

永磁同步电机偏心故障检测方案设计

摘 要

随着社会的发展,科技的进步,永磁同步电机成为现代工业不可或缺的一部分。电机作为工业设备的核心,它的运行状况会对工业设备的工作效率和稳定性产生直接影响。转子的动偏心是电机较为常见的一种故障,而工业电机因工作环境原因更容易发生偏心故障,工业电机一旦发生偏心故障将对正常工业生产带来影响。转子偏心会改变电机气隙大小及磁场分布,气隙磁场改变的同时,径向电磁力也会发生变化,从而产生不平衡磁拉力。对电机的安全运行和正常的工业生产造成安全隐患。因此,论文以常用的永磁同步电机为研究对象,着重于对偏心故障下电机内部磁场的分析及偏心检测方法的研究。

关键词: 永磁同步电机; 动偏心故障; 有限元分析; 气隙磁场。

目 录

摘 要	2
第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.3 有限元分析法的介绍	2
1.4 论文的主要工作	3
第二章 偏心故障下永磁同步电机不平衡磁拉力分析	4
2.1 引言	4
2.2 不平衡磁拉力的理论计算	4
2.3 偏心故障下电机不平衡磁拉力的有限元仿真	6
2.3.1 建立永磁同步电机 ansoft 仿真模型	6
2.3.2 偏心故障下径向电磁力仿真分析	9
2.3.3 不平衡磁拉力和偏心程度的关系	10
第三章 偏心故障下永磁同步电机气隙磁场分析	12
3.1 引言	12
3.2 永磁同步电机气隙磁场解析理论分析	12
3.2.1 气隙磁导分析	12
3.2.2 气隙磁场分析	13
3.3 空载条件下正常永磁同步电机气隙磁场的有限元分析	14
第四章 永磁同步电机偏心故障检测方案设计	17
4.1 引言	17
4.2 偏心故障检测方案选择	17

第五章 结论与展望	18
5.1 总结	18
5.2 展望	18
参考文献	19

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

随着工业社会的发展,电机的使用已经渗透到生产生活的各个方面,极大地促进了生产生活的便利和生产的发展。电机在工业的生产和发展中扮演着不可或缺的重要角色。电机可能出现的故障主要分为:(1)定子方面的故障:定子铁芯故障以及断路、匝间短路和相间短路等;(2)转子方面的故障:轴承弯曲、端环断裂、转子绕组短路、导条开焊;(3)机械方面的故障:轴承损裂、定转子碰撞。这些故障的出现将严重影响电机的正常运行和使用寿命。每年因电机故障所造成的经济损失无法估量。这些损失不但包括了电机本身的成本,也包括因电机损坏停产所造成的其它经济损失。随着社会的发展和工业化程度的提高,人们对电机能够可靠运行的要求也越来越高。

电机的转子偏心故障是一种常见故障,电机转子一旦偏心,气隙的宽度就不再是均匀的,这将造成气隙磁场发生变化,定转子间将会出现不平衡磁拉力,这种不平衡磁拉力会恶化电机性能,加深偏心的程度,造成气隙磁场的畸变。所以对电机偏心故障进行诊断研究,预防偏心故障程度加深,对保障正常的工业生产具有重大的意义。

1.2 国内外研究现状

根据以往在分析电机电流信号的基础上,对偏心检测方面具有颇深的研究经验。如果感应电机存在偏心故障,将会有一些频率特定的电流分流存在于定子绕组中经过多方面的实验研究证实,找到了绕组函数法,为气隙偏心的进一步研究打下了坚实的基础,也提出了相应的感应电机多回路模型,在正弦电压激励基础下,对无故障电机的启动性能给予仿真,取得了较好的应用效果,在此模型的基础下,对各种感应电机故障进行分析,比如定子绕组短路、定子绕组开路、转子断条、转子断环等,得到了效果较好的故障特征。比如转速、转矩及电流等。

在此模型中气隙是均匀的,在电感的计算过程中,很容易体现气隙偏心效果,在后来的研究中,是具有支持作用的理论依据。在研究过程中,多回路模型应用的比较多,在电感矩阵的计算中,体现出静态气隙偏心,并使用气隙长度增大的方法对铁心磁压降进行考虑,事实验证,在电感计算中确实存在气隙偏心现象,但是定子绕组间之间的互感是有区别的。随后,对静态偏心和无偏心情形下的空载启动性能之间的差异进行比较,主要包括定子磁链曲线、转子磁链曲线、转速曲线、转矩曲线、定子电流曲线、转子电流曲线等等,研究结果显示,在感应电机运行的过程中,如果存在静态偏心现象,将会延长电机的启动时间。在感应电机处于稳态的情形下,如果转子电流增大,将会使电机的稳态升温。

有常见的几种诊断方法:

(1) 基于信号处理的方法

基于信号处理的方法,通常是利用信号模型(如相关函数、频谱、小波变换等)这些可以直接分析可测信号,或者间接利用幅值、频率、电流等值,以这些为依据进行故障分析。

(2) 基于解析模型的方法

基于解析模型的方法是以诊断对象的数学模型为基础,按照一定的数学方法对被测信息进行诊断处理,其优点是能深入系统本质的动态性质和实现实时诊断。

(3) 基于神经网络的诊断方法。

(4) 人工神经网络(Artificial Neural Network)具有大规模并行分布处理、联想记忆、自组织学习、容错性等优良特性,对于非确定性的知识具有极强的处理能力,能够解决许多传统方法所无法解决的问题。然而人工神经网络的一些缺点限制了他的一些应用,如:网络结构难以确定、局部极点小等问题。

另外还有很多其它的智能诊断方法,然而每种诊断方法都有其局限性和缺点,因此将多种方法相结合的综合故障诊断技术已经成为一个新的研究热点。

1.3 有限元分析法的介绍

有限元分析(FEA, Finite Element Analysis)利用数学近似的方法对真实物理系统进行模拟。利用简单而又相互作用的元素,就可以用有限数量的未知量去逼近无限未知量的真实系统。

有限元分析是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成，对每一单元假定一个合适的（较简单的）近似解，然后推导求解这个域总的满足条件（如结构的平衡条件），从而得到问题的解。因为实际问题被较简单的问题所代替，所以这个解不是准确解，而是近似解。由于大多数实际问题难以得到准确解，而有限元不仅计算精度高，而且能适应各种复杂形状，因而成为行之有效的工程分析手段。

有限元是那些集合在一起能够表示实际连续域的离散单元。有限元的概念早在几个世纪前就已产生并得到了应用，随着计算机技术的快速发展和普及，有限元方法迅速从结构工程强度分析计算扩展到几乎所有的科学技术领域，成为一种丰富多彩、应用广泛并且实用高效的数值计算方法。

1.4 论文的主要工作

本文的主要目的旨在通过对偏心故障下电机内部磁场和不平衡磁拉力变化情况的分析，设计一种新的偏心故障检测方案。该方案利用霍尔传感模块和多点测量技术构建磁场采集装置，利用傅里叶变换方法处理磁场数据提取故障特征，实现永磁同步电机偏心故障检测。主要工作内容概括如下：

（1）采用数值计算方法对偏心故障下永磁同步电机的不平衡磁拉力公式进行推导，并利用 ansoft 仿真软件建立永磁同步电机二维模型，对永磁同步电机在不同程度偏心程度下的磁拉力进行分析，揭示了不平衡磁拉力随偏心率的变化规律：改变电机运行负载，利用有限元方法探究发生偏心故障的永磁同步电机分别在电机空载、0.5 倍额定负载和额定负载情况下不平衡磁拉力的变化情况。

（2）探究偏心故障下永磁同步电机气隙磁场的变化情况。首先采用解析方法对正常电机和偏心故障电机的气隙磁场进行分析。接着利用有限元方法对电机气隙磁场进行计算，将空载正常运行情况下的磁场分布和气隙磁密与不同程度偏心电机的磁场分布和气隙磁密进行对比，确定了偏心故障及不同偏心程度下电机气隙磁场的变化特征。采用傅里叶变换对气隙磁场的谐波进行分解，得到各个阶次谐波在电机偏心故障下的分布情况。

（3）在前面的理论分析和仿真验证的基础上，针对当前检测方法的不足和对偏心故障检测的需求分析，设计一种利用传感器检测气隙内多点磁场信息判断偏心故障的检测方案。检测系统包括传感电路模块、数据采集模块以及上位机处

理模块，通过对磁场的信息采集、处理并对比对故障特性判断偏心故障类型及最小气隙位置。最后利用有限元模型对检测方案的有效性进行仿真验证。

第二章 偏心故障下永磁同步电机不平衡磁拉力分析

2.1 引言

电机的偏心故障常常伴随着不平衡磁拉力的产生,是因为偏心导致气隙磁场变化。先对不平衡磁拉力进行公式理论推导,然后建立永磁同步电机的二维有限元模型,对电机在不同偏心状态下的不平衡磁拉力进行仿真。

2.2 不平衡磁拉力的理论计算

不平衡磁拉力就是麦克斯韦力,由麦克斯韦张力法,可以得到电机转子单位面积上的电磁力 F ,单位面积上的电磁力 F 又可以分解为径向分量 F_r 和切向分量 F_t ,如下图 2.1 所示。

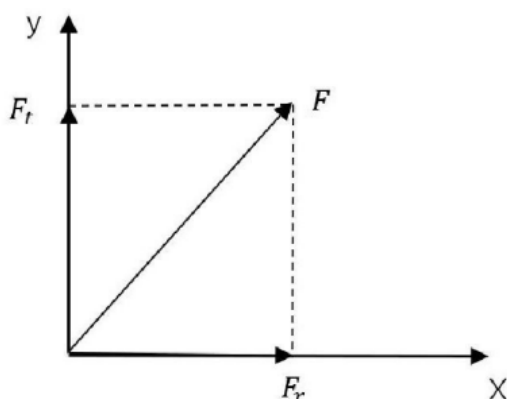


图 2.1 电磁力径向分力和切向分力示意图

径向分量 F_r 和切向分量 F_t 的表达式为:

$$F_r = \frac{1}{2\mu_0} (B_r^2 - B_t^2) \quad (2-1)$$

$$F_t = \frac{1}{\mu_0} B_r B_t \quad (2-2)$$

式中:

B_r ——气隙中的径向磁密;

B_t ——气隙中的轴向磁密；

μ_0 ——气隙磁导率。

由麦克斯韦法可以推导出单位长度上的径向电磁力为：

$$F_r = \frac{1}{\mu_0} \oint B_r^2(s) d(s) \quad (2-3)$$

做出电机转子外径和定子内径的偏心示意图如图 2.2 所示。其中 c_1 、 c_2 为初始圆心和偏心后圆心， s 是沿转子静态偏心的偏心距离， α 是定子内圆中任一点和圆心所连直线同偏心方向所构成的夹角，则该径向电磁力在偏心方向所受的分解力为 F_{r1} ，其中 F_{r1} 为 $F_r \cos(\alpha)$ 。当气隙发生变化时，电磁力也同样发生变化，从而产生不平衡磁拉力，它为：

$$F = \frac{1}{2} R \oint F_r \cos(\alpha) d\alpha \quad (2-4)$$

式中：

R ——定子铁心内径。

在知道气隙磁密 B 的分布情况后，代入式 (2-4) 可得不平衡磁拉力的表达式：

$$F_1 = \frac{R}{\mu_0} \int_0^{2\pi} B^2(\alpha) \cos(\alpha) d\alpha \quad (2-5)$$

设圆周上的任意一个点 k 的极坐标 (r_{k+1}, θ_k) ，该点处的气隙磁密是 B_k ，则 $k+1$ 对应的点的极坐标是 (r_{k+1}, θ_{k+1}) ，该点对应的气隙磁密是 B_{k+1} ，把式 (2-5) 离散得

$$F_1 = \frac{R}{2\mu_0} \sum_{n=0}^m (B_{n+1}^2 \cos \alpha_{n+1} + B_n^2 \cos \alpha_n) \quad (2-6)$$

其中 n 为转子圆周上的任一点， m 是转子圆周分解的总点数。

转子上产生的全部不平衡磁拉力是：

$$F_r = F_l * F_d \quad (2-7)$$

式中：

l_d ——定子铁心长度。

对 x 轴和 y 轴方向上的电磁力进行积分，可得到不平衡磁拉力在 x 轴和 y 轴上的分量：

$$\begin{cases} F_{rx} = \frac{Rl_d}{2\mu_0} \int_0^{2\pi} [(B_r^2 - B_t^2) \cos \alpha - 2B_r B_t \sin \alpha] d\alpha \\ F_{ry} = \frac{Rl_d}{2\mu_0} \int_0^{2\pi} [(B_r^2 - B_t^2) \sin \alpha + 2B_r B_t \cos \alpha] d\alpha \end{cases} \quad (2-8)$$

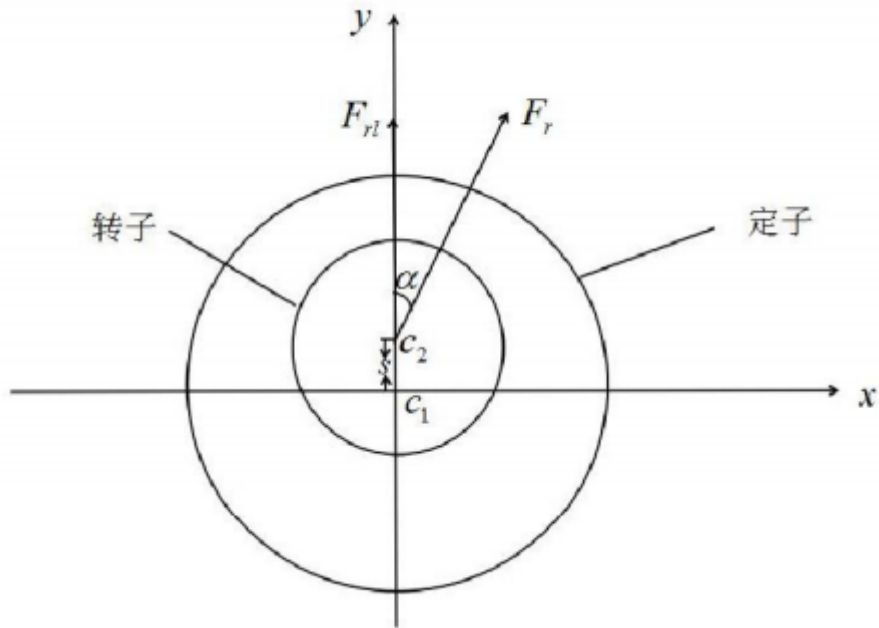


图 2.2 转子偏心示意图

2.3 偏心故障下电机不平衡磁拉力的有限元仿真

2.3.1 建立永磁同步电机 ansoft 仿真模型

首先在 RMxpert 中新建要解的模型→设置模型各个部分参数及材料→对设置好的 RMxpert 模型进行求解→生成 maxwell3D 模型→转子偏心及激励设置→进行仿真运算。

1. 永磁同步电机的基本参数

本文使用的仿真的永磁同步电机的基本参数如下表 2.1。

额定功率 (KW)	1.1	定子外径 (mm)	145
额定电压 (V)	220	定子内径 (mm)	79
额定转速 (rpm)	1500	铁心长度 (mm)	76
功率因数	0.95	转子外径 (mm)	77
绕组连接方式	Y	槽数	24
极对数	2	气隙宽度 (mm)	1

表 2.1 永磁同步电机的基本参数

2. 永磁同步电机的基本假设

- 1) 电机铁芯所受外部磁场的影响不计，转轴是绝对磁绝缘的；
- 2) 不考虑铁芯边缘结构对电机内部磁场的影响；
- 3) 假设电机转子和定子所用的材料具有同向性；
- 4) 不计电机绕组产生的温度的影响。

3. 永磁同步电机模型边界条件的设置

有限元方法的本质是求解矩阵方程的过程，要得到一组解，必须有确定的求解条件。方程的定解条件和边界条件在有限元方法中具有相同的函数。因此，正确地设置边界条件，是顺利求解矩阵方程和保证计算结果的准确性的前提。边界条件就是在仿真模型的边缘设置的已知条件。有限元中常用的已知条件有诺依曼边界条件：

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} \Big|_r + f(r) \phi \Big|_r = h(r) \quad (2-9)$$

式 (2-9) 中， n 表示边界外法线矢量， r 表示诺依曼边界。 $h(r)$ 和 $f(r)$ 是一般函数，也可以是零和常数，在边界条件齐次化时其值可以为零。该边界条件在 Ansoft 中的 RMxpert 模块会自行在计算的过程由软件调节，不需人为设定。有限元法中经常用到的边界条件还有自然边界条件。自然边界条件是指两种材料不同的材质的接触边界的切向和法向回归到自然边界。采用的永磁同步电机的所用材料如下图 2.2 所示。

电机部件	材料	电机部件	材料
定子铁心	DW465-50	转子铁心	DW465-50
定子导体	铜	定子求解域	空气
永磁体	XG196/96	气隙	空气

表 2.2 永磁同步电机各部分材料设置

4. 模型的生成

把所有设置和材料在 Ansoft Maxwell 的 Rmxpert 模块中进行设置，如图 2.3 所示。

Rotor						
	Name	Value	Unit	Evaluated...	Description	Read-o...
	Outer Diameter	74	mm	74mm	Outer diamete...	☐
	Inner Diameter	26	mm	26mm	Inner diameter...	☐
	Lenath	65	mm	65mm	Lenath of the r...	☐
	Steel Type	DW310 35			Steel type of t...	☐
	Stacking Factor	0.95			Stacking facto...	☐
	Pole Type	1			Pole type of th...	☐

图 2.3 RMxpert 模块参数设置

生成的 RMxpert 模型导入 Maxwell3D 模型如图 2.4。

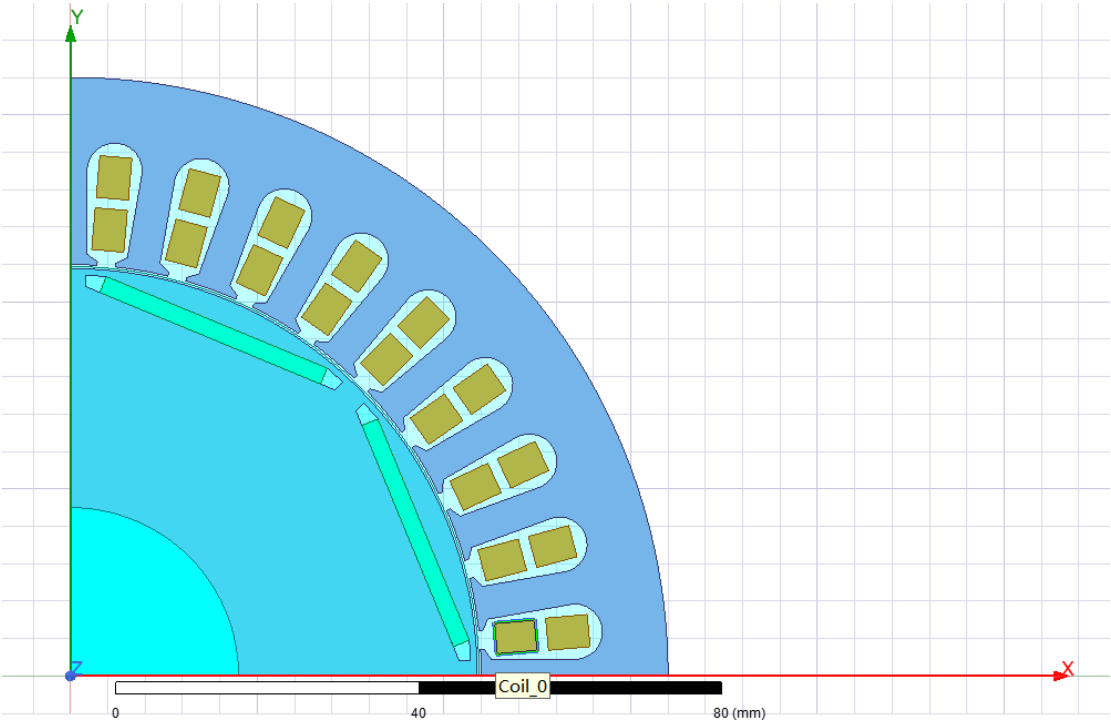


图 2.4 永磁同步电机二维模型图

5. 偏心模型的设置

本文后续研究要基于永磁同步电机 3D 模型进行，需要基于不同程度偏心故障进行分析和仿真验证，因此需要建立不同的偏心模型。为了便于分析，引入偏心度 k 来测量转子偏心程度的大小

$$k = \frac{s}{g} \quad (2-10)$$

式中：

s ——转子偏心距离；

g ——气隙长度。

2.3.2 偏心故障下径向电磁力仿真分析

采用有限元分析法对正常电机和不同偏心率下的电机的径向电磁力进行仿真分析，并进行对比。

通过有限元方法计算得到空载的正常电机的气隙各点处的径向电磁力密度如图 2.4 所示

由图 2.4 可知，径向电磁力的波峰和电极磁极对应，空载正常电机的各磁极下的电磁力密度基本相同且呈对称周期分布。由此可知，在没有偏心故障出现的正常电机的各磁极产生的电磁力完全相同，以此保障转子在各个方向所受磁拉力平衡，此时没有不平衡磁拉力产生，电机可以保持正常运转。电机相邻两磁极间隙的电磁力密度为 0，从磁极边缘到中间电磁力密度的幅值有所增加，这与永磁体所产生的磁场规律相同。

为了分析电机的偏心故障对不平衡磁拉力的影响，采用麦克斯韦应力计算偏心度分别为 20%和 40%的电机的径向电磁密度，将得到的结果和正常电机进行对比，径向电磁力密度对比图如下图 2.4 所示。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/155002220310012111>
