



盐邵线扬州段通航分析与仿真研究*

张 玮, 顾丹平, 王启明

(河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要: 盐邵线扬州段航道条件差, 运行复杂, 易形成航道堵塞。分析造成航道拥堵的主要原因, 提出相应对策, 同时, 构建多节点航运调度仿真模型, 引入调度准则和评判标准, 模拟研究盐邵线扬州段的船舶航行情况及调度措施效果。结果表明: 盐邵线扬州段为多节点航道, 盐邵船闸的通过能力为制约全线通过能力的关键; 造成盐邵线航道拥堵的主要原因是同向船舶追越、异向节点交会, 因此应借助过闸船舶运行调度来减少航道堵塞现象的发生; 通过多节点航运调度模型, 可进行盐邵线航运调度模拟和优化, 尽管优化方案对船舶耗时间减少效果不明显, 但可以有效降低盐邵线的拥堵风险, 后者对盐邵线调度更具指导意义。

关键词: 调度; 仿真; 内河航道; 拥堵风险指标

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0122-06

Analysis and simulation of navigation in Yangzhou segment of Yanshao waterway

ZHANG Wei, GU Dan-ping, WANG Qi-ming

(Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: With the unfavorable navigation condition and complicated sailing environment, phenomenon like waterway block arises frequently in Yanshao waterway of Yangzhou segment. This article analyzes the main reason of waterway block and puts forward some corresponding countermeasures and a joint simulation scheduling model of multi-bottleneck is established at the same time. Besides, scheduling rules for vessels and evaluation criteria for this model are introduced in this paper. Furthermore, this model simulates ship operation and studies the effects of the improvement measures on Yanshao waterway of Yangzhou segment. Results show that, Yanshao waterway of Yangzhou segment is a multi-bottleneck nodes channel, Yan lock is the most critical factor in determining the overall through capabilities of Yanshao waterway. Vessels overtaking in the same direction and encountering in different direction at nodes are the primary causes of waterway block in Yanshao waterway of Yangzhou segment; optimizing management of vessels passing lock can reduce the phenomenon of waterway block. Simulation results prove that the joint simulation scheduling model of multi-bottleneck can optimize the management of vessels in Yanshao waterway, the cost-time of vessels in Yanshao waterway is rarely decreased despite, but the risk of channel congestion is reduced effectively, the latter has more guiding significant for scheduling in Yanshao waterway.

Keywords: scheduling; simulation; inland waterway; risk of channel congestion

收稿日期: 2014-10-19

*基金项目: 江苏省交通科学研究计划项目 (2012Y18-2)

作者简介: 张玮 (1958—), 男, 博士, 教授, 从事港口航道工程研究。

近年来,随着江苏省沿海经济的快速发展,扬州市东西向内河航运量呈现激增态势,航道现状难以满足日益增长的水运需求。为此,拟对扬州市的3条水运主通道,即盐邵线扬州段、盐宝线扬州段以及高东线分别进行升级改造。在实施过程中,剩余2条航线的通航压力将大为增加,其中盐邵线扬州段是3条水运主通道中航行条件最差的航道,通航压力将更为突出。因此,如何优化船舶航行、防止航道堵塞,成为亟待解决的问题。

随着计算机软硬件的发展,水上交通建模与仿真技术已逐渐成为水运交通研究的主要手段之一。Almaz^[1]和Or^[2]针对伊斯坦布尔海峡的交通状况,利用Arena仿真软件,考虑影响船舶通过海峡的诸多因素,对拥有完善调度机制的水上船舶交通流进行了仿真;宁双林等^[3-5]利用Arena软件建立了单线航道作业系统的仿真模型,计算了航道的通过能力;杨星等^[6-7]利用仿真软件,在考虑船舶行为的基础上,探讨了航道资源的利用情况;商剑平等^[8]利用仿真软件建立了并行四线船闸的仿真调度模型,探讨了不同调度方案的运营效果。以上对航道的仿真研究中,航道条件和船舶运行情况较为简单,对于航道中节点多、运行复杂的情况并不适用。

本文在调查盐邵线扬州段现状的基础上,分析造成盐邵线航道堵塞的主要原因,提出相应对策;针对盐邵线扬州段航道节点多、通过量大、运行复杂的特点,构建多节点航运调度仿真模型,提出有效的船舶放行规则和评判标准,模拟计算盐邵线扬州段的船舶运行情况,比较不同调度方案的效果。研究成果对内河船舶交通具有重要参考价值。

1 盐邵线现状及对策分析

1.1 盐邵线概况

1.1.1 航道

盐邵线在扬州市境内长为44.5 km,由西南流向东北,途经邵伯、真武、樊川、武坚4镇和江苏油田主要原油集散港真武港区,沿线设盐邵、樊川2座船闸(图1)。

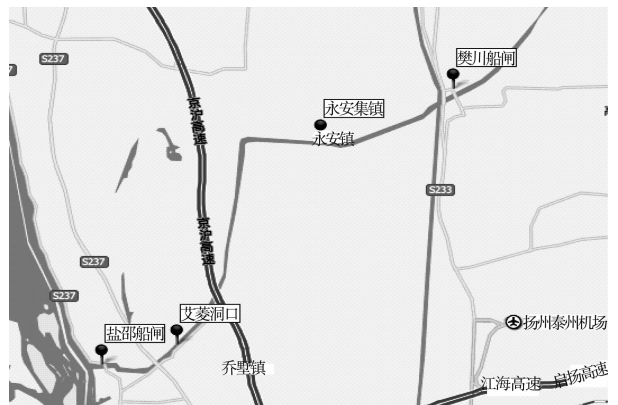


图1 盐邵线扬州段节点段位置

盐邵线扬州段航道规划等级为III级,维护等级为V级。在盐邵船闸下游有2处瓶颈河段——艾菱洞口段和永安集镇段。艾菱洞口为弯曲河段,曲率半径小且通航水深受水下地涵的限制;永安集镇段航道口宽不足,仅能实行单向通航。由此可见,盐邵船闸、樊川船闸、艾菱洞口段和永安集镇段共2座船闸、2处节点河段已经成为影响盐邵线扬州段通航能力的4个关键节点(图1)。

1.1.2 船闸

盐邵船闸于1977年8月建成通航,船闸闸室长160 m,宽16 m,口门宽10 m;一次过闸所需时间为25~35 min,平均30 min;在盐邵线上,单船船长一般为30~50 m,船宽为7~9 m,单船过闸,平均每次4~5艘;船队多为1拖10驳,船队长300~500 m,驳船船宽为7~9 m,通常一个船队需分3次过闸。

樊川船闸于1976年10月建成通航,船闸闸室长160 m,宽12 m,口门宽10 m;一次过闸时间约20 min,日均过闸船队7支,单船29艘。

1.1.3 船舶组成

根据现场调研,在盐邵线上航行的单船与船队具有不同的行驶性能及通航习惯。单船航行速度较快,习惯于凭借其速度在航道中多船之间穿插航行;船队航行速度较慢,不易腾挪。盐邵线扬州段的下行船舶基本都是重载,上行船舶基本空载,同种船舶空载和重载时船速也不同,上下行船舶的速度见表1。根据2010—2012年统计,单船和船队所占比例约为4:6,统计结果见表2。

表1 不同装载情况下船舶速度 km/h

船型	重载	空载
单船	6~7	10
船队	3~4	6~7

表2 盐邵线航道船舶组成

年份	单船/艘	船队/艘	单船比例/%	船队比例/%
2010	18 226	37 191	32.89	67.11
2011	24 900	35 684	41.10	58.90
2012	22 262	37 787	37.07	62.93

1.2 运行情况

1) 船闸超负荷运行。

盐邵船闸年通航天数在350 d以上,年设计通过货物量为800万t,但实际通过货物量最大可达1600多万t,远远超过了设计通过能力,一直处于超负荷状态。

樊川船闸是盐邵线扬州段上的另一座船闸,距盐邵船闸约27 km,年设计通过货物量为400万t,目前船闸年通过货物量近700万t,已经大大超过船闸的设计通过能力,但因三阳河可以分流部分船舶,相比较而言,樊川船闸的通航压力相对盐邵船闸要小。

2) 航道节点单向通行。

艾菱洞口段和永安集镇段为盐邵线上2个节点河段,艾菱洞口为弯曲河段,曲率半径偏小且通航水深受到水下地涵的限制;永安集镇段航道口宽不足,仅能实行单向通航。

3) 追越和交会造成拥堵。

根据历史资料及实际分析,如若不对盐邵线船舶进行调度控制,则极易在航道段发生如下的两种现象:追越与节点交会,从而造成航道堵塞。船舶追越是指后面船舶凭借速度优势追赶和超越前面船舶,类似于公路上的超车,由表1可知,单机船的船速要较船队快得多,在航道中极易形成因追越船队而造成航道堵塞。节点交会,是指相向而行的船舶在节点河段的正面交会,如不能根据规则进行避让,也极易造成堵塞。

1.3 解决方案

上述分析表明,盐邵线共有4个控制节点——盐邵船闸、樊川船闸、艾菱洞口段和永安集镇段。

各节点年通过能力不同。按对通航影响的大小排序,分别是盐邵船闸、永安集镇段、艾菱洞口段和樊川船闸。其中盐邵船闸是制约盐邵线通过能力的关键,艾菱洞口段和永安集镇段是影响盐邵线通航能力的节点河段。因此,为保障盐邵线的通航,首先需要保证盐邵船闸的通过能力达到最大,只有如此才能使得盐邵线的通过能力达到整体最优。

根据调查,盐邵线航道船舶交通事故大多发生在航行条件不明的情况下,单机船超越船队时造成,致使航道堵塞。为减少船舶追越现象,保证盐邵线正常通行,需对盐邵船闸下行的船舶进行同类批量放行,也就是对单机船和拖带船队分类连续放行。

2 仿真模型设计

2.1 总体框架

为提高盐邵线扬州段畅通性,需要对通过船舶进行调度,因涉及盐邵、樊川2座船闸以及艾菱、永安2个节点航段,本质上为多节点航运联合调度问题。由于目前对该问题缺乏足够的研究,且船舶数量多、运行情况复杂,所以,需要借助仿真手段,通过建立盐邵线多节点调度仿真模型,研究不同调度运行方案的效果,寻求优化方案。

根据盐邵线航运现状,盐邵线多节点联合调度的指导思想为“整体最优,保通防堵”,总体框架见图2,在具体运行时应遵循以下3个原则:

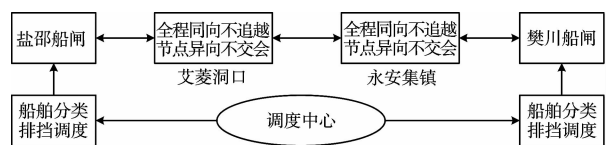


图2 盐邵线调度总体构架

1) 盐邵船闸通过能力最大化。盐邵船闸为制约盐邵线整体通过能力的核心,优化组织安排船舶流(即船舶通过时间及顺序)使得盐邵船闸通过能力达到最大,由此可以保证盐邵线整体最优。

2) 同向不追越。优化组织安排盐邵船闸及樊川船闸船舶流,使得船舶在盐邵线扬州段尽量不追越或少出现追越现象。

3) 异向节点不交会。对通过樊川船闸上行船舶进行优化调度,防止从盐邵船闸下行的船舶与从樊川船闸上行船舶在节点河段交会,并在此基础上兼顾樊川船闸的通过能力。

2.2 放行规则

根据上述3个原则,结合实际调研及专家分析,提出实现多节点航运联合调度的启发式调度准则:

1) 分类通行原则。

盐邵船闸和樊川船闸一闸次仅放行同一类型船舶,即若某闸次放行单船,那么该闸次放行所有船舶皆为单船,不允许夹杂船队。反之亦然。这时,对于已经待闸的船舶预先整理归类,将所有待闸的船舶按类型(单船、船队)、船舶尺度以及闸室的有效面积分成合理的小组,每次只通行一个小组。

2) 先到先服务原则。

实际中,对于内河航道为了提高闸室利用率,强制采用“后到先服务”会引起管理混乱。本着实用原则,严格按照“同类型船舶先到先过”安排船舶通行顺序,即在船舶类型相同的情况下,先到船舶一定先于后到船舶出发。

3) 类型优先原则。

实际中,可能出现如下的船舶申请过闸情况:单船先于船队申请过闸,但该闸次安排为放行船队,这时不按照“先到先过”原则,而是安排放行后到的船队,先到的单船安排在后续闸次。即所谓的“同类型船舶先到先过,异类型船舶优化安排”。

4) 少切换原则。

所谓切换是指在船闸放行过程中改变放行船舶的类型。同类型船舶放行不会产生追越问题。但船队切换为单船时,单船需要等待一段时间,让船队能够航行足够长距离,从而避免追越问题,因此频繁切换过闸船舶类型会造成大量时间浪费,故这里约定盐邵船闸或者樊川船闸连续放行同一类型的船舶至少一定次数之后,才能切换为其他类型船舶。

2.3 评判标准

在仿真模型中,各调度方案船舶在系统中耗费的时间为一个重要标准,它指船舶进入系统待闸开始至船舶离开系统结束。船舶的耗费时间表示船舶通过盐邵线扬州段所需的时间,由船舶等待时间和船舶航行时间两部分组成,其中船舶等待时间由船舶待闸时间和节点河段等待时间组成。船舶作为调度对象,其在模型系统中耗费的时间一定程度上反映了调度方式的优劣。

为比较各调度方案盐邵线的通畅情况,还将引入“拥堵风险指标”。盐邵线航段拥堵风险,主要由船舶“同向追越”引起,因此定义“虚拟超越次数”为船舶从盐邵船闸(樊川船闸)驶出,按其正常速度航行至樊川船闸(盐邵船闸)能够超越前方船舶的艘数。由于发生追越主要是单船追越船队,因此每当单船能够追越一支船队,“虚拟超越次数”记为一次。“拥堵风险指标”指调度计划期内,在盐邵船闸和樊川船闸待闸的船舶放行后“虚拟超越次数”的总和,该指标反应了调度计划期内盐邵线的总体拥堵风险。“拥堵风险指标”小,则表示单船追越船队的次数少,表明航道堵塞风险相对较小。

3 模型应用实例分析

3.1 计算情况

模型中结合盐邵线过闸的历史观测数据,研究多节点调度模型在实际工程中的应用。历史观测数据包括盐邵船闸、樊川船闸2010—2012年的船舶过闸数据,约有4万艘船舶通行记录,全部进行优化规模巨大,且缺乏意义,同时信息中存在一部分数据不连续情况,因此截取相对完整的2012年1月1日—15日共15d的船舶数据进行分析。

期间,通过盐邵船闸船舶总数为1061艘,其中单船为391艘(占36.9%),船队为670艘(占63.1%);通过樊川船闸的船舶总数为1137艘,其中单船303艘(占26.6%),船队840艘(占73.9%)。针对这段时间的船舶数据,假定船舶已

大量积压,研究如何优化调度,使得积压的船舶能够顺利、快速、合理地通过船闸。在模型仿真初始,模型设定3 d的预热时间,以使航道中有一

定数量的船舶和初始状态。在仿真模型的运行中,船舶进出闸、过闸、正常航行、追越等行为均符合逻辑。

表3 船舶通航统计数据

状况	总体耗费时间/h			分别耗费时间/h						拥堵风险指标 / 艘
	平均耗 费时间	平均等 待时间	平均航 行时间	单船			船队			
				平均耗 费时间	平均等 待时间	平均航 行时间	平均耗 费时间	平均等 待时间	平均航 行时间	
未优化	102.53	94.45	8.08	109.27	102.74	6.53	98.96	90.06	8.90	594
持续放行24 h	101.81	93.76	8.04	111.58	105.51	6.06	97.07	88.07	9.00	76
持续放行48 h	101.77	93.72	8.05	123.58	117.49	6.09	91.56	82.60	8.96	46

3.2 优化调度前后结果

表3为调度优化前后船舶在仿真系统中的耗费时间和拥堵风险指标统计。从表3可见:1)未优化前,船舶通过盐邵线扬州段的平均耗费时间为102.53 h,其中平均等待时间94.45 h,平均航行时间8.08 h,说明主要时间耗费在等待过闸上;2)在仿真时间段内,盐邵线的拥堵风险指标达到了594艘,数值较大,表明若是不对过闸船舶进行调度放行,极易在航线上发生追越现象,造成航道堵塞的风险相对较大。

根据启发式调度准则,为最大限度满足分类型通航原则,在盐邵船闸调度船舶过程中,必然会有部分“后到先走”现象,即后到的船舶优先通过船闸。在实际调度过程中,船民对这种现象意见很大,必须考虑船民容忍“后到先走”的限度。为此,在模型中设置船舶的持续放行时间为24 h,考虑到盐邵船闸单船与船队的闸次约比1:2,如船队放行24 h,则单船放行12 h。从表3可知:

1) 相比较于未优化调度方式,持续放行24 h条件下的多节点优化调度方法仅使船舶通过盐邵线的时间略有降低,平均耗费时间由102.53 h减少到101.81 h,仅仅缩短了0.72 h。可见,连续放行24 h的调度方案并不能有效减少盐邵线船舶通过时间,主要原因在于,原来的运行方式已经使得盐邵船闸通过能力达到了最大,无法继续缩短通过时间。

2) 相比较于未优化调度方式,持续放行24 h

条件下的多节点优化调度方法能够大大降低拥堵的风险,拥堵风险指标从未优化前的594艘降低至优化后的76艘,拥堵风险仅为未优化方案的12.8%。也就是说多节点优化调度方法可以大大降低盐邵线拥堵的可能性,说明该方法在“保通防堵”方面是有效的。

3) 相比较于未优化调度方式,持续放行24 h条件下单船的平均耗费时间略有增加,由109.27 h增加到111.58 h,而船队的平均耗费时间略有减少,由98.96 h减少到97.07 h。

船队持续放行48 h仿真计算结果表明:

1) 相较于持续放行24 h方式,持续放行48 h条件下,船舶的平均耗费时间几乎不变,进一步说明盐邵船闸的通过能力已最大化,通过增加持续放行时间来减少船舶的平均耗费时间已收效甚微。

2) 相较于持续放行24 h方式,持续放行48 h条件下,多节点优化调度方法能进一步通过协调放行顺序,使拥堵风险指标由76艘进一步减少到46艘,可以进一步降低盐邵线拥堵风险。

3) 相较于持续放行24 h方式,持续放行48 h条件下,多节点优化调度方法单船的平均耗费时间略有增加,由111.58 h增加到123.58 h,而船队的平均耗费时间略有减少,由97.07 h减少到91.56 h。

4 结论

1) 盐邵线扬州段为多节点航道,包括盐邵和

樊川2个船闸以及艾菱和永安2个节点河段,其中,盐邵船闸的通过能力最小,是制约盐邵线整体通过能力的关键因素。

2) 造成盐邵线航道堵塞的主要原因是同向船舶追越、异向节点交会,为避免航道堵塞现象发生,需对通行船舶进行优化调度。鉴于盐邵线扬州段的船舶通过量大,航行情况复杂,可以利用仿真模型优化调度方案,保证盐邵线的通畅。

3) 在仿真模型中,结合盐邵线实际,提出了启发式调度原则,以便有效减少同向船舶追越、异向节点交会现象的发生;在模型的评判标准中,引入了船舶通过平均耗费时间和拥堵风险指标2个指标,其中,船舶耗费时间反映了盐邵船闸的通过能力,而拥堵风险指标有效地体现了盐邵线航线的通畅程度,对盐邵线通航调度具有重要的指导意义。

4) 不同持续放行时间条件下的多节点调度方案较之未优化前,在改善船舶平均耗费时间上作用较小,但都能有效减少盐邵线的拥堵风险指标,大大降低通航拥堵风险。在实际调度中,应根据实际情况,结合考虑船民的接受能力,合理选择船舶的持续放行时间。

5) 仿真模型是一个非常有效的技术手段,可以用来研究复杂航行条件下的船舶运行调度。随着水上

智能交通的发展,将会得到越来越广泛的应用。

参考文献:

- [1] Almaz A O, Or I, Ozbas B. Investigation of the transit maritime traffic in the strait of Istanbul through simulation modeling and scenario analysis[J]. International Journal of Simulation, 2006, 7(7): 1-9.
- [2] Or I, Ozbas B, Yilmaz T. Simulation of maritime transit traffic in the Istanbul strait - II: Incorporating the traffic regime, arrival processes, meteorological conditions [C]// Proceedings 21st European Conference on Modelling and Simulation, 2007: 548-553.
- [3] 宁双林, 宋向群, 郭子坚, 等. 单线航道通过能力仿真研究[J]. 水道港口, 2008, 29(3): 166-169
- [4] 张蕾. 长江干线典型航道通过能力仿真研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [5] 吴澎, 商剑平. 沿海港口航道通过能力仿真模型研究[J]. 中国港湾建设, 2010(S1): 42-45.
- [6] 杨星, 李键, 陈巍博, 等. 内河船舶交通流建模与仿真研究[J]. 中国航海, 2013, 36(3): 80-85.
- [7] 吴中, 王雪洁. 内河航道船舶交通流研究[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2014(1): 118-122.
- [8] 商剑平, 吴澎, 唐颖. 基于计算机仿真的船闸联合调度方案研究[J]. 水运工程, 2011(9): 199-204.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

上航局承建的浙江台州东部新区吹填及软基处理主体工程通过验收

4月27日,上航局承建的浙江台州东部新区吹填及软基处理工程第四区块通过验收,至此该项目主体工程全部通过验收。

该工程主体由四大区块构成,施工内容包括围堤、吹(回)填、地基处理等,施工总面积1 006.5万 m^2 ,合同额12.8亿元,合同工期31个月。本次验收的四区面积202.32万 m^2 ,围堤总长6 555 m,吹填淤泥量822.23万 m^3 。

该工程位于台州湾循环经济产业集聚区核心区,是台州沿海开发大平台建设的重要组成部分。项目建成后将新增建设用地约10 km^2 ,为台州市持续发展做出积极贡献。

(摘编自《中国交通建设网》)