

干式变压器高压线圈浇注端子板处塌陷问题分析

李涛

郑州空港科锐电力设备有限公司，河南郑州，451171；

摘要：干式变压器浇注工序的任务就是完成树脂对绕组内部空隙的填充，我司干式变压器高压线圈采用树脂浇注成型，属密封导体型绝缘结构。固化后的高压线圈经拆除外模后发现，高压线圈上端面端子板处存在塌陷现象。本文主要描述日常生产过程中遇到的高压线圈浇筑后端子板上端面塌陷异常现象，及所采取的一系列解决措施，确保了浇注线圈的一致性，提升了产品的一次合格率，给后续的干式变压器制程控制提供了方向。

关键词：干式变压器；端子板塌陷；线圈浇注

Analysis of collapse at high voltage coil of dry type transformer

Li Tao

Zhengzhou Airport Creative Power Equipment Co., Ltd Zhengzhou, Henan, 451171;

Abstract: The task of the pouring process of dry transformer is to complete the resin filling of the internal gap of the winding. Our high voltage coil of dry transformer is formed by resin pouring, which is a sealed conductor insulation structure. After the solidified high pressure coil was removed from the outer mold, it was found to collapse at the terminal plate on the upper end surface of the high pressure coil. This paper mainly describes the abnormal phenomenon of the upper end collapse of the high voltage coil terminal plate after pouring in the daily production process, and a series of measures taken to ensure the consistency of the pouring coil, improve the primary qualified rate of the product, and provide the direction for the subsequent dry transformer process control.

Key words: dry-type transformer; terminal plate collapse; coil pouring

DOI: 10.69979/3060-8767.25.01.025

引言

干式变压器是铁芯和绕组均不浸于绝缘液体中的变压器^[1]。郑州空港科锐电力设备有限公司干变生产线在 2023 年 7 月开工后短期内发生了多起干变高压线圈浇注后端子板上端面处明显塌陷（图 1），塌陷深度在 15-55mm 之间，造成高压线圈上端面不平整。端子板处塌陷不但影响浇注后高压线圈的外观，而且给后续维修带来困难。维修后的线圈装配后，对变压器局部放电试验存在一定程度的影响^[2]。经过制造过程跟踪、试验，采取了一系列措施后，塌陷问题得到了解决。

1 设备概况

我公司浇注使用的浇注设备属于第 I 类压力容器类别，由张家港竣业过程设备有限公司生产，产品标准符合 GB/T150-2011，产品参数符合我司干式变压器高压线圈浇注工艺要求。

1.1 名称：DN3000 压力浇注罐

- (1) 产品编号：23E-323
- (2) 设计压力：0.6Mpa
- (3) 耐压试验压力：0.75Mpa。

- (4) 工作压力：0.5Mpa。
- (5) 设计温度：100℃。
- (6) 主体材料：Q345R/Q235B。
- (7) 容 积：33m³。
- (8) 工作介质：空气
- (9) 产品标准：GB/T150-2011。

1.2 热风循环箱

- (1) 名 称：热风循环箱
- (2) 工作温度：0—200℃
- (3) 型 号：LG-HX
- (4) 加热功率：60kW

2 浇注过程

(1) 浇注时从浇注模上盖板预留的浇注孔进行浇注；

(2) 烘干：线圈置于热风循环箱中。温度控制曲线为：用 0.5 小时使高压线圈由室温升至 110℃、线圈在 110℃保温 8 小时、然后用 1 小时使线圈由 110℃降温至 80℃、线圈在 80℃保温 1 小时，然后快速出热风循环箱，通过轨道车直接进入压力浇注罐准备浇注；

(3) 线圈抽真空:关闭罐门、压力浇注罐抽真空至 100Pa 保持 3 小时、保持罐内空间温度 75℃;

(4) 浇注:压力浇注罐抽真空至 400Pa, 浇注时罐内放置相应数量的线圈、应用 12 根浇注管, 按设定的循环枪速灌入树脂混料, 浇注过程维持真空度 300~400Pa、空间温度 70~75℃, 浇满后再保持 0.5 小时;之后施加正压力 0.3MPa 保持 0.5 小时;

(5) 线圈出压力浇注罐, 检查浇注情况, 对于漏料、亏料进行堵漏、补料;堵漏、补料动作应迅速处理, 15min 内进入固化阶段, 否则需通知工艺进行固化曲线调整;

(6) 线圈入热风循环箱:线圈随小车进入热风循环箱中, 调整模具 4 脚高度, 使线圈处于垂直状态(外模压板或内模端板水平);

(7) 凝胶:编制温度曲线:热风循环箱提前用 10min 时间由室温升至 60℃, 线圈入箱后再用 10min 时间升至 80℃, 保持 80℃凝胶 8 小时;(开始凝胶 2.5 小时后可开箱检查树脂混料渗透情况, 混料不足的及时补充树脂混料, 保证线圈高度尺寸);

(8) 初固化:用 10min 时间使浇注线圈由 80℃升温至 90℃, 浇注线圈在 90℃保温 3 小时;再用 10min 时间由 90℃升温至 110℃, 浇注线圈在 110℃保温 2 小时;

(9) 后固化:用 10min 时间使浇注线圈由 110℃升温至 130℃, 浇注线圈在 130℃保持 10h, 停止加热, 线圈随热风循环箱降温;

(10) 拆模:线圈随循环箱降温约 2h, 当循环箱温度降至 90℃时出循环箱拆除模具, 待线圈温度降至 50℃以下再拔出气道条;

(11) 线圈整理:对浇注的线圈外观进行打磨、修补缺陷, 使线圈端面平整, 保证压块部位线圈高度偏差(与图纸要求高度尺寸相比)在-3~+1mm 范围内。

3 塌陷原因分析

3.1 原材料

刚发现塌陷问题时, 首先怀疑的就是原材料。我司一直固定使用江特绝缘材料有限公司提供的环氧树脂 A 和环氧固化剂 B, 且端子板处塌陷问题只发生在大容量高压线圈上, 小容量高压线圈体积小, 需要的树脂相对较少没有发生过塌陷异常情况。

3.2 网格布填充不足

端子板是高压线圈分接引线接线座排布的平面, 是凸出来的一部分, 端子板处浇注树脂相对较厚, 且端子板位置线圈最外层网格布距离端子板本身辐向距离相对较大, 内部缺少相应的网格布填充, 造成后期固化过程树脂混料过度沉降。

3.3 温度

高压线圈上部分接引线处加垫网格布后, 浇注的高压线圈端子板塌陷问题有所好转, 但后续浇注的高压线圈端子板处依然存在塌陷。经过多天的观察跟踪, 发现与固化时浇注模整体在热风循环箱中放置的位置密切相关:当端子板处贴近循环箱内壁放置时, 浇注出来的高压线圈端子板处会有塌陷;当端子板处背对循环箱内壁, 而朝向循环箱中间位置时, 浇注出来的高压线圈端子板处不会有塌陷现象存在。

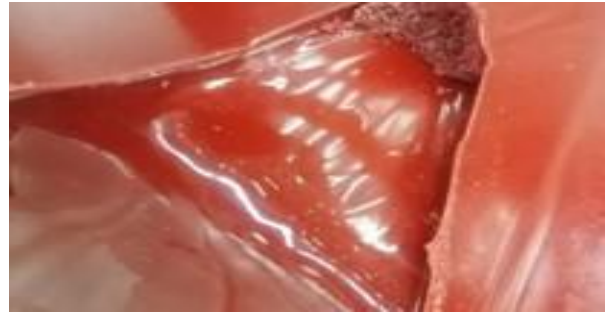


图 1 端子板上部塌陷

4 采取的措施

(1) 端子板引线处加垫相应厚度的网格布, 网格布加垫尺寸要合适, 不能影响端子板的安装、紧固(图 2)



图 2 引线处加垫网格布



图 3 固化时端子板处避开箱内壁

(2) 热风循环箱的有效尺寸为 2200mm*3500mm*2000mm(宽*长*高), 固化时要调整好整体浇注模的排布, 合理的固化排布方式是大容量和小容量浇注模混合搭配(图 3), 这样能充分的利用循环箱空间, 既保证了

线圈浇注质量，又发挥了最大经济效益（热风循环炉的功率为 60KW）。

（3）采取措施后浇注的高压线圈端子板平整无塌陷（图 4）



图 4 采取措施后批量浇注的线圈

5 今后工作的预防

（1）根据高压线圈端子板塌陷问题解决过程，结合我司的技术设计情况，把 2000kVA 容量以上的高压线圈引线处加垫网格布这一条款加入到相关工艺文件中，在后续的高压线圈绕制过程中严格按照工艺文件执行，质量控制人员做好现场监督控制。

（2）干式变压器高压线圈浇注时要使用质量合格的原材料，且原材料的配料比例要合适。要提前做配比小样，对小样做相应的测试，正式浇注前要从压力浇注罐放料口接样，对放料口的样品再次进行相关测试，确保配比的浇注混料符合工艺要求。

（3）高压线圈浇注工序相关人员要根据生产计划做好线圈浇注-固化环节的排布，确保浇注出来的线圈在满足质量要求的前提下，又能契合生产计划且提升电力能源的利用效率。

（4）热风循环箱恒温时，避免开门，以减少工作室温度波动；循环箱右侧的进气阀门不可随意打开，以免影响浇注质量；发现热空气外逸时，可调整门边框的石棉绳或更换石棉绳；热风循环箱空闲时要及时做好日常维护工作，清理底部及内壁的灰尘、异物，清除使箱内温度产生波动的因素，提升线圈的浇注质量。

（5）根据季节温度差异，适当调整热风循环箱的线圈出箱温度，避免温差对浇注产品的不利影响。

（6）压力浇注罐要按照使用说明书要求操作，且操作时严格执行各工艺参数并做好设备日常维护。

6 结语

综上所述，随着社会的发展和科技的进步，人们对电力系统的依赖性增强。在如今的配电领域中，人们对配电设备工作性能稳定性的要求越来越高。所以，需要从多个方面做好变压器的制程控制，逐步减少变压器的生产缺陷，从整体上来提升变压器的产品质量。以上是笔者处理干式变压器高压线圈浇注时端子板塌陷问题及制程控制采取措施的一些经验和总结，希望对读者有所帮助，欢迎大家讨论交流。

参考文献

- [1]GB 1094.11-2022，电力变压器.第 11 部分：干式变压器（2022 版）【S】北京：中国标准出版社
- [2]GB 1094.3-2017，电力变压器.第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙.附录 F 变压器局部放电测量应用导则（2017 版）【S】北京：中国标准出版社

作者简介：李涛、男、1983 年 10 月-、河南省周口市沈丘县人，汉、本科、助理工程师、研究方向：变压器制程控制。