

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.07.006

基于 AMESim 全液压转向系统的建模与分析*

张应和¹, 郭峰¹, 杨世强²

(1. 西安铁路职业技术学院 机电工程学院, 陕西 西安 710026;

2. 西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要:针对定量泵构建的全液压转向系统工作时传动效率低、压力和流量损失严重等问题,将负载敏感式变量泵技术应用到全液压转向系统中。对转向系统中转向器、优先阀及负载敏感式变量泵的结构进行了详细阐述;利用 AMESim 仿真软件对转向系统进行了建模;基于 AMESim 仿真模型对负载敏感式全液压转向系统进行了仿真分析。研究结果表明:转向器转速在 30 r/min 和 40 r/min 时,压力和流量输出相对稳定;优先阀对转向器可起到流量调节作用;负载敏感式变量泵倾斜角在 20°内能够控制输出流量的大小;负载敏感式全液压转向系统能够最大限度地减少压力和流量损失,从而提高传动效率。

关键词:AMESim;全液压转向系统;转向器;负载敏感式变量泵

中图分类号:TH137

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)07-0690-06

Modeling and analysis based on AMESim full hydraulic steering system

ZHANG Ying-he¹, GUO-Feng¹, YANG Shi-qiang²

(1. School of Mechatronical Engineering, Xi'an Railway Vocation & Technical Institute, Xi'an 710026, China;

2. School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Aiming at the problems that the hydraulic transmission system built for the fixed pump has low transmission efficiency, serious pressure and flow loss, etc, the load-sensitive variable displacement pump technology was applied to the full hydraulic steering system. The structure of steering gear, priority valve and load-sensitive variable displacement pump in the steered system was elaborated, and it was modeled by AMESim simulation software. Based on the AMESim simulation model, the full hydraulic steered system was simulated and analyzed. The results indicate that the steering speed is 30 r/min and 40 r/min, the pressure and flow output is relatively stable. The priority valve can adjust the flow of the steering gear. The amount of output flow can be controlled by the variable pump when the inclination angle of the pump is within 20°. The load-sensing full hydraulic steering system minimizes pressure and flow losses and increases transmission efficiency.

Key words: AMESim; full hydraulic steering system; steering gear; load sensitive variable pump

0 引言

全液压转向系统已广泛地应用在低速行驶的工程机械(如:装载机、挖掘机等)中,用其提供的液压能来克服转向阻力,从而减轻了驾驶员的操作力度。目前,国内对全液压转向系统的研究大多数都停留在用定量泵构建的液压系统中,具有响应快、操作方便、工作稳

定等优点,但工作时传动效率低、压力和流量损失严重。而采用负载敏感式变量泵技术构建的全液压转向系统可以根据负载的需求,为其提供所需求的流量和压力,节能效果明显。这种新型的液压控制技术,有效地弥补了定量泵构建的转向系统不足之处。

本文将负责敏感式全液压转向系统的组成进行详细阐述,并利用 AMESim 软件对系统中的转向器、优

收稿日期:2018-11-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475365);陕西省教育厅科学研究计划基金资助项目(2017JK1000)

作者简介:张应和(1980-),男,甘肃兰州人,硕士,讲师,主要从事机电一体化方面的研究。E-mail:zhangyh180@126.com

先阀及液压泵进行建模及仿真,对负载敏感式全液压转向系统的工作原理进行研究。

1 全液压转向系统介绍

全液压转向系统主要由转向器、优先阀、液压泵及转向液压缸组成^[1],其结构如图1所示。

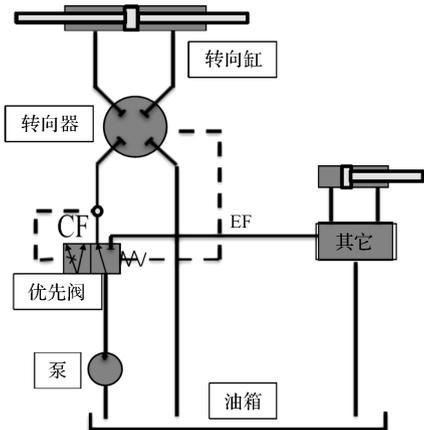


图1 全液压转向系统图

工作时,液压油泵向转向系统回路压油,油液经过优先阀后一部分经流量控制口(CF)流向转向器,另一部分经流量溢出口(EF)流至其他工作单元,而各端口流量的大小由优先阀控制。转向器的压力油通过内置的计量马达能够对转向流量进行精确控制,经过转向器计量马达的压力油流至转向油缸的一侧油腔中,转向油缸另一侧的油路连接转向器的回油孔,油液最终流至油箱。

1.1 转向器

转向器是全液压转向系统的主要核心部件,主要由阀芯、阀套、单向阀、定转子副、配流盘、万向轴(转向轴)及中心弹簧等组成,其中阀芯、阀套以及定转子副是转向器最重要的3个部分,其结构如图2所示。

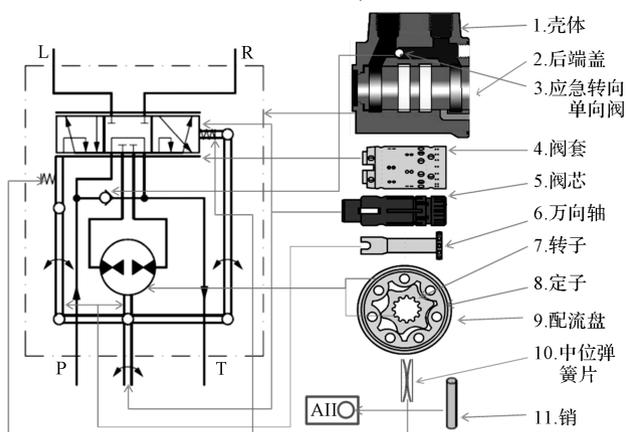


图2 转向器结构图

转向过程中,方向盘施加力矩传递给万向轴,万向轴带动阀芯转动,由于阀套(阀套被转子固定)和摆线马达(定转子副)连接,使得阀芯和阀套间的弹簧发生形变,阀芯和阀套间产生相对转动,当转动角度足够大时,液压油进入计量马达,促使马达转动,马达出油口向转向油缸开始供油实现转向。由于马达转子和阀套通过万向轴及销连接,阀套与马达同步转动,这样只要方向盘有足够力矩,阀芯和阀套间就会有足够转动位移,油路导通,完成持续转向动作。

1.2 优先阀

优先阀是转向器与转向泵之间的连接装置,目的是确保部分压力油优先流向转向转向器,主要由阀体、阀芯、安全阀、控制弹簧组成。

其结构如图3所示^[2]。

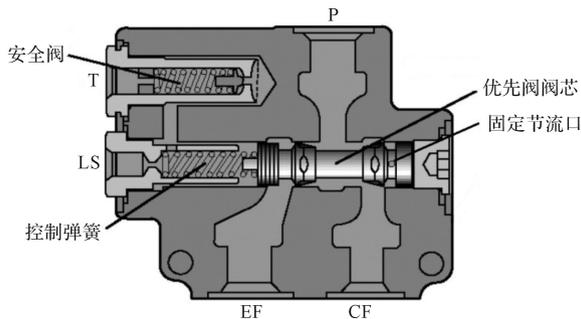


图3 优先阀结构图

P—进油口;T—回油口;LS—信号控制端口;
CF—流量控制口;EF—流量溢出口

工作时,阀芯受到控制弹簧和LS信号控制端口油液压力的作用开始移动(控制弹簧压力 > LS信号控制端口油液压力,阀芯左移;控制弹簧压力 < LS信号控制端口油液压力,阀芯右移),导致CF口和EF口的过流面积发生变化,从而控制优先阀入口流量的分配。

1.3 液压泵

液压泵是全液压转向系统的动力源,该转向系统中采用负载敏感式轴向柱塞变量泵,主要由变量泵主体结构和变量机构组成,可以自动监控回路中负载(转向油缸)的压力和流量。

变量泵主体结构主要由主轴、斜盘、柱塞、回转缸体、配流盘、斜盘角度执行机构、滑靴及回程盘等组成。工作时发动机带动主轴旋转,从而带动回转缸体旋转,由于斜盘的倾斜作用,使得柱塞在回转缸体的各柱塞孔中作往复运动,当回转缸体旋转一周,每个柱塞完成一次吸油和压油过程,回转缸体连续旋转,柱塞则不断地进行吸油和压油^[3]。

轴向柱塞变量泵变量机构(负载敏感传感装置)

主要由流量调节阀、压力调节阀、LS 连接点、斜盘角度执行机构(PC 连接点)连接点及泵出口连接点等组成,其结构如图 4 所示。

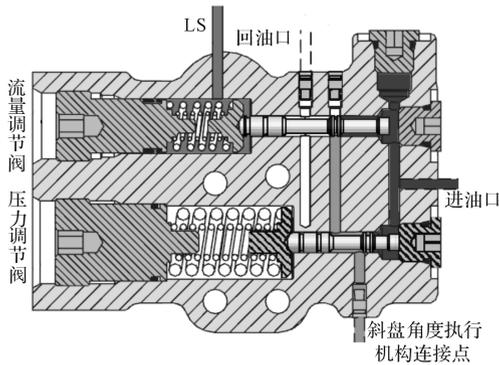


图 4 变量机构结构图

其中,LS 控制流量、PC 控制压力(高压)。工作过

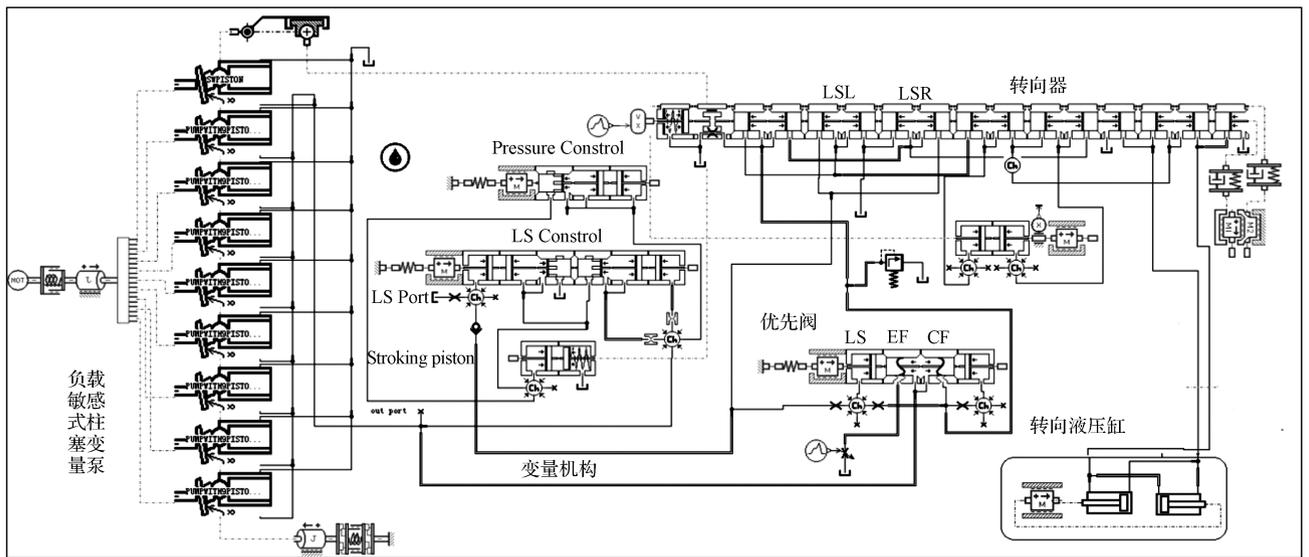


图 5 全液压转向系统 AMESim 模型图

2.1 转向器建模

转向器中起主要的作用是阀芯、阀套、定转子副以及配流盘,所以建模时首先要考虑阀芯与阀套之间的相对运动,其数学关系为:

$$L_m(P_1 - P_2) = J_m \cdot \ddot{\theta}_m + B_m \cdot \dot{\theta}_m + T_c \quad (1)$$

式中: L_m —转向器排量; P_1 —转向器进口压力; P_2 —转向器出口压力; J_m —转向器转子转动惯量; θ_m —转向器的阀芯转角; B_m —转向器油液阻尼系数; T_c —转向器工作时摩擦阻力矩。

阀芯与阀套之间是回转运动,建模时有一定的难度,所以将回转运动转变为平面运动,需要将转向器阀芯按沿着其圆周展开,这样阀芯与阀套在空间上的相对运动关系就转变为其在平面上的相对运动关系,大大降低了建模难度;其次要注意定转子与配流盘之间

的运动关系;最后是与液压泵及优先阀之间的接口,具体 AMESim 模型如全液压转向系统 AMESim 模型图中的转向器所示。

2 全液压转向系统建模

本文采用 AMESim 仿真软件对全液压转向系统中转向器、优先阀及液压泵进行建模和仿真,AMESim 是 LMS 公司推出的基于基础模块的可视化建模仿真软件^[5]。

本研究利用已经搭建好的转向器 AMESim 模型、优先阀 AMESim 模型及负载敏感式柱塞变量泵 AMESim 模型和转向液压缸,连接成一个整体的全液压转向系统 AMESim 模型,如图 5 所示。

的运动关系;最后是与液压泵及优先阀之间的接口,具体 AMESim 模型如全液压转向系统 AMESim 模型图中的转向器所示。

2.2 优先阀建模

优先阀内部元件较少,结构相对简单,建模时只考虑 LS 信号控制信号与控制弹簧的压力关系、阀芯的位置,决定 CF 流量控制口与 EF 流量溢出口之间的优先关系。

假设系统中液压流量是理想连续的,根据流量连续性方程,则各节流口之间的流量关系如下:

$$Q = Q_{CF} + Q_{EF} \quad (2)$$

式中: Q —优先阀进油口流量; Q_{CF} —CF 口流量; Q_{EF} —EF 口流量。

其中,EF 口流量 Q_{EF} 为:

$$Q_{CF} = K_d A_{CF} x_1 \sqrt{\frac{2(P - P_{CF})}{\rho}} \quad (3)$$

式中: K_d —节流口流量系数; A_{CF} —CF 口面积; x_1 —阀芯位移; P —进口口; P_{CF} —CF 口压力; ρ —流体密度。

Q_{EF} 可改写为:

$$Q_{EF} = K_d A_{EF} (x_1 - x_2) \sqrt{\frac{2(P - P_{EF})}{\rho}} \quad (4)$$

式中: A_{EF} —EF 口面积; x_2 —弹簧压缩量; P_{EF} —EF 口压力。

假设在理想状态下,LS 信号压力大于控制弹簧的压力时,根据力平衡方程,优先阀阀芯的受力方程为:

$$A_r(P_{CF} - P_{EF}) - k(x_1 - x_2) - Z_r \dot{x}_1 = m_r \ddot{x}_1 \quad (5)$$

式中: A_r —阀芯面积; k —弹簧刚度; Z_r —弹簧阻尼系数; m_r —阀芯和弹簧的质量。

最后,本研究根据流量连续性方程和力平衡方程,选用 AMESim 仿真软件中液压元件库模型。具体模型如全液压转向系统 AMESim 模型图中优先阀所示。

2.3 液压泵建模

2.3.1 变量机构 AMESim 模型

因为液压泵的变量机构采用的是负载敏感控制机构,建模时要考虑变量机构中 LS 阀芯的压力及位移的变化,其相应的数学关系如下:

$$M_{LC} \cdot \ddot{x}_{LC} = F_{LC} + K_{LC} \cdot x_{LC} - p \cdot A_{LC} - F_{mLC} \quad (6)$$

式中: M_{LC} —LS 阀芯的质量; x_{LC} —LS 阀芯的位移量; F_{LC} —LS 阀芯预紧力; K_{LC} —LS 阀芯弹性刚度; p —LS 油路压力; A_{LC} —LS 阀芯断面面积; F_{mLC} —LS 阀芯的摩擦力。

其次,斜盘角度执行机构也是一个重要的参数,其相应的数学关系如下:

$$X = X_0 - X_1 = \frac{D}{2}(1 - \cos\theta) \cdot \tan\alpha \quad (7)$$

式中: X —单个柱塞的位移量; X_0 —柱塞最大位移量; X_1 —柱塞的当前位移量; D —柱塞孔分度圆直径; θ —缸体转角; α —斜盘倾斜角。

液压泵负载敏感变量具体机构 AMESim 模型,如全液压转向系统 AMESim 模型图中变量机构所示。

2.3.2 变量泵整体 AMESim 模型

根据 AMESim 仿真软件中的 HCD 库,搭建斜盘式柱塞变量泵的 AMESim 模型。斜盘式柱塞泵的柱塞数通常为 9,所以要单独建立 9 个柱塞模型,然后连接成斜盘式柱塞变量泵的 AMESim 模型。具体结构如全液压转向系统 AMESim 模型图中负载敏感式柱塞变量泵所示。

3 全液压转向系统仿真分析

在已经搭建好的全液压转向系统 AMESim 模型基础上,对负载敏感全液压转向系统进行参数设定(具体参数值省略),然后通过仿真结果来分析其动态响应特性。

假设转向系统工作过程为:方向盘右转(R)1圈→左转(L)2圈→右转(R)1圈→方向盘至中位,通过这个仿真过程,分析转向器、优先阀及负载敏感式柱塞变量泵的输出动态响应特性。

3.1 转向器仿真分析

根据假设的转向过程,对转向器的输出压力和流量(转向油缸的压力和流量)进行仿真分析^[6]。

3.1.1 转向器输出压力

转向器输出压力仿真分析结果如图 6 所示。

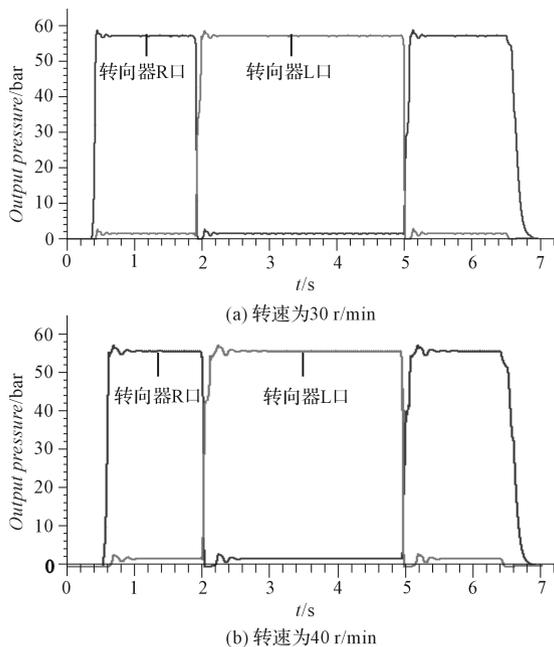


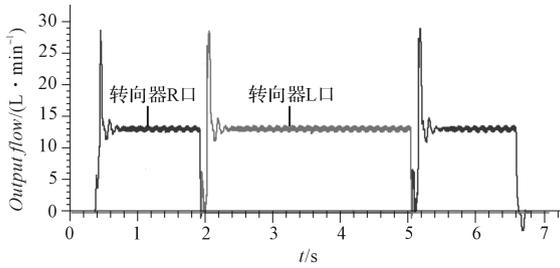
图6 转向器输出压力

由图 6 可以看出:在 0~0.4 s,前转向器的输出压力为零,说明转向器没有转动;同时,转向器在转速为 30 r/min 和 40 r/min 时,左右转向过程中 L、R 口的输出压力基本相等,证明转向油缸的工作压力与转向器输出压力之间没有能量损失。通过仿真结果也可以说明负载(转向油缸)压力的大小主要由转向器来控制。

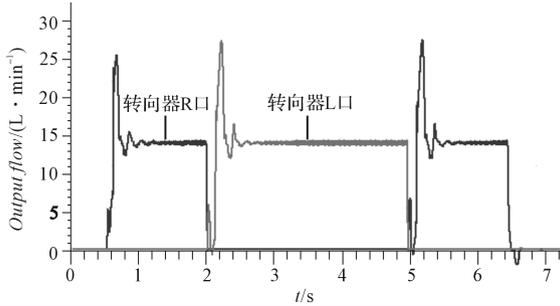
3.1.2 转向器输出流量

转向器的输出流量仿真分析结果如图 7 所示。

由图 7 可以看出:转速为 30 r/min 时,输出流量曲线比较平稳,波动小;而转向器的转速为 40 r/min 的波动比较大,稳定性较差。结果显示,每次换向后转向



(a) 转速为30 r/min



(b) 转速为40 r/min

图 7 转向器输出流量

油缸都有位移瞬间突变的过程,这是因为转向后的瞬间,进入转向油缸的油量超调;同时也发现转向初始阶段 0~0.4 s 时输出流量没有输出,这是因为在换向过程中,转向油缸压力需要短时间的切换。通过仿真可以说明,负载(转向油缸)流量波动的随着由转向器转速的增大而增大。

3.2 优先阀仿真分析

优先阀的流量控制口(CF)与转向器相连接,主要分析转向器转速在 30 r/min 和 40 r/min 时的优先阀流量控制口(CF)流量,如图 8 所示。

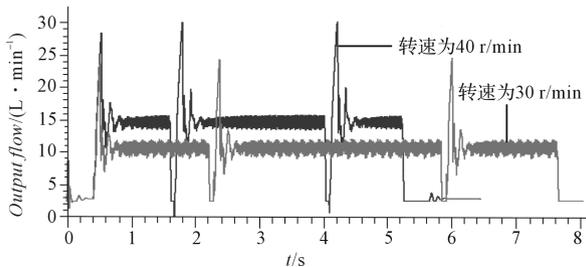


图 8 优先阀(CF)口流量

图 8 中:在 0~0.4 s 阶段,转向器输出压力为 0,所以 CF 口流量非常小;0.5 s 之后 CF 口流量迅速增大,同时发现流量信号有一定的波动,说明斜盘式变量柱塞泵提供的流量并不是恒定值。从图中也可以看出,转向器的转速越快,先阀流量控制口(CF)流量输

出就越大,结果证明转向器在工作时优先阀的定转子副起到了流量调节的作用^[7-9]。

3.3 液压泵仿真分析

转向系统采用负载敏感式轴向柱塞变量泵供油,通过负载敏感机构调节斜盘的角度来改变柱塞泵压力或流量,液压泵的动力来自发动机,所以主要确定斜盘倾角与发动机之间的关系。通常发动机转速越低,斜盘倾角越大,这是因为发动机转速越低,输出功率越大,改变斜盘倾角越明显^[10]。

在转向系统工作过程中,转向器所需的流量是不变的,而泵输出的流量是变化的,所以泵输出的总流量是变化的。

柱塞泵斜盘倾角对泵输出流量影响的仿真结果如图 9 所示。

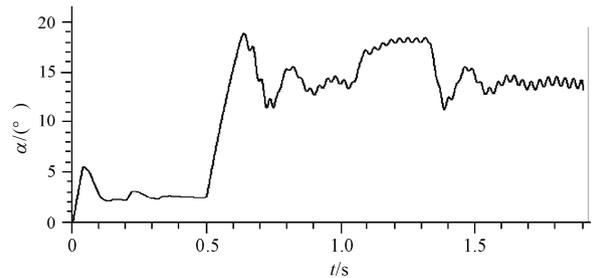


图 9 斜盘倾角对泵输出流量的影响

通过图 9 可以看出:随着斜盘倾斜角的增大,流量输出增大;斜盘倾斜角减小,流量输出减小,充分说明变量泵可以通过斜盘倾斜角的变化,控制系统的流量。

从整体的仿真结果可以看出:转向器转速在 30 r/min 和 40 r/min 时,压力基本稳定,流量脉动不明显,优先阀起到了流量调节的作用;轴向柱塞变量泵能够控制转向系统流量的变化;采用负载敏感变量式全液压转向系统,能够起到压力和流量调节作用,并且系统输出基本稳定。

4 结束语

本文介绍了该全液压转向系统的组成,利用 AMESim 仿真软件对转向系统中的主要元件进行了建模,最后进行了全液压转向系统的仿真分析。从仿真结果可以看出:在转向器的转速范围内,系统输出稳定、流量脉动小;优先阀可以起到流量调节作用;系统

(下转第 716 页)

本文引用格式:

张应和,郭峰,杨世强. 基于 AMESim 全液压转向系统的建模与分析[J]. 机电工程,2019,36(7):690-694,716.

ZHANG Ying-he, GUO Feng, YANG Shi-qiang. Modeling and analysis based on AMESim full hydraulic steering system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(7):690-694,716.