



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

供用电设备

(第二版)

张 炜 主 编
王红艳 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

供用电设备

(第二版)

主 编 张 炜
副主编 王红艳
编 写 王晓文 武成香
主 审 李崇贺



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书共分为两篇，其中第一篇为供配电设备，第二篇为用电设备。

供配电设备主要介绍电力变压器、互感器、防止过电压的设备与设施、开关电器、配电装置及组合电器、电力线路、无功功率补偿装置等内容。

用电设备主要介绍电力机械设备、电加热设备、电焊机、直流用电设备及直流电源、制冷与空气调节、电力牵引、电气照明等内容。

本书主要作为普通高等院校电气工程及其自动化专业教材，也可作为高职高专电类专业教材以及成人教育、函授、自考辅导教材，还可作为从事电力工作的工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电设备/张炜主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2006. 11

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7-5083-4838-9

I. 供... II. 张... III. 供电—电气设备—高等学校—教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 116985 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

x

2004 年 8 月第一版

2006 年 11 月第二版 2006 年 11 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 507 千字

印数 6001—9000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

供用电设备是高等院校电气工程及其自动化专业的一门主要课程,本书是 21 世纪高等学校规划教材。

本书与王晓文老师主编的《供用电系统》教材内容可以进行有机的结合。在《供用电系统》教材中重点是阐明供用电系统的基本知识、基础理论以及有关设计和应用的综合常识;而本书用简单的方式介绍各种供用电设备和设施的基本工作原理,重点介绍其分类、结构以及某些设备的运行问题,并适当介绍一些新设备、新技术。

供配电设备部分介绍了各种类型的变压器,电流互感器和电压互感器,防止过电压的设备与设施包括避雷器、避雷针和接地装置,开关电器包括断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、低压控制电器等各种电器,配电装置介绍了屋内外配电装置、成套配电装置、箱式变电站和 SF₆ 全封闭式组合电器等,电力线路包括架空线路和电缆,无功功率补偿包括电容器、调相机、静止补偿器和电抗器。

用电设备部分介绍了现代化生产和生活中广泛采用的异步电动机、风机和泵等电力机械设备,电加热设备包括电阻炉、电弧炉、感应炉和其他类型的加热设备等,电焊机包括电弧焊机、电阻焊机和其他电焊机,直流用电设备及直流电源包括电解、电镀这两种直流用电设备和直流电源,制冷与空气调节包括制冷系统中各主要部件和空调系统的设备配置方式等,电力牵引包括供电系统的组成、供电方式、远动装置和电力机车等,电气照明包括电光源、照明供电和照明控制的基本知识以及电气照明的节电技术。

由本书的内容可见,供用电设备涉及面较大,在教学中可以按照需要选学其中的内容。

本书由张炜主编。其中第二、三、六章由张炜编写,第八~十四章由王红艳编写,第一、七章由武成香编写,第四、五章由王晓文编写。全书由山西大学工程学院李崇贺教授主审。

由于编者的水平有限,书中难免有缺点错误,欢迎读者给予批评指正。

编 者

2006 年 7 月

目 录

前言

第一篇 供配电设备

第一章 电力变压器	1
第一节 概 述	1
第二节 油浸式变压器	4
第三节 干式变压器	12
第四节 自耦变压器	16
第五节 分裂绕组变压器	20
第六节 变压器的运行、维护	22
本章小结	34
习 题	35
第二章 互感器	36
第一节 电流互感器	36
第二节 电压互感器	46
本章小结	54
习 题	55
第三章 防止过电压的设备与设施	56
第一节 避雷器	56
第二节 避雷针与避雷线	62
第三节 电气装置接地	66
本章小结	74
习 题	75
第四章 开关电器	77
第一节 开关电器的基本工作原理	77
第二节 高压断路器及其操动机构	83
第三节 高压隔离开关	95
第四节 高压负荷开关	99
第五节 自动重合器和自动分段器	101
第六节 熔断器	107
第七节 低压断路器	112
第八节 刀开关及其组合电器	117
第九节 低压控制电器	120
第十节 漏电保护器	125
本章小结	127

习 题	128
第五章 配电装置及组合电器	129
第一节 屋内外配电装置	129
第二节 成套配电装置	142
第三节 箱式变电所	152
第四节 SF ₆ 全封闭组合电器	157
本章小结	162
习 题	162
第六章 电力线路	163
第一节 电力线路的分类及基本构成	163
第二节 架空线路	164
第三节 电力电缆	172
本章小结	177
习 题	177
第七章 无功功率补偿装置	179
第一节 电容器	179
第二节 同步调相机	185
第三节 静止无功补偿装置	186
第四节 电抗器	190
本章小结	192
习 题	193

第二篇 用电设备

第八章 电力机械设备	194
第一节 三相异步电动机	194
第二节 泵	207
第三节 风 机	215
第四节 泵与风机的节电途径和措施	218
本章小结	220
习 题	220
第九章 电加热设备	221
第一节 电阻炉	221
第二节 电弧炉	231
第三节 感应炉	237
第四节 其他电炉或加热设备简介	242
本章小结	245
习 题	245
第十章 电焊机	247
第一节 电焊机的组成与分类	247
第二节 焊接电弧与弧焊电源的一般特性	248

第三节 弧焊电源	253
第四节 电弧焊机	263
第五节 电阻焊机	266
第六节 其他电焊机的简介	270
本章小结	272
习 题	272
第十一章 直流用电设备及直流电源	273
第一节 电 解	273
第二节 电 镀	276
第三节 直流电源	279
本章小结	284
习 题	284
第十二章 制冷与空气调节	285
第一节 制冷原理	285
第二节 制冷系统的主要部件	288
第三节 空气调节	291
第四节 空调系统的节电途径	295
本章小结	296
习 题	297
第十三章 电力牵引	298
第一节 概 述	298
第二节 电力牵引供电系统	299
第三节 电力牵引供电方式	301
第四节 电力牵引运动装置	304
第五节 电力机车	305
本章小结	307
习 题	307
第十四章 电气照明	308
第一节 电气照明的基本概念	308
第二节 电光源	310
第三节 照明器	315
第四节 照明供电	316
第五节 照明控制	318
第六节 电气照明的节电技术	321
本章小结	322
习 题	323
参考文献	324

第一篇 供 配 电 设 备

第一章 电 力 变 压 器

变压器是按照电磁感应原理,将一种交变电压变为另一种交变电压的电气设备。在供用电系统中,电力变压器的主要作用是根据电力系统的运行需要,将交流发电机输出的电压升高,使电能输送到需要用电的远方负荷中心,然后再通过降压变压器降低电压供用户使用。因此,电力变压器在电能的传输、分配和使用中,都具有重要意义。同时,变压器在电气的测量、控制等方面,也有广泛的应用。

第一节 概 述

一、变压器的分类

变压器是一种静止的电器,为了达到不同的使用目的并适应不同的工作条件,变压器有很多类型,可按其用途、绕组结构、铁芯结构、相数、调压方式、冷却方式等进行分类。

(1) 变压器按照用途可分为:电力变压器(又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器、厂用变压器等);特种变压器(电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等);仅用互感器(电压互感器、电流互感器);试验用的高压变压器和调压器等。

(2) 按照相数可以分为:单相变压器、三相变压器和多相(如整流用六相)变压器等。

(3) 按照结构可分为:双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器、自耦变压器和低压分裂绕组变压器等。

(4) 按铁芯结构不同可分为:芯式变压器和壳式变压器等。

(5) 按照调压方式可分为:无励磁调压变压器和有载调压变压器等。

(6) 按照冷却方式可分为:干式空冷变压器、干式浇铸绝缘变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、油浸水冷变压器、强迫油循环风(水)冷变压器、充气式变压器等。

二、变压器的型号

1. 电力变压器型号

型号是说明该变压器的结构和性能特点的基本代号,并标明额定容量、额定电压等。我国《电力变压器》国家标准规定,国产电力变压器型号含义如表 1-1 所示,应按照表 1-1 中所列代表符号(一般是用汉语拼音字母)顺序组成基本代号,基本代号后面用短横线“—”隔开,再写明额定容量(kVA)/高压绕组电压等级(kV)。

近年来,我国变压器制造部门设计制造了损耗值较低的 S 系列变压器和干式变压器。

例如:

(1) SL 500/10 表示三相、自冷、油浸、双绕组、铝导线、500kVA、10kV 电力变压器。

(2) SFPSZL-63000/110 表示三相、风冷、强迫油循环、三绕组、有载调压、铝导线、63000kVA、110kV 电力变压器。

(3) OSSPSZL-120000/220 表示三相、水冷、强迫油循环、三绕组、有载调压、铝导线、120000kVA、220kV 自耦电力变压器。

(4) SC-800/10 表示三相、铜绕组、固体成型绝缘、800kVA、10kV。

应注意，我国制造的电气设备表示高压侧额定电压等级时，通常是将 6kV 与 10kV 的各种设备均用 10kV 表示。

表 1-1 电力变压器型号含义

序号	分类	代表符号	含义	序号	分类	代表符号	含义
1	相数	D S	单相 三相	4	循环方式	P	自然循环 强迫油循环
2	箱壳外冷却介质	F S	油浸自冷 风冷 水冷	5	绕组数	S F	双绕组 三绕组 分裂绕组
3	绕组外绝缘介质	G	变压器油	6	绕组导线材质	L	铜
		Q	空气（干式）	7	绕组耦合方式	O	自耦
		C	气体	8	调压方式	Z	无激磁调压 有载调压
		CR N	干式浇铸绝缘 干式（包封式） 难燃液体	9	防护代号	TH TA	湿热 干热

2. 特种变压器产品型号

除电力变压器外，按产品用途分类规定的符号见表 1-2。

表 1-2 特种变压器产品型号字母含义

序号	产品分类名称	字母	序号	产品分类名称	字母
1	电炉变压器	II	5	电压互感器	J
2	交流变压器	Z	6	电流互感器	L
3	矿用变压器	K	7	组合互感器	JL
4	试验变压器	Y	8	调压器	T

3. 变压器的额定值

(1) 相数和额定频率。电力变压器一般均制成三相变压器以直接满足输配电的要求；小型变压器可制成单相；特大型变压器为满足运输的要求，可做成单相后组成三相变压器组。

变压器额定频率是所设计的运行频率，我国为 50Hz。

(2) 额定容量。铭牌上标注的额定容量是变压器的额定视在功率，一般用 kVA 表示，是在额定电压、额定电流下连续运行时所输出的容量。

(3) 额定电压。变压器的额定电压是指规定的加到一次侧绕组的电压，一般为该变压器接入电力系统的额定电压。

变压器二次侧额定电压是指该变压器在空载一次侧加上额定电压时，二次侧的端电压。通常二次侧额定电压比电力系统额定电压高 5%，高出部分是变压器在额定负荷时的内部压降，即阻抗电压或称短路电压，其目的是为了保证线路末端的电压不低于标准要求。

(4) 额定电流。变压器一、二次侧额定电流，是在额定容量和允许温升条件下，变压器

一、二次侧允许长期通过的电流。

三、三相电力变压器及其接线组别

三相电力变压器是具有两个或多个绕组的静止设备。

1. 三相电力变压器

交流电力系统中的变压器绝大多数是三相变压器，当三相负荷对称时，各相电流、电压的大小相等，而相位互差 120° 。

三相变压器有独立磁路和相关磁路两种铁芯结构。其中相关铁芯磁路的变压器是将三个铁芯柱和铁轭连接成一个三相磁路，组成三相一体芯式变压器，称为三相芯式变压器，其特点是消耗的铁磁材料少、价格低，在发电厂和电力系统中较广泛采用。

由三台单相变压器组成的三相变压器，各相磁路是独立的，称为三相变压器组。这是在需要特大容量变压器的场所以及运输条件受到限制的地方，为了运输方便或减少备用容量，往往采用三相变压器组。

2. 变压器的连接组别

变压器的连接组别表示了三相变压器高、低压侧电压（一般指线电压）之间的相位关系及两侧三相绕组的连接方式。三相绕组的连接方式有三种，即星形、三角形和曲折形连接，最基本的连接方式是星形和三角形两种。

(1) 星形连接。星形连接指将变压器三相绕组的末端连在一起，成为一个公共点（称为中性点，用 N 表示），三个首端分别引出，用符号“Y（或 y）”表示，新旧国标中表示方法一致。

(2) 三角形连接。三角形连接指将变压器三相绕组的首尾两端顺次连接形成闭合回路，三个连接点分别引出，用符号“D（或 d）”表示，旧国标中用符号“ Δ ”表示。高、中、低压绕组均为三角形连接时，即为 D，d，d。

大写字母表示高压绕组的连接方法，小写字母表示低压绕组连接方法。

新旧国标中变压器高、中、低压绕组的连接方式如表 1-3 所示。

由于三绕组变压器高、低压侧绕组连接方法不同，两侧电压相位的关系也不相同，但不同连接组别其两侧电压之间的相位关系总是 30° 的倍数，可以用时钟表示法表示连接组别。

国产电力变压器常用的连接组别为 Y，d11 和 Y，y0 两种，又因为星形连接的中性点是否有引出又可在 Y 后加 N 表示中性点有引出的情况。如：YN，d11 即表示高压侧为中性点有引出的星型连接，低压侧为三角形连接，两侧电压相位差为 $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ 的变压器。

为了消除发电机以及电力系统中的三次谐波，大部分的变压器均为 Y，d11 连接。这是因为三个绕组中的三次谐波的大小相等、相位相同，在三角形绕组中形成环流，这样在线电压和电流中不会存在三次谐波，从而保证了电力系统的波形质量。

只有自耦变压器由于其结构特点而仅有 YN，yn0 的接线方式，用 YN，a 表示。

表 1-3 新旧《电力变压器》标准的绕组联接标号的区别

名称	GB1094—1979			GB1094.1—5 1985		
	高压	中压	低压	高压	中压	低压
星形联接并有中性点引出	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Y ₀	Y ₀	Y ₀	YN	yn	yn
三角形联接	Δ	Δ	Δ	D	d	d

续表

名称	GB1094-1979			GB1094.1-5 1985		
曲折形联接并有中性点引出	Z Z ₀	Z Z ₀	Z Z _c	Z ZN	z zn	z zn
自耦变压器	联接组代号前加 0			有公共部分两绕组额定电压较低的用 a		
组别数	用 1~12 且前加横线			用 0~11		
联接符号间	联接符号间用斜线			联接符号间用逗号		
联接组别标号的举例	Y/Y ₀ -12 Y/Z ₀ -11 D/Y ₀ -11			Y, yn0 Y, zn11 D, yn11		

四、SF₆ 气体绝缘变压器简介

人们在 20 世纪 40 年代发现了 SF₆ 气体优异的绝缘性能, 将其应用在电气产品上, 并得以不断的发展。到 20 世纪 50 年代末, 美国某公司首先生产了 SF₆ 气体绝缘变压器, 其后日本的一些公司制造出 66~77kV, 30~40MVA 的 SF₆ 电力变压器。SF₆ 气体绝缘变压器的技术已经逐步成熟, 目前已实现商业性批量生产, 已有数千台 SF₆ 气体绝缘变压器在世界各地运行。我国某变压器厂也在 20 世纪 80 年代中期研制出 500kVA/10kV 的 SF₆ 配电变压器, 它完全防火、防化学侵蚀, 性能优良, 已系列生产供国内城市使用。由于 SF₆ 气体绝缘变压器的箱壁比较厚, 虽然 SF₆ 在 20℃、0.3MPa 压力时质量不到变压器油的 1/40, 但由于箱体重量, 所以总重大体相当。且 SF₆ 价格贵, 所以 SF₆ 气体变压器价格是同容量油浸变压器的 3~4 倍。这是 SF₆ 变压器发展慢的主要原因之一。

SF₆ 气体绝缘变压器与普通油浸式变压器的主要不同之处在于其绝缘冷却介质和冷却机理不同。SF₆ 气体绝缘变压器整个器身置于充有 SF₆ 气体的箱体中。SF₆ 气体不燃、无毒、绝缘强度高、消弧性能好, 是比较理想的绝缘介质。但是其传热能力和散热能力均较变压器油差一个数量级, 因此, 自冷式气体绝缘变压器不可能做得很大, 一般最大不超过 5000kVA, 容量大时就要采用强气循环, 就是采用气体循环风机来促进 SF₆ 气体的流动, 增加其流速。为获得更好的散热效果, 还可以采用风冷却器强迫风冷或采用水冷却器强迫水冷。

由于变压器的损耗很大, 制造小容量 SF₆ 配电变压器, 例如 500~1000kVA, 自冷问题不大, 如果做大的电力变压器, 则需用 SF₆ 强迫循环风冷或用内装封闭的冷却系统, 使容量达到数万千伏·安。美国某公司于 1989 年制造出了 45kV、50MVA 蒸发冷却 SF₆ 电力变压器; 日本某公司 1992 年生产了 72.5kV、26MVA 的 SF₆ 三相电力变压器, 现已开发电压最高达 275kV、容量最大达 300MVA 的 SF₆ 三相电力变压器, 用于市区地下变电站。

第二节 油 浸 式 变 压 器

油浸变压器主要组成部分有铁芯、绕组、套管、分接头装置、冷却装置、油箱及其附件, 参见图 1-1。把铁芯和绕组合称为变压器的器身。

一、铁芯

铁芯既是变压器的磁路, 又是其支撑骨架, 它由铁芯柱、铁轭和夹紧装置组成, 铁芯柱

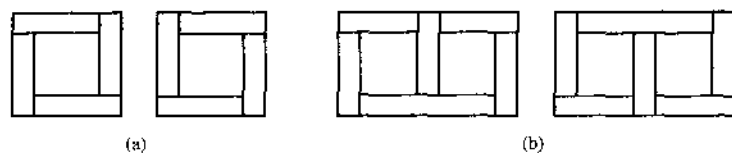


图 1-3 铁芯叠片

(a) 单相铁芯; (b) 三相铁芯

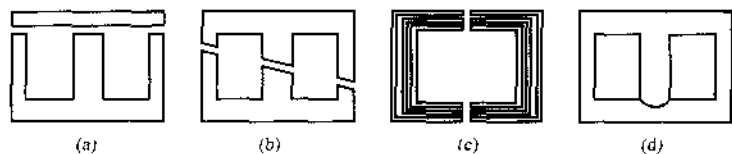


图 1-4 小型变压器的铁芯冲片

(a) E 字形; (b) F 字形; (c) C 字形; (d) H 字形

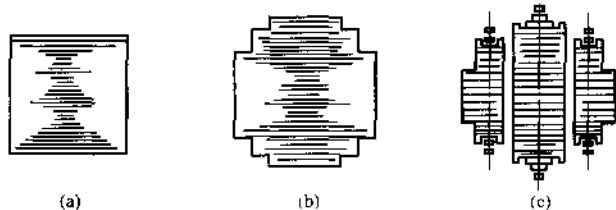


图 1-5 铁芯柱截面

(a) 方形; (b) 梯形; (c) 中间留油道

另外,从 20 世纪 60 年代开始出现一种新的铁芯结构——渐开线式铁芯。它的铁芯柱用预先成型的渐开线形状的冷轧硅钢片插装压合而成。铁轭用成卷的带状冷轧硅钢片连续卷绕而成。再用长螺杆等夹紧附件把铁轭和铁芯柱对接紧固,如图 1-6 所示。这种渐开线式铁芯叠片,各片形状相同,很适合机械化

流水线生产,而且具有体积小、用料省、质量小和铁损耗少等优点。

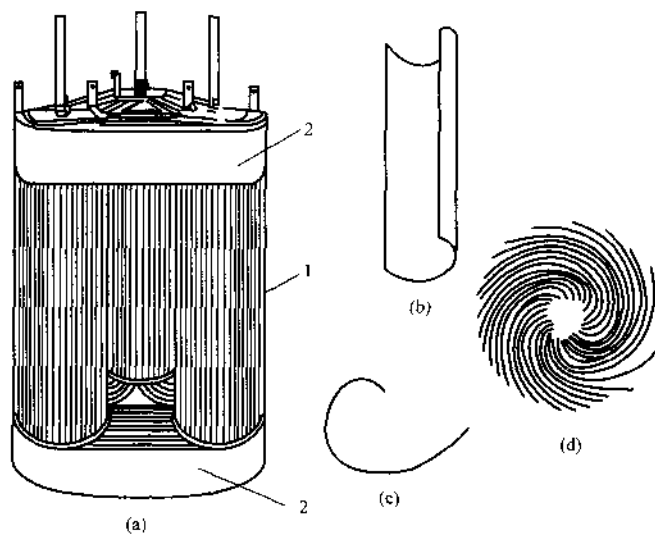


图 1-6 渐开线式铁芯

1 铁芯柱; 2 铁轭

(a) 渐开线铁芯结构; (b) 铁芯叠片; (c) 渐开线式形状; (d) 铁芯柱截面

图 1-7 所示为三相芯式铁芯柱的截面,一般为外接圆的阶梯状的多边形,内留有冷却铁芯的油道,用螺钉将芯柱叠片紧固。现代新式铁芯柱改螺钉紧固为环氧玻璃布带绑扎,以

降低空载损耗。

铁轭多做成“T”形截面，两边装有铁轭夹铁，用螺钉穿过铁轭夹铁和铁芯叠片将铁轭夹紧，螺钉与铁芯叠片应保持良好绝缘。在大型变压器的铁轭夹铁上焊有吊环，用来起吊铁芯。中、小型变压器将连接上下铁轭夹铁的垂直长螺杆直接固定在油箱盖上，吊芯时连同箱盖一起起吊。

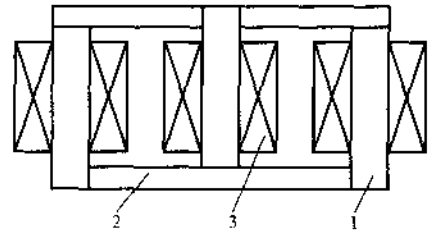


图 1-7 三相芯式变压器示意图

1—铁芯柱；2—铁轭；3—绕组

为了防止在运行中因铁芯及金属零件处于不同电位而放电，故将这些部件与油箱连在一起共同接地。中小型变压器依靠铁轭夹铁和油箱连接而接地，因此只要将铁芯的任一层叠片和夹铁相连即可。连接利用镀锡铜片，方法是在同一层铁芯叠片间上、下各插入一铜片，将铜片的另一端分别固定在上、下夹铁上，然后将上、下铁轭两点同时接地。应当注意，铜片和铁轭夹铁连接时，应在低压引出线一侧和夹铁连接。在大型变压器中，为测量线圈介质损耗的需要，接地铜片通过套管引出，并在外部接地。

二、绕组

绕组是变压器的电路部分，由电解铜线或铝线绕制，导线外面包几层经绝缘油浸渍的高强度绝缘纸，也有用漆包、纱包或丝包线绕制的。按照高低压绕组之间的相对位置不同，绕组可分为同心式或交叠式。

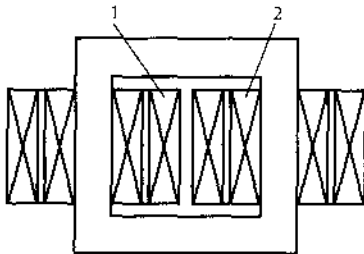


图 1-8 同心式绕组

1—高压绕组；2—低压绕组

1. 同心式绕组

我国生产的电力变压器多采用同心式，三相变压器每相的一、二次绕组同心地套装在一根铁芯柱上，由于低压绕组对铁芯绝缘要求低，一般把低压绕组布置在内层。一、二次绕组间留有空隙，是用于散热的油通道，工作时不能堵塞，如图 1-8 所示。

变压器常见的同心式绕组绕制型式有圆筒式、螺旋式、连续式，如图 1-9 所示。

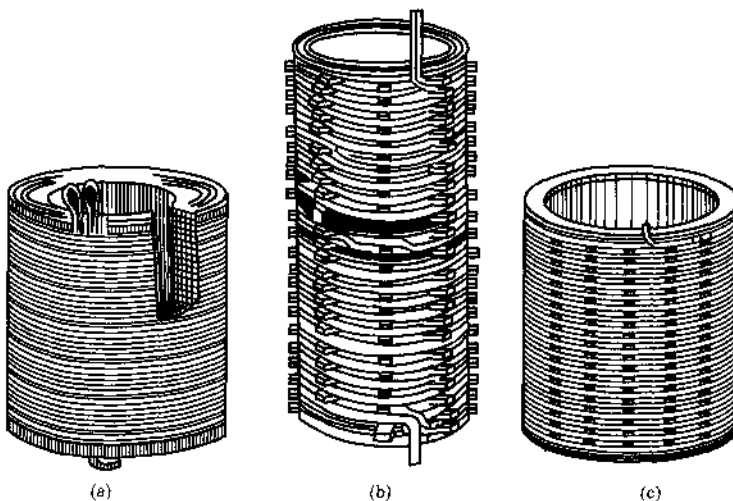


图 1-9 同心式绕组的基本形式

(a) 圆筒式；(b) 螺旋式；(c) 连续式

(1) 圆筒式绕组。圆筒式绕组主要用于每柱容量 200kVA 以下的变压器。各个绕组紧挨着绕成一个螺旋形的圆筒。低压绕组用单根或多根扁铜线绕成单层或两层，高压绕组因匝数多、电流小，用圆铜线绕制成多层。层间用绝缘撑条隔开，形成冷却油道。

(2) 螺旋式绕组。螺旋式绕组主要用于 800~10000kVA 变压器的低压绕组。其特点是匝数较少、电流很大，由多根扁铜线绕制，每一线饼只有一匝，匝间隔着绝缘块，构成辐向油道。整个绕组像螺旋线一样绕制下去，故称作螺旋式。

这种绕组由于并联股数较多，里外层导线所交链的磁通就不一样，长度也不一样，这样就会造成各股线之间电流分布不均，所以在绕到一定位置时应当换位，即把里面的导线换到外面，外面的导线换到里面。

(3) 连续式绕组。连续式绕组主要用于 800~10000kVA 以下变压器中的高压绕组和 10000kVA 以上的低压绕组。连续式绕组由单根或多根（不超过 4 根）扁线绕制成若干个盘式线饼，从一个线饼到另一个线饼的连线不用焊接，而是采用特殊的翻线方法连续绕成，故叫连续式。为了冷却，各个线饼之间均用绝缘块隔开，形成辐向油道。为了固定线圈并横向夹紧线圈，在绕组内径圆周上均匀设置纸撑条，形成轴向油道。

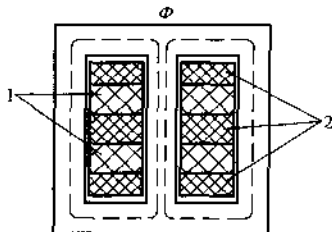


图 1-10 交叠式绕组

1—高压绕组；2—低压绕组

2. 交叠式绕组

交叠式绕组又叫饼式绕组，将高、低压绕组分成若干线饼，沿着铁芯柱的高度方向交替排列，为了便于绕制和铁芯绝缘，一般最上层和最下层放置低压绕组，如图 1-10 所示。

交叠式绕组的主要优点是漏抗小、机械强度好、引线方便。这种绕组仅用于壳式变压器中，如大型电炉变压器就采用这种结构。

变压器绕组之间需要绝缘，分主绝缘和纵绝缘两种。绕组与铁芯、油箱，以及高、中、低压绕组相互之间的绝缘为主绝缘。各绕组匝之间、层之间、股之间以及与静电极之间的绝缘叫纵绝缘。

3. 三绕组变压器

在发电厂或变电所中，有三种电压等级时常用到三绕组变压器。例如，发电机的电压为 18kV，要将电能同时送到 110kV 和 220kV 系统，就可以利用三绕组变压器。在一定情况下（如通过变压器功率最小的那一侧绕组能达到变压器容量的 15% 以上时），采用一台三绕组变压器较采用两台双绕组变压器经济，且维修也方便，因此这种变压器得到了广泛的应用。

另外，当二次绕组需要两种以上不同电压时，为经济起见，避免使用多台双绕组变压器，而采用三绕组或多绕组变压器。如各种电子仪器、电视机和收音机的电源变压器，以及自动控制系统中的控制变压器，常常采用多绕组变压器。

三绕组变压器，每相有高、中、低三个绕组，一般铁芯为芯式结构，三个绕组同芯地套在一个铁芯柱上。为绝缘方便起见，高压绕组 1 放在最外边，至于中、低压绕组，根据相互间传递功率较多的两个绕组应靠得近些的原则，用在不同场合的变压器有不同的安排。升压变压器的功率传递主要是由低压向中压和高压侧传送，则将低压绕组放在中间，如图 1-11 (a) 所示；降压变压器则将低压绕组放在靠近铁芯侧，如图 1-11 (b) 所示。

三绕组变压器三个绕组的容量，可以根据实际需要不等设计。变压器铭牌上的额定容量是指其中最大的一个绕组的容量。如将额定容量作为 100，则按国家标准，国产三绕组变

器三个绕组的容量比按高压绕组/中压绕组/低压绕组的顺序为：①100/100/100；②100/50/100；③100/100/50。

应注意：三绕组容量仅代表每个绕组通过功率的能力，并不说明三绕组变压器在具体运行时同时按比例传递功率。

三、分接开关

电网中各点电压有低有低，为使处于不同地点的变压器输出电压符合电压质量标准，需要使用分接头切换装置来切换高压绕组的分接头进行调压。停电后才能切换的，称为无载（无激磁）调压；可以带电切换的，称为有载调压。分接头切换装置的种类很多，有三相（主要用于中、小型变压器）和单相（用于大容量变压器）两种。

1. 无激磁调压变压器分接开关

无激磁调压变压器高压侧绕组一般设置 5 组分接头，通过分接开关来连接及切换分接头的位置，分接开关如图 1-12 所示。110kV 变压器有关数据见表 1-4。

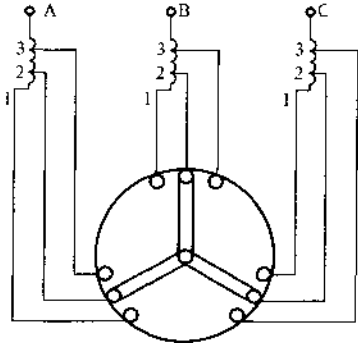


图 1-12 分接开关与分接头的连接示意图

表 1-4 110kV 升压变压器无激磁调压范围

高压绕组		
分接头 (%)	电压 (V)	分接位置
+5	120750	1
-2.5	117875	2
额定	115000	3
-2.5	112125	4
-5	109250	5
低压绕组电压 (V) 6300		

2. 有载调压变压器分接开关

随着科学技术的迅速发展，用户对供电质量的要求越来越高，因此有载调压变压器的需求量急剧上升，有载分接开关的生产迅速发展。

目前一般都采用电阻式有载分接开关，少数国家（如美国）采用电抗式有载分接开关。我国生产和采用的电阻式有载分接开关，一般都安装在变压器油箱内部，为埋入式的，较小容量和较低电压（60kV 及以下）的变压器采用复合式开关，它的切换开关和分接选择器组合在一起，切换时两者都有电流通过，因此切换能力较小。用于高电压大容量变压器的开关，采用切换开关和分接选择器分开的结构，切换开关用来切断电流，而分接选择器在无电流下变换分接，因此切换能力很大，最大通过电流已达 4000~5000A，级电压最高达 5000V。

有载分接开关能在带负载时操作，切换开关起关键作用。切换开关装在一个密封的油室内，包括触头系统、快速动作机构和传动系统。密封的油室使被电弧污染的油与变压器本体内存洁的油隔离，使带电部分与油箱间绝缘。

分接选择器的触头与变压器绕组的分接头相连，分成单、双两组被驱动，交替导通电

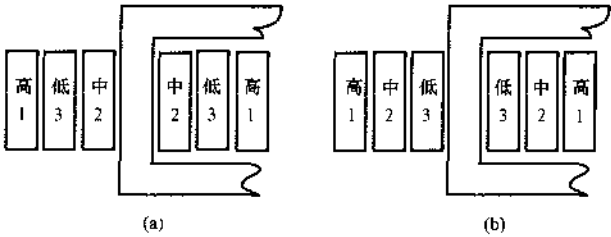


图 1-11 三绕组变压器的绕组结构
(a) 升压结构；(b) 降压结构

流。转换选择器是使变压器的调压绕组与主绕组可以正反联接,或粗调连接。转换选择器与分接选择器装在一个整体部件上,由一个机械传动系统根据位置号和接线图进行工作,以满足更多的调压级的需要。

驱动装置,也就是操动机构,是整个开关系统工作的执行机构,它根据指令来驱动有载分接开关转动到指定的位置,可由自动信号控制,也可由人工操作。

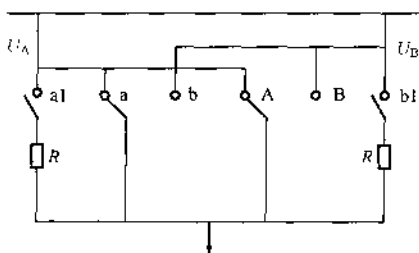


图 1-13 复合式滚动触头有载分接开关原理接线图

下面以复合式滚动接点有载分接开关为例说明有载分接开关的动作原理,如图 1-13 所示。图示状态为 A 分接头位置。当需要调到 B 分接头位置时,动作顺序为:①触头 A 断开, a1 合上;②触头 a 断开, b1 接通,这是过桥位置;③ a1 断开, b 接通;④ B 接通, b1 断开。如此完成一级调压,由 A 分接头位置调到 B 分接头位置。

当有载分接开关与线性布置的绕组配用时,分接开关为 7, 9, 13 调压级数;当与正反调或粗细调布置的绕组配用时为 ± 7 、 ± 9 、 ± 13 级,即共为 15 级、19 级和 27 级;另外还有更多级数的分接开关。

四、油箱及变压器油

油箱是油浸式变压器的外壳,由铁芯和绕组组成的变压器器身,全浸在油箱内的变压器油中,变压器油既作为绝缘介质,也是循环散热的冷却介质。

油箱由钢板制成,一般为椭圆形。在上沿壁焊有角钢或扁铁,作为连接箱盖的法兰。箱盖是平顶的,与油箱沿法兰用螺栓连接,并垫以密封衬垫。其他附件分别布置在箱顶、侧壁或底部。对于一些大型变压器(8000kVA 以上),由于吊芯困难和运输问题,已采用钟罩式油箱。钟罩式油箱在变压器检修时只需吊起钟罩即可,不必起吊笨重的器芯。

变压器油要求介电强度高、发火点高、凝固点低、灰尘等杂质和水分少。变压器油中只要含有少量水分,就会使绝缘强度大大降低。此外,变压器油在较高温度下长期与空气接触时将要老化,油中产生悬浮物,堵塞油路并使酸度增加,以致损坏绝缘,因此受潮或老化的变压器油需要经过过滤等处理,使之符合使用标准。

五、油枕、呼吸器、净油器和防爆管

装设了油枕、呼吸器和防爆管,可以大大地延缓变压器油受潮和氧化的进程,防止变压器油箱爆炸,如图 1-14 所示。

1. 油枕

油枕为变压器油提供了一个膨胀室。油枕是一个圆形容,水平安装在变压器顶盖上,并用弯管及阀门与油箱连通。油箱和油枕中间装有瓦斯继电器,可作为变压器的瓦斯保护。油枕作为变压器油热胀冷缩的缓冲容器,又因为变压器油在油枕内与空气相接触,接触面积小,同时油枕内的油几乎不参与变压器内部油的对流循环,油温较低,所以油的氧化过程可以减慢,而且从空气中吸入的水分、

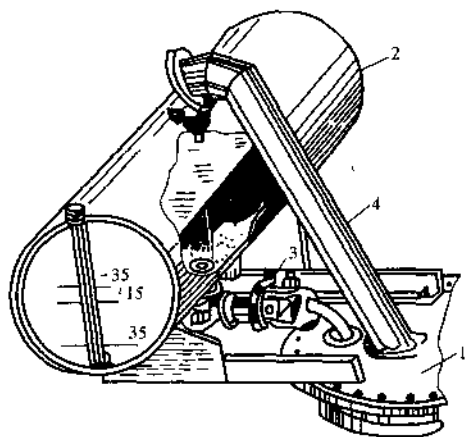


图 1-14 储油柜、安全气道及气体(瓦斯)继电器

1—油箱; 2 油枕; 3—气体继电器; 4—防爆管