宝钢马迹山港扩建卸船码头水流条件分析

崔 峥，徐 啸，佘小建，毛 宁，张 磊

（南京水利科学研究院，江苏 南京 210029）

摘要：宝钢马迹山港扩建卸船码头涨潮时水流与码头前沿存在20°左右夹角，对船舶靠泊有较大影响. 通过物理模型试验，比较分析了多个方案的整治效果，结果表明，设置一定长度的导流堤可有效改善扩建卸船码头前水流流态，并推荐东导流堤150 m方案. 推荐方案实施后，现场水文测量资料分析表明，工程实施后的水流流态与模型试验结果完全一致，明显改善了扩建卸船码头前沿的水流条件，涨潮时水流与码头前沿夹角平均为5°～10°，基本归顺了码头前沿水流.

关 键 词：物理模型试验；导流堤；水流流态；马迹山港；卸船码头

中图分类号：TV135.6 **文献标识码**：A **文章编号**：1009-640X(2008)04-0032-07

Analyses on flow condition along extended Majishan unloading harbor in Bao Steel

CUI Zheng, XU Xiao, SHE Xiao-jian, MAO Ning, ZHANG Lei

(*Nanjing Hydraulic Research Institute*, *Nanjing* 210029, *China*)

Abstract: There is a angle of about 20 degrees between the port and the flood flow along the extended Majishan unloading harbor in Bao Steel, which affects the berthing of ships. Based on the physical model experiments of several projects, the diversion dike arranged will improve the tidal current along the unloading harbor, and the project of 150 m-long east-diversion dike is thus suggested. Analysis of the local data measured shows that the flow condition keeps consistent with the result of the physical model after the project, that the angle between the port and the flood flow is 5～10 degrees, and that the diversion dike improves the tidal current along the port.

Key words: physical model experiment; diversion dike; tidal current; Majishan harbor; unloading port

马迹山港一期工程主要包括25万t级(兼靠30万t级)卸船泊位、3.5万t级(兼靠5万吨级)装船泊位和15 m×104 m的堆场等[1]. 早在2003年堆场能力即达饱和，码头设施也已超负荷运转. 为确保上海宝钢集团公司钢铁生产的稳步发展，降低企业运输成本，同时服务于长江三角洲及长江沿线钢铁企业，扩建马迹山矿石中转港是非常必要的.

收稿日期：2008-01-22

基金项目：国家自然科学基金资助项目(10272062)

作者简介：崔 峥(1970-)，男，安徽肥东人，工程师，硕士，主要从事河口、海岸动力泥沙研究. E-mail：zcui@nhri.cn

扩建工程码头设计年吞吐量为 3 000 万 t(卸船、装船各 1 500 万 t). 需新建 30 万 t 级矿石卸船码头1 个，1 万 t 级、5 万 t 级装船码头各 1 个；扩建陆域面积为 23.2×104 m^2，以及建设新一代配套工程(见图 1).

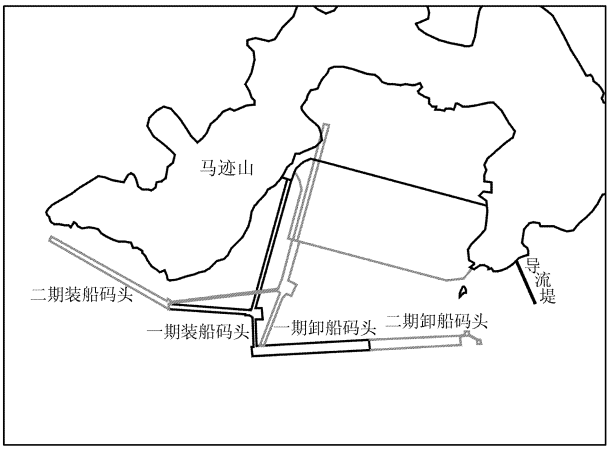


图 1　马迹山港扩建工程布置图

Fig. 1　Layout of extended Majishan harbor

1　工程区海域水流特征

马迹山港位于浙江省嵊泗县泗礁岛西南约 1 500 m 处的马迹山岛，嵊泗本岛距上海吴淞口约 60 海里，距舟山定海约 74 海里，距日本长崎约 400 海里. 嵊泗海域是进出上海港、长江流域的必由之路，居于我国贸易及运输最繁忙的南北运输大通道和长江黄金水道必经之地. 马迹山港址的地理坐标为 30°41′N；122°25′E. 2004 年 6 月水文测验结果[2,3]表明，距岸较远处潮流运动形式基本为东东南和西西北向的往复流，但是离岸较近处明显受岛屿地形边界条件的影响，潮流运动的不对称性尤为明显.

受地形影响，扩建卸船码头前沿和以东水域，涨潮流为绝对优势，卸船码头以北更加明显. 扩建卸船码头区涨潮测点最大流速为 292 cm/s，垂线最大流速为 254 cm/s. 扩建卸船码头走向为 87° ~ 267°. 扩建卸船码头前沿 N3 站，涨潮垂线平均为 251°，涨潮主流方向与码头走向之间存在 16°以上夹角，这将对卸船码头的靠、离泊造成较大的影响. N3 站落潮时最大流速为 128 cm/s，垂线最大流速为 99 cm/s，垂线最大及平均流向均为 89°，即落潮流方向与卸船码头走向基本一致.

东海海洋工程勘察设计研究院在马迹山矿石中转港扩建工程实测潮流的基础上，通过数值模拟，计算矿石中转港几种不同方案组合下的潮流情况，分析其潮流特征. 报告的主要分析结论[4-6]为：

(1)马迹山矿石中转港扩建后，拟建卸船码头前沿水域流速略有增加，涨潮时，流速最大增幅为 6 cm/s，而且码头的平面布置与水流夹角较小，基本满足船舶的靠泊条件；

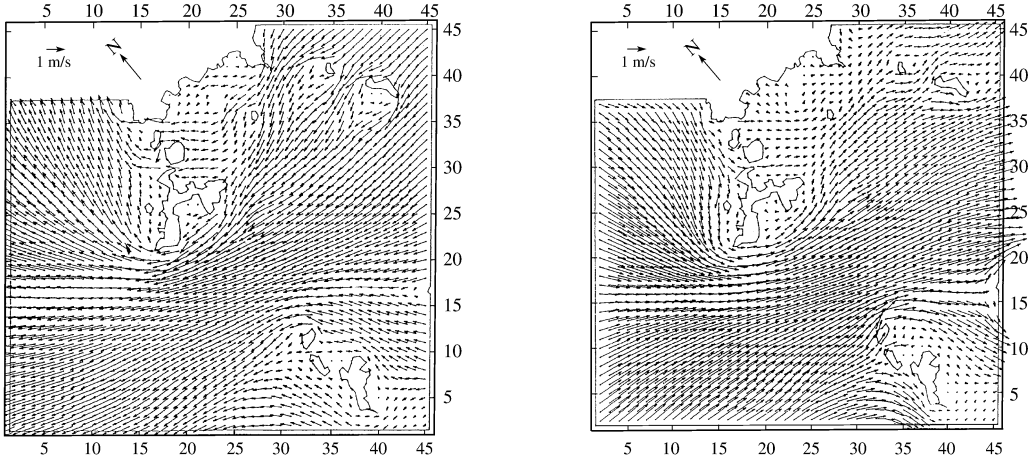
(2)围垦区堤坝东南角挑流作用对拟建卸船码头前沿流速的附加增值不大. 加之受拟建卸船码头群桩的阻水，码头后方流速减小，而且堤坝岸线与等深线平行，拟建卸船码头和围垦区之间的水流平缓顺直；

(3)装船码头对附近水域水流影响不大. 相对而言，西方案码头西端与涨落潮自然流向近乎垂直，对船舶靠泊不利. 东方案码头前沿水流的流向与码头轴线的夹角较小，而且流速也能满足船舶的靠泊条件；

(4)装船码头西方案增加建造导流堤，用以改善码头东、西端的流向差，使得潮流归顺，保证船舶安全靠泊作业. 9 种导流堤方案的潮流数值模拟结果表明，导流堤对码头西端影响较大，对中段和东段影响较弱. 建导流堤后，落潮时码头东段、中段和西段流向基本归顺在 113° ~ 118°，涨潮时东段流向归顺接近 300°，中段和西段变化不大. 导流堤能使潮流的流向归顺到装船码头的码头轴线方位角走向. 导流堤长度(200，300 和 400 m)对码头前沿流向影响差别不大；大潮情况下，导流堤的水流归顺效果不如中、小潮；从流向归顺情况看，偏南的 280°轴线方案效果最佳；

(5)装船码头(方案一)中部在大潮涨急至涨急后 3 h 间,均存在回流区.

数学模型计算的马迹山附近海域涨急、落急流场见图 2. 可见,工程区海域宏观流态为东、西向往复流,但由于受马迹山岛屿地形限制,涨、落潮时受马迹山两端地形的挑流作用,涨潮时在扩建卸船码头东侧、落潮时在扩建装船码头西侧水流与码头均存在较大的夹角,对港区船舶有一定影响.



(a) 涨急流场 (b) 落急流场

图 2 数学模型计算中马迹山港附近海域涨急、落急流场图

Fig. 2 Flow vector of numerical model in the Majishan island

马迹山港水深达 27 m 以上,有着优良的水深条件,码头前流速很大,一般情况下不需要考虑码头前的回淤问题. 因此,改善扩建卸船码头前水流条件是本项研究主要解决的问题.

2 物理模型试验结果及分析

根据宝钢马迹山扩建工程设计方案,最后确定物理模型模拟面积为 630 km^2. 模型南边界走向与 N 向呈 26°夹角. 模型东边界至大黄龙岛东缘,西边界在徐公岛以西海域,北边界在泗礁山以北,南边界在川湖列岛以北海域. 模型水平比尺 $\lambda_l = 600$,垂直比尺 $\lambda_h = 140$,生潮系统通过双向泵流量控制,模型布置见图 3. 模型对 2004 年 6 月水文测验测站进行流速流向验证及马迹山港前潮位验证,验证情况良好[7,8]. 因此,模型具备了复演马迹山港水流条件的能力,为下一步方案试验提供了保证.

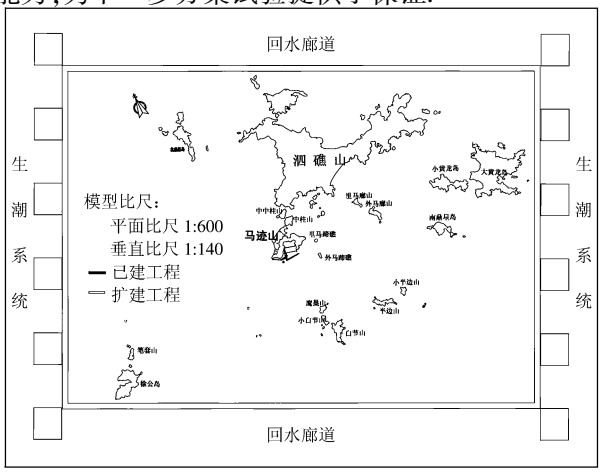
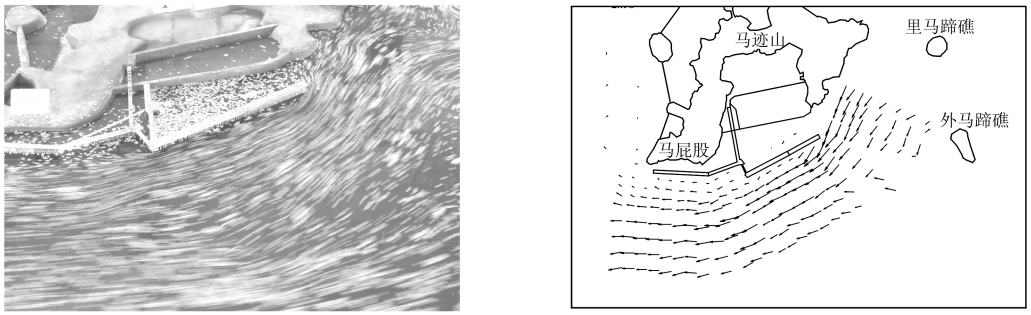


图 3 宝钢马迹山扩建工程模型布置图

Fig. 3 Physical model of Majishan harbor in Bao Steel

物理模型试验中发现，马迹山港矿石码头扩建工程实施后，扩建卸船码头东端涨潮水流湍急，水流流向与码头走向之间存在 20°左右的夹角，水流条件对船舶安全靠、离泊极其不利，扩建工程建成后东部扩建卸船码头前水流流态见图 4. 为了改善码头前水流条件，需要采取一定的工程措施[9].

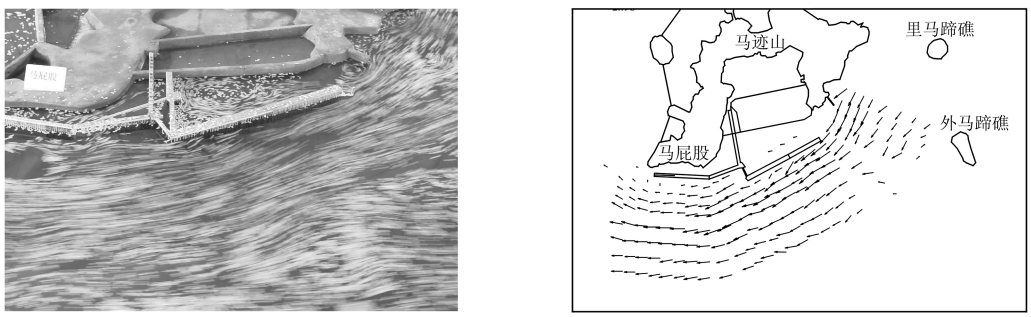
在扩建卸船码头东侧 300 m 左右有 2 个暗礁. 通过物理模型试验，发现在暗礁上建导流堤不仅可以改善卸船码头东端水流条件，还可充分利用暗礁大大减少工程量. 为此，模型中分别进行了导流堤长度为 100 m、150 m 和 200 m 方案水流试验. 导流堤长度为 100 m、150 m 和 200 m 时扩建卸船码头前涨急流态分别见图 5 ~ 7. 可见，在导流堤作用下，涨潮流被挑离岸线，导流堤越长挑出越远，导流堤与扩建卸船码头间水流呈一弧线，到扩建卸船码头东端时水流与码头走向趋于平行.



（a）　工程前流态照片　　（b）　工程前流速矢量图

图 4　马迹山港扩建工程建成后水流流态

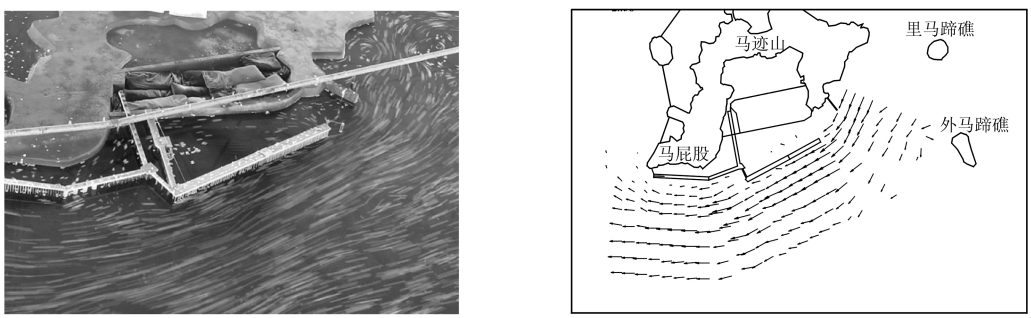
Fig. 4　Flow pattern along extended unloading harbor before diversion dike project



（a）　流态照片　　（b）　流速矢量图

图 5　马迹山港扩建工程东侧 100 m 导流堤工程建成后水流流态

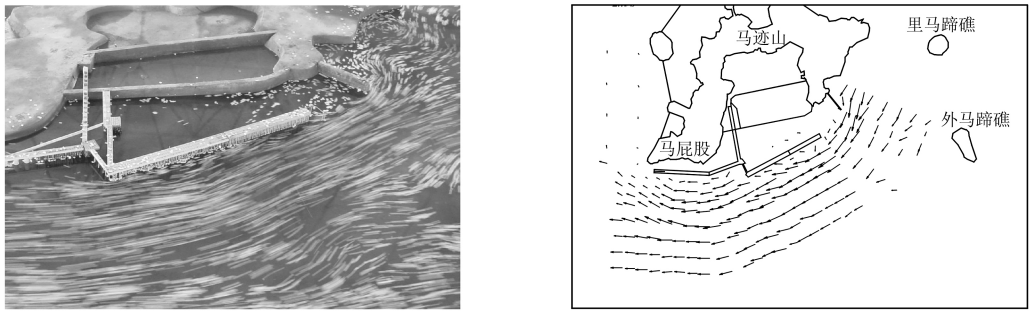
Fig. 5　Flow pattern along extended unloading harbor after 100-m diversion dike project



（a）　流态照片　　（b）　流速矢量图

图 6　马迹山港扩建工程东侧 150 m 导流堤工程建成后水流流态

Fig. 6　Flow pattern along extended unloading harbor after 150-m diversion dike project



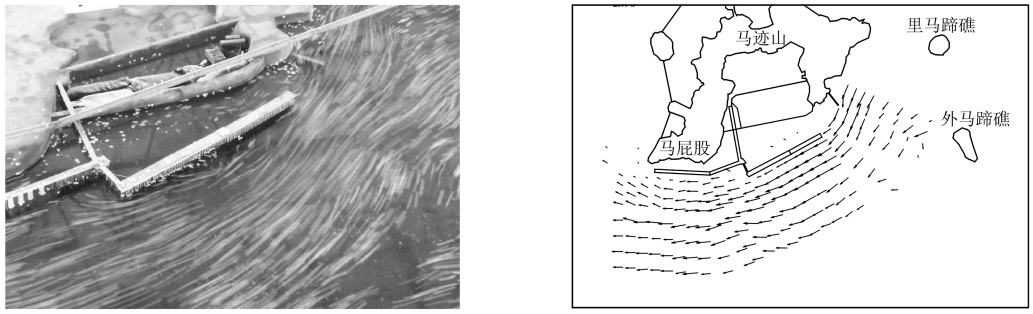
(a) 流态照片 (b) 流速矢量图

图 7 马迹山港扩建工程东侧 200 m 导流堤工程建成后水流流态

Fig. 7 Flow Pattern along extended unloading harbor after 200-m diversion dike project

物理模型试验表明,导流堤长 100 m 时,涨潮主流绕坝分离线不到码头前沿,扩建卸船码头东端有100 ~ 130 m 范围依然受斜向涨潮水流的影响;导流堤长 150 m 时,水流分离线基本在码头东端前沿线位置,此时扩建卸船码头前沿水流较平顺,流向与码头夹角基本在 10°以内;导流堤长 200 m 时,分离线超出扩建卸船码头前沿线 50 m 外,码头停泊区处于导流堤掩护的缓流区内,水流流向与码头前沿线基本平行.

此外,模型中还进行了 150 m 潜堤(堤顶高程为当地平均海平面)方案. 图 8 为 150 m 潜堤实施后卸船码头前涨急流态. 可见,潜堤的导流效果不及 150 m 出水导流堤,由于涨急发生在接近高潮位时刻,潜堤堤顶过水水流湍急,过水水深依然有 2 m 左右,码头东端水流与码头岸线夹角稍大于 150 m 出水导流堤.



(a) 流态照片 (b) 流速矢量图

图 8 马迹山港扩建工程东侧 150 m 潜堤工程建成后水流流态

Fig. 8 Flood flow pattern after 150-m hidden diversion dike project

不同导流堤方案条件下,涨潮期卸船码头前沿不同位置最大流速、主流向与码头岸线走向间的夹角见表 1,测点距码头前沿线 30 m,港区前沿测点布置见图 9. 可见,导流堤方案实施前,扩建卸船码头东部涨潮水流与码头前沿夹角超过20°,100 m,150 m,200 m 导流堤和150 m 潜堤建成后,卸船码头前沿东部水流与码头前沿夹角分别减小为 20°,10°,6°和 11°,最大流速也分别从2.5 m/s 减小到 2.3,1.9,1.3 和 2.1 m/s,码头前沿水流分布也较导流堤建成前均匀.

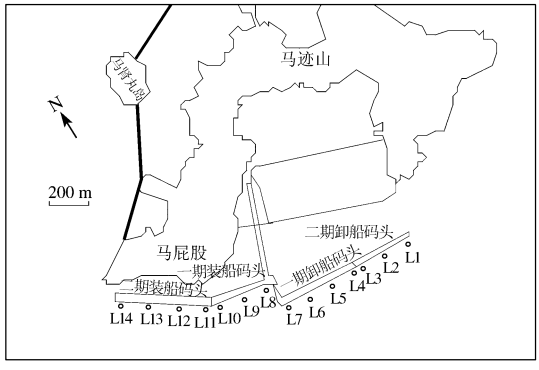


图 9 马迹山港港区前沿测点布置

Fig. 9 Positions of the model measuring points along Majishan harbor

表 1　扩建卸船码头前涨潮期最大流速及流向与码头夹角

Tab. 1　The maximum velocity and the angle between flow direction and the port during flood tide along the extended Majishan unloading harbor

方　案	东部(L1)		中部(L2)		西部(L3)	
	流速/（cm·s^{-1}）	夹角/°	流速/（cm·s^{-1}）	夹角/°	流速/（cm·s^{-1}）	夹角/°
导流堤建成前	252	25	72	20	67	5
100 m 导流堤	233	20	160	5	103	5
150 m 导流堤	192	10	172	5	122	5
200 m 导流堤	131	6	133	5	126	0
150 m 潜堤	208	11	172	5	138	5

分析水流条件可见，建设 150 m 导流堤后，绕堤水流分离线基本在码头前沿，码头前沿水流较为平顺；100 m 导流堤时码头前夹角仍然较大；200 m 导流堤下，涨潮主流线偏离码头，使得码头前出现一定的缓流区，同时增加了工程造价；150 m 潜堤时，高潮位时涨潮水流可以从堤顶越过，仍对码头有一定的影响. 建东导流堤后，卸船码头后方水域水流条件也发生了变化，主流向外挑，随导流堤延长，导流堤西侧挑流区范围增大，卸船码头北侧近岸流速也逐渐减弱，与码头走向夹角也逐渐减小. 落潮时，由于卸船码头为缓流区范围，流速相对较弱，东导流堤工程对落潮水流影响较小.

综上分析，从扩建卸船码头前水流条件考虑，最后建议扩建卸船码头东侧采用出水导流堤，导流堤长度约为 150 m.

3　原型实测资料与物理模型试验结果比较

实际工程中采用模型试验推荐的东导流堤 150 m 方案，在二期卸船工程完成了人工基床和全部钢管桩沉打工程、东侧 150 m 导流堤已经建成的条件下，为了分析东侧导流堤工程建成后卸船码头水域水流情况，2006 年 11 月 5 ~ 6 日，在马迹山港卸船码头水域又进行了一次水文测验[10].

图 10 为 2006 年 11 月水文测验期间涨急流速矢量图，可以看出，涨潮时，由于东侧导流堤的挑流和导流作用，一、二期卸船码头前水域水流均比较平顺. 但由于当地涨潮流强度较大，在导流堤堤头处挑流作用下，流线呈弧线状分布，二期卸船码头东端水域涨潮水流稍向西南偏、而一期卸船码头西端水域涨潮水流稍向西北偏，主流流向与码头轴线之间最大夹角在 12°以内. 从导流堤工程实施后扩建卸船码头前水流流态看，现场实测水流条件与模型试验结果基本一致.

模型试验中为了研究码头前水流情况，沿一、二期卸船码头前布置了一排测流点，其中扩建卸船码头前测点为 L1 ~ L3，距码头前沿 30 m，实测资料中扩建卸船码头前 4#断面测点分别为 421 ~ 414，距码头前沿 50 m，测点位置见图 11. 由于更接近码头，且 2006 年 11 月水文测验期间潮差小于模型试验中所用的潮型，模型中测量的流

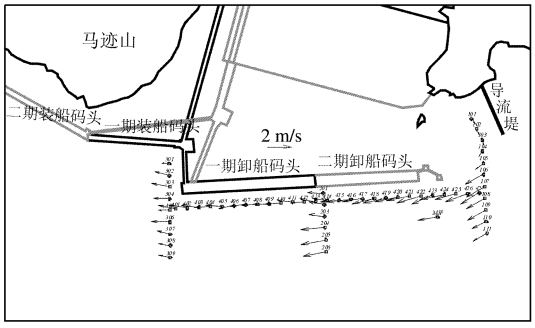


图 10　2006 年 11 月实测大潮涨急流速矢量图

Fig. 10　Flood flow vector during the spring tide in Nov 2006

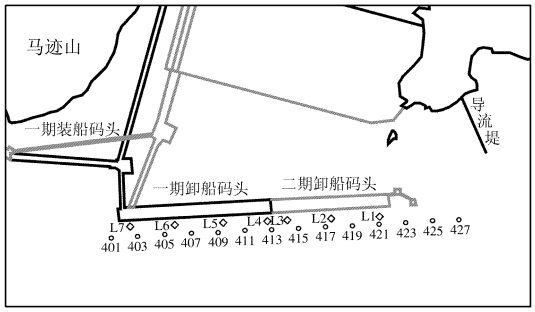


图 11　模型试验测点和 2006 年 11 月 ADCP4#断面测点位置

Fig. 11　Positions of the model measuring points and No. 4 ADCP cross-section in Nov 2006

速值小于本次现场实测值,这里主要比较水流与码头的夹角. 表 2 为模型试验中二期卸船码头及其东侧 150 m导流堤建成后,现场实测 421 ~414 点与模型试验中相应的 L1 ~ L3 点涨急流速、流向与码头走向夹角的比较. 根据 2006 年 11 月现场水文测验的结果,扩建卸船工程建成后,两端的流速较大,尤其涨潮期间,二期码头东端(421 点)最大流速为 2. 16 m/s,与码头夹角 13°,417 和 414 点最大流速分别为 1. 72 m/s 和 1. 22 m/s,与码头夹角均为 5°. 可见,东部建 150 m 导流堤能明显改善扩建卸船码头前水流条件. 并且,模型试验与现场实测的夹角(水流与码头前沿)完全一致,说明模型试验较好地预测了导流堤建成后扩建卸船码头前涨急流速和流向.

表 2 模型试验与现场实测涨急流速及流向与码头夹角比较

Tab. 2 Comparison of the current velocity and the angle between the results of model experiments and field measurements

测点位置	模型试验值		现场实测值	
	流速/ ($cm \cdot s^{-1}$)	夹角/ °	流速/ ($cm \cdot s^{-1}$)	夹角/ °
421 L1	192	10	216	13
417 L2	172	5	175	4
414 L3	122	5	140	5

4 结 语

物理模型试验结果表明,宝钢马迹山港二期工程建成后,涨潮时扩建卸船码头前水流流向与码头前沿存在一定的夹角,不利船舶靠泊. 通过在码头东部建 150 m 导流堤,可以较好地改善涨潮期间扩建卸船码头前水流流态. 东侧导流堤建成后,根据现场实测资料分析,扩建卸船码头前沿的水流条件得到了明显改善,涨潮时水流与码头前沿夹角平均为 5° ~10°,基本归顺了码头前沿水流. 物理模型试验预测与现场实测结果一致,推荐的东导流堤方案较好地解决了扩建码头前水流问题.

参 考 文 献:

[1] 徐屯金. 改善马迹山港通航环境的建议[J]. 中国港口, 2005, (8): 20-21.
[2] 徐新华. 宝钢马迹山矿石中转港扩建工程水文调查及分析报告[R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 2004.
[3] 徐新华. 宝钢马迹山矿石中转港扩建工程补充水文调查及分析报告[R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 2004.
[4] 王长海. 宝钢马迹山矿石中转港扩建工程潮流数模及分析报告[R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 2004.
[5] 魏泽勋. 宝钢马迹山矿石码头二期装船码头西方案导流堤优化方案潮流数值模拟报告[R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 2004.
[6] 魏泽勋. 马迹山港扩建工程结合装船码头结构的多功能导流堤优化方案潮流数值模拟报告[R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 2004.
[7] 徐 啸. 宝钢马迹山港扩建工程潮流定床物理模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2005.
[8] JTJ/T 233-98, 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程[S].
[9] 严 恺, 梁其荀. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
[10] 宝钢马迹山矿石中转港扩建工程后水文调查[R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计研究院, 2006.