

Study on Lock Capacity Improved Algorithm of Beijing-Hangzhou Canal in Northern Sector of Jiangsu Province

Jian Ding^{1,2}, Peng Xu², Qiu Zhai²

¹Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing

²College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing
Email: dj60hhu@126.com

Received: Dec. 13th, 2012; revised: Jan. 11th, 2013; accepted: Feb. 1st, 2013

Copyright © 2013 Jian Ding et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: With the trend of larger-sized vessel, normal algorithm, the calculation method of lock capacity improved algorithm of Beijing-Hangzhou Canal in northern sector of Jiangsu Province, is not adapted to actual situation. In this article, based on the concept and classification of road basic capacity, three types of lock capacity are defined as well as possible capacity formula. Based on the observation data, we obtain possible capacity calculation method which is adapted to the Grand Canal marine type distribution. The results will be referenced to related engineering.

Keywords: Beijing-Hangzhou Canal in Northern Sector of Jiangsu Province; Lock; Basic Lock Capacity; Possible Capacity; Improved Algorithm

京杭运河苏北段船闸通过能力改进算法研究

丁 坚^{1,2}, 徐 鹏², 翟 秋²

¹河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 南京

²河海大学港口海岸与近海工程学院, 南京
Email: dj60hhu@126.com

收稿日期: 2012年12月13日; 修回日期: 2013年1月11日; 录用日期: 2013年2月1日

摘 要: 随着船舶大型化, 京杭运河苏北段船闸通过能力的计算方法采用的规范算法已与实际情况不符。本文借鉴道路基本通行能力的概念与分类, 定义了与之相对应的三类船闸通过能力, 提出可能通过能力公式, 并依据理论和观测数据初步提出了适用于苏北运河目前船型分布的船闸可能通过能力的计算方法, 基本通过能力和可能通过能力的公式, 研究成果为相关工程提供了参考依据。

关键词: 苏北运河; 船闸; 基本通过能力; 可能通过能力; 改进算法

1. 引言

京杭运河是中国重要的南北水上运输通道, 是我国内河水运主通道“一纵三横”总体布局的重要组成部分, 在国家的统一、经济的繁荣、文化的融合以及对外开放和国际交往方面发挥过非常重要的作用。京杭运河苏北段(以下简称苏北运河)是整个京杭运河中

水运最为繁忙的水道, 也是苏北经济发展的动脉。

船闸是苏北运河航运的主要瓶颈之一, 三线船闸的通过能力仍然不能与航道相匹配。由于船舶大型化的趋势, 运河船闸的通过量都超过了设计通行能力, 目前使用的《船闸总体设计规范》(JTJ 305-2001)通过能力计算公式已经失效, 很难准确计算船闸通过能力

[1-5]。本文对苏北运河船闸通过能力改进算法进行研究,具有实际意义,并能为相关工程提供参考。

2. 船闸通过能力的新定义

道路工程中,道路的通行能力^[6-9]可分为三类:基本通行能力是指道路与交通处于理想情况下,每一车道在单位时间内能够通过的最大交通量;可能通行能力是在实际的道路和交通条件下,单位时间内通过道路上某一断面的最大可能交通量;设计通行能力是指道路根据使用要求的不同,按不同服务水平条件下所具有的通行能力,也就是要求道路所承担的服务交通量,通常作为道路规划和设计的依据。

Greenshields 模型^[10]认为,船舶航行的速度与船舶密度有关,当密度较小时,船舶可以自由航行、船速较快;如果船舶密度过大,船速会降低。交通密度增大达到阻塞密度时,交通流量为零。

借鉴道路基本通行能力的概念与分类,同样将船闸通过能力分为三类。

1) 船闸基本通过能力。在规范允许的航道最大船舶吃水深度限制下,理想的船型、水情、天气、交通、控制和环境条件下,无论服务水平如何,平均单位时间能通过的最大船舶或货物吨位数。表征船闸硬件设施自身允许的最大通过率,反映的是在理想船型、水情、天气与交通条件下,船闸单位时间所能提供的最大船舶或货物吨位通过量,与现实的交通工具(船舶)和外界条件(天气或水情)无关。理想条件是指达到了这样的标准,即使再进一步对条件进行改善,也无助于提高通过能力。

2) 船闸可能通过能力。在规范允许的航道最大船舶吃水深度限制下,在实际或预测天气、水情、交通、船型、环境和控制调度条件下,无论服务水平如何,平均单位时间能通过的最大船舶或货物吨位数。

3) 船闸设计通过能力。在规范允许的航道最大船舶吃水深度限制下,在预测天气、水情、交通、船型、环境和控制调度条件下,在选用服务水平下(有最长延误限制),平均单位时间能通过的最大船舶或货物吨位数。

3. 船闸通过能力的改进计算方法

3.1. 规范计算方法

国内船闸通过能力的计算方法主要是依据《船闸

总体设计规范》(JTJ 305-2001):

$$P_1 = nNG \quad (1)$$

$$P_2 = (n - n_0) \frac{NG\alpha}{\beta} \quad (2)$$

式中: P_1 为年过闸船舶总载重吨位(t); P_2 为年过闸货运量(t); n 为日平均过闸次数(次); n_0 为昼夜内非运货船过闸次数(次); G 为一次过闸平均吨位(t); α 为船舶装载系数; β 为月运量不均衡系数; N 为年通航天数(d)。

经验表明,式(1)、(2)的参数不易获得,且实际应用中计算偏差也较大。

3.2. 基本通过能力的计算方法

根据定义,考虑理想的船型(闸室中可以并排三列或更多船舶),运河上一闸次最大理论通过量可以按下式计算:

$$P_m = L_{zs} \times \min(d_{mg}, d_{mz}) \times (B_0 - b) \quad (3)$$

式中, L_{zs} 为闸室有效长度(闸室有效长度为不包括闸室两端泄水紊流区的闸室长度)、 d_{mg} 为规范允许的航道中船舶最大吃水、 d_{mz} 为船闸中船舶最大安全吃水、 B_0 为闸室内净宽、 b 为船舶在闸室安全航行的双侧最小空余宽度之和,考虑船舶安全进出要留有与闸室内壁的安全间距,一般 b 取值为闸室内宽的 10%。 $\min(*,*)$ 函数为取括号中最小值。

考虑上下水航行,考虑理想的船型一闸次平均运行时间可定义为:

$$T_{ms} = (L_u + L_d + L_0) / V_m + 0.5 \times (t_i + t_o) + 0.5 \times (t_{uo} + t_{uc} + t_{do} + t_{dc}) \quad (4)$$

式中, L_u 、 L_d 分别为船闸上下游靠墩至上下游闸门航线的距离、 L_0 为闸室长度、 V_m 为船舶进出闸平均速度、 t_i 、 t_o 分别为船闸灌水与泄水时间、 t_{uo} 、 t_{uc} 、 t_{do} 、 t_{dc} 分别为上游船闸闸门开启、关闭、下游船闸闸门开启、关闭时间。船舶进出闸速度可由观测数据推算获得,一般考虑满载的大型船舶,苏北运河各梯级船闸可以考虑相同的船舶进出闸速度。结合现场观测数据,参考《船闸管理规范》,选择与推荐船舶速度接近的数据, V_m 取 1.0 m/s 至 1.35 m/s。

由(3)、(4)式,得到本文研究所得的船闸基本通行能力计算定义为:

$$P_c = \frac{P_m}{T_{ms}} \quad (5)$$

从公式(3)~(5)中可以看出，不同船闸的基本通过能力是不同的，它涉及船闸物理参数。

3.3. 可能通过能力的计算方法

可能通过能力计算不考虑天气影响和水情变化，仅考虑船型影响。根据苏北运河现有船型，由 6000 条船舶调查数据，拟合得到关系式。

$$L = f_L(P) = 12.36 + 1.736\sqrt{P} \quad (6)$$

$$W = f_w(P) = 2.765 + 0.325\sqrt{P} \quad (7)$$

$$\ln V = 0.18 \cdot \ln L + 0.52 \pm 0.06 \quad (8)$$

式中： P 为单船吨位(t)； L 、 W 、 V 分别为船长(m)、船宽(m)和船速(m/s)。

一次过闸时间包括：船舶队列第一条船舶从靠船墩驶至闸首的时间 t_1 、船队由闸首完全驶入闸室的时间 t_2 、闸门关闭时间 t_3 、灌泄水时间 t_4 、闸门开启时间 t_5 、闸室内船舶队列驶出且最后一艘离开闸室的时间 t_6 以及最后一艘船舶船尾驶到闸后靠船墩的时间 t_7 。当最后一艘船舶船尾驶到闸后靠船墩时，反向待闸船舶可以开始启动驶向闸门，耗费 $\sum_{i=1}^7 t_i$ 的时间完成一个单向过闸循环的全过程。不考虑因船闸地域、尺度不同而变化的 t_1 、 t_3 、 t_4 、 t_5 和 t_7 (这些时间值都可以在各船闸现场观测获得，而且它们是与船舶多少、载重吨位大小无关的刚性消耗时间)， t_2 和 t_6 时间是船舶或船队的航行、系解缆时间，是弹性消耗时间。可能通过能力与船型有很大关系，根据在淮安船闸、宿迁船闸和刘山船闸现状船型进出时间的调查数据，考虑船闸长度的满载单船过闸时间半理论(Greenshields)拟合关系式(9)。空载船舶过闸的 $t_2 + t_6$ 时，大约为满载船舶的 75%。船队的过闸时间计算可参考单船公式。

$$T_{2+6} = 0.0039 \cdot L_0 \left(\frac{3 \times N \cdot \bar{L}}{L_0} + 1 \right) \frac{N \cdot \bar{L}}{1 - \frac{N \cdot \bar{L}}{2 \times L_0}} + 6.22 \cdot \exp \left(- \left(\left(\frac{N \cdot \bar{L}}{2 \times L_0} - 0.54 \right) / 0.125 \right)^2 \right) \quad (9)$$

$$\bar{L} = f_L \left(\frac{\sum_i P_i}{N} \right) \quad (10)$$

式中 N 为一闸次船舶数； L_0 为闸室长度(m)； \bar{L} 为船舶平均长度(m)，由式(10)平均船长函数计算。单船过闸时间 $t_2 + t_6$ 与船数和吨位关系拟合图形如图 1 所示，图中明确显示船舶数量越多或船舶总吨位越大 $t_2 + t_6$ 的耗时就越多，这与实际调查数据相合。当一闸次船舶 8 艘、船舶总吨位为 4800 t 时， $t_2 + t_6$ 时间为 28.69 min。

船闸的基本通过能力是衡量船闸潜力和船舶标准化程度，也是衡量船闸船舶通过效率的参照标准，可能通过能力是船闸调度的依据。一般情况下苏北各梯级船闸的通过量无法达到理论的基本通过能力。

实际应用中，年船闸可能通过能力是指在实际或者预测的船型尺寸分布下，根据平均船型在闸室内的最优组合情况计算得到的船闸可能通过能力，具体计算公式如下：

$$P_v = D \cdot k \cdot \bar{P}_{vi} \quad (11)$$

式中， D 为年通航天数，考虑平均天气情况，可以从当年有关年鉴中获得，一般为 340 d~360 d。 k 为日平均开闸次数，可以通过日有效开闸时间 T_{vol} (一般取 24 小时)与一闸次过闸时间 T_s 的比值来获取：

$$k = \frac{24 \times 60}{T_s} \quad (12)$$

根据对大运河上两千多艘船舶的抽样调查，得到了单机船舶的总吨位统计分布(图 2)，应用 χ^2 检验方法检验船舶总吨位统计分布与正态分布的拟合优度，取置信度水平 $\alpha = 0.05$ ，检验结果 $\chi^2 = 12.9 < \chi_{0.05}^2 = 15.51$ 。单机船总吨位的统计分布接

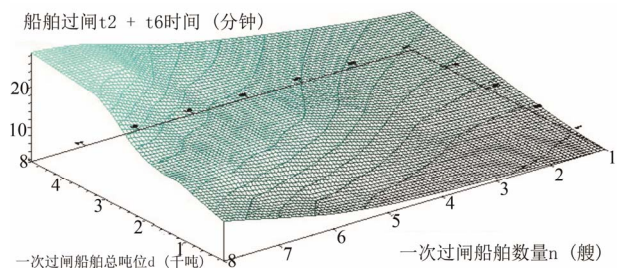


Figure 1. Simulation effect graphic model when one vessel lockage time is $t_2 + t_6$
图 1. 多艘单机船一次过闸时间 $t_2 + t_6$ 拟合关系三维图

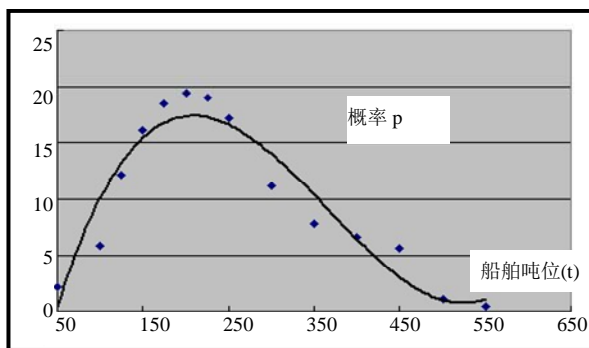


Figure 2. Statistical scatter gram of one vessel's whole tonnage
图 2. 单船总吨位统计分布图

受了正态分布的假设，它服从均值为 220 t 的正态分布。也就是说目前苏北运河船舶的平均吨位为 220 t，由公式(6)知运河上平均吨位的船长为 38 m。

由船闸平均长度和目前双帮过闸的现状，一闸次平均最大过船率为 8~10 艘，取每闸次 9 艘计算，式(11)中的 \overline{P}_{v1} 可以确定：

$$\overline{P}_{v1} = \frac{220 \times 9}{\sum_{i=1}^7 t_i} \quad (13)$$

按式(10)~(13)即可估算当前船型条件下各船闸的可能通过能力。

4. 结论

船闸是航道通过能力的瓶颈，但船闸通过能力的

定义和计算方法仍有争议，尤其现行规范计算结果与实际情况有所差距。参照道路基本通行能力的概念与分类，提出了与之相对应的三类船闸通过能力——船闸基本通过能力、船闸可能通过能力、船闸设计通过能力。依据调查数据，得出了适用于苏北运河目前船型分布的船闸可能通过能力的计算方法，基本通过能力和可能通过能力的公式，方法也适用于其它航道船闸，研究成果为相关工程提供了参考依据。

参考文献 (References)

- [1] 王振喜. 关于船闸通过能力计算中若干问题探讨[J]. 水运工程, 1998, 6: 19-22.
- [2] 卞艺杰. 航道通过能力研究[J]. 水运工程, 2000, 8: 27-30.
- [3] 周兴华. 船闸通过能力计算中有关问题的探讨[J]. 水运工程, 2002, 3: 35-38.
- [4] 陶桂兰, 张玮, 丁坚. 船闸一次过闸平均吨位的确定[J]. 水运工程, 2003, 4: 50-52.
- [5] 张玮, 廖鹏, 梁应辰. 船闸通过能力计算中的若干问题研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005, 29(5): 681-684.
- [6] 张亚平, 裴玉龙. 道路通行能力研究现状及发展概述[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2: 94-97.
- [7] 艾贺申, 李强. 我国公路通行能力研究现状[J]. 公路, 2001, 9: 100-104.
- [8] 贾晓敏. 城市道路通行能力影响因素研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2009.
- [9] M. Smith. Existence, uniqueness and stability of traffic equilibrium. Transportation Research, 1979, 13(4): 295-304.
- [10] B. D. Greenshields. A study in highway capacity. HRB Proceeding, 1935, 14: 467-469.