

SCR 尾气后处理系统高精度电磁计量泵设计与研究

廖义德¹, 杨凯¹, 廖昱², 余龙兵¹, 危则¹, 祝俊¹, 高立志³

(1. 武汉工程大学机电工程学院, 武汉 430205;

2. 武汉理工大学自动化学院, 武汉 430070; 3. 湖北天雄科技有限公司, 湖北 黄冈 438200)

摘要:针对 SCR 尾气后处理系统研制了一种的高精度电磁计量泵,介绍了其结构与工作原理。介于电磁泵是由机、电、磁、液强耦合的复杂系统,采用传统方法研究较为困难,因此运用 AMESim 对电磁泵进行了建模与仿真分析,得到了电磁泵的相关参数曲线,并进一步探究了电磁线圈匝数与复位弹簧刚度系数对电磁泵流量的影响。在仿真的基础上对电磁泵样机进行了大量的试验,并将试验与仿真结果进行了对比分析,研究表明:电磁泵整体性能良好,其响应特性、线性度、稳定性、精度等性能均能满足 SCR 系统需求。

关键词:尾气处理;SCR 系统;电磁泵;AMESim 仿真

中图分类号:TH35

文献标志码:A

引言

近年来,雾霾、光化学烟雾等空气污染问题日益突出,汽车尾气作为空气污染源之一,受到了人们的广泛关注,其中 NO_x 作为汽车尾气排放的主要污染物,对人体有着较为严重的危害。随着我国汽车保有量不断攀升,我国对汽车尾气排放标准也不断严格,相继推出和实施的国 VI 和国 V 排放标准均对汽车尾气中 NO_x 排放量有着严格的要求,汽车尾气脱硝技术现已成为全球研究的热点问题。

SCR(Selective Catalytic Reduction)即选择性催化还原技术凭借其诸多优点目前已被全球许多汽车工业发达国家广泛应用于汽车尾气处理系统。我国相关企业和科研单位也开展了 SCR 尾气后处理技术的自主研发工作,如一汽、潍柴、玉柴、重汽等,取得了较为丰富的研

究成果,但由于起步较晚,离商用还有距离,仍需要开展大量的研究工作^[1]。

电磁计量泵作为 SCR 系统的核心部分,主要用于尿素溶液的供给,其响应特性、稳定性、线性度、精度等性能均对 SCR 系统有着重要的影响。因此,开展电磁泵的研究工作对实现我国 SCR 尾气后处理技术的自主产业化具有重要的指导意义。

1 结构与工作原理

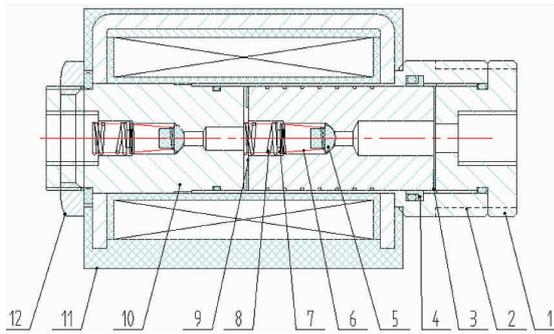
根据 SCR 系统的需求,研制了一种新型电磁泵,其结构原理图如图 1 所示。

电磁泵由 PWM 脉宽电路控制,电磁泵工作时,线圈通电,铁芯被磁化产生电磁力将动铁芯吸合,工作腔内压力随容积减小而升高,克服出口端单向阀弹簧作用力和出口背压将腔内尿素溶液排出。线圈断电后电磁力

收稿日期:2014-06-06

基金项目:国家 863 计划项目(2012AA111716)

作者简介:廖义德(1963-),男,湖南衡阳人,教授,博士,主要从事流体传动与控制方面的研究,(E-mail)whgedxl@163.com



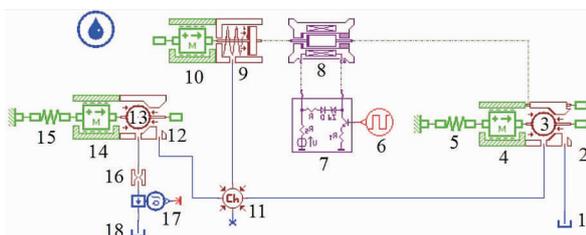
1. 进口接头 2. 套管 3. 垫片 4. 密封组件 5. 单向阀芯
6. 单向阀弹簧 7. 挡圈 8. 复位弹簧 9. 动铁芯 10. 定铁芯
11. 线圈组件 12. 锁定螺母

图1 电磁泵结构与原理图

衰减,动铁芯在复位弹簧弹力的作用下复位,使工作腔容积增大压力降低,并克服进口端单向阀弹簧作用力将尿素罐中的尿素溶液吸入工作腔内。电磁泵周期性工作,动铁芯往复运动,实现尿素溶液的稳定供给。

2 建模与仿真分析

电磁泵是由机、电、磁、液强耦合的复杂系统,采用传统方法进行研究具有一定的难度,因此为了更好的了解电磁泵的性能,缩短设计周期,降低研制成本,运用多学科领域复杂系统建模与仿真平台 AMESim 对其进行了研究分析,为电磁泵的性能优化提供相关的理论依据。电磁泵 AMESim 仿真模型如图 2 所示。



1. 尿素罐 2. 动铁芯 3、13. 单向阀 4、14 单向阀质量块
5、15 单向阀弹簧 6. 方波输入信号 7. 电路组件 8. 线圈组件
9. 复位弹簧 10. 动铁芯质量块 11. 可变容积腔 12. 定铁芯
16. 喷嘴 17. 流量传感器 18. 喷射腔

图2 电磁泵 AMESim 仿真模型图

根据电磁泵物理模型对其 AMESim 仿真模型的相关几何参数进行了设置,其它参数设置见表 1。

为了观察电磁泵在一个周期内的响应特性,设置仿真时长为 40 ms,打印步长为 1 ms,得到电磁泵相关参数曲线如图 3 ~ 图 5 所示。

表 1 电磁泵仿真参数设置表

参数类型	参数值
直流电压, U / V	24
频率, f / Hz	25
占空比	30%
线圈匝数, n	400
复位弹簧刚度系数, $K_1 / \text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	5
复位弹簧预压缩量, l_1 / mm	2
单向阀弹簧刚度系数, $K_2 / \text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	0.15
单向阀弹簧预压缩量, l_2 / mm	3

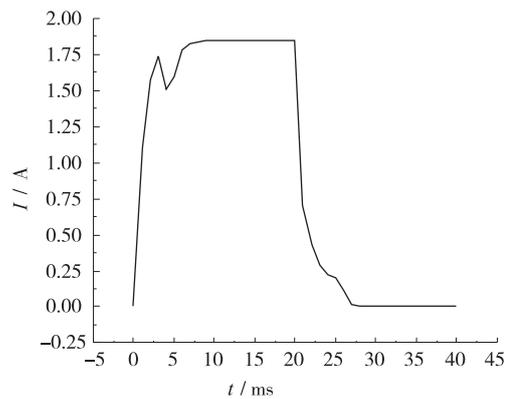


图3 电磁线圈中电流曲线

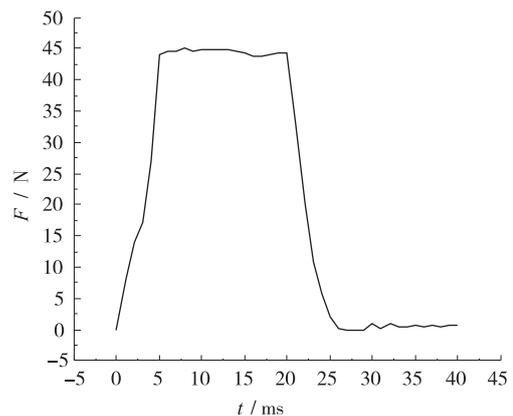


图4 铁芯电磁力曲线

从图 3、图 4 可以看出,当线圈通电时,线圈内电流并没有突然升高达到最大值,这是由电磁感应定律所决定的,并且随着电流的增大磁力也不断增大。从图 4、图 5 可以看出,在线圈通电初期,由于电磁力增加缓慢,电磁力不足以克服复位弹簧弹力、摩擦力以及动铁芯的惯性力,导致动铁芯吸合时出现短暂的延迟现象。

当线圈断电时,线圈中电流并没有突然消失,而是逐渐衰减为零,这是由于线圈中产生感应电流所导致的,同时由于磁滞现象的存在,使得电磁力衰减较为缓

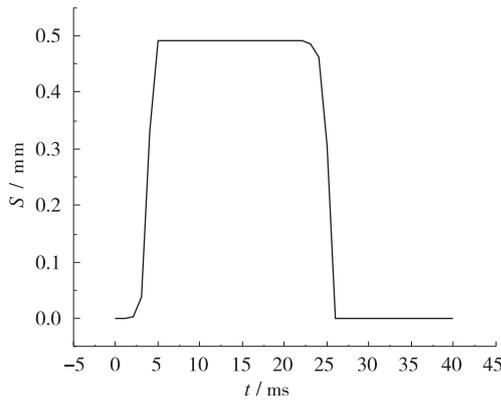


图 5 动铁芯位移曲线

慢,复位弹簧的弹力不足以克服断电初期回路中剩余电磁力,摩擦力及动铁芯的惯性力,使动铁芯复位时也出现一定的延迟。

动铁芯这种运动延迟现象是由电磁回路自身的特性所决定的,因此无法消除。由图 3 ~ 图 5 可以看出,延迟时间较短,这表明电磁泵响应较为灵敏;线圈内电流、电磁力以及动铁芯的运动均没有出现较大的波动,这表明电磁泵的稳定性也较好。

图 6 为电磁泵在 1 s 内的流量曲线,从曲线可以看出流量沿阶梯状上升,这是由电磁泵的工作方式决定的。当电磁泵几何参数确定后,电磁泵工作腔容积周期性变化量是相同的,故电磁泵周期性排出的尿素溶液也是等量的。一个周期内工作腔容积变化 V 为:

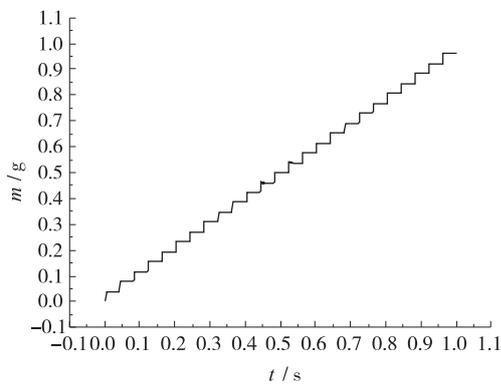


图 6 电磁泵流量曲线

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 s \quad (1)$$

则电磁计量泵每分钟的质量流量 Q 为:

$$Q = \rho V n \quad (2)$$

式(2)中: D 为动铁芯直径,mm; S 为柱塞行程,mm; ρ 为

液体密度, $\text{g}\cdot\text{mm}^{-3}$; n 动铁芯为每分钟往复运动次数, min^{-1} 。因此,在 PWM 脉宽电路控制下,通过调节输入电压的频率和占空比可以精准的调节电磁泵的输出流量。

图 7 与图 8 分别为不同线圈匝数与复位弹簧刚度系数对动铁芯运动性能的影响,动铁芯的位移曲线能够较好的反应电磁泵的响应特性与稳定性。

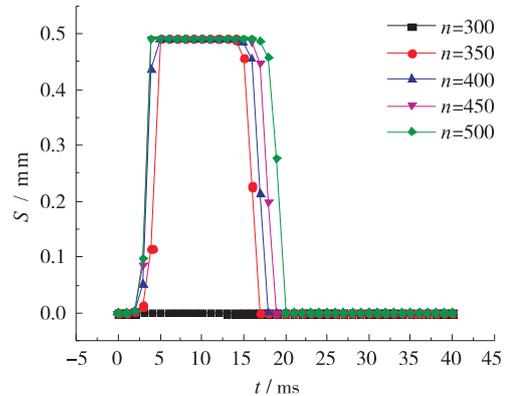


图 7 不同电磁线圈匝数下动铁芯位移曲线

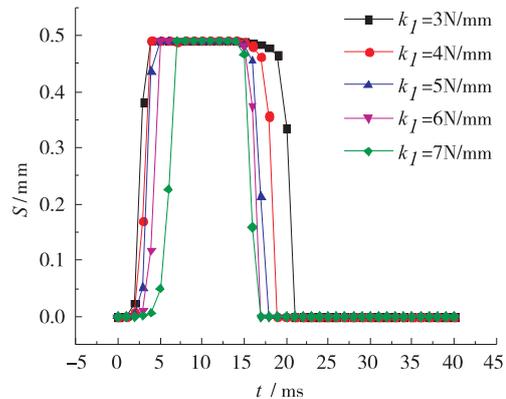


图 8 不同复位弹簧刚度系数下动铁芯位移曲线

线圈匝数是电磁泵设计时的一个重要参数,合理选择线圈匝数能有效提高电磁泵的性能。从图 7 中可以看出,当线圈匝数为 300 匝时,由于电磁力过小而无法使动铁芯吸合;但当线圈匝数为 500 匝时,动铁芯吸合响应较快,但复位延时现象较为严重。从图 7 中可以看出,线圈匝数为 400 匝,其整体响应性能较好。

复位弹簧的刚度系数对电磁泵的性能也有较大的影响。从图 8 中可以看出,当刚度系数为 3 N/mm 时,吸合响应快,复位响应慢;当刚度系数为 7 N/mm 时,吸合响应慢,复位响应快。因此为了使动铁芯整体响应性能

良好,选择复位弹簧刚度系数为 5 N/mm。

3 试验与分析

电磁泵设计与仿真完成后,进行了样机试制,并对样机进行了大量试验来检验电磁泵的各项性能,图 9 为电磁泵试验图。



图9 电磁泵流量测试图

线性度与精度是电磁泵的主要性能指标,为了验证电磁泵的线性度与精度,随机抽取了 10 件样机进行对比试验,10 件样机在不同频率下的流量曲线如图 10 所示。

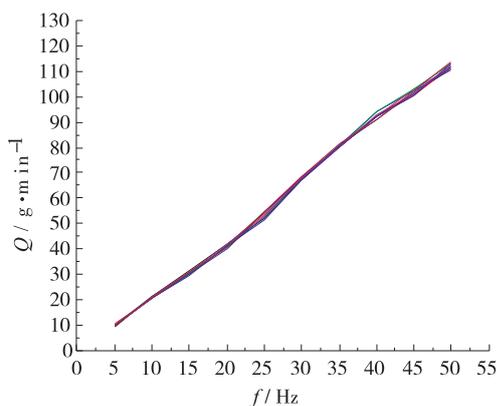


图 10 10 件样机不同频率下的流量曲线

从图 10 可以看出,电磁泵整体性能较为稳定,虽然不同样件之间流量存在少许波动,但仍在误差允许范围内。造成波动的原因可能是由于加工过程产生的偏差或测量误差所引起的;随着频率升高,10 件样机流量均沿线性增加,这表明电磁泵的线性度较好;同时可以看出,电磁泵流量调节范围广,当频率在 5 ~ 50 Hz 范围内变化时,输出流量可在 5 ~ 116 g/min 范围内调节。

图 11 为 10 件样机在不同频率下的平均流量与 AMESim 仿真流量对比曲线,从图中可以看出,在不同频率下两条流量曲线基本吻合,仅在频率 10 ~ 30 Hz 范围

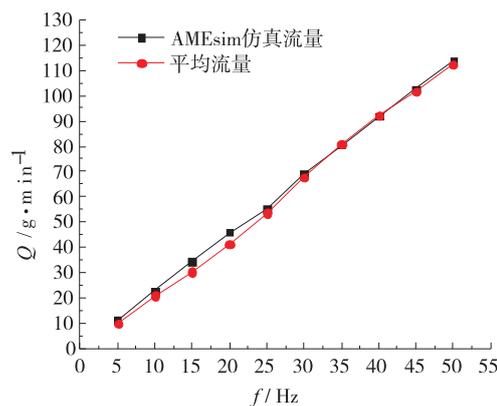


图 11 不同频率下流量对比曲线

内存在少量偏差,这表明电磁泵的精度较高。

4 结论

本文基于多学科领域复杂系统建模与仿真平台 AMESim 对 SCR 尾气后处系统高精度电磁计量泵进行了仿真分析,并对其原理样机进行了大量的试验研究,结果表明:

(1) 电磁泵整体性能良好,其响应特性、线性度、稳定性、精度等性能均满足指标要求。

(2) 合理选择电磁线圈匝数与复位弹簧刚度系数能有效提高电磁泵的响应性能。

(3) 电磁泵流量调节范围广,其流量可在 5 ~ 116 g/min 范围内有效调节,满足 SCR 系统的工作需求。

参考文献:

- [1] 陶建忠.利用选择性催化还原反应 SCR 降低车用柴油机氮氧化物的技术研究[D].济南:山东大学,2008.
- [2] 张建锐.重型柴油机 SCR 尿素喷射控制策略研究[D].吉林:吉林大学,2011.
- [3] 胡振奇.重型柴油机 SCR 系统尿素喷射控制策略研究[D].吉林:吉林大学,2012.
- [4] Gekas I,Vressner A, Johansen K.NO_x reduction potential of V-SCR Catalyst in SCR/DOC/DPF configuration targeting Euro VI limits from high engine NO_x levels [C]//2009 SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Congress. SAE, San Antonio, November 2-4, 2009:1-11.

- [5] Tang zhongping, Sun Dingwei, Xu xiaohong, et al. Heavy-Duty Diesel Engine Lubricants for a Chinese Market: Developing an Additive Formulating Technology to Meet the Requirements of Chinese OEMs [C]//2008 SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Congress. SAE, Shanghai, June 23-25, 2008:1-8.
- [6] 夏胜枝, 周明, 李希浩, 等. 高速强力电磁阀的动态响应特性[J]. 清华大学学报, 2002, 42(2):258-261, 277.
- [7] 麦云飞, 段振霞, 张永亮, 等. 利用 AMESim 的 SCR 系统尾气处理泵的优化设计与仿真研究[J]. 现代制造工程, 2012(11):40-44, 13.
- [8] 张廷羽, 张国贤. 高速开关电磁阀的性能分析及优化研究[J]. 机床与液压, 2006(9):139-142.

Design and Research for High Precision Electromagnetic Metering Pump of SCR Exhausts Treatment System

LIAO Yide¹, YANG Kai¹, LIAO Yu², YU Longbing¹, WEI Ze¹, ZHU Jun¹, GAO Lizhi³

(1. School of Mechanical & Electrical, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China; 2. School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 3. Hubei Tianxiang Technology Co., Ltd., Huanggang 438200, China)

Abstract: Aiming at solving SCR exhausts treatment system, a new type of high precision electromagnetic metering pump was developed and its structure and working principle was introduced. The complex system of electromagnetic pump consists of machine, electricity, magnetism and liquid which highly coupled together. Thus the simulation model of electromagnetic pump was established by AMESim and the related parameters of electromagnetic pump curve are obtained. Further research on electromagnetic coil number of turns and reset spring stiffness coefficient were conducted to find the impact for electromagnetic pump mass flow. Based on simulation model of electromagnetic pump, a large number of experiments were carried out. The research results show that the response, linearity, stability and accuracy for overall fine performance of the electromagnetic pump can meet the SCR system requirements.

Key words: exhausts treatment; SCR system; electromagnetic pump; AMESim simulation