

文章编号: 2095-4980(2016)04-0586-05

磁场环境对磁保持继电器影响及防护

杜英霞, 符建明, 陶睿, 唐亮, 黄春华

(上海宇航系统工程研究所, 上海 201109)

摘要: 磁保持继电器广泛应用于航空、航天、电子、邮电等军用及民用电子装备中。分析了磁场对磁保持继电器的影响机理, 分析不同量级、不同方向磁场对磁保持继电器的影响程度, 研究不同厚度、不同尺寸屏蔽方式防护效果, 得出磁保持继电器电磁屏蔽的方法, 通过加大防护罩厚度或减少防护罩尺寸可有效改善防护罩的屏蔽效果, 为磁保持继电器电磁防护的工程实施提供依据。

关键词: 磁保持继电器; 磁场; 防护

中图分类号: TN919.4

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201604.0586

Effects of magnetic field on magnetic latching relay and shielding measures

DU Yingxia, FU Jianming, TAO Rui, TANG Liang, HUANG Chunhua

(Institute of Aerospace System Engineering of Shanghai, Shanghai 201109, China)

Abstract: Magnetic latching relay are widely used in military and civilian electronic equipments, including aviation, aerospace, electronics, telecommunications and other fields. Its performance is vulnerable and easily being affected by external magnetic environment. The impacts from magnetic fields with different magnitudes and different directions on magnetic latching relay are analyzed. By studying the shielding effects of protective hoods with different thicknesses and different sizes, it is obtained that, increasing the thickness of shield or reducing its size can improve the shielding effect. This work can provide engineering implementation basis for electromagnetic protection of magnetic latching relay.

Key words: magnetic latching relay; magnetic field; shielding

磁保持继电器是一种常见的机电元件, 在电子产品中完成信号传递、控制执行及系统配电等功能。其在航空、航天、电子、邮电、通信领域和电力保护及自动控制系统等军用及民用电子装备中, 得到了广泛的应用。在空间科学研究中, 如阿尔法磁谱仪(Alpha Magnetic Spectrometer, AMS)等磁场环境存在时, 会干扰其他设备的正常工作甚至整个航天器的飞行。由于磁保持继电器内部存在工作所需的磁路及相应导磁材料, 因此抗电磁干扰能力一直是特别值得关注的问题^[1-2]。当磁保持继电器受到外部磁场环境干扰时将会使产品丧失部分或全部功能, 对于航空、航天、武器系统等军用电子装备将构成重大威胁。

本文以 1JB40-1 型继电器为代表, 首先从理论方面分析了磁场环境对继电器影响的机理。然后利用 Ansoft Maxwell 电磁仿真软件分析不同量级、不同方向磁场对继电器的影响程度。再根据仿真结果进行实物测试, 验证不同量级、不同方向磁场对继电器的影响程度。采取磁屏蔽措施后, 仿真分析磁场环境对继电器的影响。

1 磁场对磁保持继电器影响机理分析

1.1 磁保持继电器动作原理

1JB40-1 型磁保持继电器(如图 1 所示)的磁路属于差动式磁路, 存在一对工作气隙(气隙 1、气隙 2), 当一个气隙增大时, 另一个气隙就变小。其内部磁钢产生的永磁磁通走向如图 2 所示, 在图中, 磁保持继电器处于 0 状态, 左图为主磁通磁路, 右图为漏磁通磁路^[3-5]。在磁保持继电器未通电情况下, 磁路磁通为磁钢产生, 在两者综合作用下, 结合公式:

$$M_1 - M_2 = \frac{L}{2\mu_0 S} (\Phi_1^2 - \Phi_2^2) \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (1)$$

式中： M_1, M_2 为气隙 1、气隙 2 处的保持力矩； μ_0 为磁导率； S 为极面积； L 为力臂长度； Φ_1, Φ_2 为气隙 1、气隙 2 的永磁磁通。

由于气隙 1 < 气隙 2，因而通过气隙 1 的永磁磁通 1 远大于通过气隙 2 的永磁磁通 2，通过式(1)可以看出气隙 1 处的保持力大于气隙 2 处的保持力，根据磁保持继电器设计，此时磁保持继电器保持在 0 状态。

磁保持继电器线圈通电，由于磁钢磁阻很大，线圈产生磁通走向如图 3 所示(主要在铁芯、轭铁、衔铁中通过)，在气隙 1 线圈磁通与永磁磁通方向相反，在气隙 2 线圈磁通与永磁磁通方向相同，因而当线圈两端电压升高到一定值时，根据式(1)，气隙 1 处磁通产生的吸力小于气隙 2 处磁通产生的吸力与机械反力的合力时，衔铁翻转，磁保持继电器由 0 状态→1 状态^[4]。

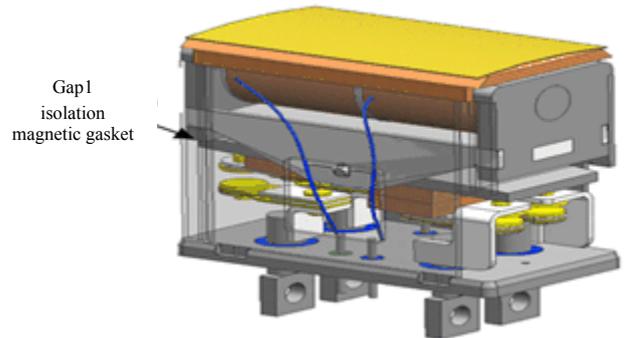


Fig.1 1JB40-1 relay (0 state)
图 1 1JB40-1 型继电器整件示意图(0 状态)

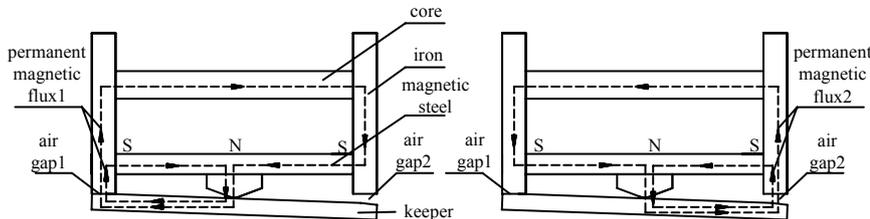


Fig.2 Permanent magnetic flux
图 2 永磁磁通

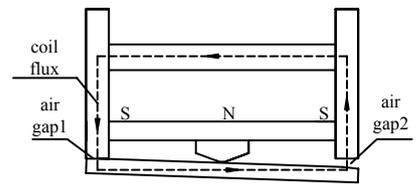


Fig.3 Coil magnetic circuit
图 3 线圈磁路示意图

1.2 磁场对磁保持继电器影响机理

当磁场磁力线与内部磁场磁力线方向处于一个平面内时，则磁保持继电器可能存在不饱和、接近饱和、完全饱和 3 种状态。在此 3 种情况下，产品保持力的变化与外磁场通过极面的情况有关。

当磁保持继电器内部磁路未饱和及接近饱和时，线圈加电产生的磁通大部分按照原来磁路流动，且在此环境下，转换电压数值受外磁场变化影响，并随外磁场大小发生规律性变化。

当磁保持继电器内部磁路中，部分零组件出现饱和时，软磁材料的磁导率变得与周围空气磁导率相近，则在此情况下，线圈转换电压即使超过额定电压值也不能使产品正常转换^[6]。

在磁场作用下，当磁场磁力线与内部磁场磁力线方向垂直时，两者磁感应强度分量处于正交关系，磁场产生的感应强度 B_i 垂直于磁保持继电器自身产生的磁感应强 B_j ，而为 \vec{B} 矢量($\vec{B} = i \times B_i + j \times B_j$)，其在相互正交坐标系下的各分量是相对独立的，产品转换电压及保持力不受外磁场影响^[7]。

翻转或中位、动作异常、转换时间异常等失效模式均与保持力及转换电压有关^[8]。当产品翻转或中位、动作异常、转换时间异常出现之前，转换电压或保持力变化已不能满足技术条件要求，因此仅对转换电压及保持力进行分析，对转换时间进行检测统计。

2 磁场对磁保持继电器的影响分析

2.1 理论分析及仿真

通过分析，磁保持继电器在上下方向(Z向)受磁场影响最大，因此本文以 Z 方向进行研究。当外加磁场方向向下(+Z 向)，如图 4 所示时，若磁保持继电器处于 0 状态，由于气隙 1 < 气隙 2，因而磁场产生磁通的大部分通过气隙 1，其方向与永磁磁通反向， Φ_1, Φ_2 均减小，但是气隙 1 处，由于磁阻很小，所以下降值较大，结合式(1)可知，0 状态下保持力会随着磁场增大而降低；在磁保持继电器磁路中，磁钢的磁力线与外磁场磁力线反向，产品不易饱和，因此当保持力变小的情况下，转换电压变小。

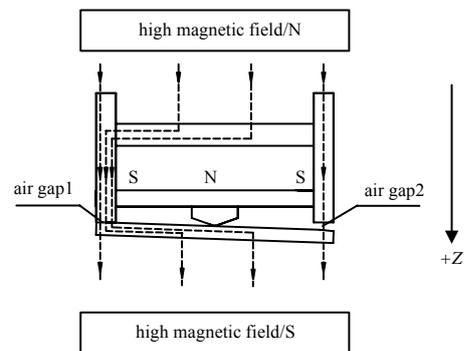


Fig.4 0 state (+Z orientation)
图 4 0 状态(+Z 向)

同理, 1 状态下保持力随着磁场增大而降低; 在磁保持继电器磁路中, 磁钢的磁力线与外磁场磁力线反向, 产品不易饱和, 因此当保持力变小的情况下, 转换电压变小。

同理, 当磁场方向反向向上(-Z 向)时, 0 状态和 1 状态下保持力均随着磁场增大而升高; 转换电压则由于与作用于铁芯的外磁场磁力线反向而变大。

依据磁场对磁保持继电器的影响机理, 在磁路未饱和及反力不变的情况下, 当衔铁保持力增大时, 转换电压会相应升高, 反之, 会相应降低; 但磁保持继电器磁路中有零件出现磁饱和现象后, 磁保持继电器的转换电压则会一直增大。

基于此原则, 利用 Ansoft 软件分别建立各种仿真模型, 分析磁保持继电器在不同大小的磁场中磁力线、磁感应强度分布云图的情况, 对比衔铁保持力随磁场变化的趋势, 最终确定磁场对磁保持继电器的影响规律。

由图 5 可以看出: a) 磁场在 0~25 mT 范围内, 衔铁保持力逐渐减小, 其变化率远大于±Y 方向; b) 由于产品磁路未出现饱和, 因此当保持力变小时, 0-1, 1-0 转换电压均变小。

由图 6 可以看出: a) 磁场在 0~25 mT 范围内, 衔铁保持力逐渐增大, 其变化率大于+Z 方向, 且 1 状态的保持力变化率大于 0 状态; b) 磁场为 25 mT 时, 衔铁易接近饱和, 在此之前, 转换电压产生的磁力线与外磁场流经磁保持继电器磁路的磁力线相反, 因此, 为了可靠性转换, 转换电压均会出现变大趋势。

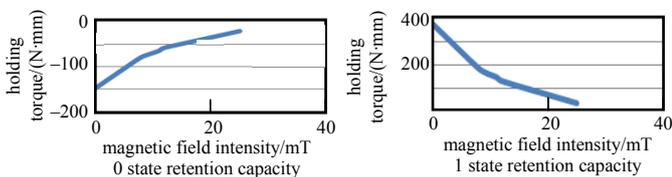


Fig.5 Retention capacity change for +Z keeper state
图 5 +Z 衔铁保持力变化

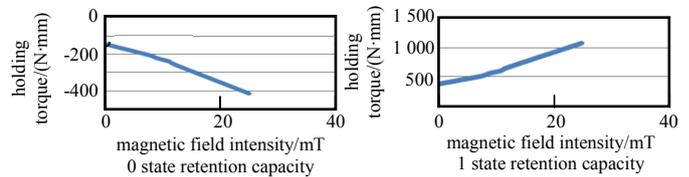


Fig.6 Retention capacity change for -Z keeper state
图 6 -Z 衔铁保持力变化

2.2 测试情况

在磁场环境下, 为了降低测量误差, 对产品进行 3 次测量, 取 3 次测量值的中间值。转换时间受保持力及转换电压的共同影响, 通过数据统计表明, 其有变化, 但是未超过技术条件中规定的 <20 ms 的要求, 且其变化率在敏感方向明显小于转换电压或保持力的变化率(见表 1), 因此以下仅对转换电压及保持力进行分析对比。

表 1 转换时间、转换电压及保持力变化对比

Table1 Comparison of conversion time, conversion voltage and retention capacity changes

orientation	conversion voltage change rate/%	retention capacity change rate/%	conversion time change rate/%	notes	
+Z	0-1	34.0	23.7	13.8	Each change rate reflects the trend of each parameter changing as the external magnetic field.
	1-0	37.3	97.3	35.2	
-Z	0-1	28.8	30.0	18.0	
	1-0	76.3	162.5	38.9	

1) 转换电压测试情况

结合表 1 及图 7 曲线可以看出, 磁场在 0~15 mT 范围内, 0-1 和 1-0 转换电压均随着磁场增大而降低。

结合表 1 及图 8 曲线可以看出, 磁场在 0~8 mT 范围内, 0-1 和 1-0 转换电压均随着磁场增大而升高。

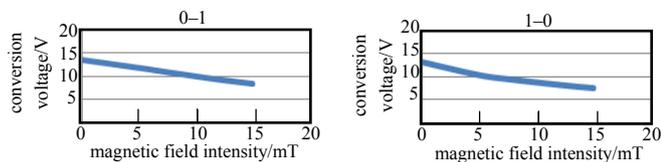


Fig.7 +Z conversion voltage change
图 7 +Z 转换电压变化

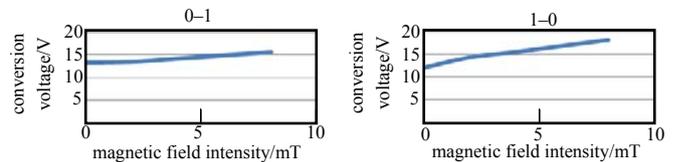


Fig.8 -Z conversion voltage change
图 8 -Z 转换电压变化

2) 保持力测试情况

为了研究防护下产品的耐力学性能, 结合理论及仿真分析, 对磁场下产品受其影响的±Y、±Z 方向进行保持力测试。结合表 1 及图 9 曲线可以看出, 磁场在 0~15 mT 范围内, a) 0-1: 保持力随着磁场增大而减小; b) 1-0: 保持力随着磁场增大而减小。

结合表 1 及图 10 曲线可以看出, 磁场在 0~8 mT 范围内: a) 0-1: 保持力随着磁场增大而增大; b) 1-0: 保持力随着磁场增大而增大。

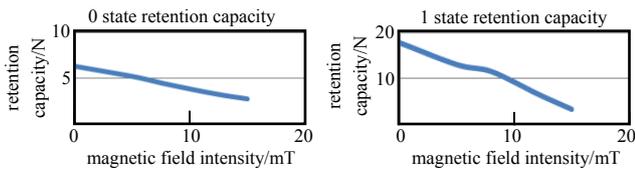


Fig.9 +Z retention capacity change
图 9 +Z 保持力变化

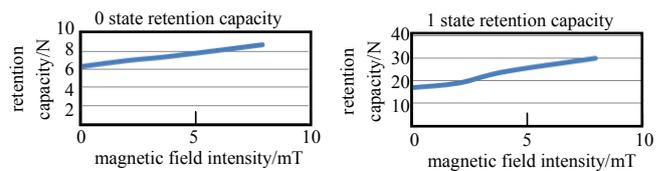


Fig.10 -Z retention capacity change
图 10 -Z 保持力变化

2.3 理论、仿真及测试对比

从表 2 可以看出，理论分析、仿真及实际测试趋势是一致的，该型继电器在 Z 方向对外加磁场很敏感，仅在 8 mT 外磁场下性能就会发生变化。

表 2 理论、仿真及测试对比

Table2 Comparison of theory, simulation and test

category	state	test item	+Z orientation	-Z orientation
theory	0-1	conversion voltage	↘	↗
	0	retention capacity	↘	↗
	1-0	conversion voltage	↘	↗
	1	retention capacity	↘	↗
simulation	0-1	conversion voltage	↘	↗
	0	retention capacity	↘	↗
	1-0	conversion voltage	↘	↗
	1	retention capacity	↘	↗
test	0-1	conversion voltage	↘	↗
	0	retention capacity	↘	↗
	1-0	conversion voltage	↘	↗
	1	retention capacity	↘	↗

3 采取屏蔽措施后的影响

仿真中，采用导磁材料 DT4E 为防护罩，最大磁导率(μ_{max} 为 0.0075 H/m~0.015 H/m)，矫顽力小于 32 A/m，饱和磁场强度为 1.71 T，按继电器长、宽、高尺寸(53 mm, 30 mm, 48 mm)的 2 倍大小设计防护罩外形尺寸，壁厚取 1 mm。

1) 防护后磁场对继电器的影响

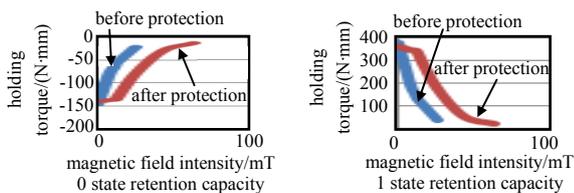


Fig.11 Retention capacity change for +Z keeper state
图 11 +Z 向保持力变化

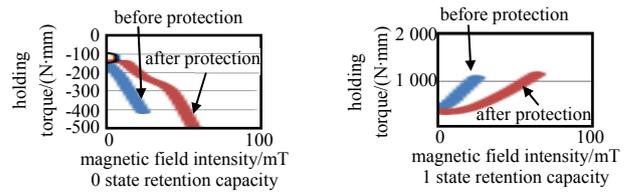


Fig.12 Retention capacity change for -Z keeper state
图 12 -Z 向保持力变化

在防护罩未饱和时，产品保持力矩保持不变，当防护罩饱和后，防护效果消失，防护罩内继电器衔铁保持力与无防护罩时的相比变化趋势一致，但变化程度趋缓。

2) 不同厚度、不同尺寸防护罩防护能力分析

在防护罩大小尺寸不变的情况下，对防护罩厚度尺寸进行更改后仿真结果如图 13 所示。

从图 13 中可以看出，随着厚度值的增大，防护效果增强，在防护罩未失效时，产品保持力矩保持不变。

为仿真防护效果，在防护罩厚度尺寸(1 mm)不变的情况下，对防护罩外形尺寸进行相应更改。在相同的外磁场下，防护罩尺寸越小，防护效果越好；在防护效果存在的情况下，内部磁感应强度值很小。当继电器放置在防护罩中部时，性能受影响最小。防护罩防护效果如表 3。

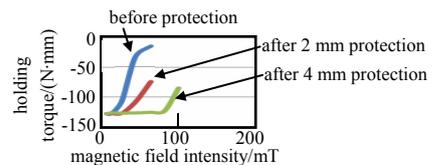


Fig.13 Z orientation 0 state holding torque with different protection
图 13 Z 方向 0 状态下保持力矩(不同厚度防护罩)

表 3 防护罩防护效果

Table 3 Protection effect of hood

1 mm of thickness		doubled product size		
doubled product size	product size unchanged	thickness 1 mm	thickness 2 mm	thickness 4 mm
about 12 mT saturated	12 mT unsaturation	about 12 mT saturated	about 32 mT saturated	about 60 mT saturated

4 结论

本文通过对磁保持继电器的动作原理研究,分析了磁场对磁保持继电器影响机理。通过软件仿真、理论分析及实验测试验证了磁保持继电器对外加磁场比较敏感,并进一步研究了采取不同厚度、不同尺寸防护罩防护情况下对磁保持继电器的防护效果,通过加厚防护罩厚度或减小防护罩尺寸可有效改善屏蔽效果,并且继电器放置在防护罩中部时效果最佳,为后续磁保持继电器的电磁防护提供了依据。

参考文献:

- [1] 李岐新,刘青. 电磁继电器的电磁干扰现象与抑制方法[J]. 继电器, 1998,1(26):51-57. (LI Qixin,LIU Qing. Electromagnetic disturbance of electromagnetic relay and its restraint method[J]. Relay, 1998,1(26):51-57.)
- [2] 丁武谋. 干扰磁场对继电器的影响及初步分析[R]. 北京:四机部继电器科技情报网, 1979. (DING Wumou. The effect and preliminary analysis for interference magnetic on relay[R]. Beijing:Relay Technology Information Network of Ministry of the Fourth Machinery Industry, 1979.)
- [3] 郑天丕. 继电器制造·工艺·使用[M]. 北京:电子工业出版社, 1996. (ZHENG Tianpi. Relays Manufacturing Process and Use[M]. Beijing:Electronic Industry Press, 1996.)
- [4] 杨文英. 电磁继电器功能模块的电磁敏感性研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2009. (YANG Wenying. Electromagnetic sensitivity of electromagnetic relay function modules[D]. Harbin,China:Harbin Institute of Technology, 2009.)
- [5] 于凌云. 继电器技术及发展[J]. 国外电子元件, 2000(8):2-4. (YU Lingyu. Relay technology and development[J]. International Electronic Elements, 2000(8):2-4.)
- [6] 杜太行. 基于触电状态识别的继电器失效类型判断技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011,9(5):660-664. (DU Taihang. Judgment of the failure types of relay based on contact state recognition[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011,9(5):660-664.)
- [7] 姚年春. 某电磁继电器失效分析及改进[J]. 热加工工艺, 2013,42(1):233-234. (YAO Nianchun. Failure analysis and improvement of electromagnetic relay[J]. Hot Working Technology, 2013,42(1):233-234.)
- [8] 王征. 电磁继电器线圈开路失效模式的筛选方法研究[J]. 质量与可靠性, 2013(8):53-54. (WANG Zheng. Screening methods of open circuit failure mode for electromagnetic relay coil[J]. Quality and Reliability, 2013(8):53-54.)

作者简介:



杜英霞(1986-),女,山西省运城市人,硕士,工程师,主要研究方向为飞行器电磁兼容设计与试验.email:duyingxia1986@163.com.

符建明(1975-),男,江苏省无锡市人,硕士,高级工程师,主要研究方向为飞行器电磁兼容与防护。

陶睿(1987-),男,合肥市人,硕士,工程师,主要从事航天器电磁兼容与防护方面的研究。

唐亮(1986-),男,哈尔滨市人,硕士,工程师,主要从事航天器测控通信与 EMC 总体设计工作。

黄春华(1988-),男,江苏省张家港市人,硕士,工程师,主要从事航天器电磁兼容与防护方面的研究。