

船舶喷水推进资料汇编

第六机械部 第七研究院第七〇八研究所
工 业 部

1977年2月

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

转引自一九六六年十月二十九日《解放军报》

我们的方针是，一切民族、一切国家的长处都要学，政治、经济、科学、技术、文学、艺术的一切真正好的东西都要学。但是，必须有分析有批判地学，不能盲目地学，不能一切照抄，机械搬运。他们的短处、缺点当然不要学。

《论十大关系》

前 言

七十年代以来，船舶噴水推进技术有了重大的发展，应用范围也日益扩大，特别是用于軍用高速舰艇上。在这方面美苏两个超級大国都极为重視，从六十年代初就开始加紧研究和試驗，为爭夺海上霸权而相互竞争。本书汇编的資料主要是美苏两国噴水推进发展情况和有关技术資料，供有关方面参考。我們要遵循偉大領袖和导师毛主席的教导：“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。**”批判地吸收其中有用的部分，走我国独立自主发展造船技术的道路。

本书共收集五篇文章。第一篇概述了世界各国噴水推进技术发展的最新情况和它在各种舰艇上的应用。第二篇着重介紹了美国大馬力系列推进泵的性能和应用。第三篇是苏联噴水推进滑艇和水翼艇的噴水系統設計方法，資料比較系統。第四篇是用于設計噴水推进的系列軸流泵和軸流泵翼型的資料，均附有空泡性能的数据，便于設計中应用。第五篇是介紹美国的一种确定噴水推进系統主参数方法。由于篇幅有限，時間匆促，选用不恰当和資料不全面之处，在所难免，希讀者予以批評指正。

目 录

国外噴水推进技术的发展	1
用于高性能艇的噴水推进	8
非排水量船的噴水推进	19
国外軸流泵及翼型資料汇编	51
噴水推进泵的性能确定	61

国外喷水推进技术的发展

一、前言

喷水推进技术在最近特别是七十年代以来得到了较快的发展。目前已用来配备在新研制的和成批生产的多种高速战斗舰艇上,单机功率已达两万马以上,艇的最大设计航速达80节,充分说明了近年喷水推进的发展的势头。

喷水推进技术的快速发展与下面原因有关:

1. 在整个六十年代里对喷水推进理论作了大量的研究。各国各个公司均组织专门班子对影响喷水推进效率的各种因数和参数作了充分的研究和分析(见[1]),从而为喷水推进的发展准备了条件。

2. 专用推进系的研制取得了相当的进展,从而大大缩短了喷水推进与螺旋桨推进之间在效率上的差距。当前已有可能设计总推进效率为55%的喷水推进装置,使得在高速阶段可以与超空泡螺旋桨相匹敌。

3. 高速特种快艇的发展。水翼艇,侧壁气垫艇在取得试验验证和实用经验后,近年有向高速、大型发展的趋向。由于喷水推进具有传动机构简单可靠,主机不要反向及艇的附件少等优点,因而成为目前高速艇上最受重视的推进方式。

当然,国外这方面的发展也和其他方面一样,存在着力量重复(内容基本相同的研究报告,连篇累牍),技术成熟所化的时间较长,在发展过程中也走了不少弯路。这是资本主义的社会制度所决定的。

伟大领袖毛主席教导说“中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超

过世界先进水平”。经过无产阶级文化大革命,遵循毛主席的教导,我国造船工人和科技人员已跨出了新的步子,成功地把喷水推进技术应用到高速艇上,意气风发,斗志昂扬地继续努力,为迅速赶上和超过世界先进水平而奋斗!

本文的目的是介绍国外近来喷水推进技术的发展情况,分析其发展的特点,供国内研究人员和设计人员参考。

二、国外喷水推进技术的应用

喷水推进的主要优点,综合现有的应用情况,可归纳为如下几点:

1. 传动机构简单,布置紧凑,艇外附件少,在高速时效率与超空泡螺旋桨相接近;

2. 泵叶片安装在艇体内,不易损坏,适合浅水和内河中使用;

3. 喷水推进的水中噪音较小,不易为敌方侦听到;并有利于本身的水下收听系统的工作。

着重第一个优点而采用喷水推进的有:

水翼艇 水翼艇上最早成功地采用喷水推进的是苏联1962年制造的“海鸥”号水翼客艇。苏联水翼艇采用喷水推进的原因据[2]的分析,主要由于斜轴传动的螺旋桨在斜流中难以避免空泡和剥蚀,而齿轮直角传动装置加工复杂,成本昂贵,特别是大马力传动就更加困难。因此喷水推进当作有发展前途的高速推进装置。苏联建造的喷水推进水翼艇中公开发表的有4种,见表1。这4种艇的特点是均为双级轴流泵(“海燕”号后改为双吸离心泵)推进,进水口为长缝形(“涅夫卡”除外),而不是全压型进口。苏联正在设计的250客位“旋风”号水翼

表 1 喷水推进水翼艇性能表

船 名	PGH-2	PHM	Jetfoil 929-100	海鸥号	白俄罗斯号	海燕号	涅夫卡号
长度, L (米)	21.6	40.0	27.4	26.3	18.55	43.2	10.9
宽度, B (米)	5.94	8.6	9.5	3.8	4.64	6.0	2.7
排水量, Δ (吨)	57.5	235	112	14.3	14.5	65.5	6.0
主机功率, N_p (马力)	1×4250	1×16200	2×3300	1×1200	1×1200	2×3500	1×235
航速, V (哩/时)	50	50	50	52.5	40	55	30
(米/秒)	25.75	25.75	25.75	27.0	20.6	28.32	15.45
$\frac{V}{\sqrt{g\Delta^{1/3}}}$	4.18	3.31	3.74	5.55	4.21	4.51	3.68
$K \cdot \eta = \frac{40}{3} \cdot \frac{\Delta \cdot V}{N_p}$	4.64	4.98	5.83	4.3	3.31	3.54	5.25
国 别	美	美	美	苏	苏	苏	苏
建成年份	1968	1974	1974	1962	1962	1964	1967

渡船也是采用喷水推进[3]。

美国在六十年代里, 在深浸水翼艇取得进展以后, 认为适航性问题可通过自控系统来解决, 但是推进装置上还需探索。因为“苏帕拉玛”式水翼艇的斜轴传动对于深浸水翼艇显然是不合适的。而齿轮直角传动未能解决螺旋桨及支柱等的严重空泡剥蚀问题[4], 六十年代对“小水枪”号采用喷水推进装置的试验是一次重要的尝试。取得成功后, 就着手研制 PGH-2 水翼艇; 于 1968 年底试航。在此基础上于 1975 年发展成为批生产的北大西洋公约组织的导弹水翼艇(PHM)。PHM 导弹水翼艇是目前航速最高同时在波浪中失速最小的高速作战舰艇。美国还在制定发展大型作战水翼艇的计划, 打算在排水量为 540 吨级及 4,400 吨级的水翼艇上也采用喷水推进。

在民用方面, 美国对民用水翼艇的发展也主要是在解决了适航性和喷水推进技术之后才予重视的。“小水枪”号试验成功后, 1974 年美国波音公司制造了 110 吨 284 客位的喷水推进水翼客艇 Jetfoil 929-100 及专供出口的多用途喷水推进水翼艇。

法国正在进行 SA800 型 284 客位的民用水翼渡艇和 H851 型导弹水翼艇的初步设计, 这两个最新设计中都采用了喷水推进装置。连“苏帕拉玛”公司在新设计的 60 节 MT250G 导弹水翼巡逻艇上亦采用了喷水推进。

侧壁气垫艇 在六十年代里苏联和美国都开始在中速的侧壁气垫艇上采用喷水推进(见表 2)。七十年代美国研制了百吨级的侧壁气垫艇。在 SES-100A 上采用了喷水推进装置。SES-100A 和半沉浸超空泡螺旋桨推进的 SES-100B 一样, 是用于探索侧壁艇各项关键问题(如推进, 侧壁, 围裙, 升力系统及稳性自控系统等)的大型试验艇。在试验取得了经验后, 美国正着手发展 2,000 吨级 2KSES 侧壁气垫艇, 作为今后研制相近吨级的气垫护卫舰的第一步。在 2KSES 上已确定采用喷水推进, 由四台功率各为 27,500 马力(15℃时)的 LM-2500 燃气轮机带动四个泵组经由四个喷口喷水[3]。

着重第二个优点即泵叶保护性好而采用喷水推进的有:

内河滑艇 在六十年代里世界各国分别

表 2 噴水推进側壁气垫艇性能表

船 名	查 利 亚	澤 尔 尼 查	SES-100A	SKSES
长度, L (米)	22.1	22.3	24.9	72.69
寬度, B (米)	3.93	3.85	12.7	32.91
排水量, Δ (吨)	24.78	15.0	100	2200
主机功率, N_p (馬力)*	1100	265	4×3500	6×27500
航速, V (浬/时)	24.2	17.8	>70	80
国 别	苏	苏	美	美
建成年份	1963	1972	1974	預計 1981

* 包括風扇动力

制造了一批噴水推进內河滑行艇。其中较重要的是苏联用于黑龙江的 $\text{JI}\Phi$ -22 小型巡逻艇[5] 和美国系列生产用于侵略越南的 Mark I 和 Mark II 型玻璃钢巡逻艇[6]。西德和日本也研制了类似的噴水艇, 主要性能均见表 3。 $\text{JI}\Phi$ -22 小艇吃水为 0.25 米, 但在滑行时可通

过水深小于 0.25 米的河段; Mark I 和 II 两型在 1967~1970 年间共造了 500 多艘。其中百分之九十移交给南越傀儡政府供镇压南越人民武装之用。內河噴水推进滑行艇的大量采用证明了噴水推进在叶片保护及浅水防触底方面有显著的优点。

表 3 噴水推进內河滑行艇性能表

船 名	$\text{JI}\Phi$ -22	鋁壳噴水艇	噴水滑行艇	Mark-I	Mark-II	Hunt
长度, L (米)	6.60	6.50	6.88	9.30	9.60	7.62
寬度, B (米)	2.30	2.30	2.44	3.27	3.3	2.83
排水量, Δ (吨)	2.40	2.00	1.98	7.5	8.0	2.70
主机功率, N_p (馬力)	160	230	210	2×220	2×220	203
航速, V (公里/时)	48.0	65.0	53.7	46.4	46.4	53.7
(米/秒)	13.33	18.04	14.81	12.9	12.9	14.92
$\frac{V}{\sqrt{g\Delta^{1/3}}}$	3.70	5.12	4.23	2.94	2.91	4.04
$K \cdot \eta = \frac{40}{3} \cdot \frac{\Delta \cdot V}{N_p}$	2.67	2.09	1.85	2.94	3.12	2.65
国 别	苏	西德	日本	美	美	美
資 料 来 源	73年8月 “造船业”杂志	72年6月 “船舶和港口”	69年6月 “日本造船学 会論文集”	1972年后字232部队 “科技資料”73-4	73年4月 “遊艇”杂志	

水陆两用坦克 国外水陆两用的运输车上往往配备有一个小螺旋桨。但在水陆两用坦克

上, 为了避免作战中损坏螺旋桨, 则常采用噴水推进, 例如苏联就是这样。这种噴水推进利

用轴流泵，从布置和机动性出发常为双喷口，左右各一。

着重第三个优点即水声性能而采用喷水推进的有：

猎雷艇 英国“舒尔顿”号猎雷艇是“顿”级扫雷艇中第一批改装为猎雷艇的舰艇。于1955年建成，1965年至1967年间进行改装，改装时用喷水推进装置代替了螺旋桨[7]。

英国斯佩里陀螺仪公司研制的新扫雷器械，是由一艘4米长玻璃钢的遥控双体艇和一个被拖曳的潜水体组成。双体艇和潜水体均由猎雷艇通过声纳传递装置遥控。因此双体艇由两个15~20马力轻型柴油机带动两个喷水推进装置来推进[8]。

瑞典正在设计的最新猎雷艇M70也打算考虑采用喷水推进装置以使搜索声纳少受或不受螺旋桨噪音的影响[9]。

鱼雷 早在40年代美国就在研究鱼雷采用喷水推进的方案[1]，但是由于对喷水推进系统及泵的理论研究还跟不上需要，鱼雷主要还是用双反桨推进。60年代由于加强了水声系统的研究，对鱼雷推进器的无空泡和低噪音提出了要求，出现了一些研究回转体后部喷水推进的理论和设计方法如[10]。主要设想是尽可能利用回转体的伴流以提高推进效率；采用减缩导管以加大抗空泡贮备。美国近年来已完成

了MK48型喷水推进鱼雷的研制。目前各国正在继续加强这方面的研究。

除了上述的舰船采用喷水推进外，国外还在下列场合采用喷水推进(均参见[11])：

利用机动性好及不会打伤水中人员的喷水救生艇；

喷水推进拖网渔船和喷水推进渔船；

利用消防泵兼作喷水推进泵的喷水消防艇。

三、喷水推进泵的发展水平

七十年代以来国外在推进泵方面有了重要的发展，主要表现在下述三个方面：

1. 泵的比转速范围加大。五十年代的水泵专业书都认为轴流泵比转速范围是500到1,000。六十年代里部分书刊指出比转速可达到1,600而仍有很高的效率[12]。七十年代的国外资料表明，轴流泵比转速可以高达3,000[13]，这样对于采用轻型高速主机是有利的。

2. 泵的汽蚀比转速的加大。按[12]的资料，一般水泵的汽蚀比转速 C 值在1,300以下。但近年来美国火箭动力公司研制的Powerjet系列的泵 C 值已达到2,990[14]。

3. 泵的功率加大，六十年代末和七十年代初，单泵组的功率(如PGH-2水翼艇和

表 4 喷水推进泵性能表

序号	艇 名	泵 的 类 型	流量 米 ³ /秒	压头 米	转速 转/分	比转 速	汽蚀比 转速	泵功率 公制马力	泵效率 %	附 註
1	PHM 导弹水翼艇	单级混流泵	2.0	26	965	431	—	800	86.6	浮航用
2	PHM 导弹水翼艇	双级混流泵	6.05	173	$\frac{685}{1500}$	—	—	16200	86.2	翼航用
3	“小水枪”号	双吸离心泵	0.228	121.9	2360	107.5	—	425	87.0	
4	“涅夫卡”号	双级轴流泵	0.678	24.0	2300	1075	—	255	85.2	
5	PGH-2	双吸离心泵	1.583	168	1500	148	—	4140	86.1	
6	波音 Jetfoil	带诱导泵	1.46	164.5	2080	201	2990	3600	89.1	Powerjet 20
7	“美国企业”号滑翔艇	带诱导泵	3.07	108.0	1765	307	2250	5060	87.2	Powerjet 24

SES-100A 侧壁艇) 为 4,000 多马力。1975 年交付试验的 PHM 导弹水翼艇单泵组功率达到 16,200 马力。计划中研制的 2KSES 侧壁气垫艇单泵组功率达到 20,000 马力以上。

美国在推进泵类型选择方面, 有采用轴流

泵, 有混流泵, 也有离心泵, 有单级也有双级, 为提高抗汽蚀性能, 便于采用高速主机, 应用了诱导泵的技术(见[14])。美国的主要系列推进泵和配备战艇的专用推进泵的性能见表 4。用于 PHM 导弹水翼艇的泵解剖图见图 1 和图 2。

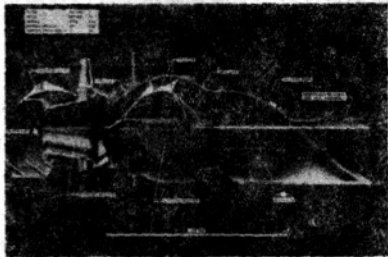


图 1 PHM 导弹水翼艇浮航推进泵断面图

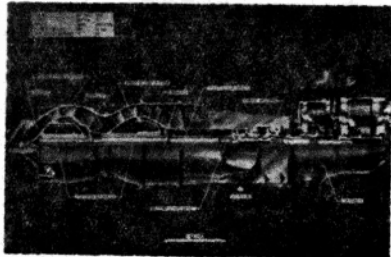


图 2 PHM 导弹水翼艇翼航推进泵断面图

图 1 与图 2 外文注解:

Flow 流量 米³/秒
Head 压头 米
Speed 转速 转/分
Power(Meter)功率(米制) 马力
Thrust Efficiency 推力效率 %
Nozzle 喷嘴
Second Stage Stator 第二级导叶
Impeller 叶轮
First Stage Stator 第一级导叶
Thrust Bearing 推力轴承
Water Out 出水口

Cutless Bearings 不加工轴承(指塑料轴承之类)
Second Stage Shaft 第二级泵轴
Water in 入水口
Gearbox 齿轮箱
1 Meter 1 公尺
Reverse gate 倒車斗
Stator 导叶
Access Port 手孔
Removable Bearing and Seal Assembly 可拆轴承和水封装置
Steering Nozzle 转动喷嘴

表 5 苏联系列轴流泵性能表

序号	泵 型 号	流量系数 K_Q	压头系数 K_H	比 转 速 n_s	汽蚀比转速 C	泵 功 率 η_K	资料来源	附 注
1	О8	0.442	0.22	445	1160	0.88	[15]	
2	ОД-1	0.467	0.082	980	1200	0.87	[12]	
3	ОД-2	0.75	0.062	1600	900	0.89	[12]	
4	ОД-10	0.58	0.060	1400	950	0.86	[12]	
5	ОД-18	0.88	0.110	1100	1220	0.84	[12]	
6	ОД-25	0.687	0.0387	3000	1005	0.91	[13]	C 按計算
7	ОБ-7	0.778	0.022	2500	1000	0.89	[13]	C 按試驗
8	ОБ-9	0.778	0.022	2800	1100	0.91	[13]	C 按試驗
9	ОП-3	0.408	0.13	508	1430	0.87	[15]	
10	ОП-5	0.496	0.135	690	768	0.86	[15]	

苏联没有发表大型喷水推进泵的资料。但却发表了不少标准系列轴流泵的性能曲线, [12], [15], 它们以无因次的形式表达。其中 OB-7 泵的性能曲线见图 3。各泵的性能见表 5。

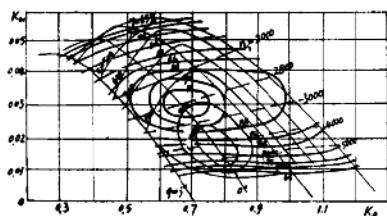


图 3 OB-7 泵特性曲线图

四、对喷水推进效率的评价

对各种推进方式的效率的粗略比较可参见图 4 [16]。从图 3 可看出, 喷水推进船舶在 80 节以下是比不上其他水动推进方式的。因此对喷水推进的优越性还有过严重争论。对喷水推进持否定观点的代表性文章见 [17], 在该文中埃尔斯涅茨认为喷水推进效率低, 管道及泵体内水的重量进一步降低艇的性能, 因而不如齿轮直角传动的超空泡螺旋桨有利。他认为曾存在于“高点”号和“旗竿”号上的后螺旋桨剥蚀问题和大马力(两万以上)直角传动机构问题都已找到解决的办法。

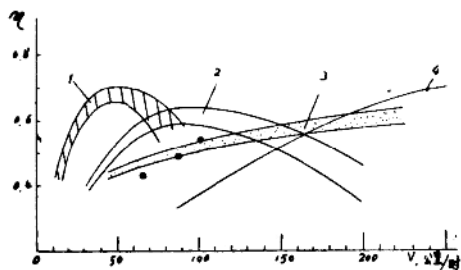


图 4 各种推进方式的效率比较

- | | |
|-------------|----------|
| 1. 常规无空泡螺旋桨 | 3. 喷水推进器 |
| 2. 超空泡螺旋桨 | 4. 空气螺旋桨 |

但是 74 年喷水推进 SES-100A 气垫艇试航成功后立即签订了发展 2,000 吨级的喷水推

进 2KSES 侧壁气垫艇的合同; 75 年导弹水翼艇 PHM 试航成功后, 75 年底又决定批生产喷水推进的 PHM, 作为北大西洋公约组织的定型装备。埃尔斯涅茨 74 年提出的意见并未为后来的实践所证实。目前喷水推进船所能达到性能指标已经可与螺旋桨推进的同类艇相互比较。图 5 是水翼艇的流体动力特性指标图。图 6 是滑行艇的流体动力特性指标图。图 6 中上方的点划线代表七十年代中期喷水推进滑行艇已达到的水平。由图 5 和图 6 上可看出, 喷水推进即使从效率上看也是可以站得住脚的, 且不去说它的其余优点了。这也许就是国外近年来大力发展喷水推进的原因。

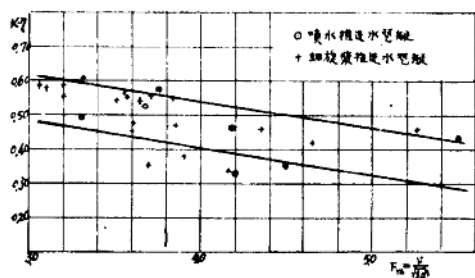


图 5 水翼艇的流体动力特性指标图

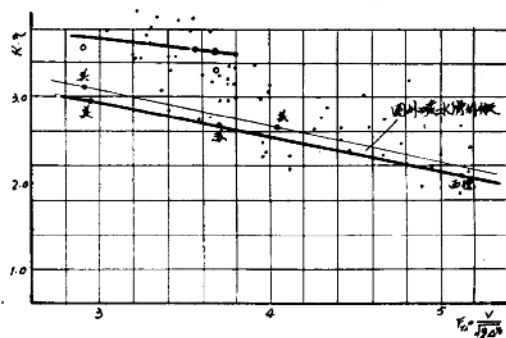


图 6 滑行艇流体动力特性指标图

● 为世界各国螺旋桨推进的滑行艇取自 [18]

参 考 文 献

- [1] 船舶高速喷水推进资料资料汇集 中国入民解放军南字 814 部队 1972 年 4 月
- [2] 苏联水翼艇发展的特点 Судостроение 1970 年 4 月

[3] 詹因氏水面快掠艇年鑑 1975~1976 年号

[4] 噴水推进水翼艇資料汇编(之二) 舰艇資料編輯室 1973 年 3 月

[5] 高速浅水小艇 Судостроение 1971 3 月

[6] 国外新型軍用小型船艇 科技資料(73)-4 中国人民解放軍后字 232 部队 73 年 7 月

[7] 詹因氏战斗舰艇年鑑 1976~1977 年号

[8] 利用双体小艇扫雷 舰船科技消息 74 年 №10, 七院十四所出版

[9] 瑞典的猎雷艇 M70 Navy International 1976 年 4 月

[10] 用于水动力推进的泵喷射(Pumpjets) 設計 宾夕法尼亚大学

[11] 噴水推进船題录索引和部分文摘 七院八所西室 1966 年 4 月

[12] 噴水推进軸流泵 巴比尔“Судостроение”出版社 1965 年

[13] 叶片式泵 格梁哥“Машиностроение”出版社 1975

[14] 用于高性能艇的噴水推进 本刊

[15] 高速船推进器 馬夫留道夫“Судостроение”出版社 1973 年

[16] 新运动原理船舶的設计特点 柯留查也夫等“Судостроение”出版社 1974 年

[17] 水翼艇的发展——成果和答疑 埃尔斯渥茨 A. I. A. A. 74-306

[18] 高速艇工学 丹誠羽一 1971 年版

金平仲 編譯

用于高性能艇的喷水推进

摘 要

本文介绍喷水技术的历史和发展以及其在军事和民用上应用。扼要论述喷水装置的各种特性和目前的水平。对影响一个喷水系统整个性能的主要要素作了论证。讨论了推进效率及其在评价喷水推进装置中的地位。简述装用喷水装置的现有小艇的概况,并介绍一些适用不同用途和功率的喷水装置设计。还意图评价“波音喷水水翼”艇,和交通艇“美国企业”号的设计。

引 言

概述

喷水推进在七十年代初期就得到迅速的进展;而目前已是可供多种用途的有价值的推进装置。许多论文作者已经承认它可作为推进系统的基本形式之一,它的应用超出了明显用于浅水和防范水面漂浮物损伤的范围,而这些原是当初选择这种具有高度适应性系统的主要原因。目前的技术保证在小直径下能够产生较大推力,极好的机动性,可采用不复杂的机器,较易选择机舱布置。由于直径小,转速高,可选用较简单轻便的传动。由于设计本身的简单化,提高了可靠性,而且在有些情况下大大降低成本。

比较喷水装置常常以理想效率作为基础。这就可能导致错误,因为分析的依据总必须是某些艇。由于泵的尺寸、压头和流量的关系将会和理想的不同。例如以水翼艇为例,如果单为考虑喷水推进的最佳性能,则喷水装置的尺寸较大,而艇的阻力将较高,因为增加吸入口的阻力。在给定马力下,其巡航速度势将降低,或因增加了泵和在船体内的水重,有效载重势将减小。为了决定喷水泵的最好参数和随之而来的整个推进系统,需要全面分析,权衡得失。滑行艇设计的矛盾没有那样复杂,因而更接近于理想,但是某些权衡得失,做出取舍,仍然是必须的。1960年~1970年之间,广泛使用诱导叶轮泵的火箭推进工业,使泵能达到吸入比转速达30,000而无空泡破坏。这种进步大大地有助于在低航速时达到大马力的要求,而且在给定马力下能够设计较小的装置。

水翼艇或滑行艇的喷水装置的最佳化,归结表现为在给定马力下的对尺度和设计的那些参数的。比较“波音929喷水水翼艇”的3,550马力的“PJ”20型喷水推进装置和为交通艇“美国企业”号设计的4,000马力“PJ”24型喷水推进装置,可见在尺寸、重量和资料上有显著的差别。

喷水推进的特点和性能

概述

喷水推进的作功原理与推进器一样,系加速大量水流以产生推力。推力等于流经泵液体单位时间的动量变化率。

$$T = \rho g(V_j - V_o) \quad (1)$$

式中 V_j = 泵的喷射速度

V_0 = 艇的速度。

喷水推进系统(图1), 包括冲压式的或平的吸入口、泵、操纵和倒车系统。这系统必须重量轻、效率高、直径小, 而且能在最小净压正吸头(NPSH)下无空泡破坏地运转。

决定喷水推进的推进效率为

$$\eta_0 = \frac{T_n V_0}{550 \text{ SHP}} \quad (2)$$

式中 T_n = 净推力。

文献[1]中, 还指出这个可当作总的推进效率(OPC)。在喷水推进系统中的损失, 可象图2表示那样来计算。 K_1 和 K_2 表示吸入口的扩散损失和弯曲损失, 而 K_3 表示喷口损失。在计算系统损失时, 还用提开高度(Z)和吸入口阻力系数(C_D)。阻力系数用来计算因吸入口阻力而使推力减少的值。算式如下:

$$D_p = C_{D1} A \frac{1}{2} \rho V_0^2 \quad (3)$$

$$T_n = \rho Q (V_j - V_0) - D_p \quad (4)$$

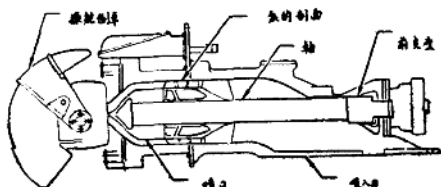


图1 典型的喷水装置

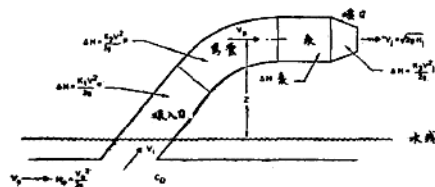


图2 喷水系统示意图

无论是就最佳 η_0 、外阻力、续航力、有效载重或是考虑重量来选择喷射速度, 从而也就选择了喷速比, 随即确定出泵的压头(ΔH)和流量(Q)。

例如:

$$Q = \frac{\eta_p \eta_{GB} \text{ SHP}}{\rho g \Delta H} \quad (5)$$

式中 η_{GB} = 齿轮箱的效率

η_0 = 泵的效率

和

$$\Delta H = \frac{V_j^2}{2g} (1 + K_3) + K_2 \frac{V_j^2}{2g} - (1 - K_1) \frac{V_0^2}{2g} + Z \quad (6)$$

进一步把这些代入 η_0 得

$$\eta_0 = \frac{2\eta_p \eta_{GB} \left[\frac{V_j}{V_0} - 1 - \frac{1}{2} C_{D1} \frac{V_0}{V_j} \right]}{1 + K_3 \left(\frac{V_j}{V_0} \right)^2 - \eta_{\text{吸入口}} + K_2 \left(\frac{V_j}{V_0} \right)^2 + \frac{2gZ}{V_0^2}}$$

表示了喷速比(V_j/V_0)对推进效率的关系

可采用的泵型

可用于喷水推进系统的泵有好几种型式, 最初使用是离心泵和轴流泵。离心泵具有高压头和低流量的特点, 轴流泵则具有低压头和高流量的能力。泵的评价特征值是比转速(图3):

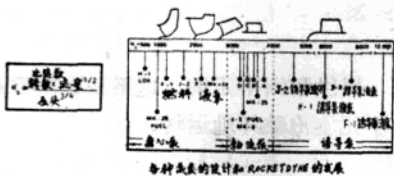


图 3 比轉數

$$N_s^* = \frac{N \sqrt{2}}{(H)^{3/4}}$$

式中 N = 泵的转速 转/分
 Q = 流量 加仑/分
 H = 泵的压头

这一参数反映在容积流量和压头范围上的运转能力。在低的 N_s 值时，离心泵有较高的效率，而轴流泵 N_s 值在 3,000 到 4,000 范围内将更适宜。

混流泵是离心泵转化而来的，它很快就被用于喷水推进，它能把压头有改进地转化为动能，而仍采用较小直径。

如果在给定直径下要达到较高压头，不论用何种泵型，都可用多级。

进入了空间宇宙时代，大型液体火箭引擎泵（达 63,000 马力）需要发展诱导叶轮泵。诱导叶轮是直接用于主要的离心泵或轴流泵之前，从而在低进口压力时，提供初始压头，因为多数火箭发动机要极迅速的启动（有些要的 0.7 秒内）。使得低压时能够运转的特征，以吸入比转速 (S_s) 来表示。 S_s 值高，就说明能够无空泡运转。

空泡现象是指在低压区汽泡或空腔的形成和破裂过程，它腐蚀金属，并引起效率或压头的降低。吸入比转数是表示泵的这种能力特征：

$$S_s^* = \frac{N \sqrt{Q}}{(NPSH)^{1/4}}$$

在 $13,000 < S_s < 16,000$ 范围的泵可考虑用混流泵而无空泡破坏（文献[2]）。作为喷水推进使用的诱导叶轮泵已经证明 S_s 值可达 30,000（文献[3]）。不需要长寿命的诱导叶轮（火箭发动机）已经做到 $S_s < 40,000$ 。如在图 4 所示，这种技术是相当新的。

在喷水推进运转中，空泡常常发生在转速和功率以下，当吸入压力低而要求马力大之时（在有些情况按巡航时的马力还高）。具有高 S_s 值的泵能够全部吸收马力，而转速是决定泵尺寸的一个关键。

设计良好的泵，其效率将在 88 到 90% 的范围内（文献[3]）。图 5 表示一般泵和诱导叶轮泵的关系。 N_s 值、 S_s 和 η_p 的关系。喷水推进泵必须具有的特性是压头中等而流量大。诱导叶轮能够满足

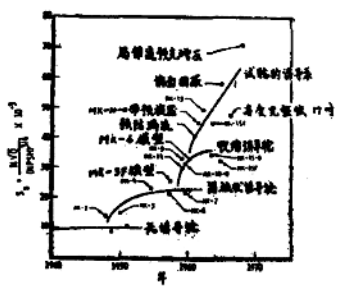


图 4 Rocketdyne 吸入性能发展情况

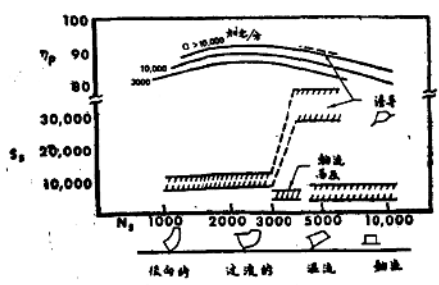


图 5 诱导泵的效率 and 吸入比轉數

* 譯註：此处英制 $N_s = 14.2$ 公制 N_s 。
 ** 譯註：此处英制 $S_s = 9.2$ 公制 C (C 即汽蝕比轉速)

S_v 值高、流量大、压头中等(250 到 1,000 呎), 而体腔小的各项要求。经过 1967 年对各种泵型的
研究后, Rocketdyne 选择了诱导叶轮泵作喷水推进用。图 6 是一个典型的诱导叶轮。一般用四
个满圆的叶片; 另有四个部分叶片用来缩短吸力段。随后是一列短的“划动”(Kicker) 叶片用
来完成约达 60% 的压头。(图 6 为照片, 略去)。

分析核算依据

很少有以最大推进效率作为唯一的准则来选择喷水推进用的泵。最好的选择首先是依据对艇
和推进系统的综合性能提出判断标准。文献[4] 指出推进系统的重量必须同效率一样考虑, 因为
水翼艇的燃料重量部分约佔 20%。还应当看到艇的性能不仅是喷水装置内部性能的函数, 同样是
它的外部性能(附体阻力)的函数。所以最合适的推进性能是综合分析权衡得失的结果。文献[5]
建议在最大航速, 巡航或最大续航力的速度, 以及阻力峰值时的运转等方面来支配推进系统的设计
和可能达到的性能。所以最好的推进装置表现为峰值, 巡航和最大速度诸矛盾要求间的最好协调。

计算能适合的喷水装置, 由验算阻力曲线开始着手, 这将确定在给定功率下的最高航速或是
要求的最高航速下的功率。图 7 给定的多种艇的阻力曲线, 用以表明对于喷水推进泵的不同依据
情况。图 8 表示典型的水翼艇对泵参数(压头和流量)和 S_v 两者都要着重考虑的要求。这个图上
显然看到两个特点: 阻力峰值超过巡航阻力和要求高 S_v 值的喷水装置。这种喷水装置必须按峰
值状况来估计, 应有足够的推力裕度以便在较低速度时所引起的较低的进口压力下可靠地运转。
所以推力曲线的斜度就需要高出只按理想效率而选择的压头。图 9 表示了压头和流量的关系。根
据文献[6], 这是分析依据的最重要部分。泵的大小根据其流量和净压吸头的要求来计算。设计
流量与压头成反比, 即压头增加, 流量减小

$$Q = \frac{\eta_p \eta_{GB} SHP}{\rho g \Delta H} \quad (5)$$

在低速推力能力和重量间存在需要权衡的矛盾。所以, 选定最佳尺寸和重量的考虑就包括加
上其他系统损失后的整个艇的最佳性能, 而不只是最佳效率。图 10 说明 η_o 对于选择喷水推进泵

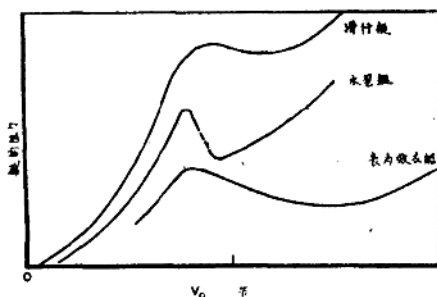


图 7 典型的船艇

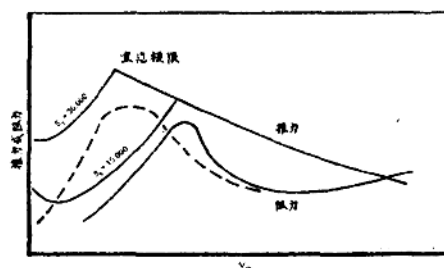


图 8 吸入比轉数对推力裕度的影响

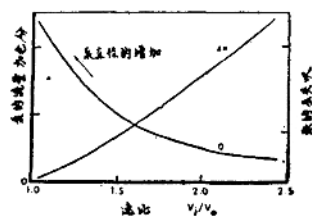


图 9 泵的流量和压头

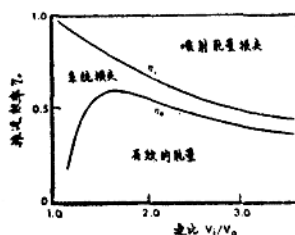


图 10 喷水推进能量的分配

年,但直到1804年还没有被实际采用。它到19世纪中叶才被广泛采用。从此遂成为船用推进的主要型式。

喷水推进装置用于娱乐游艇是早在1950年,但是直到1970年才变为这方面推进的主要方式。从那时起,其需要有迅速增长。当前约有十家公司向市场上提供喷水装置。而美国的Betkeley和Jacuzzi两公司居主要地位。

在最近几年,商用和军用的需要,也显得急剧增长。它们主要由Hamilton和Jacuzzi供应。在美国,这方面的使用主要限于Jacuzzi公司的14YJ和20YJ。它们都由柴油机驱动,功率最高可达500马力。由于14YJ和20YJ曾在越南战争时,大量用于内河舰队而出名。这些机组在墨西哥海湾的交通艇上也被采用过。

大马力的喷水推进现仍处于它的幼年时代,但已开始迅速发展。喷水推进装置系统已被美国海军水翼艇«Tucumcari»美国海军气垫船100A和喷水水翼渡轮等船证明十分成功。«Tucumcari»(图12)是一艘由波音(Boeing)建造的水翼艇,由约3,200马力的Byron Jackson的离心泵推进。Byron Jackson为Tucumcari提供双级离心泵。直到约一年前,它被毁坏时止,这种优异成就的艇曾到全世界范围海域中采用过。100A是由(Aerojet-General)通用航空公司建造的100吨气垫船,由每台达6000马力的两台喷水泵推进。Rocketdyne和Aerojet近来已经完成40,000马力喷水装置的施工设计和部件试验。该装置是供美国海军2,000吨气垫船推进之用的。

目前的使用者有美国金门大桥管理局渡轮喷水水翼艇,意大利的«飞鱼»,PHM型导弹巡逻水翼艇,«美国企业»,苏联的Burevestnik和Byelorussia诸艇。

金门大桥管理局将在旧金山海湾区域经营750客位,165呎的摆渡渡轮(图13)。这些艇开始营运将在1976夏天之后。每艘艇有三台Jacuzzi 36YJ喷水装置,各由2,500马力的Lycoming TF-35燃气轮机驱动,装配平吸入口,具有浅吃水和25节航速的能力。在试航时,第一艘艇在全功率时已经达到28.5节。

PHM型导弹水翼艇是艘50节的水翼艇,由波音公司建造。用三台喷水装置。水翼状态航行时的功率是16,000马力的双速喷水装置,

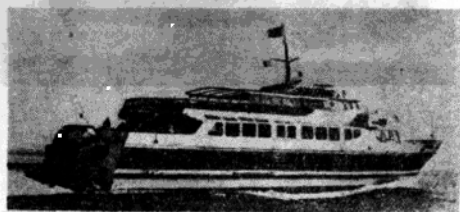


图13 海湾渡轮

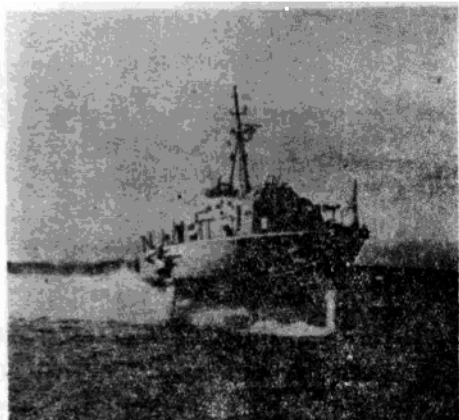


图12 Tucumcari号



图14 PHN Pegasus