

浅谈永磁电机防退磁设计的“堵”与“疏”

鲁方春 黄家友 李文成
安徽明腾永磁机电设备有限公司
DOI:10.12238/hwr.v7i12.5081

[摘要] 随着永磁材料的发展,稀土永磁材料在永磁电机上的应用占绝大多数,特别是钕铁硼永磁材料,普遍应用于各类永磁电机。对于使用钕铁硼永磁材料的永磁同步电机,退磁的原因主要有两个:一是高温退磁,二是大电流退磁。通常永磁电机都是这两个因数共同作用,导致电机产生不可逆退磁。在永磁电机设计阶段,提高电机抗退磁能力的方法通常有两种:一是提高永磁体耐温等级,从而提高永磁体在同等电流大小情况下的耐热温度或同等温度情况下的抗去磁电流大小。二是增加原牌号磁钢厚度,起到与方法一相同的效果。两种方法对提高永磁电机永磁体整体抗退磁能力有明显的效果,在永磁体整体抗退磁能力严重不足时,是设计初始阶段最有效的方法。但在冲片优化设计阶段,永磁体的整体抗退磁能力已经足够,比较难于处理的是如何提高永磁体局部抗退磁能力。此时,采用上述两种方法提升效果不明显,且都需要增加电机设计成本。本文介绍的是在转子冲片优化设计阶段如何运用“堵”与“疏”的理念,提高永磁体局部抗退磁能力。

[关键词] 永磁电机; 退磁; 局部防退磁设计

中图分类号: TM3 文献标识码: A

Discussion on "Blocking" and "Sparring" in the Design of Permanent Magnet Motors Demagnetization

Fangchun Lu Jiayou Huang Wencheng Li

Anhui Mingteng Permanent-Magnet Machinery&Electrical Equipment Co., Ltd

[Abstract] With the development of permanent magnet materials, rare earth permanent magnet materials account for the vast majority of applications in permanent magnet motors, especially neodymium iron boron permanent magnet materials, which are widely used in various types of permanent magnet motors. For permanent magnet synchronous motors using neodymium iron boron permanent magnet materials, there are two main reasons for demagnetization: high temperature demagnetization and high current demagnetization. Usually, permanent magnet motors are caused by the combined effect of these two factors, resulting in irreversible demagnetization of the motor. In the design stage of permanent magnet motors, there are usually two methods to improve the anti demagnetization ability of the motor: one is to increase the temperature resistance level of the permanent magnet, thereby increasing the heat resistance temperature of the permanent magnet under the same current size or the anti demagnetization current under the same temperature condition. The second is to increase the thickness of the original grade of magnetic steel, achieving the same effect as method one. Two methods have significant effects on improving the overall anti demagnetization ability of permanent magnet motors. When the overall anti demagnetization ability of permanent magnet is seriously insufficient, they are the most effective methods in the initial design stage. However, in the optimization design stage of sheet metal, the overall anti demagnetization ability of the permanent magnet is already sufficient, and it is difficult to deal with how to improve the local anti demagnetization ability of the permanent magnet. At this point, the improvement effect of using the above two methods is not significant, and both require an increase in motor design costs. This article introduces how to apply the concepts of "blockage" and "sparsity" in the optimization design stage of rotor punching to improve the local anti demagnetization ability of permanent magnets.

[Key words] Permanent magnet motor; Demagnetization; Local anti demagnetization design

引言

与传统的电励磁电机相比,永磁电机具有结构简单、体积小、重量轻、损耗小、效率高等优点。因此永磁电机的应用极为广泛,遍及航空航天、国防军工、日常生活用品、工业生产等各个领域。然而,永磁同步电机在运行过程中可能会出现退磁现象,导致电机性能下降甚至无法正常工作。这是用户担忧的主要原因,也是永磁电机推广的最大阻力。因此,永磁电机防退磁设计尤为重要。

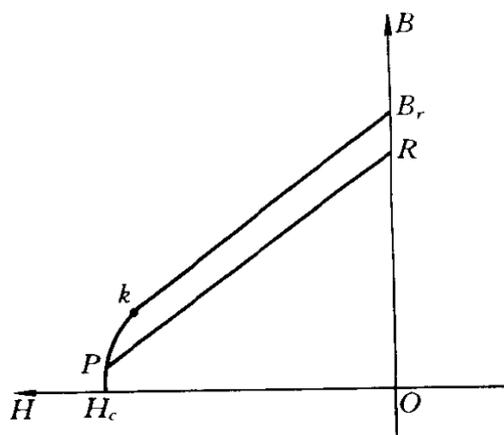
永磁电机退磁的原因主要有两个:一是高温退磁,二是大电流退磁。在防退磁设计上也主要从这两个方面入手,防高温退磁主要是控制电机铜耗、铁耗、磁钢涡流损耗以控制电机定、转子及磁钢温度,从而选择对应耐温等级的磁钢。防大电流退磁主要考虑电机可能存在的最大去磁电流,比如短路电流、根据负载需求变频器最大输出电流等。再根据可能存在的最大去磁电流进行磁场仿真分析,结合电机温度仿真情况,确保磁钢退磁云图最小磁场大于所用永磁体对应温度拐点,避免磁钢发生不可逆退磁。

在进行退磁仿真时,磁钢总存在局部抗退磁能力差的点,通常在磁钢块的边角处。提高磁钢的局部抗退磁能力,提高磁钢牌号或加厚磁钢,成本增加很多,特别是加厚磁钢的方法,对磁钢局部抗退磁能力的提高,效果较差。此时就需要优化转子冲片磁路设计,本文介绍的“堵”与“疏”,就是两种为提高磁钢局部抗退磁能力优化转子磁路设计的方法。

1 永磁材料基本退磁原理

当永磁体处于某个温度下退磁曲线如图(2)所示,反向磁场强度超过退磁曲线拐点K时,回复曲线PR便不能与原退磁曲线重合,发生不可逆退磁。

不同温度下永磁体表征退磁曲线不同,故永磁体在不同温度下,拐点K对应的反向磁场强度不同。在永磁电机上的表现为不同温度下,永磁体抗去磁电流大小不同,对于钕铁硼永磁体,温度越高抗去磁电流越小。即在某大小退磁电流情况下,钕铁硼永磁体有一个对应不会退磁的最高温度。



图(1)单温度点退磁曲线

2 去磁电流对磁钢的作用

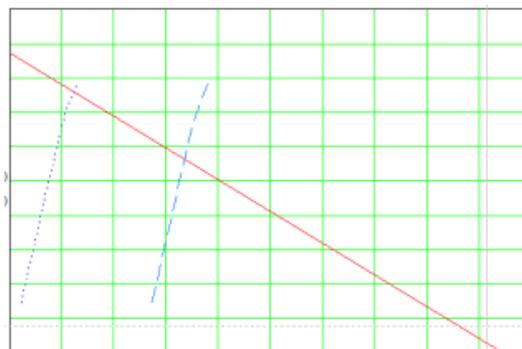
把永磁体的去磁曲线从B-H平面换算到Φ-F平面,便可以得到Φ-F平面内的永磁体的去磁曲线 $\Phi_m = f_d(F_m)$ 。

$$\Phi_m = S_M B_r$$

$$F_m = h_M H_c$$

通过磁路计算,得到电机空载工作曲线及电枢反应为去磁电流作用下的工作曲线如图(2)所示。电机空载工作曲线与永磁体去磁曲线的交点为永磁体空载工作点,去磁电流作用下的工作曲线与永磁体去磁曲线的交点为永磁体在去磁电流作用下的工作点。去磁电流越大交点越低,当交点低于磁钢退磁曲线拐点K时,磁钢会发生不可逆退磁。

从图(2)可以看出,电机要提高抗退磁能力,需改变永磁体在Φ-F平面内的去磁曲线,最有效的方法是提高Fm值,使得永磁体去磁曲线特性更硬,电机可抗去磁电流更大或相同去磁电流情况下耐温更高。而提高Fm值要么提高磁钢矫顽力Hc要么提高永磁体厚度hM,二者均需增加电机设计成本。



——永磁体去磁曲线
.....空载曲线
——去磁电流作用下的工作曲线

图(2)磁钢工作点计算

3 局部退磁差的原因

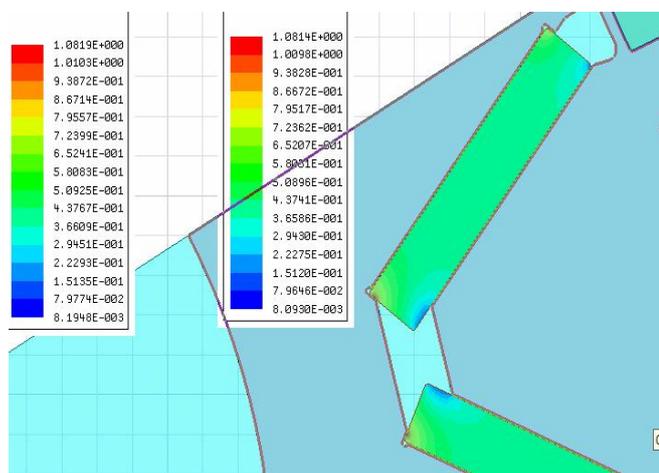
在电机设计阶段,永磁体在整个厚度方向,抗去磁电流能力一般都很强,足够电机使用需求。抗退磁能力较差的大都是出现在磁钢的拐角处,在磁钢拐角处,去磁电流形成的反向磁场,以最小磁阻路径穿过磁钢,穿过磁钢厚度hM较薄,相当于改变了磁钢局部的去磁曲线,导致磁钢局部抗退磁能力弱。这种情况增加永磁体厚度对提高磁钢局部抗退磁能力效果不明显,唯有提高磁钢牌号,提高磁钢矫顽力Hc,从而提高抗去磁能力。

4 局部防退磁设计(仿真对比)

提高磁钢牌号无疑增加电机设计成本,故需从转子冲片磁路优化设计入手,尽可能让去磁电流形成的反向磁场正面冲击磁钢,穿过足够厚度的永磁体,从而提高磁钢整体抗去磁能力。本文介绍的“堵”与“疏”两种方法,就是从优化转子冲片磁路入手,改善磁钢局部抗退磁较差的问题,从而提高永磁体整体抗退磁水平。

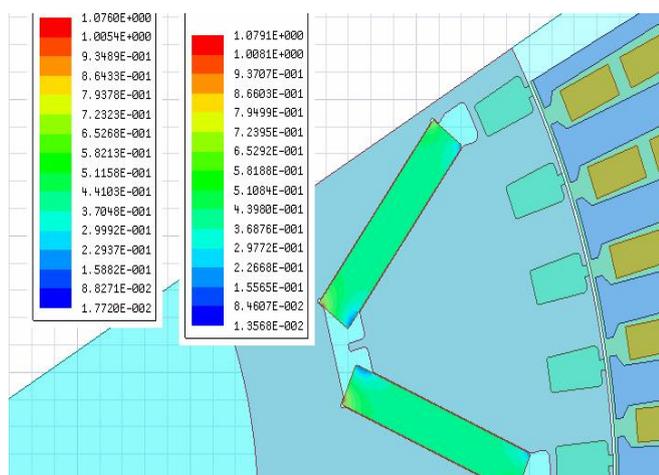
4.1冲片优化设计——“堵”

“堵”的方法,即在转子冲片设计时利用空气隙磁阻大的特点,阻止去磁电流形成的反向磁场对磁钢易退磁边角处的作用。如图(4)所示,在转子冲片磁钢槽的拐角处,磁钢抗去磁能力弱,转子冲片去除部分硅钢片,此处变成空气隙,空气相对于硅钢片磁阻很大,去磁磁场不易穿过空气对磁钢产生去磁作用。有效地提高了磁钢局部抗去磁能力。



图(3)冲片优化设计“堵”法示例

4.2冲片优化设计——“疏”



图(4)冲片优化设计“疏”法示例

“疏”的方法,即在转子冲片设计时利用硅钢片导磁性能远优于空气的特点,引导去磁电流形成的反向磁场远离磁钢易退

磁的边角处,从而保护磁钢局部抗退磁较弱的点。如图(4)是在图(3)转子冲片的基础上作了改变,中间加了类似避雷针的结构,当电机遇到大去磁电流形成的去磁磁场情况下,转子冲片可以通过该针状结构短路部分去磁磁场,从而保护V形磁钢夹角局部不被退磁。故图(4)与图(3)相比,抗退磁性能更进一步提升。两种方法虽不相同,但同样起到了提升磁钢局部抗退磁能力的效果。

5 结语

本文所述两种永磁电机防退磁设计的方法,旨在不增加永磁电机设计成本的基础上,通过转子冲片优化设计,提高磁钢局部抗退磁性能,使得电机可以承受更大去磁电流和耐更高工作温度而不发生退磁现象,大大提高了永磁电机的可靠性,节约了永磁电机设计成本。

当然随着永磁体技术的发展,磁钢厂家也研究出了局部扩散工艺,改善永磁体局部矫顽力,从而也能起到提高永磁体局部抗退磁能力的效果。当然这会少量增加一部分成本,但是在一些特殊的应用场合,对永磁体抗退磁能力要求很高,个人也比较推荐磁钢的局部扩散工艺也本文所述两种方法结合使用,使得永磁电机的抗退性能进一步提升。

[参考文献]

- [1]叶金虎.现代无刷直流永磁电动机的原理和设计[M].北京:科学出版社,2007.
- [2]唐任远.现代永磁电机理论与设计[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [3]王秀和.永磁电机[M].北京:中国电力出版社,2007.
- [4]T.Krishnan.永磁无刷电机及其驱动技术[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [5]陈奎.不均匀气隙结构异步起动永磁同步电机优化设计与退磁分析[D].安徽:合肥工业大学,2017.
- [6]师蔚,贡俊,黄苏融.永磁电动机永磁体防退磁技术研究综述[J].微特电机,2012,40(4):71-74,76.
- [7]D.N.Brown,B.Smith,B.M.Ma,P.Campbell.The Dependence of Magnetic Properties and Hot Workability of Rare Earth-Iron-Boride Magnets Upon Composition.IEEE Transactions on Magnetism,2004,40(4):538-540.