

拉伸对变频电机用漆包线耐电晕性能的影响

李园园, 黄慧洁, 管兆杰, 徐学敏, 林毅栋

[上海电器科学研究所(集团)有限公司 上海电器设备检测所, 上海 200063]

摘要: 为了分析耐电晕漆包线在电机实际使用过程中的耐电晕性能, 通过拉力试验机模拟耐电晕漆包线使用过程中的拉伸情况。首先通过拉力试验机对耐电晕漆包线进行拉伸, 拉伸率分别为 10%、15%。然后分别进行未拉伸漆包线、拉伸率 10% 及 15% 的耐电晕漆包线的击穿电压试验和耐电晕性能试验, 并进行漆包线拉伸前后击穿电压和耐电晕寿命的比较。结果表明: 拉伸率为 10%、15% 后漆包线击穿电压与未拉伸试样相比略有下降, 拉伸 15% 后漆包线的击穿电压保留率超过 85%。拉伸率为 10%、15% 的漆包线耐电晕性能与未拉伸试样比较有明显的下降, 拉伸率为 15% 的漆包线的耐电晕性能略差于拉伸率 10% 的漆包线, 耐电晕漆包线拉伸率为 10% 时, 其耐电晕性能保留率不足 20%。

关键词: 变频电机; 漆包线; 耐电晕寿命; 拉伸

中图分类号: TM 245.5; TM 206 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2017)08-0115-05

Effect of Tensile on Corona Resistance Performance of Enameled Wire for Inverter Motor

LI Yuanyuan, HUANG Huijie, GUAN Zhaojie, XU Xuemin, LIN Yidong

[Shanghai Testing & Inspection Institute for Electrical Equipment, Shanghai Electrical Apparatus Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200063, China]

Abstract: To analyze corona resistance performance of enameled wire used for the inverter motors in the production process of that, using electromechanical universal testing machine to simulate the stretch of corona resistant enameled wire in the production process of insulation system for the inverter motor. First of all, corona resistant enameled wires were tensile using electromechanical universal testing machine, the elongation of enameled wires were 10%, 15% respectively. Then, initial enameled wire, enameled wire with 10% elongation and enameled wire with 15% elongation were breakdown voltage test and corona resistance test. The results showed that breakdown voltage of enameled wire with 10% elongation and enameled wire with 15% elongation were little worse than that of initial enameled wire, the breakdown voltage retention rate of enameled wire with 15% elongation was more than 85%. Corona resistance time of enameled wire with 10% elongation and enameled wire with 15% elongation were much worse than that of initial enameled wire, corona resistance time of enameled wire with 15% elongation was litter worse than that of enameled wire with 10% elongation. The corona resistance time retention rate of enameled wire with 10% elongation was less than 20%.

Key words: inverter motor; enameled wire; corona resistant time; tensile

0 引言

近年来,随着电力电子技术的发展以及环境

保护理念的提高,具有节能性的变频电机被广泛应用。由于变频电机供电电源的脉冲频率较高,脉冲上升沿陡峭,脉冲极性呈周期性正负交变等

作者简介: 李园园(1991—),女,硕士研究生,研究方向为绝缘材料及绝缘系统的检测及寿命评估。

黄慧洁(1983—),女,硕士研究生,高级工程师,研究方向为电机绝缘系统的寿命评估。

管兆杰(1985—),男,硕士研究生,研究方向为绝缘系统的检测、可靠性评估。

特性,高频电机在工作过程中会不断承受高频电压冲击,因此对变频电机用绝缘材料的耐电晕性能提出较高要求。本文主要研究变频电机用漆包线的耐电晕性能^[1-3]。

2008年颁布的GB/T 21707—2008^[4]标准中对电磁线的耐高频脉冲电压特性进行了规定。此标准中规定在试验电压的峰-峰值为3.0 kV、试验温度 $155\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、脉冲频率为20 kHz、脉冲极性为双极性、脉冲波形为方波、脉冲上升时间100 ns、脉冲占空比为50%的条件下,耐电晕漆包线的耐高频脉冲寿命不少于12 h。GB/T 21707—2008标准中还规定漆包线的耐高频脉冲寿命属于正常状态下的寿命。但由于在电机绝缘系统的生产制造过程中,耐电晕漆包线受到一定程度的拉伸,因此一定拉伸率下耐电晕漆包线的耐高频脉冲寿命成为现阶段各变频电机生产厂家的关注重点。

本文主要通过拉力试验机模拟漆包线在使用过程中高速绕线下的伸长,根据实际使用情况模拟伸长率为10%、15%的漆包线,分别研究未拉伸漆包线、伸长率10%的漆包线以及伸长率15%的漆包线的击穿电压和耐电晕性能,分析拉伸对漆包线击穿电压和耐电晕性能的影响,间接模拟实际使用中的漆包线耐电晕性能。

1 试验

1.1 试验样品

试验样品为200级耐电晕聚酰胺酰亚胺/聚酯亚胺漆包铜圆线,漆膜等级为3。

试样A:导体标称直径为0.80 mm。

试样B:导体标称直径为0.95 mm。

1.2 拉伸试样的制备

将试样A和试样B分别裁成长约400 mm的样品,各30根。其中10根不作拉伸;另10根使用微机控制万能试验机拉伸到伸长率10%;还有10根拉伸到伸长率15%。

1.3 试样导体直径和漆膜厚度的测量

采用外径千分尺分别测量试样A和试样B未拉伸试样导体直径和漆膜厚度,以及拉伸试样中间部位及端部的导体直径和漆膜厚度。

1.4 绞线对试样的制备

将试样A和试样B的各30根样品在图1所

示的扭绞机上绞成 $(125\pm 5)\text{ mm}$ 的各30根绞线对。绞线对上的扭绞数为8圈,绞线对试样如图2所示。



图1 绞线对扭绞机

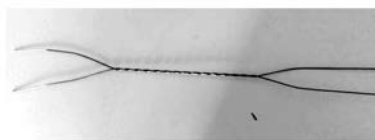


图2 绞线对试样

1.5 耐高频脉冲试验

将按上述方法制好的绞线对两自由端除去绝缘层,采用高频脉冲试验仪,选用电压峰-峰值3.0 kV、频率20 kHz、双极性、方波、上升时间100 ns、占空比50%的高频脉冲,在绞线对试样的两根导体间施加高频脉冲电压(如图3所示)进行耐电晕试验,试验温度为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。分别记录试样A、试样B的未拉伸、拉伸率10%、拉伸率15%各5个试样的耐高频脉冲时间,对5个相同试样的耐电晕老化试验结果按大小顺序排列,取中值作为此种试样的耐电晕寿命。

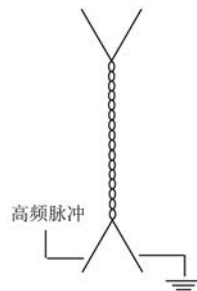


图3 绞线对试样的耐电晕试验

2 结果与讨论

2.1 拉伸后漆包线尺寸变化

试样A和试样B未拉伸试样、拉伸率10%的

试样、拉伸率 15% 的试样的导体直径和漆膜厚度的测量结果如表 1 所示。

表 1 试样导体直径和漆膜厚度

试样类型	导体直径/mm	漆膜厚度/mm	中部导体直径/mm	中部漆膜厚度/mm	端部导体直径/mm	端部漆膜厚度/mm
A	0.800	0.108	-	-	-	-
A-10%	-	-	0.780	0.091	0.785	0.095
A-15%	-	-	0.765	0.085	0.772	0.089
B	0.950	0.097	-	-	-	-
B-10%	-	-	0.920	0.080	0.930	0.083
B-15%	-	-	0.904	0.076	0.910	0.079

注: A-10%、A-15%、B-10%、B-15% 代表拉伸率 10%、15% 的 A、B 样品。

从表 1 的测试结果可以得出:(1)拉伸 10%、15% 后样品的导线直径明显小于样品的初始线径;(2)拉伸 10%、15% 后样品的漆膜厚度与初始膜厚相比有一定程度的减小,试样 A 拉伸率为 10%、15% 的样品中部漆膜厚度与未拉伸样品相比保留率分别为 84.2%、78.7%,试样 B 拉伸率为 10%、15% 的样品中部漆膜厚度与未拉伸样品相比保留率分别为 82.5%、78.4%;(3)拉伸后试样的线径均匀性较差,样品中间部位的导体直径、漆膜厚度均略小于样品端部的导体直径和漆膜厚度。

漆包线的拉伸试验中,样品一端固定,另一端在外力的作用下以 300 mm/min 的速度匀速拉伸。拉伸过程中试样两端受力均匀,中部更容易发生形变,因此拉伸样品中部的导体直径和漆膜厚度均略小于端部的导体直径和漆膜厚度。漆包线由导体和绝缘漆层两部分组成,在拉伸过程中,两部分变形率存在一定差异,拉伸后样品的漆膜附着性有一定程度的劣化,漆膜层和导体间可能存在一些微小缺陷,同时拉伸可能促使导体材质以及漆膜层的均匀性发生一定变化。

2.2 漆包线击穿电压试验

试样 A 和试样 B 未拉伸样品、拉伸率 10%、拉伸率 15% 的样品的击穿电压如图 4 所示。从图 4 中可以看出,试样 A 未拉伸试样的击穿电压为 16.3 kV,拉伸率为 10%、15% 的试样 A 的击穿电压分别为 14.8 kV、14.4 kV;试样 B 未拉伸试样的击穿电压为 15.0 kV,拉伸率为 10%、15% 的试样 B 的击穿电压分别为 13.8 kV、13.4 kV。根据试验结果可知,与原始样品相比,试样 A 拉伸率 10%、15% 的样品击穿电压的保留率分别为 90.8%、88.3%,试样 B 拉伸率 10%、15% 的样品击穿电压

的保留率分别为 92.0%、89.3%。

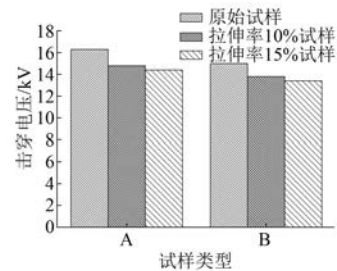


图 4 试样的击穿电压

根据击穿电压的试验结果可知,拉伸后试样 A 和试样 B 的击穿电压均有一定程度的降低,但其保留率均高于拉伸后试样 A 和试样 B 漆膜厚度的保留率。拉伸后漆包线的漆膜厚度减少,其击穿电压也应随之变小,但由于拉伸后漆包线的附着性劣化,漆膜与导体之间会出现微小的缺陷空隙,击穿电压试验过程中导电通道为导体-缺陷空隙-漆膜-缺陷空隙-导体,拉伸后漆包线的击穿电压还包括空隙的击穿电压,因此拉伸后漆包线的击穿电压保留率高于拉伸后漆包线漆膜厚度的保留率。

2.3 漆包线耐电晕性能分析

变频电机具有供电的脉冲电源频率很高、脉冲上升沿陡峭、脉冲极性呈周期性正负交变等特性,变频电机特别是绝缘结构会不断承受高频率电压的冲击,而且由于高频电流引起的集肤效应可使转子电阻增大,铜耗随之增加,导致变频电机绝缘结构的发热量增加,高频电流也使铁损增加,从而使绝缘热老化加剧^[5-6]。

耐电晕漆包线作为变频电机绝缘结构的一部分,在变频电机的使用过程中,漆包线会同时承受

电老化和热老化的损坏^[7],因此采用耐重复脉冲电应力模拟实际使用过程中的电老化,并在高温下进行耐电应力试验,模拟实际使用过程中的热老化现象。

漆包线耐电晕试验过程中,漆包线在变频电源的作用下,在绞线对绞合处会产生明显的蓝色电晕,并发出“嘶嘶”的放电声音,偶尔还会出现电火花放电现象,这主要是由于空气在两导线之间的不均匀电场中被击穿,形成稳定的局部放电现象^[8]。漆包线耐高频脉冲试验后的样品照片如图5所示,其中红圈部分的耐电晕老化程度较严重。从图5中可以看出:(1)老化后试样的颜色与老化前相比较深;(2)老化后试样绞线间老化程度较严重,表面有粉状附着物。

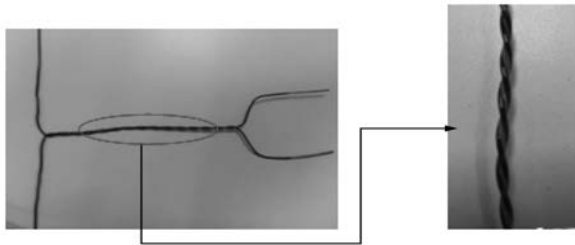


图5 耐高频脉冲老化后漆包线

漆包线耐高频脉冲试验在高温中进行,由于高温对漆膜层的老化作用,漆膜颜色变化较大。耐高频脉冲试验过程中电晕放电产生的带电粒子在漆包线绞线对绞合处表面形成对绝缘的冲击,并附着于漆膜表面使其表面活化。另外,电晕放电过程中容易产生臭氧、一氧化氮等具有强氧化性能的气体,促使漆膜有机组分的氧化分解,而其中的无机物则被保存下来,在漆膜表面形成保护层,漆膜耐电晕老化击穿后无机保护层残留在绞线对绞合处^[9]。

2.4 漆包线拉伸前后耐电晕性能分析

试样A和试样B的未拉伸试样,拉伸率10%的以及拉伸率15%的漆包线的耐电晕寿命如图6所示。

从图6可知,试样A未拉伸试样、拉伸率10%的样品以及拉伸率15%的样品的耐电晕时间分别为:49.2 h、9.7 h、7.6 h,试样B未拉伸试样、拉伸率10%的样品以及拉伸率15%的样品的耐电晕时间分别为:112.4 h、20.8 h、14.2 h。从图6

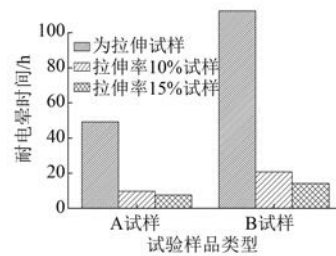


图6 试样A和试样B的耐电晕寿命

可知,试样A和试样B拉伸试样的耐电晕性能均劣于未拉伸试样的耐电晕性能:拉伸率10%、15%的试样B的耐电晕寿命保留率分别为18.5%、12.7%,拉伸率10%、15%的试样A的耐电晕寿命保留率分别为19.7%、15.4%。

未拉伸试样、拉伸试样漆包线耐电晕寿命试验结果表明:拉伸对漆包线耐电晕寿命影响很大,拉伸率10%的漆包线耐电晕寿命与未拉伸漆包线寿命相比,劣化率超过80%。这主要有以下两方面原因:(1)耐电晕漆包线的耐电晕性能主要是由于其漆中添加了耐电晕改性材料,此改性材料中的纳米粒子本身具有耐电晕性能,而且其在耐高频脉冲老化过程中会通过屏蔽作用、电荷均化作用等对有机物进行保护,而且在表漆老化分解后无机物会在表面形成保护层阻碍高频脉冲对漆膜的老化^[10],因此经拉伸后漆包线漆膜厚度减少,单位面积漆膜中无机物含量减少,漆包线无机保护层减薄,耐电晕性能变差;(2)拉伸后漆包线的漆膜均匀性较差、缺陷增多,经拉伸变形后漆膜内部容易产生缺陷,漆膜对导体的附着性变差,漆膜与导体界面之间也存在微小缺陷。经拉伸后漆包线的漆膜以及漆膜与导体界面处产生较多缺陷,在漆包线耐高频脉冲老化过程中空间电荷容易受限于这些缺陷中,出现电荷团聚现象,从而更早的发生脉冲击穿。

3 结 语

本文通过万能拉力试验机模拟漆包线使用过程中的拉伸,研究漆包线未拉伸试样、拉伸10%试样、拉伸15%试样的耐电晕性能,并对未拉伸试样及拉伸试样的漆膜厚度、导体直径、击穿电压等性能进行分析,得到以下结论:

(1) 拉伸后漆包线的漆膜厚度减小,漆膜厚

度均匀性较差,拉伸后漆包线中间部位的导体直径、漆膜厚度均略小于样品端部的导体直径和漆膜厚度。

(2) 拉伸后漆包线的击穿电压小于未拉伸漆包线的击穿电压,拉伸率为 10%、15% 的漆包线的击穿电压保留率均高于 85%,而且拉伸后漆包线击穿电压的保留率高于拉伸后漆包线漆膜厚度保留率。

(3) 拉伸后漆包线的耐电晕寿命与未拉伸试样相比明显降低,拉伸率为 10% 的漆包线的耐电晕寿命保留率不足 20%,拉伸率 15% 的漆包线的耐电晕寿命与拉伸率为 10% 的漆包线相比也有一定程度的降低,但劣化率较小。

【参考文献】

- [1] 徐洪英,赵莉华,黄聃喆,等.重复方波上升时间对变频电机耐电晕寿命影响研究[J].绝缘材料,2016(4): 40-44.
- [2] 卜忠波.变频电机绝缘损坏机理及对策[J].黑龙江

科学,2014(8): 276.

- [3] 田国群.脉冲电压对变频防爆电机绝缘寿命的影响[J].电气防爆,2013(4): 17-19,22.
- [4] 变频调速专用三相异步电动机绝缘规范: GB/T 21707—2008[S].
- [5] 陈洁.变频电机绝缘早期损坏的探讨[J].电机与控制应用,2010,37(7): 64-66.
- [6] 张燕.低压大功率变频三相异步电动机绝缘结构研究[J].电机与控制应用,2014,41(11): 37-40.
- [7] 唐文进,王文进,李鸿岩,等.耐电晕涂层厚度对漆包线耐电晕性能的影响[J].绝缘材料,2010,43(4): 45-47.
- [8] 诸冉冉,张大义.漆包线耐电晕试验参数对测试结果的影响[J].电线电缆,2016(1): 32-35,40.
- [9] 徐桂城.变频漆包线耐电晕测试系统的研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2013.
- [10] 林志雅,丛培海,王慧峰,等.具有高绕线性能的耐电晕漆包线的开发[J].技术与应用,2010(1): 73-75.

收稿日期: 2016 -10 -24

(上接第 114 页)

5 结 论

2017 版功率特性测试标准规定应基于风轮等效风速评估风机的功率特性,风轮等效风速通过在风轮扫掠面高度范围内测量多个高度的风速和风向、并且根据风轮扫掠面的运动能通量进行加权平均求得。当考虑垂直风向梯度时,计算得到的风轮等效风速更接近被测风机所在风电场的实际运行状况。结合实例,验证了两种风轮等效风速的计算方法。

【参考文献】

- [1] Wind turbines-Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, Edition 1.0: IEC 61400-12-1-2005[S].
- [2] 风力发电机组功率特性测试 GB/T 18451.2-2012[S].
- [3] Wind energy generation systems-Part 12-1: power performance measurements of electricity producing wind turbines, Edition 2.0: IEC 61400-12-1-2017[S].

收稿日期: 2017 -07 -20

《电机与控制应用》征稿启事

《电机与控制应用》期刊内容涉及板块:(1)电机设计与制造:电机制造新工艺、新材料、高效电机及再制造、智能制造等技术;(2)电机测试与检测:电机及系统运行的状态感测、快速信号处理、电机运行故障诊断、智能在线检测等技术;(3)电机调速与保护:变频调速、高性能调速、电机启动及运行保护、智能调速等技术;(4)并网与电驱动:风电并网控制、电动汽车驱动等技术;(5)系统节能运行:电机应用系统节能相关技术。为及时、全面刊载上述技术领域的最新技术动态,推广研发成果、工程经验及

新产品应用方案,推动研究与应用的紧密结合,欢迎广大科研技术人员及团队向本刊投稿!

列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊相关费用抵消。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将做适当处理。

本刊只接受官网在线投稿系统(www.motor-abc.cn)的投稿。一经投稿,不可一稿多投,稿件确定不录用后方可另投他刊,敬请注意!

《电机与控制应用》合订本征订



《电机与控制应用》是上海电器科学研究所(集团)有限公司主办的全国中文核心期刊。上海电器科学研究所始建于1953年,是中国最大的多领域、综合性电工产品研究开发机构,上海市高新技术企业。电科所在电工行业内,从技术、检测、标准及人才优势等方面都具有举足轻重的地位,国内外对其关注程度都相当高。

《电机与控制应用》创刊于1959年,是经国家新闻出版总署批准注册,由上海电器科学研究所(集团)有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。每月10日出版,国内外公开发刊,邮发代号4-199。在近半个世纪的岁月中,该杂志为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献,在中国电机及其应用领域享有很高的影响。

名称	价格(元/套)
2008年《电机与控制应用》合订本	200
2009年《电机与控制应用》合订本	200
2010年《电机与控制应用》合订本	200
2013年《电机与控制应用》合订本	200
2014年《电机与控制应用》合订本	200
2015年《电机与控制应用》杂志全年散本	144
2016年《电机与控制应用》杂志全年散本	144

订阅方式

1、编辑部订阅:

邮局汇款:(200063)上海市普陀区武宁路505号
《电机与控制应用》编辑部

2、邮局订阅:具体咨询当地邮局,邮发代号4-199。

3、网上订刊渠道:我得杂志网(<http://www.myzazhi.cn>) 蜘蛛网(<http://www.spider.com.cn>) 电子版购买可登陆读览天下网(<http://emca.dooland.com>)

4、海外读者订阅:可致电中国国际图书贸易集团有限公司

亚洲地区订刊电话010-68433109 欧美地区订刊电话010-68433119

联系方式:

期刊:《电机与控制应用》编辑部 地址:上海市普陀区武宁路505号(200063)

电话:021-62574990-221、745 传真:021-32230809

网站:<http://motor-abc.chinaelc.cn> 电子邮箱:emca@seari.com.cn

携手节能减排 悠享生活空间

让你我从点滴做起



《电机与控制应用》杂志社宣

电机与控制应用

中文核心期刊 / 中国科技核心期刊

专业缔造权威 服务创造价值

高效节能 绿色电机

我们专注于

电机技术的研究

电机系统节能的解决方案

电机保护与控制技术的报道



扫描二维码
关注电机与控制应用

《电机与控制应用》创刊于1959年，由上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。每月10日出版，国内外公开发行人，邮发代号4-199，杂志集电科所在电工行业内，从技术研发、产品检测、标准制定及人才优势等各方面资源，专业服务于行业与用户，为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献，在中国电机及其应用领域享有很高的影响力。

《电机与控制应用》编辑部
电话：021-62574990-221

地址：上海市武宁路505号
传真：021-32230809

邮编：200063
E-mail: emca@sear.i.com.cn