

# Analysis of the Influence of Axial Ventilation Window in the Motor Electromagnetic Design

Yu Du<sup>1</sup> Xiaoxiao Wang<sup>2</sup> Zhenyu Wang<sup>1</sup>

1. Hebei Branch, Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Shijiazhuang, Hebei, 050035, China

2. CSIC Electrical Machinery Science & Technology Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

By comparing the magnetic field distribution calculation of low-power and high-power motors during electromagnetic field simulation operation, this paper analyzes the influence of the size, distribution and quantity of axial ventilation windows of synchronous generator on the magnetic field distribution of motor, and puts forward the optimization method of rotor axial ventilation windows of high-power synchronous generator.

## Keyword

axial ventilation window; electromagnetic field simulation; electromechanical

## 浅析轴向通风窗在电机电磁设计中的影响

杜宇<sup>1</sup> 王肖肖<sup>2</sup> 王振宇<sup>1</sup>

1. 南水北调中线干线工程建设管理局河北分局, 中国·河北 石家庄 050035

2. 中船重工电机科技股份有限公司, 中国·山西 太原 030000

## 摘要

论文通过对比小功率与大功率电机在电磁场的仿真运行时的磁力线分布计算, 分析了同步发电机轴向通风窗的尺寸、分布、数量等参数对电机磁场分布的影响, 并提出大功率同步发电机转子轴向通风窗的优化方法。

## 关键词

轴向通风窗; 电磁场仿真; 机电

## 1 引言

随着计算机技术的发展, 电机电磁仿真设计迈向一个新的高度, 以往磁路计算方法已经不能满足复杂磁路电机的设计。在用磁路方法设计的新型电机中频频出现转子温升高的问题。本文通过电磁场仿真技术简析了问题的原因并提出优化方案。

## 2 问题提出

某公司生产的大功率低压同步发电机是在西门子 1FC6 电机基础上自主研发的, 电机在试验时多次出现转子温升高的现象。虽然通过改善电机风路设计转子温升高的问题基本解决。但笔者近期对 63 号、71 号电机进行电磁场仿真时发现通风窗对电机转子温升的影响较大。

【作者简介】杜宇 (1982-), 男, 中国河南扶沟人, 硕士, 高级工程师 (信息系统项目管理师), 从事自动控制、电气研究。

在电机设计中电机的损耗是与长度的立方成正比, 但冷却表面却与长度的平方成正比。随着电机功率升高体积增大电机的通风窗面积所占比例也应该增大。理论上来说转子通风窗面积越大, 转子冷却效果越好, 转子温升就越低, 但是实际生产的电机都存在通风窗大但是转子温升高的问题。

## 3 原因分析

为此笔者就西门子电机与新型设计的电机进行了电磁上的仿真对比。

仿真基本简介:

①仿真模型为两型 8 极电机;

②模型主要尺寸按照实际生产的电机 1 : 1 绘制, 电机采用 1/4 模型来进行计算;

③仿真长度按照电机的实际计算长度设置;

④仿真工况电机以 750rpm 转速旋转时, 设置转子励磁电流使之空载输出 400V 电压。

从仿真结果看西门子设计的电机与 63 号和 71 号电机空载时在磁场分布相差不多, 见图 1 和图 2。但仔细观察后

发现图1中转子通风窗以下少有磁力线分布,但图2中轴向通风窗以下磁力线分布较多。也就是说在小功率电机设计时所用轴向通风窗几乎对磁路不存在影响。但大功率电机随着通风窗的比例增大通风窗以下部分的作为电机磁路中重要的一部分。

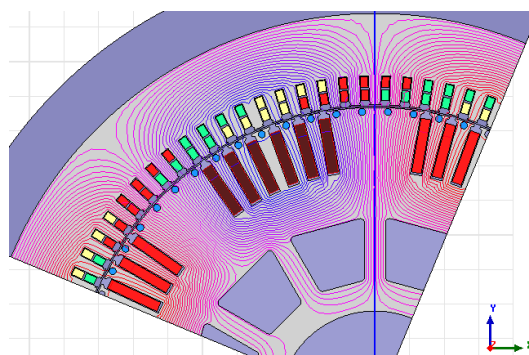


图1 某50号八极电机在空载时的磁力线分布

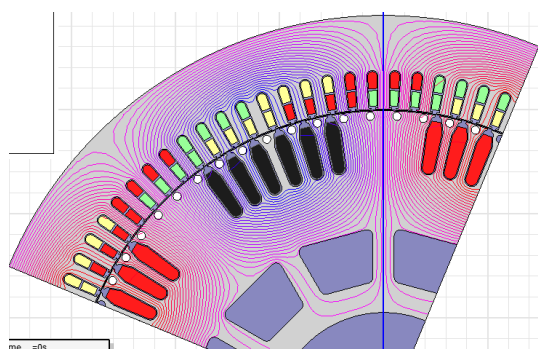


图2 某71号八极 在空载时的磁力线分布

通过分析认为大功率电机、较小功率电机通风窗以下磁力线分布较多,这就造成大功率电机的转子磁路加长增加了励磁磁势即增加了发电机的转子负担。根据磁压降计算公式:

$$F = H \cdot l = B / \mu_0 \cdot l$$

可以简单的认为磁压降除与磁路长度成正比外还与磁路上的磁场强度成正比,通过以下方式计算了解通风窗上的磁压降的大小。

以气隙磁密为0.8T计算,1mm气隙上产生的磁压降为716安匝。硅钢材料50W470在频率50Hz时10mm上产生的磁压降见表1。

表1 50W470 硅钢材料在50Hz 频率时多个磁密对应的磁压降

磁密	磁场强度	10mm 长度磁压降
1T	135A/m	1.35 安匝
1.5T	1000 A/m	10 安匝
1.8T	10000 A/m	100 安匝
2.0T	40000 A/m	400 安匝

当通风窗之间的筋上气隙磁密达到1.8T时,72mm高度的通风窗上的磁压降相当于1mm的气隙磁压降。如果筋上的气隙磁密达到2.0T那么72mm高度的通风窗上的磁压降相当于气隙增大了4mm。如果磁路计算时不能充分考虑通风窗影响那么有可能使电机励磁电流计算结果偏差很大。如果以此进行工程设计那么生产的电机将在实际运行时转子发热增大1倍以上。

由此可见:随着电机功率增大体积增大,小功率电机使用的磁路计算程序不完全适用于大功率电机,需要进行程序的改动使之计算出正确的结果。

## 4 解决方法

电机功率越大,所需散热面积也越大在不改变冷却方式的情况下增大通风面积是大电机的一个趋势。如果通风面积过小虽然磁路计算合适但达冷却效果也是不合理的设计;如果增大通风面积反而影响电机的磁路加重转子负担那就得不偿失。如何设计通风窗是大功率电机急需解决的难题。笔者通过仿真计算提出两种既不减小通风窗面积又不致使转子部分磁路过于饱和的方法<sup>[1]</sup>。

### 4.1 改变通风窗的个数和位置

通常小功率电机上通风窗个数为12,以八极电机为例,可以在图2中看到各条筋上的励磁线分布并不均匀,在正对极的这条筋上磁密较高。以下是针对各条筋上磁密分布不均所做的仿真实验。

如果在设计时保持通风面积不变将12个通风窗改为8个通风窗那么情况就会有所变化(见表2)。

表2 不同通风窗对比试验

序号	通风窗数	空载励磁电流	空载磁密分布	筋所对位置
1	12	150A	见图5	
2	8	80A	见图6	筋正对极
3	8	180A	见图8	筋正对极间

备注:以下磁密云图尺度相同,同一颜色代表同一磁密。

图3和图4分别是某电机在12个通风窗和8个通风窗时的仿真模型。两图中电机的总通风面积是一样的。经过仿真计算得到当12个通风窗时其空载励磁电流为150A,当采用8个通风窗时其空载励磁电流为80A。从图5可以明显看出当通风窗的个数与电机极数不同时电机运行时相邻极磁路分布也是不对称的。

图6和图7是图4电机通风窗轴向转动22.5°时的仿真模型和仿真结果。在图8中明显可以看出电机的磁路在通风窗内部分布较多磁压降非常大。导致其励磁电流高于以上两种模型。

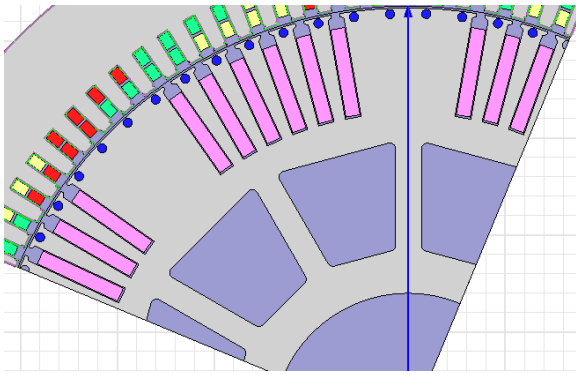


图3 12个通风窗的八极电机模型

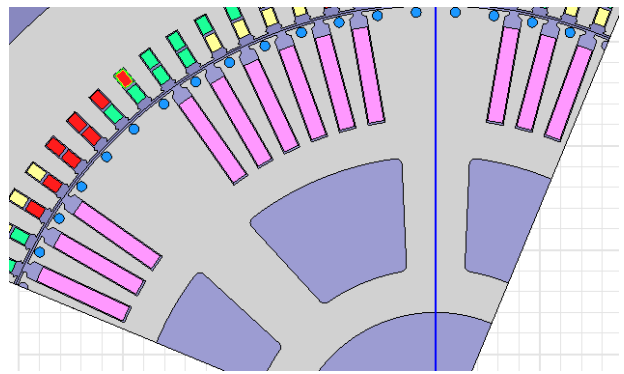


图4 8个通风窗的八极电机模型

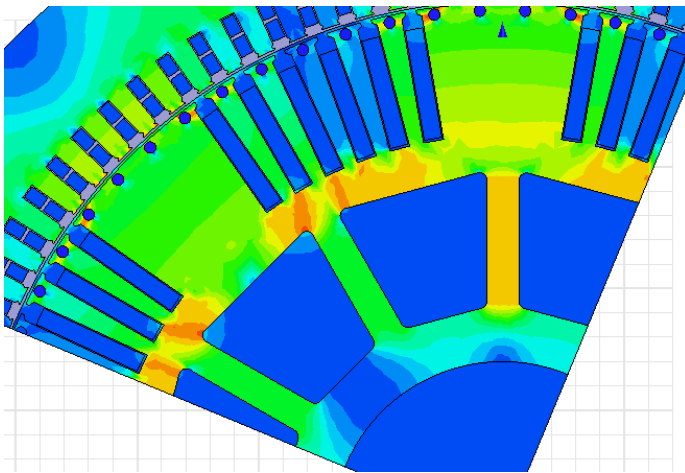


图5 12个通风窗时空载磁密分布

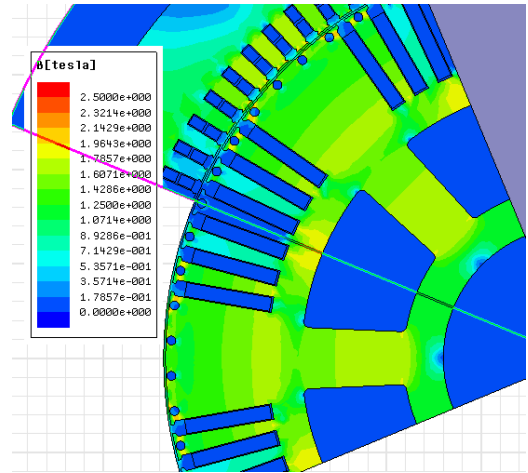


图6 8个通风窗时空载磁密分布

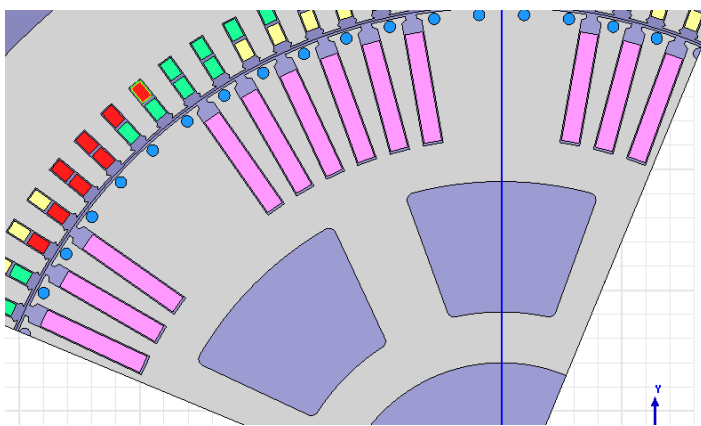


图7 8个通风窗的对比实验

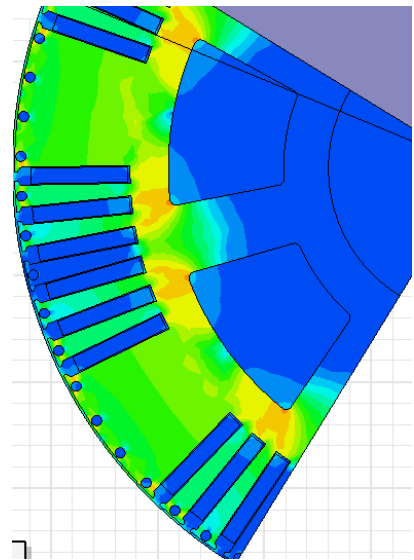


图8 8个通风窗的对比试验磁密分布图

以上实验是以8极电机为例进行分析,其原理是将电机转子极下的的磁路分为两部分并且使各个通风窗筋上的磁密均匀分布来降低磁密减小磁压降。在其它极数电机设计时通风窗个数可以设计与极数相同或为极数的2倍,达到同样的目的<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 电机采用辐条式结构

试想如果电机通风窗下移至无限靠近转轴,使磁路在通风窗上部而不过通风窗的下部,那么电机的磁路就会相对简单如图9所示。此时电机的通风窗为转子内径与轴径之间的部位,可以采用非冲制通风窗在此称之为辐条式结构。图9a)的试验模型轭部高度与图9b)中通风窗上部和下部

两个部分高度之和相同<sup>[2,3]</sup>。

辐条式结构的空载电磁仿真磁密云图见图10,其空载励磁电流为75A,较以上三种模型的试验结果偏低。

### 5 结语

论文主要从电磁上分析了转子轴向通风窗对设计的影响,在大功率电机中通风窗所占比例增大。如果采用冲制通风窗,那么磁路不可避免要经过通风窗的下部,合理设计通风窗的位置和尺寸尽量减少磁路上的瓶颈是降低转子温升的方法之一。另外采用非冲制通风窗是大功率电机设计中增大通风面积和节约材料的一种方法。

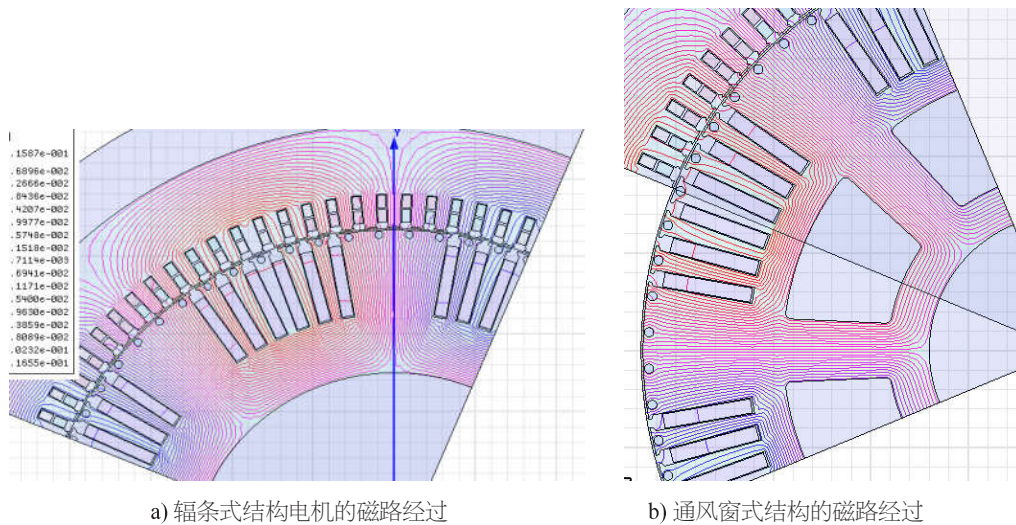


图9 两种结构磁力线分布

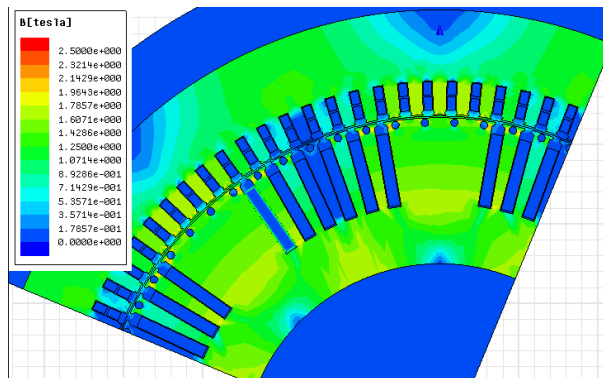


图10 采用辐条式结构电机磁密分布云图

### 参考文献

- [1] 周光厚,张天鹏.大型水轮发电机空载电压波形及谐波的有限元计算[J].东方电气评论,2008,22(2):32-37.
- [2] 陈世坤.电机设计[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 戚哲龙,汪耕,袁建华,等.1000MW级核电4极发电机励磁电流的有限元计算[J].上海大中型电机,2009(2):18-21.
- [4] 佚名.吸声百叶窗帘等11则[J].应用科技,2001,28(3):45-46.