

# 船舶动力定位 译文集

(内部资料 注意保存)

上海船舶设计研究所  
地址：上海四川中路 346 号

## 目 录

前言——船舶动力定位系统的发展概况 .....	( 1 )
动力定位船舶“Wimpey Sealab”的流体动力性能 .....	( 4 )
半潜式海上钻探平台的动力定位系统 .....	( 20 )
关于半潜式平台的动力定位最佳控制系统的 专题研究 .....	( 31 )
一艘半潜式平台动力定位系统的试验 .....	( 41 )
深海钻探船的动力定位系统设备的方案 .....	( 57 )
荷兰 IHC 公司石油钻探船的动力定位系统研制情况 .....	( 84 )
深水钻探船的动力定位 .....	( 95 )
不用锚的深水钻探——动力定位 .....	( 103 )
海上钻探作业声学定位参考法 .....	( 111 )
新型声学定位参考系统 .....	( 125 )
动力定位装置 .....	( 136 )
船舶动力定位分析报告 .....	( 145 )
动力定位钻探船 SEDCO44 .....	( 163 )
法国声学定位系统介绍 .....	( 181 )
船舶动力定位系统的发展 .....	( 194 )

# 前 言

## ——船舶动力定位系统的发展概况

动力定位是使船只或海上浮动平台利用其自身动力(不用锚)抵御海上风、浪、流的影响,自动保持于设定位置和方位上的一项新技术。这是进行深海石油钻探、从事海底工程、水下打捞、救生以及海洋地质调查等不可缺少的手段。

动力定位系统(Dynamic Positioning System 简称 DPS)也有人称之为位置自动保持系统(Automatic Station Keeping 简称 ASK)。国外发展于六十年代初期;1961年美国 SEDCO 公司首先在小型取芯船“Eureka”号上装备了 DPS,1968年美国造出了世界上第一艘动力定位钻探船“Glomar Challenger”号,随着海洋开发事业的发展,特别是海洋石油开发由大陆架移向深水区时,动力定位技术愈益受到重视,迄今为止,已经有六~七个国家(如美、英、法、挪威、西德、日本等)已能够生产或正积极研制动力定位系统,装备有动力定位系统的船只和半潜式平台已达 30 多艘。择其典型者有:

美国的“Glomar Challenger”、“Sedco-445”号;

法国的“Pelican”、“Terebel”号;

英国的“Wimpey Sealab”、“Uncle John”号;

日本 1975 年为美国建造的“Discovery 534”号。

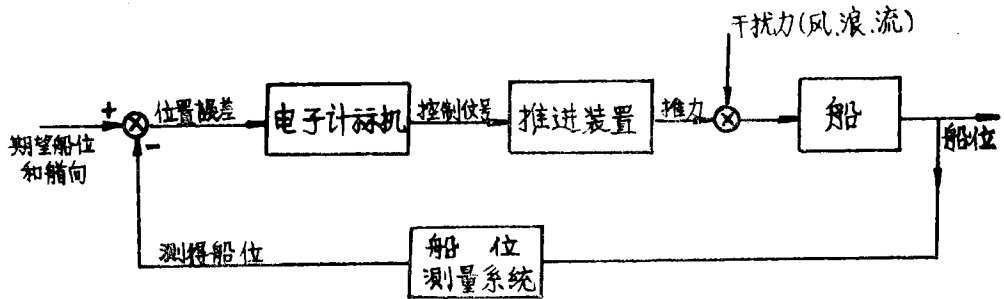
最近投入运行的美国 Sedco 公司的 SEDCO-709 半潜式动力定位钻探平台是于 1978 年在加拿大建成的,这是目前世界上最大的具有动力定位系统的半潜式钻探平台,工作水深可达 6000 英尺,满载作业排水量为 29000 吨。

目前,国外生产动力定位系统的公司比较著名的有:美国的霍尼威尔(HONEYWELL)公司、法国的“阿卡泰”电讯工业公司(CIT-ALCALTEL)、英国的通用电气公司集团下的电力设计公司(GEC-Electrical Projects Limited)和挪威的康司勃公司(Kongsberg)。西德的 AEG 公司也生产了一套,但尚属试验阶段。据了解,日本的三菱重工业株式会社、三井造船株式会社及日立造船公司都在积极研制 DPS。其中又以美国、法国、英国这几家公司的 DPS 销路最广,荷兰 IHC 集团公司为其它国家建造的动力定位钻探船和平台,其动力定位系统也多采用美国霍尼威尔公司或法国阿卡泰公司的成熟产品。

动力定位系统其基本结构如下图所示:

这是一个闭环调节系统。系统的基本原理是利用电子感应元件或水声感应元件,将在外界(风、浪、流)扰动力的作用下船只的水平漂移量与方位偏差量及时感应和检测出来,经过信号处理器的处理,自动输入电子计算机,通过计算,发出推力指令,使推进系统(主推进器和推力器)发出相应的推力,以抵抗外界扰动力,使船只回复到原有的位置和方位上。

如下图所示,系统的基本构成主要有三部份:船位测量系统、电子计算机系统、推力装置。电子计算机及其外围设备、各种接口装置是整个系统的“中枢神经”。最初的动力定位系统采用模



拟式计算机，现在多数采用通用数字式计算机，主要理由是精确、可靠性高、体积小、通用性强。添加磁心存储器后容易扩展功能。例如英国 GEC 电力设计公司在“Wimpey Sealab”和“Uncle John”号船上就是应用了该公司生产的标准系列通用计算机，其储存容量达 48K 字节。也有人主张采用模拟与数字混合式计算机。就控制功能来说，一般只要采用一台中型电子计算机即可承担诸如：位置控制及综合逻辑计算、波浪过滤、风前馈、PID(比例、积分、微分)控制、最佳方位优选(即最小功率航向)、推力分配等在内的全部计算工作。但是为了保证系统的充分可靠，故绝大多数的动力定位系统均采用两台相同型号的电子计算机及其外围设备、两套相同的位置测量系统及信息传感器，构成交叉平行系统，以便一旦其中有任何一个设备发生故障，可以实现自动转换，确保系统工作的连续性。

船位测量系统是整个动力定位系统的“感觉器官”——工作的依据。船位测定方法有多种：有无线电波方式的、声学方式的、机械式的(即钢索张紧系统(Taut Wire 简称 TW))、激光或惯性导航方式的。它们各有其利弊：目前应用最多的是用声学系统测定船位，即所谓的声学测量系统(Acoustic Measurement System 简称为 AMS)，而以机械式的作为备用的测量系统。以 AMS 为基础组成的定位系统，就称为声学定位系统(Acoustic Positioning System 简称为 APS)。这是迄今为止的动力定位钻探船和半潜平台上普遍采用的系统。美国霍尼威尔公司，英国通用电气公司和法国阿卡泰电讯公司目前生产供应的动力定位控制系统也都是这种类型。

英国 GEC 公司最近在动力定位系统的位置计算电路内，还采用了一种综合逻辑电路(Pooling Logic Circuit)，该电路根据统计加权(Statistical weight)的办法，可同时对来自不同的位置测量系统(如声学测量系统和张紧钢索系统)的位置信号，进行逻辑判断，然后根据这些联合信息给出最佳的位置坐标数据。而在这以前，则是首先采用 AMS；只是在 AMS 失灵后才转换到以 TW 系统作为船位测量系统。显然前者更为完善。

无线电测位装置之用于动力定位系统是最近才发展起来的，目前有两种类型：一种是距离/方位系统，如荷兰生产的 Artemis 系统；另一种是距离/距离系统，如美国 Motorola 公司生产的 Mini Ranger 系统。这两种本质上是一种微波测距测位系统，它需要固定的台、站作为参照物，且要在视线距离范围内，因此，这一类型仅适用于在固定式(或浮动)平台附近、或紧靠该平台工作的动力定位多用途工作船。

激光、惯性测位装置之用于动力定位系统问题，迄今尚在探讨中。

上述多种测位系统都只能测定相对于海上某一参考点的位置，而不是地球的绝对位置坐标。美国台卡(Decca)公司的“Pluse-8”系统试图解决这个问题。这是在船用雷达系统基础上发展来的，但目前精度为  $\pm 50$  米，还不能满足动力定位的要求。

一般说来，目前的声学测量系统测位精度可达 1% 的水深。由于各种因素，整个系统的定位

精度要比该值差些，这些因素包括环境条件、推力器的调节精度、整个系统的控制增益和时间常数，船的上层建筑和排水量，特别是螺旋桨和推力器的噪音等。因此，国外对动力定位钻探船（或平台）的设计定位精度一般为5%~6%的工作水深，而对于紧靠固定平台工作的动力定位多用途船则要求不大于3%水深为好。但根据已有动力定位钻探船 Pelican 号 1973~1975 年的实际运行经验来看，其实际定位精度在 93% 的定位时间内不超过 2%，显然是足以令人满意的。

当然，设法提高系统的增益和灵敏度还有可能进一步提高定位精度，但由于船舶本身是一个很大的惯性环节，事实上来不及响应电气控制系统的速度，因而只会增大推力器的无谓损耗。所以，权衡起来，为了获得更为合理的整个系统的综合性能，只要在允许范围内宁可牺牲一些定位精度，这是迄今的一般看法。

推力器的形式目前仅限于五种：可变螺距螺旋桨（兼作主推进器）；可变螺距侧向推进器；全回转的带导管的可变螺距螺旋桨（一般在不作动力定位时均可收入船底之内）；直翼式推进器和全回转的喷水推进器。可根据各种船的要求分别使用或混合使用。动力一般采用柴油机或交流电动机驱动。荷兰 IHC 型动力定位钻探船的推力器多数采用可变螺距螺旋桨，用交流电动机直接驱动，单机功率达 1750HP，电压为 6000 伏。美国 SEDCO 公司的 SEDCO 709 半潜式动力定位平台单只推力器功率已达 2500HP。

动力定位系统的控制基本上取三种：1) 全自动；2) 半自动；3) 手动。

由于微处理机的应用，使动力定位船的移位变得简易和灵活。美国 GEC 公司在动力定位系统中所采用的微处理机操作杆控制系统（GEC Microprocessor Joystick Control System）已经能做到使船舶在水平位置上向任何方向每米每米地移动和几度几度地改变艏向。可预期随着微处理机的广泛采用，船舶动力定位控制系统必然更加日趋完美，操作更加简便，造价相应降低，动力定位技术对于海上特种工程必将显示出其巨大的优越性。

林仲强 钱新之

# 动力定位船舶“Wimpey Sealab”的流体动力性能

J. W. 英吉利 D. A. 威斯

## 一、概 述

“Wimpey Sealab”是一艘多用途海洋工程内燃机船。由 Wimpey 试验室 (Wimpey Laboratories Limited) 使用, 并由英国 GEC 电气工程公司 (GEC Electrical Projects Limited) 装置了使用计算机的动力定位系统。它原来是一艘货轮, 后改装为钻探船。1974 年 11 月完成动力定位作业试验。

“Wimpey Sealab”的外貌图见图 1, 其动力定位系统的要素见图 2。

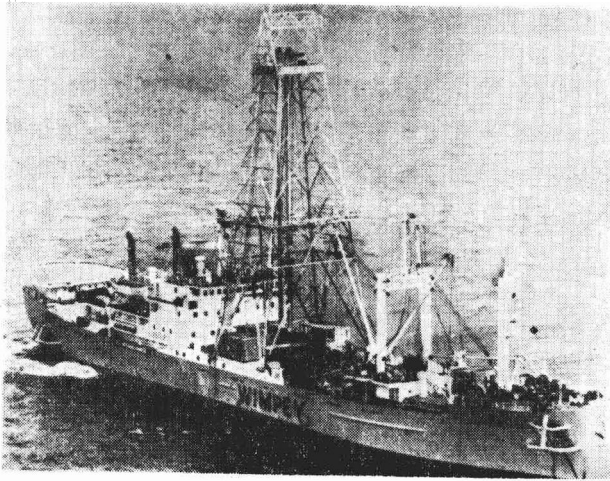


图 1 “Wimpey Sealab”外貌

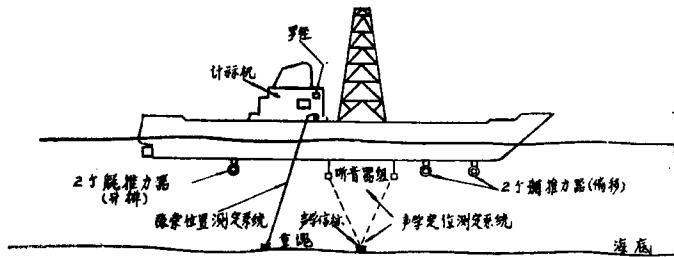


图 2 Wimpey Sealab 的动力定位系统要素

**位置参考系统:** 声学和张索系统用于测定船舶位置与海底固定参考点的偏移, 罗经用于测定船舶艏向与固定参考艏向的偏移。

**推进系统:** 四台 746 千瓦可调螺距、可旋转且可伸缩的推进器对船舶提供力和力矩, 以抵抗风、波浪和流的干扰, 保持位置及艏向。

**操纵系统:** 一台 GEC 2050T 数字计算机, 接受船舶位置和艏向偏移信号并向各推力器输出推力大小和方向的指令, 使船舶位置和艏向保持其参考位置。

动力定位船推力器产生的力和力矩必须与环境所产生的平均稳定负荷相匹配。本文的宗旨在于叙述这些量的估算方法。为此必需分析由于流、波浪和风等要素作用于船舶上总的力和力矩，并分别处理，即不考虑互相干涉的影响，对于这样复杂的船在完成设计之前，必须慎重考虑船对于环境作用和推力器作用力响应的数学模拟以及为此导得的运动方程的描述。

“Wimpey Sealab”的水池及风筒试验是在英国国家物理研究所进行的。

“Wimpey Sealab”的主要要素为：

主尺度

排水量(包括井口内的水)	5670吨
两柱间长( $L_{PP}$ )	94.49米
船宽( $B$ )	15.24米
平均吃水( $T$ )	5.49米
两柱间艏倾值	0.61米
方形系数	0.655
浮心位置	2.46% $L_{PP}$ (舭后)

动力装置：

主机 2014 千瓦(2700bhp)柴油机

推力器 四台可以360°方向产生推力的 746 千瓦导管螺旋桨

模型的比例和材料：

壳体模型5209	1/20.09 聚氨酯
壳体模型5210	1/39 聚氨酯
风筒模型	1/98 木质

“Wimpey Sealab”的推力器布置如图 3。

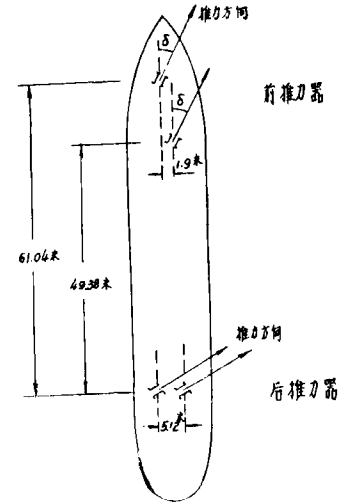


图 3 “Wimpey Sealab”的推力器布置

## 二、水 流 力 和 力 矩

在水流中，作用于船舶上的稳定侧向力和力矩可能是很关键的，特别是在某些区域可能遇到 3 节左右的表面流。因此在决定钻探船推力器的大小时，合理地估计环境作用力和力矩中水流部分所占的比重是很重要的。

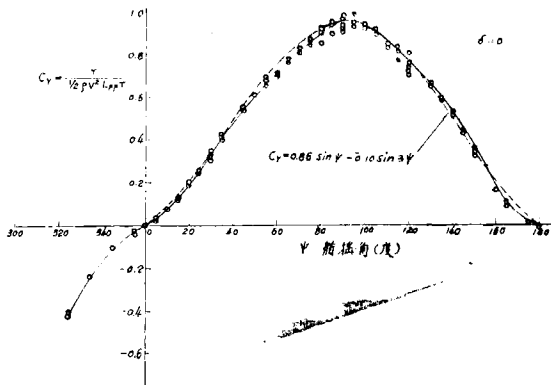


图 4 横向力系数与艏摇角的关系

在斜流中，围绕船壳的流动是很复杂的，因此完善地定出力和力矩只能从模型试验获得。在设计初始阶段，可以根据经验数据作出 X 和 Y 方向作用力的合理估计，但是估计转动力矩是不能令人满意的。一组典型的  $C_Y$ ,  $C_X$  及  $C_N$  的测定结果给出于图 4、5 和 6 中。这些数据是从“Wimpey Sealab”1/20.09 的比

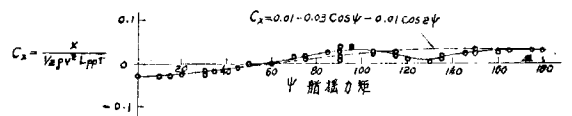


图 5 纵向力系数与艏摇角的关系

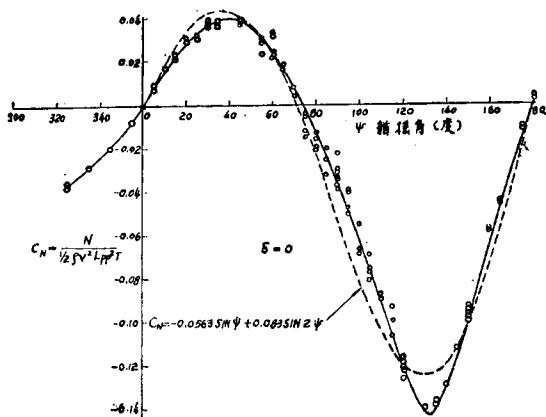


图 6 力矩系数与艏摇角的关系

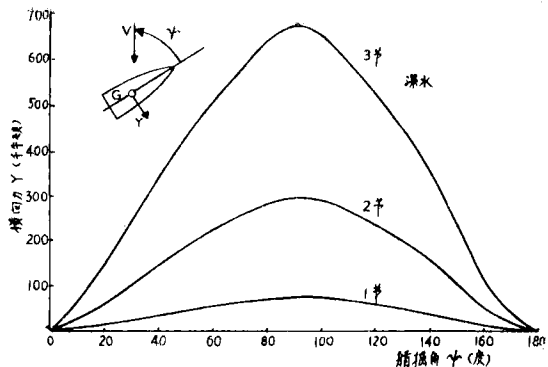


图 8 由于水流产生的横向力

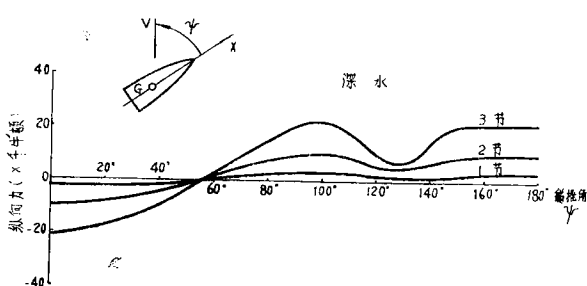


图 7 由于水流产生的纵向力

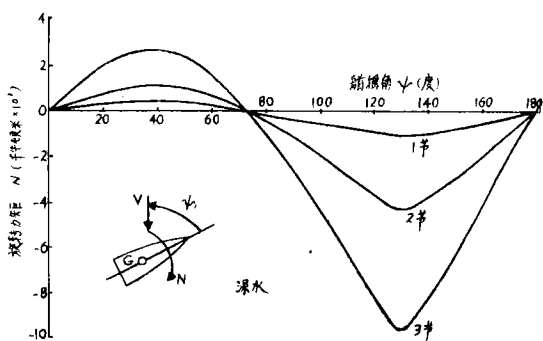


图 9 由于水流产生的力矩

例模型在英国国家物理研究所 3 号水池中得到的，其他试验数据见图 7，图 8 和图 9。

横向力  $Y$  和纵向力  $X$  认为是作用于船舶的重心的，这些曲线的特性是最常规船型的典型代表。应用这样表示  $C_X$ 、 $C_Y$  和  $C_N$  结果的方法对于流速和船的吃水和纵倾是无关的。图 4、5 和 6 中的黑点是在该船  $L_{PP}$  处艏倾 0.61 米时获得的，而基本曲线是对应  $L_{PP}$  处艏倾 1.9 米的。与纵倾无关的原因是因为横向投影面积是不变的。同时，作用于船壳上的压力的力矩的改变大约等于总的横向力乘以由于纵倾所引起的重心纵向位置变动的距离。

$\psi = 130^\circ$  与  $\psi = 40^\circ$  时的转动转矩峰值的不同是由于艏部舵和固定螺旋桨的存在，而艏艉横剖面形状的不同也有影响。 $x$  力在 0 和低  $\psi$  值处主要是由于表面摩擦，因此和尺度效应有很大关系。但由于这个力对于所有的  $\psi$  值都是很小的；而且通常可以用两因次表面摩擦公式加以修正，影响是不大的。

$C_Y$  的最大值通常发生在  $\psi = 90^\circ$  处，而且在这个区域横流原理，即  $C_Y = C_{Y_{90}} \cdot \sin^2 \psi$  被应用。在低  $\psi$  值处，船体类似于展弦比值很低的薄翼。 $C_{Y_{90}}$  值的大小主要取决于试验用模型的附件情况，是否装置了舳龙骨和其他附体，尽管参数  $B/T$  似乎同样也是具有重要意义的。例如，以下的  $C_{Y_{90}}$  值是在下列状态下，在 1/39 的“Wimpey Sealab”的模型上获得的。

$C_{Y_{90}}$			
裸船壳	装置激流丝	装置舳龙骨	参考文献[24]的深潜平板
0.75	0.70	0.95	1.3



### 三、波浪的漂移力及船舶的运动

#### 1. 漂移力

动力定位控制下的船舶在海上承受着对应于各个波传的频率比较高的振荡力和力矩，同时还承受着在规则波情况下是稳定的，而在不规则波的情况下则随时间而缓慢变化的漂移力和力矩。

高频的振荡力和力矩是不可能用推力器去克服的，因为需要的能量很大，而且将使机械装置承受过多的磨损，故只能也只需考虑漂移力和力矩。计算漂移力和力矩以及船舶运动已有相当多的文献论及，可见参考文献[6]到[15]。漂移力和力矩计算结果的准确度，取决于计算的方法和假定。但是，只有在大量了解试验和计算之间的相互关系后才有把握只用计算结果。

在船舶运动中，对于纵摇、升沉以及一定程度的横摇试验与计算之间已经达到良好的符合程度。所有这些都是属于具有很大的复原力的运动。然而，对横荡、纵荡和艏摇来说类似的比较是很少成功的[16]。

为了保持动力定位船舶的定位，在决定推力器的大小时，必须知道稳定的或缓变的漂移力和力矩的大小，同样，也必须估计到，可能遭遇到的波浪频率范围，因为在动力定位系统中，与容许低频通过的滤波器相结合以防止推力器随动于所有的波传是很重要的。

到目前为止，英国国家物理研究所应用的决定作用于船模上的漂移力和力矩的方法是：在规则波列下，使用一些细索、滑轮和重块使船模保持在一个固定平均位置。船模事实上在各方向上是自由的，用平均重量和细索的方向来估计漂移力和力矩。

在通常规则波中，一般假定二阶漂移力和力矩正比于振幅的平方，因此漂移系数可以定义为：

$$C_{Yw}(C_{Xw}) = \frac{\text{侧(或纵)漂移力}}{\frac{1}{2}\rho g L_{PP} \zeta_A^2} \quad (3.1)$$

及

$$C_{Nw} = \frac{\text{艏摇力矩}}{\frac{1}{2}\rho g L_{PP}^2 \cdot \zeta_A^2} \quad (3.2)$$

“Wimpey Sealab”船模的  $C_{Xw}$ 、 $C_{Yw}$  及  $C_{Nw}$  值相对于  $\lambda/L_{PP}$  的图见图 10~图 12。

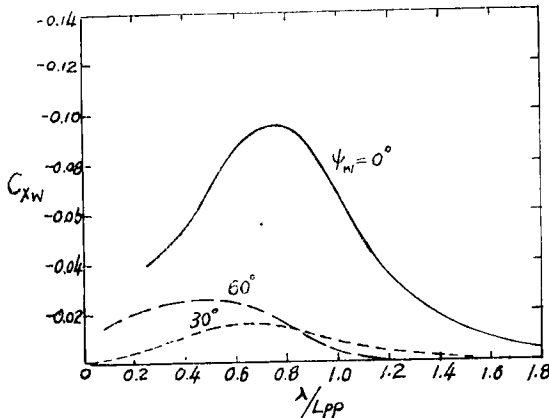


图 10 波浪平均纵漂移力系数

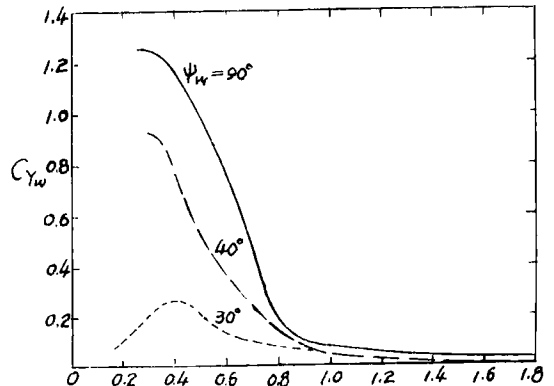


图 11 波浪平均横漂移力系数

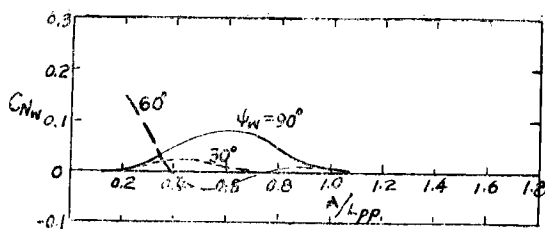


图 12 波浪平均转动力矩系数

为了获得在不规则波列下的漂移力和力矩，通常假定叠加原理适用，并且对假定的波浪能量谱对力和力矩的积分。假如波浪能量谱密度在频率为  $f$  时为  $S(f)$ ，此时波浪振幅相当于在频带宽  $df$  间的能量， $\zeta_A = \sqrt{2S(f)df}$ ，则平均漂移力为：

$$X_w = \rho g L_{PP} \int_0^F S(f) C_{Xw} df \quad (3.3)$$

$$Y_w = \rho g L_{PP} \int_0^F S(f) C_{Yw} df \quad (3.4)$$

漂移力矩为：

$$N_w = \rho g L_{PP}^2 \int_0^F S(f) C_{Nw} df \quad (3.5)$$

其中  $F$  为频率上限

在不规则波浪中，漂移力是个缓变量，而且与能量谱中不同频率的波浪分量有关。例如，如果我们叠加两个不同频率和振幅的规则波浪，合成的波浪运动包络线是相对于某一稳定水平的另一种波形。合成波浪的拍频是两个波浪分量的频率差，而稳定水平则取决于这两个波浪的振幅。这个差周作用，Kaplan 曾在参考文献[9]中结合锚泊和动力定位的船舶加以讨论。海浪谱比一对简单波的情况要复杂得多，处理连续谱的方法在参考文献[9]及[10]以及 Neuman 在参考文献[17]中曾加以讨论。Neuman 表明，缓变的漂移力可以根据从规则波试验中决定的传递函数进行估计。

在缺乏船舶在特殊作业海况的资料时，国际水池会议的不规则海浪谱可用于计算漂移力。给出为：

$$S(f) = \frac{499.8 \times 10^{-8} e^{-B/f^4}}{f^6} \text{ (米}^2 \cdot \text{秒)}$$

其中

$$B = \frac{1.995 \times 10^{-3}}{\bar{H}_{1/3}^2}$$

其中  $\bar{H}_{1/3}$  为有义波高，单位米。

这些计算结果表示于图 13 中，当  $\psi_w = 90^\circ$  时，规则波的漂移力矩的测定值大得不切实际，加之离散度很大，因此这些点不包括在图 13 中。

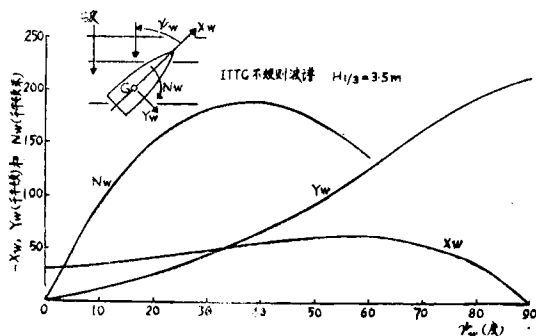


图 13 波浪漂移力及力矩

## 2. 船舶的运动

在测定前述在规则波中的漂移力的同时，模型平面运动的记录也已得出。这些记录表明： $\psi_w = 0$  时的侧向运动和  $\psi_w = 90^\circ$  时的纵向运动一样是可以忽略的。更进一步可以认为，所有的  $\psi_w$  值内，摇艏运动显然也是可以忽略的。测定纵荡和横荡的响应振幅算子表示于图 14 及图 15，而其他运动由计算求得。

在不规则海浪下的运动可以按规则海浪来决定，用波浪能量谱密度与相应的响应振幅算子平

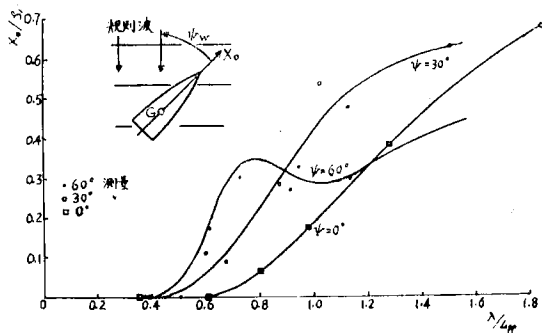


图 14 波浪引起的纵荡振幅

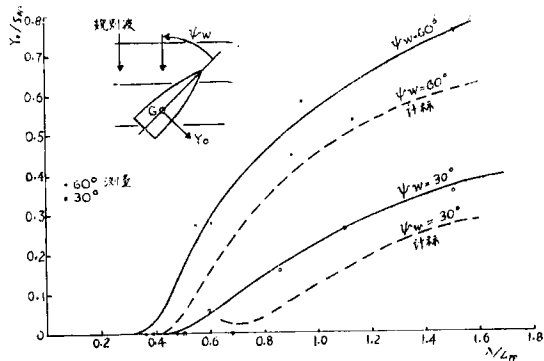


图 15 波浪引起的横荡振幅

方的乘积积分而得，用相似的方法可以求得漂移力和力矩。

#### 四、风力和力矩

对于风的作用来说，动力定位钻探船上存在钻塔是这类船型和常规船型之间的主要区别。参考文献中已经有大量的关于计算常规船型的风力和力矩的资料，例如[18]，[19]，但是相对于有钻塔的船来说则太小了，只有文献[20]是例外。对于风来说，多数情况下认为可以简单地把作用于船体和上层建筑上的力和力矩加上作用于钻塔上的力和力矩，并认为它们之间不存在干扰。只有在某些船体结构，如船楼或桥楼，部分地遮蔽了钻塔时似乎应出现比较大的干扰。仔细地把用于常规船上的可用资料加上参考文献[21]所述的海上结构资料，就可能初估出由于风产生的力和力矩。但是钻塔的附加值可能引起  $X$  和  $Y$  方向力及力矩  $N$  的显著改变。此外还将产生一个倾侧力矩与船体本身产生的力矩一样是很大的。

测定风力和力矩的试验是在英国国家物理研究所海事科研部 (Maritime Science Division, N. P. L.) 的风筒里进行的。为此目的，水上模型的比例为 1/96，试验是在风速为 25 米/秒下进行的。模型在整个 360° 内转动，纵向、横向力是与相对于船重心的艏摇力矩一起测定的。

在根据试验结果计算风力和力矩时，风速是根据静水表面上 10 米高的资料。也允许静水表面以上的速度分布根据以下公式估算：

$$\frac{U_h}{h^{1/8}} = \frac{\bar{U}}{(\bar{h})^{1/8}}$$

式中， $U_h$  是在水表面上高度  $h$  处的风速， $\bar{U}$  表示已知的高度为  $\bar{h}$  时的风速。对于 10 米已知高度风速为 25 节时作用于船上的力和力矩，根据模型的系数导出，给出于图 16，相当于  $\psi_w$  范围为 0° 到 90°。

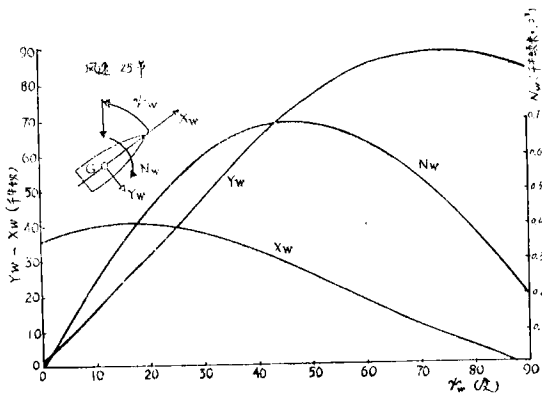


图 16 风力及力矩

## 五、推进器与船体的干扰

目前有多种形式的推力器应用在钻探船和半潜式钻探平台上，包括普通的推进器，导管推进器和真翼式推进器。在某些情况下推进器安装在船上，其推力轴相对于船舶是固定的。有些则是可以伸出船底，可以是固定推力轴向或者按推力方位旋转的轴向。一个现代的动力定位半潜式平台的方案是包括一对装置在浮筒中的固定推力装置以及可以收到浮筒上去的带导管的方位推力器[2]。此外还装置了四个固定的导管推进器作为主推进装置。

当船舶在水流中保持定位或在静水中运动时，在推力器和主推进器的作用下，作用于船体上的力和转动动力矩不再简单地是它们单独运转时的作用力。由于干扰将引起船体上的作用力和力矩大于或小于推力器单独运转时的作用力或力矩。为了获得关于这方面更多的资料，使用运转于船底下面的推力器进行了大量的试验。这些推力器能沿垂直轴的各方位旋转，而模型则挠性地固定在拖车上，以获得在模拟有水流或无水流的情况下作用在船壳上的力和力矩。在这些试验中是不可能测得推力和输入推力器的功率的，而以事先从单独推力器上获得的相对于旋转速度的静推力特性来确定各特定状态下的推力。在低进速比时，这样处理是可行的。但是在某些方位下，一个装置的螺旋桨尾流将进入另一个装置，并将影响下游装置的性能，当这个现象在模型上发生时，下游推力器的推力将减少一个不定的量。在船上这个现象不会发生，因为装置了可变螺距推进器并能保持全功率。

### 1. 无水流时的干扰

图 17 和图 18 表示在静水中固定船体上应用前推力器的试验结果。两个前推力装置的全功率静推力名义上为 200 千牛顿，即每台 100 千牛顿。在这些试验中，两套装置的轴线方位相同，因此其相对于  $X$  轴的方向以单角度  $\delta$  定义。两装置的推力轴在  $\delta = -10^\circ$  和  $170^\circ$  时重合。从一个推力器模型试验的水流观察中，可以看到，在平面上，尾流是作用于位在以两个前推力装置之间距离画弧的  $\pm 20^\circ$  的范围内。这给出了推力器和推力器之间发生干涉的最大角度范围的某些想法。

图 17 的矢量表明，有效的干扰发生在  $\delta = \pm 60^\circ$  范围内。例如，当  $\delta = 30^\circ$  时，推力器仍有显著的向前推力，作用于船体上的合力仅约为推力器力的 80%。当  $\delta$  角约为  $15^\circ$  时，即  $\epsilon = -15^\circ$  也有同样的情况。在这个方向上运行的推力器由于康达 (Coanda) 效应——这效应说明喷射流为什么依附于曲线表面——尾流沿着船体几乎附在上面向后流出。尾流后流将在船体上引起表面摩擦并在井架的前向表面上产生射流冲击力。这两者均抵消了推力器的力。其他力——由于康达效应引起的船体上的压力——通常作用的方向为由右舷向左舷，将使力的矢量向反时针方向移动。

当前推力器在通常的横方向运转时，即  $\delta = 90^\circ \pm 30^\circ$  或  $270^\circ \pm 30^\circ$  时，干扰很少，可以达到全推力的约 90%。这个力的减少大约也是由康达效应所引起的。

### 2. 有水流时的干扰

在有水流的情况下，可能的作业状态大为增加。图 19, 20, 和 21 中的结果提供了船舶与水流的夹角为  $30^\circ$ ，艏推力器在  $0 \sim 360^\circ$  的方位内回转时发生干扰的例子。干扰的增大是由于推力器的尾流与水流组合改变了船壳的压力分布，因此，这样的试验必须是在装置推力器的完整船壳模型上进行的。图 19 中力的干扰的主要图象是在  $\delta$  从约  $100^\circ$  增加到约  $150^\circ$  时力的大量减少以及在  $\delta = 220^\circ$  处力的增大。这些干扰很容易从推力器/推力器干扰占主要的  $\delta$  区域除去，而且是由于以下原因。

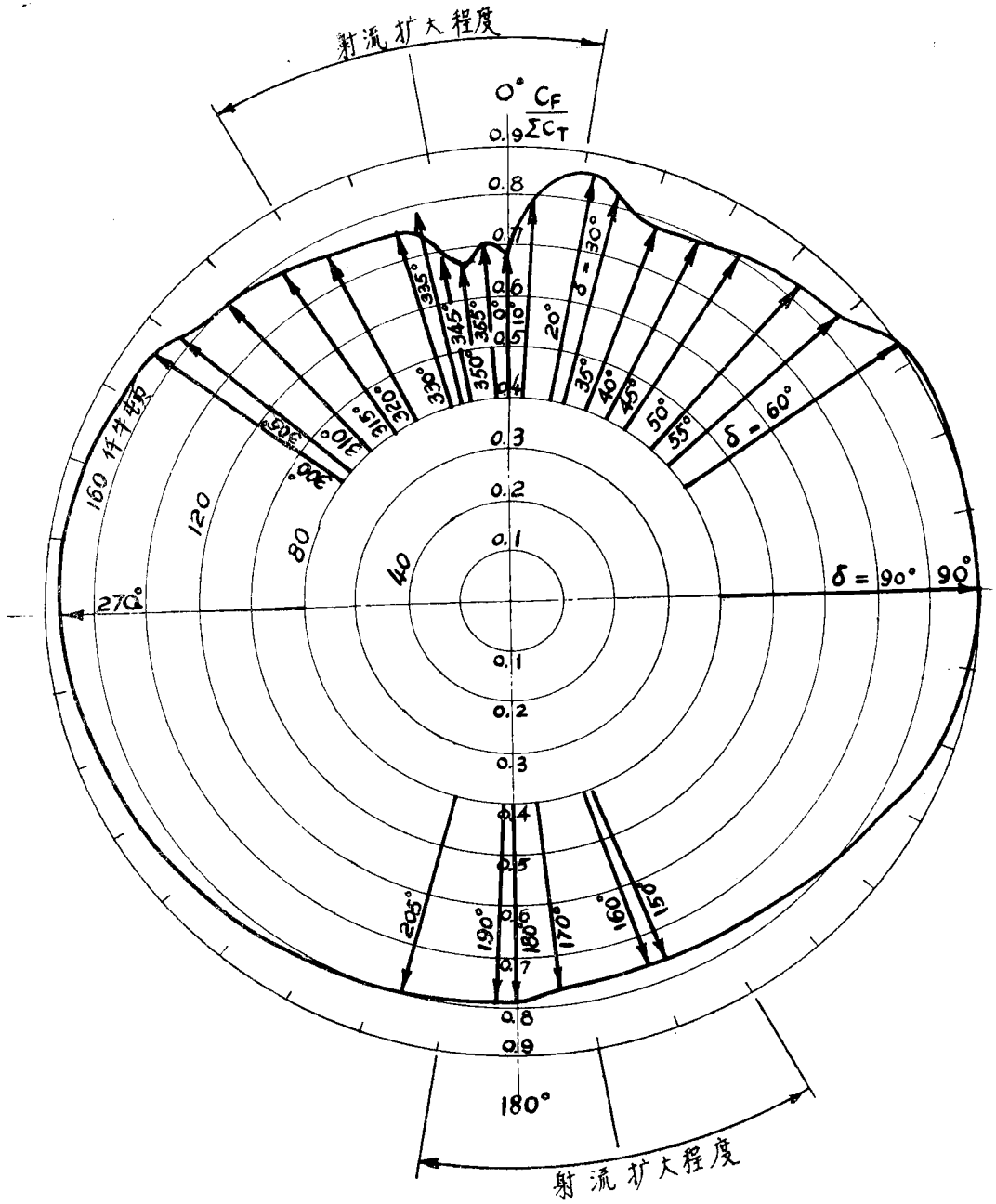


图 17 前推力装置推力干扰试验——零流速全推力。

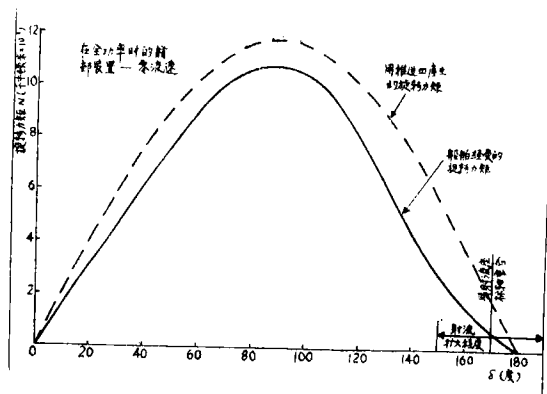


图 18 前推力装置力矩干扰试验  
——零流速全推力

当  $\delta$  由  $60^\circ$  往上增时，推力器的尾流逐渐变为迎着水流，直到  $\delta = 150^\circ$  时则完全迎着水流。喷射流在迎着水流时，将比在静水中扩散迅速，而且趋向于阻止船体上游某些距离处的来流和使之偏斜。由于这个“屏蔽效应” (shielding effect) 船体除了受到推力器产生的推力外并未承受整个水流作用力。对于  $\delta$  在  $40^\circ \sim 80^\circ$  范围内，在转动扭矩上出现有利的干扰，可能也是由于相似的效应，即当扩散了的尾流趋向于屏蔽着船尾免受尾流影响。必须注意推力器在这个范围内工作时，推力器是使船舶顺流推进，而这个在作业上可能是很不适宜的。

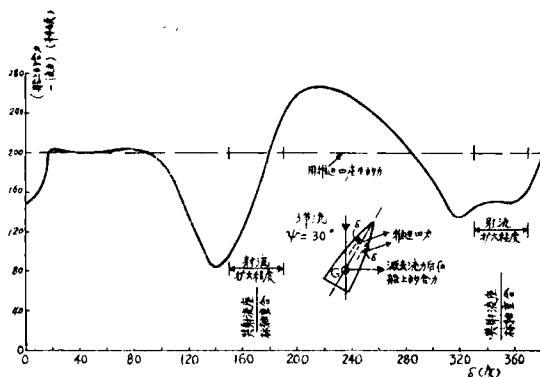


图 19 推力器/船体干扰试验  
前推力器全推力——3节流

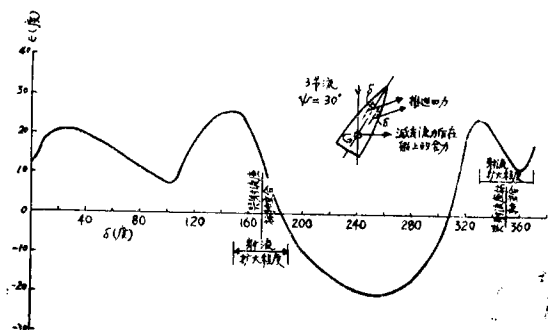


图 20 推力器/船体干扰试验  
前推力器全推力——3节流

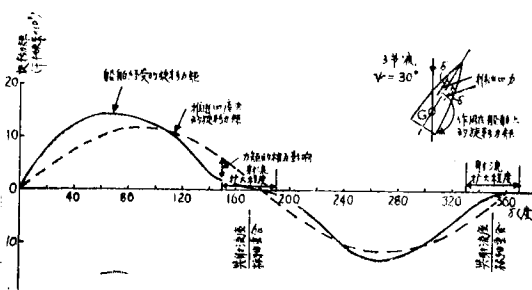


图 21 推力器/船体干扰试验  
前推力器全推力——3节流

在  $\delta = 220^\circ$  及其附近，推力器尾流喷向船体背流的一边，于是干扰与观察到的由于尾流与水流一起产生的强烈旋涡流有关。但是，在这种情况下，对于干扰的解释是不够明显的，必须等待更详细试验的结果。

更详细的，关于动力定位船舶推力器/船壳干扰的更一般论述参见参考文献[25]。

## 六、运 动 方 程

动力定位系统操纵船舶的横荡、纵荡和艏摇运动。应用一个固定在船上、原点在重心的座标(如图 22 所示)同时,把船作为具有横荡,纵荡和艏摇自由度,约束其升沉、纵摇和横摇的刚体,其运动方程为:

$$m(\dot{u} - rv) = X_A + X_H \quad (6.1)$$

$$m(\dot{v} + ru) = Y_A + Y_H \quad (6.2)$$

$$I_{ZZ}\dot{r} = N_A + N_H \quad (6.3)$$

其中  $X_A$ ,  $Y_A$  及  $N_A$  表示由于推力装置及环境作用于船上的力及力矩,而  $X_H$ ,  $Y_H$  和  $N_H$  表示由于船舶运动的流体动力及力矩。

对于动力定位,  $X_H$ ,  $Y_H$  及  $N_H$  的表示式是需要的,当船舶相对于地球的固定位置作微量运动时,这些力将作用在船上。对于在静水中运动的船舶,假定  $X_H$ ,  $Y_H$  及  $N_H$  是瞬时速度和加速度的函数( $u$ ,  $v$ ,  $r$ ,  $\dot{u}$ ,  $\dot{v}$  和  $\dot{r}$ )。根据一些模型试验证实,可以假定由于速度和由于加速度产生的力是能够分开的。由于加速度所产生者表示为  $X_{\dot{u}}$ ,  $Y_{\dot{v}}$  及  $N_{\dot{r}}$ 。方程(6.1)到(6.3)可以表示为:

$$(m - X_{\dot{u}})\dot{u} - mrv = X_A + X_h(u, v, r) \quad (6.4)$$

$$(m - Y_{\dot{v}})\dot{v} + mru = Y_A + Y_h(u, v, r) \quad (6.5)$$

$$(I_{ZZ} - N_{\dot{r}})\dot{r} = N_A + N_h(u, v, r) \quad (6.6)$$

为使方程无因次化,引入如下一组参数(相当于零速参考状态)

$$u' = u/\sqrt{g \cdot L_{PP}}; \quad v' = v/\sqrt{g \cdot L_{PP}}; \quad r' = r/\sqrt{g/L_{PP}}^*;$$

$$\dot{u}' = \dot{u}/g; \quad \dot{v}' = \dot{v}/g; \quad \dot{r}' = \dot{r}L_{PP}/g;$$

$$K'_{ZZ} = K_{ZZ}/L_{PP}; \quad t' = t/\sqrt{L_{PP}/g}^*;$$

$$X' = X/m \cdot g; \quad Y' = Y/m \cdot g; \quad N' = N/m \cdot g \cdot L_{PP};$$

方程(6.4)~(6.6)无因次化以后变为:

$$(1 - X'_{\dot{u}})\dot{u}' - r'v' = X'_A + X'_h(u', v', r') \quad (6.7)$$

$$(1 - Y'_{\dot{v}})\dot{v}' + r'u' = Y'_A + Y'_h(u', v', r') \quad (6.8)$$

$$(K'_{ZZ} - N'_{\dot{r}})\dot{r}' = N'_A + N'_h(u', v', r') \quad (6.9)$$

流体动力系数取决于船舶速度的平面分量,可以从图 4, 5 和 6 中的一组典型的  $C_Y$ ,  $C_X$  及  $C_N$  的分析结果。

$$C_X = 0.01 - 0.03 \cos \psi - 0.01 \cos 2\psi \quad (6.10)$$

$$C_Y = -0.86 \sin \psi + 0.10 \sin 3\psi \quad (6.11)**$$

$$C_N = 0.0563 \sin \psi - 0.083 \sin 2\psi \quad (6.12)$$

以  $u'$  及  $v'$  代替  $\psi$ , 并以  $X'$ ,  $Y'$  及  $N'$  代替  $C_X$ ,  $C_Y$  及  $C_N$ , 则方程(6.10), (6.11) 及 (6.12) 变为:

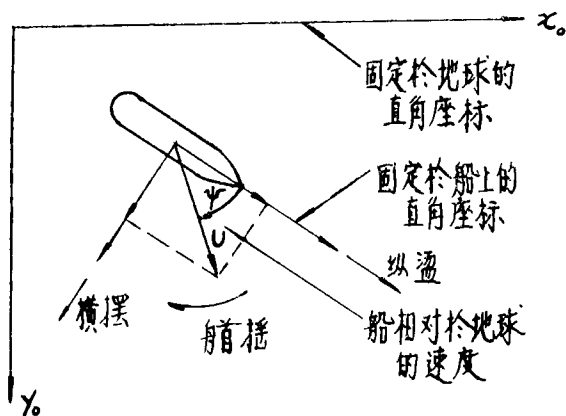


图 22 运动方程的座标系统

\* 原文有误已更正。

\*\* 由于图 22 与图 6 之  $\psi$  角的标法不同,公式(6.11)与(6.12)应以  $-\psi$  代入原式——译者。

$$X' = 0.092V'^2 - 0.138u'U' \quad (6.13)$$

$$Y' = -2.58V'U' - 1.84\frac{V'^3}{U'} \quad (6.14)$$

$$N' = -0.764u'v' + 0.258V'U' \quad (6.15)$$

其中,

$$U' = \sqrt{u'^2 + v'^2}$$

取决于角速度  $r$  的流体动力系数可以按船舶的水下侧面估计。考虑船舶绕通过其重心的垂直轴旋转, 假定:

$$\text{总流体动力力矩} = \int_{\text{侧面积}} C_Y^* \frac{1}{2} \rho V^2 \times dA$$

其中  $dA$  为侧面的单元面积,  $x$  为单元面积距垂直轴的距离,  $V$  为单元面积  $dA$  相对于水的速度,  $C_Y^*$  为局部横向力系数。作为第一次近似  $C_Y^*$  可假定为常数并等于  $C_Y$ , 如果需要准确地估计回转力矩必须按前述的方法测定  $C_Y^*$ 。为简化方程, 对于“Wimpey Sealab”模型, 假定取  $C_Y^* = 0.95$ 。

因为  $V = rx$ , 则方程(6.16)变为

$$\text{流体动力矩} = \int_{\text{侧面积}} \frac{0.95}{2} \rho r^2 x^3 dA \quad (6.17)$$

由于  $r$  所引起的在  $Y$  方向的流体动力可相似计算, 由于角速度作用于船舶上的力和力矩为:

$$Y' = 0.065r' |r'| \quad (6.18)$$

$$N' = -0.154r' |r'| \quad (6.19)$$

所以纵荡和横摆的附连水质量及船摇的附连水惯性矩可按参考文献[5]得到的试验数据进行估计。对于本船为:

$$X'_b = -0.044 \quad (6.20)$$

$$Y'_b = -0.84 \quad (6.21)$$

$$N'_b = -0.043 \quad (6.22)$$

应用由方程(6.13)到(6.15)和(6.18)到(6.22)的结果于方程(6.7)到(6.9)中, “Wimpey Sealab”的运动方程变为:

$$(1 + 0.044)\dot{u}' - r'V' = X'_A + 0.092V'^2 - 0.138u'U' \quad (6.23)$$

$$(1 + 0.84)\dot{v}' + r'u' = Y'_A - 2.58V'U' - 1.8\frac{V'^3}{U'} + 0.065r' |r'| \quad (6.24)$$

$$(K_{zz}^2 + 0.0431)\dot{r}' = N'_A - 0.764u'V' + 0.258V'U' - 0.154r' |r'| \quad (6.25)$$

方程中的附连水质量及惯性矩可以按不考虑有平均稳定漂移速度和回转作用的试验来决定。

## 七、动力定位系统的模拟

动力定位是借助于推力装置保持船位的技术, 因为通常的锚泊及系缆的办法是受限制的。这个技术特别适宜于在深水的钻探, 而且免去了收放锚的麻烦。

“Wimpey Sealab”的动力定位系统的模拟方框图见图23, 而且很容易分成以下四个部分:

第一部分: 船舶在推力器及水流、风和波浪等环境影响下的性能的数学模型,



第二部分：用于动力定位操纵的数字计算机的函数。

第三部分：推力器对于操纵计算机输出指令的响应。

第四部分：用于测定船舶位置和艏向以及风的强度和方向的装置的特征。

船舶的数学模型是根据本文所述的水池和风筒试验结果建立的。运动方程是指静水平面运动，并假定，与动力定位系统有关的运动，其附连水质量及其他系数是并不随频率而变的。这个假定并不适用于由于波浪所引起的振荡式的船舶运动。这些运动的估计是基于应用与船舶对于波浪响应特征有关的海浪谱(见第3部分)。

操纵计算机的基本作用在于输入船舶位置和艏向的误差信号，并通过计算机工作得到向推力器输出推力大小和方向的指令。因此，船舶抵消了环境的扰动使位置和艏向保持其固定的基准值。

推力器的功率通常不足以抵消由于波浪所引起的振荡力和力矩。如果需要抵消这些力必将引起推力器不必要的磨耗，浪费功率而且减少了推力器抵消风、流和波浪漂移力的能力。为了减少这个不必要的影响，在船舶位置和艏向误差测量中的这个振荡分量，由波浪过滤器除去。操纵系统的其他问题包括：

### 1. 艏向的优选控制

船舶必将遭遇恶劣的天气，因此，对于动力定位操纵的推力器必须有足够的功率可利用。如果不保持这个艏向，力和力矩将增加到超过推力器能量的值。为了避免这个影响，当推力器超负荷时，优选被用于位置控制中作艏向控制。在“Wimper Sealab”号上是由计算机选择艏向，从而使推力器的功率最小。

### 2. 风力的前馈

由于在操纵系统中引入波浪过滤器，限制了它的频率响应，因此影响了抵抗船舶由于阵风所引起的瞬时力的改变。这个限制由于风力的前馈技术有所缓和。计算机根据连续测定风力的大小和方向输出适当的推力指令以抵消阵风的作用。这项技术改进了动力定位的操纵性能。它的效果取决于水池试验和根据准确的模型提供的风筒试验结果，以及如何合理地估计需要的推力和由于推力器与船舶之间的干扰所产生的实际推力之间的差别。

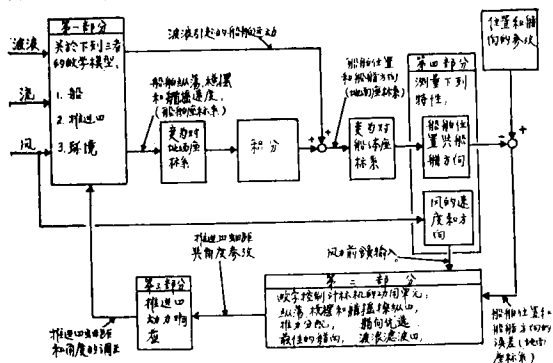


图 23 动力定位系统模拟方框图

## 八、海上的试验

通常很少有机会得到这样的海上航行试验的结果，它可以用于直接校核本文中从风筒试验和