

# 舵机液压泵站失效分析与改进修理

高用亮<sup>1</sup>, 韩波<sup>2</sup>

<sup>1</sup>陆军某军代室, 山东 青岛

<sup>2</sup>青岛前卫船厂, 山东 青岛

收稿日期: 2024年8月27日; 录用日期: 2024年9月20日; 发布日期: 2024年9月27日

## 摘要

文章结合液压往复式舵机双机并联使用工况特点, 分析液压泵站失效问题成因, 提出改进措施, 为后续同类型液压舵机的设计、使用、维修提供参考和借鉴。

## 关键词

舵机, 泵站, 失效, 分析, 改进

# Failure Analysis and Improvement Repair of Steering Gear Hydraulic Pump Station

Yongliang Gao<sup>1</sup>, Bo Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A Military Representative Office of a Certain Army in Qingdao, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Qingdao Qianwei Shipyard, Qingdao Shandong

Received: Aug. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2024; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

This paper analyzes the causes of hydraulic pump station failures in the context of dual-machine parallel operation of hydraulic reciprocating steering gears. It proposes improvement measures to provide reference and guidance for the design, use, and maintenance of similar hydraulic steering gears in the future.

## Keywords

Steering Gear, Pump Station, Failure, Analysis, Improvement



## 1. 问题现象

液压往复式舵机(以下简称“舵机”)常规设置两台独立液压泵站提供动力,一用一备,且可并联使用[1]。液压泵站由电动机、柱塞泵、油箱、控制阀组、过滤器等组成。舵机进厂大修时常发现:舵机单液压泵站(以下简称“单泵”)运行正常,左右泵分别运行时舵机转舵时间差异明显。双液压泵站(以下简称“双泵”)并联工况下,反复操舵出现液压泵站失效故障,即:一组液压泵站油箱液压油位上升溢出,另一组液压泵站油箱因液压油缺失触发液位低故障报警,单台液压泵站失效,舵机动力下降,船舶操纵性降低。若不及时转换为单泵工况运行,极易导致舵机液压系统进气,引发舵机抖动直至无法工作。经了解船员,舵机在新船出厂时运行正常,液压泵站失效故障普遍出现在船舶使用5至6年后。单泵运行时操舵,未发现液压泵站油箱溢油现象。

## 2. 舵机工作原理研究

为查明故障原因,笔者通过查阅船舶完工文件,实地查看舵机系统组成,研究分析了舵机液压控制的方法和路径,绘制了系统示意图,梳理形成相应工作原理如下:

如图1所示,液压泵站启动后,驾驶室操舵指令传递至液压泵站上的电磁换向阀,电动机带动柱塞泵从油箱抽取液压油经电磁换向阀、舵机专用阀进入柱塞式油缸推动活塞左右移动。活塞为两组油缸共用,其中间的滑块通过拨插装置推动舵同步轴组带动舵柄旋转,使得舵叶旋转完成转舵过程。

双泵并联运行时,操舵指令控制电磁换向阀,使左右泵站液压油同时进入左(右)柱塞式油缸,推动活塞向右(左)移动,带动拨叉装置完成双泵右(左)转舵指令,液压油从右(左)油缸经舵机专用阀、电磁换向阀同步回到各自油箱。

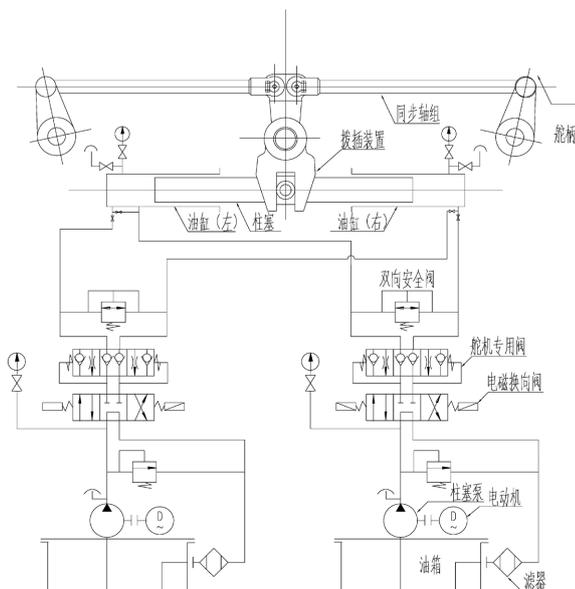


Figure 1. Schematic diagram of the hydraulic steering gear system  
图1. 液压舵机系统示意图

由以上工作原理可知：舵机液压系统控制原理设计合理，且各组成部件状态一致，回油时双泵流量一致。若单泵各自运行工况下转舵时间调试不一致，将导致双泵并联运行时，转舵慢的泵组输出液压流量少，转舵快的泵组输出液压流量多，液压泵站出现溢油现象。

### 3. 故障成因分析

基于故障表现形式和液压系统原理，笔者从操作使用、维修保养、部件损耗等多维度、多角度对问题成因进行调查勘验和分析研究，以期确定故障缘由。

#### 3.1. 液压系统调节紊乱

舵机液压系统柱塞泵为手动变量可调，其结构图如图 2 所示。通过转动调节手轮旋转调节螺杆，带动变量活塞沿轴向移动进而使变量头绕中心转动，改变倾斜角度以调节柱塞初始位置，进而改变初始油腔容积，以达到变量调节目的。该柱塞泵输出特性为排出流量手动调节固定，无论舵机外部负载压力如何变化，排油量不变[2]。因此，液压系统经调试后排油量固定，舵机转舵时间随即确定。根据船舶使用习惯，可手动调整液压柱塞泵进而调整转舵快慢。

基于转舵时间可调的实际，经调查询问发现：船员因使用习惯不同调整液压柱塞泵流量情形时有发生。在新船阶段，液压系统各部件状态良好，保持转舵时间一致较为容易。待船舶使用一定年限后，由于部件老化、磨损等原因，相同柱塞泵流量无法保证转舵时间一致，为确保单泵运行转舵时间一致，通常采取调节液压柱塞泵流量的措施进行改善，进而导致液压系统排油量不一致，极易引发溢油故障。为保障船舶正常使用，船舶通常缩短双泵并联使用时间，长时间单泵组运行，待船舶大修阶段处置。

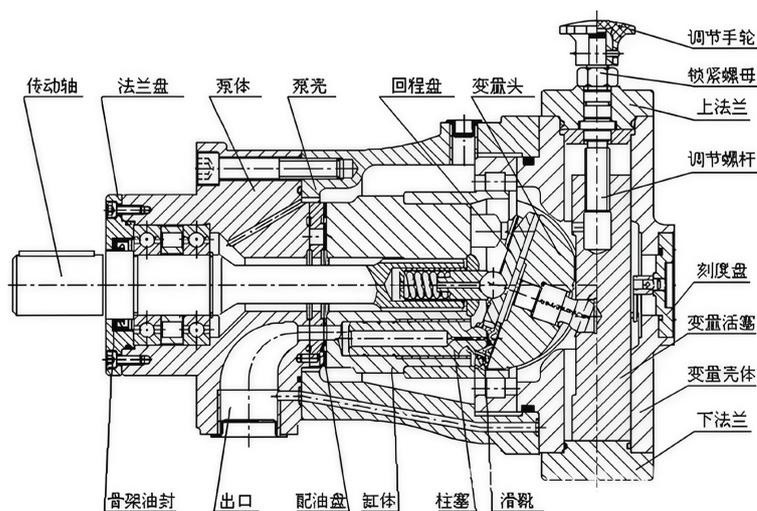


Figure 2. Structure diagram of the plunger oil pump  
图 2. 柱塞油泵结构图

#### 3.2. 系统部件状态差异

船员正常开展舵机维修过程中，通常会根据部件对应的标准型号，对故障零部件进行补购。通过拆解、比对电磁换向阀发现：标准(如 GB/T 2514、GB/T 7935、JB/T 10365)只对其外部接口进行了要求，如油孔的位置、孔径等。电磁换向阀内部孔径没有明确的约束，造成不同品牌电磁换向阀内部加工孔径不一致，导致液压系统维修后单泵组工况排油量、回油量发生变化，对液压系统排油、回油均衡产生了负面影响。

由于溢油故障成因难以准确判定, 船员长期单泵运行操舵, 因单泵各自运行使用频次不同导致两柱塞泵磨损不一致, 其泄油量出现偏差, 直接影响舵机液压系统排油量。

舵机专用阀主要由阀体、液控口、单向阀、单向节流阀、控制柱塞组成, 主要用来防止柱塞油缸回油, 减缓液压系统冲击, 使转舵均衡平稳。船舶使用一定年限后, 由于阀内控制柱塞和单向节流阀弹簧老化原因, 使控制柱塞移动位置和单向节流阀开启角度出现偏差形成节流, 导致阀体左右位置的排油、回油流量不一致, 加剧了两泵组并联运行时溢油速度。

综上分析, 标准零部件状态差异、零部件磨损老化以及因使用工况偏离导致的状态差异加剧了舵机液压系统排油、回油动态失衡。

### 3.3. 回油滤器堵塞

舵机液压系统配置两台回油滤器, 防止液压系统元件磨损产生的金属颗粒以及密封件磨损产生的橡胶质等污染物进入油箱[3]。虽设置了堵塞报警, 但由于单泵各自使用频次不同, 导致滤器堵塞程度不同, 在未形成足够的压差引发报警前, 两液压泵站回油阻力已发生改变, 形成的流量偏差导致舵机液压系统回油量不一致。

## 4. 故障机理分析

结合系统组成和工作原理, 通过分析研究液压系统调节紊乱、系统部件状态差异、回油滤器堵塞三个因素对舵机液压系统的影响, 笔者经推敲印证, 认为: 舵机使用不规范引发液压系统调整紊乱, 且单泵工况长期使用, 导致液压系统各零部件磨损程度、回油滤器堵塞程度均不一致, 各零件、部件性能状态发生改变。现行标准要求不全面, 导致船员日常维修采购的标准件状态有差异。上述 2 方面原因导致舵机液压系统排油、回油平衡遭到破坏, 出现双泵组并联工况液压泵站失效故障。

## 5. 改进修理措施

基于故障点隐蔽性强, 故障成因复杂的认识, 为彻底解决问题, 满足客户需求, 方便后期维修保养, 提高舵机液压系统可靠性和可维修性, 笔者以为: 应在船舶大修期间, 本着经济实用的原则, 对舵机液压系统进行改进性修理, 规避因标准不全面导致零部件状态不一、操作使用差异引发舵机液压系统流量失衡等问题。改进基于液压系统回油定量控制的思路, 在原有系统基础上, 通过采取增设液位控制的措施来达到液压油量系统均衡的目的, 具体如下:

在两液压泵站回油管末端各新增加一路液位平衡管, 并连接电磁换向阀, 如图 3 所示。

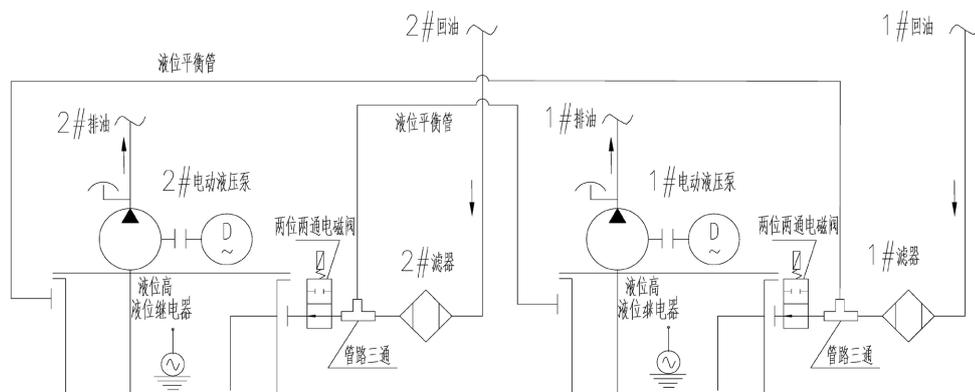


Figure 3. Diagram of the liquid level control system  
图 3. 液位控制系统图

液压泵站油箱内各设置一套浮球式液位控制器。当任意一油箱液位高于设定值时, 浮球抬起、液位控制器动作、触点闭合, 得电、阀口闭合, 关闭油箱系统自回油管路, 利用回油压力将液压油通过液位平衡管输送至另一个油箱。当液位低于设定值时, 浮球落下、液位控制器动作、触电断开, 电磁阀失电、阀口打开, 液压油正常通过系统回油油路输送至各自油箱。液位平衡管布置高度需高于舵机液压泵站油箱, 以防止液压油因自身重力串油。浮球式液位控制器和电磁换向阀由舵机控制箱布设电缆联通, 由于电磁换向阀负荷小, 远远低于舵机控制箱变压器容量, 原有控制线路未受到影响。

## 6. 结束

船舶大修不仅仅是全面恢复功能性能, 更是要通过大修提高可靠性和可维修性, 解决使用阶段暴露的隐性问题, 如设计裕度小、可维修性不强等。该改进措施改动小、易实现、解决问题彻底, 保证了两舵机液压泵站的独立性、可靠性, 提高了日常维修所需零部件的通用性。舵机液压泵站失效分析与改进实现了船舶舵机可靠性的增长, 为船舶各系统和设备在使用阶段开展可靠性增长研究与实践提供了参考和借鉴。

## 参考文献

- [1] 王荣生. 船舶设计实用手册: 轮机分册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [2] 闻邦椿. 机械设计手册(第6版)第4卷 流体传动与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [3] 黄建章. 船舶设计实用手册(第3版)电气分册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.