

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

供用电设备

张 炜 主编



中国电力出版社

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

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

供用电设备

主 编	张 炜	
编 写	王红艳	王晓文
	武成香	李广鹏
主 审	李崇贺	



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为高职高专“十五”规划教材。

本书分为两篇，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。

本书可供高职高专学校的电气技术专业、工业电气自动化专业、供用电技术专业 and 楼宇自动化专业的学生使用，也可作为函授、自考辅导教材，还可作为从事电力工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电设备/张炜主编. —北京: 中国电力出版社, 2004.9

高职高专“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2074-3

I. 供... II. 张... III. 供电-电气设备-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085526 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

*

2004 年 8 月第一版 2006 年 4 月北京第二次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 22.75 印张 530 千字
印数 4001—6000 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)

序

随着新世纪的到来,我国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。新世纪新阶段的新任务,对我国高等职业教育提出了新要求。我国加入世界贸易组织和经济全球化迅速发展的新形势,也要求高等职业教育必须开创新局面。

高职高专教材建设是高等职业教育的重要组成部分,是一项极具重要意义的基础性工作,对高等职业教育培养目标的实现起着举足轻重的作用。为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神,进一步推动高等职业教育的发展,加强高职高专教材建设,根据教育部关于通过多层次的教材建设,逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系的精神,中国电力教育协会会同中国高等职业技术教育研究会和中国电力出版社,组织有关专家对高职高专“十五”教材规划工作进行研究,在广泛征求各方面意见的基础上,制订了反映电力及相关行业特点、体现高等职业教育特色的高职高专“十五”教材规划。同时,为适应电力体制改革和电力高等职业教育发展的需要,中国电力教育协会筹备组建全国电力高等职业教育教材建设指导委员会,以便更好地推动新世纪电力高职高专教材的研究、规划与开发。

高职高专“十五”规划教材紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才开展编写工作。基础课程教材注重体现以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点;专业课程教材着重加强针对性和实用性。同时,“十五”规划教材不仅注重内容和体系的改革,还注重方法和手段的改革,以满足科技发展和生产实际的需求。此外,高职高专“十五”规划教材还着力推动高等职业教育人才培养模式改革,促进高等职业教育协调发展。相信通过我们的不断努力,一批内容新、体系新、方法新、手段新,在内容质量上和出版质量上有突破的高水平高职高专教材,很快就能陆续推出,力争尽快形成一纲多本、优化配套,适用于不同地区、不同学校、特色鲜明的高职高专教育教材体系。

在高职高专“十五”教材规划的组织实施过程中,得到了教育部、国家电力公司、中国电力企业联合会、中国高等职业技术教育研究会、中国电力出版社、有关院校和广大教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务,不可能一蹴而就,需要不断完善。因此,在教材的使用过程中,请大家随时提出宝贵的意见和建议,以便今后修订或增补。(联系方式:100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222)

中国电力教育协会

前 言

本书是根据中国电力教育协会高职高专“十五”教材规划立项,结合高职高专以培养高等工程技术应用型人才的特点,力求满足生产实际对高职高专学校的电气技术专业、工业电气自动化专业、供用电技术专业和楼宇自动化等专业毕业生的要求而编写的。

本书与《供用电系统》教材的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电力变压器;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等。

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,第三、六章由张炜编写,第二、七章由张炜、李广鹏编写,第一章由武成香编写,第八~十四章由王红艳编写,第四、五章由王晓文编写。全书由李崇贺教授主审。

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

2004年6月

目 录

序
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	13
第四节 自耦变压器	17
第五节 分裂绕组变压器	22
第六节 变压器的运行、维护	24
本章小结	37
习题	37
第二章 互感器	39
第一节 电流互感器	40
第二节 电压互感器	50
本章小结	59
习题	59
第三章 防止过电压的设备与设施	61
第一节 避雷器	61
第二节 避雷针与避雷线	67
第三节 电气装置接地	72
本章小结	81
习题	81
第四章 开关电器	83
第一节 开关电器的基本工作原理	83

第二节	高压断路器及其操动机构	90
第三节	高压隔离开关	103
第四节	高压负荷开关	108
第五节	自动重合器和自动分段器	110
第六节	熔断器	116
第七节	低压断路器	122
第八节	刀开关及其组合电器	128
第九节	低压控制电器	131
第十节	漏电保护器	137
本章小结		139
习题		140
第五章	配电装置及组合电器	141
第一节	屋内外配电装置	141
第二节	成套配电装置	155
第三节	箱式变电所	167
第四节	SF ₆ 全封闭组合电器	172
本章小结		177
习题		178
第六章	电力线路	179
第一节	电力线路的分类及基本构成	179
第二节	架空线路	181
第三节	电力电缆	189
本章小结		195
习题		195
第七章	无功功率补偿装置	196
第一节	电容器	196
第二节	同步调相机	203
第三节	静止无功补偿装置	204
第四节	电抗器	208
本章小结		210
习题		211

第二篇 用 电 设 备

第八章 电力机械设备	212
第一节 三相异步电动机	212
第二节 泵	227
第三节 风机	237
第四节 泵与风机的节电途径和措施	240
本章小结	242
习题	242
第九章 电加热设备	243
第一节 电阻炉	243
第二节 电弧炉	254
第三节 感应炉	261
第四节 其他电炉或加热设备简介	266
本章小结	270
习题	270
第十章 电焊机	272
第一节 电焊机的组成与分类	272
第二节 焊接电弧与弧焊电源的一般特性	273
第三节 弧焊电源	278
第四节 电弧焊机	290
第五节 电阻焊机	294
第六节 其他电焊机的简介	298
本章小结	299
习题	300
第十一章 直流用电设备及直流电源	301
第一节 电解	301
第二节 电镀	304
第三节 直流电源	308
本章小结	313
习题	313

第十二章 制冷与空气调节	314
第一节 制冷原理	314
第二节 制冷系统的主要部件	317
第三节 空气调节	320
第四节 空调系统的节电途径	326
本章小结	327
习题	327
第十三章 电力牵引	328
第一节 概述	328
第二节 电力牵引供电系统	329
第三节 电力牵引供电方式	331
第四节 电力牵引远动装置	335
第五节 电力机车	336
本章小结	338
习题	338
第十四章 电气照明	339
第一节 电气照明的基本概念	339
第二节 电光源	341
第三节 照明器	347
第四节 照明供电	348
第五节 照明控制	350
第六节 电气照明的节电技术	353
本章小结	355
习题	355
参考文献	356

“-”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-63 000/110表示三相、风冷、强迫油循环、三绕组、有载调压、铝导线、63 000kVA、110kV电力变压器。

(3) OSSPSZL-120 000/220表示三相、水冷、强迫油循环、三绕组、有载调压、铝导线、120 000kVA、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 Q C CR N	变压器油 空气(干式) 气体 干式浇铸绝缘 干式(包封式) 难燃液体	6	绕组导线材质	L	铜 铝
				7	绕组耦合方式	O	自耦
				8	调压方式	Z	无激磁调压 有载调压
				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	H	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	△	△	△	D	d	d
曲折形联接并有中性点引出	Z	Z	Z	Z	z	z
	Z ₀	Z ₀	Z ₀	ZN	zn	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, yn0		
	Y/Z ₀ -11			Y, zn11		
	D/Y ₀ -11			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 500~100 kVA, 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, 铁芯柱上套绕组, 铁轭使整个磁路闭合, 可以取得较高的导磁率, 以使用较小的磁化力建立较大的工作磁通, 同时使一、二次绕组间交链紧密。

铁芯一般用厚度为 $0.35 \sim 0.5\text{mm}$ 厚的冷轧硅钢片叠成, 片间涂以 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ 厚的漆膜, 以避免片间短路、减少磁滞损耗。铁芯可分为芯式和壳式两种, 如图 1-2 所示。芯式结构比较简单, 绕组安置及绝缘处理较容易, 所以我国生产的电力变压器多采用芯式结构。

芯式变压器的一、二次绕组套装在铁芯的两个铁芯柱上, 如图 1-2

(a) 所示。这种结构比较简单, 有较多的空间装设绝缘, 装配较容易, 适用于容量大、电压高的变压器, 一般电力变压器均采用芯式结构。

壳式变压器的铁芯包围着绕组的上下和侧面, 如图 1-2 (b) 所示, 这种结构的变压器机械强度较好、铁芯容易散热, 但外层绕组的铜线用量较多, 制造也较为复杂, 小型干式变压器多采用这种结构形式。

大、中型变压器的铁芯, 一般都将硅钢片裁成条状, 采用交错叠片的方式叠装而成, 使各层磁路的接缝互相错开, 这种方法可以减小气隙和磁阻, 如图 1-3 所示。

小型变压器为了简化其制造工艺和减小气隙, 常采用 E、F、C 字形和日字形铁芯冲片交错叠装而成。这些冲片的形状如图 1-4 所示。

小型变压器铁芯柱的截面是方

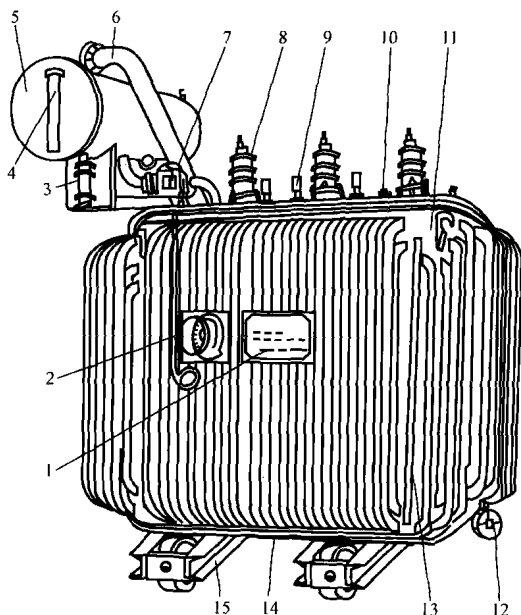


图 1-1 油浸式电力变压器

1—铭牌; 2—信号式温度计; 3—吸湿器; 4—油表;
5—储油柜; 6—安全气道; 7—气体继电器; 8—高
压套管; 9—低压套管; 10—分接开关; 11—油箱;
12—放油阀门; 13—器身; 14—接地板; 15—小车

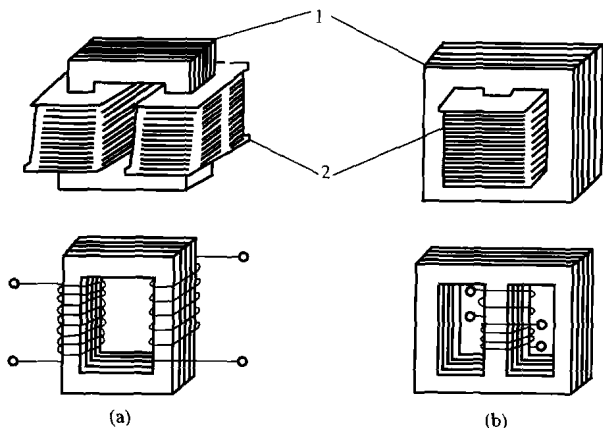


图 1-2 芯式和壳式变压器

(a) 芯式; (b) 壳式

1—铁芯; 2—绕组

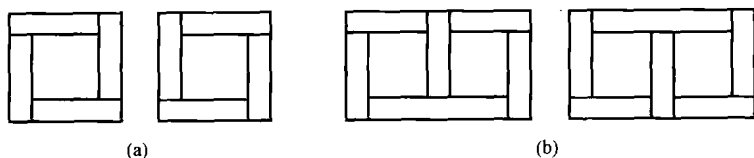


图 1-3 铁芯叠片

(a) 单相铁芯; (b) 三相铁芯

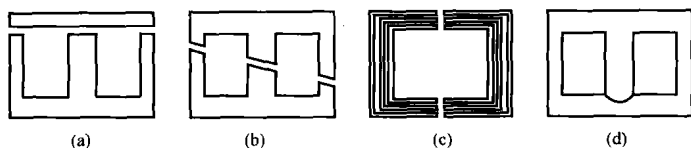


图 1-4 小型变压器的铁芯冲片

(a) E 字形; (b) F 字形; (c) C 字形; (d) 日字形

形或长方型的,如图 1-5 (a) 所示;大型变压器为了充分利用空间,铁芯柱的截面通常是梯形截面,如图 1-5 (b) 所示。为了改善铁芯内部的散热条件,当铁芯柱截面较大时,中间留有油道,如图 1-5 (c) 所示。

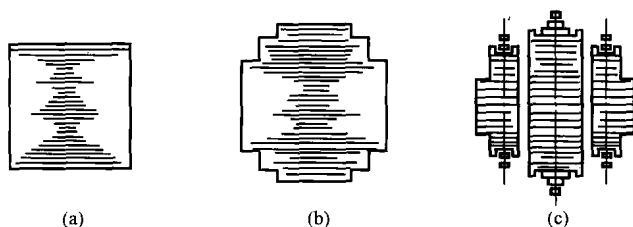


图 1-5 铁芯柱截面

(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 1-7 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

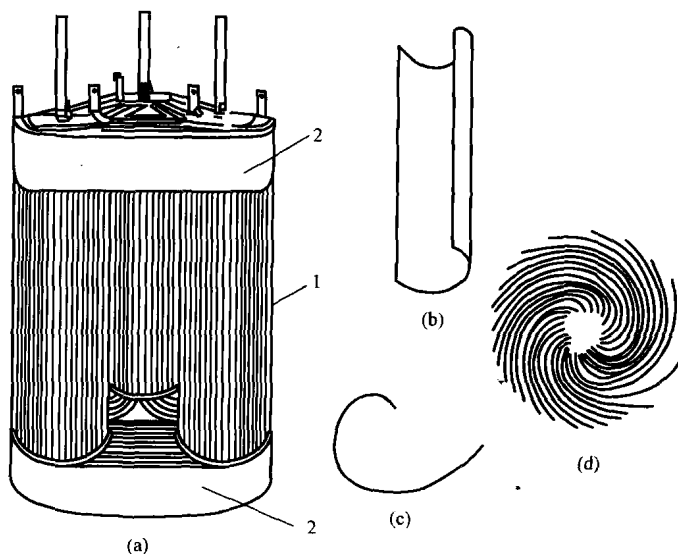


图 1-6 渐开线式铁芯

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

盖一起起吊。

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，绕组可分为同芯式或交叠式。

1. 同芯式绕组

我国生产的电力变压器多采用同芯式，三相变压器每相的一、二次绕组同芯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。

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

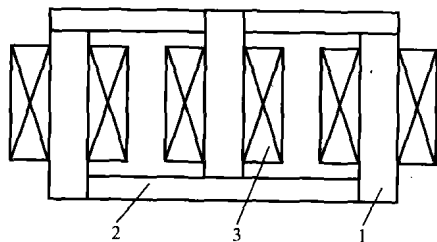


图 1-7 三相芯式变压器示意图

1—铁芯柱；2—铁轭；3—绕组

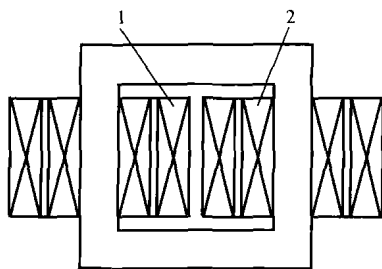


图 1-8 同芯式绕组

1—高压绕组；2—低压绕组

(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，里外层导线所交连的磁通就不一样，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。

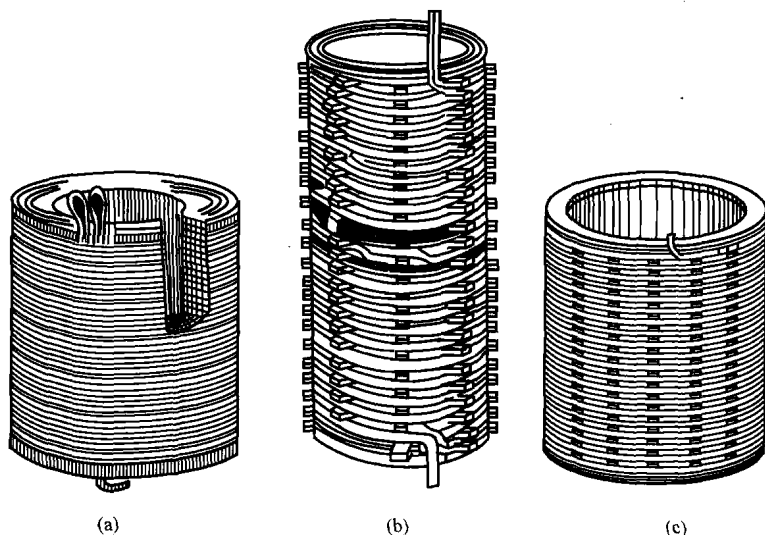


图 1-9 同芯式绕组的基本形式

(a) 圆筒式；(b) 螺旋式；(c) 连续式

(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。

2. 交叠式绕组

交叠式绕组又叫饼式绕组，将高、低压绕组分成若干绕饼，沿着铁芯柱的高度方向交替