

YVF315~630 系列高压变频调速三相异步电动机*

刘彦华¹, 乔建伟², 吴宣东²

(1. 河南工业职业技术学院, 河南 南阳 473008;

2. 卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司, 河南 南阳 473008)

摘要: 设计开发了新一代 YVF315~630 系列高压变频调速三相异步电动机, 产品具有系统节能、低振动、低噪声、外形小、重量轻、型谱广、功率密度高、节能环保等特点。特别对变频调速系统节能、基本数据、高效设计、绝缘结构设计、强迫通风内外风路设计、绝缘端盖设计做了重点介绍。最后通过产品试验数据与目标数据对比, 分析得出了该系列产品开发设计达到了预期目标。

关键词: YVF315~630; 变频调速; 风扇; 端盖; 设计; 三相异步电动机

中图分类号: TM 343 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2017)09-0044-04

YVF315~630 Series High Voltage Variable Frequency Speed Regulation Three Phase Asynchronous Motor*

LIU Yanhua¹, QIAO Jianwei², WU Xuandong²

(1. Henan Polytechnic Institute, Nanyang 473008, China;

2. Wolong Electric Nanyang Explosion Protection Group Co., Ltd., Nanyang 473008, China)

Abstract: Designed and exploited anew generation of YVF315~630 series high voltage variable frequency speed regulation three phase asynchronous motor, with features of energy saving, low vibration, low noise, small shape, light weight, wide spectrum, high power density, energy conservation, environmental protection, etc. The variable frequency speed regulation system, basic data, high efficiency design, insulation structure design, forced ventilation, both inside and outside the wind road design and insulation cover design were introduced, finally compared with the product test data and target data, the analysis showed that the development and design of this series product had achieved the expected goal.

Key words: YVF315~630; variable frequency speed regulation; fan; end cover; design; three phase asynchronous motor

0 引言

随着电力电子技术、微电子技术的发展和高压变频技术的不断进步, 高压变频器技术越来越成熟。同时国家对节能环保、降低能耗的产品越来越重视, 特别是以电力、钢铁、石油石化、化工、建材等行业为重点^[1], 加快了节能减排产品的研发。其中电机系统是重要的耗能设备, 2014 年

中国电机系统耗电量占全社会耗电量的 60%~70%, 因此电机系统节能的潜力巨大。

电机系统节能是指在提高机组各设备自身效率的同时, 更关注提高系统整体运行效率。采用变频调速系统, 节能可以提高到 30%~50%。变频调速系统关键设备是变频电机。2012 年, 由上海电器科学研究所(集团)有限公司等负责起草的 GB/T 28562《YVF 系列高压变频调速三相异步

* 基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师资助计划(2013GGJS-243)

作者简介: 刘彦华(1977—), 女, 硕士研究生, 副教授, 研究方向为电机电气、自动控制技术教学与科研。

乔建伟(1975—), 男, 研究生, 硕士高级工程师, 研究方向为高压电动机的设计开发。

吴宣东(1969—), 男, 研究生, 硕士教授级高级工程师, 研究方向为电动机、发电机等的设计开发。

电动机技术条件(机座号 355-630)》技术调节^[2],对变频电机进行了规范。

依据国家节能环保和国家技术条件,2015 年成功开发了新一代 YVF315~630 系列高压变频调速三相异步电动机。该系列产品也是我国高压变频调速电机的升级换代产品,各种性能符合国家标准,已批量进入市场。

1 基本技术

YVF315~630 系列高压变频调速三相异步电动机基本技术参数如下。

- (1) 型号: YVF315~630;
- (2) 额定功率: 160~4 000 kW;
- (3) 额定电流: 11~425 A;
- (4) 额定电压: 6~10 kV;
- (5) 额定频率: 50 Hz;
- (6) 变频范围: 0~50 Hz;
- (7) 相数: 3;
- (8) 极数: 4~12 P;
- (9) 工作制定额: S1;
- (10) 热分级: 155 级;
- (11) 安装方式: IMB3;
- (12) 使用系数: 1.0;
- (13) 防护等级: IP55;
- (14) 轴承温度: $\leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- (15) 效率: 满足 GB 30254—2013 能效标准中二级能效^[3];
- (16) 功率因数、温升、堵转电流倍数、堵转转矩倍数、最大转矩倍数: 满足国家技术条件 GB 28526—2012;
- (17) 噪声: $L_p\text{ dB(A)} \leq 85\text{ dB(A)}$;
- (18) 振动: 速度 1.8 mm/s , 位移 $13\text{ }\mu\text{m}$ 。

2 产品设计

2.1 高效设计

变频调速电动机通过调整转速达到系统节能,但电动机本身也需要降低能耗、提高效率。电动机运行时主要有五大损耗:铁损耗、定子绕组损耗、转子绕组损耗、机械损耗及总杂散耗。通过优化电磁方案,并根据电动机在不同典型频率下的电磁参数,优化对比,合理选择三圆、槽配合和槽型,改善磁路,降低定子和转子铁损耗;结合变频

调速电动机的实际使用情况,在保证电动机各项性能参数的前提下,适当降低定子电流密度,降低定子绕组损耗;调整转子导条和端环电阻及截面积,降低转子绕组损耗;对变频调速电动机的内风路进行流体分析计算,使内风扇工作在高效区域,内风扇和强迫通风风扇性能匹配,减少机械损耗;优化电机的轴承配置,轴承选用机械损耗较小的 62 系列的深沟球轴承和 NU10 系列的短圆柱滚子轴承,在保证轴承有足够的理论寿命的前提下,降低轴承的机械损耗。通过各种措施,使变频调速电动机在工频运行时,效率达到 GB 30254—2013 中的二级能效等级。

2.2 绝缘结构设计

新一代 YVF315~630 系列高压变频调速三相异步电动机绝缘体系非常重要,是该系列电动机安全可靠运行的重要部分。定子绕组绝缘采用中胶粉云母带,加强线圈的匝间绝缘及主绝缘强度,白坯下线后经 V.P.I 整体浸漆,电动机主绝缘厚度分别是 5.3 mm(电压 10 kV)、3.0 mm(电压 6 kV)。同时利用绝缘端箍等结构件,采取合理的绕组端部线路绑扎固定方式,提高端部整体强度等。通过以上绝缘措施提高了变频调速电动机的绝缘可靠性。

2.3 强迫通风内风扇的设计

目前国内变频调速电动机的内风路全部为双侧对称强迫通风,6、8P 低速变频调速电动机因转速低,采用对称轴流内风扇时风压低、风量小,采用对称离心内风扇时风扇外径不能大于定子内径,使得内风扇风压、风量也比较小,无法充分利用转子自身的扇风能力。本次设计采用单侧强迫通风内风路,如图 1 所示,一则可以将离心风扇外径做得大于定子内径,提高内风扇工作风压、风量,二则可将转子自身带的内风扇和强迫通风内风扇的风压串联起来,提高电机内部的冷却风量,从而提高电动机的通风散热能力^[4-5]。

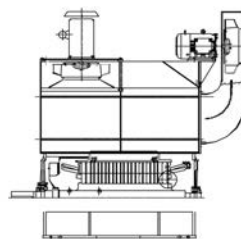


图 1 强迫通风结构示意图

2.4 强迫通风外风扇的设计

目前国内变频调速电动机的外风路采用轴流风扇通风。轴流风扇的动力电机安装在连接筒的尾端,动力电机和连接筒形成一个悬臂梁结构,强迫通风动力电机容易振动。通过计算机流场分析发现,采用这种强迫通风,轴流风扇鼓风产生的气流成环形吹向冷却管,导致冷却器的冷却管只有中间环状区域内有冷却风通过,其余大量的冷却管无冷却风通过,降低了冷却器的散热效率,如图2、图3所示^[6-7]。

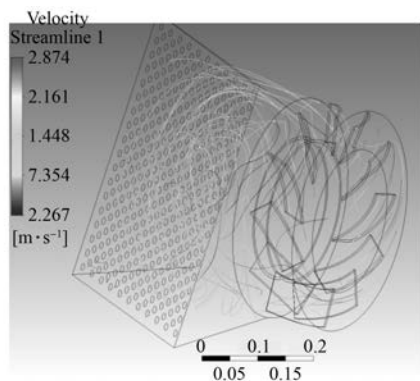


图2 轴流风扇产生的气流

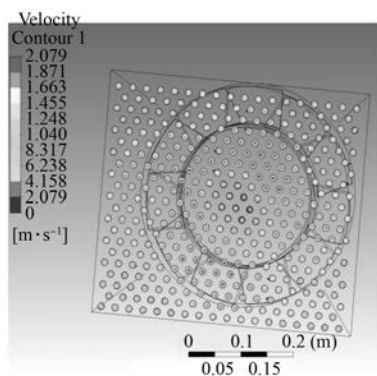


图3 轴流风扇冷却器出口风速分布

本次设计将强迫通风动力电机固定在冷却器上,如图1所示。从而提高了电动机的支撑强度,解决了强迫通风小和电机振动问题;同时将强迫通风外风扇改进为离心扇,解决了轴流风扇存在的不足,提高了外风路的风压风量。通过外风路流场分析,在弧形风罩中间设置导风弧板效果更好,在弧形风罩和导风弧板的导风作用下,冷却风均匀通过冷却管,提高了冷却器的散热容量,使电动机散热更好,如图4、图5所示。

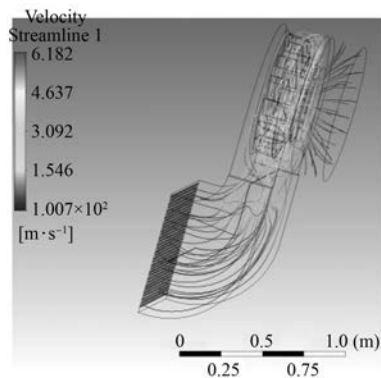


图4 轴流风扇产生的气流

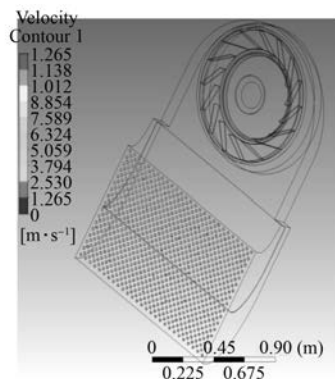


图5 轴流风扇冷却器出口风速分布

2.5 绝缘端盖设计

GB/T 28562—2012《YVF 系列高压变频调速三相异步电动机技术条件(机座号 355-630)》中要求,对轴电压峰值大于 300 mV 的电动机要求采取绝缘措施。变频调速电动机通用的方法为非轴伸端直接采用绝缘轴承,受绝缘滚动轴承规格型号的限制^[8],中心高较大的电动机无法采用滚动轴承,只能采用滑动轴承,增加了电动机制造成本。本次设计滚动轴承采用新型绝缘端盖,通过在端盖的轴承室内增加一个特制的绝缘套,滚动轴承安装在轴承室内后,轴承外圈和端盖直接绝缘,从而避免轴电流对轴承的损伤。使用绝缘端盖后,轴承可以使用正常滚动轴承,不用价格昂贵的绝缘滚动轴承,降低了电动机制造成本和用户的维护使用成本,如图6所示。

3 产品试验情况

通过 2015 年产品试制,共完成 60 多个规格变频调速电动机的型式试验,通过表1部分规格电动机试验数据对比,各种性能符合

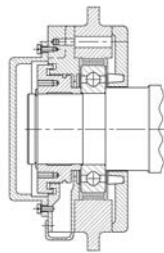


图6 绝缘端盖与滚动轴承的安装

表1 部分规格电动机试验数据

电机型号	P_2/kW	U_N/kV	$\eta_0/\%$	$\eta/\%$	$\Delta\eta/\%$	$\Delta t_1/\text{K}$	$L_p/\text{dB(A)}$	振动/ $(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	重量/kg
YVF400-4	355	10	93.6	94.72	1.12	57	82	1.3	3 600
YVF450-6	450	10	93.8	94.14	0.34	61	82	0.8	4 500
YVF450-6	710	6	95.2	95.70	0.20	44	82	0.8	5 400
YVF500-6	800	10	95.0	95.61	0.61	49	84	1.1	6 400
YVF500-6	1 250	6	95.8	96.84	0.04	59	82	1.2	7 300
YVF560-4	2 240	6	96.0	96.18	0.18	63	85	0.9	9 100
YVF630-8	2 000	10	95.9	96.0	0.1	65	85	1.3	11 000

注： η_0 为国家能效等级标准中二级能效值， η 为试验值， $\Delta\eta$ 为试验值与二级能效值差值。

(2) 型谱广、功率密度高。额定电压为 6 kV, 同功率、同极数的电动机比国家技术条件低 1~2 个中心高, 如 YVF630-4 变频调速电动机的最大功率为 4 500 kW, 远高于国家标准 GB/T 28562—2012 中的 2 800 kW, 属于低中心高大容量高功率密度电机。同时在电机行业率先系列开发出国家标准 GB/T 28562—2012 所没有的 10 kV 级变频调速电动机, 拓宽了高压变频调速电动机的型谱, 满足市场对 10 kV 级变频调速电动机的需求。

(3) 外形尺寸小, 重量轻。高压变频调速电动机通过电机的高功率密度设计、轻型化的电机机座设计和冷却风路设计, 使电机外形小、尺寸紧凑, 重量低于国内同行业约 7%。

(4) 低噪声、低振动。高压变频调速电动机的整机噪声控制在 85 dB(A) 以下, 在基准频率和额定电压情况下, 主电机的整机振动不超过 GB 10068 中 B 级 (1.5 mm/s), 优于国家标准。

4 结 语

通过新一代 YVF315~630 系列高压变频调速三相异步电动机设计与试制, 验证了高压变频电动机定子绝缘体系、通风冷却结构、防止轴电压的绝缘端盖、高效率的设计措施, 最终设计分析数

据与试验结果基本一致, 部分性能超过预期目标, 达到了试制目的。

GB/T 28562—2012变频调速电动机技术条件, 特别是效率、振动、噪声远优于国家技术条件, 如表 1 所示。主要优点有:

(1) 效率高。通过优化电磁设计、风路结构设计、转子加工工艺等, 变频调速电动机的铜耗、铁耗、机械损耗等显著降低, 提高电动机在不同频率下的效率。在基准频率和额定电压情况下, 全系列变频调速电动机的效率均达到国家二级能效标准。

【参考文献】

[1] 李薇, 乔建伟, 来海丰. YAP 系列增安型变频调速三相异步电动机的开发和应用[J]. 电气防爆, 2004(3): 1-10.

[2] YVF系列高压变频调速三相异步电动机技术条件(机座号 355~630): GB/T 28562-2012[S].

[3] 高压三相笼型异步电动机能效限定值及能效等级: GB 30254-2013[S].

[4] 郑国丽, 周黎民, 邓尧强, 等. 高效电机风路结构设计参数优化[J]. 电机与控制应用, 2015, 41(4): 62-65.

[5] 李贤明, 王同章, 周平. 大功率高速电动机高效率低噪声离心风扇的研究与设计[J]. 防爆电机, 2005, 40(1): 9-11.

[6] 汪书苹, 赵争鸣, 冯径. YKK355~630 系列高压三相异步电动机高效风扇的设计[J]. 清华大学学报, 2009(1): 9-12.

[7] 王天煜, 王凤翔. 大型异步电动机定子振动与模态分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(12): 41-45.

[8] 苏湘君. 电动机轴承异常分析及处理[J]. 华电技术, 2009, 31(1): 47-49.

收稿日期: 2016 -11 -02