

(Ⅱ)

第三届船舶力学学术委员会
船舶力学进展专辑

(1993)

前 言

中国造船工程学会船舶力学学术委员会成立于1980年。每4年为一届，现在是第四

3. 委员会发展至今已有12个专业学组，它们是：

船舶阻力专业学组

船舶性能专业学组

船舶推进器与空泡专业学组

船舶耐波性专业学组

船舶水下噪声专业学组

船舶操纵性专业学组

船舶结构应力专业学组

船舶结构波浪外载荷与结构动力响应专业学组

船舶结构振动与噪声专业学组

船舶结构疲劳与断裂专业学组

海洋工程专业学组

船舶测试技术与分析专业学组

委员会和专业学组的主要任务是为发展船舶及海洋工程流体力学(含水下噪声)和结构力学(含结构噪声)，组织各专业范围内的学术交流，促进科研成果的推广应用。自本委员会成立以来，学术交流一直比较活跃，平均每年有3~4次全国性的专业学术交流会或专题研讨会，且组织了4次国际性的学术讨论会，即1986年的第一次推进器与空泡国际学术讨论会(在无锡市举行)、1989年的船舶阻力和性能国际学术讨论会(在上海市)、1991年的船舶与海洋工程结构国际学术讨论会(在上海市举行)以及1992年的第二次推进器与空泡国际学术讨论会(在杭州举行)。我国的船舶力学界积极参与国内、国际间学术活动十分活跃，与国际上的学者们进行学术和友好交往也相当频繁。

我国船舶力学界积极参加国际学术组织——国际船模试验池会议(ITTC)和国际船舶海洋工程结构会议(SC)的活动和工作并为此作出贡献。参加ITTC的成员单位有：

中国船舶科学研究中心

中国船舶及海洋工程设计研究院

上海船舶运输科学研究所

上海交通大学

华中理工大学

武汉水运工程学院

大连理工大学

哈尔滨船舶工程学院

其中中国船舶科学研究中心自1978年开始，上海交通大学自1987年开始成为ITTC顾问委员会的成员。

我国船舶流体力学的学者曾任和现任ITTC技术委员会委员的有：

顾懋祥教授1978年至1981年任第16届ITTC耐波性技术委员会委员，1981年至1984年任第17届ITTC海洋工程技术委员会委员。

盛子寅博士 1981 年至 1990 年任第 17、18、19 届 ITTC 操纵性技术委员会委员。

董世汤教授 1984 年至今任第 18、19、20 届 ITTC 推进器技术委员会委员。

沈奇心研究员现任第 20 届 ITTC 性能技术委员会委员。

郭永崧研究员 1987 年至 1990 年任第 19 届 ITTC 性能技术委员会委员。

刘应中教授 1987 年至今任第 19、20 届 ITTC 阻力及流动技术委员会委员。

吴秀恒教授 1990 年起任第 20 届 ITTC 操纵性技术委员会委员。

我国船舶结构力学的学者曾任和现任 ISSC 执委会和技术委员会委员的有：

徐秉汉教授自 1980 年至 1982 年任第 8 届、第 9 届 ISSC II₁ 弹性响应技术委员，1986 年至今先后任第 10 届 ISSC 执委会委员、第 11 届执委会主席、第 12 届执委会委员。

吴有生博士 1989~1991 年任第 11 届 ISSC 执委会秘书长，1992 年始任 ISSC II₁ 荷载技术委员会委员。

李维扬教授 1980 年至 1985 年任第 8、9 届 ISSC II₁ 动载荷与响应技术委员会委员

戴仰山教授 1986 年至 1991 年任第 10 届 ISSC 准静载荷效应技术委员会委员、第 11 届荷载技术委员会委员。

陈铁云教授 1986 年至今先后任第 10、11、12 届 V.1.应用设计、III₁ 延性破坏技术委员会委员。

陆鑫森教授 1989 年至今任第 11、12 届 II₂ 动载荷效应、V.8 限重结构(Weight Critical Structures)技术委员会委员。

张孝镛研究员 1986 年至 1988 年任第 10 届 ISSC 水泥海洋构件技术委员会委员。

邵文蛟研究员 1992 年任第 12 届 ISSC 设计原理技术委员会委员。

裘晓新研究员 1992 年任第 12 届 ISSC 结构防水、防爆设计技术委员会委员。

张大镛教授 1992 年任第 12 届环境条件技术委员会委员。

我国已经有一支高水平的船舶力学研究队伍，他们在国家的重点科学研究所和有关大学中进行着船舶及海洋工程领域中范围广泛的研究工作，近十年来取得很大的进展，发表了大量学术论文和科研成果，其中不少达到了国际上同类的先进水平。本文就近十年船舶及海洋工程力学的若干主要专业方面的发展作一回顾。全文分两大部分，第一部船舶及海洋工程流体力学，仅归纳了有关船舶阻力、推进器、空泡、耐波性、水下噪声海洋工程方面的主要研究进展。第二部分是结构力学，归纳了结构的应力、外载荷、疲劳分析、疲劳断裂与结构噪声等方面的研究进展。

目 录

第一部分：船舶及海洋工程流体力学

船舶阻力研究进展	(1)
----------	-------

推进器水动力学研究进展	(4)
-------------	-------

船舶耐波性研究进展	(10)
-----------	--------

水下噪声研究进展	(14)
----------	--------

海洋工程中水动力学的研究进展	(20)
----------------	--------

第二部分：船舶及海洋工程结构力学	(24)
------------------	--------

CONTENTS

PART I	
SHIP RESISTANCE STUDIES	(33)

PROGRESS OF PROPULSOR RESEARCH	(37)
--------------------------------	--------

ADVANCES IN CAVITATION RESEARCH	(43)
---------------------------------	--------

SEAKEEPING PROGRESS	(47)
---------------------	--------

OCEAN ENGINEERING PROGRESS IN HYDRODYNAMICS	(54)
---	--------

PART II	
PROGRESS OF SHIP AND OCEAN ENGINEERING STRUCTURE RESEARCH	(59)

第一部分

船舶及海洋工程流体力学

船舶阻力研究进展

近年来我国船舶流体力学工作者在船舶阻力的研究中取得了一系列进展。在某些方面,已经在形成比较完整的体系和独自的特色。

一、兴波阻力的研究

应用线性理论改进船型在我国已相当普及,黄德波等采用蓬帐函数描述船型,结合抑制畸变的各种惩罚函数,解决了高速方尾船的船型优化[1]问题,并推广用于 SWATH 的情形[2]。都绍裘等改用基样条表达船型,对民用船型的改型也颇具特色[3]。华中理工大学在程天柱教授领导下,在线性理论的框架内进行了多年不懈的努力,取得了可喜成果[4],并应用于新船型开发[5]。

以上的工作表明,用线性理论优化船型在我国已有很好基础,应该提倡在各种情况下尽量予以应用。

Guilloton-Gadd 方法自八十年代被引进我国以来[6], [7]曾不断获得改进和推广[8], [9],对中高速船有良好的应用前景。

Dawson 方法早期在我国有多种版本[10], [11],以后有多方面的发展,糜振星和董祖舜等把它推广到有限水深[12]和高速艇的情形[13],并在自由面条件上有所改进,荣焕宗等借用 Rankine 源分布的技巧,发展成为全非线性的兴波计算方法[14]。为了更合理地满足辐射条件,李世谟等采用内外接合的方法[15],内域满足近似的非线性自由面条件,外域则用 Kelvin 源分布来代替。最近,李世谟又改进了[15]的工作[16],证明了线性自由面条件下,物面上分布的 Kelvin 源和 Rankine 源同时分布在自由面和物面上是等价的,而且两者在物面上的源强相等,在此基础上,他们仍采用内外域接合的办法,内域满足全非线性自由面条件,外域用物面上分布的 Kelvin 源来表征。吴秀恒基于 Dawson 的自由面条件,把定常兴波推广到船体有偏航的情形[17]。升力用无界域中的马蹄涡来代表,其强度由船尾的 Kutta 条件来决定,它在自由面和物面上引起的扰动,由船体和物面上附加的 Rankine 源来抵消。这一系列在 Panel 法方面的工作,已经使我国在兴波理论的研究上处于国际前列。今后的工作是加强实际应用,并在应用中不断改进。

二、粘流计算

粘流计算是当前计算船舶流体力学的热点, Lin 和 Morgan 曾断言[18],船舶流体力学中势流理论的高潮已经过去,今后将有越来越多的力量投入粘流计算中去。早期,船体粘流计算立足于薄边界层,并考虑兴波影响[19]。薄边界层在尾部 25% 的范围内不尽适用,有所谓厚边界层的理论[20]。今天,粘流的重点是尾流计算,控制方程是平均雷诺方程(RANS)和湍流模式。湍流模式中, $K-\varepsilon$ 模式配合壁面函数最为常见。周连弟是国际上在船体绕流计算中,最早采用该模式的作者之一[21]。由于船尾形状复杂,一般多采用贴体坐标。1990 年 Gothennburg 尾流计算研讨会中,19 位作者参与比较计算,周连弟[22]和沈奇心[23]是其中两位。周采用部分抛物化方程,沈用有限体积法求解 RANS 方程。最近,李世谟则用有限分析解法[24](FAN)求解 RANS 获得成功,并探讨了船体线型变化的

影响。粘流计算需要高速和大容量的计算机,在这方面,中国作者处境严峻,但成就可喜。

三、船型开发

船型开发近些年来十分活跃,相继出现了双尾、蜗尾、双尾鳍、长轴套、非对称尾、球尾等优秀船尾线型。对内河船,由于相对航速高,阻力性能差,加之吃水限制,导致螺旋桨直径受到限制,致使螺旋桨负荷重,敞水效率低。例如建国初期,优良双桨客船代表“江蓉”型,其 QPC 仅约 0.5。七十年代初船型得到明显改进,其代表船型“东方红 11 号”的 QPC 约为 0.6。而八十年代以来引进并推广了双尾船型,性能又大幅度提高, QPC 接近 0.7[25],与此同时,平头蜗尾船的 QPC 可达 0.8 左右,甚至可达 0.9[26]。

双体船具有较宽的甲板面积和良好的稳性而受到关注。邵世明等根据 $F_0 < 0.38$ 的九条对称片体双体船的阻力试验资料,归纳出双体船的阻力估算方法[27]。汪诚仪对高速双体船($F_0 > 0.40$)进行了比较系统的研究,提出了一些带规律性的结论,可供实际设计参考[28],这些文章在一定程度上反映了我国双体船的研究现状。

其它对深 V 型水面舰艇静水阻力性能的探索[29], [30], 浅吃水肥大船尾部线型的研究[31], [32][33]都具有一定的代表性。

四、浅水阻力

船舶在浅水中航行,阻力和浮态的变化相当复杂,可分为亚临界、临界和超临界,它们有各自的流动特点。

对临界区产生孤立子的理论研究,吴德铭的一系列工作具有代表性[34], [35]是国际上几个著名学派之一。钱徐涛在文献[36]中综述报导了船的实用浅水阻力计算的概况,包括他自己在这方面的重要工作。对高速圆艏艇的情形,董祖舜等进行了比较细致的工作[37], [38]。

五、结束语

上述只是我国学者近些年来在阻力研究中的部分工作,由于资料掌握不全,遗漏自然不少,留待以后补全。

参 考 文 献

1. 黄德波、赵连恩、朱念昌:“高速方尾船优化船型设计”,哈尔滨船舶工程学院学报,NO.1,1985.
2. 黄德波:“SWATH兴波阻力计算与船型优化”,中国造船学会1992年船舶阻力与性能学术讨论会论文集,1992年10月,成都.
3. Du,S.Q.,Rong,H.Z. and Wang,h.:“An application of wave pattern analysis to ship form design with smaller wave resistance”, ISRP,1989.
4. 程天柱、石仲坤:《兴波阻力理论及其在船型设计中的应用》,华中工学院出版社,1987.
5. 杜月中,“新船型研究与超浅吃水蜗尾客船”,1992年船舶阻力与性能学术讨论会论文集,1992.
6. 程明道,“计算兴波阻力的Guilloton方法”,上海交通大学硕士论文,1984.
7. 葛维桢、冯有章,“用Guilloton方法计算船舶兴波特性”,水动力学研究与进展,NO.1,1985.
8. 冯有章、葛维桢,“Guilloton方法计算兴波阻力的改进”,1992年船舶阻力与性能学术讨论会论文集

,1992.

- 9 荣焕宗,“用Dawson方法计算三维船波问题”,中国船舶及海洋工程研究所报告,1988.
- 10 李定、周连弟,“计算兴波阻力Dawson方法的数值改进及实用化发展”,《中国造船》,1988年,No.2.
- 11 糜振星,“浅水兴波阻力计算”,上海交通大学博士论文,1988.
- 12 董祖舜、卢晓平,“高速圆舢艏浅水阻力计算方法”,1992年船舶阻力与性能学术讨论会论文集,1992.
- 13 梁晓川、荣焕宗、王淮,“解非线性船波的一个数值计算方法”,《中国造船》1988年,No.1.
- 14 余学文、李世谟、吴秀恒,“水面船舶兴波问题的耦合元法计算”,《水动力学研究与进展》,1990年,No.3.
- 15 李继先,“非线性船舶兴波问题的半解析、半数值求解方法及其应用”,武汉水运工程学院博士论文,1992.
- 16 熊新民、吴秀恒(导师),“限制水域中考虑自由面影响的三维船舶操纵运动水动力研究”,武汉水运工程学院博士论文,1992.
- 17 Morgan W.B. and Lin W.C.,“Ship performance prediction, computational fluid dynamics and experiments”,schiffstechnik,Bd.36,1989.
- 18 余学文、蔡荣泉、沈奇心、王淮,“计及自由面影响的船舶三维湍流边界层计算”,《水动力学研究与进展》,No.2,1987.
- 19 王言英、龙敬华,“船体三维厚边界层理论计算”,大连理工大学学报,Vol.32,No.3,1992.
- 20 周连弟,“船舶水动力学中的若干粘性流动问题”,水动力学1988年暑期研讨会.
- 21 Zhou,L.D. & Gao,Q.“Calculation of stern flows for two ship models assigned by SSPA-CTH-IIHR Workshop on ship viscous flow”,Proc. 1990 SSPA-CTH-IIHR Workshop.
- 22 Shen,Q.X.,Zhang,Y.M. & Cai,R.Q.“Calculation of viscous flow around two HSVA ship models by solving the RANS equations”,Proc. 1990 SSPA-CTH-IIHR Workshop.
- 23 李廷秋、李世谟(导师),“三维船舶尾流场的数值计算及方形系数 C_b 和尾型UV的变化对尾流场影响的数值试验”,武汉水运工程学院博士论文,1992.
- 24 李世谟,“内河双尾节能船型”,1992年船舶阻力和性能学术讨论会特邀论文,1992.
- 25 薛中川、刘增荣等,“平头蝎尾新船型性能及其开发研究”,1992年船舶阻力与性能学术讨论会论文集,1992.
- 26 邵世明、周旭芳、王云才,“双体船的静水阻力估算方法”,同上.
- 27 汪诚仪,“高速双体船阻力特征”,同上.
- 28 程明道、俞汉祥,“深V型舰船静水阻力性能探索”,同上.
- 29 孟宪庆、迟运鹏,“浅吃水肥大大型双尾鳍船型设计中几个问题的探讨”,同上.
- 30 李立人,“表征浅吃水肥大大型船的主要参数 B/T 对阻力性能的影响”,同上.
- 31 Wu,D.M.and Wu,T.Y.“Precursor solitons generated by three dimensional disturbances moving in a channel”,IUTAM Symp. on “Non-linear Water Waves”,Tokyo,1987.
- 32 崔岫岩、吴德铭,“薄船在浅水池中运动兴起的孤立波”,《中国造船》,1988.No.1.
- 33 崔岫岩、吴德铭,“薄船的孤立子生成特性及其几何参数关系的研究”,同上,1989,No.4.
- 34 钱徐涛,“船舶实用浅水阻力计算及发展前景”,1992年船舶阻力与性能学术讨论会特邀论文,1992.
- 35 董祖舜、林武强,“计算滑行艇阻力的各种半理论半经验方法之比较”,《海军工程学院学报》1991年,No.3.

推进器水动力学研究进展

近十年来在船舶推进器研究的前沿领域内取得了一系列重要进展,主要有以下几个方面。

一、节能推进装置

节能推进装置在国内外均是船舶推进研究的一个重要方面。在中国在以下几种节能推进装置方面均取得成果和应用。

1. 前置补偿导管

我国从 80 年代早期亦就开始研究前置导管的节能效果,并在 80 年代后半期应用到实船上,这方面 MARIC 钱文豪开展了一系列的研究,设计和实船应用[1,2];上海船舶运输科学研究所朱光远[3]亦做过试验研究工作。一般情况下最理想的节能效果可达 8% 左右,这已被多艘实船试验结果所证实。但此项工作目前主要依靠设计者的经验进行设计,因此“八五”计划中正在开展理论和机理性的研究。

2. 螺旋桨后置定子或前置导叶

在螺旋桨后置一固定叶轮以回收旋转能量损失使转化为推力,是这一装置的目的。中国船舶科学研究中心(CSSRC)张建华等已发展了一套用升力线理论来计算相互干扰及决定叶轮最佳环量分布,用升力面理论来计算设计叶片的理论设计方法[4,5,6]。他们经过了试验研究并已用于内河船舶上,通常节能效果可达到 4%~7% 之间[7]。近几年,CSSRC 又在开展前置导叶的研究[8,9]。进行上述后置叶轮和前置导叶研究的机构除 CSSRC 外,还有华中理工学院。

3. 毂帽鳍(PBCF)

PBCF 由于其结构简单,加之试验证实通常因其减小毂涡作用,除了可节能 3~4% 外尚有一定程度的降噪作用。因此在国外,特别是日本做了较多的研究并应用于实船。近年来在中国如 CSSRC,华南理工大学均开展了试验研究工作。华南理工大学胡志安等[10]和上海交通大学杨晨俊等[11]与日本 FEL 合作,均提出了螺旋桨与 PBCF 组合体的水动力性能预报的理论计算法。

4. 附加推力鳍

这是在桨后舵上的两侧各安装一个机翼,各根据进流方向设定安装角。它们与舵结合在一起,所起的作用相似于桨后加定子。80 年代上海交通大学张云彩等做过较多的试验和理论研究工作[12],证实可望节能 7~8%,并已在 10 多艘小型拖轮上应用。

5. 对转螺旋桨

我国从 60 年代已开展理论研究并付诸应用,近年来又取得理论研究上的进展(在下一部分述及)。由于轴系传动机构的复杂性尚未在船舶上采用,但已用于特殊装置上。

二、螺旋桨理论研究进展

螺旋桨(包括某些特种推进器)的理论研究早在 60 年代起一直沿续至今,取得各方面较好的发展,可以说这一领域在某些方面已达到国际先进水平,处于前沿地位。以

CSSRC 和上海交通大学为代表所做的工作包括下列几个方面。

1. 升力面理论涡格法

升力面理论计算方法在 70 年代已在国内应用于螺旋桨设计。当时因受计算机条件限制只用于设计计算,一般采用模式函数法。80 年代以来,已广泛采用离散的涡格法,不但应用于设计计算而且已成功地应用于性能预报计算。CSSRC 的陈家栋、董世汤,上海交大的王国强等已分别建立了用涡格法并考虑叶梢涡分离、导边涡分离和桨毂影响的涡格法计算螺旋桨定常非定常问题多种计算方法和计算程序[13,14,15,16,17,18,19,20]。目前已作为日常计算工具被广泛使用。他们所采用的尾涡模型亦是多种的。这已为国内螺旋桨设计提供强有力的计算手段,越来越多的设计采用理论设计。王国强等还提出了侧斜的优化选择方法[21]。

2. 面元法

我国开展面元法研究以预报螺旋桨性能在国际上亦是比较早的。CSSRC 冯锦璋、董世汤在 1986 年就发表了基于速度法的面元法,计算螺旋桨及导管螺旋桨的水动力性能[22]。近年来上海交大王国强等、CSSRC 党杰等均基于速度势法建立了新的面元法。CSSRC 已用此方法及程序参加 ITTC 的比较性计算[23],上海交大已把方法发表于 ISPC'92。面元法是近几年来国际上在大力发展的计算方法,我国亦处于前沿行列之中。

3. 尾涡解析模型

上海交通大学王国强等[16]把螺旋桨尾涡的几何形状作为求解流场的解的一部分,而不是按过去的处理方法把尾涡形状以假定的形状作为已知。新的做法是尾流形状不用事先假定,以涡线跟随流动方向,通过时域内的逐步迭代而决定的。这就构成了问题的非线性。此方法建立在较严格的势流理论基础上,它亦可直接用于螺旋桨非定常计算,计算工作量相当庞大。

4. 新型叶剖面设计

新型叶剖面的研究是国际上近十年来所重视的研究课题,目的为改进螺旋桨在非均匀流场中抗空化性能以降低诱导激振力及噪声。CSSRC 党杰等[25,26,27,28]已提出了新型叶剖面设计方法,并经翼型试验证实了它的优越性,已被应用于 PS-30 水翼艇的水翼设计[29]。CSSRC 党杰等还把螺旋桨升力面设计、新型叶剖面设计、非定常升力面性能及压力分布预报、翼型逐步迭代修改组合起来形成一个大的程序系统[30],这样摆脱了过去叶型是被指定的设计方法而使叶型亦由设计计算来形成,使我国螺旋桨理论设计提高一个台阶。这一设计方法系统现正进入试验验证阶段。

5. 对转螺旋桨的理论研究

早在 70 年代初, CSSRC 董世汤已建立了对转桨的升力线理论设计计算方法。近十年来, CSSRC 董世汤、马海虹又进一步建立了用升力面理论计算预报对转桨的水动力性能[31],但这方法还只限于计算水动力的时均值,并忽略了桨毂影响。近年上海交大杨晨俊等[32,33]把对转桨的理论计算方法进一步深化和细化。他们用涡格法结合桨毂面上用面元法建立了对转桨新计算方法和程序,其方法包括了桨毂,并建立对转桨新的非定常水动力计算方法及程序。

6. 近自由液面螺旋桨性能

上海交通大学王国强等对螺旋桨在接近自由水表面情况下的性能进行了理论的和试验

的研究。主要包括:

(1)自由液面对桨(不存在吸气情况下)的性能影响。王国强等利用自由表面下的奇点的 Green 函数处理桨表面及尾涡的奇点系统来求解,并且进行了试验研究和验证[34];

(2)吸气对桨的性能影响,进行试验研究[35];

(3)螺旋桨部分出水情况下的性能研究王国强等对此提出了自己的解析模型进行理论分析理论研究[36]。由于这一问题的复杂性,当然一些近似假定不可避免。CSSRC 刘绍宗等进行了半浸沉螺旋桨的系列试验研究[37]。

以上这些工作,过去很少有人进行详细研究,上述内容提供了很有参考价值的结果。

7. 螺旋桨的空泡区域及体积的理论计算

目前已经建立的计算方法有:

(1)准定常升力面方法预报桨叶上的空泡。

这个方法由上海交大王国强[38]在他的升力面计算方法上加以扩展而成,采用准定常的近似处理来代替非定常,空泡采用半封闭式模型,计算结果可以接受,但该方法还局限于各叶剖面处于局部空泡的状态。

(2)准定常升力线理论结合二维空泡翼栅计算的预报方法。

早在 70 年代, CSSRC 用升力线理论计算结合二维翼型的局部空泡及超空泡线性化理论计算而建立了准定常的螺旋桨空泡预报计算方法。近几年前, CSSRC 邢文萍用二维空泡翼栅的线性化理论计算来代替单叶的计算方法[39],从结果看有所改进。这类方法基于工程实用的观点。

国内至今的螺旋桨空泡计算方法尚未把导边厚度影响计入进去,这是不足之处。这使空泡型状的计算会产生一定误差。

8. 船后尾流场及与桨的相互干扰

研究船后螺旋桨与船体的相互干扰(或相互作用)必须要在船后粘性尾流场中进行才有实际意义。随着计算流体力学的发展,这一课题在国际上已越来越受重视。我国 CSSRC 周连第等[40]已建立回转体尾部粘流场的计算预报方法及程序,并且 CSSRC 陈彬、周连第、杨昌培等已对回转体后的船体与螺旋桨的相互作用在粘性尾流的基础上,提出了计算方法[41,42]。这些方法把船后湍流计算与螺旋桨升力面方法结合起来,通过迭代来解决。在解湍流尾流场时,用 $K-\epsilon$ 湍流模型及流线迭代法进行,螺旋桨的作用以能量的跳跃来代替。这类问题,在世界范围内属前沿性的研究课题。研究这类问题的单位在我国还有大连理工大学。

现在 CSSRC 和 MARIC 分别直接解 RANS 方程和用附面层理论正在研究螺旋桨周围粘性流场的问题。

此外,在理论研究方面值得一提的还有华中理工大学刘幼华和程尔升提出用能量法分析螺旋桨性能的方法,有它的新意[43]。

三、试验技术的进展

在拖曳水池和空泡水筒除进行传统的各类螺旋桨的散水、自航和空泡试验外,80 年代初开始,在 CSSRC 已经用假艏模型和铜丝网在空泡水筒中制造出模拟伴流场,进行螺旋桨在非均匀伴流场中的空泡试验,来测定作用在艏部的脉动压力,需要时并测量水动力

噪声,来评价所设计船型尾部伴流场和螺旋桨是否使脉动压力和噪声达到所要求的指标。

随着流体力学研究的深化,对流场结构的分析越显重要,精确测量并分析螺旋桨叶片附近(包括附面层)及周围流场在 ITTC 中已认为是当今重要的试验技术。CSSRC 在 1989 年底从美国 TSI 公司引进三维激光测速仪(LDV),为国内的测试手段提供了一个重要的先进仪器。现在在用 LDV 发展环量分布测试,间接作压力分布分析的试验技术研究。

参考文献

- 1 钱文豪等,“船舶螺旋桨进流补偿导管”,船舶工程,Vol.3,1989.
- 2 Qian,W.H. et al,“The Exploratory Development of Simplified Compensative Nozzle and its Composite Device”,Proc.of ISPC'92,1992.
- 3 Zhu G.Y. et al,“Experiments with Flow-Straightening Nozzle of Ship Model for a 10000 DWT Bulk Carrier”,Proc.of ISRP,1989.
- 4 Zhang,J.H. and Dong, S.T.,“Preliminary Study on Performance Characteristics of Propeller and Fined Guide Vanes”,Selected Papers of The Chinese Soc.of Naval Arch. & Marine Engineering,No.1,1985.
- 5 Ma,H.H. Zhang,J.H.,“A Design of Stator behind a Ducted Propeller and Its Practical Use”,CSSRC Report No.88401,1988.
- 6 马海虹、张建华,“导管螺旋桨后加固定叶轮的理论预报及实船试验分析”,中国造船工程学会第五届船舶推进与空泡学术讨论会论文集,1990.
- 7 张建华、马海虹,“泰州18号拖轮前置定子,后置定子推进装置的实船试验分析”,CSSRC报告, No.90781,1990.
- 8 张建华、马海虹,“螺旋桨前方加固定叶轮的初步研究”,CSSRC报告, No.89345,1989.
- 9 Zhang,J.H. Ma,H.H.,“Energy Saving Propulsor”,Proc.of ISPC'92,1992.
- 10 胡志安,周汉仁,“螺旋桨毂帽鳍的理论研究”,中国造船工程学会第五届船舶推进与空泡学术讨论会论文集,1990.
- 11 Yang,C.J. et al,“Calculation of the Performance and Flow Field of a Propeller with Boss Cap Fins-In Uniform Flow—”,Jou.of West Japan.Soc.of Naval Arch.,Vol.30,1991.
- 12 张云彩等,“推力叶的试验研究”,船舶工程,Vol.4,1986.
- 13 陈家栋、董世汤,“考虑涡分离的螺旋桨升力面理论计算方法”,中国力学学会第四届全国流体力学学术会议论文集,1989.
- 14 Wang,G.Q. and Hu,S.G.,“Prediction of Unsteady Propeller Performance by Numerical Lifting Surface Theory”,Jou.of Shanghai Jiao-Tong University,Vol.23,1989.
- 15 陈家栋、党杰,“定常和非定常螺旋桨速度场的数值预报”,CSSRC Report, No.90716,1990.
- 16 Wang,G.Q. et al,“Unsteady Nonlinear Vortex Lattice Method for Prediction of Propeller Performances”,19th ONR Symp.on Nav.Hydrodynamics,1992.
- 17 陈家栋,“螺旋桨非定常水动力性能预报的升力面计算方法”,中国第6届计算流体力学学术讨论会论文集,1992.
- 18 Wang,G.Q. and Zhang,T.F.,“Design of Additional Thrusting Fin with Nonlinear Vortex-Lattice Method”,PRADS'89,1989.

- 19 杨建民、曹沛民,“应用简化升力面理论的螺旋桨设计方法”,中国造船工程学会第五届船舶推进与空泡学术讨论会论文集,1990.
- 20 杨晨俊等,“提高调距桨敞水性能预估精度的一个途径”,中国造船工程学会第五届船舶推进与空泡学术讨论会论文集,1990.
- 21 Wang,G.Q. & Cao,P.M.,“Propeller Optimum Skew Distribution”,Proc.of ISPC'92,1992.
- 22 Feng,J.Z. & Dong,S.T.,“A Panel Method for Prediction of Unsteady Hydrodynamic Performance of the Ducted Propeller with Finite Number of Blades”,Proc.of ISPC,1986.
- 23 Cao,P.M. and Wang,G.Q.,“Prediction of Propeller Performances Using a Surface Panel Method” Proc.of ISPC'92,1992.
- 24 Report of Propulsor Committee of 20th ITTC, to be Published.
- 25 Dang,J.,“New Blade Section Design of Marine Propellers”,The Workshop on New Blade Section Design,Yokohama,Japan,1989.
- 26 Dang,J.,“Non-Symmetrical New Section Design”,CSSRC Report No.90464,1990.
- 27 Dang,J.,“New Blade Section Design and Its Application — A Review of the Research in CSSRC” CSSRC Report to be published.
- 28 Dang,J. and Tang,D.H.,“Experimental Verification of New Blade Section in Water Tunnel”,CSSRC Report No.90701,1990.
- 29 Dang,J. et al,“New Section Design for a Hydrofoil”,CSSRC Report No.91179,1991.
- 30 Dang,J. et al,“A Design of Highly Skewed Propellers with New Blade Sections in Circumferentially Non-Uniform Ship Wake”,Proc.of ISPC'92,1992.
- 31 马海虹、董世汤,“对转螺旋桨水动力性能预报的升力面方法”,中国造船工程学会第四届船舶螺旋桨及空泡学术讨论会论文集,1988.
- 32 Yang,C.J.,“Performance of Contra-Rotating Propellers”,PH.D Thesis, Shanghai Jiao-Tong University,1991.
- 33 Yang,C.J. et al,“Prediction of the Steady Performance of Contra Rotating Propellers by Lifting Surface Theory”,Tans. West-Japan Soc. of N.A.,Vol.82,1991.
- 34 Wang,G.Q. et al,“Study on Propeller Characteristic near Water Surface”,Proc.of ISPC'92,1992.
- 35 Wang,G.Q. et al,“Propeller Air Ventilation and Performance of Ventilated Propeller”,Proc.of PRAD'89,1989.
- 36 Wang,G.Q. et al,“Hydrodynamic Performance of Partially Submerged Ventilated Propeller”,中国造船 No.2,1990.
- 37 刘绍宗、朱恒顺,“部分浸水螺旋桨的系列化特性”,中国造船工程学会第五届船舶推进与空泡学术讨论会论文集,1990.
- 38 王国强,“升力面方法估算螺旋桨空泡”,第四届船舶推进器与空泡学术讨论会论文集,1988.
- 39 Xing,W.P.,“A Practical Method for Prediction of Cavitation on Marine Propeller”,Proc.of ISPC'92,1992.
- 40 Zhou,L.D. & Yuan,L.L.,“Calculation of the Turbulent Flow around the Stern and in the Wake of a Body of Revolution with the Propeller in Operation”,Proc.of 15th ONR Sym. on Naval Hydro.,1984.
- 41 Zhou,L.D. & Yang,C.P.,“A Numerical Method for Predicting the Performance of Propeller Behind

the Axisymmetric Body Based on the Hull-Propeller Interaction", Proc. of ISPC'92, 1992.

- 42 Zhou, L.D. and Chen, B., "A New Practical Method for Predicting the Performance Characteristics of Propeller Behind bodies of Revolution", Proc. of PRADS'89, 1989.
- 43 刘幼华、程尔升, "船舶推进的一种能量分析方法及其应用", 中国造船工程学会第五届船舶推进与空泡学术讨论会论文集, 1990.

船舶耐波性研究进展

在我国船舶研制实际的推动下,我国船舶耐波性研究在近十年又取得了长足的进展。

一、海洋波浪统计及水池模拟技术

海浪的船舶预报资料量大面广是海浪统计资料最好的来源。依据船舶报资料,导出的波高与周期的长期分布对船舶和海洋工程的设计均有重要参考意义。Ochi于1978年提出了一个模式,[1]发现此模式并不能很好地描述给定波高下周期的条件特征值的变化,提出了一个新的模式,所用的参数为 μ_H , σ_H , μ_T , σ_T , ρ_{HT} 五个参数, μ_H , σ_H 波高的综合分布算得, ρ_{HT} 由船舶报直接统计求出, μ_T , σ_T 仍用回归方法求出,但在求取时增加了原始器测资料,提高了精度。在水池波浪的模拟方面,[2]提出一个在水池某定点再现波浪时域历程化模拟方法,该方法将水池中某定点的波浪位移用 $N=2$ 的Volterra泛函序列来表示,通过试验求出一阶和二阶的脉冲响应函数,然后根据所需的某定点的波浪时域历程求出造波机的激励信号序列,通过试验验证表明此方法是成功的。另外,对于在水池中如何长时间造出不重复的不规则波的方法和对进行二阶慢漂系统模型试验的造波要求进行了探索[3][4]。

二、船舶耐波性的理论预报

从七十年代中期,根据线性切片理论预报船舶运动的程序已被广泛使用,对于常规的船型,其预报结果与试验较为吻合。对此方法能在多大的范围内应用[5][6]作了探讨,[5]对一组系列的长宽比不同的矩形体分别对二维和三维情况用简单的格林函数法作了计算和比较,表明长宽比大于2.5时,二者的水动力系数差别不大,[6]对箱形体的工程船用切片法作了计算表明作适当的修正,仍能为工程服务。

在探索切片法应用范围的同时,不少研究人员对用三维方法来预报船舶运动作了很多工作。最近已取得较高鼓舞的研究结果,预计不久即能对实际船型进行运动预报,[7]用面源分布方法进行了波浪中任意三维零航速物体的水动力和运动计算,[8]曾用线性三维源汇法计算多个物体波浪上运动的流体动力和船一驳组合体在有限水深的规则波中的运动,有航速的三维计算更为复杂,对计算机容量和速度的要求更高,[9]在低航速的假定下,对任意三维有航速物体在波浪上的运动的基本方程进行简化,并将简化方程的基本解表示为一个零航速问题的基本解,加上一个与航速有关的修正项,从而使工作量为减少,[10]曾用此方法预报了船舶在波浪中的相对运动和上浪,其结果比切片法的计算结果更接近模型试验实测结果,[11]系统地对三维物面与自由面交线附近流场的线性解作理论分析,给出了时域和频域问题中相应于不同的自由面条件交线附近流场的奇异特征,提出了计算中遇到的物面直棱角附近流场奇异性的处理方法,认为对船舶绕射波相对运动分量的理论预报,只需将零航速问题自由面条件下的频率改为遭遇频率,适当地考虑水线附近流场的奇异性,用零航速源汇分布法即能得到较好的预报结果,[12]用摄动方法,建立起了波、流、物体相互作用的一致性线性基本方程,研究了低速流动和平面线性波联合作用下,三维物体的辐射运动和绕射运动,[13][14][15]对三维非线性问题作了探索,[14]对三维物体的物面非线性和波面非线性均作了考虑,对圆柱体作了计算,但用于实际船型尚有

困难, [16]提出了时域格林函数的快速算法, 为解决三维非线性问题提供了有力的手段, 对三维物体的非线性问题作了一些简化, 即物面是非线性的, 自由面仍然是线性的情况下作为主攻的目标, 现已取得较好的进展, 对三维线性有航速的前提下已取得实质性进展 [17][18][19]提出的理论模型, 在计算有航速的波浪绕射力时, 可以用辐射势和入射波势来表示, 而不需求解绕射势, 这样, 对任意多的人射波频, 只需解算积分方程一次, 从而大大节省了计算工作量, 因此, 目前来说用三维线性时域方法计算有航速的船舶运动已没有实质的困难, [18]还提出了一种计算非线性水动力和积分方法, 将水动力和力矩的计算公式最终表示成分布源密度的积分形式, 在计算时不须在物面上对速度势作微分运算, 提出了数值计算精度。

[20]用水弹性理论计算舰艇在波浪中的砰击载荷取得了较好的结果, [21]研究了船舶横浪时的上浪, 用极浅水波方程来研究上浪后对横摇的影响, [22]研究了用自调节预报器数学模型来进行舰船运动的极短期预报, 其预报结果较一般的预报方法有进一步的提高。

三、船舶耐波性评价及优化

船舶航行海域的海浪特征对船舶的耐波性有至关重要的影响, 船舶耐波性包含的因素很多, 如垂向运动、横向运动、上浪、砰击、加速度等, 而且随着船舶所要完成的任务不同对各耐波性因素的要求也各异, 如客船就不同于货船, 也不同于战斗舰艇, 即使舰艇大类中驱逐舰的要求也不同于航母, 因此要评定船舶耐波性的优劣甚为复杂, 必须考虑船舶航行海域的波浪统计资料, 船舶的响应特性和可以进行作业的耐波性各因素的临界值, 浓缩归结到一个指数后才可较合理地作出评价, [23]根据上述考虑提出了一个评价方法。

在耐波性船型优化方面, [24]提出了一种区别于耐波性品级值优化的直接优化方法, 此方法不受船型种类的限制, 考虑了实际的航行海域的波浪统计资料和船舶的任务, 优化时可增加设计师的一些约束和要求, 并用此方法对一艘护卫舰的改型作了计算 [25], [26]又在 [24]的基础上, 将船舶在波浪中的总阻力作为一个耐波性因素加入考虑, 这对于更好地权衡快速性和耐波性有重要意义。

在船型优化方面, [27]进行了深 V 型与常规圆舭型方案的耐波性比较试验, 试验是自航船模在不规则波中进行, 测量了运动和砰击压力, 试验表明深 V 型具有更好的耐波性能。

四、减摇

关于减摇的研究, 在减摇鳍方面已趋成熟, [28]对多对鳍的设计优化作了研究, 主要是对鳍与鳍的水动力干扰作了理论计算和试验, 理论计算采用涡格法计算正常运动时前鳍尾涡形状和干扰影响, 提出了前鳍小, 后鳍大的方案, 使两对鳍的干扰降为最小, 此种方案已被采用, 并经实践证明是较好的一种处理方案, 可控式被动减摇水舱, 比被动水舱的性能又有提高, [29][30]在这方面进行了研究。

舵减摇装置已经愈来愈受到人们的重视, 国外已有不少实船装备了这一装置, 由于其具有效费比大的优点, 有很好的应用前景, [31]通过理论计算用单自由度横摇方程探讨了控制规律, 船舶自摇周期等对减摇效果的影响, [32][33]用自航船模在各种浪向的不规则波中进行了减摇效果的试验, 探讨了舵角角速度、浪向、航速及控制规律等对减摇效果的影响, 为今后的舵减摇装置的研制提供了很好的资料和试验手段。

五、试验设备和试验技术

在拖曳水池的端部加装了造波机,可以进行一定的耐波性试验,中国船舶科学研究中心于七十年代初投入使用的耐波性水池可以进行各种浪向的规则波不规则波试验。此后在中国船舶和海洋工程设计研究院于八十年代中增添了小型的风浪流水池,其尺度为长 28 米,宽 12 米,深 2 米,中央底部设一深井,深井长为 3.5 米,宽为 3 米,深为 3 米。水池两边造波,并有造流装置[34]。上海交通大学的风浪流水池长 40 米,宽 30 米,深 4 米,有可升降式池底,能造波和流,池的上方架有车架,可移动,特别对定点的海洋工程试验较为合适,亦可进行一定范围的耐波性试验。哈尔滨船舶工程学院在拖曳水池的一端装备了多单元的短峰波造波机,可造短峰不规则波。

关于新的试验技术,[35]试验了第一艘无舱盖集装箱船“Bell Pioneer”号的耐波性能,精确地测量了每个舱内的上浪进入的海水量。在上浪试验方面,采用了钽丝沿船体剖面安置,能较好地测量相对运动,上浪事件采用在甲板上安装压力传感器记录,通过试验向 ITTC 耐波性委员会提交了比较试验结果,根据 19th ITTC 委员会提供的资料,表明所测数据很接近参加单位所提供数据的平均值[36]。

此外,在风浪中的稳性方面亦开展了一定的工作,实船耐波性试验亦进行了多次,为评估实船性能和船模试验,理论计算提供了重要的资料。

参 考 文 献

- 1 方钟圣、戴顺孙、金承仪,“海洋特征波高和周期的长期联合分布及其应用”,《海洋学报》Vol.11.No.5,1989.
- 2 顾民,“水池波浪的时域模拟技术”,中国船舶科学研究中心报告,1987.
- 3 於家鹏、余溢红,“海浪模拟”,中国船舶及海洋工程设计研究院报告,1990.
- 4 於家鹏、尤国铨、余溢红,“二阶响应系统模型试验的海浪模拟研究”,中国造船工程学会,第五届船舶耐波性学术讨论会论文集,1991.
- 5 贺五洲,“节片法应用范围的研究”,5th,SSS,1991.
- 6 刘应中、钟爱贞、缪国平,“箱形船在波浪上的运动计算”,上海交大船舶流体力学研究室研究报告,1980.
- 7 孙伯起、董慎言、达荣庭、秦其平、肖袁根,“波浪中任意三维零航速物体水动力和运动计算”,三维流体动力计算方法交流讨论会,1985.10.
- 8 刘应中、缪国平,“多个物体在波浪上的耦合运动”,三维流体动力计算方法交流讨论会,1985年10月,《中国造船》1990 年增刊.
- 9 孙伯起,“低速物体在波浪上的运动理论及波浪阻尼计算”,CSSRC报告,1990.8.
- 10 周正全、顾懋祥,“用有航速的三维模型预报船舶在波浪中的相对运动”,CSSRC报告,1990.8.
- 11 朱林生、戴遗山,“流场奇异性分析及其在船舶运动预报中的应用”,哈尔滨船舶工程学院博士论文,1991.6.
- 12 程静、刘应中,“波浪、物体的相互作用”,上海交大博士论文,1992.7.
- 13 杨驰,“三维物体非线性波浪力的时域计算”,上海交大,博士论文,1987.
- 14 周正全,“三维物体与非线性波浪的相互作用”,CSSRC博士论文,1988.
- 15 戴遗山,“船舶运动的时域解问题”,哈尔滨船舶工程学院讲义,1991.

- 16 黄德波,“时域格林函数及其导数的数值计算”,《中国造船》,1992.
- 17 周正全、张亮、戴遗山,“船舶在波浪中航行时绕射问题的线性时域解理论”,(待发表).
- 18 戴遗山、黄德波、贺五洲、倪绍毓、张亮,“波浪与船舶非线性相互作用”,哈尔滨船舶工程学院,1992.4.
- 19 张亮、戴遗山,“波浪三维运动物体水动力的时域解”,哈尔滨船舶工程学院,博士论文,1992.7.
- 20 夏锦祝,“水弹性方法计算舰艇在波浪中的砰击载荷”,CSSRC,1990.
- 21 黄祥鹿,“甲板上浪与船舶横摇计算”,《中国造船》,1991.
- 22 邵焕秋,“舰船在波浪中运动极短期预报方法的进一步研究”,CSSRC,1990.
- 23 益其乐,“船舶耐波性的综合评价”,CSSRC,技术报告,1981.
- 24 益其乐、汪真、戴仁元,“耐波性船型的优化方法”,CSSRC,技术报告,1983.
- 25 汪真、益其乐,“一艘导弹护卫舰的改型——一种最优耐波性船型设计方法比较”,CSSRC,技术报告,1983.
- 26 戴仁元,“CSSRC与BSHC的二个耐波性优化方案的性能比较”,CSSRC,技术报告,1989.
- 27 顾民,“护卫舰深V型方案与圆艏型方案的耐波性试验”,CSSRC,技术报告,1991.
- 28 李积德,“多对鳍优化设计方法”,《船工学报》,1988.
- 29 樊军,“可控被动式减摇水舱的理论与设计”,上海交大硕士论文,1990.
- 30 冯铁成、陶尧森,“可控被动水舱摇摆台试验报告”,上海交大船舶流体力学研究室,1990.
- 31 顾懋祥、胡启庸、舒家骥,“舵运动对集装箱船的影响”,16届ITTC耐波性委员会报告(31),1981.
- 32 汪真、张兆宣,“舵减摇系统的探讨”,《船舶性能研究》,1982.
- 33 胡启庸、汪真、傅喻非,“波浪中舵减摇试验研究”,CSSRC,技术报告,1991.
- 34 季锡琪、尤国铨、曾金剑,“七〇八所风浪流同时模拟水池简介”,4th SS 1986.
- 35 “New Generation Container Ships”,Naval Arch.July / Aug,1990E317.
- 36 顾民,“19th ITTC偶然发生事件的合作研究”,CSSRC,技术报告,1989.