



扎瓦尔港外航道泥沙回淤分析

代占平¹, 吴院生¹, 程林¹, 邢佩旭²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京100027; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京100007)

摘要: 近海航道在使用过程中因潮汐、波浪、水流等因素对泥沙运动的影响会造成航道回淤, 从而需要定期维护。而合理的航道布置和边坡设计将减少运营期内维护成本。根据沙特扎瓦尔港港区自然条件、水深测图等资料, 分析航道淤积趋势; 通过理论分析和数模研究对其产生的原因进行了分析; 在此基础上确定了合理的航道浚后边坡, 以期降低航道在运营期内维护费用。结合理论数据和一段时间内航道运营后复测数据分析, 扎瓦尔港外航道走向和边坡设计是合理的且是被认可的。

关键词: 航道; 回淤分析; 潮汐; 潮流椭圆

中图分类号: U 616⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0110-06

Channel sedimentation of new berths at sandy seacoast

DAI Zhan-ping¹, WU Yuan-sheng¹, CHENG Lin¹, XING Pei-xu²

(1. China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: During the operation of the inshore channel, the channel sedimentation will happen due to moving of sand material under the effect of tide, wave and current. Thereby, the periodic maintenance upon the channel is required. However, the maintenance cost will be reduced once a reasonable channel layout and slope design is adopted. Based on the natural conditions and water level data of Ras Az Zawr port, Saudi Arabia, we analyze the trend of sedimentation of channel and the reason for it by theoretical analysis and numerical simulation. On that basis, we propose suggestions for the logical channel slope, which will cut down the maintenance cost of navigation channel. Based on the analysis of the mathematic parameter and verification of survey data during a period of operation, we know that the channel layout and slope design of Ras Az Zawr port is reasonable and acceptable.

Key words: channel; sedimentation study; tidal; tidal ellipse

沙特阿拉伯半岛东侧、波斯湾西海岸的扎瓦尔港(现更名为凯尔港, RAS AL KHAIR PORT)某EPC项目包含约24 km引航道、调头圆、港池等疏浚工程及相应的导助航设施, 疏浚开挖量达4 500万m³; 3个7万吨级和1个7 000吨级泊位及港区配套设施, 平面布置见图1。因拟建港区为新港, 航道选址、走向、边坡确定显得尤为重要, 既要考虑船舶通航便利, 又得注意航道在使用过程中因潮汐、波浪、水流等因素对泥沙运动的影

响造成航道回淤, 从而降低运营期内航道清淤、维护费用。

根据当地水文资料显示, 港区所处位置最高天文潮位2.1 m, 平均高水位、平均水位和平均低水位分别为1.9 m, 1.04 m和0.3 m; 港区水深从-1~-6 m不等, 外航道介于-5~-17 m, 合约要求港池的设计疏浚底高程为-15.0 m, 船舶调头圆和外航道的设计底高程为-16.2 m, 航道的设计宽度为175 m; 附近海域常年以北风和西北风为主, 平

收稿日期: 2012-10-22

作者简介: 代占平(1963—), 男, 高级工程师, 从事水运工程项目管理。

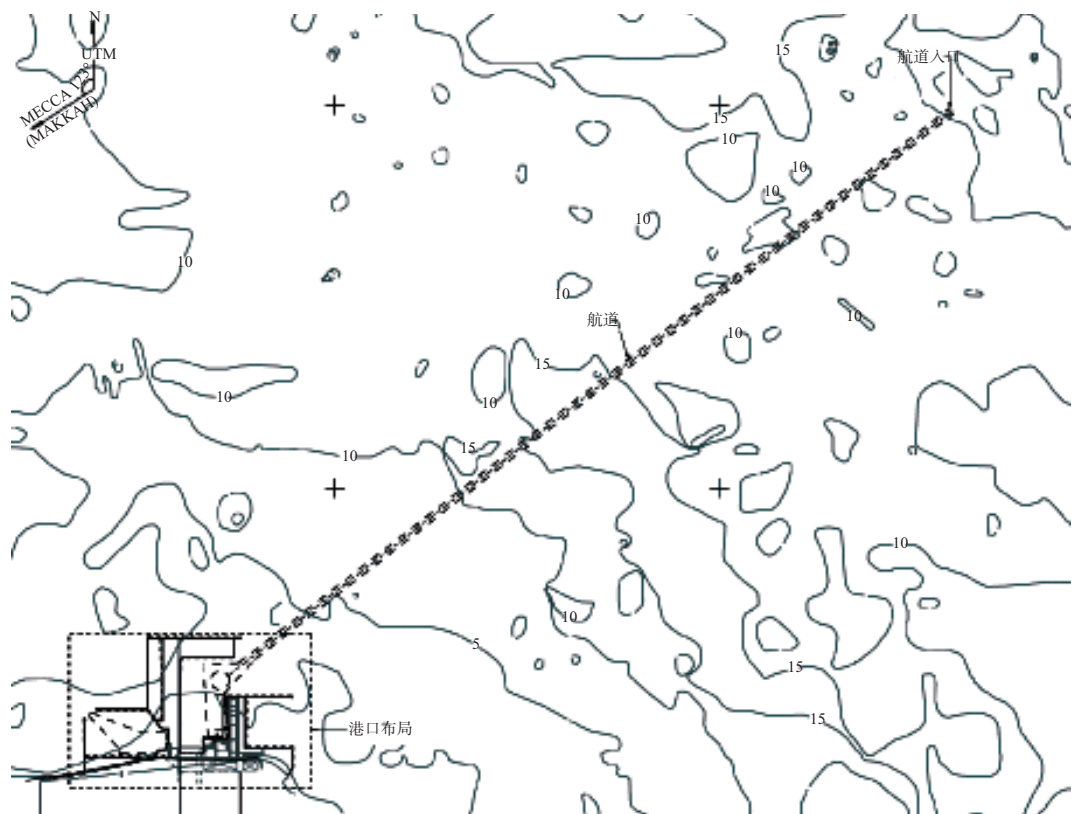


图1 港区总平面布置

均风速3.66 m/s，百年一遇最大风速为45.1 m/s；港区所在海域年平均浪高约为1 m，百年一遇最大浪高可达4~5 m；当地King Fahd大学1990年收集的附近海域水流数据见表1。

表1 King Fahd 大学 1990年收集的扎瓦尔港海域水流数据

观测时期	流态	季节	水深/ m	平均流速		最大流速		风	
				流速/ (cm·s ⁻¹)	流向/ (T/N)	流速/ (cm·s ⁻¹)	流向/ (T/N)	风速/ (cm·s ⁻¹)	风向
1986-02—1986-11	涨潮	冬	水表面	28.4	201	82	176	5.9	N
			3.0	21.2	199	44	322		
1987-01—1987-04	涨潮	冬	水表面	22.1	240	109	229	3.0	NNW
			3.0	28.2	256	98	228		
1986-02—1986-11	落潮	冬	水表面	12	078	54	87	4.9	N
			3.0	23	083	63	85		
1987-01—1987-04	落潮	冬	水表面	37.6	080	97	69	3.3	W
			3.0	36.4	092	88	70		
			5.0	42.3	097	84	69		

注：流向（T/N）以地理方位角表示，指海水流去的方向，以正北方向为0度角。

下面将通过航道回淤规律的探究和数值模型等方法对该项目所在海域内潮汐、波浪、水流等因素对泥沙的迁移速率的影响进行分析，从而研究航道在使用过程中可能发生的回淤现象。

1 航道回淤规律

该地区水文资料显示，水深沿着航道方向不

断变化，从近岸向海侧其水深不断增加，从而导致泥沙迁移速率在航道方向上的不同区段不断变化，这也是研究航道回淤速率和捕集效率的基础。图2为该项目所建港区外航道在不同位置的典型断面。

1) 潮流对航道回淤的影响。

潮流穿过航道的过程也是泥沙在同一路径穿过航道的过程。航道对泥沙的捕集效率取决于航

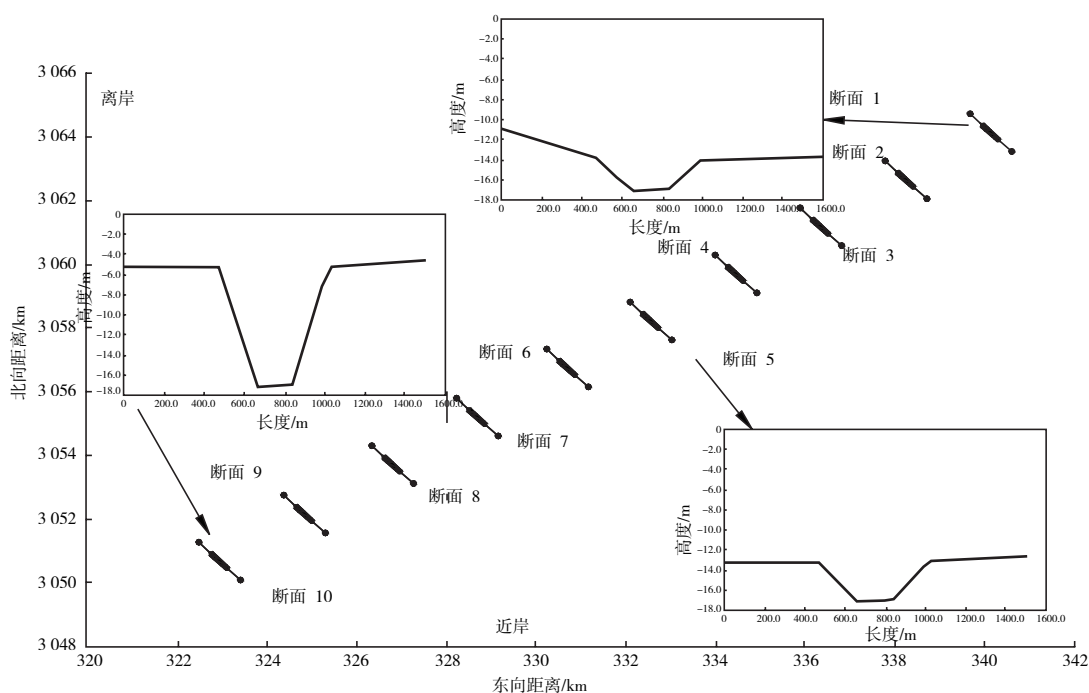
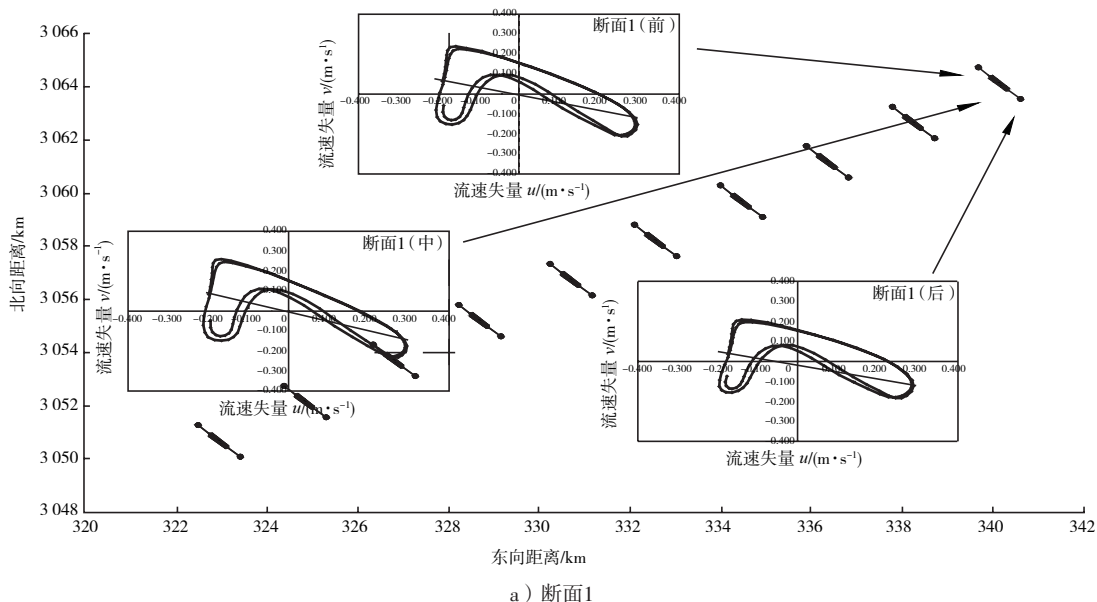


图2 航道在不同位置的典型断面

道的宽度和深度、潮流的迁移速度和方向、泥沙颗粒参数、海水温度等,另外波浪也是影响泥沙淤积的重要因素。

图3表示潮流椭圆经过航道3个不同断面(第1,5,10断面)的前、中、后3个位置时的流速矢量。所谓潮流椭圆即在1个潮汐周期内随时间变化的潮流矢量矢端的连线构成的椭圆。在第1断面位置即远离海岸线海域,潮流沿着接近平行于航道方向穿过航道,因穿过航道的泥沙覆盖面减小使得进入航道的泥沙量相应减小,从而导致泥

沙捕集效率降低,使得该区段回淤量相应减小;而在第10断面位置即接近海岸线处,潮流沿着垂直于航道方向向前推进,潮流椭圆也沿着主轴方向不断变窄,穿过航道的泥沙覆盖面增大使得进入航道的泥沙量相应增加,从而导致泥沙捕集效率升高,使得该区段回淤量相应增加。另外,航道在该区段与附近海床面水深发生突变(航道底高程与附近原始海床面高程相差10 m左右),从而导致泥沙在穿过航道边坡线时因航道边坡的阻滞发生沉积而逐步形成回淤。



a) 断面1

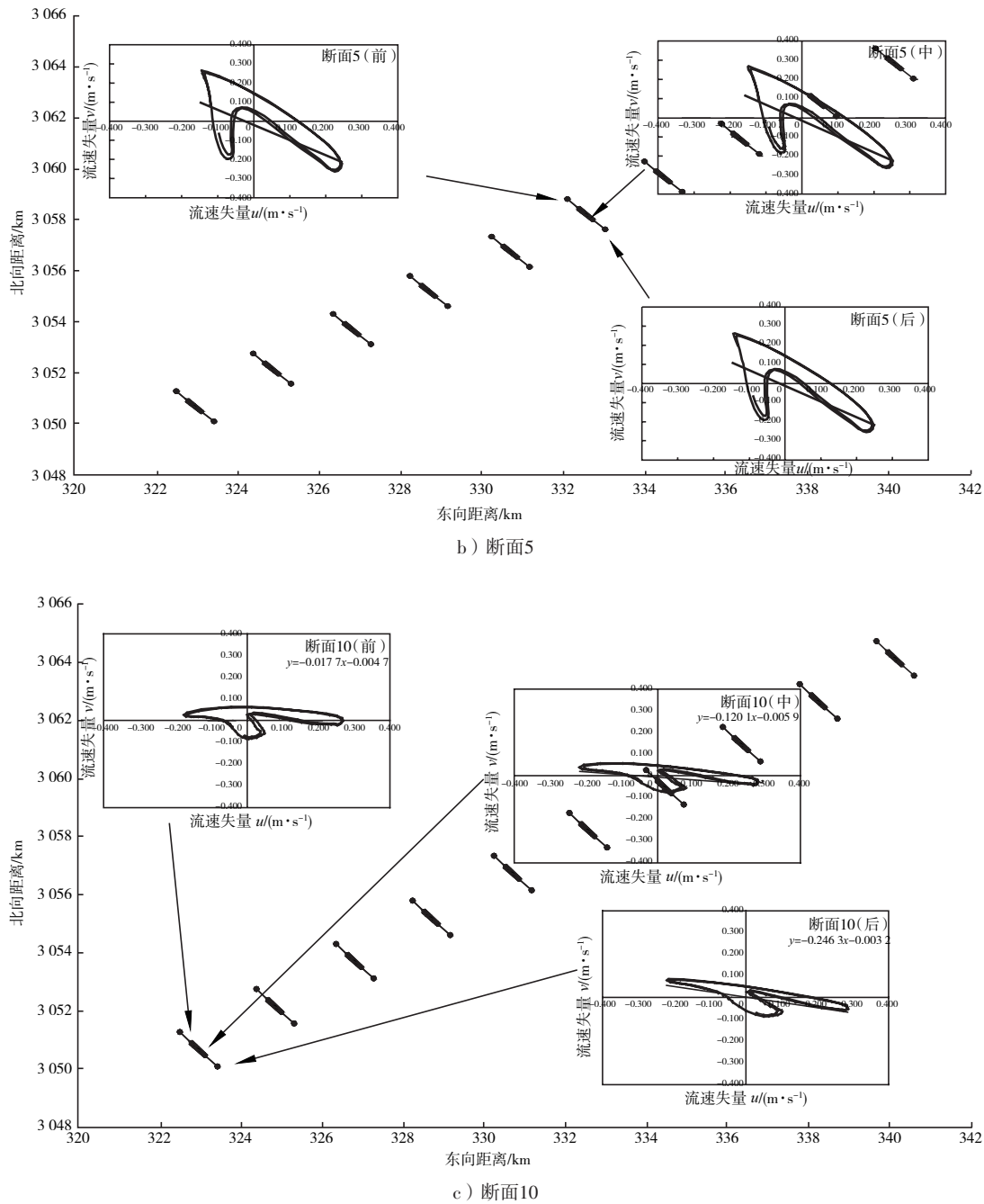


图3 潮流椭圆经过航道断面时的流速矢量 (涨潮, 无风浪)

2) 泥沙运动和回淤的一般规律。

海床面上的泥沙, 既具有可动性, 也具有对运动的抗拒性。因此, 在一种水流条件下, 它会保持静止; 在另一种水流条件下, 它会随水流运动。泥沙由静止状态变为运动状态的临界水流条件, 即为起动流速, 当流速小于起动流速时它保持静止并逐渐在海床或航道等区域形成淤积。航道回淤速率主要由沉积物在迁移过程中的起动流速决定。表2显示了在离岸较远海域发生淤积时不

同粒径沉积物的各项参数, 航道回淤速率与沉积物的各项参数密切相关。

3) 地质勘探状况。

本文所研究的航道沉积物颗粒物理参数数据以业主提供的标前地质资料报告为理论基础, 承包商经过仔细复测, 发现港池和航道区域的海床表面分布有一层约0.1 m厚的珊瑚礁硬壳层 (砂岩帽), 硬壳层以下土层为中密的细砂和中砂并伴有一定的砾砂, 该层分布厚度约为3~5 m, 贯入击

表2 不同粒径沉积物的各项参数

沉积物	中值粒径 $d_{50}/\mu\text{m}$	沉积物 密度 $\rho_s/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	多孔度 系数 P	沉积物干 密度 $\rho_{\text{dry}}/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	泥沙颗粒 流动速度 $w_s/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	海水密度 $\rho/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	比重 S	无量纲颗 粒尺寸 D^*	海底临界 希尔兹参 数 θ_{cr}	泥沙悬浮 希尔兹参 θ_{crs} 数	海底临界 切应力 τ_{cr}/Pa	泥沙悬浮临 界切应力 τ_{crs}/Pa
1类沉积物	100	2 650	0.33	1 775.50	0.006	1 027.00	2.58	2.09	0.088		0.140	
2类沉积物	300	2 650	0.33	1 775.50	0.038	1 027.00	2.58	6.24	0.042	0.310	0.200	1.478
3类沉积物	600	2 650	0.33	1 775.50	0.079	1 027.00	2.58	12.48	0.031	0.666	0.295	6.358

数约为15~30击，再下层的土层为密实到极密实的中砂，贯入击数均大于30击，该类土质对避免航道受船行波和潮流等影响而引起的回淤是有利的。

4) 泥沙运动特性经验公式。

根据文献[1]所提供的经验公式可以计算泥沙在波浪和水流作用下的体积运输率。该公式适用于平坦海床和波浪起伏式海床，且适用在一定水深海域。假定海床面为起伏式海床，取固定海床面糙率长度（0.006 m）计算的阻尼系数为 C_d ，则泥沙在每秒内每延米宽度（沿航道方向）的体积运输率 q_t 为：

$$q_t = A_1 \bar{U} \left[(\bar{U}^2 + \frac{0.018}{C_d} U_{rms}^2)^{0.5} - \bar{U}_{cr} \right]^{2.4} (1 - 1.6 \tan \beta) \quad (1)$$

$$A_s = A_{sb} + A_{ss} \quad (2)$$

$$A_{sb} = \frac{0.005h \left(\frac{D_{50}}{h} \right)^{1.2}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}} \quad (3)$$

$$A_{ss} = \frac{0.012D_{50}D_*^{0.6}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}} \quad (4)$$

式中： A_{sb} 、 A_{ss} 分别表示推移质和悬移质量化比例系数； h 为该海域水深； $\bar{U}$ 为海水平均流速； U_{rms} 为均方根波速； β 为沿水流方向的航道坡度。另外，阻尼系数 C_d 为：

$$C_d = \left[\frac{0.4}{\ln \left(\frac{h}{0.006} \right) - 1} \right]^2 \quad (5)$$

泥沙起动的临界速度 U_{cr} 为：

$$U_{cr} = 0.19D_{50}^{0.110} \lg \left(\frac{4h}{D_{90}} \right) \quad (6)$$

上述经验公式将泥沙在航道的不同区域的体积运输率进行了量化，进而结合该海域的水流、波浪等条件以及泥沙的起动流速，可以对任何区段航道中泥沙的回淤特性进行量化分析，从而完成对航道不同区段在一定时间内的回淤量的评估。

综上所述，根据泥沙运动规律并结合潮流、波浪等对泥沙运动的理论分析，航道回淤最容易在靠近第10断面附近发生；另外通过对运营期内不同航道回淤情况进行调研发现，人工开挖航道回淤随着航道走向不断变化，即越接近海岸回淤越严重，并在航道和港池交汇处达到最大。这就从理论分析和实际考察两方面证实了在水流和波浪的作用下，在港池和航道交汇处回淤量增大的可能。另外不同粒径的沉积物在航道不同区域引起的回淤量也各不相同。一般来说，颗粒越小，回淤越快。

2 航道回淤的数模分析

根据上述对泥沙运动规律的分析，航道可能发生大面积回淤位置发生在第10断面附近，即主航道与港池交汇处往外几百米，集中在主航道宽度内并扩展到航道两侧疏浚边坡线。

以7个不同水文边界条件建立数值模型来分析航道回淤特性，这些边界条件包括：涨潮时（无风浪）、涨潮时且伴随极端风浪气候、落潮时且伴随极端风浪气候（表3）。取航道最远端某点的水文技术参数；为便于经验公式计算，波浪要素取恒定值，但在实际水文条件下波浪要素不断变

表3 航道回淤研究所选取的不同水文条件

水文 条件	潮流	波浪			风	
		浪高/ m	波浪周期/ s	风向/ (°N)	风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风向/ (°N)
水文5	大潮	1.75	5.5	105	10.4	105
水文6	大潮	1.94	5.7	15	11.0	15
水文9	大潮	3.8	8.3	105	19.6	105
水文10	大潮	3.8	8.3	15	16.5	15
水文11	低潮	3.8	8.3	105	19.6	105
水文12	低潮	3.8	8.3	15	16.5	15

化;水文5和6中波浪参数分别取刮正东风和正北风时的波浪参数的98%占比;水文9~12选取10 a一遇的波浪参数;风向($^{\circ}$ N)指风的来向,以正北为 0° ,将圆周分为 360° ,沿顺时针方向增加。

通过数模分析,图4和图5分别绘制出涨潮(无风浪)和涨潮并伴随极端风浪条件下航道年回淤量(根据泥沙运动规律估算得来)。图中航道在不同断面的回淤量取两个断面中心线之间的回淤量作为一个结构段的回淤量进行分析,可以看出,航道回淤集中在第7~10断面,即从港池与航道交接处向外延伸8 km,且随着航道向外延伸,回淤量逐渐减小。根据数模分析发现,在边界5和6条件下即涨潮时并伴随着波浪和潮流的共同作用下全航道年平均回淤量为7万~8万 m^3 ,而同样是涨潮时但仅受潮流作用时的回淤量仅为4万 m^3 左右。实际上,每年的潮流以涨潮和落潮交替发生,因此全航道每年的回淤量可能会小于4万 m^3 。以上分析表明,航道回淤量受波浪的影响较大。

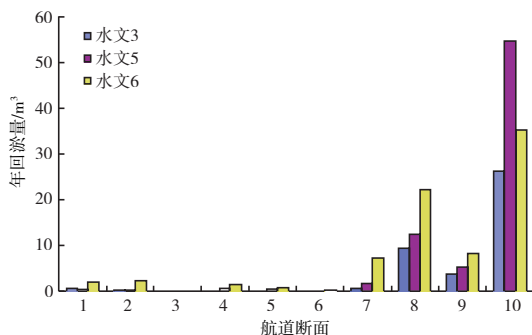


图4 航道不同位置的年回淤总量柱状图

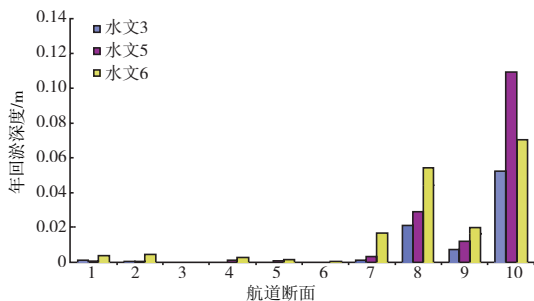


图5 航道不同位置的年回淤深度柱状图

本项目航道回淤评估主要通过数值模型分析175 m底宽航道的回淤量完成的。研究发现,回淤量最大处在第10断面,在波浪和潮流作用下,航道年回淤深度平均约为0.08~0.13 m,而仅在潮流

作用下时仅为0.06 m。结合该项目港区水文资料和数模分析数据显示,在波浪和潮流作用下,泥沙将在长度约2 000 m,宽度175 m的第10区段范围内以年平均回淤深度为0.1 m的速率形成淤积,其年回淤量约为 $2\,000\text{ m} \times 175\text{ m} \times 0.1\text{ m} = 35\,000\text{ m}^3$,这与年回淤量数模分析结果相当。且因航道边坡突起阻碍泥沙运动使得航道两侧边坡线附近的淤积更严重。在运营期的较长一段时间内,随着航道回淤的不断增长,使得航道两侧疏浚边坡线逐渐变缓,且可用航道越来越窄,因此根据航道回淤速率和年回淤深度数据,需要定期对航道进行清淤。

图6和图7分别显示了10 a一遇重现期波浪下的泥沙回淤深度和回淤量柱状图,每年发生类似极端天气的概率约为10%,从图中可以看出风浪对航道回淤影响较大,即风浪条件越大,回淤量越大。

分析图6和图7可以得出,在极端风浪条件下,航道年回淤量由原来4万~8万 m^3 增加到20万~25万 m^3 ,且风浪持续时间越长,回淤量越大。从边界9~12条件下回淤量图示结果显示,极端波浪条件下的航道回淤率是正常天气条件下回淤率的3~5倍。

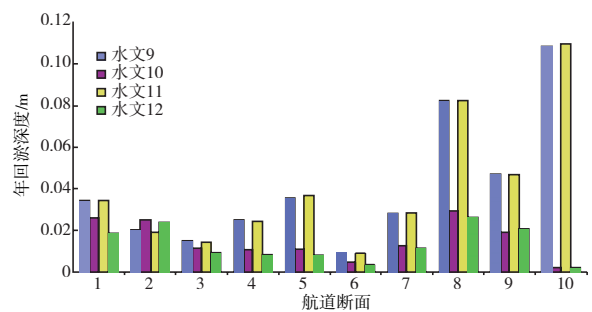


图6 10 a一遇重现期波浪条件下日回淤深度柱状图

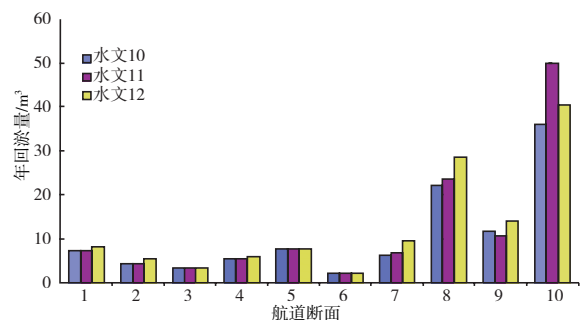


图7 10 a一遇重现期波浪条件下年回淤总量柱状图

(下转第149页)