



上海市内河码头设计船型确定方法

陈武争

(上海中交水运设计研究有限公司, 上海 200092)

摘要: 设计船型是码头设计的基础, 是码头靠泊等级、结构设计、水域尺度设计的依据。上海Ⅵ级及以下航道里程约占总航道里程的 75%, 现状通航船舶、航道代表船型、码头设计船型之间差异较大, 码头设计等级与通航船型不匹配的矛盾日益增大, 给内河码头规划、设计、建设和运营管理带来很多不便。通过梳理分析关键问题, 研究分析现状通航船型、码头设计船型、航道代表船型之间的异同点, 最后经理论计算和结果复核论证, 提出上海市内河码头设计船型确定方法。

关键词: 内河; 航道; 码头; 设计船型; 确定方法

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)06-0062-06

Determination method of designed ship type of inland wharfs in Shanghai

CHEN Wuzheng

(Shanghai China Communications Water Transportation Design Research Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Ship type design is the foundation of wharf design, and it is the basis of wharf berthing grade, structure design, and water scale design. The mileage of waterways of class VI and below in Shanghai accounts for about 75% of the total waterway mileage. There are big differences among the current navigable ships, representative ship types of waterways, and designed ship types of wharfs. The contradiction between the design grade of wharfs and navigable ship types caused by mismatching intensifies increasingly, which brings a lot of inconvenience to the planning, design, construction, and operation management of inland wharfs. By sorting out and analyzing the key issues, this study investigates the similarities and differences among the current navigable ship types, designed ship types of wharfs, and representative ship types of waterways. Finally, through theoretical calculation and result review for demonstration, the study proposes the determination method of designed ship type of inland wharfs in Shanghai.

Keywords: inland river; waterway; wharf; designed ship type; determination method

近年来, 上海市加大了内河航道的整治力度, 大芦线、赵家沟、苏申外港线、杭申线、长湖申线、平申线、龙泉港等“一环十射”高等级航道陆续实施达标建设, 基本形成了高等级内河航道骨干网络, 内河通航条件得到了极大的提升^[1]。根据《关于进一步明确本市航道市区两级管理的若干规定》(2020), 上海市境内现有内河航道共计 126 条(段), 通航里程 1 597.59 km(不含黄浦江巨潮港—吴淞口 67.35 km)。其中“一环十射”高等级航道网(V 级及以上航道)里程 404.63 km(Ⅲ 级航道 239.87 km、Ⅳ 级航道 103.39 km、

V 级航道 61.37 km), VI 级及以下航道 1 192.96 km。VI 级及以下航道约占总里程的 75%, 这部分航道像城市的毛细血管一样分散在城市的各个地方, 通过内河航运为城市发展输送着新鲜血液。

随着船舶大型化的发展, 上海内河货运船型以 300~500 t 为主, 平均载重吨在 500 t, 100 吨级以下船舶在逐步淘汰。而根据行业规范, 码头设计等级应与航道规划相适应, 根据地方航道规划和航道设计规范, 一般在实际管理和操作中, 航道规划等级对应的代表船型即为码头设计代表船型, 上海内河航道网中 VI 级及以下航道里程约占总里

收稿日期: 2022-08-03

作者简介: 陈武争 (1986—), 男, 高级工程师, 从事港口工程咨询、设计工作。

程的 75%，这部分航道实际通航船舶也以 500 吨级为主，部分靠近主干高等级航道的航段还可以通航 1 000 吨级及以上船舶，但码头规划设计时只能规划为 100 吨级码头(最大为 200 吨级干散货船或油船等)，这样就存在船舶超等级靠泊的问题，给管理和实际运营均带来诸多不便。

航道代表船型是航道设计时确定航道尺度的重要依据，是兼顾航道通航和建设投资的综合选择，是码头设计船型的重要依据之一，但不宜作为唯一依据。码头设计等级与实际通航船舶吨级的匹配更加符合社会经济、航运发展和行业管理需求，对规范相关技术条件、有序促进航运发展、提高码头运营和船舶通航安全均具有现实意义。

1 关键问题

上海市内河码头等级确定与实际船型不匹配的矛盾主要有以下几个方面：

1) 在规划阶段，多以航道代表船型确定码头等级，与实际情况差距较大，已不能满足航运和码头发展需求。

2) 在设计阶段，码头等级关系到结构荷载、水陆域尺度确定、与港外敏感设施距离、投资等，与实际情况不符的设计船型选择会给后续设计、施工和运营管理带来一系列的问题^[2]。

3) 在运营管理阶段，实际通航及靠泊船舶超过码头等级，不仅存在安全隐患，还给港航部门发放运营证、海事部门依法监管带来不便。严格执行不利于行业发展，不符合实际情况；默许这

种行为又存在安全隐患，于法无依。

4) 随着航运业的发展，内河航道相关规范中的代表船型很多已经淘汰，实际通航船型中已经没有此类船型，以其作为码头设计船型从而确定码头等级已经与实际情况严重不符。

1.1 现状通航船型与航道代表船型对比

1.1.1 现状通航船型

2015 年之前上海市内河船舶通航量总体呈下降趋势，通航船舶平均载重吨呈增长态势；2015 年之后本市内河船舶通航量、平均载重吨呈逐步增长态势，与 2015 年相比，2020 年全市内河船舶通航量明显增加，如表 1 所示。现状通航船舶中，300~500 吨级船舶是上海市内河运输主力船型，至 2020 年平均载重吨已达 589 t。

表 1 上海市内河船舶通航数量及平均载重吨统计

年份	船舶通航量/万艘次	平均载重吨/t
2011	86.46	426
2012	72.56	469
2013	67.03	475
2014	67.39	498
2015	49.80	559
2017	45.10	443
2018	54.10	474
2019	66.80	510
2020	62.40	589

1.1.2 航道代表船型

上海内河航道多数为限制性航道^[3]，根据 GB 50139—2014《内河通航标准》^[4]和上海市工程建设标准 DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计标准》^[5]，航道代表船型见表 2。

表 2 航道代表船型

标准	航道等级	船舶吨级/t	代表船舶、船队	代表船型尺寸(总长×型宽×设计吃水)/(m×m×m)
GB 50139—2014	III	1 000	驳船	67.5×10.8×2.0
			货船	80.0×10.8×2.0
	IV	500	驳船	42.0×9.2×1.8
			货船	47.0×8.8×1.9
	V	300	驳船	30.0×8.0×1.8
			货船	36.7×7.3×1.9
	VI	100	驳船	25.0×5.5×1.5
			货船	26.0×5.0×1.5
	VII	50	驳船	19.0×4.5×1.2
			货船	25.0×5.5×1.2

续表1

标准	航道等级	船舶吨级/t	代表船舶、船队	代表船型尺寸(总长×型宽×设计吃水)/(m×m×m)
DG/TJ 08-2116—2020	III	1 000	90 TEU 内河集装箱船	72.7×12.6×(2.7~2.8)
			1 200 t 干散货船	64.0×10.8×(2.7~2.9)
			1 000 t 干散货船	58.0×9.8×(2.7~2.9)
			1 000 t 油船	68.0×10.8×(2.7~2.9)
	IV	500	60 TEU 内河集装箱船	65.0×10.6×(2.2~2.5)
			700 t 干散货船	52.0×9.6×(2.2~2.5)
			500 t 干散货船	47.0×8.8×2.1
			500 t 油船	52.0×9.6×(2.2~2.6)
	V	300	30TEU 内河集装箱船	49.0×9.8×(1.9~2.2)
			400 t 干散货船	42.0×7.5×(2.0~2.1)
			300 t 干散货船	38.0×7.3×1.9
			300 t 油船	42.0×8.2×(1.9~2.2)
	VI	100	200 t 干散货船	32.0×6.2×(1.7~1.9)
			100 t 干散货船	26.0×5.0×1.5
			200 t 油船	40.0×7.1×(1.6~1.9)
			100 t 油船	31.0×6.0×1.6
	VII	50	50 t 干散货船	25.0×5.5×1.2

从表 2 可以看出, 航道等级对应的船舶吨级是一致的, 但在具体的代表船舶、船队上, 地标的代表船舶尺度一般略大于国标, 代表船舶的吨位也明确标示, 其跳跃性也比较大, 比如 VI 级航道对应的 100 吨级船舶代表船型最大可达 200 t 干散货船和油船, IV 级航道对应的 500 吨级船舶代表船型最大可达 700 t 干散货船、500 t 油船、60 TEU 内河集装箱船。为简化分析, 后续分析以船型尺度略大的地标数据为依据。

1.1.3 数据对比

根据表 1 数据, 上海市内河船舶平均载重吨已接近 600 t, 为了满足船舶通航需求、确保航运和桥梁安全, 管理部门根据每条航道的通航条件制定了船舶限制尺度, 即不大于限制尺度的船舶均允许在所对应航道通航。选取典型航道的限制尺度作为现状船型限值与地标中航道代表船型进行对比(仅选取最大船长), 如表 3 所示。

表 3 现状通航船型与航道代表船型对比

航道 等级	地标中航道代表船型		现状通航船型	
	船舶吨级/t	代表船型尺寸(总长×型宽×设计吃水)/(m×m×m)	船舶吨级/t	限制船型尺寸(总长×型宽×设计吃水)/(m×m×m)
III	1 000	72.7×12.6×(2.7~2.8)	1 000	73.0×12.7×3.2(赵家沟)
IV	500	65.0×10.6×(2.2~2.5)	1 000	66.0×12(平申线)
V	300	49.0×9.8×(1.9~2.2)	500	55.0×10.6×3.2(苏申内港线)
VI	100	40.0×7.1×(1.6~1.9)	500	50.0×10.0×3.0(龙泉港)
VII	50	25.0×5.5×1.2	500	45.0×9.2×2.8(盐铁塘)

注: 1) 由于现状船型以干散货船为主, 仅针对干散货船进行对比; 2) 现状通航船型中的典型航道对应等级为现状技术等级, 非规划等级。

从表 3 可以看出, III 级航道现状船型与航道代表船型区别不大, 都是 1 000 吨级范围; IV 级航道现状限制船型最大尺度与 1 200 t 干散货船相近,

对应 1 000 吨级; V 级航道现状限制船型最大尺度与 700 t 干散货船相近, 对应 500 吨级; VI 级和 VII 级航道现状限制船型最大尺度与 500 t 干散货船

相近，对应500吨级。

从以上对比分析可以看出，Ⅳ级以下航道特别是Ⅵ、Ⅶ级航道现状船型最大尺度与地标中对应的吨级跳跃非常大，与国标相比跳跃更大。

1.2 码头设计船型与航道代表船型差异性分析

1.2.1 含义不同

码头设计船型是在进行码头设计时所采用的某种尺度和吨位的船型，用于确定码头、港池、码头前沿水域及停泊水域的尺度，按其确定的尺度能够保证所有使用该码头的船舶在给定的条件下都能安全操作。为确定航道尺度，通过技术经济论证优选确定的、设计载质量可达到相应吨级的船型。

码头设计船型是为确定码头相关尺度、保证在给定条件下安全操作和运营而确定的船型，一般要兼顾近期和远期发展需要，尺度经常会适当放大；该船型不仅要保证码头使用需要和船型发展，同时还要考虑航道条件，要有能够安全到达码头的航路，即货源地至码头的航道要在一定条件下满足设计船型安全到达码头前沿作业并返航的需求。这个条件可依据通航水位、船舶满载或减载、桅杆是否需要调整的不同进行分析，在给定的条件下只要能够安全通航即可视为航路满足要求。

航道代表船型是为确定航道尺度经经济技术论证选定的船型，因为航道的建设一般涉及面更广、周期较长、费用相对较高，代表船型的不同会导致建设难度几何倍数增加，因此航道代表船型的确定经常会在考虑各方面因素后适当减小以方便航道建设。

1.2.2 对航道的要求不同

码头设计船型对码头所处航道（非进港航道或连接水域）的要求可以是满载全水位通航、满载低水位通航、满载常水位通航、满载高水位通航、减载全水位通航、减载低水位通航、减载常水位通航、减载高水位通航，一般不改变所经航道桥梁现状，可不改变桅杆高度通航、降低桅杆高度通航。

航道代表船型对特定航道的要求比较严谨规范，一般需要航道满足代表船型不改变桅杆状态的条件下在通航低水位时满载通航，对航道底宽、泥面底高程、桥梁净空尺度、弯曲半径等均有明确要求，不满足要求的航道需要进行整治，直到全部要素达到规范要求才能确定为相应的技术等级。航道代表船型长度、宽度、设计吃水、水线以上高度与航道面宽、底宽、水深、桥梁净空尺度成线性关联，直接影响航道建设工程投资、拆迁征地范围、桥梁建设或改造标准等，进而决定航道建设的难易程度和可行性。

1.2.3 涉及范围不同

码头设计船型只需要在给定的条件下能够安全到达所处航道中的码头位置并返航即可，而航道代表船型需要全航道范围均可安全通航。因此，码头设计船型针对的是航道中的部分航段，而航道代表船型针对的是整条航道。

1.3 码头设计船型关联航道要素

码头设计船型主要关联的要素见表4。

表4 码头设计船型关联要素

要素	岸线长度	码头前沿停泊水域	回旋水域
关联依据	根据JTS 166—2020《河港总体设计规范》 ^[6] 4.2.8，泊位长度由设计船型长度和泊位富余长度组成，岸线长度一般主要根据泊位长度确定	根据JTS 166—2020《河港总体设计规范》4.2.1和4.3.4，码头前沿停泊水域为设计船型宽度加富余宽度，设计水深为设计船型吃水（可根据航道条件和运输要求取船舶满载吃水或减载吃水）加相关富余水深	根据JTS 166—2020《河港总体设计规范》4.2.3，回旋水域根据水域条件和通航密度可取一定倍数的设计船型长度
影响主体	主要影响码头建设相关区域，码头设计和建设时与码头主体工程同步实施，一般属于码头工程范围		

续表1

要素	航道水深	航道底宽	航道中桥梁净空尺度
关联依据	根据 JTS 166—2020《河港总体设计规范》4.4.2, 进港航道应满足船舶或船队在主航道与港口之间安全进出的要求。对于上海内河码头, 码头大多直接顺岸布置于内河航道两侧, 所处航道具有进港航道和主航道双重特性。根据 DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计标准》4.3.1, 航道设计水深可按设计船型吃水加上富余水深和备淤深度计算。	根据 DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计标准》4.3.2, 航道底宽可根据设计船型船宽、船长、航行飘角进行计算	与航道水深、底宽等参数一样, 内河航道过河桥梁净空尺度也是影响航道通航船舶船型选择的重要因素之一
影响主体	由于内河码头依托航道建设, 一般很少因为单个码头建设去重新整治航道和航道中的桥梁, 因此这里航道现状和规划水深、底宽、桥梁净空尺度反向影响设计船型选择。而不是依据计算航道水深来重新设计和建设航道		

2 技术论证

根据以上分析可以看出, 内河码头设计时采用的设计船型与航道设计时的代表船型虽然有很多共同点, 但其在含义、对航道要求、涉及范围、影响主体等方面也有着明显的区别。码头设计代表船型选择航道代表船型之外的更大尺度的船型是否可行, 可通过现状通航船型所需航道尺度的计算与现状航道尺度的对比的技术论证方式进行求证。

选取典型航道现状码头实际作业及通航船型进行相关技术计算, 对计算所需航道尺度与航道现状尺度进行对比, 如果结果在一定条件下能够互相适应, 即可说明码头设计船型按照实际作业和通航船型选取具有合理性。

2.1 现状码头作业船型选取

从表 1~3 可以看出, V 级及以下等级航道现状通航船型尺度与航道代表船型尺度差异比较大, 选取部分典型 V 级及以下等级航道现状通航实船如表 5 所示。

表 5 部分典型航道现状通航实船尺度

航道现状等级	航道名称	船名	船舶载重吨/t	船型尺寸(总长×型宽×设计吃水)/(m×m×m)
V	苏申内港线	芜湖中达 28	900	52.6×10.0×2.8
VI	龙泉港	顺心 22	760	47.9×9.45×2.8
VII	盐铁塘	鲁济宁货 5489	802	44.8×9.2×2.6

2.2 理论计算

2.2.1 航道类型判定

上海市内河航道根据断面系数分为限制性航道

(断面系数≤10) 和非限制性航道(断面系数>10), 断面系数计算公式:

$$\eta_\psi = A/A_\psi \quad (1)$$

式中: η_ψ 为航道断面系数; A 为设计最低通航水位时航道过水断面面积, m^2 ; A_ψ 为设计通航船舶或船队设计吃水时的舯横剖面浸水面积, m^2 。

根据航道资料, 对选取的限制性航道进行计算, 结果见表 6。

表 6 航道断面系数计算结果

航道名称	航道底宽/m	航道高程/m	边坡	航道过水断面面积/ m^2	舯横剖面浸水面积/ m^2	航道断面系数
苏申内港线	40	-1.9	1:3	168.80	40.3	4.20
龙泉港	30	-1.5	1:3	141.80	28.0	5.10
盐铁塘	20	-0.5	1:3	133.75	25.0	5.35

2.2.2 航道水深

根据 DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计规范》4.3.1 条, 航道水深可按式(2)计算。

$$H \geq \gamma T \quad (2)$$

式中: H 为航道水深, m ; T 为船舶吃水, m ; γ 为系数, 航道断面系数<7 时取 1.5。

如表 7 所示计算结果, 现状通航船型需要在常水位或通航高水位时才满足水深要求, 通航低水位时甚至无法满足吃水深度, 更没有任何富余深度保障通航安全。而航道设计时要求通航低水位时其代表船型也能够安全通航, 这一点上和码头设计船型对航道的要求是有差别的。

表7 航道水深计算结果

航道名称	所需水深/ m	航道底 高程/ m	通航低 水位/ m	常水位/ m	通航高 水位/ m	通航 条件
苏申内港线	4.2	-1.9	2.0	3.0	3.8	常水位
龙泉港	4.2	-1.5	2.0	2.8	3.6	常水位
盐铁塘	3.9	-0.5	2.2	2.8	3.55	通航高水位

2.2.3 通航净宽

通航净宽按式(3)~(7)计算：

$$B_1 = B_F + 2d \quad (3)$$

$$B_F = B_s + L_c \sin \beta \quad (4)$$

$$B_2 = B_{F,d} + B_{F,u} + d_1 + d_2 + C \quad (5)$$

$$B_{F,d} = B_{s,d} + L_{c,d} \sin \beta \quad (6)$$

$$B_{F,u} = B_{s,u} + L_{c,u} \sin \beta \quad (7)$$

式中： B_1 为直线段单线航道底宽，m； B_F 为船舶或船队航迹带宽度，m； d 为船舶或船队外舷至航道边缘的安全距离，取 $0.34B_F$ ； B_s 为船舶或船队宽度，m； L_c 为货船长度、顶推船队长度或拖带船队中单船长度，m； B_2 为直线段双线航道底宽，m； $B_{F,d}$ 、 $B_{F,u}$ 分别为下、上行船舶或船队航迹带宽度，m； d_1 、 d_2 分别为下、上行船队或船舶外舷至航道边缘的安全距离，m； C 为船舶或船队会船时的安全距离，m； $B_{s,d}$ 、 $B_{s,u}$ 分别为下、上行船舶或船队宽度，m； $L_{c,d}$ 、 $L_{c,u}$ 分别为下、上行货船、顶推船队或拖带船队中单船长度，m； β 为船舶或船队航行漂角，根据实际情况统一取 3° ； d_1+d_2+C 为各项安全距离之和，m，取上行和下行航迹带宽度的 0.67 倍。

计算结果见表8。可以看出，3条航道中苏申内港线现状可满足实际船型双线通航要求；龙泉港航道计算值略小于实际值，实际中基本能够满足双线通航，但安全风险有所增加；盐铁塘航道现状不满足鲁济宁货 5489 相似尺度船型双线通航要求，仅可单线通航。

表8 航道底宽计算结果

航道	船型	B_1/m	B_2/m	现状 底宽	通航 条件
苏申内港线	芜湖中达 28	16.8	33.4	40	双线通航
龙泉港	顺心 22	15.9	31.6	30	谨慎双线通航
盐铁塘	鲁济宁货 5489	15.5	30.7	20	单线通航

2.2.4 计算结果综合分析

相关计算结果汇总见表9。

表9 计算结果汇总

航道	现状 通航船型	船舶载 重吨/t	现状 等级	现状 通航条件
苏申内港线	芜湖中达 28	900	V	常水位双线通航
龙泉港	顺心 22	760	VI	常水位谨慎双线通航
盐铁塘	鲁济宁货 5489	802	VII	通航高水位单线通航

从表9可以看出，选取航道等级虽然很低，但在通航水位和行驶航线满足一定条件时，超标船型仍然可以通航并进入航道内的码头进行作业；部分航道现状通航的船舶吨位远大于其等级所对应的船型。同理，如按规划等级实施，在满足一定技术条件下，实际可通航船型应该更大。当然，一条航道的通航能力不仅受航道条件限制，还受航道上桥梁条件限制，并不能排除所选代表船型仅在航道中部分航段通航的可能性。

综上，码头设计船型与规范中航道代表船型并不一致，码头设计船型应根据所处航段的通航能力、并结合通航技术条件、未来船型发展、码头装卸需求等因素综合考虑设计船型。

3 结论

1) 内河码头设计船型不宜直接套用 GB 50139—2014《内河通航标准》或 DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计标准》中的代表船型，两者在含义、适用对象、涉及范围等方面均有所不同。

2) 内河码头属于不易扩建、改建的永久性工程，宜一次性建成达到比较合理的等级。设计船型应根据所处航段条件、进出港所经航道条件、船型发展、码头营运需求、航道远期规划等因素综合考虑确定。

3) 内河码头设计船型确定可参照海港设计船型确定方法，即可考虑将在采取一定的技术条件下（例如乘潮、乘水位、减载靠泊及通航等）满足通航要求的船型作为设计船型。

（下转第 80 页）