

# 半浸桨推进装置的产品特点与应用情况

史宗鹰<sup>1</sup>, 张金涛<sup>2</sup>, 姚明珠<sup>1</sup>

(1. 中国船舶科学研究中心, 江苏 无锡 214082; 2. 武警部队装备部军事代表局五室, 北京 100161)

**摘要:** 半浸桨推进装置因具有推进效率高、无空泡剥蚀和浅水适应强等显著优点而在超高航速船舶中得到广泛应用。本文通过对半浸桨推进装置的桨叶和结构特征进行介绍, 提出了半浸桨推进与普通螺旋桨推进的差别所在。目前国内用户对半浸桨产品的应用需求较大, 尤其公务艇市场对半浸桨产品的国产化需求更为迫切, 国内半浸桨生产单位针对半浸桨推进装置的产品特点, 不断在其可靠性和耐久性方面进行工程突破, 已取得一定的市场应用, 未来可打破国外产品的行业垄断。

**关键词:** 半浸桨; 结构特征; 国产化; 市场应用

中图分类号: U664.3 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2023) 03—0063—03

半浸式螺旋桨 (Surface Piercing Propeller, SPP, 简称半浸桨, 又称表面桨), 是一种在高速运转时只有一半桨叶浸入水中而能正常工作的螺旋桨。半浸桨推进装置是一种集半浸式螺旋桨、驱动装置本体、操纵油缸及液控系统为一体的高速船用推进装置, 该装置在高速航行时具有无空泡剥蚀、低阻力、高效率 and 操控灵活等显著优点<sup>[2,3]</sup>, 在当今世界的超高速船艇上得到了广泛的应用。半浸桨推进与常规螺旋桨推进具有显著的不同, 主要表现在半浸桨叶和装置的结构特征两方面, 这也造成了半浸桨产品在适配船艇上具有典型的应用特点。

## 1 半浸桨推进装置的优点

与传统螺旋桨推进相比, 半浸桨推进装置的显著优点具体特征如下:

从上述可知, 摩擦阻力与剩余摩擦力的和大大小于流阻数值, 所以在考虑拖航摩擦力时, 需要充分考虑流阻的作用。不能忽略船速较快条件时静水阻力的影响。按照最新拖航阻力模型选择适当的拖船, 在最不利的海况环境下仍用适当的拖力以防止被拖物顶风滞航。

## 4 结论

基于船级社提供的模型求取拖航阻力, 虽然快捷方便, 但与实际阻力存在较大的偏差, 特别是在航速较快及海况恶劣的情况下。如果计算风阻力必须涉及受风构件的高度系数的影响, 同时若计算拖航阻力, 也应考虑静水阻力。因此不能完全依赖经验公式的算法去计算拖航阻力来选取拖轮。为了增加拖航系统的安全性, 提高拖轮选取的合理性, 在计算拖航阻力时要谨慎核算, 不能忽略任一阻力。

## 1.1 推进效率高

螺旋桨设计时, 螺旋桨的直径往往和其他影响螺旋桨水动力性能的参数相互制约, 动量理论表明相同的螺旋桨推力, 桨叶直径越大, 效率越高; 但实际桨叶设计时, 其直径往往受船艇吃水、桨轴位置和动力设备条件等诸多因素限制。半浸桨工作于船艇尾部水面附近, 可自由选择较大速比降低桨叶转速, 增大直径, 提高半浸桨推进效率。与此同时, 半浸桨工作时只有部分桨叶露出水面, 桨叶水下附体尺寸较小, 阻力降低, 流经半浸桨水流状态比全浸桨好, 半浸桨的推进效率也得以提高。不同类型螺旋桨的推进效率对比图 1 如下:

## 参考文献:

- [1] 张新未, 勾莹, 徐文彪. 双层流体中浮箱拖航阻力的实验研究 [J]. 船舶力学, 2020, 24(08): 981-988.
- [2] 曾骥, 尹艳, 王超. 浮式结构物拖航阻力计算方法探讨 [J]. 船海工程, 2016, 1(45): 168-173.
- [3] 曹树杰, 李红涛. 海上移动平台的拖航阻力 [J]. 中国船检, 2013, (6): 84-86.
- [4] 张海燕. 海上移动平台和 FPSO 拖航阻力分析 [J]. 中国海洋平台, 2015, 30(05): 74-79+83.
- [5] 徐田甜. 超大型 FPSO 远洋拖航安全关键技术研究 [J]. 中国海上油气, 2021, 33(06): 138-146.
- [6] 徐嘉雯, 于雁云, 林焰. 浮体带漂角拖航阻力数值预报 [J]. 船舶工程, 2020, 42(04): 32-37+85.
- [7] 李伟峰, 史国友. 钻井平台拖航阻力计算 [J]. 船海工程, 2017, 46(02): 121-123+134.

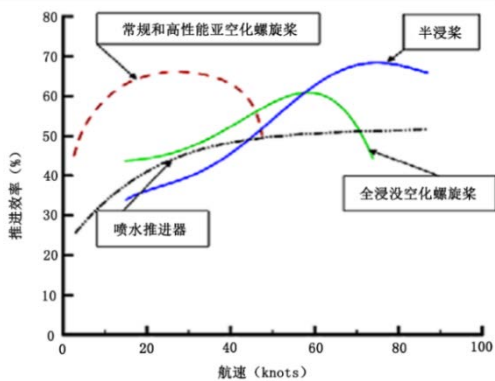


图1 不同类型螺旋桨的推进效率对比图

## 1.2 无空泡剥蚀

半浸桨桨叶的剖面常采用超空泡型剖面，桨叶运转时交替入水，所产生的空泡会被桨叶出入水时吸入桨叶附近的空气腔所代替，形成“通气”状态，空泡无法顺利形成，避免了桨叶表面被空泡剥蚀的现象，减少了桨叶水下振动和噪音，提高了桨叶的使用寿命。半浸桨出入水及通气状态示意图2如下：

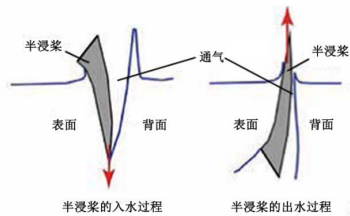


图2 半浸桨出入水及通气状态图

## 1.3 附体阻力小

半浸桨推进的船舶在高速航行时，水线只穿过其桨叶的桨毂处，仅部分桨叶、舵板和少许本体接触到水，其本体大部分及其油缸支架等都在水面以上，航行时装置的附体阻力大大减小。与传统的全浸没螺旋桨推进相比，半浸桨推进可以削减约50%的水下附体阻力。

## 1.4 船机桨特性好

半浸桨推进装置的船艇在航行时，可以通过纵倾油缸调节桨叶的浸深使其在水面附近运转半浸桨推进的船艇允许在选择桨叶时存在一定的范围，相同型号的半浸桨叶也可适应于多种船艇的不同航行工况。半浸桨推进装置使用转舵油缸可直接操作驱动装置本体，通过改变桨叶的推力与船体运动方向间的夹角，产生矢量推力，替代普通船艇的舵的功能，大大提高了船艇航行的机动性和灵活性。

## 1.5 浅水适应性强

半浸桨推进装置的特殊工作形式，使其在航行时桨叶的吃水只到直径的一半，在浅水域通过调节装置纵倾油缸，甚至可使装置本体及桨叶完全脱离水面，这大大提高了半浸桨推进船艇的浅水适应性，使其在较浅吃水的水域可正常航行。

## 2 半浸桨推进装置的桨叶特征

半浸桨是一种特殊的螺旋桨，桨叶在高速运转时是交替出入水的，桨叶大多采用四到六叶桨设计。如前所述，半浸桨工作时会产生“通气”现象<sup>[4]</sup>，可大大减少半浸桨表面的空泡剥蚀现象，其结构与常规的螺旋桨相比主要有以下四点显著不同：

(1) 桨叶形状不同，半浸桨桨叶形状为凹型楔状，半浸桨导边尖锐，随边形状为一条直线，常规螺旋桨的桨叶末端连线通常圆形过渡，导边随边皆为圆弧形。

(2) 最大厚度位置不同，半浸桨的剖面通常采用超空泡型剖面（或在此基础上改进），桨叶剖面的最大厚度靠近随边，常规螺旋桨的最大厚度则一般靠近导边。

(3) 存在“杯形”结构，该结构通常位于半浸桨的随边，朝向叶面，该结构除可以增加桨叶的结构强度之外，还可以在随边附近产生额外的升力。

(4) 螺距比不同，半浸桨在设计时一般采用较大的螺距比，通常都大于1，而常规螺旋桨的螺距比一般都小于1，而这一点也与桨叶的直径设计相对自由有较大关系。



图3 典型的半浸桨设计

此外，半浸桨高速运转时的反复出入水，属于典型的桨叶疲劳工作状态<sup>[5]</sup>，其桨叶的桨毂和叶根部需能承受较大的偏心和交变载荷，这里对桨叶的设计强度和材料性能提出了新的要求<sup>[6]</sup>。半浸桨运转中，桨叶依次与水面成一定角度的楔形状入水，桨叶与水面形成冲击，而出水时却无此冲击产生<sup>[7]</sup>；此外，桨叶出入水时的通气程度不同，桨叶入水时逐渐通气，而出水时则瞬间通气，通气时间不一致<sup>[8]</sup>；以上两点造成了半浸桨在运转中的垂向力的显著存在，且随着船艇航速和半浸桨转速的升高而加大。半浸桨垂向力的存在<sup>[9]</sup>给推进装置的纵倾油缸设计带来了技术难度，同时对船艇的纵向稳定性和快速性产生影响。

## 3 半浸桨推进装置的结构特征

半浸桨推进装置的结构紧凑，主要由驱动装置本体、半浸桨叶、操纵油缸和液控系统组成。半浸桨推进装置的结构示意图如图4所示：

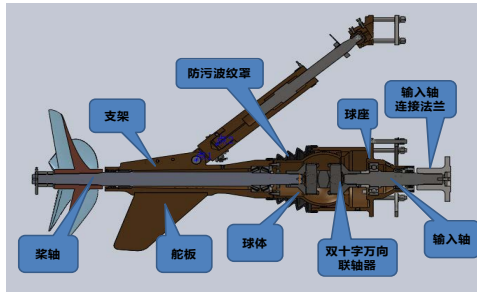


图4 半浸浆推进装置结构示意图

半浸浆推进装置结构中，转舵油缸、纵倾油缸油路分别与液压单元相连，油缸本体与驱动装置本体及船艇尾板相连，轴系安装在本体支架内，轴系的一端与半浸浆叶固定连接，一端与球座内十字万向节连接；舱内齿轮箱通过万向传动轴与输入轴连接法兰相连，连接法兰与输入轴相连，输入轴与球座内十字万向节的另一端相连，舵板安装在于本体支架的底部，轴系两端设有推力轴承及密封装置，液控系统各零部件根据船艇布置安装。

#### 4 半浸浆推进装置的产品应用情况

##### 4.1 半浸浆推进装置产品国外应用情况

半浸浆推进装置在近三十年间才得以广泛应用，目前世界上具有成熟半浸浆产品的公司并不多，比较著名的有：美国 Twin Disc 公司生产的 ASD 系列、法国 France Helices 公司生产的 SDS 系列、德国 ZF 海事集团生产的 SeaRex 系列和新西兰 Seafury International 公司生产的 Seafury 系列产品。其他如德国的 Levi Drive 和 Trimax Drive 公司、意大利 Flexi Drive 和 SPEED MARINE 公司、新西兰 Q-SPD 公司、英国 Kort Propulsion 公司也推出了相关半浸浆推进装置产品，但规模较小，产品系列相对不全。



图5 国外半浸浆推进装置典型品牌外形图

##### 4.2 半浸浆推进装置产品国内应用情况

国内半浸浆推进装置的研究和应用以中国船舶科学研究中心的 BTZ ® 系列产品取得较大进展，形成了比较完整的从 BTZ-600 到 BTZ-18600 共 10 个型号、主机功率覆盖 100kW 到 2000kW 范围的全系列产品。另外，武汉劳雷绿湾公司推出的 MSD 系列、珠海和裕丰公司推出的 HSD 系列和深圳海斯比公司推出的 CSD 系

列半浸浆推进装置也代表了国内半浸浆产品的持续发展力量。



图6 国产半浸浆推进装置产品外形图

#### 5 结语

近年来，伴随着我国海洋维权意识的不断深化，特别是新一轮军改的推进，在面对与周边邻国领海与海洋权益争端愈演愈烈的态势下，海上护渔、执法、缉私、维权以及发展岛际间交通运输越来越受重视，我国对更加先进、高速和快捷的高速船艇需求也越来越迫切。国内半浸浆产品已在可靠性和耐久性方面进行了工程技术突破，且取得了市场应用，对打破国内半浸浆配套国外产品垄断具有重要意义。

#### 参考文献：

- [1] 王国强，贾大山，盛振邦. 部分浸没通气螺旋桨水动力性能 [J]. 中国造船，1990.
- [2] 柏继伟，高健，尹雪瑞. 玻璃钢艇表面浆推进装置研究 [M]. 2010 年中国大连国际海事论坛论文集，2010.28-230.
- [3] 吴光林，严谨. 船用螺旋桨的应用与发展趋势 [J]. 中国舰船研究，2009.
- [4] 丁恩宝，唐登海，周伟新. 半浸式螺旋桨研究综述 [J]. 船舶力学，2002, 4(2):75-84.
- [5] 张再夫，李慧敏. 浅析表面浆垂向力对滑行艇水动力性能的影响 [J]. 舰船工程研究，2006, 12(4):12-15.
- [6] ALLISON J.L. Propellers for high performance craft. Marine Technology[J], 1978.
- [7] YIN L.Y, SPYROS A. K. Performance prediction of surface piercing propellers[J]. Journal of Ship Research. 2004.
- [8] VORUS W.S. Forces on surface-piercing propellers with inclination[J]. Journal of Ship Research. 1991.
- [9] 夏翔，李水才，李慧敏. 表面浆产生垂向力的原因初析 [J]. 中国舰船研究，2006, 12(1):68-70.