

2000年大连航海学会驾驶专业委员会
航海技术学术会议论文集

陈 铎 主编



大连海事大学出版社

PDG

序

航海技术主要是研究有关航海专业方面的知识和技能,航海技术水平的高低将直接影响航运事业的发展。近年来,随着各种高科技在航海方面的应用,使得航海技术得到了巨大的发展,船舶驾驶及管理等方面自动化的程度越来越高,特别是随着 STCW78/95 等国际公约的实施,以及目前世界各国对保护海洋环境重要性的认识越来越高,对航海技术的发展提出了更高的要求。

我国作为世界海运大国之一,有责任为航海技术的发展作出贡献。本次航海技术交流会是在辽宁省航海学会领导的关怀下召开的,并得到了海军大连舰艇学院、大连海运学校、辽宁海事局以及本校航海技术研究所、信息工程学院、航海训练与研究中心各位专家、学者的大力支持,在此一并表示感谢。

海运业具有明显的国际性特点,这也要求从事航海技术研究的专家、学者应大力开展国内外学术上的交流与合作,不断地探索航海科技领域的前沿,加强航海科技和应用方面的学术交流,以促进航运事业的发展。

在即将跨入 21 世纪之际,愿我国的海运事业取得更大的发展。

关政军

2000 年 10 月 8 日

船舶操纵与避碰

1. 大型船舶的倒车停船性能 夏国忠(1)
2. 船舶操纵性指数 K 、 T 的统计分析 洪碧光, 于 洋(8)
3. 提高客滚船应急情况下安全性的几点意见 蔡 烽, 石爱国, 杨宝璋(13)
4. 海难事故与 SAR 活动 蔡东明, 周立佳(17)
5. 模糊决策方法确定最小安全会遇距离 毕修颖, 贾传茨(21)
6. 建立实船测试平台的必要性 戴 冉, 贾传茨(24)
7. 一种新型实船测试平台 戴 冉, 贾传茨, 陈 铎(27)
8. 船舶操纵模拟器通信网的研究 李志华, 刘秀文(31)
9. 船舶碰撞危险范围预测系统 孙文强, 孙立成, 夏国忠(35)
10. 岸壁效应对船舶靠离岸运动的影响 姜 华, 张秀凤, 贾传茨(38)
11. 神经网络运动控制在船舶靠泊中的应用 张秀凤, 姜 华, 贾传茨(41)
12. 浅析“半载”船搁浅 王建军(44)
13. 大型船舶操纵模拟器控制台接口电路的研制 李志华, 吴子春(47)
14. 通用船载自动识别系统(AIS)的基本原理与应用前景 孙文力(52)

船舶货运

1. 某客滚船倾覆事件中的稳性问题 杨宝璋, 石爱国, 周立鑫(60)
2. “减摇鳍”的抗风浪功能研究 曹瑞飞(69)
3. MHB 的安全积载 徐邦祯, 王建平(74)
4. 大风浪中船舶横摇预报与稳性分析 王桂军(79)
5. 船舶发生固定横倾角后的稳性问题的研究 王少青, 东 昉, 徐邦祯(84)
6. 船舶横倾时稳性的评判 杜嘉立, 鲍君忠, 李 伟(90)
7. 对 PURADL 港散装货短重的分析 田继书(93)
8. 重大件货装卸动态仿真系统中三维物体的碰撞检测与
阻挡 史国友, 贾传茨, 马加法(97)
9. 集装箱船的纵向强度校核 沈 华, 单浩明, 叶章云(100)
10. 论改版后的提单背面条款 姜朝妍, 沈 江(104)
11. 论海运单在我国的应用 沈 江, 赵海莲(107)
12. 船运原木的安全注意事项 田佰军, 赵庆涛, 宋立新(111)
13. 论船舶最大装载量的确定 鲍君忠, 沈 昉, 田佰军(114)
14. 利用装载临界点确定固体散货船的装舱顺序 田佰军, 赵庆涛(118)
15. 水尺检验误差的修正 鲍君忠, 汪秋良, 杜嘉立(123)
16. 某船翻沉事故的适航性分析 姜朝妍, 沈 江(129)
17. 装载重大件货物时船体局部强度的检验
方法 沈 华, 饶 南, 汪秋良, 孙海涛(133)
18. 提高滚装客船的残存能力和救生能力
——关于 SOLAS95 修正案 沈 华, 张 宁, 郑云峰(138)

19. “大舜”号翻沉事故的稳性分析 姜 华, 田佰军(143)

航行定位

1. 现代船舶定位方法的统计分析 丁 勇, 孙 广(148)
2. 师崎水道(日)航法及注意事项 张繁盛, 张 毅(151)
3. 多航向航迹计算法的适用性分析 张吉平, 刘德新(155)
4. 无冰区自航能力的船舶在冰区航行的探讨 张繁盛, 洪德本(158)
5. 航线设计评估方法探讨 陈世才, 东 昉, 孙 广, 王少青(161)
6. 浅谈岛礁区航线设计 刘德新, 张吉平, 东 昉(164)
7. 新加坡海峡航法与报告制度 王世林, 戴 冉(169)
8. 英版《航海图书总目录》的新变化 邢向辉, 东 昉(173)

航海仪器

1. 雷达使用性能和假回波的模拟 刘 彤, 金一丞, 尹 勇(179)
2. ARPA 中危险预测参数 CPA 与 TCPA 的计算与分析 洪德本, 张繁盛(184)
3. ES-11 陀螺罗经快速测试稳定性能方法的探讨 洪 钢, 但高勇(187)
4. 船用陀螺罗经传向系统的发展 陈 铎, 洪 钢(191)
5. 基于 INTERNET 下电子海图显示方法的研究 李广儒, 陈 铎, 赵德鹏(196)
6. 真实感雷达图像的生成算法研究 谭家万, 尹 勇, 金一丞(200)
7. 浅谈雷达应答器的重要性 郝庆一, 曹德信(204)

航海气象

1. 某客滚船海难事故的天气特征及预报分析 周立佳, 蔡东明(208)
2. 大连港区四季气候特点分析 陈家辉, 王 辉, 缪淑珍(211)
3. 气象原因引发的两起海难事故的思考 吴文凤, 殷秀良(214)
4. “大舜”号遇难时的锋面气旋大风分析 张永宁, 李 燕, 张崇耀(218)
5. 海洋船舶自行气象导航 李志华, 陈家辉, 王 辉(223)
6. 用ANFIS 模糊进行南极西风带操船环境危险度的安全
评价 邵哲平, 李连亭, 吴兆麟(226)
7. 船舶常用海雾预报方法的比较 张崇耀, 高 超(231)
8. 台风与风暴潮的增水值 高 超(234)
9. 渤海及渤海海峡灾害性天气及对策 朱福海, 曹瑞飞(238)

航运管理

1. 船舶交通管理系统的费用—效益分析及评估方法 方祥麟(242)
2. 船舶如何面对港口国监督 贾绪智, 李 伟, 杜嘉立(248)
3. 航运公司在建立及运行安全管理体系中存在的问题及
对策 周尊山, 杨 明(253)
4. 船舶设备管理信息系统 陈 铎, 王光顺(257)
5. 海上交通事故发生次数的分布与人体生理节律的比较 阎明宇, 张宏宇(263)

航海教育

1. 我国高等航海教育的改革和对策 关政军, 王 勤(273)
2. 航海教育如何面对海运发展 杨林家, 赵月林(277)

3. 从海船大风浪事故看驾驶人员海浪教育 孙成志,唐海川,张 磊(282)
4. 开展“航海气象”第二课堂教育 20 年回顾 陈家辉,李志华,高 超(285)
5. 海上实习问题的现状及应采取的措施 吴进潮(289)
6. “船舶原理”课适应航海类学生学习的几点建议 赵海莲,沈 江(292)
7. 全面推进素质教育 提高航海高等教育水平 李 伟,贾绪智,杨林家(295)
8. 对船艺实验教学的几点设想 金胜利,于 洋(298)
9. 利用潮汐差比数法求附港高(低)潮高的教学方法的探讨 赵庆涛,东 昉(301)
10. 对高校教务管理计算机网络化的几点思考 王 晔(304)
11. 船舶避碰题库管理系统的设计与实现 杨 梅,孙文强(307)
12. 论 GMDSS A 船站模拟器在船员培训中的作用 王景宇,王旭东,李胜祖(310)
13. 加强 GMDSS 模拟器在培训教学中的应用 张国强(314)
14. 高校运行质量管理体系对教学和教学管理工作的
规范作用 倪承世,鞠 岩,王 晔(317)
15. 航海雷达多媒体教学系统 董 华(320)
16. 航海类专业学生素质教育研究 毕革新,孙宏利(323)
17. 航海综合题库网络考试系统及应用 戚晓丽,杨洪芹(328)
18. 加强管理体制 改革 办好高等航海教育 李 涛(332)
19. 现代教育技术在实验教学中的应用 李 涛,谷春国(335)
20. 新形势下对双证教师的管理 李英男,范广明(338)
21. 良好的海员素质的培养模式 高平全(343)
22. 结合航海类专业人才特点浅谈提高大学生综合素质 鞠 岩,倪承世(346)
23. 浅谈高校素质教育工作 李永丰,樊铁成(350)

其他

1. 防止船舶压载水携入外来生物和病原体方法的研究 张硕慧,王 倩(352)
2. 船舶溢油波谱试验与特征分析 李栖筠,张永宁,段岩燕,阎殿武(357)
3. 论计算机的电磁兼容性 由大明,沈 昉(361)
4. 直升机安全飞行及救助条件 周立佳(366)
5. 船舶溢油事故与卫星影像的应用 黄凤荣,段岩燕,付玉慧,阎殿武,李栖筠(369)

大型船舶的倒车停船性能

夏国忠

(大连海事大学航海学院, 辽宁大连, 116026)

摘要:以大型船舶倒车停船性能的主要表征量及目前所能采用的操纵性标准以及影响倒车停船距离的各种影响因素。

关键词:大型船舶; 倒车停船性能; 倒车制动

在船舶操纵的实践活动中,对于大型船舶的港内系泊,能否依靠自身的制动力来解决,它远不比中小船,只要紧迫倒车,即能在较短的距离内将船拉停,操纵灵活主动且风险小,而大型船舶港内靠泊大都依靠港作拖船协助,这主要由于大型船舶的倒车停船距离大,偏航量也大,港内水域所限,操纵困难风险大。

分析大型船舶的倒车停船性能主要应讨论以下三个问题:

① 该船在紧迫倒车制动时相应其船长的最小停船距离(进距)或实际航距(曲线航进距离)。

② 相应其船宽的最小偏航量(横距)。

③ 相应其航向的最小偏航角。

在水深、航道宽度均不受限制的水域内航行,②③项要求并不显得非常必要与实用,主要是研究倒车停船距离。

1 倒车停船性能的标准

1.1 商船倒车时的运动轨迹

商船定速航进中倒车制动,船舶重心不是沿直线运动的,所得的冲程是船舶航线的距离,即船首偏右的一段曲线距离,它比沿原航向直进距离大,当船停住后船首继续右转成倒行运动。

$D_{倒}$ ——倒车直线距离。

$D_{曲}$ ——倒车曲线距离(一般称倒车冲程)

$D_{横}$ ——倒车最大横移距离(横距)。

1.2 船舶操纵性标准

(1) IMO1993 通过的《船舶操纵性临时标准》(Interim standards for ship manoeuvrability)规定了船舶几种操纵性能标准。该标准适用于1994年7月1日或之后建造的舵桨推进方式,长度 ≥ 100 m的船舶、化学品油船及液化气船不限长度。该标准规定的

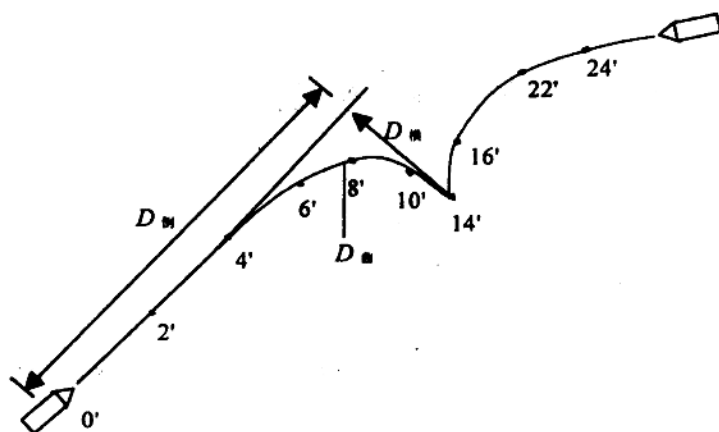


图 1

几种操纵性指标及容许界限值如表 1。

试验条件要求:平静深水中,满载平吃水,试验速度,稳定直航。

表 1 操纵性指标及容许界限值。

评价指标	容许界限范围
旋回性	进距 $\leq 4.5 L$ 旋回初径 $\leq 5 L$
初始旋回性	操左(右)舵 10° 时,当船首向改变 10° 时,船舶前进距离 $\leq 2.5 L$
偏转抑制性保向性	$10^\circ/10^\circ Z$ 形试验 第一惯性超越角 $\leq 10^\circ L/V < 10 s$ $\leq 20^\circ L/V \geq 30 s$ $\leq [5 + 1/2(L/V)] 10 s \leq L/V < 30 s$ 第二惯性越角 $\leq$ 第一惯性超越角 $+15^\circ$ $20^\circ/20^\circ Z$ 形试验 第一惯性超越角 $< 25^\circ$
停船性	倒车冲程 $\leq 15 L$ (大型船舶可修正)

该标准关于停船性能的要求是倒车冲程小于或等于 $15 L_{PP}$,而大型船舶的倒车停船距离 $D_{倒}$ 与船舶两柱间长 L_{PP} 之比与船舶净载重量的修正关系。

DWT	$< 10\ 000$	$10\ 000 \sim 50\ 000$	$50\ 000 \sim 150\ 000$	$150\ 000 \sim 200\ 000$	$> 200\ 000$
$D_{倒}/L_{PP}$	≤ 8	≤ 10	≤ 13	≤ 15	≤ 16

(2)我国海洋船舶操纵性标准,见表 2。

性能	直线稳定性		航向改变性		回转性	倒车制动性能
试验方法	回舵试验 15° 舵角		Z 形试验 $10^\circ/10^\circ$		回转试验 35° 舵角	倒转制动试验(初始航速 8 kn)
特征量 船型	V_0' 或 D_0'		Ta'	TL'	D'	R_H'
客船,客货船	0	∞	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 4.5	$\leq 0.7 \sqrt{L}$
货船 $C_b < 0.8$	≤ 0.10	> 20	≤ 2.3	≤ 2.2	≤ 4.0	$\leq 0.8 \sqrt{L}$
油船及货船 $C_b \geq 0.8$	≤ 0.20	> 10	≤ 2.5	≤ 4.0	≤ 3.5	$\leq 0.85 \sqrt{L}$

该标准规定倒车制动性能以特征量 R_H' (横移)作为参数,对于不同船型要求不同。

客船,客货船 $\leq 0.7 \sqrt{L}$

货船($C_b < 0.8$) $\leq 0.8 \sqrt{L}$

油船及货船($C_b \geq 0.8$) $\leq 0.85 \sqrt{L}$

(3)实际使用时应用公式及经验数据

倒车冲程——全速前进至全速倒车时停船距离与时间:

$$S_s = 0.0121 \frac{\Delta V_0^2}{R_0}$$

式中: S_s ——冲程(m)。

$$T_s = 0.00089 \frac{\Delta V_0}{R_0}$$

式中: T_s ——时间(min)

Δ ——排水量(t)

V_0 ——倒车前的速度(kn)

R_0 —— V_0 时的阻力(t)

经验数据:

一般货船 $6 \sim 8 L_{PP}$

5万t船 $8 \sim 10 L_{PP}$

10万t船 $10 \sim 13 L_{PP}$

15~20万t船 $13 \sim 16 L_{PP}$

实例:

某船排水量 13 500 t,主机前进三时的海上速度 $V_0 = 15.8$ kn,此时船舶所受的阻力为 41.5 t,试估算其倒车冲程和经历时间。

估算:倒车冲程为 982 m,所需时间 4.5 min。

2 二种船型的倒车停船距离的测试

测试条件:2000年4月22日,北风5级,东流1.5 kn,水深45~50 m,龙骨下水深25~35 m。

模拟试验分两组。

2.1 商城

船长140 m,船宽22.5 m,吃水8 m,排水量18 370 t,倒车停船距离试验如图2。

试验速度12 kn,倒车停船距离为1 085 m。

为1 085 m/140 m=7.75倍。

2.2 SANK O

船长318 m,船宽56 m,吃水20.58 m,排水量303 144 t,倒车停船距离试验如图3。

试验速度11 kn,倒车停船距离为1 017 m(纵距)。

为1 032 m/318 m=3.2倍,横距为93 m。

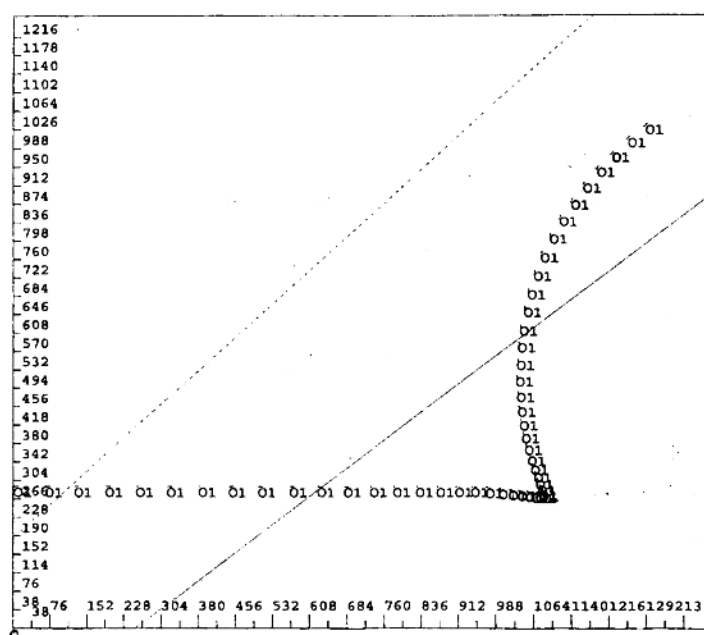


图 2

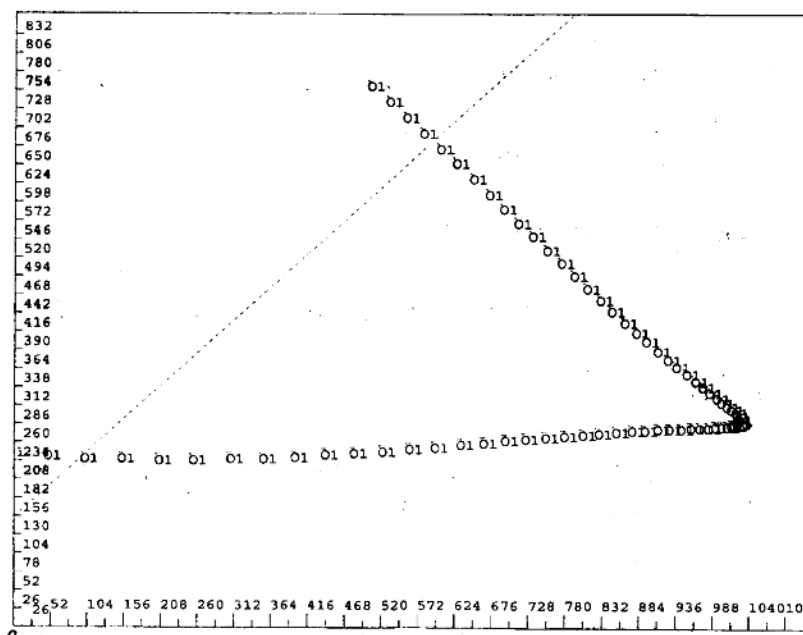


图 3

3 大型船舶影响倒车停船性能的因素

3.1 船舶大型化与倒车停止距离

根据 STCW 公约,海员大型船舶操纵特殊培训、发证办法的规定,DW8 万 t 或总长 250 m 及以上的船舶属于大型船舶的范围。

根据经验数据,超过 5 万 t 的船,其倒车停船距离为 $8 \sim 11 L_{PP}$,其中间有 $3 L_{PP}$ 的差异,主要取决于船型、螺旋桨、主机、转速等不同。因此,港内操船时,越是大型船倒车停船距离越长,受港内水域所限,大型船靠泊操纵很少用倒车制动,大都是借助拖船协助完成靠泊。

港内操船倒车为常用转速之 50% 时的停止距离。大型船约为中小型的 2 倍左右。

大型船的倒车停止时间

5~7 万 t 船 约需 5~10 min

7~12 万 t 船 约需 10~12 min

>12 万 t 船 约需 13~17 min

3.2 倒车发令时,前进速度与倒车

停止距离

倒车停止距离与机型无大差异,其停止距离减低,几乎成直线变化。越是太型船停止距离减低率越大,DW10 万 t 以上的船,前进速度自 12 kn 降至 8 kn,停止距离减少 $6.5 L_{PP}$,每节速度约减少 $1.6 L_{PP}$,但 DW4~4.5 万 t 船,前进速度 12 kn 减低至 8 kn,停止距离减少了 $4 L_{PP}$,每节速度约减少 $1.0 L_{PP}$ 。因此,大型船舶在进入锚地或港口水域,为了使用倒车制动,预先应该减少前进速度。

减少大型船舶的前进速度最有效的措施是满舵旋回。

根据船舶旋回运动中的减速,采用 Schoenheer 算式:

$$\frac{V_r}{V_s} = 1 - \frac{\delta}{K_s} \times \frac{A_d}{L_{PP} \cdot d}$$

式中: V_r ——是定常旋回时的速度(kn);

V_s ——旋回前的速度(kn);

A_d ——舵面积(m^2);

$L_{PP} \cdot d$ ——水线侧面积,两柱间长与平均吃水之积;

δ ——舵角($^\circ$);

K_s ——由 C_b/LB 或 $\Delta/L^2 \cdot d$ 为参数查表。

实船测定:

ULCC DW 16.3 万 t,直航中以 16 kn 速度满舵旋回时,当航向转过 270° 时,航速降为

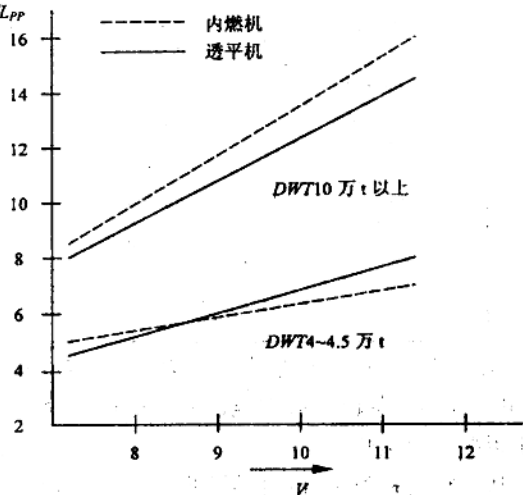


图 4

5.6 kn, 速度减少 65%。

3.3 主机功率、种类与倒车停止距离

主机最大输出功率 MCR , 其倒车时主机输出功率通常取其 50%~60%, 而大型船舶的净载重吨位又很大, 故 MCR/DWT 值的大小对倒车停止距离的影响很大。

大型船舶配备主机功率一般如表 3。

表 3 大型船舶配备主机功率比较

DWT	主机		MCR/DWT
	MCR(PS)	种类	
50 000	17 000	柴油机	0.34
100 000	23 000	柴油机	0.23
150 000	26 000	柴油机	0.17
200 000	30 000	汽轮机	0.15
250 000	36 000	汽轮机	0.144
350 000	40 000	汽轮机	0.114
450 000	42 000	汽轮机	0.094

从表中可知, 主机最大输出功率 MCR 与船舶净载重吨位 DWT 的关系为 $MCR \approx 67DWT$, 因此, 单位净载重吨位的主机输出功率, 随船舶的载重吨的提高而越来越低, 倒车停止距离反而越长。

从主机的种类来看, 内燃机的换车时间比汽轮机为短, 前者约需 90~120 s, 而汽轮机需 120~180 s, 而且从进车、停转、倒车的转换过程, 只能是渐增渐减的方式进行, 而且稳定下来也颇费时。另一方面内燃机的倒车功率与常用功率之比也较汽轮机为高, 因此其倒车停船距离较短。

3.4 方型系数 C_b

大型船舶大都是肥大型, 其 C_b 较高, 对倒车停船距离有较大的影响, 该系数越大的肥大型船舶倒车停船距离越长。

3.5 顺风、流

顺风、流使倒车停船距离的变化, 实测结果, 一艘 $DW10$ 万 t 油船顺风 4 级, 倒车停船距离将增加 7.5%, 6 级顺风将增加 10%, 8 级风将增加 15%, 10 级顺风将增加 30%。驾驶人员应充分根据外界风流条件来正确估算倒车停船距离。

3.6 浅水

船舶倒车停船距离略有减少, 根据 $DW20$ 万 t 油船的模型试验资料, 水深对倒车停船距离的影响。

水深/吃水	1.2	1.4	2.0	3.0
倒车停船距离(km)	4.5	4.8	5.0	5.4
降低率(%)	17%	11%	7%	0%

船体污底严重, 增加污底阻力, 则船舶倒车停船距离相应减少。

4 结束语

从船舶实际操纵的需要,为了确保大型船舶进入锚地,单点系泊浮筒或港池靠泊的安全,了解与掌握大型船舶的倒车停船性能是非常实用的。倒车停船性能标准是操纵性标准中的不可缺少的重要内容。

参 考 文 献

- [1] 古文贤. 船舶操纵. 大连:大连海运学院出版社,1993
- [2] 吴志远. 超大型船舶操纵须知. 航运贸易杂志社

船舶操纵性指数 K 、 T 的统计分析

洪碧光 于 洋

(大连海事大学航海学院, 辽宁大连, 116026)

摘要: 本文通过对 31 艘商船的 K 、 T 指数的实船试验结果进行了统计分析, 采用多元线性回归的方法, 找出各种船型因素的影响规律, 在此基础上, 给出了较实用的估算公式。

关键词: 船舶; 操纵性指数; 回归分析

一阶船舶操纵运动方程的指数 K 、 T 比较全面地描述了船舶的操纵性能。由于其值可以通过简单的实船 Z 形实验求得, 且指数的物理意义明确, 因此, 无论是在船舶设计阶段, 还是在船舶营运中, 在操纵性研究中一直得到广泛的应用, 也取得了很多研究成果。但是, 对操船者来说, 多数营运中的船舶还缺乏这些试验资料, 在实际应用中还不能充分了解船舶载况、船型参数、船舶大小等因素对 K 、 T 指数的影响。尽管野本谦作给出了根据船型参数的预报图谱^[1], 但其计算上不太直观, 也没有反映各参数的单独影响。本文根据收集的比较有代表性的 31 艘商船的实船试验资料^{[1][2]}, 利用多元线性回归的方法, 分析各船型参数对操纵性指数 K 、 T 的影响, 然后给出实用的估算公式。

1 统计方法及数学模型

本文采用线性多元线性回归的数学模型^[3]。设随机变量 y 及 m 个自变量 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 。

已知 n 组观测数据 $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}, y_i, (i = 1, 2, \dots, n)$, 用线性表达式:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m$$

对观测数据进行回归分析, 其中 $a_0, a_1, \dots, a_m$ 为回归系数。根据最小二乘原理, 为了使

$$Q = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + \dots + a_mx_{mi})]^2$$

达到最小, 回归系数 $a_0, a_1, \dots, a_m$ 应满足下列方程组:

$$(CC^T) \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

其中

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_{11} & x_{12} & x_{13} & \vdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \vdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

然后用 Cholesky 分解法解出回归系数。

2 试验样本和影响 K 、 T 指数的因素选择

2.1 试验样本的选择

由于具有 K 、 T 指数试验结果的船型数据都不是很全面的,在用 K 、 T 指数衡量操纵性时,一般取 $\delta/\psi = 10/10$ 的试验结果,因此,在选择样本时受到了一定的限制。收集的 31 艘船舶的资料基本满足这些要求(见表 1)。

表 1 试验样本及其船型参数

序号	船型	Δ	L_{PP}	B	d_m	Δd	V_0	L_{PP}/B	Ld/A_R	C_B	Fr	$\Delta d/d_m$	K'	T'
1	多用途	9 296	140	21.8	4.59	1.58	15.6	6.422	31.69	0.647	0.217	0.344	1.09	0.80
2	集装箱	20 380	189	28.4	5.75	2.50	19.0	6.655	32.30	0.644	0.227	0.435	1.16	1.34
3	集装箱	6 851	114	20.5	4.39	2.35	15.9	5.561	32.75	0.651	0.245	0.535	0.97	0.59
4	集装箱	15 700	158.2	28.4	5.64	1.82	18.5	5.570	32.89	0.605	0.242	0.323	2.50	2.73
5	滚装船	9 660	135	22.7	5.05	4.40	17.7	5.947	27.91	0.609	0.250	0.871	1.17	1.29
6	滚装船	8 255	130	22.6	4.74	1.29	19.6	5.752	43.70	0.578	0.282	0.272	1.51	1.88
7	滚装船	13 830	160	26.5	5.66	1.86	19.9	6.038	42.88	0.562	0.258	0.329	1.90	2.53
8	散货船	23 365	175	31.0	5.60	2.85	15.8	5.645	30.33	0.750	0.196	0.509	0.95	0.69
9	散货船	12 013	145	27.2	4.24	3.39	16.0	5.331	25.00	0.701	0.218	0.800	0.81	1.11
10	散货船	22 773	183	31.5	5.16	3.43	17.2	5.810	25.58	0.747	0.209	0.665	0.98	0.88
11	油 船	72 915	219	32.2	12.19	0.07	15.4	6.801	64.56	0.828	0.171	0.006	4.08	5.39
12	油 船	80 684	220	35.6	12.17	0.23	14.7	6.180	67.09	0.826	0.163	0.019	1.93	2.84
13	杂货船	5 400	120	17.6	3.96	3.40	18.0	6.818	32.77	0.630	0.270	0.859	0.96	0.76
14	杂货船	13 085	129.5	18.7	8.09	0.07	12.5	6.925	77.37	0.652	0.181	0.006	1.82	2.70
15	杂货船	11 800	148.5	22.9	5.24	2.12	16.3	6.485	31.63	0.646	0.220	0.405	1.211	1.09
16	杂货船	9 140	150	20.5	4.9	1.5	19.0	7.317	35.20	0.592	0.255	0.306	0.92	0.72
17	杂货船	13 840	150	20.5	7.0	0.5	18.5	7.317	46.80	0.627	0.248	0.071	1.00	1.22
18	杂货船	19 000	150	20.5	9.2	0.2	18.0	7.317	61.20	0.655	0.242	0.022	1.25	1.55
19	杂货船	15 160	133	18.6	8.1	0.8	14.5	7.150	65.40	0.738	0.207	0.099	1.59	2.77
20	杂货船	4 493	86	12.5	5.7	0.3	8.5	6.880	64.20	0.715	0.151	0.053	2.07	2.06
21	杂货船	320	22	5.8	3.2	0	5.8	3.793	25.60	0.765	0.203	0	1.25	1.21
22	油 船	13 000	192	26.8	4.1	2.4	16.0	7.164	29.60	0.601	0.190	0.585	0.87	0.42
23	油 船	241 000	326	49.8	17.6	0.1	16.0	6.546	63.40	0.823	0.146	0.006	2.00	4.20
24	油 船	222 000	290	48.2	18.5	0	15.5	6.017	71.70	0.838	0.150	0	2.80	5.30
25	油 船	162 000	276	43	16.5	0	16.5	6.419	67.60	0.807	0.163	0	3.20	6.20
26	油 船	89 760	245	32.9	13.3	0	17.8	7.447	72.50	0.817	0.187	0	1.70	3.50
27	油 船	67 200	220	31.1	11.6	0	16.5	7.074	77.00	0.826	0.183	0	4.50	1.30
28	油 船	4 115	79	13	5.3	0	12.5	6.077	57.10	0.738	0.231	0	1.40	2.80
29	集装箱	33 200	245	32.2	7.9	0.35	29.0	7.609	32.30	0.520	0.304	0.044	1.70	2.10
30	滚装船	6 050	127	23.4	4.5	1.00	22.0	5.427	38.80	0.441	0.321	0.222	1.00	1.00
31	高速船	534	51.5	7.7	2.7	0.60	13.0	6.688	40.00	0.487	0.298	0.222	1.70	1.60

注: Δ 为试验时的排水量; L_{PP} 为两柱间长; B 为船宽; d_m 为试验时的平均吃水; d 为试验时的吃水差; V_0 为试验时的初始船速。

2.2 影响 K 、 T 指数的因素选择

在进行统计分析中,自变量的选择相当重要。如果遗漏了重要的变量,回归的效果一定不会太理想;如果变量过多,将会把对 y 影响不显著的变量也选入回归方程,这样就影响了回归方程的稳定性,效果也不会太好。关于自变量的选择有前进法、后退法、最优子集法和逐步回归^[3]等方法,衡量回归效果的一个重要度量值是相关系数。

为了衡量回归分析效果和选择合适的自变量,需要对回归结果进行检验。本文对各种变量的偏相关系数 V_j 和复 R 相关系数进行了计算。复相关系数 R 按下列公式计算:

$$R = \sqrt{1 - Q/dy}$$

其中:

$$dy = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$$

偏相关系数 V_j 用下式计算:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^m a_k x_{ki})]^2$$

其中:当复相关系数和偏相关系数接近 1 时,说明相对误差 Q/dy 接近于 0,线性回归效果较好;当偏相关系数越大时,说明 x_j 对于 y 的作用显著,则该变量不能删除。

影响船舶操纵性指数 K 、 T 的因素包括船舶的船型尺度因素和外界因素。外界因素包括风、浪、浅水等,不同的外界条件,试验结果也不尽相同。操纵性试验一般应在无流的条件下进行,但实际情况一般很难达到预定的要求。本文采用的试验数据有一定的外界因素的影响,但由于对提供给船舶的试验数据的试验条件做出了严格的限制,因此,可以忽略外界因素的影响。为了便于估算,主要对船型参数、载态和船速几个因素进行了分析。

通过计算,我们选择了下列几个对 K 、 T 指数影响较显著的变量:

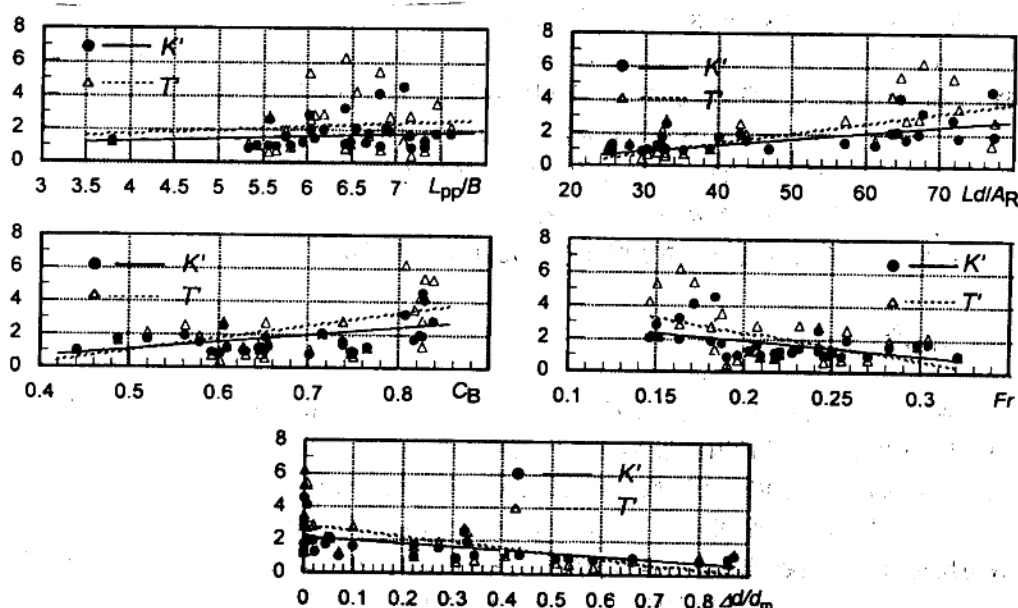
- (1) 船长船宽比 (L/B);
- (2) 船体水下侧面积与舵面积之比(用 L_d/A_R 表示);
- (3) 方形系数 (C_B),用试验时的排水量和 LBd 进行计算;
- (4) 试验时的初始船速(用傅汝德数 F_r 表示);
- (5) 吃水差与平均吃水之比 ($\Delta d/d_m$)。

3 船型参数对 K 、 T 指数的影响分析

为了考察上述 5 个船型变量参数对 K 、 T 指数的影响,需要进行一元线性分析。设多元线性回归方程中的 $m = 1$,即可得到一元线性回归方程。通过计算得一元线性回归的解析式如下:

$$\begin{aligned} K' &= 0.458 + 0.191 L/B & T' &= 0.756 + 0.208 L/B \\ K' &= 0.099 + 0.034 L_d/A_R & T' &= -0.612 + 0.058 L_d/A_R \\ K' &= -1.185 + 4.213 C_B & T' &= -3.066 + 7.579 C_B \\ K' &= 3.648 - 8.932 F_r & T' &= 5.736 - 16.554 F_r \\ K' &= 2.131 - 1.755 \Delta d/d_m & T' &= 2.900 - 3.154 \Delta d/d_m \end{aligned}$$

其回归结果和各量的坐标离散点见图 1 所示。

图1 各自变量对 K 、 T 指数的影响

由此可见, L/B 越大, K' 也越大, T' 也越大, 说明船舶旋回性好, 追随性差; Ld/A_R 越小 (舵面积占船体水下侧面积越大), K' 也越大, T' 也越大, 说明船舶旋回性好, 追随性差; C_B 越大, K' 也越大, T' 也越大, 说明船舶旋回性好, 追随性差; Fr 越大 (船速越大), K' 越小, T' 也越小, 说明船舶旋回性差, 追随性好; $\Delta d/d_m$ 越大, K' 越小, T' 也越小, 说明船舶旋回性差, 追随性好。

由于上述一元线性回归结果的相关系数较小, 它们仅仅粗略地描述了 K' 、 T' 随船型参数的变化趋势, 不能用于定量估计, 仅可用于定性分析。

4 K' 、 T' 的估算公式

回归分析的目的是给出近似的估算公式。首先, 我们对各自变量进行全部选定, 通过多元线性回归, 其结果如下:

$$K' = -0.735 - 0.071 L/B + 0.028 Ld/A_R + 1.924 C_B + 1.435 Fr - 0.236 \Delta d/d_m$$

$$T' = -0.637 - 0.247 L/B + 0.043 Ld/A_R + 2.246 C_B - 1.328 Fr - 0.831 \Delta d/d_m$$

其中 K' 和 T' 的回归复相关系数以及各自变量的偏相关系数见表 2。

表2 多元线性分析回归效果检验值

	5 Q	S	6 R	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
K'	13.18	0.652	0.686	0.967	0.976	0.924	0.381	0.135
T'	31.61	1.010	0.731	0.873	0.954	0.741	0.488	0.297

表中的 Q 、 S 分别表示“偏差平方和”和“平均标准差”。由表中的复相关系数可见, 线性

回归的效果并非特别好。由求得的偏相关系数可见, L/B 、 Ld/A_R 和 C_B 对 K' 、 T' 的作用均较明显, 不可删除, 而 F_r 和 $\Delta d/d_m$ 两个自变量对 K' 、 T' 的作用不太明显。为了简化估算公式, 将 F_r 和 $\Delta d/d_m$ 两量删除, 重新进行多元回归计算, 得到以下更简单的估算公式:

$$K' = -0.089 - 0.087 L/B + 0.031 Ld/A_R + 1.284 C_B$$

$$T' = 0.320 - 0.280 L/B + 0.055 Ld/A_R + 2.382 C_B$$

上式中: K' 、 T' 的复相关系数分别为 0.682 和 0.724。

可见, 与 5 个自变量全部考虑时相差无几, 但估算时要简单多了。

5 结论

通过以上分析可见, 单独自变量的对 K' 、 T' 的影响之结果与理论上的分析结果是一致的。但由于影响 K' 、 T' 的因素很多, K' 、 T' 的与这些变量之间的关系并非是线性的, 因此, 一元线性的回归结果不能作为近似公式使用。对于多元线性分析的结果, 存在两个问题: 一个问题是试验样本的不足, 可能还不能完全概括所有商船船型的范围; 另一个问题是 K' 、 T' 指数与所选取的船型数据之间并非都是线性关系。因此, 复相关系数不算太大。但本文的回归结果基本概括了一般商船船型的 K' 、 T' 指数值的范围, 对操船者在实践中的应用是有一定的指导意义的。

参 考 文 献

- [1] 野本谦作. 船舶操纵性和控制及其在船舶设计中的应用. 中国船舶科学研究中心, 哈尔滨, 1982. 3, P38
- [2] 吴文樾, 蒋维清. 海洋船舶实船操纵性试验要素汇编. 中国造船学会船舶力学学术委员会第五届船舶操纵性学术讨论会论文集, 武汉, 1989, 166~173
- [3] 方开泰 等编著. 实用回归分析. 北京: 科学出版社, 1988