

# 电机的风扇与冷却

柳州佳力电机有限责任公司 (545005) 钟步青

**摘要** 简单扼要地介绍了中小型隐极同步电机的几种通风冷却方法,风扇的选用和设计,通过实际运用,取得了较满意的效果。

**叙词** 同步电机 通风冷却系统 风扇

电机在工作运行中,电流在定子绕组和转子绕组中产生热量,转子的轴承磨擦也产生热量,另一方面,由于磁场的变化,在铁心内产生损耗,使铁心温度升高,一般电机的这些热量,都由旋转产生的风量,把热量带出机外。对于一般中小型同步电机,空气作为冷却电机的介质,风扇把电机内的热风排出机外到机房里,同时,机房里的冷空气又被抽入电机内。为了避免冷热风短路,电机的风路设计及安装电机的机房应满足电机的散热要求,否则,不利于电机冷却。

在设计自带风扇的同步电机时,正确设计电机的风扇,选择合理的散热风路,这是一个重要的课题。利用空气作为冷却介质对电机进行冷却仍是常规电机主要冷却方式,对于一般中小容量电机在电磁负荷水平相同的条件下,电机的有效材料中损耗与有效材料的重量成正比,即与有效材料的线性尺寸立方成正比,然而,散热需要的冷却表面积与有效材料的线性尺寸平方成正比。通常在电机标准中规定了导电及导磁有效部分其温升不应超过绝缘允许值。因此损耗大就应增大冷却面积,需要的冷却强度也应当随着电机容量增加而加强。

## 1 纯轴向通风电机冷却方式

隐极同步机转子铁心具有轴向通风孔道:这种通风冷却方式在电机内部必须有风扇,安装在轴伸端的风扇产生一定的负压力,把冷风从电机非轴伸端的端盖侧面或端面的进风口吸入,分三路通过电机内部的发热部位。其中,一路通过定子转子绕组端部进入定子铁心外径表面(称为背

面风道),冷却定子铁心和定子转子绕组端部。另一路进入定子转子气隙(由于风路风阻大,风量很小),冷却定子铁心内表面和转子铁心外表面。第三路进入转子铁心的轴向通风孔道,冷却转子铁心。三条风路的热风汇集后,由风扇以正压强行排出机外(见图1),这种冷却方式结构简单,适合小功率电机,但是冷却介质风量在各路分配一定要合理。我们曾经做过试验,如果在轴伸端把转子轴向通风冷却孔堵死,则大量风流进背面风道,定子绕组的温升则降低了2~5K左右,转子绕组的温升升高5~8K。

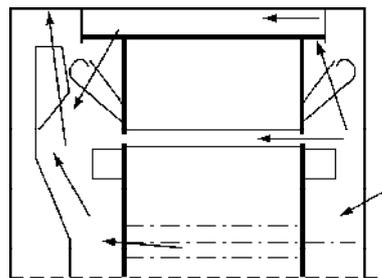


图1 具有纯轴向通风系统

不同形状及尺寸的转子轴向通风冷却孔通道,其通风冷却的效果不同,我们曾经做过这样的试验,在150kW同一容量,铁心参数基本相同,转子轴向通风孔面积相等的条件下,一个轴向通风孔为圆形,另一个轴向通风孔为等腰扇形,结果,后者转子温升比前者低4~6K,当风量一定,且风道阻力相当情况下,冷却效果与通风孔周长成正比。

纯轴向通风其优点是:冷却风由电机一端进,另一端排出,其铁心紧凑无通风道,但电机轴向温度不够均匀。沿轴向前后温差大。

## 2 复式冷却风路

### 2.1 单风扇冷却

这种电机通风冷却结构通常采用(后倾)径

向单风扇，并装在轴伸端，冷空气从电机后端两侧面进风口进入，冷却后由前端盖两侧面出风口排出，见图2。这种电机结构特点是：

(1) 由于定子和转子之间的气隙一般很小，其风阻大，通过此气隙的风量很小，一般不考虑。

(2) 转子铁心为隐极结构，冲片槽为大小齿，大齿中心线便是磁极的中心线。

(3) 主风道分为两条：一条为定子外圆（称为背风道），主要冷却定子转子绕组两端部和定子铁心外表面；另一路进入转子轴向通风道，通过转子分段铁心类风扇作用，由转子径向风道进入定子铁心的径向风道实现两次（称复式）冷却。

(4) 转子励磁绕组采用分散的同心单层绕组，转子绕组端部不使用无纬带或钢丝绑扎，而采用预制的玻璃钢端部扶环（简称扶环），来固定端部。

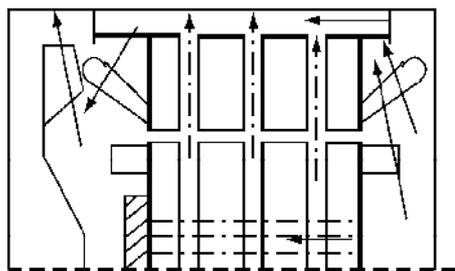


图2 单风扇复式冷却系统

根据发电机通风冷却的理论中转动元件产生压头原理，在设计中要把电机转子绕组端部，转子分段铁心径向通风道变成类风扇，产生风压，使之成为并联风扇运行，这些风扇与主风扇一起克服转子铁心内风阻驱使风压由转子铁心进入定子铁心的通风冷却沟内，流入背面风道，再由风扇排出机外。因此，转子多段铁心的径向通风道要设计成并联的多个径向风扇，各种参数计算可按径向风扇的参数来计算；使之成为装在同一轴上多路并联径向风扇。再与径向单风扇串联工作，这种通风方式，把冷却用的空气吸入转子铁心各段径向通风沟内，把转子铁心内部和转子绕组的热量带出，并驱使之进入定子铁心相应的径向通风道，把定子铁心和定子绕组的热量带出定子铁心外，由于安装在轴伸端风扇有力的作用，将热风排出到电机外部。提高从转子铁心径向通风道

《电机技术》2002 (3)

进入定子铁心径向通风道的风速，风量可以提高冷却散热效果。

根据设计要求，在转子嵌线和接线时，把其端部整型成有整齐风道的类径向风扇，为了更有效地利用绕组两端的类风扇作用，并减小风道阻力，转子绕组端部不用钢丝或无纬带绑扎，改用预制成型的玻璃钢护环，护环上有多条通风沟，这样使冷却介质在端部类风扇的作用下，有效地冷却转子绕组端部和定子绕组端部，这对降低电机绕组温升非常有效。

这种冷却方式的优点是显而易见的，电机散热好，温度分布均匀，特别适宜于转速较高的中等容量电机。其缺点是：

(1) 工艺复杂费工时，(2) 由于冷却介质以较高的速度通过转子铁心进入定子铁心，因而产生较高的噪音，通风损耗也较大。若为了降低噪音，可以把定子转子轴向径向通风沟错开，或在错开的同时，增大径向通风沟的宽度。我们曾经在TFFW450-6电机中作过这样的试验，当把定子转子沿轴向分布的径向通风沟错开3~5mm（径向通风沟宽度10mm），但在各种工况相同时，定子绕组与转子绕组的温升都增加较多。

## 2.2 双向风扇冷却

电机采用两端对称的径向通风冷却系统，当电机容量较大，转速高时，采用轴流式桨叶风扇，冷空气并联从电机两端进风口进入，然后经每侧风扇再分成两路，一路进入转子轴向通风道，再通过转子和定子的径向通风道从铁心背部排出机外；另一路进入电机后流向转子绕组端部和定子绕组端部，也从定子铁心背部排出机外，见图3。径向通风道的宽度一般为10毫米，定子铁心得到多次冷却，提高了冷却效果。

因此双向风扇通风冷却方式适用于高速，大功率电机较多。

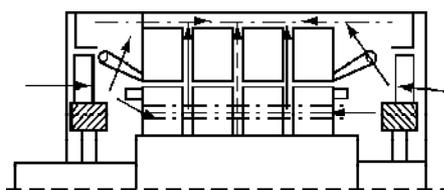


图3 具有双向风扇冷却系统

- 27 -

### 3 通风估算

对于一般中小型电机生产企业,要进行通风冷却相关数据的精确计算及测试是很困难的,但利用设计中确定的主要结构尺寸和电磁参数,在准确度允许的范围内,估算电机的各部份风量及风阻情况。为设计适用于电机通风冷却所需要的风扇提供参考是必要的。

当电机的电磁设计完成后,电机各种损耗的计算值便可以在电磁计算程序中找到,电机的这些损耗以电机温升的型式形成热量,需要足够的风量把其带出机外,对于中小容量电机采用开启式通风冷却结构,其特点是结构简单,但由于冷却空气由机房里吸入,热空气又排回机房里。因此一般中小型电机需要的冷却空气量不应超过  $8\text{m}^3/\text{秒}$ 。

### 4 风扇的选择

中小型同步电机按不同的冷却风路,使用的风扇一般为离心式径向风扇和轴流式桨叶风扇,径向风扇又分为:径向风扇,前倾式径向风扇和后倾式径向风扇,其特征见表1;风扇必须产生足够的风量和风压,以满足电机冷却所须要的风量及风压,各种类型风扇的效率也不同,根据有关公司介绍,后倾风扇的最大效率可达0.51,常用的离心风扇与桨叶式风扇的能量效率见表2。

具有倾斜叶片的风扇中,如果要提高效率,叶片进风口边沿的倾角  $\beta_1$  的选择,应使风扇在额定工况运行范围内空气进入叶片中间时没有撞击,为此,选择  $\beta$  时应使在叶片进口边缘的空气相对速度矢量  $\omega$  与叶片的壁平行,见式(1)

$$\text{tg}\beta=C_{r1}/u_1 \quad (1)$$

其中  $C_{r1}=Q_1/S_1$   $S_1=0.92\pi D_1 b$

假设进入风扇叶轮时的空气速度为  $U_1=U_1/2$ , 则  $\beta_1=\arctg(C_{r1}/u_1)=\arctg(2/C_{r1}/u_1)$

上式中  $Q_1$  为进入风扇的风量 ( $\text{m}^3/\text{秒}$ ),  $S_1$  风扇进风口面积。

风扇叶片的倾角  $\beta$  不单对外特性有影响,而且对全压力中静压力和动压力的分配也有影响。在电机的冷却系统中,静压力用于冷却而动压力往往用于提高电机出风口压力。动压力过大会使

电机噪声大及通风损耗大,使电机效率降低。前倾式风扇虽然能产生较高的压力,但动压力所占比例较大,当电机的转速愈高时其产生的通风损耗及噪声也愈大。因此,一般除极少数低速电机外,很少采用。

通常当我们做完电磁设计后根据电机的机械结构,可以初步设计风扇的类型和结构尺寸;对于一般容量较小的电机,可选用径向离心风扇,它最大的优点是结构简单可以正反转;对于容量较大转速较高,例如TQF990-4/1600kW汽轮发电机,我们选用轴流式桨叶风扇。

### 5 实例

下面以一台500kW柴油机组,发电机为500kW,转子结构为隐极式,磁极数  $2P=6$ ,开启式单风扇复式冷却系统为例,说明后倾式离心风扇的设计过程。

(1) 电机的总损耗(由电磁设计提供)  $P_r=35\text{kW}$ ,电机主要绝缘为F级,根据电磁设计规定,  $\Delta\theta=\theta_{21}-\theta_1=(30\sim40)$ ,其中  $\theta_{21}$ 、 $\theta_1$  分别为进出口风空气的温度。

(2) 电机冷却所需要的风量有两种方法算出:根据经验数据:当采用F级绝缘时,每1kW损耗需  $1.844\text{m}^3/\text{分}$  的风量可以用下式来计算:

$$Q=\Sigma P/C\Delta\theta$$

式中:Q 每秒进风量

$\Delta\theta$  各进气与出气之值差

$\Sigma P$  总损耗

C 常量

$$Q=\frac{1.844 \times 35}{60}=1.075\text{m}^3/\text{s}$$

$$\Delta\theta=\frac{\Sigma P}{1.1 \times Q}=\frac{35}{1.1 \times 1.076}=29.57=30$$

而风扇的最大风量及风压要考虑到风扇的效率等因素,一般设计时尽可能使风扇的最大风量  $Q_{\text{max}}=2Q$ ,使风扇工作在最高效率处。由  $Q_{\text{max}}$  及  $V_{\text{max}}$  来确定风扇的初步结构尺寸。

(3) 根据机座和端盖结构设计合理的风路,

《电机技术》2002(3)

在所有的风路中,不能有漏风或热风短路现象,风路中各元件形状应为流线型,不能有尖角,然后设计所用风扇的类型和基本尺寸。

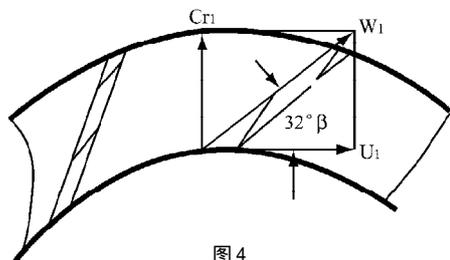


图4

选用后倾式离心风扇,为了降低风扇损耗,应尽可能减少径向尺寸,适当增加风扇的高度,以满足风量的要求。为了降低噪音,风扇叶片数量尽可能选质数,叶片倾角,一般教科书推荐 $\beta_1=\beta_2=25\sim 45^\circ$ ,我们选用 $\beta_1=\beta_2=32^\circ$ ,具体参数见表1:

表1

外径	内径	进风口高	出风口高	叶片倾角	叶片数
0.968m	0.522m	0.116m	0.096	32°	11

计算设计是否合理,我们通过温升试验来验证,其结论是定子绕组稳定温升(以电阻法)为82.5K,转子绕组稳定温升为69.3K,达到设计要

求,充分体现了复式冷却的效果。

表2

扇型	特点及适用范围	
离心风扇	径向	较高的离心压头,可正反转,工艺简单,效率低 适用正反转电机
	前倾	效率高,压头大,工艺复杂,适用于单向转向低速电机,噪声大
	后倾	能产生较高的压头,效率较低广泛用于单向旋转中高速电机,噪声低
轴流式风扇	平凸翼型	具有较好的翼型,效率高,工艺复杂,适用于轴向通风的高速电机
	凹凸翼	向通风的高速电机
	弧板型	工艺简单,效率较低,适用于中高速电机

表3

风扇类型	电机风扇能量效率
离心径向式	0.15~0.20
离心前倾式	0.30~0.40
离心后倾式	0.25~0.30
轴流桨叶式	0.35~0.60

参考文献

- 1 上海电器科学研究所《中小型电机设计手册》编写组. 中小型电机设计手册. 机械出版社出版
- 2 白延年. 水轮发电机设计与计算. 机械出版社出版

(收稿日期:2001-09-18)

立足科技前沿

传递科技信息

推广科研成果

## 应用科技 月刊

《应用科技》杂志是由哈尔滨工程大学主办国内外公开发行的技术类期刊。杂志紧紧围绕“应用科技”四个字,辟有机械工程、电子工程、计算机应用、控制工程、化学工程、实用专利、成果推广等精品栏目。旨在推广来自全国各高校的新技术、新成果,促进高校科研成果尽快转化为现实生产力。本刊刊号:  $\frac{ISSN1009-671X}{CN23-1191/U}$ , 欢迎大家订阅。

邮发代号: 14-160

每期定价: 5.80元

全年定价: 69.60元

刊社地址: 哈尔滨市南岗区文庙街41号楼 电话: (0451) 2519357 邮编: 150001