

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.04.014

磁回复高速开关电磁铁仿真分析

李 威^{1,2}, 胡旭东¹, 李其朋^{2*}

(1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江科技学院 机械与汽车工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 针对高速开关电磁铁的机械弹簧回复机构存在的问题, 提出了一种新型的磁回复高速开关电磁铁。采用磁弹簧替代机械弹簧, 简化了高速开关电磁铁的机械结构, 并解决了因机械弹簧疲劳破坏而导致高速开关电磁铁失效的问题; 基于 Ansoft/Maxwell 仿真建模平台, 建立了磁回复高速开关电磁铁的仿真计算模型, 分析并探讨了环形永磁体的长度、衔铁端面的沉孔深度以及后端盖深 V 槽的槽深和深 V 型槽的槽宽等关键结构参数与衔铁受力之间的关系。研究表明: 永磁体长度、深 V 槽深度和宽度增大, 衔铁受力增加, 且增加到一定值后, 受力趋于饱和; 沉孔深度增大, 衔铁受力减少, 且减少到一定值后, 受力趋于平缓。综合考虑衔铁的受力情况以及实际设计要求, 当环形永磁体长 5 mm, 深 V 槽深 10 mm, 宽 4 mm, 沉孔深 2 mm 时, 推杆的输出特性良好。

关键词: 高速开关; 电磁铁; 磁回复; 仿真分析

中图分类号: TH137.52; TM574 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)04-0444-03

Simulation analysis of high-speed on-off solenoid returned by permanent magnetic force

LI Wei^{1,2}, HU Xu-dong¹, LI Qi-peng²

(1. College of Machinery and Automatic Control, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. School of Mechanical & Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology,

Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at the mechanical spring of the high-speed on-off electromagnetic solenoid, a high-speed on-off solenoid returned by permanent magnetic force was proposed. The magnetic spring was used instead of mechanical spring to simplify the mechanical structure of the high-speed on-off solenoid, and problems of the high-speed on-off solenoid were solved because of mechanical spring fatigue failure. The simulation analysis of the main structure parameters, such as the annular permanent magnet length, countersink's radius of plunger, the groove's depth and width of endcover, were performed using Ansoft/Maxwell. The results indicate that the annular permanent magnet length, the groove's depth and width increase, force of armature increases and has a maximal value; countersink's depth of plunger increases, force of armature decreases and has a minimal value. Considering the force condition of the armature and optimal design parameters selection, the output characteristics of push rod is good with the annular permanent magnet's length of 5 mm, the groove's depth and width of 10 mm and 4 mm, and counterbore's depth of 2 mm.

Key words: high-speed on-off; electromagnetic solenoid; returned by permanent magnetic force; simulation analysis

0 引言

近年来, 由于人们对高频响、抗污染能力强、成本低廉的电液控制系统的新需求, 传统的开关阀换向频率低

和电液伺服阀抗污能力差、价格昂贵等不足已经越来越不能满足人们的要求。而高速开关阀具有能耗低、对污染不敏感、结构简单、价格便宜、工作精度较好、响应速度较高等特点, 而且高速开关阀可与计算机直接相连,

收稿日期: 2012-11-07

作者简介: 李 威(1988-), 男, 浙江温州人, 主要从事开关电磁铁方面的研究. E-mail: levi19880207@163.com

通信联系人: 李其朋, 男, 副教授, 硕士生导师. E-mail: lqgzust@163.com

以完成对被控对象的控制任务。在汽车、工程机械和农业机械等诸多领域,高速开关阀都被广泛应用。高速开关电磁铁是高速电磁开关阀的关键驱动部件,其性能直接决定了液压阀及系统的工作特性^[1-9]。因此,高速开关电磁铁成为了国内外的研究热点。

但是,目前的高速开关电磁铁多由弹簧机构回复。弹簧在服役过程中,疲劳破坏可造成高速开关电磁铁失效,轻则引起机械失控,重则可引起重大事故,造成人员伤亡^[10-12]。故本研究提出一种磁回复机构代替弹簧机构,并对磁回复高速开关电磁铁进行仿真,探讨磁回复机构对其静态特性的影响。

1 结构与原理

磁回复高速开关电磁铁如图1所示,其结构由衔铁、挡块、外壳、线圈、推杆、端盖、环形永磁体等组成。衔铁在导磁套内可自由移动,衔铁移动带动推杆输出位移。隔磁片的作用是使线圈产生的磁场回路和环形永磁体产生的永磁场回路相对独立,避免互相干扰。在端盖上有一环形槽,环形槽中有一环形永磁体。环形永磁体采用高性能的钕铁硼稀土永磁材料,环形永磁体的作用是提供永磁回复力,使衔铁复位。

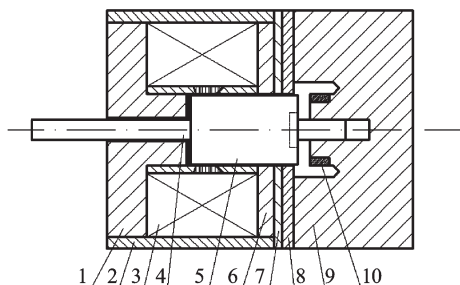


图1 磁回复高速开关电磁铁结构

1—挡块;2—外壳;3—线圈;4—推杆;5—衔铁;6—法兰;
7—隔磁片;8—导磁片;9—端盖;10—永磁体

磁回复高速开关电磁铁的工作原理如图2所示。当线圈未通电时,仅有环形永磁体产生的极化磁场,形成磁路 Φ_1 和 Φ_2 ,在永磁力的作用下,衔铁带动推杆向右运动,直至撞上端盖;当线圈通入一定极性的电流时,线圈产生的控制磁通建立控制磁路,控制磁路经过工作气隙产生电磁力,以克服永磁吸力并向左运动,直至撞到限位片。

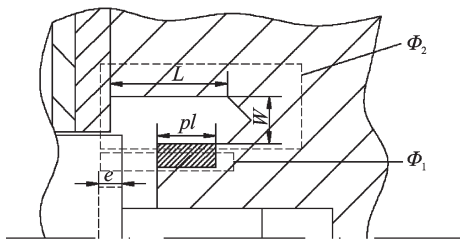


图2 磁回复型高速开关电磁铁工作原理示意图

2 仿真

2.1 仿真建模

本研究在有限元仿真软件Ansoft/Maxwell中建立了磁回复型高速开关电磁铁仿真模型。由于磁回复高速开关电磁铁为轴对称结构,笔者建立的仿真模型取一半的结构,可节省计算仿真时间,且不影响精度。

本研究在Ansoft/Maxwell中设置模型的材料。衔铁、挡块、外壳、法兰、导磁片等由导磁材料纯铁DT4制成,它的磁化曲线如图3所示。隔磁片、隔磁套由非导磁材料铜或铝制成。环形永磁体由钕铁硼稀土永磁材料制成,水平磁化。

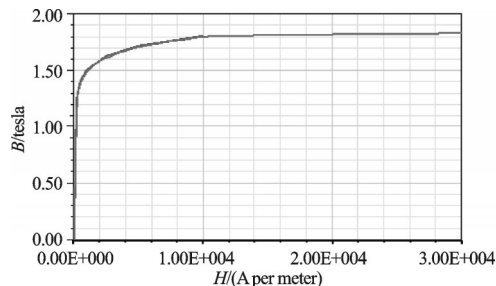


图3 纯铁磁化曲线

在有限元软件中,网格划分关系到计算精度以及计算时间。在Ansoft/Maxwell中,本研究对磁回复高速开关电磁铁模型采用三角形网格划分,并对衔铁端部、环形永磁体及工作气隙等关键部位进行了网格加密,网格划分图如图4所示。

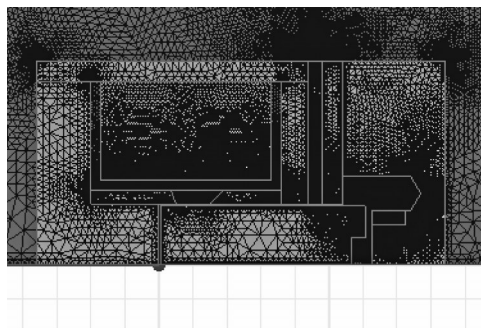


图4 网格划分

在Ansoft/Maxwell中,本研究选择求解域的边为气球边界,选择中心轴线为对称边界。设置环形永磁体长度、深V槽深度和宽度、衔铁上的沉孔深度等主要结构参数作为求解的参数变量,并添加求解设置,运行软件求解。

2.2 参数分析

磁回复高速开关电磁铁主要结构参数如图2所示,有环形永磁体长度、深V槽深度和宽度、衔铁上的沉孔深度。

基于如图1所示结构的磁回复高速开关电磁铁,通过改变上述结构参数,笔者对模型的静态特性进行

了仿真分析。由于衔铁靠近环形永磁体0.2 mm后,永磁力急剧增大,呈非线性增长。为了使衔铁在回复行程中受力呈线性化,本研究在分析时取衔铁和环形永磁体之间的距离为0。磁回复高速开关电磁铁关键结构参数对衔铁受力影响图如图5所示。仿真结果表明:

(1) 如图5(a)所示,在无激励源时,当环形永磁体的长度变长时,衔铁受到的永磁力也相应增加,当环形永磁体长度增长到5 mm后再继续增长时,衔铁受到的永磁力变化则趋于平缓。

其原因为:当环形永磁体长度增加时,相当于磁体体积增大,衔铁受力变大;当环形永磁体长度增长到5 mm后再继续增长时,通过衔铁的磁通量不再增加,衔铁受到的永磁力趋于平缓。

(2) 如图5(b)所示,深V槽的深度增加,衔铁受到的永磁力也增大,当深度增加到10 mm后再继续增加时,衔铁受到的永磁力则增加缓慢,趋于平缓。

其原因为:当深V槽的深度增加,磁路 Φ_2 不经过工作气隙的漏磁减少,衔铁受到的永磁力增加;当深V槽的深度增加到10 mm后再继续增加时,由于磁路 Φ_2 不经过工作气隙的漏磁不再减少,所以衔铁受到的永磁力不再增加。

(3) 如图5(c)所示,深V槽的宽度增加,衔铁受力增加,当槽宽增加到4 mm后再继续增加时,则衔铁受力趋于平缓。

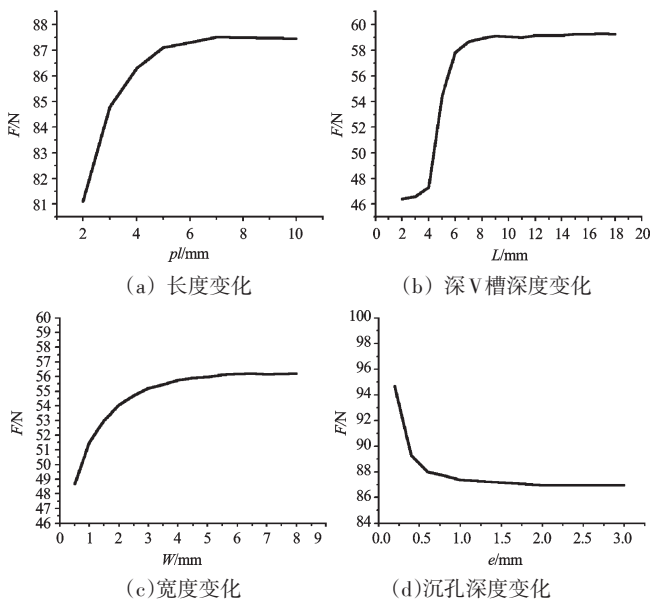


图5 磁回复高速开关电磁铁关键结构参数对衔铁受力影响图

其原因为:深V槽槽宽增加,磁路 Φ_2 的漏磁减少,致使衔铁受力增加;当深V槽槽宽增加到4 mm后再继续增加时,由于磁路 Φ_2 的漏磁不再减少,则衔铁受力趋于平缓。

(4) 沉孔内径远小于环形永磁体内径时,沉孔深

度增加对磁路 Φ_1 和 Φ_2 不大;当沉孔内径与环形永磁体内径相同时,如图5(d)所示,沉孔深度增加,衔铁受力减少,当沉孔深度增加到1 mm后再继续增加时,衔铁受力则趋于平缓。

其原因为:沉孔深度增加,磁路 Φ_1 磁阻增加,致使衔铁受力减小;当沉孔深度增加到1 mm后再继续增加时,磁路 Φ_1 中一部分磁路改变路径,不再通过沉孔,衔铁受力不再减少。

3 结束语

本研究提出了一种基于磁弹簧的高速开关电磁铁结构,并就其关键结构参数进行了仿真分析。

仿真结果表明:永磁体长度、深V槽深度和宽度增加,衔铁受力增加,当增加至一定值后,衔铁受力趋于饱和;沉孔深度增加,衔铁受力减少,当增加至一定值后,衔铁受力趋于平缓。笔者综合考虑整段行程中衔铁的受力情况以及制造和装配情况,当环形永磁体长5 mm,深V槽深10 mm,宽4 mm,沉孔深2 mm时,推杆输出特性良好。

参考文献(References):

- [1] FANG P, DING F, LI Q P, et al. High-response electromagnetic actuator with twisting axis for gravure system [J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2009, 45(1): 172-176.
- [2] KIM J, CHANG J H. A new electromagnetic linear actuator for quick latching [J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2007, 43(4): 1849-1852.
- [3] 向 忠, 陶国良, 谢建蔚, 等. 气动高速开关阀动态压力特性仿真与试验研究 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2008, 42(5): 845-849.
- [4] 满 军, 丁 凡, 李 勇, 等. 耐高压大行程高速开关电磁铁的动态特性 [J]. *煤炭学报*, 2010, 35(5): 871-875.
- [5] 孟爱华, 项占琴, 吕福在. 微型超磁致伸缩高速阀致动器的优化设计 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2006, 40(2): 216-220.
- [6] 李 勇, 丁 凡, 李其朋, 等. 低功耗耐高压双向线性力马达静态力特性研究 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2009, 43(1): 135-137.
- [7] 崔 剑, 丁 凡, 李其朋. 耐高压双向旋转比例电磁铁的静态力矩特性 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2007, 41(9): 1578-1581.
- [8] 满 军, 丁 凡, 李其朋, 等. 永磁屏蔽式耐高压高速开关电磁铁 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2012, 46(2): 309-314.
- [9] 施光林, 钟廷修. 高速电磁开关阀的研究与应用 [J]. *机床与液压*, 2001(2): 7-9.
- [10] 田玉坤, 陈志海. 一种新型变压器用爆破式压力释放阀 [J]. *变压器*, 2002(5): 47-48.
- [11] 方斯地, 彭 伟, 章巧芳, 等. 电动喷枪电磁铁动态特性仿真与实验研究 [J]. *轻工机械*, 2011, 29(3): 18-21.
- [12] 谭宗荣. 液压挖掘机限速阀复位弹簧的失效故障分析 [J]. *工程机械*, 1995(7): 33-35. [编辑: 张 翔]