



基于 APDL 的喷油器电磁阀组件设计

卜安珍,周望静,张礼林,吴 松

(中国一汽无锡油泵油嘴研究所, 江苏无锡 214063)

摘 要: 采用 ANSYS 参数化设计语言(APDL), 对电控高压共轨燃油喷射系统中的关键零部件—喷油器电磁阀组件进行优化设计分析, 并经试验验证。获得了高压共轨喷油器电磁阀组件最佳设计参数; 并认为在该型电磁阀设计中, 对电磁特性影响较大的参数是气隙、材料、电流和匝数。
关键词: 高压共轨喷油器; 电磁阀; APDL; 优化设计
中图分类号: TK423.8⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)01-0018-04

Injector Solenoid Valve Assembly Design Based on APDL

Bu Anzhen, Zhou Wangjing, Zhang Lilin, Wu Song

(FAW Wuxi Fuel Injection Equipment Research Institute, JiangsuWuxi214063)

Abstract: By using ANSYS parametric design language APDL, the injector solenoid valve assembly, one of the key parts in electronically controlled high pressure common rail fuel injection system, was analyzed for optimum design, and verified through tests. The best design parameters of the injector solenoid valve assembly were obtained and it was concluded that in this particular design, the parameters with relatively bigger influences on electromagnetic characteristics are air gap, material, electric current and number of turns.
Keywords: high pressure common rail injector; solenoid valve; APDL; optimal design

0 引 言

随着发动机排放法规的日益严格及电控技术的发展, 电控高压共轨燃油喷射系统的优势越来越明显。电控高压共轨喷油器电磁阀组件是其中的关键零部件之一, 通过其对柴油机喷射量和喷油时间的柔性控制, 为柴油机实现高效、清洁、低噪的燃烧过程提供更好条件。

ANSYS/Emag 为低频电磁场仿真分析软件, 基本原理基于麦克斯韦方程组, 求解技术手段采用有限元数值求解^[1]。APDL(ANSYS 参数化设计语言, ANSYS Parametric Design Language)的程序语言与宏技术组织管理 ANSYS 的有限元分析命令, 可以实现参数化有限元分析全过程。

在共轨喷油器电磁阀组件设计中, 其电磁特性特别是作用在衔铁上的电磁力是影响电磁性能的重

要指标。电磁力的大小除了与电磁阀驱动电流、线圈有关外, 还与电磁阀结构、材料密切相关。以往进行电磁阀组件设计时, 需要进行大量的试验工作, 消耗大量时间和成本。本文利用 APDL 对多种参数高压共轨喷油器电磁阀组件进行电磁场分析, 不仅减少了试验工作, 得到了优化的电磁阀组件结构, 而且为设计人员提供了一个优化设计的平台。

1 共轨喷油器工作原理

图 1 为电控高压共轨喷油器结构。当电磁阀通电时, 衔铁合件在电磁力作用下升起, 喷油器内球阀打开节流孔, 控制活塞、顶杆、针阀开启, 喷油器喷油; 当电磁阀断电时, 衔铁合件在电磁阀弹簧作用下下降, 球阀关闭, 喷油停止。整个喷油过程即喷油始点、喷油终点、喷油持续期均由电磁阀组件控制。

收稿日期: 2011-06-09
作者简介: 卜安珍(1963-), 高级工程师, 主要研究方向为发动机 CAE 设计, E-mail: zbaz@nfiери. com。

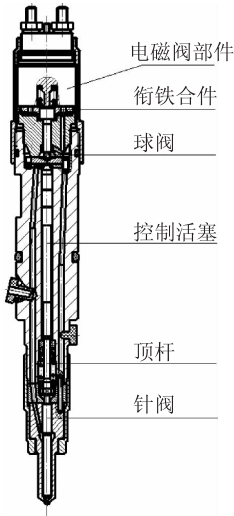


图 1 电控高压共轨喷油器结构

2 计算模型

电磁阀组件由电磁阀部件和衔铁合件组成，其中电磁阀部件含铁芯合件、内外镶套、限位芯与线圈。铁芯合件为硅钢片螺旋叠片。电磁阀组件结构近似轴对称，计算模型见图 2。图 3 为气隙位置局部网格图。

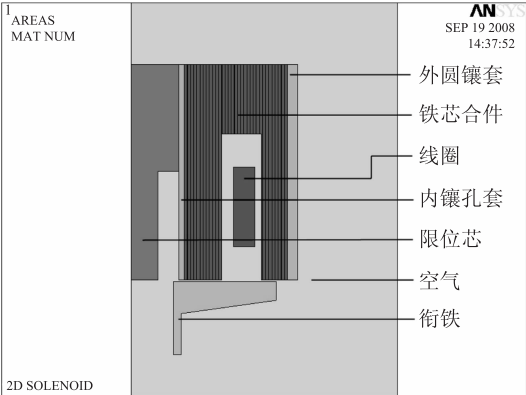


图 2 电磁阀组件二维轴对称计算模型

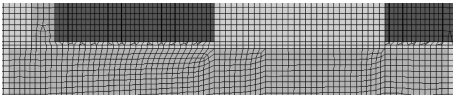


图 3 气隙位置局部网格图

电磁阀组件基本参数特性见表 1。

表 1 电磁阀组件基本参数特性

最大电流 I/A	线圈匝数 N/n	线径 d/mm	气隙 δ/mm
8	15×4	0.4	0.12

电磁阀组件材料见表 2。

因材料电磁特性非线性，计算时要分别输入每个材料的磁特性曲线^[2-3]，图 4 为其中铁芯材料的

磁特性曲线。

表 2 电磁阀组件材料

零件名称	材料
铁芯	硅钢片 35W270
外圆镶套	电磁纯铁 DT4
内镶孔套	电磁纯铁 DT4
限位芯	合金工具钢 Cr12MoVA
衔铁	耐蚀合金 1J117
线圈骨架	尼龙

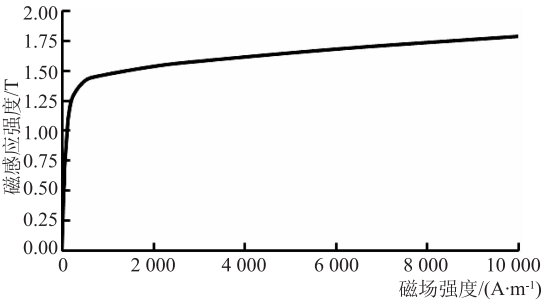


图 4 铁芯材料 B-H 曲线

3 电磁阀组件电磁场分析

利用 ANSYS/Emag 对电磁阀组件进行二维静态电磁场分析，得到整个电磁阀组件电磁特性如磁力线、磁感应强度、电磁力分布以及衔铁上的总电磁力、线圈磁链等。见图 5、图 6、图 7 及表 3。

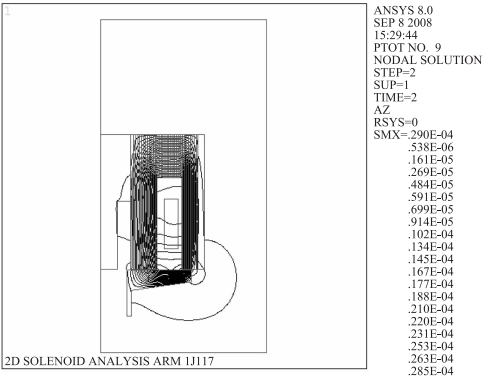


图 5 电磁阀组件磁力线图

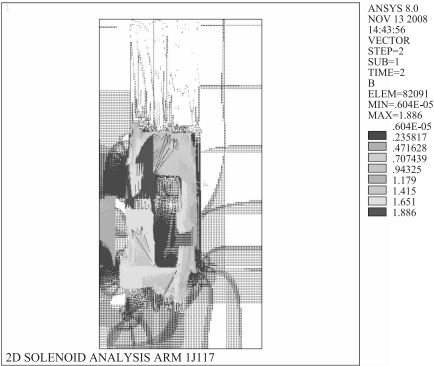


图 6 电磁阀组件磁感应强度图(单位: T)

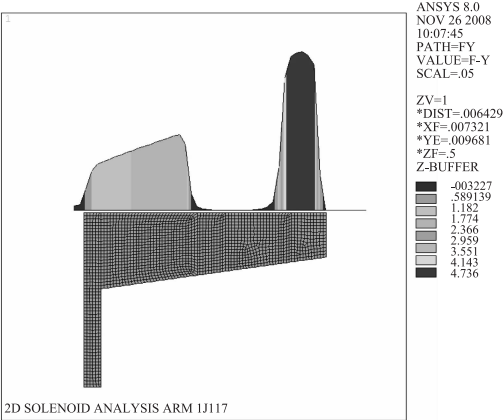


图 7 衔铁电磁力径向分布图(单位: N)

表 3 电磁阀组件部分计算结果

衔铁总电磁力/N	116.8
线圈磁链/Wb	0.010 6
两气隙磁动势/总磁动势	56.8%

从图 5、6 中可以看出,电磁铁组件磁力线、磁感应强度分布较均匀,漏磁量小;图 7 中可以看出衔铁径向电磁力不是均匀分布,与线圈对应位置几乎没有电磁力,而外侧电磁力则大于内侧。

4 采用 APDL 进行设计

采用 ANSYS 软件中的 APDL 编写计算程序,可实现专业分析流程化;通过对电磁阀组件关键数据参数化,可实现优化设计。

本项目将电磁阀组件主要参数设为可变参数,图 8 为参数定义部分 APDL 程序。

```
! 1.2 Define the analysis title
/TITLE, 2D SOLENOID ANALYSIS ARM 1J117
!*
! 1.3 Define parameters
! 1.3.1 Define Coil parameters
I=8
WD=0.4
VN=15
HN=4
HCOIL=VN*HN
LENG=WD*VN/1000
THK=WD*HN/1000
ACOIL=LENG*THK
JDENS=NCOIL*I/ACOIL
! 1.3.2 Define Backiron parameters
T=0.23
NP=33
DETA=0.12
!*
! 1.3.3 element size
ES=0.1
```

图 8 关键数据参数化(局部)

5 参数设计分析

为了清晰了解每一个参数对电磁特性的影响,

在电磁阀组件分析中,均采用每次仅改变一个参数,其他参数特性基本一致的方法进行对比分析。

5.1 变气隙下电磁特性对比

表 4 为电磁阀组件计算中仅改变衔铁与铁芯间气隙的电磁特性计算结果。

表 4 变气隙电磁特性对比

气隙/mm	漏磁量	电磁力/N
0.04	I	147.3
0.08	II	131.2
0.12	III	116.8
0.16	IV	103.3
0.20	V	91.3
0.24	VI	76.5

注:表中,漏磁量数字越大,表明漏磁越多(下同)。

从表 4 中可以看出:随着气隙的增大,漏磁量越来越多,电磁力越来越小。

5.2 变衔铁材料下电磁特性对比

衔铁选材时,根据材料特性、价格、加工性等要求选定 7 种材料作为候选材料。表 5 为电磁阀组件计算中仅改变衔铁材料的电磁特性计算结果。

表 5 变衔铁材料电磁特性对比

材料牌号	漏磁量	电磁力/N
1J117	IV	116.8
1J22	I	163.0
DT4	II	155.7
10 号钢	III	153.2
1J6	V	99.5
1J50	VI	85.3
1J79	VII	44.7

从表 5 中可以得出:1J22 漏磁量最少,1J79 漏磁量最多;衔铁上总电磁力:1J22 最大,1J79 最小。

5.3 变线圈电流电磁特性对比

表 6 为电磁阀组件计算中仅改变线圈电流的电磁特性计算结果。

表 6 变线圈电流电磁特性对比

电流/A	漏磁量	电磁力/N
4	I	65.6
6	II	104.8
8	III	116.8
10	IV	124.4
12	V	128.9

从表 6 可以看出:随着电流的增大,漏磁量越来越多,电磁力也越来越大,但上升趋于缓慢。

5.4 变线圈匝数下电磁特性对比

表 7 为电磁阀组件计算中仅改变线圈匝数的电

磁特性计算结果。

表 7 变线圈匝数电磁特性对比

线圈匝数/n	漏磁量	电磁力/N
15 × 2	I	65. 8
15 × 3	II	104. 9
15 × 4	III	116. 8
15 × 5	IV	124. 5
15 × 6	V	128. 8

从表 7 可以看出：随着线圈匝数的增大，漏磁量越来越多，电磁力也越来越大，但上升趋于缓慢。

5. 5 变线圈绕制方式下电磁特性对比

表 8 为电磁阀组件计算中仅改变线圈绕制方式的电磁特性计算结果。

表 8 变线圈绕制方式电磁特性对比

线圈绕制方式	漏磁量	电磁力/N
20 × 3	基本一致	116. 6
15 × 4		116. 8
12 × 5		116. 6
10 × 6		116. 5

从表 8 可以看出：当线圈 20 × 3 圈到 10 × 6 圈时，漏磁量和电磁力均基本一致。

5. 6 变线圈线径下电磁特性对比

表 9 为电磁阀组件计算中仅改变线圈电线直径的电磁特性计算结果。

表 9 变线圈电线直径电磁特性对比

电线直径/mm	漏磁量	电磁力/N
0. 2	基本一致	116. 6
0. 3		116. 7
0. 4		116. 6
0. 5		117. 1

从表 9 可以看出：当线圈电线直径变化时，漏磁量和电磁力变化并不大。

6 试验分析

采用静态试验台(图 9)对电磁力与气隙进行试验，计算与试验值对比见图 10。

从图 10 中可知，衔铁上的电磁力计算值与试验值的差值在 10% 范围内。

7 最优参数下电磁阀电磁特性

综合上述计算，找出最优参数进行计算，得出表 10，即衔铁材料 1J22 的一组电磁阀组件结构参数最优。电磁阀组件基本参数特性与计算结果见表 10。



图 9 电磁阀静态特性试验台

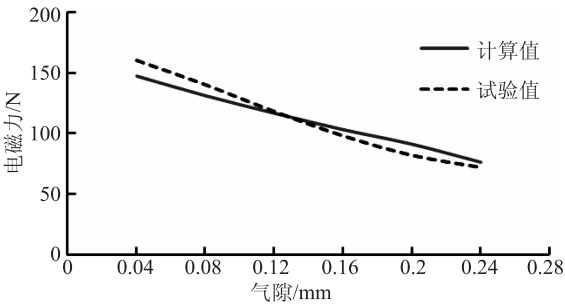


图 10 变气隙下衔铁电磁力对比

表 10 最优参数及计算结果

参数	最优组数值
衔铁材料 M	1J22
最大电流 I/A	8
线圈匝数 N/n	15 × 4
线径 d/mm	0. 4
气隙 δ/mm	0. 12
衔铁总电磁力/N	163. 0
漏磁量	少
磁饱和度	低
线圈磁链/Wb	0. 011 6
气隙磁动势/总磁动势	68. 8%

8 结 论

- (1) 采用 ANSYS 参数化设计语言 (APDL) 编程，可方便进行电磁阀组件参数化设计；
- (2) 在本项目电磁阀中，对电磁特性影响较大的参数是气隙、材料、电流和匝数；
- (3) 本项目电磁阀设计最优参数是：衔铁材料：1J22；最大电流：8 A；线圈匝数：15 × 4；电线直径：0. 4 mm。最优参数下电磁阀组件衔铁最大总电磁力 163 N。

参考文献

[1] 唐兴伦. ANSYS 工程应用教程——热与电磁学篇[M]. 北京:中国铁道出版社,2003.

[2] 吴恒颢. 电机常用材料手册[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2001.

[3] 兵器工业无损检测人员技术资格鉴定委员会. 常用钢材磁特性曲线速查手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003.