



京杭运河二通道待闸锚地容量探讨

马 晶，孙 波

(杭州市综合交通运输研究中心，浙江杭州 310014)

摘要：以京杭运河二通道上设置的八堡船闸待闸锚地为研究对象，基于运量预测、通航条件分析、八堡船闸运行特点等前期成果，通过经验公式计算、排队模型对待闸锚地所需锚泊位数量分析计算，同时利用三堡船闸待闸锚地布置情况进行实例对比分析，并提出针对性的锚地改造措施。结果表明，合适的待闸锚地容量为不小于 3 个闸次船舶数量，并建议设置远程调度锚地进行梯级调度。

关键词：京杭运河二通道；八堡船闸；待闸锚地；锚地容量

中图分类号：U612

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2024)02-0120-04

Inquire into appropriate waiting anchorage capacity on second channel of Beijing-Hangzhou Grand Canal

MA Jing, SUN Bo

(Hangzhou Comprehensive Transportation Research Center, Hangzhou 310014, China)

Abstract: This paper takes the waiting anchorage of the Babao ship lock on the second channel of Beijing-Hangzhou Grand Canal as the research object. Based on previous achievements such as traffic volume prediction, analysis of navigation conditions and operational characteristics of Babao ship lock, this paper uses empirical formula and queuing model to analyze and calculate the appropriate anchorage capacity, makes an example comparison using the layout of the waiting anchorage of Sanbao ship lock, and proposes targeted transformation measures. The results show that the appropriate capacity of the waiting anchorage is no less than the number of ships in three lock times. It is recommended to set up a remote dispatch anchorage for cascade dispatch.

Keywords: the second channel of Beijing-Hangzhou Grand Canal; Babao ship lock; waiting anchorage; anchorage capacity

京杭运河二通道全称为京杭运河沟通钱塘江第二通道，是京杭运河三级航道整治工程浙江段的关键工程，通过陆上开挖航道与新建八堡船闸，连接杭申线航道与钱塘江航道，航道与船闸均为内河三级标准。该工程于 2023 年 7 月开通。航道线位与船闸位置见图 1。

作为京杭运河与钱塘江连接的主要通道，京杭运河二通道的锚地设置及容量大小对于航道正常运行极为重要，尤其是八堡船闸的待闸锚地容

量，将直接影响船闸的运行。国内外现有的研究中，对于锚地容量的研究尚少且大部分都是针对港口锚地容量的研究^[1]。目前国内对于待闸锚地的研究以针对重大工程研究为主，尤以三峡待闸锚地的研究居多，基本上采用经验公式、排队模型两种方法进行计算分析，如张高峰等^[2]对三峡待闸锚地规模的研究，以及朱旺峰等^[3]对三峡枢纽航运扩能后续待闸锚地的研究等，具体在公式应用上有各自的理解。

收稿日期：2023-06-15

作者简介：马晶（1983—），男，硕士，高级工程师，从事港口工程、航道工程的规划、设计、咨询及研究。



图1 京杭运河二通道线位

本文借鉴上述研究方法的同时,结合八堡船闸的特点进行分析,增加实例对比,分析论证八堡船闸的待闸锚地适合的容量,并提出优化建议。

1 工程概况

1.1 八堡船闸概况

八堡船闸为Ⅲ级双线船闸,采用单级船闸形式。闸室有效尺度为 $300\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4.2\text{ m}$ (有效长度 \times 有效宽度 \times 门槛水深),设计年单向过闸货运量通过能力(双线)为4 200万t。两线船闸并列布置,共用引航道,上、下游引航道(上游指运河侧)均采用曲进曲出的布置形式,两侧待闸区均只有1闸容量。由于八堡口门位于钱塘江涌潮河段,通过布置两段导堤的方式稳定航道,引航道向上游转弯进入钱塘江。

1.2 二通道锚地设置情况

京杭运河二通道为内河限制性Ⅲ级双线航道,航道尺度为面宽70m、底宽45m,设计水深3.2m(硬质河床适当加深),最小弯曲半径480m。全线共设置了4处锚地(表1),设计采用双档靠岸系泊方式,共28个锚泊位。未设置危险品锚地。

表1 京杭运河二通道锚地设置

锚地名称	岸别	设计锚地尺寸 长/m	设计容量/ 宽/m	个锚位	停泊 方式	锚地 性质	与八堡船闸 距离/km
东洋埭服务区	右	320	32	8			23
南庄应急锚地	左	208	29	6	双档靠 岸系泊	普货	20
前进服务区	左	236	32	6			8
德胜路待泊区	右	312	32	8			1
合计		-	-	28	-	-	-

2 八堡船闸通航特点

2.1 通航保证率受涌潮影响较大

以涌潮为核心因素的水文条件是对八堡船闸和钱塘江航道通航影响最大的自然条件因素,对八堡船闸的通航保证率起到决定性的影响。根据水文计算成果,八堡船闸的通航保证率在具体年份存在显著低于设计通航保证率的情况,低值与多年平均值换算通航时间相差32.5d。年内同样存在洪枯季差异。在水文和风速、能见度和不适宜航的其他特殊天气自然条件因素综合作用下,八堡船闸存在出现连续不能通航时间段的可能性。

2.2 大、中潮期间的运行特点

大、中潮期间,船闸运行需要按照潮汐周期进行,运河侧船舶进闸只能在涌潮过后和下一潮来临之前出闸船能进入安全避潮水域的时间段内进行;钱塘江侧船舶进闸只能在涌潮过后从锚地下行至下一潮到达船闸之前进行;两者的重叠时段为船闸双向运行时段。具体为前5.5 h(330 min)运河侧船舶单向进闸,随后1.9 h(114 min)双向进出闸,最后3 h(180 min)钱塘江侧船舶单向进闸^[4]。

3 锚地存在的主要问题和设计不足

3.1 现状锚地设置及用途

根据苏北运河建设经验,锚地按照功能可分为航行锚地、待闸锚地和待港锚地^[5]。按照运河二通道设计意图,德胜路待泊区是待闸锚地,容量8个锚泊位,对船闸引航道停泊段起到缓冲和调节作用。与之距离1 h航程的前进服务区、3 h航程的东洋埭服务区、2.5 h的南庄应急锚地并非德胜路待泊区的梯级联调锚地。东

洋埭服务区和前进服务区面向整个航道内航行的所有船舶提供服务，包括临时休息、加注补给、作业区船舶等候，也包括过闸船舶一时无法进入德胜路待泊区等候等，兼具航行锚地和待港锚地功能。南庄应急锚地是上述 3 个锚地容量不足时的应急补充。

根据京杭运河现有沟通钱塘江的三堡船闸待闸经验，待闸锚地鸦雀漾锚地日均近 300 艘船舶的待泊量。短时间申请过闸船舶较多时，必然出现要求船舶在二通道以外其他航道的锚地临时等候的情况，影响其他航道锚地的使用。而一旦开始运行，引航道停泊段的一闸船舶进闸后，锚地上的待闸船不能补足一闸，需要提前调度二通道外航程超过 3 h 的船舶进航道，否则会出现闸等船现象。对于精准调度的要求很高。

3.2 钱塘江侧通航条件的附加影响

钱塘江侧因水源保护要求，目前只能使用渔山锚地待闸，距离约 42 km，下行船舶沿程经历涨潮、平潮、落潮变化，船舶精确控制沿程航行时间较为困难。由于避潮的要求，钱塘江的避潮航段在钱塘江大桥上游。船闸附近的六堡锚地只能用于可通航时段内临时调节，大、中潮涨潮期间，船舶不能在此停泊。同样，大、中潮期间，渔山锚地内船舶必须等潮头过了锚地才能下行，不能提前下行，航行时间如有偏差，必定影响涨潮后钱塘江侧进闸第一闸运行开始时间，进而影响大、中潮期间闸次调度，势必影响运河侧的过闸组织调度。

两侧航道待闸条件决定了过闸组织调度要求很高，一旦有所脱节，调整余地不大，航道和船闸的有效运行极为依赖精准调度。精准调度的实现需要船户、运营单位和航道管理部门熟练配合，环节多、难度大。

3.3 锚地容量计算

对于船舶待闸锚地，设计时需要有一定的容量富余，给予船闸调度更多缓冲和容错空间，应对可能出现的衔接不到位和临时出现的意外。本文通过经验公式计算、排队模型计算和实例对比

分析 3 种方法对运河二通道内待闸锚地的容量进行分析计算。

3.3.1 锚地容量经验公式计算

利用船闸通过能力公式与港口堆场容量计算公式推导的锚地容量静态分析计算公式，根据八堡船闸的特点，本文采用以下公式计算：

$$N = \frac{0.5Q\beta}{544G\alpha} \cdot 10^4 \quad (1)$$

式中： N 为锚泊位需求量，个； Q 为年过闸货运量，万 t； β 为运量不平衡系数； G 为过闸船舶平均吨位，t； α 为过闸船舶装载系数。根据本工程具体情况，涌潮是八堡船闸运行最主要的影响因素，以 1 个潮周期作为待闸单元时间较为合适，544 为考虑船闸通航保证率的年通航潮周期个数，也即待闸时间按照一个潮周期考虑。

根据《京杭运河二通道试运营阶段八堡和三堡船闸通行能力及通航方案研究》^[6]，预测 2035 年，八堡船闸过闸量约 8.5 万艘次，双向基本平衡，等于公式中的 $Q\beta/G\alpha$ ，计算得出 $N=78$ 个。

3.3.2 排队理论计算

根据排队理论，假定船舶到达锚地的规律符合泊松分布，在 t 时间段内到达 n 艘船的概率分布函数 $P_n(t)$ 为：

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (n=0,1,2\cdots; t>0) \quad (2)$$

式中： λ 为单位时间内平均到达的船舶数，单位时间取一个潮周期，故取 78 艘。

船舶接受过闸服务时间，假定服从负指数分布，概率分布函数 $P_s(t)$ 分布为：

$$P_s(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (t>0) \quad (3)$$

式中： μ 为一个潮周期内过闸船舶数。按照一次单向过闸时间 61 min，双向过闸时间 88 min。大、中潮占 37.4%，小潮期间需要平衡掉大、中潮期间两侧过闸次数不等，进行部分补偿性钱塘江侧单向进闸，按照一次单向过闸计算得到平均每个潮周期单侧可过闸 7.1 闸次。每闸 20 艘次(双线)，故 μ 取 142 艘。

将模型概化为 $M/M/1$ 排队论, 服务强度为 ρ , 锚地内待闸船舶数量多于 k 的概率为 P , 其中:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4)$$

$$P = \rho^{k+1} \quad (5)$$

计算得 $\rho < 1$, 系统处于平稳状态。由于待闸锚地周围无应急停泊航段, 仅有前进服务区有少量分担能力, 考虑概率应适当取大为 98%, 计算得出 $k=6$ 艘。这是根据理论上的最大服务能力求解, 是非常理想化的结果, 与设计的锚地容量相吻合。

实际上, 新开通的船闸, 由于组织调度、设施运转、操作熟练度等综合因素影响, 实际运行一次过闸时间普遍长于设计值, 甚至多年后都达不到设计值。实际运行时由于前述船闸通航保证率的年际、年内分布差异, 以及通航安全余量影响, 运行效率也会降低。按照综合影响, 需要将模型中的服务效率降低较为符合实际, 预计降低至 60%, 故 μ 取 85 艘, 再次计算得出 $k=44$ 艘。

3.3.3 实例分析

以与八堡船闸情况最相近的三堡船闸运行经验进行分析。三堡船闸现状年过闸船舶约 8 万艘次, 与八堡船闸未来预测过闸量相近。三堡船闸采取了引航道停泊区与鸦雀漾锚地联合调度的方式, 运河侧引航道设置了 4 阀容量(三堡船闸现状通航 500 吨级船舶, 双线单向合计一次过闸为 7 艘船)。锚地距船闸 21 km, 航程约 3 h。主要原因是运河穿越主城区, 沿线缺乏锚地, 强行布置影响市容, 所以改造引航道, 增加了引航道停泊段, 起到停泊段兼待闸锚地的功能。鸦雀漾锚地实际上是作为调度锚地使用。实际运行中, 船舶申报过闸后即进入鸦雀漾锚地, 船户可在此安心待闸, 不影响航道上其他锚地的使用, 方便管理和过闸调度, 尤其在钱塘江侧遇到特殊自然条件, 无法过闸时作用很大。

因此, 三堡船闸的待闸锚地应当视为根据实际需要设置了 3 阀容量, 从目前实际运转看较为适用。

3.3.4 综合分析

根据 3 种方法计算, 静态分析计算需要 78 个锚泊位, 排队模型计算需要 44 个锚泊位, 来自三堡船闸的经验是 3 阀容量, 等于 60 个锚泊位, 分别相当于 4、2 和 3 阀容量。无论哪一种, 都远大于设计锚地容量。综合分析, 排队模型严格上需要基于实际的统计数据进行分析, 本文中的预测数据可以作为参考, 静态分析一般被认为能考虑远期发展需求, 在本文中其计算和实际经验结果更相近, 因此本文认为待闸锚地的容量以 60~80 个锚泊位为宜。

4 改进建议

1) 双档停靠方式改为丁靠方式。斜向丁靠方式是杭州地区运河水系锚地普遍采用的停靠方式, 成熟可靠。停靠方式变化后, 以突破现有锚地停泊水域 15 m 为代价(进入航道底边线 2.5 m), 德胜路待泊区锚泊位增加至 20 个, 前进服务区锚泊位增加至 15 个。两个锚地联合作为待闸锚地, 可达到 1.5 阀容量。

2) 利用航道的面宽大于底宽 25 m, 正好两侧可以靠泊一排船而不影响主航道的特点, 选择部分航段加以疏浚和护岸改造, 设立一些系缆设施, 形成临时停泊区, 作为待闸锚地的补充和应急停靠带。

3) 通过对杭申线上的锚地联合调度, 作为过闸申报后的远程调度锚地, 与待闸锚地形成梯级调度。

4) 对开通后的船闸运行进行跟踪研究, 分析待闸锚地的实际需求, 优化检验现有的分析成果。

5) 需要进一步研究新设锚地和扩建锚地的可行性。

5 结论

1) 运河二通道八堡船闸的待闸锚地容量应当考虑布置不小于 3 个阀次船舶数量的锚泊位, 以方便实际运行调度。

(下转第 155 页)