

高压电机线圈绝缘结构及工艺的发展方向探析

赵国彬

(佳木斯电机股份有限公司, 黑龙江 佳木斯 154002)

摘要 近年来, 随着国家经济的快速发展和社会水平的不断提高, 我国的高压电机技术也在逐步地提升。其中在电机的发展历程中, 电机单机容量的扩大和相关技术的提高都是以电机中的绝缘技术水平自身的提高为依据的。因此, 电机中最关键的结构就是绝缘结构。随着电机行业的快速发展, 对绝缘结构提出了更高的要求, 需要制造更加先进科学、厚度更薄的绝缘结构, 这样才能够最大化地提高电机产品自身的核心竞争力。基于此, 本文对当前高压电机线圈绝缘结构进行了全面的分析与研究。

关键词 高压电机线圈 绝缘结构 绝缘工艺

中图分类号: F403; TM34

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)08-0137-03

1 电机电枢中的绝缘结构

简单来说, 电枢绕组绝缘结构一般是随着绕组结构型号的不同来分类的, 其中为了最大化提高防潮的性能, 一些大型的直流电机电枢是选择连续式的绝缘结构来进行的。

匝间绝缘主要是应用在同一线圈中的相邻之间的小元件, 因而仅仅只能承受匝间的电压。而对于大型直流电机匝间绝缘来说, 最常采用的是裸铜线外半叠包一圈尺寸为 0.1mm 云母带, 或者选择用高强度漆包双玻璃丝包线。而对于一般小型的电机来说, 直接选择双玻璃丝包线即可。

保护布带的主要目的是为了保护主绝缘不受到其他机械性的损伤的影响。简单来说, 一般 B 级绝缘电机最常选择 0.1mm 玻璃丝带半叠绕。

电枢绕组端部的绝缘往往和直线部分的缠绕方式是相同的, 二者之间最大的差别主要是端部缠绕的层数比直线部分缠绕的层数少。在电机中, 端部和层间都是存在电压的, 此时主要是因为层间和支架二者都存在绝缘的关系, 以及为了进一步地改善冷却的条件而使得在端部的绝缘区域中适当地减少缠绕的层数。

2 大型高压发电机绝缘技术

在大型高压发电机的绝缘结构中, 定子绕组主绝缘一般主要采用的是多胶型绝缘体系, 而更少使用一些少胶型的绝缘体系。而近年随着技术水平的不断提升已经有了多胶型、少胶型以及 F 级绝缘体系。在我国发电机的绝缘技术中, 最成熟的两个技术是发电机绝缘 300MW、600MW 技术, 这两种技术主要是应用在一些处于亚临界火电机组上, 一小部分用在一些核电机组中。随着我国技术水平的不断提升, 已经逐渐地

改变了电力的发展方式, 其中, 我国不断地调整电源的结构, 已经从先前的火电转化为低碳清洁发展的方式。因此在当前绝缘技术中, 重点是投资在一些低碳的火电机组和清洁能源之中, 从而来进一步地适应时代的发展。而在火电机组中, 一般也以超越临界机组为主^[1]。当前, 在我国汽轮发电机的各类产品中, 主要应用在火电机组和核电发电机组中, 其中线棒绝缘一般选择少胶型的绝缘方式, 选用的是环氧粉云母带连续式绝缘单只线棒 VPI 的绝缘技术。对于火电 1000MW 的汽轮发电机来说, 自身的额定电压为 27kV, 因而所采取的绝缘结构则是连续式绝缘模型承压的绝缘技术, 自身的工作场强可以达到 2.54MV/m。当前我国一些电机绝缘的企业正在研制少胶型的环氧粉云母连续式绝缘单只线棒 VPI 绝缘技术, 并将该技术应用在火电和核电发电数量较大的汽轮发电机中, 从而来最大化地促进发电机技术的长远发展^[2]。

3 大型高压电动机自身的绝缘技术

近年来, 随着技术水平的不断提升, 一些大型高压电动机逐渐地朝着小型化、重量变轻以及增大单机容量的方向发展, 因此, 对绝缘技术提出了更高的要求, 这样才能够最大化地保证电机能够正常稳定地运行。而随着化学工业的快速发展, 一些合成聚合物在电机绝缘技术中的应用范围在不断地扩大, 进一步促进了大型高压交流电动机绝缘技术的长远发展和升级转型。在当前高压交流电动机中, 最常使用的绝缘技术是 F 级绝缘体系, 同时也还有 H 级以上的绝缘体系, 而当前大型交流电动机的额定电压已经达到了 13.8kV。但是近年来国家提出了要降低能源的消耗, 使得对电动机方面也提出了更高的要求。电机中的变频器的存在,

给电机绝缘技术带来了较大的困扰。传统的绝缘结构在变频器上已经不能使用,严重缩短了变频器的使用寿命。在高压交流电动机中,虽然所选择的绝缘材料和结构不同,但是在绝缘技术的工艺中也经常使用多胶模压型和少胶浸渍(VPI)型绝缘体系来进一步改进与提高电机中的绝缘水平。

3.1 多胶模压绝缘体系

在多胶模压绝缘体系中,一般最常见的是连续绕包、模压成型以及嵌线后浸渍树脂的绝缘体系,是当前我国高压交流电动机中最常使用的绝缘技术。而粉云母带的品种是非常多的,最常采用的是环氧多胶粉云母带。

3.2 少胶粉云母浸渍环氧酸酐 VPI 体系

在少胶粉云母浸渍环氧酸酐 VPI 体系中,是国内电机制造业中最常使用的绝缘技术。在该种绝缘体系中,主要的绝缘选择的是少胶单面的补强高定量鳞片粉云母纸,存在少含量促进剂的粉云母带,而常见的补强材料包括纤维布和聚酯薄膜。该种云母带胶含量较少,渗透性较强,因而可以用于高压交流电机中,而含有一些促进剂可以减少浸渍树脂的流失。对于浸渍树脂来说,最常采用的是高纯度的双酚 A 环氧树脂以及 4 甲基六氢苯二甲酸酐组合。但是由于树脂的粘稠度较大^[1],相应的浸渍温度需要达到 65℃ 左右。对于环氧酸酐型浸渍树脂来说,不含烯烃类的物质,自身的饱和蒸汽压较低,不容易挥发,对周围环境的影响也比较小。其中从低电压到高电压中都可以应用,在一些大中型交流电动机中的运用范围较广。总的来说,该种绝缘体系中绝缘性能较高,耐热度、机械性能、辐射度以及对周边环境的影响非常小。除此之外,能够节省诸多的能源,简化绝缘处理的工艺流程。

3.3 少胶粉云母脂环氧 VPI 的绝缘体系的概述

在该种绝缘体系中,浸渍树脂主要是由酯环族环氧树脂、固化剂再添加一些稀释剂进行高度混合而构成的,从而可以最大化地提高绝缘的性能。

4 高压线圈绝缘的基本要求的概述

4.1 电气强度

对于电机的绝缘技术来说,既希望绝缘的厚度越薄,同时也希望电气强度较大。但是在电机的正常运行过程中,经常会受到一些大气压的影响和具体操作过程中电压的冲击,从而导致电机突然出现短路的现象。同时也会受到周围温度和电压的日常影响,使绝缘将逐渐地老化,不能再产生绝缘性能。与此同时,电机中的振动和机械应力也会逐步地损伤电机中的绝缘结构。因此,在制造的过程中,需要对电机的绝缘进行多

次耐压试验,从而观察电机中的电气强度。根据累积效应所体现出的种种因素来不断地提高电气强度。

4.2 介质损耗变小

在电机的绝缘结构中,当电机处于交变电场中,经常会产生介质损耗,并且会影响电机的绝缘性能。虽然介质损耗的热量相对较小,但是在一些点上的热量会相对集中。如果在某一个弱点上产生的热量散发出去,会导致该点处的局部温度逐渐地上升,从而增加了介质损耗的数量,导致电机绝缘性能急剧下降,严重的会造成该点处的热击穿现象发生。因此,在一些大型高压电机中,介质损耗不应该超过国家相应的标准数额。

4.3 抗电晕性

在大型高压电机正常的运行过程中,绝缘结构的内部和结构表面都会产生电晕的现象,使得绝缘结构快速地老化和变得容易腐蚀。因此对于一些电压较大的发电机和电动机来说,都要采取防电晕的措施,从而进一步提高和保障电机的正常运行。

4.4 能承受机械应力

在大型电机的日常运行过程中,线圈的绝缘需能够承受一定程度的机械应力,而不会产生破裂或者是变形。由于线圈的膨胀系数和绝缘的膨胀系数二者不同,当温度发生变化时,绝缘就会受到张力的影响。而线圈因为电磁力的作用,在线圈的端部会产生一些震动情况,使得线圈发生变形,导致电机不能稳定的工作。因此,在电机的绝缘结构中,需要绝缘结构可以具备一定的弹性,能够承受一定程度的机械应力作用。

5 高压电机线圈的具体加工工艺

5.1 每部分绝缘的构成、选用及加工工艺

5.1.1 股间绝缘的概述

股间绝缘主要是多根导线之间的绝缘,主要是由导线自身带的绝缘所构成。对于一些功率较大的电机来说,如果选择一根的导线,就容易导致电机的电密度增大,容易引起导线自身局部的发热或者是放电现象的发生。反之,如果加大导线的宽度,将会导致在后续的绕组嵌线中造成诸多的不便,进而影响电机的稳定运行。因此可以选用多根导线代替一个导线的方法来进一步地降低电密度的问题。

5.1.2 匝间绝缘

匝间绝缘,主要是多根导线与其他的导线之间的绝缘,导线自身的耐压能力和浸漆的加工工艺有着非常大的关联。

5.1.3 层间绝缘

简单来说,层间绝缘就是将某一个线槽中放两把或多把不同相的线圈,这些线圈在同一个槽内不同的

线圈要承受电机自身的额定电压。但是为了最大化地避免相间放电现象的发生,可以在上下层之间增加层间绝缘。

对于成型绕组来说,如果每一个线圈都需要独立包绝缘,此时层间绝缘是为了进一步地提高电机绝缘结构质量稳定可靠程度,一般选择F级绝缘电机用3240的环氧玻璃布板。

5.1.4 槽口绝缘

在当前诸多类别的电机故障中,最常见的故障就是槽口放电现象。主要是当电机中的线圈在槽口处,远离了铁芯,就会产生较高的电位差,从而产生电晕现象。在线圈折弯处的槽口位置中,电场强度较高,因此需要在线圈的端部区域中包扎相应的高电阻防晕带,一般是从线头位置开始,之后沿着直线位置结束^[4]。

5.2 VPI 工艺和热压模工艺

VPI的内容是采用真空、加压以及整体浸渍的方式来进行绝缘,在我国已经有三十多年的应用历史。经过该种工艺处理后电机自身的机械强度、耐腐蚀性、导热度以及其他性能均较为良好,因而一般主要应用在一些大型的高压电机和中型的电机的浸渍工艺中。

6 关于绝缘工艺的概述

对于电机的绝缘结构来说,无论是哪一种绝缘工艺,最主要的就是形成紧密的、无空隙的绝缘结构。这些绝缘的方案都是属于缠绕式的绝缘制品。对于富胶绝缘来说,是借助预先浸带的方式来进行包扎线圈,之后再借助热压来得到相应的紧密的绝缘制品,其中VPI工艺就是用真空的方式来除去空气之后再加压浸渍固化成型。

但是对于绝缘层压制品中的层压板来说,是借助预先浸上胶布热压而成,而筒状制品是通过加热缠绕的方式进一步得到紧密的绝缘制品,通过上述分析可知高压电机的线圈的制造工艺与绝缘层制品的加工相类似。

6.1 热包扎工艺

对于热包扎的工艺来说,英国 Jones Stroud 绝缘公司提出了“F级高压电机用不加压富胶绝缘”,在该工艺中,最关键的是需要将电机中的线圈加热到55摄氏度,之后包扎相应的富胶云母带,最后在外围中包有密封带。简单来说,这种工艺的方案类似于筒状制品的热缠绕工艺。在热包扎工艺中,需要控制云母带中挥发物的含量以及相应的缠绕张力和环境中的温度,最终实现不加压的最终目标。而这种热包扎的工艺主要是应用在一些4.16~6.7kV电机的绝缘结构中。但是,对于一些小型的电机厂来说,可以选用此种加工的方法。有些加工厂选用自动包带机来进行包扎,可以最

大化地提高包扎的紧密度与速度,从而来提高线圈的质量水平。

6.2 液压工艺

无论是液压工艺还是热压工艺,都会存在绝缘结构固化时胶液的流失问题,从而影响着电机中线圈的使用性能,因此需要不断改进材料以及施工的工艺。当前国内外工厂采用的是液压工艺,该种绝缘结构是在密封的条件下进行受热固化成型的,可减少胶液的流失现象,使得制造出的绝缘结构具有较高的机械性能。

7 高压电机中线圈绝缘结构的发展趋势

第一种趋势是少胶VPI绝缘结构,目前已具有较高的成熟度和评价认同度,我们思考的优化方案推荐是以锻烧型云母纸替代现行非锻烧型云母纸绝缘结构,在提高结构整体性和应力抵抗寿命方面应该有更大的积极作用,也有利于绝缘结构进一步的减薄设计,值得研究尝试。第二种是多胶云母绝缘,采用单面补强云母带,真空液压工艺方式的多胶结构,能够克服传统模压双面补强的诸多结构分散不可靠因素,具有独立材料完成性,实现较高的云母含量和优良的整体连续均匀理想性,而且相对工序环节更少,环境更环保,材料或设备及运行维护成本都有很大的节约。

8 结语

总而言之,电机中绝缘性能的好坏直接影响着电机自身的使用寿命和质量水平。而当前电机的发展趋势往往向轻量化、小型化、多功能化的方向发展,为了顺应时代发展的潮流,绝缘结构也应当向减薄化、容易操作以及高散热方向不断发展。基于此,在当前电机中线圈绝缘结构的制造和加工工艺中,需要加大研发的力度,不断地改进线圈的绝缘工艺,逐步提高绝缘的性能,使电机中的线圈在正常的运行过程中能够稳定快速地发挥作用。与此同时,还需对容易出现的问题进行全方位、多层次以及宽领域的探索与研究,从而提出最佳的解决方案,最大化地促进线圈在电机中的使用性能。

参考文献:

- [1] 李贤明,张霄,徐华.大功率高速电机高效率低噪音离心风扇的研究与设计[J].电机技术,2005(01):21-23.
- [2] 祁世发,朱珊珊,张东林.哈电大中型交流电机LD—F绝缘体系[C]//中国电机工程学会.中国电机工程学会大电机专业委员会2010年年会论文集,2010.
- [3] 李贤明,李芳,刘淑军,等.中型高压电动机空—空冷却器的研究与设计[J].电机技术,2003(05):11-13.
- [4] 陈宗旻,田建辉.环氧树脂在电机绝缘中应用[J].上海大中型电机,2010(03):44-47.