

中小型变压器 实用全书

姚志松 姚 磊 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中小型变压器 实用全书

姚志松 姚磊 编著



机械工业出版社

本书介绍了各种中小型变压器,包括 S9、新 S9、“10~14”型、卷铁心(及 R 型)、非晶、农用、柱上、全密封、防雷、干式、箱式、低噪声、SF₆、调容量、有载调压和特种变压器,以及旧变压器改造与新技术应用。内容包括识图常识,工具仪器,变压器的原理、结构、设计、制造、试验、选用、安装、运行、维护、检修、故障处理,以及有载分接开关、电动机构和控制器等。

本书紧跟目前电力系统实际情况和变压器发展,符合新标准,注重最新成果,如通风设计、大小修工艺卡、状态检修、电网式配网、糠醛和聚合度试验、油介质损耗处理、变形测试、红外测温、配电变压器操作波试验、有载分接开关波仪、VQC 装置、空气和真空有载分接开关等。

本书可供工厂与农村的电工、技术人员作培训读本,也可供科研院所和相关院校应用,尤其适用电力、化工、冶金、铁道、制造等部门的相关人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

中小型变压器实用全书/姚志松,姚磊编著. —北京:机械工业出版社, 2003.6

ISBN 7-111-11823-5

I. 中... II. ①姚... ②姚... III. 变压器—基本知识 IV. TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 029390 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周娟 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·36.875 印张·2 插页·1522 千字

0 001—4 000 册

定价:98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

前 言

近年来，由于输变电工程的增多和电力网容量的不断增大，全国城网、农网的相继改造，标志着我国电力工业已经进入了一个快速发展的新时期。为顺应这一新形势，我们编著了这本《中小型变压器实用全书》。

本书是一部专门论述中小型变压器的著作，所涉及的内容包括中小型变压器的各个方面，内容新颖，并力争做到深入浅出，既介绍了变压器的基本概念，又介绍了一些经验总结。本书以实际应用为原则，希望读者能用最少的投入，迅速掌握作者的所知所得，以便更好地解决实际技术问题。因此，除叙述外，书中还列出很多数据、标准、表格、公式、图片和图示说明。

我们努力采辑精华，体现三性（先进性、实用性和与规程规范的一致性），既要满足使用需要，又要反映新世纪初的技术水平，所提供的资料、数据、方案尽量准确可靠、使用方便，符合法规、规范、规程以及专业技术规定，并能起到补充、解释的作用，给读者起到引据和咨询的作用。

作者在1987年编著了《节能变压器》一书，在编写过程中，曾得到沈阳变压器研究所、国家能源研究所、清华大学、哈尔滨电工学院、上海变压器厂、浙江省三门变压器厂，以及浙江省科学技术委员会科研一处、浙江省电力局、浙江省电力学会的关心和支持，使该书得以顺利出版，并在全国发行8100册。由于该书以征订定印数，所以市面上很快断档。后来问讯者甚多，但终未再版。10多年后的今天，变压器已发生了日新月异的变化。为满足读者的需求，作者根据近年来的制造、使用实践和研究成果及国内外考察搜集到的资料，将其系统整理补充编著而成。在成书过程中，除提炼《节能变压器》一书精华外，还查阅和吸取了各研究院所、制造厂家与供电部门编写的各种资料和最新论文成果及规程、标准等其他书籍、资料，特别参考了浙江省金华电业局及其修试厂的规

定等文献。在此，对以上及其他参考、引用书籍、资料的作者表示诚挚的感谢！

作者感到，图书市场上关于变压器的书籍虽然较多，主要是讲述大型变压器的，专门对中小型变压器进行深入专门论述的书籍较少。还有的理论叙述居多或翻来覆去仍是一些长年不变的老资料，缺乏实用性和时效前瞻性。为此作者经过三思，将本书内容定位在县级供电局（县电力公司）所管辖和中小型变压器厂制造的变压器，及工矿企业、农村用的用户变压器，把这些量大面广的产品加以详实阐述，力图使读者能有“眼前一亮”的感觉。

本书能编著成册，要感谢浙江省电力局楼其民高工、浙江省电力试验研究所吴锦华高工的指导，要感谢电力系统同仁顾克拉、王吉庆、赵寿生、何勇、金祖荣、刘洪鑫、李宏雯、赖仰贤、刘义华以及金华电业局程极盛、陈升、陈振新、应敬华及应高亮、王建生等各位领导，还有张一军、高山、郦敏等同志的指导帮助。

浙江省电力局章寿源高工为本书的编写进行了直接指导，并对大部分章节进行了审校，已有18部著作的方大千高工也为本书提供资料并对有关章节进行了审校。泮林凤同志为本书提供资料并描绘图样。吴军、泮六安同志在本书成稿过程中做了大量的工作，还有其他很多同志为整理、收集、誊写资料做了不少工作，在此一并表示深切的谢意！

由于作者水平有限，书中的错误、不妥之处，恳切地希望读者给予批评指正。

作者

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 变压器的用途和分类	1
1.1.1 变压器的用途	1
1.1.2 变压器的分类	4
1.2 铭牌和技术数据	11
1.2.1 铭牌	11
1.2.2 型号	12
1.2.3 额定容量 S_N	14
1.2.4 额定电压 U_N	14
1.2.5 额定电流 I_N	15
1.2.6 阻抗电压 U_k	15
1.2.7 负载损耗 P_k (铜损)	15
1.2.8 空载电流 I_0	15
1.2.9 空载损耗 P_0	16
1.2.10 温升	16
1.2.11 额定工作状态	16
1.3 使用条件和技术要求	16
1.3.1 使用条件	16
1.3.2 技术要求	18
1.4 变压器的联结组	19
1.5 联结组别对正常电动势、电流的影响	24
1.5.1 三次谐波流通的重要性	24
1.5.2 三相变压器组接成 Yy0 联结	25
1.5.3 三相心式变压器接成 Yy0 联结	26
1.5.4 绕组接成 Yd 联结	26
1.5.5 绕组接成 Dy 联结	27
1.6 Yzn11 联结配电变压器的特性和参数计算	27
1.6.1 Yzn11 联结配电变压器的特性	28
1.6.2 Yzn11 联结配电变压器的参数计算	28

1.7 Dyn11 联结配电变压器的特性	30
1.7.1 概述	30
1.7.2 联结组别对三次谐波分量的影响	31
1.7.3 其他特性	33
第2章 识图基本常识和工器具的使用知识	35
2.1 识图基本常识	35
2.1.1 概述	35
2.1.2 一次接线图	35
2.1.3 二次接线图	37
2.1.4 线路平面布置图	41
2.1.5 工程图	42
2.1.6 建筑图	43
2.2 常用电工工具的使用知识	47
2.2.1 电工工具概述	47
2.2.2 试电笔	48
2.2.3 电烙铁	49
2.2.4 手电钻	49
2.2.5 游标卡尺	51
2.2.6 喷灯	51
2.2.7 登高工具	51
2.3 常用仪表的使用方法	52
2.3.1 万用表	52
2.3.2 钳形电流表	53
2.3.3 兆欧表	54
2.3.4 接地电阻测量仪	57
2.3.5 单臂电桥	58
2.3.6 双臂电桥	60
2.3.7 高压示波器	63
2.4 安全工具	66
2.4.1 正确使用电气安全工具	66
2.4.2 绝缘棒、绝缘夹钳和高压验电器	67
2.4.3 安全、起重工具的试验和配置标准	68
2.5 起重工具	71
2.5.1 常用起重工具	71
2.5.2 绳子的安全允许拉力	72
2.5.3 桥式起重机运行检修规程	73

第3章 变压器的工作原理和基本理论	76
3.1 变压器的工作原理	76
3.1.1 变压器二次侧开路时的工作原理	76
3.1.2 变压器二次侧接上负载后的工作原理	77
3.1.3 三相变压器的磁路	77
3.2 空载运行	78
3.2.1 联结组对波形的影响	78
3.2.2 主磁通和感应电动势的数值	78
3.2.3 空载损耗和空载电流	79
3.2.4 励磁阻抗和变压器的空载等效电路	80
3.3 负载运行	81
3.3.1 运行简况和关系	81
3.3.2 运行损耗	83
3.4 运行性能	84
3.4.1 变压器的外特性	84
3.4.2 变压器的电压变化率	84
3.4.3 变压器调压的方法	85
3.4.4 变压器的损耗与效率	86
3.5 接入电网的涌流	88
3.6 突发短路	91
3.7 变压器的过电压	94
3.7.1 操作过电压	94
3.7.2 大气过电压	96
3.7.3 故障过电压	97
第4章 变压器的器身结构	98
4.1 概述	98
4.2 铁心	102
4.2.1 铁心的分类	102
4.2.2 铁心的材料	103
4.2.3 心柱和铁轭的截面	106
4.2.4 铁心中的油道	106
4.2.5 铁心的紧固结构	107
4.2.6 铁心的接地	109
4.3 绕组	110
4.3.1 绕组的形式	110
4.3.2 层式绕组	111

4.3.3	连续式绕组	112
4.3.4	螺旋式绕组	113
4.3.5	箔式绕组	114
4.3.6	绕组的散热油道	115
4.4	绝缘	115
4.4.1	概述	115
4.4.2	变压器绝缘的分类	117
4.4.3	变压器绝缘材料的品种	117
4.4.4	变压器油	118
4.4.5	其他绝缘材料	121
4.4.6	主绝缘	123
4.4.7	纵绝缘	130
4.4.8	变压器内部的保护措施	131
第5章	变压器的油箱和附件结构	132
5.1	变压器的油箱	132
5.1.1	按油箱法兰结合面位置分类	132
5.1.2	按油箱结构形状分类	135
5.2	散热器	137
5.2.1	圆管散热器和扁管散热器	137
5.2.2	自冷、风冷散热器	138
5.2.3	片式散热器	138
5.2.4	膨胀式散热器	139
5.3	套管	140
5.3.1	套管的作用和型号	140
5.3.2	套管的结构	140
5.3.3	装拆瓷套管	142
5.4	分接开关	143
5.4.1	无励磁分接开关	143
5.4.2	有载分接开关	150
5.5	保护装置	150
5.5.1	储油柜	150
5.5.2	净油器	155
5.5.3	吸湿器	156
5.5.4	气体继电器	158
5.5.5	安全气道	161
5.5.6	压力释放阀	162

5.5.7 温度计	165
5.5.8 油位计	168
5.5.9 闸阀、蝶阀、活门和放气塞及其他	171
第 6 章 变压器的设计和计算	175
6.1 设计任务和程序	175
6.2 配电变压器电磁设计程序	177
6.2.1 基本参数的确定	177
6.2.2 铁心直径的选择	178
6.2.3 绕组计算	194
6.2.4 铁心计算	217
6.2.5 油箱及热计算	224
6.2.6 变压器的重量计算	231
6.3 中小型变压器微机优化设计	234
6.3.1 设计程序介绍	234
6.3.2 应用范围及计算实例	235
6.4 设计中的逆推法	236
6.4.1 饼式绕组阻抗电压的确定	236
6.4.2 选取散热管根数的逆推法	237
6.4.3 铁心的逆推算法	238
6.5 高阻抗变压器的设计窍门	239
第 7 章 变压器室尺寸和通风计算	241
7.1 概述	241
7.2 用图计算通风	241
7.2.1 计算公式和诺模图	241
7.2.2 自然通风散热计算实例	243
7.2.3 强迫通风散热计算实例	243
7.3 变压器室自然通风方案选择	246
7.3.1 物理模型与分析	246
7.3.2 理论计算及分析	248
7.3.3 计算实例	251
7.3.4 几种常见变压器室进风方式比较	252
7.4 干式变压器的通风计算	253
7.4.1 干式变压器自然通风热平衡计算	253
7.4.2 强迫通风计算	255
7.5 变压器室尺寸和布置设计	256
7.5.1 变电所和配电室的类型	256

7.5.2	变压器室土建和尺寸设计	257
7.5.3	变压器室内外配电装置安全净距	260
7.5.4	电气设备外壳防护等级和防触电分类	262
第8章 铁心制作技术		265
8.1	铁心制作	265
8.1.1	铁心结构	266
8.1.2	硅钢片的品种和性能	272
8.1.3	铁心的制造和装配	278
8.1.4	铁心的填充系数和工艺叠装系数	286
8.2	铁心片的冲剪加工和剪切线	288
8.2.1	冲剪加工对铁心片电磁性能的影响	288
8.2.2	卷料硅钢片的纵向剪切和设备	288
8.2.3	卷料硅钢片的横向剪切和设备	292
8.3	硅钢片剪切生产线简介和调整计算	295
8.3.1	硅钢片剪切线简介	295
8.3.2	BTHX/T-400 型变压器铁心片斜剪线的调整计算	296
8.3.3	全斜铁心接缝形式的比较	299
8.4	不叠上铁轭铁心的叠装工艺	308
8.4.1	不叠上铁轭工装及定位方法	308
8.4.2	不叠上铁轭的叠装操作要领	309
8.4.3	铁心的起吊	310
第9章 绕组的制作及变压器装配		311
9.1	绕组的结构设计	311
9.1.1	绕组的设计原则和注意事项	311
9.1.2	绕组的主要零部件和材料	312
9.1.3	主绝缘设计	315
9.2	绕组的纵绝缘设计	315
9.2.1	一般设计步骤和方法	315
9.2.2	变压器的匝绝缘设计	319
9.3	绕组的制作	320
9.3.1	绕制前的工艺准备工作	320
9.3.2	绕组的绕向	322
9.3.3	低压绕组的绕制	323
9.3.4	高压绕组的绕制	327
9.4	绕组的绝缘处理	331
9.4.1	保证绕组绝缘尺寸的方法	331

9.4.2 干燥	332
9.4.3 浸漆	332
9.4.4 烘干	333
9.4.5 绕组受潮的影响和预防措施	334
9.5 铁心装配	335
9.5.1 铁心装配和绕组套装	335
9.5.2 铁心的夹紧和接地	337
9.6 引线焊接工艺	338
9.6.1 铜导线的焊接	338
9.6.2 铝导线和铜铝接头的焊接	339
9.7 调压开关的安装	341
9.7.1 调压开关的固定方法	341
9.7.2 安装后的检查	341
9.8 引线支架的制作和器身安装	341
9.8.1 引线和引线绝缘的设计	341
9.8.2 引线支架	342
9.8.3 器身组装	344
9.8.4 器身绝缘的干燥	344
9.9 变压器的总装配	345
9.9.1 器身装入油箱	345
9.9.2 变压器的注油和试验准备	346
9.9.3 变压器绕组和装配质量分等	346
9.10 提高变压器承受短路能力的措施	351
9.10.1 设计方面的措施	351
9.10.2 工艺方面的措施	354
9.10.3 材料方面的措施	354
第10章 系列沿革及发展方向	356
10.1 标准系列型号序号沿革	356
10.1.1 高损耗变压器	356
10.1.2 较高损耗变压器	356
10.1.3 较低损耗变压器	357
10.1.4 低损耗变压器	359
10.1.5 变压器性能最新国家标准	373
10.1.6 变压器的主要标准	377
10.2 配电变压器的现状和发展	379
10.2.1 配电变压器的现状	379

10.2.2 配电变压器的发展方向	381
10.3 变压器的主要性能参数与制造成本的关系	382
10.3.1 阻抗电压	382
10.3.2 负载损耗	382
10.3.3 空载损耗	383
10.3.4 声级水平	383
10.3.5 变压器的容量、重量、尺寸和性能之间的关系	383
第 11 章 变压器新技术的应用和展望	384
11.1 新材料的应用	384
11.1.1 非晶合金和速冷法制成的硅钢片	384
11.1.2 激光照射和机械压痕的高导磁取向硅钢片	384
11.1.3 HI-B 高导磁取向电工钢片	386
11.1.4 菱格上胶绝缘纸	387
11.1.5 新导电材料导线	388
11.1.6 高密度绝缘材料和高强度电工层压木	389
11.2 新工艺的应用	389
11.2.1 阶梯叠铁心工艺	389
11.2.2 圆柱矩轭铁心的应用	393
11.2.3 铁心自动叠装生产线	395
11.2.4 铁心硅钢片的专业生产	396
11.2.5 用激光刀作切割刀	397
11.2.6 绕组整体套装	397
11.2.7 绕组用恒压装置压紧处理	397
11.2.8 采用垫块预压	398
11.3 改进技术的应用	398
11.3.1 采用椭圆形绕组	398
11.3.2 采用半油道结构	398
11.3.3 解决直流电阻不平衡率问题	398
11.3.4 不同硅钢片搭配使用的性能变化	401
11.3.5 一种新的 D 联结方法	403
11.3.6 配电变压器低压引线的改进	403
11.3.7 变频调速绕线机	404
11.4 新技术的应用	407
11.4.1 现场装配型 (ASA) 变压器	407
11.4.2 向超高压、大容量变压器发展	408
11.4.3 SF ₆ 气体绝缘变压器 (GIT)	408

11.4.4 硅油变压器	409
11.4.5 超导变压器	412
第 12 章 S9 型、新 S9 型配电变压器和卷铁心变压器	417
12.1 S9 型配电变压器	417
12.1.1 概述	417
12.1.2 初版 S9 型结构	417
12.1.3 改版 S9 型结构的改进情况	423
12.1.4 器身高度的校正	426
12.2 新 S9 型配电变压器	428
12.2.1 概述	428
12.2.2 新 S9 型技术经济比较	429
12.2.3 新 S9 型结构	432
12.2.4 器身与箱盖间带缓冲软连接结构	435
12.3 箔式绕组变压器	438
12.3.1 概述	438
12.3.2 产品结构特点	440
12.3.3 箔式绕组的绕制方法	440
12.3.4 箔式绕组变压器的主要性能参数	443
12.4 新 S9 型 35kV 变压器	443
12.4.1 概述	443
12.4.2 新 S9 型 35kV 变压器的技术条件和成本比较	444
12.4.3 新 S9 型 35kV 变压器的结构特点	445
12.5 10 型~14 型变压器	446
12.5.1 概述	446
12.5.2 S10 型全密封变压器	447
12.5.3 SH10 型非晶合金铁心变压器	447
12.5.4 S11 型配电变压器	448
12.5.5 S11 型卷铁心、叠铁心和立体铁心配电变压器	448
12.5.6 S15 型非晶合金铁心变压器	449
12.6 卷铁心变压器	449
12.6.1 概述	449
12.6.2 无接缝卷铁心变压器的特点	450
12.6.3 无接缝卷铁心的结构	451
12.6.4 无接缝卷铁心变压器的其他结构	453
12.6.5 切铁心	454
12.7 R 型卷铁心变压器	455

12.7.1	概述	455
12.7.2	R 型卷铁心变压器的结构特点	457
第 13 章 非晶合金铁心变压器和农用及单相变压器		459
13.1	非晶合金铁心变压器	459
13.1.1	概述	459
13.1.2	非晶合金材料的特性	459
13.1.3	国外非晶合金铁心变压器的生产和使用	463
13.1.4	我国非晶合金材料和非晶合金铁心变压器的生产	464
13.1.5	非晶合金铁心变压器的结构和工艺	470
13.1.6	非晶合金铁心变压器设计中的一些问题	475
13.1.7	非晶合金铁心变压器的经济性评价	476
13.1.8	非晶合金的技术发展趋势	478
13.2	农用变压器	479
13.2.1	概述	479
13.2.2	农用变压器的结构特点及工艺方法	480
13.2.3	农用变压器的性能验证及数据	480
13.2.4	农用变压器的行业标准	483
13.3	新型单相配电变压器	485
13.3.1	新型单相变压器的性能特点	485
13.3.2	新型单相变压器的结构特点	487
13.3.3	单相配电变压器供电的优点及经济效益	489
13.3.4	国产单相柱上式配电变压器的技术数据	490
第 14 章 全密封变压器和防雷变压器		493
14.1	全密封变压器	493
14.1.1	全密封变压器的性能特点	493
14.1.2	国内外全密封变压器的发展趋势	496
14.1.3	全密封变压器的优缺点	497
14.1.4	波纹油箱的计算	498
14.1.5	全密封变压器的主要结构特征	501
14.1.6	全密封变压器的特殊技术措施	503
14.1.7	全密封变压器组件的改进	507
14.1.8	全密封变压器的技术数据	508
14.1.9	S9-M 型全密封变压器的工装设备	511
14.2	防雷配电变压器	517
14.2.1	防雷性能差的原因和防雷变压器的种类	517
14.2.2	曲折联结的防雷变压器	518

14.2.3 带闭合器和防雷绕组的防雷变压器	521
14.2.4 内藏式防雷变压器	524
第 15 章 干式变压器	528
15.1 干式变压器的型号意义	528
15.2 干式变压器概述	528
15.3 干式变压器的种类	529
15.4 干式变压器的结构	538
15.5 国内各类干式变压器的结构特点	541
15.5.1 带填料厚绝缘浇注变压器的结构	541
15.5.2 薄绝缘浇注变压器的结构	542
15.5.3 提高浇注质量的措施	549
15.5.4 绕包式变压器的结构	551
15.5.5 提高绕包质量的措施	556
15.6 干式变压器设计制造中的几个问题	557
15.7 干式变压器标准	561
15.7.1 标准概述	561
15.7.2 标准要求	564
15.7.3 干式和油浸式变压器标准的区别	568
15.8 噪声和温控器及有载分接开关	570
15.8.1 干式变压器的噪声	570
15.8.2 干式变压器温控器	575
15.8.3 有载分接开关	576
15.9 干式变压器技术数据	577
15.9.1 SG3 系列干式电力变压器	577
15.9.2 SGZ3 系列有载调压干式电力变压器	577
15.9.3 SC (TC) 系列环氧树脂浇注干式电力变压器	580
15.9.4 SC2-30/10 树脂绝缘干式变压器	581
15.9.5 SC8 系列环氧树脂浇注干式电力变压器	582
15.10 提高干式变压器抗短路能力	583
第 16 章 预装箱式变电站	585
16.1 概述	585
16.2 箱式变电站的型号、适用范围和布置	586
16.3 箱式变电站的技术参数和设备的选用	589
16.4 箱式变电站的结构	591
16.5 箱式变电站的试验项目	594
16.6 几个有关问题	595

16.7	组合式变压器	597
16.8	ZGS9 型组合式变压器	617
16.9	箱式变电站的发展趋势	618
16.10	“五防误”装置知识	621
16.11	箱式变电站产品介绍	622
16.12	箱式变电站的安装、使用和维护	638
第 17 章	SF₆ 变压器和调容量变压器	642
17.1	SF ₆ 变压器	642
17.1.1	SF ₆ 气体性质	642
17.1.2	SF ₆ 变压器发展过程	644
17.1.3	SF ₆ 变压器的类型	647
17.1.4	SF ₆ 变压器的结构特点	649
17.1.5	配电用 GIT 制造工艺	652
17.1.6	SF ₆ 变压器的典型实例	652
17.1.7	SF ₆ 变压器运行中的安全保护措施	657
17.2	调容量变压器	658
17.2.1	概述	658
17.2.2	调容量变压器的工作原理和特点	660
17.2.3	各种调容量形式的相互对比	668
17.2.4	调容量开关	671
17.2.5	有载调容量变压器概述	676
17.2.6	有载调容量变压器的结构特点	680
17.2.7	有载调容量变压器制造中的关键问题	686
17.2.8	有载调容量变压器运行情况和几点看法	691
第 18 章	特种变压器	694
18.1	特种变压器的分类和型号	694
18.2	整流变压器 (变流变压器)	698
18.3	电炉变压器	703
18.4	交流电焊机和直流电焊机	707
18.5	高压试验变压器	712
18.6	矿用变压器	718
18.7	调压器	718
18.8	行灯变压器	723
18.9	互感器	724
18.9.1	概述	724