

DOI:10.12374/j.issn.1001-4357.2022.01.009

某船柴-柴联合动力装置主推进系统集成设计

周庆波^{1,2}, 邱爱华^{1,2}, 刘张超^{1,2}, 胡 军^{1,2}

(1. 上海船用柴油机研究所, 上海 200090;
2. 船舶与海洋工程动力系统国家工程实验室, 上海 201108)

摘 要: 按照某船的柴-柴联合动力装置(combined diesel and diesel, CODAD)主推进系统集成项目总体要求开展主推进系统集成设计。针对主推进系统非直线传动、破舱水密和并车控制要求, 采用液力耦合器配合单调速器并车控制方案, 相较于常见的液压多片式摩擦离合器配合主从调速器并车控制方案, 具有并车解列过程平稳、可靠、双机负荷分配均匀等优点。所设计的主推进系统实际应用情况良好。

关键词: 系统集成; CODAD; 非直线传动; 水密; 并车控制

中图分类号: U664.16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4357(2022)01-0037-04

Integrated Design of a Marine CODAD Propulsion System

ZHOU Qingbo^{1,2}, QIU Aihua^{1,2}, LIU Zhangchao^{1,2}, HU Jun^{1,2}

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090, China;
2. National Engineering Laboratory for Marine and Offshore Engineering Power Systems, Shanghai 201108, China)

Abstract: According to the general requirements of the main propulsion system integration project of a marine combined diesel and diesel (CODAD) power plant, the main propulsion system integration design was carried out. According to the requirements of non-linear transmission, cabin damage watertight and parallel control of the main propulsion system, the parallel control scheme of hydraulic coupler combined with single governor was adopted. Compared with the common scheme of hydraulic multi-plate friction clutch combined with master-slave speed governing parallel control, it has the advantages of stable, reliable and uniform load distribution of two engines during the parallel splitting process, and the application achieved good results.

Key words: system integration; CODAD; non-linear drive; watertight; parallel control

0 引言

随着船舶工况的多样化和自动化水平的提高, 船舶动力系统越来越复杂。国外 MAN 和瓦锡兰等公司早已采取主推进系统集成设计、整体供货和

联合调试方式, 从而实现整个主推进系统的良好匹配。国内一些科研院所和设备制造厂也逐步开展船舶主推进系统集成设计工作, 并取得了一定成果^[1]。

柴-柴联合动力装置(combined diesel and diesel,

CODAD) 适用于多工况船舶, 如在巡航时采用2台柴油机带动2个螺旋桨, 在全速时4台柴油机共同工作。这种型式的动力装置经济性好, 最大功率适宜, 得到了广泛应用^[2]。

基于某船CODAD主推进系统集成项目, 针对主推进系统非直线传动、破舱水密、并车控制等要求开展针对性设计。

1 主推进系统介绍

该船入级CCS, 主推进系统采用四机双桨CODAD推进型式, 布置如图1所示。主机采用中速柴油机; 齿轮箱为输入输出水平异心, 输入端内置液力耦合器, 2台主机在齿轮箱前后对置; 桨为可调距螺旋桨, 无冰区加强, 设2根中间轴、1根艮轴和1根螺旋桨轴, 艮轴和螺旋桨轴通过水下液压联轴节连接, 艮轴承采用水润滑。主推进系统有以下运行工况: 单机驱动单桨、双机驱动双桨、双机驱动单桨、四机驱动双桨。

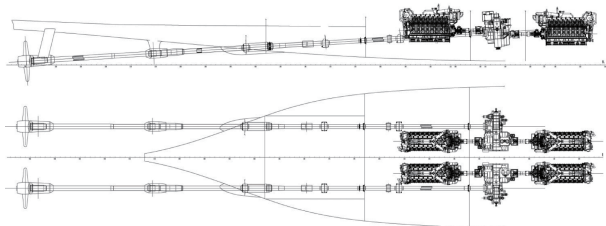


图1 某船CODAD主推进系统布置图

2 主推进系统设计

该船主推进系统除满足常规的航速、加减速、换向等技术要求和强度、扭振、回旋振动、轴系校中等CCS规范要求外, 还有以下要求:

(1) 该船轴系有大倾角且较长, 如采用常规直线传动将无法满足前主机吊缸及维修要求, 且不利于主机弹性基座安装, 因此对主推进系统有非直线传动要求。

(2) 该船设置齿轮箱舱, 要求在齿轮箱舱破损进水的极端情况下, 主推进系统仍能正常工作, 因此对主推进系统设备有水密要求。

(3) 该船采用柴-柴(CODAD)并车推进, 主推进系统的机械和电气设备须满足并车工况连接可靠、运行平稳及负荷分配均匀的要求。

2.1 主推进系统非直线传动设计

针对主推进系统非直线传动要求, 主要有两种解决方案: 一是采用输出轴带下倾角齿轮箱, 二是配置万向联轴器。两种方案对比如表1所示。

表1 下倾角齿轮箱和万向联轴器方案对比

方案	优点	缺点
下倾角齿轮箱	尺寸紧凑, 齿轮箱水平布置	倾角固定, 仅为中小功率, 齿轮箱偏心型式受限, 一般为标准齿轮箱
万向联轴器	倾角可根据设计要求选择, 适用全功率段, 对齿轮箱型式无影响	增加主推进机组总长度, 齿轮箱须倾斜布置

下倾角齿轮箱方案和万向联轴器方案示意图分别如图2和图3所示。该船主机功率大, 采用双机并车配置, 无标准下倾角齿轮箱可选, 且船身瘦长, 长度方向尺寸不敏感, 因此最终选择万向联轴器方案。

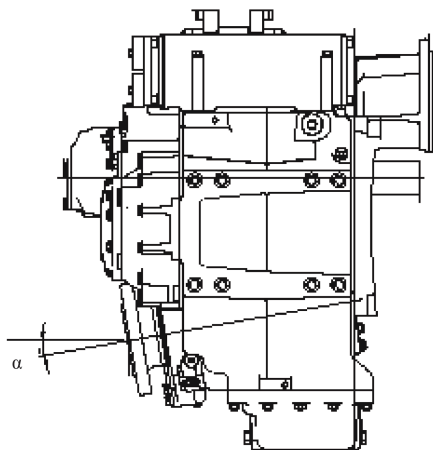


图2 下倾角齿轮箱方案示意图

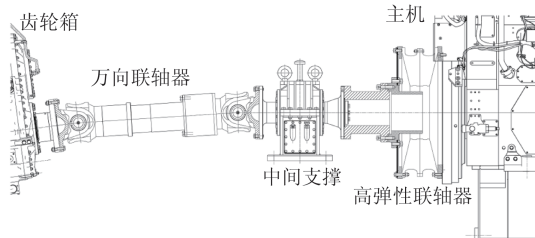


图3 万向联轴器方案示意图

2.2 主推进系统水密设计

该船齿轮箱舱内齿轮箱和可调桨等设备须具备防水功能, 在齿轮箱舱进水、电气设备失效的情况下, 主推进系统仍能运行。

2.2.1 齿轮箱水密设计

(1) 齿轮箱箱体

齿轮箱箱体为油水密封结构, 保证齿轮箱在一定浸没水深中能够运行, 油中的水含量不超过限制值。

(2) 齿轮箱输入端

齿轮箱输入端与万向联轴器连接, 万向联轴器须穿过齿轮箱舱舱壁。由于万向联轴器与中间

轴不同，存在相对运动，不便采用常规轴系隔舱密封装置。在齿轮箱输入端设置罩壳，如图4所示，罩壳与舱壁上的罩壳座连接，实现主机舱与齿轮箱舱的密封。齿轮箱输入法兰罩壳采用2半式，并配备有机玻璃观察孔盖板，便于观察和检修。

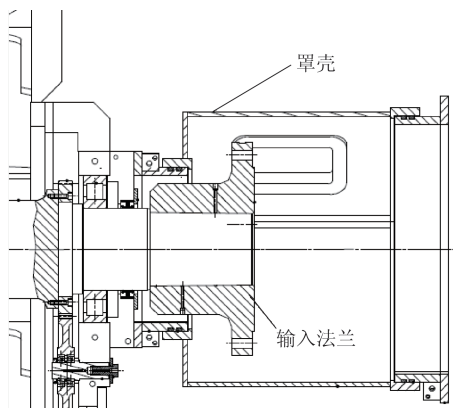


图4 齿轮箱输入法兰罩壳

(3) 齿轮箱接脱排控制

该船齿轮箱通过内置液力耦合器实现齿轮箱接脱排。耦合器控制阀安装于控制面板后面的一个防水盒中，在舱内进水的情况下，通过现场手动操作控制阀实现液力耦合器的快速充放油，进而实现齿轮箱接脱排。

2.2.2 可调桨水密设计

(1) 液压动力单元

目前可调桨液压泵站多采用电动泵驱动，一用一备。为了满足浸水工作要求，在齿轮箱上安装主机功率输出分支（power take off，PTO）驱动双联泵作为可调桨液压系统主泵，液压动力单元中配置电动单泵作为备用泵。PTO驱动双联泵无须供电，并须满足水密要求。

(2) 螺距控制

一般可调桨液压泵站上设置螺距调节阀块，为满足在齿轮箱舱破损进水时应急调节螺距要求，将螺距调节阀块单独设置，并置于船上甲板。在应急操作时，可在机旁直接操作电磁阀按钮调节螺距，阀块上集成螺距表，实时显示螺距。

2.3 主推进系统并车控制设计

为实现CODAD功能，从机械和电气即并车齿轮箱和并车控制系统两方面进行设计。

2.3.1 并车齿轮箱

该船并车齿轮箱根据总体布置要求设计为双输入单输出，两输入前后对置。为保证主机的接入和退出，并车齿轮箱可内置液压多片式离合器

或液力耦合器。离合器和耦合器的工作原理如下，优缺点比较见表2。

表2 多片式摩擦离合器和液力耦合器对比

类型	优点	缺点
液压多片式离合器	结构简单紧凑，接脱排迅速，无功率损失，液压系统简单	摩擦片须定期更换，接排时有冲击
液力耦合器	柔性启动，过载保护，隔离扭振，寿命长，无磨损	有功率损失，体积大，液压系统复杂

液压多片式离合器利用液压油压紧主动和从动摩擦片，通过摩擦力达到传动目的。液力耦合器是利用液体来传递能量的液力元件，通过泵轮、涡轮和转动壳体使主动轴和从动轴实现柔性连接和力矩传递^[3]。液力耦合器的泵轮和涡轮组成一个可使液体循环流动的密闭工作腔，泵轮与发动机连接，涡轮与工作机连接。发动机带动泵轮旋转时将机械能转化成液体动能。液体驱动涡轮旋转，液体动能转化为机械能，带动工作机做功。

结合液压多片式离合器和液力耦合器的特点以及该船实际情况，最终采用液力耦合器。该方案具有以下优势：可实现主机在并车解列过程中的柔性控制，并可降低对并车控制系统的要求；在螺旋桨过载情况下通过耦合器打滑确保主机免受影响；隔离主机的扭振激励，避免对轴系产生影响。须注意，在额定工况下进行螺旋桨设计时，须考虑在约2%滑差下的速比增大和功率折损。该船液力耦合器在并车齿轮箱中的布置情况如图5所示。

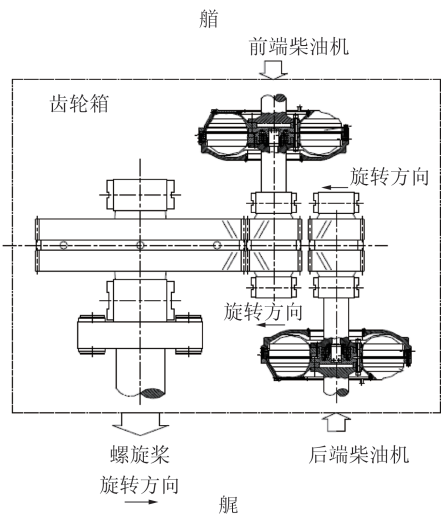


图5 并车齿轮箱（耦合器）组成布置图

2.3.2 并车控制系统设计

传统船舶主柴油机并车运行控制技术主要有以下3种：并列调速器并车控制、主从调速器并车控制、功率反馈调速器并车控制^[4]。并列调速器并车的机组功率分配完全依赖于并车机组的特性，由于其技术落后、控制精度差、系统运行不稳定，无法用于主柴油机的并车控制^[5]。主从调速器并车和功率反馈调速器并车有实际应用，如某船采用Woodward公司的723plus调速器支持以上两种并车控制模式^[1]，并车负荷分配可通过设置实际的燃油齿条位置反馈或者缺省的燃油齿条命令来实现。

本船采用的并车控制方法不同于以上3种形式，采用的是单调速器并车控制方法。单调速器并车控制原理是，在主机并车工作时只有1台主机进行调速器闭环控制，其余主机都按照分配的负荷比例直接给定主机的油门齿杆位置，进行功率开环控制。如图6所示是双机并车情况下单调速器法的控制原理^[6]。

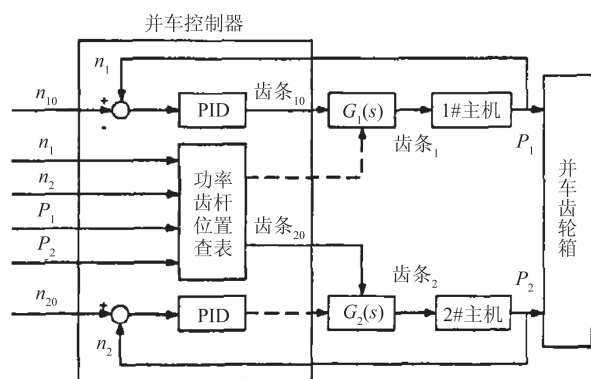


图6 单调速器并车控制方法原理图

单调速器法由于考虑了每台机的个体差异和特性变化，既能用于同型机并车控制，也适用于异型或不同功率主机的并车控制。本船在“进一”至“进五”以及110%工况内开展测试，测试结果显示双机并车负荷分配差度在3%内，满足负荷分配差度小于等于5%的要求。当主机长时间运行后性能参数发生变化时，可通过重新测定并修改油门-功率曲线来保证并车负荷的均匀分配。

3 结论

本文所设计的CODAD主推进系统满足动力系统冗余及大倾角、长轴系船舶动力要求。采用的液力耦合器配合单调速并车控制方案相较于常见的液压多片摩擦离合器配合主从调速并车控制方案，具有并车解列过程平稳、可靠，双机负荷分配均匀，柴油机无倒拖及过载风险，适用于异型机并车的特点。该型船已投入使用，动力系统运行良好。

参考文献

- [1] 周庆波, 谭琨, 邱爱华, 等. 某船双机并车主推进系统集成设计研究[J]. 柴油机, 2014, 36 (6): 26-29.
- [2] 张志华. 船舶动力装置概论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2002.
- [3] 马文星. 液力传动理论与设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [4] 徐斌. 舰船主柴油机双机并车控制仿真技术的研究[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2001(2): 96-101.
- [5] 侯馨光, 张敏. 船舶主柴油机并车运行新方法[J]. 上海造船, 2008(1): 24-27.
- [6] 陈虞涛, 曾凡明, 陈国钧, 等. 基于单调速器法的并车控制器模型与并车推进装置特性分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, 32 (6): 1037-1039.