

# 庄河石城岛海域的泥沙运动 对港口平面布置的影响

刘林, 张鹏, 彭玉生

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 分析了庄河石城岛海域的泥沙运动规律, 计算了波浪破碎水深、泥沙起动手深和底沙起动手速, 论证庄河石城岛天然深槽的动力成因。确定了港区规划平面布局的基本原则, 分析防沙堤布置、规划填海界限等关键参数; 通过经验公式、泥沙数模和类似港址类比等方法综合论证港区回淤量级。

**关键词:** 庄河; 泥沙运动; 平面布置; 回淤

中图分类号: U 652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0030-06

## Influence of sediment movement on general layout of Shicheng island in Zhuanghe

LIU Lin, ZHANG Peng, PENG Yu-sheng

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

**Abstract:** This paper analyzes the sediment movement in Shicheng island waters in Zhuanghe, calculates the wave broken depth, sediment incipient motion depth and current velocity, demonstrates the dynamic causes for the deep trough of Shicheng island, and determines the principles for the general layout. Key parameters are analyzed for the layout of sand retainer jetty and border of land reclamation, and the siltation is discussed based on experience formula, numerical model and analogy of similar harbor sites.

**Keywords:** Zhuanghe; sediment movement; general layout; siltation

庄河石城岛海域位于北黄海西海岸的中部, 为粉沙质海岸, 泥沙回淤问题一直是困扰庄河港口发展的限制因素之一。庄河现有工程的回淤普遍较大, 如庄河电厂码头回淤约 2~3 m/a, 庄河港通用泊位回淤约 2 m/a。为了充分利用浅滩资源, 满足浅水深用的目的, 庄河港拟深挖浅滩形成港池, 利用石城岛东侧深槽作为进港航道, 因此研究庄河石城岛海域的泥沙运动特点及回淤规律, 对庄河港规划平面布局至关重要。

## 1 自然条件

### 1.1 地貌特征

庄河石城岛海域海岸类型为粉沙质海岸, 等深线平行于海岸呈东北-西南走向, 潮滩宽约

3 km, 滩面平缓。石城岛距岸约 5 km, 海底地貌受潮流动力影响, 共发育 3 条深槽, 其中东侧涨潮流动力强, 深槽纵切 3~5 m 等深线, 水深 12~20 m; 石城岛北侧深槽受东西向潮流影响, 呈东西走向, 宽 0.7~1.4 km, 水深 5~9 m; 西侧深槽因潮流动力较弱, 南北向并未整体连通, 平均水深约 5 m。庄河石城岛海底地形见图 1。

### 1.2 水文条件

本海域波浪主要集中于 ESE~SSW 向, 强浪向为 SSE 向,  $H_{1/10}$  波高大于 1.5 m 的频率为 3.4%。潮流呈逆时针旋转流, 主流向为东北~西南向。石城岛阻挡了潮波向岸推进, 从而使得涨潮流从石城岛两侧分成两条流路向北推进, 涨落潮流平均流速为 0.4~0.6 m/s, 最大值为 0.7~0.9 m/s。

收稿日期: 2014-08-28

作者简介: 刘林 (1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事海岸动力地貌研究、岩土工程设计工作。

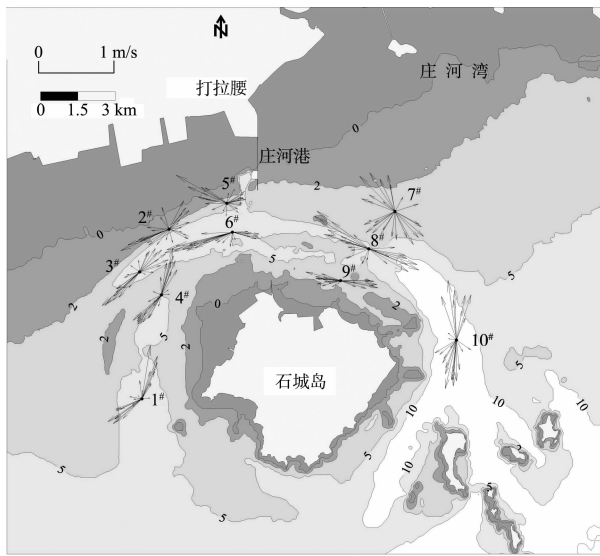


图1 海底地形地貌 (等深线单位: m)

夏季在东南风作用下, 水体含沙量稍高, 平均含沙量浓度约  $0.1 \sim 0.2 \text{ kg/m}^3$ ; 秋冬季节在离岸风作用下, 水体泥沙含量很低, 水体悬沙浓度约  $0.05 \text{ kg/m}^3$ 。

### 1.3 底质条件

庄河石城岛海域的底沙中值粒径为  $0.06 \sim 0.08 \text{ mm}$ , 黏土含量基本介于  $10\% \sim 20\%$ , 分选中常, 为典型的粉沙质<sup>[1]</sup>。

## 2 海岸动力地貌成因

本海域潮流为典型的旋转流, 涨潮流向岸运动, 落潮流离岸运动。高平潮时水流流向自东向西, 低平潮时水流流向相反。

因石城岛阻挡, 涨潮流被挤压分为东、西两条支流向北运动。潮流为逆时针旋转流, 因此东侧深槽支流发展为支流, 而西侧深槽支流则处于弱势。从海流实测数据 (表1) 可以看出, 东侧深槽的涨潮历时、平均流速和涨潮纳潮量都明显大于西侧深槽。

表1 3条深槽潮流动力特征

位置	潮段平均流速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$		涨潮 历时/h	潮差/ m	纳潮量/ $(\text{万} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1})$
	涨潮	落潮			
东侧深槽	0.46	0.39	06:03	4.46	32.17
西侧深槽	0.33	0.34	05:52	4.30	11.65
北侧深槽	0.38	0.30	05:58	4.47	42.24

在高平潮和低平潮时, 石城岛东、西两侧深槽水流相遇的位置, 水流因流路变宽, 流速迅速降低, 泥沙在交汇点落淤, 从而造成石城岛西北角 (图2) 和东北角 (图3) 存在浅滩, 致使西深槽和东深槽不能与北深槽全线贯通。

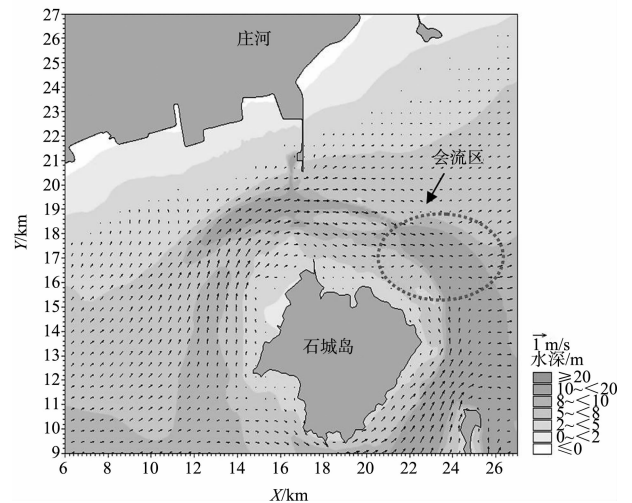
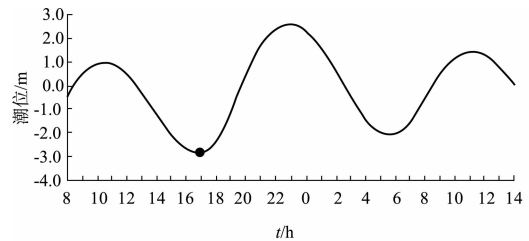


图2 石城岛东北侧“会流区”(低平潮)

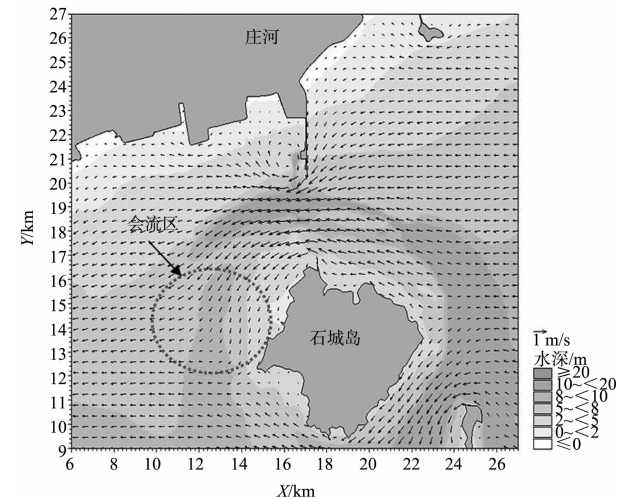
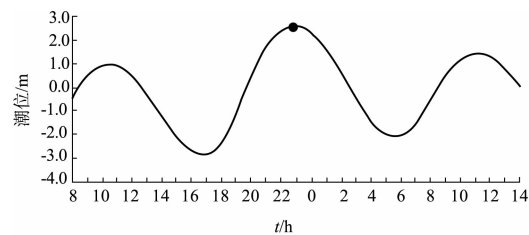


图3 石城岛西北侧“会流区”(高平潮)

根据潮流动力特征和海底地形地貌发育特点,石城岛两侧深槽是东、西两支涨落潮流的“势力不等、相位延迟”所塑造的。北深槽呈“弯月型”发展的重要原因是东西向水流受岛屿狭道“束窄”作用。

### 3 海岸泥沙运动规律

#### 3.1 泥沙来源

根据水流泥沙运移规律,对本港区有实质性影响的河流仅为庄河,其他河流的入海泥沙仅通过“波浪起动、潮流传递”的间接作用影响本海域。本地泥沙“波浪掀沙、潮流输沙”作用是工程区泥沙运动的主要形式。

#### 3.2 波浪破碎水深

据《海港水文规范》中波浪破碎水深公式计算,低水位时,2 a一遇和50 a一遇的波浪破碎水深分别为2.4 m和4.5 m;当按照平均水位计算时(按照平均潮差4 m),相应重现期波浪的破碎水深分别为0.4 m和2.5 m。计算结果与波浪破碎的数值模拟结果基本一致。

#### 3.3 泥沙活动水深

泥沙完全移动指泥沙底部边界层整体发生位移,此闭合水深对工程设计具有重要意义。本文据佐藤昭二公式<sup>[2]</sup>,对庄河石城岛海域的泥沙完全活动水深进行计算。

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.40 \left( \frac{D}{L_0} \right)^{1/3} \frac{H_0}{H} \sinh \frac{2\pi h_i}{L} \quad (1)$$

式中:  $L_0$  为深水波波长(m);  $H_0$  为深水波波高(m);  $L$  为泥沙起动水深处的波长(m);  $H$  为泥沙起动水深处的波高(m);  $D$  为底沙的中值粒径(m);  $h_i$  为泥沙完全活动水深(m)。

根据庄河港多年波浪统计资料,石城岛海域在东南向重现期2 a的波浪作用下,泥沙完全活动水深位于海图水深平均6 m左右;重现期10 a波浪作用下,相应的泥沙完全活动水深位于8 m左右。计算结果与遥感卫片反演结果和大风追测数据基本相符。

#### 3.4 泥沙输移方向

根据北黄海的沉积物分选变异规律,鸭绿江口沉积物为沙质沉积,向西往庄河方向,沉积物粒径逐渐变细。此外,根据航道实际回淤特征和沉积物的分选变异规律,综合认为北黄海西海岸的泥沙在东北—西南向涨落潮流和SW~SE向波浪作用下,不断向西南方向净输移<sup>[3]</sup>。

### 4 深槽动力成因

据岛屿深槽狭道的水流泥沙运动规律,当在涨急和落急时刻流速较大,水流的挟沙能力明显增强,悬沙不易落淤。当水流流速达到底沙的起动速度时,底沙会发生推移,表层会出现紊流层,底沙起动悬扬进入水中,水体中悬沙浓度会增加。当流速降低,水体挟沙力下降,达到悬沙的止动流速时,悬沙便会落淤,尤其是在转流憩流时刻,流速最小的时候更容易发生落淤。悬沙粒径越大,流速越大,越容易落淤。

本文用张瑞瑾公式<sup>[4]</sup>,计算了不同粒径的泥沙起动速度,以分析底沙在水流作用下是否起动,计算结果见图4。

$$U_c = \left( \frac{h}{D} \right)^{0.14} \left[ 17.6D \times \frac{\rho_s - \rho}{\rho} + 6.05 \times 10^{-7} \times \left( \frac{10+h}{D^{0.72}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中:  $h$  为水深(m);  $D$  为底沙粒径(mm);  $\rho_s$  和  $\rho$  分别为泥沙颗粒和水的密度( $\text{kg/m}^3$ )。

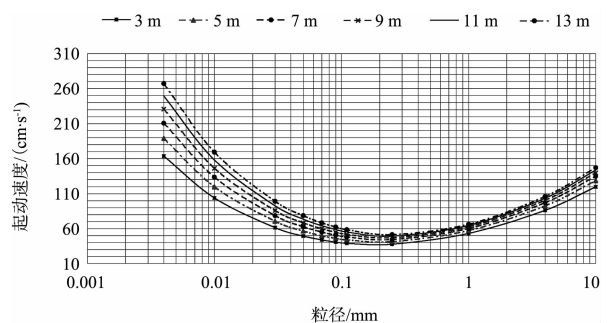


图4 不同水深处底沙的起动流速

庄河石城岛海域的底质粒径为0.04~0.08 mm,水深5~9 m的底沙起动流速大于0.5 m/s。根据测流资料,小潮时,涨、落潮流速基本都小于0.5 m/s;大潮时,涨落潮流速部分时段大于底沙

的起动流速。若深槽浚深,水流流速降低,挟沙力下降,则泥沙会落淤;同时,当潮流底部的侵蚀切应力降低时,落淤的泥沙难以被侵蚀带出深槽,这种两方面的因素会导致深槽向适应潮流动力的方向变化,水深逐渐变浅,达到冲淤平衡后,就停止回淤。因此石城岛的深槽发育的宽度和深度与水流流速相适应,深槽动力基本平衡。

## 5 港区规划平面布置

石城岛海域的深槽是北黄海西海岸近岸区唯一的天然深槽。石城岛东深槽为涨潮主槽,西深槽为涨潮副槽,北深槽为涨落潮流狭道束窄冲蚀作用形成,因此可利用东深槽和北深槽作为进港主航道。

石城岛北侧浅滩规划围填后,会归顺航槽水流,减少漫滩分流,切断浅滩泥沙来源,进一步增强航槽水流,同时削弱高平潮和低平潮时段的回流区,从而宏观上降低港池的回淤量。

北侧深槽现在流速较大,若西侧浅滩过度围填,会增加水流的阻力,造成北深槽西段萎缩。港区东侧浅滩的围填,可能会增加北深槽的水流流速,对航行带来不利,因此港区东西两侧浅滩必须合理划定填海造地控制线,以控制深槽流速和地形的展。

本海域泥沙主输移方向为自东向西,因此东侧要建设防沙堤,堤头水深可选择4~5 m。防沙堤头与石城岛之间形成的狭道,可以“束水攻沙”,航槽内泥沙不易落淤。

根据海岸动力地貌及水流泥沙机理,港区规划围填边界宜布置在2~5 m等深线之间的坡陡处,护岸堤脚线边缘不宜进入深槽内,一方面减少阻流作用,另一方面可减少堤脚的冲刷。

规划挖入式港池外边界要与水流流向维持一定的自然曲率,同时合理布置挖入式港池的分水导流堤,缩小挖入式港池与水流交角,减少港池内外的水体交换,降低泥沙回淤总量。

基于以上基本原则,采用前述关键参数进行

平面布置,根据港区的功能定位,港区及邻近填海区的总体平面布置见图5。



图5 港区规划及邻近填海区的总平面布置

## 6 泥沙回淤论证

本文通过经验公式,结合实际回淤数据,逆向推算了经验系数,然后计算了泥沙回淤强度,并与潮流泥沙数学模型计算结果进行了对比。

### 6.1 波流共同作用下的年均含沙量

本港区水体泥沙环境本底值仅为 $0.05 \text{ kg/m}^3$ 。鉴于大风天水体含沙量数据难以获取,为了进一步分析年均含沙量,本文采用不同累积频率的波况和潮流的叠加组合,来综合计算工程区的年均含沙量。波浪潮流共同作用下的水体含沙量公式<sup>[5]</sup>如下:

$$S_1 = 0.027 3\rho_s \cdot \frac{(|v_1| + |v_2|)^2}{gd_1} \quad (3)$$

式中: $S_1$ 为平均含沙量( $\text{kg/m}^3$ ); $\rho_s$ 为泥砂颗粒密度( $\text{kg/m}^3$ ); $v_2$ 为波浪水质点的平均水平速度( $\text{m/s}$ ); $v_1$ 为潮流和风吹流的合成流速( $\text{m/s}$ ); $d_1$ 为水深( $\text{m}$ )。

根据海底表层沉积物的颗分试验数据,本港区的加权平均粒径为 $0.05 \text{ mm}$ ,不同水深处的年均含沙量分布特征见表2。

表2 不同水深处的年均含沙量

水深/m	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0
含沙量/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	0.21	0.18	0.16	0.15	0.13	0.11	0.10

### 6.2 港池的年均淤积强度

港池的回淤强度取决于两个因素，其一为纳潮量，其二为港池和外界水体交换的回流因子。港池与口门外侧水流的交角越小，则回流因子越小，水体含沙量越低；港池与口门外侧流速交角越大，则水流交换量越大，泥沙回淤强度越大。

按照挖入式港池的经验公式<sup>[6]</sup>：

$$P = \frac{K_0(1 + \varepsilon)\omega S_1 t}{\rho_0} \left[ 1 - \frac{v_2 \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2}{v_1} \right] \exp \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{A}{A_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4)$$

式中： $K_0$ 为经验系数； $\rho_0$ 为淤积物干密度； $\varepsilon$ 为回流因子； $\omega$ 为悬沙动水沉速； $S_1$ 为水体含沙量浓度； $v_1$ 与 $v_2$ 分别为开挖前后水流流速； $d_1$ 和 $d_2$ 分别为浅滩水深和开挖后水深； $A$ 与 $A_0$ 分别港池面积和港池内全部面积。

根据上述公式计算，西港池的回淤强度为0.44 m/a，东港池回淤强度为0.39 m/a。

### 6.3 航道年均淤积强度

根据刘家驹的研究成果，对于淤泥质海岸的淤强计算公式，根据沉积物的颗分数据，经过沉速和含沙量修正后，可以用于沙质海岸的泥沙回淤计算。因此本文采用刘家驹修正公式对航道的泥沙回淤强度进行计算，并根据水流与航道的夹角关系分为顺流航道（石城岛东深槽）和横流航道段（石城岛北深槽），各段的回淤计算结果见图6。

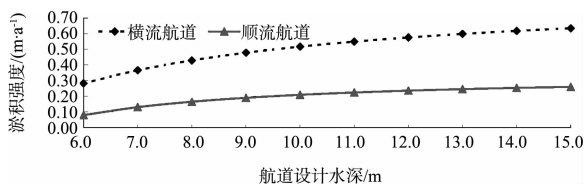


图6 航道不同设计深度的淤强

根据图6的计算值可以看出，顺流航道段从-5 m开挖到-8 m时，航道淤强为0.16 m/a；开挖到-12 m时，顺流航道段淤强为0.24 m/a。横流航道段相应的不同开挖深度条件下的回淤强度分别为0.43 m/a和0.58 m/a。

### 6.4 泥沙骤淤强度

泥沙骤淤强度是基于重现期的概念，是应对回淤灾害的概率问题。根据我国对泥沙骤淤设防的研究，一般采用重现期为10 a的波浪作为泥沙骤淤设防考虑。

按照重现期10 a的波高2.3 m计算，大浪天波浪破碎时水体含沙量浓度为1 kg/m<sup>3</sup>，泥沙沉速0.09 cm/s，大浪作用时间按2 a计算，则航道的骤淤强度见表3。

骤淤计算表明，浅水段横流航道的骤淤强度约0.2~0.3 m，外侧的顺流航道泥沙回淤强度约0.1 m。西港池区骤淤0.19 m/次，东港池的骤淤强度0.17 m/次。

表3 航道的骤淤强度

航道设计 深度/m	淤积强度/(m·次 <sup>-1</sup> )	
	横流航道	顺流航道
6	0.12	0.04
8	0.19	0.07
10	0.23	0.09
12	0.25	0.11
14	0.27	0.11

### 6.5 泥沙回淤强度对比

从水流泥沙角度和回淤机理分析，数模结果和经验公式计算结果对回淤的趋势性分析基本一致。不同方法的回淤强度预测值对比结果见表4。

表4 数模和经验公式计算值对比

位置	年均回淤/(m·a <sup>-1</sup> )				骤淤强度/(m·次 <sup>-1</sup> )			
	数模	公式	平均值	差值	数模	公式	平均值	差值
东港池	0.25	0.39	0.32	0.14	0.15	0.17	0.16	0.02
横流航道	0.24	0.45	0.35	0.21	0.24	0.25	0.25	0.01
西港池	0.15	0.44	0.30	0.29	0.10	0.19	0.15	0.09
顺流航道	0.23	0.20	0.22	-0.03	0.10	0.10	0.10	0.00

从泥沙回淤强度对比结果可以看出，经验公式计算结果比数模计算结果要大约50%~70%；对东港池和西港池的回流引起的泥沙回淤强度判断、以及横流浅水航道段的泥沙淤强差别比较大。

为了说明本港区的泥沙回淤强度，采用两种方法的平均值作为回淤强度的代表值，即东港池的年均回淤强度0.32 m/a，西港池为0.30 m/a，

进港航道浅水段(北深槽段)为0.35 m/a,外侧顺流航道(东深槽段)为0.22 m/a。

### 6.6 泥沙回淤强度类比

石城岛海域水沙条件符合粉沙质海岸的泥沙运动规律,泥沙回淤强度中等,为了说明本工程的回淤强度的量级,本文类比了相似港址的回淤数据,以便分析其合理性。

黄骅港、东营港和潍坊港为典型的平直粉沙质海岸,港口平面布局采用双导流堤环抱式形成航道,堤头水深位于4~8 m,港池内回淤0.4~0.6 m/a,航道回淤0.3~0.6 m/a,口门位置因沿堤流影响,最大回淤1~2 m/a,且极端骤淤强度可达4 m。本港区的地貌类似于盘锦和曹妃甸港址,都存在天然深槽,均采用浅滩挖入式形成港池。但从动力环境方面分析,石城岛海域的波浪和水流条件中等,年均含沙量不大,因此从类似港口的实际回淤数据看,本规划港池和航道的回淤量级是合理的。

## 7 结语

本文系统分析了庄河石城岛海域的海岸动力及泥沙冲淤规律,对港区规划围填海界限、挖入式港池口门布置、深槽动力成因、防沙堤布设等关键因素开展了深入论证,为港区的选址、规划平面布局提供了有力支撑。

通过综合分析水动力、泥沙冲淤、地貌等因素,得出了潮差大的逆时针旋转潮流和石城岛阻流作用是塑造深槽地貌的直接因素;东侧主深槽是保障庄河港区未来发展的关键;石城岛东、西两支涨落潮流的“势力不等、相位延迟”引起的东西向水流,以及岛屿狭道“束窄”作用是北部航槽呈“弯月型”发展的重要原因;保证足够的纳潮冲程是深槽得以维持的核心要素。通过经验公式、潮流泥沙数模和泥沙回淤类比等方法,认为庄河石城岛海域的水沙条件相对较好,泥沙回淤强度相对较低。

### 参考文献:

- [1] 严冰,许婷.大连港庄河港区总体规划潮流泥沙数学模型研究报告[R].天津:交通部天津水运科学研究院,2011.
- [2] 交通部第一航务工程勘察设计院.海港工程设计手册[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 刘林,张鹏.庄河将军石港区泥沙回淤研究及布局优化[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2013.
- [4] 常瑞芳.海岸工程环境[M].青岛:青岛海洋大学出版社,1997.
- [5] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [6] 刘家驹.海岸泥沙运动研究及应用[M].北京:海洋出版社,2009.

(本文编辑 武亚庆)

## · 消 息 ·

### 中国港湾巴新莱城油罐项目提前竣工

4月17日,中国港湾承建的巴布亚新几内亚莱城两座500万L油罐项目提前5个月竣工。

该项目是为几内亚石油公司莱城中转站新建两座储油罐,合同金额约480万美元,原定工期13个月。业主对项目质量和进度以及项目建设团队的拼搏奉献精神给予高度评价。

该项目是中国港湾在南亚地区成功实施的第一个石化类基建安装项目。工程提前竣工彰显了中国港湾出色的履约能力,也进一步提升了其在当地的品牌形象。

(摘编自《中国交通建设网》)