



“大洋一号”船舶动力定位系统的调试与试验

何崇德

摘要:船舶动力定位系统的应用近年来在国外发展迅猛,在国内也引起了愈来愈多的关注。我国的“大洋一号”船于去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。介绍该船动力定位系统调试要点与试验结果,供国内船舶动力定位系统的应用与发展参考。

关键词:科学考察船 调试与试验 动力定位 海洋学

1 概述

“大洋一号”船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,其动力定位系统经历了论证、设计、调试与试验后,成功地达到了预定目标,技术指标超过了设计要求。

动力定位系统的实船调试比较复杂,涉及项目较多,国内又缺乏经验,因此,经历了较长时间的码头调试与两次海上试航调试才取得了满意的结果。本文介绍了调试要点与试验结果,以供国内同行参考。

2 实船动力定位系统的调试

动力定位系统的实船调试通常分码头调试与海上调试两个阶段进行。根据国外经验,总共需要约100多小时的调试时间。

2.1 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、电站与主配电板、辅助推进装置在安装完成后,应进行单项检查与调试,有的还要进行系泊试验,然后,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信检查与调整。

对于位置测量设备,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

的数字通信是否正常;还应检查核对各测量设备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信以外,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连的接口触点信号,并标定电站电力负荷信号。

对于主推进调距桨、艏部全回转推力器、艉部侧推器、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

收稿日期:2003-05-26

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 4 种工况),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),如图 1,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。

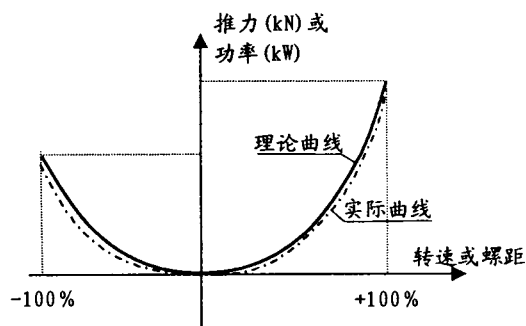


图 1 推力器转速(螺距)—推力曲线

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;码头吃水也限制了伸缩式全回转推力器的运行,因此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。

2.2 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;其次,海水深度通常应不小于船舶吃水的 5 倍,在试验水下目标自动跟踪项目时,水深应不小于 100 m;另外,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设备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,主推进装置允许的最大工况是不同的。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。

海上调试的目的主要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。

3 实船试航

“大洋一号”船动力定位系统的各项设备在按期完成安装后,本应该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,不敢让伸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,继续进行动力定位系统未完成的码头调试项目及海上调试。

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 $0 \sim \pm 10$ V 反馈信号寄生有交流 128 mV 的干扰噪声电压,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 Hz,很明显,干扰来自于船舶电网。经

反复检查与分析,认为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 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 2~4 k Ω ,过高的对地阻抗对电磁干扰更为敏感。找到了问题的症结,但此时已无法在从根本上予以解决。本人提出在调距桨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,可能造成信号延迟,但经过估算,所造成的延迟仅数十毫秒,可以忽略不计。于是,经设备供应厂商同意,决定采用此方法。加装 1.5 μ 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 5 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 6 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 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 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°耗时仅为 20 s,超过了动力定位系统要求的小于 30 s 标准。艏侧推器由于采用了有效的电气制动装置,从全功率右推变换为全功率左推(全速改变转向)时间不超过 15 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到解决,后者此时已无法改进,只能将就使用。

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(风力逐渐增强至 7~8 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

与其调试接口。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 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 m,并曾因数据漂移过大而引发系统报警。

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时间里,气象条件逐渐转好,由小雪转晴,风力由 5 级逐渐减小至 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,由于气象条件未达到预定的风力 6 级、海流 1.0 kn 的极限条件,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,定点控位精度可优于 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。

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为 1.2~1.6 m,艏向角偏差为 0.9~1.1°。

在高速循迹航行(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,艏向角偏差不大于1.5°。

动力定位系统还可作为高精度自动操舵仪代替原自动舵工作。海试表明,在较高航速下,其航向角控制误差(含超调量)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。试验获得令人满意的结果。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。

本船动力定位系统海上验收试验取得了令人满意的结果。

4 系统设计的经验与教训

“大洋一号”船作为国内第一艘自行设计安装动力定位系统的大型船舶,经过近3年的论证、设计、施工、调试与试验,最终取得了圆满成功,并积累了不少经验可供今后借鉴。

船舶动力定位系统是一个大系统,其技术相当复杂,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、性能、船体结构、舾装、动力、系统、电气、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,各专业均需要开展充分调研,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,领导设计所各专业之间,以及各设备供应商之间的技术协调。认为只要选定了有经验的动力定位控制系统供应厂商,一切工作均可以由其完成,一切问题均可以由其解决的想法,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,应特别注意该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要比常规高得多。一般民船的主推进调距桨螺距调节指示精度常为±5%,军船要求为±3%。而动力定位系统要求其调节精度高达±2%,在零螺距附近更要求达到±1%;螺距反馈电位器线性度要求达到0.5%。动力定位系统对调距时间也有较高的要求。对电罗经、全球卫星定位系统、风向风速仪等常规船用设备的精度要求以及其他要求也比通常要高得多。

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600~38400 bit/s;数据刷新率通常要求1~2 Hz,运动传感器要求4~10 Hz。对于主副推力装置的模拟量接口,通常要求采用±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(下转第25页)

从而避免逆变颠覆,有效地保护了开关。

5 实验结果

我们采用 TI 公司提供的 DSP 芯片 TMS320F240 来实现全桥型 SPWM 逆变电源的数字控制。采用的数字 PI 抗直流偏磁方法已在一台直流 175~320 V 输入、交流输出 50 Hz、230 V 艇用 7.5 kV 逆变电源中得到应用。逆变电源满载时的实验波形如图 5 所示,其中,图 5(a)为逆变电源原边电流 i_1 波形,图 5(b)为逆变电源输出电压 V_o 的波形。

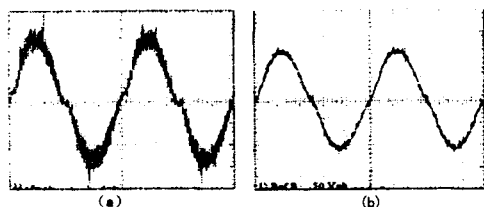


图 5 实验波形

(上接第 15 页)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。前后花费了大量时间才得以解决。因此,协调工作必须引起高度重视。

5 结束语

“大洋一号”远洋科学考察船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,利用动力定位系统的高速自动循迹航行功能,

6 结论

本文在对全桥型 SPWM 逆变电源中输出变压器直流偏磁机理分析的基础上,提出了一种数字 PI 控制方法,通过采样输出变压器原边电流,并提取其直流分量来调整触发脉冲宽度。该方法采用 DSP 芯片 TMS320F240,在一台全数字化 7.5 kV、50 Hz 逆变电源上得以实现。实验结果表明,所提出的方法在很大程度上减少了偏磁所产生的噪声,较好地抑制了输出变压器直流偏磁的影响。

参考文献

- 1 李宏,周继华,李治典.全桥逆变电路抗偏磁应用研究.电力电子技术.1998.
- 2 伊凤杰,林守权.全桥逆变弧焊电源中高频变压器偏磁的抑制方法.沈阳建筑工程学院报.1998.
- 3 朱振东,翟志军.逆变电源中高频变压器偏磁的研究.电力电子技术.1997.
- 4 杜中义.弧焊逆变电源磁心偏磁及其控制的研究.电焊机.1995.
- 5 杨荫福.SPWM 逆变电源输出变压器直流不平衡问题.华中理工大学学报.1999.

可以大大提高作业效率与精度;在深海拖曳照相、侧扫声呐探测等调查作业时,利用低速自动循迹航行功能,更可以使作业效率与精度成倍提升,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,本船可以自动跟踪水下 6000 m 深的运动目标,可以方便地协同水下遥控无人潜器(ROV)与水下自主机器人(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”船增设动力定位系统,大大提升了全船的技术水平,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若干问题的考虑.舰船工程研究.2002,(4).
- 2 何崇德.“大洋一号”船动力定位系统航行与验收试验小结.2003.3.