

# 30 kW 异步起动永磁同步电机的优化设计

王亮, 王晨, 黄金霖

(安徽机电职业技术学院电气工程系, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**异步起动永磁同步电机由于结构简单、效率高以及起动性能优越等条件,使其在抽油机、起重机等场合应用广泛。设计了一台 30 kW 抽油机用异步起动永磁同步电机,以效率与成本为目标函数,利用 ANSOFT 分析软件,对其进行优化设计以及性能分析。结果表明,合理的隔磁桥尺寸和气隙长度,可有效地提高电机效率,降低电机成本,为异步起动永磁同步电机的优化提供了可靠基础。

**关键词:**异步起动;永磁电机;优化设计;隔磁桥

**中图分类号:**TM302

**文献标志码:**A

## 引言

随着科技的日益发展,人类对能源的要求越来越高,能源的利用率,特别是电能的利用率成为人们日益关注的话题。在工、企业中,效率与功率因数偏低的传统异步电机逐渐被高性能的永磁电机所代替。

异步起动永磁同步电机较传统异步电机具有结构简单、效率高等优点;较永磁同步电机其起动转矩大、起动性能优越。因此,在起动性能要求较严的场合得到广泛应用,如抽油机、纺织机以及电梯等场合<sup>[1-2]</sup>。

虽然异步起动永磁同步电机在诸多场合的应用有着得天独厚的优势,但其永磁体置于转子内部,漏磁现象比较严重,而隔磁桥的放置又影响电机的机械强度,因此,其转子永磁体和隔磁桥的尺寸对电机的性能与电磁特性产生较大的影响<sup>[3,4]</sup>。文献[5]通过场路结合的方法,对异步起动永磁同步电机的起动性能做了深入分析,并通过实验证明该计算方法的准确性;文献[6]在考虑磁路饱和的前提下,分别建立抽油机专用异步起动永磁同步电机和异步电机的有限元分析模型,分析了异步起动永磁同步电机的优越性,并通过实验,验证了方法的准确性;文献[7]设计了一款实心式永磁同步电机,研

究永磁体尺寸对电机起动能力的影响,并试制样机,样机测试结果与分析结果相吻合;文献[8]利用正交试验的方法研究复合材料导条尺寸对电机运行性能的影响,优化后的电机取得了较好的起动性能。但上述文献只针对电机的电磁性能和永磁体尺寸的优化进行分析研究,对隔磁桥的优化并不多见。

本文设计了一台 72 槽 8 极 30 kW 抽油机用异步起动永磁同步电机,在综合考虑起动性能和电磁性能的基础上,利用参数化分析的方法,优化电机的永磁体和隔磁桥尺寸,为异步起动永磁同步电机的优化分析和应用奠定了基础。

## 1 异步起动永磁同步电机的优化模型

以效率和生产成本为目标函数,综合考虑电机的起动性能和电磁特性,对初步设计的异步起动永磁同步电机进行优化分析,使得电机的效率达到最佳<sup>[3]</sup>。其数学模型为:寻求满足约束条件  $G_j(x) \geq 0$  的自变量  $x$ ,使得  $F(x)$  的值达到最大,即:

$$\max F(x), x \in D$$

$$D: G_j(x) \geq 0; j = 1, 2, 3 \dots$$

式中:  $F(x)$  是效率目标;  $G_j(x)$  为约束条件,满足电机

收稿日期:2015-09-06

基金项目:安徽机电职业技术学院自然科学研究项目(2015yjz03)

作者简介:王亮(1988-),男,安徽池州人,讲师,硕士,主要从事永磁电机设计与分析的研究,(E-mail) wangchen1071@163.com

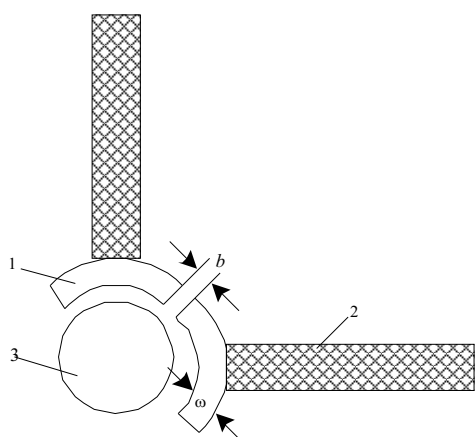
的电磁特性;  $x$  为电机的尺寸变量。

## 2 电机转子结构优化分析

### 2.1 隔磁桥尺寸的优化

为了提高电机的过载能力和起动性能,异步起动永磁同步电机的永磁体均置于转子内部,可通过内置转子磁路的不对称产生磁阻转矩,使得电机的起动转矩增大,起动时间得到有效地缩短<sup>[9]</sup>。

但此类结构会导致永磁体的漏磁现象比较严重,因此,需要使用合适的隔磁装置,如图1所示。



1:永磁体槽 2:永磁体 3:转轴  
图1 隔磁桥示意图

隔磁桥的尺寸不仅对电机的机械强度产生较大影响,对异步起动永磁同步电机的效率和电磁性能也存在一定的影响。利用有限元分析软件,得出隔磁桥的宽度  $\omega$  对电机的效率的影响,如图2所示。

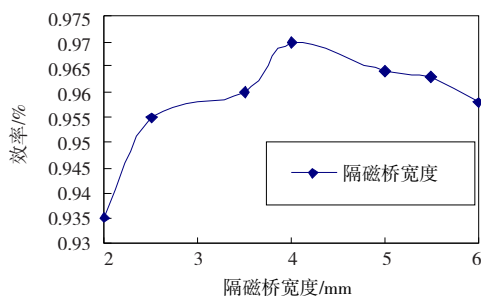


图2 电机效率随隔磁桥尺寸的变化

由图2可知,随着隔磁桥长度的升高,电机效率呈先升高后下降的趋势,当隔磁桥宽度为4 mm时,电机的效率最高;但过小的隔磁桥宽度会导致电机的漏磁增多,而过大的隔磁桥尺寸会影响电机的机械强度。综合考虑,选取隔磁桥的长度为5 mm最合适,电机运行性能最优。

### 2.2 气隙长度的优化

气隙是电机实现电磁能量转换的场所所在,气隙的

长度严重影响电机的效率和电磁特性。过大或过小的气隙均会使电机导致一系列问题<sup>[5]</sup>。过小会导致机械性能不稳定,空载反电势谐波含量增大,产生较大的温升和噪音;过大会使得电机的输出转矩出力不够,效率降低<sup>[10-11]</sup>。因此,在保证电机效率与性能不变的情况下,需要选取合适的气隙长度。图3是在不同气隙长度下电机的效率曲线。

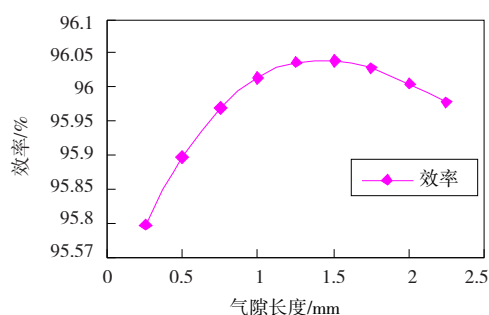


图3 效率随气隙长度的变化

由图3可知,气隙长度在0.3 mm与2.2 mm之间变化时,电机的效率呈先上升后下降的趋势。当气隙长度为1.3 mm时,电机的效率最优。

### 2.3 永磁体尺寸的优化

异步起动永磁同步电机的永磁体内置于转子内部,其尺寸大小不仅对电机的效率和交直流电感有影响,而且对异步起动永磁同步电机的起动性能(起动转矩和牵入同步的时间等)有很大的影响。

过高的起动转矩与起动电流比不仅造成大量永磁材料的浪费,使电机的制造成本增加,且不能明显的改善电机的起动性能。

永磁体的宽度随电机效率的变化曲线如图4所示,永磁体宽度随电机起动转矩的变化曲线如图5所示。

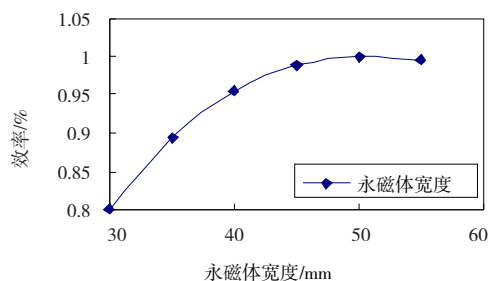


图4 电机效率随永磁体宽度的变化

由图4与图5可知,随着永磁体宽度的增加,电机的效率与起动转矩呈先线性增加,后饱和的趋势变化。过大的永磁体不仅不能提高电机的起动性能与效率,还会使得电机的成本增加,综合考虑上述两个因素,电机的永磁体尺寸选取为14 mm。

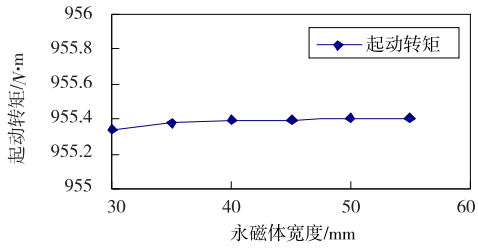


图 5 起动转矩随永磁体尺寸变化

### 3 电磁特性分析

#### 3.1 气隙磁密

建立优化后的有限元分析模型,利用有限元分析软件 ANSOFT 分析优化后的电机电磁特性。电机的空载反电势曲线和谐波分析如图 6 所示。

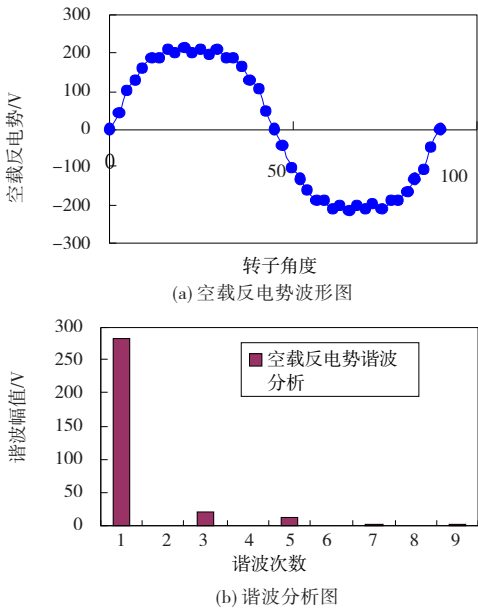


图 6 空载反电势仿真图

由图 6(b)可知,电机的 3 次与 5 次谐波含量较高,这是由于电机的定子绕组采取了合适分布绕组,减小了 7 次谐波含量。

#### 3.2 起动性能分析

异步起动永磁同步电机起动过程中具有异步电机的特点,而起动完成后,跟永磁同步电机的特性相似。

由于转子永磁体的存在,使得该类电机具有特有的起动特性,其起动过程较为复杂,对电机的起动过程进行有限元分析时,要综合考虑以下几点要素<sup>[6-7]</sup>:

(1) 选择合适的步长和时间,时间过短未拖入同步转速,时间过长影响仿真时间,且网格剖分对起动过程影响较大。

(2) 由于起动过程产生过大的起动电流,且起动过

程存在多个转矩相互作用,因此,采用场路结合的方法分析。

(3) 转子的初始位置对起动过程影响较大。

建立有限元分析模型,选取合适的激励方式和初始位置,建立有效的等效电路,对电机的起动过程进行有限元仿真分析,得出电机的磁力线分布图与转速转矩曲线分别如图 7 与图 8 所示。

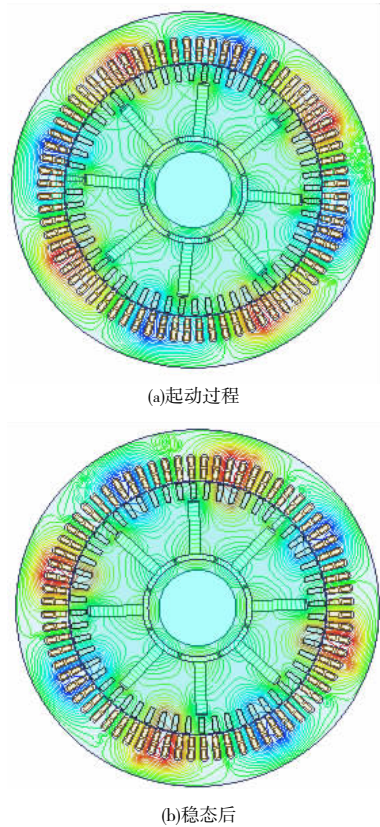


图 7 电机的磁力线分布图

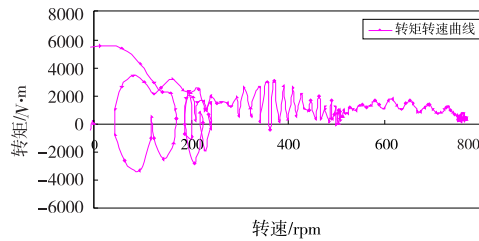


图 8 转速转矩曲线

由图 7 可知,起动过程中,转子磁力线分布不均匀,这是由于转子的集肤效应,使得磁力线均集中在转子表面,呈不均匀分布;达到稳态后,磁力线分布均匀,集肤效应消失。

由图 8 可知,异步起动永磁同步电机的起动过程与感应电机的起动过程基本相似,与之不同的是异步起动永磁同步电机在 0.2 s 左右是由永磁体产生的转矩使其

牵入同步转速。电机牵入同步转速以后,虽然异步转矩一直减小直至为零,但永磁体旋转磁场与定子旋转磁场产生的转矩,使得电机的转速会超过同步转速;永磁体产生的磁场对电机的起动过程有很大的影响,因此LSPMSM电机在起动过程中有很强的振荡作用,但随着异步转矩的作用电机最终会稳定在同步转速上运行。

#### 4 结 论

在研究异步起动永磁同步电机原理的基础上,设计出一种72槽8极异步起动永磁同步电机,综合考虑起动性能和电磁性能的前提下,对电机进行优化分析,得出如下结论:

(1) 永磁体隔磁桥尺寸、气隙长度等对电机的起动性能和效率产生一定的影响。

(2) 该类电机起动过程出力大,适合于大转矩起动的场合,利用ANSOFT软件可有效缩短该类电机的开发周期。

(3) 该类电机在起动过程中,由于定子电流与永磁体的双重作用,起动过程较复杂。

#### 参 考 文 献:

- [1] 王秀和,杨玉波,朱常青.异步起动永磁同步电动机——理论、设计与测试[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 陈文彪,李伟力.游梁式抽油机专用高起动转矩节能电机的起动性能计算[J].防爆电机,2005,40(2):4-7.
- [3] 李群女,邹景祥,张惠泽.永磁同步电机的优化设计[J].上海电力学院学报,2004,10(4):15-21.
- [4] Jin Ping,Yuan Yue,Jin Minyi,et al.3-D analytical magnetic field analysis of axial flux permanent-magnet machine[J]. IEEE Transactions on Magnetics,2014,50(11):3504-3507.
- [5] 陈起旭,徐俊,杨松.大功率盘式交流永磁同步电机电磁场分析[J].西安交通大学学报,2014,49(9):120-125,146.
- [6] 赵强,赵争鸣,高徐娇.永磁电机中永磁体尺寸优化设计[J].电机电器技术,2001,12(3):2-5.
- [7] 王晨,黄金霖,陈栋,等.抽油机用实心式永磁同步电动机分析与实验研究[J].微特电机,2014,42(5):33-35.
- [8] 卢伟甫,赵海森,刘明基.自起动永磁电机复合材料转子导条的优化[J].电机与控制学报,2013,17(1):1-6.
- [9] 刘秀君,李伟力,陈文彪.三相异步起动永磁同步电动机起动特性[J].电机与控制学报,2006,10(3):37-38.
- [10] 王晨.抽油机用异步起动永磁同步电机的设计与电磁特性分析与[D].赣州:江西理工大学,2013.
- [11] 朱星波.异步起动永磁同步电动机起动性能的研究[D].杭州:浙江大学,2010.

## Optimization Design of 30 kW Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor

WANG Liang, WANG Chen, HUANG Jinlin

(Department of Electrical Engineering, Anhui Technical College of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** The line-start permanent magnet synchronous motor is widely used in pumping unit, cranes and other occasions due to its simple structure, high efficiency and excellent starting performance and so on. A pumping unit with 30kW line-start permanent magnet synchronous motors was designed, and the efficiency and cost were taken as the objective function in this paper. The ANSOFT analysis software was used for optimization design and performance analysis. The results showed that a reasonable size of magnetic separation bridge and gap length can effectively improve motor efficiency, reduce the costs of motor and provide a reliable basis for optimizing asynchronous start permanent magnet synchronous motor.

**Key words:** asynchronous start; permanent magnet motor; optimization design; magnetic separation bridge