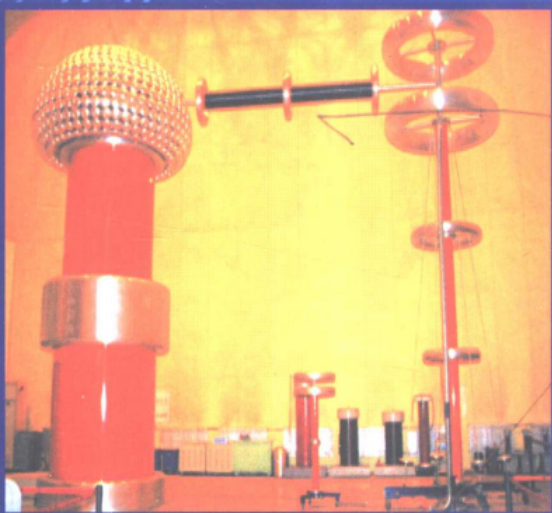


变压器技术丛书  
之七

# 变压器试验技术大全

主编 贺以燕 杨治业



辽宁科学技术出版社  
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

责任编辑：枫 岚 素 馨

封面设计：留藏设计工作室



ISBN 7-5381-4680-6



9 787538 146806 >

ISBN 7-5381-4680-6

定价：78.00元

TM406

2

# 变压器试验技术大全

贺以燕 杨治业 主编

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

**图书在版编目(CIP)数据**

变压器试验技术大全/贺以燕,杨治业主编.—沈阳:辽宁科学技术出版社,2006.6

(变压器技术丛书)

ISBN 7-5381-4680-6

I. 变… II. ①贺…②杨… III. 变压器—试验 IV. TM406

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 009229 号

---

出版发行:辽宁科学技术出版社

(地址:沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编:110003)

印刷者:辽宁出版集团新华印刷厂

发行者:各地新华书店

幅面尺寸:184mm×260mm

印 张:32.75

字 数:850 千字

插 页:4

印 数:1~5000

出版时间:2006 年 6 月第 1 版

印刷时间:2006 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑:枫 岚 素 馨

封面设计:留藏设计工作室

版式设计:于 浪

责任校对:东 戈

---

定 价:78.00 元

## 内 容 提 要

本书介绍了变压器试验的基础知识、变压器的绕组电阻测量、电压比测量、联结组标号试验、绝缘电阻和介质损耗因数测量、空载电流和空载损耗测量、短路阻抗和负载损耗测量、外施耐压试验、感应耐压试验、外绝缘试验和检测、局部放电试验、雷电冲击试验、操作冲击试验、变压器油试验、温升试验、零序阻抗测量、短路承受能力试验、声级测定、空载电流谐波测量、无线电干扰测量、电力变压器冲击测量及绕组传递过电压试验、长期空载与油流带电试验、干式变压器的气候环境和燃烧性能试验、大型变压器的现场验收试验、分接开关试验、冷却器试验、变压器组件试验、高压直流换流变压器试验、电抗器试验、变压器油色谱分析检测和故障判断、测量系统和仪器的校准、间接测量的误差分析等。最后还对高压试验设备和试验用发电机的选择和计算做了介绍。

本书是变压器设计、试验、运行和检修人员的不可缺少的工具书,也可作为高等院校相关专业师生的参考资料。

## 序 言

我国变压器产量已经超过 500GVA/年,且逐年上升,已经占世界总产量的 1/2 以上,居世界第一位。由于从事变压器技术工作的人员越来越多,因此,对技术书籍的需求量也越来越大,要求也越来越高。尤其是 20 世纪 90 年代以来,我国电力工业和变压器制造技术都取得了突飞猛进的发展;IEC 和 GB 等标准也在此期间作了较大的修改;检测设备和测量仪器有了较大的改进和更新;变压器试验技术水平也有了很大提高。为满足广大从事试验工作的技术人员和工人的迫切需要,为进一步总结、交流变压器试验方面的技术和经验,沈阳变压器研究所组织变压器行业和电力行业的有关专家编写了《变压器试验技术大全》一书。本书详细介绍了 GB 和 IEC 最新标准及当前国内外变压器试验和运行等方面的最新试验技术,并在编写过程中力求做到既有理论分析又有实际操作。本书可供变压器设计、制造、试验、运行和检修等部门的有关技术人员和工人阅读,也可以供高等院校相关专业的师生参考。

全书正文 32 章、附录 6 篇。第 1、16、27 章、附录 A 和附录 D 由贺以燕教授级高级工程师编写;第 2、9、26 章和附录 E 由王景吾高级工程师编写;第 3、28 章和附录 B 由范履苞高级工程师编写;第 4 章由王景吾高级工程师、王正官高级工程师编写;第 5 章由杨治业教授级高级工程师、范履苞高级工程师编写;第 6、7、11 和 29 章由杨治业教授级高级工程师编写;第 8 和 10 章由潘炳宇教授级高级工程师编写;第 12 和 13 章由陈道辉教授级高级工程师编写;第 14 章由张文相教授级高级工程师编写;第 15 章由王正官高级工程师编写;第 17、23 章由贺以燕教授级高级工程师、杨治业教授级高级工程师编写;第 18 章由王敬高级工程师、杨治业教授级高级工程师编写;第 19 章由李世成高级工程师编写;第 20 章由姜家伟高级工程师、曲岩高级工程师编写;第 21 章由胡运英高级工程师编写;第 22、31 章由孙继伟高级工程师编写;第 24 章和附录 C 由胡惠然教授级高级工程师编写;第 25 章由张德明教授级高级工程师编写;第 30 章由钟洪璧高级工程师编写;第 32 章由孙继伟高级工程师、周绍珠工程师编写、附录 F 由朱建新高级工程师编写。全书由贺以燕教授级高级工程师、杨治业教授级高级工程师主编。

本书与以前的试验书籍相比较,相同试验项目的内容更丰富、更符合最新标准要求,同时还增加了很多前所未有的内容,如“电力变压器冲击测量及绕组传递过电压试验”、“干式变压器的气候、环境和燃烧性能试验”、“高压直流换流变压器试验”、“变压器组件试验”、“大型变压器的现场验收试验”、“测量系统和仪器的校准”、“测量系统误差及测量不确定度”、“变压器油色谱分析检测和故障判断”、“外绝缘试验及检测”、“电抗器试验”10 章正文和 6 篇附录共 16 个专题内容。

沈阳变压器研究所领导对本书的编写出版非常重视和支持。原沈阳变压器有限责任公司和国家变压器质量监督检验中心的有关技术人员为本书提供了大量的试验数据。《变压器》杂志编辑部原主编应百川高级工程师对本书的出版给予了许多帮助;编辑周永明高级工程师对本书进行了编辑和校对;郑颖同志对本书进行了打字和排版;还有许多同志也对本书的编写给予了大力协助。在此,仅对他们表示由衷地感谢!

由于我们的水平所限,书中的不妥、错误和不足之处在所难免,恳请广大读者予以批评指正。

编 者

2005 年 10 月

# 目 录

第一章 总论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 试验基础知识	(1)
第二章 绕组电阻测量	(6)
第一节 概述	(6)
第二节 测量方法	(6)
第三节 快速测量直流电阻的方法	(9)
第三章 电压比测量	(17)
第一节 概述	(17)
第二节 电压测量法	(17)
第三节 标准变压器式电桥测量法	(18)
第四节 电阻分压式电压比电桥	(19)
第五节 电压比测量的自动化	(20)
第四章 联结组标号试验	(24)
第一节 概述	(24)
第二节 直流法	(25)
第三节 交流法	(26)
第五章 绝缘电阻和介质损耗因数测量	(31)
第一节 概述	(31)
第二节 试验标准及规定	(31)
第三节 绝缘电阻、吸收比和极化指数试验	(32)
第四节 自动绝缘测试仪	(35)
第五节 介质损耗因数( $\tan\delta$ )试验	(36)
第六章 空载电流和空载损耗测量	(40)
第一节 概述	(40)
第二节 空载试验方法	(40)
第三节 额定条件下的空载试验	(42)
第四节 非额定条件下的空载试验	(45)
第五节 绝缘装配前铁心的空载试验	(47)
第六节 空载损耗、空载电流增大的原因分析	(48)
第七章 短路阻抗和负载损耗测量	(49)
第一节 概述	(49)
第二节 试验方法	(49)
第三节 额定条件下的三相负载试验	(50)
第四节 非额定条件下的短路阻抗和负载损耗测量	(52)
第五节 短路阻抗和负载损耗的影响因素分析	(55)

<b>第八章 外施耐压试验</b> .....	(56)
第一节 概述 .....	(56)
第二节 试品及试品的电容值和试验电压值 .....	(56)
第三节 试验设备 .....	(57)
第四节 试验及试验结果 .....	(71)
<b>第九章 感应耐压试验</b> .....	(75)
第一节 概述 .....	(75)
第二节 典型的感应试验接线图 .....	(75)
第三节 试验电源 .....	(81)
第四节 感应试验容量的估算 .....	(84)
第五节 试验频率的选择 .....	(87)
第六节 同步发电机的自激磁 .....	(88)
第七节 防止电压谐振发生的方法 .....	(90)
第八节 补偿 .....	(91)
第九节 三相发电机运行不平衡的解决办法 .....	(93)
<b>第十章 外绝缘试验及检测</b> .....	(96)
第一节 概述 .....	(96)
第二节 放电电压的随机性 .....	(96)
第三节 外绝缘的试验方法 .....	(98)
第四节 试验条件 .....	(101)
第五节 变压器外绝缘的检测 .....	(110)
<b>第十一章 局部放电试验</b> .....	(113)
第一节 概述 .....	(113)
第二节 绝缘内部的气隙放电 .....	(114)
第三节 产生局部放电的其他原因 .....	(116)
第四节 局部放电试验的基本测试回路 .....	(116)
第五节 油浸电力变压器的局部放电试验 .....	(118)
第六节 干式电力变压器的局部放电试验 .....	(124)
第七节 局部放电试验中的干扰问题 .....	(128)
<b>第十二章 雷电冲击试验</b> .....	(132)
第一节 概述 .....	(132)
第二节 冲击电压发生器 .....	(132)
第三节 截断装置 .....	(148)
第四节 冲击电压测量 .....	(150)
第五节 雷电冲击试验 .....	(157)
第六节 雷电冲击试验故障检测 .....	(160)
<b>第十三章 操作冲击电压试验</b> .....	(175)
第一节 概述 .....	(175)
第二节 操作冲击电压的波形及产生 .....	(175)
第三节 操作冲击电压波形的计算 .....	(176)



第四节	变压器操作冲击试验 .....	(186)
<b>第十四章</b>	<b>变压器油试验 .....</b>	<b>(190)</b>
第一节	概述 .....	(190)
第二节	油试样采集 .....	(190)
第三节	击穿电压试验 .....	(191)
第四节	介质损耗因数测量 .....	(192)
第五节	含水量测定 .....	(193)
第六节	外观检验 .....	(194)
第七节	密度测定 .....	(194)
第八节	运动黏度测定 .....	(194)
第九节	闪点(闭口杯法)测定 .....	(195)
第十节	凝点、倾点测定 .....	(196)
第十一节	界面张力测定 .....	(196)
第十二节	酸值测定 .....	(197)
第十三节	氧化安定性测定 .....	(198)
第十四节	油中溶解气体分析 .....	(199)
第十五节	与固体材料相容性试验 .....	(202)
<b>第十五章</b>	<b>温升试验 .....</b>	<b>(204)</b>
第一节	概述 .....	(204)
第二节	连续额定容量下的稳态温升限值 .....	(204)
第三节	特殊使用条件下对温升限值的修正要求 .....	(205)
第四节	油浸变压器的温升试验方法 .....	(206)
第五节	干式变压器的温升试验方法 .....	(215)
第六节	特殊变压器的温升试验方法 .....	(220)
<b>第十六章</b>	<b>零序阻抗测量 .....</b>	<b>(222)</b>
第一节	概述 .....	(222)
第二节	零序阻抗的测量方法 .....	(222)
第三节	零序阻抗的计算方法 .....	(224)
第四节	零序阻抗测量实例 .....	(227)
第五节	小结 .....	(227)
<b>第十七章</b>	<b>短路承受能力试验 .....</b>	<b>(228)</b>
第一节	概述 .....	(228)
第二节	试验标准及要求 .....	(228)
第三节	试验方法 .....	(229)
第四节	试验实例 .....	(235)
<b>第十八章</b>	<b>声级测定 .....</b>	<b>(239)</b>
第一节	概述 .....	(239)
第二节	与变压器噪声有关的声学基本参量 .....	(239)
第三节	变压器的空载声级测量(声压法) .....	(241)
第四节	变压器的负载声级测量(声压法) .....	(250)

第五节	声强测量简介 .....	(251)
<b>第十九章</b>	<b>空载电流谐波测量 .....</b>	<b>(252)</b>
第一节	概述 .....	(252)
第二节	变压器空载电流谐波产生机理 .....	(252)
第三节	空载电流谐波的测量原理和测量仪器 .....	(253)
第四节	空载电流谐波测量实例 .....	(254)
<b>第二十章</b>	<b>无线电干扰测量 .....</b>	<b>(256)</b>
第一节	概述 .....	(256)
第二节	试验条件 .....	(256)
第三节	测试回路 .....	(257)
第四节	试验方法 .....	(258)
第五节	试验报告 .....	(259)
<b>第二十一章</b>	<b>电力变压器冲击测量及绕组传递过电压试验 .....</b>	<b>(261)</b>
第一节	概述 .....	(261)
第二节	冲击测量与冲击试验的差异 .....	(261)
第三节	冲击测量的仪器 .....	(261)
第四节	冲击测量内容 .....	(263)
第五节	冲击测量方法 .....	(264)
第六节	测量结果分析 .....	(265)
第七节	从高压绕组向低压绕组传递的过电压 .....	(266)
第八节	冲击测量实例 .....	(266)
<b>第二十二章</b>	<b>长期空载与油流带电试验 .....</b>	<b>(270)</b>
第一节	概述 .....	(270)
第二节	油流带电的机理及其危害 .....	(270)
第三节	油流静电电流的测试原理和常用的几种方法 .....	(271)
第四节	油流静电电流测量的典型数据 .....	(274)
<b>第二十三章</b>	<b>干式变压器的气候、环境和燃烧性能试验 .....</b>	<b>(278)</b>
第一节	概述 .....	(278)
第二节	试验标准及有关规定 .....	(278)
第三节	试验内容 .....	(278)
第四节	试验实例 .....	(281)
<b>第二十四章</b>	<b>大型变压器的现场验收试验 .....</b>	<b>(286)</b>
第一节	概述 .....	(286)
第二节	现场安装中的试验 .....	(286)
第三节	现场安装竣工后的试验 .....	(288)
<b>第二十五章</b>	<b>分接开关试验 .....</b>	<b>(292)</b>
第一节	概述 .....	(292)
第二节	技术要求 .....	(294)
第三节	试验项目及方法 .....	(301)
<b>第二十六章</b>	<b>冷却器试验 .....</b>	<b>(342)</b>

第一节	概述 .....	(342)
第二节	技术要求和参数 .....	(343)
第三节	强油风冷却器试验 .....	(344)
第四节	强油水冷却器试验 .....	(348)
第五节	与试验有关事项 .....	(349)
第六节	实例 .....	(350)
第七节	油流继电器的原理及试验 .....	(351)
第八节	控制箱在冷却器试验中的动作功能试验 .....	(352)
第九节	风扇电动机和油泵电动机汲取功率测量 .....	(353)
<b>第二十七章</b>	<b>变压器组件试验 .....</b>	<b>(355)</b>
第一节	概述 .....	(355)
第二节	套管试验 .....	(355)
第三节	气体继电器试验 .....	(360)
第四节	压力释放阀试验 .....	(361)
第五节	速动油压继电器试验 .....	(362)
<b>第二十八章</b>	<b>测量系统和仪器的校准 .....</b>	<b>(364)</b>
第一节	概述 .....	(364)
第二节	交流高电压测量系统的校准 .....	(364)
第三节	冲击试验用数字记录仪的性能要求和校准 .....	(366)
第四节	雷电冲击高电压测量系统校准 .....	(370)
第五节	局部放电测量系统和校准器的校准 .....	(372)
<b>第二十九章</b>	<b>测量系统误差及测量不确定度 .....</b>	<b>(378)</b>
第一节	概述 .....	(378)
第二节	间接测量的误差分析 .....	(379)
第三节	工频电压测量系统的误差分析 .....	(381)
第四节	空载损耗测量系统的误差计算 .....	(385)
第五节	负载损耗测量系统的误差计算 .....	(388)
第六节	测量不确定度 .....	(390)
<b>第三十章</b>	<b>变压器油色谱分析检测和故障的判断 .....</b>	<b>(396)</b>
第一节	概述 .....	(396)
第二节	变压器油中溶解气体的来源 .....	(396)
第三节	变压器内部故障的类型及其油中气体的特征 .....	(397)
第四节	变压器内部故障的具体判断和分析 .....	(400)
第五节	对变压器油中 CO、CO <sub>2</sub> 的判断 .....	(403)
第六节	一些不同类型故障实例和故障点查找 .....	(404)
<b>第三十一章</b>	<b>高压直流换流变压器试验 .....</b>	<b>(423)</b>
第一节	概述 .....	(423)
第二节	换流变压器的工作原理和结构特点 .....	(423)
第三节	换流变压器的试验项目及绝缘试验电压 .....	(424)
第四节	换流变压器的试验原理和试验方法 .....	(425)

第三十二章 电抗器试验 .....	(431)
第一节 概述 .....	(431)
第二节 并联电抗器试验 .....	(431)
第三节 平波电抗器试验 .....	(437)
附录 A STL 导则:高压测量系统与国家测量标准的比对校正 .....	(442)
附录 B 测量系统测量不确定度的分析和评定 .....	(449)
附录 C 电力变压器的保护和故障录波装置 .....	(462)
附录 D 高压试验设备 .....	(466)
附录 E 试验用发电机的选择与计算 .....	(497)
附录 F 采用频响法对变压器绕组变形故障的测量分析与判断 .....	(507)

# 第一章 总 论

## 第一节 概 述

进行变压器试验的目的是取得其性能数据,用来判定变压器合格与否,并提供给用户使用。由于设计变压器时,必须遵循有关标准和技术要求,因此,试验结果应与之相关。不同的标准和技术要求有不同的试验方法和结果。因此,必须首先研究标准,其次才能讨论各个项目及其试验。

1885年匈牙利拉提、德利和齐佩诺夫斯基发明了变压器,在以后的一个多世纪里,变压器工业有了长足的发展。由于变压器可变换交流电压,这使发电机的电压经变压器可以升高或降低。电源的电压愈高,传输距离愈长。当电压达到百万伏级,电能可传输到1 000km以外。在终端,变压器可将电压降到400V,给广大用户使用。这样就构成了以变压器为主导的整个发、变、输、供电行业。

在当今世界,电能已成为国民经济、人民生活不可缺少的一部分。尽管输变电工业只占国民生产总值的1%,但是其重要性已远远超过1%,毫不夸张地说电可主宰国民经济。因此各国对输变电行业都非常重视。

解放前,我国变压器行业发展十分缓慢,从1922年制造第一台15kVA变压器起,到1949年仅能生产2 000kVA/33kV变压器。1949年全国装机容量为185万kW,发电量为43亿kW·h。解放后,我国不仅建成了国内最大的沈阳变压器厂、西安变压器厂、保定变压器厂三个生产厂,还建成了数十家中型骨干厂以及数百家配电变压器生产厂。在半个多世纪里,特别是改革开放后20多年里我国变压器行业有了飞跃的发展。到2004年底全国装机容量达到了44 070万kW,发电量达到21 870亿kW·h。目前,单台变压器容量最高达到840MVA,电压等级达到750kV,预计到2015年左右可能出现1 000kV变压器和1 000kV电力系统。

目前我国的变压器试验技术已有了显著变化,已由传统的指针式仪表发展到数字式仪表,由手工操作控制逐步向自动化方向发展。各种新方法、新仪器得到广泛的应用,这使试验结果比过去更准确、可靠和可信。

## 第二节 试验基础知识

### 1 试验标准

本章所讲的试验技术,是对工厂正常生产的整台变压器的试验而言。对工序质量控制方面的试验,例如铁心半成品空载试验,绕组半成品电阻测量,不单独述及。而各工厂对半成品试验项目有各自不同的规定及判断标准,也就难以一概而论了。

对某些修理品或为事故分析做的一部分试验,由于试验项目不全,这里没有涉及,可参照工厂有关成品试验。

变压器从订货到设计都要遵循一定的标准或技术条件,产品必须与之相符合,而产品也必须按有关标准或技术条件进行试验,产品是否合格,要依标准或技术条件来判断。

IEC60076-1~60076-5《电力变压器》、IEC726《干式电力变压器》是国际电工委员会起草的国际标准,标准规定了电力变压器的主要方面,列有主要试验项目和试验方法,有的项目还给出了合格与否的判断标准。IEC标准是国际通用的。欧洲国家如英国、德国都等同采用。对我国出口的变压

器,多数用户要求执行IEC标准。但IEC标准缺少性能参数的要求,如 $P_0$ 、 $P_k$ 数值。一些参数,只能在订货技术条件中注明。

我国GB1094.1~1094.2—1996电力变压器的国家标准等效采用IEC60076-1~60076-2—1993标准。GB1094.3、GB1094.5—2003电力变压器标准等效采用IEC60076-3、60076-5:2000标准。GB6450—1986《干式电力变压器》等效采用IEC726(1982)标准。我国还有GB/T6451—1999《三相油浸式电力变压器技术参数和要求》标准等。我国生产的油浸式与干式变压器必须执行国家标准,试验合格与否用国家标准及相应的订货技术条件判断。

对于出口的变压器,大多数要执行IEC标准,但有的国外厂商要求执行某一国家标准,例如,要求执行日本的JIS、美国的ANSI标准,则变压器试验项目、方法均应按该标准,合格与否的判断也必须按该标准判断。

标准是“法”,试验技术则是一种“方法与手段”。试验的根本目的就是要判断产品是否合“法”。“合法”则合格,可以放行,可以投运;不合“法”则是不合格,要返工修理达到合格,否则就要报废。国内使用的产品都要执行国家标准。本书所述是按国标所做的试验。

## 2 试验分类

一台产品的试验,是工厂对产品所做的最终试验检查。为确保变压器的电气和机械性能完好无缺和以后可靠地长期运行,这些试验的严格性、彻底性以及所具有的权威性是至关重要的。变压器实测值与标准规定值的允许偏差见表1-1。

表 1-1 偏差

项 目		偏 差	
1	a. 总损耗	+10%	
	b. 空载损耗或负载损耗	+15%但总损耗不得超过+10%	
2	空载电压比	规定的第一对绕组	主分接 a.规定电压比的 $\pm 0.5\%$ b.实际阻抗百分数的 $\pm 1/10$ } 取其中低者
			其他分接 按协议,但不低于 a 和 b 中较小者
		其他绕组对	按协议,但不低于 a 和 b 中较小者
3	短路阻抗	有两个独立绕组的变压器,或多绕组变压器中规定的第一对独立绕组	主分接 当阻抗值 $\geq 10\%$ 时, $\pm 7.5\%$ 当阻抗值 $< 10\%$ 时, $\pm 10\%$
			其他分接 当阻抗值 $\geq 10\%$ 时, $\pm 10\%$ 当阻抗值 $< 10\%$ 时, $\pm 15\%$
		自耦联结的一对绕组,或多绕组变压器中规定的第二对独立绕组	主分接 $\pm 10\%$
			其他分接 $\pm 15\%$
	其他绕组对	$\pm 15\%$ 按协议正偏差可加大	
4	空载电流		+30%

注:1. 对某些自耦变压器和增压变压器,因其阻抗很小,则应有更大的偏差。对分接范围大的变压器,特别是在其分接范围不对称时,也会要求作特别考虑。另一方面,例如当变压器要和已有的变压器并联时,按协议,可规定更小的阻抗偏差,但应在投标阶段提出,制造厂和用户协商规定。

2. 规定值,是指制造厂规定的(设计值或标准值)。

3. 高压绕组与其相近的绕组称为第一对绕组。

表1-1多绕组变压器的损耗偏差适用于每一对绕组,但对某一负载条件给定时除外。

凡试验项目无限值者,均要提供试验值作分析用。

从保证质量及经济性出发,IEC及各国在总结多年实践经验的基础上,将产品的试验分为三类。本书按我国标准分类。

## 2.1 例行试验

所有变压器都必须接受的试验称为例行试验,也称出厂试验。它对检验与控制每一台变压器质量至关重要,其试验项目包括:

- (1)绕组电阻测量;
- (2)电压比测量和联结组标号检定;
- (3)短路阻抗和负载损耗的测量;
- (4)空载电流和空载损耗的测量;
- (5)绕组对地绝缘电阻和(或)绝缘系统电容的介质损耗因数( $\tan\delta$ )测量;  
(注:此试验值用来与安装现场作比较,故不给出限值)
- (6)外施耐压试验;
- (7)感应耐压试验;
- (8)局部放电测量(按GB1094.3—2003标准规定110kV为短时;220kV及以上为长时);
- (9)雷电冲击全波试验(按GB1094.3—2003标准规定为110kV及以上);
- (10)操作冲击试验(按GB1094.3—2003标准为220kV及以上,但当规定了ACSD试验时,则220kV不要求SI试验);
- (11)有载分接开关试验(对有载调压变压器);
- (12)变压器油试验。

## 2.2 型式试验

型式试验是在有代表性的变压器产品上进行的试验,用以验证变压器是否满足标准所规定的要求,从而证明同类产品或同系列产品是否达到了标准的要求,这些要求是例行试验所不包括的,型式试验项目如下:

- (1)温升试验;
- (2)雷电冲击试验(110kV以下全波、截波;110kV及以上截波;中性点全波,但对于全绝缘变压器当中性点不引出时为特殊试验)。

## 2.3 特殊试验

特殊试验不同于例行试验和型式试验,是制造厂和用户通过协商而决定做的试验,有的只要求提供一个测量数据,而不规定判断标准,有的因特别困难,需花费巨大人力财力,只好作为特殊试验项目,特殊试验项目如下:

- (1)暂态电压传输特性测定;
- (2)三相变压器零序阻抗测量;
- (3)短路试验;
- (4)声级测量;
- (5)空载电流谐波测量;
- (6)风扇和油泵电机吸取功率的测量。

按GB1094.3—2003标准,变压器不同绕组的绝缘试验要求见表1-2。

## 3 试验方案

除了零星试验和日常多次做过的试验之外,新产品和系统的试验都要作试验方案,在方案内应依次列入试验项目、线路图、应加电压和电流或其他参数值、记录表格(一般均有标准化的表格)、注意事项、人员分工以及安全事项等。

对试验方案一定要重视,决不能马虎。由于方案错误或不当致使整个试验出错,造成试验返工,

表1-2 对不同种类绕组的要求

绕组类型	设备最高电压 $U_m$ /kV (方均根值)	试 验						
		雷电冲击			操作冲击 (SI)	长时 AC (ACLD)	短时 AC (ACSD)	外施 AC
		线端全波 (LI)	线端截波 (LIC)	中性点全波 (LI)				
全绝缘	$U_m \leq 72.5$	型式	型式	型式 <sup>①</sup>	不适用	不适用	例行	例行
全绝缘和分级绝缘	$72.5 < U_m \leq 170$	例行	型式	型式 <sup>②</sup>	不适用	特殊	例行	例行
分级绝缘	$170 < U_m < 300$	例行	型式	型式	例行 <sup>③</sup>	例行	特殊 <sup>④</sup>	例行
	$U_m \geq 300$	例行	型式	型式	例行	例行	特殊	例行

① 如果规定了 ACSD 试验,则不要求 SI 试验,这应在询价定货时说明。

② 对全绝缘的三相变压器,当中性点不引出时,中性点的雷电全冲击试验为特殊试验。

甚至试品损坏的例子不胜枚举。

应该记住:一项成功的试验与一项合理的试验方案有密切的因果关系,不能掉以轻心。

#### 4 试验规章与管理

好的试验室(站)都有一套行之有效的管理规章制度,形成文字,全体人员遵循。

书面的规章是必须有的,不但要有,而且要定期学习,要检查执行的情况,还要不断地将新鲜经验加进去,将过时的东西淘汰掉。

规章制度是因试验室(站)而异,应结合自己的实际情况建立。试验人员应加强思想认识,不应走形式,在试验中严格贯彻执行规章制度。规章的核心是负责制,负责人要把责任负起来,这是试验成败的关键。

管理包括设备、仪器管理。对大型试验设备,如工频试验装置、冲击发生器、大电流电源设备、发电机等,要按设备系统制定运行与维护规程,还要定期检修调整。规程要求文字简单明了,各种曲线完备;维护方法适当;定期检查内容、时间明确;整定项目、记录项目齐备;仪器仪表要编号明确,定期校验,要有专门存放的房间和柜子,易于查找,归还方便,失效的与常用的要分开放置,防止用错。

每套大型设备应设专人负责,仪器、仪表要有专人管理。

对大型设备要建立档案,记录设备故障情况、检查情况,元部件更换情况(防止人员更换后情况查不清,误事),要保持设备经常好用,防止试验设备处于故障状况或带病运行。如果试验设备有问题,这不但影响被试品,也易发生事故。

#### 5 试验组织与分工

绝大多数变压器试验是大型试验,要加高电压、大电流,因此不是一个人能单独完成的,一般要3~5人。这就需要合理安排,做好协调分工,要分内外线,协同工作以相互照应。对缺乏自动记录打印的试验项目,要做好手工记录,否则试验的正确性会受到影响。

#### 6 安全

在整个试验过程中安全最重要。试验室(站)要有一个好的安全规程,并贯彻始终。各种试品、试验设备、仪器的损坏,乃至人员的伤亡,无不与缺少安全规程、不能贯彻安全规程和违章作业有关。一些引起物品的损坏、人员伤亡事故等血的教训,都是应该汲取的。

安全的核心是安全意识,人员的警惕性最为关键。操作人员对自己负责,对其他工作人员负责,监护人员对被监护者负责,这样才有利于避免事故发生。不要重复电源未切而上变压器改接线,监护人员不坚守工作岗位导致操作人员改接线的触电事故。

试验技术不断发展变化,日新月异,但安全这条线不能变。所有试验人员都必须不断提高自己



的安全素质,养成良好的安全习惯,并监督帮助在一起工作的试验人员,做好安全工作,在试验中不出人身伤害事故是最重要的。

声、光、电等指示信号系统应该完备,消防设备要良好齐全。

试验室(站)要根据自己的情况,编写安全规程,在实施的过程中,定期学习,修改补充完善。杜绝事故的发生是试验室(站)的首要工作任务,是变压器试验技术中最重要的一项。

## 7 记录、报告与档案

试验记录要有专人填写,例行试验应有预先规划好的统一表格,填写要认真,字迹不得潦草,防止记错、认错,记录不得涂改,如记错需要改正时,在删除后于改正处要加盖试验人员名章(或代号章),防止日后混乱不清。

报告是试验的最终表达形式,是供用户、鉴定人员、领导及各级政府官员审阅的正式文件,一般均有统一格式,要打印成文,其上面的文字要清楚,数字要正确,各种波形图、照片要清晰,结论要明确,并要经过试验、校核、审查和审定人员签字认可,杜绝报告疑窦丛生、模棱两可。总之,要防止各种不合格的报告出笼(非指试品不合格)。过去的实践中曾看到过多起不合要求的报告在各种会议上出现,这是不应该发生的事,试验人员有责任写出合乎要求的报告,而不能在这最后阶段疏忽大意。

档案是指试验记录和报告的存档,产品特别是重大产品记录和报告,要精心归档,以便日后查阅。数年之后因产品发生事故要查原始记录与报告,以便分析事故,或者是科研工作的需要查以往的数据,也要查原始记录和报告。

笔者在20世纪90年代曾到法国Sens参观一个铁塔试验站,该站的工程师告知:“凡在该站做过的试验,其记录要保存10年,用过的仪表在记录上作了编号,也要保存10年(不用的也要保存),原因在于以后发生疑问,送试方的铁塔在运行中倒塌,送试方吃官司时,要受试方出证,不但要有文字方面的证明,还要有仪表等证明,以便法庭判断。”这样的档案工作,大出笔者所料,但听解释也有道理,可见国外对记录、报告和档案的重视程度,我们要参考借鉴。

试验技术的发展与试验室(站)的管理息息相关,好的管理可以促进试验技术的发展,因此我们试验人员要十分关心试验管理,切不可认为只有试验技术才是硬功夫、试验管理是无所谓的小事,要促进技术与管理的共同发展。

## 8 试验技术的发展

近20年来,变压器试验技术有了很大的发展,其最主要的特点是测试自动化程度大为提高,测试仪器更加先进、准确。过去很多手工操作、记录现在均变为自动操作、打印,人员只需设完程序,试验自动完成,报告自动打印好,试验变得简单,而可靠性、可信性却大为提高。

尽管我国各试验室(站)自动化的程度与国外还有一定的差距,可喜的是已经起步,微机技术已开始引入,展望不久的将来,我国的变压器试验技术水平,将与国外越来越接近,最终会达到同一水平。

以上所述,虽是老生常谈,但在探讨各个具体项目试验技术之前,作为试验管理上的内容是至关重要,它是涉及到试验技术发展、成败的关键,重要的是身体力行,认真对待。只有从行动上去执行上述要求,才能将试验做得更好。尤其是试验室(站)的领导人员,以身作则,作好这方面的工作,乃是其头等大事,绝不可掉以轻心。