

不同端面结构电磁开关的电磁力分析

夏利波, 吴建华*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对“汽车起动机电磁开关的端面结构不同”问题,在了解电磁开关基本原理的基础上,利用 ANSYS 有限元软件,比较分析了平顶型结构和锥顶型结构电磁开关的性能特点,并选择合适的端面结构和不同的结构尺寸变化进行了进一步分析。计算了平顶型铁心倒角长度和锥顶型铁心锥角的结构参数对电磁力的影响。实验结果验证了不同端面结构电磁开关的吸力特性,该结果对电磁开关设计具有指导意义。

关键词:电磁开关;端面结构;电磁力;有限元

中图分类号:TH122;TM57

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)07-0891-05

Electromagnetic force analysis of solenoid actuator with different end-structures

XIA Li-bo, WU Jian-hua

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at different end-structure of the solenoid actuator, the electromagnetic force of the solenoid actuator was analyzed using the finite element method(FEM) software ANSYS. The performance between the flattened structure and cone-type structure was compared based on learning basic principles. The suitable end-structures and different sizes-changes were analyzed by selecting. The influence of structure parameters on electromagnetic force such as chamfer length of the flattened structure core and angle changes of cone-type structure was calculated. Experiment results verifies the attraction force characteristic of solenoid actuator with different end-structures. The conclusion is useful for follow research.

Key words: solenoid design; end structure; electromagnetic force; finite element method(FEM)

0 引言

汽车起动机电磁开关有多种结构,最为常用的是平顶型和锥顶型。它有两方面的作用:①在启动时,接通主电路使起动机启动;②通过拉动拨叉使单向器与发动机飞轮啮合。因此它是起动机可靠工作的关键部件,其结构类型和参数尺寸的选择将直接影响起动机的启动性能。电磁开关触点系统的一次进程、二次进程、触点初压力和触点终压力等参数选择,吸力特性和反力特性的匹配问题是其设计的关键,合理选择动铁心和静铁心端面结构和尺寸对吸力特性有着非常重要的影响^[1-3]。

文献[4]介绍汽车起动机电磁开关设计过程中设

计参数的选择、合理的匹配特性及工作原理。由于磁性材料的非线性以及磁路的漏磁效应,可以利用有限元求解电磁力,但关于电磁开关的设计和结构参数对电磁力的影响文献极少。本研究利用 ANSYS 有限元软件对不同端面结构电磁开关进行研究,分析结构参数对电磁开关性能的影响,并进行了实验^[5-7]。

1 电磁开关的结构和基本原理

1.1 电磁开关的基本结构

汽车起动机的电磁开关主要由吸拉线圈、保持线圈、动铁芯、静铁芯、挡板、外壳、返回弹簧、缓冲弹簧、顶齿弹簧等组成。由于动静铁心端面不同,其结构主

收稿日期:2010-11-29

作者简介:夏利波(1985-),男,浙江舟山人,主要从事汽车起动机与电磁开关的设计方面的研究。E-mail: xialibo13@163.com

通信联系人:吴建华,男,教授,硕士生导师。E-mail: hzjhwu@163.com

要分为两种类型:平顶型和锥顶型,如图 1 所示。

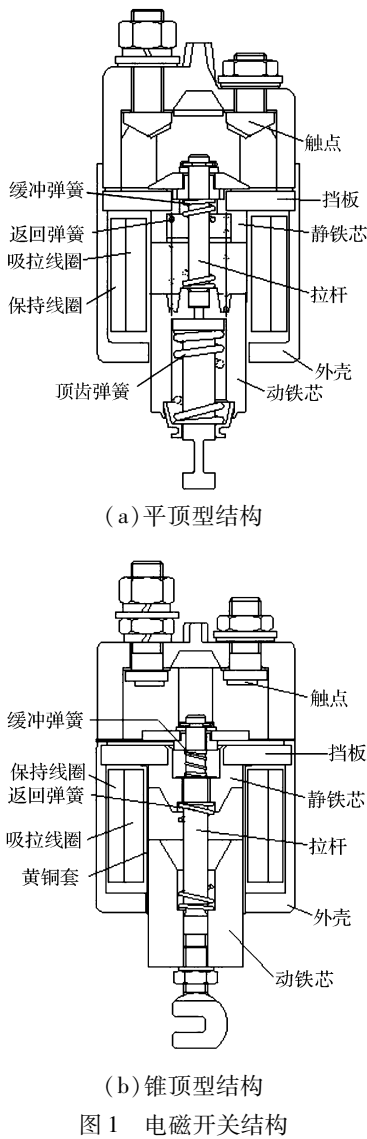


图 1 电磁开关结构

本研究以 DK119 平顶型和 DK121 锥顶型电磁开关为例,平顶型和锥顶型电磁开关的静铁芯和动铁芯端面结构差异很大,如图 2、图 3 所示。

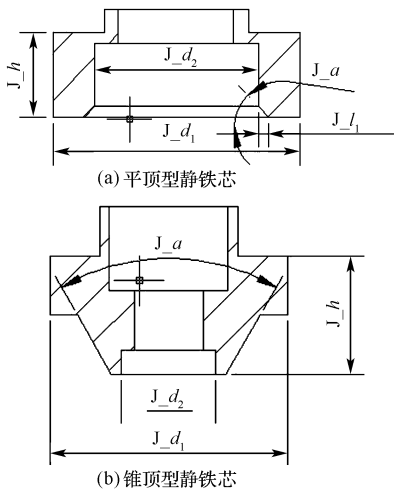


图 2 静铁芯结构

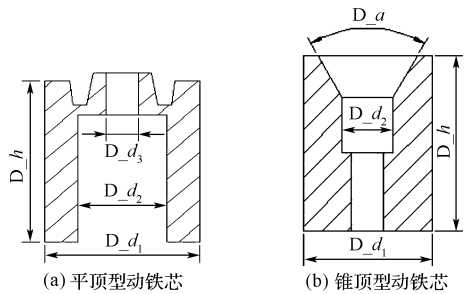


图 3 动铁芯结构

平顶型 DK119 和锥顶型 DK121 的静铁芯参数和动铁芯参数如表 1、表 2 所示。

表 1 静铁芯参数

	DK119 静铁芯	DK121 静铁芯
外径 J_{d_1} /cm	2.4	2.4
内径 J_{d_2} /cm	1.59	0.95
锥角 J_a	45°	60°
高度 J_h /cm	0.8	1.9
倒长 J_{l_1} /cm	0.1	—

表 2 动铁芯参数

	DK119 动铁芯	DK121 动铁芯
外径 D_{d_1} /cm	2.4	2.4
内径 D_{d_2} /cm	1.36	0.95
高度 D_h /cm	3	3.25
锥角 D_a	—	60°
返内径 D_{d_3} /cm	0.5	—

额定电压 12 V,铁芯、挡板和外壳材料为 10 号钢。外壳外径 5.1 cm,外壳内径 4.58 cm,高度 3.33 cm,挡板外径 4.83 cm,挡板内径 1.4 cm,挡板厚度 0.5 cm。在选择电磁开关的静铁芯和动铁芯时,其端面 and 尺寸参数对电磁开关的电磁力有很大的影响。

1.2 电磁开关的基本原理

电磁开关多数采用双线圈,在起动时,电磁开关的吸拉线圈和保持线圈的电路接通并产生电磁吸力。当克服返回弹簧的反力时,拉杆在两线圈的共同作用下产生位移,同时也拉动拨叉使单向器和发动机的飞轮齿轮啮合^[8-9]。在触点接触时,吸拉线圈被短路,只靠保持线圈的电磁力吸住动铁芯,电磁开关原理图如图 4 所示。

根据触电是否闭合,电磁开关吸合工作进程分为一次进程和二次进程。如触点没有闭合,当逐步升高电压大于某一数值时,吸拉线圈和保持线圈产生的电磁力大于返回弹簧作用力使得动铁芯移动,此时这个电压为吸合电压。随着工作气隙的减小,顶齿弹簧也起作用了。当触点闭合后,缓冲弹簧起作用,吸拉线圈被短路,保持线圈产生的电磁力克服各弹簧的反力作

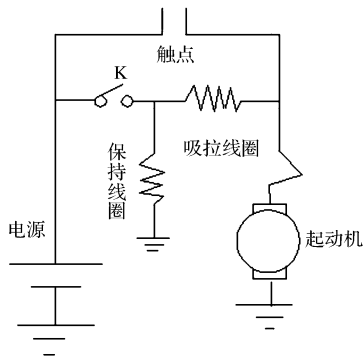


图4 电磁开关动作原理图

用使得起动机可靠运转。在电磁开关动铁芯释放过程中,当逐步降低电压至某一数值时,弹簧反力大于电磁吸力,弹铁芯开始释放,此时电压为释放电压^[10]。为了使电磁开关能正确地动作,吸力特性和反力特性应该合理地匹配,如图5所示。

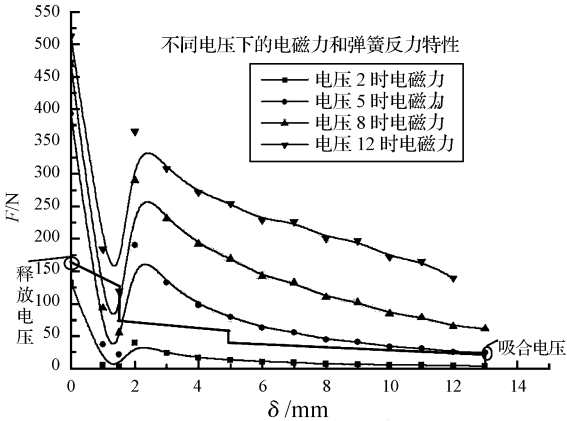


图5 吸力特性和反力特性匹配图

在设计过程中,在初始气隙和闭合气隙时,本研究通过比较吸力特性和反力特性就可以计算出所需要的吸合电压和释放电压。

2 电磁力特性

本研究所设计的平顶型和锥顶型电磁开关参数基本相同,一次进程 11.5 mm,二次进程 1.5 mm,初始工作气隙为 1.3 cm,利用有限元软件进行仿真。

2.1 平顶型和锥顶型的电磁力比较

由于静、动铁芯端面结构的不同,平顶型 DK119 和锥顶型 DK121 电磁开关在不同气隙下有着不同电磁力特点,在工作气隙较小时,它们都有着较大的电磁力,而在气隙较大则反之。在相同电压 6 V、线圈和材料下,通过有限元分析和比较它们的吸力特性,其结果如图6所示。

从图6中可以看出静、动铁芯的端面形状对吸力

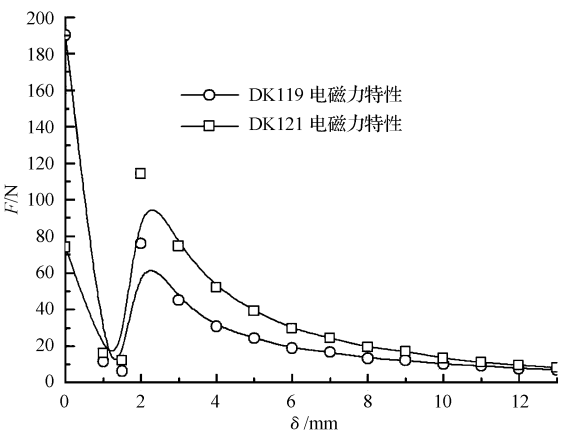


图6 不同端面的电磁力比较

特性有较大的影响,锥顶铁芯吸力特性比平顶铁芯的陡度小。当电磁开关在二次进程吸合工作时,由于工作气隙较小,平顶型 DK119 的吸力特性远远大于锥顶型 DK121 吸力特性。而在一次进程时锥顶型的电磁力大于平顶型。

2.2 平顶型结构参数影响

对于平顶型 DK119 的电磁开关,静铁芯外径 J_{d1} 、内径 J_{d2} 、倒角 J_{a} 、倒角长度 J_{l1} 等都是可以大小调整的量,其变化都是对电磁开关的电磁力能产生不同程度的影响。

当静铁芯外径、内径和倒角不变的情况下,倒角长度分别从 0 mm、0.5 mm、1 mm、2 mm、变化,倒角长度越大,动静铁芯结合面越小。DK119 电磁开关 1/4 建模的 ANSYS 截面图和剖分图如图7所示,在 6 V 电压下,不同的倒角长度尺寸变化对电磁开关性能的影响如图8所示。

从图8中可以得到,不同倒角长度对电磁力有一定的影响。当气隙较大时,其变化对电磁力的影响并不是很明显,但随着气隙减小,接近二次进程后,电磁力随着倒角长度的增大而减小。

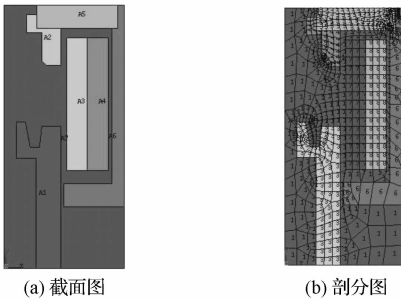


图7 平顶电磁开关截面图和剖分图

2.3 锥顶型结构参数影响

对于锥顶型电磁开关,静、动铁芯锥角(J_{a} , D_{a})、

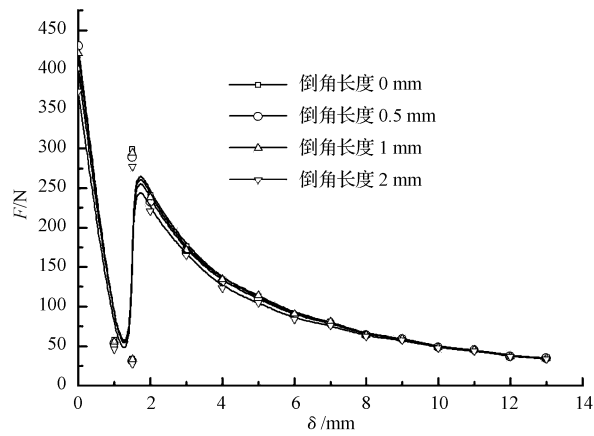


图 8 不同倒角长的电磁力图

外径和内径等是可以调整的量,其变化对吸力特性有着影响。动铁芯锥角 D_a 和静铁芯锥角 J_a 应一致,以利完全吸合。在其他参数不变的情况下,锥角度数分别以 30° 、 45° 、 60° 、 75° 变化,分析和比较了它对电磁开关的吸力特性影响。DK121 电磁开关 1/4 建模的 ANSYS 截面图和剖面图如图 9 所示,在 2.7 V 电压下,不同锥角的变化对电磁力开关性能的影响如图 10 所示。

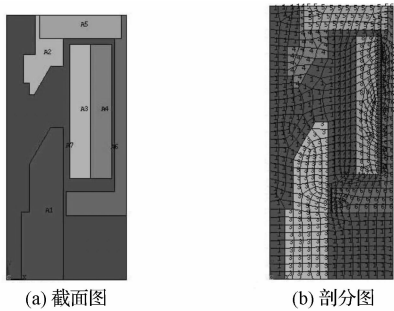


图 9 锥顶电磁开关截面图和剖分图

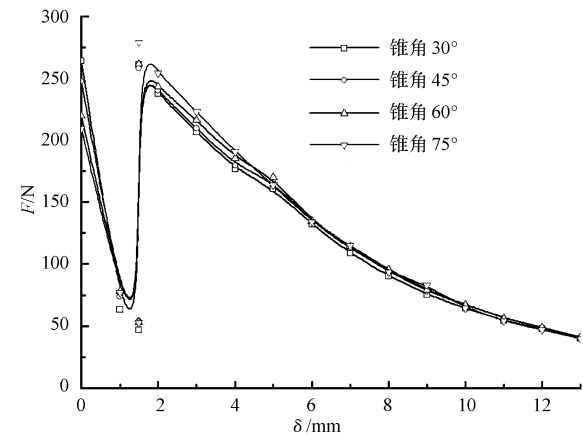


图 10 不同锥角变化的电磁力图

从图 10 中可见,锥角对电磁力的影响比平顶型倒角长度的影响明显要大。当电磁开关工作在二次进程时,电磁力随锥角的增大而增大,而在二次进程时,电磁力随锥角的增大反而减小。

3 实 验

本研究为验证平顶型和锥顶型电磁力特性计算的正确性,对倒角长度为 1 mm 的 DK119 平顶型和锥角为 60° 的 DK121 锥顶型进行了实验,实验装置如图 11 所示。由于线圈电阻较小,为了便于测试,本研究施加电压 2.7 V,测量的电磁力特性,对比图 6,与计算的电磁力特性比较,吻合情况如图 12 所示。

吸合电压和释放电压是电磁开关的重要性能参数,为验证有限元计算结果的准确性,对样机进行了测量比较,结果如表 4 所示。实验结果与计算结果具有良好的一致性。

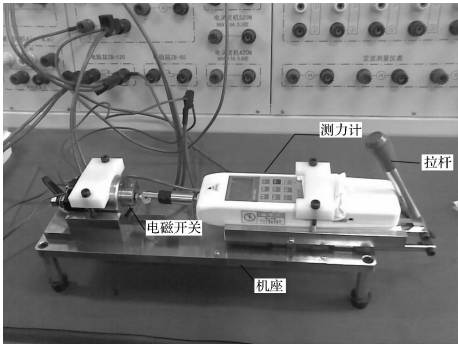


图 11 电磁开关实验图

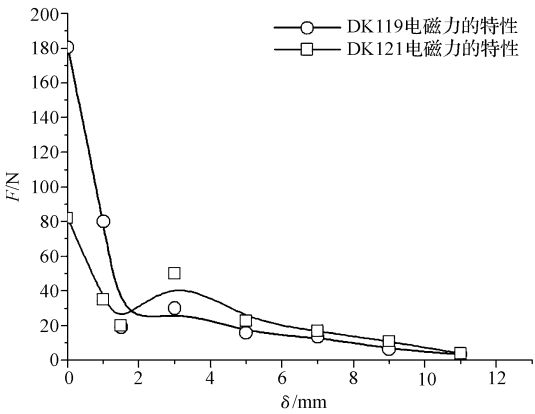


图 12 不同端面的电磁力实验比较

表 4 实验值与计算值比较

电压/V	吸始	吸始	释放	释放
电流/A	电压	电流	电压	电流
DK119				
计算值	4.45	19.89	1.44	1.58
实验值	4.58	20.5	1.48	1.62
DK121				
计算值	3.31	14.81	0.65	0.72
实验值	3.43	15.37	0.71	0.80

4 结束语

电磁开关结构参数和端面形状对电磁吸力特性有着不同影响。锥顶型的吸力特性比平顶型的吸力特性陡度小,能更好地适合负载变化不大的起动机。在气隙小时,平顶型电磁力大,气隙大时则相反,合适启动负载比较小的起动机。平顶型电磁开关倒角长度对电磁力的影响较小,当气隙减小时有一定的影响,其电磁吸力随倒角长度增大而减小。锥顶型电磁开关锥角变化对电磁吸力影响较大,一次进程时,电磁吸力随着锥角增大而减小,在二次进程时则相反,可以通过改变锥角调整电磁开关的吸力特性。在电磁开关设计中,应根据负载特性选择平顶型或锥顶型结构,以获得比较理想的匹配特性。当起动机的启动负载比较大时,应选择锥顶型电磁开关,它能提供较大的电磁力,可以更快地使起动机旋转起来。由于平顶型电磁开关吸力特性比较陡,更适合负载变化比较大的起动机。

参考文献 (References):

[1] 张胜川,边建华. 汽车起动机电磁开关触片触点烧蚀原因

探究[J]. 汽车电机学报,2010(4):28-30.

[2] 娄路亮,王海洲. 电磁阀设计中电磁力的工程计算方法[J]. 导弹与航天运载技术学报,2007,28(7):40-45.
[3] 刘 啸,聂文杰. 电磁阀设计计算[J]. 电气开关,2008(3):11-13.
[4] 温 舜,邹瑞发. 汽车起动机电磁开关设计[J]. 机电工程技术,2001,30(7):24,27.
[5] 邹开凤. 高速电磁阀磁场有限元分析与电磁力计算[J]. 机床和液压学报,2006(6):134-136.
[6] BYUN J K, PARK H, NATH W, et al. Comparison of shape and topology optimization methods for HTS solenoid Design[J]. IEEE Transactions on Applied Super Conductivity,2008,14(2):842-846.
[7] 孙明礼,胡仁喜. ANSYS 10.0 电磁学有限元分析实例指导[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
[8] 贺湘琰. 电器学[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
[9] 夏天伟,丁明道. 电器学[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
[10] 白志红,周玉虎. 电磁铁的动态特性仿真与分析[J]. 电力学报,2004,19(13):200-204.

[编辑:李 辉]

(上接第 866 页)

任何地点通过网络进行实时的监控。此外本研究采用无线远程控制的方案,使得机组迁移后无需布线,不但节省了建设步骤和成本,同时也使得该系统可用于列车等移动的环境。相对于以前的通信终端,笔者所设计的系统具有体积小、结构简单、成本低廉、移动性高、数据吞吐量大的特点,在热泵远程控制系统中具有广阔的应用前景。

参考文献 (References):

[1] 颜诗敏,姜周曙,黄国辉. 基于 S3F9488 单片机的热泵热水器控制器[J]. 机电工程,2009,26(2):34-37.
[2] 肖建忠,许飞云. 气源热泵热水机组控制器设计[J]. 现代电子技术,2007(19):168-172.
[3] LEE P K, LAI L L. A Practical Approach to Wireless GPRS On-Line Power Quality Monitoring System[C]//2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL: [s. n.], 2007:1-7.
[4] 刘世良. GPRS 技术在电能计量计费系统中的应用[J]. 青海电力,2007,26(4):37-39.

[5] 杨永平. 基于 GPRS 的嵌入式数据采集系统设计[D]. 大连:大连理工大学电子与信息工程学院,2007.
[6] ZHOU Hong-liang. GPRS based power quality monitoring system[C]//Proc. IEEE Conf. on Sensing and Control. Tucson, AZ: [s. n.], 2005: 496-501.
[7] 邵向阳,王库,李墨雪. GPRS 无线数据传送在农情监测系统中的应用[J]. 农机化研究,2006(6):186-188.
[8] 郭文海,杨军. CAN 总线与 GPRS 在远程监控系统中的应用[J]. 科技信息,2009(33):29-30.
[9] 卫革. 基于 GPRS 的远程无线数据采集系统设计[D]. 北京:北方工业大学自动化学院,2010.
[10] STMicroelectronics. Programming manual PM0075 [EB/OL]. [2010-10-01]. http://www.stmicroelectronics.com.cn/stonline/stappl/resourceSelector/app?page=resourceSelector&doctype=PROGRAMMING_MANUAL&SubClassID=1169.
[11] STMicroelectronics. STM32F103ZE performance line [EB/OL]. [2010-10-01]. <http://www.st.com/internet/mcu/product/164495.jsp>.

[编辑:李 辉]