

舵机伺服阀参数的选择与优化

刘振岗*, 周凯, 王占勇, 邹刚

海军航空工程学院青岛校区, 山东 青岛 266041

摘要: 伺服阀参数的合理选择对舵机的性能至关重要。通过对舵机系统和伺服阀参数影响的研究, 发现伺服阀增益是影响舵机动态响应的主要因素。在此基础上, 通过对伺服阀增益的推导, 得到了其与结构参数和性能参数的数学关系, 通过分析可知, 降低反馈杆刚度可有效改善舵机系统的动态响应和稳定性, 这为合理设计参数改善伺服阀同舵机的匹配性提供了思路。

关键词: 舵机; 伺服阀; 增益; 动态响应; 反馈杆刚度

中图分类号: TH137 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 05-0023-03

目前,舵机用伺服阀在航空电传系统中应用比较广泛。伺服阀主要选用双喷嘴—挡板力反馈型两级电液流量控制形式。它由电—机械转换的永磁力矩马达输入级、机械—液压转换的喷嘴挡板前置级和液压功率放大的滑阀输出级组成。当力矩马达线圈输入控制电流时,由于控制磁通和极化磁通的相互作用,在衔铁上产生一个力矩。该力矩使衔铁组件绕弹簧管旋转中心旋转,从而使挡板运动。它导致一边的喷嘴—挡板可变节流面积减小,另一边可变节流面积增大,致使喷嘴腔产生压差,引起阀芯位移,此位移一直持续到由于反馈杆弯曲产生的反馈力矩与控制电流产生的力矩相平衡时为止,此时挡板大致处于中位。由于力矩马达力矩与阀的控制电流基本成正比关系,反馈力矩与阀芯位移成正比关系,这样在诸力矩成平衡状态时,便得到一个与输入控制电流成正比例的阀芯位移,即在阀压降为恒值情况下,输出流量与输入控制电流之间成比例关系。舵机正是利用伺服阀输出的与控制电流成比例的流量来驱动活塞杆按照控制信号的变化运动^[1]。

舵机用伺服阀一般要求装于舵机上后,满足舵机在某几个低频率点的相频特性,在较高频率下,幅值要有足够大的衰减,以保证舵机的稳定性。从该类产品的实际生产以及用户的使用情况来看,伺服阀本身的高动态并不能带来舵机的高动态响应。相反,伺服阀的动态过高容易引起阀本身的

不稳定,当其装于舵机系统中时,一旦受到外界高频干扰的影响,就容易产生不稳定现象^[2]。因此,找出伺服阀影响舵机动态响应的主要因素,是改善其与舵机匹配性的关键。

本文通过对舵机回路进行分析,找到影响舵机动态响应的主要因素,为舵机伺服阀参数的优化选择提供了技术途径。

1 伺服阀参数对舵机回路的影响

舵机回路的方块图如图1所示^[3]。

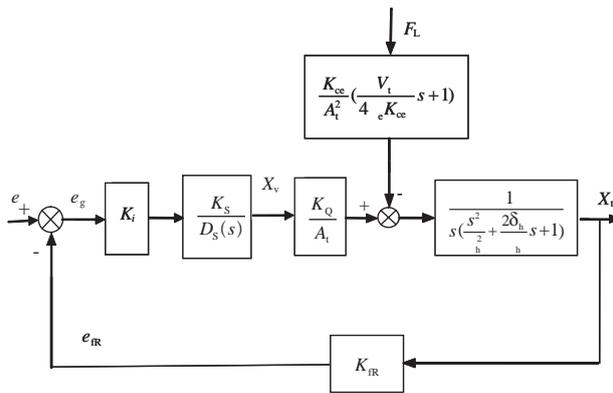


图1 舵机回路方块图

Fig.1 Block-diagram of actuator loop

图中: A_t ——活塞有效面积; F_L ——外干扰力; K_{cc} ——总压力流量系数; K_i ——伺服放大器增益; K_s ——伺服阀增

收稿日期: 2014-02-28; 录用日期: 2014-03-20

*通讯作者. Tel.: 0532-58833362 E-mail: liuzhengang1998@163.com

引用格式: LIU Zhengang, ZHOU Kai, WANG Zhanyong, ZOU gang. Servo valve parameters selection and optimization of actuator[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014,25(05):23-25. 刘振岗,周凯,王占勇,邹刚. 舵机伺服阀参数的选择与优化[J]. 航空科学技术, 2014,25(05):23-25.

益; K_Q ——流量增益; K_{fR} ——反馈系数; V_t ——液压缸总容积; X_v ——阀芯位移; X_t ——活塞位移; β_e ——等效容积弹性模数; ω_h ——液压固有频率; δ_h ——液压相对阻尼系数; $\frac{K_s}{D_s(s)}$ ——伺服阀的闭环传递函数。

由于伺服阀具有快速的动态响应特性,且液压固有频率通常是回路中最低的转折频率因而左右了动态特性,因此舵机回路的开环传递函数近似为:

$$W(s) = \frac{GH}{s(\frac{s^2}{2} + \frac{2}{h}s + 1)} \quad (1)$$

开环增益为:

$$GH = K_i K_s \frac{K_Q}{A_f} K_{fR} \quad (2)$$

舵机回路的伯德图如图2所示,从图中可以看出,其一阶穿越频率 ω_c 近似等于其开环增益常数,而闭环系统频宽稍大于开环系统的一阶穿越频率。因此,当舵机回路的开环增益常数增大时,系统的响应加快,而伺服阀位于舵机回路的前向通道中,其增益的大小直接影响了舵机回路的开环增益。当舵机回路的其他参数不变时,提高伺服阀的增益是提高舵机动态特性的有效方法。

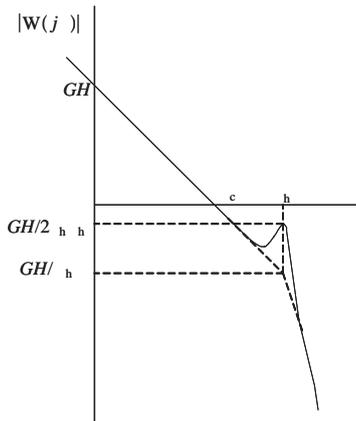


图2 舵机回路的伯德图

Fig.2 Bode diagram of actuator loop

2 伺服阀参数的选择与优化

图3为忽略了压力反馈回路,以电流为输入、流量为输出的伺服阀方块图。

图中: K_t ——力矩马达力矩系数; K_{an} ——力矩马达纯刚度; K_f ——反馈杆刚度; K_{qp} ——喷挡级零位流量放大系数; K_q ——滑阀空载流量增益; A_v ——阀芯面积; r ——喷嘴孔轴线至衔铁组件旋转中心的距离; b_{qp} ——反馈杆小

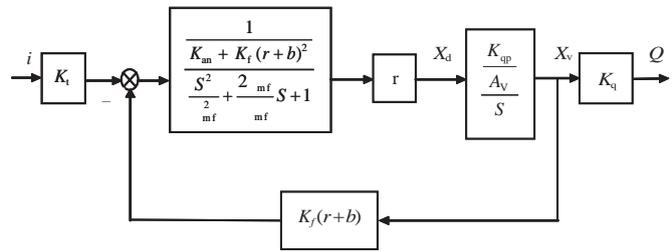


图3 伺服阀方块图

Fig.3 Block-diagram of servo valve

球中心至喷嘴孔轴线距离; ω_{mf} ——力矩马达自然频率; δ_{mf} ——力矩马达相对阻尼系数; Δ_i ——控制电流的变化量; $\Delta\theta$ ——衔铁组件旋转角的变化量; ΔX_d ——挡板位移变化量; ΔX_v ——阀芯位移变化量;

由图3可得,以电流为输入、阀芯位移为输出的闭环传递函数为:

$$\frac{\Delta X_v}{\Delta i} = \frac{\frac{K_t r K_{qp}}{[K_{an} + K_f(r+b)]^2 A_v}}{(-\frac{s^2}{2} + \frac{2}{mf} s + 1)s + \frac{r K_{qp} K_f(r+b)}{[K_{an} + K_f(r+b)]^2 A_v}} \quad (3)$$

令开环增益常数 K_{vf} 为:

$$K_{vf} = \frac{r K_{qp} K_f(r+b)}{[K_{an} + K_f(r+b)]^2 A_v} \quad (4)$$

则闭环传递函数为:

$$\frac{\Delta X_v}{\Delta i} = \frac{\frac{K_t r K_{qp}}{[K_{an} + K_f(r+b)]^2 A_v}}{(-\frac{s^2}{2} + \frac{2}{mf} s + 1)s + K_{vf}} \quad (5)$$

上式在保证 K_{vf}/ω_{mf} 比 $2\delta_{mf}$ 较小的情况下,可近似写成:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta X_v}{\Delta i} &= \frac{\frac{K_t r K_{qp}}{[K_{an} + K_f(r+b)]^2 A_v}}{(-\frac{s^2}{2} + \frac{2}{mf} s + 1)(s + K_{vf})} = \frac{\frac{K_t r K_{qp}}{[K_{an} + K_f(r+b)]^2 A_v K_{vf}}}{(-\frac{s}{K_{vf}} + 1)(-\frac{s^2}{2} + \frac{2}{mf} s + 1)} \\ &= \frac{\frac{K_t}{K_f(r+b)}}{(-\frac{s}{K_{vf}} + 1)(-\frac{s^2}{2} + \frac{2}{mf} s + 1)} \end{aligned} \quad (6)$$

伺服阀的增益为:

$$K_s = \frac{K_t}{K_f(r+b)} \quad (7)$$

式中, K_t 为力矩马达的力矩常数; r 为喷嘴孔轴线到衔铁组件旋转中心的距离; b 为反馈杆小球中心到喷嘴孔轴线的距离; K_f 为反馈杆的刚度。

式(7)清楚地表明了伺服阀增益与结构参数和性能参数的关系。由于 r, b 均由伺服阀本身的结构所决定,不能改变。为了增大阀的增益,可增大 K_i 和减小 K_f 。 K_i 由力矩马达的结构参数和充磁程度决定,可以通过加大磁钢的充磁程度来提高,但是磁钢的充磁程度过高容易造成不稳定。降低反馈杆刚度 K_f 可以在不增加甚至降低充磁程度的情况下,提高伺服阀的增益,从而既提高了舵机的动态特性,又不降低其稳定性。所以,减小反馈杆刚度是主要的有效方法。另外,由(4)式可以看出,当反馈杆刚度 K_f 降低时,开环增益常数 K_{vf} 也会减小,而开环系统的一阶穿越频率 $\omega_c \approx K_{vf}$, ω_c 提前,伺服阀的稳定裕度增大。

3 结论

从上述分析可见,降低反馈杆刚度对改善舵机系统动态响应和提高系统的稳定性都有帮助。但是,从伺服阀的闭环传递函数可以看出,它是由以开环增益常数 K_{vf} 为转折频率的非周期环节与以力矩马达的固有频率 ω_{mf} 为转折频率的振荡环节串联而成。通常情况下 $\omega_{mf} \gg K_{vf}$,因此 K_{vf} 支配着伺服阀的动态响应。当降低 K_f 时, K_{vf} 减小,阀的动态响应降低。故反馈杆的刚度 K_f 不宜降的太低,以免阀的动态响应限制了整个舵机回路的响应。因此,对装于舵机上的伺服阀,在实际生产中应根据伺服阀的流量增益和动态、舵机的动态、以及舵机相位和幅值在几个要求频率点的衰减情况,给出合

适的反馈杆刚度值,以改善伺服阀与舵机的匹配性。

AST

参考文献

- [1] 雷天觉. 液压工程手册[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.
LEI Tianjue. Hydraulic Pressure Engineering Manual[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1998.
- [2] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
CHENG Daxian. Handbook of Mechanical Design [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1994.
- [3] 王占林. 液压伺服控制[M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1987.
WANG Zhanlin. Hydraulic Pressure Servocontrol[M]. Beijing: Beihang University Press, 1987.

作者简介

刘振岗(1963—)男, 硕士, 副教授。主要研究方向: 航空维修保障。

Tel: 0532-58833362

E-mail: liuzhengang1998@163.com

周凯(1977—)男, 硕士, 讲师。主要研究方向: 航空维修保障。

王占勇(1964—)男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 航空维修保障。

邹刚(1982—)男, 学士, 讲师。主要研究方向: 航空维修保障。

Servo Valve Parameters Selection and Optimization of Actuator

LIU Zhengang*, ZHOU Kai, WANG Zhanyong, ZOU gang

Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Institute, Qingdao 266041, China

Abstract: Parameters of servo valve are very important to performance of actuator. According to the research on actuator system and servo valve parameters, it was found that servo valve gain was the major factor which effects dynamic performance of actuator seriously. Based on this, the gain of servo valve was deduced, it relevant with structure and performance parameters. And the analysis shows that lower feedback lever stiffness can effectively improve the dynamic response and stability of servo system, which can provide approaches for choosing reasonable parameters and improve the adaptability of servo valve and actuator.

Key Words: actuator; servo valve; gain; dynamic response; feedback lever stiffness

Received: 2014-02-28; Accepted: 2014-03-20

*Corresponding author. Tel.: 0532-58833362 E-mail: liuzhengang1998@163.com