

# 1000 kV 特高压变压器快速试验系统设计

于森, 朱孟周, 陈光, 周志成, 何泽家

(国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

**摘要:** 随着电力行业的不断发展, 1000 kV 特高压变压器的应用越来越广泛。为了满足特高压工程电气设备现场试验需要, 根据《1000 kV 系统电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中的相应试验项目、试验方法和判断标准, 通过分析特高压变压器结构及其交接性试验的接线特点集成不同的试验项目, 研究基于可控智能切换原理的 1000 kV 特高压变压器快速试验方法, 设计了一次性接线、智能化测量、判断及分析的快速试验系统, 解决了常规传统试验方法中的多次接线、费时费工的问题, 提高了变压器试验效率。

**关键词:** 特高压变压器; 快速试验; 一次性接线; 可控智能切换

**中图分类号:** TM835

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2016)06-0022-04

特高压变压器是特高压电网的核心设备, 其容量大、体积大、套管高且多, 电气交接试验项目众多, 而且现有试验设备功能单一, 单台试验设备只能开展特定的试验项目, 试验过程中需不停地进行设备更换、接线变更等工作, 不断地更换试验设备导致电气试验工作效率的急剧下降, 频繁更换试验接线, 需要斗臂车和诸多人员的配合, 不仅降低试验效率, 还极大增加了高空作业、人员触电等风险, 现场工作难度增加。因此减少试验设备更换、减少试验接线的更换成为急需解决的问题。对于 500 kV 及以下的电力变压器智能试验国内外有一定的研究基础与应用实践, 但 1000 kV 变压器结构更为复杂, 绝缘要求更高, 适应于 1000 kV 特高压快速试验系统的研究鲜见报道<sup>[1-3]</sup>。本文通过分析特高压变压器结构、试验特点, 研究了基于可控智能切换原理的 1000 kV 特高压变压器快速试验方法, 可以集成现场试验项目, 设计了一次性接线, 智能化测量, 判断及分析的快速试验系统, 解决特高压变压器一次性接线、高低压屏蔽等关键难题, 实现特高压变压器一键式直流电阻、电容量和介损、低电压短路等试验工作, 提升试验效率和安全水平。

## 1 特高压变压器快速试验方法

### 1.1 1000 kV 特高压变压器结构特点

1000 kV 特高压变压器均为单相变压器, 每相采用了主体变压器和调压补偿变压器分箱的结构, 主体变压器高度约 18 m, 其整体接线如图 1 所示。调压方式采取了中性点变磁通调压, 设置补偿绕组补偿低压电压。主体变压器采用单相四柱或单相五柱铁心, 两柱或三柱套线圈的结构<sup>[4-6]</sup>。

### 1.2 快速试验方法研究

#### 1.2.1 集成试验项目

依据《1000 kV 系统电气装置安装工程电气设备

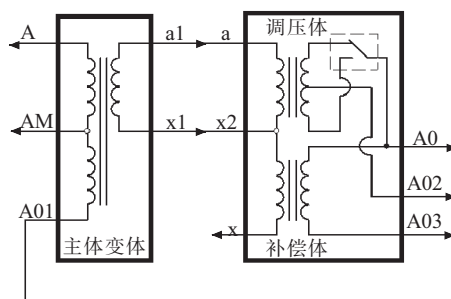


图 1 1000 kV 特高压变压器整体接线示意图

交接试验标准试验标准》<sup>[7]</sup>要求, 需要分别完成变压器主体与调压补偿变的常规试验后, 再对联接之后的整体进行试验。不同试验项目的接线方法有共性, 其中通过变压器的套管上端和绕组接线的变压器试验的可集成试验项目有变比、有载、直流电阻、短路阻抗、本体介损、本体绝缘电阻等, 而套管末屏试验中有正接法的介损、末屏对地的绝缘电阻和介损。由此得出可集成接线的试验项目, 如表 1 所示。

表 1 特高压变压器集成接线试验项目

序号	主变本体	调压补偿变	变压器本体连同调压补偿变压器
1	测量绕组连同套管的直流电阻	测量绕组连同套管的直流电阻	测量绕组连同套管的直流电阻
2	测量绕组电压比	测量绕组电压比	测量绕组电压比
3	检查引出线的极性	检查引出线的极性	检查引出线的极性
4	测量铁心夹件的绝缘电阻	测量铁心夹件的绝缘电阻	—
5	测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比和极化指数	测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比和极化指数	测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比和极化指数
6	测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容量	测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容量	测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容量
7	套管试验	套管试验	—
8	小电流短路阻抗	小电流短路阻抗	—

#### 1.2.2 可控智能切换原理

试验过程中, 为了保证试验可以一键操作、自动进

行,需要根据每个试验项目智能切换试验引线,可控智能切换原理如图 2 所示。转换一主要是进行介损功能和兆欧表功能的切换,转换二主要是进行直流电阻、变比、有载、以及短路阻抗功能的切换。转换一输出端通过单芯双屏蔽线与转换三的静触头一(也就是高压静触头)相连接,转换二输出端与转换三的静触头二(也就是低压静触头)相连接。

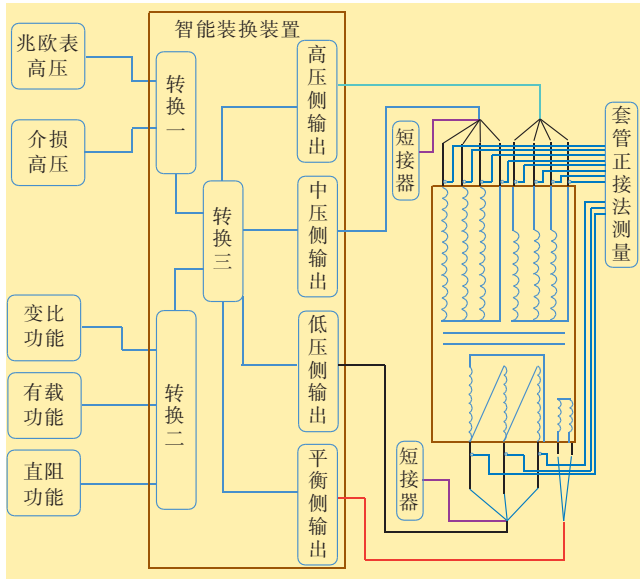


图 2 可控智能切换原理图

所有的试验仪器均通过智能切换线装置与试品相连接,当开展某个试验项目时,系统会根据该试验项目的接线原理,自动控制某些开关处于“分”位,其余开关处于“合”位。以绝缘电阻和介损测试为例,切换过程如图 3 所示。

左边的静触头 2 和 3 短接后与金属屏蔽外壳相连接,左边的静触头 1 与介损反接芯线相连接,右边的静触头 3 短接后与金属屏蔽外壳相连接,右边的静触头 1 和 2 短接后与兆欧表 HV 相连接。输出触头 1 与输出线的芯线连接,2 与输出线的内屏蔽相连接,3 与输出线的外屏蔽连接并直接叫与金属外壳相连接。可控智能切换过程如下:

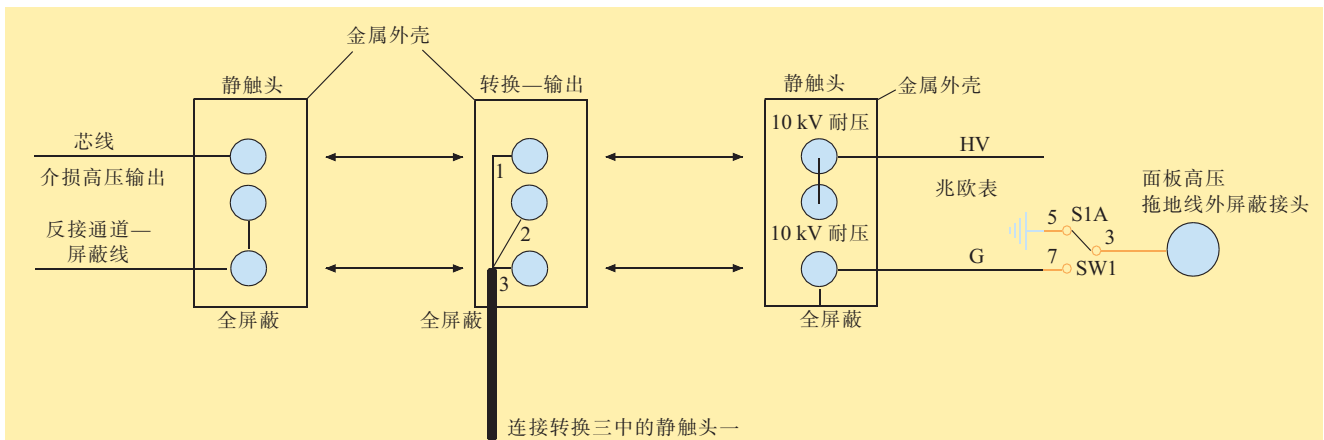


图 3 绝缘电阻和介损试验可控智能切换原理

(1) 测量介损时候,控制板控制长行程直线电机把动触头往左移动,控制过程中,通过内部的机械定位自动打开经左端静触头的活动封闭门,使动触头跟介损测试仪高压信号这端的静触头相连接,同时兆欧表端的静触头活动门自动闭合。

(2) 测量绝缘电阻的时候,控制板控制长行程直线电机把动触头往右移动,控制过程中,通过内部的机械定位自动打开右端静触头的活动封闭门,使动触头跟兆欧表高压信号这端的静触头相连接,同时介损仪高压信号端的静触头活动门自动闭合。

## 2 特高压变压器快速试验系统设计

### 2.1 一次性接线方式的实现

特高压变压器一次性接线示意如图 4 所示。根据试验接线分别连接在绕组和套管的特点,分别采用绕组试验接线面板和套管试验接线面板。为了实现一次性接线、全自动切换完成表 1 所列的这些试验项目,特设计了 2 套智能切换系统:绕组接口输出智能转换器测试系统和套管接口输出智能转换器测试系统。与智能切换系统连接的是变压器绕组及套管测试接口、套管末屏测试接口、以及屏蔽线接口,使得输出线同时满足这些试验。一键操作控制台采用微软系统工业用多串口平板电脑,控制系统模块,每个串口单独控制一个测试模块,具备快速参数设置功能,智能测量控制功能,历史数据分析功能,试验报告自动生成功能,测量数据库管理功能。

### 2.2 快速试验系统设计

特高压变压器快速试验系统采用微软系统工业用多串口平板电脑控制,每个串口单独控制一个测试模块,串口控制定义如图 5 所示。

特高压快速试验系统的实物图如图 6 所示,外观设计为长方体,正面安装智能控制系统的平板电脑,背面为本套智能测试系统的输出接线口,左层面为本套系统的电源输入和总电源开关。

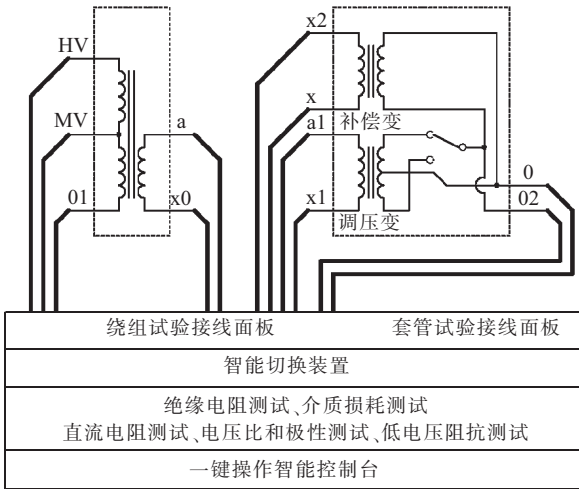


图 4 特高压变压器一次性接线示意图

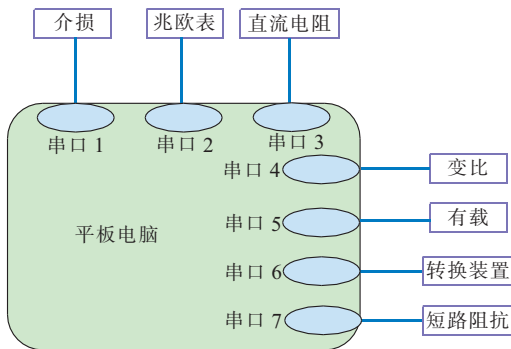


图 5 特高压变压器快速试验系统的串口控制



(a) 背面



(b) 正面

图 6 特高压变压器快速试验系统实物图

### 3 现场试验应用

#### 3.1 误差测试

采用标准源对特高压变压器快速接线系统进行测试,以校验测量系统的误差,试验结果如表 2 所示,测量误差满足工程应用要求。

表 2 试验系统各功能模块测量误差 %

功能模块	最大误差
直流电阻	0.68
变比	0.3
绝缘电阻	1.97
短路阻抗	0.25
介质损耗角正切值 $\tan\delta$	0.32
电容量	0.38
有载分接开关过渡电阻	0.6
有载分接开关过渡时间	1.3

#### 3.2 工程应用

采用特高压变压器快速接线系统在某 1000 kV 变电站分别对 1000 kV 特高压主体变压器和调压补偿变压器进行了现场的实际测试。部分试验结果如表 3 至表 6 所示。

表 3 特高压变压器主体变变比测量(A相)

测量绕组	额定变比	实测变压比	误差 / %
高压 / 中压	2.000	2.005 7	0.289
高压 / 低压	5.511	5.527 8	0.305
中压 / 低压	2.756	2.758 5	0.093

表 4 特高压变压器主体变直流电阻测量(A相)

测量绕组	出厂值 (35.0℃)/Ω	实测电阻 /Ω	相应变化率(折算到同温)/%
高压	0.214 8	0.207 5	0.20
中压	0.131 08	0.128 5	1.68
低压	0.024 66	0.023 31	-1.95

表 5 特高压变压器主体变绝缘电阻测量(A相) MΩ

测试部位	绝缘电阻值					
	15 s		60 s		600 s	
	出厂	实测	出厂	实测	出厂	实测
高压、中压— 低压及地	14 475	13 700	18 785	18 400	31 960	31 300
高压、中压— 低压	29 700	27 830	39 780	36 300	84 860	76 300
低压—高压、 中压及地	13 800	13 300	18 330	17 300	43 490	30 400
高压、中压、 低压—地	9931	12 700	13 944	18 100	—	30 100

表 6 绕组连同套管的电容量及介损值  $\tan\delta\%$ 测量 (A相)

测试部位	施加电 压 /kV	$\tan\delta / \%$		$C_x / \text{pF}$	
		出厂值	实测值	出厂值	实测值
高压、中压— 低压及地	10	0.10	0.190	17 550	17 460
低压—高压、 中压及地	10	0.10	0.198	27 740	27 790
高压、中压— 低压	10	0.08	0.180	9303	9414
高压、中压、 低压—地	10	0.12	0.209	26 990	26 590

由表 3—6 可知,特高压变压器快速试验系统可有效测量变压器变比、绕组直流电阻、绝缘电阻、绕组连同套管的电容量及介损值  $\tan\delta\%$  等参量,测量结果与出厂试验结果偏差较小满足工程需求。

### 3.3 试验效率比较

在劳动强度方面,传统测试方法需要多人配合,搬卸沉重的介质损耗测试仪、变压器绝缘电阻测试仪、有载调压开关测试仪、变压器直流电阻测试仪、相关测试引线等,总质量约 30 kg。采用特高压快速试验系统,集成试验仪器,一键操作即可完成试验,试验效率对比情况如表 7 所示。

表 7 试验效率对比情况

比较内容	传统试验方法	快速试验方法
测试时间/h	10	3
测试人员/个	4	2

## 4 结束语

本文通过分析特高压变压器结构和交接性试验的接线特点,基于可控智能切换线原理,集成变压器例行试验项目,研究了适应于 1000 kV 特高压变压器现场试验的快速试验方法,设计了一次性接线,智能化测量,判断及分析的特高压变压器快速试验系统,能够一键式操作完成了不同的电气试验项目,避免了频繁的试验设备更换、试验接线变更,现场试验结果表明通过快速试验方法可节约 2/3 试验时间,缩减 1/2 试验人

员,试验成果已在多个 1000 kV 变电站成功应用,可有效提高试验效率。

### 参考文献:

- [1] 宋大维,孙鹏远,李延彬.基于 RS-485 总线的配电变压器智能试验台[J].变压器,2004,41(5):6-10.
- [2] 陈天翔,王寅仲.电气试验[M].北京:中国电力出版社,2005:19-33.
- [3] 孙秋芹,周志成,赵科,等.变压器综合试验系统的设计与实现[J].江苏电机工程,2014,33(3):56-58.
- [4] 罗青林,谢德馨,钟俊涛.特高压 1000 kV 变压器绝缘研究[J].变压器,2010,47(1):1-4.
- [5] 孙多.1000 kV 变压器调压方式选择及运行维护[J].中国电力,2010,43(7):29-33.
- [6] 甘强,吉亚民,陈轩.一起 220 kV 变压器局部放电试验异常情况分析[J].江苏电机工程,2013,32(3):10-12.
- [7] GB/T 50832—2013 1000 kV 系统电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].

### 作者简介:

于 淼(1990),女,黑龙江五常人,硕士研究生,从事变压器试验工作;

朱孟周(1982),男,山东临沂人,工程师,从事变压器试验工作;

陈光(1986),男,山东曲阜人,工程师,从事输变电系统启动调试,过电压检测分析及配网专业管理工作;

周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事高电压与绝缘技术专业工作;

何泽家(1979),男,湖北红安人,高级工程师,从事电力系统人力资源管理相关工作。

## Design of 1000 kV UHV Transformer Rapid Testing System

YU Miao, ZHU Mengzhou, CHEN Guang, ZHOU Zhicheng, HE Zejia

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** With the continuous development of power industry, 1000 kV UHV transformer is more and more widely used. To meet the extra high-voltage electrical equipment field testing requirements, according to the testing items, testing methods and criteria in the Standard for acceptance testing of 1000 kV electric equipment in engineering, the structure and wiring characteristics of UHV transformer are analyzed and the 1000 kV UHV transformer rapid testing method based on controlled switching is studied. Then, the testing system, with one-time connection and intelligent measurement, analysis and judgment ability, is designed. The testing system avoids the problems of multiple-time connection, time consuming and low efficiency.

**Key words:** UHV transformer; rapid testing; one-time connection; controllable smart switch

(上接第 21 页)

## Simulation of 1000 kV Transformers Based on PSCAD/EMTDC

LI Jiansheng

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The ultra-high voltage transformer is one of the key equipment, and its electromagnetic transient simulation model is the basis for relay protection research. Through analyzing the principle of 1000 kV UHV transformers, and considering the winding connection characteristics, a main part and voltage regulation and compensation part integrated model is established in PSCAD/EMTDC. The simulations and analyses on normal operation, no-load switching and short circuit condition are implemented.

**Key words:** ultra-high voltage transformer; PSCAD/EMTDC; nonlinear; no-load switching