

大连海事大学航海学院
辽宁航海学会 编

航海技术与航海教育 论文集

2006

大连海事大学出版社

航海技术与航海教育 论文集(2006)

大连海事大学航海学院 编
辽宁航海学会

大连海事大学出版社

© 大连海事大学航海学院, 辽宁航海学会 2006

图书在版编目(CIP)数据

航海技术与航海教育论文集(2006) / 大连海事大学航海学院, 辽宁航海学会编. —大连: 大连海事大学出版社, 2006.12

ISBN 7-5632-2034-8

I. 航… II. ①大… ②辽… III. ①航海学—文集 ②航海学—教育工作—文集 IV. U675-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162015 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连交通大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

幅面尺寸:185 mm×260 mm 字数:551 千 印张:22.5

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑:王 文 责任校对:云 洁

封面设计:王 艳

定价:50.00 元

《航海技术与航海教育论文集》编辑委员会

主任委员:李 钢

副主任委员:刘正江 王孝通 于晓利

委 员:林德庆 冉令海 王桂军 王 健

王 玉洋 郑家旭 周仇克

秘 书:朱金善

《航海技术与航海教育论文集》技术委员会

主任委员:刘正江

副主任委员:关政军 石爱国

委 员:金一丞 洪碧光 戴 冉 徐邦祯

张吉平 张显库 张英俊 杜嘉立

李 伟 王少青

秘 书:朱金善

序

我国改革开放 20 多年举世瞩目的成就一再证实了经济发展离不开科技进步、离不开人才培养教育,航运业的发展同样也说明了这一客观真理。统计数据表明,我国 2005 年经济发展对外贸的依赖度高达 60%,而 90% 以上的外贸运输量是由海运完成的。我国远洋船队已经发展成为世界第四大船队,船队普遍配备了高新技术仪器设备。这支船队由 6 万余名接受过航海教育的高级人才所驾驭。可以自豪地说,中国海运业的发展靠的是科技进步,靠的是航海教育培养的高质量的人才。

在过去的一年里,辽宁航海学会及各航海院校广大会员同样为航海教育和航海科技进步做出了贡献。仅 2006 年培养的各类航海人才就超过了 2000 人,如果考虑各类专业培训,参加教育和培训的人员则超过 5 000 人。辽宁航海学会的会员完成的促进航海科技进步的科研项目也得到了社会的认可,有数项获得辽宁省科技进步一、二等奖;他们撰写的科技和教育论文也得到了全国航海界的认可,一些论文还获得中国航海学会优秀论文奖。

本论文集出版的目的是为了记载辽宁航海学会及有关院校、企业航海科技人员在过去一年中的研究成果、教育心得,为今后进一步提高航海技术研究水平和教学质量提供参考。论文集分航海技术、航海教育和其他等三个部分。其中,航海技术部分主要包括船舶运动控制、航海模拟器的应用、船舶操纵与避碰、船舶导航设备新技术、船舶货运技术等方面的研究成果;航海教育部分介绍了新的教学手段和教学方法、航海类专业发展战略、航运人才培养模式及有关航海类学生综合素质培养等方面的专门论述。其他部分介绍了相关海运法规、海事领域中的人为因素、无线电通信、船舶安全等方面的内容。

值此论文集出版之际,我们谨代表辽宁航海学会和大连海事大学航海学院,向关心和支持该论文集出版的各兄弟单位及各界朋友,致以衷心的感谢和诚挚的祝福!

辽宁航海学会秘书长:李 钢

大连海事大学航海学院院长:刘正江

2006 年 12 月 16 日

目 录

航海技术

基于 VB 仿真的船舶转向鲁棒控制	袁恩铭 张显库(3)
一种新的实用的估算舰船阻力的方法——ALM 法	庄毅 杨波 代亮 余力 石爱国(8)
IACS UR S25 对散货船局部强度校核的影响	李荣辉 沈华 张先桥(13)
基于改进人工势场理论的自主导航船舶航线规划方法的研究	关巍 张忠杰 吴训坤(17)
吊装卸重大件货时船舶横倾和稳性的控制	孔祥生 叶正兵 沈华(22)
船舶领域模型的研究与发展	刘绍满 姜阳(26)
船用陀螺罗经的快速稳定	陈铎 成川 洪钢(31)
基于自适应神经模糊系统的船舶航向控制	秦永祥 洪碧光(35)
船舶搁浅事故的风险评估	杨波 庄毅 代亮 石爱国 杨宝璋(40)
基于三角剖分法的三维地形的模拟	李冰 张闯 刘彤(45)
船舶大风浪中掉头研究	肖仲明 徐建红(50)
21 世纪新船型技术	肖冰 余力 庄毅 杨波 代亮(56)
PID 控制的变结构特性及迭代滑模增量反馈控制	卜仁祥 刘正江 李铁山(62)
长江电子航道图数据保护的研究	王斌 李超(70)
船舶防火控制图的识读与使用	杜林海 单浩明(74)
船舶横倾角的调整	姜华 徐邦祯(81)
地效翼艇的发展现状及军事应用前景研究	余力 肖冰 庄毅 代亮 杨波(85)
非标准货物系固方案核算方法的研究	田佰军 徐邦祯(92)
具有设定航向平滑的非线性鲁棒船舶自动舵算法	姜日凡 张显应(96)
国内外侧推器操纵性研究综述	孔定新 刘春生 肖仲明 张润涛(102)
海上直升机起降仿真设计	余力 肖冰 代亮 杨波 庄毅(108)
基于 MAS 的船舶运动仿真研究与构建	叶铂 祝贵兵 陈铎(115)
基于模糊模式识别的配载方案评价	韩永波 陈新毅 徐建红(121)
舰船碰撞事故发生后采取措施的几点建议	肖冰 余力 代亮 杨波 庄毅(126)
浅析简易实船仪表模拟器的研究与开发	代亮 庄毅 杨波 石爱国 杨宝璋(131)
三乌港船靠船驳载	王建军 陈新毅 章文俊(139)
商船与从事捕鱼船舶的避碰问题	方诚(143)
设置纵向隔壁后谷物倾侧体积矩的计算	张先桥 徐邦祯(151)
液化气运输安全及应急措施	单浩明(154)

- 一起船舶碰撞事故的操船与处置····· 张强 成川(158)
 中小型舰船自力靠码头仿真研究····· 侯建军 许北平(163)

航海教育

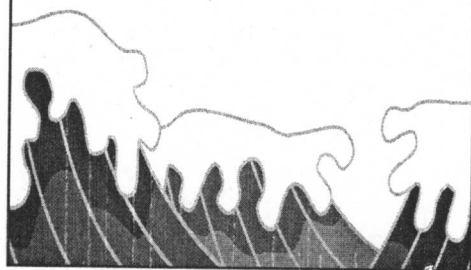
- 3DSMAX 在航海教学中的应用····· 陆栋 卓永强(171)
 大学生诚信问题调查研究报告····· 李英男 胥佳明 李国帅 周强锋 于仁海(177)
 浅谈大学生思想教育····· 鞠岩(185)
 对于高等院校航海类专业海上实习的几点认识····· 刘强 王凤武(191)
 赴美实习船考察报告····· 大连海事大学赴美考察团(196)
 浅谈高校教务管理人员素质····· 王晔(204)
 关于中职学校在新形势下开拓船员教育培训市场的探讨····· 陈新毅(209)
 论航海类专业学生情商的教育与开发····· 侯登凯 吕红光 彭放(213)
 航海学的内容体系和教学方式研究····· 芮震峰 石爱国(219)
 基于 INTERNET 的航路资料辅助教学在线系统····· 周菲 姜秋兰 刘德新(225)
 船舶通信双语教学的探索和实践····· 卓永强 任玉清 王庸凯(229)
 浅析如何提高我校教育教学质量····· 鞠岩(233)

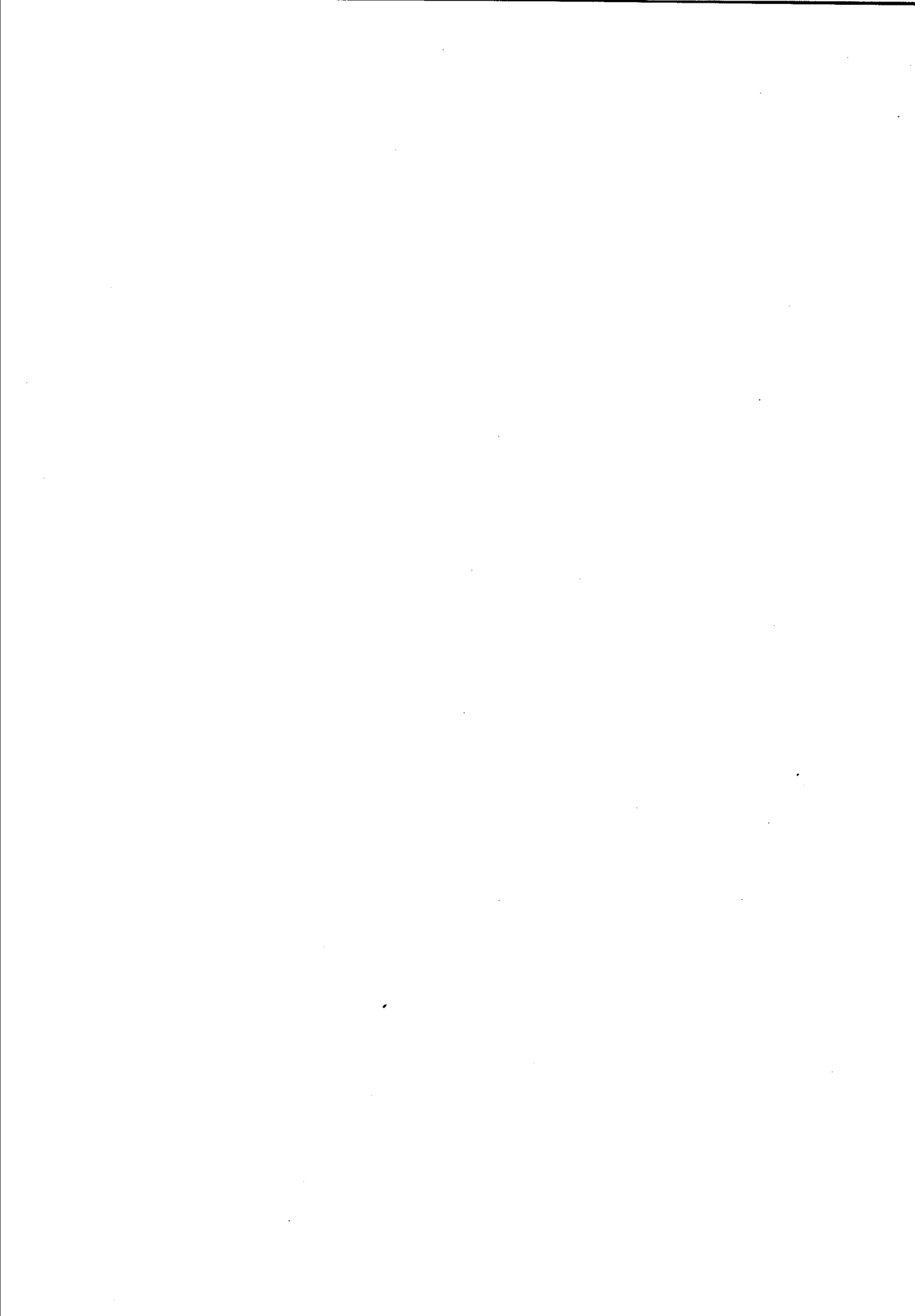
其他

- 基于 REASON-SHEL 模型对海事事故人为因素的分析····· 谢放 刘正江(241)
 基于 MapX 的地理信息系统在港口管理中的应用····· 杨玉满 刘辉 于军民(246)
 基于模糊 AHP 综合评价方法对航运公司综合实力评价····· 张俊峰 肖英杰(252)
 国外发达国家海上搜救系统与我国海上搜救系统的比较研究·····
 ······ 朱玉柱 许志远 杨仲林(257)
 对船舶消防能力进行定量评判的探讨····· 杜林海 李林 滕玉才(262)
 多智能体系统(MAS)在 MITS 中的应用····· 陈莹 李邵喜 刘兵(267)
 国内外海上救助分级体系简述及比较研究····· 朱玉柱 杨仲林 许志远(272)
 海域面积测算的几种方法····· 冯纪军 戴冉 朱金善(277)
 基于 SOA 的 WebGIS 船舶动态监控系统····· 李永攀 李邵喜 张安超 胡波(284)
 基于三维虚拟现实技术的船舶动态监控系统····· 胡波 李邵喜(289)
 基于卫星的海上 Internet 信息系统展望····· 单浩明 戚发勇(294)
 内河船闸调度研究现状····· 丰金星 李伟(297)
 浅谈综合安全评估(FSA)中的费用与效益问题····· 孔定新(302)
 基于虚拟现实技术的航标三维遥测遥控系统研究····· 刘兵 李邵喜 陈莹(309)
 世界 LNG 船舶安全领域的研究····· 于军民 刘辉 杨玉满(313)
 我国海上专业搜救现状及建议····· 陈明东 陈新毅(318)
 水上交通安全宏观分析····· 陈雷 曹亮(322)

信息技术与船舶自动化的发展·····	徐建红	韩永波(327)	
液化天然气码头安全因素的评判方法研究·····	梁川	王斌(331)	
一起船舶碰撞事故之探讨·····	沈江	姜朝研(336)	
油船火灾原因及其应对措施研究·····	张安超	李永攀(339)	
自动识别与智能海洋·····	赵学俊	赵丽宁	李邵喜(344)
对编制客船应变部署卡的建议·····	杜林海	李同钦(348)	

航海技术





基于 VB 仿真的船舶转向鲁棒控制

袁恩铭 张显库

(大连海事大学航海动态仿真与控制实验室)

摘要: 针对已有的船舶航迹保持控制中转向控制器进行了改进。选择整体型的 Norrbín 船舶数学模型,重新设计了控制器,运用闭环增益成形算法设计的控制器使船舶运动控制具有鲁棒性,并增加了风浪预补。用 VB 进行了模拟仿真,结果表明,新的转向控制器在控制精度和鲁棒性方面均有所改善,在大风浪的海况下也能得到较好的控制效果。

关键词: 船舶转向; 闭环增益成形; 风浪预补

0 引言

船舶运动控制一直是船舶自动化中的热点研究领域,文献[1]、文献[2]设计出了一种基于 C 和 VB 仿真应用于船舶航迹保持控制的自动舵,总体控制效果良好,但在船舶转向处的控制效果不理想,本文在此基础上对影响其效果的因素进行了研究分析,并作了一定的改进和完善。

船舶转向实际上涉及两类问题:其一,船舶自身运动特性和控制算法;其二,船舶在转向点所处的环境,其主要指海况即风浪流情况和转向点处的航线夹角大小。对于第一类问题,文献[3]作了充分研究,本文将其算法运用于 VB 仿真。传统的处理方法对第二类问题研究较少,往往把海况作为船舶模型的一部分来研究,本文把这一问题拿出来做了单独的讨论和研究。

1 船舶数学模型

本文采用 Norrbín 船舶数学模型^[4],加上风浪及非线性流体动力干扰部分的状态空间方程为:

$$\begin{aligned}\dot{x}(0) &= a_{11}x(0) + a_{12}x(1) + b_1\delta + Y_{\text{wind}} + Y_{\text{wave}} + Y_{\text{non}} \\ \dot{x}(1) &= a_{21}x(0) + a_{22}x(1) + b_2\delta + N_{\text{wind}} + N_{\text{wave}} + N_{\text{non}} \\ \dot{x}(2) &= x(2)\end{aligned}\quad (1)$$

其中 $x(2)$ 为船舶航向, $x(0)$ 为横漂速度, $x(1)$ 为转船角速度。实验所用模型数据为

Hual Trooper 的实船数据, 船长 190 m、船宽 32.26 m、吃水 6.9 m、船速 13.5 kn、排水量 22 624 m³、方形系数 0.535、重心距中心距离 2.5 m、舵叶面积 34.1 m²。

2 控制算法

船舶运动控制算法很多, 以经典的 PID 算法为例, 算法简单实用, 但基本上是试凑的办法, 文献[5]采用闭环增益成形算法, 运用 Matlab 仿真实验取得了良好的效果。闭环增益成形算法的核心是直接构造的系统闭环传递函数矩阵的表示式设计控制器, 其特点是立论的物理概念清晰, 求解过程异常简单。本文同样采用此算法, 利用 VB 仿真实验得到了很好的结果, 使得此算法能够方便地应用于船舶运动控制工程实践中。

由闭环增益成形算法, 如果二阶严格真对象 $G = \frac{b_1s + b_0}{a_2s^2 + a_1s + a_0}$ 的系数 $b_1 = 0$, 则称 G

为二阶深严格真对象。一个实际的工程对象可以通过模型降阶或 Bode 图近似等方法化成二阶深严格真对象。

根据一阶闭环增益成形算法, 有

$$K = \frac{a_2s^2 + a_1s + a_0}{b_0T_1s} = \frac{a_1}{b_0T_1} + \frac{a_0}{b_0T_1s} + \frac{a_2s}{b_0T_1} \quad (2)$$

可以看出式 (2) 是一个标准的 PID 控制器^[6], 其参数为

$$k_p = \frac{a_1}{b_0T_1}, \quad k_i = \frac{a_0}{b_0T_1}, \quad k_d = \frac{a_2}{b_0T_1} \quad (3)$$

这样 PID 参数即可通过式 (3) 从理论推导得出。因此已知船舶 K 、 T 指数就可设计出具有鲁棒性的控制器, 其中 $k_p = \frac{1}{T_1K}$ 、 $k_d = \frac{T}{T_1K}$ 、 $k_i = 0$ 。在设计控制器时, 离散算法采用

差分反演法, 在 VB 仿真中, 将 PID 参数代入控制器表达式中可得

$$\delta = (T/h + 1)/(T_1K) \cdot d\psi - (T/h)/(T_1K) \cdot d\psi_1 \quad (4)$$

$$d\psi = \psi_{\text{set}} - \psi \quad (5)$$

其中 h 为采样时间, δ 为控制舵角, ψ_{set} 为控制器的设定航向, ψ 为当前的船舶运动航向, $d\psi$ 为设定航向与当前航向之差, $d\psi_1$ 为 $d\psi$ 的前一采样时刻值。

通过计算, 船舶 Hual Trooper 的 K 、 T 指数分别为 51.73 和 0.0549。在船舶转向 20° 时

仿真曲线由图 1、图 2 所示，其中 T_1 取 100， h 取 1。

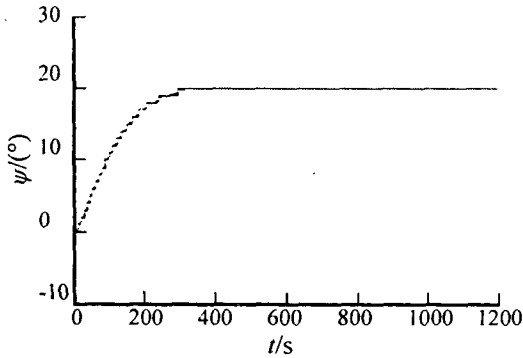


图 1 航向保持控制的航向曲线(5 级风)

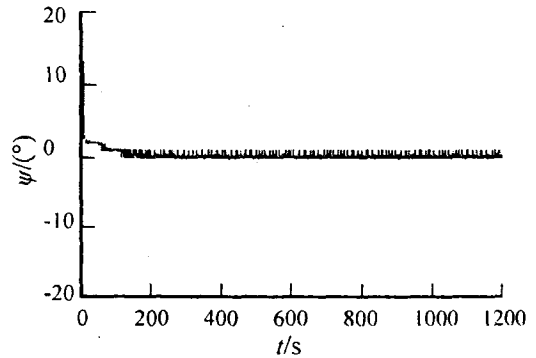


图 2 航向保持控制的舵角曲线(5 级风)

当船舶进行大角度转向时，特别在船舶航向与风浪呈 $90^\circ \sim 130^\circ$ 夹角(其角度大小与风级有关)时，航向保持呈现较大静差(风级越大，静差越大)。其解决方法有多种，可以增大 $T_1 K$ 值来减小静差，但其代价是加大控制舵角幅度，往往得不偿失，也可以通过增加一积分控制器来解决，但增加积分控制器会加大参数设值的难度，同时也可能造成控制舵角的增加和保持航向的波动。本文通过研究船舶在风浪中的保向舵角，采用控制器设值航向补偿的方式消除船舶航向保持控制中的静差。

由式(4)可知，当船舶稳定地保持在某一航向航行时，控制器中 $d\psi$ 和 $d\psi_1$ 是相等的，无风浪时 $d\psi$ 应为零。在风浪作用下，应打一保向舵角使船舶稳定在某一航向上，从而控制器中的 $d\psi$ 和 δ 都不为零，由式(5)看出，可以通过调整设定航向值来消除静差。调整后的设定航向为：

$$\psi_{\text{set}} = \psi_h + T_1 K \delta_h \quad (6)$$

其中 ψ_h 为期望的保持航向， δ_h 为期望保持航向的保向舵角。由式(6)可得已知船舶的期望保持航向和其保向舵角就可得到控制器中的设置航向值，从而使船舶保持在期望的航向上。

3 船舶运动保向舵角

首先考虑在风力和非线性流体动力作用下的情况，在理想的保向情况下，船舶的转船角速度 $x(1)$ 为零，船舶航向 $x(2)$ 为定值。由于风力的作用，船舶需要打一舵角 δ 与之保持平衡，并伴随较小的横漂速度 $x(0)$ ，且 $x(0)$ 和 δ 有着紧密的联系(风级越大影响越明显)，因

此 $x(0)$ 值虽小但不可忽略，于是可以得到简化方程：

$$a_{11}x(0) + b_1\delta = F[x(0)] \quad (7)$$

$$a_{21}x(0) + b_2\delta = G[x(0)] \quad (8)$$

其中 $F[x(0)] = -(Y_{wind} + Y_{non})$ 、 $G[x(0)] = -(N_{wind} + N_{non})$

联合式(7)、(8)可得 $\frac{b_2F[x(0)] - b_1G[x(0)]}{b_2a_{11} - b_1a_{21}} - x(0) = 0$ ，在编程中可采用逼近的方法，

令 $x(0)$ 在区间 $[1, -1]$ 之间以步长 0.01 搜索找到满足等式的 $x(0)$ ，也就可以求出需要的保向舵角 δ_h 。

由于产生的数据太多，在实际编程中采用自动生成数据技术将数据存储到 Excel 中，再使用拟合软件 TableCurve 将数据进行曲线拟合得到不同风速、不同风向的保向舵角，如图 3 所示。

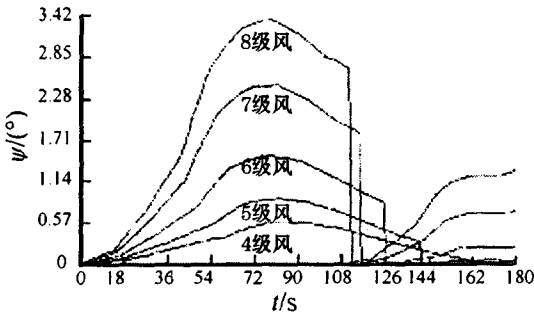


图3 船舶的保向舵角曲线(不含浪力)

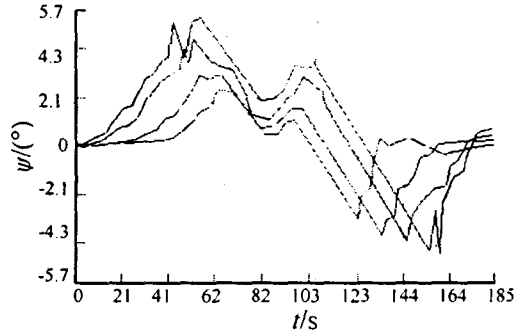


图4 船舶的保向舵角曲线(包含浪力)

通过拟合软件可给出保向舵角曲线对应的拟合函数，例如在 7 级风下不含浪力的拟合公式为：

$$\delta = \frac{a + c\psi + e\psi^2 + g\psi^3 + i\psi^4}{1 + b\psi + d\psi^2 + f\psi^3 + h\psi^4} \quad (9)$$

其中 a 为 $7.14E-5$ 、 c 为 $1.5187E-4$ 、 e 为 $-1.4104E-6$ 、 g 为 $-7.249E-9$ 、 i 为 $7.00888E-11$ 、 b 为 $-3.955593E-2$ 、 d 为 $6.50845E-4$ 、 f 为 $-4.938E-4$ 、 h 为 $1.406E-8$ 。

由于加上浪以后的情况较为复杂，目前尚没有较好的计算方法。本文采用模拟实验方法给出了 Hual Trooper 的保向舵角图谱，如图 4 所示。

在建立数据库后，就可根据风向角找到对应的风浪及非线性流体动力干扰下的保向舵角

(数据库中没有的也可通过内插法求出), 从而得到控制器的设置航向。

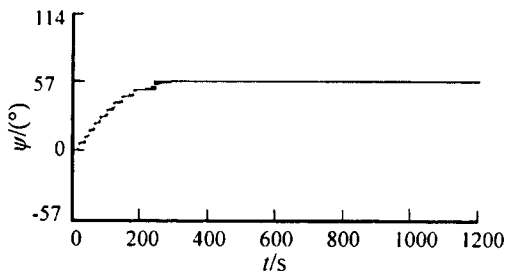


图5 船舶转向74°的保向曲线(没加预补控制)

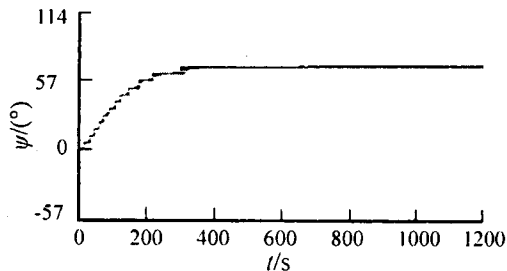


图6 船舶转向74°的保向曲线(加预补控制)

实验中, 在风级为7级、风向为0°, 船舶首向为0°, 希望船舶转向74°, 并保持在74°上。如不进行预补控制, 船舶最终将保持在57°航向上, 如图5所示。加上预补控制后, 船舶最终保持在77°航向上, 静差仅为3°, 如图6所示。

4 结 论

仿真结果表明, 在较恶劣的海况下也能得到较好的控制效果, 控制器的鲁棒性能良好。

本文采用闭环增益成形算法, 简单容易地设计出具有鲁棒性能的控制器的。并运用风浪预补的方法解决了船舶在大风浪转向航行中静差较大的问题。

参考文献

- [1] 张显库, 将丹东, 贾欣乐. 船舶自动舵的研究[J]. 大连海事大学学报, 1997, 23(1)7~11
- [2] 张显库, 陈伟. 用VB实现船舶运动航迹控制轨迹[J]. 中国航海, 2002, 50(1)16~21
- [3] 贾欣乐, 张显库. H_{∞} 控制器应用于船舶自动舵[J]. 控制与决策, 1995, 10(3)253~254
- [4] 张显库, 金一丞. 控制系统建模与数字仿真[M]. 大连:大连海事大学出版社, 2004
- [5] 张显库, 贾欣乐. 闭环增益成形算法在船舶自动舵中的应用[J]. 中国航海, 1999(2)89~93
- [6] 张显库, 贾欣乐. 求PID参数新方法[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(8)4~5

一种新的实用的估算舰船阻力的方法——ALM 法

庄毅 杨波 代亮 余力 石爱国

(海军大连舰艇学院)

摘要: 舰船速度-阻力函数对舰船使用部门有相当的重要性。然而, 现在提出的一些获得舰船速度-阻力函数的方法, 或者计算精度不能达到使用要求, 或者计算过于复杂, 致使其在舰船上的实用性受到制约。本文针对这个问题提出了一种新的简便实用而又有一定精度的计算瘦型舰船阻力的方法——ALM 法。

关键词: 舰船; 船舶阻力; 阻力计算

1 问题的提出

在舰船初步设计中, 需要估算舰船的速度阻力关系。在舰艇执行各种勤务和船舶营运中, 尤其是在复杂条件下航行时, 需要知道舰船静水的速度阻力关系, 以便估计达到预期目标的可能性, 诸如:

- (1) 拖带时最大允许航速的估算;
- (2) 浅水和狭水道航行时最大允许航速和浮态变化的估算;
- (3) 风中、流中失速的估算;
- (4) 大风浪中航向、航速的优选;
- (5) 双车舰船一车锁轴、拖轴、脱轴最大允许航速的估算, 等等。

但是, 现有的一些速度阻力计算方法, 或者过于复杂, 或要求已知数据过多, 或精度偏低, 难以满足舰船实际工作的需求。为此, 本文提出了一种适用于瘦型舰船的简明、实用而又有一定精度的舰船阻力估算方法, 即 ALM 法, 以求部分解决上述矛盾。

2 关于阻力近似估算方法

阻力近似估算方法, 可分为船模系列资料估算法、母型船数据估算法和归纳试验资料分析法。船模系列资料估算法, 如泰勒 (Taylor) 法、陶德 (Todd) 法等。归纳试验资料分析法, 如艾亚 (Ayre) 法、兰泼-凯勒 (Lap-Keller) 法等。母型船数据估算法, 如海军系数法等。这些近似估算方法行之有效, 得到了广泛使用, 但从航海实践的角度着眼, 或过于复杂, 或要求已知数据多, 且有的数据难以从舰载资料中获取, 或使用范围、条件有严格限制, 难

以满足海上实践的需求。

为此,航海界还提出了一些便捷的经验公式,如 Posdunine 公式、H.A.库巴切夫推荐的公式等,但这类公式的精度较低、局限性大。

3 ALM 法——阿法纳西耶夫公式、拉普公式、中间值公式

所谓 ALM 法,是指阿法纳西耶夫 (В.И.Афанасьев) 公式 (简称阿氏公式)、拉普 (Л а п п) 公式和本文提出的中间值公式相结合的一种阻力估算方法。

3.1 基本思路

提出这种组合算法的思路是这样的:

舰船的速度—阻力曲线,在低速段主要是摩擦阻力和粘压阻力,所以曲率小,在中高速段主要是兴波阻力,曲率陡升。根据这个特点,可以将阻力估算分段处理,以求得到较高的计算精度。在低速段,用经长期实践证明对瘦长型舰船低速阻力估算精度高的阿氏公式估算,并得到估算中、高速段速度阻力关系的初值 V_0 , R_0 。为便于处理, V_0 可取为额定航速 V_{\max} 的 1/2。

取舰船必备的数据——额定航速 V_{\max} 和主机额定功率 P_s ,经拉普公式,可得相应的阻力 R_{\max} 。取 V_{\max} 、 R_{\max} 作为中、高速段阻力曲线的终值。

已知 V_0 、 R_0 、 V_{\max} 、 R_{\max} ,可以藉助中间值公式估算出该舰速度—阻力曲线中、高速段的曲率,进而得到该段的各速度时的阻力值,通过拟合,就可以得到舰船的速度—阻力曲线。

3.1.1 阿法纳西耶夫公式

俄国人阿法纳西耶夫根据多年舰船模型阻力实验,提出了阿氏公式,该公式对于瘦型船的中低速阻力计算有较高的精度,且所需参数少,表述简明:

$$R = 1.1643 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{D}{L}\right)^2 \cdot B \cdot V^7 \cdot K} \quad (1)$$

式中: D ——排水量 (t);

L ——船长 (m);

B ——船宽 (m);

V ——航速 (kn);

K ——附加阻力系数。

当航速较高时,阿氏公式的计算精度下降。

3.1.2 拉普公式

俄国人拉普通过对试验的总结提出了拉普经验公式。该公式可在未知螺旋桨水动力系数