

# 船舶喷水推进

金平仲 主编

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书介绍船舶喷水推进在各种船舶上的应用；喷水推进的原理、优缺点及适用范围；推进泵的选择以及在设计喷水推进系统时如何确定其主要参数等。目的在于向读者推荐正确设计喷水推进系统的方法。

本书可供船舶科研设计单位、造船厂及船舶使用部门的科技人员参考，也可供大、中专院校船舶专业师生参考。

船舶喷水推进

金平仲 主编

\*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京七一四印刷厂印刷

\*

787×1092 1/32 印张11 234千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷 印数：001—870册

统一书号：15034·2937 定价：2.50元

## 前 言

喷水推进是一种特殊的推进方式。它和其他推进器不同之处在于推力不是直接由推进器产生，而是利用喷出水流的反作用力来推动船舶前进。

从开始提出喷水推进到现在已有三百多年，其历史与螺旋桨推进同样长久。但是近百年来，在船舶推进中占统治地位的是螺旋桨推进。通过长期的研究和实践，螺旋桨的理论日益完善，相比之下，喷水推进技术的发展速度要比螺旋桨推进缓慢。它得到真正的推广应用还是在近三十年。其原因是多方面的，主要是由于喷水推进是“船体管道加推进水泵”，相互关系比较复杂，喷水推进的理论不易为人们认识；其次是由于长时间内还不具备生产高速发动机和高效率水泵的工艺技术条件。这些都使得喷水推进处于很不利的竞争地位。

然而，喷水推进毕竟具有一些独特的优点，例如，船外附件少，传动机构简单以及推进泵叶片装在泵体内，不易受损等，所以本世纪中叶以来，各国对喷水推进的研究有增无己。五十年代喷水推进较多地应用于内河低速船上，六十年代高速艇上开始采用喷水推进。七十年代以来，喷水推进技术发展迅速，已用于多种军用舰艇和民用船舶上。当前，在高性能艇领域里，喷水推进和螺旋桨推进占有同等重要的地位。

喷水推进技术的迅速发展与下列原因有关：

(1) 喷水推进理论的研究得到重视。从五十年代后期到整个六十年代，各国均组织专门人员对影响喷水推进效率的

各种因素和参数作了充分的研究和分析<sup>[1][2][3][4]</sup>，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进展。在水系的效率、抗汽蚀、抗腐蚀性能和轻型化方面，六十年代后期已解决了关键问题。各种类型的推进系(轴流系、混流系和离心系)都取得了成就，单系组功率已达到几万马力<sup>[5][6]</sup>。

(3) 进水口和管道部分的研究。七十年代以来，为了用于高速艇，对减少进水口的阻力和空泡，减少管道的损失等方面作了广泛的研究和试验<sup>[7][8][9]</sup>，使系统效率有所提高。

(4) 高速特种快艇的发展。水翼艇、侧壁气垫艇在喷水推进装置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<sup>[5][10]</sup>。

我国解放以后，从五十年代末到六十年代，对内河喷水推进船舶有过一定的研究和实践。七十年代起，把喷水推进应用于快速艇上，取得了一定的成绩。但总的来说，在喷水推进系统的设计和试验以及高效率大功率水系的研究和试制方面，与国外先进水平相比还有一定的差距。本书的目的是介绍国内外喷水推进技术的应用和发展情况，供国内科研、设计人员和用船部门参考。

本书第一、二、三、六、七章由金平仲执笔。第四章由沈奉海、第五章由王立祥、第八章由曾松祥、第九章由梁仲德执笔。最后由金平仲统一校阅，并请盛子寅校阅部分章节。

由于编者水平所限，恳请广大读者对书中不足之处批评指正。

# 目 录

第一章 船舶喷水推进的发展简史.....	( 1 )
一、国外喷水推进的发展简史 .....	( 1 )
二、我国喷水推进的发展简史 .....	(25)
第二章 喷水推进的展望.....	(41)
一、喷水推进的优点和缺点 .....	(41)
二、喷水推进的展望 .....	(56)
第三章 船舶喷水推进的理论.....	(67)
一、理想推进器 .....	(67)
二、实际推进器 .....	(72)
三、喷水推进系统与船体相互作用 .....	(89)
四、影响系统效率诸因素的探讨 .....	(99)
第四章 管道损失和边界层影响 .....	(105)
一、喷水推进系统的管道损失 .....	(105)
二、估算管道阻力的方法和资料 .....	(110)
三、用试验方法测量管道阻力系数 .....	(128)
四、界层影响系数的计算 .....	(136)
第五章 船用喷水推进泵 .....	(146)
一、泵的主要特性参数 .....	(146)
二、泵的基本方程 .....	(147)
三、速度三角形和速度多边形 .....	(149)
四、泵的相似原理及其应用 .....	(151)
五、泵的空泡 .....	(163)
六、泵的试验和通用性能曲线 .....	(174)

七、船用喷水推进系的特殊要求 .....	(184)
<b>第六章 喷水推进系统主要参数的选择 .....</b>	<b>(191)</b>
一、概述 .....	(191)
二、基本方程式 .....	(193)
三、选择主要参数的步骤 .....	(194)
四、综合选择主要参数的实例 .....	(203)
五、主要参数的复核 .....	(215)
六、喷水推进特性曲线的绘制 .....	(220)
<b>第七章 喷水推进系统主要部件的设计 .....</b>	<b>(228)</b>
一、进水口 .....	(228)
二、扩散段 .....	(241)
三、喷口段 .....	(243)
<b>第八章 舵和倒航组合操纵设备 .....</b>	<b>(251)</b>
一、概述 .....	(251)
二、喷水推进船的倒航和操纵性能 .....	(254)
三、各种倒航-舵组合方案 .....	(265)
四、喷水推进操纵设备的设计 .....	(286)
<b>第九章 喷水推进的传动机构 .....</b>	<b>(307)</b>
一、动力装置传动方式的比较 .....	(307)
二、国内已建成的高性能喷水推进艇的动力 装置传动系统 .....	(317)
三、通气阀的应用 .....	(321)
<b>主要符号对照表 .....</b>	<b>(330)</b>
<b>附录 I 国外喷水推进装置系列 .....</b>	<b>(335)</b>
<b>附录 II 比转数、汽蚀比转数、流量、       压力的单位换算 .....</b>	<b>(338)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(340)</b>

苏联内河中央设计室设计的喷水船效率高于其他型式的喷水船，但整流片与舵叶之间的距离太长，徒然增加水力损失；此外舵也不必放在管道内，这两项可使管道缩短40%之多，参见图1.6。

五十年代的喷水推进系统设计尽管还存在缺点，但比以往整个世纪要进步得多。也正是由于五十年代的努力，才为六十年代以后的发展作了必要的准备。

### 3. 发展的时期

六十年代以来，喷水推进进入重点研究和发时期。世界各国特别是美国和苏联投入了一定的研究力量和经费，因

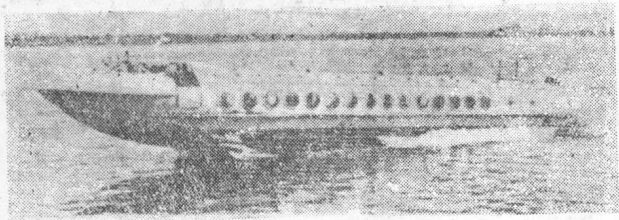


图 1.9 “海鸥”号水翼艇

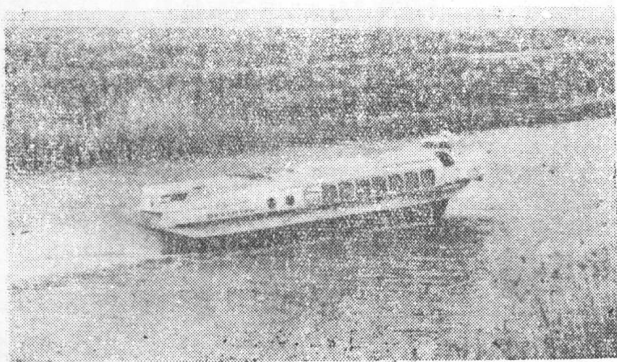


图 1.10 “白俄罗斯”号水翼艇

此喷水推进在高性能船艇上发展迅速。下面分别予以介绍。

### (1) 水翼艇

1962年苏联首次在水翼艇上采用喷水推进，喷水推进装置是先由三级轴流泵，以后由两级轴流泵组成，分别在试验艇上试验后，再装到“海鸥”号(Чайка)内河水翼客艇上去。随后接连在“白俄罗斯”号(Белорусь)和“海燕”号(Буревестник)两艘水翼客艇上采用多级轴流泵喷水推进装置。这些艇的主要尺度和性能见表1.1<sup>[13]</sup>。外形见图1.9、1.10、1.11。



图 1.11 “海燕”号水翼艇

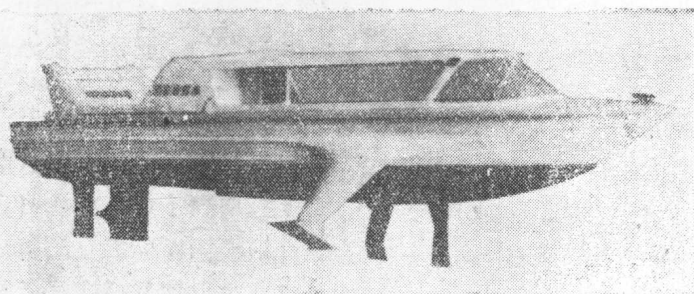


图 1.12 “涅夫卡”号水翼艇



苏联六十年代的三艘喷水推进水翼艇在喷水推进技术上比以往有进步，但由于系统设计特别是进水口的设计不合理，加上所配的轴流泵效率也不高，因此水动力性能不够理想，这三艘艇并未再度投入建造和营运。1971年出现了新的喷水推进水翼艇“涅夫卡”号(Невка)<sup>[14]</sup>也是采用两级轴流泵，水动力性能大有提高，见图1.12。1975年出现了大

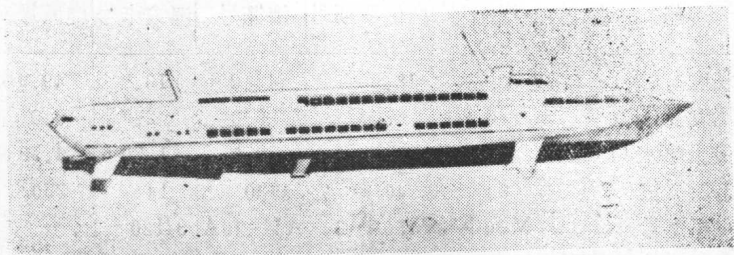


图 1.13 “旋风”号水翼艇

型 250 客位的喷水水翼艇“旋风”号(Циклон)<sup>[6]</sup>。这是一艘双甲板、襟翼自动控制、全焊接铝结构、双燃气轮机、轴流泵推进的水翼客艇(见图 1.13)。体现了苏联水翼艇设计和喷水推进技术的新成果。目前已在黑海边的波蒂批量建造。

美国波音公司本是以设计制造飞机为主的，1959年成立了波音船舶系统，从事水翼艇

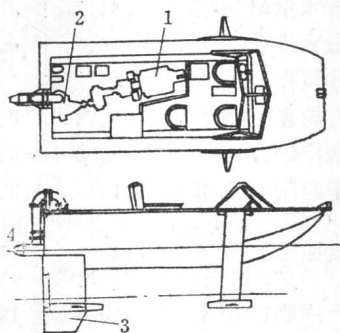


图 1.14 “小水枪”号水翼试验艇

- 1—燃气轮机； 2—双吸离心泵；  
3—支柱及进水口； 4—喷口。

的研究。波音在发展水翼艇的同时，也开展了对喷水推进的研究。1962年，波音为了试验喷水推进装置，建造了“小水枪”号(Liffle Squirt)试验艇(图1.14)，它采用一台离心泵作为推进系<sup>[15]</sup>。

表 1.1 苏联喷水推进水翼艇性能表

船 名	海鸥号	白俄罗斯号	海燕号	涅夫卡号	旋风号
长度L(米)	26.3	18.55	43.2	10.9	49.9
宽度B(米)	3.8	4.64	6.0	2.7	8.0
最大吃水 $T_M$ (米)	1.10	0.90	2.0	1.70	4.50
客 位	30	40	130	14	250
主机型号	M50Φ-3	M50Φ-3	АИ-20А	3Д20	—
台数, 功率(马力)	1×1200	1×1200	2×2700	1×235	2×5000
航速V(节)	52.3	36.5	51.3	30.0	45~50
排水量Δ(吨)	14.26	14.50	65.6	5.90	140
最大浪级(米)	0.4	0.50	1.20	1.0	3.0
水泵级数	2级轴流	2级轴流	2级轴流	2级轴流	2级轴流
叶轮直径(米)	0.746	0.462	0.746	0.35	—
毂径(米)	0.50	0.30	0.50	0.14	—
螺距比 I级/II级	1.15/ 1.26	1.30/1.40	1.15/ 1.26	0.90/—	—
盘面比 I级/II级	1.35/ 1.65	1.2	1.35/ 1.65	1.10/ 0.877	—
叶片数	13	10	13	4	—
叶轮转速(转/分)	1070	1850	1070	2250	—
$K_T = 6.86 \frac{\Delta V}{N_p}$	4.3	3.02	4.26	5.25	4.80
建造年份	1962	1963	1964	1967	1975

在“小水枪”号取得成功经验后，波音公司接着于1968年建成第一艘军用深浸自控水翼艇PGH-2(图1.15)，又名“图库姆卡里”(Tucumcari)，它和“小水枪”号一样都是采用单级双吸离心泵<sup>[16]</sup>，单泵功率已达到4000马力以上。这艘水翼巡逻炮艇曾分别在美国海军太平洋和大西洋舰队两栖作战部队以及地中海美国第六舰队中服役过。

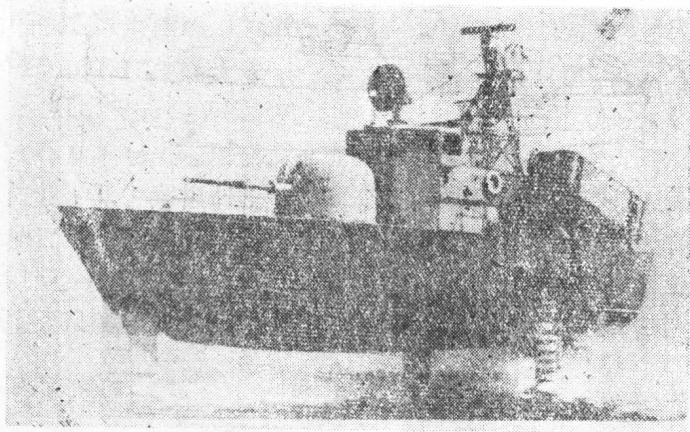


图 1.15 “图库姆卡里”号水翼艇

1971年美国政府决定投资560万美元交付波音公司作为一艘230吨水翼艇的初步设计和购买主要机械设备和电子设备的费用。1973年6月美国政府与波音公司签订了4200万美元的合同，决定制造“飞马座”(Pegasus)导弹巡逻快艇。1975年2月建成试航(图1.16)，这艘水翼艇的翼航推进泵采用了双级混流泵，浮航采用两台单级混流泵，试验结果说明整个艇和推进系统均是成功的，1977年列入美国海军现役，

现已成为北大西洋公约组织的高速导弹巡逻快艇，代号为 NATO/PHM<sup>[6]</sup>。

在发展“飞马座”大型军用水翼艇的同时，美国又把喷

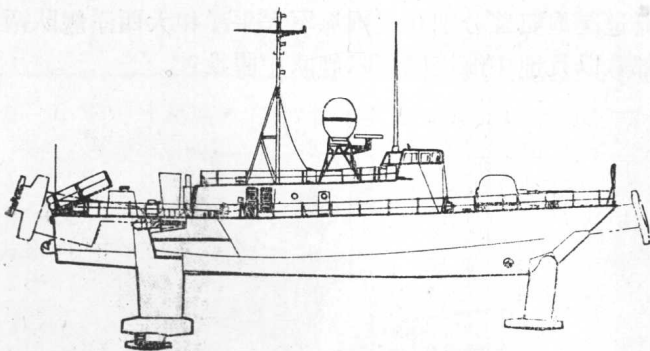


图 1.16 “飞马座” (NATO/PHM)水翼艇

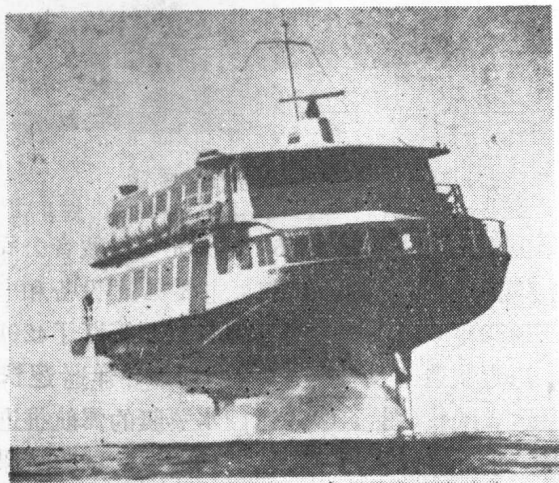


图 1.17 波音929-100喷水推进水翼客艇

水推进技术和自控深浸水翼用到民用水翼艇上,这就是250客位的波音喷水客艇929-100(Boeing Jetfoil)<sup>[17]</sup>,见图1.17。目前已交船10条以上,已经在航的航线有日本国内航线、委内瑞拉沿海航线以及香港——澳门、英国——比利时、英国——法国、英国——爱尔兰等航线。

这两型水翼艇的发展,说明了美国虽然起步比苏联晚,但是通过20年的努力,很快居于领先地位。从水泵的选型和功率来看,美国选用了离心泵和混流泵来取代苏联60年代的多级轴流泵,效率也较高。单泵组功率达到了16000马力以上,苏联只达到5000马力。

在水翼艇上采用喷水推进的其他国家主要是意大利。他从波音公司得到特别许可来制造与“图库姆卡里”同型的改进型“剑鱼”号(Sword fish)。第一艘于74年交付意大利海军<sup>[18]</sup>,它是一种攻击与防御两用的导弹炮艇。这些水翼艇的主要尺度和性能见表1.2,外形见图1.18。

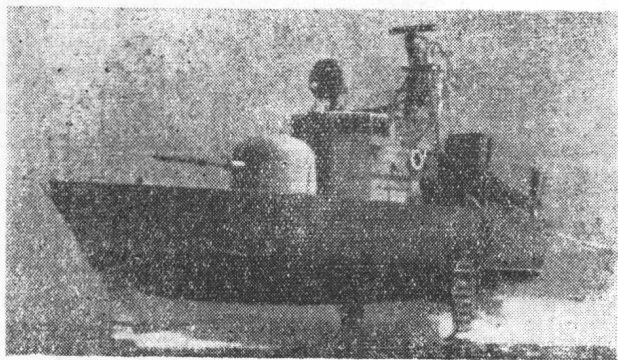


图 1.18 意大利“剑鱼”号喷水推进水翼导弹炮艇

表 1.2 美国喷水推进水翼艇和“剑鱼”号性能表

船 名	小水枪号	PGH-2	PHM	波音 Jetfoil	剑鱼号
长度L(米)	6.71	21.64	40.2	27.4	22.95
宽度B(米)	2.49	5.94	8.60	9.50	7.0
最大吃水 $T_M$ (米)	1.68	4.30	7.10	5.0	4.40
主机型号	波音502 型燃气轮 机	海神1270 型燃气轮 机	LM- 2500	Allison 501-K20A	海神 15M (553)
台数, 功率(马力)	1×475	1×4250	1×16200	2×3600	1×5000
航速V(节)	48~57	40~50	40~50	42~50	41~51
排水量 $\Delta$ (吨)	2.65	57.50	235	110	62.5
最大浪级(米)	0.762	4.0	4.0	3.65	—
水泵型式	双吸离心	双吸离心	双级混流	诱导轮 混流泵	双吸离心
水泵压头(米)	121.9	168	173	164.5	—
水泵流量(米 <sup>3</sup> /秒)	0.228	1,583	6.05	1.46	1.77
水泵转速(转/分)	2360	1500	685/1500	2080	1560
水泵效率(%)	87①	86.1	86.2	89.1	—
推进效率(%)	48②	—	—	—	—
$K \cdot \eta = 6.86 \Delta V / N_p$	1.83~ 2.18	3.71~ 4.64	3.98~ 4.98	4.40~5.24	3.51~ 4.37
建造年份	1962	1968	1975	1974	1973

① 当主机功率为425马力时。

② 航速为45节时的推进效率。

## 2) 气垫艇

1963年苏联首先在侧壁气垫艇“试验一号”(Опытный-1)上应用喷水推进。“试验一号”即为“黎明”号(Заря)的前身。“黎明”号系由河运部中央设计室设计,由莫斯科

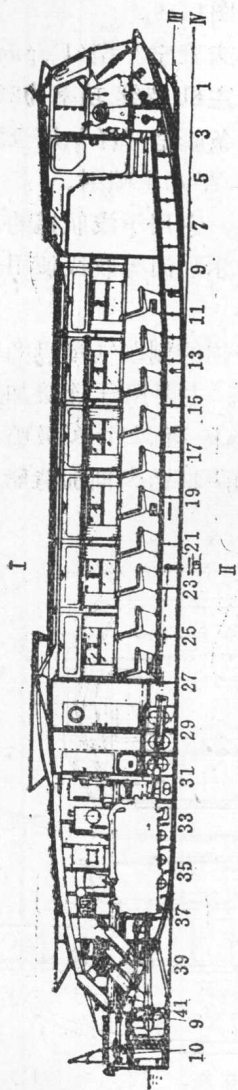


图 1.19 苏联“黎明”号气垫艇

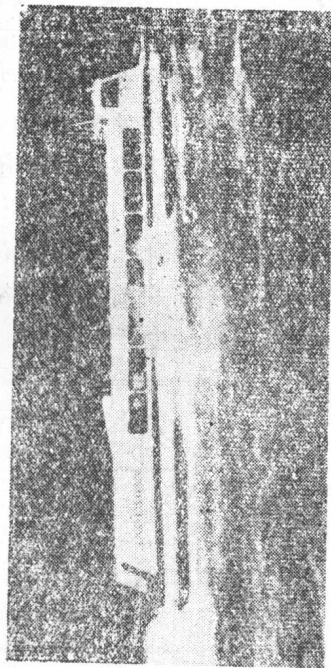


图 1.20 “泽尔尼查”号气垫艇

造船厂和河运部修船厂批量建造的，见图1.19。

1968年苏联建成28客位的“哥尔格夫查宁”型(Горковчанин)侧壁气垫艇，采用喷水推进。主机持续功率为250马力，其中约30马力用于离心风扇。这条艇是“泽尔尼查”的前身<sup>[6]</sup>，所用的水泵是单级轴流泵，半水上喷射。

1972年“泽尔尼查(Зарница)试航，它用于浅航道的二级河流，1974年陆续交付给卡马河、伏尔加河等航线使用。目前还在批量生产，外形见图1.20。

1972年苏联在列宁格勒建造了80客位的侧壁气垫艇名叫“猎户座”(Orion)，1975年正式试航。主要用于连接加里宁市和索兹(Соз)河沿岸的城镇。它配备有两个单级喷水泵，半水上喷射。目前正在基洛夫区的萨斯诺夫斯加造船厂(Сосновска)批量生产。

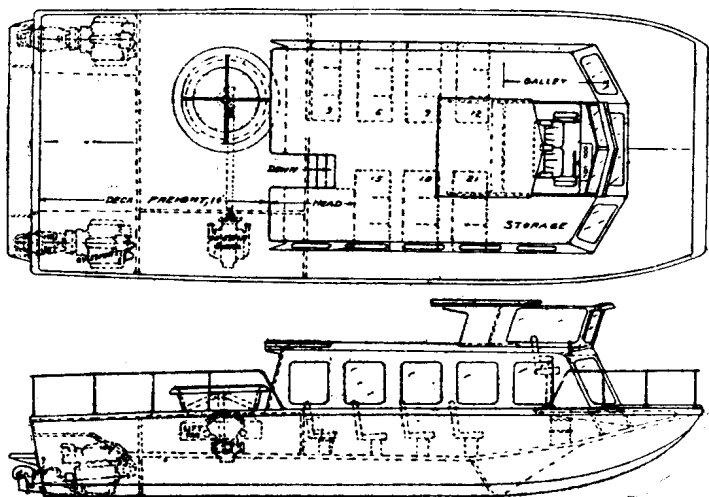


图 1.21 42英尺侧壁气垫艇



表 1.3 喷水推进气垫艇

船名	Заря	Горковчанин	Зарница	Огонь	Рассвет	SES-100A	42英尺艇
长度(米)	22.1	22.3	22.3	25.8	26.5	24.9	12.8
宽度(米)	3.93	3.85	3.85	6.5	7	12.7	5.18
排水量(吨)	24.78	14.3	15.0	34.7	45	100	—
主机型号	M400	3Д6Н	3Д6Н	3Д12И -520	—	TF-35	—
推进主机功率 (马力)	1100	250	250	2 × 520	2 × 520	4 × 3100	—
每分转速	1800	—	—	—	—	—	—
载客人数	60	48	48	80	80	—	21
水泵型式	单级轴流	单级轴流	单级轴流	单级轴流	单级轴流	轴流, 混流	轴流
叶轮直径(米)	—	0.41	—	—	—	~0.46	—
航速(节)	24.2	16~19	17~18	32.3	25	80	33
建造年份	1963	1968	1972	1975	1976	1974	—