

全浮式气垫船传动装置的设计

陈蒲英 徐振忠

〔提要〕 本文扼要介绍气垫船近十几年来在国外的应用情况以及在我国的发展前景,介绍全浮式气垫船若干传动系统型式;重点阐述全浮式气垫船对传动装置的设计要求,并从试验角度提出某些需要注意的事项。

主题词: 气垫船 传动装置的设计

一、概 述

全浮式气垫船是利用高于大气压的空气产生气垫使船体脱离支承表面高速航行的水陆两栖船。它具有优越的高速性(民用气垫船航速为50~60节,而军用的可达70~80节,甚至是100节);具有一定的越障能力,能越过0.8围裙高度的垂直障碍,和飞越约 $\frac{1}{4}$ 艇长的壕沟;又因气垫压力较小对水下物理场影响甚微,因而能顺利地通过雷区。由于它具有高速、两栖和良好的通过性等优点,在军事上有特殊使用价值,如用作登陆艇、扫雷艇、巡逻艇、导弹艇、导弹攻击艇和后勤支援艇等。见(图1)。在一般车船难以到达的地区,如沼泽、冰原、草地、急流险滩等地还可以担负交通运输,救护等任务。近几年来气垫船作为旅游工具,在海峡之间进行高速客运与日俱增,因而作为民用船只,它的发展也极迅速。

气垫船发展至今已进入军用和民用实用

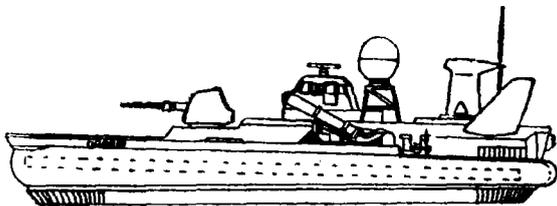


图1 英BH7-6型导弹攻击艇

阶段。据不完全统计:

——全世界有400余艘中小型气垫船和气垫平台。

——全世界有20多个国家拥有气垫船。

——商业气垫船航线已有30余条(香港-广州航线是其中之一)。

——正在服役和用作试验的军用气垫船有90多艘。

我国气垫船的研制工作起步不晚。1965年就建造了第一条全浮式试验船,目前已发展到第二代60~70吨级的大型试验艇。并已先后建造了十多艘气垫船,现在正处于向商业用和军用实用艇过渡阶段。

最近,我国将以航空改装的燃气轮机组装备一艘全浮式气垫艇。这将是我国第一艘以燃气轮机为动力的气垫艇,它的陆上及装艇试验成功,不但将加速燃气轮机而且也将加速气垫船的发展。

二、全浮式气垫船的

传动系统

气垫船的高速度首先取决于它的动力装置要有足够大的功率,同时又要具备苛刻的重量尺度指标,这只有采用轻型的大功率燃气轮机才能得到满足。

大部分以燃气轮机为动力的推进系统是

采用一台燃气轮机进行桨扇联动的方案。详见(图2),认为联动方案可在航行条件变化时使垫升系统和推进系统之间能更合理地使用和分配燃气轮机总的有用功率,从而提高经济性。

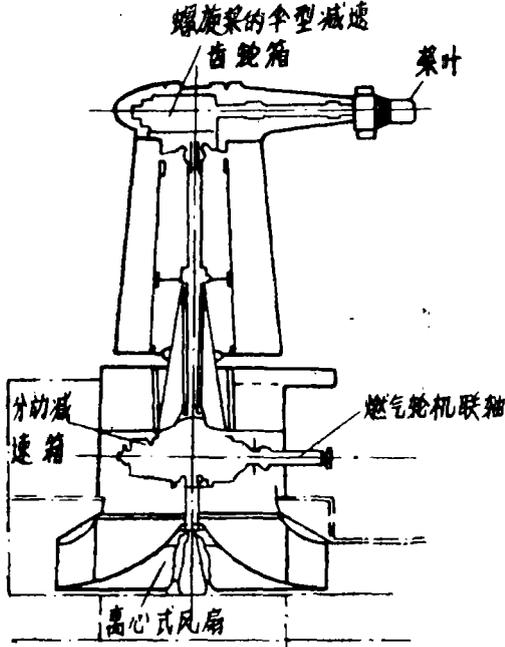


图2 英SRN4气垫船桨扇联动方案

英国军、民两用的SRN4全浮式气垫船采用4台3400轴马力燃气轮机,日本PP-15全浮式气垫客艇采用2台1950马力燃气轮机以及我国722II全浮式气垫船采用2台3000马力燃气轮机,分别布置于船的中线两侧。也有采用多台燃气轮机实行并车方法形成桨扇联合装置,如美国的JEFF(B)两栖攻击艇,用6台2800马力燃气轮机实行每侧三机并车。

(图3)为日本PP-15快速客艇的传动系统图,燃气轮机通过一台有圆柱齿轮和伞齿轮传动的主减速齿轮箱,然后再分别通过两付直角传动伞齿轮和行星齿轮驱动空气螺旋桨和风扇。(图4)示出我国722II气垫登陆艇的传动系统,它由燃气轮机通过一台二极星形传动减速齿轮箱,然后穿过伞齿轮带动空气螺旋桨外,并利用折角传动齿轮驱动离心式风

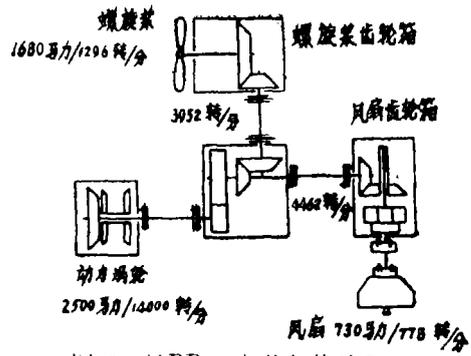


图3 日本PP-15气垫船传动系统

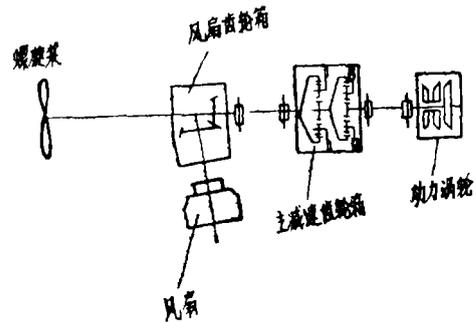


图4 中722II气垫艇传动系统

扇。

由图可见,传动系统随装置功率、传动比分配以及总体性能和布置而有很大差异,需经仔细论证来确定合理的安排。

三、全浮式气垫船传动装置的设计特点

全浮式气垫船是介于航空和舰船之间的一种交通工具,因其有飞升原理而与船舶相异,又因其对重量、体积要求甚苛,故在结构上更近于航空机型——类似直升飞机的轴系。但气垫船又必须适应海洋航行条件并考虑其本身担负的战斗使命,因此在使用上又不能偏离舰船传动的特点。为此,在传动装置的设计中需注意以下几个方面:

——在满足军用艇要求情况下,尽可能采用与航空燃气轮机相适应的航空型减速器的结构、工艺、材料方面的特点,在满足轻型化与小型化的前提下,达到提高航速的要求。

——对航速较低的民用船，需按运行工况及寿命要求确定设计指标，满足经济性要求。

——根据海深条件及登滩要求，对传动装置的支承，结构刚性以及材料防腐等进行专门考虑。

——适应船体变形需要，采用挠性联轴节。

具体考虑如下：

(一) 设计参数的确定：

1. 原始设计数据：气垫船以高速度航行于广阔的海面上，其燃气轮机经常在0.9工况以上作长时期连续运行，根据使用要求，气垫船在各工况运行时，发动机的输出转数可有较大范围的变化，因此传动装置的原始设计参数应不仅为动力装置的最大功率，最高转速和所要求的传动比，还应有最大扭矩作为设计的主要依据，必要时还应附加超扭值。这和航空发动机的最大功率为起飞功率，其长期巡航功率仅为最大功率的75%~80%，同时其发动机采用等转数调节的条件不同。在选用航空机型为母型时需注意其区别。

2. 轮齿负荷系数和轮齿弯曲强度系数的选取：人们往往以这两个系数作为衡量齿轮设计是否先进的指标，实际上该系数需按使用条件及寿命要求来确定。如一台已知使用寿命，传递3000马力的船空型行星减速器，按最大工况计算其轮齿负荷系数为63公斤/厘米，轮齿弯曲强度系数为94公斤/厘米·毫米，而在设计传递相同马力、具有相同寿命的气垫船减速器时，其轮齿负荷系数应不超过航空型减速器于长期巡航时的计算值。此时轮齿弯曲系数虽略有裕量，但考虑试验时有扭矩波动等因数，留有一定的安全系数乃是必要的。对于民用气垫船，因要求有较长的寿命和较好的经济性，因此在选材及工艺上需降低成本，上述指标也需相应放宽。

(二) 结构特点

1. 行星齿轮传动及其浮动机构：行星齿轮能获得较高的承载能力在于合理地利用了功率分流和内啮合的缘故，同时合理地采用了浮动机构来改善齿面因安装误差和加工精度引起的接触不良，从而使齿面载荷分布均匀。行星齿轮传动具有尺寸小，重量轻的特点，为气垫船选用的主要传动机构。如前图4所示主减速齿轮箱为二级星形齿轮传动，传动比为8.332，功率重量比仅为0.11公斤/马力，PP-15气垫客船的风扇齿轮箱采用行星减速器是为了减少位于进气口中部的齿轮箱迎风面积，从而减少进气阻力。见(图5)

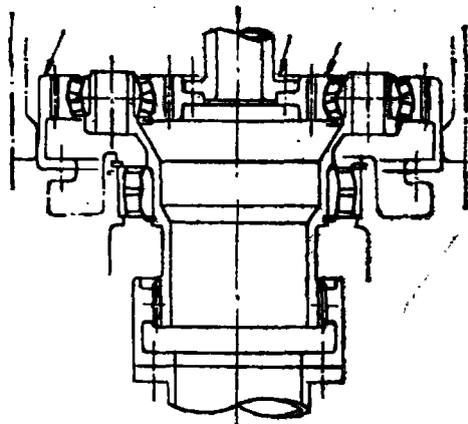


图5 风扇行星减速器

实践证明下述浮动机构可满足均载的要求：

722-II 气垫船	PP-15气垫客艇
①通过弹性轴花键连接太阳轮达到自动定心。 ②利用第二齿环组成浮动机构。 ③通过测扭机构的柔性连接达到微量补偿的目的。	①行星轮安装在挠性极好的悬臂轴前端。 ②齿环做成薄壁，局部具有可挠性。 ③行星齿轮安装在球面滚动轴承上，使齿面能维持良好啮合状态。

2. 直角传动齿轮箱：空气螺旋桨及升力风扇在气垫船上成直角布置，这使伞齿轮付成为必不可少的传动机构。处于气流中的齿轮箱要求正面积尽可能小。见(图6)这就需要对转数及传动比进行合理分配，使伞齿轮

能尽量减小直径。空气螺旋桨齿轮箱及风扇齿轮箱位于传动系统末级，转速较低，扭矩大，按弯曲强度要求，模数已达9~10mm，为提高承载能力，多采用螺旋伞齿轮。

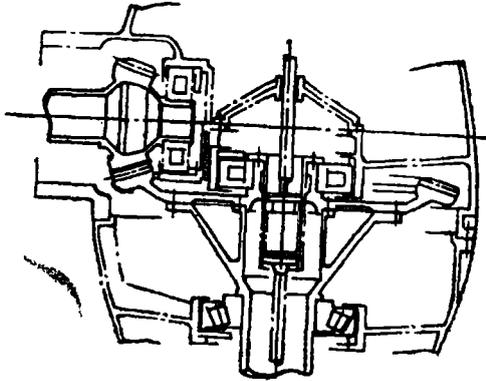


图6 螺旋桨用伞齿轮

3. 轴承：气垫船的传动装置要求本身具有尺寸小，重量轻的特点外，也要求辅助设备占用最小的空间。采用滚动轴承可减少润滑油用量，也可使油箱和冷却器体积相应减少。

722II艇主减速齿轮箱的两级行星轮轴承移用了航空型减速器的一种无保持架的利用行星轮及轴本体为内外滚道的双排滚子轴承，一级轴承转速达11380转/分，经带负荷跑合试验后分解检查未见异常现象，这种轴承使齿轮传动能设计得非常紧凑。润滑油量及油箱体积也较采用滑动轴承时减少一半以上。

4. 齿轮箱体：齿轮箱体在考虑轻型化的同时，需特别注意齿轮箱各支承面及轴承支承座的刚性及稳性，防止因齿轮产生的各种反力和由轴系引起的附加力矩使齿轮箱产生变形而影响正常运转。722-II艇的行星减速齿轮箱采用水平对分式箱体，这种箱体考虑了船上布置的需要且便于拆装。同时中分面法兰与支承底座也起到相互加强刚性的作用。风扇齿轮箱分为三层箱体，中层箱体底部有法兰边以便固定在船体构架上。

5. 测扭机构：722-II艇主减速齿轮箱中采用了由液压机构感受扭矩以显示运行工

况的测扭装置。其工作原理是：行星架受到的扭转力矩由制动行星架的测扭油缸中的滑油压力来平衡，测扭机构中滑油压力与扭矩成正比变化，亦即和输出功率成正比变化，其表达式为：

$$N_{\text{桨}} = K \cdot P_{\text{测}} \cdot n$$

N ——螺旋桨功率(马力)

K ——构造常数，与测扭油缸的直径，作用半径以及齿轮箱内部的齿数比有关。

$P_{\text{测}}$ ——测扭机构中的压力(公斤/厘米²)

n ——发动机动力涡轮转速(转/分)

公式经转化后，可得到螺旋桨扭矩 $M_{\text{桨}}$ 与测扭压力 $P_{\text{测}}$ 之间的关系式：

$$M_{\text{桨}} = C \cdot P_{\text{测}} (\text{公斤} \cdot \text{米})$$

其中 C 为常数

这样，由测扭机构所显示的压力 $P_{\text{测}}$ ，即可直接测得螺旋桨扭矩值。此值仅作为监视机组的运行工况用。

6. 挠性联轴节：全浮式气垫船的艇体变形较大。为防止因艇体的挠曲和变形影响动力装置的正常运行，同时为减少动力设备与各齿轮箱间产生相互干扰，并便于在艇上对中安装，传动系统上需装设有挠性好的联轴节。722-II艇的主减速齿轮箱输入端装有叠片式挠性联轴节，输出端装有盖斯林格弹性联轴节，前者具有较强的承受不对中的能力，对轴承的反作用力小，维护拆装方便。后者利用柔性杆的关节连接和辅助花键补偿轴系变形的需要。

(三) 工艺及材料：

为使齿轮箱在允许范围内做成尺寸小，重量轻，无论PP-15的齿轮箱或722-II艇的齿轮箱，其齿轮均采用渗碳淬火后磨削加工。齿面硬度 $HRC \geq 60$ 。行星齿轮箱的内齿环采用氮化后珩齿工艺，齿面硬度 $HRN30 \geq 80$ ，所有花键连接部位采用渗碳或氮化后镀铜，以防粘结。

齿轮与传动轴等主要零件选用耐胶合的高强度钢种；齿轮箱为防止海洋运行条件下的盐雾浸蚀，采用铸铝合金。铝合金铸件内部浸润处理，外表面进行阳极化处理并涂防腐漆。所有外露部分零件表面也采取了防腐措施。

(四) 由试验角度提出的问题

燃气轮机动力装置在舰船实际应用前，普遍需经陆上台架试验及海上实验二个阶段。在陆上台架试验中，多以水力测功器吸收功率。由于充放水的控制及水流影响，齿轮箱输出扭矩常有较大范围的变化。同时，试验期间各种因素引起的附加载荷增加（如机架刚性不足引起的振动，或调控系统性能欠佳使转速变动）在确定设计参数时应有一定裕量。

其次减速器的振动测点应设在合适的位置，一般在轴承座中分面或行星架支承面处，测点应留有装设传感器的位置。测量轴的振动时应留有测振用的小孔，或装设测量支架，尽量避免因外加的支架刚性不足影响测量正确性。

为便于在试验中能方便地取出某些关键零件进行检查，在结构设计时就考虑好留有观察孔和分成便于拆装的部件，对试验工作会带来许多方便。

四、结 束 语

近十多年来国外气垫船的发展形势表

明，全浮式气垫船在军事上有着广泛的用途。是现代战争中一种不可缺少的舰种，在民用交通运输方面的应用也日益增多。燃气轮机动力装置由于单位马力重量轻，起动快，具有高速性，机动性好等特点，作为气垫船的动力是比较理想的。目前我国装备722-II气垫登陆艇的首套燃气轮机和主减速齿轮箱已完成陆上模拟机桨联调的试验，获得了初步运行经验。第二套燃气轮机装置的陆上台架试验和装艇试验如能继续获得成功，我国气垫船的发展必将出现新的可观前景。

参 考 资 料

1. 《气垫船的发展及其在海上后勤保障中的应用》 陈苏胜 汪国梁
——舰船论证参考1982.3
2. 《气垫运输船的发展动向》 708所
王澜潮
——国外某些舰船发展动态
资料汇集 78.2
3. 《气垫船的设计特点》 708所 77.10
4. 《燃气轮机在全浮式气垫船上的运用》703所 王宁生
——省造船学会论文83.
5. 《ホバ-リテフトの歯車》山田富稔
——日本船用機関学会誌
1975.Vol10№7.
6. The amphibious hovercraft BHC
Sp.4318 March 1979.

NUCLEAR POWER STATION

4. Design features of nuclear thermal power station steam turbines
.....*Lin Zhihong, Wang Daixiang, Luo Chunxin*(21)

Synopsis

The purpose of this paper is to correctly deal with the various requirements set by nuclear power station thermal system to its steam turbines. The design features of this type of steam turbines and some relevant problems that deserve our close attention are also explained in the paper.

BOILER DESIGN AND RESEARCH

5. An analysis of cold bending tests of boiler pressure parts welded joints
.....*Zhou Huilin*(25)

Synopsis

The stress distribution of the tension surface of a welded joint cold bending test piece is studied through an analysis of the cold bending test of the carbon steel 20g plate material double-welded joint. In addition, the following subjects are also discussed: the variation of bending lengthening rate with bending angle and bending mandrel diameter during the plastic cold bending process, the relationship between loading and the bending angle, and also between bending angle and its defect incidence. Test results show that it is appropriate to perform a cold bending test as a technology appraisal test before the manufacture of the welded structural parts. It also shows that for cold bending test of carbon steel double-welded joints, the suitable bending angle is 120°.

6. Design and development of a modern straight tube water-tube boiler(30)
7. Two new fluidized-bed boilers start up on anthracite culm(34)
8. A new type boiler using oil as heat-transfer medium(35)

POWER TRANSMISSION PLANT

9. The design of amphibious hovercraft transmission plant
.....*Chen Puying, Xu Zhenzhong*(38)

Synopsis

A brief introduction is given of the use abroad of hovercrafts over the past decade and its development prospects in China. Several types of transmission systems of amphibious hovercraft are described in the paper with special emphasis on the transmission plant design considerations posed by amphibious hovercrafts. Several aspects that merit close study are presented from the testing view point.

DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS

10. Coloured stainless steel*Li Zhongxin*(43)

Synopsis

A comprehensive review is given in this paper of the general situation in China and abroad, development process and application scope of coloured stainless steels.

Product BRIEFS

11. 18-Mw Spey in the works with plans for 22-Mw ICR version(46)