



长江下游太平洲捷水道设计航道尺度标准

雷雪婷, 李有为, 马 奕, 闫 军

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要:在对水道航道条件进行分析的基础上, 考虑跨河建筑物净空尺度的限制条件, 提出太平洲捷水道仅能开辟为 3 000 吨级及以下航道。通过核算太平洲捷水道的航道通过能力, 综合分析预测航道尺度提高后, 两岸岸线开发和分流主航道船舶所带来的通航船舶尺度和数量的变化, 合理确定了设计代表船型。根据设计代表船型所需航道尺度计算, 提出了太平洲捷水道设计航道尺度标准为 $5.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 450\text{ m}$ (水深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径), 可为太平洲捷水道的设计航道尺度标准确定提供参考。

关键词: 太平洲捷水道; 设计航道尺度标准; 航道通过能力; 分流

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0163-07

Taipingzhou shortcut waterway channel scale standard in the lower Yangtze River

LEI Xue-ting, LI You-wei, MA Yi, YAN Jun

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: Considering the limiting conditions of river crossing buildings clearance based on the analysis of waterway conditions, we point out that Taipingzhou shortcut waterway can only be opened up to waterway of 3 000 DWT or below. After checking the waterway capacity of Taipingzhou shortcut waterway and analyzing comprehensively the change of navigation ship dimensions and amounts due to the development of both sides shoreline and diverted ships from the main channel after the channel dimensions are increased, we determine the designed typical ship type. According to the channel dimensions needed for the designed typical ships, we recommend the designed channel scale for Taipingzhou waterway is $5.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 450\text{ m}$ (water depth $\times$ navigation wide $\times$ bending radius), which may serve as reference for the development and utilization of Taipingzhou shortcut waterway.

Keywords: Taipingzhou shortcut waterway; design channel scale standard; waterway capacity; split

太平洲捷水道 (又称“夹江”) 位于长江下游太平洲右汊 (图 1), 地处中国经济最活跃的长三角地区, 全长 43.9 km, 是长江和大运河两大“黄金水道”的连接纽带, 沟通南北、承东启西、通江达海。长期以来, 由于该水道属于长江支汊水道, 一直没有定级, 处于自然状态, 在 2013 年 12 月前为小轮航道, 仅能航行 200 t 以下的小型船舶, 航道通过能力十分有

限。随着沿江地方经济的快速发展, 镇江市对进一步提升该段航道水深的需求十分迫切; 加之主江口岸直水道是 12.5 m 深水航道上延至南京的必经通道, 12.5 m 深水航道开通后, 大型船舶数量将大幅增加, 给该段小型船舶通航带来极大安全隐患, 也迫切要求提高夹江通航能力, 有效分流大江通航的中小型船舶, 提高通航效率, 降低安全风险。

收稿日期: 2014-06-19

作者简介: 雷雪婷 (1980—), 女, 高级工程师, 从事港口、航道科研与设计工作。

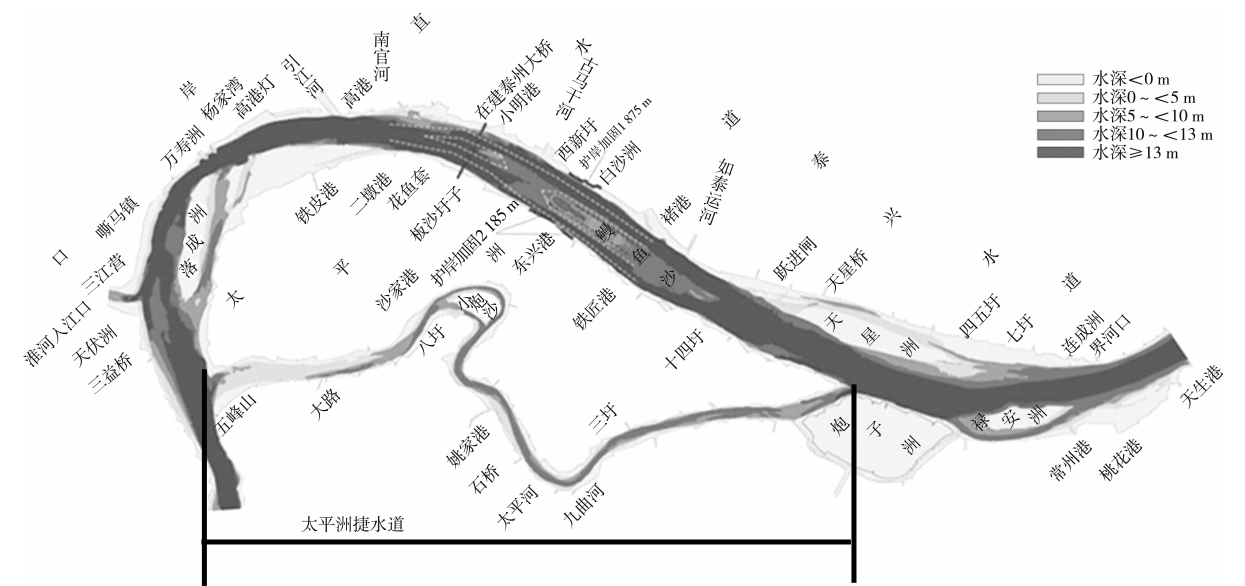


图 1 扬中河段河势

为提高太平洲捷水道航道通过能力，首先需要明确设计航道尺度。本文在研究太平洲捷水道建设限制外部条件、沿江港口的需求及分流主江主航道的船型尺度的基础上，结合太平洲捷水道的航道自然条件和航道通过能力研究，合理确定了太平洲捷水道的航道建设尺度标准，可供类似内河航道的设计和管理参考。

1 河道概况

太平洲捷水道位于长江下游扬中河段右汊，全长约 43.9 km，该段河道窄浅而弯曲，平均河宽

573 m，平均水深 8.5 m，从河道形态来看，由一系列弯道和介乎其间的过渡段所组成，河道总的趋势是由中段弯曲段接上、下两个较长的微弯顺直河段组成，其中中段由大路弯道、兴隆弯道、姚桥弯道和九曲河弯道共 4 个弯道组成，其中兴隆河弯为中间放宽的小炮沙分汊河道，其它 3 个河弯为单一的弯曲河道，弯道段局部河道曲折系数为 1.8 左右，属弯曲河道，见图 2。

太平洲捷水道经多年堤防建设后，河道内主导河岸已基本稳定，河势相对较为稳定，多年分流比维持在 10%^[1]。

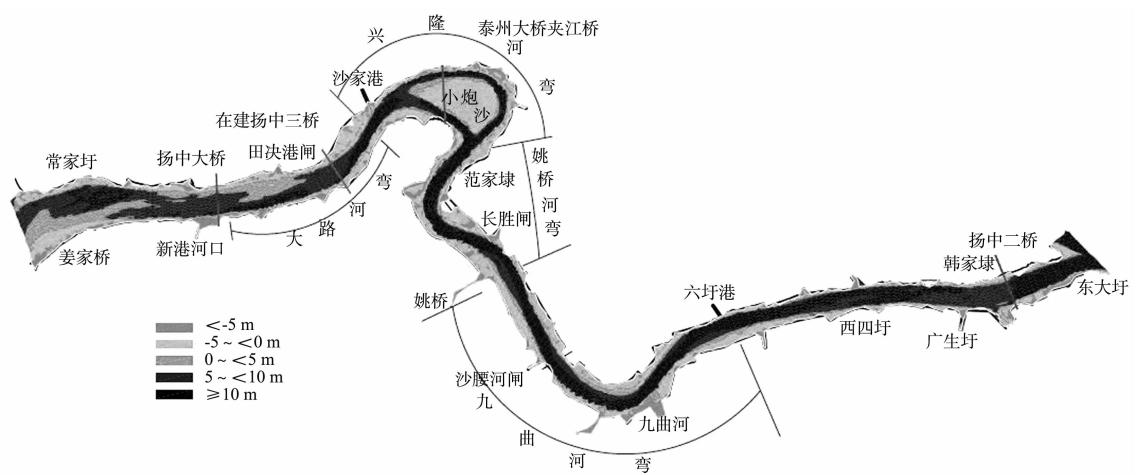


图 2 太平洲捷水道河势及跨夹江桥梁位置

2 太平洲捷水道航道条件及潜力

2.1 航道自然条件

对太平洲捷水道 1976 年来的航道条件进行的核查结果^[2]如下(表 1):

表 1 太平洲捷水道航道等深线情况					
水道名称	长度/ km	河型	等深线/ m	等深线 宽度情况	说明
扬中大桥 以上段	5.7	顺直	3	>200 m	
			4	时通时断	
			5	时通时断	
			6	断开	
扬中大桥至 扬中二桥段	35.7	弯曲	3	>200 m	2001 年以来
			4	>200 m	
			5	时通时断	大路弯道、 兴隆弯道
			6	时通时断	大路弯道、 兴隆弯道
			7	时通时断	大路弯道、 兴隆弯道、 三圩港至马家港闸
扬中二桥 以下段	2.5	顺直	3	>200 m	
			4	>200 m	
			5	>200 m	
			6	贯通	
			7	贯通	
			8	贯通	
			9	贯通	
			10	时通时断	

1) 太平洲右汊进口至扬中大桥段。航道条件总体较差,该段河底最深点一般为航行基面以下 3~4 m,多年来仅能保证 3 m 水深左右,4、5 m 等深线都仅能保证时断时通。

2) 扬中大桥至扬中二桥段。航道条件总体较好,仅在大路弯道、兴隆弯道汊道分流段航道水深较差,局部河底高程仅为航行基面以下 3~4 m,5、6 m 等深线也仅能保证时断时通,另该段内河道弯曲,在兴隆、姚桥、九曲弯道附近弯曲半径略小,最小仅约 480 m。兴隆弯道以下段航道条件相对较好,仅蔡家埭至扬中二桥段 7 m 等深线能保证时断时通。

3) 扬中二桥至太平洲右汊出口段。航道条件

总体较好,9 m 等深线贯通,但 10 m 等深线仅能保证时断时通。

可见太平洲捷水道全河段内基本上具备了提高至 5 m 的河道条件,而针对 5 m 等深线,仍在太平洲捷水道进口段及中上段存在局部浅险区域,分别是太平洲进口浅滩、大路弯道扬中大桥下游边滩和兴隆弯道;而提高至 6 m 及以上尺度,则难度相对较大,在扬中二桥以上存在多处浅区,分别为太平洲进口浅滩、大路弯道扬中大桥下游边滩、兴隆弯道、三圩港至马家港闸等;提高至 7 m 则难度更大,仅在扬中二桥以下约 2.5 km 的河段航道条件较好。

2.2 航道潜力研究

2.2.1 理论计算

理论上,航道水深可以通过人力工程挖掘到足够的深度,但由于天然河流的泥沙淤积,这一深度的稳定性极不确定,可能很快被泥沙填埋到一个自然深度并达到稳定状态。因此,航道整治工程可行性的关键,是保证后期河流来流量的自然冲刷力能够维持工程所实现的目标航道水深。

夹江属感潮河段,出口距离长江潮流界江阴较近,水流向上逆流动力较弱,持续时间不长,河道主流以向下为主,因此可以引用天然河流航道整治定级的理论计算方法^[3]开展研究。夹江上游进口段(扬中大桥以上)存在水深不足的问题,本节重点计算该段航道的水深潜力。以水力学、河流动力学等学科为理论基础,综合考虑河面宽度、水深、枯水期比降、糙率、优良河段数据等因素,计算夹江枯水期维持不同航道水深条件所需要的最小流量。

按 I 级航道设计最低通航水位下,由三峡蓄水以来的枯季河道水位、地形资料统计得出沿程优良河段的断面平均水深 H 与航槽边缘水深 h 具有如下相关关系:

$$H=0.834\ 2h-0.212\ 5$$

(1)

优良河段关系式如下:

$$B/H=1\ 528.9H^{-1.331\ 6}$$

(2)

按照上述公式进行夹江进口—扬中大桥段维持 I 级航道标准的理论流量见表 2。结果表明, 航道维持 5 m 水深理论所需流量约为 1 214 ~ 1 445 m³/s, 维持 6 m 水深理论所需流量约为 1 567 ~ 1 865 m³/s, 维持 7 m 水深理论所需流量约为 1 941 ~ 2 311 m³/s。

表 2 夹江进口—扬中大桥段 I 级航道标准的理论流量

标准航道 深度 h/m	优良河段断面 平均水深 H/m	标准航道 宽度 b/m	优良河段断面 平均宽度 B/m	优良河段 经验系数 ζ	枯水期 平均比降 J	河床 糙率 n	$Q_{\text{理论}}/$ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
5	3.96	200	968.81	3.282	0.000 01	0.021	1 445
						0.023	1 319
						0.025	1 214
6	4.79	200	909.28	3.126	0.000 01	0.021	1 865
						0.023	1 703
						0.025	1 567
7	5.63	200	862.16	2.996	0.000 01	0.021	2 311
						0.023	2 110
						0.025	1 941

2.2.2 实际可提高的尺度

为确定太平洲捷水道可提高的航道水深情况, 对 1959 年以来河段内枯季实测流量资料进行统计可知, 近 50 a 来太平洲捷水道枯季分流比基本在 10% 左右, 历年变幅小于 3%。捷水道的分流条件长期保持稳定, 水道内枯季流量多数年份在 2 311 m³/s 以上, 流量相对较大, 能满足航道提高至 7 m 水深所需的流量值; 仅在 2006 年 2 月和 2011 年 1 月长江流量特枯的年份, 捷水道流量较小, 分别为 1 428 m³/s 和 1 412 m³/s, 部分满足提高至 5 m 水深的流量条件。

2.3 小结

太平洲捷水道内水深条件良好, 理论计算多数年份可满足提高至 7 m 水深的流量条件, 但按照自然条件提高至 7 m 水深存在较多浅区段, 提高至 5 m 水深难度则相对较小。

3 外部限制条件

3.1 跨河桥梁

扬中夹江目前建有扬中长江大桥 (位于太平洲捷水道上口门以下 6 km 处)、泰州长江大桥夹江桥 (位于扬中长江大桥下游 7.5 km 小炮沙洲头处, 左汊设 2 个主通航孔, 通航净宽 112 m, 右汊设 1 个主通航孔, 通航净宽 120 m)、扬中二桥 (离太平捷水道出口约 2 km, 设 3 个通航孔, 最大

跨度 82 m)、在建扬中夹江三桥 (位于扬中大桥下游约 2.9 km 处, 设 4 个跨度均为 125 m 的通航孔), 平面位置见图 2。各跨河桥梁通航净高和主跨跨径统计见表 3。

表 3 跨夹江桥梁通航净高和主跨跨径

桥名	通航 净高/m	设计通航孔 桥跨布置/m	通航 净宽/m	说明
扬中大桥	10	上水 100; 下水 80	上水 88; 下水 68	1994 年建成
扬中三桥	18	上水 125; 下水 125	上水 100; 下水 100	在建
泰州大桥扬中夹江桥	18	左汊桥上水 125; 右汊桥下水 125	上水 100; 下水 100	2012 建成
扬中二桥	18	上水 100; 下水 120	上水 90; 下水 110	2004 建成

根据《内河通航标准》可知, 受扬中大桥通航净空 10 m 的限制, 现状情况下, 太平洲捷水道全河段仅能通航 1 000 吨级船舶; 而在扬中大桥以下段, 各桥梁通航净空高度均为 18 m, 可采用下进下出方式通航 3 000 吨级及以下的船舶; 扬中二桥以下, 可采用下进下出方式通航 3 000 吨级以上船舶。

扬中大桥通航净空仅 10 m, 将限制本水道航道尺度的提高和分流主江船舶量的增加。根据镇江市口岸和港口管理局反馈意见, 扬中大桥现已列为危桥, 将进行拆除。为此, 设计航道尺度研

究按照拆除进行考虑,则太平洲捷水道内其他桥梁通航净空高度均为 18 m,全河段内可通航 3 000 吨级及以下船舶。

3.2 跨江线缆

在姚桥至长胜闸附近有 过江架空电缆,电缆下重点高程为 32 m (黄海高程)。在承平洲至炮子洲、沙家港至南岸有两处水底电缆。

本水道内过江电缆为一跨过江及水底过江,对航道建设无不利影响。

4 通航代表船型预测

4.1 太平洲捷水道通航船舶现状及航道通过能力估算

根据交通流计算公式^[4],可以计算出通过太平洲捷水道的最大的日均船舶流量 $Q_{\max}$:

$$Q_{\max} = \frac{1.15Bv}{25.6l_0^2} \times 24\beta_1\beta_2 \tag{3}$$

式中: $Q_{\max}$ 为船舶交通量 (艘/d); B 为航道宽度 (km); v 为船舶平均行程速度 (km/h); l_0 为标准船舶长度 (km); β_1 为航速损失系数; β_2 为航道通航保证率。

根据前述太平洲捷水道航道条件和对潜力、外部条件的分析可知,太平洲捷水道可达到 I 级航道标准,选择 3 000 吨级船舶为标准船舶,长度取 75 m,航道宽度暂按 200 m 进行估算,船舶平均行程速度为 20 km/h,航速损失系数通常取 0.95,航道通航保证率取 0.98,可估算出太平洲捷水道最大日均船舶流量为 713 艘标准船舶。

4.2 通航船舶及流量现状

根据《长江江苏段船舶定线制规定》,太平洲捷水道船舶航路水域范围上界为五峰山嘴与蒋家港三角测点连线,下界为太平洲捷水道下左右通航浮;允许 200 总吨以下船舶通过,其他船舶需要通过的应事先经主管机关批准。

随着腹地经济的快速发展和沿江临港产业的兴起,宝源物流、兴隆港等港口的蓬勃发展以及沿江码头泊位的兴建,太平洲捷水道的船舶密度迅速增大,通航船舶吨位也逐步提升。在调研港务、海事等相关部门后,统计近 2 a 太平洲捷水道 24 h 船舶流量数据 (选取轮船港二桥水域为观测点),总结得出太平洲捷水道年日均船舶流量情况 (表 4)。

表 4 太平洲捷水道日均船舶流量

						艘次
年份	< 30 m	30 ~ < 50 m	50 ~ < 90 m	90 ~ < 180 m	≥180 m	艘数总计
2010	32	128	98	13	0	271
2011	35	162	117	12	0	326

按照 3 000 吨级船舶为标准船舶进行计算,根据船舶换算系数(表 5)可推算出 2010 年和 2011 年通过太平洲捷水道的日均标准船舶 (50 ~ 90 m) 分别为 185 艘次和 221 艘次。

表 5 中国船舶 L 换算系数^[5]

船舶尺寸	< 30 m	30 ~ < 50 m	50 ~ < 90 m	90 ~ < 180 m	≥180 m
换算系数	0.25	0.50	1.00	1.18	2.25

4.3 太平洲捷水道通航船舶流量预测

4.3.1 通航船舶流量预测

随着腹地社会经济的快速发展,夹江沿岸码头的数量在不断增加,码头规模也在逐年扩大。截至 2013 年,整个太平洲捷水道已建成的码头泊

位共 18 个,其中:万吨级码头泊位 2 个 (扬中二桥以下),3 000 吨级 (兼顾 5 000 吨级) 码头泊位 12 个 (扬中二桥以上),1 000 吨级码头泊位 4 个。另外,规划建设中的码头泊位共 17 个,包括:在扬中二桥的下游正在规划建设 3 万吨级码头泊位 3 个,扬中二桥至扬中大桥拟建 3 000 吨级的码头泊位 12 个,扬中大桥上游拟建 1 000 吨级的码头泊位 2 个^[6]。

可见,太平洲捷水道内现状条件下主要建设 3 000吨级及以下的码头,以《镇江港扬中港区总体规划》、《镇江港扬中港区长旺作业区控制性详细规划》及《镇江港姚桥作业区控制性详细规划》为主要参考依据,结合夹江作业区功能定位及腹

地产业现状及发展规划,考虑到码头及航道建设工期,近期货运量稳步增长,远期航道条件得到很大改善。港口码头已建成,会吸引更多货物选择水路运输,结合数学模型的预测结果,预测2020年太平洲捷水道货运量将达到1 695万t。以到港船舶数量为因变量,腹地GDP及水路货运量为自变量,建立回归模型,再根据太平洲捷水道腹地经济发展规划和腹地GDP及水路货运量的发展情况,推算到港船舶数量。经计算,到2020年,预计

扬中港区夹江作业区到港船舶艘次为53 287艘次,太平洲捷水道的日均船舶流量为355艘次。

4.3.2 主江分流船舶情况

1) 主江(口岸直水道)通航船舶现状。

通过主江的船舶以营运船舶为主,营运船舶中又以散杂货等普通货船为主,各断面普通货船比例均在8成左右;其次为集装箱船和油、气、化工品等危险品船。近年江苏海事局泰州大桥断面日均船舶尺度统计见表6。

表 6 泰州大桥断面日均船舶流量						艘次
年份	<30 m	30 ~ <50 m	50 ~ <90 m	90 ~ <180 m	≥180 m	艘数总计
2008	431	658	468	84	6	1 647
2009	321	624	401	77	9	1 431
2011	190	698	553	103	10	1 555
2012	116	504	467	104	11	1 201

从表6可以看出,通过泰州大桥断面(船长90 m以上)的船舶逐年增多,随着长江干线南京以下深水航道的建设,通过该断面的大型化船舶会迅速增长,太平洲捷水道将主要对船长90 m以下的船舶进行分流,根据船舶换算系数,近年通过泰州大桥断面船长90 m以下的船舶日平均流量为900艘次。根据相关研究,在未实施太平洲捷水道整治工程的情况下,预计2020年通过泰州大桥断面的日均船舶流量达到1 916艘次,其中90 m以下的船舶为1 054艘次。

2) 分流主江船型比例。

根据上述分析,太平洲捷水道航道尺度提高后,水道内最大日均船舶流量为713艘标准船舶,两岸岸线开发利用后,将引起捷水道内船舶流量的增加,至2020年,将达到约355艘次,富裕通过能力约为358艘/d(标准船舶),可对主江90 m以下的船舶分流34%,可分流船舶占主江断面船舶流量的18.7%,将有效缓解主江的压力。

4.4 通航代表船型尺度标准

综合太平洲捷水道通航船舶现状、两岸岸线开发及分流主江内船型情况,预测通过该河段的代表船舶见表7。

表 7 太平洲捷水道代表船型			
船型	设计载量/t	船舶尺度(长×宽×吃水)/(m×m×m)	说明
普通货船	1 000	52.8×8.8×3.00	内河船
	3 000	110.00×17.20×3.50	
	3 000	96.35×15.80×4.00	江海通用
	4 000	111.28×16.86×4.20	
液货船	5 000	100.00×18.00×5.20	油/化品船
	1 000	58.00×10.40×3.70	
	3 000	92.50×15.00×4.00	
集装箱船	5 000	107.2×15.8×4.50	内河船
	202TEU	84.40×15.60×3.80	

注:5 000吨级船舶主要指在太仓、南通等下游港口减载后运行至夹江的江海直达船舶,主要在太平洲捷水道扬中二桥以下航段内航行。

5 设计航道尺度标准

选取3 000吨级通航代表船型,按照GB 50139—2004《内河通航标准》和JTS 165—2013《海港总体设计规范》计算设计的航道尺度见表8。

表 8 设计航道尺度标准计算					
船舶	船舶吃水/m	设计水深/m	设计航宽/m		转弯半径/m
			单向	双向	
内河普通货船	3.5	4.00	41	83	440
江海通用货船	4.0	4.97	74	132	385
液货船	4.0	4.97	70	126	370
集装箱船	3.8	4.62	64	119	338

可见, 根据设计代表船型计算出航道所需最大尺度为 $4.97\text{ m} \times 132\text{ m} \times 440\text{ m}$ 。

根据太平洲捷水道的自然条件, 为充分开发捷水道的潜力, 可将宽度适当放宽, 综合分析确定设计航道代表尺度为 $5.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 450\text{ m}$ 。

6 结论

1) 太平洲捷水道内水深条件相对较好, 但受河段内已建跨河桥梁通航净空尺度限制, 全河段内仅能通航 3 000 吨级以下船舶。

2) 太平洲捷水道最大的日均船舶流量 $Q_{\max}$ 约为 713 艘标准船舶, 在满足太平洲捷水道内岸线开发利用后仍有一定的富裕量, 可分流主江 (口岸直水道和泰兴水道) 约 18.7% 的船舶。

3) 综合太平洲捷水道内通航船舶现状、岸线开发利用和主江内小型的 18.7% 的船型情况, 提出了太平洲捷水道设计代表船型。

4) 按照《内河通航标准》和《海港总体设计规范》计算了设计代表船型所需航道尺度, 综合计算结果与太平洲捷水道自然条件, 确定太平

洲捷水道的航道尺度水深和航宽标准为 $5.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 450\text{ m}$ 。

参考文献:

[1] 袁达全, 雷雪婷, 耿嘉良, 等. 长江下游口岸直水道航道治理落成洲守护工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2010.

[2] 雷雪婷, 闫军, 李有为, 等. 长江下游太平洲捷水道航道尺度研究[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2013.

[3] 姜继红, 冯宏琳, 张玮, 等. 天然河流航道整治定级的理论计算方法[J]. 中国港湾建设, 2006(1): 20-22.

[4] 董宇, 姜晔, 何良德. 内河航道通过能力计算方法研究[J]. 水运工程, 2007(1): 25-28.

[5] 吴兆麟, 朱军. 海上交通工程[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2004.

[6] 镇江市口岸和港口管理局, 江苏省水运工程技术研究中心, 江苏伟信工程咨询有限公司. 镇江市口岸和港口“十二五”发展规划(报批稿)[R]. 镇江: 镇江市口岸和港口管理局, 2011.

(本文编辑 武亚庆)

~~~~~  
(上接第 162 页)

## 参考文献:

[1] 潘美元, 李俊娜, 尹崇清. 护岸设计原则和类型综述[J]. 中国水运, 2006(11): 108-110.

[2] 徐朝辉, 步海滨, 程巍华. 内河航道生态护岸的发展及应用分析[J]. 水运工程, 2009(9): 107-110.

[3] 余文畴, 卢金友. 长江中下游河道整治和护岸工程实践与展望[J]. 人民长江, 2002(8): 15-17.

[4] 余新明. 透水框架群水力特性试验研究[J]. 水运工程, 2014(1): 117-122.

[5] 徐锡荣, 刘刚, 徐松年. 透水框架四面体防洪护岸试验研究[J]. 水利水电科技进展, 2007(5): 65-68.

[6] Muttray M, Oever ten E, Reedijk J S. Stability of low crested and submerged breakwaters with single layer armouring[J]. Journal of Shipping and Ocean Engineering,

2012(3): 140-152.

[7] Matsumoto A, Yamamoto M, Mano A. A light concrete block stabilized by distributed holes for submerged breakwaters [J]. Journal of Coastal Research SI, 2011, 64: 567-571.

[8] Muttray M, Reedijk B. Design of concrete armour layers[J]. International Maritime Journal, 2009, 146(6): 111-118.

[9] Burcharth H F, Kramer M A, Lamberti. Structural stability of detached low crested breakwaters[J]. Coastal Engineering, 2006, 53 (4) : 381-394.

[10] Chiew Y M. Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel [J]. Journal of Hydraulic Engineering: ASCE, 2004, 130(3): 218-226.

(本文编辑 武亚庆)