

# 变压器空载电流试验异常分析

徐青龙，曹永源，侍海军，陈志勇

(苏州常熟市供电公司，江苏 苏州 215500)

**摘 要：**本文对变压器空载试验项目和相关标准进行了总结。对高压侧空载试验的空载电流分布规律和相关测试误差影响误差进行了分析。通过模拟试验和进厂实际监造案例，进一步验证了空载电流的分布规律，对今后的主变监造有关空载电流试验项目提出相关建议。

**关键词：**变压器；空载试验；空载电流；三角接法

## 1 概述

变压器空载试验是变压器出厂试验的重要特性项目之一，是业主参与变压器监督制造的重要关注点之一<sup>[1]</sup>。通过空载电流和空载损耗的测量可检出变压器磁路方面的故障缺陷。空载试验一般在低压侧绕组进行，从使用试验电源的相数上分有单相法和三相法两种<sup>[2]</sup>。单相法又分为低电压和全电压两种。变压器出厂试验时一般进行低电压单相法（200V 或 400V）和全电压三相法（包括 1.1 倍过励磁）空载试验。

## 2 变压器空载试验项目

### 2.1 低电压单相法空载试验

对于一般的 110kV 等级 YNd11 接法变压器，试验时的接线方式如下表 1 所示。

表 1 低电压空载试验接线表

Tab1 Experiment diagram of low - voltage non-load test

序号	加压端子	短路端子	开路端子
1	a、b	b、c	
2	b、c	c、a	A、B、C
3	c、a	a、b	

试验进行三次，依据江苏省电力公司企业标准 Q/GDW-10-J206-2010《输变电设备交接和状态检修试验规程》规定<sup>[3]</sup>，试验电压应大于等于 400V，并在相同试验电压下测量，测量结果与初值相比，不应有明显差异；三相变压器两个边相空载电流（即 ab 柱磁路和 bc 柱磁路）差异应在 10% 内。根据相关经验，ac 柱磁路空载损耗与 ab 柱磁路或 bc 柱磁路空载损耗的比值应符合相应的结构系数（110~220kV 等级变压器一般为 1.4~1.5）；ab 柱磁

路和 bc 柱磁路空载损耗的差值一般在 3% 以下。

### 2.2 全电压三相法空载试验

变压器出厂试验都是采用三相法进行空载试验，即将三相电源直接加到变压器低压侧三相端子。生产厂家大多采用同步发电机组作为试验电源，结合成套测量系统，最终将所测得的三相空载电流取均值算得变压器空载电流百分比，将所测得的三相空载损耗求和并校正得铭牌空载损耗数据。在进行 1.1 倍过励磁空载试验时，亦同时记录相关试验数据，并进行变压器油色谱分析，以全面评价变压器是否通过空载试验项目。

三相法进行空载试验时的空载电流规律进行如下分析（以 YNd11 为例），其绕组接线方式如下图 1 所示。

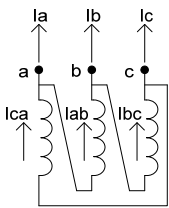


图 1 绕组接线图

Fig1 Diagram of the windings

由于 A、C 相磁路较长，所以  $\dot{I}_{ab} < \dot{I}_{ca} \approx \dot{I}_{bc}$ ，又因为  $\dot{I}_a = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{ab}$ ， $\dot{I}_b = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{bc}$ ， $\dot{I}_c = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ca}$

最终得到  $\dot{I}_a \approx \dot{I}_b < \dot{I}_c$ ，即三相法空载试验时，三相空载电流应符合上述规律。

如果变压器接法是 YNd1，则其三相空载电流

关系为  $\dot{I}_a > \dot{I}_b \approx \dot{I}_c$ 。

### 3 影响变压器空载试验数据因素

#### 3.1 试验电源容量方面的影响

对于常用的同步发电机组方式，由于同步发电机组受容量的限制，当非正弦空载电流通过发电机组时，空载电流电枢反应会使得发电机组输出电压波形畸变，对于大型变压器来说，空载试验电源将有如下要求：

$$S_0 = (S_e \times I_0 \%) \times K_0 \times K_a \times K_b$$

式中： $S_0$  为空载试验电源容量；

$S_e$  为被试变压器额定容量；

$I_0 \%$  为被试变压器空载电流百分数；

$K_0$  为波形容量因数，发电机组取 4；

$K_a$  为中间变的变化因数，取 1.2~1.3；

$K_b$  为安全因数，取 1.0~1.1<sup>[4]</sup>。

以一台 YNd11-50000/110 变压器为例，假定其空载电流百分数为 1%，那么采用发电机组作为试验电源时，其容量应达到  $S_0 = (50000 \times 1\%) \times 4 \times 1.3 \times 1.1 = 2860 \text{ kVA}$ 。

从现场看到的大部分生产厂家所用的发电机组容量为 750kW 或 1500kW，按功率因数 0.85 换算到视在容量也不满足要求。但厂家为了达到试验目的，通常采用电容器塔进行补偿，有效地降低了试验电源容量需求，其单线图如图 2 所示。

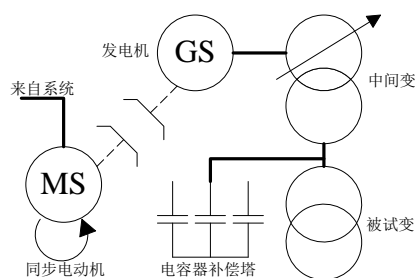


图 2 电容补偿单线图

Fig2 Diagram of the non-load test with compensation

空载试验要求试验电源容量满足以上要求，直接的衡量指标是波形畸变因数，其为试验电压的方均根值与平均值之比，一般控制在 3% 内。另外试验电压的不平衡度亦应符合相应要求，以负序分量不超过正序分量的 5% 作为控制指标。

#### 3.2 测量系统方面的影响

对大容量变压器进行空载试验时，仪表的内阻损耗对试验数据存在影响，另外，互感器的比角差对于测量变压器空载损耗准确度的影响也比较大，特别是大型变压器的空载试验。

为了降低空载损耗的测试误差，首先应使用准确级不低于 0.2 级的电流和电压互感器，相关测试仪表准确级不低于 0.5 级；功率表的电流线圈和电压线圈极性应正确且两线圈间的电位差要尽量小；相关仪器仪表的接地应可靠正确。如有必要，可将相关仪器仪表的损耗进行扣除。

由于变压器在出厂时，从半成品到成品中间历尽了多次阶段性试验，在进行空载试验时，应进行剩磁去除，防止剩磁对空载试验项目产生影响。

### 4 模拟试验

以 Dyn11 接法配变作为被试变压器进行了模拟试验，其铁芯形式为三柱芯式，试验时以三相调压器作为试验电源，以一台 400kVA 容量 Dyn11 接法配变作为中变，从高压侧进行空载试验。三台被试品容量分别为 80kVA、100kVA、125kVA，试验接线示意图见图 3。三相法高压侧空载电流试验数据如表 2 所示。

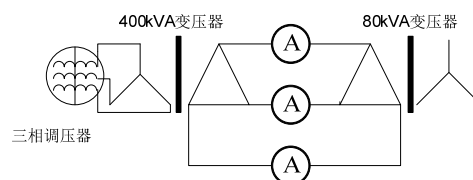


图 3 高压侧空载试验接线图

Fig3 Diagram of the non-load test in the primary windings

表 2 高压侧空载试验数据表

Tab.2 Table of the non-load test in the primary windings

容量	$I_A$ (mA)	$I_B$ (mA)	$I_C$ (mA)	备注
80	26.8	19.8	20.3	10kV
100	54.0	38.9	42.0	10kV
125	61	41.1	42.5	10kV

从上述试验数据看出，空载电流总是符合  $\dot{I}_A > \dot{I}_B \approx \dot{I}_C$  的规律，这与前述的理论分析是一致的。此种接法的配变也反演于 YNd1 接法的 110kV 等级的变压器。那么可以类推，YNd11 接法 110kV 等级的变压器其空载电流应符合  $\dot{I}_A \approx \dot{I}_B < \dot{I}_C$  规

律。

单相法高压侧空载电流试验数据如表 3 所示。

表 3 单相法高压侧空载试验数据表

Tab.3 Table of the non-load test in the primary windings using  
single phase

加压侧	短路侧	所测电流	80kVA	100kVA	125kVA	备注
AB	BC	$I_{CA}$	33.3	55.2	67.9	mA
BC	CA	$I_{AB}$	24.2	42.6	46.0	mA
CA	AB	$I_{BC}$	24.4	42.8	46.1	mA

在高压侧运用额定电压单相法对上述试品进行了试验,从试验数据看出 AC 柱空载电流最大,AB 柱和 BC 柱空载电流较小且几乎相等。将单相法测得的空载试验电流数据和三相法的数据进行换算后几乎相等。

## 5 厂家监造实际案例

对本地区即将建成的变电站所用主变进行了进厂监造,其试验数据如表 4 和 5 所示,从空载电流数据可看出,其符合  $\dot{I}_A < \dot{I}_C$ 、 $\dot{I}_B < \dot{I}_C$  规律,但  $\dot{I}_A \approx \dot{I}_B$  规律不明显。与相关厂家技术人员进行了交流,认为发电机三相出口电压不完全满足等边三角形以及中变变换电压后电压不平衡是主要因素!

表 4 监造案例一

Tab4 One of the supervision cases

项目	A	B	C
空载电流/A	1.639	1.870	2.440
试验电压/kV(有效)	10.5708	10.5092	10.5710
试验电压/kV(平均值)	10.558	10.498	10.486
试验电机容量	900kW	安装地点	龙腾

表 5 监造案例二

Tab5 The other of the supervision cases

项目	A	B	C
空载电流	2.05	1.74	2.55
试验电压(有效)	10.632	10.65	10.536
试验电压(平均值)	10.568	10.488	10.46
空载损耗	7379	8906	12869
试验电机容量	1500kW	安装地点	窑镇

## 6 结论

空载电流试验是变压器出厂试验的重要项目之一,对于常见的三柱芯式结构 110kV 等级变压器,进行三相空载电流试验时应充分考虑中变出口三相电压的对称性。若三相电压导致两较小空载电流失去近似相等规律,建议进行单相法额定电压空载电流试验,这样就可验证 AB 柱和 BC 柱空载电流的对称性规律。

### 参考文献:

- [1] 东北电业管理局. 高电压技术[M].沈阳:工人出版社,1985.
- [2] 周武仲. 电力设备交接和预防性试验 200 例[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [3] 国家电网公司. Q/GDW-10-J206-2010 输变电设备交接和状态检修试验规程[Z]. 2010.
- [4] 谢毓城. 变压器手册[M].北京:机械工业出版社,2003.

### 作者简介:

徐青龙(1978—),男,江苏盐城人,工程师,技师,从事检修试验工作, E-mail: csxuql@js.sgcc.com.cn;  
曹永源(1961—),男,江苏苏州人,高级技师,从事电气试验工作;  
侍海军(1978—),男,江苏宿迁人,工程师,高级技师,从事高电压管理工作;  
陈志勇(1975—),男,河南荥阳人,工程师,高级技师,从事高电压管理工作。

Analysis on the distribution of no-load field current in the transformer

Xu Qinglong, Cao Yongyuan, Shi Haijun, Chen Zhiyong

(Suzhou power supply company, Jiangsu suzhou 21550, China)

Abstract: In this paper some methods and standards are introduced. The distribution and errors of the no-load current are analyzed when the no-load test were conducted in the primary windings. Through the experiments and real cases we can find the above conclus we supervise the manufacture of the main transformer.

Keywords: transformer, no-load test, no-load current, triangle connection