



内河航道服务水平及通过能力研究

刘赛龙, 蒋磷晖

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 以交通工程理论为基础, 结合内河航道特征提出航道服务水平概念及指标; 以内河和渠化航道标准船型为依据对内河航道服务水平指标进行量化, 在此基础上确定服务水平等级; 将船舶交通流理论和航道服务水平相结合建立内河航道通过能力计算模型。以淮河出海航道运行资料为依据, 计算航道通过能力, 并与设计水平年货流密度进行对比分析, 可供内河航道规划、建设、评估、维护或升级提供理论参考。

关键词: 内河航道服务水平; 交通流密度; 航道通过能力; 交通流量

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)03-0134-06

Research on service level and capacity of inland waterway

LIU Sai-long, JIANG Lin-hui

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: This article puts forward the concept of service level of inland waterway and indicators based on the traffic engineering theory and inland waterway characteristics. According to standard ship of inland water, it quantifies the service level, and confirms the standard of it. It establishes the calculation model of inland waterway capacity by the ship traffic flow and waterway service level, and calculates the inland waterway capacity by the historical data of Huaihe river, which is compared with the cargo density on the design year. The application results show that the method is suitable for the inland waterway planning and construction, and the assessment of applications as well. It can provide theoretical reference for the channel maintenance or upgrading.

Key words: service level of inland waterway; density of traffic flow; waterway capacity; vessels traffic flow

目前, 国内外学者关于内河航道通过能力的研究有很多, 提出了不同的计算方法, 包括西德公式^[1]、长江公式^[1]、川江公式^[2]、王宏达公式^[3]、苏南运河公式^[1]、闵朝斌公式^[1]等, 这些公式的共同特点是有一系列的修正数据需要根据航道实际情况和历史统计资料加以分析确定, 参数的准确与否直接关系到结果的准确性和可靠性。为了减小计算参数对航道通过能力的影响, 提出内河航道服务水平的概念; 结合内河航道实测交通流数据, 提出内河航道服务水平等级划分及标准; 通过确定淮河出海航道服务水平等级来推算航道通过能力。

1 内河航道服务水平

内河航道服务水平反映的是在某种航道条件下船舶的运行质量, 是依照道路服务水平^[4]、船闸服务水平发展起来的一种衡量航道服务质量的标准^[5]。确定航道服务水平是为说明航道交通负荷状况, 以船舶交通流状态划分条件, 描述船舶交通流从自由流、稳定流到饱和流、强制流的变化阶段, 以便于客观评价航道内船舶交通运行质量。根据船舶交通流的状态, 将航道服务水平划分为4个等级, 分别为畅行流、强稳定流、稳定流、强制流, 分别对应1级服务水平、2级服务水平、3级服务水平和4级服务水平。

收稿日期: 2013-05-27

作者简介: 刘赛龙(1966—), 男, 高级工程师, 从事港口航道工程。

1级服务水平: 船舶流处于自由流状态, 航道上的船舶交通量很少, 船舶领域安全区域较大, 船舶间不存在干扰, 船舶驾驶员可以自由地以期望的畅行船速行驶。

2级服务水平: 船舶流处于强稳定流状态, 船舶驾驶员虽然不能以任意的速度行驶, 但仍有一定的自由空间, 其驾驶自由度受到一定限制, 船舶能以稳定的速度行驶。

3级服务水平: 船舶流处于稳定流状态, 船舶驾驶员不能以任意的速度行驶, 其驾驶自由度受到较大的限制, 但单位时间内通过航道上的船舶流量尚未达到最大交通量, 船舶仍能以稳定的速度行驶。

4级服务水平: 船舶流处于不稳定流状态, 单位时间内通过航道上的船舶接近或已达到通过能力的上限值。

1.1 内河航道服务水平评价指标

航道服务水平评价指标是从船舶特性出发, 主要从定量角度分析航道服务水平的度量指标, 其指标包括船舶航速、交通流密度、交通量负荷比(V/C)、服务交通量^[6]。

1) 航速。船舶航速是航道内船舶交通质量和效率的重要指标之一, 在保障安全的前提下, 航速越快航道服务水平越高。

2) 交通流密度。船舶交通流密度反映的是一定等级航道上船舶的拥挤程度, 一般选用转折密度和阻塞密度来反映航道的拥挤程度。

船舶流转折密度是船舶处于畅行速度时航道上能容纳的最大船舶交通流密度, 其计算公式为:

$$K_s = 1000/(aL_0) \quad (1)$$

式中: L_0 为航道标准船舶长度; a 为船舶领域长轴参数^[7], 代表不同水域内船舶安全距离参数, 在内河航道中一般取5~6。

船舶流阻塞密度反映的是航道所能容纳的船舶达到上限, 其计算公式为:

$$K_j = 1000/(1 + \beta)L_0 \quad (2)$$

式中: L_0 为航道标准船舶长度; β 为船舶间距系数, 一般取0.5。

当航道上的船舶流密度小于转折密度时, 船舶处于自由航行状态, 其服务水平为1级; 当航道密度接近或大于阻塞密度时航道服务水平为4级。

3) 服务交通量。是指在一定的航道条件、交通条件和管制条件下, 在给定的时间周期内保持规定的服务水平, 航道所能达到的最大交通流量。

对于特定的航道而言, 由于航道上下行船舶比例并不均等, 因此一般选择比例较大的一侧作为研究对象, 与之对应的便为单向服务交通量, 是单位时间内不同服务水平下的船舶流量, 与船舶最大交通流量密切相关。

单向服务通过能力是不同航道等级条件下每年航道单向所承担的船舶载质量, 与单向服务交通量成正比关系。

4) 交通量负荷比(V/C)。是某一级服务水平对应的服务交通量与航道可通过能力之比, 反映的是航道通过能力利用程度与繁忙程度。交通量负荷比越小说明服务水平越高。

1.2 内河航道服务水平等级划分

要定量确定内河航道服务水平, 首先要确定航道服务交通量及交通负荷比, 而这两项指标与航道断面船舶交通流量及航道可能通过能力密切相关, 需要予以确定。

1) 船舶交通流量^[8]。

船舶交通流量是指在确定的时间间隔内通过一条航道某一断面上的船舶总艘数。船舶交通流量的大小直接反映航道内船舶交通繁忙程度。

$$Q_{\max} = \begin{cases} v_f k_s & k_s = k_m \geq \frac{1}{2} k_j \\ \frac{1}{4} \cdot \frac{k_j^2}{k_j - k_s} \cdot v_f & k_s < k_m < \frac{1}{2} k_j \end{cases} \quad (3)$$

式中: Q_{\max} 为船舶最大交通流(艘/h); k_m 为船舶交通流临界密度(艘/km); v_f 为船舶畅行速度。

船舶交通流量、航行速度与密度三者之间的关系为:

$$Q = vk \quad (4)$$

式中: Q 为交通流量(艘/h); v 为平均航行速度(km/h); k 为船舶流密度(艘/km)。

当船舶交通流量达到最大值 Q_{\max} , 此时的交通流密度称为临界密度 k_m 。

2) 航道可能通过能力。

航道可能通过能力是指在现实的航道条件和交通状况下, 航道断面在单位时间内的最大交通量。航道可通过能力在数值上小于理论通过能力, 其计算公式为:

$$C_p = sWTQ_{\max}\beta_1\beta_2\beta_3\beta_4/10\,000 \quad (5)$$

式中: Q_{\max} 为最大船舶流流量; s 为航道断面允许并列航行的船舶数; W 为船舶平均载质量 (t/艘); T 为年通航时间 (h); β_1 为船舶交会、追越时引

起的航速损失系数; β_2 为航道通航保证率; β_3 为驾驶员条件的修正系数; β_4 为夜航系数。

3) 天然和渠化航道通过能力计算。

利用上述公式, 得到天然和渠化航道理论通过能力和可能通过能力, 同时利用航道服务水平指标体系计算得到各等级航道服务水平, 见表1。其中, 畅行速度按照规范取推荐值, 航道通航天数按照330 d计算, 船舶交会、追越引起的航速损失 β_1 取0.8, 其他参数均取1。

表1 天然和渠化航道通过能力

船舶载质量/t	船长 L/m	船宽 B/m	畅行速度 v_f / (km·h ⁻¹)	船舶领域长轴参数 /m	转折密度 k_s / (艘·km ⁻¹)	船舶间距离系数 β	阻塞密度 k_{ij} / (艘·km ⁻¹)	最大船舶流量 Q_{\max} / (艘·h ⁻¹)	临界航速 v_m / (km·h ⁻¹)	通过能力 / (万t·h ⁻¹)		通航保证率	单向可能通过能力 / (万t·a ⁻¹)
										小时理论	单向理论		
3 000	110	16.2	11	6	1.82	0.5	6.06	22	7.34	6.67	52 796	0.98	41 392
2 000	90	16.2	11	6	2.22	0.5	7.41	27	7.34	5.43	43 032	0.98	33 737
1 000	85	10.8	11	6	2.35	0.5	7.84	29	7.34	2.88	22 770	0.95	17 306
500	67.5	10.8	11	6	2.96	0.5	9.88	36	7.34	1.81	14 344	0.95	10 902
300	55	8.6	11	6	3.64	0.5	12.12	44	7.34	1.33	10 559	0.90	7 603
100	45	5.5	11	6	4.44	0.5	14.81	54	7.34	0.54	4 301	0.90	3 097
50	32.5	5.5	11	6	6.15	0.5	20.51	75	7.34	0.38	2 978	0.90	2 144

4) 内河航道服务水平等级确定。

根据航道服务水平指标体系结合天然和渠化

航道通过能力得到各等级航道服务水平, 见表2。

根据以上计算结果可知, 航道服务水平各指

表2 内河航道服务水平划分

服务水平	内河航道标准船舶/t	航速 / (km·h ⁻¹)	船舶交通流密度 / (艘·km ⁻¹)	单向服务交通量 / (艘·h ⁻¹)	单向服务通过能力 / (万t·a ⁻¹)	交通量负荷比 V/C
1级服务水平	3 000	11	1.21	13	31 678	0.71
	2 000	11	1.48	16	25 819	0.71
	1 000	11	1.57	17	13 662	0.74
	500	11	1.98	22	8 606	0.74
	100	11	2.42	27	6 336	0.78
	300	11	2.96	33	2 581	0.78
	50	11	4.10	45	1 787	0.78
2级服务水平	3 000	9.9	1.46	14	34 318	0.77
	2 000	9.9	1.78	18	27 971	0.77
	1 000	9.9	1.89	19	14 801	0.80
	500	9.9	2.38	24	9 324	0.80
	300	9.9	2.92	29	6 864	0.84
	100	9.9	3.57	35	2 796	0.84
	50	9.9	4.94	49	1 936	0.84

续表

服务水平	内河航道标准 船舶/t	航速/(km·h ⁻¹)	船舶交通流密度/ (艘·km ⁻¹)	单向服务交通量/ (艘·h ⁻¹)	单向服务通过能力 /(万t·a ⁻¹)	交通量负荷比V/C
3级服务水平	3 000	8.8	1.77	16	36 958	0.83
	2 000	8.8	2.16	19	30 123	0.83
	1 000	8.8	2.29	20	15 939	0.86
	500	8.8	2.88	25	1 0041	0.86
	300	8.8	3.54	31	7 392	0.91
	100	8.8	4.32	38	3 011	0.91
	50	8.8	5.98	53	2 085	0.91
4级服务水平	3 000	7.7	2.16	17	39 597	0.89
	2 000	7.7	2.65	20	32 274	0.89
	1 000	7.7	2.80	22	17 078	0.92
	500	7.7	3.53	27	10 758	0.92
	300	7.7	4.33	33	7 919	0.97
	100	7.7	5.29	41	3 226	0.97
	50	7.7	7.33	56	2 234	0.97

标之间、各等级之间是相互关联的, 在进行航道规划和设计时, 一般 I 级航道条件和通航水平较高, 可采用 1 级服务水平; II~III 级航道可采用 2 级服务水平; IV~V 级航道可以采用 2 级下侧~3 级上侧服务水平; VI~VII 级航道采用 3 级服务水平; 4 级服务水平可当作警示航道通行能力不足的重要标志。

2 航道设计通过能力

在航道整治工程中, 与航道货运量密切相关的是航道设计通过能力。在航道可能通过能力的基础上, 进一步考虑其他不可预见因素对船舶航行的影响, 为保证各类船舶在航道内安全航行留出一定的空间, 实际采用或设计的单位时间内航道最大通行的船舶交通量, 叫做航道设计通过能力。通常作为航道规划设计的标准, 其计算公式为:

$$C_d = C_p(V/C)_i \quad (6)$$

式中: $(V/C)_i$ 为第 i 级服务水平交通量与可能通过能力的比值。

3 淮河出海航道通过能力计算

淮河出海航道全长 278 km, 是苏皖两省的省际通道, 也是安徽省境内的煤炭及其他物资出海

的便捷通道, 目前航道等级为 IV~V 级, 规划航道等级为 III 级^[9]。为了便于研究, 选取淮河出海航道下游红山头—京杭运河段作为研究对象, 以高良涧船闸作为航道控制点进行分析。

3.1 淮河出海航道船舶交通流量及服务水平

1) 船舶年平均载质量和长度。

根据《2012 年江苏省内河航道交通量观测资料汇编》, 可得到淮河出海航道船舶平均载质量, 利用插值法得到对应载质量的船舶长度, 船舶平均载质量和长度见表 3。

表 3 淮河出海航道历年船舶平均载质量和长度

年份	船舶平均载质量/t	船舶平均长度/m
2002	185	48.7
2003	196	49.2
2004	231	51.1
2005	232	51.1
2006	202	49.6
2007	227	50.9
2008	250	52.1
2009	251	52.1
2010	296	54.8
2011	307	55.4
2012	361	58.7

以2002—2012年数据为基础建立时间序列模型，得到船舶载质量随时间变化的趋势为：

$$Y = 14.59X + 161 \quad (7)$$

式中： Y 为船舶平均载质量； X 为时间序列。根据模型，预计2015年、2025年、2035年平均载质量将达到365，511和657 t，对应的船舶长度分别为59.0，68.2和76.6 m。

2) 船舶流转折密度和阻塞密度。

根据淮安航道资料及相关数据整理，淮安段历年船舶转折流密度和阻塞密度见表4。

根据船舶大型化、标准化发展趋势，“十二五”及以后淮安航道船舶流转折密度将保持在2.17~2.82，船舶阻塞密度将保持在8.70~11.30。

3) 船舶最大交通流。

淮河出海航道现状等级为IV~V级，船舶运行速度不高，平均运行速度在8 km/h；随着淮河

表4 淮河出海航道历年船舶流转折密度和阻塞密度

年份	转折密度	阻塞密度
2002	3.42	13.69
2003	3.39	13.55
2004	3.26	13.05
2005	3.26	13.05
2006	3.36	13.44
2007	3.27	13.10
2008	3.20	12.80
2009	3.20	12.80
2010	3.04	12.17
2011	3.01	12.03

出海航道整治工程的开展，到“十二五”末，航道可满足Ⅲ级通航标准，船舶运行速度将保持在10 km/h以上水平。根据船舶最大交通流计算公式，得到历年船舶最大交通流量。

表5 淮河出海航道历年船舶最大交通流量

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
最大船舶交通流量/(艘·h ⁻¹)	36.50	36.13	34.79	34.79	35.84	34.93	34.12	34.12	32.44	32.09	30.29

根据淮河出海航道船舶转折流密度和阻塞密度的预测，结合船舶航行速度，预测2015年、2025年、2035年淮河出海航道船舶最大交通流量分别为33.9,29.33,26.11艘/h，单向服务交通量分别为20,17,15艘/h。

4) 航道服务水平等级。

根据航道服务水平建立的原则及淮河出海航道现状航道条件，目前淮河出海航道服务水平为3级；航道整治完成后，航道等级将达到Ⅲ级水平，航道服务水平将提高到2级。

3.2 淮河出海航道通过能力其他相关参数

1) 航道年通航天数。

根据淮安航道处统计资料，淮河江苏段航道受到干旱、灌溉以及大雾等恶劣气候因素影响，每年有30 d处于无法通航状态，因此取年通航天数为330 d。

2) 航速损失系数。

在淮河航道上，船舶大多以船队形式航行，

由于船舶追越时引起的航速损失系数很小，船速折损主要由交汇产生。淮河出海航道支流很多，支流船舶与淮河干流船舶交汇几率较为频繁，根据航道条件及船东经验取 β_1 为0.75。

3) 通航保证率。

淮河出海航道按照规划等级为Ⅲ级航道，根据规范，通航保证率 β_2 取95%。

4) 驾驶员修正系数及夜航系数。

根据以往淮河出海航道江苏段船舶驾驶员的驾驶情况，取 β_3 为0.70，淮河江苏段实行24 h通航，因此夜航系数 β_4 取1。

3.3 淮河出海航道通过能力计算

利用以上航道通过能力计算公式，结合航道通航相关参数，计算得到淮河出海航道（红山头—京杭运河段）通过能力。根据淮河出海航道货运量预测^[9]，得到设计年份单向最大货流密度（表6）。

表6 淮河出海航道通过能力测算

年份	通过能力/万t				淮河出海航道断面单向最大货流密度/万t
	单向船舶理论	单向船舶可能	单向船舶设计	单向货物设计	
2007	6 279	3 132	2 693		
2008	6 756	3 370	2 898		
2009	6 783	3 383	2 910	2 822	2 900
2010	7 605	3 793	3 262	3 164	3 180
2011	7 802	3 891	3 347	3 246	3 300
2012	8 659	4 319	3 455	3 351	3 410
2015	11 759	5 865	5 044	4 893	4 024
2025	14 242	7 103	5 683	5 513	5 012
2035	16 303	8 131	6 505	6 310	5 474

根据货流密度对比(图1)可知,淮河出海航道2009—2012年最大断面货流密度已经接近或者超过单向货物设计通过能力,船舶密度的进一步增大将会导致航道阻塞并产生航行安全隐患;“十二五”末航道整治完成后,航道服务水平达到2级,货物设计通过能力远大于航道单向货流密度,能够满足未来航道船舶和货物通行要求。

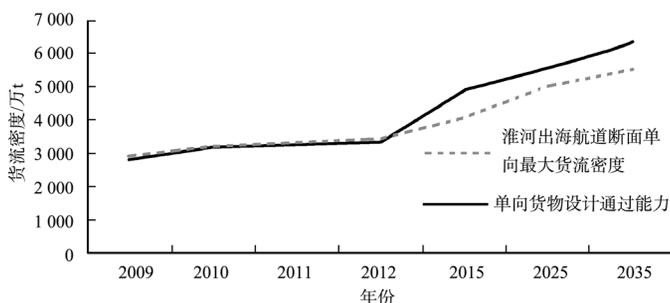


图1 淮河出海航道货流密度对比

4 结论

借鉴交通工程研究成果,根据内河航道特征,提出航道服务水平的概念及其度量指标,并对航道等级进行划分;以内河和渠化航道标准船舶为例,计算得到航道各服务水平等级指标值;以航道服务水平为基础,结合船舶交通流理论,建立了内河航道通过能力计算模型,并以淮河出海航道(红山头—京杭运河段)为例进行分析论证。结果表明,该模型具有较好的适应性,受参数影响较其他模型小,可为航道工程的规划和设计提供参考。

参考文献:

[1] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[2] 长江航道局. 川江航道整治[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
 [3] 王宏达. 内河航道通过量估算[J]. 水运工程, 1998(9): 4-6.
 [4] 王炜, 过秀成. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
 [5] 朱俊, 张玮, 何良德, 等. 内河航道服务水平研究[J]. 中国港湾建设, 2009(4): 4-7.
 [6] 张家华, 岳巧红. 建立航道服务水平评价指标体系[J]. 水运管理, 2006(8): 19-21.
 [7] 藤井弥平. 海上交通工程学[M]. 东京: 海文堂, 1981.
 [8] 王殿海. 交通流理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
 [9] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 淮河出海航道(红山头—京杭运河段)整治工程可行性研究报告[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2013.

(本文编辑 武亚庆)