

文章编号: 1002-0268 (2005) 12-0148-04

汽车 DYC 装置液压系统建模与仿真

夏晶晶

(淮阴工学院, 江苏 淮安 223001)

摘要: 汽车 DYC 装置可以通过产生横摆力矩克服过多转向或不足转向, 提高汽车高速和恶劣道路等极限条件下的操纵稳定性。对汽车 DYC 装置的液压系统特性进行了分析, 建立了液压回路和制动器模型, 分析了液压系统的工作原理和工作过程, 并运用 matlab/simulink 对液压系统进行建模与仿真。

关键词: DYC; 液压系统; 模型; 仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Model and Simulation of the Automobile DYC Hydraulic System

XIA Jing-jing

(Huaiyin Institute of Technology, Jiangsu Huai'an 223001, China)

Abstract: To avoid changing steering excessively or insufficiently, the technology of direct yaw-moment control (DYC) can be used. It can increase the handling stability of vehicles under high speed and bad road condition. This paper analyzes the characteristics of the hydraulic system of direct yaw-moment control system and its working principle. The hydraulic system models are created and simulated by use of matlab/simulink.

Key words: Direct yaw-moment controlling; Hydraulic system; Model; Simulate

汽车 DYC 装置是在 ABS/ASR 的基础上开发出的控制功能更完全的新一代汽车主动安全装置, 通常由传感器、电子控制单元、液压系统组成。电子控制单元根据传感器的信息, 利用微机内的车辆模型, 计算车辆的理想运动状态, 并与实车状态进行比较, 以预测车辆转向极限, 再通过液压系统调节车轮制动力, 并产生偏转力矩, 消除严重过多转向或不足转向, 保持车辆方向稳定性。

1 DYC 装置液压系统特性分析

DYC 装置液压系统由液压回路和制动器两部分组成。液压回路是利用电磁阀的开关动作实现制动泵内的增压、保压、减压 3 种状态, 这种压力调节方式的特点是压力的变化是非连续的, 但通过 3 种压力状态的高速切换, 也可以实现所需要的压力调节。具

有迟滞存储记忆的可变非线性制动器模型形成一个由制动和松刹曲线构成的闭环响应曲线, 它反映了该制动器模型的非线性、迟滞特性。随着制动压力的增加, 形成了制动力矩的加载曲线, 它是闭环的下界; 而当制动压力减少时, 则构成了制动力矩的卸载曲线, 这是闭环的上界。^[1]

(1) 液压回路增压环节

在增压状态下, 电子控制单元不给电磁阀提供电流, 电磁阀的线圈里的电流为零, 活塞在弹簧的作用下处于电磁阀底部位置, 刹车液从液压主回路流进制动轮缸, 制动轮缸中的压力上升, 制动轮缸中的压力变化率为

$$\frac{dp_w}{dt} = \frac{CA_r}{KV} (p_m - p_w)^{\varphi}$$

式中, K 为液压油的体积弹性模量; V 为电磁阀及管

收稿日期: 2004-09-22

作者简介: 夏晶晶 (1974—), 男, 江苏淮安人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为机械动力学、汽车设计等。(xjj741025@163.com)

路上加上制动轮缸的总容积; t 为时间; C 为由阀口形状、液体流态、油液性质等因素决定的流量系数; A_T 为阀口的通流截面积; φ 为由阀口形状决定的节流阀指数, 其值在 0.5 ~ 1.0 之间; p_m 为液压主回路的压力; p_w 为制动轮缸的压力。

(2) 液压回路减压环节

在减压状态下, 电子控制单元给电磁阀提供强电流, 为供电电流的最大值, 在强磁场的作用下, 活塞进一步提升到最高位置, 活塞在弹簧的作用下处于电磁阀上方位置, 刹车液从制动轮缸流出, 进入储液罐, 制动轮缸中的压力下降, 制动轮缸中的压力变化率为

$$\frac{dp_w}{dt} = \frac{C'A_T'\varphi'}{KV}p_w$$

式中, C' 、 A_T' 、 φ' 为电磁阀减压状态下的相应参数。

(3) 液压回路保压环节

在保压状态下, 电子控制单元给电磁阀提供弱电流, 为最大电流的 1/2, 活塞在弹簧的作用下处于电磁阀中间位置, 制动轮缸与喷注泵之间的回路断开, 维持制动轮缸中的压力。

$$\frac{dp_w}{dt} = 0$$

制动器是在制动轮缸内制动压力的作用下, 在车轮上形成制动力矩, 由于制动器中各机械部件间存在的间隙、摩擦等因素而造成了制动器呈现出死区、饱和及滞环一类的强非线性动态特性。

(4) 制动器加载环节

$$M_b^+ = \begin{cases} a(P_b - P_0)^b & P_b > P_0 \\ 0 & P_b \leq P_0 \end{cases}$$

(5) 制动器卸载环节

$$M_b^- = \begin{cases} y(P_b - P_0)^b & P_b > P_0 \\ 0 & P_b \leq P_0 \end{cases}$$

式中, M_b^+ 、 M_b^- 分别为加载、卸载过程中的制动力矩; P_b 为制动压力; P_0 为待定参数, 由制动器结构、性能决定; a 为加载过程中的公式的待定参数; y 为卸载过程中的公式的可变参数, 由卸载曲线的暂存上限决定。

模型的迟滞作用假设仅在加载过程中存在, 每当 $P_b < P_0$ 时, 迟滞作用重新开始。该模型的另一功能是在制动松刹过程中能够将每次循环中加载曲线的最大值作为下一次卸载曲线的暂存上限, 将每次循环中卸载曲线的最小值作为下一次加载曲线的暂存下限而加以记忆, 其中, 卸载曲线的暂存上限决定了可变参

数的大小, 它直接影响到卸载曲线的卸载快慢程度。

2 运用 matlab/simulink 对液压系统进行建模

汽车 DYC 装置的液压系统的工作原理和工作过程与汽车 ABS 装置的有一定的不同之处, 电子控制单元是每隔一段时间就会发出一个指令, 要求液压系统提供一个力矩, 所以它本身没有真正意义上的保压环节, 只是对增压过程、减压过程的延续。

液压系统的工作原理和工作过程是建立在液压回路的增压环节、保压环节、减压环节以及制动器的加载、卸载环节之上, 根据电子控制单元的指令, 对各个环节进行有机的组合。具体工作原理和工作工程如下。

(1) 判断是增压还是减压

汽车 DYC 系统的工作过程就是不断地进行电子控制单元根据传感器信号, 进行数据处理, 给液压系统发出相应指令的工作循环。在每个工作循环中, 液压系统首先将制动轮缸中的制动压力与电子控制单元指令所要求的制动压力进行比较, 来判断液压系统是需要进行增压过程还是减压过程。如果制动轮缸中的制动压力小于电子控制单元指令所要求的制动压力, 液压系统需要进行增压过程(包括液压回路和制动器)。如果制动轮缸中的制动压力大于电子控制单元指令所要求的制动压力, 液压系统需要进行减压过程(包括液压回路和制动器)。而且每次循环中增压过程的起点是上一次减压过程的终点, 每次循环中减压过程的起点是上一次增压过程的终点。

(2) 进行增压或减压

判断出制动轮缸是需要增压还是减压后, 打开相应的阀口, 制动轮缸进行增压或减压。

(3) 判断是否进行保压

将制动轮缸中的制动压力与电子控制单元指令所要求的制动压力进行比较, 本循环的增压过程或减压过程所产生的制动轮缸中的制动压力是否已达到电子控制单元指令所要求。如果达到要求, 进行保压过程。如果没有达到要求, 继续进行增压过程或减压过程。

(4) 进行下一循环

本循环结束后, 液压系统根据电子控制单元的指令, 进行下一循环, 工作过程重复上述 (1) ~ (3) 步骤。

在图 1 液压回路增压模块中, 输入端口 1 输入电子控制单元指令所要求的制动轮缸制动压力, 用来判断增压过程所产生的制动轮缸中的制动压力是否已达

到电子控制单元指令所要求。如果达到要求，进行保压过程。如果没有达到要求，继续进行增压过程或减压过程。输入端口 2 是确定减压向增压转换时往积分器中置初值的时间。输入端口 3 是将上一减压过程的制动轮缸中制动压力的终值置入积分器中，用作减压向增压转换时制动轮缸中制动压力的初值。输入端口 4 为液压回路的反馈。输出端口向制动器增压模块提供输入信号，并且向液压回路减压模块提供减压过程的初值，向制动器减压模块提供所需参数。

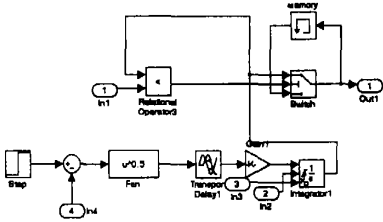


图 1 液压回路增压模块

在图 2 液压回路减压模块中，输入端口 1 为液压回路的反馈。输入端口 2 是增压向减压转换时往积分器中置初值的时间。输入端口 3 将上一增压过程的制动轮缸中制动压力的终值置入积分器中，用作增压向减压转换时制动轮缸中制动压力的初值。输入端口 4

输入电子控制单元指令所要求的制动压力，用来判断减压过程所产生的制动轮缸中的制动压力是否已达到电子控制单元指令所要求。如果达到要求，进行保压过程。如果没有达到要求，继续进行减压过程。输出端口向制动器减压模块提供输入信号。

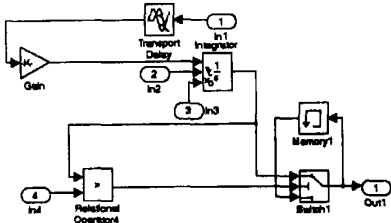


图 2 液压回路减压模块

在图 3 液压系统模型中^[2-4]，液压系统通过转换开关 2 和转换开关 3 将制动轮缸中的制动压力与电子控制单元指令所要求的制动压力进行比较，来判断液压系统是需要进行增压过程还是减压过程。如果制动轮缸中的制动压力小于电子控制单元指令所要求的制动压力，液压系统需要进行增压过程（包括液压回路和制动器）。如果制动轮缸中的制动压力大于电子控制单元指令所要求的制动压力，液压系统需要进行减压过程（包括液压回路和制动器）。

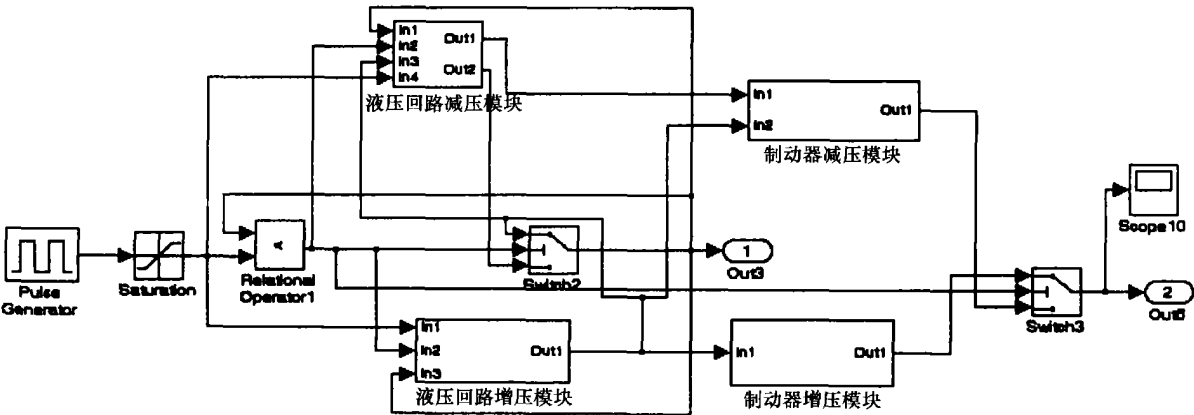


图 3 液压系统模型

3 液压系统仿真

运用前面建立的数学模型进行仿真，以几种常见的车辆不稳定工况为例。

(1) 当车辆存在持续的不稳定状态

从图 4~图 6 仿真结果中可以看出，当车辆存在持续的不稳定状态时，液压系统接到电子控制单元的指令后（电子控制单元给需要增压的车轮的电磁阀不提供电流），液压系统能够较快的达到电子控制单元指令所要求的制动压力，然后电子控制单元给需要保压的车轮的电磁阀提供弱电流，液压系统保持电子控

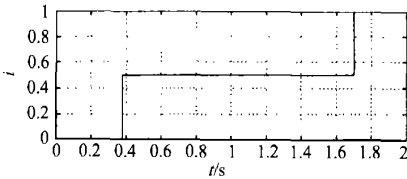


图 4 工况 1 时制动轮缸处电磁阀的电流变化情况
制单元指令所要求的制动压力，制动器中产生的制动力矩变化情况如上图 6。

(2) 当车辆存在频率较快的脉冲的不稳定状态从图 7~图 9 仿真结果中可以看出，当车辆处于频率较快的脉冲的不稳定状态时，液压系统接到电子

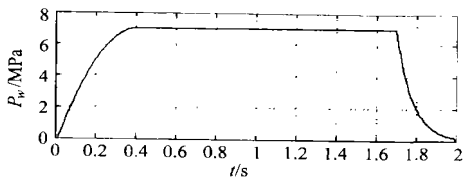


图 5 工况 1 时制动轮缸中的制动压力变化情况

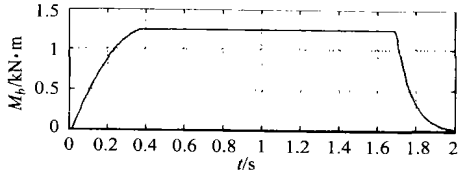


图 6 工况 1 时制动器中产生的制动力矩变化情况

控制单元的指令后 (电子控制单元给需要增压的车轮的电磁阀不提供电流), 制动轮缸中的制动压力迅速上升。液压系统再次接到电子控制单元的指令后 (电子控制单元给需要增压的车轮的电磁阀提供强电流), 制动轮缸中的制动压力迅速下降。制动轮缸中的制动压力来回变化, 制动器中产生的制动力矩变化情况如上图 9。

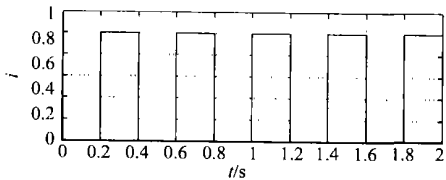


图 7 工况 2 时制动轮缸处电磁阀的电流变化情况

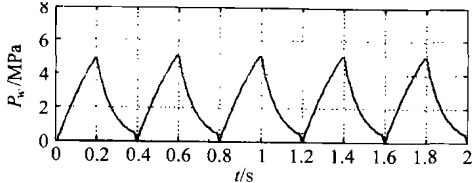


图 8 工况 2 时制动轮缸中的制动压力变化情况

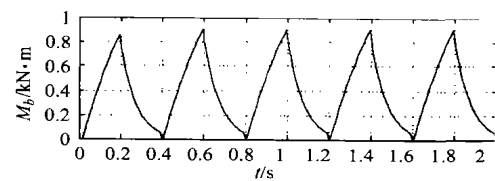


图 9 工况 2 时制动器中产生的制动力矩变化情况

(3) 当车辆存在频率较慢的脉冲的不稳定状态

从图 10~图 12 仿真结果中可以看出, 当车辆处于频率较慢的脉冲的不稳定状态时, 液压系统接到电

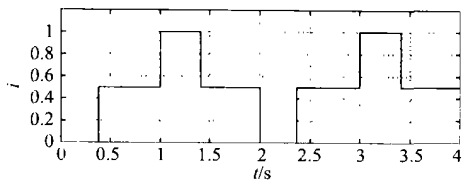


图 10 工况 3 时制动轮缸处电磁阀的电流变化情况

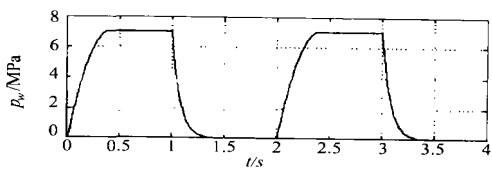


图 11 工况 3 时制动轮缸中的制动压力变化情况

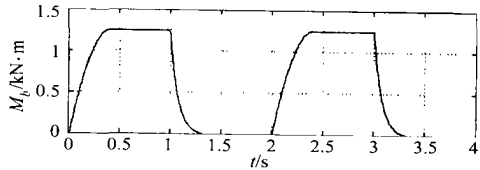


图 12 工况 3 时制动器中产生的制动力矩变化情况

子控制单元的指令后 (电子控制单元给需要增压的车轮的电磁阀不提供电流), 液压系统能够较快的达到电子控制单元指令所要求的制动压力, 然后电子控制单元给需要保压的车轮的电磁阀提供弱电流, 液压系统保持电子控制单元指令所要求的制动压力。液压系统再次接到电子控制单元的指令后 (电子控制单元给需要增压的车轮的电磁阀提供强电流), 制动轮缸中的制动压力迅速下降, 达到电子控制单元指令所要求的制动压力, 然后电子控制单元给需要保压的车轮的电磁阀提供弱电流, 液压系统保持电子控制单元指令所要求的制动压力。制动器中产生的制动力矩变化情况如图 12 所示。

4 结论

汽车 DYC 装置通过液压系统调节车轮制动力, 产生偏转力矩, 提高了汽车的操纵稳定性。matlab 作为一种面向科学和工程计算的高级计算机语言, 已成为国际科技公认的最优秀应用软件, simulink 是 matlab 提供的主要工具箱之一, 运用其强大的可视化的动态系统建模、仿真功能, 能够很好的对液压系统及其工作过程进行建模和仿真, 充分反映液压系统的饱和、死区、迟滞等非线性特征, 也能很好的表现几种常见工况下液压系统的工作过程。

参考文献:

[1] 郭孔辉, 刘琛, 丁海涛, 李玉旋. 汽车液压制动系统的液压特性 [J]. 吉林工业大学自然科学学报, 1999 (4): 1—5

[2] 李锋, 马长林. 液压系统动态特性的 simulink 仿真与优化研究 [J]. 计算机仿真, 2003 (5): 110—112

[3] 吕刚, 谷立臣. 基于 simulink 的液压动力系统动态仿真 [J]. 现代电子技术, 2003 (12): 62—64

[4] 王德平, 孔令辉, 宋长富. 车辆动力学稳定性控制的仿真研究 [J]. 汽车技术, 1999 (2): 8—9.