



# 重熔非晶合金带材及铁心在油浸式非晶合金 配电变压器中应用的噪音性能研究

张志键, 顾 伟

(上海置信电气非晶有限公司, 上海 210107)

**摘要:**研究了重熔非晶合金带材及铁心在油浸式非晶合金配电变压器中应用的噪音性能,通过对重熔非晶合金带材铁心本体及其所应用变压器样机在不同过热负荷及不同过励磁状态下噪音性能的试验对比研究,给出了试验结果并进行了技术分析。

**关键词:**重熔非晶合金带材铁心;空载;过热负荷;过励磁;噪音

中图分类号:TM421

文献标识码:B

文章编号:1001-8425(2020)02-0060-05

DOI:10.19487/j.cnki.1001-8425.2020.02.016

## Research on Noise Function of Remelting Amorphous Alloy Iron Core Applied in Distribution Transformer

ZHANG Zhi-jian, GU Wei

(Shanghai Zhixin Electric Amorphous Co., Ltd., Shanghai 210107, China;)

**Abstract:**The noise function of the remelting amorphous alloy iron core applied in the distribution transformer is researched. Based on a comparative study of the noise performance of the core body of the remelted amorphous alloy strip and its prototype transformer under different overheating loads and different overexcitation conditions, the test results are given and the technical analysis is performed.

**Key words:**Remelted amorphous alloy strip core; No load; Overheating load; Overexcitation; Noise

### 1 引言

油浸式非晶合金配电变压器是输变电系统中被广泛应用的一种节能型配变产品,其以损耗低、节能效果好等优势在我国电力系统中被大范围应用。随着该产品在电网中使用量的日益增长及使用年数的逐年增多,非晶退役产品的回收、拆解及再利用问题已逐渐被人所关注。关于非晶合金铁心的回收问题,由于其迥异于硅钢铁心的结构及材质,无法重新剪切等难题一直是阻碍非晶变压器全范围回收再利用的一大难题。

近几年,得益于置信电气的资金及技术投入,并通过与国内行业一流企业的合作,已将此难题一举攻克。通过退役非晶铁心的除油、除固、重熔、再冶炼工艺,制备出以非晶合金退役铁心为原材料的重熔非晶合金带材。其各项出厂性能完全符合非晶带材国标 GB/T19345.1-2017《铁基非晶软磁合金带材》要求。将重熔非晶合金带材制备成铁心后,其各项性

能亦符合非晶铁心标准 T/CEEIA314-2018《非晶合金铁心技术规范》要求。

由于带材及铁心性能除了关乎变压器的空载损耗性能外,还对产品噪音性能影响巨大,而变压器的噪音性能又对用户使用的直观感受至关重要,故本文将针对重熔非晶带材铁心及其应用的变压器噪音性能进行重点研究,通过重熔非晶带材铁心(以下简称重熔非晶铁心)及其应用的非晶油变(以下简称重熔铁心非晶油变)在过励磁、过热负荷模拟工况下的噪音试验,考核重熔非晶铁心及其应用非晶油变的噪音性能,从而得到更为直观、正确的噪音研究数据及相关结论。

### 2 重熔非晶铁心及变压器的过励磁、过热负荷噪音试验

#### 2.1 试验方案

(1)重熔非晶铁心的过励磁噪音试验。

对一台 200kVA 的重熔非晶铁心施加不同励磁

电压,以 0.25 倍为倍数间隔增量,分别测试重熔非晶铁心在 1 倍、1.025 倍、1.05 倍、1.075 倍、1.1 倍、1.125 倍、1.15 倍、1.175 倍、1.2 倍后,再回到 1.175 倍、1.15 倍、1.125 倍、1.1 倍、1.075 倍、1.05 倍、1.025 倍、1 倍连续过励磁且不断电状态下的励磁噪声。获得不同心柱磁密状态下,重熔非晶铁心的噪音特性趋势。

(2)重熔铁心非晶油变的过励磁噪音试验。

将重熔非晶铁心安装于 200kVA 变压器样机(以下简称 200 重熔铁心非晶油变)中,同样以 0.25 倍为倍数间隔增量,分别测试 200 重熔铁心非晶油变在 1 倍、1.025 倍、1.05 倍、1.075 倍、1.1 倍、1.125 倍、1.15 倍、1.175 倍、1.2 倍后,再回到 1.175 倍、1.15 倍、1.125 倍、1.1 倍、1.075 倍、1.05 倍、1.025 倍、1 倍连续过励磁且不断电状态下的励磁噪声。获得不同心柱磁密状态下,重熔铁心非晶油变的噪音特性趋势。

(3)重熔铁心非晶油变的过热负荷噪音试验。

通过温升试验,模拟不同热负荷状态下变压器运行工况,并以不同油温为主要测试依据,分别测量不同油温状态下的变压器噪声,获得不同油温下变压器的噪音特性趋势。

2.2 试验条件

(1)重熔非晶铁心的过励磁噪音试验。

本文中笔者所述重熔非晶铁心的额定电压设计值应为 400V,额定档下心柱磁密为 1.3T。但出于试验便捷性考虑,按下述公式 1 中电压与匝数关系折算,将设计匝数 22 匝折算为试验匝数 10 匝且磁密不变时,不同倍数及磁密段对应试验电压折算值按表 1 所述。

$$N = \frac{10^4}{4.44 A_c f B_c} U_\Phi \tag{1}$$

式中,  $U_\Phi$ ——额定电压, V

$B_c$ ——铁心磁通密度, T

$A_c$ ——铁心有效截面,  $\text{cm}^2$

$N$ ——绕组匝数

$f$ ——频率, Hz

(2)重熔铁心非晶油变的过励磁噪音试验。

所描述重熔铁心非晶油变的额定电压设计值应为 400V,额定档下心柱磁密应为 1.3T。以设计匝数 22 匝考虑,其在不同倍数及磁密段对应试验电压值如表 1 所示。

(3)重熔铁心非晶油变的过热负荷噪音试验。

所描述重熔铁心非晶油变过热负荷噪音试验的温度取值,以温升试验所得变压器的油顶层温升 35K+测试环境温度  $20^\circ\text{C}=55^\circ\text{C}$  为基准,变压器过热负荷温度分别取值  $55^\circ\text{C}$ 、 $70^\circ\text{C}$ 、 $85^\circ\text{C}$  及  $100^\circ\text{C}$ 。

2.3 试验样机

2019 年 5 月,对一台 200kVA 重熔铁心非晶油变(图 1)及其器身中铁心本体进行研究性过励磁噪音试验及过热负荷噪音试验,试验变压器的额定电压为 10.5/0.4kV,高压分接范围为  $\pm 2 \times 2.5\%$ ,额定负载实测值为 2436W,空载损耗为 90W。额定电流下高压绕组平均温升 53.6K,低压绕组平均温升 53.6K,额定电流下油顶层温升 35K。

2.4 试验流程



图 1 试验非晶油变

本次过励磁噪音试验流程如图 2 和图 3 所示,其中重熔非晶铁心的过励磁噪音试验中分别对试验铁心施加 100%至 120%,再回到 100%的额定试验电压(表 1),以模拟 1.2 倍过励磁工况的始末。并分别测量重熔非晶铁心在不同过励磁条件下的噪音值。除试验电压值外,重熔铁心非晶油变的过励磁噪音试验基本与铁心过励磁噪音试验过程一致。

本次过热负荷噪音试验流程如图 4 所示,重熔

表 1 试验电压与磁密折算对照表

倍数	1	1.025	1.05	1.075	1.1	1.125	1.15	1.175	1.2
心柱磁密	1.3	1.33	1.37	1.4	1.43	1.46	1.5	1.53	1.56
22 匝试验电压	400	410	420	430	440	450	460	470	480
10 匝试验电压	182	187	191	196	200	205	209	214	218

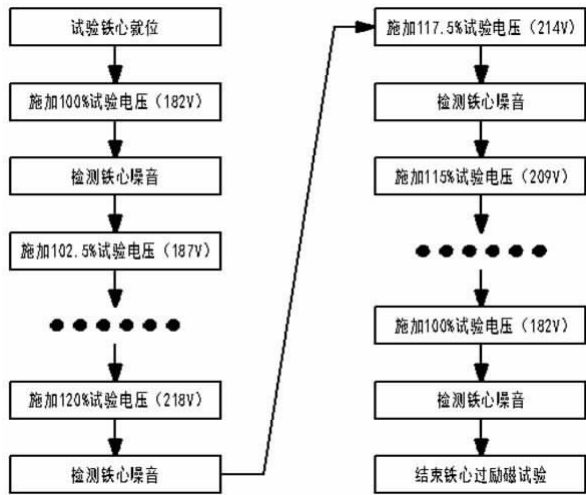


图2 铁心过励磁噪音试验流程图

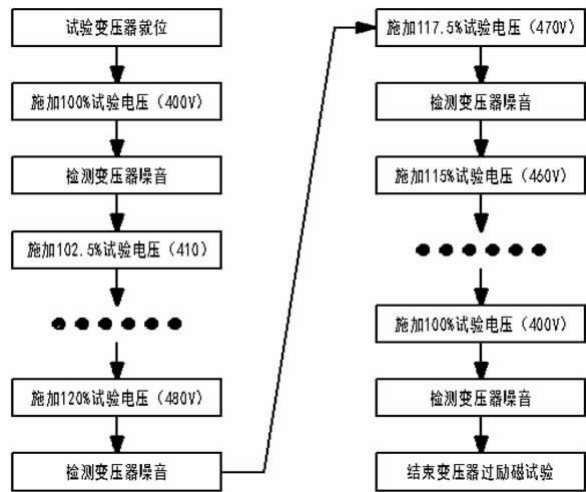
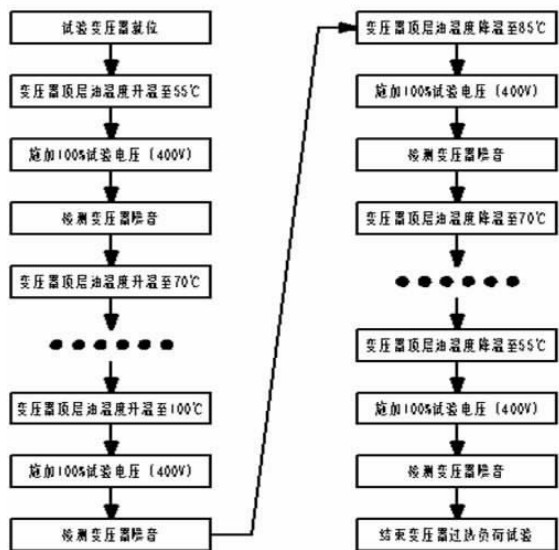


图3 重熔铁心非晶油变过励磁噪音试验流程图

铁心非晶油变的过热负荷噪音试验中,通过温升试验将重熔铁心非晶油变的顶层油温加热至100℃,



(C)图44重熔铁心非晶油变模拟过热负荷噪音试验流程图

再回到55℃温度,以模拟过热负荷工况的始末。并分别测量重熔铁心非晶油变在不同热负荷条件下的噪音值。

2.5 试验结果

重熔非晶铁心过励磁噪音试验的噪音数据统计如表2所示。重熔铁心非晶油变过励磁噪音试验的噪音数据统计如表3所示。重熔铁心非晶油变过热负荷噪音试验的噪音数据统计如表4所示。表中背景为27dB。试验现场如图5所示。

3 试验结果分析

根据GB/T1094.10-2003《电力变压器第10部分:声级测定》中平均声压级计算公式:

$$L_{pA0} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{pAi}} \right) \quad (2)$$

式中, N——测点总数

计算后得到表5、表6和表7中的声压级计算值。噪声试验声压级如图6和图7所示。

表5及表6数据显示,重熔非晶铁心及重熔铁心非晶油变在额定电压1倍励磁条件下,心柱磁密为1.3T时,噪音相差6.2dB,且变压器成品噪声为37dB,优于非晶油变国标GB/T 25446《油浸式非晶合金铁心配电变压器技术参数和要求》中关于变压器噪音要求的使用标准近14dB;优于非晶油变国网企标Q/GDW13002.4-2018《10kV三相油浸式非晶

表2 重熔非晶铁心的过励磁噪音试验

过励磁倍数	线电压	测1	测2	测3	测4	测5	测6	测7	测8
1	182	42.6	42.9	39.6	46	40.9	44.6	42	43
1.025	187	46.7	46.1	43.6	49.1	42.8	47.2	45.9	46.3
1.05	191	48.8	50.4	44.1	49.3	44.9	50.2	48.3	48.5
1.075	196	50.1	53.8	46.2	51.3	46.6	52.6	50.6	50.9
1.1	200	51.6	55.8	48.5	52.6	48.6	54.7	54	53
1.125	205	55	58.5	51.8	56	50.1	57.9	57.4	56.1
1.15	209	58.3	60.9	54	57.7	53.5	59.9	59.1	58.3
1.175	214	61.4	63.9	56.4	60	56.5	63.2	61.6	61.2
1.2	218	64.7	66.2	59.2	62.2	59.6	66	63.3	63.8
1.175	214	61.5	64.1	56.9	59.8	56.8	63.1	61.9	61.3
1.15	209	58.4	61.2	53.6	57.5	52.7	60	59	58.3
1.125	205	55.2	58.7	51.4	55.8	51.3	57.8	56.8	56
1.1	200	51.4	55.5	48.6	52.2	48.8	54.9	53.6	52.8
1.075	196	49.8	53.2	46.5	50.8	47.1	52.6	50.8	50.7
1.05	191	48.7	50.3	44.5	49.6	45.6	50.1	48.2	48.6
1.025	187	46.7	46.6	42.4	48.6	42.7	47.2	45.8	46.1
1	182	42.6	43.1	40.2	47	41.2	43.9	42.7	42.7



表 3 重熔铁心非晶油变过励磁噪声试验值汇总背景

过励磁倍数	线电压	测 1	测 2	测 3	测 4	测 5	测 6	测 7	测 8
1	400	39.4	40.7	38.6	35.8	36.1	36.9	35.7	37.8
1.025	410	40.3	42.9	40.5	37.7	38.7	39	36.9	39.4
1.05	420	42.2	44.1	43.1	39.6	40.9	40.9	38.6	41.1
1.075	430	43.4	46.2	45.1	41.7	44.2	43.4	41.1	42.8
1.1	440	45.6	47.6	46.3	44.4	46.4	45.8	43.4	45.2
1.125	450	47.7	49.5	48.8	45.8	49.2	48.6	45.8	47
1.15	460	49.5	51	50.5	48	51.4	51	48.2	49
1.175	470	51	52.2	52.7	49.7	52.8	52.2	50.3	51
1.2	480	52.2	54.3	54.3	47.9	54.3	53.7	52.8	52.6
1.175	470	51.2	52.7	52.9	49.7	53.3	52.6	50.7	51.2
1.15	460	49.7	51.1	51	47.9	51.1	50.5	48.1	48.9
1.125	450	47.1	49.3	48.2	45.8	49.1	48.6	45.8	47.1
1.1	440	45.2	47.5	46.2	43.4	46.1	46.6	43.4	44.5
1.075	430	43.4	46.1	44.1	41.5	43.7	43.4	40.6	42.8
1.05	420	41.7	44.2	43.5	39.2	40.9	41.2	38.8	40.9
1.025	410	40.1	42.7	40.2	37.4	38.8	39.4	37	39.4
1	400	38.4	40.5	38.4	35.3	35.8	36.8	35.3	38.7

表 4 重熔铁心非晶油变模拟过热负荷噪声试验值汇总背景

油顶层温度/℃	测 1	测 2	测 3	测 4	测 5	测 6	测 7	测 8
55	42.8	35.8	38.1	37.8	38.1	35.2	34.6	34.9
70	40.6	37.2	39.3	40.4	40	39.1	35.6	38.7
85	44.8	39.9	40.5	43.7	43.6	41.3	39.6	40.3
100	45.4	42.4	40.2	48.9	44.9	41.8	43.7	43.5
85	44.6	45.3	46.1	41.5	41.6	43.3	40.6	42.9
70	44.6	37.8	41	45.4	40.4	39.2	44.6	41.9
55	43.6	39.6	40	44.3	40.9	42	41	39.1

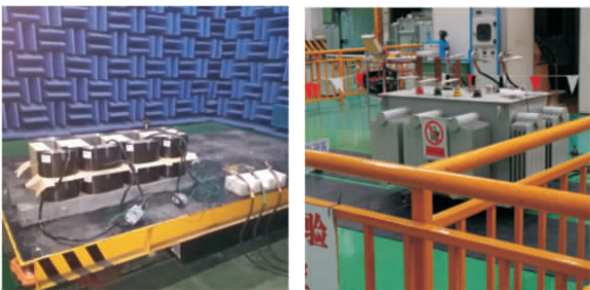


图 5 试验现场

合金变压器专用技术规范》中关于 A 类优质设备噪声要求的使用标准近 8dB;且随着励磁电压的提升, 噪声呈上升状态。但最终励磁电压回落后, 前后两次额定挡励磁电压下的铁心及变压器噪声值差值分别为 0.3dB 及 0.2dB, 无明显变化。

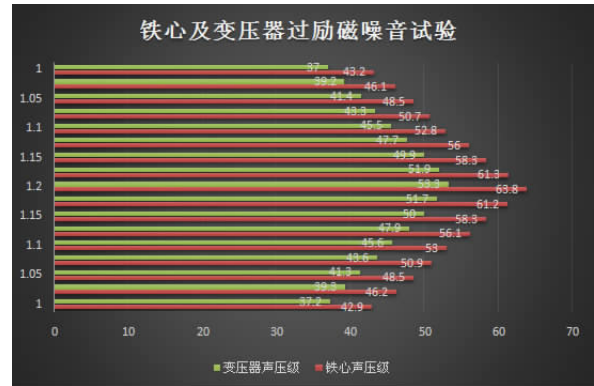


图 6 重熔非晶铁心及非晶油变过励磁噪声试验声压级

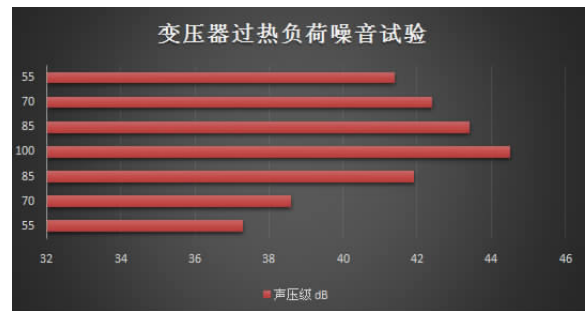


图 7 重熔非晶铁心及非晶油变过热负荷噪声试验声压级

表 5 重熔非晶铁心的过励磁噪声试验声压级计算值

过励磁倍数	线电压/V	心柱磁密/T	声压级/dB
1	182	1.30	42.9
1.025	187	1.33	46.2
1.05	191	1.37	48.5
1.075	196	1.40	50.9
1.1	200	1.43	53
1.125	205	1.46	56.1
1.15	209	1.50	58.3
1.175	214	1.53	61.2
1.2	218	1.56	63.8
1.175	214	1.53	61.3
1.15	209	1.50	58.3
1.125	205	1.46	56
1.1	200	1.43	52.8
1.075	196	1.40	50.7
1.05	191	1.37	48.5
1.025	187	1.33	46.1
1	182	1.30	43.2

表 7 数据显示, 重熔铁心非晶油变在过热负荷状态下, 变压器的噪声随油温的升高而升高;且在额定热负荷状态下, 当顶层油温为 55℃时, 变压器噪声值为 37.3dB, 与额定励磁状态下变压器噪声数值相差 0.3dB, 极为接近。但顶层油温自 100℃下降至

表 6 重熔铁心非晶油变过励磁噪声试验声压级计算值

过励磁倍数	线电压/V	心柱磁密/T	声压级/dB
1	400	1.30	37.2
1.025	410	1.33	39.3
1.05	420	1.37	41.3
1.075	430	1.40	43.6
1.1	440	1.43	45.6
1.125	450	1.46	47.9
1.15	460	1.50	50
1.175	470	1.53	51.7
1.2	480	1.56	53.3
1.175	470	1.53	51.9
1.15	460	1.50	49.9
1.125	450	1.46	47.7
1.1	440	1.43	45.5
1.075	430	1.40	43.3
1.05	420	1.37	41.4
1.025	410	1.33	39.2
1	400	1.30	37

表 7 重熔铁心非晶油变过热负荷  
噪声试验声压级计算值

油顶层温度/℃	声压级/dB
55	37.3
70	38.6
85	41.9
100	44.5
85	43.4
70	42.4
55	41.4

55℃时,其变压器热负荷状态下噪音值相差 4.1dB,怀疑为油温下降时,铁心温度下降速度相对略慢,铁心仍处于更高的热负荷状态,故而造成前后噪音值的差异。

鉴于上述怀疑,笔者特增加一组验证试验,内容为重熔铁心非晶油变在过热负荷噪音试验后静放 24h,再重新进行额定温升试验,将顶层油温升至 55℃后,现场检测噪音。测得数据如表 8 所示。

根据表 8 数据显示,重熔铁心非晶油变经过热负荷噪音试验后,前后额定热负荷状态下变压器噪音数值相差 0.4dB,无明显变化。

## 4 结论

(1)重熔非晶合金带材及铁心应用在油浸式非晶合金配电变压器后,其噪音性能符合且优于非晶

表 8 重熔铁心非晶油变温升试验后声压级检测及计算

油顶层 温度/℃	测 1	测 2	测 3	测 4	测 5	测 6	测 7	测 8	声压 级/dB
56	39.8	37.8	40	39.4	39.2	36.5	36.9	35.6	37.7

油变国标 GB/T25446-2010《油浸式非晶合金铁心配电变压器技术参数和要求》噪音要求及国网企标 Q/GDW13002.4-2018《10kV 三相油浸式非晶合金变压器专用技术规范》中关于 A 类优质设备噪音要求。

(2)重熔非晶合金带材及铁心应用在油浸式非晶合金配电变压器后,经 1 倍~1.2 倍再返回至 1 倍的过励磁噪音试验,其噪音性能在试验前后未发生明显变化。

(3)重熔非晶合金带材及铁心应用在油浸式非晶合金配电变压器后,经 55℃~100℃再返回至 55℃的过热负荷噪音试验,其噪音性能在试验前后未发生明显变化。

(4)以噪音性能而言,重熔非晶合金带材及铁心适宜使用于油浸式非晶合金配电变压器中。

本文受国家电网有限公司科技项目(非晶带材综合环保利用关键技术研究及应用)资助。

## 参考文献:

- [1] GB/T1094.10-2003, 电力变压器第 10 部分:声级测定[S].
- [2] GB/T25446-2010, 浸式非晶合金铁心配电变压器技术参数和要求[S].
- [3] GB/T19345.1-2017, 铁基非晶软磁合金带材[S].
- [4] T/CEEIA314-2018, 非晶合金铁心技术规范[S].
- [5] Q/GDW13002.4-2018, 10kV 三相油浸式非晶合金变压器专用技术规范[S].
- [6] 凌 健. 非晶配变与调容变的节能分析[J]. 变压器, 2018,55(3):27-30.
- [7] 张志立, 凌 健, 李 然, 等. 大容量干式非晶合金铁心变压器的研制[J]. 变压器, 2018,55(3):6-8.
- [8] 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.

## 作者简介:

张志键(1981-),男,上海人,高级工程师。

收稿日期:2019-11-20