



# 钦州港东航道扩建工程复式航道设计

谢华东, 李顺嘉, 孙 铠

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 针对钦州港东航道不满足10万吨级及以上集装箱船不乘潮通航、制约钦州港发展远洋集装箱运输问题, 经多方案对比分析论证, 提出在原批复的10万吨级集装箱船双向乘潮通航的基础上, 对其东部按照10万吨级集装箱船不乘潮通航、兼顾15万~20万吨级集装箱船乘潮通航的标准进行局部浚深, 形成一种特殊的新型复式航道, 结合虚拟航标的应用和港口调度, 可用较经济的方式同时兼顾超大型集装箱船对航道通航水深的需求和主力船型双向通航对航道宽度的需求。介绍了钦州港东航道扩建工程复式航道及其配套航标布置的设计要点, 对航道建成后的航行规则和管理措施提出建议, 并总结各类复式航道断面形式的特点和适用情形, 可供类似项目参考借鉴。

**关键词:** 复式航道; 单侧浚深航道; 虚拟 AIS 航标; 电子航标; 钦州港东航道

中图分类号: U656.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0097-07

## Design of navigation channel with compound cross section for expansion project of eastern channel of Qinzhou Port

XIE Huadong, LI Shunjia, SUN Kai

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

**Abstract:** In view of the fact that the eastern channel of Qinzhou Port does not meet the requirements of full tidal access for container ships of 100,000 DWT and above, which restricts the development of ocean-going container transportation in Qinzhou Port, and through comparative analysis and demonstration of many schemes, it is proposed that, on the basis of the original approved two-way channel with tidal limitation for 100,000 DWT container ships, the eastern part of the channel is partially dredged and deepened to meet the standard of full tidal access of 100,000 DWT container ships, and entry of 150,000-200,000 DWT container ships within suitable tidal window, forming a special new type cross section of navigation channel with two different navigation depths, which is called 'compound cross section'. Combining with the application of virtual navigation marks and port scheduling, the requirements of the ultra-large container ships on the depth of the navigation channel and the requirements of two-way navigation channel for major ship types on the channel width can be met simultaneously in a more economical way. This paper introduces the key points of the design of navigation channel with compound cross section and its supporting aids to navigation for expansion project of the eastern channel in Qinzhou Port, puts forward suggestions on the navigation rules and management measures after the completion of the channel, and summarizes the characteristics and applicable situations of various compound cross sections of navigation channel, which can be used as reference for other similar projects.

**Keywords:** navigation channel with compound cross section; unilateral deepened navigation channel; virtual AIS navigation mark; electronic navigation mark; eastern channel of Qinzhou Port

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 谢华东 (1970—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计与研究咨询工作。

### 1 工程概况

钦州港东航道于 2009 年按 10 万吨级散货船单向乘潮通航标准建成, 并于 2011 年 12 月按 10 万吨级油船单向乘潮通航标准完成拓宽扩建。

为了适应钦州港到港船舶密度不断增加及船舶大型化发展的需要, 2017 年启动了钦州港东航道扩建工程(扩建 10 万吨级双向航道), 按 10 万吨级集装箱船乘潮双向通航标准建设(乘潮保证率 90%), 南端起点为钦州港 30 万吨级进港航道北端点, 从南往北依次为南段航道、三墩航道、大榄坪航道 1、大榄坪航道 2, 航道全长 25. 796 km。三墩航道通航宽度为 390 m, 其他航段通航宽度为 360 m, 航道设计底高程均为-13. 3 m(当地理论最低潮面)。

随着 2019 年 8 月国家颁布《西部陆海新通道总体规划》等重大战略, 中国(广西)自由贸易试验区正式设立, 对港口发展提出了新的要求, 北部湾港迎来重大发展机遇, 迫切需要提高钦州港东航道的通航标准, 以适应钦州港开辟集装箱远洋航线的需要。

经分析论证, 在保持原批复 10 万吨级集装箱

船双向乘潮(乘潮保证率为 90%)通航的基础上, 增加满足 10 万吨级集装箱船单向不乘潮进出港、兼顾 15 万吨级集装箱船单向乘潮进出港(乘潮历时 3 h、保证率 100%)和 20 万吨级集装箱船单向乘潮进出港(乘潮历时 3 h、保证率 90%)的通航要求。经计算, 10 万吨级集装箱船不乘潮单向通航、兼顾 15 万~20 万吨级集装箱船乘潮单向通航的航道通航宽度为三墩航道 280 m、南端航道 265 m、其他航段 230 m, 对应设计底高程均为-16. 3 m(局部岩石底质区域取-16. 5 m, 最北端大榄坪南 7#、8#泊位对出段航道底高程与回旋水域底高程一致取-15. 1 m)。

在航道断面设计上, 为控制工程造价, 不采用常规的全槽开挖方案, 而是在现有 10 万吨级双向乘潮通航航道的基础上, 对其东半部按照 10 万吨级集装箱船不乘潮通航兼顾 15 万~20 万吨级集装箱船乘潮通航的标准进行局部浚深, 形成一种特殊的新型复式航道, 兼顾超大型集装箱船对航道通航水深的需求和主力船型双向通航对航道宽度的需求<sup>[1-2]</sup>。钦州东航道扩建工程总平面布置见图 1。

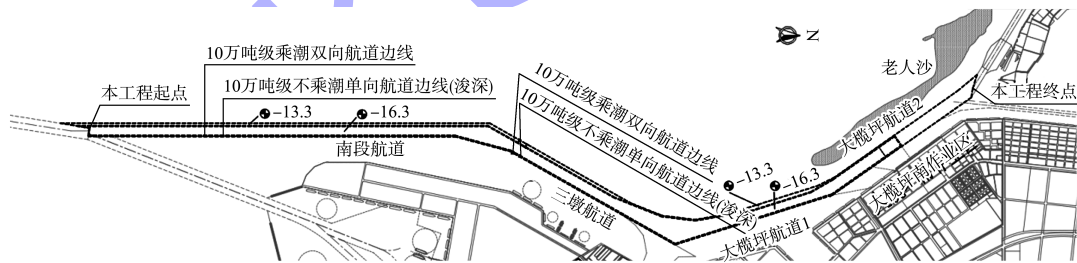


图 1 钦州港东航道扩建工程总平面布置(单位: m)

### 2 复式航道概念与断面形式

复式航道是指在同一航道横断面中具有不止一个设计通航底高程的航道, JTS 165—2013《海港总体设计规范》<sup>[3]</sup>和 JTS 181—2016《航道工程设计规范》<sup>[4]</sup>中规定, “当航道内船流密度较大, 经论证有必要使大、小船或重载、空载船分道航行时, 可采用复式航道”, 并在条文说明中给出了复式航道的 3 种形式: 1) 主航道(大船航道或重载航道)与次航道(小船航道或轻载航道)分开设置;

2) 大船航道单向通航, 同时满足小船航道双向通航; 3) 中间大船航道双向通航, 两侧小船航道各单向通航。但是, 规范并未明确 3 种形式复式航道的航标布置方式和各自适用情形, 对于复式航道类型的概括也不够全面和准确, 比如未结合船舶是否乘潮通航进行分类。

国内最具代表性的采用复式断面设计的航道为天津港主航道<sup>[5-7]</sup>, 其典型航道断面属于规范中的第 3 种形式。天津港复式航道断面中, 大船航

道宽 420 m, 设计底高程 -19.5 m, 满足 10 万吨级集装箱船和 25 万吨级油轮相向航行的通航要求; 在大船航道的南、北两侧各开挖 1 条平行于大船航道的万吨级单向航道(小船航道), 每条小船航道宽 100 m, 设计底高程 -9.0 m; 大船航道和小船航道中间设 80 m 宽分隔带。大船航道与南、北两侧的小船航道构成复式航道。在航标布置上, 天津港复式航道采用航道左、右侧标与方位标结合方案<sup>[8]</sup>: 在大船航道边界处布设航道左、右侧标, 在北侧小船航道的北侧边界布设南方位标, 在南侧小船航道南侧边界布设北方位标, 总共需布置 4 排航标。

天津港复式航道的断面形式不适用于本项目, 需要另行研究确定新的复式航道断面形式。

### 3 钦州东航道扩建工程复式航道布置及方案比选

航道断面设计分别对东侧局部浚深、中部局部浚深和全槽浚深 3 个方案进行比选(由于大型泊位均位于航道东侧, 故不考虑西侧局部浚深方案)。根据船舶安全航行要求和航标布置需求, 考

虑航道与码头回旋水域的平顺衔接, 各方案中大榄坪航道 2 局部航段均采用沿现有航道边坡顺坡向下开挖的全槽开挖方案扩建。

#### 3.1 东侧局部浚深方案(方案 1)

东侧局部浚深方案是将大船单向航道(满足 10 万吨级集装箱船单向不乘潮通航、兼顾 15 万~20 万吨级集装箱船单向乘潮通航要求的航道)轴线相对靠近原 10 万吨级双向乘潮航道东侧布置, 对原航槽(通航宽度 360~390 m, 设计底高程 -13.3 m)东半部按照大船单向通航所需的宽度 230~280 m 和底高程 -16.3 m 进行局部浚深, 形成不对称的复式航道断面。南段航道、三墩航道和大榄坪航道 1 的大船单向航道的轴线分别位于 10 万吨级双向航道轴线的东侧 26.5、34.0 和 44.0 m, 在断面内西侧 -13.3 m 高程处, 形成宽度分别为 53、68 和 88 m 的台阶, 西侧实体航标位置距离大船单向航道西边线的距离分别达到 104、119 和 139 m。以大榄坪航道 1 段为例, 东侧局部浚深方案的航道断面见图 2。

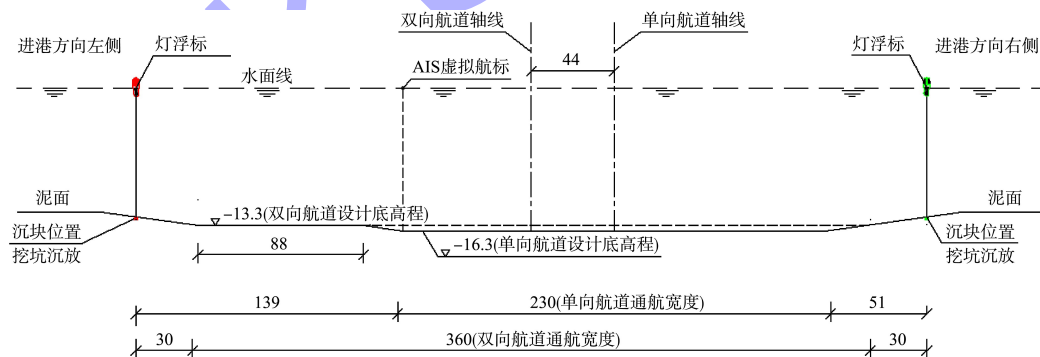


图 2 东侧局部浚深方案的航道断面(单位: m)

#### 3.2 中部局部浚深方案(方案 2)

中部局部浚深方案是对原航槽中部按照大船单向通航所需的宽度 230~280 m 和底高程 -16.3 m 进行局部浚深, 形成对称的复式航道断面, 浚深后大船单向航道轴线保持与原 10 万吨级双向乘潮航道轴线一致。在南段航道、三墩航道和大榄坪航

道 1 的断面内东、西侧 -13.3 m 高程处, 形成宽度分别为 26.5、34.0 和 44.0 m 的台阶, 航道断面东、西侧实体航标位置与大船单向航道最近边线的距离分别达到 77.5、85.0 和 95.0 m。中部局部浚深方案下的航道断面见图 3。

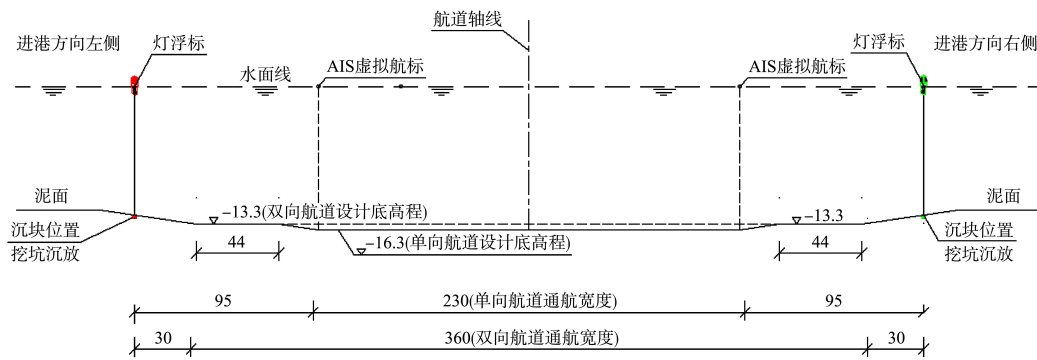


图3 中部局部浚深方案的航道断面 (单位: m)

### 3.3 全槽浚深方案(方案3)

全槽浚深方案是沿着原10万吨级双向乘潮航道断面的边坡顺坡向下浚深至-16.3 m底高程,形成全槽开挖的常规倒梯形对称断面(非复式航道),浚深后大船单向航道的轴线与双向航道的轴

线重叠。大船单向航道的通航宽度(对应-15.9 m高程)为三墩航道348 m、其他航段318 m。断面内不会形成台阶,航道断面东、西侧实体航标位置与大船单向航道最近边线的距离均为51 m。全槽浚深方案下的航道断面见图4。

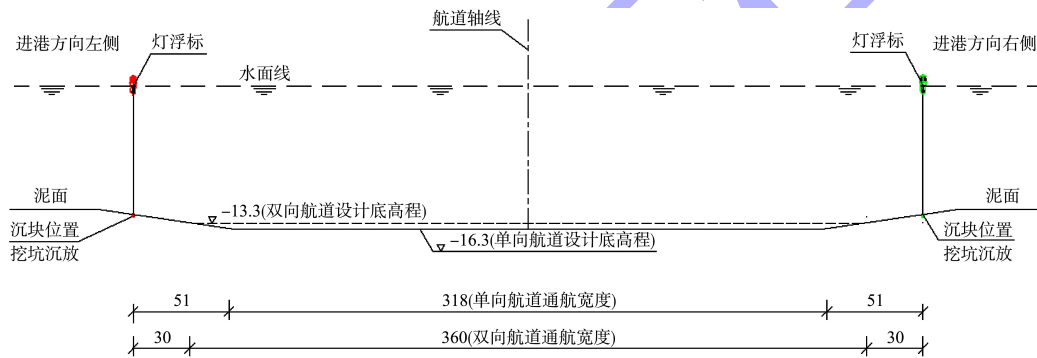


图4 全槽浚深方案的航道断面 (单位: m)

### 3.4 方案对比

不同航道断面设计方案的对比分析见表1。

表1 不同航道断面设计方案对比

方案	大船单向航道长度/km	大船单向航道通航宽度	大船单向航道设计底高程	大船单向航道轴线与双向乘潮航道轴线是否重合	是否复式航道	最近实体航标与大船单向航道底边线的距离
东侧局部浚深	23.347	南段265 m,三墩段285 m,大榄坪段230 m	东侧-16.3 m(岩石区-16.5 m),西侧-13.3 m	南段航道、三墩航道和大榄坪航道1的大船单向航道的轴线分别位于10万吨级双向乘潮航道轴线的东侧26.5、34.0和44.0 m	形成复式航道,在南段航道、三墩航道和大榄坪航道1的断面内西侧-13.3 m高程处,形成宽度分别为53、68和88 m的台阶	南段航道、三墩航道和大榄坪航道1分别达到104、119和139 m(西侧)
中部局部浚深	23.316	南段265 m,三墩段285 m,大榄坪段230 m	中部-16.3 m(岩石区-16.5 m),两侧-13.3 m	大船单向航道轴线与双向乘潮航道轴线重合	形成复式航道,在南段航道、三墩航道和大榄坪航道1的断面内东、西侧-13.3 m高程处,形成宽度分别为26.5、34.0和44.0 m的台阶	南段航道、三墩航道和大榄坪航道1分别达到77.5、85.0和95.0 m(东、西侧)
全槽浚深	23.316	三墩段348 m,其他段318 m	非复式断面,中部-16.3 m(岩石区-16.5 m),高程-13.3 m处满足乘潮双向通航要求	大船单向航道轴线与双向乘潮航道轴线重合	非复式航道,断面内不会形成台阶,为常规断面	各航道均为51 m(东、西侧)

续表 1

方案	大船安全通航条件	航道与大型泊位港池的衔接便利性	施工对通航的干扰	基建疏浚工程量	工程总概算/亿元
东侧局部浚深	复式航道航槽内存在 3 m 高差, 在大型船舶单向不乘潮通航时主要借助东侧浮标, 而西侧浮标距单向航道西边界较远(104 m 以上), 助航效果稍差, 通过单侧增加配置虚拟船舶自动识别(Automatic Identification System, AIS)航标, 可改善大船单向通航条件	大型泊位均位于航道东侧, 大船单向航道与码头港池的衔接较为便利	局部浚深区域仅限于航槽东侧, 施工期间(特别是抓斗船施工期间)对其他通行船舶的干扰最小	总基建疏浚量 2 782 万 m <sup>3</sup> , 其中礁石量约 366 万 m <sup>3</sup>	33.95
中部局部浚深	复式航道航槽内存在 3 m 高差, 在大型船舶单向不乘潮通航时, 东、西两侧的实体灯浮标距单向航道边界均较远(77.5 m 以上), 即使两侧边界均配置虚拟 AIS 航标, 仍难以清晰界定航道边界, 不利于保障大型船舶的安全航行	大型泊位均位于航道东侧, 大船单向航道与码头港池的衔接略微不便	抓斗船施工期间对其他通行船舶的干扰较大	与方案 1 基本相同	与方案 1 基本相同
全槽浚深	为全槽开挖, 航槽内无高差, 单向和双向 2 种通航模式下均可借助航道东、西两侧对称布置的浮标助航。实体灯浮标距航道边界较近(51 m), 助航效果较好, 大船单向通航条件最佳	大船单向航道与大型泊位港池的衔接较为便利	抓斗船施工期间对其他通行船舶的干扰较大	总基建疏浚量 3 302 万 m <sup>3</sup> , 其中礁石量约 436 万 m <sup>3</sup>	39.53

由表可知, 从使用便利和船舶航行条件角度, 全槽浚深方案明显优于其他 2 个局部浚深的复式航道方案, 但工程量和投资也明显更大。与中部局部浚深方案相比, 东侧局部浚深方案在大型船舶航行安全性、航道与大型泊位港池的衔接便利性、施工对其他通行船舶的干扰等方面具有相对优势。综合考虑, 为有效控制投资, 推荐采用东侧局部浚深方案。

#### 4 复式航道航标布设方案要点

本工程是国内首例采用单侧浚深的复式航道, 由于复式航道中的-16.3 m 航道左边线位于-13.3 m 双向航道通航宽度范围内, 因此-16.3 m 航道左侧不能就近设置实体航标。针对复式航道的特点和难点, 确定航标布设要点<sup>[9]</sup>:

1) 实体航标与电子航标结合应用。航道右侧 10 座灯浮全部加装实体 AIS 航标设备, 加强右侧边界的标识, 同时驾驶员可实时掌握灯浮标的漂移动态, 清晰了解航道边界的相对位置; 在-16.3 m 航道起点、拐弯点等关键点位上的西侧底边线对应位置处合理设置 8 座虚拟 AIS 航标; 加强航标的智能管理, 建设 AIS 基站。

2) 提升实体航标的效能。航道灯浮全部采用对标布置(航标设标中心点与航道底边线距离维持现状的 30 m 不变), 加密航道进出港方向的航标

配布间距至 1.5 km, 在航道拐弯关键点位加设 1 座灯浮标, 使驾驶员随时掌握航道的走向变化及边界标识。

3) 应用 E 航海新技术。整合多方数据, 制作电子海图, 标示航道的航行规则, 加强宣贯; 进一步开展航道通航规则及航行管制措施的研究。

#### 5 钦州港复式航道的航行规则和管理措施建议

1) 结合港口到港船舶情况、潮汐特点、码头作业要求等因素, 参考其他复式航道的交通组织模式与通航规则<sup>[10]</sup>, 修改完善本水域的船舶航行管理规定; 对航道双向通航与单向通航方式的转换和调度做出明确规定; 明确大型船舶通航的风、浪、能见度等限制条件; 加强船舶航行和调度管理, 并适时优化调整。

2) 当 10 万吨级及以上大型重载船舶进出港时, 必须配备电子海图和 AIS 系统, 安排熟悉水域的有经验的引航员引航, 提前了解航道沿线水域的风、浪、流情况和航标漂移情况, 制定引航方案。

3) 当 10 万吨级及以上大型重载船舶进出港时, 必须对航道上的船舶航行进行交通管制, 尤其是当 10 万吨级及以上大型重载船舶沿-16.3 m 航道出港航行时, 严格禁止其他船舶沿航道进港航行。

4) 航道扩建后, 应加强港口、引航信息化建设, 制作水域电子海图供航行和引航使用, 并广

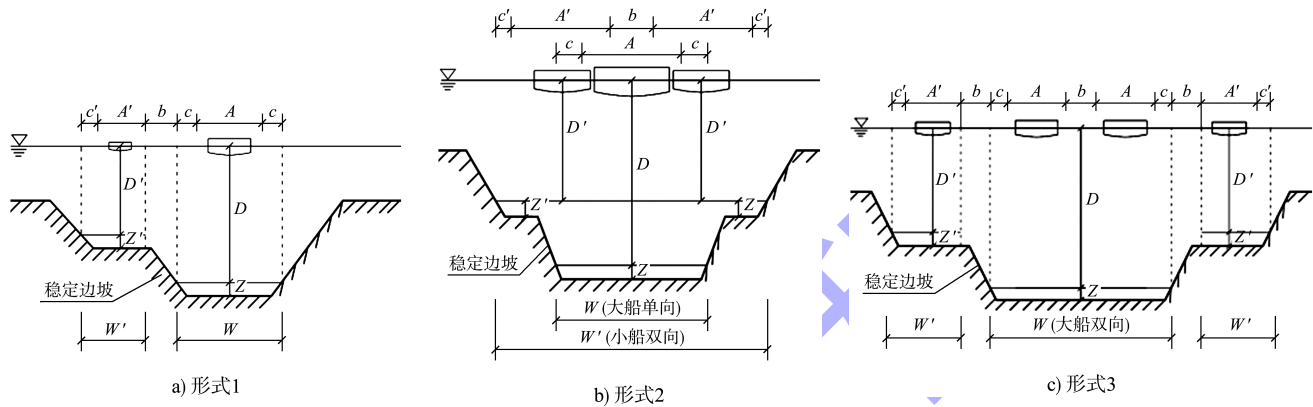
泛发布和宣贯航行注意事项。

### 6 各种形式复式航道的适用条件与特点分析

除天津港和钦州东航道复式航道外，还收集了北海铁山港 20 万吨级复式航道案例<sup>[11]</sup>，该项目需同时满足 20 万吨级散货船单向乘潮通航和舱容 26.3 万 m<sup>3</sup> LNG 船全潮单向通航的要求，这两种

船型分别决定了航道水深和通航宽度，且差异较大，断面形式类似复式航道规范中的第 2 种情形，但又有所不同。

结合上述复式航道案例，对 JTS 181—2016 《航道工程设计规范》5.2.7 条所列举的 3 种复式航道断面形式(图 5)的适用情形和特点进行归纳，见表 2。



注:  $W$  为航道通航宽度,  $A$  为航迹带宽度,  $c$  为船舶与航道底线间的富余宽度,  $b$  为船舶间富余宽度,  $Z$  为备淤富余深度,  $D$  为通航水深。不带上标“'”的对应大船航道; 带上标“'”的对应小船航道。

图 5 3 种复式航道断面形式

表 2 3 种断面形式的复式航道适用情形与特点

复式航道断面形式	适用情形	典型案例	航道轴线
1	1) 主航道(大船航道或重载航道)与次航道(小船航道或轻载航道)分开设置,或者需要同时兼顾大型船舶不乘潮通航和乘潮通航需求; 2) 在小船通航的设计高程处,形成的台阶宽度较小,不影响实体航标对大吃水船舶的助航效果,或可通过电子航标等手段给大船航道助航	钦州东航道	航槽断面内存在 2 条航道轴线
2	1) 大船单向通航,同时满足小船双向通航;或者需同时兼顾吃水小但所需通航宽度大的船舶(如 LNG 船、其他液体化工船、邮轮)和吃水大的普通货船的单向通航要求; 2) 在小船通航的设计高程处,形成的两侧台阶宽度较小,不影响实体航标的助航效果,或可通过电子航标等手段给大船航道助航	北海铁山港 20 万吨级航道	航槽断面内只有 1 条航道轴线,大船航道与小船航道轴线重合
3	航道所在水域较开阔,断面上具备设置 4 排航标和分隔带的条件;船舶航行密度大,需要实行大小船航路分流;中间大船航道双向通航,两侧小船航道各单向通航	天津港主航道	航槽断面内存在 3 条航道轴线
复式航道断面形式	断面上台阶数量	航标布设特点	航标与航道的关系
1	在对应小船通航的设计高程处,形成 1 个台阶	一般设置 3 排实体航标(中间 1 排设置在分隔带内);若航槽内不具备设置实体标条件,可在两侧各设置 1 排实体航标,并在中部坡脚对应位置增设虚拟 AIS 航标	航道两侧的航标呈非对称布置;当只在断面两侧各设置 1 排实体航标的情形下,船舶进出港时主要依靠单侧实体航标助航,并辅以虚拟航标和电子海图等信息化手段
2	在对应小船通航的设计高程处,形成 2 个较窄台阶	一般设置 2 排实体航标;根据两侧台阶的宽度大小,有时还需在中部坡脚对应位置各增设 1 排虚拟 AIS 航标	航道两侧的航标呈对称布置,两侧的实体航标距离大船航道底线均较远
3	在对应小船通航的设计高程处,形成 2 个较宽台阶	一般设置 4 排实体航标	航道两侧的航标呈对称布置,3 条航道左右两侧均有实体航标

## 7 结语

1) 钦州港复式航道已于 2021 年 8 月交工验收, 2023 年 1 月正式竣工验收, 目前使用情况良好, 实现 15 万吨级超大型集装箱船舶常态化进出港<sup>[12]</sup>。实践证明, 采用单侧局部浚深的新型复式航道, 可用较为经济的方式同时兼顾大型船舶对航道通航水深的需求和主力船舶双向通航对航道宽度的需求。

2) 采用实体视觉航标、实体 AIS 航标、虚拟 AIS 航标和航标遥测遥控等手段相结合, 对于单侧浚深复式航道可取得较好的助航效果。

3) 单侧局部浚深的复式航道的航行规则和管理措施有一些特殊性, 需要根据情况适时优化调整。

4) 结合钦州港集装箱远洋运输的发展需要, 可适时扩建航道以满足 10 万吨级及以上大型集装箱船双向不乘潮通航要求。

## 参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 钦州港东航道扩建工程(扩建 10 万吨级双向航道)一期工程初步设计(调整设计)(报批稿)[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2020.
- [2] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 钦州港东航道扩建工程(扩建 10 万吨级双向航道)二期工程初步设计(调整设计)(报批稿)[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2020.

(上接第 58 页)

## 参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 海港锚地设计规范: JTS/T 177—2021 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [2] 交通运输部科学研究院. 船对船石油过驳安全作业要求: GB/T 18819—2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [3] CARL A. THORESEN. Port Designer's Hand Bood [M]. 3rd Ed. London: ICE Publishing, 2014.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] International Association of Classification Societies. Requirements Concerning Mooring, Anchoring and Towing[S]. London: IACS, 2021.

- [3] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [4] 长江航道规划设计研究院等. 航道工程设计规范: JTS 181—2016[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.
- [5] 赵智帮. 天津港复式航道的探讨[J]. 港工技术, 2008(5): 4-7.
- [6] 孟照意, 季则舟. 大型人工复式航道设计关键技术[J]. 中国港湾建设, 2021, 41(12): 35-39.
- [7] 交通运输部水运局. 水运工程建设创新技术(2009—2019年)[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019: 248-252.
- [8] 陈广通. 天津港复式航道航标配布评估[J]. 天津航海, 2015(3): 51-53.
- [9] 孙铠, 吴俊孟. 钦州港东航道扩建工程航标配布要点分析[J]. 港湾建设, 2022(1): 85-89.
- [10] 叶海龙, 张耀伟, 马龙. 天津港复式航道交通组织模式研究及应用[J]. 天津航海, 2017(1): 7-9, 20.
- [11] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北海港铁山港 20 万吨级航道工程(外海至啄罗作业区段)初步设计[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2024.
- [12] 钦州港实现 15 万吨级超大型集装箱船舶常态化进出港. 人民网[EB/OL]. (2023-11-19) [2024-03-01]. <http://gx.people.com.cn/n2/2023/1119/c179430-40646175.html>.

(本文编辑 王传瑜)

- [6] Puertos del Estado. Recommendations for the Design of the Maritime Configuration of Ports, Approach Channels and Harbour Basins: ROM 3. 1-99 [S]. Madrid: Puertos del Estado, 2007.
- [7] PIANC. Harbour Approach Channels Design Guidelines [S]. Brussels: PIANC, 2014.
- [8] Witherby Seamanship International. Ship to Ship Transfer Guide for Petroleum, Chemicals and Liquefied Gases[M]. Livingston: Witherby Seamanship International, 2013.
- [9] Logmarin. China Power Hub Generation Company Feasibility Study for Offshore Coal Handling Solution[R]. Genoa: Logmarin, 2016.

(本文编辑 赵娟)