

# 某正车油动机故障诊断与处理

刘 江<sup>1</sup>, 时志刚<sup>2</sup>, 赵少华<sup>1</sup>, 王 冲<sup>1</sup>

( 1. 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150078; 2. 中国船舶重工集团公司规划发展部, 北京 100097)

**摘 要:** 某正车油动机在试车台冷态联调试验时, 出现出力不足、耗油量增大以及排油管路振动等现象。在对其进行初步故障分析的基础上, 利用 AMESim 软件对正车油动机进行建模, 并仿真了其在设计状态下的工作性能, 对故障进行模拟和再现, 诊断出外漏是造成正车油动机故障的根本原因, 推算出外漏缺陷流通面积在 66.5 ~ 132.7 mm<sup>2</sup> 之间, 对故障进行了初步定位, 并根据仿真结果找出了缺陷位置, 给出了缺陷的补救措施。

**关 键 词:** 油动机; 故障诊断; 仿真

中图分类号: TK263 文献标识码: B

## 引 言

某动力装置汽轮机电液控制系统如图 1 所示, 系统主要由正车油动机、离合器油缸、倒车油动机和切换三通阀等设备构成, 正车油动机通过凸轮配汽机构实现对汽轮机的正转控制, 倒车油动机直接拖动阀门实现汽轮机的反转控制, 切换三通阀和离合器油缸实现汽轮机正转时机械和电液控制方式的切换。

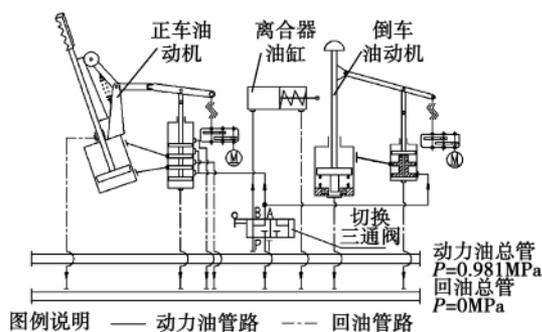


图 1 某船用汽轮机电液控制系统图

Fig. 1 Diagram of the electro-hydraulic control system of a marine steam turbine

在试车台冷态联调试验时, 发现正车油动机 (以下简称油动机) 出现如下故障现象: 油动机在上

行过程中初始阶段运行平稳, 当其行程达到 183 mm 时, 有明显停顿且在控制指令持续增加时活塞仍基本不动, 待 3 ~ 5 s 后油动机突然运动至 220 mm 处, 此后又平稳运行至 250 mm, 不能继续向上运动, 且在油动机行程 183 ~ 250 mm 区间稳定时, 能够清晰听见油流噪声, 并能明显感觉到排油管的振动。

## 1 故障初步分析与处理

将油动机与负载脱开后, 油动机故障现象消失。在机械操作时, 可以实现手动正常操控, 操作过程中未出现负载力急剧增加或操作吃力的现象。初步将故障点定位在油动机本身, 主要可能的原因是油动机卡涩或出力不够。在对油动机活塞杆、上盖、活塞、活塞环、衬套、滑槽等零件的尺寸、形位公差及技术状态进行详细复检后, 所有零件加工尺寸均符合图纸要求。

考虑到在对船用汽轮机电液控制系统进行改进时, 为了减少切换三通阀的外形尺寸, 将其通径由 DN25 降为 DN15。绕开切换三通阀直接向油动机中以 DN25 管径供油, 情况有一定的好转, 正车油动机在 183 mm 处略有延迟后, 可以较为平稳通过, 并且最大行程可以达到 261 mm, 仍不能达到满行程, 油动机在稳定状态时, 有较大的油流噪声, 排油管存在明显振动。

由于故障现象仅存在于油动机上行过程中, 下行时油动机工作正常, 初步断定油动机下腔存在较大的外漏所致, 由于滑阀和活塞衬套是“过盈”嵌入壳体, 拆解十分困难, 为了进一步验证推断结果, 利用 AMESim 软件对图 1 所示电液控制系统进行建模, 深入分析故障产生的根本原因。

## 2 系统建模

以图 1 所示系统为研究对象, 利用 AMESim 软

收稿日期: 2010 - 06 - 03; 修订日期: 2010 - 09 - 21

作者简介: 刘 江( 1973 - ), 男, 山东沂南人, 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所高级工程师。

件建立汽轮机电液控制系统冷态联调试验时的仿真模型<sup>[1~4]</sup>。模型中主要包括了正车油动机、离合器油缸、倒车油动机、切换三通阀等设备,如图 2 所示。所有设备的建模完全依据其设计图纸,在建模过程考虑了滑阀、活塞、活塞杆与套筒之间的间隙与接触长度,以及活塞上下腔间的阻尼孔对油动机的固有频率、阻尼系数以及动态静态耗油量的影响,考虑了滑阀套筒的过封度对油动机死区的影响。由于切换三通阀在电液工作状态机能位置是固定的,用一个固定节流孔板对切换三通阀在电液工作状态时的性能进行模拟。

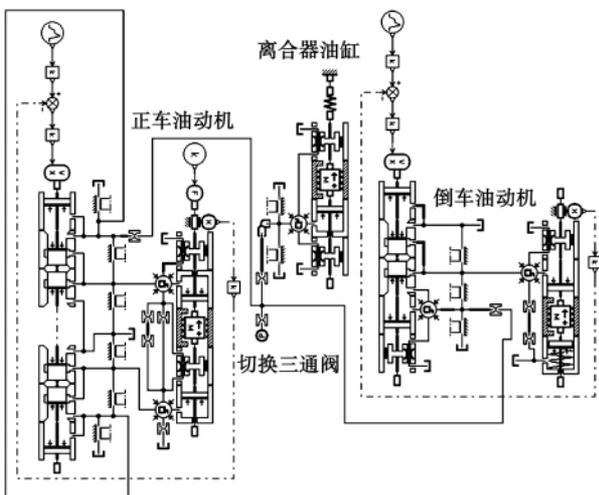


图 2 基于 AMESim 的电液控制系统仿真模型  
Fig. 2 Model for simulating the electro-hydraulic control system based on the software AMESim

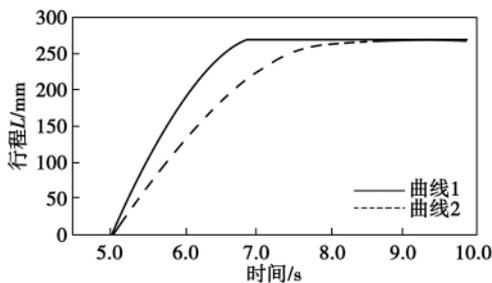


图 3 油动机 100% 阶跃响应曲线  
Fig. 3 Curves showing the 100% step response of the oil servomotor

### 3 仿真及结果

#### 3.1 设计状态仿真

将图 2 所示模型各参数分别按照图纸设计状态

进行设置,各配合尺寸间隙按最大、最小两种状况进行仿真。为了确保仿真时液压设备处于稳定初始状态,给定油动机延迟 5 s 的 100% 阶跃信号,油动机动态响应曲线如图 3 所示(曲线 1 是最小间隙状态下 100% 阶跃响应曲线;曲线 2 是最大间隙状态下 100% 阶跃响应曲线),仿真结果表明,按照图纸设计状态油动机可以实现快速开启,并随着间隙的增加响应速度有所降低。

令油动机负荷从 0 到 100% 变化,稳态时,通过切换三通阀的流量与油动机负荷变化的关系曲线如图 4 所示(曲线 1 是最小间隙状态下流量变化曲线;曲线 2 是最大间隙状态下流量变化曲线),通过三通阀的流量随着负荷的变大而增加,这主要是由于随着负荷的增加正车油动机的外漏增大所造成的。所选切换三通阀在油动机最大负荷时通流能力为 207 L/min,系统所有设备取最大极限间隙时,稳态时系统最大耗油量为 83 L/min,切换三通阀通流能力完全可以满足系统要求,因此,可以排除系统故障是由转换三通阀通流能力不足造成的。

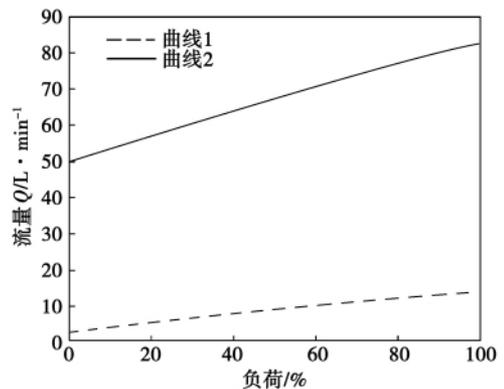


图 4 切换三通阀流量与油动机负荷变化关系  
Fig. 4 Relationship between the flow rate of the switchover three-way valve and the load of the oil servomotor

#### 3.2 外漏对油动机性能影响

在试车台冷态联调试验时,油动机所需要克服的负载由弹簧力、重力以及摩擦力构成,其中弹簧力是主导力,随着油动机行程的增加油动机的负载力不断增大。在油动机行程为 183 mm 时正好处于汽轮机三号喷嘴阀开启的位置,此时,在弹簧预紧力与重力的共同作用下,油动机的负载力会有一些的阶跃增加,在 183 mm 时油动机的最大负载力约为 4 140 N。以节流孔表示正车油动机下腔缺陷所造成的外漏,并通过改变节流孔直径来推算油动机下腔

缺陷尺寸,分别研究油动机外漏节流孔直径分别为1(设计值)、11、12和13mm时油动机的50%阶跃响应(此时油动机的理论行程为134.5mm),批处理仿真结果如图5和图6所示(图中曲线1、2、3、4分别对应外漏节流孔直径为1、11、12和13mm时正车油动机的50%阶跃响应曲线),从仿真结果可以看出,随着油动机外漏量的增加,油动机响应的稳态误差增大,并在外漏达到一定尺寸时,油动机无法开启。结合仿真结果可以推断外漏缺陷通流面积为95.0~132.7mm<sup>2</sup>之间,考虑外漏缺陷可能存在不节流的情况,则外漏缺陷通流面积应为66.5~132.7mm<sup>2</sup>之间,可以认为油动机下腔与排油连通,其壳体可能存在较大铸造缺陷。

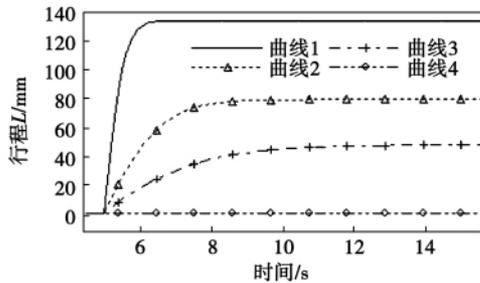


图5 最小间隙时油动机50%阶跃响应  
Fig. 5 50% step response of the oil servomotor when the clearance is smallest

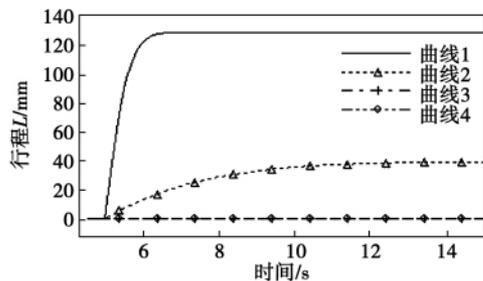


图6 最大间隙时油动机50%阶跃响应  
Fig. 6 50% step response of the oil servomotor when the clearance is biggest

### 3.3 切换三通阀口径的影响

在故障初步处理的过程中,曾绕开切换三通阀直接向油动机中以DN25管径供油,使故障现象得到一定的好转。根据节流公式<sup>[5]</sup>,当油动机下腔外漏通流面积不变时,流量增加可以提高下腔的压力,这一点在仿真中也得以证明,仿真结果如图7所示(曲线1是经过切换三通阀的响应曲线;曲线2是DN25管道与正车油动机动力油口直连的响应曲

线)。流量增加后,提高了油动机下腔的压力,但由于存在大量的外漏,造成较大的稳态误差。

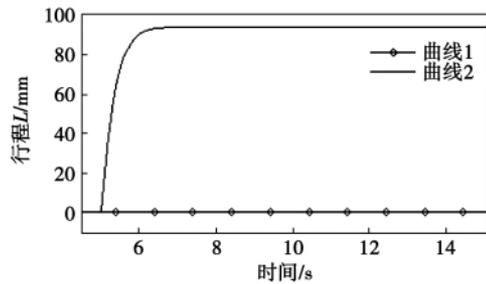


图7 存在外漏缺陷时油动机50%阶跃响应  
Fig. 7 50% step response of the oil servomotor when there exists a leakage defect

### 3.4 仿真结论

通过对油动机性能仿真表明:

- (1) 当行程低于183mm时,由于负荷较小,其下腔压力较低,外漏较小,油动机可以平稳运行;
- (2) 当行程达到183mm时,由于负荷的突然增加,下腔压力增加,此时错油门开口较小,进入下腔的动力油全部排掉,表现为活塞不动。由于油动机除自身机械反馈外,还存在电反馈回路,在电气信号偏差的作用下,执行器进一步打开错油门开口,当开口的通流面积能够超过泄漏面积时,活塞开始运动,并在指令偏差的作用下达到相应的位置;
- (3) 当行程达到250mm时,切换三通阀的通流能力已经不能满足泄漏需要,活塞不能继续向上运动。

通过仿真进一步证实了油动机下腔存在外漏的猜测,根据仿真结果外漏通流面积应不低于66.5mm<sup>2</sup>。因此决定将“过盈”嵌入壳体中滑阀衬套从壳体中拔出,检查壳体下腔是否存在与排油口相连通的铸造缺陷。

## 4 故障复查与处理

对油动机壳体进行完全解体检查,发现油动机错油门侧壳体内腔缺陷如图8所示,共有两处铸造缺陷。对两处缺陷进行测量并与设计图纸进行比照后,发现缺陷1尺寸较小,放入套筒后,套筒凸肩可以将其与排油隔开;缺陷2尺寸较大,放入套筒后,套筒凸肩不能将其与排油隔开,会形成通流面积约为83.2mm<sup>2</sup>的不规则窗口与排油直连,并且该窗口不存在节流效应。图9为油动机错油门侧壳体的局

部视图,为了弥补活塞下腔油口铸造缺陷,增加补偿衬套件 2(虚线)。从图 9 可以看出,在不增加补偿套筒时,活塞下腔油口与排油口相通,而增加补偿套筒后可以实现两者的隔离,保证油动机正常工作。

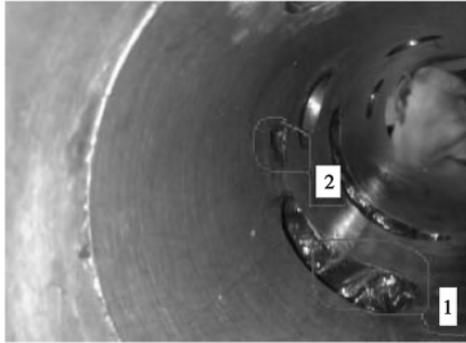


图 8 错油门侧壳体内腔

Fig. 8 Inner cavity of the enclosure at the side of the sliding valve

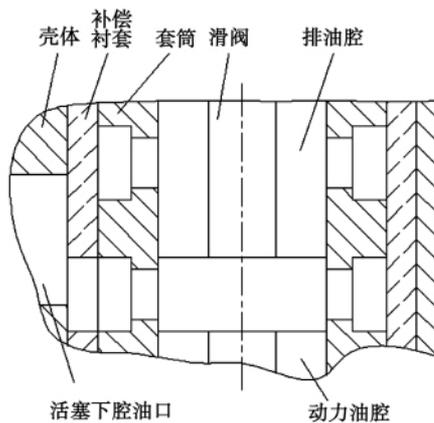


图 9 油动机局部视图

Fig. 9 Local view of the oil servomotor

#### 参考文献:

- [1] 付永领, 祁晓野. AMESim 系统建模和仿真——从入门到精通 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.  
FU Yong-ling, QI Xiao-ye. Modeling and simulation of a system based on software AMESim—beginning from ABC to mastery [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2006.
- [2] 王 冲, 孙世峰, 栾海峰, 等. 基于 AMESim 的回汽装置性能分析 [J]. 热能动力工程, 2008(增刊): 118-120.  
WANG Chong, SUN Shi-feng, LUAN Hai-feng, et al. Analysis of the performance of a steam return device based on software AMESim [J]. Journal of engineering for thermal energy and power (supplement), 2008(11): 118-120.
- [3] 王 冲, 宋成林, 栾海峰, 等. 新型船用主汽轮机调节系统电液转换器设计 [J]. 热能动力工程, 2008(增刊): 124-127.  
WANG Chong, SONG Cheng-lin, LUAN Hai-feng, et al. Design of a new type electro-hydraulic converter for marine main steam turbines [J]. Journal of engineering for thermal energy and power (supplement), 2008(11): 124-127.
- [4] 徐胜航, 王 冲, 栾海峰, 等. 船用正车油动机电液改进 [J]. 热能动力工程, 2008(5): 248-251.  
XU Sheng-hang, WANG Chong, LUAN Hai-feng, et al. Electro-hydraulic control-based improvement of a marine forward-drive oil servomotor [J]. Journal of engineering for thermal energy and power (supplement), 2008(5): 248-251.
- [5] 雷天觉, 杨尔庄, 李寿刚. 新编液压工程手册(上册) [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.  
LEI Tian-jue, YANG Er-zhuang, LI Shou-gang. Newly-prepared hydraulic engineering handbook (first volume) [M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology Press, 1998.



## 墨西哥湾货船获得液化天然气推进设备

Wärtsilä 已经获得了供应液化天然气推进设备的合同,该设备用于两台先进的海上供应船,哈维湾国际船舶公司拥有该船舶。这些供应船将在墨西哥湾运行,这将是首台美国旗帜平台供应船,天然气燃料推动。

《Diesel & Gas Turbine Worldwide's Engine Room News》10/20/2011(青清 供稿)

**某正车油动机故障诊断与处理 = Diagnosis and Disposal of the Faults of a Forward-drive Oil Servo-motor**

[刊 汉] LIU Jiang, ZHAO Shao-hua, WANG Chong( CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078), SHI Zhi-gang( Department of Planning and Development, China Shipbuilding Industry Corporation, Beijing, China Post Code: 100097) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(6). - 24 ~ 27

Such fault phenomena as an insufficient power output, an increase of oil consumption and vibration in the oil exhaust pipelines etc. appeared in a forward-going oil servo-motor during a cold-state joint commissioning test on a trial run test rig. On the basis of a preliminary analysis of the faults of the servomotor, a model for the forward-going servomotor was established by utilizing the software AMESim. Furthermore, the working performance in the state of the design operating condition was simulated with the faults being simulated and replayed. It is diagnosed that the oil leakage is the root cause for the faults of the forward-going servomotor. It is calculated that the flow area causing the oil leakage is between 66.5 and 132.7 mm<sup>2</sup>. The authors preliminarily located the fault and according to the simulation results, the defect location was identified with the remedy measures for the defect being given. **Key words:** oil servomotor, fault diagnosis, simulation

**小型涡轮在有机朗肯循环系统中的性能测试与分析 = Performance Testing and Analysis of a Small-sized Turbine in an Organic Rankine Cycle System**

[刊 汉] LI Yun-zhu, PEI Gang, LI Jing, JI Jie ( Department of Thermal Sciences and Energy Source Engineering, China National University of Science and Technology, Hefei, China, Post Code: 230027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(1). - 28 ~ 32

Described was a high speed small-sized turbine applicable for organic Rankine cycles (ORC). With an electrically heated oil heater serving as the heat source and the circulating cooling water as the heat sink, a testing platform was set up for organic Rankine cycles. On the above-mentioned platform, a small-sized high speed turbine was tested and a performance analysis was performed with R123 serving as the circulating working medium. The research results show that when the rotating speed of the turbine is 24000 r/min, the adiabatic inner efficiency of the turbine can hit 0.68. **Key words:** organic working medium, Rankine cycle turbine, performance test

**环周进水汽-液两相喷射性能优化 = Optimization of Full-arc Water-admission Steam-liquid Two-phase Jet Flow Performance**

[刊 汉] MA Xin-xia, YUAN Yi-chao, LIU Yu-zheng( College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), HUANG Ming ( Shanghai City Quality Surveillance and Inspection Technology Research Institute, Shanghai, China, Post Code: 200233) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(1). - 33 ~ 37