



钕铁硼直流电机转子的设计优化

Optimization of Design NdFeB DC Electric Machinery Rotor

宋国航 张兴志

(上海日立电器有限公司技术中心)

摘要: 在设计钕铁硼直流电机时, 由于电磁性能(磁力线分布)上的需要, 转子铁芯放置磁铁的槽与外径之间的壁厚非常薄, 约为 0.5mm, 考虑到转子高速旋转(最高转速约: 9000rpm)时会产生较大的离心力, 所以必须核算转子电磁钢板的壁厚薄弱处的强度。由于手工计算, 比较困难, 所以通过 CAE 软件模拟转子在高速旋转下的工况, 计算分析转子模型在转速 9000rpm 时的最大应力值及出现位置, 以及最大变形。

关键词: 直流电机 稀土磁铁 CAE 离心力

Abstract: When designing NdFeB DC electric machinery, because of the requirement of electromagnetism capability, the clearance between slots laid by magnets and outside diameter is very thin, about 0.5 mm. Considering the centrifugal force for high-speed rotate, the intensity of location of weakness of electromagnetism steel sheet's wall should be calculated and analyzed. It's very hard to calculate by handwork. So applying CAE software to simulate work condition of rotor rotating rapidly, we can calculate and analyze the most stress and the deformation and their location of model of rotor rotating at a speed of 9000 rpm.

Keywords: DC electric machinery magnet CAE centrifugal force

1. 引言

目前, 提高旋转式压缩机效率的主要途径之一是提高电机效率。无刷直流电机, 应用变频器控制, 可以变转速运行, 并且减少了铜损, 提高了电机的效率。而相对于铁氧体磁铁直流电机, 稀土磁铁直流电机具有体积小, 重量轻; 材料成本低; 磁铁性能好, 电机效率更高; 以及减磁耐力大, 可以适用于大功率压缩机等特点, 所以在空调压缩机中的应用越来越广泛。

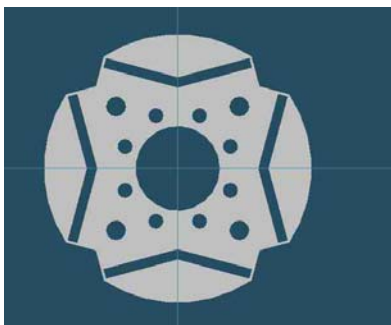
在设计稀土磁铁材料的钕铁硼直流电机时, 由于电磁性能(磁力线分布)上的需要, 转子铁芯放置磁铁的槽与外径之间的壁厚非常薄, 约为 0.5mm, 考虑到转子高速旋转(最高转速约: 9000rpm)时会产生较大的离心力, 所以必须核算转子电磁钢板的壁厚薄弱处的强度。由于手工计算, 比较困难, 所以通过 CAE 软件模

拟转子在高速旋转下的工况，计算分析转子模型在转速 9000rpm 时的最大应力值及出现位置，以及最大变形。

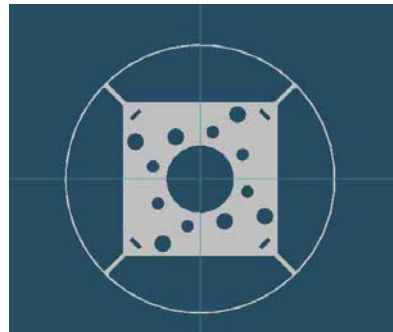
已知电磁钢板材料牌号：川铁 50RMHB；材料特性. 抗拉强度 σ_b :37.3 kgf/mm² ；杨氏模量： $E=2.21 \times 10^4$ kgf/mm² ；泊松比：0.3

SG720X2 机种的钕铁硼直流电机转子钢片的初始设计模型：转子外径 $\Phi 54$ ，厚度 0.5mm.

钕铁硼电机转子初始方案



已有铁氧体电机转子设计方案

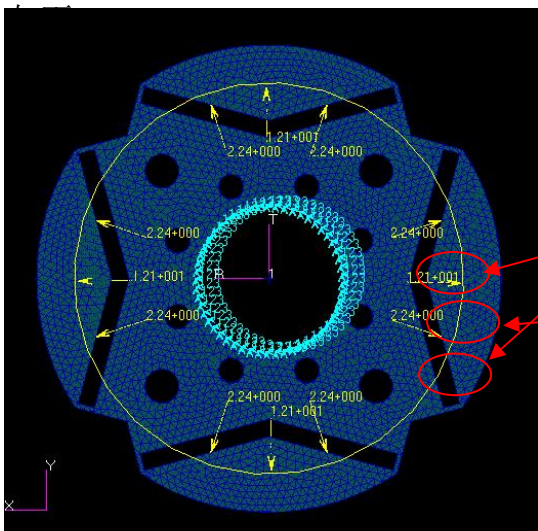


2. 计算及分析情况：

①建立计算模型：

由于此电机产品的设计是新产品设计方案，所以在分析过程中，根据计算结果，需要探讨，并且在更改设计方案后，进行计算分析，选择最优化方案。

钕铁硼电机转子初始方案的 CAE 模型，划分有限元网格为面单元 Tria3(1.0mm)，



磁铁质量产生的离心力

钢片质量产生的离心力

在分析模型中，将转子与曲轴的连接处作为固定边界处理，作用力集中于转子部位的质心处，作用方向为径向方向。

②计算离心力：

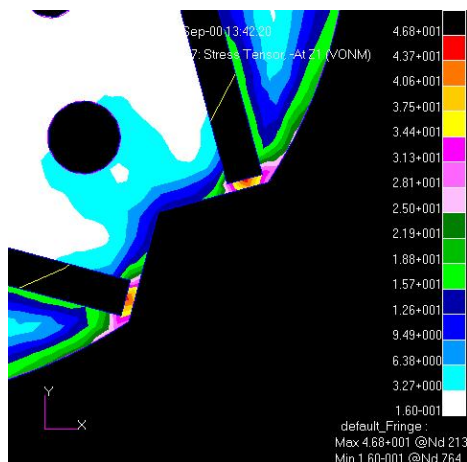
在转速 9000rpm 时，电机转子电磁钢板和钕铁硼磁铁产生的离心力 F ：

$F=m \times r \times (2 \times 3.14159 \times n/60)^2$; m 为转子钢片的质量, r 为旋转半径, n 为转速;

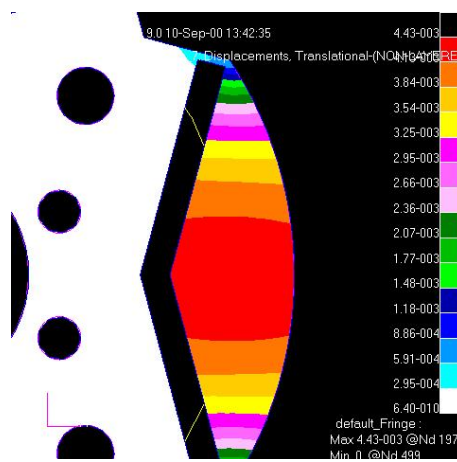
转速 9000rpm	质量(厚 0.5mm)Kg	质心半径 mm	角速度 (rad/s)	离心力 N
钢片质量 (钢片的 1/4)	6.00E-04	22.66	942.477	1.21E+01
磁铁质量 (磁铁槽的 1/2)	1.22E-04	20.7	942.477	2.24E+0

③计算结果:

初始方案的最大应力 4.68E+1MPa:



初始方案的最大变形 4.43E-3mm:



④追加设计方案:

根据与电机设计部的探讨分析, 提出四种追加的设计方案, 希望计算出最优方案:

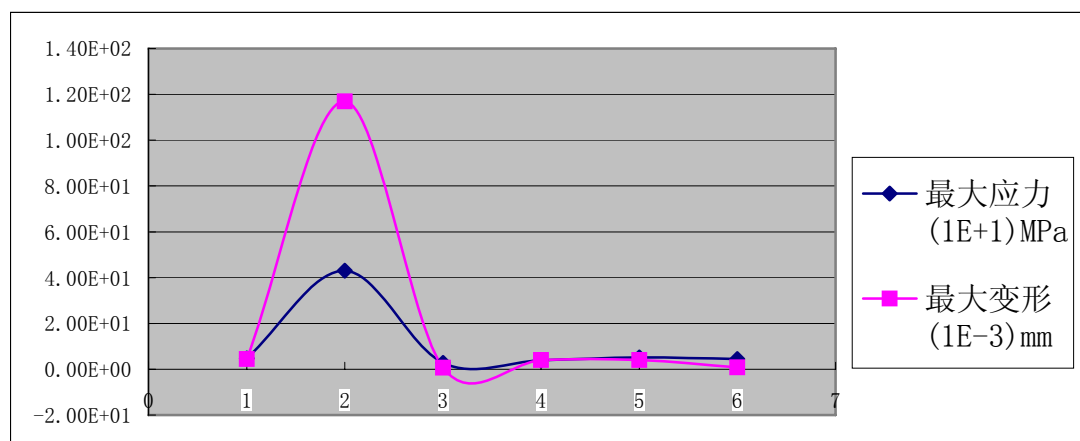
追加方案略。

⑤数据分析和比较:

在转速为 9000 转/分钟时计算分析数据结果如下表:

序号	方案	转速为 9000 转/分钟			
		最大应力(1E+1)MPa	位置	最大变形(1E-3)mm	位置
1	初始方案 (钕铁硼电机)	4.68	薄壁中间	4.43	钢片质心
2	已有设计方案 (铁氧体电机)	43.0	外径中间	117	外径中间
3	追加方案 1	2.78	筋中间	0.671	钢片质心
4	追加方案 2	3.91	薄壁拐角	4.01	钢片质心
5	追加方案 3	5.18	倒圆角处	4.03	钢片质心
6	追加方案 4	4.51	筋中间	0.808	钢片质心

在转速为 9000 转/分钟时计算分析数据比较图:



在上图中，可以看出，序号 2（已有设计方案）的最大应力和最大变形相对最大，因为此设计方案中转子的外圈比较窄，并且受到较大的磁铁块旋转产生的离心力作用。序号 3（追加方案 1）的最大应力和最大变形相对最小，因为所加的筋增强了转子的刚度，并且筋的宽度也会影响转子的刚度。

由于在次分析中仅仅考虑了离心力，没有考虑磁铁块间电磁力和摩擦力等作用力，所以转子产生的应力值和变形值不是工作中的实际值，所以需要进行试验测量或对分析方法进行继续的探讨和研究，或需要分析日立的计算分析方法等工作。

3.结论:

1. 在钢片和磁铁的离心力的作用下，转子钢片存在应力集中现象；
2. 由于此次计算分析主要进行产品设计的比较分析，从而判断较好的设计方案，所以暂且不考虑磁铁产生的电磁力和转子钢片间的摩擦力等作用；
3. 在次分析中仅仅考虑了离心力，没有考虑磁铁块间电磁力和摩擦力等作用力，所以转子产生的应力值和变形值不是工作中的实际值，所以需要进行试验测量或对分析方法进行继续的探讨和研究；
4. 在几种设计方案中，追加方案 1 在离心力作用下，其最大应力和最大变形相对较小，最大应力集中位置在所加筋的中间处；
5. 这次分析主要对于电机转子的几种设计方案进行比较分析，选择最优的方案。在仅考虑离心力，没有考虑磁铁块间电磁力和钢片间摩擦力等作用力的情况下，通过计算分析，可以初步得出电机转子在离心力作用下的最优设计方案。

参考文献:

1. 家用电器科技. 中国家用电器研究所, 2002 年第 3 期
2. 李隆年等著. 电机设计, 清华大学出版社, 1992 年