

Design and Implementation of CPP Hydraulic Oil Parameters Online Monitoring System

Xinyu Peng Shuren Wang Yimai Li Xiaolin Wang Zhigang Zhang

China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin, Jiangsu, 214000, China

Abstract

The Variable Propeller (CPP) of marine main engines, renowned for its superior maneuverability and high propulsion efficiency, has been widely adopted across various vessel types. This propulsion system utilizes hydraulic systems to drive propeller rotation for both forward and reverse movement. However, the CPP hydraulic system exhibits relatively high failure rates due to its complex hydraulic architecture, flexible propeller operation management, and stringent pilot-machine coordination requirements. Notably, 75%-80% of CPP hydraulic system failures are attributed to degraded hydraulic oil quality. For marine applications, the primary causes of oil degradation include water ingress, emulsification, and functional failure. This study focuses on hydraulic oil emulsification in CPP systems, proposing an online monitoring system to achieve real-time quality assessment of hydraulic oil.

Keywords

CPP hydraulic system; hydraulic oil quality; monitoring system

CPP 液压油参数在线监测系统设计与实现

彭新宇 王树仁 李乙迈 王孝霖 张志刚

中国卫星海上测控部，中国·江苏江阴 214000

摘要

船舶主机的可调桨（CPP）具有操控性强、推进效率高等优点，已广泛应用于各类船舶。可调桨采用液压系统驱动桨叶旋转实现船舶的正车和倒车。但因液压系统相对复杂、桨叶工况管理灵活、驾机协同要求较高等特点，CPP液压系统故障率相对较高。在CPP液压系统中，75%-80%的故障是因液压油品质下降而造成的。对于船舶而言，造成液压油品质下降的主要因素是液压油进水乳化和失效造成的。本文以CPP液压系统液压油乳化为例，通过设计一套在线监测系统，实现对液压油品质实时监测。

关键词

CPP液压系统；液压油品质；监测系统

1 引言

可变螺距螺旋桨，它的桨叶与桨壳是分开的，桨叶用螺钉安装到桨壳上并能在桨壳上旋转，简称调距桨，又称 CPP (Changeable pitch propeller)。由于液压系统传动技术的运用，使变距桨易于实现遥控，并能在主机不停车亦无需换向的情况下，很容易地实现倒航。提高了船舶的机动性。

液压油的污染程度直接影响到液压系统的工作稳定性与安全性。液压油的主要污染物有固体类污染物、液体类污染物以及热量污染，液压油进水乳化就是典型的液体类污染故障。液压油乳化是当水进入到液压油中，使液压油中的含水量达到吸水饱和点，其中的微小水滴与液压油结合，在油液中形成悬浊液，形成类似牛奶状的混合液体，这种状态叫

做乳化。液压油发生乳化后，液压油内的各类添加剂会与水发生水解反应，加速油液氧化，形成胶状物质，堵塞阀芯或滤器；其中的水分会破坏油膜强度，降低液压油的润滑性能和防锈性能，引起密封件老化，最终导致液压系统漏油或内泄。而其中的游离水附着在液压元件的表面，使金属表面腐蚀，形成锈斑，加剧了液压系统各元器件的磨损，增加了其他金属等固态污染物。同时，液压系统内的金属生锈后，剥落的铁锈在液压系统管道和液压元件内流动，蔓延扩散后，将导致整个系统内部生锈，产生更多的剥落铁锈和氧化物，使液压设备出现故障，给船舶安全埋下隐患。

现阶段船舶应对液压油乳化的常用方法是通过使用新油置换的方式，缓解液压油乳化对设备造成的伤害。但在海上基本没有其他的应对措施，比较被动。某船舶对液压油品质的监测是主要通过 CPP 液压油高置油箱上的观察镜进行人为主观判断和定期取样化验，尽管已经提高观察和化验频次，但仍然无法做到在线监测液压油品质，不能尽快尽早发

【作者简介】彭新宇（1991-），男，中国河南南阳人，从事船舶电气与自动化研究。

现液压油乳化现象。为解决这一问题，设计制作了一套监测系统，对液压油品质进行监测。时刻关注液压油品质，尽快尽早发现并处置液压油乳化现象，可确保最大程度降低液压设备的故障概率，降低液压油乳化对设备造成的伤害^[1]。CPP 泵站系统示意图详见图 1 所示



图 1 CPP 泵站系统示意图

2 总体方案

本文采用实时监测液压油各项参数为研究对象，以西门子 S7-1200PLC 作为上位机，将采集的主要参数信号通过扩展模块的模拟量输入通道读取，由上位机程序控制实现 A/D 自动转换，然后转换的数据传回 PLC 内部，经过 PLC 处理后，再通过触摸屏显示出来。系统总体设计图详见图 2 所示。

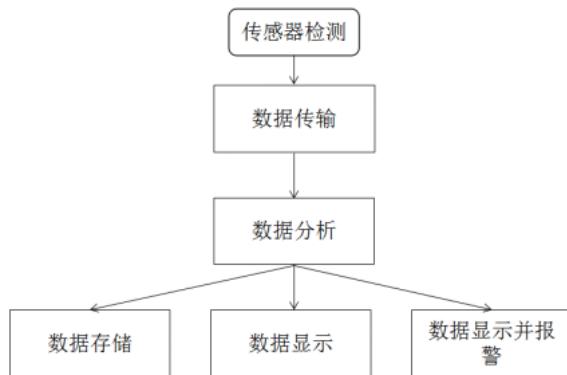


图 2 系统总体设计图

3 本监测系统采用的信号转换原理

本次监测系统涉及到标准的电流(模拟量)信号 4-20mA，即传感器信号的输出信号值；经由 PLC 采集后，通过模数(A/D)转换为对应的传感器的量程范围。我们将模拟量的范围假设为 (A₀-A_m)，模拟量的实际值假设为 A，传感器的量程范围假设为 (D₀-D_m)，(A/D) 转换后的实际值假设为 D，根据模数(A/D)转换之间的线性关系，可用方

程表述为：

$$A = (D - D_0) \times (A_m - A_0) / (D_m - D_0) + A_0$$

依据上面的公式，我们可以根据采集的模拟量实际值 A 求出需要的实际值 D，则上述公式可变化为：

$$D = (A - A_0) \times (D_m - D_0) / (A_m - A_0) + D_0$$

4 监测系统的硬件组成

4.1 传感器选择

液压油的主要污染物有固体、液体及热量污染物，其中的主要因素有：水含量、含水率、磁性磨粒、介电常数、温度、粘度、密度等。结合 CPP 泵站此次设计采用了 6 种传感器实现监测目的。（金属磨粒传感器、激光颗粒计数器、油液水含量传感器、油液含水率传感器、油液温度、粘度、密度一体传感器、介电常数传感器等。）

磁性磨粒传感器的作用是检测液压油中的金属磨粒。当传感器检测液压油中的金属磨粒超过报警阈值时，监测系统发出声光报警。液压油中的磁性磨粒来源主要有两部分，一是系统内部管路锈蚀，产生的剥落铁锈和氧化物；二是液压系统内各元器件之间磨损导致，这可能是由于液压油品质下降，导致其润滑性能下降导致^[2]。

激光颗粒计数器可按照 NAS1638 标准进行油液清洁度检测，具有杜绝二次污染、取样量少、测试速度快、检测结果稳定等优点，用以检测液压油机械磨粒的存在，用以判断系统的机械损伤、磨损、腐蚀等情况。

水含量传感器与含水率传感器可以监测液压油中不同程度的水分，水含量传感器可测量 0-1000ppm 范围内的水含量；含水率传感器可测量 0.1-5% 范围内的含水率。

油液温度、粘度、密度一体传感器主要对液压油的基本性能参数进行实时监控，粘度和密度一定程度上反映了液压油品质的变化以及液压油的堪用性能。

介电常数传感器用于检测油液的介电常数值，可以反映由于进水、酸化、氧化、添加剂失效等因素导致的油液综合理化指标的变化，从而反映液压油的品质性能。CPP 泵站系统示意图详见图 3 所示

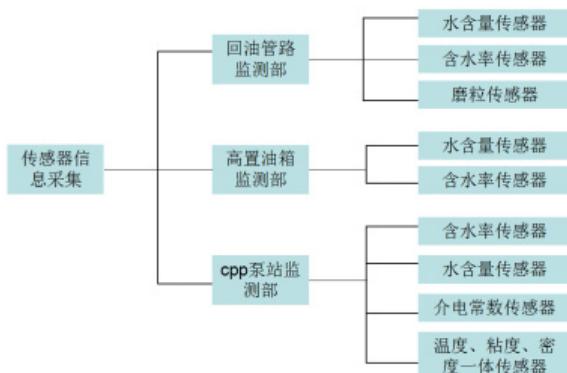


图 3 CPP 泵站系统示意图

4.2 安装位置选择

液压油在高置油箱中相对处于静态，因水的密度大于液压油的密度，经过一段时间后，水分会沉积在高置油箱底部，所以在此处监测水分效果最好。回油管路中的液压油在主机运行期间处于流动状态，在 CPP 泵站停止期间，高置油箱中液压油形成静压力，对螺旋桨桨毂起到密封作用。在此处设置水分传感器可以检测回油管路中是否存在水分，若是在泵站运行期间此处最先检测到水分，可初步判断为桨毂内部进水。此处进行水分监测的优点是：检测结果代表性高，可以准确反映出桨毂中液压油的含水状态；检测结果精度高，液压油中的水分不会因为沉聚，造成测量结果偏大^[3]。高置油箱和回油管路传感器位置安装示意图详见图 4 所示。

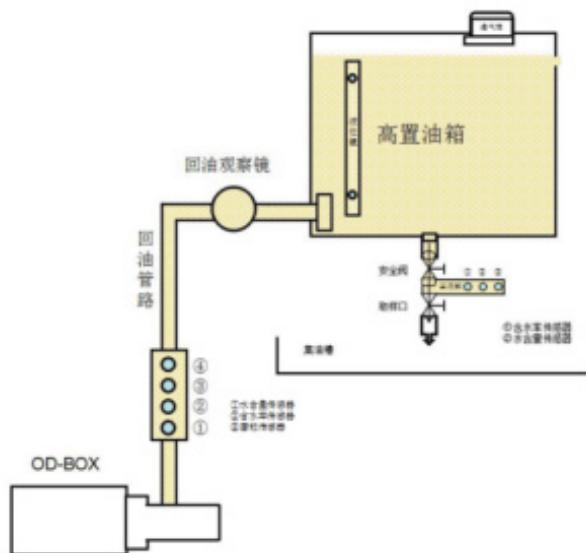


图 4 高置油箱和回油管路传感器位置安装示意图

船舶航行时海域状况复杂，纬度跨越大，环境温度与液压油温度的差异变化易导致 CPP 泵站油柜内部顶板产生凝水混入液压油，所以设置水含量传感器与含水率传感器监测不同程度的水分。CPP 泵站油箱传感器位置安装示意图详见图 5 所示

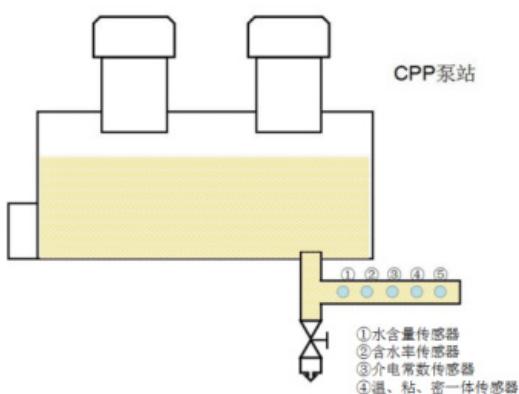


图 5 CPP 泵站油箱传感器位置安装示意图

4.3 PLC 及显示设备

本次电气方面设计主要采用传感器监测的同时将电信号传输至 PLC，并在 PLC 编写程序进行数据分析，分析后将结果传输至外接触摸屏，进行图形化显示以及报警。

目前在工业控制领域上常见的手段主要有继电器控制系统和可编程控制器（PLC）控制系统。本次研究涉及传感器模拟量信号的采集与处理，可编程控制器（PLC）控制系统具有成熟的信号采集与处理能力，并可与大多数传感器进行直接匹配。PLC 本身具有较强的抗干扰能力，可靠性高，且安装简单、维修较为方便，且采用模块化结构，使其具有体积小、重量轻的特点。PLC 初步选定使用西门子 1200PLC，该系列 PLC 指令丰富、功能强大、可靠性高、适应性好、结构紧凑、便于扩展，其 LAN 通信接口功能强大，可与其他 PLC 组网运行，可与触摸屏交互以及可将数据传输入计算机，进行显示。模拟量信号的采集模块采用的是与 1200PLC 配套的 SM1234 模块，该模块有 4 个模拟量输入通道，且通道类型可选择电流或者电压型^[4]。

触摸屏作为一种较新的电脑输入 / 输出设备，是目前最简单、方便、自然的一种人机交互方式。触摸屏由触摸监测部件和触摸屏控制器组成。触摸监测部件安装在显示器屏幕前面，用于监测用户触摸位置，接受后送至触摸屏控制器。而触摸屏控制器的主要作用是从触摸点监测装置上接收触摸信息，并将它转换成触点坐标，再送给 CPU，它同时能接收 CPU 发来的命令并加以执行。因触摸屏与 PLC 之间有良好的交互能力，目前市场配套产品成熟稳定，考虑选用与西门子系列 PLC 配套的 MCGS 系列触摸屏作为显示终端。

5 监测系统软件设计

在线监测系统采用西门子 PLC 作为主要控制和分析核心，通过模拟量输入模块采集传感器信息，即 4-20mA 电流信号和 0-10V 电压信号。将采集到的电流或电压信号通过 PLC 内部程序，进行 A/D 模数转换，输出十进制的数字信号，并寄存在 M 寄存器中。系统软件示意图详见图 6 所示

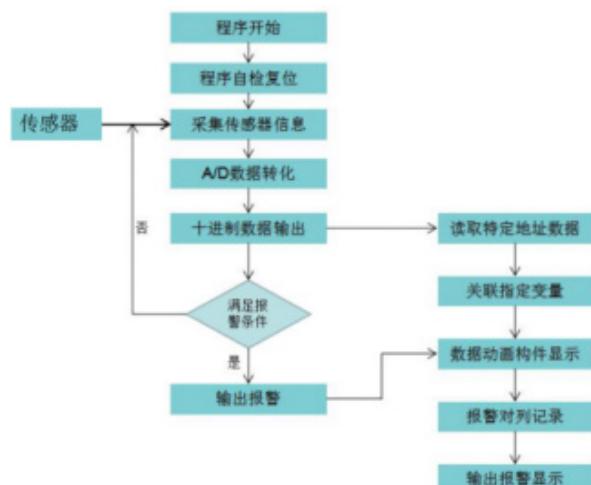


图 6 系统软件设计图

PLC 程序中设置对应传感器的阈值，当超过阈值时，PLC 给出一个报警输出，此报警输出与触摸屏动画构件进行交互，产生报警记录，并作出报警显示。

6 应用前景及主要创新点

6.1 应用前景

该研究成果适用于各类船舶在航行与码头停泊期间的液压油品质监测，提高了动力系统的安全性与稳定性，同时，对于采用液压调距桨的舰艇，亦具有较强的可借鉴意义。

6.2 主要创新点

设计并制作一套分布式液压油在线监测系统，通过多点位监测液压油数据，实现对液压油水含量等参数的动态监测，达到数据可视化监管的效果，为液压油乳化故障预警与

快速定位提供支撑；该系统能对监测对象的多个不同参数进行同时监测，系统硬件通用性强，主控单元功能多样，扩展性好，适用监测对象可灵活组态。

参考文献

- [1] 王洪权，西门子PLC电气设计与编程，北京：中国电力出版社，2015（2018）.
- [2] 王兆宇，一步一步学PLC编程（西门子），北京：中国电力出版社，2007.
- [3] 李世尘，船舶电气与自动化，大连：大连海事大学出版社，2013.
- [4] 蔡杏山，电气工程师自学成才手册，北京：电子工业出版社，2021.