

变压器试验

(修订本)

沈阳变压器厂 编



机械工业出版社

本书总结了沈阳变压器厂多年来在变压器试验方面的实践经验，比较系统地介绍了变压器试验的程序、方法、设备、线路，并对试验中所发现的故障做了分析判断。本书还介绍了试验的基础知识和特种变压器试验。经此次修订，内容更为充实、先进和实用。

本书可供变压器制造、使用、维修部门中从事变压器试验工作的工人阅读，也可供工程技术人员参考。

变 压 器 试 验

(修订本)

沈阳变压器厂 编

责任编辑：王 伦

封面设计：田淑文

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街甲22号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张 17 $\frac{3}{4}$ ·字数 386 千字

1973年12月北京第一版

1987年12月北京第二版·1987年12月北京第四次印刷

印数 135,371—148,370·定价：3.85 元

统一书号：15033·4194

修订本前言

根据变压器制造和使用部门对变压器知识的需要，我们总结了多年来变压器试验的实践经验，并吸取了兄弟单位的宝贵意见和经验，于1972年组织编写了《变压器试验》一书。

该书比较系统地介绍了变压器试验的程序、试验方法、试验设备、试验线路，并对在试验中所发现的故障做了分析判断。自1973年出版发行以来，该书已印刷三次，印数共10万余册，深受广大读者欢迎。

《变压器试验》自出版至今已十余年。在此期间变压器的试验技术有了很大发展，试验设备和仪器也有较多更新，尤其是目前电工行业正在全面贯彻国际电工标准，国标《电力变压器》已作相应修改，报批稿业经国家标准总局批准，已颁布实施。《变压器试验》原版中使用的名词术语与1982年发布实施的《电工名词术语》国家标准诸多不符，所以原书的一些参数、标准、名词术语、试验方法和要求均应作相应修改。为此，我们征得出版社的同意，对原书作了较大的修改和补充，修订的主要方面有：

1. 原书共13章，全面进行修订，删去在实际试验工作中已趋于淘汰的陈旧的测试技术内容，代之以近十余年中发展起来的国内外变压器试验先进的测试技术、试验设备和试验线路。原书第十一章“变压器冲击试验”改称“雷电冲击电压试验”，第八章“变压器空载试验”增加两节，其余各章的章、节没有变动，但条款有较大修改和补充。

2. 增加第十二章“操作冲击电压试验”，第十三章“局部放电试验”、第十五章“零序阻抗试验”和第十六章“变压器声级测定”共四章。修订本共十七章。

3. 全书的试验项目、试验方法、试验参数、联结组符号等均按国标GB1094. 1-5—85和IEC国际标准修订。

4. 全书的名词术语均按国标GB2900. 15—82《电工名词术语 变压器、互感器、调压器、电抗器》和GB2900. 19—82《电工名词术语 高电压试验技术和绝缘配合》的规定做了修改。

原书第一至十章、第十二章和第十三章由王述伦工程师和邵忠良工程师编写，第十一章由姜公超高级工程师编写。

修订本第一至十章、第十四章和第十七章由王述伦工程师修改，第十一章由姜公超高级工程师修改。修订本增加的第十二章、第十三章由姜公超高级工程师编写，第十五章由王述伦工程师编写，第十六章由徐子宏高级工程师编写。修订本由贺以燕高级工程师和郑时伊工程师审查。

沈阳变压器厂

一九八六年九月

名词术语更改对照表

国家标准总局于1982年批准了国标GB2900·15—82《电工名词术语 变压器、互感器、调压器、电抗器》和国标GB2900·19—82《电工名词术语 高电压试验技术和绝缘配合》，该两份电工名词术语标准与第一版《变压器试验》和过去的习惯称呼有许多不同之处，这次《变压器试验》修订本均照上述两标准更改。为便于读者查阅参考，现将《变压器试验》第一版和修订本名词术语更改情况列表如下：

序号	修订本使用的名称	第一版使用的名称
1	绕组 ^①	线圈
2	分级绝缘	半绝缘
3	层式	圆筒式
4	多层式	多层圆筒式
5	插花纠结式	叉花纠结式
6	交叠式	交错式
7	插入电容式	内屏蔽式
8	静电环	静电板
9	电压比 ^②	变压比
10	负载 ^③	负荷
11	联结组	连接组
12	联结组标号	连接组别
13	T形联结	斯考特连接
14	星形联结	星形连接
15	三角形联结	三角形连接
16	相位差（互感器使用）	相角差
17	相位移（变压器使用）	相位差

(续)

序 号	修 订 本 使 用 的 名 称	第 一 版 使 用 的 名 称
18	电流误差	比值差、比差
19	电压误差	比值差、比差
20	负载损耗	短路损耗
21	阻抗电压	短路电压
22	过流阻抗	限流阻抗
23	表观容量	视在容量
24	电压调整率	电压变化率
25	准确级	准确级次
26	热电流	热稳定电流
27	参考温度	条件温度
28	叠片系数	叠片系数
29	空间利用因数	空间利用系数
30	励磁	激磁
31	铁心柱	心柱
32	对称性分量	周期性分量
33	储油箱	油枕
34	气体继电器	瓦斯继电器
35	吸湿器	呼吸器
36	油位计	油表
37	无限分接开关	无限分接开关
38	切换开关	接触器
39	分接选择器	选择开关
40	选择开关	复合开关
41	粗选择器	范围开关、粗选开关
42	过流脱头	电励脱头
43	驱动机构	操动机构
44	绕组电阻	连接组测量
45	绕组电阻测定	直流电阻测量
46	绝缘电阻测定	绝缘电阻测量
47	吸收比测定	吸收比测量
48	介质损耗率正切值测定	介质损耗角正切测量
49	外施耐压试验	外施高压试验

(续)

序 号	修 订 本 使 用 的 名 称	第 一 版 使 用 的 名 称
50	感应耐压试验	感应高压试验
51	负载试验	短路试验
52	短路试验	突发短路试验
53	剩余二次电压绕组	零序电压线圈
54	剩余电压(电流)互感器	零序电压(电流)互感器
55	发电厂自用变压器	厂用电变压器
56	混凝土柱式电抗器	水泥电抗器
57	平波电抗器	滤波电抗器
58	启动电抗器	启动电抗器
59	球隙	球极
60	波前	波头
61	雷电过电压、操作过电压、暂时过电压	过电压 ^④
62	中性点有效接地系统, 中性点非有效接地系统	中性点接地系统 ^⑤
63	局部放电、破坏性放电	放电 ^⑥

注① 在国标GB2900·15—82中, 变压器行业原用的“线圈”名称改为“线圈”或“绕组”, 实际使用时较难区分, 这次《变压器试验》修订版中, 把“线圈”名称一律改为“绕组”。② 变压器试验时用“电压比”, 互感器试验时仍用“变比”。③ 变压器试验时用“负载”, 互感器试验时仍用“负荷”。④ 在国标GB2900·19—82中, 过电压名词改为雷电过电压、操作过电压及暂时过电压。⑤ 在国标GB2900·19—82中, 中性点接地系统分为中性点有效接地(直接接地、经低阻抗接地)系统及中性点非有效接地(不接地、经高阻抗接地和经消弧线圈接地)系统。⑥ 在国标GB2900·19—82中, 放电分为局部放电及破坏性放电(火花放电、闪络放电等)。

目 录

修订本前言

名词术语更改对照表

第一章 变压器试验基础知识	1
第一节 概述.....	1
第二节 试验程序和试验项目.....	3
(一) 主要部件的试验.....	4
(二) 变压器装配过程中的试验.....	7
第三节 试验标准.....	9
第四节 试验、测量的基础知识.....	17
(一) 电工测量仪表的分类和说明.....	17
(二) 电压的测量.....	18
(三) 电流的测量.....	24
(四) 功率的测量.....	29
(五) 电阻的测量.....	38
第二章 电压比试验	43
第一节 概述.....	43
(一) 双电压表法.....	44
(二) 交流电桥法.....	45
第二节 绕组匝数试验和等匝试验.....	45
(一) 绕组匝数试验.....	45
(二) 绕组并联支路的等匝试验.....	47
第三节 双电压表法电压比试验.....	50
(一) 绝缘装配后(插板)电压比试验.....	50
(二) 插板电压比故障的查找.....	53
(三) 器身和成品电压比试验.....	61

(四) 器身和成品电压比故障的查找	64
第四节 电桥法电压比试验	66
(一) 标准调压器式电压比电桥	66
(二) 标准调压器式电压比电桥的使用和故障查找	76
(三) QJ-35型电阻式电压比电桥的性能和原理	85
第三章 绕组联结组标号试验	90
第一节 概述	90
第二节 变压器联结组标号	90
(一) 变压器联结组标号的表示方法	90
(二) 决定变压器联结组标号的因素	93
(三) 变压器联结组标号的画法	95
第三节 联结组标号的试验方法	98
(一) 双电压表法	98
(二) 直流法	104
(三) 相位表法 (直接法)	105
(四) 电压比电桥法	106
第四章 绕组电阻试验	112
第一节 概述	112
第二节 测量方法	112
(一) 电压降法	112
(二) 电桥法	114
第三节 试验数据的分析	114
(一) 电阻测量和温度的关系	115
(二) 不同联结绕组的电阻测量	115
(三) 三相电阻不平衡的分析	116
第四节 缩短稳定时间的方法	118
(一) 缩短稳定时间的必要性	118
(二) 缩短稳定时间的方法	120
(三) 缩短稳定时间方法的应用	122

第五章 绝缘性能及变压器油试验	128
第一节 概述	128
第二节 绝缘电阻和吸收比试验	129
(一) 基本原理	129
(二) 影响绝缘电阻及吸收比的因素	131
(三) 测定方法	136
(四) 合格标准	139
第三节 介质损耗 ($\tan\delta\%$) 试验	139
(一) 基本原理	139
(二) $\tan\delta\%$ 测定	142
第四节 变压器油试验	145
(一) 变压器油电气强度试验	145
(二) 变压器油的介质损耗试验	147
第六章 外施耐压试验	152
第一节 概述	152
第二节 试验变压器的选择和使用	153
(一) 被试变压器的等值电路	153
(二) 电感-电容串联电路	154
(三) 试验变压器负载的性质	155
(四) 试验变压器的电压比、容量及其使用	157
第三节 外施耐压试验的基本线路及其元件的选择	161
(一) 可调的电源	162
(二) 球隙 Q	163
(三) 阻尼电阻 R_1	164
(四) 金属保护电阻 R_2	166
第四节 被试变压器连接方法	167
(一) 被试绕组和非被试绕组均不短路连接	167
(二) 被试绕组和非被试绕组均短路连接	167
(三) 正确连接	169

第五节 试验电压测量方法	169
(一) 球隙在试验中的应用	170
(二) 采用电容分压器测量高电压	174
第六节 试验操作注意事项	178
第七节 外施耐压试验几种现象的判断	179
(一) 仪表指示	179
(二) 放电或击穿的声音	180
第七章 感应耐压试验	183
第一节 概述	183
第二节 全绝缘变压器的感应耐压试验	183
第三节 分级绝缘变压器的感应耐压试验	185
(一) 试验要求和方法	186
(二) 单相变压器的试验	187
(三) 三结变压器的试验	193
(四) 单相自耦变压器的试验	198
(五) 三相自耦变压器的试验	200
(六) 非被试相励磁法	202
(七) 用感应的方法进行中性点耐压试验	207
第四节 有关感应耐压试验的其它问题	209
(一) 试验电源	210
(二) 电源负载的性质	210
(三) 中间变压器	211
(四) 支撑变压器	212
(五) 安全措施	212
(六) 试验中异常现象的防止	214
第五节 几种典型产品电压计算	215
第八章 空载试验	226
第一节 概述	226
第二节 空载试验的电源	229

(一) 空载试验电源的种类	229
(二) 空载试验的中间变压器	232
(三) 空载试验电源的容量	233
第三节 空载试验的测试方法	235
第四节 额定条件下的空载试验	239
第五节 在中间变压器一次侧测量空载数据的方法	244
第六节 非额定条件下的空载试验	246
(一) 电压三相不对称下的空载试验	246
(二) 空载试验时电压波形的校正	247
(三) 降低电压下的空载试验	250
(四) 非额定频率下的空载试验	251
(五) 三相变压器的单相空载试验	253
第七节 由铁心到成品空载试验实例	256
(一) 铁心空载试验	256
(二) 绝缘装配后的空载试验	260
(三) 成品空载试验	261
第八节 空载试验时发现的缺陷和事故分析	262
(一) 故障现象	263
(二) 以前的运行检修情况	264
(三) 对于故障的初步分析	264
(四) 探讨试验	265
(五) 小结	266
(六) 处理	267
第九章 负载试验	268
第一节 概述	268
第二节 额定条件下的负载试验	269
第三节 非额定条件下的负载试验	279
(一) 降低电流下的负载试验	279
(二) 三相变压器的单相负载试验	279
(三) 非额定频率下的负载试验	281

第四节 自耦变压器的负载试验	282
第五节 负载试验中的故障查找	289
(一) 试验情况	291
(二) 故障分析	293
(三) 探讨试验	294
(四) 处理	295
第十章 温升试验	297
第一节 概述	297
第二节 温升试验的方法	300
(一) 直接负载法	300
(二) 相互负载法	303
(三) 循环电流法	305
(四) 零序法	307
(五) 短路法	310
(六) 小结	312
第三节 温度测量	313
(一) 冷却介质温度的测量	313
(二) 油顶层温度的测量	314
(三) 铁心温度的测量	314
(四) 油平均温度的测量	314
(五) 绕组温度的测量	316
第四节 带电测量绕组温度	321
第五节 温升计算	326
(一) 额定条件下的温升计算	326
(二) 非额定条件下的温升计算	329
第六节 温升试验实例	331
(一) 确定试验方案	331
(二) 准备工作	333
(三) 试验过程	334
(四) 温升计算	337

第十一章 雷电冲击电压试验	339
第一节 概述.....	339
第二节 冲击电压发生器.....	339
(一) 冲击试验的电压波形	340
(二) 冲击电压发生器的一般原理及其简化计算	342
(三) 截波的产生	347
(四) 冲击电压发生器实例	349
第三节 冲击电压测量方法和测量仪器.....	359
(一) 球隙测量	360
(二) 高压试波器	360
(三) 分压器和冲击电压测量	364
(四) 冲击电压发生器和示波器的同步	371
第四节 变压器冲击试验.....	374
(一) 冲击试验方法	374
(二) 冲击示伤的原理和故障判断	379
(三) 冲击试验时的典型示伤波形	385
(四) 超声波示伤	388
(五) 冲击试验中应注意的几个问题	391
第十二章 操作冲击电压试验	394
第一节 概述.....	394
第二节 操作冲击电压波形.....	397
第三节 用冲击电压发生器作操作波试验.....	399
(一) 操作波电压发生器	399
(二) 操作波试验接线和方法	400
(三) 操作冲击波形计算及反向励磁	402
第四节 变压器低电压侧励磁的操作波试验.....	409
(一) 试验的原理接线	409
(二) 变压器高压侧操作波形的估算	411
第五节 变压器操作波试验的示伤.....	415

(一) 操作电压波形和电流波形	416
(二) 正常波形的特点	416
(三) 故障波形的特点	417
第十三章 局部放电试验	420
第一节 概述	420
第二节 局部放电的等值回路	423
第三节 基本测试回路	425
第四节 测试仪器	429
第五节 测试回路的校正	433
第六节 抗干扰措施	436
第七节 变压器局部放电试验	438
(一) 局部放电试验方法	439
(二) 变压器允许放电强度的考核	441
(三) 试验回路	442
(四) 局部放电的超声定位	444
第十四章 短路试验	446
第一节 概述	446
第二节 动、热稳定试验的标准及有关规定	448
(一) 短路电流的对称值	448
(二) 短路电流的峰值	449
(三) 对短路试验中电流的要求	450
(四) 最高平均温度的最大允许值	450
第三节 短路试验的方法	452
(一) 短路试验时变压器应具备的条件	452
(二) 双绕组变压器的短路试验	452
第四节 试验结果的判断	454
(一) 试验中的情况和示波图的分析	455
(二) 电气试验	455
(三) 外观检查与吊心检查	455

第十五章 零序阻抗试验	456
第一节 概述	456
第二节 零序阻抗的测量方法	457
(一) 有平衡安匝的零序阻抗试验	457
(二) 无平衡安匝的零序阻抗试验	459
第十六章 变压器声级测定	461
第一节 概述	461
第二节 噪声基础知识	461
(一) 噪声的定义	461
(二) 声学基本知识	461
第三节 测试仪器	467
第四节 试验方法	468
(一) 试验时变压器的运行条件和测量位置	468
(二) 设备噪声测量	470
(三) 背景噪声的测定	470
(四) 噪声试验对试验室的声学要求	471
(五) 试验结果计算	473
第五节 噪声试验实例	474
第十七章 特种变压器试验	481
第一节 概述	481
第二节 有载调压变压器试验	481
(一) 有载分接开关的工作原理、动作顺序和结构	481
(二) 有载分接开关试验	488
(三) 有载调压变压器试验	505
第三节 电炉变压器试验	521
(一) 电炉变压器试验	523
(二) 电炉变压器中电抗器的试验	526
第四节 试验变压器试验	527
(一) 试验变压器的结构特点	527

(二) 试验变压器的试验	529
第五节 移圈调压器试验	532
(一) 绕组套装后的试验	535
(二) 引线装配后的试验	536
(三) 总装配后的试验	537
附录	540
(一) 变压器产品型号标志	540
(二) 额定线电压、相电压、分接电压	542
(三) 球隙放电电压	544
(四) 三相变压器额定容量和额定电流	546