

# 船舶动力定位系统的应用与实践

何 崇 德

(武汉船舶设计研究所, 湖北 武汉 430064)

## 摘 要

船舶动力定位系统近年来在国外发展迅猛, 军民用特种船舶上均获得了日益广泛的应用。在我国也引起了重视, 国内第一艘自行设计设置动力定位系统的无限航区大型船舶是远洋科学考察船“大洋一号”。该船配备动力定位系统后, 成为达到国际先进水平的现代化远洋科学考察船, 也为我国船舶动力定位技术的实际应用与不断发展迈出了极为重要的一步。本文较系统地介绍了船舶动力定位系统的组成、功能、设计要求, 并以“大洋一号”船为例, 较详细地介绍了动力定位系统的论证、设计、主要设备选型、系统调试、以及试验试航的结果, 对于国内船舶动力定位系统的应用与发展有一定借鉴意义。

**关 键 词:** 船舶、舰船工程; 船舶动力定位; 船舶设计; 科学考察船

**中图分类号:** U661.32      **文献标识码:** B

## 1 概 述

船舶与海洋平台的锚泊方式在深海中受到很大限制, 故不借助于锚泊的动力定位系统便应运而生。

船舶动力定位系统近年在国外发展十分迅猛, 军民用特种船舶上均获得了广泛应用。据不完全统计, 70 年代末期全世界装备动力定位系统的船舶与海上平台不超过 30 艘, 到 2000 年底却超过了 1000 艘, 而到 2002 年底超过了 1200 艘。自 1977 年挪威船级社首先发布了船舶动力定位规范后, 在 90 年代中后期, 国外各大船级社均先后制定了相应规范。

动力定位在我国也引起了重视, 不少高等院校开展了系统的理论研究, 有的院所结合实际课题开展了技术攻关并研制出了样机, 在小型船舶上开始试验应用。中国船级社也在近期完成了动力定位规范的编写。国内第一艘自行设计设置动力定位系统的无限航区大型船舶是远洋科学考察船“大洋一号”, 它是我国唯一的一艘专门从事国际海底资源勘查研究的远洋科学考察船。该船于去年进行了高起点的增改装工程, 大大提高了全船的技术水平, 成为达到国际先进水平的现代化综合性科学考察船。其增改装工程中最重要内容之一便是增设动力定位系统, 以满足科学调查作业的需要。该船动力定位系统已成功地达到了预定目标, 其技术指标超过了预定要求。

本文讨论了该船增设动力定位系统设计过程中的若干重要问题, 并介绍了实船调试要点与试验的结果, 以供国内此领域应用与发展作参考。

## 2 动力定位系统及其组成

### 2.1 动力定位的概念

动力定位就是船舶或海上平台不借助于锚泊系统的作用, 而利用自身装备的各类传感器测出船舶的运动状态与位置变化, 以及外界风力、波浪、海流等扰动力的大小与方向, 利用计算机进行复杂的实时计算后, 使控制船舶主副推力装置产生适当的推力与力矩, 以抵消扰动力, 从而使船舶尽可能保

持目标船位与艏向。

随着动力定位技术的发展,动力定位的概念也在扩大。采用动力定位技术,还可使船舶与其他船只保持相对位置不变、使船舶按预定轨迹移位、按预定计划航线以预定航速航行、实现船舶自动驾驶、对水下目标进行自动跟踪等功能。

## 2.2 动力定位系统的应用

动力定位系统首先应用于海上石油钻探船、有缆遥控水下潜器(ROV)母船、消防船等需要深海定点作业的特种船舶。从80年代开始,已广泛应用于海洋考察船、钻探船、打捞船、采矿船、布缆船、敷管船、挖泥船、消防船、起重船、潜水支持船、浮式采储油系统(FPSO)、海上供应船、特种工作船、高级游船、穿梭油轮等特种船舶。在军事方面已应用于布雷舰、扫雷舰、侦察船、航海保障调查船、潜艇母船、救助船、海上补给船等舰船。

## 2.3 动力定位系统原理简述(参见图1)

船舶在海上除了受到本身推进器的推力以外,还受到风力、波浪与海流的外界作用力,从而产生六个自由度的运动,即纵荡、横荡、升沉、纵摇、横摇与艏摇。

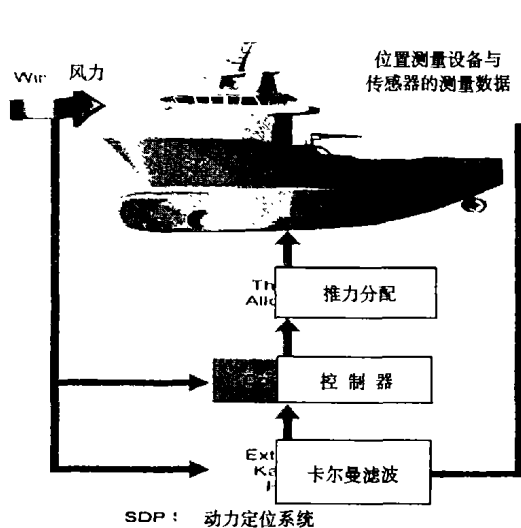


图1 动力定位系统的基本原理

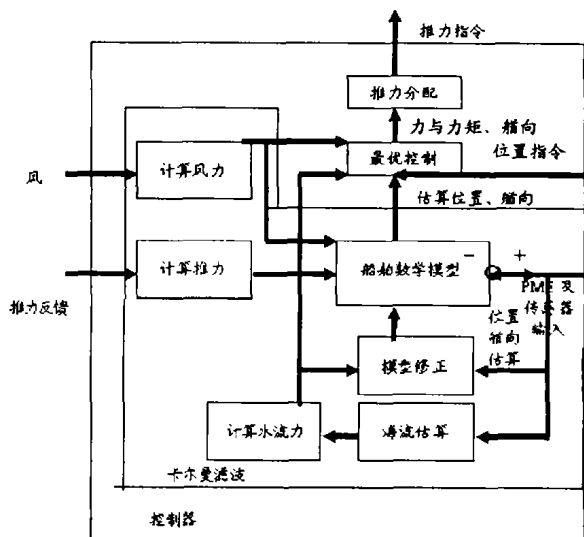


图2 动力定位控制原理框图

动力定位系统利用位置测量设备测出本身位置的变化,利用各类传感器测出艏向、纵横摇以及风力风向,再采用现代控制理论,建立船舶与推力器的数学模型,并采用卡尔曼滤波、自适应控制、环境补偿、鲁棒控制、预测控制、模糊控制、智能控制等方法,通过对船舶六个自由度运动分量以及风力风向的计算,对船舶各主副推力器的推力进行分配,从而控制船舶三个自由度的运动,即纵荡、横荡与艏摇。其控制原理参见图2。

船舶数学模型描述了船舶在外力以及本身推力的作用下如何运动,反映了船舶本身的水动力性能。数学模型通常使用卡尔曼滤波技术不断进行修正,给出估算的船位、艏向与船速。

## 2.4 动力定位系统的组成(参见图3)

动力定位系统通常可以分成测量部分、控制部分与执行部分。

### 2.4.1 测量部分

测量部分包括位置测量设备(用于测量船舶位置)以及传感器(用于测量船舶艏向、运动状态、外界环境状态)。常用的有全球卫星定位系统(DGPS、RTK-GPS或俄罗斯的GLONASS)、无线电定位系统(如Artemis、Syledis、Microfix、Trisponder、Argo)、水声定位系统(长基线LBL、短基线SBL或超短基线USBL)、激光定位系统(CyScan或FanBeam)、张绳、数字电罗经、运动参考单元(MRU)或垂直参考单元(VRU)、激光惯性导航系统、风向风速仪、多普勒计程仪等。

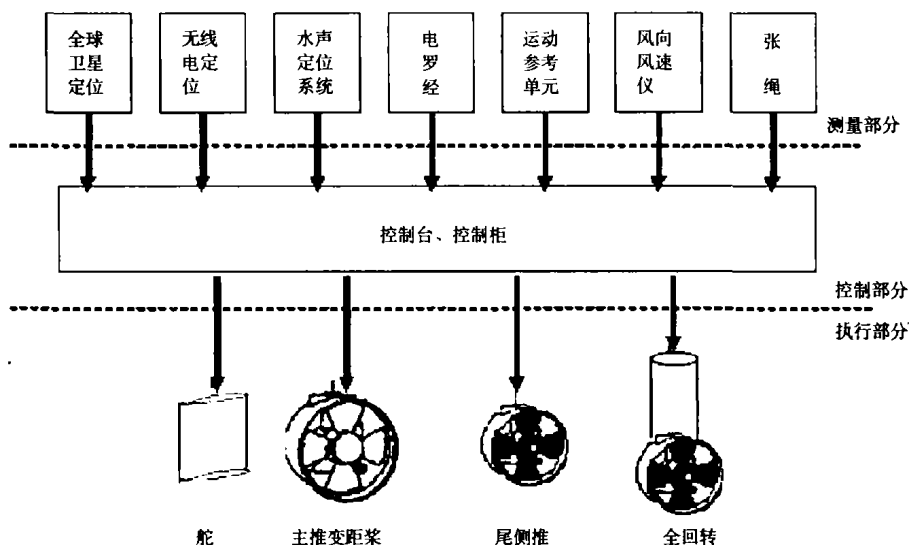


图3 动力定位系统的组成

### 2.4.2 控制部分

控制部分的硬件通常包括控制台（含操纵杆、键盘、显示器、计算机等）、控制柜（含实时处理器、输入输出接口、电源模块、储存设备等）、便携式手操终端、不间断电源、打印机等。

### 2.4.3 执行部分

执行部分根据控制部分的指令，产生推力和力矩，以平衡作用于船舶的扰动力和扰动力矩。动力定位船舶通常设有多台推力器，包括主推进螺旋桨、舵以及艏艉辅助推力装置（常用侧向推力器与全回转推力器）。

## 3 动力定位系统的功能

### 3.1 手动移位控制（参见图4）

在此模式下，操纵人员可以利用单手柄操纵杆手动控制船舶沿纵向、横向或斜向移动，并能手动改变船舶艏向。此时系统可以自动补偿外界环境力的影响。

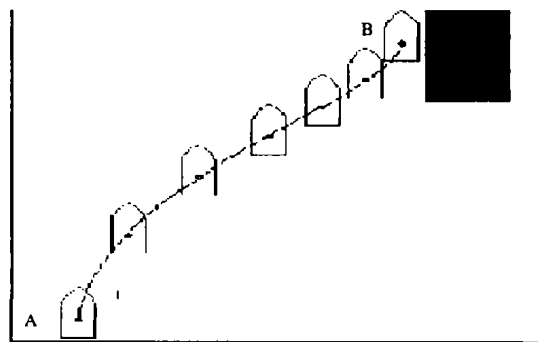


图4 手动移位控制，利用手柄使船舶由A移至B

### 3.2 自动定位（参见图5）

在此模式下，系统能精确地按指令保持船位；也可按操纵人员的指令自动改变船舶的位置，使船舶移动至新的指定位置或回到原先的位置。船舶自动移位的速度可由操纵人员设定。

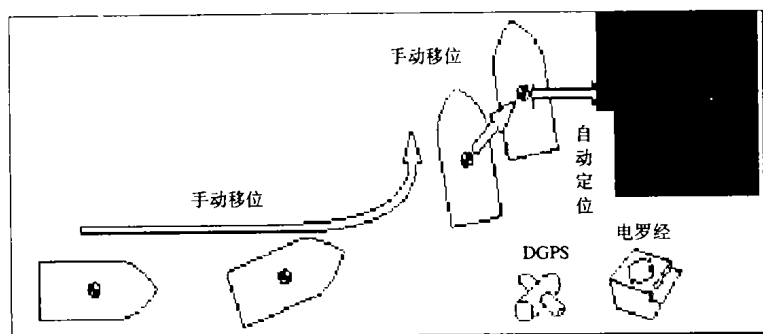


图5 自动定位

### 3.3 自动艏向 (参见图6)

在此模式下,系统能精确地按指令保持船舶艏向,或按指令改变艏向,也可自动连续改变艏向以使船舶定位消耗的功率最小。船舶转向角速度可由操纵人员设定。

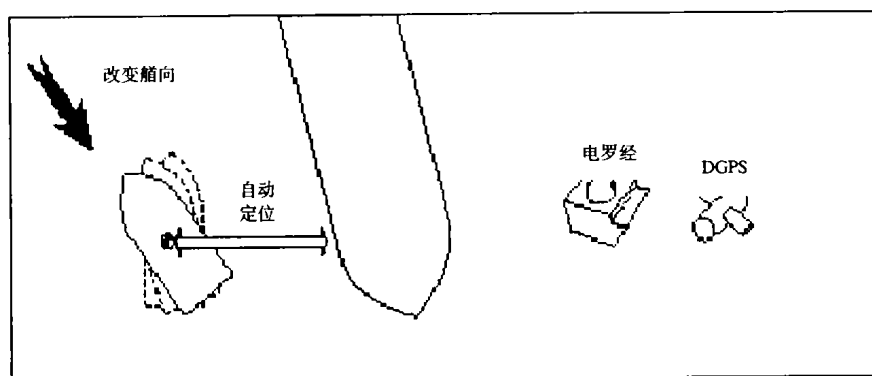


图6 自动艏向

### 3.4 自动循迹航行 (低速与高速)

在此模式下,系统能使船舶精确地按预定轨迹低速移动,或按预定航线高速航行。

在低速循迹航行模式 (参见图7), 船舶的循迹精度极高, 而且可以任意设定各航迹段的艏向与船速, 使船舶沿纵向、横向或斜向移动。此模式的最高船速取决于船舶与辅助推力装置的设计。由于侧向推力器的效率在船舶航速大于 3kn 时下降较大, 所以低速循迹航行模式时的船速通常不超过 3kn。

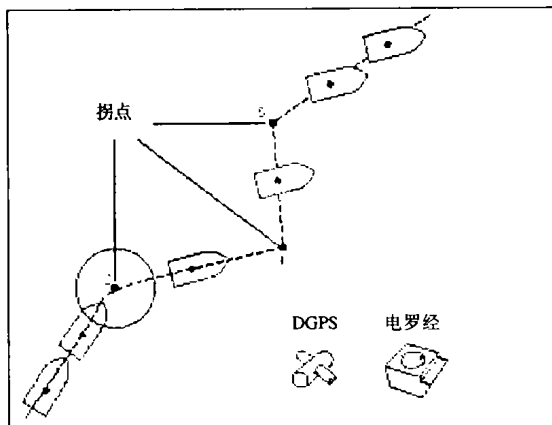


图7 低速循迹航行

在高速循迹航行模式 (参见图8), 船速可大于 4kn 按预定航线航行, 船舶艏向将由系统自动根据航线、航速与外界环境力而计算确定。在航线转弯处, 系统可以自动确定转弯半径与船速, 也可预先设定。在此模式时, 侧向推力器通常不参加工作。

完成预定循迹航行后, 系统可使船舶按原航迹逆向行驶、返回航迹的起点。

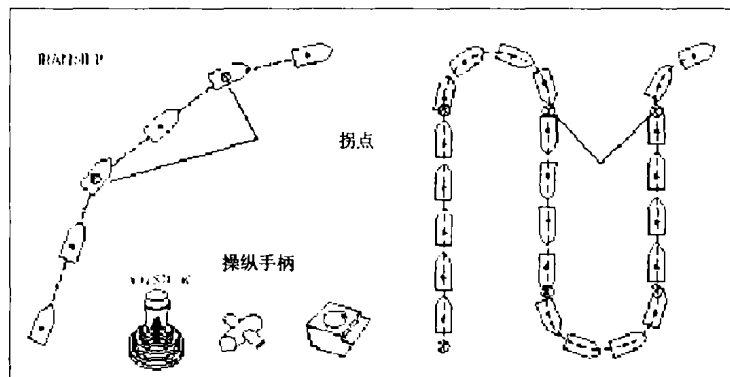


图8 高速循迹航行

### 3.5 自动操舵驾驶

在此模式下, 系统按预定航向自动操舵精确保持艏向, 并补偿外界环境力对船舶的影响。操纵人员可以设定船舶转向角速度。在此模式时, 侧向推力器通常不参与工作。

### 3.6 自动跟踪水下目标 (参见图9)

在此模式下, 系统能使船舶自动跟踪水下移动目标 (如水下遥控潜器 ROV), 并保持本船与水下目标的距离与方位不变。此模式要求动力定位系统必须配置水声定位系统, 以确定水下目标位置。

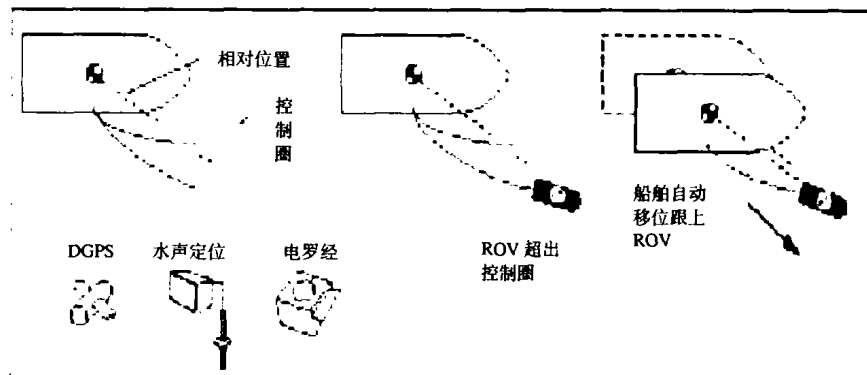


图9 自动跟踪水下目标

### 3.7 自动保持移动速度

在此模式下, 系统能使船舶自动保持衡定的低速、作纵向或横向运动, 并保持预定的艏向。此模式要求动力定位系统必须配置多普勒计程仪系统。

### 3.8 任意中心自动回转

在此模式下, 系统能使船舶以任意规定点为回转中心, 自动按规定的角速度回转。

### 3.9 其他功能

根据船舶的特殊需要, 动力定位系统还可以具备某些其他功能, 如垂直起吊水下设备 (参见图10)、保持两船相对位置与艏向不变等等。

## 4 实船动力定位系统方案

### 4.1 “大洋一号”船增设动力定位系统的要求

“大洋一号”船为双柴油主机、经并车齿轮箱驱动轴带发电机、单轴、单调距桨、单舵的钢质船舶。其主要参数如下: 船长 104.5m, 型宽 16.0m, 型深 10.2m, 满载排水量~5500t, 吃水~5.8m。

该船的主要任务是在北太平洋进行国际海底区域资源勘察研究, 能搭载水下遥控潜器 ROV 与水下自治机器人 AUV。此船增设动力定位系统的具体要求为:

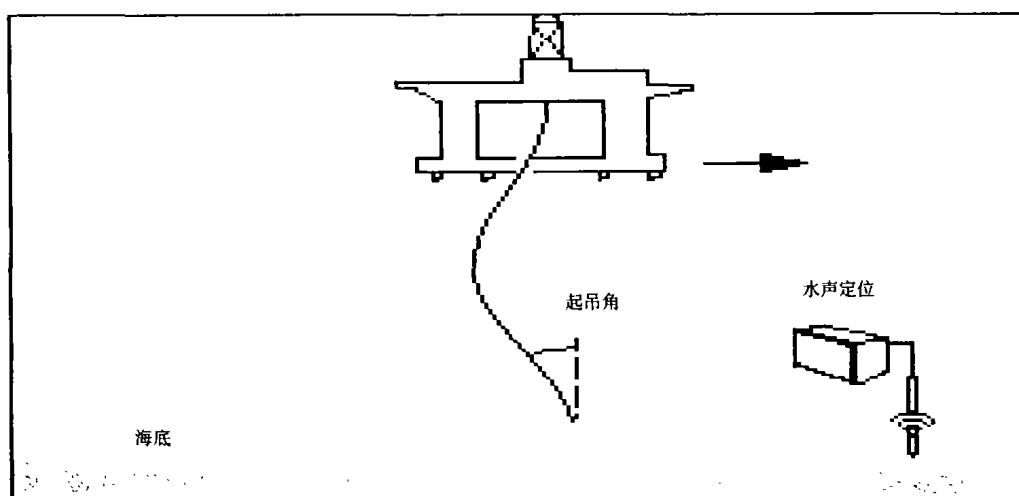


图 10 跟踪起吊

(1) 定点控位：应能使本船在广域差分 GPS 有效范围内定点控位，以便进行深海海底地层钻探等海底作业。

(2) 水下遥控无人潜器(ROV)跟踪: 在 ROV 最大水平速度 3 kn 的水下航速时, 能保持船舶跟踪。

(3) 循迹航行: 使本船能在 1~3kn 的低航速下按预定航迹航行, 以便使用光学与声学深拖进行深海拖曳照相、侧扫声纳探测等调查作业; 能在 4~10kn 的高航速下按预定航迹航行, 以便进行深海多波束探测、海底浅地层剖面探测、海底地质调查、海底石油探测、走航式声学多普勒相控阵测流(ADCP)等调查作业。

(4) 动力定位系统工作时, 应不影响本船电力系统正常供电; 且原船的供电系统不宜作大的改动。

(5) 动力定位系统工作时, 应不影响本船各种声学调查设备正常工作。

## 4.2 定位能力的确定

船舶若要装备动力定位系统,其定位能力应根据该船任务需要以及作业海域条件来决定。作业海域的气象统计资料对于动力定位系统抵抗风力与海流能力要求的确定,是十分必要的。

“大洋一号”船主要作业海域的气象统计资料摘要如表 1、表 2。

表 1 北太平洋作业海域海流统计

海流速度 (kn)	0~0.5	0.6~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	>2.0
观测次数	16593	11759	2758	1018	550
出现概率 (%)	50.8	36.0	8.4	3.1	1.7

表 2 北太平洋作业海域风浪统计 (1950~1995 年)

[illegible]

根据上述气象资料, 该船动力定位系统的定位能力确定为能抵抗 1.0 kn 海流、7 级风、5 级浪是较为合理的, 它将能保证该船动力定位系统在接近 90% 概率的气象条件下可以正常工作。

### 4.3 定位精度的确定

定位精度的需求与海上作业类型、作业海域深度有关。在较浅海域作业的钻井平台、布缆船等的定位精度通常要求较高, 而在深海勘测作业的船舶要求较低。人们不难理解, 对于 3000 m 水深的海底作业来说, 水面船舶有 30 m 的定位精度已经足够 (垂直偏角仅 34'); 但对于 300 m 水深的类似海底作业, 水面船舶的定位精度就应该达到 3 m, 才能获得类似的效果。

“大洋一号”船主要作深海调查探测, 要能在 3000 m 深海底进行钻探取样, 在 4000 m 深海底采集沉积物样品, 探测 6000 m 深的海底地形、地貌与浅地层结构, 并可搭载潜深 3000 m 的水下遥控潜器。由于该船作业海域水深较大, 参照上述垂直偏角的要求, 动力定位精度要求选为 40 m。

### 4.4 定位等级的确定

国际海事组织 IMO 根据动力定位系统的功能以及设备冗余度, 将动力定位系统分为三个等级: 1 级、2 级与 3 级。世界各国船级社的动力定位系统附加标志基本上与 IMO 的分级相等效, 参见表 3。一般科学考察船、布缆船、海上平台供应船的动力定位系统可以选用较低或中等级别; 而海上钻井平台由于操作安全性极为重要, 其动力定位系统设计应有较多冗余, 通常需选用较高级别。

表 3 动力定位系统的船级社标志

简 要 说 明	IMO	船 级 社 标 志		
	DP Class	DNV	LRS	ABS
手动船位控制, 自动艏向控制		DNV-T	DP(CM)	DPS-0
自动及手动船位与艏向控制, 设备无冗余	Class 1	DNV-AUTS DNV-AUT	DP(AM)	DPS-1
自动及手动船位与艏向控制, 两套独立的控制系统	Class 2	DNV-AUIR	DP(AA)	DPS-2
自动及手动船位与艏向控制, 三套系统分布在两个 A60 分隔的舱室	Class 3	DNV-AUIRO	DP(AAA)	DPS-3

参照国外科学考察船的配置, 还考虑到我国目前缺乏动力定位系统设计、安装、调试与使用的实际经验, “大洋一号”船拟采用较低等级动力定位系统。由于本船设计开始时, 中国船级社刚对动力定位系统进行立项研究, 尚未编写出动力定位规范, 故本船动力定位系统拟申请挪威船级社 DNV 的较低标志 AUTS。

### 4.5 辅助推力装置所需功率的估算

根据前文所述本船所要求的定位能力以及船舶的水上水下侧投影面积, 可大致估算出所需的侧向推力, 然后进一步估算出侧推装置所需的功率。

根据本船方案设计时的侧向视图, 按 7 级风的平均风速 15.5 m/s 以及 1.0 kn 海流进行估算, 本船所承受的侧向力约为 205 kN。根据经验, 对于隧道式侧推器, 每 kW 功率产生的推力约为 120~140 N; 对于全回转推力器, 每 kW 功率产生的推力约为 150~170 N。因此本船动力定位辅助推力系统需要功率约为 1400 kW。

### 4.6 辅助推力装置供电方式的确定 (参见图 11)

“大洋一号”原船的动力装置为两台中速柴油机通过并车齿轮箱驱动一个调距桨, 齿轮箱设有两个 PTO 用于驱动两台 1600 kW 的轴带发电机。两台轴带发电机互为备用、不能并车, 仅用一台向全船供电, 另一台灭磁备用。该船还设置三台 200 kW 停泊发电机, 可以互相并车、但不能与轴带发电机长期并联运行。

为了满足动力定位系统对电力的巨大需求, 同时也为了避免动力定位辅助推力装置重载启动时对整个船舶电网的影响, 我们对该船的电力系统作了较大修改: 让两台轴带发电机同时工作、但不并网。一号轴带发电机 (右机) 专门用于向动力定位辅助推力装置供电, 二号轴带发电机 (左机) 向全船其他负荷供电。为此对原船主配电板进行了改造。当一号轴带发电机向辅助推力装置供电时, 由隔离开关使其与二号轴带发电机汇流排隔离。而辅推供电开关与隔离开关有电气连锁: 当任一辅推装置供电

开关合闸时,隔离开关不能合闸;当一号机不向副推装置供电时,隔离开关合上,该机仍可作为二号机的备用、向全船其他负荷供电。

由于“大洋一号”船龄已近 20 年,发电机组虽经修复,但仍难以长期承受过高负荷。本船动力定位能力若按 7 级风、1.0 kn 流考虑,副推装置耗电约 1400 kW,一号轴带发电机的负荷将达 87.5%,显然过高。根据本船系旧船改造、供电能力有限这一客观现实,最终决定将动力定位能力降低为 6 级风、1.0 kn 流。此时所需的侧向推力约为 153 kN,所需功率约为 1100 kW。只有将一号轴带发电机负荷率控制在 80%以下、并且合理解决负载启动冲击电流问题,副推装置的配置方案才能成立。

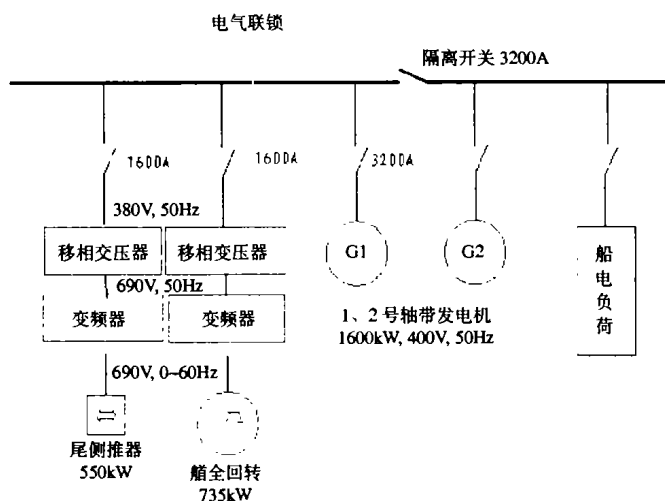


图 11 辅助推力装置的供电

#### 4.7 辅助推力装置的配置方案

根据动力定位系统基本要求以及上述侧向推力的初步估算,可选用不同形式的侧向推力装置来组成动力定位系统。为了获得技术、经济上最佳的方案,在本船增改装设计时,对可能采用的四个方案进行了分析比较<sup>(1)</sup>,参见表 4。

其中方案 I 在艏艉各设一台隧道式侧推器,桨叶直径分别为  $\Phi 1450\text{mm}$  与  $\Phi 1300\text{mm}$ ;船首增设球鼻艏,艏侧推器置于球鼻艏后部。总侧向推力 167 kN,总功率 1140 kW,是本船辅助推力装置最初的方案。

表 4 动力定位辅助推力方案

		方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
海流 (kn)		1.0	1.0	1.0	1.0
风速 (m/s)		12.3	12.3	15.5	12.3
配置方案	艏侧推器	侧向推力器 $\phi 1450 \times 1$	侧向推力器 $\phi 1300 \times 2$	侧向推力器 $\phi 1300 \times 2$	伸缩式 全回转推力器 $\phi 1450 \times 1$
	艉侧推器	侧向推力器 $\phi 1300 \times 1$	侧向推力器 $\phi 1000 \times 1$	侧向推力器 $\phi 1000 \times 2$	侧向推力器 $\phi 1200 \times 1$
侧推力 (kN)	艏侧推	99	66 × 2	62 × 2	125
	艉侧推	68	46	41 × 2	65
	总推力	167	178	206	190
所需功率 (kW)	艏侧推	700	445 × 2	400 × 2	735
	艉侧推	440	310	290 × 2	550
	总电力负荷	1140	1200	1380	1285

方案 II 在艏部设两台  $\Phi 1300$  侧推器、艉部设置一台  $\Phi 1000$  侧推器,总侧向推力 178 kN,总功率



1200 kW, 其优缺点与方案 I 相当, 但艉部侧推力较小。

方案 III 在艏部设置两台  $\Phi 1300$  侧推器, 艉部设置两台  $\Phi 1000$  侧推器。这是为满足 1.0 kn 海流、7 级风而提出的方案。总侧向推力 206 kN, 总功率 1380 kW。

方案 IV 在艏部设置一台进口伸缩式  $\Phi 1450$  全回转推力装置, 艉部设一台  $\Phi 1200$  侧推器, 总侧向推力 190 kN, 总功率 1285 kW。

方案 IV 是当前国外海洋考察船采用最多、最为成熟的方案。该方案不仅能满足定点控位的要求, 也特别适合于船舶的 ROV 跟踪与循迹航行工况; 其控位能力尚有一定储备, 轴带发电机负荷率为 80%, 尚属合适。因而最终采用了方案 IV。

#### 4.8 控位能力的估算

在确定动力定位系统辅助推力装置的配置方案时, 必须估算整个系统的动力定位能力是否能达到预期的要求。为此可采用两种方法: 船模试验或计算机模拟。

船模试验包括风洞试验与水池试验。风洞试验的目的是取得船体水面以上部分在给定风速下受到的气动力与力矩系数; 水池试验的目的是获得船体水下部分在给定海流作用下受到的水动力系数与力矩系数 (通常不考虑波浪力)。然后根据相似理论计算出实船为保持船位所需要的纵向力、横向力与力矩, 绘出控位能力图。

船模试验能获得较为接近实际情况的动力定位能力预估, 但试验周期长、费用高, 使用范围受到一定限制。为了便于迅速比较不同方案的控位能力, 国外已经开发了计算机自动计算与绘制控位能力图的软件, 在输入船舶参数及辅助推力装置参数以后, 经数十分钟的计算后, 即可得出结论。为了简化计算, 通常假定波浪的方向与风向一致, 波浪力按理论全发展海况取一定比例计算。

本船辅推方案 IV 经船模试验后绘出的控位能力图见图 12。用不同国外软件绘制的图见图 13 与图 14。各方法的结果相当接近。这些图显示此方案能在 1.0 kn 海流与接近 7 级风的海况下实现动力定位。

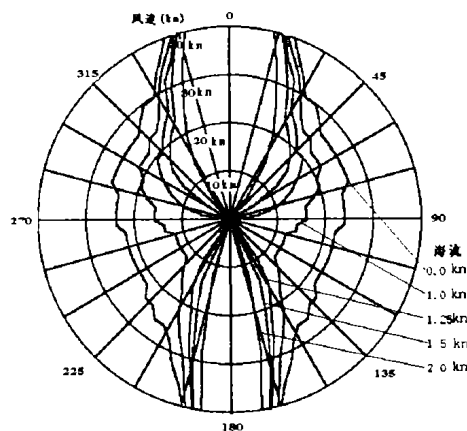


图 12 方案 IV 的控位能力图

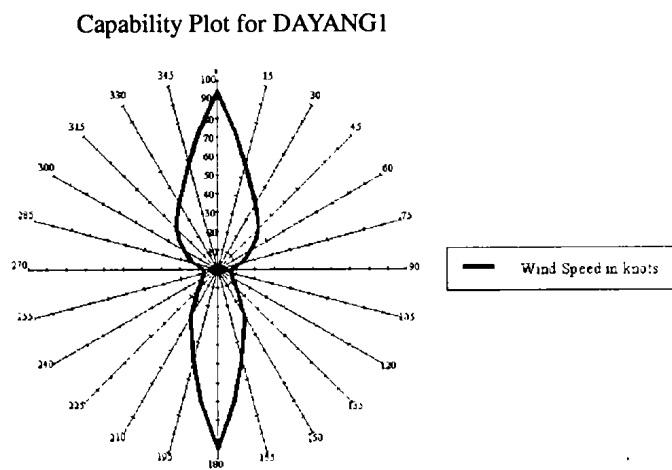


图 13 方案 IV 的计算控位能力图 (软件 1)

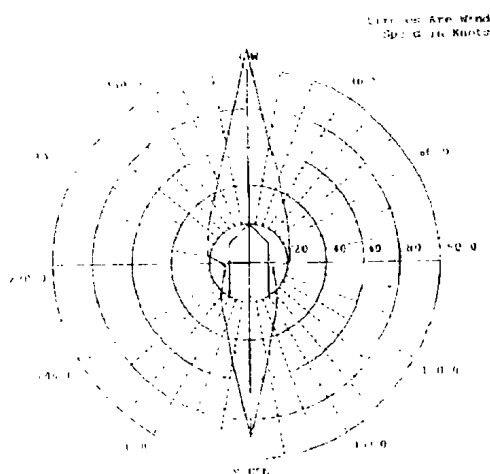


图 14 方案 IV 的计算控位能力图 (软件 2)

## 5 实船动力定位系统的设计

### 5.1 位置测量设备的选用

位置测量设备 (PME) 的配置方式与精度取决于船舶的使命任务、动力定位系统的等级与精度。

常用的几种方式简要对比如表 5。

表 5 位置测量设备的比较

设备类型	测量范围	适用水深	测量精度	适用范围
全球卫星定位系统	无限制	无限制	$\pm 3\text{ m}$	全球
无线电定位系统	30 km	无限制	$\pm 1\text{ m}$	能接受信号区域
水声定位系统	5 倍水深	4~6km	水深的 1~2%	全球
张绳系统	1/4 倍水深	500m	水深的 2%	全球
激光定位系统	250m	无限制	$<0.5\text{ m}$	需要固定目标

### 5.1.1 无线电定位系统

此系统利用船上的微波天线测量与岸上固定天线之间的距离及方位,再计算出船位。其中 Artemis 系统工作于 9.2 GHz,适用于离岸台距离不超过 30km、且中间无障碍物的海域,距离测量精度为 0.05~0.15 m,方位测量精度为  $0.0025^\circ$ ,其系统原理参见图 15。类似的 Syledis 系统工作于 UHF 频段,适用距离不超过 100km; Microfix 系统工作于微波频段,适用距离不超过 50km; Trisponder 系统工作于厘米波与分米波段;这些系统的精度均约为 1m。Argo 系统则工作于短波频段,适用距离随着昼夜交替在 300~700 km 之间变化,测量精度约为 5m。“大洋一号”船作业海域远离大陆,上述无线电定位系统均不能适用。

### 5.1.2 全球卫星定位系统 (GPS)

全球卫星定位系统 (GPS),利用分布在环绕地球 6 个轨道上的 24 颗卫星来确定地球上任一物体的经度、纬度与高度,精度可优于 20 m;差分 GPS 更可将精度提高到 1m 或更高。当船舶与岸上差分台距离大于 500 km 时,就必须利用 Inmarsat、spotbeam 或 IALA beacon 来进行修正。俄罗斯的 GLONASS 系统与美国的 GPS 系统类似,但采用频分多路技术与 PZ90 坐标系统 (GPS 采用码分多路技术与 WSG84 坐标)。最新的实时运动 GPS (RTK GPS) 采用了测量伪距与载波相位的差分系统,精度可达 5 cm,但对计算机的计算速度要求更高。差分全球定位系统原理参见图 16。

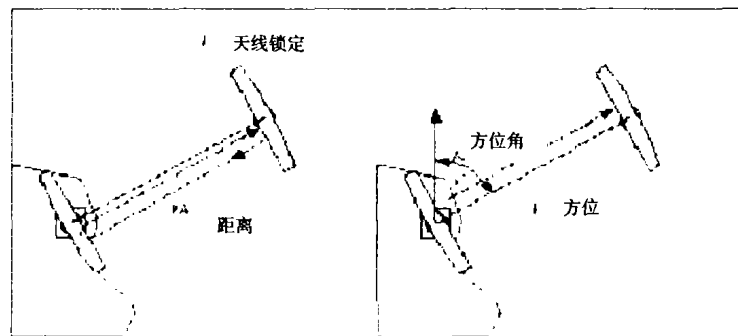


图 15 无线电定位 Artemis 系统原理

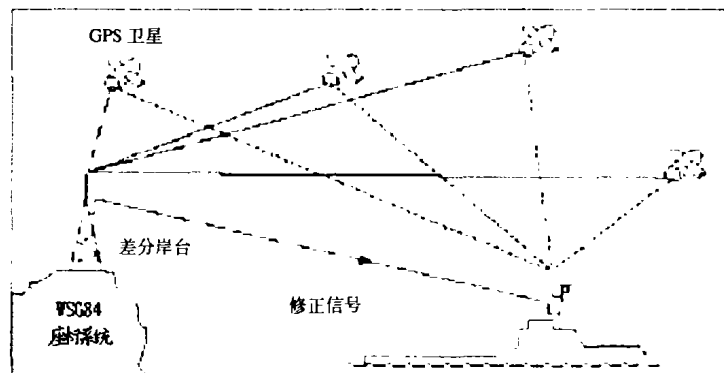


图 16 差分全球定位系统原理

“大洋一号”船为动力定位系统新增设了广域差分 GPS 接收机。由于本船动力定位系统为 DNV 的 DYNPOS AUTS 等级, 该等级对于位置测量设备不要求冗余, 因此本船仅设置一台 DGPS 接收机。

### 5.1.3 水声定位系统

水声定位系统, 利用船底换能器与海底应答器在水中发射、接收、转发声信号来进行水下定位。其中长基线 LBL 系统在船底设有一个水声换能器, 可以用于水深 4000 m 的深海, 精度很高, 但需在海底设置至少三个固定应答器, 彼此相距 500 m 以上, 成本很高。短基线 SBL 系统只需在海底设置一个声信标, 在船上设置水听器阵列, 但水听器容易受到船舶推进器的噪音干扰, 一般只能用于水深 1000 m 以下的海域。

超短基线 USBL 系统在船底设有一个发射换能器与数个接受换能器, 通常接收器布置在发射器四周, 用于测量海底一个应答器信号的距离与相位, 经过计算来确定其位置, 但需要船舶运动姿态补偿, 测量精度可以达到斜距的 0.2%。该系统不仅能用于确定水下固定目标的位置, 还能跟踪水下运动目标, 在动力定位系统的水下位置测量设备中应用最广。

“大洋一号”船动力定位系统要求能在水深 3000 m 的海中跟踪水下遥控潜器 ROV, 选用了超短基线系统 (参见图 17), 最大工作深度达 6000 m。换能器采用一个发射器与四个接收器的可伸缩阵列, 工作时伸出船底约 1.3 m (参见图 18)。该系统对船舶纵横摇的补偿精度要求为  $0.05^\circ$ 。

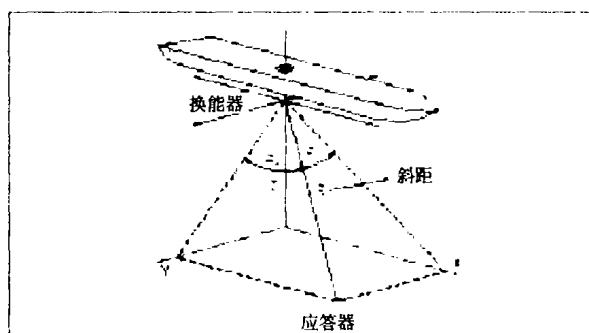


图 17 超短基线水下定位系统原理

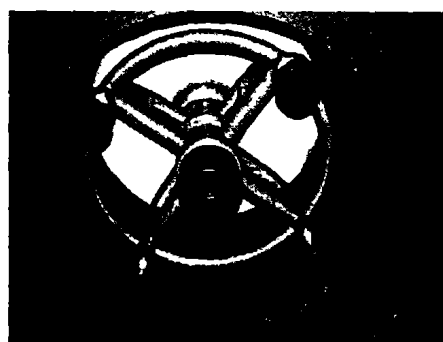


图 18 “大洋一号”的超短基线换能器

### 5.1.4 张绳系统

此系统在海底固定点与船上绞车之间设有衡张力的张绳。通过测量张绳的倾角与长度来确定船舶水平位移。此方法只适用于水深 500 m 以下的浅海, 且在海况较差时不能使用。“大洋一号”船主要在深海作业, 张绳系统并不适用, 故未安装。原理图参见图 19。

### 5.1.5 激光定位系统

激光定位系统适用于近距离、高精度的定位与跟踪。其中 CyScan 系统在船上设有一个稳定的转动激光发射源, 在固定目标上设有三个或更多个沿基线布置的反射器。船舶根据激光测得的几个反射器距离来推算出相对位置。该系统作用距离为 250 m 左右, 距离精度可达 20 cm, 方位角精度达  $0.01^\circ$ 。该激光发射源需安装在稳定平台上, 以便补偿船舶纵横摇的影响。另一种 Fanbeam 系统只需在固定目标上设置一个反射器, 直接测量距离与方位角; 船上的激光发射源由激光阵列组成, 不需要稳定平台, 但需要 VRU 补偿船舶纵横摇的影响。其作用距离可达 2 km, 精度达 20 cm, 方位角精度达  $0.02^\circ$ 。此系统在动力定位系统中应用很广。Fanbeam 系统原理见图 20。

激光定位系统特别适用于浮式采储油系统 (FPSO)、穿梭油轮等需要近距离动力定位的船舶。对“大洋一号”船并不适用, 故本船未安装。

## 5.2 传感器的选用

### 5.2.1 电罗经

电罗经用于动力定位系统的艏向控制。电动陀螺仪的缺点是地球自转的垂直分量将引起纬度测量误差, 每  $10^\circ$  纬度将导致电罗经  $0.3^\circ$  误差, 因此只适用于南北纬  $80^\circ$  之间, 而且其启动稳定的时间也较长。现在最新的晶振罗经、激光光纤罗经可以消除陀螺高速旋转的弱点, 精度也更高。

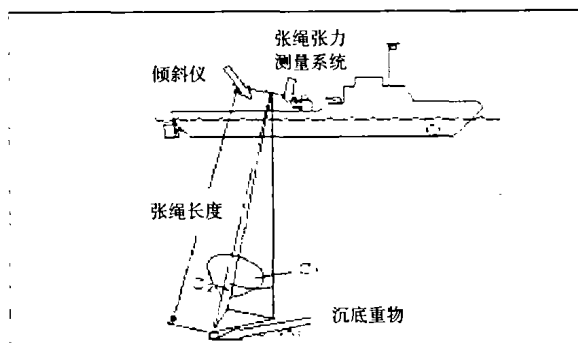


图 19 张绳系统原理

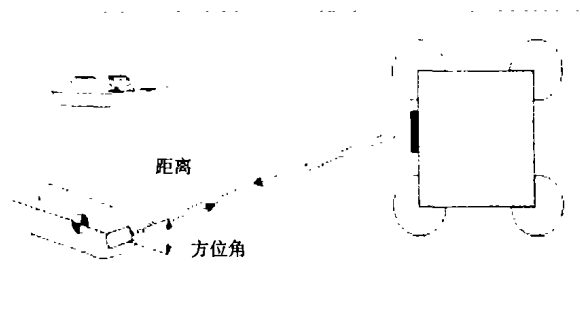


图 20 激光定位 Fanbeam 系统原理

动力定位系统对电罗经精度要求通常为 $\pm 0.5^\circ$ ；但超短基线要求较高为 $\pm 0.15^\circ$ 。

“大洋一号”新增设 ANSCHÜTZ standard20 数字电罗经,其静态精度为 $\pm 0.1^\circ$ ,动态精度为 $\pm 0.4^\circ$ ,基本可满足动力定位系统的要求。该船还新装了激光惯性导航系统,其中的光纤罗经精度高达 $\pm 0.01^\circ$ 。因此,将前者用于船舶航行的有关系统,而将后者用于动力定位系统。

### 5.2.2 运动参考单元 (MRU) 或垂直参考单元 (VRU)

动力定位系统虽然并不控制船舶的纵摇、横摇与升沉,但系统中的超短基线、张绳、GPS 天线需要进行纵横摇补偿。故需采用运动参考单元来测量船舶的纵摇、横摇与升沉。

运动参考单元内部设置三个方向的加速度计,用以测量纵横摇,并对垂向加速度两次积分后计算出升沉量。动力定位系统一般不需要升沉补偿,升沉量通常用于直升机降落参考。

动力定位系统对纵横摇的测量精度要求通常是 $\pm 0.25^\circ$ 。但“大洋一号”船装设的超短基线要求达到 $\pm 0.05^\circ$ 。由于该船新装的激光惯性导航系统内部已含有三方向加速度计,纵横摇测量精度高达 $\pm 0.01^\circ$ ,因此就拆除了该船原有 MRU5 (精度为 $\pm 0.025^\circ$ ),不再设置独立的运动参考单元。

### 5.2.3 激光惯性导航系统

激光惯性导航系统是高精度的惯性运动测量单元,由三个激光光纤罗经与三个加速度计组成,能够提供运动物体(如船舶、潜艇、飞机、导弹)的姿态(艏向、横摇与纵摇)以及位置(经度、纬度与高度)参数。其中“南极星 OCTANS”测量单元更能满足国际海事组织 IMO 的要求,能同时测量船舶六个自由度运动分量以及艏向、各方向转动速度与加速度。此设备精度极高、漂移率极低、重量轻、尺寸小、耗电少、易安装、耐冲击振动、耐恶劣气候,而且内部不含运动部件,不需维护保养或定期重新标定,并能同时起到电罗经与运动参考单元的作用。

“大洋一号”船由于科学考察设备的需要,同时安装了激光惯性导航系统“PHINS”与“南极星 OCTANS”测量单元(参见图 21)。动力定位系统就利用它们输出的艏向信号与船舶纵横摇信号,不再设置电罗经与运动参考单元。

### 5.2.4 风向风速仪

风力是船舶定位的主要干扰力,因此精确测量风速与风向对于动力定位系统十分重要。通常要求风向风速仪测量风速的精度达到 $\pm 0.3 \text{ m/s}$ ,测量门限值为  $1 \text{ m/s}$ ,风向分辨率为  $1^\circ$ ,精度达到 $\pm 3^\circ$ ,并且具有数字输出接口。其安装位置应在桅杆顶部,且避开桅杆的风阴影区。

“大洋一号”船原来装有的气象仪适用于船舶航行,只能显示真风向,不能显示相对风向,精度也较低(风速测量门限值  $5 \text{ m/s}$ ,精度 $\pm 0.5 \text{ m/s}$ ,风向精度 $\pm 10^\circ$ ),又无可用的数字接口,故不能用于动力定位系统。因此,该船新装了进口的专用风向风速仪 OMC160,测量精度能达到上述要求(参见图 22)。

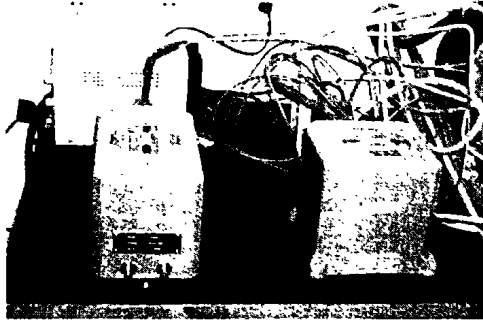


图 21 “大洋一号”的激光惯性  
导航系统 PHINS 与 OCTANS

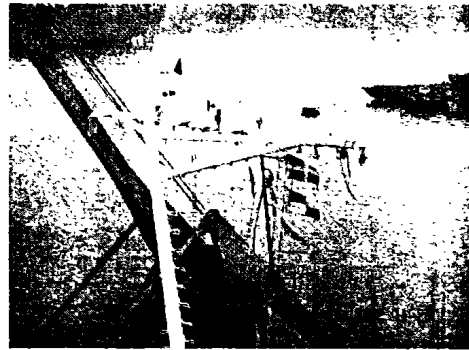


图 22 “大洋一号”的风向风速仪

### 5.2.5 多普勒计程仪

动力定位系统若具有“自动保持移动速度”功能,就必须设置计程仪来测量船速。多普勒计程仪可测量船舶相对于海水的速度,在极低航速时也能保持高精度,而且不受气候、海水温度与盐度的影响,十分适用于动力定位系统。

由于“大洋一号”船动力定位系统未设“自动保持移动速度”功能,虽然该船安装了 DS-80 型多普勒计程仪,但未接入动力定位系统。

### 5.3 控制系统的选用

动力定位控制系统根据系统等级的高低,有不同的冗余。“大洋一号”船采用 DNV 的 AUTS 等级,相当于 IMO 的 1 级,不设冗余。

本船控制系统选用挪威 KONGSBERG SIMRAD 公司的 GreenDP11。该公司自 1975 年为海上钻井平台生产了第一套动力定位控制系统以来,至 2002 年底已供应了 1097 套系统,占全球市场份额的 87%。本船动力定位控制系统的硬件包括:操纵台、控制柜、便携式手操终端、接线箱、不间断电源与打印机。

操纵台布置在驾驶室前部右舷,大约位于 48~49 肋位。其台面上布置有操纵手柄、跟踪球、输入键盘、各种操纵按钮、指示灯与报警灯,立面布置有 20.1" 的 TFT 彩色液晶显示屏,操纵台内部布置有一台高性能计算机,采用 Intel Pentium 处理器与 Windows NT 32 位操作系统。图 23 所示的操纵台下部柜门已被卸去,控制计算机被拉出位于检查调试位置。

利用操纵台上的操纵手柄可以非常直观、方便地控制船舶移位,如图 24 所示。



图 23 驾驶室动力定位操纵台

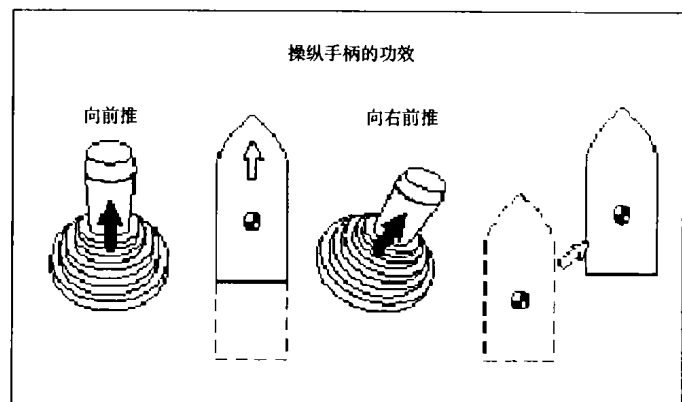


图 24 操纵手柄的功效

控制柜布置在首楼甲板 1 号配电间内,大约位于 50~51 肋位。其内部布置有实时处理计算机、存储器、输入/输出接口、供电模块以及大量接线端子。动力定位系统与位置测量设备、各种传感器

以及主、副推力器的电气联接均通过控制柜,系统供电也经由本柜。本系统调试时新增设的与激光惯性导航系统接口继电器也安装在此柜内。参见图 25。

便携式手操终端布置在上甲板尾部控制室,大约位于 122~123 肋位,需要时也可临时移至驾驶室两舷舷侧。它通过串行接口直接与控制柜相联接。利用该设备可以脱离主操纵台直接手动操纵船舶定位与艏向,也可以作为主操纵台的备用。参见图 26。



图 25 动力定位控制柜



图 26 便携式手操终端

#### 5.4 主推进装置的改造

“大洋一号”船要增设动力定位系统,必须将原船主推进装置与舵纳入系统。这里有两个问题需要解决:控制与反馈的精度问题以及接口问题。

##### 5.4.1 调距桨的改造

原船调距桨系俄罗斯制造,液压系统采用一台调距油泵工作、另一台备用,排量很大,又没有比例调节环节,调整螺距时经常过调,控制精度较差;原螺距反馈机构采用自整角机,反馈信号与指示偏差较大。因此调距桨接入动力定位系统前,必须对其液压系统进行改造,并增加有关接口。

改造后的液压系统采用两台双联泵,一台常用,另一台备用。每台双联泵由 100 ml/r 的一级泵与 32 ml/r 二级泵组成。采用双联泵能够兼顾调距速度与精度的要求。液压系统中采用了由可编程控制器控制的比例阀来实现对螺距的控制,控制精度大大提高。螺距反馈装置采用了原用于军用舰艇调距桨的精密反馈电位器,反馈信号的精度也提高很多。改造后的调距速度与精度均满足了动力定位系统的要求。

调距桨还增设了与动力定位系统的接口,可以接收动力定位控制指令并给出反馈信号。这样,调距桨系统就有三个工作模式:本系统直接控制(含机旁控制与遥控)、主推进监控系统程序控制、动力定位控制。在驾驶室控制台的调距桨控制面板上,可以方便地进行三个模式的切换。参见图 27。

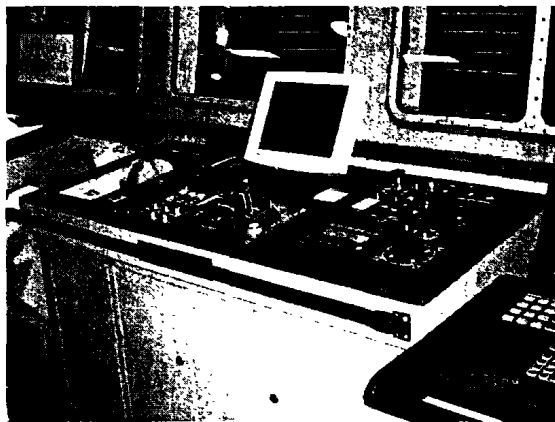


图 27 驾驶室控制台

##### 5.4.2 舵机的改造

原船的液压舵机尚能使用,但液压油泵与油缸磨损过大,经常漏油,且控制精度较差。故更换了

油泵, 修复了油缸。由于原舵机反馈信号送至俄罗斯制造的自动操舵仪, 其信号格式、接口位置均难以查清, 故新加装了单独的舵角反馈装置, 其信号直接送至动力定位系统。原自动舵有三个工作模式: 手动、随动、自动。现在增加一个“动力定位”模式, 可以在驾驶室自动舵操作面板上进行切换。

## 5.5 辅助推力装置的选用

### 5.5.1 推力器的型式

动力定位系统辅助推力装置用于产生横向推力, 或根据需要产生任意方向的推力。其型式有隧道式侧向推力器、全回转推力器、直翼平旋式推力器、旋转格栅式推力器、旋转喷水推力器等多种。最为常用的是前两种, 两者各有其特点。

隧道式侧向推力器的优点是结构简单、配套容易、装船方便、价格较低; 缺点是只能产生横向推力, 当船舶前进时横向推力大幅度下降, 且艏部横向隧道口可能会产生涡流与气泡, 不仅影响前进航速, 而且对船体水下部分的多波束探测、声学多普勒相控阵测流 (ADCP)、海底浅地层剖面探测、水下超短基线定位等声学探测设备换能器的正常工作会产生不利影响。

全回转推力装置的优点是能在  $360^\circ$  范围内任意方向产生推力, 与同功率的侧向推进器相比较, 全回转推力装置由于装有收缩导流管, 产生的推力更大, 船舶前进时的推力下降较小, 艏部若采用伸缩式全回转推力装置, 可大大减少对声学设备工作的影响; 其缺点是技术复杂, 国内不能制造, 进口价格较高, 船体设计与安装较困难。

“大洋一号”船除了要求定点控位外, 还要求能在  $2\sim 3$  kn 低航速时进行 ROV 自动跟踪与低速循迹航行。此时, 隧道式侧推器的推力仅为其系统推力的一半左右, 而舵效又很差。据估算, 此航速的侧推器推力与舵的合力远小于动力定位所需要的横向力, 将无法满足需要。因此, 本船选用了全回转推力器作为艏部辅助推力装置。艉部若也采用全回转推力器, 将面临布置困难而难以实施。最后, 根据本船改装的现实情况, 艉部采用了直径较小的隧道式侧推器, 布置在艉轴上方。

“大洋一号”船艏部第 17~21 肋位平台处的专用舱室竖井内, 安装了一台伸缩式全回转推力器, (荷兰 HRP 公司的 HRP530-51 型), 其输入功率为 735 kW, 系统推力为 125 kN (参见图 28)。艉部第 111~118 肋位平台处的艉侧推舱内, 安装了一台位于尾轴上方的隧道式侧向推力器 (荷兰 HRP 公司的 HRP4001TT 型), 其输入功率 550 kW, 系统推力 65 kN。

### 5.5.2 调节推力的方式

侧向推力器与全回转推力器均有可调螺距与固定螺距两种。其原动机可采用电动机或柴油机, 两者均可通过改变螺距或改变转速的方法来改变推力。

若选用可调螺距推力器, 螺旋桨转速保持不变, 可以通过改变螺距来改变推力, 因此可以直接采用普通交流电动机驱动推力器。若选用固定螺距, 则需要通过改变螺旋桨转速来改变推力, 因此必须采用变频装置向交流电动机供电, 实现交流电机的调速, 再驱动推力器; 或者采用直流电动机调速驱动、柴油机变速驱动。

从螺旋桨的水动力性能、水动力噪音、操纵机动性、机械结构、可靠性、维修性、设备成本、使用成本等方面比较, 固定螺距推力器要比可调螺距占优势。但固定螺距需要变频供电, 配套设备技术复杂, 价格昂贵, 国内无配套能力, 必须全套进口; 配套设备的体积很大, 如再配以移相变压器, 其重量更重, 船内布置设计与施工有难度; 另外, 变频供电会产生高次谐波, 对其他船用设备产生电磁干扰。但是变频供电的启动电流较小, 船舶电站易于承受启动冲击。

经过综合分析比较<sup>①</sup>, “大洋一号”采用了固定螺距的前后辅助推力装置, 用 690 V、0~60 Hz、12 脉冲的交流变频装置供电。电动机转速为 0~1200 r/min 可调。

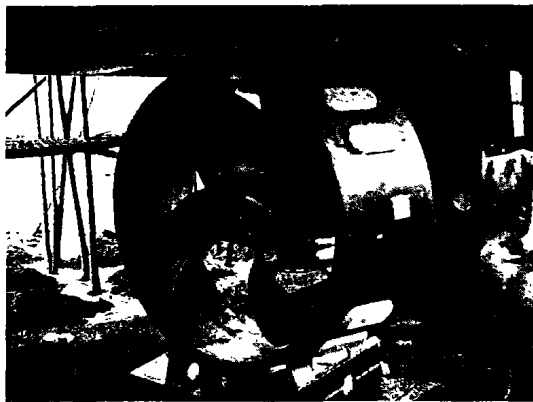


图 28 船坞内的全回转推力器, 可见伸出船底的导管

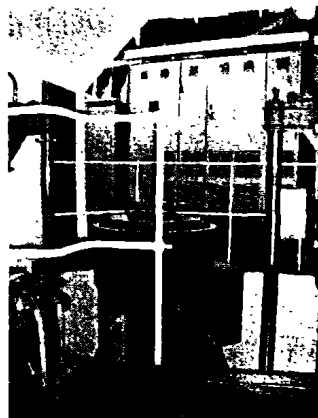


图 29 艏部全回转电机与变频装置

“大洋一号”船艏部第 17~23 肋位平台处的专用舱室左舷, 安装了向全回转推力器供电的移相变压器与交流变频装置 (参见图 29), 额定功率为 850 kVA, 输入 50Hz、380V 船电, 输出 0~60Hz、690 V 交流电, 变频器原理基于 IGBT PWM 方式, 并带有启动预磁装置以减小启动电流。艏部第 111~118 肋位平台处的艏侧推舱内, 左右舷分别安装了向侧向推力器供电的交流变频装置与移相变压器 (参见图 30), 额定功率为 740 kVA, 输入 50Hz、380V 船电, 输出 0~60Hz、690 V 交流电, 变频器原理及结构与前者相同, 也带有启动预磁装置, 还设有制动装置。

### 5.5.3 辅助推力装置的控制

“大洋一号”船的辅助推力装置可以在驾驶室或艏部控制室进行操纵。驾驶室控制面板与艏部控制面板上均能切换三种工作模式: 手动、随动以及动力定位模式 (对于艏侧推器只有手动及动力定位控制两种模式), 并能切换控制部位。在动力定位模式, 辅助推力装置本身的控制系统不起作用, 推力装置受控于动力定位系统。

辅助推力装置的控制精度与反应时间必须满足动力定位系统的要求。通常, 动力定位系统要求辅助推力器的转速调节或螺距调节精度优于 2%, 在零推力位置精度要求达到 1%; 从零推力到最大推力调节时间应该小于 10s; 全回转推力器回转 360° 时间应不大于 30s, 且不应有回转死区。所有辅助推力装置应选用长期工作制。

辅助推力装置的转速控制必须采用闭环控制, 其转速测量应采用转速表等能反映真实转速的手段, 而不能由驱动电流等参数换算而得。从零转速到正负最大转速应能任意调节, 其间不得有任何与振动噪声有关的转速禁区。为了快速改变转向, 推力器应设有制动装置。

## 6 实船动力定位系统的调试

动力定位系统的实船调试比较复杂, 涉及项目较多, 耗时较长, 通常需要经过码头调试与海上调试两个阶段, 前后总共需要约一百多小时的调试时间。“大洋一号”船由于是国内第一艘安装动力定位系统的大型船舶, 缺乏调试经验, 经历了较长的码头调试与两次海上试航调试, 才取得了满意的结果。

### 6.1 码头调试

动力定位系统的各项设备 (包括位置测量设备、传感器、控制设备、主推进装置、电站与主配电

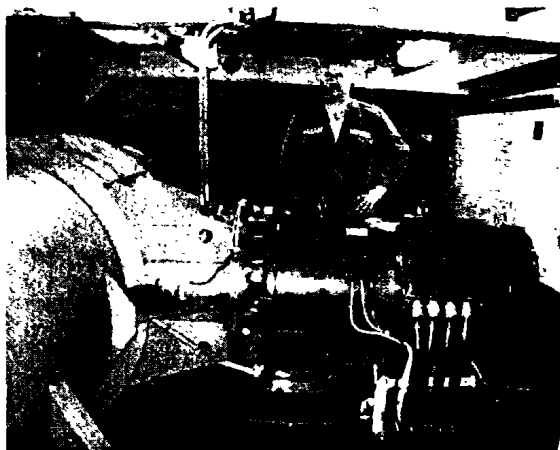


图 30 艏部侧推器与变频装置



板、辅助推进装置) 在安装完成后, 应经过单项检查与调试、有的还应经过系泊试验后, 才能进行整个动力定位系统的码头调试。码头调试包括各设备与动力定位控制柜之间的接口通讯检查与调整。

对于位置测量装置, 应检查所有的输入/输出接口信号的格式是否正常; 与动力定位系统的数字通讯是否正常; 还应检查核对各测量装置在船上安装部位的三个坐标, 并将相应的计算结果输入动力定位系统。

对于各传感器, 除了检查输入/输出接口信号格式、与动力定位系统的数字通讯以外, 还需要根据动力定位系统规定的坐标系统来检查标定各传感器输出信号的正负极性。

对于电站与主配电板, 应检查发电机、主开关与动力定位系统相联的接口触点信号, 并标定电站电力负荷信号。

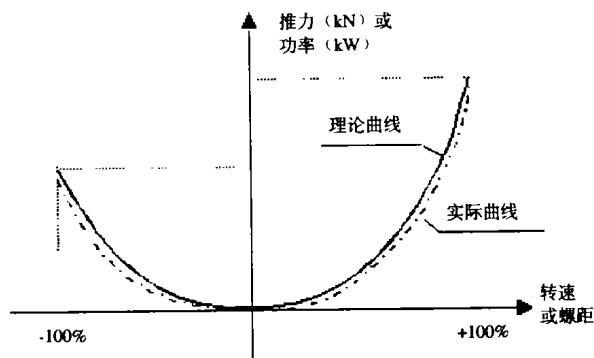


图 31 推力器转速（螺距）— 推力曲线

对于主推进调距桨、艏部全回转推力器、艏部侧推器、舵的码头调试, 包括下列内容:

- (1) 检查所有输入、输出信号的格式是否符合要求;
- (2) 检查各设备由“手动控制”切换到“动力定位控制”时的相应状态是否正确, 输出到动力定位系统的“准备就绪”信号是否正常;
- (3) 检查并调整各设备本身伺服控制系统在调节螺距/转速/舵角时的指令与反馈信号;
- (4) 测定调距桨零推力的螺距角, 检查零推力附近的调节精度;
- (5) 检查并测定各设备本身伺服控制系统的调节死区;
- (6) 检查并测定各设备本身伺服控制系统的调节线性特征;
- (7) 检查并测定各设备本身伺服控制系统在调节螺距/转速/舵角时的调节速率。
- (8) 如有条件, 应在码头进行主、副推力装置各工况的系缆拉力试验 (每个推力器至少试验四个工况), 以便获得主、副推力装置实际的螺距-推力曲线 (或转速-推力曲线) (参见图 31), 并与设备厂提供的理论曲线进行比较, 求得两者的差别。这对于动力定位系统软件的调整与优化十分有用。

由于在码头系泊试验时, 主推进调距桨往往只允许低工况运行, 码头吃水也限制了升缩式全回转推力器的运行, 因此上述调试工作有可能在码头调试时不能全部完成, 必须在海上调试时继续进行。

## 6.2 海上调试

动力定位系统海上调试对试验海域要求较高, 首先要求海域宽阔, 周围 1000 m 范围内不得有障碍物或其他船只, 海水深度通常应不小于船舶吃水的五倍, 在试验水下目标自动跟踪项目时水深应不小于 100 m; 风力不超过蒲氏 3 级, 海浪不超过 2 级, 海流不超过 0.5 kn。海上调试时, 首先要检查位置测量装置与各传感器的工作情况, 均应满足动力定位系统的要求。

调试主、副推力装置时, 要检查并测定各主、副推力器最大工况工作时的螺距、转速、负荷等参数, 检查控制指令与反馈信号的关系。特别应注意的是, 在动力定位系统不同的功能模式下, 主推进装置的最大允许工况是不同的。例如在高速自动循迹航行、自动操舵驾驶模式时, 主推进装置的最大允许工况与正常航行 (不使用动力定位系统) 时相同; 在自动定位、自动跟踪水下目标、低速自动循迹航行等模式时, 主推进装置最大允许工况将大大低于正常航行最大工况, 其具体数值应事先由船舶

总体设计部门根据船舶动力装置与电力系统的技术状态予以确定。

海上调试的主要目的是调整与优化动力定位控制软件对船舶艏摇、纵荡、横荡的控制参数。调试时应根据动力定位系统的各项功能由简至繁逐项进行调整,此阶段整个船舶必须在动力定位系统的控制之下。

海上调试完成后,就可以在规定气象条件下进行动力定位系统的验收试验。

## 7 实船试航

“大洋一号”船动力定位系统的各项设备在按期安装完成后,本应逐项进行码头系泊试验,然后进行整个系统的码头调试。然而由于部分设备在系泊试验中发现的问题未能及时解决、有些设备由于客观条件限制无法进行系泊试验,因此在计划的实船试航前仅完成了部分码头调试内容。如当时主机监控系统工作不稳定,从而不敢让主机高负荷运行,主机、调距桨与主电站的试验就受到限制;船厂码头的水深较浅,内河水中杂物又多,不敢让升缩式全回转推力器下降至工作位置试运转;码头没有能承受特大拉力的专用系缆桩,无法进行主、副推力装置的系缆拉力试验。

在码头调试告一段落后,本船就进行了实船试航。计划在完成主推进装置试验、各项机电设备试验与船舶总体性能试验后,就继续进行动力定位系统未完成的码头调试项目以及海上调试。

在实船试航过程中,发现调距桨控制箱输出至动力定位控制柜的  $0 \sim \pm 10 \text{ V}$  反馈信号寄生有交流  $128 \text{ mV}$  的干扰噪音电压,严重影响了零螺距附近的控制精度。经测试,干扰信号频率为  $50 \text{ Hz}$ ,很明显干扰来自于船舶电网。经反复检查与分析,认为问题出在调距桨控制箱与螺距反馈机构的工艺设计有缺陷:控制箱内的反馈电压信号馈线与控制系统交流  $220 \text{ V}$  供电电源线捆扎成一束,其分布电容是造成干扰的根源;螺距反馈电位器及其分压电阻的电阻值又远大于动力定位系统所要求的  $2 \sim 4 \text{ k}\Omega$ ,过高的对地阻抗对电磁干扰更为敏感。找到了问题的症结,但此时已无法从根本上予以解决。有人提出在控制箱内的信号馈线两端加装滤波电容器以旁路干扰信号。虽然此方法不符合动力定位系统接口要求,但经过估算,所造成的信号延迟可以忽略不计,于是决定采用此方法。加装  $1.5 \mu\text{F}$  滤波电容器后,在动力定位控制柜接线端测得干扰电压下降为约  $5 \text{ mV}$ ,不良影响完全消除。

在解决了调距桨接口问题后,顺利完成了调距桨零推力螺距角的测定以及主、副推力装置的其他调试工作。

在调试中,全回转推力器与艏侧推器可以同时在  $6 \text{ s}$  内由零推力加载至全负荷,超过了动力定位系统要求辅助推力全程调节时间小于  $10 \text{ s}$  的标准。由于采用独立电站为辅助推力装置供电,突加与突卸  $1300 \text{ kW}$  的巨大负荷并未对全船供电造成不良影响。全回转推力器回转  $360^\circ$  所费时间仅为  $20 \text{ s}$ ,超过了动力定位系统要求的小于  $30 \text{ s}$  标准。艏侧推器由于采用了有效的电气制动装置,从全功率向右舷推变换为全功率左推(全速改变转向)时间不超过  $15 \text{ s}$ 。

此阶段调试还发现激光惯性导航系统“PHINS”与动力定位系统的接口不完善,广域差分 DGPS 接收机的精度不能满足动力定位系统要求。前者经过各方面努力得以解决,而后者此时已无法改进。

随后欲进行的动力定位控制软件调整优化,由于受到当时气象条件的限制(风力逐步增强至  $7 \sim 8$  级)而无法进行。另一方面,作为动力定位系统位置测量设备之一的超短基线水下定位系统当时尚未调试验收,动力定位系统无法与之调试接口。因而在船厂交船前的试航中未能完成整个动力定位系统的海上调试。

“大洋一号”船在完成现代化改装、船厂交船以后,进行了综合专业试航。在超短基线系统  $4000 \text{ m}$  深度调试验收完成后,再次进行了动力定位系统海上调试。以前发现的 DGPS 精度不够的问题再次得到了验证,调试中其数据漂移量约为  $0.5 \text{ m}$ ,并曾因数据漂移过大而引发系统报警。参见图 32。

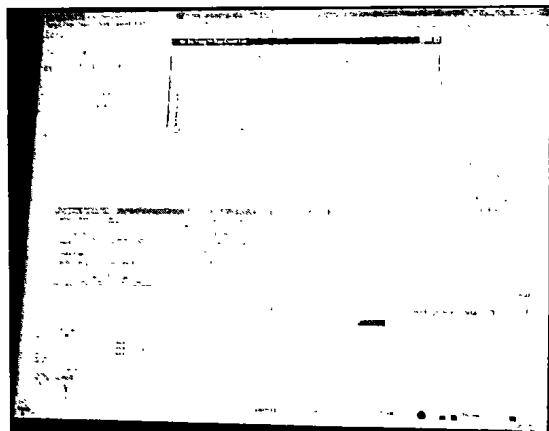


图 32 动力定位控制台屏幕显示的 DGPS 数据漂移

在调试超短基线水下定位系统接口时, 由于试验海区水深较浅(约 35 m), 未达到要求的深度, 动力定位系统判断超短基线发送的数据精度不够而不予接受。其数据格式也有待于两家外商进一步协调。因而, 动力定位系统自动跟踪水下目标的试验, 不得不留待于将来水下遥控潜器 ROV 上船调试时一并进行。

在进行动力定位系统控制软件调整优化的两天多时间里, 气象条件逐步好转, 由小雪转晴, 风力由 5 级逐步减小至 2 级, 对于系统调试十分有利。因此比预定时间提前完成了海上调试。

在接下来的验收试验时, 由于天气很好, 风力仅 3~4 级, 海流约 0.6~1.0 kn, 气象条件未达到预定的风力 6 级、海流 1.0 kn 的极限条件, 因此未能检验动力定位系统的最大控位能力。

验收试验结果表明, 本船动力定位系统的设计、安装与调试十分成功, 达到并超过了原定技术指标。事先根据国外经验估计, 采用本船动力定位系统设计方案, 如果 DGPS 的精度与重复性优良, 此系统的定点控位精度可以优于 0.5 m。考虑到本船的实际情况, 预估精度为 1 m 左右。试验前, 各方面商定验收标准为定点控位精度优于 3 m, 艏向稳定性优于 3°。实际试验测定结果, 船舶定点控位时的位置偏差为 0.3~0.9 m, 艏向控制偏差为 0.1~1.1°, 远远超过了任务书要求的 40 m 控位精度。

图 33 显示了定点控位模式时的各项参数。此时船舶重心的指令位置为北纬 35°49.5797', 东经 121°01.6216', 艏向指令值为 30°。当时海流速度为 0.4 m/s(0.78 kn), 方向为左舷 142.3°; 风力为 2.9 m/s, 方向为左舷 8.4°。船舶重心实际位置偏差为 0.6 m, 瞬时漂移速度 0.01 m/s; 实际艏向为 29.2°, 偏差 -0.8°, 瞬时漂移角速度 0.7°/min。由于风力远小于动力定位极限条件, 从显示屏上可以看出主、副推力装置投入的功率很小, 尚有很大功率余量。

在低速自动循迹航行时, 动力定位系统可以使船舶按预定速度(1~3 kn)与艏向低速前进、横向移动、斜向移动、低速倒退。此时实测位置偏差最大值约为 1.2~1.6 m, 艏向角偏差为 0.9~1.1°。

在高速循迹航行(本船规定为 4~12 kn)时, 实际测试表明, 船舶与预定航线的位置偏差不大于 1.5 m, 艏向偏差不大于 1.5°。

动力定位系统还可以作为高精度自动操舵仪代替原有自动舵工作。海试表明, 在较高航速下, 其航向控制误差(包括超调量)可以不大于 0.2°。

在进行任意中心自动回转试验时, 将本船回转中心设定为船尾 A 形架向后倒出时的滑轮处, 要求保持回转中心不动, 船舶以 10°/min 的角速度回转。试验获得了十分令人满意的结果(图 34), 回转中心的最大瞬时漂移量约为 1.9 m。

本船动力定位系统还试验了最新的“节能定位”模式(也称之为“绿色动力定位”)。试验时设定内控制圈半径为 20 m, 外控制圈半径为 30 m。船舶在内控制圈内自由漂移时, 动力定位系统不进行干预; 当船舶漂移出内控制圈时, 动力定位系统立即反应, 利用主、副推力装置使船舶快速回到内控制圈里。此种控制模式使定点控位精度下降到所需要的合理数值, 同时大大降低了主、副推力装置的能源消耗、废气排放与机械磨损, 进而延长了推力装置寿命、降低了维护保养与燃油消耗费用。

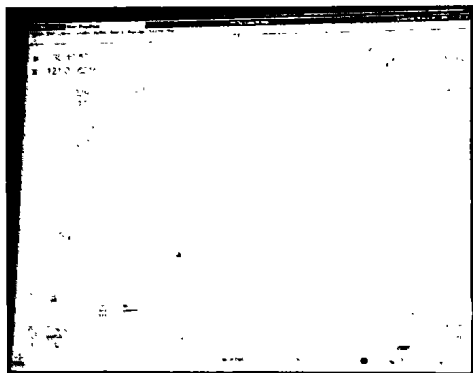


图 33 定点控位时的屏幕显示



图 34 船舶绕艏部中点自动回转

本船动力定位系统海上验收试验取得了令人满意的结果。

## 8 系统设计的经验与教训

“大洋一号”船设计安装动力定位系统,经过近三年的论证、设计、施工、调试与试验,最终取得了圆满的成功,也积累了不少宝贵经验可供今后借鉴。

船舶动力定位系统是一个相当复杂的大系统,技术复杂,其组成设备涉及专业面广。在系统设计过程中,需要船舶总布置、船舶性能、船体结构、船舶舾装、船舶动力、船舶系统、船舶电气、船舶导航、水声设备等各专业开展设计研究,并进行大量协调。前期的方案论证与方案设计,就需要从船舶性能、总布置、动力、电气专业角度进行研究,确定动力定位系统满足装船使用、实现预定功能的总体要求,确定系统各部分、各设备的配置方案。确定设计方案以后,各专业均需开展充分调研,根据总体要求确定相关设备选型以及各设备的具体技术要求,包括位置测量设备、各种传感器、控制系统、主推进装置、舵与舵机、辅助推力装置、主电站与配电设备等;对于旧船改造,还需要对相关原有设备进行分析研究、验证认可,大多数旧设备需要局部改造、增设接口。在整个设计过程中,必须贯彻“设备服从总体、局部服从全局”的思想,根据全船动力定位系统的总体要求来开展各项具体工作。因此,在船舶动力定位系统研究设计的全过程中,必须由船舶总体设计单位实施技术抓总,由船舶总设计师亲自挂帅,确定重大技术参数,解决关键技术问题,领导各专业之间、各设备供应商之间的技术协调。有的局外人认为,只要选定了有经验的动力定位控制系统供应厂商,一切工作均可由其完成并解决之;这种想法显然是不切实际的。

船舶总体设计单位在设计动力定位系统的全过程中,应特别注意动力定位系统对各相关设备精度与接口的特殊要求。以主推进调距桨为例,动力定位系统的要求就要比常规高得多。一般民船的主推进调距桨螺距调节与指示精度常为 $\pm 5\%$ ,军船要求为 $\pm 3\%$ ;但动力定位系统要求其调节精度高达 $\pm 2\%$ ,在零螺距附近更要求达到 $\pm 1\%$ ,螺距反馈电位器线性度要求达到 $0.5\%$ ,对调距时间也有较高的要求。因此在船舶主推进装置设计时,千万不要对动力定位系统的特殊要求掉以轻心。动力定位系统对电罗经、全球卫星定位系统、风向风速仪等船用设备的精度要求以及其他要求,也比常规船舶要高得多。

动力定位系统要求大多数配套设备的数字接口采用 NMEA-0183 规定的 RS422 或 RS232 接口,传输速率要求 $600\sim 38400$  bit/s,数据刷新率通常要求 $1\sim 2$  Hz,运动传感器要求 $4\sim 10$  Hz。对于主、副推力装置的模拟量接口,通常要求采用 $\pm 10$  V 标准信号,且其阻抗、屏蔽与接地也有一定要求。动力定位系统还要求每一设备给出“准备就绪”的开关量接口信号。对于各设备之间的接口,往往需要反复协调,否则就会在系统调试时产生困难。“大洋一号”船动力定位系统采用的挪威 GreenDP11,以前从未与法国的 PHINS 以及超短基线配套过,在接口协调方面曾产生过较大问题。国内的船舶总体设计单位组织不同国家外商进行协调又有困难,前后花费了大量时间与精力才得以解决。因此,船舶动力定位系统各设备之间的协调工作必须始终引起高度重视。

## 9 结 语

远洋科学考察船“大洋一号”是国内第一艘自行设计设置动力定位系统的无限航区大型船舶。该船增设动力定位系统后,极大地增强了调查作业能力。在海底钻探、定点取样、电视抓斗作业、收放大型水下调查设备、布放回收长基线水下定位系统或深海锚系等作业时,必须精确地控制船位与艏向,防止船舶纵荡、横荡与艏摇。倘若船舶没有定点控位能力,很难想象如何进行这些作业。

在进行深海多波束探测、海底浅地层剖面探测、海底地质调查、海底石油探测、走航式声学多普勒相控阵测流(ADCP)等调查作业时,使用动力定位系统的高速自动循迹航行功能,可以大大提高作业效率与精度;在深海拖曳照相、侧扫声纳探测等调查作业时,使用低速自动循迹航行功能,更可使作业效率与精度成倍提高,且对提高调查资料的质量具有重要作用。

利用动力定位系统水下目标自动跟踪功能,本船可自动跟踪水下 6000 m 深的运动目标,可以方便地协同水下遥控无人潜器 ROV 与水下自治机器人 AUV 进行水下观察、取样作业;将来搭载深海载人潜器,也可以方便地进行跟踪与通讯。

“大洋一号”船增设了动力定位系统,大大提高了全船的技术水平,成为达到国际先进水平的现代化综合性科学考察船。

“大洋一号”船动力定位系统的设计、安装与调试取得了圆满成功,为我国船舶动力定位技术的实际应用与不断发展迈出了极为重要的一步。

## 参 考 文 献

- 1 何崇德. “大洋一号”海洋科学调查船动力定位系统的设计考虑[A]. 上海造船工程学会船舶动力定位技术研讨会论文集[C], 2002.9.
- 2 何崇德. “大洋一号”船动力定位系统航行与验收试验小结[R]. 701 研究所, 2003.3.

## Application and Practice of Dynamic Positioning System of Vessels

HE Chong-de

(Wuhan Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China)

### Abstract

The dynamic positioning system of vessels is developing rapidly and is getting extensive application in the military and special vessels in the world. The first large-scale sea-going ship with DP system, which is designed and configured self-reliantly in China, is the R/V DaYang YiHao, an integrative oceanographic research vessel. After configured DP system, this ship becomes a modern research vessel with international advanced level. This paper introduces perfectly the component parts, functions and design requirements of DP system. Taking the R/V DaYang YiHao for example, this paper mentions the critical considerations in the argumentation, design, principal equipment selection, system debugging, and the result of running-in, system test and sea trial. This maiden design has a successful experience in application and development of DP system in China.

**Key words:** ship engineering; dynamic positioning of vessels; ship design; research vessel