

“大洋一号”科学考察船动力定位系统的设计

何崇德 研究员 中国船舶重工集团公司第七一研究所上海分部[201102]

摘 要 船舶动力定位系统的应用近年在国外发展迅猛,在国内也引起了愈来愈多的关注。我国的“大洋一号”船于2002年增设了动力定位系统,成为达到国际先进水平的现代化远洋科学考察船。本文介绍了该船动力定位系统的设计要点,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 科学考察船 船舶设计 动力定位

中图分类号 U675.9

0 概 述

“大洋一号”船是我国唯一的一艘专门从事国际海底区域资源勘查研究开发的远洋科学考察船。该船于2002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。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。

作为国内第一艘自行设计增设动力定位系统的大型特种船舶,该船动力定位系统经历了论证、设计、调试与试验,成功地达到了预定目标,技术指标超过了预定要求。本文介绍了该系统设计要点,以供国内同行参考。

1 实船动力定位系统方案

1.1 “大洋一号”船增设动力定位系统的要求

“大洋一号”船为双柴油主机带轴带发电机、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与开发,能搭载水下遥控潜器ROV与水下自主机器人AUV。此船增设动力定位系统的要求是船舶能定点控位以便进行海底地层钻探等海底作业,并能实现ROV跟踪以及循迹航行以便进行走航式探测。

1.2 定位能力的确定

船舶动力定位能力应根据该船任务需要以及作业海域条件来决定。根据统计资料,“大洋一号”船主要作业海域的海流0~1.0kn出现概率为86.8%,风力小于或等于7级的概率为98%。因此将动力定位系统的定位能力确定为能抵抗1.0kn海流、7级风较为合理。这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。

1.3 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3000m水深的海底作业来说,水面船舶有30m的定位精度已经足够(垂直偏角仅34°);但对于300m水深的类似海底作业,水面船舶的定位精度就应该达到3m,才能获得类似的效果。“大洋一号”船主要用作3000~6000m深海调查探测。动力定位精度要求选为40m。

1.4 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。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。

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 A U T S。

1.5 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,可以大致估算出所需要的侧向推力,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 15.5m/s 以及 1.0kn 海流进行估算,本船所承受的侧向力约为 205kN 。根据经验,对于隧道式侧推器,每千瓦功率产生的推力约为 $120\sim 140\text{N}$,对于全回转推力器,每千瓦功率产生的推力约为 $150\sim 170\text{N}$ 。因此本船动力定位辅助推力系统需要功率约为 1400kW 。

1.6 辅助推力装置供电方式的确定

“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 P T O 用于驱动两台 1600kW 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 200kW 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“大洋一号”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(供电开关与隔离开关电气联锁),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、 1.0kn 流考虑,辅推装置耗电约 1400kW ,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、 1.0kn 流。此时所需的侧向推力约为 153kN ,所需功率约为 1100kW 。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,辅推装置的配置方案才能成立。

1.7 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,可以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^[1]。

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

方案 在艏部设两台 $\phi 1300$ 侧推器,艉部设一台 $\phi 1000$ 侧推器,总侧向推力 178kN ,总功率 1200kW ,其优缺点与方案 相当,但艉部侧推力较小。

方案 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 1.0kn 海流、7 级风而提出的方案。总侧向推力 206kN ,总功率 1380kW 。

方案 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 190kN ,总功率 1285kW 。

方案 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 。

1.8 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。为此可以采用两种方法:船模试验或计算机模拟。

船模试验包括船舶缩尺模型的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。

本船辅推方案经船模试验、并用不同国外软件进行了计算机模拟,结果表明此方案能在 1.0kn 海流与接近 7 级风的海况下实现动力定位^[1]。

2 实船动力定位系统的设计

2.1 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下:

表 1 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	30km	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

“大洋一号”船作业海域远离大陆,不适宜选用无线电定位系统,只能采用广域差分 GPS 作为水面位置测量设备。

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。其中超短基线系统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,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,在动力定位系统的位置测量设备中应用最广。“大洋一号”船也选用了超短基线系统,最大工作深度达 6000m。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 1.3m。该系统对船舶纵横摇的补偿精度要求为 0.05°。

2.2 传感器的选用

2.2.1 电罗经

电罗经用于动力定位系统的艏向控制。系统对电罗经精度要求通常 $\pm 0.5^\circ$;但超短基线要求较高,为 $\pm 0.15^\circ$ 。“大洋一号”新增设 ANSCHUTZ standard 20 数字电罗经,其静态精度为 $\pm 0.1^\circ$,动态精度为 $\pm 0.4^\circ$ 。基本可以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。

2.2.2 运动参考单元或垂直参考单元

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与 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。

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。

2.2.3 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,能同时测量船舶六个自由度(纵荡、横荡、升沉、纵摇、横摇、艏摇)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;内部不含运动部件,不需维护保养或定期重新标定;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。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。

2.2.4 风向风速仪

风力是船舶定位的主要干扰力,因此精确地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 1m/s ,风向分辨率为 1° ,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;精度较低(风速测量门限值 5m/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,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。

2.3 控制系统的选用

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 年底已经供应了 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。

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。

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。

2.4 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。

2.4.1 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 100ml/r 的一级泵与 32ml/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。

2.4.2 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。原舵机反馈信号送至俄罗斯制造的自动操舵仪,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。

2.5 辅助推力装置的选用

2.5.1 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;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°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 2~3kn 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缆推力的一半左右,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。尾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,尾部采用了直径较小的隧道式侧

推器,布置在尾轴上方。

“大洋一号”船首部第 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,为荷兰 HRP 公司的 HRP530-51。其输入功率为 735kW,系统推力为 125kN。船尾部第 111~118 肋位平台处的尾侧推舱内,安装了一台隧道式侧向推力器,位于尾轴上方。为荷兰 HRP 公司的 HRP 4001 TT。其输入功率 550kW,系统推力 65kN。

2.5.2 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。若选用可调螺距推力器,螺旋桨转速保持不便,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,“大洋一号”采用了固定螺距的前后辅助推力装置,用 690V、0~60Hz、12 脉冲的交流变频装置供电。电动机转速为 0~1200r/min 可调。“大洋一号”船首部第 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,额定功率为 850kVA,输入 50Hz、380V 船电,输出 0~60Hz、

690V 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。船尾部第 111~118 肋位平台处的尾侧推舱内,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,额定功率为 740kVA,输入 50Hz、380V 船电,输出 0~60Hz、690V 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。

2.5.3 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尾部控制室进行操纵。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(对于尾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 10 秒;全回转推力器回转 360°时间应不大于 30 秒,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音有关的转速禁区。为了快速改变转向,推力器应设有制动装置。

3 参考文献

- 何崇德.“大洋一号”海洋科学调查船动力定位系统若干问题的考虑.舰船工程研究,2002(4)

Design of Dynamically Positioning System of Scientific Survey Ship “Ocean No. 1”

He Chongde

Abstract: Dynamically positioning system has been used more and more abroad and has been drawing more and more attention at home over the past years. The scientific survey ship “Ocean No. 1” of China was additionally installed with a dynamically positioning system in 2002 and therefore has become a modernized ocean-going scientific survey ship. This paper presents the main points of design of the ship’s dynamically positioning system. It is expected that this paper will be of a reference value for the application and development of dynamically positioning system in the country.

Key words: Ship Scientific survey ship Ship design Dynamically positioning