

文章编号:1006-7736(2008)04-0150-04

## 单向水道船舶进出港最佳排序模式\*

徐国裕<sup>1,2</sup>, 郭涂城<sup>3</sup>, 吴兆麟<sup>1</sup>

(1. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026;

2. 高雄港引航站, 高雄 804;

3. 长荣大学 航运管理系, 台南 711)

**摘要:**为避免船舶在港口水域因为等候进出造成拥挤而导致碰撞, 提出单向水道船舶进出港最佳排序模式. 根据船载 AIS 提供的与船舶通行安全相关的资料, 以泊位远近、船舶大小、船舶类型、船舶吃水等主因素及其他子因素作为船舶权重. 在高雄港水域的实例验证表明, 该排序模式较人工排序模式在通航安全与通航效率方面具有较大优势, 可为未来建立整合性船舶交通组织服务架构提供重要参考.

**关键词:**船舶进出港; 单向水道; 最佳排序模式; 船舶权重

**中图分类号:**U691.32

**文献标志码:**A

### Optimum scheduling model for ship in/outbound harbor in one-way traffic fairway

HSU Kou-yu<sup>1,2</sup>, KOU Tu-cheng<sup>3</sup>, WU Zhao-lin<sup>1</sup>

(1. College of Navigation,

Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. Kaohsiung Harbor Pilot Association,  
Kaohsiung 804, China;

3. Department of Aviation and Maritime Management,  
Chang Jung Christing University, Tainan 711, China)

**Abstract:** An optimum scheduling model for ship in/outbound harbor in one-way traffic fairway was developed to avoid ship collision caused by ship awaiting in/outbound in congested water. The major influence factors such as the distance of berth, ship's size, ship's type and ship's draught and their sub-factors were selected as weights according to the data related to ship's safety provided by AIS. Tests in Kaohsiung harbor area show that the proposed model has some advantages comparing with manual scheduling model in respect of navigation safety and efficiency, which can give important reference in integrating ships' traffic services.

**Key words:** ship in/outbound harbor; one-way fairway; optimum scheduling model; ship's weights

## 0 引言

船舶进出繁忙港口时, 受限于航道因素, 往往只能单向通过航道. 在给定时段内, 若无适当排序, 将造成进港船拥挤在进港等候区(引航站)、出港船停泊在港内有限水域, 易导致碰撞事故的发生. 在确保港口通航安全的条件下, 徐国裕等<sup>[1]</sup>尝试通过人为调节方式, 安排船舶进出港顺序以减少等候进出港船舶间的冲突. Lloyd<sup>[2]</sup>、Meine等<sup>[3]</sup>对保持安全水域空间、建立整合系统与减少排序冲突给予充分关注. Eneely<sup>[4]</sup>基于风险评估对交通组织决策进行了论述. 张玮等<sup>[5]</sup>、王小平等<sup>[6]</sup>分别针对苏北大运河及长江三峡、葛洲坝的单向航段进行规划研究. 但上述研究的重点以通航闸口管制问题为考虑对象, 没有考虑航道通过时间, 故并不适用于一般单向进出航道受限的港口. 在航道使用效率方面, 郭涂城等<sup>[7]</sup>运用工作排序理论<sup>[8]</sup>, 建立了船舶进出港最佳排序模式. 虽然模式已具基本雏形, 但并未将船舶通航安全因素列入考虑范围. 本文对单向通行航道等候进出港的船舶, 依其船载 AIS 提供的与通航有关的静态及航次相关信息数据以及靠离泊位远近, 作成特征影响因素, 通过专家意见调查与评估, 求取船舶综合权重, 运用工作排序理论构建最佳化排序模式, 为整合船舶交通秩序奠定基础.

## 1 船舶通行排序

### 1.1 单向航行安全排序

在单向航行水道不允许追越情况下, 有些港口为了营运要求及疏解水域空间, 在船舶进出港排序

\* 收稿日期: 2008-07-12.

作者简介: 徐国裕(1952-), 男, 台湾苗栗人, 博士研究生, E-mail: ky.hsu@ntou.edu.tw.

吴兆麟(1947-), 男, 江苏盐城人, 教授, 博士生导师, E-mail: wuzl@dlmu.edu.cn.

时仅考虑大船的优先性,因此船舶进出港口顺序为先出后进、先大后小、先快后慢、先近后远.本文认为影响船舶通航安全排序的主要因素可归纳为泊位远近、船舶大小、船舶类型及船舶吃水等4个主要方面.在主因素基础上,再分别列出3~5个子因素,具体见表1.

### 1.2 影响因素的权重

本研究的调查对象包括高雄港的25位引航人员及6位VTS主管人员,在其专业与工作领域分别对影响船舶通航安全排序的主因素及其子因素予以问卷调查.问卷回收后,依照层次分析法(AHP)进行运算与检验,其结果再由3位资深引航员及交管人员等予以多方检视,所得船舶权重情况如表1所示.

表1 单向航行安全排序及各因素的权重

主因素	权重	CR值	子因素	权重	CR值
泊位 远近	0.4231	0.0958	6个泊位以上	0.4612	0.1083
			5~6个泊位	0.2555	
			3~4个泊位	0.1782	
			1~2个泊位	0.0778	
			回转掉头	0.0273	
船舶 大小	0.2669	0.0958	1万总吨以下	0.5405	0.0988
			1~2万总吨	0.2212	
			2~4万总吨	0.1504	
			4~6万总吨	0.0611	
			6万总吨以上	0.0268	
船舶 类型	0.1960	0.0958	客船	0.6586	0.1052
			一般杂货船	0.1363	
			集装箱船	0.1326	
			散货船	0.0413	
			油船(危险品)	0.0312	
船舶 吃水	0.1139	0.0958	轻载	0.6923	$8.5402 \times 10^{-16}$ $\ll 0.1$
			半载	0.2307	
			重载	0.0770	

注:一个泊位长度为300 m.

## 2 船舶进出港排序模式

考虑船舶的操控性,为避免通行航道阻塞,通常船舶进出港顺序是客船较货船优先,货船再依杂货船、集装箱船、散货船及油船顺序排定.船舶吨位小者较船舶吨位大者优先,轻载船较半载船优先,半载船较重载船优先,远泊位船舶较近泊位船舶优先.

郭涂城等<sup>[7]</sup>构建的船舶进出港排序模式已较充分反应了航行安全的要求,所不足的是未考虑船舶操作实务.本文以文献[8]为基础,新增限制式,对该模式进行补充和修正.

### (1) 异向船舶交会安全时间间隔的限制

进港船与出港船在防波堤口或主回船池的交会保持一定时间间隔以确保航行安全.表示该航行安全条件的限制式为

$$t_{i,c} - t_{j,l} + My_{ij} \geq t_{gap} \quad (1)$$

$$\forall i < j, IO_i \neq IO_j$$

$$-t_{i,l} + t_{j,c} - My_{ij} \geq t_{gap} - M \quad (2)$$

$$\forall i < j, IO_i \neq IO_j$$

其中: $t_{i,c}$ 为船舶*i*进入防波堤或信号台时间; $t_{j,l}$ 为船舶*j*离开防波堤或信号台时间; $t_{i,l}$ 为船舶*i*离开防波堤或信号台时间; $t_{j,c}$ 为船舶*j*进入防波堤或信号台时间; $M$ 为系统概念下的极大值; $y_{ij}$ 为反应船舶*i*、*j*先后顺序的二元变量; $IO_i$ 、 $IO_j$ 分别为船舶*i*、*j*进出港方向; $t_{gap}$ 为异向船舶在防波堤或信号台交会的间隔时间.

### (2) 相邻泊位先后关系的限制

在先进港的近泊位船舶妨碍随后进港的远泊位船舶通行情况下,一般均指派远泊位船舶先进港.概念上,若远泊位船舶先进港则近泊位船舶落后远泊位船舶一个安全间隔时间即可.但若近泊位船舶先进港,则远泊位船舶需与近泊位船舶保持近泊位船舶靠泊所需时间间隔.假设船舶*i*停靠远泊位,船舶*j*停靠近泊位,增加如下限制式:

$$t_{i,c} - t_{j,c} + My_{ij} \geq t_h \quad (3)$$

$$\forall i < j, IO_i = IO_j$$

$$-t_{i,c} + t_{j,c} - My_{ij} \geq t_{i,b} - M \quad (4)$$

$$\forall i < j, IO_i = IO_j$$

其中: $t_h$ 为同方向船舶航行安全间隔时间; $t_{i,b}$ 为船舶*i*从信号台至完成靠泊的时间.

### (3) 进港与出港船舶泊靠相同泊位关系的限制

当进港与出港船舶泊靠相同泊位时,必然是先出港再进港.假设*I*为进港船舶的集合,*O*为出港船舶的集合,其限制式为

$$t_{i,c} - t_{j,p} \geq t_{j,p} \quad (5)$$

$$\forall i \in I, j \in O, B_i = B_j$$

其中: $t_{j,p}$ 为船舶*j*从防波堤至信号台间航行时间; $B_i$ 、 $B_j$ 分别为船舶*i*、*j*停靠的泊位.

### (4) 船舶投入时间

船舶*i*投入时间( $t_{i,d}$ )指自引航员登轮起至通过航行管制航段终点所经过的时间,定义

$$t_{i,l} - t_{i,d} = t_{i,o} \quad \forall \text{all } i \quad (6)$$

其中: $t_{i,o}$ 为引航员登上船舶*i*的时间.

### (5) 船舶等候时间

船舶*i*等候时间( $t_{i,w}$ )指船舶开始移动时间( $t_{i,w}$ )与引航员登轮时间( $t_{i,o}$ )的差值,即

$$t_{i,w} - t_{i,o} = t_{i,w} \quad \forall \text{all } i \quad (7)$$

(6) 船舶开始移动时间

船舶开始移动时间是计算船舶等候时间的重要数据,其定义为

$$t_{i,l} - t_{i,s} = t_{i,p} + t_{i,pos} \quad (8)$$

其中: $t_{i,pos}$ 为船舶*i*自停泊处至航行管制航段起点的时间。

(7) 目标定义

本研究将船舶进出港排序模式的目标改为追求船舶加权投入时间总和最小化。加权指按船舶种类、吨位、吃水、装载状况及泊位距离推定的综合权重。其中泊位不纳入综合权重计算,其余因素按上述船舶权重设定准则推定。利用推定的综合权重定义目标式如下:

$$\text{Min } t_{du} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot t_{i,d} \quad (9)$$

其中: $w_i$ 为船舶*i*的权重。

3 模式验证

良好船舶进出港排序模式必须兼具正确性与优越性,正确性指模式结果符合航行安全及操船实务要求,优越性指模式产生的作业绩效优于人工指派的作业绩效。航行安全可由同向及对向船舶在防波堤及信号台间的关键水域是否保持安全时间间隔来评断。操船实务可由船舶靠离泊位是否妨碍相邻泊位的靠离作业及是否按船舶种类、吨位、装载情况安排进出港先后顺序两方面来评断。优越性可由模式排序与人工排序产生的航道需求时间与船舶等候时间的差异比较而定。

为证明构建的船舶进出港排序模式的正确性及优越性,以高雄港实际进出港船舶为验证对象,列出 2008 年 1 月 19 日上午 0700 ~ 0830 尖峰时段等候进出港船舶的人工排序及模式排序结果。

3.1 人工排序

表 2 为尖峰时段船舶的基本数据及人工指派结果:

1) 进出港顺序

第 1 批:进港 # 69

第 2 批:出港 # 103

第 3 批:进港 # 118 # 78

第 4 批:出港 # 122 # 97 # 79 # 68

第 5 批:进港 # 103 # 68 # 77 # 74 # 97

2) 航道需求时间

最后一艘进港停靠 # 97 泊位的船舶通过信号台时间为 1025,全部 13 艘船舶使用航道时间自 0730 至 1025,共 2 h 55 min,平均每 13.46 min 完成一艘船舶进或出港。

3) 船舶等候时间

表 2 末栏显示各船的等候时间。全部 13 艘船舶的等候时间总计为 470 min,平均每艘船等候时间为 36.15 min。其中有 4 艘船舶的等候时间超过 60 min,最长达 83 min,显然进出港排序不理想。

3.2 模式排序

表 2 的 13 艘进出港船舶经排序模式并利用 LINDO 软件执行演算得到表 3 的结果。表 3 第 7 栏为船舶的权重。表 3 模式输出结果归纳如下:

1) 进出港顺序

表 2 进出港船舶基本资料及人工指派结果

序号	进/出	泊位 编号	船舶类型	总吨	装载 状况	班次 时间	申请 时间	登船 时间	开始 时间	过防波 堤时间	过信号 台时间	完成 时间	等候 时间/min
1	进	69R	集装箱船	71777	11.0F	0700	0656	0736	0739	0753	0805	0840	3
2	出	103L	油船	3575	6.0F	0700	0715	0730	0755	0817	0810		25
3	进	118L	集装箱船	12122	8.5F	0700	0725	0758	0818	0824	0831	0850	20
4	进	78L	集装箱船	65643	10.5H	0700	0715	0755	0820	0830	0838	0908	25
5	出	122L	散货船	39727	11.5F	0700	0725	0730	0833	0856	0847		63
6	出	97L	散货船	30824	9.0S	0700	0730	0745	0840	0905	0858		55
7	出	79L	集装箱船	76067	12.5F	0800	0830	0835	0855	0918	0910		20
8	出	68R	集装箱船	52084	12.0F	0700	0720	0735	0858	0932	0924		23
9	进	103R	油船	19081	9.3H	0730	0735	0808	0931	0939	0945	1018	83
10	进	68R	集装箱船	17285	9.1F	0730	0755	0830	0934	0944	0952	1014	64
11	进	77L	集装箱船	10996	8.5H	0800	0826	0900	0935	0949	0958	1020	35
12	进	74L	散货船	40360	11.4F	0800	0830	0905	0936	1000	1010	1045	31
13	进	97L	散货船	40717	14.0F	0800	0750	0827	0940	1014	1025	1110	73

注:1. 符号 L 表示左靠,R 表示右靠;  
 2. 装载状况栏的数字表示船舶吃水,符号 S 表示轻载,H 表示半载,F 表示全载;  
 3. 开始时间指船舶自所在处开始移动时间;  
 4. 出港船舶出防波堤后即完成出港作业,不登录完成时间;  
 5. 序号依船舶通过防波堤时间及通过信号台时间编号。

第1批:出港 #103L #122L #68R #97L

第2批:进港 #103R #118L #78L #68R #69R

第3批:出港 #79L

第4批:进港 #77L #97L #74L

除第2批次船舶进港停靠 #103R 及 #118L 外,其余各批次进出港船舶皆依权重大小及引航员登轮时间先后安排进出港顺序. #103R 船舶先进港的目标值为 8.563,而 #118L 船舶先进港的目标值为 8.672.模式指派 #103R 船舶先进港符合目标要求.目标值的变化说明如下:

情况1: #103R 船舶先进港

#103R 船舶 0811 开始,0819 抵防波堤口,0825 抵信号台,自引航员登轮时间 0808 起算合计 17 min. #118L 船舶 0818 开始,0824 抵防波堤口,0831 抵信号台,自引航员登轮时间 0758 起算合计 33 min.

目标值 =  $17 \times 0.164 + 33 \times 0.175 = 8.563$

情况2: #118L 船舶先进港

#118L 船舶 0813 开始,0819 抵防波堤口,0826 抵信号台,自引航员登轮时间 0758 起算合计

28 min. #103R 船舶 0816 开始,0824 抵防波堤口,0831 抵信号台,自引航员登轮时间 0808 起算合计 23 min.

目标值 =  $23 \times 0.164 + 28 \times 0.175 = 8.672$

2) 航道需求时间

最后一艘进港停靠 #74 泊位的船舶通过信号台时间为 0947,全部 13 艘船舶使用航道时间自 0730 至 0947,共 2 h 17 min,比人工排序缩短 38 min,平均每 10.53 min 完成一艘船舶进或出港.与人工排序的 13.46 min 相比,模式排序提升航道容量为  $(13.46 - 10.53)/13.46 = 21.76\%$ .

3) 船舶等候时间

表3末栏显示各船的等候时间总计为 152 min,较人工排序的 470 min,缩短了 318 min,约为人工排序时间的 32.3%,平均每艘船等候时间为 11.7 min,且任一船舶的等候时间均不超过 60 min.除 1 艘船舶的等候时间为 55 min 外,其余船舶的等候时间均小于 30 min.等候时间小于 10 min 的船舶达 8 艘,占全部船舶的 61.5%.相比人工排序,其优越性显而易见.

表3 模式输出

序号	进/出	泊位 编号	船舶类型	总吨	装载 状况	权重	班次 时间	申请 时间	登船 时间	开始 时间	过防波 堤时间	过信号 台时间	完成 时间	等候 时间/min
1	出	103L	油船	3575	6.0F	0.322	0700	0715	0730	0730	0752	0745		0
2	出	122L	散装船	39727	11.5F	0.107	0700	0725	0730	0736	0759	0750		6
3	出	68R	集装箱船	52084	12.0F	0.085	0700	0720	0735	0735	0809	0801		0
4	出	97L	散装船	30824	9.0S	0.190	0700	0730	0745	0749	0814	0807		4
5	进	103R	油船	19081	9.3H	0.164	0730	0735	0808	0811	0819	0825	0858	3
6	进	118L	集装箱船	12122	8.5F	0.175	0700	0725	0758	0818	0824	0831	0850	20
7	进	78L	集装箱船	65643	10.5H	0.087	0700	0715	0755	0819	0829	0837	0907	24
8	进	68R	集装箱船	17285	9.1F	0.175	0730	0755	0830	0830	0840	0848	0910	0
9	进	69R	集装箱船	71777	11.0F	0.066	0700	0656	0736	0831	0845	0857	0932	55
10	出	79L	集装箱船	76067	12.5F	0.066	0800	0830	0835	0847	0910	0902		12
11	进	77L	集装箱船	10996	8.5H	0.195	0800	0826	0900	0901	0915	0924	0946	1
12	进	97L	散装船	40717	14.0F	0.057	0800	0750	0827	0846	0920	0931	1016	19
13	进	74L	散装船	40360	11.4F	0.057	0800	0830	0905	0913	0937	0947	1022	8

## 4 结 语

本文对船载 AIS 提供的与单向水道船舶通行有关的信息数据,赋予相关的权重值,提出以船舶权重为据的最适排序模式,获得最佳化通行安全和效率的管理,解决了单向水道船舶进出港排序问题,也为船舶交通组织的后续研究奠定了基础.

参考文献(References):

[1]徐国裕,胡延章,周和平,等.高雄港船舶交通服务系统之效益评估与分析[J].航运季刊,2007,16(1):51-79.

HSU K Y, HU Y Z, CHOU H P. A research on evaluation and analysis of benefit of Kaohsiung VTS[J]. Maritime Quarterly, 2007,16(1):51-79. (in Chinese)

[2]LLOYD D N. Integrating VTS with port operation[C]// Proceedings of VTS 2004. Hongkong: [s. n.], 2004: 44-52.

[3]MEINE J, KRAMER M. Creation of a regionee VTS with data fusion and integration of vessel data and movement details over the area of several independent ports, coastal and inland waterways [C]// Proceedings of VTS 2004. Hongkong: [s. n.], 2004: 235-248.

- [4] LTJG ENEELY N. VTS application of risk-based decision making [C]// Proceedings of VTS 2004. Hongkong: [s. n. ],2004:85-90.
- [5] 张 玮,廖 鹏,吴玲莉,等. 船闸通过能力主要影响因素[J]. 交通运输工程学报,2004,4(3):108-110.  
ZHANG Wei,LIAO Peng,WU Ling-li, et al. Main parameters of waterway lock capacity[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2004, 4(3):108-110. (in Chinese)
- [6] 王小平,齐 欢,肖恒辉,等. 基于串联排队网络的三峡-葛洲坝水利枢纽联合调度模型[J]. 交通运输工程学报,2006,69(3): 82-86.  
WANG Xiao-ping, QI Huan, XIAO Heng-hui, et al. Co-scheduling model of three Gorges-Gezhou dam based on series queuing network[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006,69(3):82-86. (in Chinese)
- [7] 郭涂城,徐国裕,方怡雅. 船舶进出港排序模式构建之研究[C]//第五届十校联盟航运学术研讨会论文集. 台南: [s. n. ],2007:55-67.  
KOU T C, HSU K Y, FENG I Y. A research on constructing the model of traffic order arrangement in one-way traffic fairway[C]//Proceedings of 5th Symposium of Management Alliance. Tainan:[s. n. ],2007:55-67.
- [8] TAHA H A. Operation Research[M]. 8th Edition. Arkansas, USA: Pearson Education Inc. ,2007:360.