

# 宁波-舟山港马岙港区灌门狭口段航道设计

曾建峰, 徐元, 陈海斌

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 宁波-舟山港马岙港区位于舟山中部海域, 其中灌门狭口段为该港区进港航道的主要限制段。该狭口段受两侧暗礁和架空线限制, 航道水流流态复杂且航道转弯角度大, 是舟山地区通航条件最为复杂的海域之一。通过参考国外规范和舟山地区通航经验, 结合数模、船舶模拟、实船试验等方法优化炸礁平面布局, 结合实测潮流资料优化船舶狭口段通航时机, 合理利用电缆悬链线形式提高航道通航能力, 给出了复杂岛礁水域的航道设计方法, 可为类似工程提供参考。

**关键词:** 灌门狭口段航道; 炸礁; 架空线; 通航时机; 缓流; 整治

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0059-05

## Design of Guanmen throat section channel at Ma'ao harbor of Ningbo-Zhoushan port

ZENG Jian-feng, XU Yuan, CHEN Hai-bin

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** Ma'ao harbor of Ningbo-Zhoushan port locates in the central waters of Zhoushan, and Guanmen throat section channel is the main restrictive channel of Ma'ao harbor. Due to the limit of both sides' reefs and the overhead line, the channel has complicated flow and a sharp turning angle, and thus is one of the most complex channel in Zhoushan area. By reference to foreign norms and the experience of Zhoushan-area's navigation, the layout of the reef explosion is optimized by mathematical modeling, ship simulation and real ship testing, and the navigation time of ships passing through the throat section of Guanmen is optimized by the measured current data, and the navigational ability is improved by rational using of the overhead line's catenary form. This paper gives a design method of channel in complex island waters, and can provide reference for similar projects.

**Key words:** Guanmen throat section channel; reef explosion; overhead lines; navigation time; slow flow; regulation

岛礁区狭口段由于其复杂的通航条件, 设计难度大, 在国内沿海航道设计中少有涉及。而宁波-舟山港位于我国岛屿众多的舟山群岛海域, 沿海航道中岛礁区航道的设计在该海域较为集中和典型。本文以舟山水域通航条件最为复杂和典型的“宁波-舟山港马岙港区灌门狭口段航道”为对象, 对复杂岛礁区航道进行设计研究。

### 1 港区概况

宁波-舟山港马岙港区位于舟山本岛北岸, 紧邻灌门水道, 东连黄大洋、西接灰鳖洋, 附近

有长白山、秀山岛等众多岛屿掩护, 避风条件优良。根据《宁波-舟山港总体规划》, 马岙港区定位为临港产业服务为主的综合性港区, 以石油化工品等液体散货、煤炭和散、杂货等运输为主, 包括烟墩临港工业区、金鸡山作业区及钓浪作业区(图1)。其中烟墩临港工业区、金鸡山作业区位于灌门航道狭口段西侧, 规划布置10万吨级及以下泊位24个; 钓浪作业区位于狭口段外侧, 为临港大型工业的配套港区, 规划作为远景发展区, 预留建设15万吨级泊位。

马岙港区公共主航道之一<sup>[1]</sup>的灌门航道全长

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 曾建峰(1982—), 男, 工程师, 主要从事港口航道工程设计研究。

约50 km, 起于口外东航路附近, 至金鸡山作业区附近, 其中位于主航道中部的灌门狭口段航道, 由

于受岛礁等条件限制, 为港区公共航道的主要限制段和整治段, 也是本文的主要研究对象(图1)。

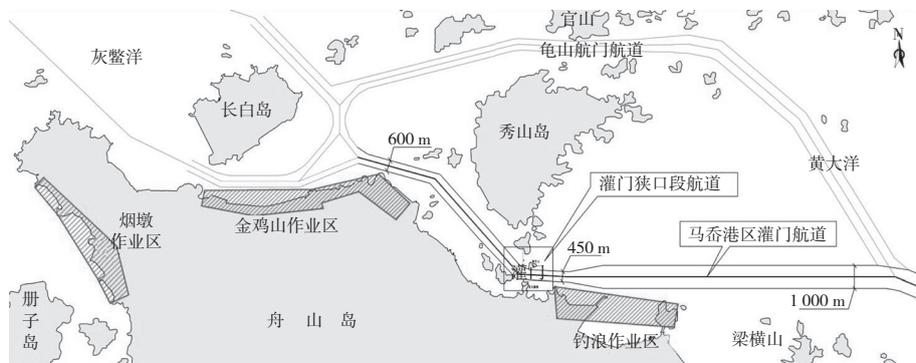


图1 工程位置

## 2 狭口段航道特点、整治及研究要点

### 2.1 航道特点

#### 2.1.1 航道平面受限制约条件多

灌门狭口段航道现状见图2。

1) 灌门狭口段航道受南侧龙王跳嘴和北侧粽子山水下暗礁限制, 20 m等深线宽度仅约400 m, 不能满足设计船型通航宽度要求, 需通过炸礁手段拓宽航道。

2) 船舶穿过狭口段航道后需大角度转向达 $46^\circ$ , 经验表明, 若船速控制不好或通过狭口段时机不利, 船舶极有可能不能顺利通过而被压至下园山礁石区, 造成危险事故。

3) 狭口航道上方存在一110 kV跨海电力电缆, 净空高度仅53.8 m, 低于设计船型通航净空高度55.02 m的要求, 因此, 一旦偏航极有可能挂断电缆, 造成安全事故。

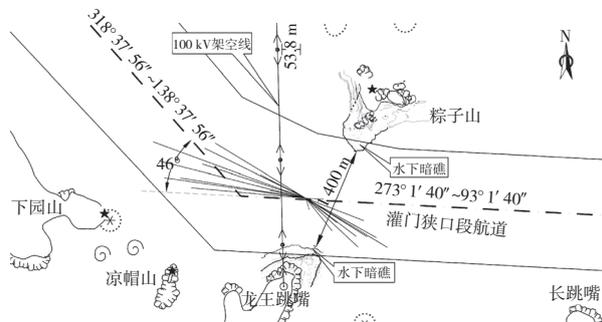


图2 灌门狭口段航道现状

#### 2.1.2 水流流态复杂

灌门狭口段因受龙王跳嘴和粽子山地形的窄束作用, 造成水深流急的复杂水流条件。狭口

段水深条件较好, 在20~80 m(当地理论最低潮面, 下同)之间; 但据实测水文测验资料分析, 狭口航道轴线中部测点的最大涨、落潮流速分别为3.3 m/s (6.6 kn)和3.1 m/s (6.2 kn), 涨、落潮垂线平均流速小于2 kn所出现频率分别为20%和24%, 大于2 kn流速出现频率在75%以上且流速结构中高流速水流( $\geq 3$  kn)占据主要成分(表1)。

表1 狭口段航道潮流不同流速频率统计

流速/kn	占全潮时间比例/%	
	涨潮	落潮
0~<1	8.57	13.16
1~<2	11.43	10.53
2~<3	11.43	10.53
$\geq 3$	68.57	65.79

此外, 根据现场实测流态反映, 高流速时测区中有涡旋与激波发生, 且狭口段水流主流向与航道存在夹角(约 $18^\circ$ ), 对大型船舶航行不利。

#### 2.1.3 船舶进港时机选择难度大

根据水文测验资料分析, 该航段流速小于1.0 m/s的缓流时间较短, 白天平均可持续约1~1.5 h, 远低于常规航道通航标准; 同时根据航行经验, 流急时段对船舶通过航门十分不利。因此, 航道通航受狭口段水流限制较大, 对船舶进港时机的选择要求非常高。

## 2.2 整治及研究要点

1) 确定狭口段航道的平面布局, 对整治宽度进行重点分析; 2) 运用数模计算等方法确定狭口

段航道炸礁宽度, 并借助实船通航数据和船舶模拟操纵试验手段, 验证航道炸礁后的通航效果; 3) 结合狭口炸礁后实测潮流数据, 合理确定船舶通过狭口段时机, 并分析其航道通过能力; 4) 在狭口段架空线不抬高的前提下, 利用其悬链线结构形式, 论证10万吨级船舶通航能力。

### 3 狭口段航道尺度的确定

狭口段航道尺度包括航道通航深度和整治宽度, 与该段航道建设规模相关。综合分析港区泊位数及运量, 计算与之匹配的进、出港船型通航频率, 发现10万吨级散货船和5万吨级化学品船在狭口段交汇概率最大, 故该狭口段航道设计规模为10万吨级+5万吨级船舶双向通航较为合理。狭口段航道自然水深满足10万吨级散货船设计通航

水深15.90 m的要求, 故航道无需疏浚, 仅需考虑炸礁拓宽即可。

航道有效宽度按现有规范<sup>[2]</sup>中双向航道公式计算(流压角取 $14^\circ$ ), 即 $W=C_{10}+A_{10}+b_{10}+A_5+C_5$ 计算, 计算有效宽度 $=43\text{ m}+150\text{ m}+43\text{ m}+110.9\text{ m}+48.3\text{ m}=395.3\text{ m}$ (表2), 即按规范计算航道宽度395 m可满足设计船型通航要求, 但考虑该区域局部时段流压角大于 $14^\circ$ , 且受限条件多, 为确保大型船舶通过该航段的操作安全, 在满足航道计算宽度条件下进行适当加宽航道有效宽度。经多方案比选和对超规范航道流压角参数取值的研究, 本工程狭口段航道整治宽度推荐取值为450 m。经采用船舶模拟操作试验进一步验证, 该宽度可满足10万吨级船舶与5万吨级船舶双向交会通航所需宽度要求。

表2 狭口段航道尺度

船型	设计船型尺度/m			通航水深/m		10万+5万吨级双向航道宽度/m			
	总长 $L$	型宽 $B$	满载吃水 $T$	航道区	炸礁区	计算宽度			整治宽度取值
						富裕宽度 $c$	航迹带宽度 $A$	计算宽度	
10万吨级散货	250	43.0	14.3	15.9	16.1	43.0	150.0	393.5	450
5万吨级化学品	183	32.2	12.9	14.5	14.7	48.3	110.9		

### 4 狭口段航道平面布局设计

狭口段航道平面布局主要考虑以下两个方面: 一是减少炸礁工程量, 二是提高船舶操纵便利性和通航能力。经综合比选炸礁工程量, 以及经二、三维潮流数学模型多方案计算, 发现航道轴线布置于现有航道20 m等深线中间, 既能减少炸礁工程量, 也能进一步改善狭口段航道水流流态、延长航道缓流时间, 提高了航道通航能力,

整治效果最为理想。为确保船舶转向安全, 设计认为将航道转弯点控制在狭口西侧约400 m处, 有利于船舶转向操纵。优化后航道转弯角度为 $46^\circ$ , 航道按转弯半径1 500 m(6倍设计船长)进行北侧边线加宽, 可满足设计船型转弯通航尺度要求。按航道有效宽度450 m和通航水深16.1 m计, 狭口段南、北侧水下暗礁均需炸礁处理(图3)。

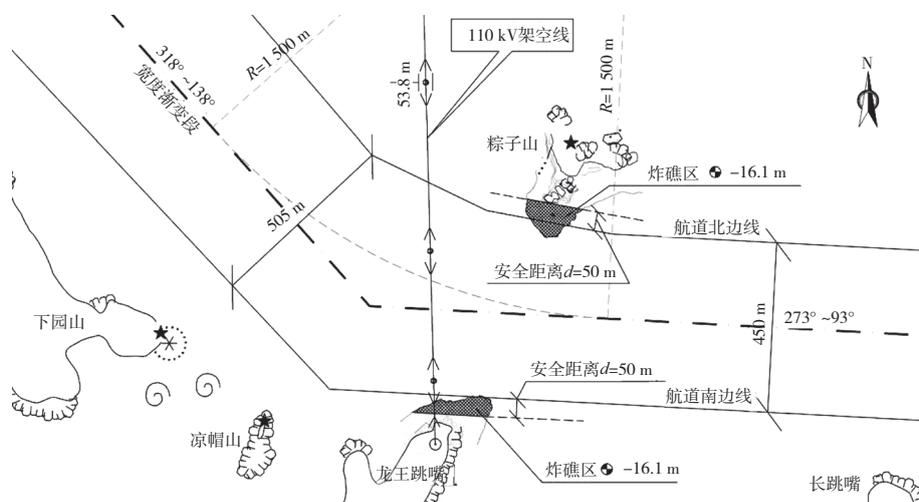


图3 灌门狭口段航道平面布置

## 5 狭口段航道炸礁工程设计

### 5.1 炸礁底高程

炸礁区一般不考虑利用潮位，即底高程确定为-16.1 m（当地理论最低潮面）。

### 5.2 炸礁宽度（安全距离）

炸礁宽度即确定航道边线与炸礁边线之间的安全距离。由于灌门狭口处两侧均为水下暗礁，为克服“岸壁效应”<sup>[3]</sup>、减少岸吸作用的影响，需将两侧突起暗礁炸除，以增加大型船舶安全距离。由于现有规范<sup>[1]</sup>中未对航道边线与礁石安全距离给出明确计算方法，参考国际航运协会（PIANC）《进港航道设计导则》中关于船-岸间距的标准，以“对陡峭坚硬堤岸或建筑物在中等航速情况下（8~12 kn），船舶与岸附近宽度取1.0倍船宽（表4）”为依据。在本工程设计船型为10万吨级散货船且船宽43 m的情况下，安全距离取整为50 m（图3），即炸礁边线距航道边线外

表4 船与岸间距附加宽度

对岸情况	船速	附加宽度	
		外海航道无掩护	内航道有掩护水域
陡峭坚硬堤岸或建筑物	快	1.3B	
	中	1.0B	1.0B
	慢	0.5B	0.5B

注：B=船宽。

50 m，炸礁宽度为550 m。同时根据二、三维潮流数学模型计算，炸礁宽度550 m能使狭口区水流流场进一步平顺，原粽子山两侧回流中心北移约50 m，减少了紊流对大型船舶通航安全的影响。

### 5.3 炸礁后通航效果验证

#### 5.3.1 实船通航效果

灌门狭口段航道于2009年整治完成，航道以10万吨级规模建设，港区现有最大泊位为5万吨级（兼顾8万吨级），目前来港最大船舶为5万吨级。根据选取的3条实船资料（表5，图4）分析，进出港船舶均安全通过狭口段，航行效果较为理想。

表5 实船引航通过灌门狭口段航道相关数据

船名	进出港	船长/m	载重吨/DWT	吃水/m	过狭口时间	说明
长航光荣	进港	185.0	45 720	11.5	16:49	高潮后3.5 h
	出港	185.0	45 720	9.5	13:21	高潮前3.2 h
百池	进港	187.8	41 983	10.4	14:13	高潮后3.5 h
	出港	187.8	41 983	9.0	09:05	高潮前3.0 h
长航成功	进港	185.0	45 811	11.0	11:15	高潮后2.0 h
	出港	185.0	45 811	9.5	13:00	高潮后2.5 h

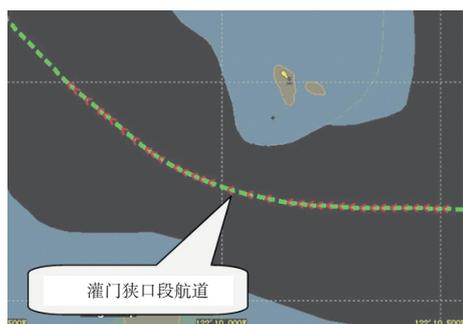


图4 “长航光荣”进港AIS轨迹线

#### 5.3.2 船舶模拟试验效果

试验选取10万吨级散货船在满载和压载状态下，在设定流速1 m/s（2 kn）、航速6~8 kn和不同风向等工况下模拟其单向进出狭口段通航。试验中对船位、航向、航速、主机工况、操舵舵角等运动参数以及风流数据进行了记录，并总结船舶操纵规律、评价船舶操纵的安全性。试验表明（图5），10万吨级船舶无论是在涨潮流还是落潮

流的情况下，均能顺利通过狭口段航道。

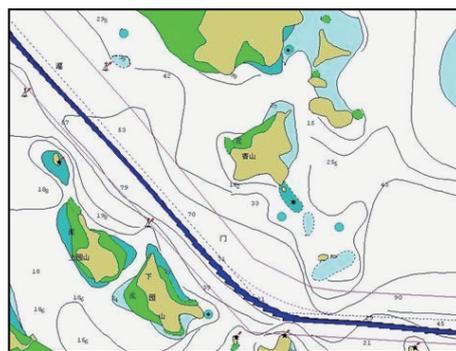


图5 10万吨级船舶出港模拟轨迹

## 6 狭口段船舶通过时机研究及操纵建议

### 6.1 通过时机

狭口段航道整治后于2009年9月开展了大、中、小潮缓流时段的观测工作（表6），据实测数据分析，白天缓流时段（流速 $\leq 2.0$  kn）一般均在2 h以下，比工程前有所延长。经计算，船舶若排

队进港, 航道最多可通航船舶约 20 艘/潮, 满足港区通航能力要求。

表 6 狭口段实测潮流 (流速  $\leq 2.0$  kn)

潮流	潮流特性	出现时间	转流时刻	历时
小潮汛	落潮转涨潮	10:23—12:25	11:35	2 h 02 min
	涨潮转落潮	15:39—17:33	16:40	1 h 54 min
中潮汛	落潮转涨潮	08:03—09:04	8:37	1 h 01 min
	涨潮转落潮	13:30—15:01	14:22	1 h 31 min
大潮汛	涨潮转落潮	12:10—13:32	12:54	1 h 22 min
	落潮转涨潮	18:23—19:32	19:12	1 h 09 min

由表 6 分析, 缓流时段均出现在换流前后时段, 即“落末-初涨”或“涨末-初落”等潮流时段, 船舶可在以上时段通过灌门狭口段航道, 缓流时段一般均在高潮前或高潮后 2~3 h 内, 实际通航时, 船舶应估算好到达灌门狭口处时机, 准确把握起锚或离泊时间。

### 6.2 狭口段航道操纵建议

为确保安全, 船舶在狭口处大角度转向时, 应分次转向、平稳过渡, 以保持转向的连续性, 转向过程中应保持与粽子山正横 1.5 链距离; 船舶应在抵达狭口段进口前 1 n mile 处提前摆好船位, 使船舶航迹线处于航道中心线上, 航速宜控制在 6~10 kn; 同时万吨级以上船舶通过航道应安排 1~2 艘专用护航拖轮。鉴于狭口段复杂的通航条件, 且灌门近期船舶流量较少的实际情况, 狭口段航道近期暂按单向航道使用。经过通航一段时间, 有了引航及管理经验后, 可开放船舶交会通航。

### 7 架空线通航能力分析

狭口段航道上空为龙王跳嘴与青山之间的 110 kV 架空线, 其最低点高程为 56.87 m (1985 国家高程基准面), 对应的净空高度仅 53.8 m。根据规范<sup>[4]</sup>计算, 10 万吨级船舶所需净空高度为 55.02 m, 最低点不能满足其通航净空高度要求, 一般情况均需抬高电缆。通过分析电缆与航道相互关系, 合理利用电缆悬链线形式, 可以在降低成本的前提下, 提高本电缆下方船舶的实际通航能力。

本跨海电缆最低点位于航道北边线北侧约 150 m 处, 电缆投影与航道轴线夹角为 85°, 电缆投影下方航道直线宽 563 m (图 6), 大于 10 万吨

级船舶通航宽度要求。在满足 10 万吨级船舶通航净空高度的要求下 (55.02 m), 电缆投影下方 563 m 宽度范围内可满足设计船舶通航净空高度和宽度要求, 现有电缆可不抬高。

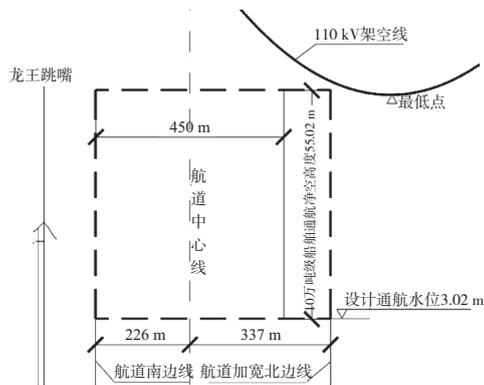


图 6 狭口段架空线通航净空尺度

### 8 结论

1) 岛礁区航道、特别是狭口段航道特点为水深流急, 流态紊乱, 整治重点应考虑减少紊流流态对船舶航行的影响, 提高船舶可持续通航时间。

2) 狭口段航道整治应综合比较炸礁工程量、整治效果、通航效果等, 其手段可包括数学模型计算、船舶模拟试验和实船操纵试验。

3) 当受两侧岛礁地形限制时, 航道边线与礁石区安全距离  $d$  可按 1 倍设计船宽取值, 该取值在舟山地区应用较多, 也较为可行。设计中对安全距离范围内的岛礁应按航道设计标准予以炸礁处理。

4) 狭口段可通航时机的选择取决于潮流流速、设计船型尺度及船舶操作性能等, 一般可选择在与之匹配的缓流时段通航, 缓流时段的选取可通过实测潮流数据和实船适航资料分析取得。

5) 当跨越航道电缆的最低点不在航道通航宽度范围内时, 航道通航净空高度和净空宽度可根据需要考虑电缆的悬链线形式综合论证。

### 参考文献:

- [1] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 舟山港马岙港区公共航道整治工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2007.
- [2] JTJ 211—1999 海港总平面设计规范[S].
- [3] 吴澎. 深水航道设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [4] JTJ 311—1997 通航海轮桥梁通航标准[S].

(本文编辑 武亚庆)