

变压器故障诊断与修理

赵家礼 等编著
张庆达



机械工业出版社

本书主要介绍常用变压器的各种故障产生原因、故障诊断与分析方法、现场运行维护和诊断处理经验以及修理实例。为了使广大读者在修理、运行过程中查阅资料方便,书中给出了常用变压器的技术数据和试验标准、修理质量标准等。

全书共分八章。主要内容有变压器结构与运行原理;绕组故障诊断与修理;铁心故障诊断与修理;变压器运行维护;变压器现场检修与安装;变压器修理计算以及变压器试验方法和试验标准等。

书中内容丰富实用、技术先进,适合广大从事变压器运行维护、修理改装的人员使用,也可供有关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变压器故障诊断与修理/赵家礼、张庆达等编著. —北京:
机械工业出版社, 1998. 9
ISBN 7-111-06533-6

I. 变… II. 赵… III. ①变压器-故障诊断②变压器-维修 N. TM407

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 16643 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 李振标 版式设计: 张世琴 责任校对: 申春香

封面设计: 姚毅 责任印制: 王国光

煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·37.5 印张·1268 千字

0 001—5000 册

定价: 58.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

随着我国电力事业的飞速发展，工矿企业电气化和用电量不断提高，各种变压器得到日益广泛的应用。变压器合理运行、维修改造任务日益增多，从事变压器运行维护和修理人员急需一本介绍有关常用变压器故障诊断与修理的参考书藉，为此特编写本书。

本书较系统地全面地介绍常用变压器故障产生原因、诊断与处理方法以及修理经验，并且介绍了大量的变压器故障处理实例。

为了广大读者在修理过程中查阅方便，本书还介绍了变压器试验标准、方法、修理质量标准以及常用变压器的技术数据。

全书共分八章，第一、二、三、七章由张庆达同志编写，其余章节由赵家礼同志编写，并负责全书统稿工作。参加本书编写人员还有赵捷、何青、赵健、王桂芝等人。

由于作者学识水平有限，书中有不妥之处，恳切希望广大读者给予批评指正。

编 者

1996年1月于北京

目 录

前言

第 1 章 变压器的结构及运行原理

第 1 节 概述	1	2. 结构特点	23
1. 变压器的用途	1	第 6 节 互感器的原理及结构特点	26
2. 变压器的分类	1	1. 电压互感器	26
第 2 节 电力变压器的运行原理及 结构特点	2	2. 电流互感器	27
1. 运行原理	2	第 7 节 调压器的原理与结构特点	28
2. 结构特点	2	1. 运行原理及分类	28
3. 性能参数	9	2. 结构特点	29
4. 低损耗油浸电力变压器	15	第 8 节 其他特种变压器结构特点	31
第 3 节 其他冷却方式电力变压器 的结构特点及运行原理	20	1. 交流弧焊变压器	31
1. 干式电力变压器	20	2. 电脱盐防爆变压器	33
2. 特种冷却方式电力变压器	21	3. 脉冲变压器	33
第 4 节 整流变压器的原理及结构	22	4. 铁路电气化用牵引变压器	34
1. 作用原理及分类	22	5. 电抗器	35
2. 结构特点	22	6. 试验变压器	37
3. 特殊型式整流变压器结构特点	22	第 9 节 变压器故障的综述及判断 程序	38
第 5 节 工业电炉变压器结构特点	23	1. 故障综述	39
1. 分类及用途	23	2. 故障的判断与检测	39

第 2 章 变压器绕组的故障与修理

第 1 节 概述	45	第 3 节 大中型三相油浸变压器绕组 故障	56
1. 绕组故障类别	45	1. 绕组绝缘电阻低、吸收比小故障	56
2. 绕组故障修复方法	45	2. 三相绕组的直流电阻不平衡故障	56
第 2 节 绕组的绝缘结构及绝缘材料	46	3. 绕组接地故障	58
1. 绕组结构的特点	46	4. 绕组局部放电故障	58
2. 影响绕组绝缘的因素	48	5. 一次一相绕组烧毁故障	61
3. 绕组绝缘结构及绝缘间隙 (距离)	48	6. 绕组击穿的故障及排除	62
4. 绝缘材料	55		

7. 变压器两相运行故障及排除·····	65	2. 饼式绕组的修整形及压紧·····	92
8. 绕组断路故障与修理·····	66	3. 圆筒式绕组套装操作工艺·····	93
9. 部分绕组反接或接线错误·····	68	4. 绕组的预烘、浸漆和干燥工艺程序·····	94
第4节 绕组短路故障与修理·····	71	第11节 整流及电炉变压器绕组 故障·····	95
1. 绕组短路故障现象·····	71	1. 110kV级直降式变压器绕组故障·····	96
2. 绕组短路故障类别·····	71	2. 整流、电炉变压器绕组及引线放电 故障·····	98
3. 各类短路故障的原因及修理·····	71	3. 整流变压器日常维护与监测·····	100
第5节 螺旋式绕组大修绕制工艺·····	75	4. 大容量电炉变压器绕组烧毁故障处理·····	100
1. 工艺准备及生产准备·····	75	5. 整流变压器改接线后同名端及联结 组别的测定·····	103
2. 工艺操作过程·····	76	6. 整流变压器产生直流偏磁故障·····	104
3. 工艺要求及注意事项·····	78	7. 大容量整流变压器同相逆并联接线·····	104
4. 提高螺旋式绕组绕制质量的新措施·····	78	第12节 互感器绕组故障与修理·····	105
第6节 连续式绕组重绕工艺·····	79	1. 故障类别·····	105
1. 适用范围·····	79	2. 故障现象·····	105
2. 绕制准备·····	79	3. 故障原因及修理措施·····	105
3. 绕制过程·····	79	4. 互感器几种联结方式·····	110
4. 绕制要求及注意事项·····	82	5. 互感器更换二次绕组专用吊具·····	113
第7节 纠结式绕组重绕工艺·····	83	第13节 其他特种变压器绕组故障·····	114
1. 纠结式绕组的换位·····	83	1. 弧焊变压器故障·····	114
2. 纠结式绕组重绕操作工艺·····	84	2. 电抗器故障·····	116
3. 如何看懂和熟悉纠结式绕组施工图·····	85	3. 调压器绕组等电气故障·····	117
4. 连位与换位不换位纠结式绕组 绕制特点·····	85	4. 小型控制变压器绕组等电气故障·····	119
第8节 内屏蔽式绕组的结构特点 及重绕工艺·····	87	第14节 箔式绕组的结构及绕制 工艺·····	122
1. 结构特点·····	87	1. 箔式绕组结构·····	122
2. 绕制工艺·····	87	2. 绕制工艺·····	123
第9节 绕组出头线及引线的焊接·····	89	3. 箔式绕组绕线机结构性能·····	124
1. 常用的几种焊接方法·····	89	4. 箔式绕组在高阻抗变压器上应用·····	125
2. 绕组接头铝-铜连接·····	89	5. 铜箔式绕组采用新型层间绝缘的工艺 及效果·····	126
3. 铝-铝导线的氩弧焊工艺·····	91		
第10节 绕组修整形、压紧、干燥 和浸烘·····	92		
1. 工艺适用范围·····	92		

第3章 变压器铁心故障与修理

第1节 铁心材料及绝缘要求·····	127	1. 铁心多点接地类型·····	131
1. 电工硅钢薄钢板的分类及性能·····	127	2. 多点接地时出现的异常现象·····	132
2. 电工硅钢片质量及绝缘·····	129	3. 多点接地产生的原因·····	132
3. 非晶态铁心磁性材料·····	129	4. 多点接地故障的检测·····	132
第2节 变压器铁心的正常接地·····	130	5. 多点接地故障的排除·····	132
1. 一点接地的作用·····	130	第4节 变压器铁心过热故障及 修理·····	134
2. 正常接地的具体做法·····	131	1. 铁心局部短路过热·····	134
第3节 铁心多点接地故障与处理·····	131		

2. 铁心接地不良故障及修理	134	1. 铁心叠装的两种形式	149
3. 铁心片间短路	135	2. 适用范围	149
4. 铁轭螺杆接地	136	3. 工艺准备	149
5. 铁心冷却油道堵塞引起铁心过热	136	4. 工艺操作过程	150
6. 绕组短路引起铁心过热故障	136	5. 小型变压器铁心不叠上轭叠装装置	152
7. 电源电压高铁心发热故障	137	第 8 节 铁心夹紧及绑扎工艺	153
8. 叠片周边毛刺大, 叠铁心片时缝隙不均, 造成铁心过热	137	1. 适用范围	153
第 5 节 局部更换烧损铁心的修理	138	2. 工艺准备	153
1. 故障现象	138	3. 工艺过程	154
2. 铁心烧损程度及原因分析	138	第 9 节 变压器铁心夹紧件	157
3. 修理方法	138	1. 全斜接缝铁心夹紧件种类	157
第 6 节 变压器铁心用硅钢片的加工	139	2. 夹紧件加工和焊装	157
1. 送试硅钢片试样的剪切工艺程序	139	第 10 节 卷铁心结构及卷绕工艺	160
2. 硅钢片开卷工艺的内容及要求	139	1. 结构特点	160
3. 铁心硅钢片斜剪工艺的内容及要求	140	2. 结构形式及应用范围	161
4. 小型单、三相变压器铁心片加工	141	3. 卷铁心磁路特点	161
5. 纵、横剪线设备及其对叠片质量的影响	144	4. 卷铁心所用材料	161
第 7 节 铁心叠装工艺	149	5. 卷铁心的卷绕工艺	161
		6. 卷铁心的热处理	162
		7. 卷铁心的绑扎和夹紧	163

第 4 章 变压器的运行及维护

第 1 节 电力变压器的投运及维护	164	1. 发现下列事故, 变压器要立即停运	178
1. 电力变压器投运前的检查	164	2. 发现下列情况, 应及时汇报和记录	178
2. 变压器试投运	164	3. 变压器油温升高, 超过允许限度	178
3. 变压器投入运行时的操作	164	4. 断路器跳闸的检查及处理	179
4. 变压器运行检查	165	5. 气体继电器动作的处理	179
5. 气体继电器的运行检查	165	6. 变压器着火的处理	179
6. 变压器分接开关投入前的检查	165	第 5 节 电炉变压器试运行	179
第 2 节 有载分接开关运行维护	166	1. 对电炉变压器的要求	179
1. 有载分接开关的工作原理及结构	166	2. 投运前对变压器的外观检查	180
2. 有载分接开关的传动机构及控制线路	168	3. 电炉变压器的试运行	181
3. 运行监视	171	第 6 节 电炉变压器的允许运行方式	181
4. 有载分接开关的运行维护	171	1. 正常运行方式	181
5. 分接开关运行中异常现象的检查和处理	172	2. 允许过载运行方式	181
第 3 节 电力变压器允许运行方式	173	3. 机械冷却的电炉变压器运行方式	181
1. 额定运行方式	173	第 7 节 电炉变压器正常运行方式	182
2. 变压器允许绝缘电阻值	173	1. 电炉变压器送电前的检查	182
3. 允许过负载运行方式	173	2. 电炉变压器停、送电操作程序应符合制造厂规定, 并遵守下列各项要求	182
第 4 节 电力变压器的异常运行及事故处理	178	3. 电炉变压器运行维护检查	182
		4. 对电炉变压器绕组及电抗器绕组绝缘的	

监视要求	183	3. 两台容量不相同的变压器并联运行	195
5. 气体继电器的运行要求	183	4. 多台变压器并联运行时负载分配计算	195
6. 电炉变压器绝缘油的运行要求	183	5. 多台变压器并联运行负载分配几种特例	196
第 8 节 电炉变压器的异常运行和事故处理	183	6. 阻抗电压百分值调整方法	198
1. 发生下列情况之一者, 应立即停运	183	第 12 节 变压器并联运行容量比的要求	200
2. 发生下列情况之一者, 应立即向上级报告, 严密监视, 尽快处理	183	1. 变压器容量比	200
3. 电炉变压器自动跳闸的处理	183	2. 并联变压器最佳台数的确定	203
4. 电炉变压器着火的处理	184	第 13 节 绕组的极性与联结	205
第 9 节 变压器并联运行的必要性及并联运行条件	184	1. 绕组的绕向及出线端标志	205
1. 变压器并联运行的必要性	184	2. 绕组的极性	205
2. 变压器并联运行条件	184	3. 三相绕组的联结	207
第 10 节 变压器并联运行一、二次额定电压的要求	185	第 14 节 三相变压器绕组联结组别的构成	210
1. 概述	185	1. 概述	210
2. 变压器绕组电压不同时的循环电流	185	2. 变压器不同联结组别并联运行所产生的循环电流计算	213
3. 电压不同的变压器并联运行时产生循环电流的实例	187	3. 改变变压器联结组别的方法	215
4. 计算变压器绕组中循环电流另一种表示方法	188	第 15 节 变压器经济运行	217
5. 变压器绕组匝数现场确定法	188	1. 变压器损耗	217
6. 确定变压器绕组匝数的实例	190	2. 按最佳负载率选用变压器	218
7. 利用分接抽头匝数确定绕组匝数法	192	3. 按负载性质选择不同损耗比的变压器	219
第 11 节 变压器并联运行阻抗电压的要求	194	4. 考虑全日效率 η_d 的经济运行	219
1. 概述	194	5. 调整变压器台数的经济运行	220
2. 容量相同两台变压器并联运行	194	6. 多台变压器并联运行的最佳台数确定	220
		7. 考虑初投资时变压器的经济运行	221
		8. 电弧炉用变压器的经济运行	222
		9. 变压器经济运行综合措施	223

第 5 章 变压器现场检修

第 1 节 变压器检修目的、周期和项目	225	6. 变压器引线选择及绝缘距离的确定	228
1. 变压器检修目的	225	7. 铁心检修	230
2. 变压器检修周期	225	8. 储油柜的检修	234
3. 变压器小修项目	225	9. 吸湿器的检修	236
4. 变压器吊心大修项目	225	10. 净油器的检修	237
5. 故障变压器的检修项目	225	11. 油位计的检修	238
第 2 节 变压器吊心检修	226	12. 温度计的检修	240
1. 吊心前的准备	226	13. 安全气道(喷油管及压力释放阀)的检修	241
2. 吊心拆卸步骤	226	14. 气体继电器的检修	243
3. 吊心注意事项	227	15. 变压器冷却装置及检修	246
4. 吊心时轻度受潮的处理问题	227	16. 绝缘瓷套管的检修	256
5. 绕组检查及绝缘老化状态诊断	227	17. 调压开关检修	266

第3节 变压器现场检修典型	
实例	271
1. 变压器铭牌数据	271
2. 现场检修项目和验收制度	271
3. 检修准备工作	272
4. 变压器拆前检查和试验	272
5. 变压器外部零部件拆装与 检修	272
6. 冷却装置检修	275
7. 箱盖、油箱、油门检修	275
8. 吊心检修	276
9. 器身现场干燥	277
10. 变压器充氮保护措施	277
11. 试验项目及标准要求	278
第4节 变压器渗漏油的原因及 消除	279
1. 变压器渗漏油的原因及分布点	279
2. 密封件渗漏油的原因分析及消除	279
3. 焊接处渗漏油的原因及消除办法	280
4. 螺栓或管子扣渗漏油的原因及消除 办法	280
5. 铸铁件渗漏油的原因分析及消除 办法	280
6. 法兰连接渗漏油的原因分析及消除 办法	281
7. 阀杆与填料函处密封方法	281
8. 厌氧胶密封工艺	281
9. 散热器渗漏油的原因分析及消除办法	281
10. 隔膜式储油柜法兰渗漏油的原因分析 及消除办法	281
第5节 变压器渗漏油故障处理 实例	281
1. 渗漏油情况调查和原因分析	281
2. 散热器渗漏油的处理	282
3. 安全气道的检修和改进	284
4. 箱盖渗漏油的处理	284
5. 加装油封吸湿器	284
6. 放油门和储油柜的改进	285
第6节 变压器用绝缘件加工工艺 要点	286
1. 绝缘件加工工艺要求	286
2. 撑条和燕尾垫块配制工艺要点	287
3. 铁轭绝缘配制要点	287
4. 斜绝缘端圈配制工艺要点	287
5. 绝缘纸板层压件热压工艺要点	288
6. 绝缘纸筒配制工艺要点	288
7. 木零件加工工艺要点	289
第7节 变压器修配零部件质量检查 标准	290
1. 重绕线圈质量检查标准	290
2. 圆筒式线圈绕制质量检查	290
3. 连续式、螺旋式线圈绕制质量检查	290
4. 绕组整型后质量检查标准	290
5. 配制绝缘件的质量标准	290
6. 夹件与夹件焊装质量检查标准	291
7. 器身装配质量标准	291
8. 引线装配质量标准	291
9. 导电杆组件装配质量标准	291
10. 器身吊入油箱的质量检查标准	291
11. 硅钢片冲剪质量检查标准	292
12. 重叠铁心时的质量检查标准	292
13. 配制油箱及附件的质量标准	292
14. 其他零部件质量标准	294
第8节 劣化变压器油现场处理	294
1. 变压器油的劣化	294
2. 变压器油劣化的判断	295
3. 劣化变压器油的处理	296
4. 混油的问题	298
第9节 采用气相色谱分析法判断 故障	298
1. 概述	298
2. 气相色谱分析试验结果判断	300
3. 利用三比值法判断变压器故障实例	301
4. 防止气相油色谱分析的误判断	302
5. 综合判断变压器内部故障实例	303
第10节 变压器的现场干燥	304
1. 变压器受潮的可能性	304
2. 变压器在下列情况下必须进行干燥	304
3. 变压器在下列情况下可不经干燥	304
4. 变压器有以下情况时, 要进行轻度 干燥	304
5. 变压器干燥的基本条件	304
6. 油箱铁损真空干燥法	305
7. 绕组铜损干燥法	307
8. 零序电流干燥法	308
9. 真空热油雾化喷淋干燥法	309
10. 烘干实例	310
11. 零序短路干燥法	311

第 11 节 利用旧变压器油箱制做真空干燥炉实例	313	3. 真空干燥炉电气线路工作原理	315
1. 结构概况	313	4. 电加热器计算	316
2. 真空干燥炉使用原理	315	5. W3 型真空泵的操作和维修	317

第 6 章 变压器修理计算

第 1 节 油浸电力变压器计算	319	9. 绕组铜重 G_{Cu} 计算	369
1. 基本参数的确定	319	10. 空载损耗 P_0 计算	369
2. 基本参数的换算	319	11. 温升计算	369
3. 铁心计算	320	12. 油箱尺寸计算	369
4. 绕组计算	333	13. 油顶层温升计算	370
5. 阻抗电压计算	344	14. 变压器重量计算	370
6. 主绝缘的绝缘距离选择	347	第 3 节 干式变压器计算	370
7. 铁心重量计算	348	1. 干式变压器特点	370
8. 空载损耗计算	348	2. 干式变压器特殊技术要求	371
9. 空载电流计算	348	3. 基本参数及性能指标	371
10. 油箱尺寸计算	348	4. 铁心计算	371
11. 附加损耗计算	349	5. 绕组的计算	372
12. 变压器温升计算	351	6. 短路损耗计算	375
13. 油箱有效散热面积计算	355	7. 阻抗电压计算	376
14. 油对空气的温升	357	8. 损耗计算	377
15. 变压器重量计算	359	9. 温升计算	378
第 2 节 油浸式电力变压器修理计算实例	362	10. 变压器重量计算	379
实例 1 500kVA 电力变压器计算	362	第 4 节 800kVA 干式变压器修理计算实例	379
1. 基本参数确定	362	1. 基本参数	379
2. 电压、电流计算	362	2. 性能参数	379
3. 铁心直径及绕组匝数计算	362	3. 铁心计算	380
4. 绕组结构设计	362	4. 绕组计算	380
5. 阻抗电压 u_K 计算	363	5. 线圈结构选择	380
6. 温升计算	364	6. 阻抗电压计算	381
7. 空载损耗 P_0 及线圈铜重计算	364	7. 铁损耗 P_0 计算	381
8. 油箱外形尺寸计算	365	8. 空载电流计算	382
9. 油顶层温升计算	365	9. 绕组负载损耗计算	382
10. 变压器重量计算	366	10. 绕组温升计算	382
实例 2 2000kVA 电力变压器计算	366	11. 铁心温升计算	383
1. 技术参数和标准	366	第 5 节 电炉变压器计算特点	384
2. 电压、电流计算	366	1. 对电炉变压器的技术要求	384
3. 铁心计算	366	2. 电炉变压器的选用	384
4. 绕组匝数计算	367	3. 高低压绕组平衡组的确定	385
5. 线圈尺寸计算	367	4. 交错式绕组绝缘的选择	385
6. 绕组结构尺寸确定	367	5. 交错式绕组阻抗电压计算	386
7. 负载损耗计算	367	6. 损耗计算	388
8. 阻抗电压计算	369	7. 温升计算	389

8. 引线电抗计算	389	第 8 节 变压器修理计算实例	412
9. 引线附加损耗计算	390	1. 变压器容量估算法	412
10. 交错式绕组机械力的计算	391	2. 变压器改电压计算	412
11. 铁心电抗器计算	392	3. 变压器增容计算	414
12. 低压绕组引出铜排的选择	393	4. 简易重绕计算	418
13. 铜排开孔尺寸选择	393	第 9 节 变压器节能改造	421
14. 铜排的布置	394	1. 我国中小型变压器主要产品系列	421
第 6 节 整流变压器计算及其实例	396	2. 老系列变压器改造的必要性	440
1. 整流变压器的特点	396	3. 变压器损耗的产生及降低措施	440
2. 计算整流变压器所需的原始数据	396	4. 几种常见的改造变压器方案和实例	441
3. 整流变压器参数计算	396	5. 对某公司现用变压器调查及改造实例	443
4. 整流变压器修理计算实例	397	6. 老系列铝线变压器增容改造的判断	446
第 7 节 小型变压器计算	402	7. 更换铁心改造法	447
1. 小型单相变压器计算	402	8. 确定绕组匝数的试验法	451
2. 小型三相变压器计算	408		

第 7 章 变压器安装及现场故障修理

第 1 节 现场环境及条件	453	第 6 节 安装后变压器绝缘判断测试 及干燥处理	467
1. 对现场环境和条件的了解	453	1. 变压器绝缘特性的判断与测试	467
2. 对现场故障抢修的要求	453	2. 安装运行过程中绝缘状况的检测与 分析	468
3. 现场安装及故障处理人员必备条件	454	3. 安装中变压器的干燥	469
4. 掌握变压器异常现象的现场分析和 判断规律	454	第 7 节 变压器安装中出现的缺陷 及排除	470
第 2 节 大中型变压器安装的程序及 内容	455	1. 注油时空气未排净的缺陷	470
1. 安装程序	455	2. 分接开关运输、安装中产生缺陷及 排除	470
2. 安装内容	456	3. 一、二次套管安装中出现的缺陷及 排除	472
3. 安装质量要求	456	4. 安装过程中引起渗漏油缺陷及排除	473
第 3 节 变压器安装质量要求	456	第 8 节 安装收尾交接验收及试 运行	476
1. 电力、电炉及整流变压器安装质量 要求	457	1. 安装收尾工作	476
2. 互感器的安装质量要求	458	2. 交接验收的内容及要求	476
3. 干式无铁心电抗器的安装质量要求	458	3. 安装后变压器的试运行	477
第 4 节 变压器的安装	459	4. 试运行过程的检验项目及内容	478
1. 变压器运输、拆装、吊卸车要领及 注意事项	459	第 9 节 变压器故障现场处理	478
2. 变压器安装	460	1. 变压器油现场过滤、脱气及净化实例	478
第 5 节 高压互感器的安装	465	2. 高压互感器劣化油的现场处理	479
1. 安装前的检查	465	3. 强油循环冷却变压器进气故障处理 实例	480
2. 安装过程及注意事项	466	4. 现场局部更换大型电力变压器绕组短路 线匝实例	480
3. 接线	466		
4. 安装后的电气测试	466		
5. 安装质量要求及收尾	466		
6. 高压互感器 $\text{tg}\delta$ 现场测量法	466		

5. 有载分接开关故障现场修理实例	481
-------------------------	-----

第 8 章 变压器修理试验

第 1 节 变压器修理试验的目的、项目及检修周期	486	24. 试验变压器温升限值	501
1. 预防性试验和交接时的试验目的	486	25. 绝缘油的绝缘电阻测定	501
2. 变压器重绕线圈的试验目的	486	26. 层间耐压试验标准	501
3. 验证变压器技术指标和性能	486	27. 电压比试验标准	501
4. 变压器运行检修试验项目及检修周期	486	28. 三相变压器联结组别及单相变压器的 极性测定	501
第 2 节 变压器修理试验项目	494	29. 空载试验和短路试验	501
1. 变压器零部件试验项目	494	30. 额定电压下的冲击合闸试验	502
2. 器身入箱内之前的试验项目	494	第 4 节 变压器外观检查	502
3. 变压器出厂试验项目	494	1. 器身外观检查	502
4. 全部或局部更换线圈时出厂试验项目	494	2. 箱体及各附件的外观检查	502
第 3 节 变压器修理试验标准	495	第 5 节 绝缘电阻和吸收比试验	502
1. 线圈绝缘电阻和吸收比试验标准	495	1. 测试目的	502
2. 介质损耗角试验标准	496	2. 测试绝缘电阻和吸收比的方法	502
3. 泄漏电流试验标准	497	3. 测试绝缘电阻和吸收比的部位和顺序	503
4. 工频耐压试验标准	497	4. 吸收比试验	503
5. 穿心螺栓及铁轭绝缘试验标准	498	5. 铁心和铁轭螺杆以及夹件的绝缘 电阻测试	503
6. 直流电阻试验标准	498	6. 测试时的注意事项	503
7. 感应高压试验电压标准	498	第 6 节 变压器组装前主要零部件 的检查试验	503
8. 变压器油的电气强度试验标准	498	1. 分接开关检查试验	503
9. 油中溶解气体的正常值和注意值	498	2. 套管检查试验	504
10. 变压器油的介质损耗角试验标准	498	3. 散热器和油箱密封试验	504
11. 套管介质损耗角试验标准	499	4. 线圈检查试验	505
12. 绝缘套管和绝缘子外施高压试验 电压标准	499	5. 铁心检查试验	505
13. 正常绝缘变压器冲击试验电压标准	499	第 7 节 变压器油试验	505
14. 油浸变压器的温升限值	499	1. 概述	505
15. 突发短路试验标准	500	2. 取油样的要求	505
16. 变压器额定性能数据允许偏差	500	3. 变压器油电气强度试验	506
17. 干式变压器各部位的允许温升	500	4. 简化试验	507
18. 热带型油浸变压器温升标准限值	500	5. 全分析试验	507
19. 单绕组带气隙铁心电抗器的额定 性能数据允许偏差	500	6. 介质损耗角的测定	507
20. 电炉变压器的额定性能数据的允许 偏差	500	7. 混油试验	507
21. 整流变压器的低压绕组及辅助装置（平 衡电抗器、阳极分流器）的外施耐压 试验电压标准	500	8. 介质损耗角试验标准	507
22. 整流变压器各部位的温升限值	501	第 8 节 介质损耗角测量	508
23. 试验变压器高压绕组感应耐压试验 标准	501	1. 测量要求及测量部位	508
		2. $\text{tg}\delta$ 测量方法	508
		3. 被试变压器的 $\text{tg}\delta$ 和电容 C_x 计算	509
		4. 试验时的注意事项	509
		第 9 节 变压器泄漏电流试验	509

1. 接线方法	509	8. 低压侧非被试相励磁法	543
2. 操作方法	509	9. 试验注意事项及合格条件	544
3. 试验时的注意事项	511	第 16 节 变压器短路试验	544
第 10 节 变压器绕组的直流电阻		1. 试验方法及试验目的	544
测量	511	2. 试验线路和仪表选择	544
1. 测量的目的	511	3. 额定条件下的短路试验	545
2. 测量方法	511	4. 短路试验时所需电源设备容量	545
3. 操作注意事项	512	5. 降低电流的短路试验	546
4. 测量结果的判断	512	6. 三相变压器的单相电源短路试验	546
5. 直流电阻的换算	513	7. 非额定频率试验时的校正	546
第 11 节 电压比测试	515	8. 线圈电阻损耗计算	547
1. 测试电压比的目的及其允许偏差	515	第 17 节 突发短路试验	548
2. 试验方法	515	1. 概述	548
3. 试验示例	518	2. 突发短路电磁力造成绕组损坏分析	548
第 12 节 变压器绕组联结组别试验	518	3. 试验方法	549
1. 变压器联结组标号	518	4. 突发短路试验结果判断	549
2. 决定变压器联结组别标号的三个因素	519	第 18 节 变压器温升试验	550
3. 联结组标号的试验方法	519	1. 试验目的和有关规定	550
第 13 节 外施耐压试验	530	2. 变压器温升试验方法	550
1. 概述	530	3. 温度测量方法和有关规定	551
2. 试验变压器容量的估算	530	4. 温升计算与校正	552
3. 被试变压器的电容的确定	530	第 19 节 特种变压器修理试验特点	553
4. 外施耐压试验接线图	531	1. 电炉变压器修理试验特点	553
5. 试验电压的测量	531	2. 试验变压器修理试验特点	554
6. 试验操作时的注意事项	532	3. 整流变压器修理试验特点	555
第 14 节 空载试验	533	4. 移圈调压器修理试验特点	556
1. 试验目的	533	5. 有载分接开关的试验	557
2. 空载试验线路联结方法	533	附录 常用变压器技术数据	560
3. 对试验电源的要求	534	附表 1 BK 系列单相控制变压器技术数据	560
4. 额定条件下的空载试验	534	附表 2 BX1 系列弧焊机变压器绕组数据	562
5. 非额定条件下的空载试验	535	附表 3 BX2 系列弧焊机变压器绕组数据	562
6. 三相变压器采用单相电源做空载试验	536	附表 4 BX3 系列弧焊机变压器绕组数据	563
第 15 节 感应高压试验	539	附表 5 ZXG 系列直流焊机变压器技术	
1. 试验目的	539	数据	564
2. 试验电源频率与试验时间的要求	540	附表 6 SKL-100~1000/10 型干式电力变压	
3. 试验电源容量的估算	540	器技术数据	565
4. 试验电源接线图	541	附表 7 SJL 系列电力变压器技术数据	566
5. 全绝缘变压器感应耐压试验	541	附表 8 SJL1 系列电力变压器技术数据	570
6. 分级绝缘变压器感应高压试验	541	附表 9 SJ1 系列电力变压器技术数据	578
7. 励磁法的选择	542	附表 10 SJ6 系列电力变压器技术数据	584

第 1 章 变压器的结构及运行原理

第 1 节 概 述

1. 变压器的用途

变压器是借助于电磁感应,以相同的频率,在两个或更多的绕组之间变换电压或电流的一种静止电气设备。

从电厂发出的电能,要经过很长的输电线路输送给远方的用户(如工厂、矿山、医院、学校、农林牧业场所等),为了减少输电线路上的电能损耗,必须采用高压或超高压输送。而目前一般发电厂发出的电压,由于受绝缘水平的限制,电压不能太高,这就要经过变压器将电厂发出的电能电压进行升高送到电力网。这种变压器统称升压电力变压器。

对各用户来说,各种用电设备所要求的电压又不太高,也要经过变压器,将电力系统的高电压变成符合用户各种电气设备要求的额定电压,作为这种用途的变压器统称降压电力变压器。

由上述可知,电力变压器是电力系统中,用以改变电压的主要电气设备。

再从电力系统的角度来看,一个电力网将许多发电厂和用户联在一起,分成主系统和若干个分系统。各个分系统的电压并不一定相同,而主系统必须是统一的一种电压等级,这也需要各种规格和容量的变压器来联接各个系统。所以说电力变压器是电力系统中不可缺少的一种电气设备。

其他类型的变压器,如整流变压器、电炉变压器、各类调压器、互感器、电抗器等,虽然结构形式各有所异,其具体作用也有所不同,但其宏观用途仍是用以变换电压或电流的。

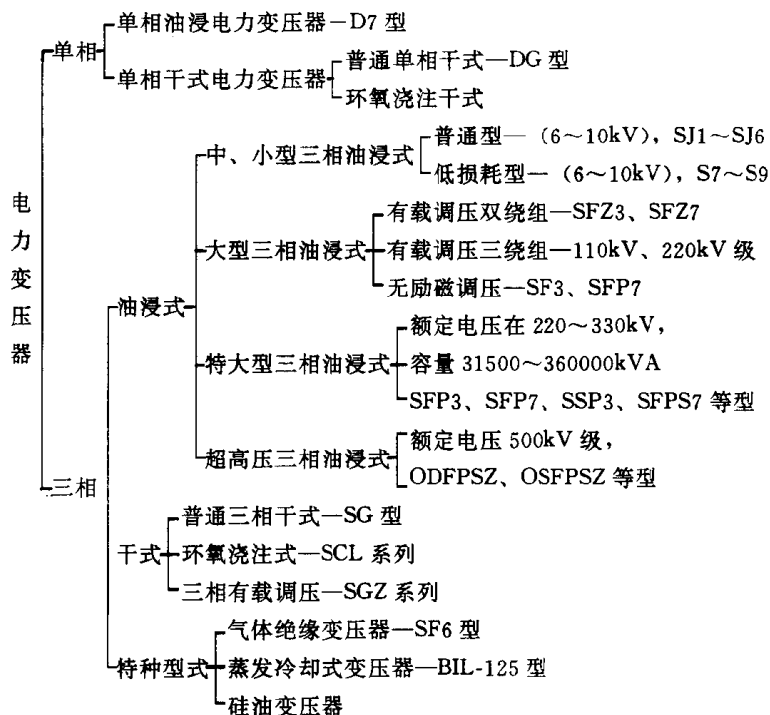
2. 变压器的分类

变压器有不同的使用条件、安装场所,有不同电压等级和容量级别,有不同的结构形式和冷却方式,所以应按不同原则进行分类。变压器分类方法见表 1-1。

(1) 按电源输出相数分

- 1) 单相变压器;
- 2) 三相变压器;

表 1-1 电力变压器分类



- 3) 多相变压器。
 - (2) 按冷却方式分
 - 1) 干式(自冷)变压器;
 - 2) 油浸自冷变压器;
 - 3) 油浸水冷或风冷变压器;
 - 4) 氟化物(蒸发冷却)变压器。
 - (3) 按绕组结构分
 - 1) 单绕组变压器;
 - 2) 双绕组变压器;
 - 3) 三绕组变压器;
 - 4) 多绕组变压器;
 - (4) 按铁心结构分
 - 1) 心式铁心变压器;
 - 2) 壳式铁心变压器;
 - 3) C型、T型及环形铁心变压器。
 - (5) 按防潮方式分
 - 1) 开启式变压器;
 - 2) 密封式变压器;
 - 3) 全密封式变压器。
 - (6) 按用途分
 - 1) 电力变压器;
 - 2) 电炉变压器;
 - 3) 整流变压器;
 - 4) 调压变压器;
 - 5) 各种小型电源变压器;
 - 6) 各种特殊用途变压器,如试验变压器、焊接变压器等。
 - (7) 按调压方式分
 可分为无载调压变压器及有载调压变压器两类。
 - (8) 按中心点绝缘分
 可分为全绝缘变压器及半绝缘变压器。

第2节 电力变压器的运行原理及结构特点

1. 运行原理

不论是单相还是三相电力变压器,在其磁路构成的铁心柱上,分别装有一次绕组及二次绕组。通常将接于电源侧的绕组称为一次绕组,将负载侧的绕组称为二次绕组。根据电磁感应定律,当变压器一次绕组接入电源时,交流电源电压就在一次绕组中产生一个励磁电流,励磁电流在铁心中感应出变化的磁通,称为主磁通。主磁通以铁心为闭合回路,既穿过一次绕组又穿过二次绕组。于是,就在二次绕组中感应出交变电动势。如果二次绕组输出端接入负载,就会在负载中流过交流电流。

根据电磁感应原理,变压器一、二次绕组中产生的感应电动势分别为

$$E_1 = 4.44f_1 N_1 B_m S \times 10^{-4}$$

$$E_2 = 4.44f_1 N_2 B_m S \times 10^{-4}$$

式中 B_m ——铁心中最大的磁通密度, T;

S ——铁心截面积, cm^2 ;

f ——电源频率, Hz 工频频率为 50Hz;

N_1 ——一次绕组匝数, 匝;

N_2 ——二次绕组匝数, 匝。

由上式相比得

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

由此可见变压器一、二次电动势之比等于一、二次绕组匝数之比。由于变压器绕组有阻抗,即一次电压 U_1 略大于 E_1 ,而二次电压 U_2 略小于 E_2 。如忽略阻抗压降,

则

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

这个关系式说明变压器一、二次电压之比近似等于一、二次绕组匝数之比。这个比值称为变压器的电压比。

变压器通过电磁耦合关系,将一次侧的电能传输到二次侧去,如忽略漏磁因素,即变压器本身损耗忽略不计,那么,向变压器输入的功率就等于变压器向负载输出的功率,即

$$U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1 \text{ 或 } I_1/I_2 = U_2/U_1$$

所以

$$I_1/I_2 = N_2/N_1$$

说明变压器一、二次电流与一、二次绕组匝数成反比。

实际上变压器在运行中有铁损、铜损等损耗产生,正因为如此变压器在运行中就会产生热量。

2. 结构特点

三相油浸电力变压器,由三相一、二次绕组,铁心,油箱,底座,高低压套管,引线,散热器(或冷却器),净油器,储油柜,气体继电器,安全气道,分接开关,温度计等组件和附件所构成。其各部分结构特点分述如下。

(1) 铁心及夹件

电力变压器铁心系由硅钢片(带)经剪切成为一定尺寸的铁心片,按一定叠压系数叠压而成。对于老式变

压器(如SJ系列等)铁心要经穿心螺杆紧固,外加铁或木制夹件夹紧;对于S7~S9系列中小型及其他大型低损耗变压器,其铁心为全斜接缝铁心,铁心片叠成心柱后,不用穿心螺杆紧固,而采用无纬玻璃丝带绑

扎;再经金属夹件夹紧。图1-1是电力变压器铁心片叠积图。其中图1-1a是老型号铁心片叠积图,图1-1b为低损耗全斜接不断轭铁心片叠积图,图1-1c为低损耗全斜接断轭铁心片叠积图。

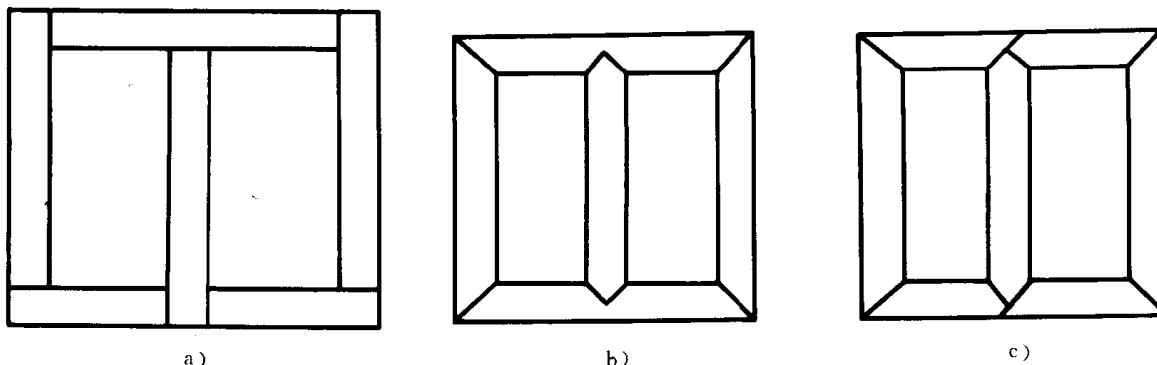


图1-1 电力变压器铁心片叠积图

a) 老型号铁心片叠积图 b) 低损耗全斜接不断轭铁心片叠积图 c) 低损耗全斜接断轭铁心片叠积图

(2) 绕组分类

三相电力变压器绕组是由一次绕组、二次绕组、对地绝缘层(主绝缘)、一、二次绕组之间绝缘及由燕尾垫块、撑条构成的油道(油浸式变压器)或气道(干式变压器)与高压和低压引线构成。

不同容量及电压等级的电力变压器,其绕组型式结构不一样。一般分类见表1-2。对于层式绕组类的箔式绕组,目前仅在S8及S9系列低损耗电力变压器中采用;而饼式绕组类的内屏蔽式绕组也只有110kV及以上高电压大型、特大型变压器中采用。一般电力变压器中常采用圆筒式、连续式、纠结式、螺旋式及交错式五种绕组。

表1-2 电力变压器绕组型式

绕组型式	
层式绕组	圆筒式—单层圆筒式、双层圆筒式、多层圆筒式和分段圆筒式
	箔式—一般箔式、分段箔式
连续式绕组	连续式—一般连续式、半连续式
	纠结式—纠结连续式、普通纠结式和插花纠结式
	内屏蔽式—也叫内屏蔽连续式
饼式绕组	螺旋式—单螺旋式、双螺旋式、三螺旋式及四螺旋式
	交错式—由连续式螺旋式线段交错排列而成

关于高低压绕组安装位置,因高压绕组都是用较细的导线绕成匝数较多的绕组,为便于抽头和引出,通常将高压绕组放在外侧,作为一次绕组;低压绕组则放在靠近铁心的里侧,由于电压低和铁心间的对地绝缘好布置。当然,大型三相电力变压器则大多相反,即低压绕组在外侧,高压绕组在里层。

1) 圆筒式绕组 圆筒式绕组有单层、双层及多层绕制成形的结构,单只线圈的层数是由按轴向紧密排列的线匝组成,而线匝通常由一根或几根并联导线齐绕,层间连线用过渡线,不用焊接。圆筒式绕组多用在3~35kV电压级、250~630kVA电力变压器高压绕组中,而低压绕组很少用。大容量的也有用圆筒式绕组结构的,并且绕组外形截面缠绕成梯形。圆筒式绕组层间绝缘较厚,机械强度差,冷却效果也差。图1-2为带静电屏的高压多层圆筒式绕组结构及施工图。

2) 连续式绕组 连续式绕组是由若干带段间油道的线段组成,沿轴向分布,线段之间不用焊接,线段的线匝按螺旋方向逐一平绕而成。这种绕组一般用在高压绕组中。图1-3是中压连续式绕组结构及施工图。

3) 纠结式绕组 该类绕组是最好的绕组结构形式,一般500kVA以上的三相电力变压器高压绕组都采用此种型式,它抗冲击绝缘强度高。此类绕组线匝和线段导线做成纠结式,从而增大它们之间的纵向电容,以此平衡绕组的电气冲击作用,降低相邻线段之间的电压,故各线段可不用屏蔽线和附加绝缘。

纠结式绕组由纠结线饼组成,全部用纠结线饼的,称全纠结式绕组,一般用于220kV及以上电压等级的变压器;一部分用纠结线饼和一部分连续线饼组成的绕组,称为纠结连续绕组,用于60~220kV电压等级的变压器上,它的外形与连续式绕组类似。

纠结式绕组与连续式绕组的不同之处,只在于绕组线匝排列顺序不同。它的线匝不以自然数字排列,而是在相邻数字线匝间插入不相邻数字的线匝。这样原连续式绕组段间线匝须借助于纠结换位,进行交错纤连形成纠结线段,从而组成纠结式绕组。图1-4是

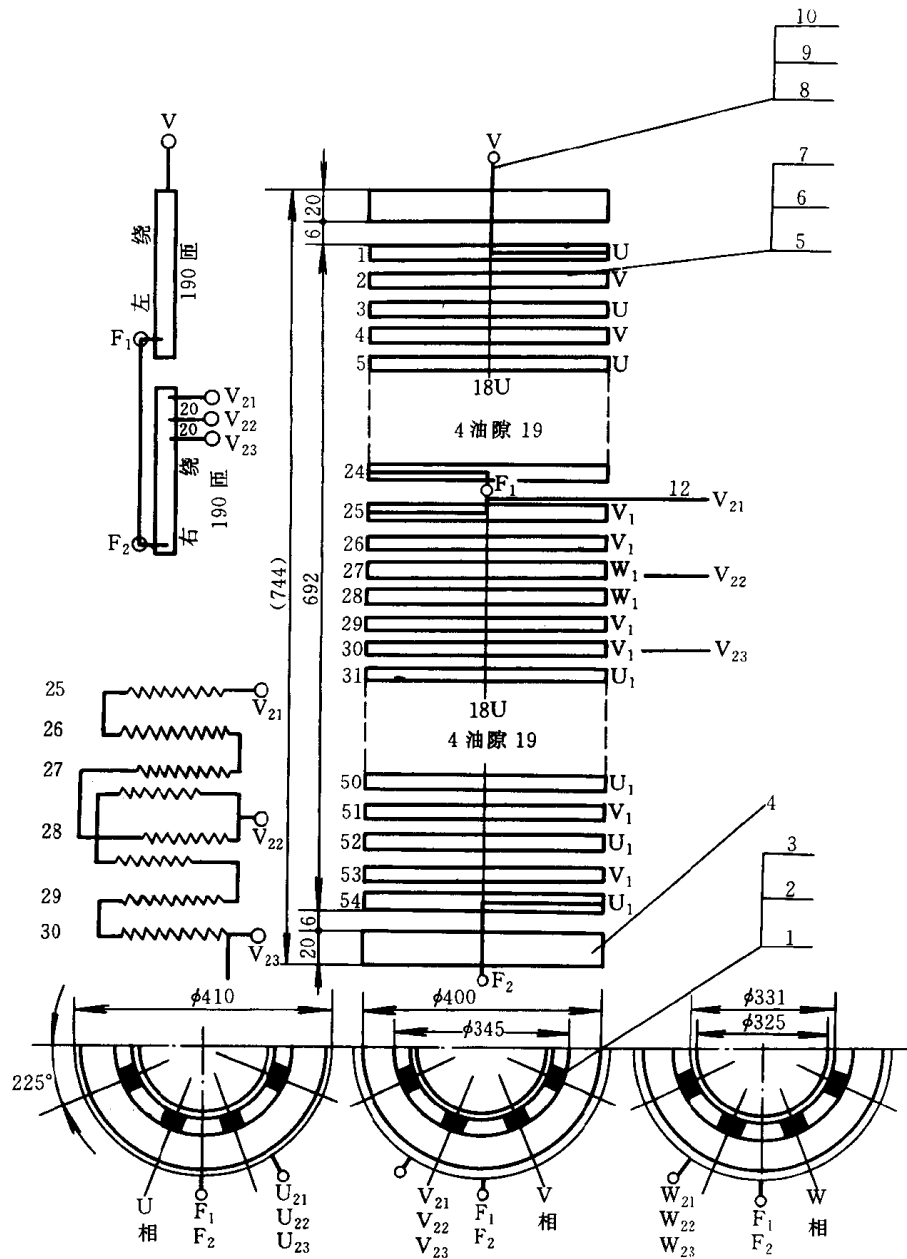


图 1-3 中压连续式绕组结构 (S7-1250/10 型)

- 1—酚醛纸筒 2—撑条 3—垫块 4—绝缘端圈 5—纸包扁铜线
6—绝缘纸板 7—纸槽 8—皱纹纸带 9—直纹布带 10—黄漆绸带

变压器用的套管种类有瓷绝缘式套管，它用于 40kV 及以下电压等级变压器上，它以瓷作为套管主绝缘；充油式套管，用于 60kV 及以上电压等级变压器上，它以绝缘筒和绝缘油作为套管主绝缘；电容式套管，它以多层紧密配合的绝缘纸和铝箔交错卷制成的电容心子作为主绝缘。

(5) 散热器和冷却器

散热器和冷却器是油浸变压器的冷却装置，中小型电力变压器的散热器，一般用钢管制成成形后焊接在油箱两侧孔内。该种散热器要求刚度要好，常在垂直排列的管子上焊几道钢带，把散热管联结成整体。大容

量的变压器，采用油浸风冷或强迫油循环风冷，也采用油浸水冷或油浸强迫水冷方式。这些冷却方式是由冷却器来完成的。

(6) 保护和测量装置

1) 储油柜 (曾称油枕) 储油柜是用来减轻和防止变压器油氧化和受潮的装置。它是用钢板经剪切制成成形后，焊接制成，并通过管子和油箱内绝缘油沟通。

2) 吸湿器 吸湿器是防止变压器油受潮的部件之一。它是一个圆形容器的，上端通过联管接到储油柜上，下端有孔与大气相通。在变压器运行中油温变化时，它起吸气和排气作用。吸湿器内装有吸湿剂，能吸取潮气