

范勇勇, 吴文娟, 毕乃双, 等. 2020 年黄河水量调度对河口水文特征的影响及沉积效应[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(10): 43-51.

FAN Yongyong, WU Wenjuan, BI Naishuang, et al. Impact of water regulation of the Yellow River on the hydrological characteristics of the estuary and sedimentary effects in 2020[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(10): 43-51.

2020 年黄河水量调度对河口水文特征的影响及沉积效应

范勇勇¹, 吴文娟¹, 毕乃双^{2,3}, 徐丛亮¹, 孙中强⁴

(1 黄河河口海岸科学研究所, 东营 257091; 2 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 3 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100; 4 中国海洋大学山东省海洋环境地质工程重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 由于水利工程的影响, 黄河的调水调沙通常都集中在较短的时间内进行, 大量的泥沙与淡水输入到黄河口海域, 使得该区域成为水文要素特征和地貌变化最为剧烈的区域之一。根据 2020 年大量的水文实测和地形资料, 分析了黄河口海域温度、盐度时空分布变化规律和水下地形冲淤演变特征, 探讨了黄河入海水沙对黄河口海域盐度分布和水下地形的影响。研究发现, 2020 年黄河水量调度极大改变了河口盐度及其分布, 低流量时期盐度整体较高, 低盐区分布范围有限; 高流量时期盐度显著降低, 低盐区水体范围明显扩大, 满足了河口环境水流需求。黄河口海域 2019—2021 年整体呈淤积状态, 现行河口区出现淤积, 而孤东近岸、老河口区及离岸较深的海域呈冲刷状态, 入海泥沙情势的变化对河口及毗邻海域的冲淤特征起着主导作用。

关键词: 黄河口; 水文要素特征; 冲淤演变; 水量调度

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.154

0 引言

黄河是中国第 2 大长河, 以水少沙多、水沙异源著称, 每年携带大量的水沙在山东省垦利县注入渤海。受气候以及流域地质地貌特征等因素的影响, 黄河入海水沙量呈现明显的季节性变化, 每年的非汛期仅有不到全年入海水沙量 20% 的黄河水沙被输送至渤海, 汛期的水沙量约占全年的 80% 以上^[1]。自 2002 年 7 月, 黄河水利委员会开始实施调水调沙, 在短短的十几天之内将占全年 30% 以上入海淡水和泥沙输送至渤海^[2], 改变了自然状态下黄河水沙入海的状况, 并在河流径流和海洋动力相互作用下在黄河口海域进行输移扩散, 带来丰富的冲

淡水和营养物质, 有利于维护物种生境。

黄河水利委员会在 2008 年首次正式实施生态调度, 于 3—6 月份即河口地区鱼类洄游及产卵的关键时期塑造适宜的生态流量过程, 6 月底结合调水调沙有计划地对河口三角洲湿地生态系统进行补水^[3]。2020 年, 黄河水利委员会结合汛期黄河防汛需要以及实施下游生态调度, 为河口三角洲补水, 改善河口生态, 开展了防御大洪水实战演练, 实施全河水库联合调度, 6 月 24 日 8 时起, 小浪底水库以 3 500 m³/s 流量下泄, 逐步加大至 4 000、4 500、4 700、5 000 m³/s, 6 月 28 日 8 时起以峰值流量 5 500 m³/s 下泄 12 h。在黄河下游形成 5 000 m³/s 流量级洪水过程, 分别在下游花园口、夹河滩、高村、孙口等主要水文断面形成 5 520、5 360、5 120、5 020 m³/s 的洪峰流量^[4], 本次调度取得了河道过流能力提升、黄河三角洲获得生态补水、小浪底水库排出淤沙扩大库容等多重效果。

黄河短时间大量入海水沙的注入改变了黄河口海域的水文要素和地貌特征, 入海冲淡水在余流作用下长期向莱州湾输送, 为该海域的生物提供了

收稿日期: 2022-05-13

资助项目: 国家自然科学基金委员会与山东省人民政府联合资助项目 (U1706214)

作者简介: 范勇勇 (1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事黄河口河流海岸水文和地貌观测方面的研究工作. E-mail: 15621187160@163.com

低盐产卵场和栖息地环境^[5],泥沙在河海相互作用下在河口滨海区发生输运、扩散、沉降及再悬浮等过程,河口地貌随之发育塑造演变。本研究基于2020年2次大面站海洋水文调查和2019—2021年地形资料,结合同期黄河利津水文站水沙资料,分析了黄河口海域温度、盐度时空分布变化规律,探讨了不同流量条件下黄河入海水沙对黄河口海域盐度分布和海底地形的影响,以期为黄河三角洲的海岸管理和生态保护提供科学依据。

1 材料与方法

本文所用盐度资料来自于2020年6月和7月2个航次的大面观测资料(图1),其中6月航次外业调查时间为2020年5月31日至6月7日,共完

成38个站位的监测,7月航次外业调查时间为2020年7月15—27日,共完成49个站位的监测。测验过程中调查船搭载 Trimble SPS 351 信标机和 HY1602 测深仪进行定位和水深的测量,在每个观测站点采用 SBE 19plus V2 CTD 温盐深仪进行水温 and 盐度剖面的观测,同时取水样用实验室盐度计(SYA2-2型)进行校正,并收集了2020年利津水文站水沙数据。黄河现行河口区2019—2021年测深资料来自黄河口水文水资源勘测局8—10月份的黄河口水下地形调查,调查范围以河口为中心两侧各10 km,自海岸向外延伸15~35 km,水下地形调查采用 Trimble SPS351 型信标机和 BATHY-500DF 测深仪联合作业,在岸边设置潮位站进行水深改正,水深数据统一以黄海基准面为基准。本文文件坐标为1954年北京坐标系,采用高斯投影6°带,单位为m。

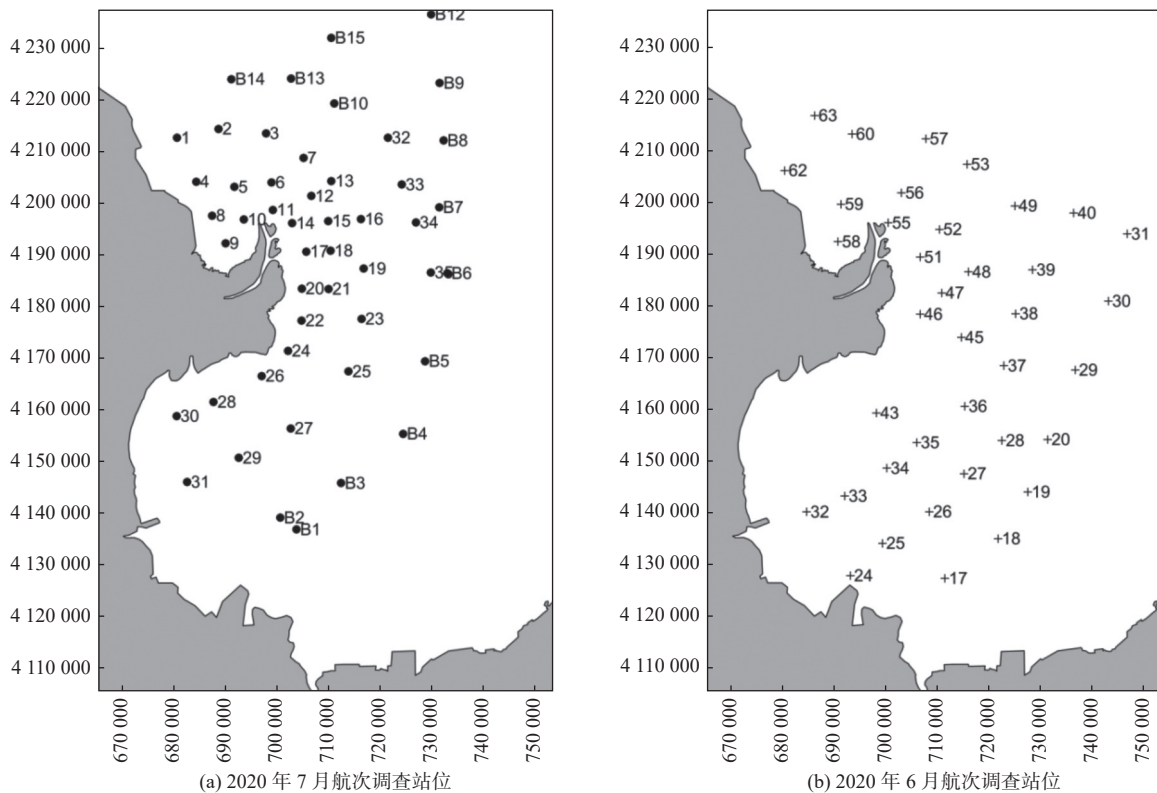


图1 2020年6月和7月航次调查站位

Fig.1 Survey stations in June and July 2020 cruises

2 黄河口海域水文要素特征

2.1 黄河口海域温盐空间分布特征

表层盐度的变化范围为3.0~29.7 psu, 中层的变化范围为10.8~31.2 psu, 底层的变化范围为

18.4~31.2 psu, 整体上近岸海水盐度明显低于外海区域(图2)。平面上表层水体的盐度值多 <27 psu, 27 psu等盐度线包围面积为2 707.3 km²。黄河入海后的低盐冲淡水主要分布在河口附近,形成盐度低值区,向河流主轴线右侧偏转,在潮流和余流的作用下向外海扩散,整体呈舌状向东偏南方向伸展;而在研究区的东部和北部受入海淡水的影响小,形

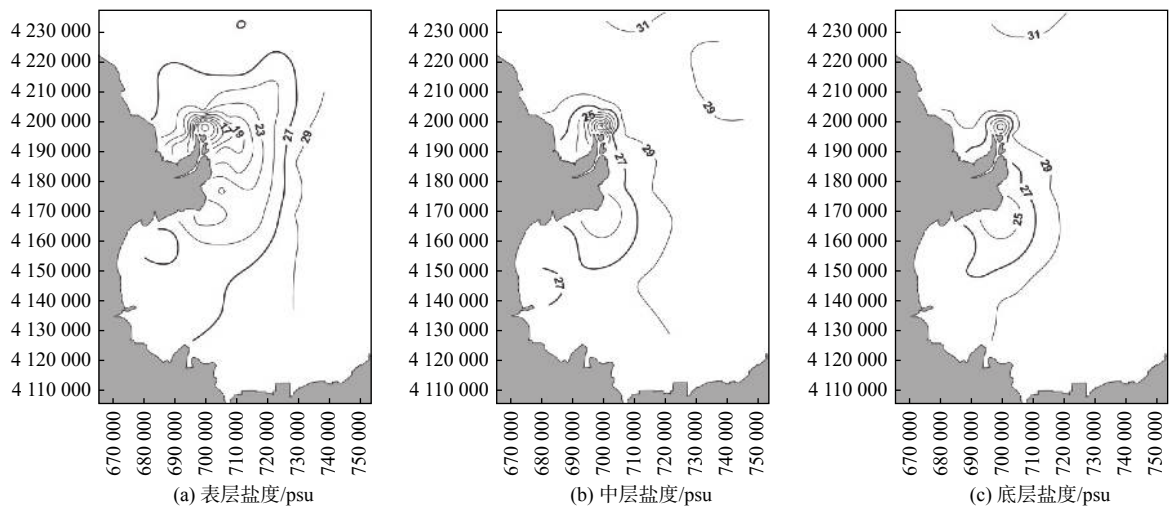


图 2 黄河口海域 7 月盐度空间分布

Fig.2 Spatial distribution of salinity in the Yellow River Estuary and its adjacent sea in July

成 2 个高盐度海域。在中层和底层, 高盐海水占据了水体的绝大部分, 盐度值多在 27 psu 等值线以上, 低于 27 psu 冲淡水的分布局限于黄河三角洲沿岸, 在河口以南有向莱州湾南部扩散的趋势, 包围面积分别为 651.5 和 480.5 km²。对比河口左右两岸的盐度值, 右岸的盐度值更低且范围较大, 反映了冲淡水向右岸的扩散量大于左岸, 这是因入海淡水受到科氏力作用向右偏转扩散所致。从表层、中层、底层的盐度分布可以看出, 表层海水盐度明显低于中层和底层, 并且扩散范围大, 异轻羽状流是入海冲淡水向外扩散的主要形式。

研究区域表层、中层、底层的温度变化范围分别为 23.7~30.3 °C、18.6~29.1 °C 和 18.4~28.9 °C, 表层水体温度要高于中层, 底层最低, 这与水深有关, 总体表现为近岸高、离岸低的特征。表层水体

高于 27 °C 的高温区主要出现在入海口门和莱州湾西部, 并向渤海中部呈舌状突出, 包围面积达 3 406.2 km²; 低温区则分布在黄河入海口的北部。中层与底层水温的分布类似, 浅水区水温高, 深水区水温低, 整体由南向北递减, 高于 25 °C 的水体出现在近岸浅海海域, 中层和底层 25 °C 温度等值线包围面积分别为 1 819.7 和 1 030.5 km²(图 3), 显示了水温与水深的关系, 主要是由于浅水区水深浅, 热容小, 在吸收相同热量的条件下, 温度要高于深水区。

2.2 黄河口海域温盐垂向剖面特征

从垂线变化特征来看(图 4), 站位 11 处于黄河入海口门前方, 水深较浅, 受黄河入海淡水的影响显著, 盐度整体较低, 垂向上随着水深的增加而增

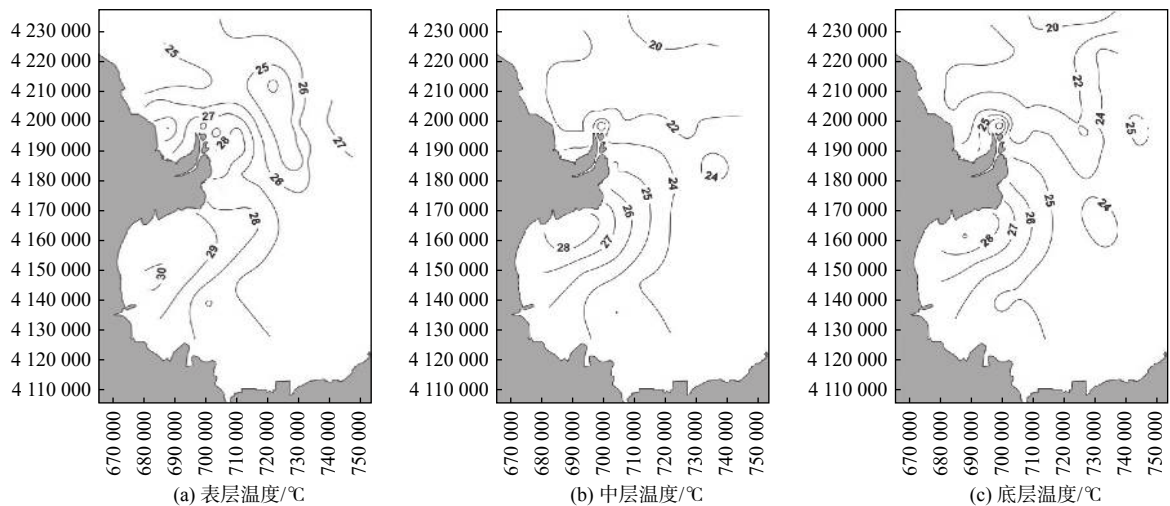


图 3 黄河口海域 7 月温度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of temperature in the Yellow River Estuary and its adjacent sea in July

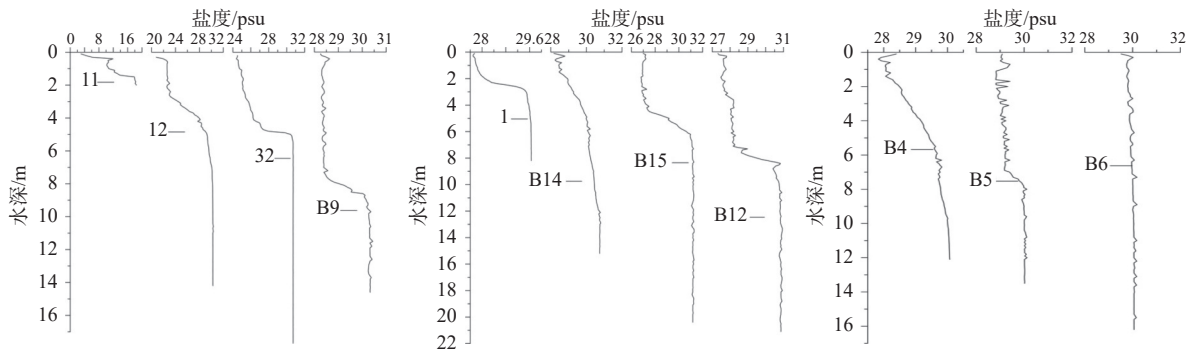


图4 7月站位盐度垂线图

Fig.4 Salinity variation with depth in each station in July

加,黄河入海径流能影响到底层水体。口门向深水方向的站位 12、32 和 B9 垂向上发生切变,出现盐度跃层,表现为低盐水体分布在盐度跃层以上且随着水深增加盐度增加,而在跃层以下垂向分布均一,达到 30 psu 以上,没有明显的层化现象,切变点以下为海水层,淡水不能透过切变点向下传递,海水却可以透过切变点向上入侵,这导致垂向上淡水性质逐渐降低,至切变点降为海水性质。位于研究区北部的站位也表现出这样的特征,表明在河流冲淡水向海扩散过程中,低盐水主要通过表层水体向外扩散。位于研究区东部深水海域的 B4、B5 和 B16 站位除表层水体有变化外,水体盐度整体上具有垂向分布均一、无盐度跃层、呈现为海水的特征,说明黄河入海淡水扩散范围有限,对此海域的水体影响很小。

站位温度垂向变化特征显示(图 5),站位 11 水深较浅,垂向上随着水深的增加水体温度降低,水深较深的其余站位整体上表现出切变现象,呈现明显的温度跃层,在跃层以上的温度随着水深增加,水体温度逐渐降低,而在跃层以下水体温度愈加稳定、均一。水深越深的站位温度跃层越显著,同时温度跃层的深度随着水深的增加而加深,而在近岸

的站位则水体垂向温度变化不大,且没有温度跃层。海水温度受到径流海流影响,还受到地形水深以及太阳辐射的影响,靠近入海口门的海域受到黄河入海高温径流的影响较大。

3 黄河入海水沙对黄河口海域盐度分布和水下地形的影响

3.1 黄河利津水文站来水来沙变化特征

黄河入海水沙量年内分配不均,表现出明显的丰枯水期特征,2020 年汛期(7—10 月)的径流量占比高达 68.22%,各月均达到 38 亿 m^3 以上,输沙量占比为 84.81%,各月均达到 2 300 万 t 以上,而非汛期 8 个月的径流量占比只有 31.78%,最大值为 6 月份的 28.23 亿 m^3 ,输沙量占比只有 15.19%,最大值为 6 月份的 2 267 万 t。2020 年黄河利津水文站入海径流量和输沙量在 1—8 月份整体呈上升趋势,黄河生态调度从 4 月 1 日起正式启动,4 月份径流量开始明显增加,相较于 3 月份增加了 1.5 倍,7 月份表现出大幅度增加,8 月份达到最大值 77.17 亿 m^3 ,这为河口及近海海域持续补充了大量的淡水和泥

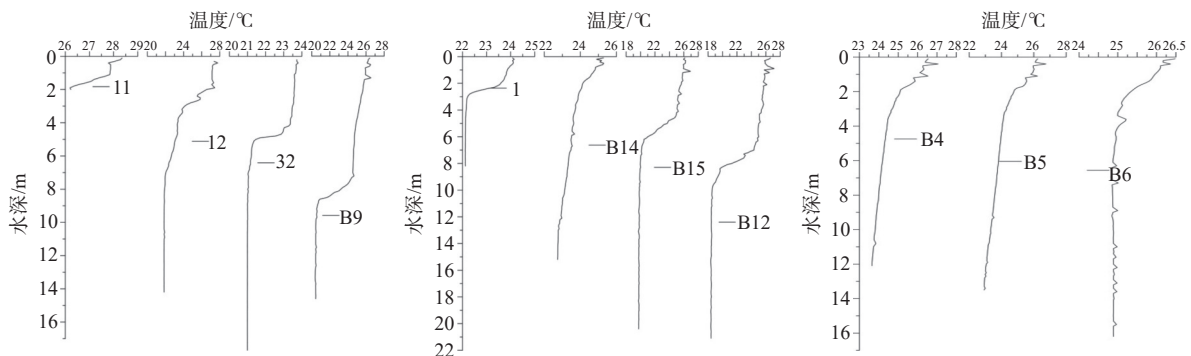


图5 7月站位温度垂线图

Fig.5 Temperature variation with depth in each station in July

沙, 之后开始减少(图 6)。防御大洪水演练期间, 黄河利津水文站流量最小值为 $1\,270\text{ m}^3/\text{s}$, 7 月 3 日流量达到 2020 年最大值 ($4\,460\text{ m}^3/\text{s}$), 含沙量均在 $7.26\text{ kg}/\text{m}^3$ 以上(图 6)。7 月航次调查期间流量最

小为 $1\,570\text{ m}^3/\text{s}$, 最大为 $2\,930\text{ m}^3/\text{s}$, 含沙量均达到 $11\text{ kg}/\text{m}^3$ 以上, 而 6 月航次调查期间最大流量仅为 $722\text{ m}^3/\text{s}$, 含沙量最大 $1.97\text{ kg}/\text{m}^3$, 补充到海洋中的入海水沙相对较小(图 6)。

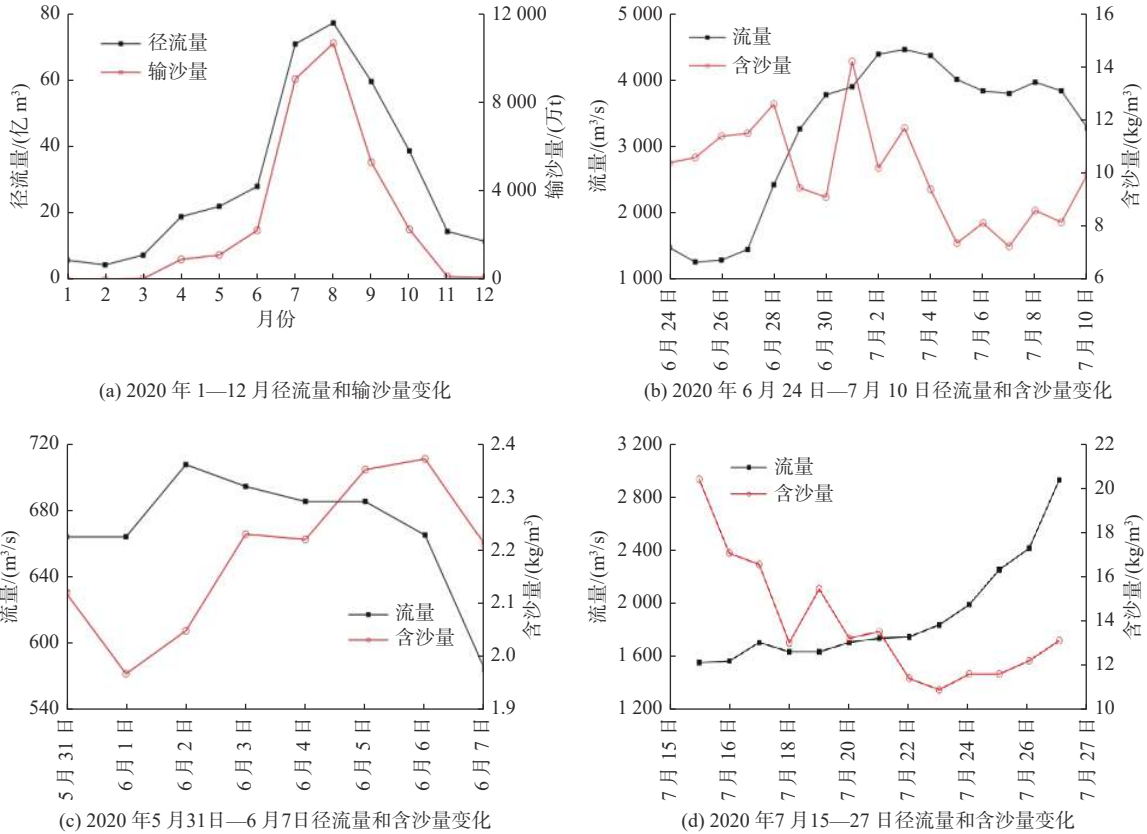


图 6 黄河利津水文站径流量、输沙量和含沙量变化

Fig.6 Variations of flow, sediment discharge and sediment concentration at Lijin Station

3.2 黄河口海域盐度变化及影响分析

6 月份航次表层盐度变化范围为 $19.2\sim 29.7\text{ psu}$, 相比于 7 月航次变化幅度较小, 盐度整体较高, 绝大多数测站盐度值在 27 psu 以上, 中层和底层的盐度也表现为相对较高的特征。低盐区作为陆源物质的富集海区, 许多海洋动物在此产卵、育幼和索饵, 成为海洋生物的重要生存空间^[6], 本文以 27 psu 作为黄河口及近海水域低盐区范围的外边界^[7], 6 月份航次调查期间低盐区水体仅分布在入海口门附近和莱州湾西部近岸海域(图 7), 27 psu 等盐度线包围面积仅为 364.2 km^2 , 相较于 7 月航次面积减少了 86% , 1—5 月份黄河入海径流量较少, 在低流量状态下河口淡水向外海扩散范围很小, 对外海盐度的稀释作用有限, 低盐区范围显著缩小。从盐度的垂向分布看(图 7), 除靠近入海口的站位表层受到冲淡水的稀释盐度降低, 出现盐度切变现象, 其

他大面站垂线全部呈现海水特征, 说明径流已不能扩散到这些位置, 入海淡水影响的范围有限。

4 月份开始的黄河生态调度和 6 月份开始的黄河防御大洪水演练使入海径流量大幅度增加, 黄河入海径流经射流扩散、潮流搬运、余流输送等途径, 主体以冲淡水羽状流的形式在表层向外海扩散, 沿岸呈扇面分布, 但影响范围有限, 垂向上 7 月份航次盐度和温度跃层明显, 存在一个淡水向海水切变点, 黄河入海淡水难以向底层混合, 有利于扩散到更远的距离, 扩大和维持低盐度海区范围^[8]。莱州湾平均盐度的年际变化和月均变化均主要受黄河入海径流影响^[9-10], 径流量的大小决定了淡水的扩散距离, 径流入海对河口流速有明显的增大作用, 利于淡水向外海扩散^[11]。7 月航次调查期间, 随着大流量的不断下泄, 研究区各表层等盐度线包围面积均明显大于 6 月份航次(表 1), 冲淡水扩散范围远大于低流量时期, 等盐度线向外海延伸范围明显

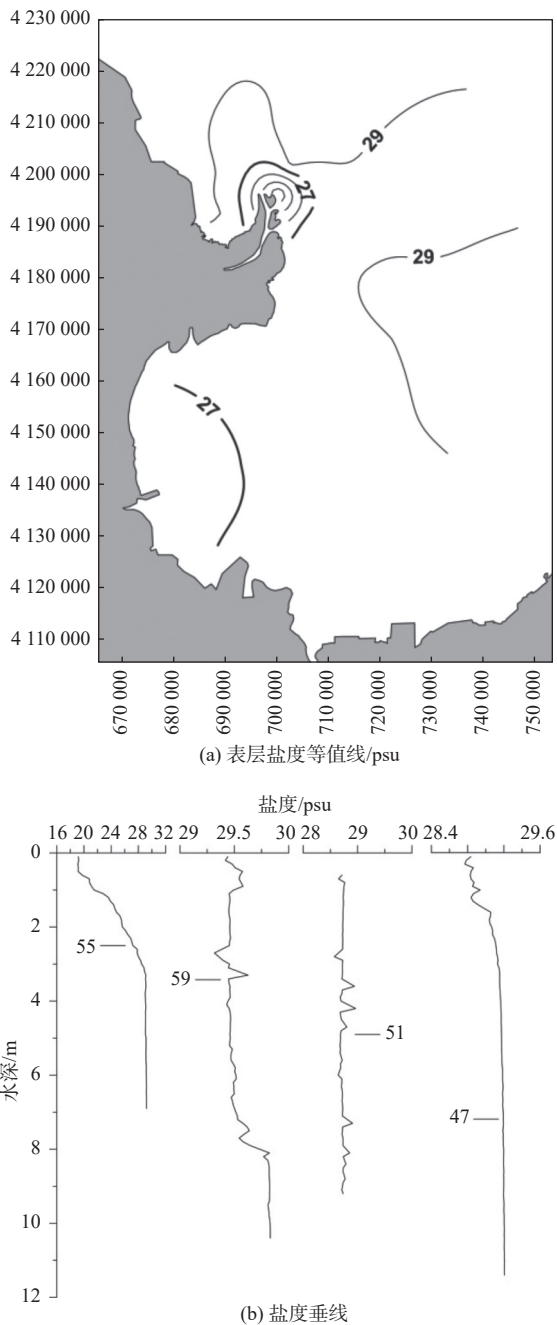


图 7 6 月航次表层盐度等值线和站位盐度垂线图

Fig.7 The contour map of surface salinity and the salinity variation with depth in each station in June

扩大, 高盐海水受到稀释, 水体盐度降低, 形成较大范围的低盐度海域(图 8)。

有研究表明, 海水的温度和盐度是影响鱼虾繁殖和生长的关键因素, 在 5—9 月, 盐度对鱼虾繁殖和生长的影响远大于温度[12-13], 对黄河河口和近海水域生物的生存和分布影响深远。4—6 月是黄河河口及近海水域鱼类的主要产卵期, 而 7—10 月是当年生仔稚鱼生长的主要季节, 此时需要保持适当规模和持续时间的低盐产卵育幼场, 大流量过程对低

表 1 6 月份和 7 月份航次表层盐度等值线包围面积
Table 1 The enclosed area of surface salinity contour in June and July cruises

盐度等值线	6 月份航次面积/km ²	7 月份航次面积/km ²
20	0.2	191.1
21	3.4	276.0
22	7.7	370.0
23	14.7	543.6
24	24.2	856.8
25	40.0	1170.6
26	139.1	1526.5
27	364.2	2707.3
28	1169.1	4061.7
29	3320.8	4665.2
30	5376.2	5086.6

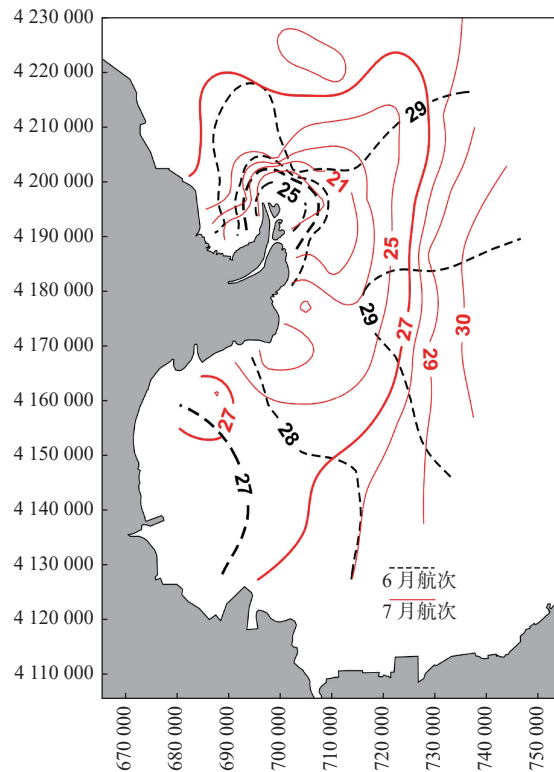


图 8 6 月份和 7 月份航次表层盐度等值线套绘图

Fig.8 Surface salinity contour plot in June and July cruises

盐区面积的扩大和维持具有十分重要的作用[14]。2020 年汛前 4—6 月的月均流量均超过 700 m³/s, 出现明显的流量脉冲过程, 这有利于刺激鱼类产卵, 保证了鱼类产卵繁殖的适宜生态流量[15]。汛期 7—10 月流量超过 2 500 m³/s 的洪水持续时间 10 天以上, 生态调度和黄河防御大洪水演练大流量过程释放的水量为黄河河口海域补充大量的入海淡水和营养盐, 低盐区范围明显扩大, 满足了河口环境水流需求[16-17], 黄河入海冲淡水在余流作用下可一直

扩散到莱州湾的西岸、南岸^[18], 形成整个莱州湾饵料丰富的低盐水产卵场环境, 增加了水生生物栖息地面积和食物来源, 有利于仔稚鱼的生长, 有效改善了河口地区的生态环境以及保护生物多样性。

3.3 黄河口海域地形地貌演化分析

黄河入海水沙的变化不仅显著影响了黄河口水文要素特征, 并且对该区域的地貌演化过程也有着直接影响。根据 2019—2021 年施测的黄河河口水下地形数据绘制等深线套绘图(图 9)。从图中可以看出, 在入海东口门和北口门等值线呈舌状向海突出, 在入海口门附近较浅的海域等深线向海淤进

变化较明显, 较深的海域和口门两侧的海域变化幅度不大, 这说明黄河入海泥沙扩散范围有限, 由于受切变锋的阻隔作用, 绝大部分黄河入海泥沙均沉积在 10 m 等深线以内的口门及其邻近海域^[19]。2019—2020 年等深线包围面积除离岸较深的 14、15 和 16 m 减少外, 其余等深线包围面积增加, 绝大部分等深线向海淤进, 海域以淤积为主, 其中, 最大淤进是 6 m 等深线, 等深线包围面积达到 24.85 km²; 最大蚀退是 16 m 等深线, 等深线包围面积达到 4.04 km²。2020—2021 年等深线包围面积均增加, 其中, 最大淤进是 4 m 等深线, 等深线包围面积达到 16.38 km²。

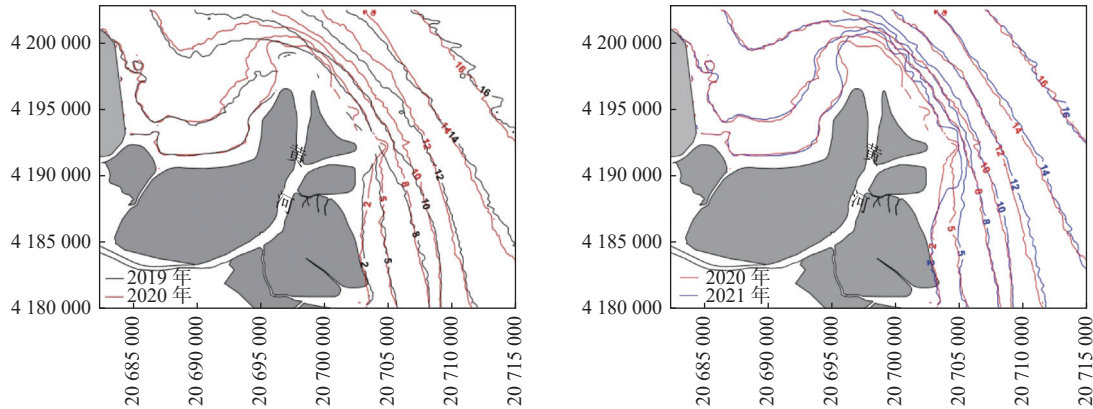


图 9 黄河口海域 2019—2021 年等深线套绘图

Fig.9 Isobathic chart in the Yellow River Estuary and its adjacent sea in 2019-2021

2019—2020 年黄河口海域整体处于淤积状态(图 10a), 淤积面积为 251.07 km², 冲刷面积为 209.4 km², 净淤积面积为 41.68 km², 平均淤积厚度 0.36 m, 净淤积体积为 1.71 亿 m³, 黄河口海区泥沙容重取 1.533 t/m³^[20], 计算的净淤积量为 2.62 亿 t。2020—2021 年黄河口海域整体也处于淤积状态

(图 10b), 淤积面积为 313.65 km², 冲刷面积为 146.82 km², 净淤积面积为 166.83 km², 平均淤积厚度 0.33 m, 净淤积体积为 1.56 亿 m³, 计算的净淤积量为 2.39 亿 t, 相较于 2019—2020 年淤积范围明显扩大, 但平均淤积厚度和净淤积体积减少。在黄河入海北口门和东口门前方海域形成 2 个淤积中心,

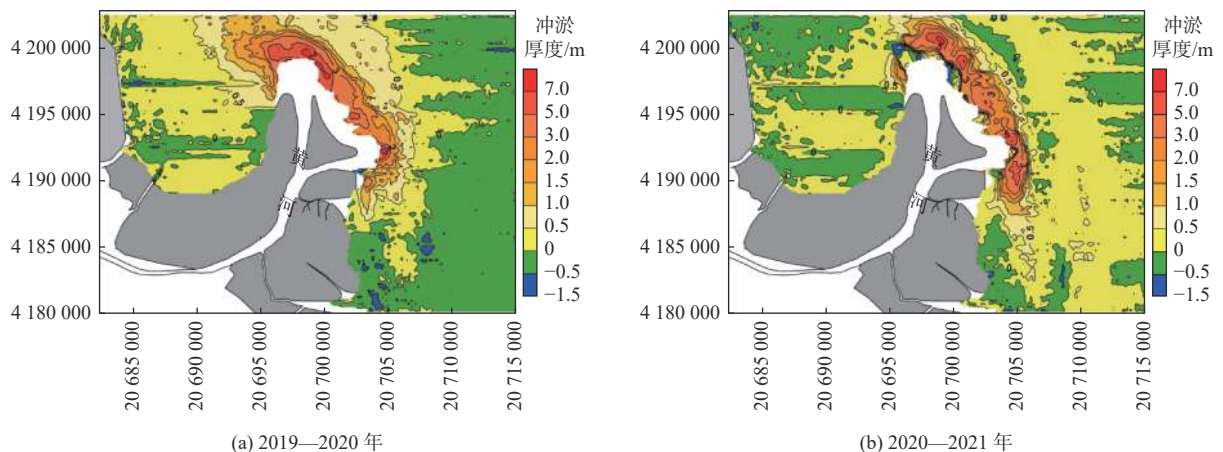


图 10 黄河口海域冲淤分布

Fig.10 Distribution of erosion and deposition thickness in the Yellow River Estuary and its adjacent sea

淤积形态呈长轴平行于岸线、短轴垂直于岸线的不规则椭圆形,淤积厚度超过3 m的区域仅局限在河口外10 m等深线以内。2019—2020年淤积厚度超过1 m的范围达55.7 km²,最大淤积厚度约为8.2 m;2020—2021年淤积厚度超过1 m的范围达41.4 km²,最大淤积厚度约为7.5 m。冲刷区域主要分布在孤东附近、老河口区及离岸较深的海域,由于近年来黄河入海水沙量的减少,入海泥沙扩散范围有限,缺乏河流泥沙的直接补给,海洋动力相对增强的这些区域受到冲刷^[21]。黄河来水来沙情势直接影响河口滨海区的冲淤演变,2020年黄河水量调度使入海水沙量急剧增加,入海径流量和输沙量分别达到359.6亿m³和3.14亿t,泥沙堆积过程占优势,海洋动力作用影响相对较小,现行河口海域发生淤积。2021年相较于2020年入海水量增加,沙量减少,洪峰持续的时间较长,这有利于入海泥沙向外海扩散到更远的范围,使2021年研究区内淤积的范围明显扩大,同时地形的淤进也有利于低盐度海水扩散到更大的范围^[22]。2016—2017年调水调沙中断,河口滨海区大面积蚀退,而2018年恢复调水调沙后,水下地形迅速淤积,对入海水沙的响应最为突出,这揭示了黄河入海泥沙对河口滨海区的冲淤演变起着主导作用^[23],黄河入海水沙情势的改变使河口地貌演变也出现了新的态势。

4 结论

(1)黄河入海径流在低流量期间对河口海域盐度影响较小,低盐水体仅分布在入海口门附近和莱州湾西部近岸海域,入海冲淡水向外海扩散范围很小,影响范围十分有限,水体呈海水特征。

(2)防御大洪水演练高流量影响下,垂向上出现不同温盐切变现象形成跃层,表层受黄河冲淡水影响显著,盐度降低,而中、底层则主要受控于外海高盐水体;入海冲淡水主要以羽状流的形式在表层离岸扩散但影响范围有限。

(3)黄河生态调度和防御大洪水演练使入海水量显著增加,受径流影响冲淡水扩散范围远大于低流量时期,低盐区范围显著扩大,满足河口段环境水流需求,这有利于河口海域海洋生物繁殖发育。

(4)黄河入海泥沙对河口滨海区的冲淤演变起着主导作用。河口海域在大量泥沙补给的影响下,2019—2021年整体呈淤积状态,从空间上来看,现行河口区出现淤积,而孤东近岸、老河口区及离

岸较深的海域呈冲刷状态,淤积中心形态呈不规则椭圆形。

参考文献:

- [1] 杨作升,李国刚,王厚杰,等. 55年来黄河下游逐日水沙过程变化及其对干流建库的响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(6): 9-18.
- [2] 毕乃双. 黄河三角洲毗邻海域悬浮泥沙扩散和季节性变化及冲淤效应[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [3] 司源,王远见,任智慧. 黄河下游生态需水与生态调度研究综述[J]. 人民黄河, 2017, 39(3): 61-64.
- [4] 黄玉芳,娄广艳,葛雷,等. 基于时间序列遥感的2020年黄河三角洲湿地补水效果监测[J]. 人民黄河, 2021, 43(7): 89-93.
- [5] 谷源泽,徐丛亮,张朝晖,等. 黄河入海淡水对海洋生态调控响应研究[J]. 人民黄河, 2019, 41(8): 68-75.
- [6] 赵进平,侍茂崇,李诗新. 低盐区及渤海低盐区的盐度特征[J]. 海洋科学集刊, 1998: 249-260.
- [7] 肖纯超,张龙军,杨建强. 2004—2009年黄河口近岸海域低盐区面积的变化趋势研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(6): 40-46.
- [8] 李泽刚. 黄河口附近海区水文要素基本特征[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 20-28.
- [9] 赵鹏,江文胜,毛新燕,等. 2000—2005年莱州湾盐度的变化及其主要影响因素[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(1): 12-23.
- [10] 张洪亮,杨建强,崔文林. 莱州湾盐度变化现状及其对海洋环境与生态的影响[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(S1): 11-14.
- [11] 顾晨. 波流共同作用下黄河入海悬浮物质三维扩散规律研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 1-78.
- [12] 刘晓燕,连煜,可素娟. 黄河河口生态需水分析[J]. 水利学报, 2009, 40(8): 956-961.
- [13] 薛小杰,巩琳琳,黄强. 黄河河口生态需水量研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(8): 223-229.
- [14] 于守兵,凡姚申,余欣,等. 黄河河口生态需水研究进展与展望[J]. 水利学报, 2020, 51(9): 1101-1110.
- [15] 张爱静,董哲仁,赵进勇,等. 黄河水量统一调度与调水调沙对河口的生态水文影响[J]. 水利学报, 2013, 44(8): 987-993.
- [16] 刘晓燕,连煜,黄锦辉,等. 黄河环境流研究[J]. 科技导报, 2008, 26(17): 24-30.
- [17] 拾兵,李希宁,朱玉伟. 黄河口滨海区生态需水量研究[J]. 人民黄河, 2005, 27(10): 76-77.
- [18] 毕乃双,杨作升,王厚杰,等. 黄河调水调沙期间黄河入海水沙的扩散与通量[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(2): 27-34.
- [19] 徐丛亮,李金萍,谷硕,等. 黄河调水调沙入海切变锋分析[J]. 人民黄河, 2014, 36(1): 18-21.
- [20] 何传光,李小娟,左学玲. 黄河口滨海区泥沙容重试验分析研究[J]. 水资源开发与管理, 2017(4): 70-72.
- [21] 陈小英,陈沈良,李九发,等. 黄河三角洲孤东及新滩海岸侵蚀机制研究[J]. 海岸工程, 2005, 24(4): 1-10.
- [22] 卢昱岑,沈永明,张明. 地形演变对黄河口切变锋位置及盐度分布的影响[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2012, 27(3): 348-358.

[23] 韩香举, 陈沈良, 付作民, 等. 现行黄河口滨海区冲淤时空演

变及其影响因素[J]. 海洋通报, 2020, 39(5): 567-580.

Impact of water regulation of the Yellow River on the hydrological characteristics of the estuary and sedimentary effects in 2020

FAN Yongyong¹, WU Wenjuan¹, BI Naishuang^{2,3}, XU Congliang¹, SUN Zhongqiang⁴

(1 Institute of the Yellow River Estuary and Coast Science, Dongying, 257091, China; 2 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Technique, Ministry of Education, Qingdao 266100, China; 3 Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 4 Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Environment and Geological Engineering (MEGE), Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Due to the influence of water conservancy projects, the water and sediment regulation of the Yellow River is usually carried out in a relatively short period of time, and a large amount of sediment and fresh water are transported to the adjacent areas off the Yellow River Estuary, which resulted in the most dramatic changes in hydrological characteristics and geomorphology. Based on a large number of measured data in 2020, the temporal and spatial distribution of temperature and salinity, and the evolution of submarine topography were analyzed in detail, and the influence of water and sediment of the Yellow River on salinity distribution and underwater topography were discussed. Results show that the water regulation of the Yellow River has greatly changed the salinity distribution. The salinity is higher in low flow period, and the distribution range of low salinity area is limited. During the period of high discharge, the salinity decreased significantly, and the water range in the low salinity area expanded significantly, which satisfied the flow demand of the estuary environment. The submerged delta has undergone significant deposition. The accretion trend occurred in the active submerged delta in 2019-2021, while the erosion appeared in the old Qingshuigou submerged delta, the Gudong littoral zone, and deeper offshore area. Runoff and sediment load have been playing dominant roles in accretion and erosion characteristics of the adjacent areas off the estuary.

Key words: Yellow River Estuary; hydrological characteristics; erosion and deposition pattern; water regulation