

# 电磁阀启闭特性非接触测量方法研究

封锡凯, 李 伟, 李 辉

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 为实现对电磁阀特性进行非接触测量, 通过分析电磁阀动作时周围漏磁场的变化, 设计了一种新型磁敏感器。该磁敏感器结构简单, 操作方便, 通过采取合理的抗干扰措施可充分降低旁磁场的影响, 提高电磁阀漏磁场测量的可靠性。利用本磁敏感器对实际电磁阀的启、闭特性进行了测量。结果表明, 该方法可靠性高, 满足电磁阀非接触测量的需要。

**关键词:** 电磁阀; 磁敏感器; 非接触测量

**中图分类号:** V432-34    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-9374 (2011) 03-0065-03

## Study on non-contact measurement techniques of solenoid valve response characteristics

FENG Xi-kai, LI Wei, LI Hui

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** A new magnetic sensor, which has simple structure and high reliability, is developed by analyzing the change of leakage magnetic field while the solinoid valve is working to meet the requirements of non-contact measurement for the solenoid valve response characteristics of a rocket or missile. The influence of side magnetic field can be minimized and the reliability of the leakage magnetic field detection for the solinoid valve can be improved by adopting rational anti-jamming method. The measurement of the solenoid valve's on-off characteristics are performed with this new magnetic sensor. The results show that the new magnetic sensor can meet the application requirements of non-contact measurement for the solenoid valve's response characteristics.

**Keywords:** solenoid valve; magnetic sensor; non-contact measurement

## 0 引言

航天推进系统中电磁阀主要用于推进剂控制单元, 在出厂前需对其进行性能测试。从测试方

法上, 一直沿用“电流曲线法”来判断电磁阀的吸合释放时间, 从而确定电磁阀的性能。所谓的“电流曲线法”即用一个取样电阻串入电磁阀线圈回路中, 通电使电磁阀动作, 测量电阻两端的电压变化, 描述出电流波形。电磁阀的测试无论

收稿日期: 2010-03-15; 修回日期: 2010-07-21

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目

作者简介: 封锡凯 (1954—), 男, 国家级特级技师, 研究领域为火箭发动机测试与试验技术

是采取电流曲线法还是利用气、液路的通断来判断,均受环境条件的限制,必须采用非接触式的检测方法。研究了一种高灵敏度磁敏传感器,后续配以必要的变换电路,实现了电磁阀启、闭特性的非接触测量,并通过了试验验证。

## 1 电磁阀工作原理及工作过程的磁场变化

### 1.1 电磁阀工作原理

电磁阀主要由固定铁芯、衔铁、线圈、弹簧等零部件组成。通电时,线圈产生电磁力,带动衔铁克服弹簧反作用力运动,阀门打开;断电时,线圈电磁力消失,弹簧推动衔铁返回原位,阀门关闭。某电磁阀内部结构如图1所示。

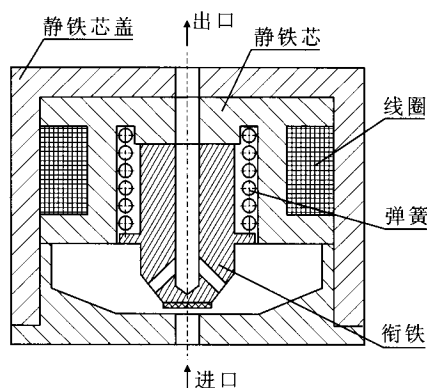


图1 电磁阀结构示意图

Fig. 1 Structure of solenoid valve

### 1.2 电磁阀启、闭过程的磁场变化

电磁阀在开启、关闭过程中会产生瞬变电磁场;电磁阀铁心完全吸合后,进入磁饱和状态,磁场保持恒定。由于电磁阀壳体采用导磁材料,磁力线大部分将通过壳体构成闭环回路,但衔铁与壳体间工作气隙的存在或阀壁厚度的不均匀,一部分磁力线在电磁阀周围产生一定量的磁场,即所谓漏磁。利用对漏磁场的检测即可完成对电磁阀通电和断电特性的检测。

## 2 新型磁敏传感器设计

利用磁敏传感器对电磁阀的测试,就是测量当

电磁阀内部电流变化引起的周围磁场的变化。磁敏传感器测出的磁场变化波形即反映了电磁阀内部的电流特性。所设计的磁敏传感器结构示意图如图2所示。

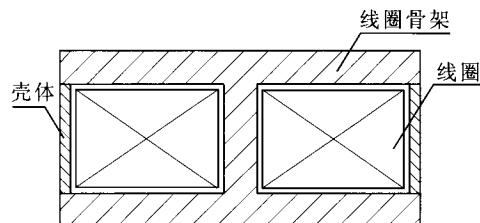


图2 磁敏传感器结构示意图

Fig. 2 Schematic of magnetic-sensor

磁敏传感器主要由线圈、线圈骨架和壳体构成,线圈骨架为高磁导率软磁合金。同电流类似,磁力线总是走磁阻最小(磁导率最大)的路径。电磁阀动作时,漏磁场被磁敏传感器捕获,经线圈骨架的“集束”作用通过线圈内部。

由电磁感应原理

$$e_L = -N \cdot \frac{d\Phi_x}{dt} \quad (1)$$

而

$$\Phi_x \propto i_v \quad (2)$$

式中:  $e_L$  为线圈感应电动势;  $N$  为线圈匝数;  $\Phi_x$  为电磁阀漏磁场;  $t$  为时间;  $i_v$  为电磁阀线圈中的电流。这样,磁敏传感器产生一电压信号,而且与电磁阀线圈电流成正比。经后续电路处理即可完成对电磁阀启、闭特性的非接触测量。

## 3 试验及测试结果

对某电磁阀进行试验,分别利用电流曲线法和磁敏传感器进行检测,试验曲线如图3所示。

从图中波形可分析出电磁阀内衔铁的运动情况,两种测试结果符合性较好。

电磁阀通电时(A点),波形的前沿反映衔铁被吸合的过程;当电磁铁线圈电流大到使衔铁开始动作时,线圈电感增加,反电动势增加,阻止电流继续上升;直到衔铁完全吸合(B点),衔铁在达到吸合位置后停止运动,衔铁运动引起

的反电动势消失, 线圈电流又继续按指数曲线的规律上升至额定值, 而磁敏传感器产生的电压信号因磁饱和而衰减至零。电磁阀的断电过程是上述过程的逆过程, 同样会产生波形跳变。

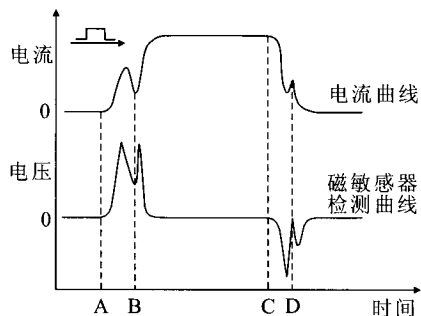


图 3 某型号电磁阀启、闭特性测试曲线

Fig. 3 On-off characteristics of a certain solenoid valve

上述测试结果可准确反映电磁阀的性能。电磁阀的吸合时间  $t_{on}$  定义为从电磁阀开始通电到衔铁完全吸合为止的时间  $t_{AB}$ ; 释放时间  $t_{off}$  定义为从电磁阀开始断电到衔铁完全复位的时间  $t_{CD}$ 。由测试曲线可准确判读电磁阀的启、闭特性, 从而判断电磁阀工作是否正常。如图 4 所示波形, 是人为将电磁阀的电源电压往高拉偏时的现象。这时测量曲线中的上升沿出现两次跳变, 这是由于线圈电流过大, 产生的电磁力过大, 导致衔铁动作发生小的反弹造成的。

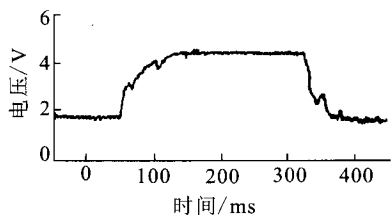


图 4 电磁阀的电源电压往高拉偏时的动作波形

Fig. 4 Waveform curve as voltage of solenoid valve is rising

## 4 磁敏传感器抗干扰措施

磁敏传感器对磁场敏感, 当被检测电磁阀周围存在其它瞬变磁场时, 会对磁敏传感器造成干扰, 严重时将极大影响所测电磁阀特性的判读。可采取以下措施降低外干扰磁场的影响:

1) 针对不同的电磁阀, 设计相应的线圈匝

数, 以提高或降低磁敏传感器灵敏度, 使磁敏传感器只对某距离段内的磁场敏感;

2) 调整磁敏传感器方向, 对准电磁阀漏磁点, 使其对某方向的磁场灵敏度最高;

3) 在磁敏传感器周围加一环形软磁材料屏蔽罩, 屏蔽周围磁场, 降低干扰磁场的影响。

## 5 结论

新型磁敏传感器结构简单、可靠性高。使用所研制的磁敏传感器对电磁阀的启、闭特性进行了测量, 并与“电流曲线法”的测量结果进行了对比。结果表明, 在不增加箭上测试点的情况下, 利用磁敏传感器对电磁阀特性进行非接触式检测是可行的。

### 参考文献:

- [1] 周旭. 电子设备防干扰原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 李科杰. 新编传感器技术手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [3] 倪亦斌. 某种新型磁强计在星载部件测试中的应用研究[J]. 中国空间科学技术, 2000 (3): 66-70.
- [4] 魏京芳, 李宏安, 郑文松, 等. 末修姿控系统极性检测仪设计[J]. 火箭推进, 2005, 31 (3): 50-53.
- [5] 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(自然科学版), 2002, 42 (2): 258-261.
- [6] 邹开凤. 高速电磁阀磁场有限元分析与电磁力计算[J]. 机床与液压, 2006 (6): 134-135.
- [7] 陈维龙, 王辉. 高速电磁阀的驱动方法探讨[J]. 中国机电工业, 2001 (22): 56-57.
- [8] 方蜀州, 尹治武. 固体姿轨控发动机燃气电磁阀快速驱动电路研究[J]. 固体火箭技术, 2005, 28 (3): 232-234.
- [9] 魏青, 韩云霞. 用于微小卫星的微型双稳态电磁阀[J]. 上海航天, 2005 (2): 55-58.
- [10] 蓝志洋, 黄明华. 嵌入式系统硬件可靠性和抗干扰性技术[J]. 现代电子技术, 2005 (14): 51-53.

(编辑: 陈红霞)