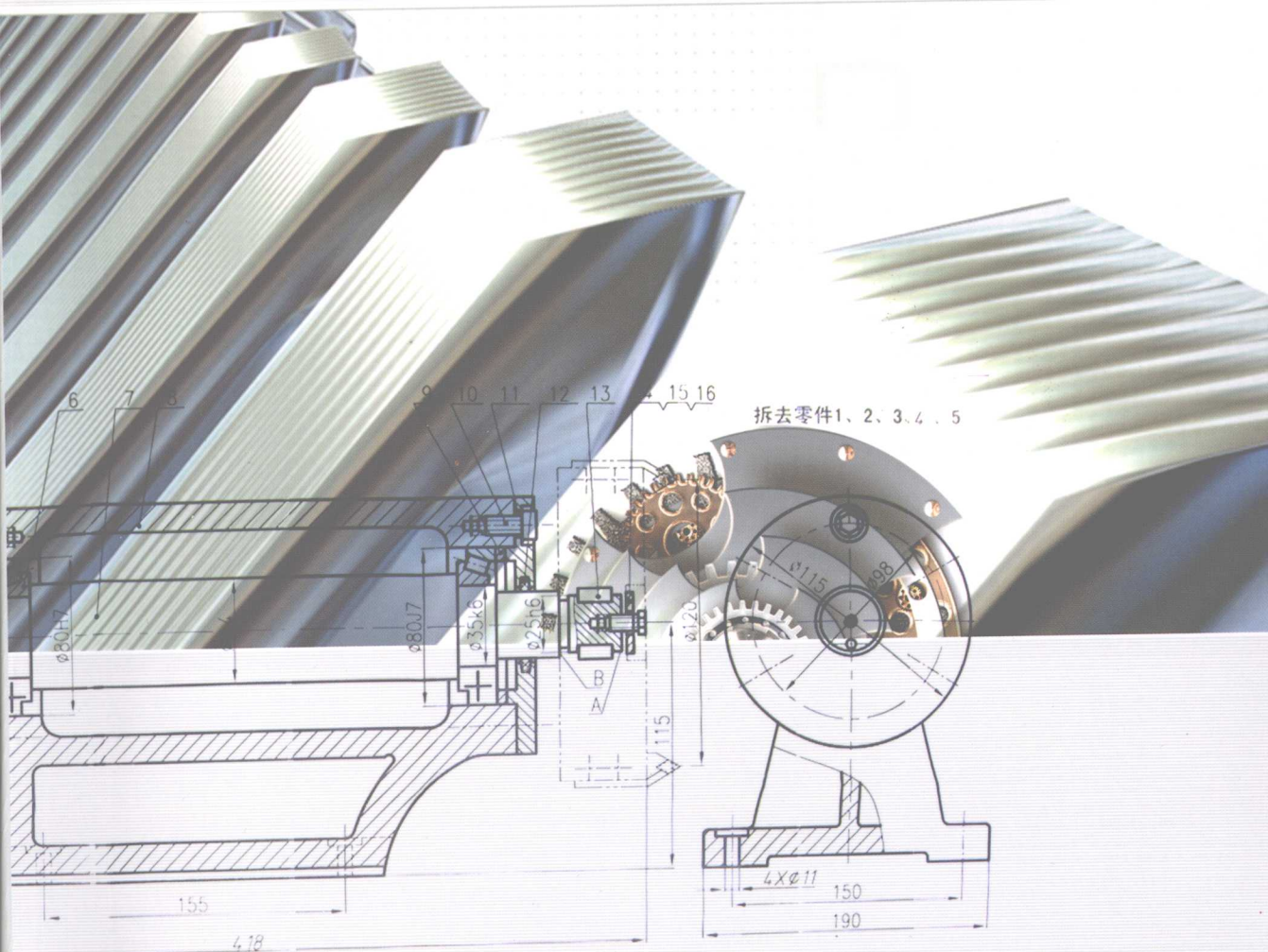


舰艇柴油机动力装置管理与维修

主编 应连春 俞伟强

主审 徐汇涛



大连海事大学出版社

磨合和进行最后的调整,其主要目的是使柴油机各部件达到规定的配合精度,并确定修理和安装的质量。

通过试车,若柴油机的性能参数已达到标准,而运转情况正常,或比修前确有改善,技术协议要求时,则可进行验收。

由修理厂(所)承修的舰艇主机,经各项试车后,由舰艇(所)及修理厂三方召开联席会议,提出问题共同讨论,并决定扫尾工程项目和完工时间,若完全满意

舰艇柴油机动力装置管理与维修

时(这里应注意只是柴油机技术指标达不到,并不存在有影响可靠性的故障),三方代

出限制功率和转速的决定,并签署验收证书,同时将情况记录于柴油机履历簿内。

主编 应连春 俞伟强

主审 徐汇涛

11-1 试述试车的目的和意义。试车的种类。

11-2 试车大纲怎样制定?其基本内容如何?

11-3 为什么要进行磨合试验?磨合试验结束后,是否要

11-4 系泊试车的目的是什么?凡装轻 12V180 型柴油机的舰艇是否都不能进行系泊试车?为什么?

11-5 在系泊试车时,对船系的检查项目主要有哪些?

11-6 在航行试车时,除了动力装置的试车外,还应对舰艇的哪几项性能进行试验?

11-7 柴油机的修理质量如何评定?在验收柴油机时应注意哪些事项?

大连海事大学出版社

地址:大连市海泊街1号 邮编:116026 电话:0411-84732394 传真:0411-84732396

http://www.dmupress.com E-mail:dmupress@dmupress.com

大连市兴达印务有限公司承印

2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:398千字 印数:1-1000册

责任编辑:王淑娟 封面设计:王淑娟

大连海事大学出版社

ISBN 978-7-263-2137-0 定价:26.00元

©应连春 2008

图书在版编目(CIP)数据

舰艇柴油机动力装置管理与维修 / 应连春, 俞伟强主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-5632-2137-0

I. 舰… II. ①应… ②俞… III. ①军用船—船用柴油机—动力装置—技术管理
②军用船—船用柴油机—动力装置—维修 IV. U674.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 011011 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮政编码: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

锦州市兴达印务有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 16

字数: 398 千 印数: 1 ~ 1000 册

责任编辑: 史洪源 版式设计: 海 韵

封面设计: 张乐宇 责任校对: 枫 叶

ISBN 978-7-5632-2137-0 定价: 26.00 元

前 言

本书主要是根据公安海警高等专科学校 2007 年 6 月制定的船艇动力管理专业《船艇柴油机动力装置管理与维修》教学大纲编写的,作为该专业的专业课教材,也可作为公安海警学院轮机工程专业(本科)的代用教材,还可供从事舰艇柴油机管理与维修的工程技术人员参考。

本书共分 2 篇 11 章:第一篇为舰艇柴油机动力装置的使用与管理,共 3 章,主要介绍舰艇柴油机的工况与管理、使用与管理、故障分析与技术保养等;第二篇为舰艇柴油机动力装置的维修,共 8 章,主要介绍船机故障与维修、船机零件的损伤及损伤的检验与修复方法、柴油机的拆卸与清洗、柴油机主要机件的检验与修理、柴油机的装配、舰艇轴系的检验与修理、柴油机修理后的试车等。本书在内容编排上力求层次分明、重点突出、理论联系实际、针对性强。本书的教学时数为 80 ~ 100 学时。本书用于船艇动力管理专业教学时,教师可根据教学大纲的要求进行适当的删减。

本书由应连春、俞伟强主编,徐汇涛主审。其中第一篇第一章至第三章和第二篇第四章至第六章由应连春教授编写;第二篇第七章、第八章由徐汇涛副教授编写;第二篇第九章至第十一章由俞伟强讲师编写。最后由应连春教授负责全书的统稿。书中参考的许多专著和教材列于书后,并向原书作者深表谢意。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 10 月

目 录

第一章 舰艇柴油机动力装置的使用与管理	(1)
第一节 船、桨、机的特性	(1)
第二节 船、桨、机的配合特性	(7)
第三节 船、桨、机稳定配合时的主机工况管理	(16)
第四节 船、桨、机过渡配合时的主机工况管理	(20)
第五节 带调距桨主动力装置的配合特点	(27)
第六节 舰艇副机工况	(32)
习题与思考题	(36)
第二章 舰艇柴油机的使用与管理	(38)
第一节 柴油机的起动	(38)
第二节 柴油机起动后的暖机	(44)
第三节 柴油机运转中的使用与管理	(46)
第四节 柴油机的停机	(51)
第五节 动力装置在局部破损后的使用与管理	(52)
习题与思考题	(57)
第三章 舰艇柴油机的故障分析及技术保养	(58)
第一节 柴油机的故障及其处理	(58)
第二节 柴油机的技术保养	(68)
习题与思考题	(72)
第二篇 舰艇柴油机动力装置的维修	
第四章 船机故障与维修	(73)
第一节 船机故障	(73)
第二节 现代舰艇维修	(83)
习题与思考题	(87)
第五章 船机零件的损伤	(89)
第一节 船机零件的磨损	(89)
第二节 船机零件的疲劳破坏	(96)
第三节 船机零件的腐蚀	(98)
第四节 船机零件的变形	(101)

习题与思考题	(102)
第六章 船机零件的损伤检验与修复方法	(103)
第一节 船机零件的损伤检验	(103)
第二节 船机零件的修复方法	(112)
习题与思考题	(126)
第七章 舰艇柴油机的拆卸与清洗	(127)
第一节 柴油机的拆卸	(127)
第二节 柴油机零件的清洗	(138)
(1) 习题与思考题	(141)
第八章 舰艇柴油机主要机件的检验与修理	(142)
(7) 第一节 柴油机主要通用件的检验与修理	(142)
(10) 第二节 柴油机主体机件的检验与修理	(145)
(50) 第三节 柴油机各系统主要件的检验与修理	(178)
(75) 习题与思考题	(202)
第九章 舰艇柴油机的装配	(204)
(39) 第一节 柴油机装配概述	(204)
(88) 第二节 柴油机通用件的装配	(208)
(88) 第三节 高速柴油机的装配	(216)
(44) 习题与思考题	(223)
第十章 舰艇轴系的检验与修理	(225)
(12) 第一节 轴系的检验	(225)
(52) 第二节 船轴的检验与修理	(230)
(72) 第三节 轴系轴承的检验与修理	(232)
(82) 第四节 螺旋桨的检验与修理	(235)
(82) 习题与思考题	(239)
第十一章 舰艇柴油机修理后的试车	(240)
(57) 第一节 试车的目的和种类	(240)
第二节 高速柴油机的试车	(241)
第三节 柴油机修理质量的评定及验收	(248)
习题与思考题	(249)
参考文献	(250)
(87)	船舶修理 第一章
(83)	船舶修理 第二章
(78)	船舶修理 第三章
(88)	船舶修理 第四章
(88)	船舶修理 第五章
(88)	船舶修理 第六章
(88)	船舶修理 第七章
(88)	船舶修理 第八章
(88)	船舶修理 第九章
(88)	船舶修理 第十章
(88)	船舶修理 第十一章
(88)	船舶修理 第十二章
(88)	船舶修理 第十三章
(88)	船舶修理 第十四章
(88)	船舶修理 第十五章
(88)	船舶修理 第十六章
(88)	船舶修理 第十七章
(88)	船舶修理 第十八章
(88)	船舶修理 第十九章
(88)	船舶修理 第二十章
(88)	船舶修理 第二十一章
(88)	船舶修理 第二十二章
(88)	船舶修理 第二十三章
(88)	船舶修理 第二十四章
(88)	船舶修理 第二十五章
(88)	船舶修理 第二十六章
(88)	船舶修理 第二十七章
(88)	船舶修理 第二十八章
(88)	船舶修理 第二十九章
(88)	船舶修理 第三十章
(88)	船舶修理 第三十一章
(88)	船舶修理 第三十二章
(88)	船舶修理 第三十三章
(88)	船舶修理 第三十四章
(88)	船舶修理 第三十五章
(88)	船舶修理 第三十六章
(88)	船舶修理 第三十七章
(88)	船舶修理 第三十八章
(88)	船舶修理 第三十九章
(88)	船舶修理 第四十章
(88)	船舶修理 第四十一章
(88)	船舶修理 第四十二章
(88)	船舶修理 第四十三章
(88)	船舶修理 第四十四章
(88)	船舶修理 第四十五章
(88)	船舶修理 第四十六章
(88)	船舶修理 第四十七章
(88)	船舶修理 第四十八章
(88)	船舶修理 第四十九章
(88)	船舶修理 第五十章
(88)	船舶修理 第五十一章
(88)	船舶修理 第五十二章
(88)	船舶修理 第五十三章
(88)	船舶修理 第五十四章
(88)	船舶修理 第五十五章
(88)	船舶修理 第五十六章
(88)	船舶修理 第五十七章
(88)	船舶修理 第五十八章
(88)	船舶修理 第五十九章
(88)	船舶修理 第六十章
(88)	船舶修理 第六十一章
(88)	船舶修理 第六十二章
(88)	船舶修理 第六十三章
(88)	船舶修理 第六十四章
(88)	船舶修理 第六十五章
(88)	船舶修理 第六十六章
(88)	船舶修理 第六十七章
(88)	船舶修理 第六十八章
(88)	船舶修理 第六十九章
(88)	船舶修理 第七十章
(88)	船舶修理 第七十一章
(88)	船舶修理 第七十二章
(88)	船舶修理 第七十三章
(88)	船舶修理 第七十四章
(88)	船舶修理 第七十五章
(88)	船舶修理 第七十六章
(88)	船舶修理 第七十七章
(88)	船舶修理 第七十八章
(88)	船舶修理 第七十九章
(88)	船舶修理 第八十章
(88)	船舶修理 第八十一章
(88)	船舶修理 第八十二章
(88)	船舶修理 第八十三章
(88)	船舶修理 第八十四章
(88)	船舶修理 第八十五章
(88)	船舶修理 第八十六章
(88)	船舶修理 第八十七章
(88)	船舶修理 第八十八章
(88)	船舶修理 第八十九章
(88)	船舶修理 第九十章
(88)	船舶修理 第九十一章
(88)	船舶修理 第九十二章
(88)	船舶修理 第九十三章
(88)	船舶修理 第九十四章
(88)	船舶修理 第九十五章
(88)	船舶修理 第九十六章
(88)	船舶修理 第九十七章
(88)	船舶修理 第九十八章
(88)	船舶修理 第九十九章
(88)	船舶修理 第一百章

第一篇 舰艇柴油机动力装置的使用与管理

舰艇柴油机动力装置的核心组成是柴油机。正确地使用和科学地管理柴油机,并保证柴油机可靠而经济地运转,是柴油机使用管理者最重要的职责。虽然各型柴油机均有相应的使用管理规定(这些规定一般都是对前人或别人实际使用管理柴油机的经验总结,我们应当着重地学习它,并应认真地执行),但作为柴油机使用管理者来说,必须要明确制定这些规定的科学依据。只有这样,才能在实际使用管理柴油机的实践中,不断地总结自己的实际经验,使这些规定更加完善,以促进柴油机的动力性、经济性和工作可靠性的充分发挥。本篇围绕柴油机这个中心,首先通过对其分别作为主、副机时的运行工况进行分析和研究,得出在各种工况下如何正确使用和管理柴油机的结论;然后根据柴油机的结构特点,介绍柴油机日常使用管理和故障分析判断的方法及技术保养的相关知识。

第一章 舰艇柴油机的工况与管理

柴油机作为舰艇主机,是推动舰艇运动的原动力,它的主要负载是螺旋桨(采用喷水推进的舰艇除外)。因此螺旋桨的水动力特性对主机的负荷状态有着直接的关系,而螺旋桨的水动力特性除了与它的结构参数有关之外,还与舰(艇)体的阻力特性有着密切的联系。由此可见,舰(艇)体的阻力特性将通过螺旋桨的水动力特性对主机的负荷状态产生很大的影响,这就是所谓的“船、桨、机三者的配合”。船、桨、机三者的配合工况复杂多变,概括起来可分为稳定配合工况和过渡配合工况两大类。本章将逐一予以讨论,并且对稳定配合工况中的重桨配合工况[舰(艇)体污底、拖带、系泊、浅水、窄航道等工况]和过渡配合工况(起航和加速、减速、倒航、转向、大风浪等工况)进行重点分析。

柴油机作为舰艇副机,是带动发电机运转的原动机,它的负载就是发电机。本章对柴油机作为发电机原动机的运行工况的特点也予以介绍。

第一节 船、桨、机的特性

船、桨、机的特性包括舰艇阻力特性、螺旋桨水动力特性和柴油机特性。

一、舰艇阻力特性

(一) 舰艇航行时的阻力

舰艇航行时,其水下部分受到水的阻力,水上部分受到空气的阻力。在一般情况下(3~4级风),空气阻力很小,水的阻力是主要的。当风级高时,空气阻力则不可低估。

根据水的阻力产生的原因不同,可将水的阻力划分为摩擦阻力 $R_{摩}$ 、形状阻力 $R_{形}$ 、兴波阻

力 $R_{\text{兴}}$ 和突出部分阻力 $R_{\text{突}}$ 4 种。

1. 摩擦阻力 $R_{\text{摩}}$

由于水是有黏性的液体,当舰艇在水中运动时,水与舰(艇)体之间有相对运动,因而产生液体摩擦形成摩擦力,其方向和舰艇运动方向相反,故称为摩擦阻力。摩擦阻力的大小与下列因素有密切关系:

(1) 舰(艇)体湿表面面积

所谓舰(艇)体湿表面面积就是指舰(艇)体浸入水中的总的外表面面积,该面积越大则摩擦阻力也会越大。舰艇的湿表面面积大小主要取决于排水量的大小和船形的肥瘦,在同样排水量条件下,肥短的船形其湿表面面积相对于狭长的船形要小一些,这也正是以摩擦阻力为主的低速船舶都采用肥而短的船形的缘故。

(2) 舰(艇)体湿表面的光洁度

如果舰(艇)体湿表面凹凸不平或附生很厚的海草、海蛎子等,都会引起湿表面的摩擦系数增大,因而会使摩擦阻力也增大。

(3) 舰艇的航速

舰艇航速越高,摩擦阻力越大。实验表明摩擦阻力与航速 v 的 1.85 次方成正比例,即 $R_{\text{摩}} \propto v^{1.85}$,也即可以近似看成摩擦阻力与航速的平方成正比。

2. 形状阻力 $R_{\text{形}}$

舰艇以一定速度向前运动,根据相对运动的观点,可看成舰艇不动而水相对向后流动。因为水有黏性,水分子与舰(艇)体之间有摩擦作用,使水的能量在从前到后的流动过程中不断地损耗,流至舰(艇)体尾部的水甚至出现回流,即常见的涡流,因而使得舰(艇)尾部的水压比舰(艇)首小,这样舰艇在前进方向上受到一个压力差作用,阻碍其运动,即产生了阻止舰艇航行的形状阻力,如图 1-1 所示。

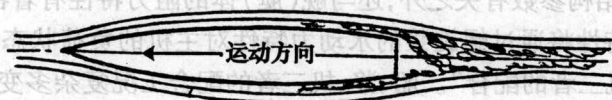


图 1-1 形状阻力成因示意图

形状阻力与舰(艇)体的形状有很大的关系。尾部较肥的舰艇在运动时,其尾部会产生较多的涡流,涡流中的水具有较大的动能,故造成舰艇首尾压力差增大,增加了形状阻力;而尾部尖瘦的舰艇,由于尾部涡流较少,故形状阻力也相对较小。

形状阻力与舰艇航速也有关系。实验表明,形状阻力与航速的平方成正比,即 $R_{\text{形}} \propto v^2$ 。

3. 兴波阻力 $R_{\text{兴}}$

舰艇在水面航行时要兴起波浪,这是由于舰艇湿表面上各处的压力不同,使水面发生升高和降低的现象,在压力高的地方水面升高,在压力低的地方水面下降。当舰艇航行过去之后,在重力作用下水面高的地方要下降,水面低的地方将上升,从而形成水的波浪运动。维持兴起的波浪是需要能量的,该能量是由舰(艇)体对水的作用力而产生的,根据作用力与反作用力的规律,水必定要给舰(艇)体以大小相等的反作用力来阻止舰艇前进,这种阻力称为兴波阻力。

兴波阻力与舰艇的航速、线型及其主要尺寸等有关。对于首部比较尖瘦的舰艇,其兴波阻

力会小些,对于舰(艇)长较长的舰艇,其兴波阻力也会小些;兴波阻力与航速的关系为 $R_{\text{兴}} \propto v^4$,即航速越高,则兴波阻力上升越迅速。

4. 突出部分阻力 $R_{\text{突}}$

在舰艇水线以下的外表面有一些突出部分,如舳龙骨、舵、不工作的螺旋桨、尾轴托架等,这些突出部分引起的阻力称为突出部分阻力。

突出部分阻力仅由摩擦阻力和形状阻力组成,没有兴波阻力。对于长度较长的舳龙骨之类以摩擦阻力为主,对于长度较短的其他部分则以形状阻力为主。突出部分阻力一般约占舰艇总阻力的 10% 左右。

上述的 4 种阻力构成了舰艇总阻力 R 的基本部分(空气阻力因为影响较小,一般不予考虑),4 种阻力组成占舰艇总阻力的百分比情况,在不同速度级舰艇上是不同的,见表 1-1。

表 1-1 不同速度级舰艇阻力的组成

速度级		低速	中速	高速
各种阻力所占 总阻力的百分比	$R_{\text{摩}}$	60%	45%	35%
	$R_{\text{形}}$	20%	15%	8%
	$R_{\text{兴}}$	10%	30%	45%
	$R_{\text{突}}$	10%	10%	12%

表 1-1 所列各速度级舰艇的各种阻力所占总阻力的百分比并非一成不变的,而是随着舰艇航速的变化而变化,总的可以看出:兴波阻力随舰艇航速增加而增大得特别快,它在低速时是比较次要的阻力,但在高速时则是最主要的阻力;摩擦阻力在各种航速下都占有重要的地位,低速时尤为突出;形状阻力和突出部分阻力同上述两者相比,相对而言是较小的和次要的阻力。

(二) 舰艇的阻力特性

舰艇航行时受到 4 种阻力的共同作用,这些阻力都是随航速的增加而增加,所以舰艇总阻力 R 也是随航速 v 的增加而增加的。舰艇总阻力 R 与舰艇航速 v 的关系一般可由式(1-1)来表示:

$$R = K_R v^m \quad (1-1)$$

式中: R ——水对舰(艇)体的总阻力, N;

K_R ——舰艇阻力系数,它与舰(艇)体的线型、排水量、污底程度、拖带情况、航道的深度和宽度、海况(风浪情况)等因素有关。对某一艘线型已经确定的舰艇来说,在正常排水量、2 级海况(3 级风、2 级浪)、深水、宽阔水道下自由航行时,其阻力系数是一个已知常数 K_{RH} , K_{RH} 也称为设计状态下的阻力系数或正常航行工况下的阻力系数,通常由船模试验法或其他经验估算法近似求出;

v ——舰艇航速, kn;

m ——航速的指数,表示舰艇总阻力随航速变化的剧烈程度。对一般的排水型舰艇而言,航速在中、低速范围内时 $m \approx 2$, 高速航行时 $m \approx 3$ 。对水翼艇及滑行艇,在高速阶段其阻力随航速的增加较为平缓, $m \approx 1.5$ 。

由式(1-1)可知,不同的舰艇有不同的阻力系数,因此不同的舰艇其阻力与航速的变化关系曲线也不同。图 1-2 所示为不同舰艇的阻力特性曲线。由图可知,对一般排水型舰艇(图中

曲线1、曲线2、曲线3)而言,舰艇要增加1 kn 航速,在高速时所引起的阻力增加要比低速时大得多,与之相对应的主机功率消耗也要剧增。

二、螺旋桨水动力特性

螺旋桨工作时,螺旋桨在水中旋转时产生的推力 P 的作用方向是和舰艇的运动方向一致的,是用来推动舰艇航行,克服航行阻力 R 的;而螺旋桨在水中旋转时所受到的阻力矩 M_p 的作用方向是和螺旋桨的旋转方向相反的,它阻止螺旋桨旋转。正因为如此,当主机带着螺旋桨以转速 n_p 转动时,必须用一相等而方向相反的转矩来克服螺旋桨产生的阻力矩 M_p ,也就是说,主机必须消耗一定的功率 N_e (转矩 M_e) 克服螺旋桨的阻力矩 M_p 而带动螺旋桨旋转,从而产生一定的推力 P ,推动舰艇运动,这就是螺旋桨的基本工作过程。

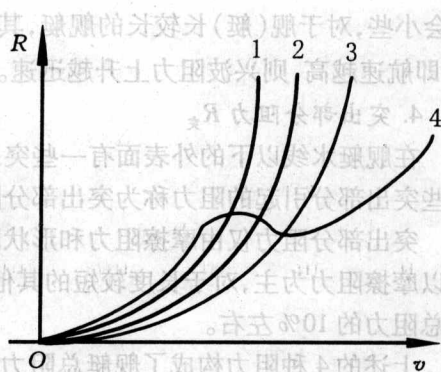


图1-2 不同舰艇阻力特性曲线

1—登陆舰艇;2—一般舰艇;3—快速舰艇;
4—水翼艇

(一) 螺旋桨的基本参数

1. 结构参数

(1) 螺距比 H/D

螺旋桨的螺距 H 与直径 D 之比称为螺距比。它是螺旋桨的主要结构参数之一,其值一般在 $0.6 \sim 2.0$ 之间。它表征螺旋桨叶片被扭曲的程度,螺距比越大,则螺旋桨叶片扭曲程度越大。

(2) 盘面比 A/A_d

螺旋桨各桨叶展开面积之和(叶片总面积) A 与以螺旋桨直径 D 所画出的圆的面积(圆盘面积) A_d 之比值称为盘面比。它是螺旋桨的另一个重要结构参数,其值通常在 $0.3 \sim 1.2$ 之间。它表征螺旋桨叶片的宽窄程度,盘面比大,说明叶片肥大,螺旋桨推水的总面积就大。

2. 运动参数

(1) 转速 n_p

为螺旋桨旋转时的每分钟转数。直接传动时, $n_p = n$ (n 为主机转速);间接传动时, $n_p = W_p \cdot n$ (W_p 为传动比)。

(2) 进速 v_p

为螺旋桨相对于静止水流的轴向前进速度。若不考虑舰(艇)尾伴流的影响,则有 $v_p = v$ 。

(3) 进程 h_p

为螺旋桨在静止水流中每转一周实际前进的距离。用公式表示则为 $h_p = v_p / n_p$ (式中 v_p 的单位是 m/s , n_p 的单位是 r/s)。

(4) 相对进程 λ_p

为螺旋桨每转一周时前进的实际进程 h_p 与该螺旋桨直径 D 的比值,即: $\lambda_p = h_p / D = \frac{V_p}{n_p \cdot D}$ (式中 D 的单位是 m)。对于一定的螺旋桨来说,直径 D 是不变的常数,相对进程 λ_p 就表示了螺旋桨的前进速度 v_p 与螺旋桨转速 n_p 之间的比例关系,所以相对进程 λ_p 是说明螺旋桨运转情况的一个重要的参数。下面在分析螺旋桨的工作情况时,实际上就是围绕着 λ_p 的不

同变化而进行的。

(二) 螺旋桨的水动力特性

对于一定的螺旋桨,在一定的运动情况下,所产生的推力和阻力矩的大小是一定的,这是任何一螺旋桨本身所具有的固定性能,称为螺旋桨的水动力特性。也就是说螺旋桨的推力和阻力矩与它的结构参数和运动参数有关。根据螺旋桨的理论,其推力和阻力矩与转速的关系式如下:

$$\text{推力 } P = K_1 \rho n_p^2 D^4 \quad (\text{N}) \quad (1-2)$$

$$\text{阻力矩 } M_p = K_2 \rho n_p^2 D^5 \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-3)$$

式中: ρ ——海水密度, kg/m^3 ;

n_p ——螺旋桨的转速, r/s ;

D ——螺旋桨的直径, m ;

K_1, K_2 ——分别为推力系数和阻力矩系数,它们除了与螺旋桨的螺距比(H/D)、盘面比(A/A_d)、叶片数、截面形状等结构参数有关外,还与螺旋桨的相对进程 λ_p 有关。

螺旋桨的效率 η_p 是有效功率与消耗功率(也即吸收功率)之比,而螺旋桨的有效功率为 $P \cdot v_p$,消耗功率为 $M_p \cdot \omega$,因此:

$$\eta_p = \frac{P \cdot v_p}{M_p \cdot \omega} = \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{\eta_p}{2\pi} \quad (1-4)$$

式中: v_p ——螺旋桨的进速, m/s ;

ω ——螺旋桨的旋转角速度, rad/s ;

λ_p ——相对进程。

上述式(1-2)、式(1-3)和式(1-4)是螺旋桨工作性能的基本方程式,对于几何形状一定的螺旋桨,推力系数 K_1 和阻力矩系数 K_2 都取决于螺旋桨的相对进程 λ_p ,它们之间的变化关系可由实验测得,图1-3所示为某螺旋桨实验结果作出的推力系数 K_1 和阻力矩系数 K_2 及螺旋桨效率 η_p 随相对进程 λ_p 的变化而变化的情况,其曲线称为螺旋桨的作用曲线。

由螺旋桨的相对进程定义式 $\lambda_p =$

$\frac{v_p}{n_p \cdot D}$ 可知,对于一定的螺旋桨, λ_p 取决于

舰艇的航行状态,即取决于舰艇的航行工况。因此,当舰艇在某一工况下稳定航行时,螺旋桨就有一固定的 λ_p 值, K_1 和 K_2 也成为常数。螺旋桨直径 D 是固定不变的,海水的密度 ρ 也可认为不变,这样,可把螺旋桨工作性能的基本方程式表示为:

$$P = C_p n_p^2 \quad (1-5)$$

$$M_p = C_M n_p^2 \quad (1-6)$$

$$\eta_p = C_\eta \quad (1-7)$$

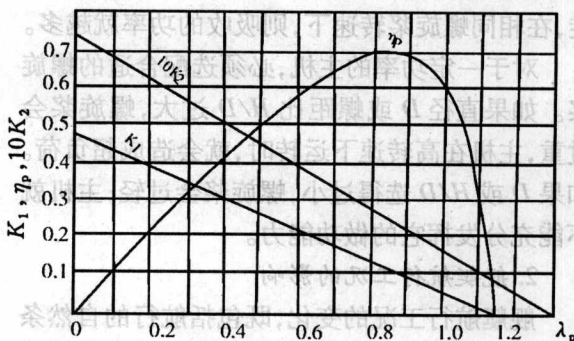


图1-3 某螺旋桨的作用曲线

式中: $C_p = K_1 \rho D^4$ 、 $C_M = K_2 \rho D^5$ 、 $C_0 = \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{\lambda_p}{2\pi}$ ——系数, 取决于舰

艇航行工况, 当舰艇在不变的工况下稳定航行时, 均为常数。

螺旋桨所需的功率 $N_p = M_p \cdot \omega = 2\pi n_p \cdot M_p$, 将式(1-6)代入, 得

$$N_p = C_N n_p^3 \quad (1-8)$$

式中: $C_N = 2\pi K_2 \rho D^5$ ——系数, 与 C_p 、 C_M 、 C_0 一样, 也取决于舰艇的航行工况。

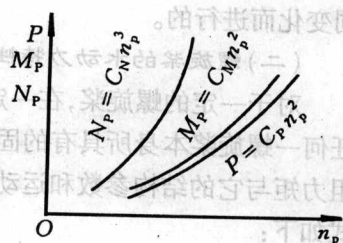


图 1-4 螺旋桨特性曲线

式(1-5)和式(1-6)说明螺旋桨的推力和阻力矩与其转速的平方成正比; 式(1-8)说明螺旋桨吸收的功率与其转速的立方成正比。将以上三式绘制成曲线, 此曲线即称为螺旋桨的特性曲线, 如图 1-4 所示。

(三) 影响螺旋桨特性的因素

影响螺旋桨特性的因素是多方面的, 但可概括为以下 2 个主要方面:

1. 螺旋桨结构参数的影响

螺旋桨的结构参数主要有直径 D 、螺距比 N_p H/D 。由式(1-2)、式(1-3)可看出, 直径 D 对螺旋桨产生的推力和吸收的转矩影响很大, 分别为 4 次方和 5 次方的关系。对于同一直径的螺旋桨, 其螺距越大即 H/D 越大, 它所需要的功率也越多。图 1-5 所示为不同 H/D 时的螺旋桨功率特性, 从图中可以看出 H/D 越大, 则曲线就越陡, 在相同螺旋桨转速下, 则吸收的功率就越多。

对于一定功率的主机, 必须选配合适的螺旋桨。如果直径 D 或螺距比 H/D 过大, 螺旋桨会过重, 主机在高转速下运转时, 就会造成超负荷。如果 D 或 H/D 选得过小, 螺旋桨会过轻, 主机就不能充分发挥它的做功能力。

2. 舰艇航行工况的影响

舰艇航行工况的变化, 既包括航行的自然条件变化, 如风浪大小、水深的变化等, 也包括各种机动操纵时的过渡过程, 如舰艇的加速、减速、倒航等。当航行工况改变时, 舰艇航速与螺旋桨的转速之间的关系要发生变化, 也即相对进程 λ_p 的数值要改变。由于推力系数 K_1 和阻力矩系数 K_2 随 λ_p 而变, 因此螺旋桨的推力和阻力矩也发生变化。下面就螺旋桨的推力和阻力矩在不同航行工况时的变化情况进行分析。

(1) λ_p 减小情况

这种情况相当于主机突然加速, n 提高很快, 而航速 v 却由于舰艇惯性的作用而暂时未变; 或者主机转速未变, 由于舰(艇)体污底、风浪增大、舰(艇)转弯等原因, 使舰(艇)体阻力增加, 导致航速变慢。由图 1-3 可知, 随着 λ_p 的减小, K_1 和 K_2 都增加, 则推力和阻力矩及吸收功率也都增加。螺旋桨推力的增加用来克服增大了的舰(艇)体阻力, 阻力矩的增加要求主机

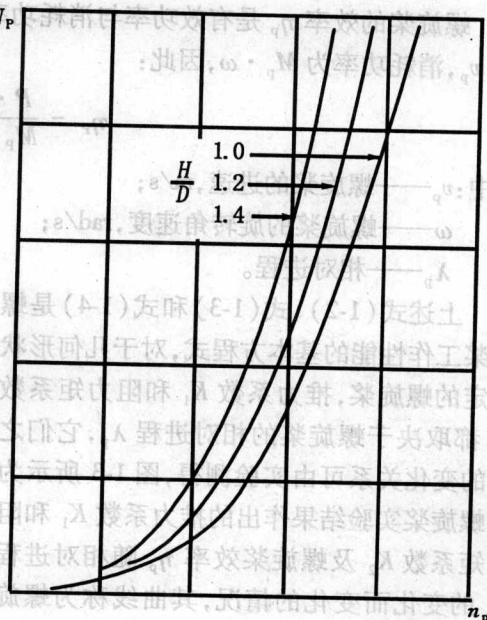


图 1-5 H/D 对螺旋桨特性的影响

发出更大的功率。在这种情况下,必须注意防止主机超负荷。图 1-6 所示为同一螺旋桨在不同 λ_p 情况下的吸收功率曲线,从图中可以看出在相同的转速下, λ_p 越小,螺旋桨吸收的功率 N_p 越大;反之,则越小。

(2) λ_p 增大情况

这种情况相当于舰艇顺风、顺流航行,舰(艇)体阻力减小,主机若仍保持原来的转速,航速会增加(即 λ_p 增大)。由图 1-3 可知,随着 λ_p 的增大, K_1 、 K_2 都相应减小,因此推力和阻力矩及吸收功率都会减小。此时,由于主机的负荷减轻,故要注意保证主机转速的稳定。

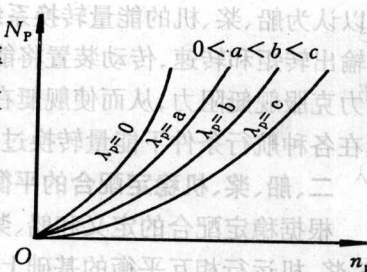


图 1-6 不同 λ_p 时的螺旋桨吸收功率特性曲线

三、柴油机的特性

柴油机的负荷特性、速度特性、推进特性、限制特性、调速特性已在《舰艇柴油机动力装置结构与原理》书中做过介绍,在此不赘述。

第二节 船、桨、机的配合特性

舰艇柴油机动力装置的配合特性是指主机、传动装置、螺旋桨和舰(艇)体之间的组合工作特性。无论主动力装置的组成形式如何,它们的配合特性主要分为两大类,即稳定工况时的配合特性和过渡工况时的配合特性。

稳定工况时的配合特性也称为稳定配合,它是指舰(艇)体—螺旋桨—主机这一个系统在运动过程中不存在加速运动,也就是不存在运动状态的变化或者变化极为缓慢。稳定工况时的配合特性包括正常配合和非正常配合,而在非正常配合中又分为轻载配合和重载配合 2 种情况。

过渡工况时的配合特性也称为过渡配合,它是指船—桨—机三者构成的系统在运动过程中存在运动状态的变化。过渡工况时的配合特性包括加(减)速工况时的配合特性、倒航工况时的配合特性和转向工况时的配合特性及大风浪工况时的配合特性等。

一、船、桨、机系统的动力传递模型

从第一节的介绍中可知舰艇在水中航行时将产生阻力,因此需要螺旋桨提供推力以克服舰(艇)体阻力使舰艇在稳定航速下航行,然而螺旋桨要产生推力,就需要主机提供旋转变力矩以克服螺旋桨的阻力矩使螺旋桨在稳定转速下运转,这样就构成了船、桨、机的能量转换系统。

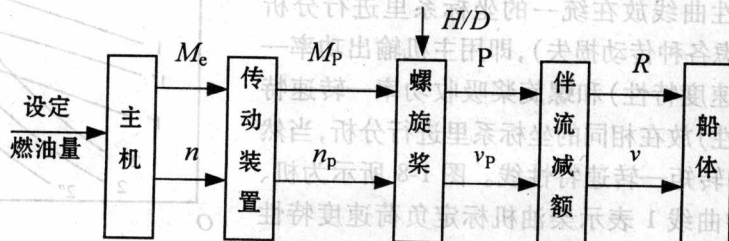


图 1-7 船、桨、机的动力传递模型

可以认为船、桨、机的能量转换系统是按图 1-7 所示的物理模型运行的,即主机输出能量,通常是输出转矩和转速,传动装置将能量传递给螺旋桨,螺旋桨把旋转的能量转化成为推力,以此推力克服舰艇阻力,从而使舰艇在给定的航速下稳定航行。船、桨、机工况与配合就是研究舰艇在各种航行条件下能量转换过程中的特性变化及其规律。

二、船、桨、机稳定配合的平衡条件

根据稳定配合的定义和船、桨、机系统的动力传递模型可知,船、桨、机稳定配合是建立在船、桨、机运行相互平衡的基础上的,这种平衡表现在 2 个方面,即运动的平衡关系和动力的平衡关系。

在主机和螺旋桨的关系方面,主机和螺旋桨是根据转矩—转速特性(或功率—转速特性)来工作的。若忽略传动装置及轴系的能量损失,按能量守恒原理,主机输出的转矩(或功率)应该等于螺旋桨吸收的转矩(或功率),并且主机和螺旋桨都应以相同的转速运转(假设螺旋桨由主机直接带动),即机—桨之间的平衡条件为:

$$\left. \begin{array}{l} \text{动力平衡 } M_e = M_p \text{ (或 } N_e = N_p) \\ \text{运动平衡 } n = n_p \end{array} \right\} \quad (1-9)$$

在螺旋桨和舰(艇)体的关系方面,螺旋桨和舰(艇)体是根据推力(或阻力)—航速特性来工作的。若不考虑螺旋桨的推力减额、轴系倾斜角及舰(艇)体周围水的伴流的影响,螺旋桨产生的有效推力应该等于舰艇在该航速下的阻力,并且螺旋桨和舰(艇)体以同一速度航行,即桨—船之间的平衡条件为:

$$\left. \begin{array}{l} \text{动力平衡 } P = R \\ \text{运动平衡 } v_p = v \end{array} \right\} \quad (1-10)$$

从船、桨、机的能量守恒关系可以看出,三者中任意一个特性改变,必然会影响到其他两者的运行状态,从而影响到总的平衡关系。当舰艇航行时,若主机的状态变化或因风浪、装载、舰(艇)体污底及拖带等引起舰(艇)体阻力变化都将打破三者间的平衡。例如:主机运转转速增加,使主机发出功率增加,螺旋桨要吸收主机增加的能量必然要运转在一个较高的转速上,进而使得螺旋桨产生的推力也增加,推力的增加使得舰艇加速航行,得到一个较高的航速,而舰艇航速的增加又使舰(艇)体的阻力加大,由此三者相互影响直至三者平衡于一个新的工作状态,即平衡于另一个转速和航速上,从而达到新的工况下的船、桨、机稳定配合。

三、船、桨、机配合的分析方法

通常讨论船、桨、机的能量平衡配合关系,最方便的方法是图示法。图示法是利用船、桨、机三者的特性曲线,将三者的特性曲线放在统一的坐标系里进行分析(这里暂时不考虑各种传动损失),即用主机输出功率—转速特性线(即速度特性)和螺旋桨吸收功率—转速特性线(即推进特性)放在相同的坐标系里进行分析,当然也可以用两者的转矩—转速特性线。图 1-8 所示为机、桨配合图。图中曲线 1 表示柴油机标定负荷速度特性线,曲线 2 为螺旋桨推进特性线,点 H 为机、桨配合平衡点。

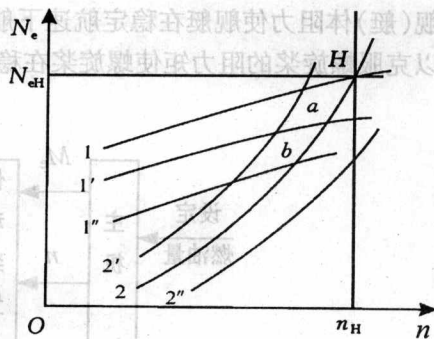


图 1-8 机、桨配合图

根据能量守恒关系,机、桨工作只有在二者特性曲线的交点才能达到平衡而稳定的工作,其他状态都处于不稳定工作。柴油机速度特性线由于喷油量的变化,具有若干条速度特性曲线(如图中的 $1'$ 、 $1''$ 曲线),在相应速度特性曲线下与螺旋桨推进特性线相交的交点都为平衡点(如图中的 a 、 b 点)。螺旋桨的推进特性线随着舰艇阻力特性的不同也有若干条坡度不同的曲线(如图中的 $2'$ 、 $2''$ 曲线),对于某一阻力特性确定的舰艇,其螺旋桨的推进特性线也是确定的某一条,该曲线与柴油机各条速度特性曲线的交点是舰艇在不同航行状态下的稳定工作点。

由此可见,柴油机动力装置的配合特性与柴油机速度特性、螺旋桨推进特性和舰艇阻力特性有密切关系,是当工况变化时三者综合变化的结果。因此,研究柴油机动力装置的工况配合特性的基础是柴油机、螺旋桨、舰(艇)体三者的特性。

四、船、桨、机的稳定配合特性

(一) 单机单桨传动的稳定配合特性

单机单桨传动的主动动力装置如图 1-9 所示,在该主动动力装置中,假设从主机到螺旋桨之间的传动系统中没有能量损失,假设轴系的倾斜角为 0° ,假设在舰艇运动中忽略伴流和推力减额的影响。下面我们来分析主机和螺旋桨的稳定配合情况。

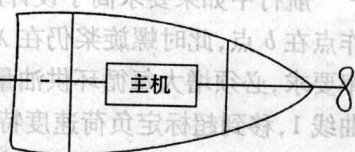


图 1-9 单机单桨主动动力装置简图

1. 正常配合特性

(1) 排水型舰艇的正常配合特性

对排水型舰艇来说,当舰艇处在标准工况,即舰艇在正常装载条件(正常排水量)及 2 级海况(3 级风、2 级浪)下舰艇航行的状态,此时舰艇的阻力系数为设计状态下的标定阻力系数 K_{RH} ,螺旋桨的相对进程为标定相对进程 λ_{PH} ,我们称这种工况下的船、桨、机配合为正常配合。按图示法分析机、桨的配合关系,将主机和螺旋桨两者的特性叠加在功率—转速坐标系上,即可得到正常配合时机、桨的配合关系图,如图 1-10 所示。图中曲线 1 为柴油机的标定负荷速度特性线,曲线 I 为螺旋桨在标定相对进程 λ_{PH} 下的推进特性线,此时对应的舰艇阻力系数 $K_R = K_{RH}$ 。从图中可以得到以下结论:

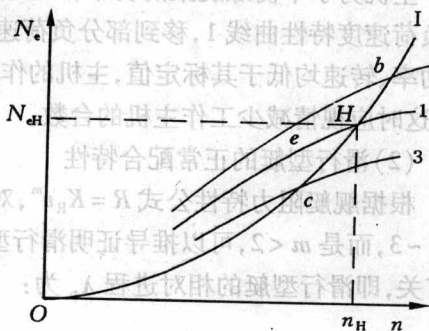


图 1-10 机、桨正常配合特性

① 标定工况下的配合

主机和螺旋桨两者特性的交点为 H 点,在该点上,螺旋桨吸收的功率(或阻力矩)与主机发出的功率(或转矩)相等,螺旋桨转速也与主机转速相等,机、桨在 H 点上达到平衡。因为在该点上的柴油机特性线为标定功率速度特性线,在该点上的螺旋桨特性线为标定相对进程下的推进特性线,所以我们称 H 点为舰艇的标定工作点,也称为设计点。在标定工作点 H 上,船、桨、机的所有参数同时达到标定值(参数下标以 H 标注即为标定值),即:

$$\left. \begin{aligned} n &= n_p = n_H \\ N_e &= N_p = N_{eH} \\ M_e &= M_p = M_{eH} \\ P &= R = P_H \\ \lambda_p &= \lambda_{pH} \\ v &= v_H \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

由此可见,在船、桨、机系统构成的一个有机整体中,标定点 H 的配合是它们之间在运转中相互配合的最佳工作点,并能实现能量的最佳转换。在标定点 H ,船、桨、机系统中主机能够发出标定功率并处于最佳设计工作状态;螺旋桨能全部吸收主机的标定功率并能最有效地将旋转能量转化成为有效推力。

②超标定工况下的配合

航行中如果要求高于设计航速航行时,螺旋桨须沿着推进特性曲线 I 提高转速,设最终工作点在 b 点,此时螺旋桨仍在 $\lambda_p = \lambda_{pH}$ 条件下工作,处于最佳状态。主机为了满足螺旋桨的功率要求,必须增大每循环供油量以提高输出功率 N_e ,此时主机工作点离开标定负荷速度特性曲线 1,移到超标定负荷速度特性曲线 2 上,并最终稳定工作于 b 点;此时,主机输出功率超过标定功率 N_{eH} ,转速高于标定转速 n_H ,处于超负荷状态。为此,必须要严格控制主机的转速(因其超负荷能力有限),且不允许在此状态下长期工作。

③低于标定工况下的配合

航行时如果要求降低航速时,螺旋桨将沿着推进特性曲线 I 减速运行,设最终工作点在 c 点。主机为了平衡螺旋桨的功率,必须减少每循环供油量,以减小输出功率,其运行点离开标定负荷速度特性曲线 1,移到部分负荷速度特性曲线 3 上,并最终稳定工作于 c 点。此时主机的功率、转速均低于其标定值,主机的作功能力没有得到充分的利用,而且燃油消耗率 g_e 也增大,这时应视情减少工作主机的台数。

(2)滑行型艇的正常配合特性

根据舰艇阻力特性公式 $R = K_R v^m$,对于滑行艇和水翼艇来说,指数 m 不是排水型舰艇的 $m \approx 2 \sim 3$,而是 $m < 2$,可以推导证明滑行型艇相对进程不仅与阻力系数 K_R 有关,还和舰艇航速 v 有关,即滑行型艇的相对进程 λ_p 为:

$$\lambda_p = f(K_R, v) \quad (1-12)$$

可见滑行型艇的机、桨配合即使在 $K_R = K_{RH}$ 为定值的条件下,其相对进程 λ_p 会随航速 v 的变化而变化。一般而言,航速 v 增加, λ_p 也增加,但不成正比关系,即在 $K_R = K_{RH}$ 的条件下,滑行型艇从低速到高速航行时,其相对进程是从小到大递增的,在部分负荷航行工况时 λ_p 均小于 λ_{pH} ,仅仅在标定工况时 $\lambda_p = \lambda_{pH}$ 。根据试验结果,滑行型艇螺旋桨负荷与其转速的关系为:

$$\left. \begin{aligned} M_p &\propto n_p^m \\ N_p &\propto n_p^{m+1} \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

在正常情况时,滑行型艇在浮行状态时指数 $m = 1.8 \sim 2.2$ (平均值为 2);过渡状态时指数 $m = 0.9 \sim 1.2$ (平均值为 1);滑行状态时指数 $m = 0.6 \sim 0.8$ 。水翼艇高速航行时可取指数 $m = 1$ 。

<< 从滑行型艇的指数变化规律看出,在滑行型艇低速浮行阶段,有和排水型舰艇相似的螺旋桨特性,故该阶段中可以应用排水型舰艇的配合规律。

2. 非正常配合特性

排水型舰艇的推进特性曲线是等相对进程线,只有相对进程为 λ_{pH} 的推进特性曲线通过标定点 H ,其他状态时, $\lambda_p \neq \lambda_{pH}$,推进特性曲线不通过标定点 H ,我们称 $\lambda_p \neq \lambda_{pH}$ 的机、桨配合为非正常配合。它可分为重载和轻载2种情况。

(1) 重载配合

重载配合的特点是舰艇阻力系数 $K_R > K_{RH}$,螺旋桨的相对进程 $\lambda_p < \lambda_{pH}$,推进特性曲线比正常配合时的推进特性曲线要陡一些,如图1-11所示。图中曲线I为标定工况下的推进特性曲线, H 点为标定工作点,曲线II为重载时的推进特性曲线。重载配合时曲线II与柴油机标定负荷速度特性曲线1的交点 b 即为机、桨最高配合点,此时主机能提供的最大输出转矩为 M_{eH} ,主机的转速为 $n_b < n_H$,即重载配合时主机已达到标定转矩 M_{eH} ,但转速尚未达到标定转速 n_H ,故主机不能发出标定功率 N_{eH} ,而是发出部分功率 N_{eb} 。由此可见,重载配合时主机不能发出标定功率,相应地螺旋桨也不能吸收到标定功率,舰艇航行也就达不到标定航速,通常称之为螺旋桨“重”了。

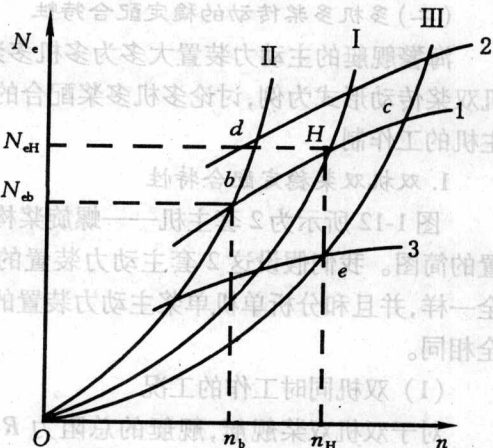


图1-11 机、桨正常配合特性

出现重载的原因主要有舰(艇)体因污底、变形使阻力增加;舰艇装载过重使阻力增加;舰艇拖带使阻力增加;因航道、风浪等因素使舰艇阻力增加或多桨舰艇仅部分桨工作等。重载工况下对主机的管理最主要的是要防止主机超负荷,主机的工作转速要求低于重载最高配合点 b 的转速 n_b ,一般不能高于 n_b (如标定转速 n_H)工作。但有时由于执法执勤任务的需要,可短时允许将配合工作点从 b 点移至 d 点(柴油机超标定负荷速度特性曲线2与重载时的螺旋桨推进特性曲线II的配合工作点),此时主机已在超标定负荷下工作,必须严密注意主机的工作情况。对于带调距桨的主动力装置,在使用管理中,重载时避免主机出现超负荷的方法可适当减小螺距比,以降低螺旋桨的阻力矩系数 K_2 ,因为在定距桨主动力装置中,螺旋桨的阻力矩系数 K_2 在 λ_p 一定时是唯一的,不可能改变。但在带调距桨的主动力装置中,由于可以通过调节螺距,得到无数个阻力矩系数 K_2 。当减小螺距比时,可得到一个比原螺距下相应阻力矩系数 K_2 小一些的阻力矩系数,使螺旋桨的阻力矩 M_p 减小,主机在该螺距和标定转速下的负荷也会相应地减小,直到恢复到与主机标定转矩相等,主机又能发出标定功率,机、桨恢复到正常配合。

(2) 轻载配合

轻载配合的特点是舰艇阻力矩系数 $K_R < K_H$,螺旋桨的相对进程 $\lambda_p > \lambda_{pH}$,推进特性曲线比正常配合时的推进特性曲线要平坦一些,如图1-11所示。图中曲线III为轻载时的推进特性曲线。轻载配合时,曲线III与柴油机标定转速线(即 n_H 线)的交点 e 为机、桨配合的最高配合点,此时主机转速已经达到标定转速 n_H ,但主机输出转矩 $M_{ee} < M_{eH}$,主机发出的功率 N_{ee} 低于