



# 船舶喷水推进文集



中国船舶工业总公司七院  
第七〇八研究所

1999年1月

# 船舶喷水推进文集

中国船舶工业总公司七院  
第七〇八研究所  
1999年1月

封面设计:黄文海  
奚立康

---

编辑出版:中国船舶工业总公司七院第七〇八研究所

通讯地址:上海市西藏南路 1688 号

邮政编码:200011

常熟市白云印刷厂印刷

内部资料

---

# 序 言

中国船舶及海洋工程设计研究院(MARIC)从事喷水推进技术研究设计已有三十余年的历史。早在60年代初,就为我国设计了一批内河喷水推进船艇。鉴于当时的需求和条件所限,这些船艇的航速和推进效率都较低。70年代初 MARIC 成立了相应的研究机构,专门从事高速喷水推进技术研究,开展喷水推进装置的研究、试验和产品设计。经过近三十年的努力,使我院在喷水推进技术研究和实船应用上处于国内领先地位;我院研究设计的喷水推进船艇、喷水推进装置在国防军用领域、民用航运部门以及航道疏浚系统的应用获得很大的成功。

70年代,我院研究设计了多型高速喷水推进船艇及其喷水推进系统,在我军的装备建设中发挥了重要的作用。其中航速最高达到45 kn,单泵功率在1000 kW左右,艇和推进泵的综合性能指标均达到当时的国际先进水平。

80年代我院研究成功的喷水推进节能组合体,荣获第38届布鲁塞尔尤里卡世界创造发明博览会银奖,该喷水推进装置的研制成功,打开了喷水推进技术用于大中型运输船舶和工程船舶的大门。

90年代我院建立了我国第一个喷水推进泵水力模型试验台,该台的过流能力大,测试精度达到ISO A级要求,处于国内领先水平,已被认定为中国船舶工业总公司泵技术检测中心。最近我院又成功地研制出了两栖车辆的喷水推进器,使我国两栖战车的水上性能指标处于国际领先水平,填补了国内空白。

我院研制的喷水推进装置包括进水管、推进泵、轴系、方向舵和倒航斗、电动液压操纵系统。我们可根据总体性能、使用要求和选用的主机型号,确定完全符合船东具体要求的先进的喷水推进系统。

为了配合喷水推进技术的研究,从70年代开始我院自行出版发行了四本喷水推进译文集或论文集,八十年代我院和国防工业出版社合作出版发行了一本喷水推进专著,这些专著和文集对推进我国喷水推进技术的发展和运用,起到了积极的作用,受到造船界、航运界和船舶工程科技人员的好评。这次我院出版发行“船舶喷水推进文集”,旨在向读者介绍我院近几年在喷水推进技术研究、试验、设计和应用方面的新成果;同时介绍国外近几年在这方面的研究动向和发展趋势。我希望这本文集能和以前的文集一样,给读者提供最新的情报,以达到抛砖引玉的目的,同时也希望本文集对我国喷水推进技术的发展和推广应用,能起到一定的促进作用。

由于水平有限,难免有不当之处,恳请各位专家、科技工作者和广大读者不吝指教,并藉此机会对参加编纂本文集和提供论文的作者表示衷心的感谢。

138  
98.12.4

## 编 者 的 话

随着对舰船航速要求的不断提高,高性能船已应运而生,并引起造船界、军方和航运部门的高度重视。目前航速超过 40 kn 的舰船已日益增多,特别是在军用和高速客运领域更为明显。舰船航速的大幅度提高,对推进装置提出了新的要求,即在高速范围内如何防止空泡的产生,从而取得高的推进效率。常规螺旋桨推进器在此已显得力不从心,因为这一速度领域不是它的最佳使用范围。在高速范围内,喷水推进具有得天独厚的优势,它不但能使高性能舰船取得高的推进效率,而且还使它具有极佳的操纵性能,这对高性能舰船是十分重要的。正因为如此,大多数的高性能舰船都采用了喷水推进方式。

中国船舶及海洋工程设计研究院 (MARIC) 对喷水推进技术的研究设计已有 30 余年的历史,目前国内大多数的喷水推进船艇采用的是 MARIC 的喷水推进装置。为了促进喷水推进技术的研究和推广应用。MARIC 从 70 年代开始,就系统地出版了有关喷水推进的专著和文集。这次出版的“船舶喷水推进文集”,在原有出版物的基础上,对国内外喷水推进技术的新内容和新动向进行介绍。本文集分论文和译文两大部分,论文是近几年 MARIC 新研究成果的总结,译文是国外最新的喷水推进技术研究动态。文集既有理论研究和探讨,也有工程应用的处理,颇具新意和实用价值。因而本文集可供船舶工程技术人员、船舶研究和设计部门、高等院校船舶工程专业等人员参考使用。

本文集由我院院长梁启康研究员作序,喷水推进科科长王立祥研究员主编。王泽群、朱为民和金志三位高工参加译文部分的组稿。本文集责任编辑周渝江,编辑陈善汾。

游统生先生为本文集的出版做了前期准备工作,梁宗庆和刘佳日等室领导对本文集的出版给予了大力地支持,在此一并致谢。

由于水平有限,恳请广大读者对文中的不足之处批评指正。欢迎读者与我们进行技术探讨,也欢迎船厂和船东采用 MARIC 先进的喷水推进技术和先进的喷水推进装置。

1998 年 12 月

# 目 次

## 论文部分

1. 我国喷水推进技术的发展现状及应用前景 ..... 王立祥(1)
2. 国外喷水推进技术的状况及其发展 ..... 王泽群(5)
3. 船舶喷水推进 ..... 王立祥(14)
4. 喷水推进技术在船舶上的应用 ..... 王立祥、王泽群、默广斌(24)
5. 喷水推进组合体——一种新颖的船舶节能推进操纵装置 ..... 王立祥、王泽群(29)
6. 诱导轮的设计原理及其在喷水推进泵上的应用 ..... 王立祥、朱为民(35)
7. 喷水推进轴流泵噪声初探 ..... 默广斌(42)
8. 喷水推进混流泵的研究试验 ..... 朱为民、王立祥、周加建(47)
9. 喷水推进装置电控系统介绍 ..... 朱建中、王立祥(50)
10. 从检修 KAMEWA 喷水推进器看使用的可靠性 ..... 刘建国、王立祥(52)

## 译文部分

11. 喷水推进器与船体的相互作用的最新试验结果 ..... 高玮、刘建国、周加建(55)
12. 快艇喷水推进——船体和推进器的综合优化 ..... 刘建国、朱为民(71)
13. 喷水推进器船体相互作用中有争议的问题 ..... 苏列俊、王立祥(79)
14. 喷水推进系统设计和分析中计算流体力学的实际应用 ..... 朱为民、王泽群(89)
15. 推进器效率比较的基本原则 ..... 王立祥、孟旭彤(96)
16. 高速船喷水推进进口设计和试验经验 ..... 王泽群、朱为民(102)
17. 先进的喷水推进系统 ..... 苏列俊、默广斌、刘建国(111)
18. 特大型喷水推进器的操舵及倒车装置 ..... 刘冰、王泽群(120)
19. 高速客船驾驶员对喷水推进器安装与控制系统的要求 ..... 孟旭彤、朱建中(133)
20. 喷水推进器的力及尾封板法兰设计 ..... 丁朝晖、默广斌(140)

# 我国喷水推进技术的发展现状及应用前景

王立祥

**提 要** 本文较详细地介绍了喷水推进技术在我国的应用现状及近二十余年来我国在该领域所作的研究与试验情况,并对喷水推进技术在我国的应用前景作了客观的分析与预估。

## 1. 前 言

喷水推进是一种特殊的船舶推进方式,它是利用推进泵喷出水流的反作用力推动船舶前进。

喷水推进与螺旋桨推进的历史同样长久。通过三百余年的研究和实践,螺旋桨的理论日益完善。相比之下,喷水推进技术的发展就相当缓慢。造成这种状况的原因虽然很多,但主要是理论研究不成熟,有些关键技术没过关,例如:船、机、泵的有机配合;高效率和大功能转换能力推进泵的研制;低损失无空泡进口管道系统和水动力性能极佳的倒航操纵装置的设计等问题没得到解决。这样喷水推进只能在有限范围内使用,由于推广应用受到限制,反过来又影响到对它的理论研究,这种恶性循环的局面使喷水推进长期来处于不利的竞争位置。所以近百年来在船舶推进中占统治地位的是螺旋桨。喷水推进给人留下的是效率低的印象。

然而喷水推进具有的抗空泡能力强、附体阻力小、保护性能好、噪音低、操纵性佳、适应变工况的范围大、传动机构简单等特点毕竟是常规螺旋桨所不及的。随着喷水推进技术研究的逐步深入,人们开始感到对这种推进方式的认识太肤浅了,它的长处远非只在浅水航区得以体现。所以本世纪中叶以来,世界各国对喷水推进技术的研究有增无减。50年代喷水推进较多地应用于内河低速船上;60年代在高性能艇上开始采用,70年代它的

发展十分迅速,已用于多种军用舰船和民用船舶;80年代中国首先研制成功了喷水推进组合体,打开了喷水推进用于大型中低速船舶的大门,使其以新的面目出现在造船界。

## 2. 喷水推进技术在我国的应用概况

1973年MARIC成立了高速喷水推进研究小组,一年后就研究设计出用轴流泵推进的内河巡逻艇,并且试航成功<sup>[1]</sup>,标志着我国高速喷水推进发展时期的到来。这是我国第一艘喷水推进高速内河滑行艇,艇体为增强玻璃钢,由常州玻璃钢船厂制造。艇上采用由MARIC设计的我国第一台双级轴流泵作推进泵(见表1)。推进泵的效率,抗汽蚀性能及艇的性能指标都达到国外同类产品的先进水平。艇的操纵性很好,能原地回转,该型艇至今已制造400余艘,分布全国各地。

随后MARIC又研究设计了近10型的喷水推进滑行艇,在国防和经济建设中发挥了作用。

1974年底,MARIC在内河侧壁气垫艇上采用导叶式混流泵双喷管推进装置<sup>[2]</sup>,艇由求新造船厂制造。1977年经过改进完善后提高了性能。该艇总长20.4m、宽4.54m、排水量为20.6t、载客54人。动力装置为两台12V150C柴油机,额定转速1500r/min,额定功率221千瓦。每台主机前出轴各带动一台22千瓦的飞升风扇,后出轴驱动推进泵。导叶式混流泵效率为86.5%,试航航速

为 45 km/h。这是我国第一艘研制成功的喷水推进侧壁气垫艇。

随后安徽省交通厅船研所和安徽巢湖船厂在上海船研所配合下,共同研制了几型侧壁气垫艇,均采用 MARIC 喷水推进双级轴流泵。其中一艘长 19.3 m,宽 3.9 m,载客 40 人,用一台 12V150CZ 柴油机驱动推进泵,额定转速 1 450 r/min,额定功率 331 kW,航速为 38 km/h。该艇经济指标较高,受到航运公司的欢迎。

1977 年武汉舰船研究设计院设计制造了喷水推进双水翼试验艇“7721”号<sup>[3]</sup>,艇长 8 m,宽 2.4 m,试验排水量 3.5 t。由两台功率为 110 kW 的汽油机驱动,使用转速 2 200 r/min,减速比 1.53:1。进水口在艉翼中支柱上,进入艇体后分两路供水给两台双吸离心泵,泵效为 87.7%,试航静水深航速  $v_s = 40.6$  kn,翼航时总推进效率为 0.526~0.544。

1984 年 MARIC 设计的 882 kW (1 200 ps) 喷水推进滑行艇试航又获成功。该艇长 14.26 m,排水量约 11 t,船体采用铝合金焊接结构,由哈尔滨船厂制造。双级喷水推进轴流泵由广东省广宁船用水泵厂制造。实泵试

验效率为 88%,试航最大航速为 82 km/h,艇的综合性指标达到 80 年代国际先进水平。

80 年代末, MARIC 研究成功了新型的喷水推进节能组合体,引起国内外造船界的注意。因为这种新型的喷水推进器是针对大型中低速船舶研制的,不但推进效率高,适应变负荷的能力强,而且水动力噪声低,这样不仅打开了喷水推进技术应用于大型中低速船舶的大门,而且也为喷水推进技术用于水面作战舰船和安静型核潜艇打下了良好的基础。这一新型喷水推进装置首次装用于浅海多用途拖轮取得成功,并获 1989 年第三十八届布鲁塞尔尤里卡世界创造发明博览会银奖。90 年代这种新型喷水推进装置又成功用于出口的 1 500 m<sup>3</sup> 耙吸式挖泥船。目前又打算装用于万吨级浅吃水肥大型运输船<sup>[4]</sup>。

90 年代初新南高速船公司研制的深浸自控水翼喷水推进客船试航成功,标志着我国喷水推进技术提高到了一个新水平。

1997 年 MARIC 又为我国研制成功两栖车辆专用的新型喷水推进器,并在这一领域取得实质性突破,使我国两栖车辆的水上性能处于当今国际领先水平。<sup>[5]</sup>

表 1 中国喷水推进滑行艇性能表

船名	982B	982E	70HP	982II	231G	2312	消波型	崇明型
长度 (m)	11.24	11.50	5.68	14.26	11.80	8.15	7.50	16.32
宽度 (m)	3.15	3.15	1.77	3.58	3.00	2.00	2.60	4.20
平均吃水 (m)	0.43	0.46	0.33	0.50	0.38	0.32	0.35	0.62
排水量 (t)	6.70	7.40	1.45	10.90	4.80	2.20	3.00	16.70
主机功率 (kW)	1×294	1×331	1×51	1×882	2×174	1×51	1×85	2×400
泵型	双级轴流泵	双级轴流泵	双级轴流泵	双级轴流泵	双级轴流泵	双级轴流泵	双级轴流泵	双级轴流泵
泵转速 (r/min)	1 680	1 450	2 800	1 700	2 860	2 800	2 800	2 200
叶轮直径 (m)	0.364	0.400	0.200	0.455	0.228	0.200	0.210	0.330
乘员 (人)	7	7	5	10	6	6	8	16
航速 (km/h)	56.8	59.0	35.0	82.0	38.0	30.0	42.0	60.0
建造年份	1974	1977	1982	1984	1985	1986	1988	
船体材料	GRP	GRP	GRP	AL	GRP	GRP	GRP	GRP
$F \cdot \nabla = \frac{0.515V}{\sqrt{g\Delta^{1.3}}}$	3.67	3.75	2.75	4.88	2.59	2.73	3.10	3.33
$K \cdot \eta = \frac{6.86\Delta V}{N_D}$	3.53	3.60	2.60	2.76	2.39	3.29	4.06	3.40



### 3. 喷水推进技术的研究试验

二十余年来,以 MARIC 为代表的造船界科研人员,对喷水推进技术进行了系统地研究与试验。

#### 3.1 喷水推进理论的研究

70 年代初 MARIC 在这方面花了很大精力进行理论研究,取得了可供设计应用的成果。

众所周知,喷水推进效率可用下式表示:

$$\eta_1 = \eta_s \times \eta_p \quad (1)$$

式中  $\eta_s$  为系统效率,  $\eta_p$  为水泵效率,

$$\eta_p = \frac{\gamma Q H}{N_r}, N_r \text{ 为收到功率。}$$

喷水推进高效率的关键在于取得  $\eta_s$  和  $\eta_p$  的最佳综合效果,因此在选择喷速比  $K$  时,常常有一个权衡取舍的问题,其指导思想是由该  $K$  值所决定的主要参数 ( $H$  和  $Q$ ) 对于水泵而言也在较佳参数范围内;而不应当只据系统效率取最佳速比  $K_{opt}$  却忽视水泵的合理参数<sup>[6]</sup>,这是相当重要的设计思想。

#### 3.2 推进泵设计研究及水力模型试验

##### 3.2.1 喷水推进轴流泵的设计研究

在设计时,以往假定轴向速度  $v_z$  在叶轮处沿径向是常数,并且速度环量沿整个翼展也是不变的<sup>[7]</sup>。这些假设在过去几十年中一直作为轴流泵设计的理论基础。

MARIC 于 1974 年首先发展一种设计技术,即认为速度环量沿翼展的分布是变化的,可按照其流动特点人为地设计<sup>[4]</sup>,但要符合下列条件:

$$Q = \int_{r_h}^R 2\pi r v_z dr = v_z \int_{r_h}^R 2\pi r dr \quad (2)$$

$$H = \frac{v_z \omega z \eta_r}{g Q} \int_{r_h}^R \Gamma(r) r dr \quad (3)$$

式中  $\omega = 2\pi r$ ;

$\Gamma(r)$  为速度环量;

$\eta_r$  为泵的水力效率。

此外, MARIC 在水泵设计中采用优良的翼型,如 NACA16、NACA66、WalchnerB

等<sup>[9][10]</sup>。这在我国水泵界是第一次,甚至在世界水泵界也是少见的。

在轴流泵的设计中, MARIC 将螺旋桨各计算剖面空泡核准方法引入轴流泵设计中,改变了常规设计法不能控制水泵汽蚀性能的局面。

由于上述的改进, MARIC 设计并试验了一系列性能优良的轴流泵水力模型和实泵。后来它们成为几百艘船舶中推进泵的母型和实泵。

1986 年到 1988 年, MARIC 对轴流泵的设计理论又作了进一步研究,目标是对轴流泵内流道的流态求得理论解,初步研究的结果建立和完善了原来的方程组,阐明了当轴向速度沿径向为变值的求解方法:

$$\left(\omega - \frac{u_w}{g}\right) \frac{d(r u_w)}{dr} = u_z \frac{du_z}{dr} \quad (4)$$

$$\int_{r_h}^R 2\pi r v_z dr = Q \quad (5)$$

$$\int_{r_h}^R r v_z \Gamma(r) dr = \frac{g Q H}{\omega \eta_r} \quad (6)$$

式中  $u_w$  为周向速度分量。

解出上述方程组就能求得轴流泵流道的流态特性并改进叶轮设计技术。

##### 3.2.2 导叶式喷水推进混流泵的设计研究

从 80 年代开始, MARIC 把精力开始转移到对导叶式喷水推进混流泵的设计研究。在对经验系数设计方法完善的基础上,又研究出了适合于高比转速混流泵的叶栅设计法,并取得较好的设计效果。可以这样说,经验系数法是按离心泵的设计思路来设计混流泵,借用了离心泵设计的经验,而叶栅设计法是借用轴流泵的成功设计经验,再考虑离心力的综合作用,以此为基础而探讨出来的一种新设计方法<sup>[8]</sup>。

##### 3.2.3 喷水推进泵水力模型试验

MARIC 自 1973 年以来设计了用于喷水推进的几十种轴流式喷水推进泵。几乎所有用于船上的推进泵都进行模型试验或系列试验。所试验的水泵比转速  $n_s$  从 680 ~ 1

600,最高的汽蚀比转速 $C$ 值达1 510。现在MARIC正在研究设计比转速 $n_s=500$ 和 $n_s=2 000$ 的轴流泵。

80年代MARIC对导叶式喷水推进混流泵又进行了系列水力模型试验,比转速 $n_s$ 从300~500,不但泵效高,而且汽蚀比转速 $C$ 值达到1 300。

此外,MARIC还进行了诱导轮水力模型试验,汽蚀比转速 $C$ 值已接近3000。

为了适应喷水推进泵大过流量、大功能转换能力的试验工况,MARIC于89年底动工建造喷水推进泵水力模型试验台,于92年底建成并通过鉴定。试验台实现了自动测试,测量精度达到ISO.A级水平。该试验台除能进行喷水推进泵能量试验和汽蚀试验外,还能进行内流场测量、汽蚀状况观察和拍照。目前已成为中国船舶工业总公司的“泵技术测试中心”。

#### 3.2.4 进口管道损失和速度分布的测试

1973年武汉舰船研究设计院在MARIC试验室对水翼艇喷水推进进口管道的管道损失作了测量;1982年中国船舶研究中心与MARIC合作,在MARIC风洞试验室对滑行艇进口管道损失和压力分布作了测试。试验结果表明,在管道内有水流分离现象,因此进口形状和截面积的选取应持慎重态度。

## 4 喷水推进技术在我国的应用前景

从第七个五年计划到第九个五年计划的十五年内,国家对喷水推进技术的预研作了大量的投资,期望在这一领域有大的突破,以满足国民经济和国防建设的需要。由此不难看出喷水推进技术在我国的应用前景看好。九五期间,国家把大功率喷水推进泵的技术研究放到相当的位置,作为重点预研课题下达任务。笔者认为在2000年后,我国喷水推进技术的应用将会以相当快的速度发展,具体在下列几个方面前景看好。

### 1) 高性能喷水推进客船

200至400客的高速双体船客船,侧壁气垫船,穿浪艇和水翼艇。对这类船船,目前以购买国外产品为主,其中不少是购买旧船。为此耗费大量外汇,且维修保养的配件保证有困难,无疑这并非长远之计。随着市场经济的发展,珠江、长江和黑龙江水系以及沿海岛屿之间的航线对国产喷水推进高速客船的需要量将会越来越大。

2) 喷水推进隐形军用舰艇,单泵功率在1 500~2 000 kW之间。

3) 安静型潜艇和核潜艇。西方最先进的安静型攻击式核潜艇,基本都采用喷水推进方式,以取得最小的水动力噪声。MARIC在八五期间开展了喷水推进用于安静型潜艇的预研工作,且已取得初步成果,为实艇装用喷水推进打下了基础。

4) 两栖车辆装用新型专用喷水推进器已势在必行,这是东南沿海局势的要求。

5) 浅吃水肥大型运输船,多用途拖轮和工程船,装用喷水推进组合体将成为2000年以后的新潮。喷水推进组合体在这些船上已成功应用,其优越的水力性能和理想的操纵性能获得船东的好评,目前已有不少项目正在联系和洽谈。

## 参考文献

- 1 金平仲、沈奉海。“喷水推进滑行艇的设计”,中国第一届高性能船舶会议论文,1978年,上海
- 2 梁志梁。“岷江号、重庆号喷水推进侧壁气垫船设计总结”,第三届全国高性能船舶学术会议论文,1987年
- 3 李慧敏等。“喷水推进水翼艇7211的技术总结”,武汉舰船研究设计院,1975年
- 4 曾松祥、王立祥、金平仲。“泵技术用于船舶节能的开发”,第三届中国国际水力机械学术讨论会,1990年,大阪
- 5 王立祥。“×××喷水推进器研究报告”,MARIC内部资料,1997年
- 6 金平仲等。“船舶喷水推进”,国际工业出版社,1986年
- 7 金平仲、王立祥等。“喷水推进轴流泵的设计”,“水泵技术”,1976年
- 8 “船舶喷水推进混流泵设计”,MARIC内部资料,1996年

# 国外喷水推进技术的状况及其发展

王泽群

**摘要** 本文主要论述了现代船舶喷水推进装置演变、发展和喷水推进在国际上的应用情况，并对喷水推进今后进一步发展和应用的趋势进行了预测。

现代喷水推进装置的起源可以追溯到1661年的一项专利，通过以后无数次的改进和应用，逐步发展到今天在高速舰船上广为应用的技术先进的喷水推进系统。

## 1 早期的喷射推进系统(1660—1840)

1661年，英国国王查理二世授予发明人托马斯·图古德(Thomas Toogood)和詹姆斯·海斯(James Hayes)一项年限为十四年的专利，该专利的内容为：“采用一种特别的方法迫使水流通过船舶的底部或两舷，是一种独特的使船舶航行的方法”。尽管图古德和海斯的发明较英国人胡克(Hooke)发明螺旋桨要早十九年，但这两位喷水推进的发明者并未将他们研究的重点放在船舶推进方面，并将其应用于实船，而是转向解决从矿井中抽水的问题。

在提出喷水推进设想后的近七十年中，喷水推进技术处于停滞不前的状况。直到1730年，约翰·艾伦(John Allen)博士首先将蒸汽机同喷水推进联系在一起，他的设想是在船体内产生水蒸气并将其引到船艏，在水线下将水蒸气喷射出去，从而推动船舶前进。模型试验证实了他的设想。

美国马里兰的造水车木匠詹姆斯·卢姆赛(James Rumsey)第一次将喷水推进器成

功地应用于蒸汽机船上，该船通过一装在船体内龙骨上的管道吸水，经蒸汽泵的作用，将水从船艏喷出。1787年9月，该船在波托马克河上试航，但航速只达到2哩/小时。

尽管卢姆赛被公认为世界上第一艘喷水推进船舶的开创者，但世界上第一艘动力航行船舶的建造应该归功于约翰·费区(John Fitch)，约翰·费区不仅发明了明轮推进，而且还拥有多个喷水推进专利。虽然当时明轮推进的应用越来越普及，但到1857年止，英国各种各样的喷水推进专利申请已达到800多个。

## 2 液压泵推进(1840—1900)

早期喷水推进的某些特点，如：水在长管道中流动所产生的摩擦、往复式蒸汽机驱动的容积式泵导致相对较低的能效使得其在效率上难以同明轮和螺旋桨相匹敌。直到1839年英国人摩里斯·鲁思凡(Morris Ruthven)和他的儿子设想“在船舶附近吸水，从两舷将其排出以推进船舶”。并将此设想申请了专利。鲁思凡推进系统(图1)即从船艏的开口吸水，通过管道同位于船舶中部水平安装的离心泵相连，离心泵将水流加速，通过管道将水从两舷紧贴或稍高于水面喷出。鲁思凡推进系统的核心是一台大型的离心泵，该推进系统被多艘船舶所采用。

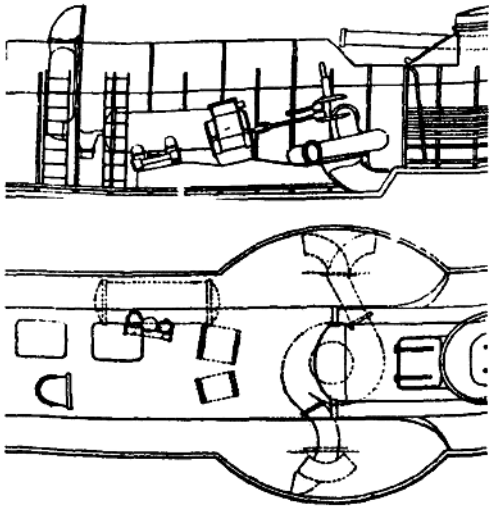


图1 鲁思凡推进系统

1886年“缸鱼”(Nautilus)号(35m)的试航成功使喷水推进引起人们的注意,该船由一台127hp蒸汽机驱动一鲁思凡推进系统,两个喷口面积均为78.54平方英寸,航速达到8.32节。同样在1886年由泰晤士钢铁厂为英海军建造的49m长的装甲炮舰“水妖”(Waterwitch)号,虽然是帆船,但主要还是由760hp汽轮机驱动鲁思凡推进系统推进。1878年,“水妖”号同安装了两个螺旋桨的姐妹船“毒蛇”(Viper)号进行了详尽的对比试验,“毒蛇”号航速达到9.58节,“水妖”号稍逊一筹达到了9.3节。

### 3 间歇性的喷水推进系统

约翰·费区1790年的一项专利被认为是一种喷水推进装置(图2),也许称其为间歇性的喷水推进器更为合适。他的想法是由一管道将水从船艏引入,经一单向阀输入锅炉,在锅炉内被加热,当压力达到一定高时,出口的单向阀被顶开,使得水向船艏方向喷射出去。当锅炉冷却时即可在锅炉内形成一定的真空,从而又可从船艏吸入更多的水。这个过程周而复始,即可推动船舶前进。此原理听上去挺有道理,但无数次实际研制的努力证

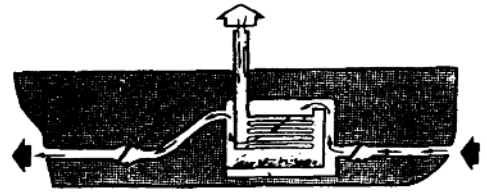


图2 费区1790年申请专利的喷水推进系统

明,该方法无法产生足够大的功率和较高的效率。

在美国人佩恩(Payne)和纽豪斯(Newhouse)1976年发表一篇论文中,分析了麦克·休(Mc Hugh)1916年获得的脉冲喷射的美国专利,在模型试验中这种间歇蒸汽能量喷水推进是十分有效的,1920年以前有无数的这种装置作为玩具出售。他们在研究分析的基础上,于1971~1974年间研制了一现代化的蒸汽水脉冲喷水推进器,每秒能完成四个循环过程,在模型试验中获得了令人满意的推力和效率,给间歇式喷水推进的发展注入了一线生机。

佩恩和纽豪斯还设计了一种以柴油机为动力的间歇式喷水推进器(图3),这种推进器的最基本形式是将柴油机和推进器组合在一起,直接利用柴油机活塞向下的垂直运动将水从喷口喷出,这种方法可省去曲轴和推进器叶轮,大大减轻推进装置的重量、简化推

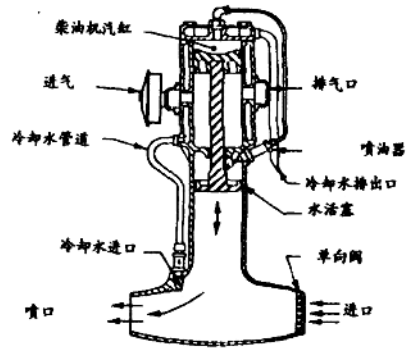


图3 佩恩和纽豪斯设计的脉动式喷射推进装置

进器结构。如果能够克服可能产生的振动以及阀门设计中的一些问题,这种推进装置可以说是经久耐用和富有效率的推进器。

利用内燃机所排出的废气人们也研制出了一种间歇式喷水推进器(图4)。其原理为:利用在排气冲程中从燃烧室中排出的高速气体的卷吸作用,使得水流经喷口喷出;在吸气冲程中,燃烧室中形成一定的真空,又可将水吸入,如此循环往复。据此原理,1946年芝加哥人麦克·科拉姆(H J Mc Collum)获得了世界上第一个喷水推进舷外机专利。

#### 4 底板式喷水推进装置(1918—)

1914—1918年战争期间,两艘英国的试验船为执行“某种特殊的任务”,安装了专门设计的喷水推进装置。这两艘船舶到底去执行什么秘密任务,到现在我们仍然不得而知。追求高航速可能不是其目的,也许在浅水中的航行能力才是最关键的。这两艘船的喷水推进装置委托英国皇家工程师吉尔(J H W Gill)设计,他在设计中引入了一些新的构思,这些新的构思大多在今天的喷水推进系统上依稀可以看到。这种前后安装的喷水推进装置(图5)将泵和管路结合为小巧的弯管

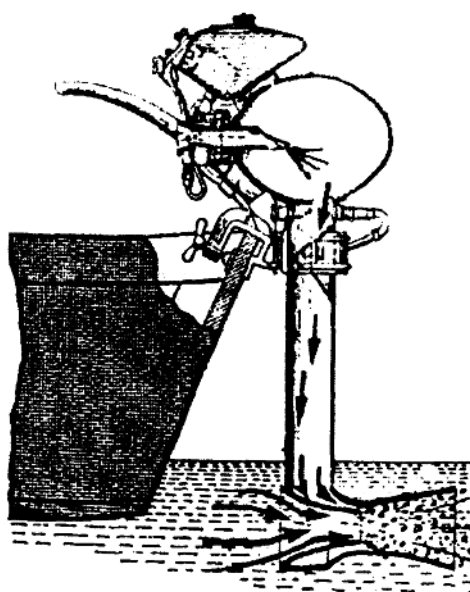


图4 科拉姆舷外脉动式喷水推进装置状的系统,安装在船体的内底板上。该装置具有斜倾的进口管道、轴流式的叶轮,叶轮安装在水平方向的驱动轴上。吉尔设计的另一大特点是根据反射水流的原理设计了一组合式的倒车机构,当该机构凸出船底时,便偏折喷射水流向船舶方向喷射。

#### 带操舵机构

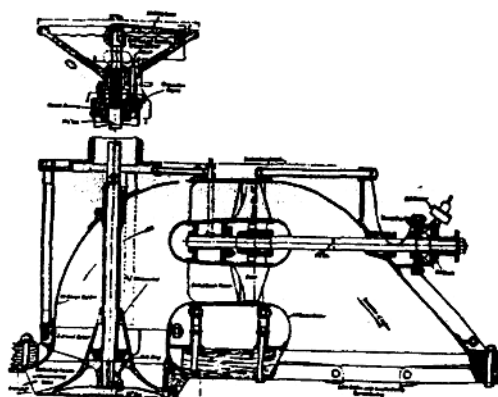
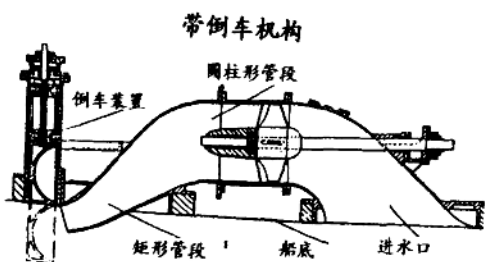


图5 带有操舵、倒车机构的底板式喷水推进器

战后,吉尔并未停止喷水推进的设计工作,他的推进装置和倒车机构即今天所说的倒斗最终获得了英国专利。1920年前后,位于伦敦的吉尔推进器公司设计开发了一个功率范围从3hp到100hp的底板安装式喷水推进装置系列(图5),可应用于船长介于3.65m~36.5m的各种类型的船舶上。吉尔还设计了世界上第一个可回转的喷口,通过改变水流喷射的方向实现对船舶的操纵。

采用吉尔喷水推进装置的船舶包括一艘1925年建造的伦敦港渡船,直到1944年还在英国皇家码头航行。另一艘安装吉尔喷水推进装置的船舶是英国皇家救生艇协会的救生艇,该艇建于1939年,是1936年~1941年间建造的九条9.75m长的冲浪级救生艇中的一条,由两台转速为2400rpm的汽油机驱动,推进器收到功率为13hp。在试航时航速大于6.5kn。同九条同级救生艇中的一条采用螺旋桨推进的相比较,航速低了1kn。

皇家救生艇协会的另外七条冲浪级救生艇均安装了霍彻基斯的锥形推进系统(图6),这种推进系统也是一种底板式喷水推进系统,1919年由唐纳德·霍彻基斯(Donald Hotchkiss)获得专利(图6)。该专利的原理是依赖一卧式离心泵,通过垂直方向安装的叶轮工作,将水从叶轮的侧面吸入,经过叶轮叶片的加速后,在叶轮切线方向上向船艏排出,到1927年时霍彻基斯已经将其专利发展为一精巧的整体式双叶轮喷水推进装置。霍彻基斯的推进装置具有特殊的锥形外形,这也就是其被称为锥形推进器的缘由。该推进装置上市时号称“适合任何船舶、任何吃水深度”,特别适合于在浅水中航行的船舶装用,只要船底下尚有10cm的剩余水深即可。此外,也比较适合于在多水草的水域中使用。将该种推进器安装在船艏艉部,还可避免在恶劣海况中叶轮飞车情况。其他的优点还有附体阻力小、保护性能好。据报道,到1946年时

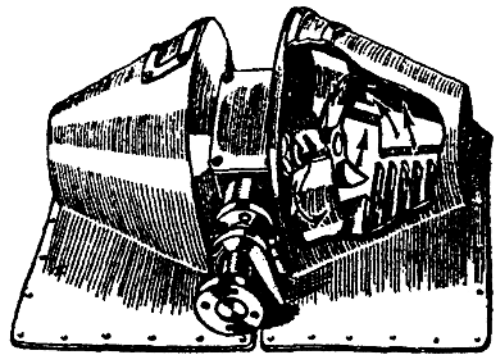


图6 霍彻基斯锥形推进系统

霍彻基斯的推进装置已经出口到16个国家,被几十艘船舶(船长从3.65m到45.7m)所采用。霍彻基斯的推进装置直到1960年才停止生产。

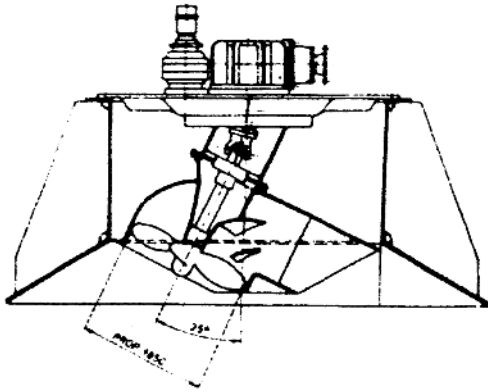
由于英国皇家救生艇协会的九条冲浪级救生艇中,一条采用吉尔喷水推进装置,一条采用螺旋桨推进,其余七条均安装了霍彻基斯的锥形推进系统,因此英国皇家救生艇协会对霍彻基斯的锥形推进系统同其他的推进方式进行了反复的对比研究。在每条救生艇上安装了两套霍彻基斯的锥形推进装置,每套由一台12hp的主机驱动,四个六叶叶轮的直径均为81cm,叶轮转速为204rpm。首制艇航速在静水中达6.82kn,在较恶劣的海况下航速仍可达6.66kn,有一条后续艇的航速达到了7.04kn。而采用螺旋桨推进的同级救生艇航速达到7.5kn。

这七条采用霍彻基斯锥形推进器的英国皇家救生艇协会的冲浪级救生艇平均服务年限达到了15年,共执行了216次的救生任务。

四十多年后,当德国的推进器制造厂商肖特(Schottel)公司加入底板式喷水推进的生产行列后,底板式喷水推进的发展方向有了很大的改变。肖特公司自1921年起生产推进器,德国的一艘内河渡船在1970年首次采用了肖特的底板式锥形喷水推进器(图7),肖特锥形推进器本质上是一个能提供360度

方向推力的吉尔推进器,但它还融入并改进了霍彻基斯的锥形推进器的某些特点。在工作时,肖特锥形喷水推进器的叶轮旋转平面同船底面相平行,将水吸入一弯管中,水流在弯管中改变方向,在几乎水平的方向上将水

### 肖特锥形推进器



流喷射出去。该弯管通过一套操控机构能够绕垂直轴线回转,因此能360度改变喷射水流方向。到1987年时,肖特锥形喷水推进器已应用到如渡船、挖泥船等多种船舶,功率覆盖范围从100kW到1200kW。

### 肖特泵喷射推进器

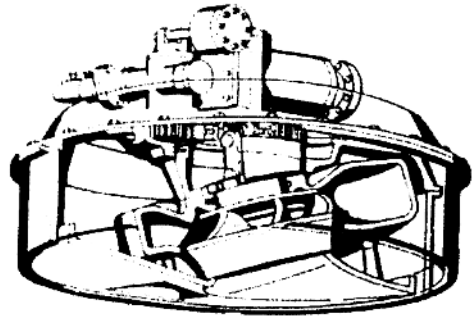


图7 肖特锥形推进器和泵喷射推进器

因为有用户提出需要一种具有较高推进效率、可在特别浅的水域中使用的推进装置,1977年肖特公司开发了另一种进一步改进的底板式的喷水推进装置—泵喷射推进器(图7)。它能够在10cm深的水中驱动船舶航行。泵喷射推进器采用了一大功率的立式离心泵,离心泵将水吸入蜗壳,经蜗壳将水以同水平成15度的方向喷射出去,通过转动蜗壳,能够360度改变推力方向。

据报道,第一代的肖特泵喷射推进器功率范围为20~400kW,泵效为70%。特别适合在浅水中使用。此外,在低航速时,泵的工作点偏向大流量,因此,系泊拖力较大。成功应用的例子包括1984年建造的工程兵舟桥拖艇,每条艇采用两台肖特泵喷射推进器,由168hp的风冷柴油机驱动。底板式喷水推进器对帆船也很有吸引力,1983年25m长的赛艇“梦费斯特”(Mephisto)号就安装了两台肖特泵喷射推进器。第二代的肖特泵喷射推进器自1987年开始研制,功率覆盖范围最高达到2600kW,新一代的肖特泵喷射推进器在

设计上有了一些新的提高,包括:用一扩散管取代蜗壳以减小水的旋转动量,从而减小推力的偏心。

## 5 艏板式喷水推进器

二十世纪五十年代,威廉·哈密尔顿(William Hamilton)根据喷水推进小船在新西兰激流航道中航行所获得的经验,在船艏安装了类似吉尔推进器的具有动物吸管状外形的喷水推进器,它将水紧贴着水面从艏封板开孔处喷向船外。由于喷射水柱直接射入空气中,因此第一次获得了高速喷射水流。该推进器通过安装在船底平面上的进口管道将水引到轴流式叶轮处,在进口处还装有格栅以防止将垃圾吸入。喷口穿过艏封板凸出在艏板外,喷口同艏封板间可靠密封。喷口上装有一可偏转的箱形舵,通过钢丝绳或操纵杆可控制箱形舵向左舷或右舷偏折喷射水流。但哈密尔顿并不是五十年代早期唯一研制艏

板式喷水推进装置的人,有资料表明,苏联在1954年建造了安装两台舰板式喷水推进器的近11m长的快艇,主要航行于河流上游的激流和浅水支流中。

到五十年代后期,由哈密尔顿创建的新西兰哈密尔顿喷水推进(Hamilton)公司开始

为汽艇和渡船提供喷水推进装置,同时还会同其他公司如英国的道蒂(dowty)公司一起联合设计喷水推进装置。其中,这两个公司联合设计的用于推进一7.6m长客船的喷水推进装置(图8),驱动功率为248hp,该船航速达到了34节。

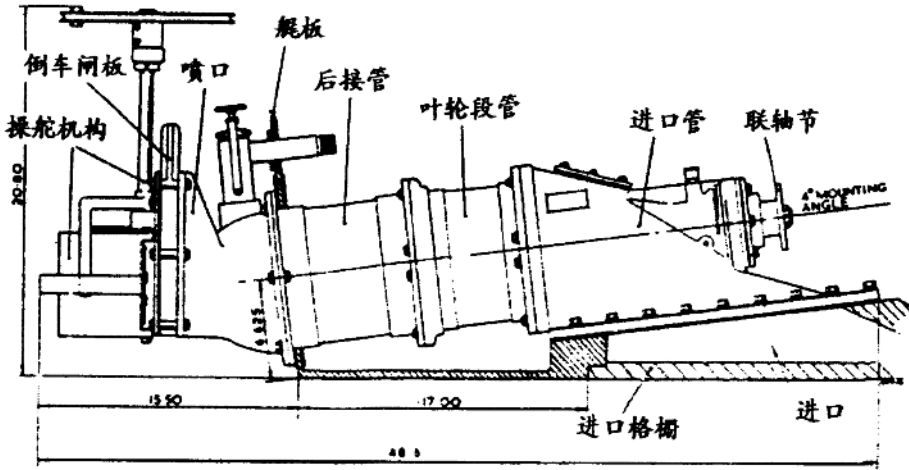


图8 哈密尔顿公司和道蒂公司1959年联合研制的喷水推进装置

继五十年代哈密尔顿公司和道蒂公司在喷水推进领域的联合开拓性工作之后,两家公司开始各自独立开发自己的喷水推进器,并逐渐提高了推进器的单泵功率和性能。道蒂公司即现在的尤特拉(Ultra)公司声称,在过去的三十五年里已经为各种船舶提供了15000多台喷水推进装置,其中大多数用于军用舰船,如八十年代早期大批装备英、美军队的攻击支援船。自那时起,在全世界范围内不断有新的制造厂商加入到舰板式喷水推进器制造的行列中。其中Castoldi公司于1958年;PPjet公司在1972年;Riva Lips公司在1975年;KaMeWa公司在1980年;川崎重工在1987年;AHJ公司在1988年;Kvaerner在1990年;Ulstein公司在1992年纷纷开始喷水推进装置的生产,并逐渐构成当今喷水推进主要以舰板式为主流的局面。

喷水推进原本被认为只适合于高速的小

型船舶使用,但随着喷水推进装置单泵功率的逐渐增大,使得越来越多的排水量超过1000吨的高速客船和车客渡船上采用了喷水推进。如:“德斯特理奥”号(Destriero)在1992年8月打破了横渡大西洋最短时间的记录,该船由14.7MW的燃气轮机驱动三台KaMeWa喷水推进装置,平均时速达到了53.09kn。意大利的“贵舟”号(Guizzo)车客渡于1993年投入营运,该船可载客450人、150辆小汽车和4辆大客车,时速达到45kn。该船由三台KaMeWa喷水推进装置推进,由一台20.8MW的GEC燃气轮机和二台3570kW的MTU柴油机驱动;最新一代的喷水推进高速车客渡如目前正在建造的“斯坦纳”号(STENA)双体船可载客1500人,375辆汽车,时速高达40kn,总驱动功率为69.4MW。喷水推进在这些船舶上的成功运用,使得这种推进方式在高速船舶运输中得



到了广泛的认可,同时也大大提高了喷水推进在船舶推进领域的地位。

自六十年代以来,喷水推进逐渐在水翼船上得到应用。由于水翼船高速航行时船体脱离水面,因此喷水推进装置必须采用冲压型进口取代常规的平进口,使进口始终位于水线以下,以防止吸空导致进流量下降。美海军排水量为 58.9 吨的高速深浸自控水翼导弹艇“图库姆卡里”号(Tucumcari)是由波音(Boeing)公司 1968 年建造的,时速超过了 40kn。在 1972 年被损坏并随即被拆毁之前的使用证实该船的喷水推进系统是十分成功的。在此基础上,波音公司建造了排水量 112 吨的“杰特霍尔”(Jetfoil)级的水翼船,该船同“图库姆卡里”号一样采用“鸭”式水翼布置,但只有一位于船体中部垂直布置的进口取代“图库姆卡里”号的双进口形式,水在进入进口后被分成两部分分别进入两台功率为 2760kW 的喷水推进装置。这二台喷水推进装置是由洛克戴因公司(Rocketdyne)研制的。

到七十年代中期,已有多艘“杰特霍尔”级高速水翼船投入使用,其中一艘卖给了英国皇家海军并改装成一艘高速海上巡逻艇,该艇于 1980 年 6 月开始服役,于 1982 年 4 月退役后转入民用,即现在航行于香港和澳门间的“里罗”号(Liluo)。波音公司在将“杰特霍尔”级水翼船生产许可权转让给日本的川崎重工之前共建造了 27 艘该型船,川崎重工至今共建了 14 艘。最高航速接近 50kn 的水翼船采用喷水推进完全可以满足使用需要,若采用螺旋桨推进,由于螺旋桨轴的倾斜角度会很大,必然导致严重的汽蚀发生。

在时下的高速舰船中,侧壁式气垫船(SES)采用喷水推进的数量较双体船要少一些。但是,在侧壁式气垫船上使用喷水推进是十分理想的,而且喷水推进尚有很大的潜能可用于航速更高的舰船上。美国海军在一艘航速可达 70kn 的侧壁式试验艇 SES100A

上作了大量的试验研究工作,该艇于 1968 年开始设计,由美国空间发动机公司(Aerojet general)制造,最早由两台混流式、双速、双级的喷水推进装置推进,采用冲压型进口,在 1974 年~1975 年间对进口系统进行了改进,采用了一种可以通过移动进口唇部来改变进口进流面积的平进口,因此可实现进口几何尺寸和过流特性的动态控制。

在最近几年中,一直有小批量的侧壁式气垫船投入建造,主要用于客运,当然也有军用的。其中,自 1987 年以来,KaMeWa 公司就为 30 艘以上的侧壁式气垫船提供了喷水推进装置,单泵功率大都在 1500kW 左右。这些气垫船基本上都是由挪威的造船厂建造的。

喷水推进之所以在近几十年中得到迅速的发展,其根源在于为了满足市场的需求,为了开拓新的应用领域,为了同常规的螺旋桨推进竞争,越来越多的厂商投入到喷水推进的生产、研究和设计中来,使得喷水推进技术的进步和提高不再仅仅是几个研究、发明者的事了。喷水推进制造厂商们主要在以下四个方面为喷水推进技术的突飞猛进和普遍应用作出了卓有成效的贡献:

首先是可供选用的喷水推进装置的尺寸、功率和推力都显著增大;其次,由于对进口、叶轮和喷口的设计质量的提高,特别是近年来采用了计算机辅助流体设计技术(CFD),使得喷水推进的推进效率有了很大的提高。第三是由于采取了一些切实有效的措施,采用了一些新的机构,使得早期喷水推进所具有的一些缺陷在一定程度上得到了弥补,如:采取了防止电化腐蚀的措施;采用了清除进口垃圾的机构以及研制了操纵性能优异的操纵装置等。第四,一些喷水推进的制造厂商已开发出使喷水推进器的操舵、倒车动作同主机转速进行优化联动的电子控制系统。