

研究探讨

工程机械类永磁电机参数选择及性能分析

程 铭

(产业发展事业部,陕西 西安 710016)

摘 要 工程机械类永磁电机因其环境多变、要求复杂,对其有很高的性能要求。运用有限元分析软件对永磁电机设计时所涉及各个参数进行对比分析,确定了方案设计时极弧系数、永磁体结构形式、磁桥大小、充磁厚度及气隙长度等参数对电机性能的影响,为电机的优化设计提供了一定的依据。

关键词 永磁电机 有限元分析 设计参数 电机优化

0 引言

随着永磁材料和电力电子技术的迅猛发展,采用永磁体励磁的永磁电机应用于越来越多的领域,同样因为运行环境的多样性和复杂性,反过来推动永磁电机的技术发展。

工程机械类永磁电机一般应用于盾构机、自卸车、油田电机、电铲等领域,其特点是过载倍数高和恒功范围宽。基于此,本文就一台 132kW、6 极盾构用永磁电机进行了建模和分析,分析对比了不同的参数选择对永磁电机的性能影响。

1 方案设计

应用于工程机械类的永磁电机一般采用变频器供电,利用频率的逐步升高而启动,并随着频率的改变而调节转速^[1]。永磁电机普遍基于异步电机的定子结构进行设计,通常采用内转子结构,其外部接口尺寸一般不变。因此,工程机械类永磁电机设计的关键在于其转子。

按照永磁体在转子上的不同位置,常用的永磁同步电动机一般分为表贴式和内置式。由于工程机械类永磁电机的特点为高过载倍数和宽恒功范围,因此通常采用内置式永磁结构。永磁电机内置式结构其动态性能高,永磁体受极靴保护,并且其磁路结构的不对称性所产生的磁阻转矩有利于永磁电动机的过载能力和功率密度,易于扩速“弱磁”^[2]。

本文的分析对象盾构用永磁电动机就是采用“V”型内置式永磁体内转子结构,采用矩形磁极,由几块矩形永磁体组成。永磁电机定子结构和外部接口较异步电机均未变动。其额定参数如表 1 所示。

表 1 永磁电机额定参数

名称	数值
额定功率(kW)	132
额定转速(r/min)	1000
额定电压(V)	690
额定频率(Hz)	50
极对数 p	3
相数	3

2 参数选择

本文样机定子采用双层叠绕组结构,定转子铁心由冷轧硅钢片叠压而成。为得到趋向于正弦波形的反电动势波形,磁钢选择剩磁、矫顽力和磁能积均较高的新型永磁材料钕铁硼。其结构如图 1 所示。

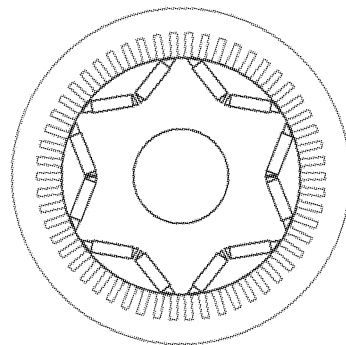


图 1 永磁电机结构图

通过改变某些电机参数,对永磁同步电机进行仿真分析,以此对比分析参数选择对性能的影响。因有限元法适合边界现状复杂和材料存在非线性等磁场问题^[3],本文采用有限元法对电机进行性能分析。

本文主要通过改变极弧系数、永磁体结构、隔磁桥宽度和长度、永磁体充磁方向厚度、气隙长度等结构参数,分析对气隙磁密、空载反电势波形、齿槽转矩、漏磁系数、转矩波动、转矩倍数等电机性能的影响。

2.1 极弧系数对电机性能的影响

极弧系数一般有机械极弧系数和电气系数两种类别,本文采用机械极弧系数定义,即极弧宽度与极距的比值^[4]。

2.1.1 极弧系数对齿槽转矩的影响

在电机其他参数不变的情况下,选择不同的极弧系数,分别为0.67、0.75、0.8,在1r/min的情况下对永磁电机进行空载仿真^[5],其齿槽转矩如图2所示。从结果可以看出极弧系数为0.67时齿槽转矩最小,可见极弧系数的选取对齿槽转矩有不小的影响。

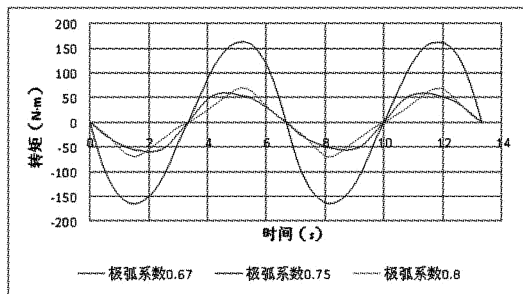


图2 不同极弧系数下的齿槽转矩波形

2.1.2 极弧系数对空载反电势的影响

仿真分析时均未考虑斜槽的情况,故反电势波形谐波较大。从图3可以看出,极弧系数越大,其反电势波形越接近正弦波,其波形畸变率越小。因此,永磁电机如何选取极弧系数应综合考虑。

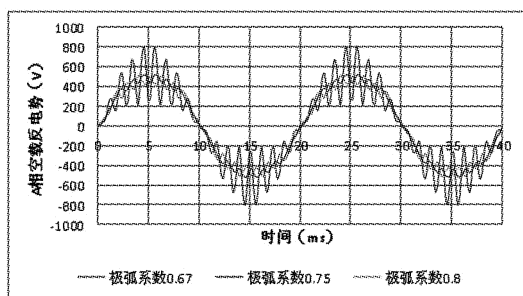


图3 不同极弧系数下的空载反电势

2.2 永磁体结构对电机性能的影响

由于永磁体结构的多样性,相应的磁路结构也呈现不同的特征。因此,本文就永磁体采用“V”型、“U”型和“V+—”型等串联式磁路结构,分析对比其对电机性能的影响。图4为“U”型和“V+—”型有限元分析模型。

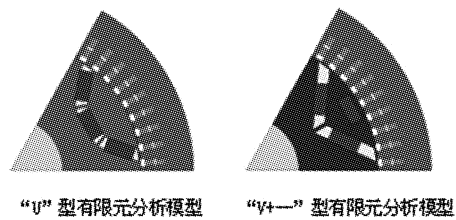


图4 永磁电机有限元分析模型

2.2.1 永磁体结构对空载反电势的影响

从图5可以看出,几种结构波形畸变趋势一致,只是结构越复杂其基波值越小,波形畸变率略有降低。

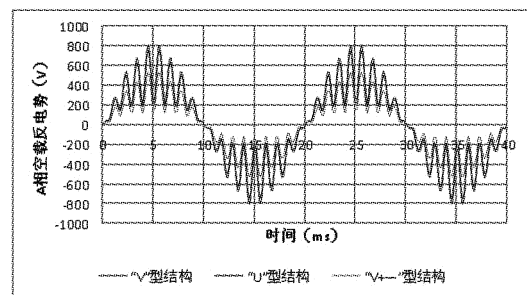


图5 不同结构对空载反电势的影响

2.2.2 永磁体结构对转矩波动的影响

模型加载额定负载后,可以由图6看出“V+—”型结构其转矩波动最小,但其转矩角相应的增大。

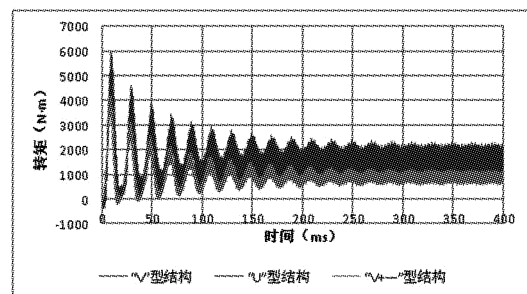


图6 不同结构对转矩波动的影响

2.2.3 永磁体结构对失步转矩的影响

由图7可知,在永磁体用量不变的情况下,结构越简单其失步转矩越大,漏磁越少。

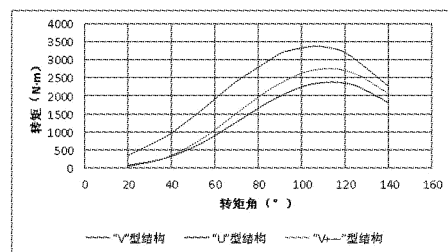


图7 不同结构对失步转矩的影响

2.3 隔磁桥对电机性能的影响

为了不使永磁体利用率过低即漏磁系数过大,对转子结构的隔磁部位进行分析对比,一般来讲,隔磁磁桥宽度越小,其漏磁越小,但同时其冲片机械强度越差。同样,隔磁磁桥长度保持在合适的范围内,其同样能限制漏磁通。

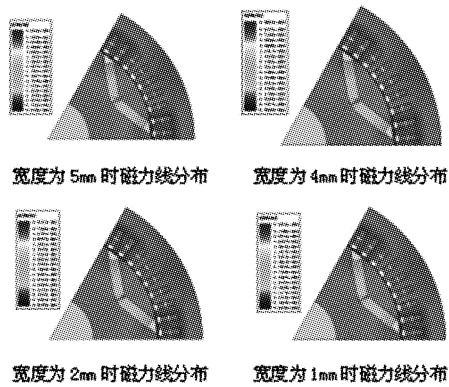


图 8 不同隔磁桥宽度对应的磁力线分布

2.4 永磁体充磁方向厚度对电机性能的影响

为提高永磁电机的功率密度,可适当加大永磁体的充磁方向长度,即交、直轴同步电抗之差变的越大。但同时应注意其相差过大,永磁同步电动机的额定转矩角相应的也变大,其稳定性下降,振动和噪声也提高了^[6]。同时,永磁体体积与漏磁系数成正比,为减少漏磁,可适当减少永磁体用量^[7]。

2.4.1 永磁体充磁方向厚度对空载反电势的影响

在实际运用中,永磁体工作点并不一定在最大磁能积点上,一般在(0.65 ~ 0.85),厚度越高其工作点也越高。图 9 为不同充磁厚度对应的反电势波形,不难看出,当充磁厚度至 20mm 后,其反电势基本保持不变,表 2 为其有效值。

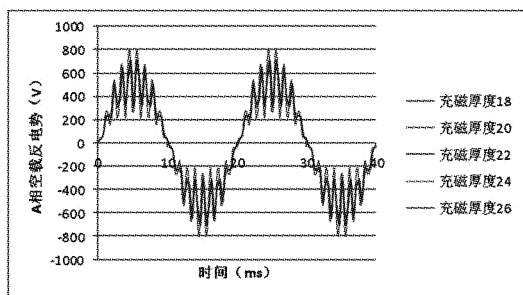


图 9 不同充磁厚度对应的空载反电势波形

表 2 不同充磁厚度对应的相反电势有效值

充磁厚度 (mm)	18	20	22	24	26
相反电势值 (V)	382	406.8	403	401	397.5

2.4.2 永磁体充磁方向厚度对失步转矩的影响

不同永磁体充磁厚度对应的永磁电机失步转矩曲线如图 10 所示,随着厚度的增加,其失步转矩逐步增大,但到充磁厚度为 26mm 时最大失步转矩反而减小,可见,充磁厚度不是越大越好。

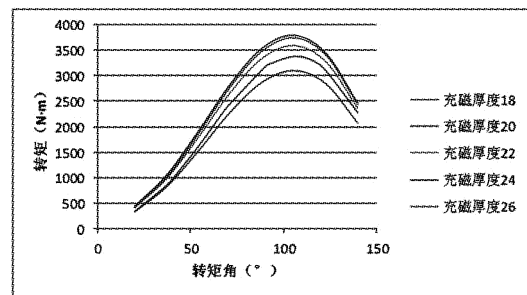


图 10 不同充磁厚度对应的转矩变化曲线

2.5 气隙长度对电机性能的影响

适当加大气隙长度可减少电动机的杂散损耗和齿槽转矩^[8],通过采用不同的气隙长度来对比分析其对齿槽转矩和过载倍数的影响。

2.5.1 气隙长度对齿槽转矩/空载反电势的影响

如图 11 和图 12 所示,随着气隙长度增加其反电势相应减小,而齿槽转矩同样为这种趋势。

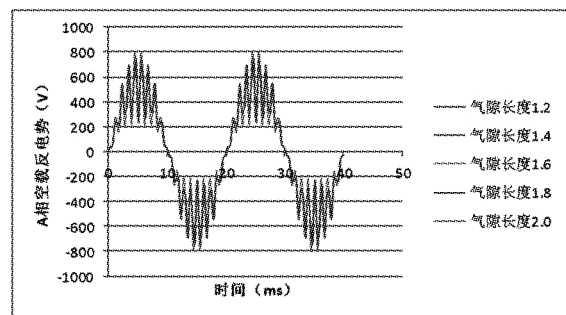


图 11 不同气隙长度对应的空载反电势波形

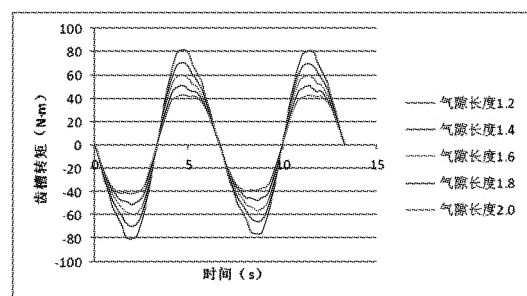


图 12 不同气隙长度对应的齿槽转矩波形

2.5.2 气隙长度对电机失步转矩的影响

从图 13 可看出,在永磁电机其他条件不变的情况下,随着气隙长度的增加,永磁电机的失步转矩略有增加,但变化很小。

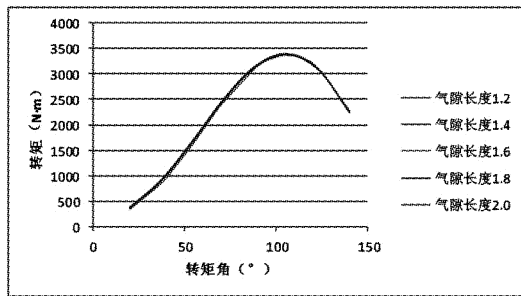


图 13 不同气隙长度对应的转矩变化曲线

3 结论

本文基于一台盾构用永磁电机,仿真分析了其结构参数的改变对电机性能的影响。仿真结果反映了通过适当的改变参数可以提高电机的相应性能,为优化永磁同步电机提供了依据。其具体结论如下:

(1)极弧系数并不是越大越好,对应于不同领域的永磁电机,其取值范围也有变化,针对工程机械领域的内置式永磁电机,一般取值范围为0.6~0.9;

(2)永磁体结构要满足能提供一定的气隙磁密,保证电机的性能。同时应注意定子齿部和轭部的磁密,不应使其铁耗增加;

(3)对于内置式永磁电机,其缺点就是漏磁大,因此其隔磁措施很重要,并不是漏磁越小越好,漏磁系数大其抗去磁能力也越强,应兼顾转子冲片的机械强度;

(4)永磁体充磁方向厚度与气隙大小也相关,其决定了电机的抗去磁能力,在保证不产生不可逆退磁的前提下,应尽可能小;

(5)永磁电机的气隙长度较异步电机可适当放大,其值的变化没有电励磁电机敏感,当永磁体充磁方向较大时,微调气隙长度对气隙磁场影响不是很大。

参考文献

- [1] R. Krishnan. 永磁无刷电机及其驱动技术. 北京:机械工业出版社,2012.
- [2] 唐任远,等. 现代永磁电机理论与设计. 北京:机械工业出版社,1997.
- [3] 王秀和,等. 永磁电机. 北京:中国电力出版社,2007.
- [4] 陈薇薇,胡勤丰,孙耀程. 分数槽绕组永磁同步电机性能的研究及其谐波分析. 微特电机及永磁电机技术创新与发展论坛文集,2012. 西安:29-33.
- [5] 李正. 永磁电机的设计. 西安:西安电子科技大学出版社,2016.