

电磁阀薄壁隔磁效果分析与试验研究

王晓罡, 陈 健, 朱 娟, 史秋明

(上海空间推进研究所, 上海 201112)

摘 要: 原有电磁阀组件结构加工过程复杂、生产工序多、生产周期长, 导致生产效率低下。因此, 开展了从结构设计上进行改进以提高电磁阀组件的工艺性及生产效率的工作。以某电磁阀组件为例, 对其进行结构改进, 以薄壁结构取代原先隔磁环结构。通过理论、仿真、工艺可行性分析和试验验证, 证明了电磁阀组件壳体结构改进方案的可行性并可实际应用于型号产品。

关键词: 薄壁结构; 电磁阀; 结构改进

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2012) 06-0024-05

Analysis and test for thin-walled magnetism isolating effect of solenoid valve

WANG Xiao-gang, CHEN Jian, ZHU Juan, SHI Qiu-ming

(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 201112, China)

Abstract: Complicated structure of the existing solenoid valve results difficult manufacture process and low production efficiency. The production efficiency of the solenoid valve assemblies has a direct impact on the productivity of the entire valves. Therefore, the improvement for manufacturability and production efficiency of the solenoid valve assemblies is what the researchers need to study. Taking a solenoid valve assembly as an example, its structural improvement was conducted: a thin-walled structure was adopted instead of the original isolated magnetic ring structure. The feasibility analysis and test validation in the aspects of theory, simulation and process proved the feasibility of the improvement scheme. The research provided an important theoretic support for future design and application.

Keywords: thin-walled structure; solenoid valve; structure improvement

0 引言

电磁阀组件作为电磁气动阀的重要组件, 其

产品的生产效率直接影响整阀的生产效率, 因此开展了从结构设计上进行改进以提高电磁阀组件的工艺性及生产效率的研究工作。

收稿日期: 2012-09-13; 修回日期: 2012-10-11

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目 (2006JY12)

作者简介: 王晓罡 (1984—), 男, 硕士, 研究领域为阀设计

1 电磁阀组件现状

现有电磁阀组件的结构如图 1 所示, 主要由线圈组件、阀芯和端盖组成, 其中结构最复杂、生产周期最长的就是线圈组件。

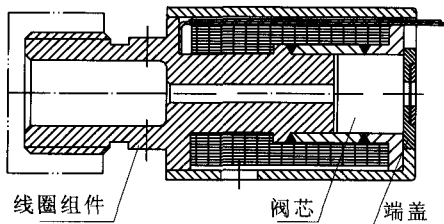


图 1 现有电磁阀组件结构图
Fig. 1 Configuration diagram of existing solenoid valve assembly

电磁阀线圈组件的主要部分为壳体组件, 具体结构如图 2 所示。该组件需先加工壳体底部、隔磁环和壳体头部 3 个零件, 然后将三者压配在一起进行焊接, 最后再组合加工为组件成品, 具体加工流程示意如图 3 所示。

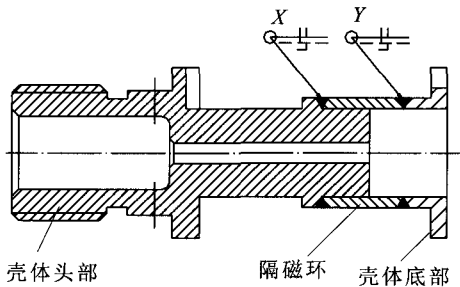


图 2 壳体组件结构示意图
Fig. 2 Structure diagram of shell

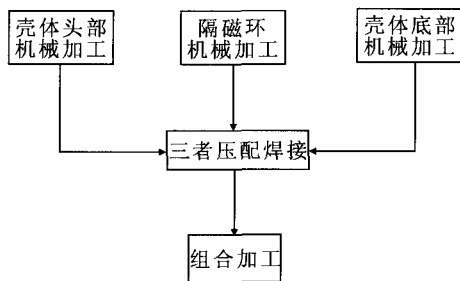


图 3 壳体组件加工示意图
Fig. 3 Processing flow chart of shell

壳体组件的加工过程较为复杂, 牵涉到的工序较多, 生产周期较长, 批次生产过程中经常因为壳体组件不到位而拖延生产进度。

2 电磁阀组件的改进方案及可行性分析

2.1 电磁阀改进方案

根据电磁阀组件现状, 确定结构改进的对象为壳体组件。针对原壳体组件加工过程复杂且工序多的特点对其进行改进, 将壳体底部与头部设计成一体结构, 二者之间利用薄壁结构代替原隔磁环结构, 使壳体组件由 3 个零件变换为 1 个零件, 具体结构如图 4 所示。改进后电磁阀组件的结构如图 5 所示。

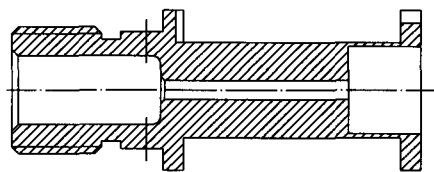


图 4 改进后壳体结构示意图
Fig. 4 Structure diagram of improved shell

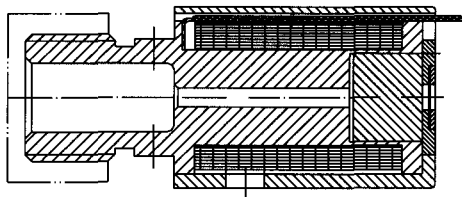


图 5 改进后电磁阀组件结构图
Fig. 5 Configuration diagram of improved solenoid valve assembly

2.2 设计可行性分析

电磁阀改进方案对阀门单机性能的影响主要包括阀门的电磁吸力和结构强度等方面。

2.2.1 电磁吸力影响

因为磁路和电路在计算上有其相似之处, 所以在分析和计算电磁阀磁路时常常模仿电路的表示形式将它表示成等值磁路图。

根据现有和改进结构各自的特点, 两者的等值磁路如图 6 所示。

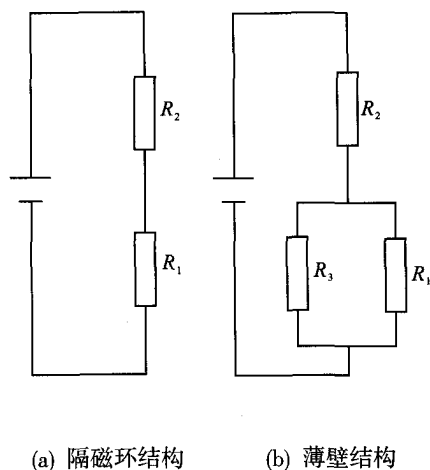


图 6 等值磁路图

Fig. 6 Diagram of equivalent magnetic circuit

根据等值磁路图和磁路欧姆定律, 现有电磁阀气隙磁通如公式 (1) 所示:

$$\Phi_{\delta} = \frac{IW}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

改进后电磁阀气隙磁通如公式 (2) 所示:

$$\Phi_{\delta} = \frac{IW}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + R_2} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{IW}{R_1 + R_2 \left(\frac{R_1}{R_3} + 1 \right)} \quad (2)$$

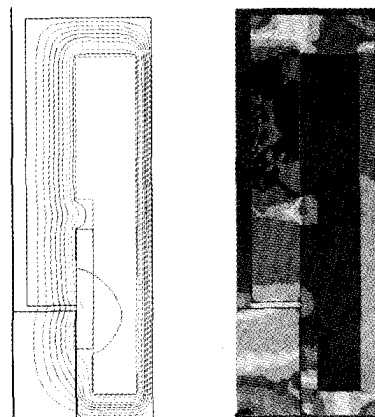
式中: Φ_{δ} 为气隙磁通; I 为线圈电流; W 为线圈匝数; R_1 为气隙磁阻; R_2 为导磁磁路磁阻; R_3 为薄壁磁阻。

由公式 (2) 可以看出, 随着薄壁磁阻 R_3 的增大, 气隙磁通逐渐增大, $F_d = \frac{\Phi_{\delta}^2}{2\mu_0 S}$, 电磁吸力随之增大, 当 $\frac{R_1}{R_3}$ 趋于 0 时, 薄壁结构吸力与传统结构基本一致。

为了分析结构改动对电磁吸力的影响, 首先对隔磁环结构的电磁阀组件进行磁场有限元计算 (电压 27 V, 电阻 43.2 Ω , 匝数 1 100 匝)。磁力线和磁场分布如图 7 所示。

通过计算, 电磁吸力为 16.6 N, 从磁力线和

磁场分布图可以看出, 电磁阀组件通过隔磁环隔断磁路, 使绝大部分磁力线经过阀芯吸合端面而做功。



(a) 磁力线分布 (b) 磁场分布

图 7 隔磁环结构磁力线和磁场分布图

Fig. 7 Magnetic lines and field distribution of magnetic isolating ring structure

接着对薄壁结构的电磁阀组件进行有限元计算, 取薄壁部分的厚度分别为 0.85 mm, 0.5 mm, 0.3 mm, 0.1 mm, 0.05 mm。其余结构参数和输入条件保持不变 (电压 27 V, 电阻 43.2 Ω , 匝数 1 100 匝), 磁力线、磁场分布、电磁吸力如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 由于薄壁部分截面积小, 磁路饱和且磁阻大, 磁力线绝大部分通过阀芯吸合端面。随着薄壁厚度的减小, 电磁吸力逐渐增大, 当薄壁厚度为 0.05 mm 时, 电磁吸力与隔磁环结构基本一致, 仿真结果与理论分析相符合。

为了在满足加工工艺性前提下且不影响电磁吸力, 薄壁厚度取 0.3 mm, 将衔铁直径由 6.5 mm 增加至 6.9 mm, 对改进后结构进行磁场有限元计算 (电压 27 V, 电阻 37.5 Ω , 匝数 950 匝)。磁力线和磁场分布如图 8 所示。

通过计算, 更改结构后的薄壁电磁阀组件电磁吸力为 16.9 N, 与隔磁环结构电磁吸力基本保持一致。

节, 为了实现零件制造, 可以采用此工艺路线:
加工主结构→加工薄壁结构→软磁合金热处理→
加工精密功能表面。

加工零件整体结构时, 该工艺路线能避免薄壁结构承受大的切削力。加工薄壁结构时, 采用心轴将零件的内壁撑住, 并用顶尖提高夹紧力, 以增加制造系统刚性。热处理时采用心轴支撑零件, 并保证零件能均匀承受自身的重量, 减小热处理变形。最后需要完成精密功能表面的加工, 采用外圆定位和夹紧, 避免薄壁结构受力。

依据此工艺路线能保证零件的整体结构、薄壁结构、软磁性能和运动功能表面的质量。

3 试验验证

为了对薄壁产品的真实性能进行测试, 按改进结构对电磁阀组件进行设计、制造、装配和测试。电磁吸力测试结果如表 2 所示。

表 2 电磁吸力测试结果

Tab. 2 Test results of magnetic adhesion force

			N
结构	阀编号	仿真结果	实测值
改进后薄壁结构	1107-1-2		14
		16.9	
	1107-1-3		13
隔磁环结构	10-51-XX	16.6	13

结果表明, 改进后薄壁结构电磁阀组件的电磁吸力与原隔磁环结构电磁阀的电磁吸力大小基本一致, 试验结果与理论计算相符合。

4 结论

通过理论、仿真、工艺可行性分析和试验验证, 证明了电磁阀组件壳体由隔磁环结构改为薄壁结构, 简化了生产工艺且性能满足使用要求。

参考文献:

- [1] 廖湘恩. 航天电器[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [2] 刘国强. ANSOFT 工程电磁场有限元分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] 刘国球. 液体火箭发动机原理[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [4] 朱宁昌. 液体火箭发动机设计 (下)[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
- [5] 宋鸿尧. 液压阀设计与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [6] 程永洙. 普通物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [7] 王宝龄. 电磁电器设计基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [8] 吴培英. 金属材料学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [9] D'AMORE Marco. Dissecting high-performance electro-hydraulic valves [J]. Fluid Power Journal, 2003, 38 (3): 111-116.
- [10] 沈赤兵. 电动气阀动态特性及反力因素的影响[J]. 推进技术, 1996, 17(6): 64-68.
- [11] 沈公槐. 改进电磁阀动态特性的一种方法[J]. 航天控制, 2001 (3): 75-81.
- [12] 王扬彬, 徐兵. 基于 Ansoft 及 AMESim 的电磁铁动态特性仿真分析[J]. 机床与液压, 2008, 36(9): 104-108.
- [13] NAGATAT, KUSHIKIK, KAJIWARAK. The development of Japanese 20N thruster valve for a spacecraft propulsion system-qualification test result, IAC-08-C4.3.4[R]. Japan: IAC, 2008.

(编辑: 陈红霞)