

doi: 10.7690/bgzd.2018.09.013

某型装甲车辆换挡控制系统建模分析

侯玉杰¹, 冯广斌², 孙华刚²

(1. 军械工程学院火炮工程系, 石家庄 050003; 2. 军械技术研究所科技处, 石家庄 050003)

摘要: 针对某型装甲车辆换挡技术不够成熟和故障率高等问题, 建立一种液压控制系统模型对换挡控制系统进行分析研究。根据装甲车换挡控制系统工作原理, 在 AMESim 软件中建立其控制系统仿真模型, 并结合实验数据进行校核, 对油泵效率降低和调压阀阀芯卡滞 2 种换挡控制系统典型故障进行分析研究, 通过故障分析结果与正常仿真值的对比, 得出换挡控制系统在不同故障参数下对仿真结果的影响。研究表明: 该换挡控制系统模型能够模拟实际状态下的各种故障, 通过分析研究能够快速判断故障原因, 并提供解决方法, 为换挡控制系统故障检测和性能分析提供一定的参考。

关键词: 电液换挡; AMESim; 故障检测

中图分类号: TJ810.6 **文献标志码:** A

Modeling Analysis of Shift Control System about Certain Type Armored Vehicle

Hou Yujie¹, Feng Guangbin², Sun Huagang²

(1. Department of Artillery Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Technology Department, Ordnance Technical Institution, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Because the shift control system is not mature with high failure rate for a certain type of armored vehicle, establish a hydraulic control system model to analyze the shift control system. Establish the system control simulation model in the AMESim based on the working principle of the armored vehicle shift control system, combining experimental data to check it, analyze 2 typical faults, such as low oil pump efficiency and the valve core binding. Comparing the fault analysis result with the normal simulation results, the influence of different parameters on the simulation results is obtained. The study results show that the model of the shift control system can simulate various faults in the actual state, quickly judgment the cause of failure and provide the solutions. It provides some reference for the fault prediction and performance analysis of shift system.

Keywords: electro-hydraulic shift; AMESim; fault detect

0 引言

电液自动控制是现代先进装甲车辆的典型特征, 采用电液自动换挡能使车辆平均越野速度提高 10%~30%, 在“s”形路面上提高 40%, 换挡品质也大大提高^[1]。电液换挡自动控制技术延长了传动系统的寿命和可靠性, 驾驶操作更舒服, 持续行驶能力得到提高。但是装甲车辆的电液控制系统部件分散, 工作环境较差, 在正常使用的情况下, 故障发生率较高, 并且难以排查。针对这种现象, 笔者建立了某型装甲车辆电液换挡控制系统的液压模型, 对其非线性特性进行了分析研究, 为装甲车辆电液换挡系统的故障排查与检测提供参考。

1 工作原理

电液换挡控制系统由电磁阀驱动单元、调压阀单元、系统供油与润滑单元 3 部分组成, 这 3 部分结合

起来, 共同作用实现进入离合器控制腔(活塞腔)油液的压力调节。在电磁阀接收到脉冲信号后, 对电磁阀输出油压进行控制, 电磁阀输出油压推动调压阀阀芯移动, 进一步控制调压阀输出压力, 调节合适的压力和流量后, 将油液供给相应的湿式换挡离合器, 来操纵不同离合器结合与分离, 完成换挡过程。图 1 是电液换挡控制系统的功能框图(局部)。

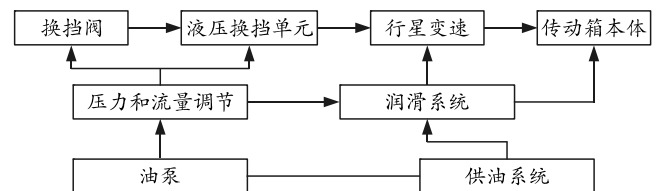


图 1 电液换挡控制系统功能框图(局部)

2 电液换挡控制系统建模及校核

换挡控制系统建模是性能分析的核心工作, 笔者利用 LMS Imagine. Lab AMESim^[2]液压建模分析

收稿日期: 2018-05-15; 修回日期: 2018-06-29

作者简介: 侯玉杰(1992—), 男, 陕西人, 工学硕士, 从事装甲机底盘性能检测与故障诊断技术研究。

软件中的液压、机械、电气等模型库来建立控制系统模型。笔者将通过 AMESim 软件建立电液换挡控制回路的仿真模型，并对电液换挡控制系统模型进行校核。

2.1 电磁阀建模

电磁阀在接收到信号后，产生电磁力来控制压力调节阀阀芯位置的改变，进一步调节电磁阀输出油压变化，为调压阀调控油压做准备。根据 RL 电路暂态分析法得到回路电流之后，由电磁能量方程可得电磁阀的电磁力和回路电流的数学模型^[3-4]为：

$$F = \frac{\varphi^2}{2\mu_1 A} = \frac{(\int \frac{U - iR}{N})^2}{2\mu_1 A} = \frac{N^2 \mu^2 A i^2}{2\mu_1 l^2}; \quad (1)$$

$$i = \begin{cases} \frac{U_0}{R} + (i - d_i - \frac{U_0}{R})e^{-\frac{t}{\tau}} & 0 < t < t_H \\ (i + d_i)e^{-\frac{-(t-DT)}{\tau}} & t_H < t < T \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中： F 为电磁力； N 为线圈匝数； φ 为磁通； A 为磁路截面积； l 为气隙长度； μ 为磁导率； μ_1 为真空磁导率($\mu_1 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ WB/A}\cdot\text{m}$)。式(2)中： U_0 为电磁阀的控制电压； i 为回路电流； R 为电磁线圈等效电阻； d_i 为电流波动值； t_H 为输入脉冲信号高电平时间； D 为占空比； τ 为电磁阀时间常数； T 为脉冲信号的调制周期。根据数学模型并结合电磁阀功能原理及图纸，笔者建立电磁阀的模型如图 2 所示。

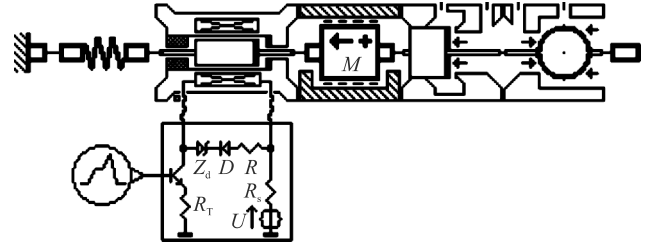


图 2 电磁阀模型

2.2 调压阀建模

利用液压软件 AMESim 中的 HCD 库进行建模，调压阀模型如图 3 所示：电磁阀在进行油压的压力调节之后，其输出油压进入调压阀，实现进入离合器活塞腔压力的合理控制，保证换挡平稳，减小换挡冲击^[5]。

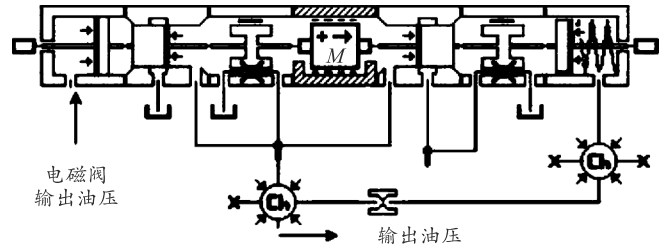


图 3 调压阀模型

2.3 换挡控制系统建模

由于该型装甲车辆的液压系统十分庞杂，笔者根据分析侧重点进行有效取舍，并进行简化。简化后的换挡控制回路模型如图 4。将图 3 和图 4 对比可知：调压阀在阀芯的运动以及来自自主调压阀压力的作用下，将合适的液压油输出送入离合器活塞。

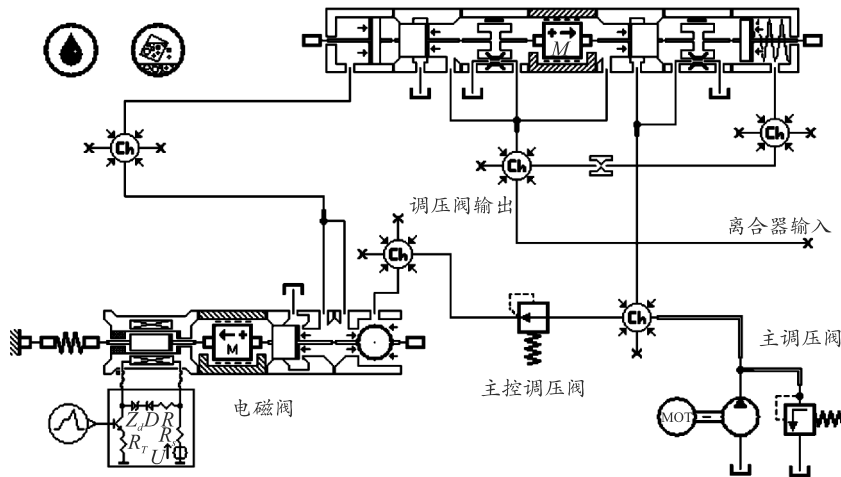


图 4 换挡控制系统液压模型

2.4 模型校核

电液换挡控制系统的主要作用就是调节和控制输入到离合器活塞腔的压力，调整离合器活塞腔的压力并保持在一个合理的范围内，根据实际工况和

需求，满足理论上的冲油特性曲线，从而确保换挡平稳，换挡时间最快，且冲击较小。建立好模型后，设置模型相关参数并模拟实际工况进行分析，能否分析准确，模型校核十分关键。图 5 是电磁阀输出

油压的变化趋势。笔者选取了几个时间节点进行实验测试，得到表1。对比图6以及表1来校核所建立的液压模型。

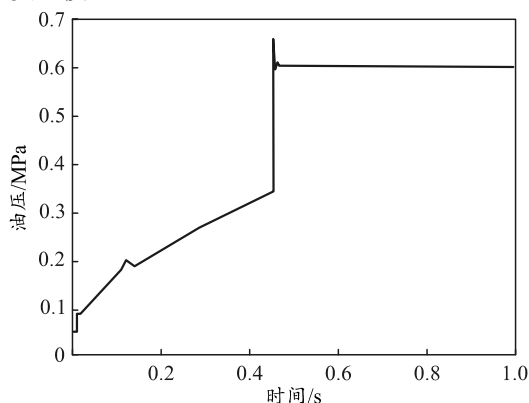


图5 电磁阀输出油压变化曲线

表1 调压阀输出压力测试结果

时间/s	0.03	0.5	0.7	1.0
压力/MPa	0.10	0.70	1.60	1.45

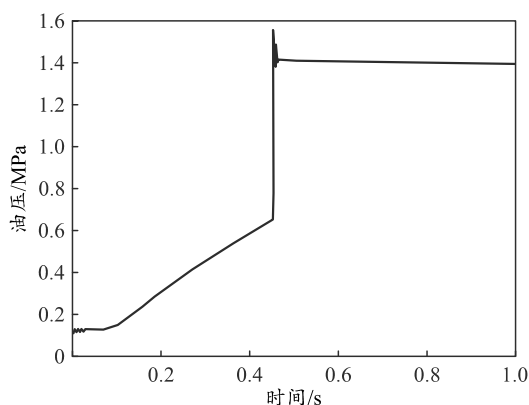


图6 调压阀输出油压变化曲线

将模型分析结果与实验测试结果相比发现：模型在规定的时间内，调压阀输出压力与实验测试的数值吻合度较高，同时将实验测得数据带入理论计算公式中，发现计算结果较准确。由此可见，在正常情况下模型的准确度较高。对比图5、图6可知：在0~0.43 s时，电磁阀输出的油压变化波动较调压阀油压波动大，说明调压阀在换挡控制中起着缓冲油压，使换挡平稳的重要作用。笔者结合调压阀的重要作用及典型故障进行仿真分析。

3 电液换挡控制系统典型故障分析

经过调研和实地考察，换挡控制系统存在的最大问题是换挡调压阀阀芯卡滞、油泵效率降低等。这些故障造成换挡冲击过大，主调压阀的压力调节紊乱，换挡失灵等，进一步影响正常效能的发挥。

设定输出油压采样周期为0.1 s，给电磁阀输入

一个4 rad/s，电压为24 V的直流电压信号，运行时间设置为1.0 s。笔者利用AMESim软件的批处理功能进行动态和非线性性能分析，结果如下。

3.1 油泵效率降低

当油泵出现故障时，泵的效率降低会导致输出油液的体积和压强都减小，如图7所示。根据图7可以看出，在0.45 s时，由于液压缸流量减小，导致调压阀输出油压降低约为0.25 MPa，造成进入离合器活塞腔的压力降低，进一步造成换挡不平顺，会使得换挡延迟，影响后续的工作流程。

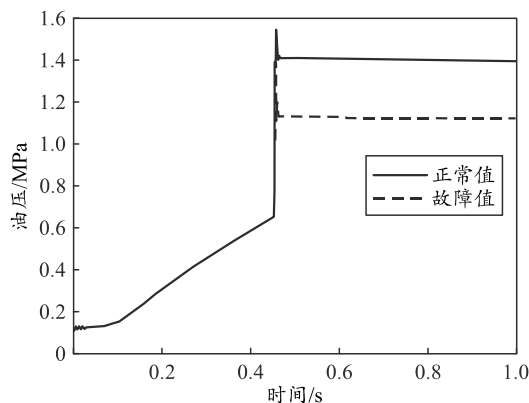


图7 2种状态下调压阀输出曲线

3.2 调压阀阀芯卡滞

如图8所示，当调压阀芯卡滞时，主调压阀在0.13 s的油压压力小于系统油压，造成了压力差的存在，不利于整个换挡系统进行平稳换挡，也会造成部分液压油回流油管，导致散热困难，使部分油管以及阀芯寿命减少。

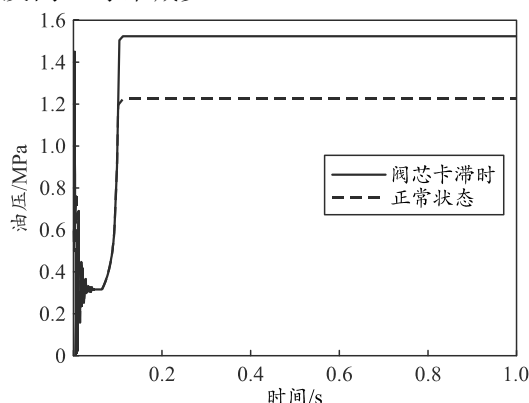


图8 主控调压阀压力变化曲线

由图8可以看出：在快速冲油阶段，时间控制在0.02 s左右，这段时间要求尽可能短。主调压阀的输出压力进入调压阀油腔，整个压力变化过程接近于离合器的冲油特性曲线^[6]。从主调压阀到调压阀再到离合器活塞腔，油压的调节符合一个循序渐

进的过程，最终经过调压阀的调节控制，输出的油压在时间上及压力大小上最终满足离合器油腔所需压力的大小，满足换挡要求。然而在调压阀卡滞的情况下，主调压阀的输出压力降低，在同样条件下，不能满足驱动离合器活塞运动到规定的位置，导致换挡不便，影响装备的作战效能的发挥。

4 结论

1) 调压阀的输出特性直接决定了离合器换挡过程中的平稳性，从而影响到车辆的换挡品质，调压阀芯容易出现卡滞现象^[7]，在该型装甲车辆维修保养时，当测得的调压阀输出油压的压力在建立过程中出现过早或推迟现象，可以考虑检查阀芯是否卡滞，并及时更换。

2) 根据将主调压阀的输出油压和理论冲油特性曲线对比，发现换挡控制系统内部存在耦合关系。

3) 在阀芯卡滞以及油泵效率降低(液压油缸流量较小)时，会降低调压阀的输出压力，进一步会减

(上接第 48 页)

由图 6 可知：在制导段，激光末制导炮弹的命中概率随照射距离的增大而减小，随目标幅员的增大而增大。

图 7 是 $E_m=0.3\text{ m}$ 和 $E_m=0.5\text{ m}$ 的计算结果，显然，在相同的照射距离上，对同一目标射击时，激光末制导炮弹的制导精度越高，命中概率越大。

4 结论

通过上述分析发现，在射击过程中，照射误差、制导精度、目标幅员等因素会直接影响激光末制导炮弹的命中精度。其中目标幅员不以指挥员的意志为转移，而照射误差和制导精度可以采取相应措施进行增减：一是加强分队的训练水平，提高激光照射手的业务能力，减小照射误差；二是加强武器系

少阀芯以及油管的寿命，造成换挡不及时，换挡冲击过大，影响装甲车辆的正常作业。在出现换挡时间上的偏差或者挂挡延迟的现象，应该首先考虑这 2 种典型故障是否发生，以便采取相应的措施。

参考文献：

[1] 毛明, 周广明, 邹天刚. 液力机械综合传动装置设计理论与方法[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2015: 12.
 [2] 付永领, 祁晓野. LMS Imagine.Lab AMESim 系统建模和仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 10.
 [3] 艾武, 李承. 电路与磁路[M]. 2 版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 7-22.
 [4] 李瀚荪. 简明电路分析基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 78-102.
 [5] 孟非. 大功率 AT 离合器压力比例控制技术[D]. 北京: 北京理工大学, 2014.
 [6] 金涛涛. 综合传动装置换挡品质优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
 [7] 唐治. 履带车辆综合传动装置电液比例控制系统及其控制方法[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.

统的日常维护保养，确保武器系统始终保持良好的战术技术性能，减小制导误差；三是改进生产工艺或优化设计，提高制导精度。

参考文献：

[1] 刘怡昕. 末制导炮弹射击学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1996: 35-38.
 [2] 刘怡昕. 新弹种射击效力与运用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1994: 46-48.
 [3] 邓开发. 激光技术与应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002: 54-58.
 [4] 中国人民解放军总参谋部军训部. 炮兵射击基础理论[M]. 北京: 解放军出版社, 2014: 56-57.
 [5] 王代智, 戴俊. 霾、雾条件下激光末制导武器作战研究[J]. 兵器装备工程学报, 2012, 33(11): 135-137.