

# 干式三相变压器振动噪音控制及制造方法

李 靖 朱笑笑

陕西长岭迈腾电子股份有限公司 陕西 宝鸡 721001

**摘 要:** 本文介绍了硅钢斜接缝干式三相变压器的特点和优势,重点介绍了硅钢斜接缝干式变压器实现方式,采用斜接缝结构变压器可有效的降低变压器振动时噪音和空载特性,使变压器负载能力增强,效率更高,抗短路能力提高,及硅钢斜接缝安全级变压器具体的制造方法。

**关键词:** 安全级变压器; 噪音; 制造方法

## 1 硅钢斜接缝干式变压器介绍

随着电力系统的不断发展,变压器作为电力系统中的关键设备起着很重要的作用,变压器的安全运行直接关系到整个电力系统安全运行,干式变压器线圈有着很强抗短路能力,线圈表面采取韧性和绝缘性能比较优良的绝缘予以包裹,所以当变压器线圈受外力或短路后,线圈表面发生轴向,幅向尺寸变化,器件位移、线圈扭曲等情况,变压器不会发生自燃或爆炸。不会对人身造成伤害。

干式变压器的主要作用是:干式变压器属于安全电源,一般用在设备电源,起到保护设备,防雷、滤波等作用,变压器线圈分一次侧和二次侧,在加工过程中会让一次侧与二次侧的电气完全绝缘,也是该回路隔离。另外,利用其铁心的高频损耗的特点,从而抑制高频杂波传入控制回路。用隔离变压器使二次对地悬浮,只能用在供电范围很小、线路较短的场合,此时系统的对地电容电流小的不足以对人身造成伤害。还有一个很重要的作用就是保护人身安全,隔离危险电压。

## 2 干式变压器优势

2.1 提高了变压器的安全性,这一点尤为重要,用于医疗设备上,由于其安全性,可最大程度降低医生和病人因设备缺陷而遭受电击的可能性。

2.2 减少了电涌,由于来自电源的直流信号时隔离的,所以电气设备可以平稳运行,而不存在电涌的风险,这意味着,即使出现电源故障,设备也可以在高水平上运行。

2.3 干式变压器能有效得降低变压器的噪音的作用,这些设备的设计通过使用所谓的独立的屏蔽,自然地过滤电力线的噪音,

2.4 干式变压器能提供更好的电能质量,减少电流泄露的可能性,使设备可以在优化的水平上运行。

## 3 干式变压器振动噪音控制分析

### 3.1 噪声产生的原因分析

从物理学角度来讲,振动是噪声的来源,振动的频

率影响人体对噪声的感受。树脂绝缘干式电力变压器的噪声是由于铁芯、绕组及结构件的振动而产生的。干式变压器的噪声来源于功率组件。国内外的研究结果表明,功率组件振动产生噪声的根源在于:

3.1.1 硅钢片的磁致伸缩引起的铁芯振动。

3.1.2 硅钢片接缝处和叠片之间存在着因漏磁而产生的电磁吸引力而引起铁芯的振动。

3.1.3 当绕组中有负载电流通过时,负载电流产生的漏磁引起线圈的振动。

结构振动产生噪声的根源

### 3.2 减小振动噪声的措施

#### 3.2.1 功率组件振动噪声

##### 3.2.1.1 减小硅钢片磁致伸缩

3.2.1.2  $\epsilon$ 大小取决于励磁时硅钢片中的转动情况,而冷轧取向硅钢片可使97%的硅钢片中的晶粒有最佳方向,故而 $\epsilon$ 值较小,有利于降低变压器噪声。

3.2.1.3 硅钢片受到外力作用后,将会在硅钢片中产生压缩应力和弯曲应力等,它们会使 $\epsilon$ 增大。硅钢片在剪切时剪切力会使切口处的部分晶粒偏离最佳取向, $\epsilon$ 也会增大。所以铁芯在搬运、叠积等工艺加工过程中要尽量避免硅钢片受到外力作用(如摔打、碰撞等)。硅钢片横剪和纵剪时所用的刀具要经常研磨<sup>[1]</sup>。

3.2.1.4 充分利用硅钢片表面的涂层。表面的绝缘涂层很明显可以减小磁致伸缩 $\epsilon$ 。理论上讲,硅钢片越薄、涂层越厚,涂层表面的张力就越大,硅钢片的磁致伸缩 $\epsilon$ 就越小,但涂层越厚,叠装系数就越小,导致产品体积变大。

3.2.1.5 减小铁芯接缝对磁致伸缩的影响。铁芯接缝对噪声的影响较大,斜接缝与直接缝相比,噪声能降3dB~5dB。

### 3.3 降低铁芯中的磁通密度

铁芯额定工作磁密B与噪声及空载损耗的要求相关。试验表明,磁通密度B在1.5T~1.7T范围内,如果铁芯中的磁

通密度 $B$ 降低 $0.1T$ ，铁芯的噪声则可降低 $1dB \sim 3dB$ 。试验表明，铁芯的重量增加一倍时，其噪声将增大 $4dB$ ，因此磁密的降低是有限制的。根据工程经验，变压器的额定工作磁密取 $1.49T$ 。

### 3.3.1 谐振对磁致伸缩的影响

铁芯整体的固有振动频率若接近铁芯硅钢片磁致伸缩的基频及其2次、3次、4次高频的频带范围，将会发生谐振，从而使噪声显著增大。由于铁芯整体的固有振动频率与铁芯的结构尺寸有关，所以在进行变压器电磁计算时，通过合理地选择铁芯的结构，使其固有振动频率尽量避开以下的频带范围： $75Hz \sim 125Hz$ ； $175Hz \sim 225Hz$ ； $275Hz \sim 325Hz$ ； $375Hz \sim 425Hz$ ，即可以避免谐振的发生。

### 3.3.2 铁芯采用步进式多级接缝叠片方式

除了硅钢片的磁致伸缩外，铁芯接缝处的磁场集中和叠片间因漏磁产生电磁吸引力也会引起铁芯的振动。采用步进式多级接缝叠片方式可以有效地降低铁芯接缝处的局部磁密。假设心柱磁密为 $B$ ，则接缝处的总截面积是心柱截面积的 $1.414$ 倍，因此二级接缝处的磁密为 $(1/1.414)/(1/2)=1.414B$ ，采用四级接缝叠片方式时，即每四层有一个接缝，接缝处的截面积为 $(4-1)/4=3/4$ ，则接缝处的磁密为 $(1/1.414)/(3/4)=0.943B$ 。在实际中，采用五级接缝，可以有效地降低空载损耗，也可以使干式变压器的噪声下降 $3dB \sim 4dB$ ，是一种经济有效地降低噪声的措施<sup>[2]</sup>。

### 3.3.3 铁芯绑扎

干式变压器铁芯采用树脂固化代替绑扎，这种方式可以降低噪声 $2dB$ 左右，有效地降低铁芯噪声。

### 3.3.4 铁芯夹紧

铁芯拉板采用低磁钢板，减少拉板和铁芯夹件之间的电磁吸力，减轻相互之间碰撞的作用力，这样可以降低金属撞击噪声的强度。控制铁芯夹紧力，铁芯在最佳的夹紧力时，噪声最低，改变夹紧力能使噪声变化 $0 \sim 5dB$ 。相关文献表明，铁芯夹紧力应控制在 $0.08MPa \sim 0.12MPa$ 。

### 3.3.5 适宜紧固件

变压器运行中的振动会造成紧固件松动，一是影响变压器的安全运行；二是使运行噪声增加。变压器安装时外部组件应紧固牢靠，尽量减少弹性震动。

## 4 加工过程

### 4.1 线圈加工

#### 4.1.1 漆包线或玻璃纱包线绕组的绕制

4.1.1.1 操作者在绕制前必须先读懂图纸、工艺文件，全面掌握其结构特点、绕制要求。

4.1.1.2 根据绕组结构特点、外形尺寸和重量选合适

的绕线机和工装夹具。

4.1.1.3 按绕组要求检查导线型号、规格，绝缘材料的型号、规格。

4.1.1.4 绕制时始头除有特殊要求外不翻引，始末端引出线根据不同的要求用绝缘材料包裹（具体方法按图纸、工艺文件规定执行），始末端均用棉布带或玻璃丝带收紧固定。

4.1.1.5 绕制需紧密，线圈端空、绕向、层间绝缘按设计图纸及工艺文件要求执行。绕制第一层时必须沿底筒四周用棉布带或无碱玻璃丝带收紧，根据底筒尺寸大小、收紧处不得少于四道。若导线在绕制过程中有绝缘层损伤，损伤处必须进行绝缘处理，绝缘处理通常用 $0.05mm$ 厚 $10mm \sim 15mm$ 宽的聚酰亚胺薄膜上下二层绝缘<sup>[3]</sup>。

4.1.1.6 线圈绕制有端绝缘时，用 $0.2$ 厚 $15mm \sim 20mm$ 宽的棉布带或玻璃丝带将其成“8”字绑扎在第一匝的导线上。

4.1.1.7 多线叠绕，导线必须换位，如几并两叠时，一般在每层绕制匝数的 $1/2$ 处进行换位，并用设计图纸规定的层绝缘纸将换位处导线完全绝缘，其它换位要依据具体要求执行。

4.1.1.8 绕组导线长度不足需要接线时，须用氩弧焊对接焊接，焊接必须可靠、无虚焊，用锉刀将焊点修整至平滑无毛刺，然后对焊接处进行绝缘处理，通常用聚酰亚胺薄膜 $1/2$ 重叠包裹二次绝缘，包裹长度必须长于导线损伤处长度 $10mm$ 以上。

4.1.1.9 线圈绕制结束后，为了防止在后续加工中弄脏线圈外表，用适当宽度的保鲜膜将线圈外部完全包裹，然后放置在规定区域。

### 4.1.2 箔绕：

4.1.2.1 箔式绕组的绕向规定：从起绕引出线的导电排端看线圈，铝箔卷绕前进的方向为逆时针，即为左绕向；铝箔卷绕前进的方向为顺时针，即为右绕向。

4.1.2.2 操作者在绕制前必须先读懂图纸、工艺文件，全面掌握线圈的结构特点、绕制要求。

4.1.2.3 按绕组要求检查铜箔或铝箔型号、规格，绝缘材料的型号、规格。

4.1.2.4 根据绕组结构特点、外形尺寸和重量选择合适的绕线机和工装夹具。

4.1.2.5 带底筒绕制时，按底筒的大小选用合适的模心和箔式绕线机。

4.1.2.6 引出母排和铝箔之间必须紧贴，进行单面完全焊接，无虚焊，无毛刺焊点不平滑时可用角磨机或锉刀将焊点打磨、锉平整。

4.1.2.7 焊接部分及引出母线用宽于引出母线 $20mm$ 的

层间绝缘上下二层居中绝缘,紧挨铁心绕组的始端引出线和铁心之间用层间绝缘1层(长、宽应根据引出母线规格及外露具体尺寸而定)居中绝缘。

4.1.2.8 箔式绕组一层为一匝,层间电压为数伏至数十伏,铝(铜)箔需在层间绝缘的中间,两边端空大小应一致。

4.1.2.9 箔绕时,要根据铝(铜)箔的规格调整箔绕机箔板张力的(约0.04MPa)、绝缘纸的阻尼系数(约1.5)。为了在绕制过程中铝(铜)箔不发生变形,绕制过程不允许增加箔绕机绕线张力;绕制过程中箔板、导向轴、底筒或铁心需在同一条直线上。

#### 4.2 铁心片的叠积

4.2.1 根据图样尺寸和叠装积垒要求,在装配台上纵向放置两根槽钢,使槽钢间间距略小于铁心的边间距,槽钢应垫成水平,可用水平尺进行检测。

4.2.2 对照图纸要求摆放一侧的上下夹件及撑板,其位置和尺寸符合图纸要求。在撑板捆扎间隙位置用等高度的垫块将撑板垫平。

4.2.3 按图纸放置铁心的夹件绝缘,若为穿心螺杆式结构,夹件绝缘的孔与夹件上对应的孔应对正。同时调整槽钢的高低,使绝缘撑板与夹件绝缘处在同一个平面内。

4.2.4 按照铁心叠积图开始叠积,特殊要求外一般按两片一叠的方式进行。对于冲孔式铁心无级差的铁心片叠片时,可在孔中插入定位棒,每叠积20mm时(有极差的铁心片每级必须打齐),用垫块(铜块或尼龙块等)和胶木榔头打齐柱轭叠片,打齐时注意各处接缝应紧密、均匀,依次类推直至叠积到图纸规定尺寸。

4.2.5 叠片叠积完成后,放置夹件绝缘、撑板、铁心夹件。

#### 4.3 结构件的制作

根据设计文件要求,选择规定牌号的金属材料,加工成设计文件所要求的尺寸,进行处理电镀处理或进行其它方式的处理,

#### 4.4 变压器装配

4.4.1 从线圈装入端将铁心上夹件、夹件绝缘、及铁芯片拆除,装入线圈,线圈下方按要求位置放置相应高度的绝缘块。将拆除的铁芯片依次插入铁心,衬条上涂环氧(650聚酰胺树脂和E51环氧按1:1重量混合)将线圈与铁心之间紧固,按图纸要求装入夹件绝缘及夹件。

4.4.2 引出端连接,如果导线连接长度不够可进行接线,接线方法根据不同材质可采用铜铝焊接、氩弧焊接或锡焊。焊接处有具体规定外通常用0.05mm×10mm的聚酰亚胺薄膜1/2叠包2次绝缘。

4.4.3 引出母排之间的尺寸的用胶木榔头轻敲母排校正,用扳手校正时必须将线圈里的母排予以固定,校正时不得损伤焊接部分和绝缘。

4.4.5 变压器的紧固螺母松紧合适一致,以压平弹垫后再紧固半圈为宜。

4.4.6 装配完毕的变压器需在干燥前按图纸要求检测测量;如引出位置,尺寸,绝缘电阻等,其电气参数必须符合的要求。

#### 4.5 浸渍

##### 4.5.1 浸渍前准备

绝缘漆的粘度要求在40s~70s之间,绝缘漆用过三次以后,如果再用,要用细砂网过滤并测其粘度,如果绝缘漆的粘度大于70s则用稀释剂稀释至粘度要求范围以内。

4.5.2 真空度为≤500Pa,时间为10分钟,在真空状态下使绝缘漆进入浸渍锅,绝缘漆应高于线圈或变压器3mm以上。

4.5.3 在真空下保持约20min,缓慢解除真空。

4.5.4 回复常压后,保持约5min,加压4个大气压,保持约20min。

4.5.4 通过压差将绝缘漆压入贮漆罐。

4.5.5 浸渍完毕的变压器滴余漆30分钟以上,滴余漆时用稀释剂将引出线上的绝缘漆刷洗,用蘸有稀释剂的毛刷将线圈及铁心上多余的浸渍料清理掉,确保线圈及铁心表面无大的流痕;再将变压器放入烘箱内,除特殊要求外,杜邦4030绝缘漆在150℃±5℃的烘箱内保持8h~10h,吴江太湖ET90A绝缘漆在145℃±5℃的烘箱内保持8h~10h(具体时间按工艺文件执行)。

4.5.6 变压器除引出端外,其余全部喷涂三防漆。

#### 5 结束语

本文阐述铁心斜接缝安全级三相变压器振动时噪音控制和其具体的加工方法,安全变压器由于其良好的性能和安全性等优势,已经成为设备电源的主流变压器,安全级三相变压器的工艺成熟,铁心斜接缝极大减小了变压器损耗,使其具有良好的空载特性,是设备供电电源的理想选择,今后随着变压器技术的发展,安全及变压器将在电力系统供电领域得到更加广泛的应用。

#### 参考文献

- [1]奚晓勤.变压器噪音产生的原因及降低噪音的的措施.华东电力,2012,40(4):0687-0688.
- [2]曾庆赣.树脂浇注干式变压器和电抗器[M].北京:中国电力出版社.2005.204-205
- [3]保定天威保变电气股份有限公司组编.变压器制造工艺.北京:中国电力出版社2009.35-40