

变压器制造技术丛书

5 变压器绕组制造工艺

变压器制造技术丛书编审委员会 编

机械工业出版社

变压器制造技术丛书

变压器绕组制造工艺

变压器制造技术丛书编审委员会 编



机械工业出版社

本书汇集了国内各变压器厂长期制造变压器绕组的大量生产实践经验，同时简要介绍了国内外变压器制造行业近年来所采用的最新绕组制造技术。

本书详细介绍了变压器绕组制造中的导线加工、绕组绕制及压装的全部工艺过程。内容包括变压器及绕组的基本知识、绕组常用绝缘材料、导线的制造、各类绕组的绕制及压装方法、绕组干燥及浸漆工艺规程和工艺装备等，同时还介绍了有关质量问题及处理方法，可供操作者在绕组制造中参考。

本书可供从事变压器制造、变压器维护的工人及工程技术人员参考，也可作为变压器专业技术工人的培训教材及大专院校师生的教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

变压器绕组制造工艺/变压器制造技术丛书编审委员会
编. -北京: 机械工业出版社, 1998. 5

(变压器制造技术丛书)

ISBN 7-111-06136-5

I. 变… II. 变… III. 变压器-绕组-生产工艺 IV. TM405

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 06334 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: 边 萌 版式设计: 冉晓华 责任校对: 魏俊云

封面设计: 姚 毅 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·18 印张·435 千字

0 001—4000 册

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

《变压器制造技术丛书》编审委员会名单

主 任	熊观银				
副 主 任	杨师和	邢瑞祥			
委 员	邢瑞祥	朱哲滨	钱敬明	魏春华	
	杨师和	张金琢	王 勉	王显文	
	熊观银	王承志	李宪霞	杭小民	
主 编	魏春华	王显文	王承志		
本书编者	王承志	姜恒大	杨恩明		
本书审者	王承志				

前 言

《变压器制造技术丛书》是为适应变压器行业技术发展的迫切需要，满足变压器行业操作工人的专业培训和工程技术人员的业务学习参考要求，同时满足社会不同文化层次读者的需要，根据原国家机械委电器局制定的变压器行业《工人技术等级标准》和工程技术人员继续教育的要求，受全国变压器行业职工教育研究会的委托，由沈阳变压器有限责任公司、保定天威集团、西安变压器厂等单位组织有实践经验的工程技术人员，参照《变压器专业工种技术工人培训教材》（内部发行），结合目前国内外变压器发展的最新技术，对原书作了大量的删减、补充和修改后编写而成的。新编的《变压器制造技术丛书》共分八册：

- 1 绝缘材料与绝缘件制造工艺
- 2 变压器绕组制造工艺
- 3 变压器铁心制造工艺
- 4 变压器装配工艺
- 5 变压器处理工艺
- 6 变压器试验
- 7 变压器油箱制造工艺
- 8 干式变压器制造工艺

本套书以操作工人为主要读者对象，同时照顾工程技术人员继续教育的需要和全国变压器行业各厂家的通用性，内容从原 35~220kV 电力变压器，扩大为 35~500kV 的各类变压器，包括从小型配电变压器到大型五柱铁心变压器；从传统的常规心式变压器到性能较优越的壳式变压器。在技术水平方面，除介绍国际 80 年代水平的内容外，还考虑到今后的发展，介绍了一些具有 90 年代甚至跨世纪水平的最新技术，以满足不同读者的需要。

由于编著者来自不同工厂，不同岗位，因此在掌握内容的深度和广度上不尽相同，各册书之间的水平和尺度免不了有所差别，也免不了存在一些局限性和片面性，甚至有错误之处，恳请有关专家、学者和广大读者提出宝贵意见，以便今后再版时进一步完善。

由于各企业工艺条件不同，在制造方法上也不完全相同，本套书中所述的工艺方法、工艺参数及具体操作规定和要领仅供参考，望不要生搬硬套本套书内容并代替各厂现行技术文件。

在编写本套书过程中，承蒙机械部教育司及机械工业出版社和编写厂家所在省市的上级领导给予的大力支持和指导，在此表示感谢。对原《变压器专业工种技术工人培训教材》的组织者和全体作者，以及承担本套书编写任务的厂家和编印过程中做了大量工作的同志表示谢意。

变压器制造技术丛书编审委员会

1997 年 12 月

目 录

前言

第一章 变压器基本理论知识	1
第一节 变压器的基本工作原理	1
第二节 变压器的基本结构	3
第三节 变压器的用途与分类	7
第四节 变压器型号及字母表示	12
复习思考题	16
第二章 变压器绕组的基本知识	17
第一节 对变压器绕组的基本要求	17
第二节 绕组的结构形式	26
第三节 绕组的绕向及换位	34
第四节 绕组基本参数的计算	50
复习思考题	54
第三章 常用绕组绝缘材料、性能及绝缘件的用途	56
第一节 绕组的绝缘	56
第二节 绝缘材料的基本特性	58
第三节 常用绕组的绝缘材料及性能	59
第四节 常用绕组绝缘件及其用途	66
复习思考题	70
第四章 导线概述	71
第一节 导线的种类与用途	71
第二节 导线的质量标准和技术要求	72
第三节 导线断路和电阻大的原因	77
第四节 导线的质量缺陷对变压器产品质量的影响	78
复习思考题	78
第五章 导线的拉直与分盘	79
第一节 裸导线的规格、标准及外观要求	79
第二节 导线分盘的方法与计算	80
第三节 设备的调整与维护保养	82
第四节 导线校直操作工艺要点	85
复习思考题	86
第六章 导线包纸设备及包纸工艺	87
第一节 导线包纸纸盘的选择及切割	87
第二节 包纸机的结构、原理、使用、调整和维护	89

第三节 导线包纸	92
复习思考题	96
第七章 换位导线的制造	97
第一节 概述	97
第二节 换位导线生产设备结构和原理	101
第三节 换位导线的分盘计算	105
第四节 换位导线的编制工艺	114
第五节 换位导线常见故障及排除	116
复习思考题	120
第八章 组合导线的制造	121
第一节 概述	121
第二节 组合导线包纸机的结构与原理	123
第三节 包纸工艺及完工质量的检查	124
第四节 组合导线线规的选择与绕组的绕制要求	125
复习思考题	126
第九章 绕组的绕制设备及工具	127
第一节 卧式绕线机	127
第二节 立式绕线机	129
第三节 箔式绕组卷绕机	131
第四节 铜焊机的原理及使用	136
第五节 碰焊机的原理及使用	138
第六节 导线掰弯工具及其使用	141
第七节 导线张紧装置	142
第八节 绕线模的种类及其应用	144
第九节 常用工具的结构及使用	147
复习思考题	151
第十章 绕组的绕制工艺	152
第一节 绕组绕制前的准备工作	152
第二节 圆筒式绕组的绕制	153
第三节 连续式绕组的绕制	159
第四节 螺旋式绕组的绕制	170
第五节 纠结式绕组的绕制	182
第六节 内屏蔽连续式绕组的绕制	194
第七节 绕组引出端的屏蔽	195
第八节 箔式绕组的绕制	197
复习思考题	199
第十一章 绕组的质量控制及故障修理	201
第一节 绕组的质量控制	201
第二节 绕组的故障及修理	204

复习思考题	208
第十二章 绕组压装处理设备和工艺装备	209
第一节 绕组起立架	209
第二节 绕组轴向压紧机	210
第三节 绕组干燥烘房	212
第四节 绕组浸漆罐	214
第五节 大型变压器绕组的压紧装置和模具	216
第六节 压装用仪器仪表和量具	218
复习思考题	223
第十三章 绕组的压装方法	224
第一节 绕组轴向压紧力和螺杆拉应力的计算	224
第二节 绕组的压装工艺	227
第三节 圆筒式绕组的套装	230
第四节 饼式绕组的套装	231
第五节 特种变压器绕组的套装	233
第六节 大型变压器绕组组装成形工艺	235
复习思考题	238
第十四章 绕组的干燥工艺	239
第一节 概述	239
第二节 绝缘材料的干燥原理	239
第三节 真空的获得和测量	246
第四节 绕组的干燥处理	251
第五节 绕组的真空压力干燥处理	254
复习思考题	258
第十五章 绕组浸漆处理工艺	259
第一节 概述	259
第二节 绝缘漆的种类和性能	259
第三节 常用绝缘漆的稀释和粘度调整	263
第四节 油浸式变压器绕组的浸漆和干燥	265
第五节 干式变压器绕组的浸漆和干燥	266
第六节 特殊绕组的浸漆处理	268
第七节 绕组的不浸漆工艺	268
复习思考题	269
第十六章 绕组压装中的质量问题及处理	270
第一节 绕组用绝缘件的质量标准	270
第二节 绕组的质量标准	271
第三节 绕组压装中的质量问题及分析处理	273
第四节 绕组干燥及浸漆中常见的质量问题及分析处理	277
复习思考题	279

第一章 变压器基本理论知识

变压器是一种静止的电气设备，它是利用电磁感应原理把一种电压的交流电能转变成同频率的另一种电压的交流电能。在电力系统中，变压器是一个重要的电气设备，它对电能的经济传输、灵活分配和安全使用具有重要的作用。此外，变压器在电气测试、控制和特殊用电设备上也应用很广。

本章仅对变压器工作原理、变压器基本结构、变压器的用途与分类，以及变压器型号等内容作扼要介绍。

第一节 变压器的基本工作原理

一、工作原理与变压比

变压器是利用电磁感应原理工作的。因此，它的结构是：两个（或两个以上）互相绝缘的绕组套在一个共同的铁心上，它们之间通过磁路的耦合相互联系。所以，如同旋转电机一样，变压器也是以磁场为媒介的。两个绕组中的一个接到交流电源上，称为一次绕组另一个接到负载上，称为二次绕组。当一次绕组接通交流电源时，在外加电压作用下，一次绕组中有交流电流流过，并在铁心中产生交变磁通，其频率和外加电压的频率一样。这个交变磁通同时交链一次、二次绕组，根据电磁感应定律，便在二次绕组内感应出电动势。二次绕组有了电动势，便向负载供电，实现了能量传递。

图 1-1 所示是一台单相变压器空载运行原理图。它是由两个匝数不等的绕组同绕在一个闭合的铁心上构成的。铁心是用硅钢片叠积而成。铁心柱左边的绕组称为一次绕组（称初级绕组或原绕组），其匝数为 N_1 。另一侧的绕组称为二次绕组（次级绕组或副绕组）其匝数为 N_2 。

当二次侧开路，将一次侧接入 U_1 交流电压时，则一次绕组中便有电流 I_0 流过，这个电流通常称为空载电流。空载电流便产生空载磁动势，在铁心中便有磁通 Φ_0 通过，此时在一、二次侧便产生感应电动势。

一次侧为

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m \quad (1-1)$$

二次侧为

$$E_2 = 4.44fN_2\Phi_m \quad (1-2)$$

式中 E_1 ——自感电动势 (V)；

E_2 ——互感电动势 (V)；

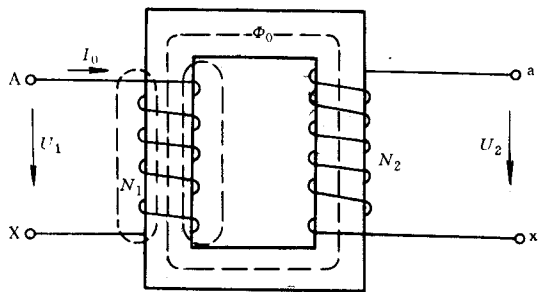


图 1-1 单相变压器空载运行原理图

f ——电源频率 (Hz);

N_1 ——一次绕组匝数;

N_2 ——二次绕组匝数;

Φ_m ——交变主磁通的最大值 (Wb)。

在空载情况下, 二次侧的端电压 $U_2 = E_2$, 两绕组的电压比为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_U \quad (1-3)$$

式中 K_U ——变压器的电压比。

当 $N_1 > N_2$ 时, $K_U > 1$, 此时 $U_1 > U_2$, 即变压器的输出 (出线) 电压较输入 (进线) 电压低, 这样的变压器称为降压变压器。当 $N_1 < N_2$ 时, $K_U < 1$, 此时 $U_1 < U_2$, 即变压器的输出电压较输入电压高, 这样的变压器称为升压变压器。

二、电磁感应定律

电磁感应是一种物理现象。设有一个匝数为 N 的绕组放在磁场中, 如果绕组本身移动或转动 (如发电机), 或磁场强度本身发生变化等 (如变压器), 造成了和绕组交链的磁通 Φ 随时间发生变化时, 绕组内部都会感应出电动势, 这种现象叫做电磁感应。感应电动势可用下式表示, 即

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-4)$$

$$\Psi = N\Phi$$

式中 N ——绕组匝数;

Φ ——交链的磁通。

这个定律含意为: 由电磁感应产生的电动势与绕组的匝数和磁通的变化率的乘积成正比。如果在感应电动势的作用下在绕组内流过电流, 则该电流所产生的磁通起着反对主磁通变化的作用。当主磁通增加时 (此时 $\frac{d\Psi}{dt}$ 为正值, 而 e 为负值), 它企图减少主磁通; 而当主磁通减少时 (此时 $\frac{d\Psi}{dt}$ 为负值, 而 e 为正值), 则企图增加主磁通。这个规律称为楞次定律。

变压器和电机就是靠这一原理来工作的。变压器的绕组是静止的绕组, 但由于是交变的磁通, 等于绕组在磁场中运动, 因此在绕组两端产生了感应电压。如果变压器接在直流电源上, 则铁心中产生不了交变的磁通, 所以绕组也就不能感应出电压。

下面就单相变压器负载运行状态原理, 讨论电磁感应定律在变压器中的运用。

当变压器二次侧接上负载时 (相当于空载运行的变压器, 在其二次侧接上负载), 如图 1-2 所示, 在 U_2 的作用下, 二次绕组中有电流 I_2 流过。 I_2 的大小随着负载的大小而变化。电流 I_2 是从一次侧取得的能量, 它是通过电磁感应原理得到的。由于 I_2 的出现, 产生了新的矛盾。从图中可以看到, 空载时, 当 A-X 接上交变电源后, 一次绕组将有 I_0 流过, 在铁心中便建立起主磁通 Φ_0 。当 Φ_0 穿过 W2 时, 在

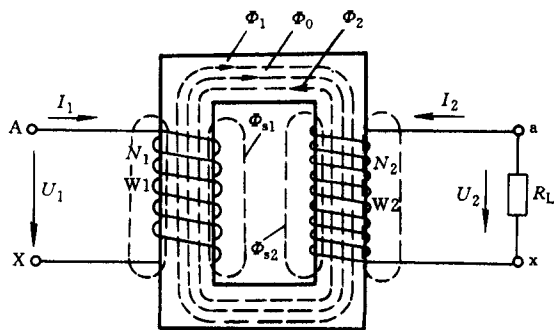


图 1-2 单相变压器负载运行原理图

二次绕组中产生 E_2 。如果在 a-x 两端接上负载 R_L ，则二次侧有电流 I_2 在铁心中建立起磁通 Φ_2 ， Φ_2 的方向与 Φ_0 相反。当 Φ_2 穿过一次绕组且一次绕组从电源中取得电流 I_1 时， I_1 又产生与磁通 Φ_2 相反的 Φ_1 ，显然 $\Phi_2 = -\Phi_1$ ，两个磁通互相抵消，结果磁路中只剩下一个由空载（励磁）电流 I_0 建立起来的磁通 Φ_0 ，即主磁通。

当负载 R_L 接在二次绕组 a-x 端之后，一次绕组的电流由 I_0 增加到 I_1 。变压器负载运行时，励磁电流 I_0 几乎不变。

磁动势 $I_1 N_1$ 与 $I_2 N_2$ 之差就是产生主磁通所需的磁动势 $I_0 N_1$ 。当接近满载时，磁动势 $I_0 N_1$ 的值比 $I_1 N_1$ 小很多，一般可以忽略不计，这时

$$I_1 N_1 \approx I_2 N_2$$

$$\text{即} \quad \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = K_i \quad (1-5)$$

式中 K_i ——变压器的电流比。

变压器一次侧电流的大小是由二次侧电流 I_2 来决定的。当把空载运行的变压器接上负载之后，二次电流增大到 $I_2 = \frac{U_2}{R_L}$ 时，一次电流就按 $I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2$ 的关系变化。因此额定电压高的绕组，其额定电流小，导线的截面较小。反之，额定电压低的绕组，其额定电流大，导线截面较大。

一、二次绕组所产生的磁通绝大部分都在铁心内部通过，但总有一小部分磁通不经过铁心，而是在铁心外面形成回路，这部分磁通称为漏磁通（如图 1-2 中的 Φ_{s1} 和 Φ_{s2} ），漏磁通将感应出漏磁电动势 e_{s1} 和 e_{s2} 。

当变压器投入运行后，由于漏磁电动势的存在，一、二次绕组和铁心就要消耗一部分电功率，通常称为功率损耗（即铜损或铁损）。另外，由于漏磁通的存在，还会产生附加损耗。

一次侧和二次侧电压和电流之间的关系为

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

$$\text{则} \quad I_1 U_1 \approx I_2 U_2 \text{ 即 } S_1 \approx S_2 \quad (1-6)$$

式中 S_1 ——一次侧视在功率 (W)；

S_2 ——二次侧视在功率 (W)。

上式说明变压器两边绕组的视在功率是近似相等的。

第二节 变压器的基本结构

变压器的基本结构包含五大部分，即铁心、绕组、油箱、器身和附件。随着变压器技术的发展，其结构越来越趋于复杂。变压器的品种繁多，结构形式也是千变万化的。下面只对电力变压器（如图 1-3 所示）的结构概况作一介绍，其他类型变压器的结构形式与电力变压器基本相同。

一、铁心

铁心在变压器中构成一个闭合的磁路，又是安装绕组的骨架，对变压器电磁性能和机械强度是极为重要的部件。

1. 材质

供变压器制造用的硅钢片，几乎全是冷轧晶粒取向硅钢片，而且以卷料供货。这种硅钢片导磁性较强，损耗较低，允许采用较高的磁通密度，为改善变压器性能创造了条件。

对材质的要求：

- 1) 厚度要均匀，厚度公差要小。
- 2) 卷料应平整，不允许有波浪。
- 3) 表面绝缘涂层应牢固，不允许剥落。
- 4) 应有高的磁导率，损耗应尽量小。

2. 铁心片形

变压器铁心的片形种类很多，这与产品的结构形式和生产厂家的加工设备有关，但归纳起来不外乎有下面几种形状，如图 1-4 所示。铁心片的加工通常采用硅钢片纵剪线和横剪线来实现的，应严格控制毛刺高度。

3. 铁心叠积图

变压器铁心中每个叠片的布置和排列方式称为铁心叠积图，在图中规定了叠片的接缝结构。常用的铁心叠积图如图 1-5 所示。

二、绕组

变压器绕组构成设备的内部电路、它与外界的电网直接相联，是变压器中最重要的部件，常把绕组比做变压器的“心脏”。

绕组匝数的改变可以改变电压。当绕组与铁心套装在一起时，既组成变压器本身，又构成电磁感应系统，可以得到所需的各种电压和电流。变压器绕组是由导线绕制而成的。导线有铜导线和铝导线，每层导线之间覆盖不同类型的绝缘层，即导线直接与各种绝缘层组合成一个整体，这些绝缘层的作用是构成绕组的匝绝缘。绕组的基本结构是采用包有绝缘层的导线缠绕在有心模的绝缘骨架上，构成圆柱形或方形绕组，并包括：出线端、调压分接头、绝缘筒、撑条、垫块、端圈和层间绝缘纸等。用于高电压上的绕组还包括电容环等。

不同容量和不同电压等级的变压器绕组，其绕制形式、匝数、导线截面、匝绝缘厚度、并联导线的根数、绕向、绕组联接图以及绝缘结构亦各不相同。

1. 绕组的结构类型

根据绕组结构和绕制特点，绕组大体上可分为圆筒式（或层式）绕组和饼式绕组两大类，其中饼式绕组又分为连续式绕组、纠结式绕组和螺旋式绕组等。

2. 制造绕组应遵守的基本原则

变压器运行的可靠性往往直接决定于绕组的结构设计和制造质量。一般根据电压等级的

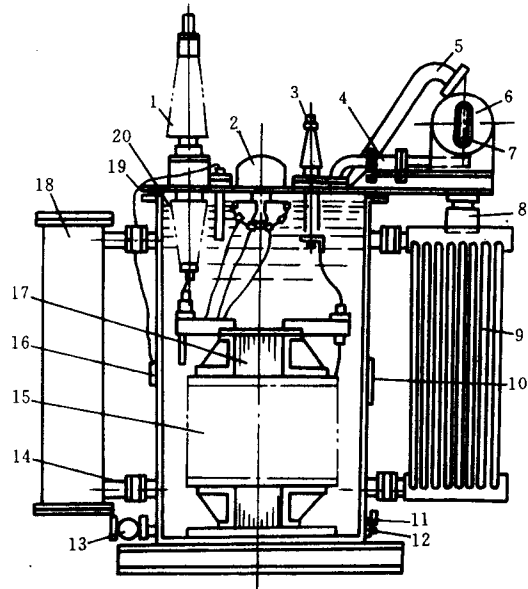


图 1-3 变压器结构简图

- 1—高压套管 2—分接开关 3—低压套管 4—气体继电器
5—安全气道 6—贮油柜 7—油表 8—吸湿器 9—散热器
10—铭牌 11—接地螺栓 12—油样活门 13—放油阀门
14—蝶阀 15—绕组 16—信号温度计 17—铁心
18—净油器 19—油箱 20—变压器油

不同、容量大小和使用条件的差异，而采用不同结构形式的绕组，但不论何种类型的绕组，在制造过程中都要遵循以下几点要求：

- 1) 绕组的绕制要紧密无间隙。
- 2) 严格保证绕组压装后的径向和轴向的几何尺寸。
- 3) 必须严格控制导线的截面尺寸、表面粗糙度和匝绝缘厚度。
- 4) 尽量减少导线接头数量，并确保导线的焊接质量。
- 5) 严格控制绕组S弯处导线在垫块中的位置，并加强该处绝缘。对导线的跨段、升层及引出线端等处均应按规定加强绝缘。

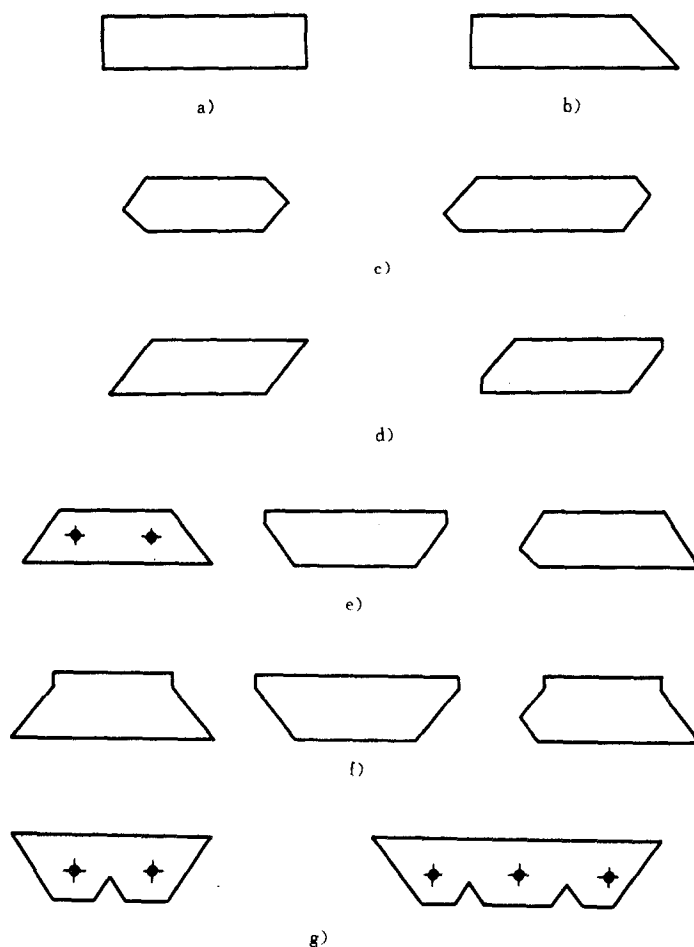


图 1-4 变压器铁心片形图

a) 矩形 b) 直角梯形 c) 菱形 d) 平行四边形 e) 梯形 f) 台阶形 g) V形

三、油箱及其附件

油浸式变压器的油箱既是变压器器身的外壳和浸油的容器，又是变压器总装的骨架，因此，变压器油箱起到机械支撑、冷却散热和绝缘保护作用。

油箱应达到密封不漏油不渗油，应具有一定的机械强度，除能承受变压器器身的重量外，

还要承受所有附件（如套管，散热冷却装置、贮油柜、吸湿器等）的重量，并在运输中承受加速度载荷。因此，油箱要做正压和负压强度试验，以保证油箱有足够的机械强度。

油箱外表装有信号式温度计、吸湿器、贮油柜、油表、安全气道、气体继电器、调压分接开关、放油阀门、小车和高、低压套管及散热器等零部件。

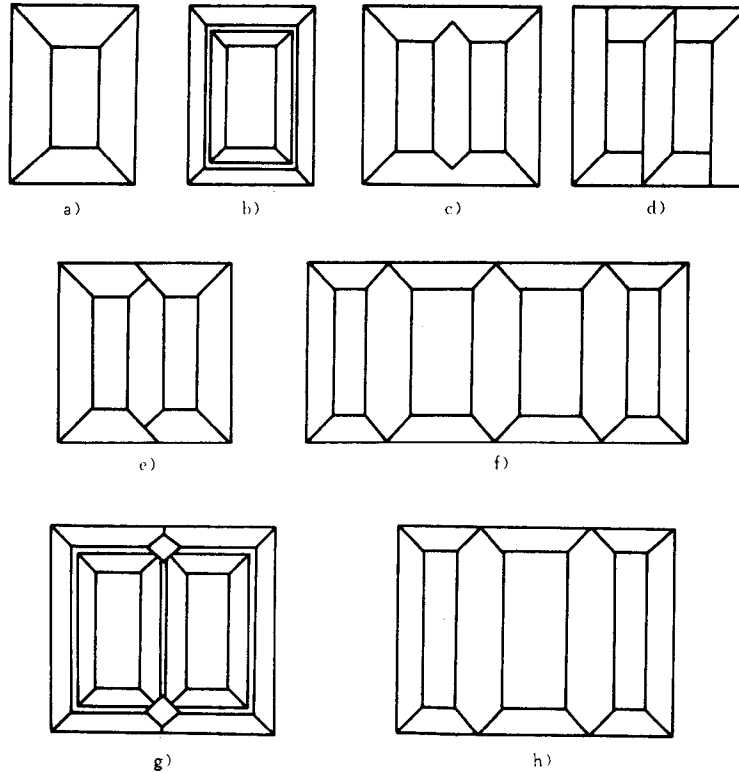


图 1-5 常用铁心叠积图

- a) 单相双柱铁心 b) 单相双柱双框铁心 c) 三相三柱铁心
 d) 三相三柱半直半斜接缝铁心 e) 三相三柱全斜接缝铁心
 f) 三相五柱式铁心 g) 三相双框式铁心 h) 单相四柱式铁心

1. 油箱结构形式

由于变压器的容量不同，电压等级不同及使用场所，服务对象不同，因此需设计不同形状的油箱。常见的油箱类型如图 1-6 所示。

2. 油箱的主要附件

油箱的主要附件有贮油柜、套管升高座、安全气道及压力释放阀、磁屏蔽、散热器或冷却器等。

四、变压器装配

变压器装配是变压器制造过程的重要环节，即将构成变压器的几大部件（如铁心、绕组、绝缘零件、油箱、变压器组件等）装在一起，而成为一台完整的变压器。

变压器装配包括器身装配、引线装配、器身干燥及注油和变压器附件总装配。装配质量对变压器的内在质量有极大影响。

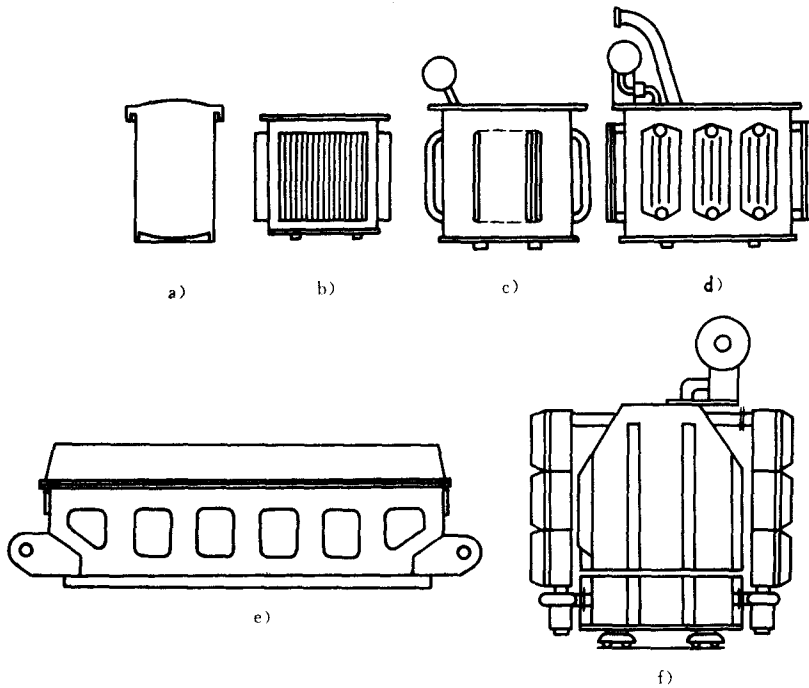


图 1-6 油箱结构示意图

a) 圆筒形油箱 b) 波纹油箱 c) 管状油箱 d) 箱形油箱 e) 钟罩式油箱 f) 钳车式油箱

五、变压器附件

变压器附件是变压器不可分割的一部分，是保证变压器正常运行的关键。附件质量的优劣直接影响变压器的整体质量，并越来越受到主机厂家的重视。变压器附件主要包括冷却装置、保护装置、调压装置、出线装置和测量装置五大部分。

1. 冷却装置 包括冷却器、散热器及各种连管、阀门等。
2. 保护装置 包括贮油柜、吸湿器、净油器、气体继电器、安全气道、压力释放阀和油阀门等。
3. 调压装置 包括有载分接开关和无载分接开关等。
4. 出线装置 包括各类瓷套管、绝缘子及电控系统等。
5. 测量装置 包括套管型电流互感器、油位检测计、温度计、油流计和色谱检测仪等。

第三节 变压器的用途与分类

变压器是变控电源电压的一种电气设备，在国民经济各部门中应用很广。为了适应不同的使用目的和工作条件，变压器的类型很多，而且各种类型的变压器在结构上、性能上的差异也很大。通常按变压器的不同用途、不同容量、绕组个数、相数、调压方式、冷却介质、冷却方式、铁心形式等等进行分类，以满足不同行业对变压器的需求。

一、按用途分类

1. 电力变压器

电力变压器主要在输配电系统上使用。目前从发电机所发出的电压较低（一般为15.75kV、6.3kV和10.5kV），这样的电压要输送到很远的地区使用，电能将大部分消耗在输电线路。所以要想将电能经济地输送出去，必须经过变压器将电压升高（一般升到110kV、220kV、330kV及500kV或更高的电压）。高压电输送到供电区后，还要经过变电所的变压器降压（如66kV、35kV），再送到市区或工矿中心的二次变电所进行降压（如6kV、10kV），然后用配电变压器将电压再一次降到所需电压（如400V）。因此，电力变压器的用量很多，见图1-7。

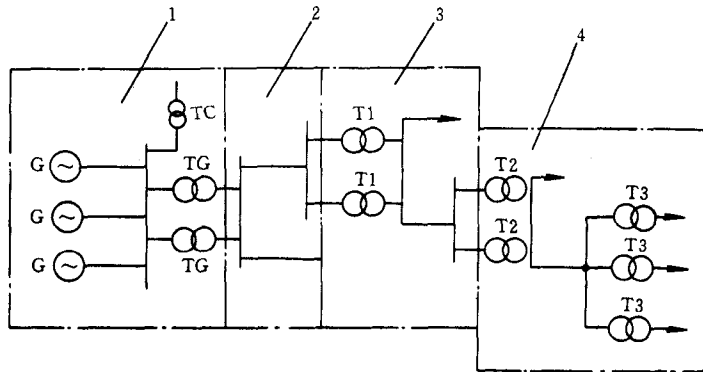


图 1-7 电力网原理图

1—电站区 2—高压输电区 3—中压输电区 4—配电区

图 1-7 中，G 为发电机组，TC 为电站电源变压器，TG 为升压变压器，T1 为降压变压器，T2 和 T3 为配电变压器。就借助这些变压器，实现了从发电站将电能输送到不同变电站和千家万户之中。

2. 电炉变压器

电炉变压器按用途分类有炼钢炉变压器，二次电压为 110~250V；电石炉变压器，二次电压为 90~150V；感应熔炼炉变压器，二次电压为 400~1000V；其他还有炼铁合金、石墨和加热等用的电炉变压器。

电炉变压器的共同特点是变压器二次侧电压低，电流大时要求带负载调压。要求变压器低压出线铜排和引至电炉电极的铜排或电缆保持有足够大的合成阻抗，限制短路状态下的工作电流，避免绕组因受过大的电力而损坏。

3. 整流变压器

整流变压器是整流设备的电源变压器。现代的工业企业，广泛地采用直流电源，所以整流变压器早已成为直流用电系统不可缺少的专用设备。

整流设备的特点是一次侧输入交流电，而二次侧通过整流元件后输出直流电。因此，整流变压器与普通变压器除结构上有所区别外，在负载特性上也不相同。电力变压器的二次负载一般认为是恒定阻抗，输出电流为正弦波形。整流变压器由于整流器的整流作用，使变压器二次绕组中的工作电流波形是不规则的非正弦波形，这个非正弦电流所产生的漏抗压降，会影响整流变压器二次侧的端电压，因而也就影响整流器直流电压特性。除此以外，由于二次

侧存在的直流电流分量，一次侧没有磁动势与之相平衡，因而形成单向磁化，使铁心饱和。为了消除单向磁化问题，大功率三相整流变压器二次绕组常采用Z形联接法，这时每个心柱上的直流磁动势互相抵消，所以不会出现单向磁化问题。

4. 工频试验变压器

这种变压器是将普通电源电压升高到数万伏或数十万伏。它用于电器制造厂、发电厂、高压试验室作电机、变压器、开关、电瓷、绝缘材料等电工器材的绝缘耐压试验及高压作用下的物理现象的研究。这种变压器称为工频试验变压器。试验变压器的特点是，二次电压很高，可达1000kV甚至更高，而电流一般为1至数安，运行时间都是较短的。

其另一特点是容量不大而电压很高，均采用单相结构。低压绕组通常绕成双层圆筒式绕组，高压侧绕组为多层分段式或双层圆筒式绕组。

5. 矿用变压器

它是用于矿坑的变压器。它的特点是要求防尘，防止机械损坏（套管不暴露于外，用电缆输电）。用于开采工作面的变压器要防止气体（如甲烷、乙炔等）和粉尘爆炸，也叫防爆变压器。

6. 电抗器

电抗器可分为空心式电抗器和铁心式电抗器，它是具有一定电感值的电器。串在高压输电线路里可以限制供电系统的短路电流；在整流回路里可利用电抗器进行滤波，使输出电压接近于直流；在超高压输电系统中广泛应用并联电抗器法补偿输电线的电容电流，防止线端电压升高，使线路的传输能力和效率提高，并使系统的操作过电压有所降低；具有大的电感量的绕组可以储能，作为瞬间放电的能量。

7. 调压变压器

移圈调压器是利用一个沿铁心高度可以移动的短路绕组，改变铁心中的磁通分布，达到均匀调整电压的目的。

移圈调压器的接线方式见图1-8。

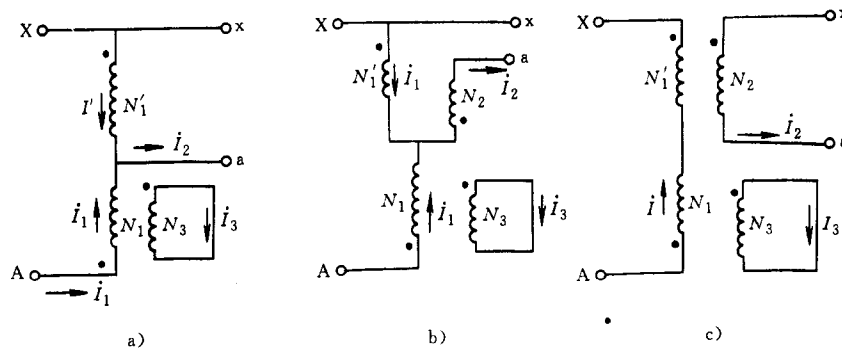


图1-8 移圈调压器接线方式

a) 自耦联接 b) 加补偿绕组的自耦联接 c) 双绕组联接