

汽车空调电磁离合器电磁场有限元分析

杨善文, 李萍, 薛克敏, 刘为

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 利用 APDL 参数化语言建立了汽车空调电磁离合器二维有限元模型, 并对其进行了二维电磁场分析, 得到了离合器内部结构的磁力线分布、皮带轮与吸盘之间的电磁吸力以及结构尺寸变化对磁力线和电磁吸力的影响规律, 为离合器的优化设计提供了依据。

关键词: 汽车空调; 电磁离合器; 有限元; 电磁场分析

中图分类号: TG115.27 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2012)01-0045-04

Finite Element Analysis for Electromagnetic Field of the Electromagnetic Clutch of Automotive Air-conditioning

YANG Shan-wen, LI Ping, XUE Ke-min, LIU Wei

(School of Materials Science & Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: 2D finite element model of the electromagnetic clutch of automotive air-conditioning was founded by APDL. 2D and electromagnetic field was analysed. The distribution diagrams of the magnetic lines and the attraction between the pulley and the clutch were obtained. The influence of the change of structure size on the magnetic lines and electromagnetic attraction was got, which provided basis for the optimization design.

Key words: automotive air-conditioning; electromagnetic clutch; finite element; electromagnetic field analysis

汽车空调电磁离合器的功能是控制发动机与压缩机之间的动力联系。当电源接通时,电磁离合器将发动机的动力传递给压缩机主轴,使压缩机处于工作状态;当电源断开时,电磁离合器便切断压缩机与发动机的联系,使压缩机停止工作^[1]。传统方法设计的汽车空调电磁离合器控制精度不高。为了提高电磁离合器的控制精度,文中结合现代设计方法,利用 ANSYS 中 APDL 参数化语言^[2]进行有限元二维电磁场分析,得到了皮带轮、吸盘和线圈外壳等结构的磁力线分布情况,皮带轮与吸盘之间间隙对吸力的影响规律,皮带轮与吸盘接触时的吸力,以及结构尺寸的变化对磁力线的分布和电磁吸

力的影响(如皮带轮底部圆环孔的大小和吸盘厚度的变化)。该课题可以优化设计电磁离合器,提高控制精度^[3],对实际生产起到指导作用。

1 有限元模型的建立

1.1 材料属性及模拟参数

皮带轮、吸盘以及线圈外壳材料均为 10 号钢,查手册可知该材料的 $B-H$ 值见表 1,空气和线圈的相对磁导率均为 1。

收稿日期: 2011-03-30

作者简介: 杨善文(1989—),男,安徽池州人,合肥工业大学在读研究生,主要研究方向为精密塑性成形新技术新工艺。

表1 10号钢的B-H值^[4]

Table 1 The B-H of 10 steel

$H/(A \cdot m^{-1})$	B/T	$H/(A \cdot m^{-1})$	B/T
200	0.05	2 000	1.15
400	0.1	2 400	1.25
450	0.15	3 200	1.40
550	0.2	3 600	1.45
600	0.25	4 800	1.55
750	0.45	5 600	1.60
800	0.5	6 800	1.65
1 000	0.75	8 000	1.70
1 200	0.85	9 600	1.75
1 550	1.0	11 600	1.80

电磁离合器的基本参数,见表2。

表2 电磁离合器的基本参数

Table 2 The basic parameters of electromagnetic clutch

电磁离合器 供电电压/V	电流强度 /A	线圈匝数 /圈	线圈截面积 /mm ²
12	3.5	280	113.1
电流密度 /(A · mm ⁻²)	皮带轮底部圆 环孔径向宽度	吸盘与 皮带轮间隙	吸盘厚度
8.66	L	d	h

1.2 有限元模型的建立

电磁离合器形状规则,皮带轮底部存在扇形圆环孔,每个圆环孔之间通过桥部连接,有限元模拟分析时可以忽略桥部,将三维的电磁离合器简化成轴对称问题^[5],取一个二维截面分析,2D模型容易建立,运算快捷。

电磁离合器二维简化模型如图1所示: A_1 为空气,

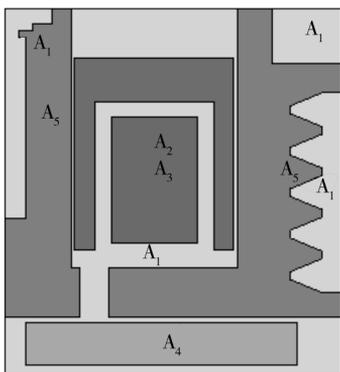


图1 电磁离合器二维简化模型

A_2 为线圈外壳, A_3 为线圈截面, A_4 为吸盘, A_5 为皮带轮。采用四边形四节点单元,3级精度智能网格划分,如图2所示。

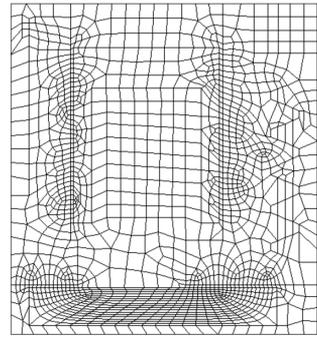


图2 电磁离合器网格划分

Fig. 2 Meshing of electromagnetic clutch

2 模拟结果分析

2.1 间隙 d 的变化对磁力线分布和电磁吸力 F 的影响

当 $L=3\text{ mm}$, $h=4.3\text{ mm}$ 时,不同间隙 d 对应的电磁吸力 F 见表3。

表3 皮带轮与吸盘之间间隙对电磁吸力的影响

Table 3 Influence of the gap between pulley and chuck on electromagnetic attraction

d/mm	F/N	d/mm	F/N
0.001	1 284.1	0.6	395.64
0.005	1 311.1	0.7	331.87
0.01	1 280.0	0.8	285.95
0.05	1 172.4	0.9	246.11
0.1	1 083.4	1.0	208.62
0.2	895.38	1.5	117.65
0.3	724.00	2.0	75.580
0.4	591.36	2.5	52.017
0.5	485.38	3.0	35.391

从表3可以得出电磁吸力 F 随着间隙 d 的增大逐渐减小。当磁场作用于铁磁物质时,物质内的磁畴将迅速改变成与外磁场的方向一致,显示出较强的磁性,因此当磁力线在皮带轮与吸盘间形成回路且越密集,吸力就越大。从磁力线分布图的变化来看:间隙 d 越大,皮带轮更易在自身与线圈外壳之间形成回路,导致穿过吸盘的磁力线越少。磁力

Fig. 1 2D simplified model of electromagnetic clutch

线越稀疏,电磁吸力也就越小。此时可取间隙 $d=0.005\text{ mm}$ 作为皮带轮与吸盘接触时的近似值,电磁吸力为 $1\ 311.1\text{ N}$ 。

当 $L=3\text{ mm}$, $h=4.3\text{ mm}$ 时,间隙 d 的变化对磁力线分布影响如图 3 所示。

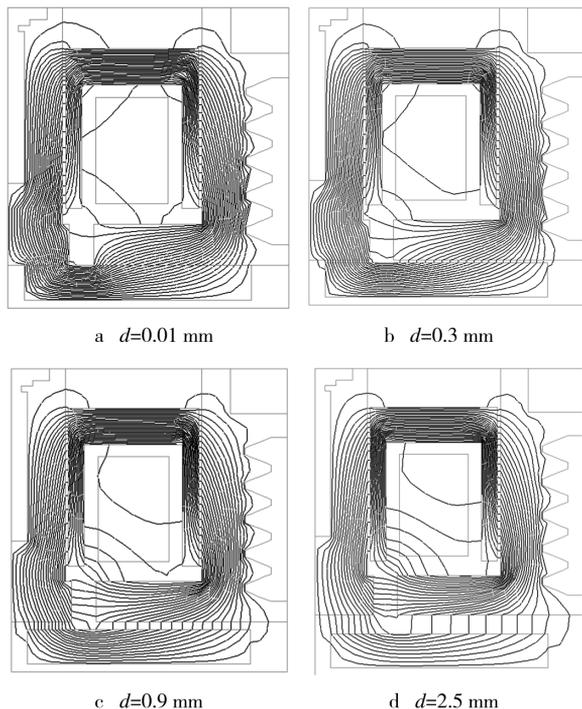


图 3 磁力线分布

Fig. 3 The distribution diagrams of the magnetic lines

2.2 圆环径宽 L 的变化对磁力线和电磁吸力 F 的影响

当 $d=0.3\text{ mm}$, $h=4.3\text{ mm}$ 时,不同圆环径宽 L 对应的电磁吸力 F 见表 4。

表 4 皮带轮底部圆环径宽 L 对电磁吸力的影响

Table 4 Influence of the diameter wide of the ring at the bottom of the pulley on electromagnetic attraction

L/mm	F/N	L/mm	F/N
1	545.77	8	823.30
2	669.48	9	832.76
3	724.00	10	831.39
4	757.32	11	852.49
5	782.30	12	850.38
6	799.75	13	869.95
7	812.26		

从表 4 中可以看出,当 $d=0.3\text{ mm}$ 时,电磁吸力 F 随着 L 的增大而增大,此时 L 越小磁力线越易在皮带轮自身和皮带轮与线圈外壳之间形成回路,导致穿过吸盘的磁力线减少,电磁吸力减小;随着 L 的增大,原本经过皮带轮和线圈外壳的磁力线穿过了吸盘,以致电磁吸力增大; L 并不是越大越好,随着 L 的增大,吸盘与皮带轮底部接触面减小,皮带轮在高速旋转时易相对吸盘发生滑动,因此要综合考虑 L 取值的影响。

当 $d=0.3\text{ mm}$, $h=4.3\text{ mm}$ 时, L 的变化对磁力线分布的影响如图 4 所示。

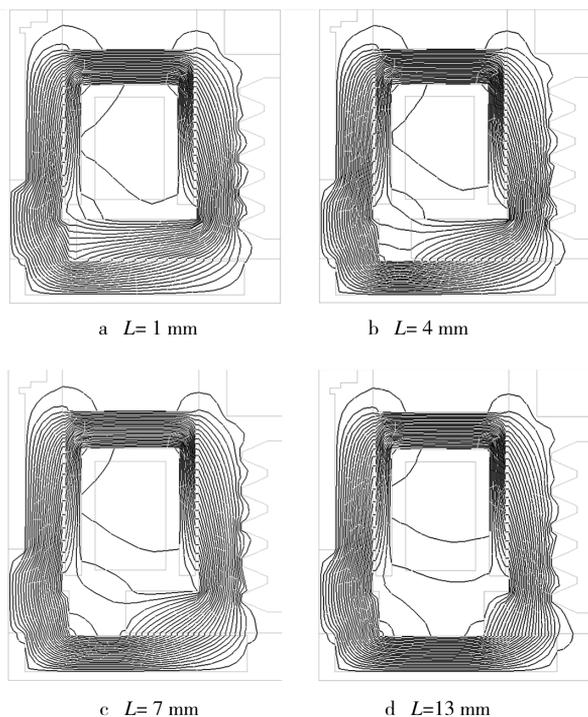


图 4 磁力线分布

Fig. 4 The distribution diagrams of the magnetic lines

2.3 吸盘厚度 h 对磁力线分布和电磁吸力 F 的影响

当 $L=3\text{ mm}$, $d=0.3\text{ mm}$ 时,不同吸盘厚度 h 对应的电磁吸力 F 见表 5。

从表 5 中可以看出,随着吸盘厚度 h 的增加,电磁吸力 F 先增大后减小,当 h 达到 4.3 mm 后,电磁吸力增加的幅度不大,达到 7.3 mm 后电磁吸力反而减小。

h 越小穿过吸盘的磁力线就相对越少,不仅有一定的磁力线直接在皮带轮自身和线圈外壳中形成

表5 吸盘厚度 h 对电磁吸力的影响

Table 5 Influence of the thickness of the chuch on electro-magnetic attraction

h/mm	F/N	h/mm	F/N
1.3	120.09	6.3	753.04
2.3	337.66	7.3	769.60
3.3	616.10	8.3	765.63
4.3	724.00	9.3	755.23
5.3	736.06		

回路,而且存在着磁漏,从而导致电磁吸力越小; h 越大那么穿过吸盘的磁力线也相对较多,磁漏也相对较小,但是当磁力线达到饱和时,吸盘厚度的增加反而使磁力线变得相对稀疏,电磁吸力反而减小。吸盘的厚度不可能很大,太大不仅增加了质量而且浪费材料,因此可以通过磁场的有限元模拟来选择合适的吸盘厚度。

$L=3\text{ mm}$, $d=0.3\text{ mm}$ 时,吸盘厚度 h 对磁力线分布的影响如图5所示。

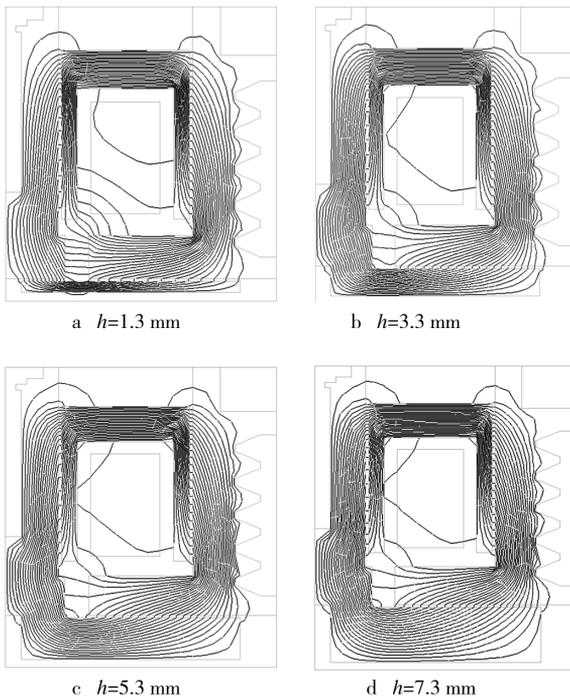


图5 磁力线分布

Fig. 5 The distribution diagrams of the magnetic lines

当 h 增加到一定值时,磁力线分布如图6所示,穿过吸盘的磁力线近似饱和,但厚度增加,使磁力线分布相对稀疏。

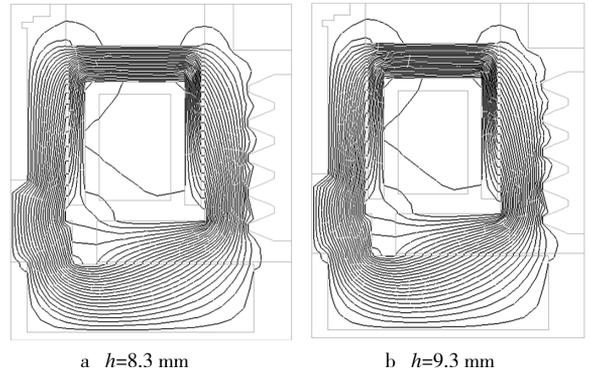


图6 磁力线分布

Fig. 6 The distribution diagrams of the magnetic lines

3 结语

经上述电磁场的有限元分析可得到如下的结论。

- 1) 当 L 和 h 不变时,随着皮带轮与吸盘之间间隙 d 的减小电磁吸力逐渐增大;
- 2) 当 h 和 d 不变时,随着皮带轮底部圆环半径 L 的增大电磁吸力呈增大趋势,但皮带轮与吸盘之间的接触面积随之减小,需综合考虑 L 的取值;
- 3) 当 L 和 d 不变,吸盘厚度 h 很小时电磁吸力也很小,随着 h 的增大电磁吸力先增大后减小,因此需选择合适的厚度。

参考文献:

- [1] 夏云铨. 汽车空调[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 2002:72-73.
- [2] 龚曙光,谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程[M]. 北京:机械工业出版社,2004:501-543.
- [3] 刘慧敏,尹力明. 磁悬浮列车悬浮电磁铁电磁场的有限元分析[D]. 长沙:国防科技大学,2004:32-34.
- [4] 兵器工业无损检测人员技术资格鉴定考核委员会. 常用钢材特性曲线速查手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003:14-15.
- [5] 孙明礼,胡仁喜. ANSYS10.0 电磁学有限元分析实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社,2007:17-63.