

# 一种三相三柱式变压器铁心夹件的改进结构

符雪鹏 范东升

(特变电工沈阳变压器集团有限公司, 沈阳 110144)

**摘要** 本文提出了一种三相三柱式变压器铁心夹件结构, 通过采用有限元 (FEM) 分析软件 ANSOFT 对该种结构进行 3D 漏磁场建模分析, 对比其他两种常规夹件结构, 对变压器漏磁场及结构件热点温升进行仿真研究, 通过对比分析, 得出该种结构可以有效避免三相三柱变压器铁心外侧漏磁通引起的结构件过热的问题, 也有效降低了三相三柱式铁心变压器的结构耗, 为大型三相三柱式变压器的安全可靠运行提供了强有力的保障和支持。

**关键词:** 三相三柱式变压器; 有限元; 夹件结构; 漏磁场; 热点温升; 结构耗

## One Type Improved Structure for Three-phase Three-limbs Transformer Clamping Plate

Fu Xuepeng Yuan Dongsheng

(Tbea Electrician Shenyang Transformer Group Co., Ltd, Shenyang 110144)

**Abstract** This paper presents one type structure for three-phase three-limbs transformer core clamping plate by using finite element analysis software ANSOFT (FEM) on the structure analysis of leakage magnetic field model of 3D, compared with the other two conventional clamping structure, made simulation research from transformer leakage magnetic field and the structure of hot spot temperature rise, through comparative analysis, draw this kind of structure which can effectively avoid three-phase three-limbs transformer core outer leakage flux caused structural overheating, but also effectively reduces the structure loss of three-phase three-limbs transformer, and provide a strong guarantee and support for large three-phase three-limbs transformer safe and reliable operation.

**Keywords:** three-phase three-limbs transformer; FEM; structure of clamping plate; leakage magnetic field; hot spot temperature rise; structure loss

随着国内外电力行业的迅速发展, 变压器容量和电压等级不断提高, 变压器的结构越来越复杂, 由漏磁通引起金属结构件的局部过热问题愈来愈突出。长期以来, 对于三相三柱式变压器, 由于 A、C 两相铁心外侧的线圈间主漏磁场处于三柱铁心的外侧, 很难采用铁心磁屏蔽措施解决外侧漏磁问题, 也就是说外侧的漏磁集中通常会造成外侧的铁心夹件等结构件涡流损耗过高、结构件发热、温升超标、变压器产气, 甚至造成变压器的事故。这也是三相三柱式铁心变压器结构耗一直比三相五柱式铁心变压器大的多的根本原因。因此, 对于三相三柱式变压器金属结构件涡流场的分析和各种金属结构件涡流损耗的计算也变得愈来愈重要。

对于大容量的变压器往往由于运输或者安装尺

寸的限制, 通常会采用三相三柱式铁心结构。而对于大容量的变压器采用三相三柱式铁心结构, 很难在 A 相和 C 相外侧的夹件上布置磁屏蔽, 以减小漏磁; 而且即使在 A 相和 C 相外侧的区域布置了磁屏蔽, 由于外侧的磁屏蔽并不能将漏磁有效的导进铁心中, 而使 A 相和 C 相外侧铁心夹件依然处于漏磁集中区域, 因此并不能有效地解决外侧夹件过热的问题, 也不能有效降低因漏磁而使结构件损耗增加的问题, 效果不是非常的理想。本文采用有限元 (FEM) 分析软件 ANSOFT 对一台美国 300MVA 345kV 三相三柱式铁心结构的变压器 3D 漏磁场进行建模分析, 经过多种结构对比并建模验证, 确定了一种新的结构方式, 有效地避免了漏磁原因造成的三相三柱式铁心结构外侧铁心夹件过热的问题。

## 1 产品基本参数及建模

本文中案例变压器产品型号为 OSFS-300000-345，铁心为三相三柱式结构，产品运行频率为 60Hz，高-中阻抗为 12%，产品容量为 300MVA，高压额定电压为 345kV，中压额定电压为 230kV。本案例产品的铁心、油箱等金属件温升值要求为 80K。

结合产品铁心及油箱结构建立漏磁场模型，图 1 所示应用有限元软件仿真图。

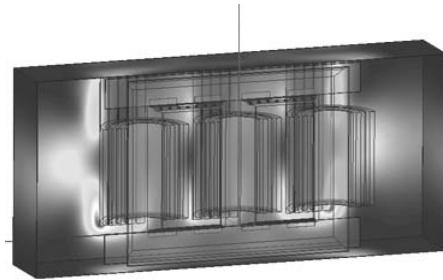


图 1 三相三柱式铁心漏磁场温度分布图

在图 1 中可以看出，对于三相三柱式铁心结构在 A 相和 C 相外侧的漏磁通并不能直接进入铁心，因此，两侧线圈外侧的漏磁场比较大，而使得两侧上下部的夹件温升较大。而且，对于两侧的漏磁场并不能在外侧增加磁屏蔽措施将漏磁直接导入铁心，即使硬性的增加磁屏蔽措施，在铁心外侧漏磁也不能直接导入铁心形成有效回路，A 相和 C 相外侧的夹件依然处于漏磁集中区域，外侧的夹件依然会出现过热的问题，而且外侧夹件因处于漏磁区域，依然会增大结构件的损耗，因此该种方法的漏磁的控制效果很难满足大容量三相三柱式变压器的性能要求。

## 2 三种结构建模及对比分析

对于本台产品，下夹件较上夹件距离线圈端部更近，即下夹件所处漏磁场位置更加集中，在图 1 中可见在器身两外侧的下部夹件处温升最高。本文以下夹件为例进行简单建模，针对 3 种不同夹件结构进行对比分析。

### 2.1 常规夹件结构

通常，常规的夹件结构在铁心的上、下夹件可以放置磁屏蔽的相间处放置“L”型磁屏蔽，由于在 A 相和 C 相外侧的夹件区域放置“L”型磁屏蔽并不能将线圈外侧的漏磁导进铁心中，所以夹件外侧及其他位置不做其他措施改进。三相三柱式铁心常规夹件结构漏磁场温升分布图如图 2 所示。

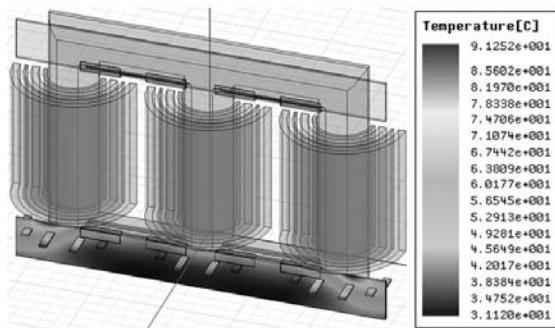


图 2 三相三柱式铁心常规夹件结构漏磁场温升分布图

从图 2 中可以看出，在铁心的上、下夹件可以放置磁屏蔽的相间处放置“L”型磁屏蔽，并不能减少两侧线圈外侧的漏磁，因此两侧线圈外侧的下部夹件温度依然很高，对空气的温升最高约为 91K。

### 2.2 常规改进夹件结构

相对于常规的夹件结构，工程上通常对结构进行一些改进，在铁心的上、下夹件可以放置磁屏蔽的相间处放置“L”型磁屏蔽，并在两侧线圈外侧漏磁集中处的上下部夹件增开散热槽。三相三柱式铁心常规改进结构漏磁场温升分布图如图 3 所示。

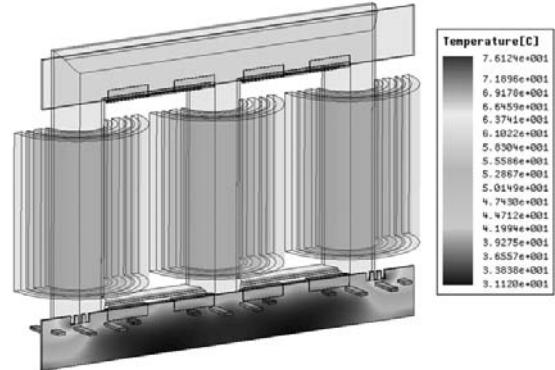


图 3 三相三柱式铁心常规改进结构漏磁场温升分布图

从图 3 中可以看出，在两侧线圈外侧漏磁集中处的上、下部夹件增开散热槽，改进后方案下夹件对空气的温升最高约为 76K，相对常规夹件结构稍有改善上、下部夹件的温升值，但是效果并不是非常显著。

### 2.3 改进后的夹件结构

对于一些大容量的三相三柱式变压器，以上两种结构的夹件结构并不能满足产品的性能要求，因此本文提出了一种新的结构形式，在铁心的上、下夹件可以放置磁屏蔽的相间处放置“L”型磁屏蔽，并在上下部夹件两侧漏磁集中处开始向外侧去掉一个台阶，本台产品台阶尺寸为 80mm。三相三柱式铁心改进结构后漏磁场温升分布图如图 4 所示。

从图 4 中可以看出，在上下部夹件两侧漏磁集中处开始向外侧去掉一个台阶后，能明显改善上、下部夹件的温升值，改进后方案下夹件对空气的温升最高仅约为 61K，效果显著，很好地保障了产品的性能。

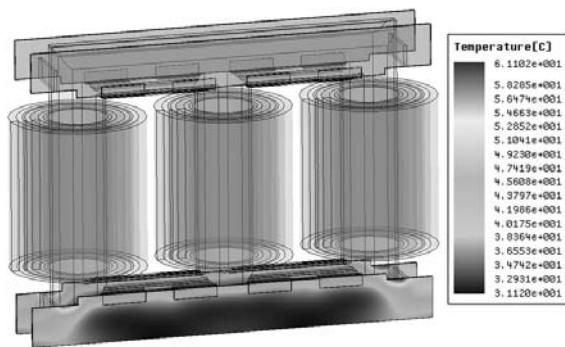


图 4 三相三柱式铁心改进结构后漏磁场温升分布图

#### 2.4 三种结构对比分析通过三种结构建模后的漏磁场温升分布图的对比

可以看出，本文提出的第三种改进结构效果比较明显，建模仿真后的下部夹件的温升值最高仅为 61K，较前两种结构的 91K 和 76K 有非常大的优势，可以很好地解决三相三柱式线圈漏磁造成外侧铁心夹件过热的问题，将两侧线圈外侧漏磁集中的夹件去掉一部分后，减少了该部分结构件的漏磁损耗，也就是减少了变压器的结构件损耗。

该产品按照这种改进结构进行了试制，效果显著，实测结果与建模结果相近，结构件温升较低，而且该产品的结构耗也比其他三相三柱式铁心的结构耗比例系数减少很多，具体见表 1。

表 1 三相三柱式变压器三种夹件结构对比表

结构形式	本文改进 结构产品	三相三柱常规 改进结构	三相三柱 常规夹件结构
下部夹件热点 温升仿真值/K	61	76	91
实测结构耗 比例系数	0.018	0.028	0.036

### 3 结论

本文提出了一种新型的三相三柱式铁心夹件改

进结构，通过对比其他两种常规夹件结构，利用有限元分析软件建模分析，有力地说明：该种夹件结构可以有效避免三相三柱式铁心外侧漏磁通引起的结构件过热的问题。通过该结构的实际产品实测结构耗比例系数对比其他两种结构的常规经验系数，可以看出本文的改进结构有效降低了三相三柱式铁心变压器的结构耗，对今后大容量变压器采用三相三柱式铁心结构时的结构设计具有很好的指导意义。

### 参考文献

- [1] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 北京：机械工业出版社，2003.
- [2] 张卫纯，潘风明，张新根，等. 基于有限元法的电力变压器金属结构件损耗分析[J]. 高压电器，2013(49): 55-61.
- [3] 路长柏. 电力变压器理论与计算[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，2007.
- [4] 韩彬，田小静，赵银汉，等. 大型电力变压器绕组压紧结构改进[J]. 电气技术，2013, 14(7): 79-81.
- [5] 冉庆凯，李志伟. 大型电力变压器屏蔽结构对结构件过热影响的分析[J]. 电气技术，2013, 14(8): 52-53, 58.
- [6] 陈湘令. 基于 Ansoft 的变压器突发短路有限元漏磁场分析[J]. 电气技术, 2015, 16(3): 61-62, 132.
- [7] 李龙女，李岩，井永腾，等. 电力变压器漏磁场与杂散损耗计算的研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(S2): 122-127.
- [8] 郭健，林鹤云，徐子宏，等. 三相三柱变压器零序阻抗的场路耦合计算与分析[J]. 电工技术学报, 2009, 24(3): 80-85.
- [9] 康雅华，白保东，郭源成. 场路耦合方法在大型电力变压器三维瞬态有限元分析中的应用[J]. 电工技术学报, 2014, 29(9): 219-224.
- [10] 胡静竹，刘涤尘，廖清芬，等. 基于有限元法的变压器电磁振动噪声分析[J]. 电工技术学报, 2016, 31(15): 81-88.

### 作者简介

符雪鹏（1982-），男，辽宁北镇人，工程师，从事变压器研发与设计工作。