前置稳压阀对 EC HPS助力特性的影响

刘亚辉 高 峰 季学武

(北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191) (清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 旁通流量式电控液压助力转向系统 ECHPS(Electronically Controlled Hydraulic Power Stearing System)中的执行元件常采用电磁阀. 对有、无前置稳压阀的电磁阀 ECHPS助力特性进行理论分析和试验验证,结果表明,对于电磁阀带有稳压阀的 ECHPS,高低车速下其助力特性曲线都可以达到系统限定的高压;而电磁阀无稳压阀的 ECHPS,当高速时,系统中将不能建立高压. 出于驾驶安全因素和整个系统设计的考虑, ECHPS中的电磁阀带有稳压阀更理想.

关 键 词: 电磁阀; 稳压阀; 特性; 电控液压助力转向系统

中图分类号: U 463. 4

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2008)11-1247-03

Influence of constant pressure valve on boosting character of by-pass flow type ECHPS

Liu Yahui Gao Feng

(School of Transportation Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Ji Xuewu

(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The actuator in by-pass flow type electronically controlled hydraulic power steering (ECHPS) was solenoid valve. Boosting characters of ECHPS whose solenoid valves with and without constant pressure valve were analyzed and measured. The results show solenoid valve with or without constant pressure valve in the ECHPS engenders different characters that all of the pressure in the character within the constant pressure valve would attain high value of the rated system pressure but would not without constant pressure valve. For the safety factors of driving and designing of system, the character with constant pressure valve in the solenoid valve is better than this without constant pressure valve.

Key words: solenoid valve; constant pressure valve; character; electronically controlled hydraulic power steering

电控液压助力转向系统 ECHPS (Electronically Controlled Hydraulic Power Steering System)将传统液压助力转向系统 NHPS (Normal Hydraulic Power Steering System)的固定助力特性变为可变的助力特性,从而提高驾驶员的路感,克服 NHPS中存在的转向操作"轻"与"灵"的矛盾. 旁通流量式 ECHPS结构简单,对 NHPS的改动较小,所增加的成本较低,便于推广. 旁通流量式 ECHPS的执行元件通常采用造价低廉的电磁阀. 电磁阀有带有前置稳压阀和无前置稳压阀之分,两种电磁阀都可以与转向器主阀进行合理的匹配,从而改变系统助力特性. 本文将从系统特性角度探讨前置稳压阀对系统助力特性的影响.

1 旁通流量式 ECHPS特性分析

旁通流量式 ECHPS工作原理见图 1. 图 1中

收稿日期: 2007-11-02

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (200670390457)

作者简介: 刘亚辉 (1980 -),男,河北无极人,博士生, maggie_yh@ae. buaa. edu. cn.

Q_t, Q_e 和 Q_C 分别为系统供给流量,电磁阀旁通回路流量和转向器工作流量.

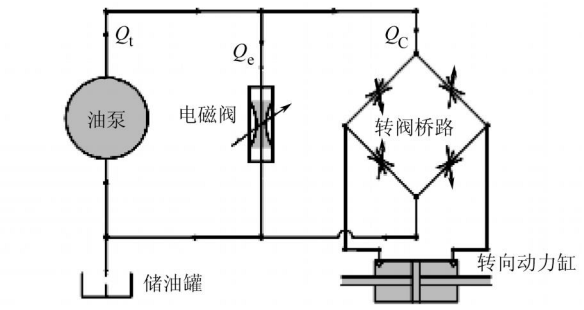

图 1 ECHPS工作原理示意图

假设液体是不可压缩的,且不计泄漏和沿程压力损失,则有

$$Q_t = Q_e + Q_C \tag{1}$$

$$\Delta p_m = \frac{\rho Q_c^2}{2C_d^2(2zA)^2} \tag{2}$$

$$Q_e = C_d \cdot A_e \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)} \tag{3}$$

$$A = f(\theta) \tag{4}$$

$$T_S = k \cdot \theta \tag{5}$$

式中,Δp_m 为转向器助力油缸两端的压差即工作压力;ρ为液压油密度;p_1, p_2 为旁通回路中电磁阀节流口上游和下游压力;A, A_e 为转向控制主阀的单边有效节流面积和电磁阀的有效节流面积;z 为转向控制主阀的并联进油口数目;θ为转向控制主阀的工作转角;$f(\theta)$为转向控制主阀单边节流口有效节流面积函数,与转阀的结构参数(如转阀阀芯直径、小切口大小、预开隙大小等)有关;k为转向控制主阀中扭杆的刚度;T_S 为驾驶员操舵力矩.

由式(1)~式(5),就可以得到旁通流量控制式电液助力转向系统的操舵力特性.

2 前置稳压阀对系统特性的影响

2.1 无前置稳压阀的系统特性分析

无前置稳压阀的电磁阀结构如图 2所示. 电磁阀节流口上游和下游压力分别等同于助力油缸两端的压力,即式(3)中,

$$p_1 - p_2 = \Delta p_m \tag{6}$$

此时

$$\Delta p_m = \frac{\rho Q_t^2}{2C_d^2(2zA + A_e)^2} \tag{7}$$

由式(7)可知,随着 A_e 的增大,Δp_m 减小. 在 A_e 达到一定值之后,助力油缸工作压差 Δp_m 趋近于 0而不能达到系统限定的最大工作压力(实际

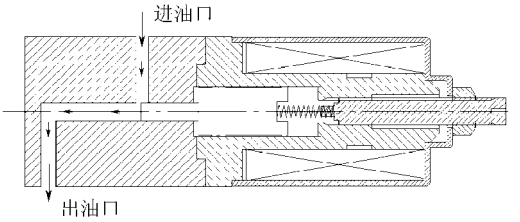

图 2 无前置稳压阀的电磁阀

情况中,Δp_m 会维持在系统的背压值附近).

2.2 有前置稳压阀的系统特性分析

有前置稳压阀的电磁阀结构见图 3.

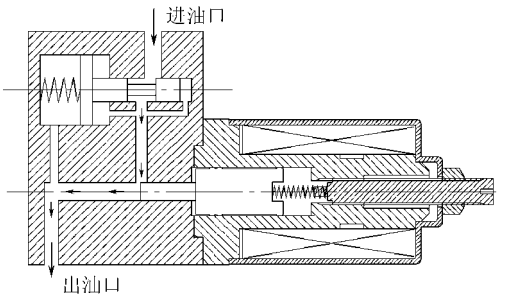

图 3 带前置稳压阀的电磁阀

带有前置稳压阀的电磁阀,在压力达到稳压阀起始工作油压之后,电磁阀主阀阀芯两端的压差由于前置稳压阀的作用将保持不变[1]. 此时,式(3)中

$$p_1 - p_2 = \Delta p \tag{8}$$

式中,Δp为稳压阀的设计压差,理论上是一个恒定值,在实际中会有微小的波动,可认为是一个常量.

这种情况下,Q_e 只与电磁阀主阀的有效节流面积 A_e 有关,从而可以精确的控制旁通流量. 助力油缸的工作压差由式(1)、式(2)和式(3)联立得到,此时由式(2)确定的助力油缸工作压差 Δp_m 在旁通流量变化时,只要存在转向器工作流量 Q_C,在 A 变化到极小时都可以达到系统的最大限压值.

2.3 系统特性仿真计算

对有、无前置稳压阀的旁通流量式 ECHPS助力特性进行仿真计算[2],主要参数如下: Q_t = 16 L/min, z = 6, ρ = 900 kg/m^3, k = 120 (N·m)/rad, C_d = 0.62. 通过改变模型中的 A_e 值得到系统的助力特性曲线(有稳压阀的模型中 $\Delta\rho$ = 2 MPa),结果见图 4和图 5.

由仿真结果可以发现,采用无前置稳压阀的电磁阀的系统特性中,助力油缸的工作压差在车速增高时逐渐下降,不能维持系统限定的最大工作压力(见图 4);采用带有前置稳压阀的电磁阀的系统特性中,助力油缸的工作压差不会随着车

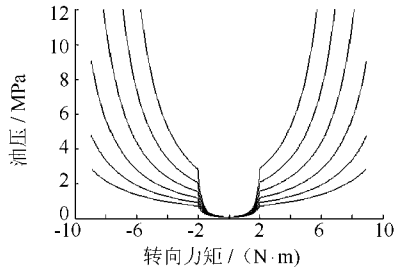

图 4　无前置稳压阀的系统特性

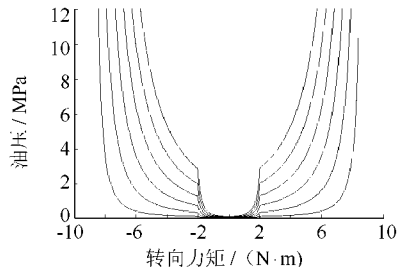

图 5　带前置稳压阀的系统特性

速的增加而下降,能维持在系统限定压力值 (见图 5).

3　试验分析

对两个具有相同转向控制阀的转向器,分别在有无前置稳压阀时进行试验,结果见图 6和图 7.

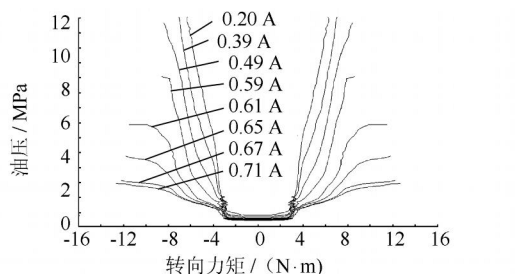

图 6　无前置稳压阀的系统特性

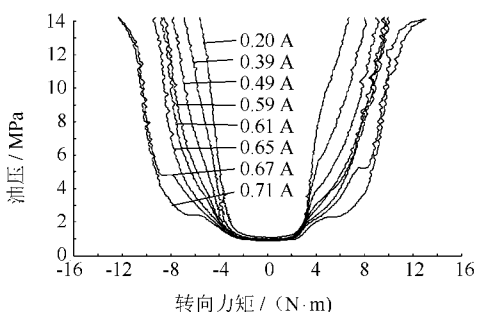

图 7　带前置稳压阀的系统特性

试验中,电磁阀控制电流的变化相同,电流从 0.20A到 0.71A,代表车速由低到高,对应图中的曲线由里到外,即图 6和图 7特性中不同的曲线对应的电磁阀电流一致.

由试验结果可知,试验结果对比和仿真结果对比的结论一致:即图 6中采用无前置稳压阀的电磁阀的系统特性中,助力油缸的工作压差在车速增高时逐渐下降,而达不到系统限定的最大工作压力;而图 7中采用带有前置稳压阀的电磁阀的系统特性中,助力油缸的工作压差不会随着车速的增加而下降,都可达到最大的系统限定压力.

4　讨　论

4.1　工作压力区间

一般液压转向系统的常用工作压力区间见图 8.由图 8可知,实车使用压力在高速时要小于系统的限定压力.因此针对常用的工作压力范围,有无前置稳压阀都可满足系统要求.但在某些极限状态,例如汽车高速行驶中突然爆胎或者一侧车轮跨过障碍物等侧向力变化相对较大的情况下,高的工作压力可以使驾驶员从容应对这种突发情况,反之则意味着驾驶员需要更大的操舵力去控制车辆,存在着不能克服突然增大的侧向力的隐患.因此系统能否达到高压对高速行驶安全性有较大影响,因而采用带有前置稳压阀的电磁阀进行控制要优于无前置稳压阀的电磁阀.

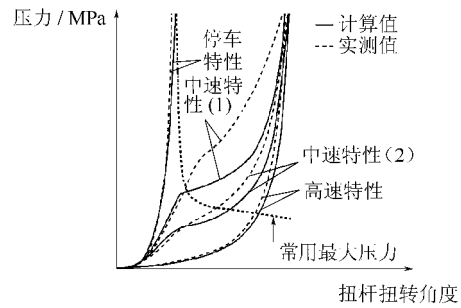

图 8　液压转向系统常用工作压力区间

4.2　电磁阀设计

造成液压转向系统中响应快慢问题的根本原因在于液压油能否及时补偿由于转向操作而在助力缸一侧增加的额外空间.循环球式液压助力转向系统在设计时,转向油泵的额定流量应满足以下条件[3]:

$$Q_t \geq Q_{hcmax} \tag{9}$$

Q_{hcmax}为转向器助力缸最大需求流量.

$$Q_{hcmax} = \frac{t}{2\pi} A_p \cdot \theta_{max} \tag{10}$$

式中,t为转向螺杆轴的导程;θ_{max}为方向盘的最大角速度;A_p 为助力缸活塞的工作面积.

对旁通流量式电控液压助力转向系统而言,转向油泵的额定流量设计要满足:

$$Q_t \geq Q_{hcmax} + Q_{emax} \tag{11}$$

(下转第 1253页)

实时控制飞行轨迹、飞行姿态和推力.仿真结果表明了本文方法的优势:无需控制对象的精确模型;能够应对高度非线性动态特性、不稳定性和多变量耦合;具备出色的鲁棒性;设计时确保自动全局优化且收敛迅速;方法和流程拥有良好的移植性和操作性.

未来将继续研究模糊控制,其应用主要采取复合途径,这意味着广阔的技术前景.就优化而言,可以继续研究遗传算法,或探索模式搜索、蚁群算法等理论.

参考文献 (References)

[1] Heller M, Sachs G. Flight dynamics and robust control of a hypersonic test vehicle with ramjet propulsion [R]. AIAA-98-1521, 1998

[2] Wu F S, Engelen H J C, Babuska R, et al. Intelligent flight controller design with fuzzy logic for an atmospheric re-entry vehicle[R]. AIAA-2000-0174, 2000

[3] 冯勇,郑雪梅,鲍晟.多变量线性模型不确定系统终端滑模分解控制方法[J].控制理论与应用,2004,21(1):11-16
Feng Yong, Zheng Xuemei, Bao Sheng. Terminal sliding mode decomposed control of multivariable linear uncertain systems [J]. Control Theory and Applications, 2004, 21(1): 11-16 (in Chinese)

[4] Wang Qian, Stengel R. Robust nonlinear control of a hypersonic aircraft [R]. AIAA-99-4000, 1999

[5] 刘燕斌,陆宇平.基于变结构理论的高超音速飞机纵向逆飞行控制[J].信息与控制,2006,35(3):388-392
Liu Yanbin, Lu Yuping. Longitudinal inversion flight control based on variable structure theory for hypersonic vehicle[J]. Information and Control, 2006, 35(3): 388-392 (in Chinese)

[6] 李爱军,沈毅,章卫国.基于神经网络的动态逆方法研究[J].工业仪表与自动化装置,2002(6):7-10
Li Aijun, Shen Yi, Zhang Weiguo. A study on neural network-based dynamic inversion methods[J]. Industrial Instrumentation and Automation, 2002(6): 7-10 (in Chinese)

[7] Austin J K, Mechanical E B. Evolutionary design of robust flight control for a hypersonic aircraft[D]. Brisbane, Australia: Department of Mechanical Engineering, University of Queensland, 2002

(责任编辑:张　嵘)

(上接第 1249页)

通过前面第 2节中对有无前置稳压阀的电磁阀对系统特性的分析可知:

1) 无前置稳压阀的电磁阀,在相同供给电流时,Q_e在转向过程中不是一个稳定值,与 Δp_m 有关.因而设计时 Q_{emax}是未知参数,这对转向油泵的流量设计、电磁阀的设计及其与主阀的匹配带来了难度,电磁阀设计时需要根据目标特性曲线得到不同曲线中的最高压力中具有最小值者即 Δp_{mmin}(例如图 6试验曲线中 0.71A曲线所对应最大压力 2.7MPa),然后由式 (12)确定电磁阀的最大节流面积:

$$A_{emax} \leqslant \frac{Q_t - Q_{hcmax}}{C_d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p_{mmin}}} \tag{12}$$

2) 有前置稳压阀的电磁阀,Q_e可以精确控制,Q_{emax}即电磁阀最大开口面积对应的流量,为转向油泵的流量设计提供了准确的依据.进行电磁阀节流口设计时只需满足以下条件:

$$A_{emax} \leqslant \frac{Q_t - Q_{hcmax}}{C_d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \tag{13}$$

上式就是 ECHPS系统中具有前置稳压阀结构的电磁阀设计的理论依据.

5 结　论

由以上的分析可知,采用带有前置稳压阀的电磁阀进行控制的旁通流量式电液助力转向系统,在任何情况下都可以建立高压,即可变助力转向特性中,在操舵力即驾驶员路感变化的前提下,仍能达到系统的限定压力;采用无前置稳压阀的电磁阀进行控制的旁通流量式电液助力转向系统,在操舵力变化的同时,高速时不能建立高压.并且有前置稳压阀的电磁阀相对于无前置稳压阀的电磁阀而言更便于整个转向系统的设计.

参考文献 (References)

[1] 章宏甲,黄谊,王积伟.液压与气压传动[M].北京:机械工业出版社,2000: 156-160
Zhang Hongjia, Huang Yi, Wang Jiwei. Hydraulic and pneumatic transmission [M]. Beijing: China Machine Press, 2000: 156-160 (in Chinese)

[2] 高峰,刘亚辉,季学武,等.电控液压助力转向系统的初步匹配计算[J].北京航空航天大学学报,2007(5): 605-607
Gao Feng, Liu Yahui, Ji Xuewu, et al. Primary calculation of electronically controlled hydraulic power steering[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007(5): 605-607 (in Chinese)

[3] 王晓力.助力转向液压系统的流量分析与计算[J].重型汽车,1994(3): 21-25
Wang Xiaoli. Flow analysis and calculation of hydraulic power steering [J]. Heavy Truck, 1994(3): 21-25 (in Chinese)

(责任编辑:张　嵘)