

液力变矩器液压系统设计与动态特性仿真*

王书翰¹ 徐向阳¹ Peter Tenberge² 刘艳芳¹ 曲巍² 戴振坤¹

(1. 北京航空航天大学交通科学与工程学院, 北京 100083;

2. 凯姆尼茨工业大学工程设计与传动技术学院, 凯姆尼茨 09107, 德国)

【摘要】 设计了液力变矩器液压系统。通过理论算法设计出各个阀体的结构尺寸。采用 ITI-SimulationX 仿真软件建立了某液力变矩器液压系统动态仿真模型。对液压系统的动态特性进行了仿真分析, 并把仿真分析结果与试验测试结果进行了对比。结果表明, 仿真模型能够较好地与试验测试结果吻合。分析了液力变矩器液压系统压力和流量的仿真结果, 以及液压系统不同结构参数对系统动态特性的影响。

关键词: 自动变速器 液力变矩器 液压系统 仿真 设计

中图分类号: TH137.332; TP271+.31

文献标识码: A

Hydraulic System Design and Dynamic Characteristic Simulation of Torque Converter

Wang Shuhan¹ Xu Xiangyang¹ Peter Tenberge² Liu Yanfang¹ Qu Wei² Dai Zhenkun¹

(1. School of Transportation Science & Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China 2. Institute for Engineering Design and Powertrain Technologies, Chemnitz University of Technology, Chemnitz 09107, Germany)

Abstract

The new hydraulic system of torque converter was designed. The dimension structure of valves was designed by theoretical calculation. The dynamic simulation model of hydraulic system of torque converter was established. Then the dynamic characteristics of the system were simulated. The simulation results and the test results from the test bench were compared to validate the simulation model. The results show that the simulation model can match the real system very well and the simulation model was validated. The effects of different parameters of the hydraulic system on the characteristics of the system were analyzed, and also the effects of different parameters of the hydraulic system on the characteristics of the system were analyzed.

Key words Automatic transmission, Torque converter, Hydraulic system, Simulation, Design

引言

液力变矩器作为连接元件连接在发动机和变速器之间^[1~2]。液压系统是液力变矩器重要的组成部分, 基本功能是控制液力变矩器中的压力和流量, 同时控制液力变矩器闭锁离合器打开和关闭^[3~4]。匹配油压和流量的特性不但可以延长液力变矩器的工作寿命, 而且能有效地降低换挡过程中的功率损失, 确保车辆的加速性能, 完成快速响应以及高品质换挡特性^[5]。

文献[3~4]介绍了自动变速器中液力变矩器的简单建模。文献[5~6]介绍了液力变矩器液压系统的建模与仿真, 主要是对闭锁离合器的仿真, 没有提及液压系统中液压阀体的建模与仿真。至今为止, 还很少有文献涉及到自动变速器中液力变矩器液压系统设计与建模仿真的研究, 因此本文对此加以研究。

1 液压系统工作原理

图1是某液力变矩器液压系统原理图。当电磁

阀 EPCV-TC 关闭时,没有压力调节干预的情况下,液压油通过管路 a 和管路 b 流向液力变矩器闭锁离合器打开的方向。闭锁离合器阀(LUCV)通过弹簧预紧力保持在初始位置,液力变矩器流出的液

压油通过管路 c 流经该阀,然后流经管路 e、变矩器控制阀(TCCV)、管路 d、背压阀之后进入冷却器。该背压阀保证液力变矩器回路里的最小压力在 0.3 MPa左右。

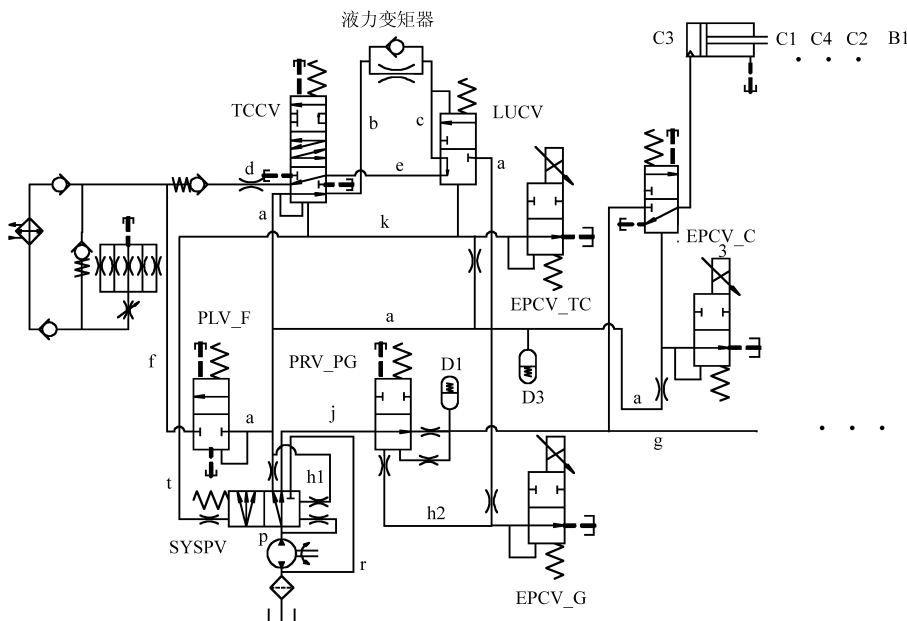


图1 液力变矩器液压系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of hydraulic system of torque converter

通过自动变速器控制单元(TCU)预先给定的控制压力信号,利用电磁阀 EPCV-TC 调节管路 k 的压力,进而控制 LUCV 和 TCCV 的阀心上移。这时 TCCV 的 a 口和 LUCV 的 e 关闭。管路 a 通过 LUCV 与管路 c 连接,液力变矩器通过管路 c 供油,这时液力变矩器内的液压油将反向流动。同时管路 b 和油箱直接相连,管路 b 的压力远远小于管路 c 的压力,液力变矩器的内部产生压力差,闭锁离合器油缸在压力差的作用下推动闭锁离合器闭合。这时冷却润滑系统的液压油由 PLV-F 直接提供。

阀 PLV-F 的 f 口和 a 口将被连通,这时压力油将通过阀 PLV-F 直接流入冷却器。当液力变矩器输出压力超过 0.032 6 MPa 时,背压阀将被打开。旁通阀的打开压力为 0.25 MPa。

自动变速技术在国内刚刚起步,在闭锁式液力变矩器液压系统设计方面的研究较少。此液力变矩器液压系统是为一款 8 挡自动变速器液压系统配套设计的,国内外还没有与之完全相同的液压结构。此液力变矩器液压系统优点为:阀体结构简单;阀体功能单一化;控制算法易于实现。

2.2 算例

TCCV 结构原理如图 2 所示。根据阀芯力平衡方程,给出了 TCCV 的算例,通过此方法来选取所需的弹簧刚度。

(1) 计算和选取弹簧刚度

预先设定阀芯前段面积和环形面积为

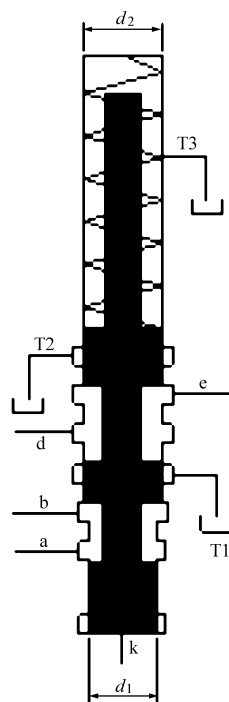


图2 TCCV 结构原理图

Fig.2 Diagram of TCCV structure

2 液压阀理论设计

2.1 液压阀设计要求

TCCV 中 a 口的最大控制压力为 0.65 MPa。如果控制压力超过 0.75 MPa, a 口将与 T1 (参见图 2)直接连通。当 LUCV 中 a 口和 c 口直接相连时, c 口的最大控制压力为 0.7 MPa,此控制压力由阀 PLV-F 来控制。TCCV 和 LUCV 中管路 k 的最大控制压力为 0.5 MPa。如果管路 a 的压力超过 0.7 MPa,

已知管路 k 中最大控制压力为 $p_{kmax} = 0.5 \text{ MPa}$,定义最大阀芯位移 $S_{max} = 6 \text{ mm}$,平衡方程为

$$p_k A_1 + p_a A_2 = SK \tag{1}$$

式中 p_k ——管路 k 压力 p_a ——管路 a 压力
 S ——阀芯位移
 K ——弹簧刚度,理论上 $K = 6.944 \text{ N/mm}$

如果弹簧的初始载荷无法确定,应该选择一个弹簧刚度比理论计算小的弹簧。从弹簧标准目录中选择一个合适的弹簧。

实际选取弹簧刚度: $K_0 = 5.458 \text{ N/mm}$ 。

预先设定初始载荷: $S_0 = 1.4 \text{ mm}$ 。

(2) 检验选取弹簧刚度是否符合设计要求

检验 a 口在最大控制压力下可获得的阀芯运动位移。

$$S_{amax} = \frac{p_a A_2}{K} - S_0 = 3.059 \text{ mm}$$

检验管路 k 在最大控制压力下获得的阀芯运动位移。

$$S_{kmax} = \frac{F_{max}}{K} - \frac{F_0}{K} = 6.233 \text{ mm}$$

通过 a 口和 k 口的最大控制压力检验出此弹簧刚度符合 2.1 节中描述的 TCCV 阀的设计要求。

3 液力变矩器液压系统动态仿真模型

3.1 数学算法

通过阀体边缘和节流孔的流量公式为

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad (2)$$

式中 α ——流量系数 A ——通过截面积
 Δp ——压降 ρ ——流体密度

通过阀体边缘的液流公式为

$$F = \rho Q (v_1 \cos \theta_1 - v_2 \cos \theta_2) \quad (3)$$

式中 Q ——流量 v_1, v_2 ——液流速度
 θ_1, θ_2 ——液流角度

3.2 仿真模型

根据文献[7]的建模方法和 MATHCAD 软件的静态计算结果建立动态仿真模型。

SimulationX 作为建模的软件工具。运用面向对象的建模语言 Modelica,通过编写算法来描述非标准阀体的动态特性和功能。将封装后的非标准阀体模型加入到标准库中,便于以后的直接调用。通过以上所述的建模方法,利用 SimulationX 建立了一个换挡液压系统中液力变矩器控制阀的仿真模型,如图 3 所示。

3.3 仿真参数

液压系统由定量泵来提供主油压,系统主油压控制在 $0.8 \sim 2.0 \text{ MPa}$ 。系统温度在 $-30 \sim 15^\circ\text{C}$ 之间(仿真温度为自动变速器正常工作温度 90°C)。油泵旋转速度为 $0 \sim 5700 \text{ r/min}$ 。油泵效率为 70% ,

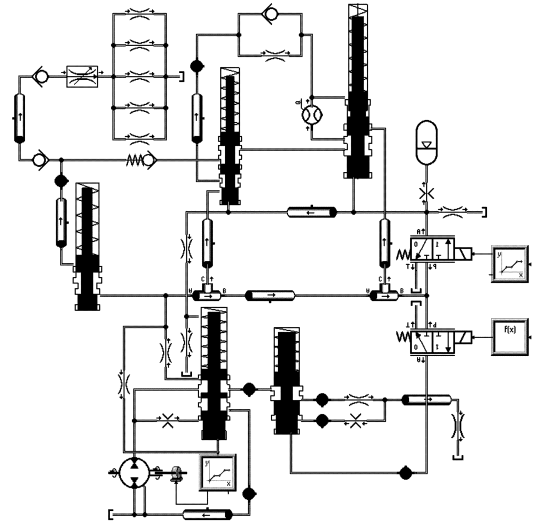


图 3 液力变矩器液压系统仿真模型

Fig.3 Simulation model of hydraulic system of torque converter

排量为 0.01 L/r 。液压油采用 ATFLT71141 润滑油。

4 仿真结果分析

在变转速情况下得出的仿真结果如图 4 所示。图 5 为液力变矩器闭锁离合器闭锁方向的油压曲线,与实际的台架试验曲线进行对比分析,从中可以看出闭锁离合器所用时间和实际所需时间几乎相同,但是动态仿真结果没有时间的延迟,主要是在动态仿真中没有考虑到电磁阀的延迟问题。油压曲线变化的总体趋势一致,只是在闭锁离合器打开的时候仿真结果稍有波动,主要原因是没有考虑扭

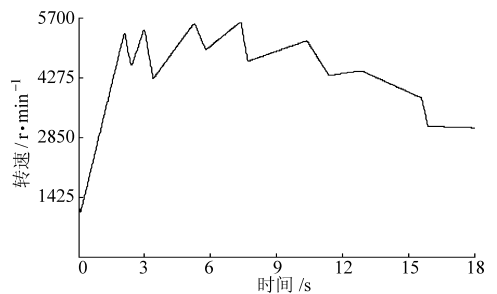


图 4 油泵转速动态变化曲线

Fig.4 Curve of rotational speed changing

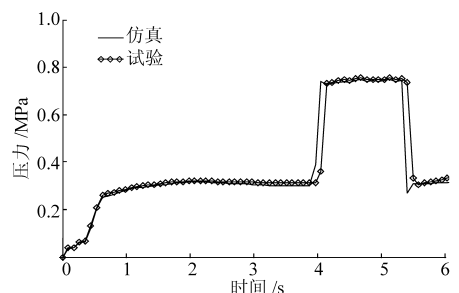


图 5 油压试验和动态仿真结果对比

Fig.5 Comparison of simulation results and test results

矩的波动,总体来说仿真结果和试验结果吻合得较好、可信。此动态仿真模型可以用于液力变矩器液压系统的优化设计。

图 6、7 是为了验证在不同转速条件下液力变矩器闭锁和打开的液流动态变化情况。当液力变矩器闭锁离合器关闭时,液力变矩器内部的油压保持在 0.75 MPa 左右,流量保持在 15 L/min 左右。当液力变矩器闭锁离合器打开时,液力变矩器内部的油压保持在 0.3 MPa 左右,流量几乎为 0 L/min。

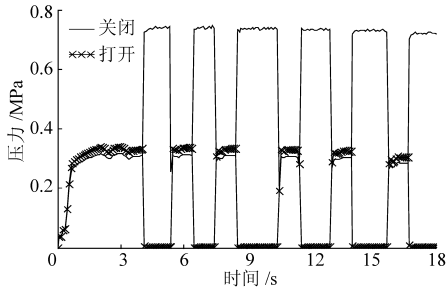


图 6 液力变矩器闭锁离合器开闭动态压力变化曲线
Fig. 6 Dynamic pressure changing curve of opening and closing lockup clutch of torque converter

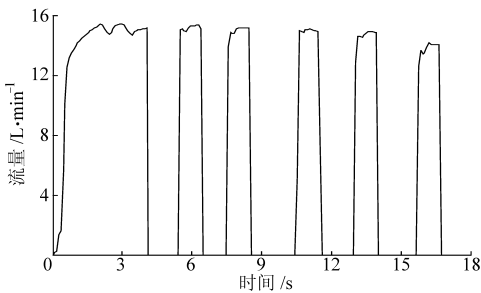


图 7 液力变矩器闭锁离合器开闭动态流量变化曲线
Fig. 7 Dynamic flow changing curve of opening and closing lockup clutch of torque converter

图 8、9 是为了验证在不同转速条件下润滑系统的液流动态变化情况。无论液力变矩器闭锁还是打开,润滑系统的动态压力始终保持在 0.1 MPa 左右,动态流量始终保持在 15 L/min 左右。从动态仿真结果来看,液力变矩器液压系统完全符合整个系统的技术要求。

通过动态仿真模型调整液力变矩器液压系统的主要参数,可满足液力变矩器液压系统的设计要求。如图 10 所示,当节流孔的直径大小改变时,对系统

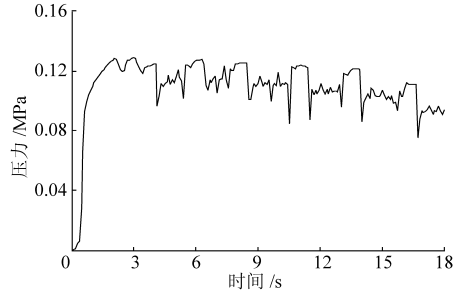


图 8 润滑系统动态压力变化曲线

Fig. 8 Dynamic pressure changing curve of lubrication system

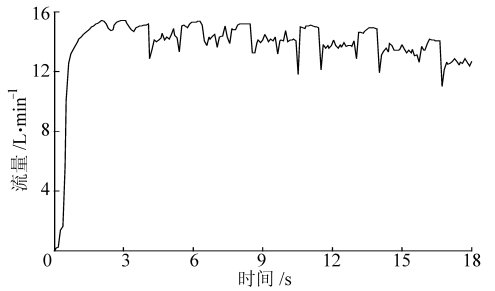


图 9 润滑系统动态流量变化曲线

Fig. 9 Dynamic flow changing curve of lubrication system

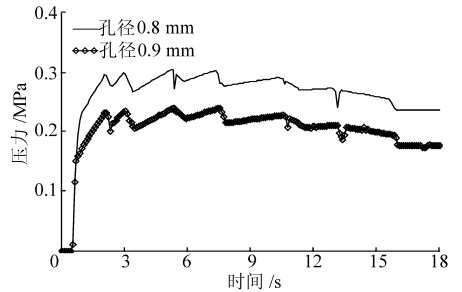


图 10 节流孔直径对控制压力的影响

Fig. 10 Control pressure effect with different orifices' diameter
压力有明显的影响,所以可以通过改变系统的主要参数来改变液压系统的动态特性。

5 结论

(1) 设计了一个液力变矩器液压系统,通过理论计算获得了各个元件的具体参数。

(2) 建立了液力变矩器液压系统动态仿真模型。对液压系统每个元件的动态特性进行了仿真。对液压系统操纵元件作了压力、流量以及位移的动态变化分析。此动态模型可以通过改变一个或者多个参数来直接改变液压系统的动态特性。

参 考 文 献

- 1 Pan Chunghung, Moskwa J J. Dynamic modeling and simulation of the ford AOD automobile transmission[M]//Jurgen R K. Electronic transmission controls. U. S. A. : Society of Automotive Engineers, Inc. , 2000:111~120.
- 2 Megli T W, Haghgoie M, Colvin D S. Shift characteristics of a 4-speed automatic transmission[M]// Jurgen R K. Electronic transmission controls. U. S. A. : Society of Automotive Engineers, Inc. , 2000:277~289.

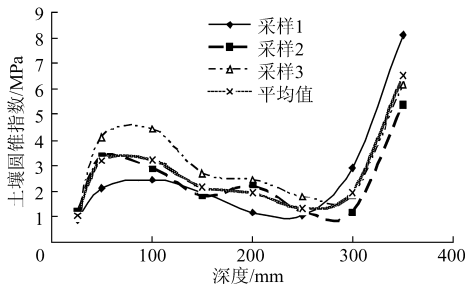


图6 土壤圆锥指数测量结果曲线

Fig. 6 Measurement results of soil cone index

实测数据及其平均值。结果表明:该采样点农业土壤覆盖深度在 350 mm 左右。

4 结束语

从可靠性试验的角度看,本仪器近千次的连续工作并不算多,但初步表明了这种精密滚珠丝杠传动结构的圆锥指数仪在应用上能够经受考验,控制单元结合 PDA 数据采集器的机电一体化设计方案是合理的。

参 考 文 献

- Perumpral J O. Cone penetrometer application: a review [J]. Trans. ASAE, 1982, 25: 1 169~1 172.
- Vaz C M P, Hopmans J W. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2001, 65(1): 4~12.
- Carlos M P Vaz, Bassoi L H, Hopmans J W. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measurement by a combined cone penetrometer-TDR probe [J]. Soil and Tillage Research, 2001, 60(1~2): 35~42.
- 朱兆龙, 孙宇瑞, 马道坤, 等. 一种土壤剖面水分与坚实度同步测量装置[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2007, 28(4):280~283.
Zhu Zhaolong, Sun Yurui, Ma Daokun, et al. An instrument for simultaneous measurement of soil water content and compaction[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2007, 28(4):280~283. (in Chinese)
- Sun Yurui, Zeng Qingmeng, Zhu Zhaolong. Measuring soil physical properties by sensor fusion technique [C]//2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2007: 142~146.
- 陈隆昌, 阎治安, 刘新正. 控制电机[M]. 第3版. 西安:西安电子科技大学出版社, 2000.
- Topp G C, Lapen D R, Edwards M J, et al. Laboratory calibration, in-field validation and use of a soil penetrometer measuring cone resistance and water content[J]. Vadose Zone Journal, 2003, 2(4): 633~641.

(上接第 23 页)

- Miyata H, Hojo Y, Tabata A. Toyota new compact five-speed automatic transmission for RWD passenger cars[M]//Jurgen R K. Electronic transmission controls. U.S.A.: Society of Automotive Engineers, Inc., 2000:35~43.
- Oshima K, Kimura H, Miyata H, et al. Control system development with large flow small linear solenoid for the new Toyota FWD 6-speed transaxle[C]. SAE Paper 2006-01-1487, 2006.
- Jauch F. Model-based application of a slip-controlled converter lock-up clutch in automatic car transmissions[M]//Jurgen R K. Electronic transmission controls. U.S.A.: Society of Automotive Engineers, Inc., 2000:269~275.
- Martin B, Redinger C J, Dourra H. Chrysler 45RFE: a new generation real-time electronic control RWD automatic transmission[M]//Jurgen R K. Electronic transmission controls. U.S.A.: Society of Automotive Engineers, Inc., 2000: 3~23.
- Wang Shuhan, Xu Xiangyang, Liu Yangfang, et al. Dynamic characteristic simulation of AT hydraulic system[C]. SAE Paper 2008-01-1683, 2008.
- 才委, 马文星, 褚亚旭, 等. 液力变矩器导轮流场数值模拟与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8):11~14.
Cai Wei, Ma Wenxing, Chu Yaxu, et al. Numerical simulation and experimental research on flow field in the stator of a torque converter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8):11~14. (in Chinese)
- 许涛, 过学迅, 张杰山, 等. 基于 Fluent 的液力变矩器内流场数值计算[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12):152~155, 168.
Xu Tao, Guo Xuexun, Zhang Jieshan, et al. Numerical calculation of the internal flow field of torque converter based on Fluent[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12):152~155, 168. (in Chinese)