

大容量空空冷绕线型异步电动机的设计

樊少丽, 吴孟青, 安震东
(兰州电机股份有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 介绍了某磨机配套用空空冷绕线型异步电动机的电磁方案、通风散热结构, 以及转子引线的结构。结合试验数据验证了电动机电磁方案、通风散热结构, 以及转子引线结构设计的合理性。这为今后设计更大容量空空冷绕线型异步电动机提供了指导性的思路和重要的成功实践经验。

关键词: 大容量空空冷绕线型异步电动机; 电磁方案; 风路设计; 转子引线

中图分类号: TM 302 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)05-0096-03

Design of Large Capacity Empty Cold Wound Asynchronous Motor

FAN Shaoli, WU Mengqing, AN Zhendong
(Lanzhou Electric Corporation, Lanzhou 730050, China)

Abstract: A grinding machine with empty cold wound asynchronous motor electromagnetic scheme, the ventilation and heat dissipation structure, and the structure of rotor lead were introduced. Combined with the test data validate the motor electromagnetic scheme, the ventilation and heat dissipation structure, and the rotor lead the rationality of the structure were designed. A larger capacity empty cold wound asynchronous motor provided guiding thought and important to the success of practical experience for the future.

Key words: large capacity empty cold wound asynchronous motor; electromagnetic scheme; wind road design; rotor lead

0 引言

随着磨机行业技术的不断进步, 对高转速三相绕线型大容量空空冷异步电动机的需求日益增加。为了能更好地适应市场, 研制更大容量的空空冷电机更加迫切。

1 设计缘由

2017年1月, 兰州股份有限公司签订了2台型号为YRKK1000-6 7200 kW 10 kV的绕线型异步电动机。该型号的电机是该厂至今研制的最大容量空空冷的绕线型电机, 在国内整个电机行业极其罕见。其罕见之处在于7 200 kW容量做空空冷比较罕见; 6极7 200 kW做绕线型电机极其

罕见, 是较大的挑战。

2 电磁方案与绝缘设计

该电机是该公司目前生产的最大容量的三相绕线型异步电动机, 在计算电磁方案过程中, 既要考虑电机性能参数满足合同要求, 还需考虑降低电机成本。结合实践经验, 确定定子铁心冲片外径和内经、铁心长度、气隙长度、定转子槽数、槽形尺寸、绕组形式、节距、并联支路数和每槽导体数等有关数据。在计算电磁方案时, 对电磁方案通过反复计算优化, 找出最合理的电磁方案。

2.1 YRKK1000-6 设计数据

YRKK1000-6 设计数据如表1所示。

作者简介: 樊少丽(1974—), 女, 工程师, 研究方向为电机设计。

吴孟青(1969—), 女, 工程师, 研究方向为电机设计。

安震东(1982—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电机应用策略。

表 1 YRKK1000-6 设计数据

参数名称	参数值	参数名称	参数值	参数名称	参数值
额定功率 P_n/kW	7 200	额定电压 U_n/V	10 000	额定频率 f_n/Hz	50
极数 $2p$	6	定子槽数 Z_1	72	转子槽数 Z_2	90
槽楔高度 h_k/mm	5	气隙 g/mm	4	定子铁心外径 D_a/mm	1 600
定子铁心内径 D_i/mm	1 120	转子铁心内径 d_o/mm	630	定子铁心总长 L_{t1}/mm	1 290
转子铁心总长 L_{t2}	1 290	定子通风沟数 n_v	20	定子并联支路 a	2
定子绕组节距 y_1	10	定子槽形 $b_{n1} \times h_{n1}/\text{mm}$	22.5×115	定子槽口尺寸 $b_{o1} \times h_{o1}/\text{mm}$	22.5×0.5
转子槽形 $b_{n2} \times h_{n2}/\text{mm}$	14×82	转子槽口尺寸 $b_{o2} \times h_{o2}/\text{mm}$	2.0×2.0	定子线规 $a_1 \times b_1/\text{mm}$	3.15×8
每槽有效导体(匝)数 S_{n1}	12	每线圈高度方向导体 C_1/mm	12	定子接法	Y
绝缘后的线规 $a_1 \times b_1/\text{mm}$	3.8×8.6	导体面积 $C \times F_{Cu}/\text{mm}$	4×24.65		

2.2 YRKK1000-6 输出数据

YRKK1000-6 输出数据如表 2 所示。

表 2 YRKK1000-6 输出数据

参数名称	参数值	参数名称	参数值	参数名称	参数值	参数名称	参数值
定子电流 I_n/A	496	定子电密 j_1	2.52	线负荷 A_{S1}	609	热负荷 A_{Sj1}	1 532
定子相电阻 R_1/Ω	0.035 95	R_2 的标么值	0.096 8	定子漏抗 X_1	0.089 2	转子漏抗 X_2/H	0.105 4
电机总电抗 X/H	0.198 3	励磁电流 I_f/A	160.7	定子铜耗 p_{Cu1}/W	26.53	转子铜耗 p_{Cu2}/W	29.84
铁耗 p_{Fe}/W	61.6	机械损耗 p_m/W	45	杂散损耗 p_d/W	36	总损耗 p_{a1}/W	198.98
效率 $\eta/\%$	97.31	功率因数	0.861	定子线圈温升 Q_{Cu1}/K	37.8	定子铁心温升 Q_{Fe1}/K	30.2
电机转动惯量 $G_{Do}/(\text{t} \cdot \text{m}^2)$	5 180	额定转速	996	转子电压 E_2/V	2 402	转子电流/A	1 806
最大转倍数 $M_{\max}$	2.39	$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$					

2.3 绕组工艺策略

定子绕组选用优质电磁线,绕组经过 VPI 真空浸亚漆处理,使绝缘和线棒成为无间隙、严密、均匀的整体,具有良好的绝缘性能及防潮性能^[1]。亚胺薄膜补强的云母带的耐电晕性能优于聚酯薄膜补强的云母带,而且定子绕组采用 VPI 浸渍高性能改性环氧耐高温树脂绝缘处理烘焙固化后,整体性好,介质损耗低,电机耐电、热老化性能好,进一步加强了电机运行的可靠性。为了使大容量电机的线圈具有更好的耐电晕性,在电机定子绝缘结构设计上采用特殊方式对线匝绝缘、对地绝缘进行加强。

大容量电机与普通电机绝缘结构的区别如表 3 所示。

表 3 大容量电机与普通电机绝缘结构的区别

项目	普通电机	大容量电机	备注
线匝绝缘	SBMB-60/155-2Y5N	FYYB-65/155	线匝绝缘厚度 $0.38 \leq \delta \leq 0.47$ $0.80 \leq \delta \leq 0.85$ 提高 50% 以上
对地绝缘	聚酯薄膜补强 少胶云母带	亚胺薄膜补强 少胶云母带	介电性能 提高 30% 以上

3 通风结构设计

在全封闭式电机的设计中,由于电机防护等级的要求较高,一般不允许电机内部的冷却介质与周围环境的冷却介质相互流通^[2]。因此,如何将电机运行时产生的大量热量由内部的冷却介质有效、迅速地传递到周围环境的冷却介质中去,使电机温升符合设计要求,是电机设计的重要关注点之一,决定电机热负荷参数的选取^[3]。高参数、低成本是电机发展的一个重要方向,因此,相匹配的优越冷却系统是实现电机向高参数方向发展的必要条件。考虑到该电机容量大、发热高,空空冷普遍采用的 IC611 和 IC616 冷却方式不足以满足该电机的冷却要求。通过分析计算,该电机采用强迫通风冷却方式 IC666 进行了试制,电机内风路采用双风路设计,铁心温度分布较均匀、内风路较短、压力损失小。电机型式试验后温升为 70.2 K,整体噪声小于普通自扇冷电机。该结果证明了强迫通风冷却器的设计可以满足电机通风散热冷却器自带外通风风机总成,所带风机为高效、低噪声轴流风机。冷却器设计冷却容量 250 kW

(电机总损耗 200 kW),内风路风机为 Y180M-4 380 V 50 Hz 18.5 kW,外风路风机为 Y160M-4 380 V 50 Hz 11 kW。冷却器示意如图 1 所示。具体结果如下:

- (1) 选取外风路温差为 15 K,算出所需风量为 14.9 m³/s。
- (2) 选取内风路温差为 20 K,算出所需风量为 11.2 m³/s。
- (3) 根据冷却管管径、长度和所需风量等算出内外风路空气压降分别为 0.309、0.211 kPa。

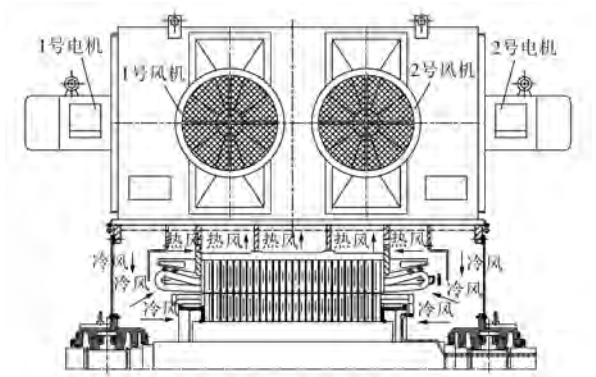


图 1 冷却器示意图

4 转子引出线设计

该电机转子电流 1 806 A。转子若采用电缆引线每相至少需要 4 根 $\phi 185$ mm 电缆,三相共 12 根电缆,穿电缆孔径至少为 $\phi 170$ mm,无法满足副轴伸直径 $\phi 180$ mm 的要求,转子引出线通过轴中心打孔穿电缆的常规方式已无法实现,因此开发设计了一种新的结构。转子引线由电缆改用绝缘的铜母线,在轴表面开穿线槽,通过穿线槽将转子引出线引至集电环。由于穿线槽要通过轴上的轴承挡部分,因此将轴承挡部分设计为套筒式,引线槽加工完后,将套筒加热后热套于轴上,冷却后再加工轴承配合尺寸,既能使绝缘后的铜母线从引线槽引出,又能保证轴承配合尺寸。

热套配合的关键在于正确选择轴承套件内径和配合轴外径之间的配合公差 δ 。装配时将轴承套加热至适当温度,然后在套件内孔受热膨胀的情况下套在轴上,当冷却时轴承套自动箍紧在轴上^[4]。两个热套配合的零件中处于危险状态的经常是轴套而不是衬件,因此轴材质为 35 号锻钢,轴承套材质为 35CrMo,轴承套与轴配合最危险处

的直径为 $\phi 227$ mm。
加热套筒或冷却轴所需加热或冷却的温度为

$$t = \frac{\delta + \Delta}{k \cdot 10^{-6} d} + t_0 \tag{1}$$

式中: t ——加热或冷却温度,℃;
 δ ——实际配合过盈量;
 Δ ——装配最小间隙,取 0.001 ~ 0.002 d , mm;
 k ——温度系数;
 d ——配合直径;
 t_0 ——装配环境温度。
温度系数 k 如表 4 所示。

表 4 温度系数 k

材料	温度系数 k	
	加热	冷却
钢与铸钢	11	-8.5
铸铁	10	-8.6
可锻铸铁	10	-8.0
铜	16	-14.4
青铜	17	-14.2
黄铜	18	-16.7
铝合金	23	-18.6
锰合金	26	-21

根据式(1),当轴承套加热温差为 127 K 时(最小装配间隙视为零),最大过盈量 $\delta = (t - t_0)k \times 10^{-6}d = 127 \times 11 \times 10^{-6} \times 227 = 0.317$ mm。

依据上述计算,同时考虑到材料的安全性,同时参考《机械设计手册》优先配合特性最终选择轴 $\phi 227u6$,轴承套 $\phi 227H7$,即最大过盈量 $\delta = 0.031\ 3$ mm。工程实际验证过盈选取正确。

转子引线穿线槽示意图和轴承挡断面剖视图如图 2 所示。

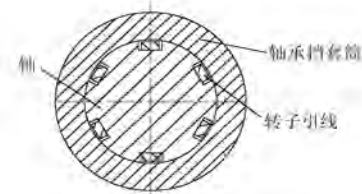


图 2 转子引线穿线槽示意图

(下转第 114 页)

检查轴承座和轴的绝缘强度,用绝缘电阻表测量,绝缘电阻值应满足标准要求。轴承座及其附属的金属部件必须确认对地绝缘性能良好,轴承座与温度测量元件之间的绝缘也应确认其可靠有效。

5.4 保证润滑绝缘油纯度可靠

主轴与轴瓦之间,如发现润滑油中含水或附着具有导电性能的杂质,必须及时有效地处理,以确保油膜产生的绝缘强度符合要求,防止绝缘降低导致形成轴电压。

6 结 语

大中型船用电机运行时产生的轴电压有各种频率与成分的叠加,谐波分量异常复杂,不同的原因所导致引起的轴电压,其数值都不相同。电机

轴电压在处于非正常状态下,幅值可能达到几百 V 或更高,每种情况所对应的预防和治理措施也不尽相同。在实际运行使用中,应及时对轴电压进行监测,做好预防工作,避免产生损失。

【参 考 文 献】

[1] 齿轮轮齿磨损和损伤术语:GB/T 3481—1997[S].
[2] 张业鹏.大型异步电动机轴电流的分析及防范[J].大氮肥,2008,31(5): 357.
[3] 船用旋转电机基本技术要求: GB/T 7060—2008[S].
[4] 中国船级社.钢质海船入级规范[M].北京:人民交通出版社,2015.

收稿日期: 2017 -09 -27

(上接第 98 页)

5 试验数据及结果

该电动机于 2017 年 7 月试制完毕,参数如

表 5 所示。通过试验,电动机的主要指标满足技术条件和用户的要求。

表 5 电动机参数

参数名称	设计值	试验值	参数名称	设计值	试验值
额定功率/kW	7 200	7 200	铁耗/kW	61.6	57.350
额定电压/kV	10	10	定子铜耗/kW	26.53	24.957
定子绕组电阻/ Ω	0.035 95(75 $^{\circ}\text{C}$)	0.037 122(95 $^{\circ}\text{C}$)	转子铜耗/kW	29.84	30.417
转子绕组电阻/ Ω	0.009 68(75 $^{\circ}\text{C}$)	0.009 309(95 $^{\circ}\text{C}$)	杂散损耗/kW	36	42.273
空载电流/A	160.7	133.33	效率/%	97.31	97.14
转子电流/A	1 806	—	转差率/%	0.41	0.415
转子电压/V	2 402	2 440	功率因数	0.861	0.894
定子绕组温升/K	—	70.2	最大转矩/倍	2.39	2.8
转子绕组温升/K	—	81.6	振动位移/ μm	—	23.3
前轴承温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	69.2	振动加速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$	—	1.8
后轴承温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	61	振动速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	—	2.0
集电环温升/K	—	71	噪声/dB	—	101.9
机械损耗/kW	45.01	56.644			

6 结 语

任何疏忽都将影响电机安全稳定运行。根据实际工厂的试验数据结果及规程规范的要求进行了设计制造,最终满足工程的实际需要,保证了电动机的安全稳定运行。

该电动机的试制成功,将为兰州电机股份有限公司大功率空空冷绕线型异步电动机的制造和设计积累经验,使该公司绕线型异步电动机制造设计、水平上一个新台阶。

【参 考 文 献】

[1] 汤蕴琮,史乃.电机学[M].北京:机械工业出版社,2011.
[2] 陈世坤.电机设计[M].北京:机械工业出版社,2000.
[3] 纳霍德金.牵引电机设计[M].李忠武,译.北京:中国铁道出版社,1983.
[4] 钱伟长.电机设计强度计算的理论基础[M].合肥:安徽科学技术出版社,1992.

收稿日期: 2017 -12 -12