

船用正车油动机电液伺服系统改进

徐胜航¹, 王 冲², 栾海峰², 刘 江²

(1. 驻哈尔滨汽轮机厂有限责任公司军代表室, 黑龙江 哈尔滨 150046;

2. 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要:为克服原正车油动机响应速度慢以及电液转换部分易卡涩等缺点,采用综合评价的方法对电液转换器进行选型,并从可靠性、可维性等方面最终确定了利用无源自容式电液执行器 ReXA 对其进行电液改进的方案。ReXA 电液执行器具有出力大、抗卡涩能力强、全封闭等特点,能够避免机舱盐雾对设备内部的腐蚀,符合船用条件要求。改进后,正车油动机的过渡时间从原来的 40 s 提高到 18.2 s 并且根据需要最高可以提高到 3.3 s。

关 键 词:油动机;电液伺服;改进设计

中图分类号:TK263.7 文献标识码:B

引 言

油动机具有体积小、出力大、动作速度快、定位精度高和寿命长等优点,在火电机组、工业汽轮机和船用汽轮机的控制系统中被广泛地应用,通常用来拖动汽轮机的调节阀。船舶正车汽轮机一般有四个运行工况,每个工况需要正车油动机处于不同的位置,以使阀门的开度与汽轮机的工况相对应。正车油动机的性能是保证正车汽轮机控制品质的关键,船用汽轮机控制特性与其它汽轮机组的较大差别,对正车油动机的动态性能有着不同的要求。

随着电子计算机技术和控制技术的不断发展,对汽轮机控制的自动化程度不断提高,越来越多的船用汽轮机采用了 DEH 控制系统,机械液压式油动机被电液油动机所取代。同时,由于电液转换设备的不断进步,更先进的电液转换设备也在逐渐取代老的电液转换设备。

1 原正车油动机的基本概况

某船用正车油动机如图 1 所示,油动机(正车油动机的机械液压部分)为单出杆液压缸,反馈方式为机械杠杆反馈。其运行过程为:驱动机构输出线性

位移,通过杠杆 ABC 拖动滑阀移动,且有 $AB=BC$ 。当 A 点向上运动时, B 点随之向上运动,打开油口 2、4,动力油进入油动机的下腔,油动机活塞向上运动,滚轮在斜槽上滑动,使弯杆 CDE ($CD=DE$) 顺时针方向转动, C 点向下运动,当 C 点向下运动的距离与 A 点向上运动的距离相等时活塞停止运动。当 A 点向下运行时,反之。

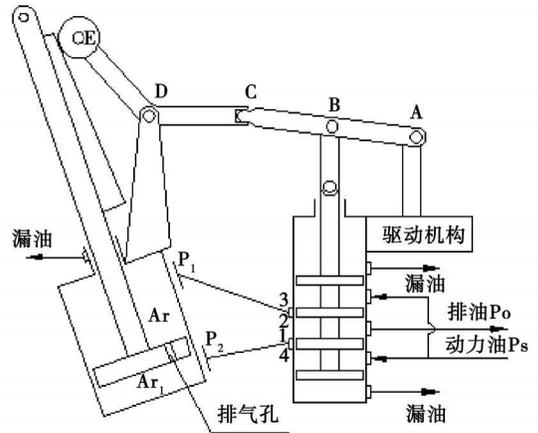


图 1 船用正车油动机示意图

正车油动机的驱动机构如图 2 所示,驱动机构由步进电机和减速装置构成。步进电机通过二级减速齿轮将力矩传递给丝杠,由丝杠带动滑阀产生位移,从而实现对正车执行机构液压执行部分的流量控制。该正车油动机特征如下:

- (1) 步进电机控制特性好,可以精确地控制丝杠的输出位移;
- (2) 步进电机输出力矩小,必须经过齿轮减速,驱动机构的响应速度慢;
- (3) 齿轮间以及丝杠间润滑剂为润滑脂,同时由于设备处于高温、开放式空间中,润滑脂容易挥发和变质,在长期使用时需要经常维护;

(4) 从电机输出端到丝杠端摩擦副多, 容易造成卡涩。

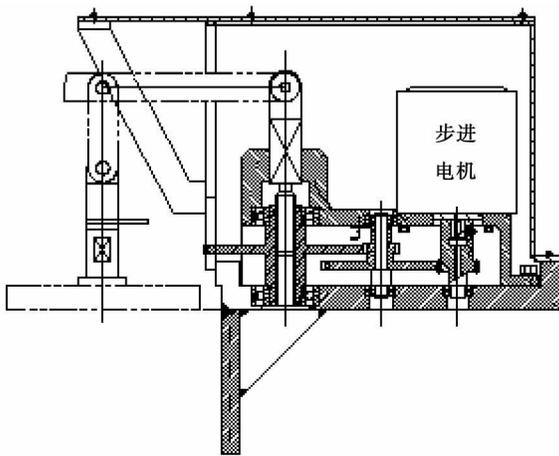


图 2 正车油动机的电动驱动机构示意图

2 原正车油动机的动态特性

正车油动机的动态过程有两个部分构成, 即油动机的动态过程和驱动机构的动态过程。油动机是由一个阀控液压缸及反馈机构构成的闭环系统。由于油动机的弹性负载很小, 与阀门提升力相比, 可以近似忽略, 因此, 其阀控液压缸传递函数可以表示为^[1-2]:

$$Y = \frac{K_q}{A} X / [S(\frac{S^2}{\omega_h^2} + \frac{2\xi_h}{\omega_h} S + 1)] \quad (1)$$

式中: X —油动机错油门(滑阀)位移; Y —油动机活塞位移; A —油动机活塞面积(取有杆腔); K_q —错油门(滑阀)的流量增益; ω_h —油动机的无阻尼液压固有频率; ξ_h —油动机的液压阻尼比。

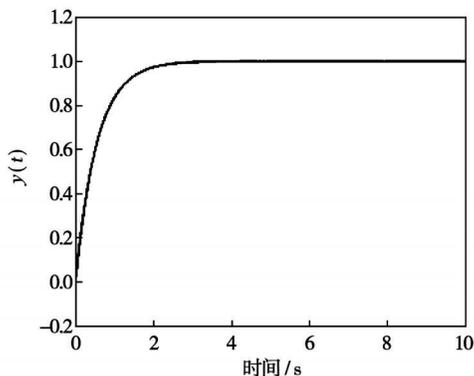


图 3 油动机单位阶跃响应曲线

将正车油动机的相关数据代入式(1), 得:

$$\frac{y}{x} = 229 / [S(\frac{S^2}{635^2} + \frac{2 \times 0.25}{635} S + 1)] \quad (2)$$

反馈系统为机械杠杆结构, 其反馈比(错油门滑阀与活塞行程之比)为 0.008, 于是可以得到油动机的单位阶跃响应曲线, 如图 3 所示, 正车油动机的时间常数为 0.55 s, 油动机的过渡时间约为 2.2 s。

驱动机构传递函数如式(3)所示, 驱动机构的时间常数远远大于油动机的时间常数, 它是整个电液油动机系统的主导极点, 决定着电液油动机的动态性能。驱动机构以及油动机的单位阶跃响应曲线如图 4 所示, 从图中可以看出两条曲线几乎完全重合。

$$\frac{X}{\theta} = \frac{1}{10S+1} \quad (3)$$

式中: θ —输入信号。

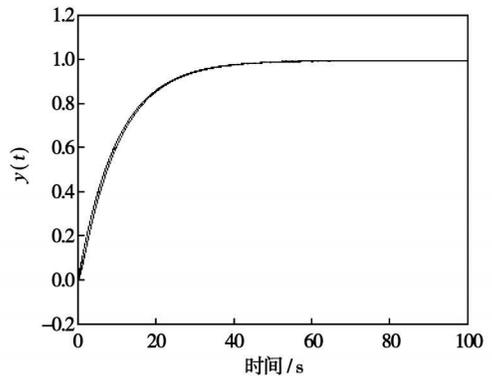


图 4 正车油动机单位阶跃响应曲线

从图 4 可以看出, 正车油动机的过渡时间为 40 s, 满足该船汽轮机控制系统的要求。但实际的使用过程发现, 若进一步提高汽轮机的机动性, 正车油动机的过渡时间应为 20 s。从本节分析可以看出, 油动机自身的速度是满足要求的, 仅需要重新设计驱动机构。

3 驱动机构的选择

表 1 常用电液转换器

生产公司	主要功能
DDV MOOG 公司	电信号转换成控制滑阀的阀芯位移 将电信号成比例地变换成油口的面积。
TURCON 福伊特公司	这两类电液转换器的功能是将电信号转换成一定比例的液压信号。
CPC Woodward 公司	将电信号转换成具有一定控制功率输出的 阀杆位移输出(可直接驱动负载)。
ReXA ReXA	

驱动机构又称作电液转换器, 是电液伺服油动机的关键部件, 要求具有动态响应速度快、稳定性强、精度高并且性能可靠。目前, 国内设计和改造中

常用到的电液转换器如表 1 所示。

由于 DDV、TURCON 和 CPC 3 种电液转换器是通过控制脉冲油的流量或压力, 来实现对油动机的控制, 而 ReXA 是通过直接拖动滑阀来实现的。正车油动机电液伺服系统改造的综合性能评价表如表 2 所示。

表 2 正车油动机电液伺服系统改造综合性能评价

	DDV、TURCON、CPC	ReXA
改造工作	由电液转换器产生脉冲油, 活塞行程通过杠杆加弹簧或油口反馈使反馈滑阀回到原位, 改造工作量大	直接替换, 不要对油动机本体做任何改变, 改造工作量小
灵敏度	较低	高(且可调)
线性度	较差	好
稳定裕度	一般	好
动态响应	一般	好
输出刚度	一般	好
抗摩擦及卡涩能力	低	特强
失电后油动机状态	关、停机	保位、继续运行
调试	较复杂	简单
可靠性	一般	高
费用比例	1	3

从表 2 的分析可以看出, 虽然 ReXA 的成本为其它电液转换器的 3 倍, 但其所有性能都要优于其它电液转换器, 并且 ReXA 执行器已通过了国军标和 CSA 认证, 同时船用正车油动机要求可靠性高和维护简便, 因此, 选择 ReXA 作为所要改造的正车油动机错油门滑阀驱动机构。

4 ReXA 电液执行器的特点及工作原理

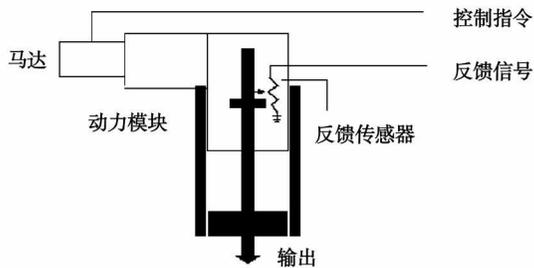


图 5 ReXA 电液执行器工作原理图

ReXA 电液执行器工作原理如图 5 所示, 它是一种智能型机、电、液一体化的执行器, 由智能可控电机和独立的、封闭的和无阀液压控制系统组成。执

行器的核心部分是电液动力模块, 包括电机、齿轮泵、流量配对阀等, 采用高度集成化、模块化 and 小型化设计, 所有组件内部集成, 且结构一体化。智能可控电机接受控制模块的功能指令, 控制动力模块, 以线性位移大力矩输出, 驱动被控对象, 同时通过自身位移反馈, 完成调节过程。

可逆液压泵由电机驱动, 该泵能够通过 2 个流量匹配阀 (FMV1 和 FMV2) 中的 1 个来使双作用油缸的任一侧增压。每个 FMV 由 1 个开口阀芯组成, 该阀芯带有 1 个集成的起引导作用的逆止阀。2 个 FMV 的端口尺寸严格一致。

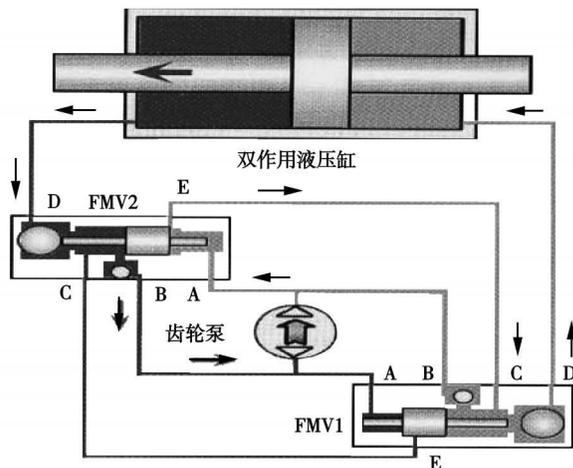


图 6 液压动力模块工作原理图

活塞左移的过程如下, 电机带动泵旋转, 通过 A 端口使 FMV2 加压, FMV2 的阀芯在压差的作用下失去平衡移向左侧, 托起 FMV2 的逆止阀, 使端口 D 到 B, A 到 E 相通。高压油从端口 E 流到液压缸的右室, 同时由于液压回路是闭合的, 并且两侧对称, 因此又有相同流量的油通过 FMV2 的逆止阀进入泵吸口。改变电机的旋转方向, FMV 阀逆向动作, 活塞右移。当拖动齿轮泵的电机不工作时, 2 个逆止阀都关闭, 液压油留在液压缸内, 使液压缸锁定在所需要控制的位置。

5 改造后正车油动机的动态特性

选择 L2000-2-B-P 型 ReXA 执行器作为正车油动机的电液转换器, 其主要技术指标如下:

- (1) 输出为线行程, 最大行程为 50.8 mm;
- (2) 输出推力为 8 896 N;
- (3) 移动输出为 0.236 s/mm。

原正车油动机电液转换器的最大输出位移为 10 mm, 因此, 选择 L2000-2-B-P 电液转换器完全满足

需要, L2000-2-B-P 型执行器移动 10 mm 的时间为 2.36 s, 即电液转换器的时间常数约为 0.59 s, 于是, 得到电液转换器的传递函数:

$$\frac{X}{\theta} = \frac{1}{0.59S + 1} \quad (4)$$

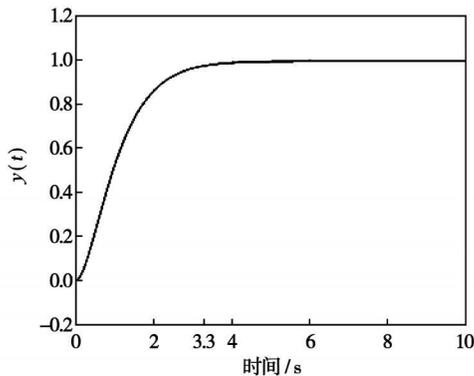


图7 基于 ReXA 驱动机构改造的正车油机动态响应曲线

从图7可以看出, 响应的动态过程没有超调现象, 整个响应过程的调整时间为 3.3 s。在满足控制系统要求的情况下, 应尽量降低执行机构的运动速度, 这样可以降低对油门滑阀驱动机构的要求, 提高正车油机的使用寿命和可靠性。可以采用 2 种方法降低改造后的正车油机的移动速度: (1)降低执行器增益; (2)在油动机动力油口增加节流孔板。这 2 种方法实现起来都十分便捷, 但在实际应用中, 由于方法 2 调试起来十分直观和可靠, 不会因供电品质的改变而引起调试结果的漂移, 因此, 我国和俄罗斯的船舶主要采用方法 2 来设定油动机的运动速度。进入油动机腔室的流量完全取决于节流孔板的直径, 根据流量平衡, 很容易得到节流孔板的直径选取公式:

$$d = D \sqrt{\frac{L}{C_d v_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} P_s}}} \quad (5)$$

式中: d —节流孔板直径; D —油动机活塞直径; L —油动机活塞位移; C_d —流量系数; v_0 —设定速度; ρ —透平油密度; P_s —动力油压力。

根据式(5)可以计算出, 在正车油机动力油口增加一直径为 2.7 mm 节流孔板, 油动机的速度即可满足要求, 考虑到阻力的影响, 以及方便加工, 在实际加工中可以将数值圆整为 3 mm。此时, 正车油动机的单位阶跃响应曲线如图 8 所示, 响应的调整时间为 18.2 s, 同时由于节流孔板造成的饱和因素, 在油动机绝大部分时间处于匀速运动状态, 这对抑制

系统中的不稳定因素是十分有利的。

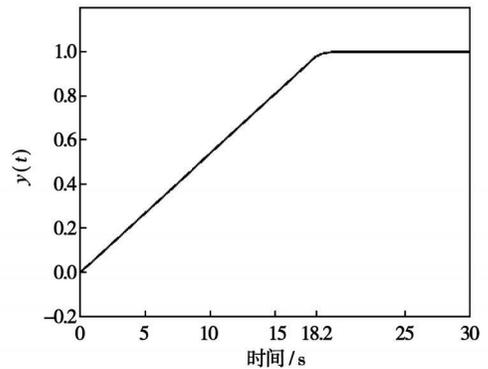


图8 带节流孔板的正车油机单位阶跃响应曲线

6 结 论

ReXA 电液转换器是一种无源自容式驱动机构, 其动态品质不依赖于油动机动力油源的品质, 是未来船舶电液伺服油动机的发展方向。同时, ReXA 具有出力大、响应速度快, 电液转换器的所有部件处于完全封闭的空间中, 在保证响应速度的同时可以有效地克服卡涩故障的发生, 避免机舱盐雾对电液转换器内部器件的锈蚀, 延长维护的间隔周期, 提高正车油机的可靠性。改造后, 正车油机的过渡时间由原来的 40 s 缩短为 18.2 s, 并且根据需要最高可以缩短为 3.3 s。

参考文献:

- [1] 李洪人. 液压控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [2] 聂松林. 对称伺服阀控制单出杆液压缸的特性分析[J]. 武汉冶金大学学报, 1997, 20(1): 86—90

(编辑 伟)

· 书 讯 ·

《生物柴油》

本书着重阐述了生物柴油的应用基础理论, 对生物柴油的概念、生物柴油的制造方法、动力学及燃烧性能、催化剂、原料来源和生物柴油的发展对策等问题进行了阐述和介绍, 为研究与开发生物柴油工作者提供一些基本知识、研究方向和手段。读者对象: 生物质能领域科研人员、生产管理人员, 大专院校相关专业师生。

2008年1月出版

火电厂直接空冷系统风洞热效应模拟实验研究 = **Simulation and Experimental Study of the Wind-tunnel Thermal Effect of a Directly Air-cooled System in a Thermal Power Plant** [刊, 汉] / LIU Pei-qing, ZHAO Wan-li (Education Ministry Key Laboratory on Hydromechanics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, China, Post Code: 100083), XU Ze-lin (China Guodian Scientific Environment Protection Co. Ltd., Beijing, China, Post Code: 100034) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 240 ~ 243

With constant-temperature hot water passing through an air-cooled condenser model to form a thermal circulation system, simulated simultaneously for the first time in a low speed wind tunnel was the coupling of complex flow with thermodynamics, including aerodynamics, forced convection in an axial compressor and buoyant effect of hot air. A concept of return flow rate that influences the heat dispersion effectiveness of the air-cooled condenser was presented and the influence of the change of coming flows on the averaged return flow rate at the bottom of the air-cooled island explored. In addition, PIV (Particle Image Velocimetry) velocity-measuring experiments were performed accordingly. It has been found that the average return-flow rate in question increases with an increase in air speed, assumes a basically identical variation tendency with the change in air flow direction at different air speeds. The above-mentioned return flow rate is comparatively large when the air flow direction is approximately west, southwest and northwest. The average return flow rate in question will decrease with an increase of the height of the windbreak wall and attains a minimum value when the windbreak wall is 14.64 m tall. **Key words:** direct air-cooling, return flow rate, PIV (Particle Image Velocimetry) experiment, measures aimed at improvement

基于主成份分析法与贝叶斯网络的汽轮机故障诊断方法 = **Steam Turbine Fault Diagnosis Methods Based on the Main Constituent Analysis Method and Bayesian Network** [刊, 汉] / HAN Pu, ZHANG De-li, HAN Xiao-juan, JIAO Song-ming (College of Control Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 244 ~ 247

When Bayesian network is used to diagnose a fault, the establishment of a model for fault diagnosis of steam turbines has a direct bearing on the complexity of the fault diagnosis process. Therefore, to establish a model of Bayesian network becomes an issue of first priority and the collection of characteristic parameters reflecting the fault status constitutes an important link for setting up a model. Through a discussion of the collection of fault characteristics by using the main constituent analysis method, presented was the modeling method for steam turbine fault diagnosis based on the main constituent analysis and Bayesian network. In addition, the proposed method has been compared with the traditional frequency characteristics modeling method. The results show that the model in question for turbine fault diagnosis is simple and lends itself to easy reasoning, thus enhancing the efficiency of turbine fault diagnosis. **Key words:** steam turbine, fault diagnosis, main constituent analysis method, Bayesian network

船用正车油动机电液伺服系统改进 = **Electrohydraulic Control-based Improvement of a Marine Forward-drive Oil Servomotor** [刊, 汉] / XU Sheng-hang (Military Representative Office of Chinese Navy Resident at Harbin Turbine Works Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150046), WANG Chong, LUAN Hai-feng, LIU Jiang (No. 703 Research Institute of CSIC, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 248 ~ 251

To overcome the shortcomings of the original forward-drive oil servomotors, such as slow response speed and easy seizure of the electrohydraulic conversion portion, a comprehensive evaluation method was employed to perform a type selection of electrohydraulic converters, focusing on reliability and maintainability etc. An electrohydraulic control-based improvement scheme was finalized by using a sourceless self-capacitance type electrohydraulic actuator ReXA, which has a large output power and strong anti-seizure capacity. Being fully enclosed and capable of avoiding erosion of equipment internals by salt mist in the engine room, it is suited for use on board vessels. After the improvement, the transition duration of the forward-drive oil servomotor is shortened from the original 40 seconds to 18.2 seconds and even to a minimum of 3.3 seconds depending on specific needs. **Key words:** oil servomotor, electrohydraulic servo, improved design