

不等厚磁极对永磁直流电动机电枢反应的影响

韩力, 辛懋, 赵斌, 李景灿

(重庆大学, 重庆 400044)

摘要:为了研究不等厚磁极结构对永磁直流电动机电枢反应和性能的影响,通过建立瞬态电磁场模型,利用时步有限元法对气隙磁场进行了计算。在此基础上,分析了不等厚磁极对抑制气隙磁场畸变和改善换向的效果。结果表明,采用不等厚磁极可以抑制气隙磁场畸变,减小电位差火花,但并不能降低换向区域的气隙磁密,起不到改善换向的作用。

关键词:永磁直流电动机;不等厚磁极;电枢反应;有限元法

中图分类号:TM33 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-7018(2009)01-0006-03

Effects on Armature Reaction of Permanent Magnet DC Motor by Unequal Thickness Poles

HAN Li, XIN Mao, ZHAO Bin, LI Jing-can

(Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract:To research the influences on armature reaction and performances of permanent magnet DC motor by the structure of unequal thickness magnetic poles, a model of transient electromagnetic field was established and the airgap magnetic fields were calculated by time-stepping finite element method. Furthermore, the effects of unequal thickness poles on reducing the airgap magnetic field distortion and improving the commutation condition were analyzed. The results showed that the distortion of airgap magnetic field and the potential sparks on the commutator were reduced by unequal thickness poles. However, unequal thickness poles could not decrease the airgap flux density at the commutation region and could not improve the commutation.

Key words:permanent magnet DC motor; unequal thickness poles; armature reaction; finite element method

0 引言

永磁直流电动机具有结构简单、体积小、效率高等优点,在国民经济各行各业得到了广泛应用。永磁直流电动机在负载运行时,电枢反应将使气隙磁场分布发生畸变,可能在换向器表面产生强烈的火花,造成换向器表面和电刷烧坏,导致电机无法正常运行。因此,在永磁直流电动机设计时,应寻找各种方法来尽量抑制其电枢反应^[1-6]。

文献[5]指出,利用不等厚磁极形成的不均匀气隙,可以有效抑制电枢反应引起的气隙磁场畸变,有利于改善换向。但其分析方法局限于定性说明,缺乏具体数据。目前还未见到有文献用电磁场数值计算的方法来研究不等厚磁极结构对永磁直流电动机电枢反应的影响。

本文首先讨论了电枢反应对永磁直流电动机性能的影响,然后应用电磁场有限元分析方法,通过数值计算,分析了采用不等厚磁极结构对抑制交轴电枢反应、改善永磁直流电动机性能的效果,说明了采用不等厚磁极可以抑制气隙磁场畸变,减小电位差火花,但并不能降低换向区域的气隙磁密,起不到改

善换向的作用。

1 电枢反应对电机性能的影响

永磁直流电动机在负载运行时,电枢绕组流过电流将产生电枢磁动势。当电刷位于几何中心线上时,电枢磁动势只有交轴分量。交轴电枢磁动势沿电枢表面呈三角形分布。当磁极无极靴时,在极弧部分,由于气隙较小且基本均匀,因此极靴下的电枢磁密随电枢磁动势的增大而成正比增大;而在两极之间,虽然气隙较大,但由于空气的磁导率与永磁体的磁导率很接近,磁通密度并不急剧减小,仍随电枢磁动势的增大而上升,只是增长要缓慢一些。因此,交轴电枢反应磁场分布为近似三角形,而不是马鞍形,其最大磁通密度出现在交轴上。这是永磁直流电动机交轴电枢反应区别于电励磁直流电动机的一个显著特点^[1-2]。电枢齿未饱和时,整个磁路为线性,气隙磁场可由电枢反应磁场和主极磁场直接叠加而得到,如图1所示。其中, F_{qx} 为交轴电枢磁动势, B_{qx} 为交轴电枢反应磁密, B_0 为空载磁密, B_g 为负载磁密。

1.1 电枢反应对气隙磁场畸变的影响

由图1可见,交轴电枢反应在半个磁极下具有增磁作用,在另半个磁极下具有助磁作用,使得每个

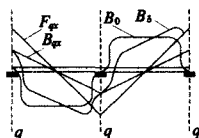


图1 电枢磁动势和气隙合成磁场分布

磁极下的气隙磁场分布发生畸变,其畸变程度可用气隙磁场畸变系数 K_d 来衡量^[3]:

$$K_d = \frac{B_{\delta\max}}{B_{\delta}} \quad (1)$$

式中: $B_{\delta\max}$ 为电机负载时的最大气隙磁密; B_{δ} 为空载时的气隙磁密。

当电枢元件切割不均匀磁场时,就会感应出不均匀的电动势,使与这些元件相连接的换向片的片间电压也不均匀。当片间电压过高时,可能导致换向片间的绝缘产生表面放电,形成电位差火花。气隙磁场畸变越大,最大片间电压越高,就越容易产生电位差火花。在换向不利的情况下,电刷下的火花与电位差火花汇合在一起,随着换向器的旋转,在正、负电刷之间可能形成环火,严重时甚至可能导致电刷和换向器表面烧毁,并使电枢绕组受到损伤。

1.2 电枢反应对换向性能的影响

当旋转的电枢绕组元件从一条支路经过电刷进入另一条支路时,在被电刷短接的过程中,元件内电流将发生改变方向的变化,从而实现换向。良好的换向是永磁直流电动机持久稳定运行的必要条件。

对于不装置换向极、电刷放置在几何中心线上的永磁直流电动机,换向区域的磁场只由电枢反应磁动势建立。在换向过程中,当换向元件切割磁力线时,将会感应出旋转电动势,并在换向元件中产生附加换向电流,进而引起换向火花,阻碍换向,严重时甚至烧毁电刷和换向器。

换向元件内的旋转电动势可用下式计算^[2,3]:

$$e_k = 2N_k B_k L_k v_k \quad (2)$$

式中: N_k 为换向元件的匝数; B_k 为换向区域磁场的磁通密度; L_k 为换向元件每一元件边的有效长度; v_k 为电枢表面的线速度。

文献[5]通过试验指出,采用不均匀气隙结构可以有效抑制电枢反应引起的气隙磁场畸变,改善换向。本文分析发现,若想改善换向性能,需减小换向元件中的附加换向电流,减小旋转电动势 e_k 。利用不等厚磁极结构抑制电枢反应时,电机的 N_k 、 v_k 、 L_k 均不变,由式(2)可知,如要削弱旋转电动势,则必须减小换向区域的磁通密度。为此,本文将建立不同程度不等厚磁极的永磁直流电动机有限元模型,分析计算电机负载运行时气隙磁场畸变情况和换向区域磁密变化规律。

2 不等厚磁极结构

对于常规的永磁电机而言,磁极的内外径同心,磁极厚度和气隙大小都是均匀的。当采用不等厚磁极结构时,磁极内外径不同心,磁极外径圆心和电枢外径圆心重合,为 O_1 ,磁极内径圆心为 O_2 ,磁极厚度从磁极中心线处的 h_m 连续光滑减小到极尖处的 h_{m1} ,如图2所示。 O_2 偏离 O_1 的距离不同,则气隙不均匀程度也不同。

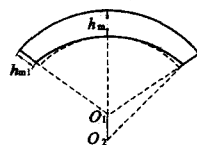


图2 不等厚磁极示意图

为了下面叙述方便,本文首先定义 h_d 为磁极厚度不均匀系数:

$$h_d = \frac{O_1 O_2}{h_m} \quad (3)$$

式中: $O_1 O_2$ 为磁极内外径圆心间的距离, h_m 为磁极中心线处的磁极厚度。

3 电磁场计算模型

为了研究永磁直流电动机负载运行时电枢反应对气隙磁场的影响,本文采用瞬态电磁场模型,应用时步有限元法进行求解。首先假设:

- (1) 忽略位移电流,认为电磁场是似稳场;
- (2) 不考虑端部效应,设电机磁场按二维分布;
- (3) 永磁材料用等效面电流模拟。

取整个电机为求解区域,用矢量磁位 A_z 进行求解,则瞬态电磁场的边值问题可表述为:

$$\left. \begin{aligned} \Omega: \frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) &= -J_{sz} + \sigma \frac{dA_z}{dt} \\ S_1: A_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中: J_{sz} 为求解区域内的强加电流密度; $\sigma \frac{dA_z}{dt}$ 表示在涡流区域内被感应出的涡流密度; Ω 为求解区域; S_1 为求解区域边界线,统一取定子外圆边界线和转子内圆边界线。

4 实例计算

本文以一台永磁直流电动机为例进行计算,其基本参数如表1所示。

表1 额定数据及结构参数

参数	取值	参数	取值
额定功率/W	38	充磁方向	径向
额定电压/V	24	永磁体厚度/mm	4
极数	2	永磁体长度/mm	22
槽数	12	电枢长度/mm	22
气隙长度/mm	0.5	电机轴向长度/mm	55

首先建立其空载和额定负载运行时的瞬态电磁

场模型,仿真计算其稳定运行后的磁场分布。然后对永磁体厚度进行不均匀处理,建立 h_d 分别为 0.25、0.5、0.75 和 1 时的四个不等厚磁极计算模型,如图 3 所示。

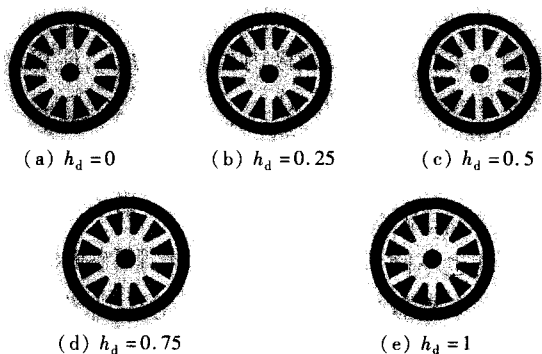


图3 不等厚磁极模型

根据所建立的永磁直流电动机模型,通过计算,分别绘制出在空载和额定负载稳定运行后某一时刻的气隙磁密波形图,如图 4 所示。

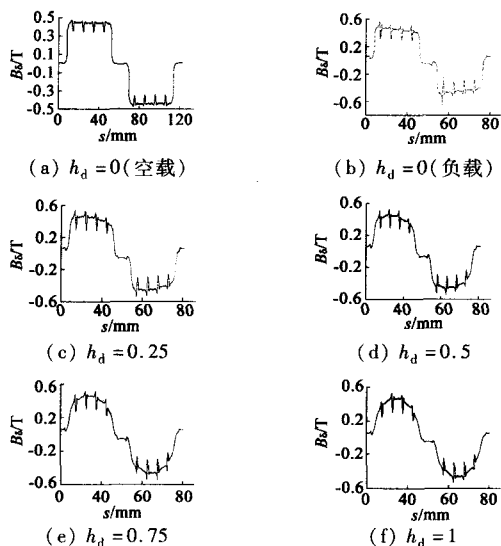


图4 气隙磁密波形

根据图 4,分别求出空载时 $h_d = 0$ 对应气隙磁密 B_g 以及负载时 $h_d \geq 0$ 的最大气隙磁密 B_{gmax} ,代入式(1)计算得到气隙磁场畸变系数,如表 2 所示。

表2 气隙磁场畸变系数

h_d	B_g/T	B_{gmax}/T	K_d
0	0.45	0.60	1.33
0.25	0.45	0.55	1.22
0.5	0.45	0.54	1.20
0.75	0.45	0.53	1.18
1.0	0.45	0.53	1.18

从表 2 可以看出,随着磁极厚度不均匀系数的增大,气隙磁场畸变系数将减小,说明采用不等厚磁极可以削弱气隙磁场畸变,减小最大片间电压,抑制电位差火花和环火。但同时也可看出,当 h_d 从 0.25 继续增大时,气隙磁密畸变系数仅略有减小,对进一步抑制气隙磁场畸变的效果不再明显。另

外,通过计算得出,增大磁极厚度的不均匀程度,将引起每极磁通量的减小。因此在实际应用中,需合理选择磁极的不均匀程度,达到既可保持每极磁通量基本不变,又可减小交轴电枢反应引起的气隙磁场畸变、抑制电位差火花和环火的效果。

根据图 4 计算得到的气隙磁密波形图,还可进一步求出在不同 h_d 时换向区域(即电枢的几何中性线处)的平均气隙磁密,如图 5 所示。

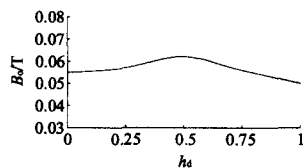


图5 换向区域磁密变化图

由图 5 可以看出,当 h_d 从 0~0.5 变化时,换向区域的气隙磁密有上升的趋势;从 0.5~1 时,又逐渐下降。总体来看,采用不等厚磁极后,换向区域的气隙磁密并没有得到明显降低。这说明,采用不等厚磁极并不能减小由电枢反应在换向区域产生的磁场,不会减小旋转电动势,因此也起不到改善换向的作用。

5 结 语

本文首先从理论上分析了永磁直流电动机电枢反应对气隙磁场及电机性能的影响,然后建立了永磁直流电动机空载和负载运行的瞬态电磁场模型,应用时步有限元法计算了不同程度不等厚磁极对抑制电枢反应的效果。结果表明,采用一定程度的不等厚磁极,可以抑制电枢反应造成的气隙磁场畸变,抑制电位差火花和环火;但并不能有效降低换向区域的气隙磁密,起不到改善换向的作用。另外,选用不等厚磁极会减小气隙磁通,对电机性能带来其它不利影响。因此,实际中应综合考虑各种因素,合理选用磁极的不均匀程度来抑制电枢反应。

参考文献

- [1] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 许实章. 电机学[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [3] 胡鉴清. 电机工程手册-直流电机[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- [4] 王晋,陶桂林,丁永强,等. 永磁无刷直流电动机电枢反应的分析[J]. 大电机技术,2005(2):13-16.
- [5] 周德敏. 影响永磁直流电机性能的几个关键因素[J]. 电机技术,1994(1):7-9.
- [6] 方光辉. 电枢反应和磁钢对起动机换向的影响[J]. 微电机,2000(5):50-51.

作者简介:韩力(1963-),男,副教授,硕士生导师,研究方向为电机优化设计、电机电磁场。