

笼式泥沙捕获器的研制与实测应用

王伟伟¹, 马恭博¹, 程林², 袁蕾¹, 王传珺¹

(1. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023; 2. 河北省科学院 地理科学研究所, 河北 石家庄 050021)

摘要: 为了有效地观测岸滩泥沙在距离底床不同高度和不同方向的运移特征, 本文作者研制了笼式泥沙捕获器, 并在辽东湾白沙湾海岸进行了实测, 取得了较好的观测结果。观测结果表明, 近底床泥沙输运大量发生于距离 45 cm 的高度范围内, 而距离底床 100 cm 的泥沙运移量极少。随着距离底床高度的增加, 泥沙的平均粒径呈由大到小的变化规律, 泥沙中砂的质量分数呈由大到小的变化规律, 黏土的质量分数呈由小到大的变化规律, 但是在不同的方向上, 泥沙平均粒径和物质组成等粒度参数均没有表现出明显的规律。实测结果表明笼式泥沙捕获器不仅可以同步观测多个方向的泥沙运移, 而且可以同步观测不同层位的泥沙运移, 对于分析近底床边界层泥沙的垂向结构有一定的应用价值。

关键词: 泥沙捕获器; 泥沙运移; 边界层

中图分类号: P736.22

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2017)03-0051-07

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2017.03.007

进入 21 世纪, 随着海平面上升、人为活动加剧和入海泥沙的减少, 我国沿海海岸侵蚀问题日益严重, 已经威胁到沿海居民的正常生产和生活。海岸带承载了沿海地区重要的临海工业、港口航运业和滨海旅游业等海洋产业, 其稳定性和安全性受到日益关注^[1-2]。近年来, 海岸工作者们针对海岸稳定性^[3-4]、海岸演变^[5]开展了大量的工作。由于海岸泥沙活动规律决定了海岸平衡状态, 为了进一步探寻近岸泥沙输运过程, 诸多科技工作者在广泛的实验室数据和现场观测资料的基础上, 建立了多种数值模式反映近岸带输沙过程, 并对输沙量进行估算^[6-8]。然而, 现有数学模型的计算结果往往和现场观测的输沙情况存在一定程度的差异^[9]。基于综合反映岸滩推移质和悬移质泥沙的垂向特征, 弥补现有的工作不足, 印萍等^[9]开展了旌式泥沙捕获器的研制, 并利用泥沙捕获器在秦皇岛海滩进行了观测, 介绍了冲流带和破波带泥沙通量的分布特点以及泥沙的横向和纵向运移规律。本文作者在印萍等人设计的泥沙捕获器的基础上, 对泥沙捕获器进行了一定程度上的改进, 研制了笼式泥沙捕获器, 并在辽东湾东岸的白沙湾沙质海岸进行了岸滩近底床泥沙的观测应用。

1 笼式泥沙捕获器的介绍

笼式泥沙捕获器是在旌式泥沙捕获器的基础上进行改进和完善的。旌式泥沙捕获器由金属支架、网架和筛网三个部分组成^[9], 可以同步观测 2 个方向的泥沙运移特征, 现场观测时需要借助人力稳定泥沙捕获器。

笼式泥沙捕获器由网架、筛网和支架组成(图 1)。网架包括 5 层格架, 每层格架由 8 个梯形格架组成, 格架由不锈钢管架焊接而成, 格架顶角角度为 45°, 主要是方便测量不同方向的泥沙通量, 垂向相邻的网架采用固定 U 形卡环固定, 网架的垂向开口高为 20 cm, 宽 30 cm。筛网由孔径为 0.063 mm 的尼龙筛网制成, 网口固定在格架上, 筛网的尾部固定在网架下部的钢管上, 确保筛网尾部高度低于入口, 以防止进入筛网的

收稿日期: 2017-02-21

资助项目: 国家自然科学基金项目——侵蚀沙质海岸演变过程中的岸滩泥沙通量研究(41306043); 全国海岸侵蚀灾害监测与评价业务化项目

作者简介: 王伟伟(1979-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事海岸带环境地质灾害和海岸动力地貌学研究. E-mail: wwwang@nmemc.org.cn

(王佳实 编辑)

泥沙流失。支架由斜拉支架和稳定装置组成,其中斜拉支架包括 4 根主支撑钢管和 4 个辅助支撑钢管,稳定装置包括 4 块圆形钢板和 8 根圆钢组成,主要的作用是增加泥沙捕获器的稳定性。

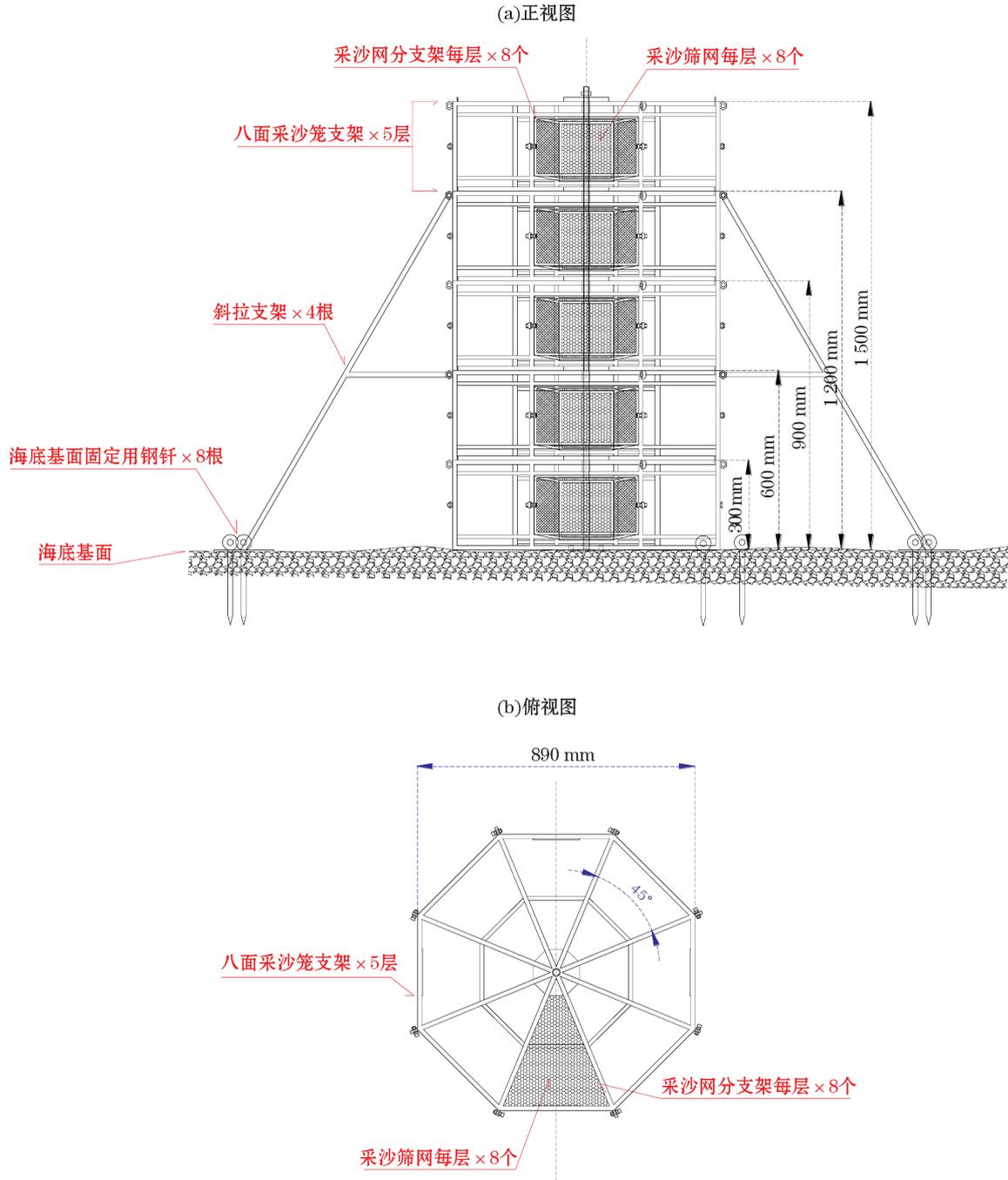


图 1 笼式泥沙捕获器结构

Fig.1 Structure of the cage-shaped sediment trap

相对于旌式泥沙捕获器来说,笼式泥沙捕获器在泥沙捕获方向和仪器稳定性做了改进,改进后的捕获器,可以同步观测 5 个层位,8 个方向的泥沙运移特征,而且因为不需要借助外力,可以满足较长时间的泥沙观测需要。

2 现场应用与观测

2013-11-28,笼式泥沙捕获器投放在辽东湾东岸白沙湾潮间带中部(图 2 和图 3),研究期间,水深变化范围介于 0~2.5 m,有效波高最高达 0.3 m,海流流速最高达 $0.32 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。2013-12-08,进行了仪器的回收,获取了连续 10 d 的泥沙观测数据。

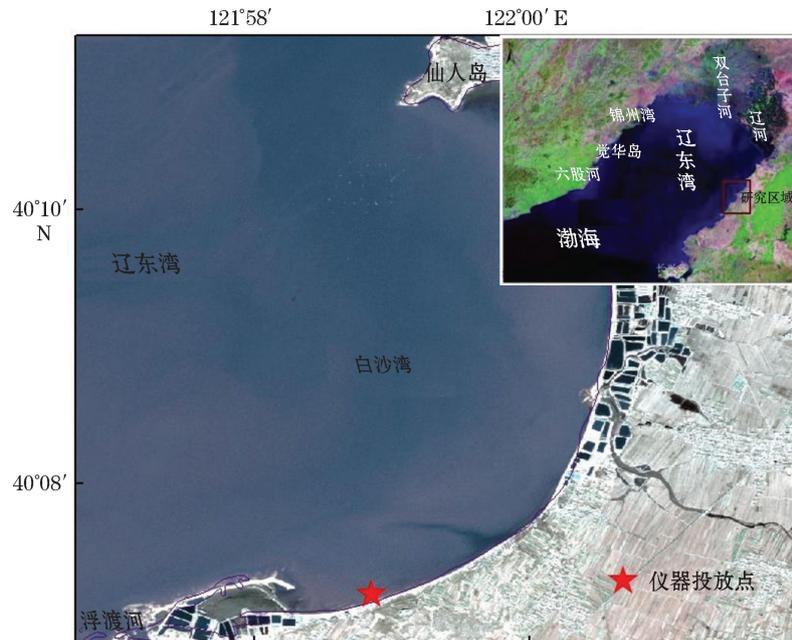


图 2 笼式泥沙捕获器投放位置

Fig.2 Deploying position of the cage-shaped sediment trap



图 3 笼式泥沙捕获器投放

Fig.3 Deployment of the cage-shaped sediment trap

数据采集前对筛网进行统一编号,编号方式为“层编号-方向编号”。仪器投放完成后,记录仪器放置时间,坐标位置和方位,以编号为“1-1”的筛网和格架放置与正北方最底层,方向编号按顺时针增加,层位编号由低至高增加。

笼式捕沙器共获得沉积物有效样品 34 个,6 个样品由于固定格架的 U 型器不牢固而丢失。获取的样品在实验室内完成粒度分析和干重测定,粒度分析采用激光粒度仪。

3 结果分析

3.1 沉积物粒度特征

沉积物粒度分析结果见表 1,岸滩底边界层内的泥沙平均粒径介于 1.99~3.40 ϕ ,主要沉积物类型为细砂,其中,中砂 1 站(1-4 #),极细砂 2 站(3-7 #,3-8 #)。沉积物砂质量分数介于 77.48%~99.03%,粉砂质量分数介于 0.87%~18.98%,黏土质量分数皆小于 4%。

表 1 沉积物粒度参数统计表

Table 1 Grain size parameters of the sediments

站位号	层位/cm	采集样品质量/g	平均粒径/ ϕ	砂/%	粉砂/%	黏土/%	站位号	层位/cm	采集样品质量/g	平均粒径/ ϕ	砂/%	粉砂/%	黏土/%
1-1 #	15	2 460	2.18	96.75	2.55	0.70	3-2 #	75	45	2.56	96.70	2.62	0.68
1-2 #	15	5 820	2.26	96.31	2.89	0.80	3-3 #	75	215	2.62	96.63	2.72	0.65
1-3 #	15	2 875	2.34	97.03	2.31	0.67	3-4 #	75	220	2.71	96.76	2.62	0.62
1-4 #	15	3 925	1.99	97.44	2.04	0.52	3-5 #	75	265	2.68	97.41	1.99	0.60
1-5 #	15	1 780	2.25	99.03	0.97	0.00	3-6 #	75	2.62	2.46	97.97	1.44	0.59
1-6 #	15	2 030	2.42	97.24	2.11	0.66	3-7 #	75	1.92	3.22	79.43	17.60	2.98
1-7 #	15	2 795	2.18	98.10	1.32	0.58	3-8 #	75	2.01	3.40	77.48	18.98	3.55
1-8 #	15	1 625	2.04	98.76	0.87	0.37	4-1 #	105	105	2.54	97.59	1.91	0.50
2-1 #	45	5 780	2.57	90.59	7.85	1.55	4-2 #	105	50	2.48	94.21	4.78	1.02
2-2 #	45	1 555	2.60	97.99	1.52	0.49	4-3 #	105	25	2.78	91.62	7.21	1.17
2-3 #	45	1 185	2.61	96.04	3.13	0.84	4-4 #	105	35	2.73	92.71	6.18	1.11
2-4 #	45	385	2.67	97.74	1.70	0.56	4-8 #	105	65	2.51	95.15	4.20	0.65
2-5 #	45	390	2.60	97.46	2.00	0.54	5-1 #	135	60	2.15	94.26	4.94	0.80
2-6 #	45	85	2.59	96.34	2.93	0.73	5-3 #	135	55	2.55	93.58	5.57	0.85
2-7 #	45	45	2.51	97.04	2.28	0.68	5-5 #	135	50	2.56	91.84	6.90	1.25
2-8 #	45	1 955	2.58	97.69	1.76	0.55	5-6 #	135	13.8	2.69	87.71	10.50	1.78
3-1 #	75	550	2.65	97.95	1.50	0.55	5-8 #	135	125	2.54	96.09	3.29	0.62

随着距离底床高度的增加,捕获的泥沙平均粒径在垂向上基本呈现由大到小的规律,而且在距离底床 5~25 cm 的边界层底部范围内,平均粒径小于 2.5 ϕ ,在距离底床 25 cm 以上的边界层范围内,泥沙平均变化较小,介于 2.5~3.4 ϕ (图 4)。

随着距离底床高度的增加,泥沙中砂的质量分数在垂向上基本呈现由大到小的规律,在距离底床高度 5~85 cm 的范围内,砂的质量分数基本高于 96%,而在距离底床 85~145 cm 的范围内砂的质量分数基本小于 95%,最小为 77.5%(图 5)。

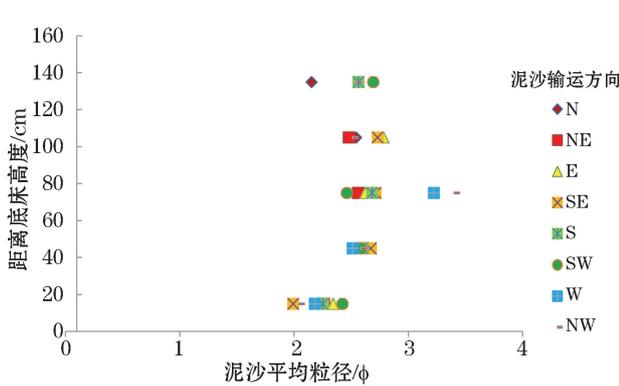


图 4 近底床不同高度的泥沙平均粒径

Fig.4 The mean grain size of the sediment trapped in different height from the seabed

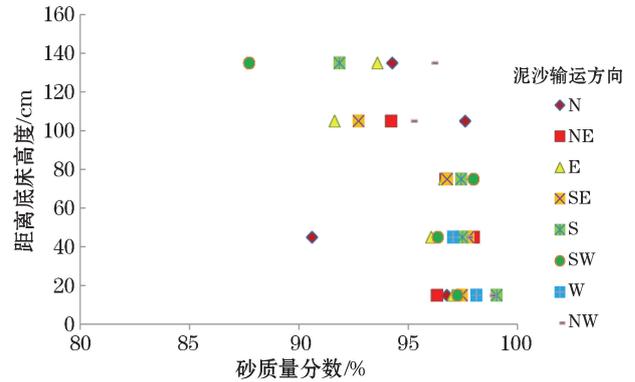


图 5 近底床不同高度的泥沙中砂的质量分数

Fig.5 The percentage of sand among the sediment trapped in different height from the seabed

随着距离底床高度的增加,泥沙中黏土质量分数呈由小到大的规律,与砂质量分数的变化规律呈负相关关系。在距离底床高度 5~85 cm 的范围内,黏土的质量分数基本小于 0.9%,而在距离底床 85~145 cm 的范围内黏土的质量分数逐渐增多,最高为 10.5%(图 6)。

3.2 沉积物输运

泥沙运移主要发生在距离底床高度 5~45 cm(1,2 层)的边界层底部区域。距离底床高度 5~25 cm(1 层),泥沙捕获量介于 162.5~582.0 g · d⁻¹;距离底床高度 35~55 cm(2 层),介于 4.5~578.0 g · d⁻¹;距离底床高度 65~85 cm(3 层),介于 0.2~55.0 g · d⁻¹;距离底床高度 95~115 cm(4 层),介于 2.5~10.5 g · d⁻¹;距离底床高度 125~145 cm(5 层),介于 1.38~12.5 g · d⁻¹(图 7)。

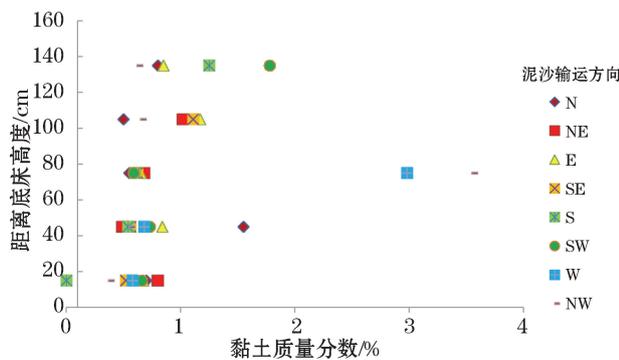


图 6 近底床不同高度的泥沙中黏土的质量分数

Fig.6 The percentage of clay among the sediment trapped in different height from the seabed

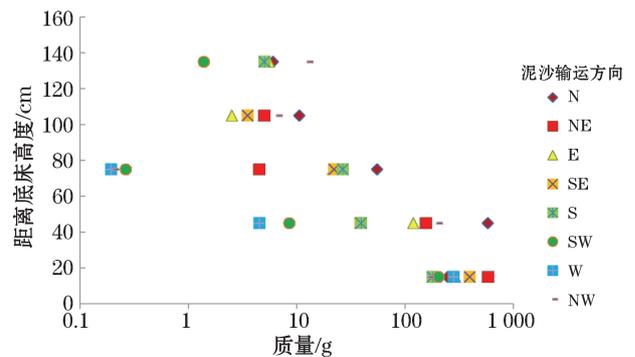


图 7 近底床不同高度的泥沙质量分布

Fig.7 The weight distributions of the sediments trapped at different heights from the seabed

白沙湾海岸走向为 SW—NE,海岸来沙方向主要为 SW,W,NW,N 和 NE,而泥沙回流方向为 E,SE 和 S。研究期间距离底床高度在 15 cm(1 层),单位面积日净输沙 10.45 kg · (m · d)⁻¹;距离底床高度 45 cm(2 层),单

位面积日净输沙 $12.68 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$; 距离底床高度 75 cm(3 层); 单位面积日净输沙 $-0.17 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$; 距离底床高度 105 cm(4 层), 单位面积日净输沙 $0.27 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$; 距离底床高度 135 cm(5 层), 单位面积日净输沙 $0.16 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$ 。观测期间海区风向多为 NE, E 和 SE 向, 基本与补沙器观测的泥沙运移方向一致^[10]。

按照不同方向分别累计捕获泥沙量, 绘制日均泥沙运移特征图, 发现研究期间主要来沙方向为 N 和 NE, 近底床边界层内单位面积日均向岸输沙量为 $42.79 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$, 主要的泥沙回流方向为 SE 和 E, 单位面积日均离岸输沙量为 $19.39 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$ (图 8)。

捕获的泥沙多为细砂, 沉积物平均粒径的分布与泥沙运移方向之间没有表现出明显的规律, 各向的沉积物平均粒径介于 $2.4 \sim 2.7 \phi$ 。N 和 NE 来砂方向沉积物粒径较粗, 分别为 2.42 和 2.48ϕ , NW 和 W 沉积物粒径相对较细, 分别为 2.61 和 2.63ϕ (图 9)。

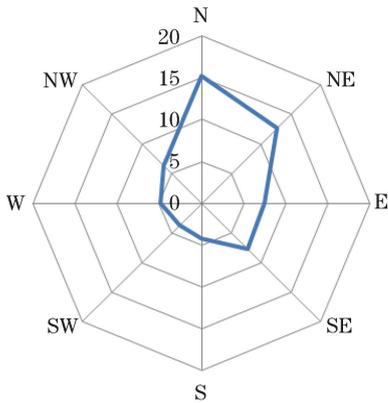


图 8 不同方向的泥沙日均运输 ($\text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$) 特征

Fig.8 The characteristics of daily sediment ($\text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$) transportation

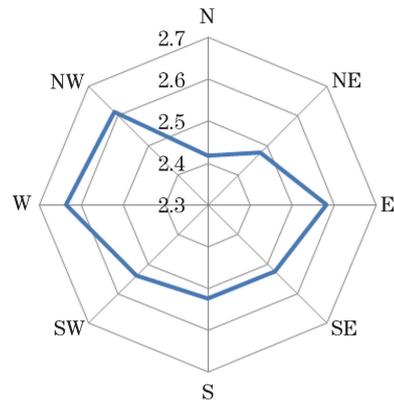


图 9 不同方向的泥沙平均粒径 (ϕ) 分布特征

Fig.9 The grain sizes distribution of the sediment (ϕ) near the seabed

4 结 论

底边界层泥沙观测一直是海岸工作研究的重点, 为了有效观测岸滩近底床泥沙的运移特征, 本文作者研制了笼式泥沙捕获器, 并进行了实测。笼式泥沙捕获器改进了已有的泥沙捕获器的不足, 不但可以同步捕获 N, NE, E, SE, S, SW, W 和 NW 八个方向的泥沙, 而且可以同步捕获 5 个层位 (15~135 cm) 的近底床泥沙, 在岸滩边界层泥沙的观测中, 具有经济、实用的优势。

笼式泥沙捕获器应用在辽东湾东岸白沙湾海岸, 取得了较好的观测效果, 得出以下几点结论: 1) 随着距离底床高度的增加, 泥沙中砂质量分数与黏土质量分数的变化规律呈负相关关系, 砂的质量分数在垂向上基本呈现由大到小的规律, 而黏土质量分数呈由小到大的规律; 2) 泥沙运移量主要发生在近底床高度 45 cm 以内; 3) 观测期间, 白沙湾海岸 N 和 NE 向泥沙向岸运移趋势较强, 单位面积日均向岸输沙量为 $42.79 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$, 单位面积日均离岸输沙量为 $19.39 \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}$; 4) 近底床泥沙多为细砂, 随着距离底床高度的增加, 泥沙平均粒径呈变小的趋势, 但在与泥沙运输方向没有表现出明显的规律。

致谢: 国家海洋环境监测中心王玉广、张利民、马长敏等参加了外业工作, 方海超完成了室内测试分析工作。

参考文献 (References):

- [1] LUO Y M. Sustainability associated coastal eco-environmental problems and coastal science development in China[J]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2016, 31(10): 1133-1142. 骆永明. 中国海岸带可持续发展中的生态环境问题与海岸科学发展[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1133-1142.

- [2] XIONG Y Z. Advances of research on coastal zone sustainable development[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(2): 13-18. 熊永柱. 海岸带可持续发展研究评述[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(2): 13-18.
- [3] DAI Z J, LI C C, WANG W J, et al. Research on stability and fractal of arc-shaped coast in South China[J]. Haiyang Xuebao, 2006, 28(1): 176-180. 戴志军, 李春初, 王文介, 等. 华南弧形海岸的分形和稳定性研究[J]. 海洋学报, 2006, 28(1): 176-180.
- [4] CHENG W F, CHEN S L, HU J. Stability of headland bay beaches on the east coast of Hainan Island[J]. The Ocean Engineering, 2017, 35(1): 121-128. 程武凤, 陈沈良, 胡进. 海南万宁岬湾海岸海滩稳定性研究[J]. 海洋工程, 2017, 35(1): 121-128.
- [5] FENG A P, XIA D X, GU D Q, et al. Study on process and cause of the coastal erosion along the south coast of the Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2006, 24(1): 83-90. 丰爱平, 夏东兴, 谷东起, 等. 莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 83-90.
- [6] LI Z L, CHEN Z S. Equilibrium shape model of headland-bay and application in South China coasts[J]. Journal of Oceanography Taiwan Strait, 2006, 25(1): 123-129. 李志龙, 陈子桑. 岬间砂质海岸平衡形态模型及其在华南海岸的应用[J]. 台湾海峡, 2006, 25(1): 123-129.
- [7] ZHUANG K L, ZHUANG Z Y, LI G X. Five analytic models of coastal erosion[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18(2): 97-101. 庄克琳, 庄振业, 李广雪. 海岸侵蚀的解析模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(2): 97-101.
- [8] BAO S L, YU Z Y, LIU C Z, et al. Approach to the evolution model of sand coast erosion—A case study of eroded coast in south Shandong of China[J]. The Ocean Engineering, 2003, 21(3): 94-99. 包四林, 虞志英, 刘苍宇, 等. 砂质海岸岸滩侵蚀演变模式探讨——以山东南部海岸侵蚀岸段的岸滩演变为例[J]. 海洋工程, 2003, 21(3): 94-99.
- [9] YIN P, WANG J C, LÜ J F, et al. Development, Deployment and measurement of streamer sediment trap[J]. Coastal Engineering, 2003, 22(2): 8-14. 印萍, 王景川, 吕京福, 等. 旌式泥沙捕获器的研制和施测[J]. 海岸工程, 2003, 22(2): 8-14.
- [10] China Meteorological Administration. Temperature diagram of Yingkou City in December 2013[EB/OL]. (2013-12-01)[2016-12-20]. <http://lishi.tianqi.com/yingkou/201312.html>. 中国气象局. 营口市 2013 年 12 月份气温走势图[EB/OL]. (2013-12-01)[2016-12-20]. <http://lishi.tianqi.com/yingkou/201312.html>.

Development and Application of Cage-Shaped Sediment Trap

WANG Wei-wei¹, MA Gong-bo¹, CHENG Lin², YUAN Lei¹, WANG Chuan-jun¹

(1. *National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China;*

2. *Institute of Geographic Science, Hebei Academy of Science, Shijiazhuang 050021, China)*

Abstract: For observing effectively the shoal sediment migration at different height from the seabed and in different direction, a cage-shaped sediment trap has been developed and then used for measuring the shoal sediment migration in the Baisha Bay of the Liaodong Bay. The results from the observation show that the sediment transportation near the seabed occurs mostly in the range of 45 cm above the seabed, whereas at the height of 100 cm from the seabed the amount of sediment transportation is precious little. With the increase of height from the seabed, the mean grain size of the sediment changes from large to small, the sand content in the sediment changes from high to low and the clay content changes from low to high. In different directions, however, no obvious change law has been observed both in the mean grain size and in the compositions of the sediment. The measured results have indicated that the cage-shaped sediment trap can be used not only for the simultaneous observation of sediment migration in multiple directions, but also for the simultaneous observation of sediment migration at different horizons. The successful application of the trap has certain application value for the analysis of sediment structures at the seabed boundary layer.

Key words: cage-shaped sediment trap; sediment transportation; boundary layer

Received: February 21, 2017