在 40°C 烘箱中烘干,采用精度为 1/10 万的 Sartorius 电子天平称重悬浮体。根据所测数据分别计算悬沙浓度、垂直平均含沙量和单宽输沙量。

悬沙浓度的计算公式为:

$$C = \frac{M_p - M_s}{V} \quad (1)$$

式中: C 为悬沙浓度; M_p 为滤前膜重; M_s 为滤后膜重; V 为过滤样品的体积。

垂直平均含沙量的计算公式为:

$$\rho_{\text{平均}} = (\rho_{\text{表}} V_{\text{表}} + \rho_{\text{中}} V_{\text{中}} + \rho_{\text{底}} V_{\text{底}}) / (3 V_m) \quad (2)$$

式中: $\rho_{\text{平均}}$ 为垂直平均含沙量; $\rho_{\text{表}}$ 、 $\rho_{\text{中}}$ 和 $\rho_{\text{底}}$ 分别为表层、中层和底层的含沙量; $V_{\text{表}}$ 、 $V_{\text{中}}$ 和 $V_{\text{底}}$ 分别为表层、中层和底层的实测流速; V_m 为加权垂直平均流速。

单宽输沙量的计算公式为:

$$Q = LT \int_0^H \rho_z V_z dz \quad (3)$$

式中: Q 为输沙量,分涨潮、落潮和全潮 3 个运动期,其中涨潮期 Q 为涨潮输沙量,落潮期 Q 为落潮输沙量,全潮期 Q 为净输沙量; L 为单位宽度,取 1 m; T 为输沙时间段; H 为水深; ρ_z 为含沙量; V_z 为流速。分别计算单宽输沙量数值的正北向分量和正东向分量后,采用矢量合成法可计算单宽输沙量的数值及其方向。

3 结果和讨论

3.1 悬沙浓度的平面分布特征

悬沙浓度的变化对于某个时间段的观测点而言,主要与底部泥沙侵蚀和落淤以及平流作用有关。调查海域在大、小潮期的悬沙浓度的平面分布如图 2 所示。

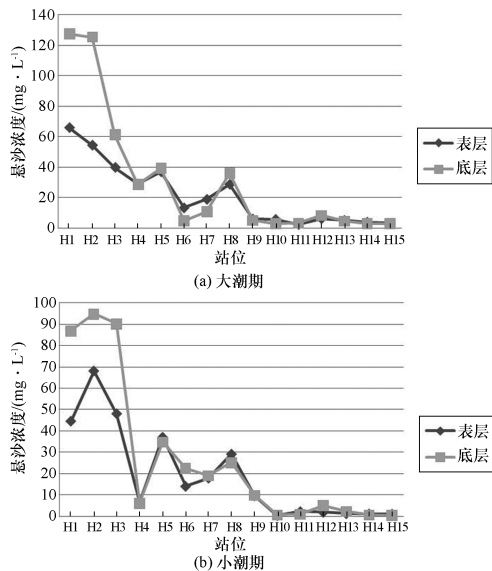


图 2 悬沙浓度的平面分布

由图 2 可以看出,调查海域在大、小潮期的悬沙浓度均存在较明显的水平梯度。①在大潮期,表层海水悬沙浓度的变化范围为 2.47~66.00 mg/L,平均值为 21.39 mg/L;底层海水悬沙浓度的变化范围为 2.80~127.40 mg/L,平均值为 30.80 mg/L,约为表层的 1.44 倍。②在小潮期,表层和底层海水悬沙浓度的最高值均出现在 H2 站,分别为 68.00 mg/L 和 94.75 mg/L;最低值均出现在 H10 站,分别为 0.35 mg/L 和 0.55 mg/L;表层海水悬沙浓度的平均值为 18.82 mg/L,底层的平均值为 26.53 mg/L,约为表层的 1.41 倍。

此外,对于同一层水体,大潮期的悬沙浓度大于小潮期;H5 站和 H8 站的表层和底层海水悬沙浓度在大、小潮期均出现峰值,可能是由于 2 个站位分别处于獐岛和大鹿岛的沙滩下游,沙滩泥沙颗粒在海水潮流作用下输运至此;无论是大潮期还是小潮期,调查海域的悬沙浓度均呈近岸较高、向海逐渐降低的分布状态,可能是由于近岸海域处于大洋河口和枣沟河口等淡水河的下游,淡水河从陆地带来的泥沙不断注入海洋。

3.2 悬沙浓度的垂直分布特征

调查海域在大、小潮期的悬沙浓度与水深的关系如图 3 和图 4 所示。

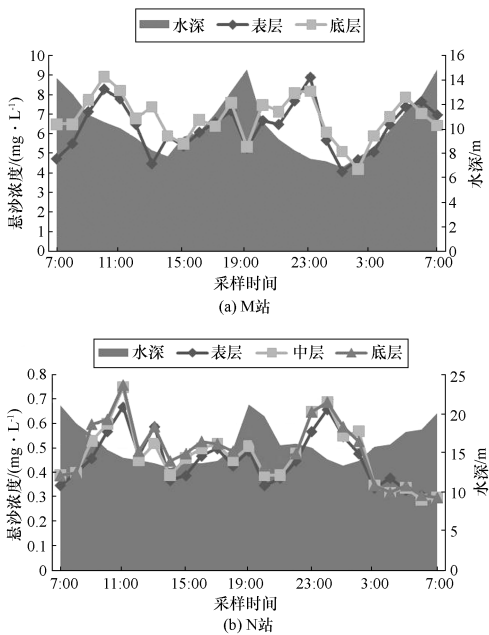


图 3 大潮期的悬沙浓度与水深的关系

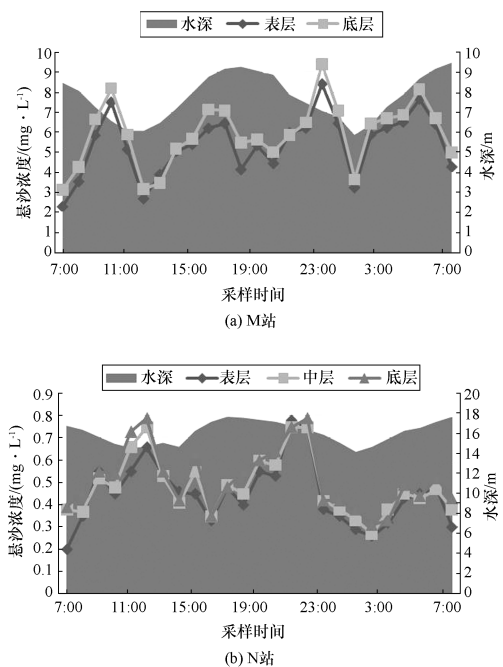


图 4 小潮期的悬沙浓度与水深的关系

由图 3 和图 4 可以看出,调查海域的悬沙浓度与海水涨落变化的关系非常密切,呈现明显的周期性变化,在 1 个涨落潮周期内均有 2 次再悬浮,即悬沙浓度出现 2 处峰值。①M 站大潮期表层海水悬沙浓度的平均值为 6.36 mg/L,底层为 7.80 mg/L,二者比值为 1 : 1.23;小潮期表层海水悬沙浓度的平均值为 5.41 mg/L,底层为 6.95 mg/L,二者比值为 1 : 1.28;大潮期悬沙浓度的平均值大于小潮期,表层为 1.18 : 1,底层为 1.12 : 1。②N 站大潮期表层海水悬沙浓度的平均值为 0.46 mg/L,中层为 0.49 mg/L,底层为 0.51 mg/L,三者比值为 1 : 1.07 : 1.11;小潮期表层海水悬沙浓度的平均值为 0.45 mg/L,中层为 0.47 mg/L,底层为 0.49 mg/L,三者比值为 1 : 1.04 : 1.09;大潮期悬沙浓度的平均值略大于小潮期,表层为 1.02 : 1,中层为 1.04 : 1,底层为 1.04 : 1。悬沙浓度的垂直分布从表层到底层逐渐变大,近岸海域悬沙浓度的垂直梯度较大,远岸海域较小。

3.3 潮流场分布特征

调查海域在大、小潮期的潮流流速与水深的关系如图 5 和图 6 所示。

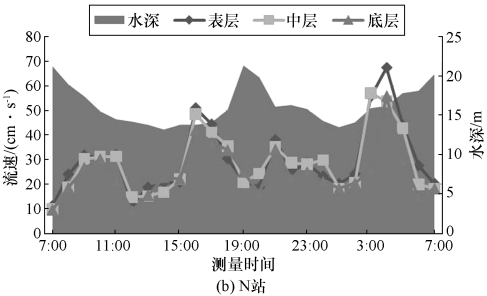
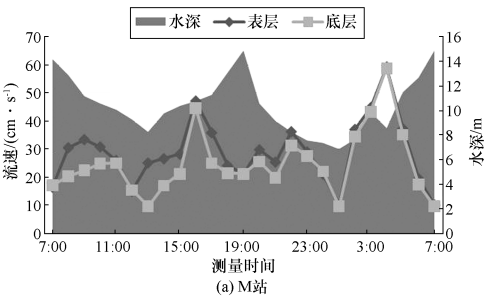


图5 大潮期的潮流流速与水深的关系

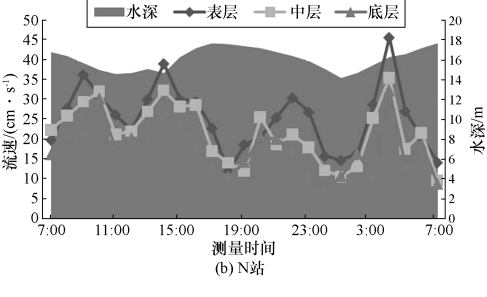
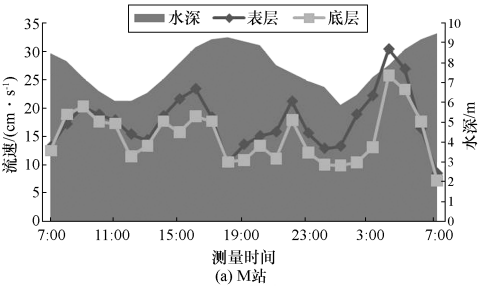


图6 小潮期的潮流流速与水深的关系

由图5和图6可以看出,调查海域属正规半日潮流海区,2次涨、落潮流过程的周期大致相同,但流速不等,涨潮流的流速明显大于落潮流。潮流具有较明显的驻波特征,即半潮面时流速较大,高、低潮位时流速较小。

根据调查海域在大、小潮期的潮流玫瑰图,结合潮流实测结果,可判断调查海域潮流的运动形式以旋转型为主,且按逆时针方向旋转,主流向大致

呈 NNE—SSW 走向(图7和图8)。

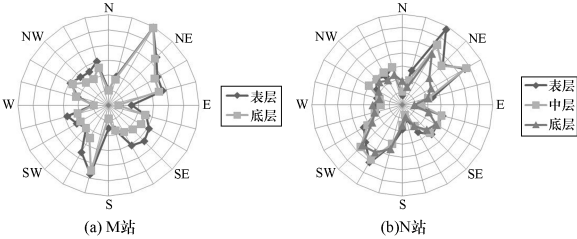


图7 大潮期潮流玫瑰图

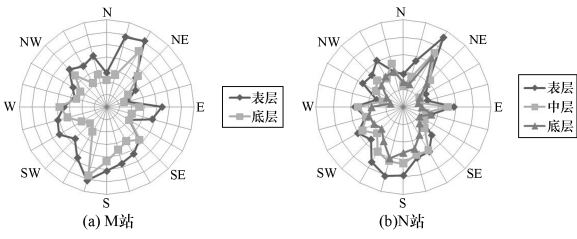


图8 小潮期潮流玫瑰图

调查海域各站位潮流流速的特征值如表1所示。

表1 调查海域各站位潮流流速的特征值 cm/s

水层	潮流流速	M 站		N 站	
		大潮期	小潮期	大潮期	小潮期
表层	最大值	59.3	30.4	67.5	45.7
	最小值	10.3	8.5	11.3	11.9
	平均值	28.9	19.6	29.7	25.3
中层	最大值	—	—	57.1	35.6
	最小值	—	—	9.8	9.7
	平均值	—	—	28.6	21.8
底层	最大值	58.9	28.4	55.9	30.3
	最小值	9.7	7.2	9.3	8.8
	平均值	24.5	14.6	25.1	17.6
垂向	最大值	58.6	30.6	55.2	35.4
	最小值	10.6	10.5	12.1	8.9
	平均值	33.5	18.3	35.0	23.6

由表1可以看出,N站各层潮流流速的平均值略大于M站;对于同一站位,潮流流速随水深的增加而有所降低。①在大潮期,M站和N站的最大流速和最小流速分别出现在4时和7时左右;N站表

层和底层流速的平均值分别为 M 站的 1.03 倍和 1.02 倍,2 个站位垂向流速的平均值相差不大。

②在小潮期,M 站和 N 站的最大流速和最小流速出现的时间与大潮期基本一致;N 站表层和底层流速的平均值分别为 M 站的 1.29 倍和 1.21 倍,N 站垂向流速的平均值是 M 站的 1.29 倍。

3.4 悬沙浓度与潮流的动力关系

影响悬沙运动的因素众多,包括波浪、潮流和风等动力条件。悬沙浓度的时空变化可反映不同的动力作用和海水涨、落潮环境条件。由于调查期间风浪较小,本研究仅讨论悬沙浓度与潮流流速之间的关系。

调查海域在大、小潮期的平均悬沙浓度、平均流速和水深的变化关系如图 9 和图 10 所示。

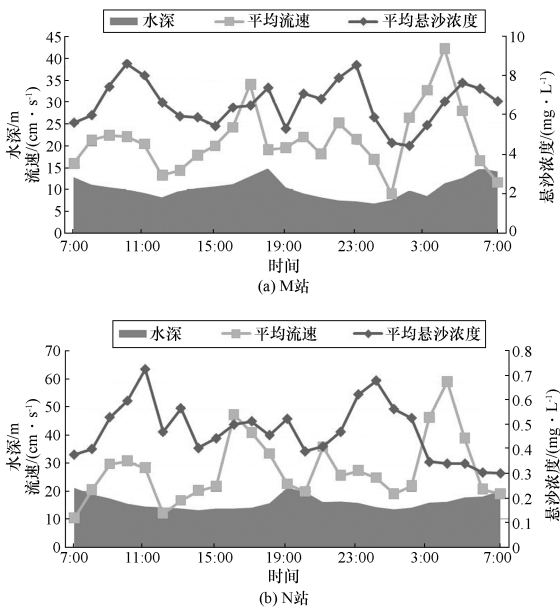


图 9 大潮期悬沙浓度、流速和水深的变化关系

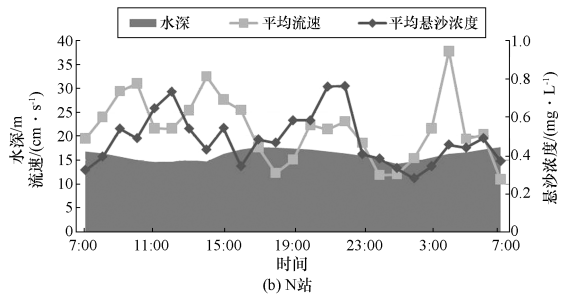
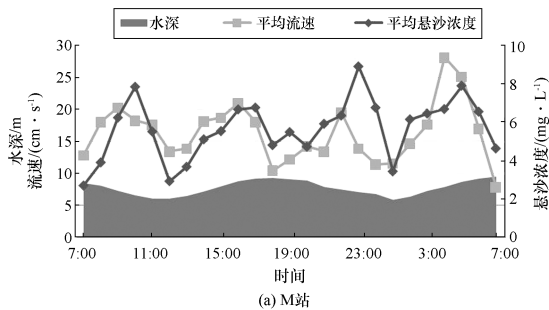


图 10 小潮期悬沙浓度、流速和水深的变化关系

由图 9 和图 10 可以看出,调查海域涨、落潮的交替和流速的变化使悬沙浓度出现周期性变化,恰好对应该海域半日潮流特点。M 站悬沙浓度与流速的变化周期相似,悬沙浓度出现 4 个峰值,且均在流速峰值 1~2 h 后出现;N 站悬沙浓度的变化较复杂,周期性较不明显,但也与流速有一定的对应关系,出现 2~4 个峰值,且同样出现在流速达到峰值之后。

从悬沙浓度与水深的关系来看,2 个站位悬沙浓度的峰值在涨、落潮期均有出现,但在落潮期的峰值更大,可能是由于沉积物在底层流速达到起动速度后,由于剪切力易使沉积物发生再悬浮,从而在海水中形成较大的悬沙浓度水体^[19]。涨潮时,外海悬沙浓度较低的水体进入调查海域,悬沙浓度呈逐渐降低的趋势;落潮时,调查海域悬沙浓度较高的水体向外海传送,悬沙浓度呈逐渐升高的趋势^[20]。

3.5 全潮单宽输沙量

海岸泥沙运动的一般规律和特殊情况下的偶然情况目前备受工程界和科学界关注。近岸海域泥沙主要有悬移和推移 2 种运移形态,其中细颗粒泥沙的运动方式主要为悬移,粗颗粒泥沙的运动方式主要为推移,主要包括沿岸方向的纵向运动和离岸方向的横向运动 2 种运动方式,一般情况下这 2 种运动方式是相互依存、共同存在的^[11]。

通过计算单宽输沙量,可判断调查海域的海底冲淤变化。由于 2 次测量都是在天气状况正常的条件下进行的,调查海域的泥沙特性差异不大,测量结果代表正常天气、潮流和地形作用下的泥沙输运趋势。

根据各站位单宽输沙量的计算结果,调查海域的日单宽输沙量不大,全潮单宽输沙量在大潮期为 151.7~1 017.9 kg/d,在小潮期为 146.3~

931.9 kg/d;大、小潮期的净输沙方向均为西南向,即落潮方向(表 2)。

表 2 调查海域的垂线单宽输沙量

站位	潮期	涨潮		落潮		涨—落潮净输沙量/ (kg·d ⁻¹)
		输沙量/(kg·d ⁻¹)	方向/(°)	输沙量/(kg·d ⁻¹)	方向/(°)	
M 站	大潮期	895.7	46	1 017.9	157	122.2
	小潮期	841.1	328	931.9	182	90.8
N 站	大潮期	151.7	346	178.1	178	26.4
	小潮期	146.3	14	162.9	193	16.6

4 结语

本研究在獐岛和大鹿岛近岸海域的大、小潮期布设站位,通过样品采集和分析计算,讨论悬沙浓度的平面和垂直分布特征、潮流场分布特征、悬沙浓度与潮流的动力关系以及全潮单宽输沙量,主要得出 4 点结论。

(1)调查海域在大、小潮期的悬沙浓度均存在较明显的水平梯度,同一层水体大潮期的悬沙浓度大于小潮期;悬沙浓度呈近岸较高、向海逐渐降低的分布状态;悬沙浓度与海水涨落变化的关系非常密切,具有明显的周期性;悬沙浓度的垂直分布从表层到底层逐渐变大,近岸海域的垂直梯度较大、远岸海域较小。

(2)调查海域属正规半日潮流海区,2 次涨、落潮过程的周期大致相同,但流速不等,涨潮流的流速明显大于落潮流;潮流的运动形式以旋转型为主,且按逆时针方向旋转,主流向大致呈 NNE—SSW 走向;远岸站位各层潮流流速的平均值略大于近岸站位,同一站位的潮流流速随水深的增加而有所降低。

(3)悬沙浓度随潮流变化而出现周期性变化,悬沙浓度峰值出现在流速峰值后,在涨、落潮期均有出现,且在落潮期更大。

(4)调查海域的日单宽输沙量不大,全潮单宽输沙量在大潮期为 151.7~1 017.9 kg/d,在小潮期为 146.3~931.9 kg/d;大、小潮期的净输沙方向均为西南向,即落潮方向。

参考文献

[1] 陈沈良,张国安,杨世伦,等.长江口水域悬沙浓度时空变化与泥沙再悬浮[J].地理学报,2004,59(2):260—266.

[2] 高敏,李九发,李占海,等.近期长江口南支河道洪季悬沙质量浓度时间变化及床沙再悬浮研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(1):30—37.

[3] 邢飞,汪亚平,高建华,等.江苏近岸海域悬沙浓度的时空分布特征[J].海洋与湖沼,2010,41(3):459—468.

[4] 张存勇,冯秀丽.连云港近岸海域悬沙质量浓度垂向时空变化特征[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(2):49—57.

[5] 闵凤阳,汪亚平,高建华,等.长江口北支的沉积物输运趋势[J].海洋通报,2010,29(3):264—270.

[6] SHI W,WANG M.Satellite observations of the seasonal sediment plume in central East China Sea[J].Journal of Marine Systems,2010,82:280—285.

[7] YANG Z S,JI Y J,BI N S,et al.Sediment transport off the Huanghe (Yellow River) delta and in the adjacent Bohai Sea in winter and seasonal comparison [J].Estuarine, Coastal and Shelf Science,2011,93:173—181.

[8] QIAO S Q,SHI X F,ZHU A M,et al.Distribution and transport of suspended sediments off the Yellow River (Huanghe) mouth and the nearby Bohai Sea [J].Estuarine, Coastal and Shelf Science,2010,86:337—344.

[9] CHEN X L,LU J Z,CUI T W,et al.Coupling remote sensing retrieval with numerical simulation for SPM study: taking Bohai Sea in China as a case [J].International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2010, 12: S203—S211.

(以下内容转至第 83 页)