

上海市工人业余学校课本

电 工

第 三 册
(试 用 本)

上海科学技术出版社

电 工

(第 三 册)

上海市工人业余学校教材编写组编

(原上海人民版)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 13.75 字数 304,000

1979 年 2 月新 1 版 1979 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—40,000

统一书号: 15119·1994 定价: 0.84 元

目 录

第八章 变压器	1
第一节 变压器的结构	2
一、铁心(3) 二、绕组(线圈)(8) 三、其他附件(10)	
四、本节小结(18)	
第二节 变压器的基本原理	19
一、变压器空载情况的分析(19) 二、变压器负载情况的分	
析(28) 三、本节小结(37)	
第三节 变压器的极性和联接	38
一、变压器的极性(38) 二、变压器的联接(41) 三、本节小	
结(47)	
第四节 变压器的运行	48
一、变压器运行标准(48) 二、变压器正常运行时的监视和检	
查(50) 三、变压器的过负载运行(52) 四、变压器	
油(55) 五、变压器的故障和处理方法(58) 六、变压器的并	
联运行(61) 七、本节小结(64)	
第五节 几种特殊用途的变压器	65
一、调压器(65) 二、互感器(69) 三、电焊变压器(75)	
四、电炉变压器(78) 五、本节小结(79)	
第六节 小变压器的计算	80
一、计算方法(80) 二、计算实例(84) 三、本节小结	
(98)	
复习题	98

第九章 交流电机101

第一节 三相异步电动机的基本构造和工作原理101

一、概述(101) 二、异步电动机的基本构造(102) 三、三相异步电动机的型号、结构和用途(108) 四、三相异步电动机的工作原理(111) 五、本节小结(123)

第二节 三相异步电动机的运行原理和工作特性124

一、旋转磁场对定子绕组的作用(124) 二、旋转磁场对转子绕组的作用及转子各量与转差率的关系(127) 三、异步电动机在空载和负载运行时的电磁过程(132) 四、异步电动机的功率和能量转换(134) 五、异步电动机的电磁转矩和机械特性(136) 六、异步电动机的工作特性(147) 七、异步电动机的名牌、定额及额定数据(148) 八、本节小结(149)

第三节 三相异步电动机的起动150

一、概述(150) 二、三相鼠笼式异步电动机的起动与起动设备(152) 三、三相绕线式异步电动机的起动与起动设备(167) 四、有较高起动转矩的鼠笼式电动机(174) 五、本节小结(177)

第四节 三相异步电动机的定子绕组及绕组故障的检查179

一、有关定子绕组分布的基本结构原则和概念(180) 二、三相异步电动机定子绕组的几种结构形式(182) 三、异步电动机的三相绕组展开图(184) 四、三相绕组联接顺序的简化表示法(198) 五、三相异步电动机的绕组故障及其检查和处理(200) 六、本节小结(206)

第五节 三相异步电动机的运行和维护207

一、异步电动机各部分的容许温升(207) 二、三相异步电动机在正常运行时的监视(209) 三、三相异步电动机的常见故障及处理方法(214) 四、本节小结(218)

第六节 单相异步电动机218

一、单相异步电动机的磁场和电磁转矩(219)	二、单相异步电动机的起动方法(223)	三、单相交流电风扇的维护与修理(227)	四、本节小结(233)
第七节 异步发电机		233	
一、概述(233)	二、异步发电机与电网并联运行(234)	三、单独运行的异步发电机(236)	四、使用注意事项(240)
五、本节小结(241)			
第八节 特殊用途的异步电动机		241	
一、电磁调速异步电动机(滑差电动机)(241)	二、力矩异步电动机(247)	三、本节小结(251)	
第九节 同步电机		252	
一、概述(252)	二、同步电机的构造(254)	三、同步电机的励磁方式(255)	四、同步发电机的工作原理与并联运行(258)
五、同步电动机的工作原理与起动(264)	六、反应式同步电动机(268)	七、本节小结(269)	
复习题		269	
第十章 直流电机		273	
第一节 直流电机的基本知识		273	
一、直流电机的基本工作原理(273)	二、直流电机的构造(279)	三、直流电机的系列和名牌(288)	四、直流电机的电枢绕组(293)
五、直流电机的电枢反应(310)	六、直流电机的换向(314)	七、本节小结(325)	
第二节 直流发电机		326	
一、直流发电机的应用及其分类(326)	二、直流发电机的运行原理(328)	三、直流发电机的特性曲线(333)	四、直流发电机的并联运行(342)
五、本节小结(345)			
第三节 直流电动机		345	
一、直流电动机的应用及分类(345)	二、直流电动机的运行原		

理(346) 三、直流电动机的运行性能(349) 四、直流电动机的
起动(356) 五、直流电动机的反转(360) 六、直流电动机的
制动(361) 七、直流电动机的调速(365) 八、本节小结(371)

复习题	372
复习题解答	376
附录一 提高变压器容量的措施	387
附录二 变压器、电机中常用的绝缘材料	390
附录三 三相异步电动机定子绕组的重绕与计算	392
附录四 直流电机接线图	417
附录五 直流电机的常见故障及处理方法	421
附录六 各种绝缘圆铜线最大外径表	430
附录七 常用圆铝、铜线的规格表	433

第八章 变 压 器

现代工业企业和日常生活中，广泛地应用不同电压的电能。例如：日常生活中的照明常用 220 伏或 110 伏电源；水泵、机床等电力拖动设备一般采用 380 伏电源；工业上安全照明常用 36 伏电源；供电线路常用 6 千伏、10 千伏或 35 千伏级电压；高压输电线电压常用 110 千伏，220 千伏或 330 千伏级电压。而发电机发出的电能，只有一个额定的电压数值，例如 6.3 千伏、10.5 千伏等，为了输电、供电、用电的需要，就必须根据不同情况变换成各种不同等级的电压。用来变换电压的设备就是变压器。图 8-1 是变压器的外形图。

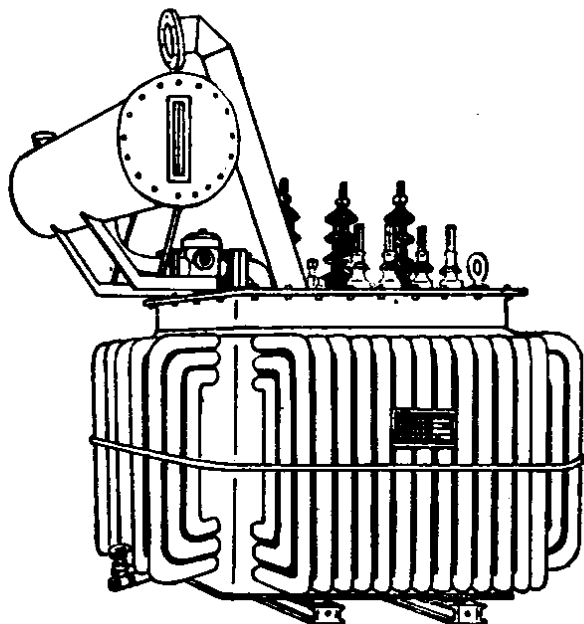


图 8-1 变压器外形图

变压器除了用于改变电压之外，还可用于改变电流（例如变流器、大电流发生器等），变换阻抗（例如电子线路中的输入变压器、输出变压器等），改变相位（例如利用改变线圈的联接方法来改变变压器的极性或组别）等。

变压器的种类很多，根据其不同用途有：输配电用的电力变压器，冶炼用的电炉变压器，电解用的整流变压器，焊接用的电焊变压器，实验用的调压器，仪表用变压器等等。尽管变

压器的种类很多,但其基本原理和基本结构是相同的。

我国广大电机制造职工,斗志昂扬,意气风发,不断地生产出体积小、重量轻、性能好的新产品,已经制造出 330 千伏级超高压电力变压器、有载调压变压器、铝线变压器、水内冷变压器、渐开线铁心变压器及其他各种用途的新型结构的变压器,并且还在继续研究试制更多的新产品。

“理性认识依赖于感性认识,感性认识有待于发展到理性认识,这就是辩证唯物论的认识论。”学习变压器及其运用时,我们应首先对变压器的结构及其各个部件的主要作用有个感性认识。在这个基础上,再进一步学习变压器原理、运行和计算等方面的知识。把感性认识上升到理性认识,以掌握变压器的实质问题和基本规律。

“研究任何过程,如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话,就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾,一切问题就迎刃而解了。”变压器内部的主要矛盾就是电磁矛盾。把变压器内部的电磁关系搞清楚了,对理解变压器的性能、运行及其用途就容易了。

“分析的方法就是辩证的方法。”在讨论变压器的原理时,必须采用分析的方法。通过对变压器空载情况及负载情况的分析来掌握变压器内部的电磁规律。在分析时要由浅入深地从变压器的简单原理开始分析,逐步的再考虑其他各种因素的影响,进而再对变压器的运行及计算进行讨论。以逐步掌握变压器一章的主要内容。

第一节 变压器的结构

如图 8-2, 在闭合铁心上绕有两个线圈,线圈与铁心和线

圈与线圈之间都是互相绝缘的。在一个线圈上接上交流电源(这个线圈称为原线圈),线圈中就有交变电流通过,因而产生交变的磁通 Φ 。由于铁心的联系,交变磁通 Φ 同时穿过原线圈和副线圈。根据电磁感应定律,这个变化的磁通 Φ 在原、副线圈中必然感应出与交变磁通同频率的感应电势。不同的线圈

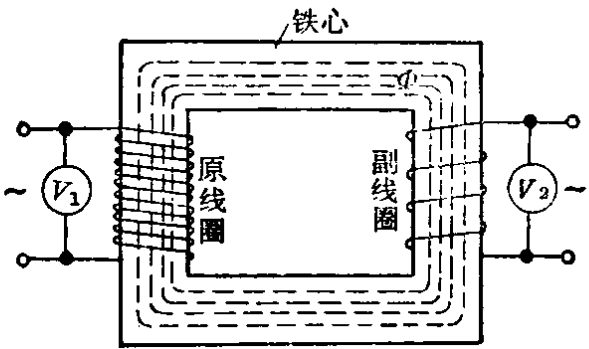


图 8-2 变压器简单原理图

匝数可以得到不同数值的感应电势。这就是变压器最简单的原理(在第二节还将进一步讨论)。由此可知,变压器的基本结构是由铁心及线圈组成的。此外,为了使变压器安全可靠地运行,还需要其他附件,如油箱、吸湿器、安全气道(安全通道)、气体继电器、绝缘套管、温度计等。图 8-3 是渐开线铁心变压器的结构图。

一、铁 心

铁心是组成变压器的主要部件之一,构成变压器的磁路,它由铁轭和铁柱两部分组成。绕组就套装在铁柱上。

对于小容量变压器,常采用方形和矩形截面的铁柱,大型变压器常用十字形和阶梯形截面的铁柱。图 8-4 是各种形状铁柱的断面。

铁轭断面的形状可做成矩形、十字形、T 形、倒 T 形和多级阶梯形,如图 8-5 所示。

为了减少变压器的损耗,一般采用表面涂有绝缘漆膜、厚度为 0.3 毫米或 0.5 毫米的硅钢片迭成铁心。在迭片时,铁

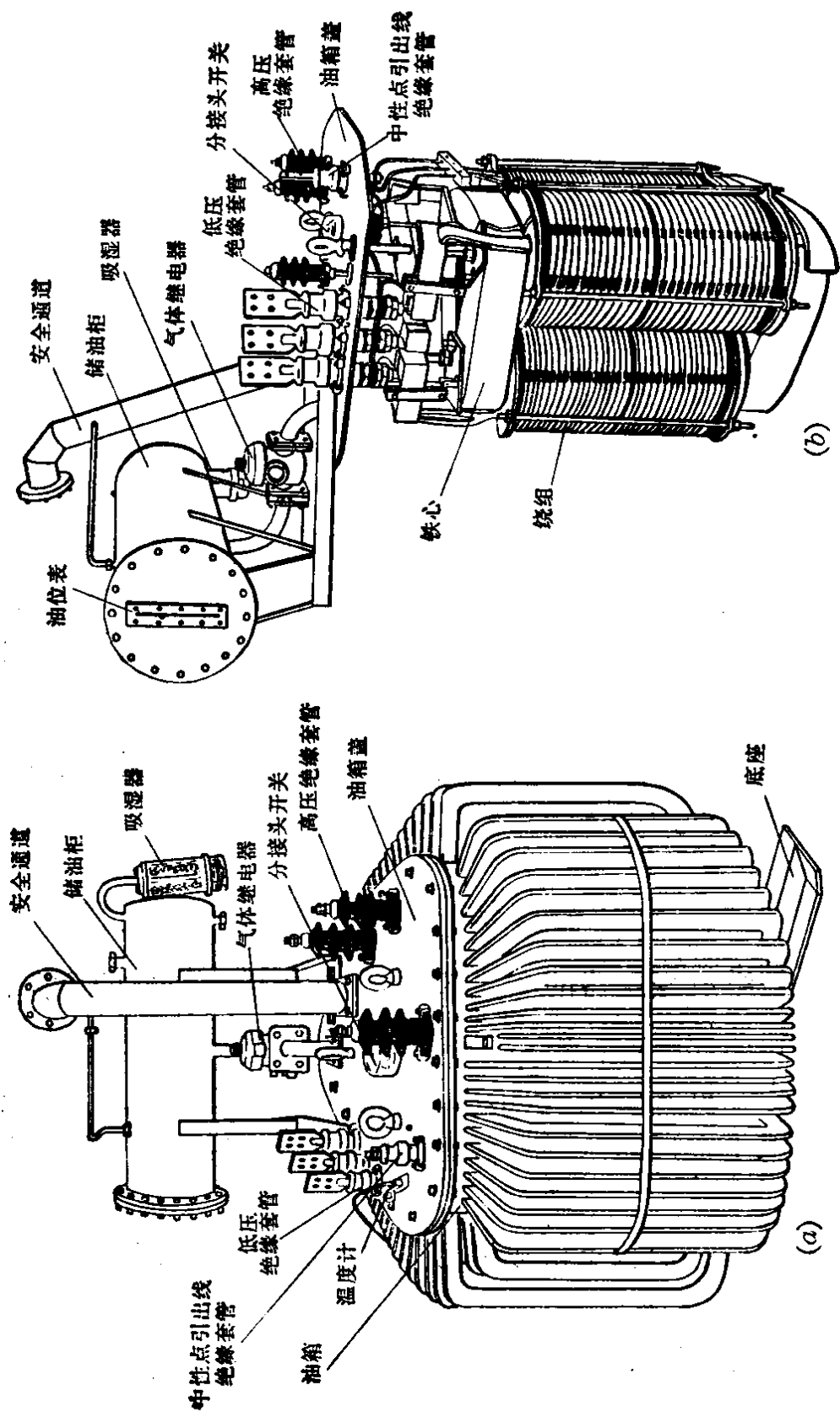


图 8-3 SJL-1000/10 型渐开线铁心变压器的结构

(型号命名意义: S—三相, J—油浸自冷式, L—铝线, 1000—额定容量为 1000 千伏安, 10—电压等级为 10 千伏。)

(a) 渐开线铁心变压器外形图; (b) 渐开线铁心变压器的内部结构图

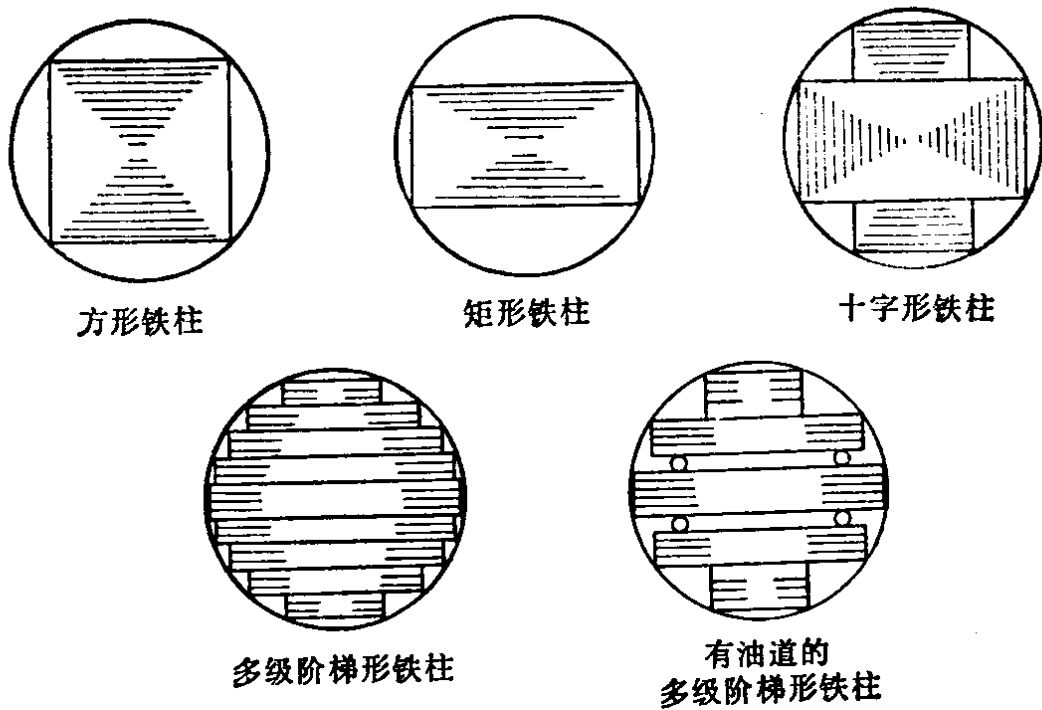


图 8-4 各种形状的铁柱断面

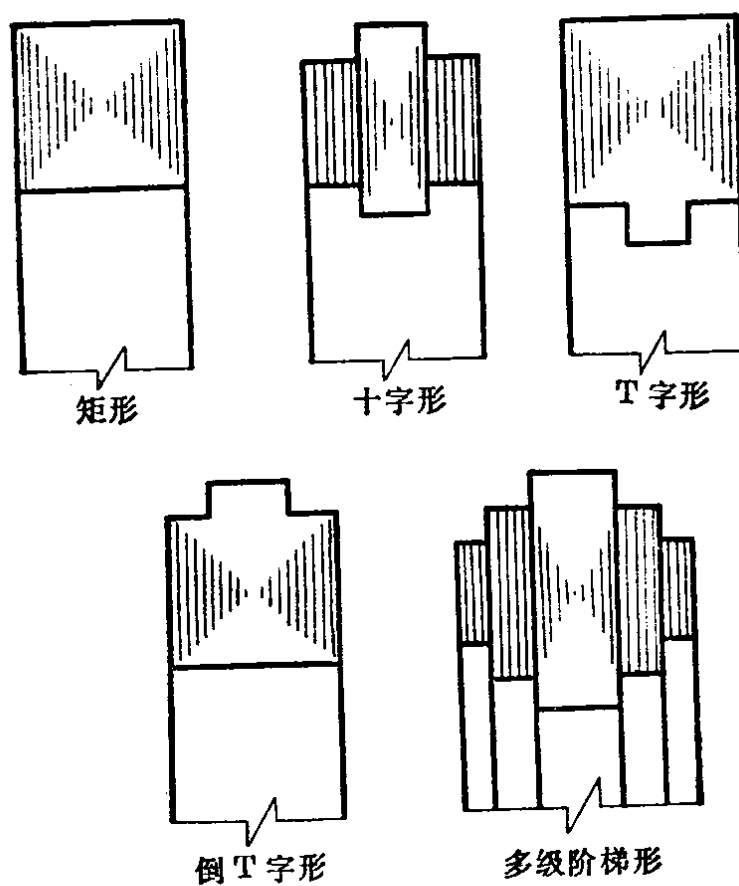


图 8-5 各种形状的铁轴断面

心的硅钢片一般采用交迭方式迭装，使上层与下层迭片的接缝互相错开，如图 8-6 所示。

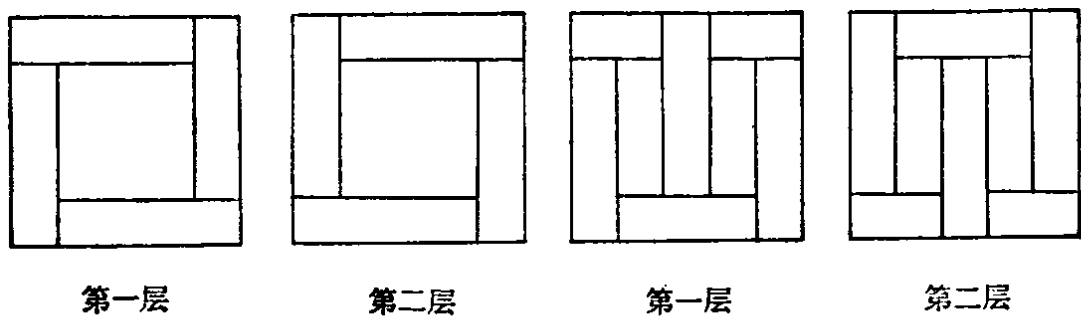


图 8-6 交错迭片

铁心迭成后，要用螺栓夹紧。若螺栓穿入铁心，则螺栓要用纸套管等绝缘，防止在片间形成短路而造成大的涡流。在大容量变压器中，为了更好地冷却铁心，在铁心柱及铁轭内开有油道。

小型变压器，为了简化工艺和减少铁心气隙，常采用山字形、日字形、F 形硅钢片或卷片式硅钢片，如图 8-7 所示。

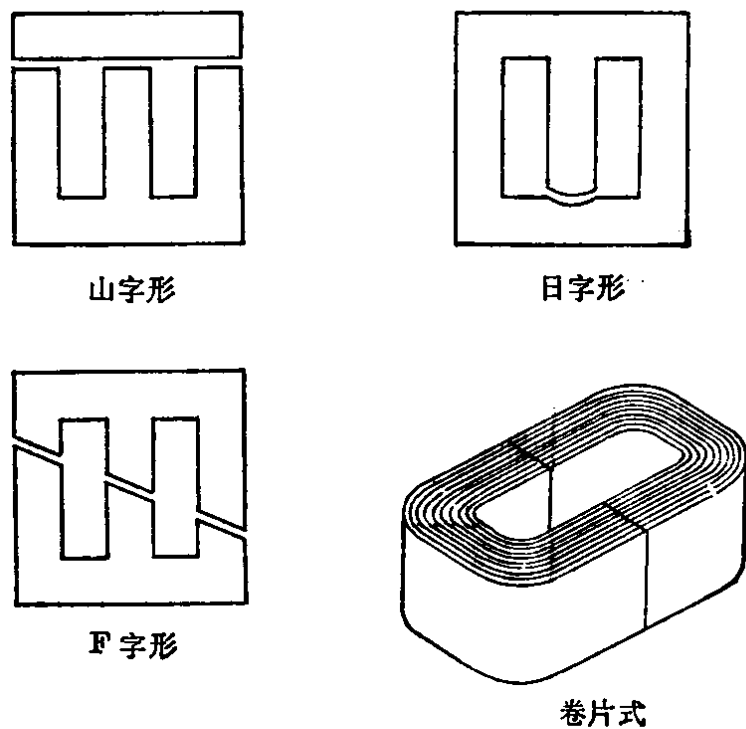


图 8-7 小型变压器铁心型式

渐开线铁心变压器是一种新型结构的变压器，具有结构简单、重量轻、体积小、技术经济指标先进等优点，而且为机械化生产、减轻体力劳动、提高劳动生产率提供了有利条件。以一台 1000 千伏安 10 千伏渐开线铁心变压器为例，与同容量的一般电力变压器相比，总重量减少 680 公斤（相当于 25%），硅钢片减少 196 公斤（相当于 16%），铝线减少 25 公斤（相当于 11%）。渐开线铁心变压器的特点主要反映在铁心方面，其铁心迭片的形状正好是一个圆的渐开线，将若干迭片迭装起来正好形成一圆柱形的铁柱，铁柱按等边三角形布置，用硅钢片卷制成等边三角形的铁轭，铁柱与铁轭组成闭合磁路。图 8-8 为渐开线铁心结构图。

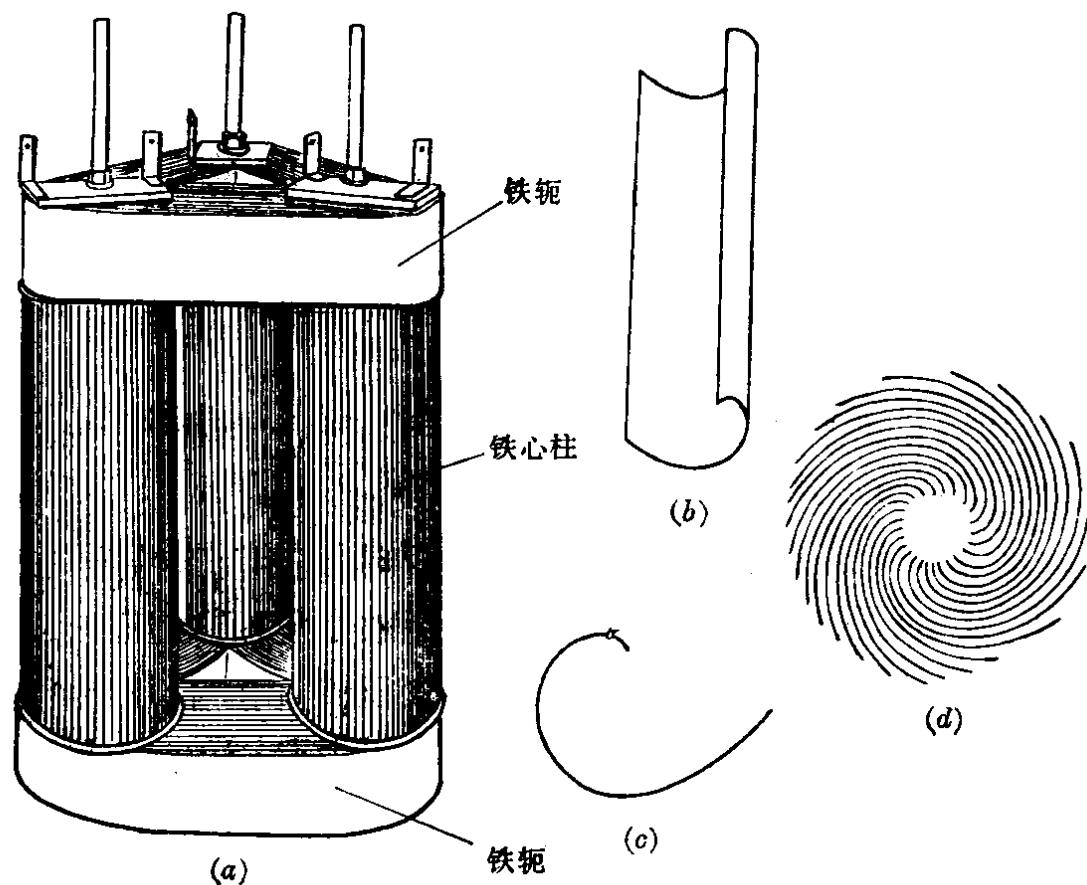


图 8-8 渐开线铁心
(a) 渐开线铁心结构； (b) 渐开线铁心的迭片；
(c) 渐开线的形状； (d) 渐开线铁心柱断面

二、绕组(线圈)

绕组是变压器的主要组成部分之一,它是变压器的电路系统。与电源联接的绕组称原绕组(或称初级绕组),与负载联接的绕组称副绕组(或称次级绕组)。

按照绕组在铁心上的排列方式,变压器绕组可分为同心式和交迭式两种,如图 8-9、8-10 所示。

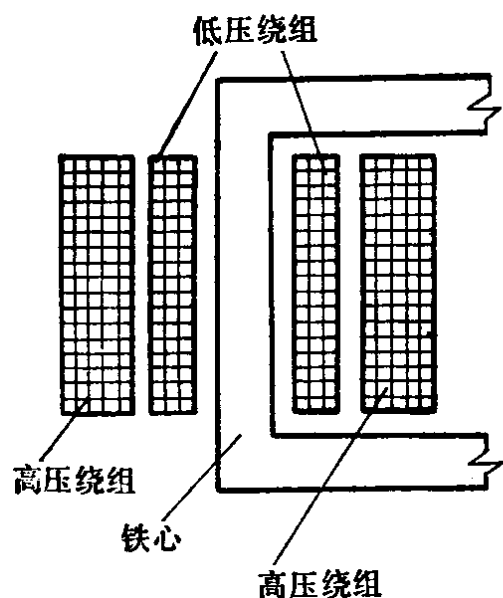


图 8-9 同心式绕组

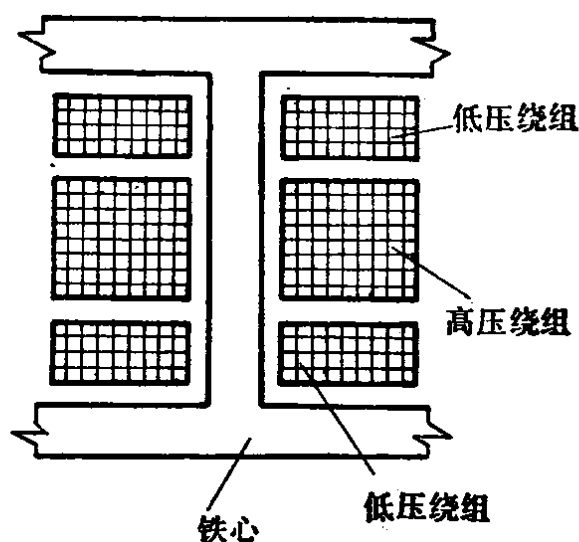


图 8-10 交迭式绕组

1. 同心式绕组

同心式绕组是将变压器的原绕组与副绕组套装在同一个铁柱上。为了便于绝缘,一般低压绕组放在里面,高压绕组放在外面。对容量较大、电流也较大的变压器,由于低压绕组引出线的工艺困难,也可把高压绕组放在里面,低压绕组放在外面。同心式绕组的结构简单,制造方便,是变压器绕组中最常用的一种形式。按照绕制方式的不同,同心式绕组又可分为圆筒式、螺旋式、连续式和纠结式等。

(1) 圆筒式绕组,用圆导线或扁导线绕制,在一层线圈

中每线匝紧靠着上一线匝,沿线圈的高度(轴向)排列。图8-11为扁导线绕成的圆筒式绕组。在绕组的层间可用绝缘撑条构成垂直油道(视具体情况而定)。圆筒式绕组可用单根或几根扁导线并联绕制,也可用单根或两根圆导线并联绕制。为了使各并联导线的电阻相等,并使各导线交链的漏磁通相等以免产生涡流,所以并联导线必须换位。

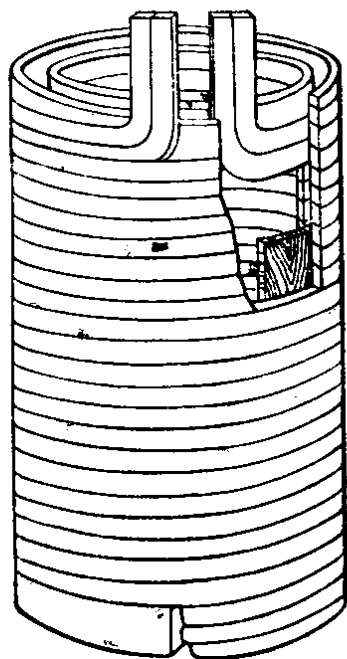


图 8-11 圆筒式绕组

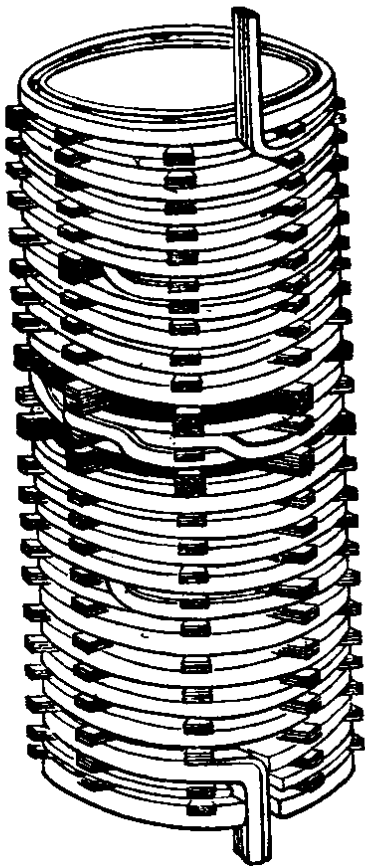


图 8-12 螺旋式绕组

圆筒式绕组的特点是绕制简便,但机械强度较差,冷却条件也较差。所以主要用于容量较小的变压器。

(2) 螺旋式绕组 螺旋式绕组每匝由许多根并联扁导线循螺旋形绕成,绕一圈就是一匝。匝间垫有绝缘垫块,形成幅向油道。撑条构成垂直油道。并联导线必须换位,如图 8-12 所示。

螺旋式绕组的特点是机械强度高, 冷却条件好。常用于中、大型变压器的低压绕组。

(3) 连续式绕组 由许多线盘(或叫线饼、线段)组成, 如图 8-13 所示。每线盘由一根或几根并联导线连续绕制, 包括好几匝, 最少 2 匝, 可以是整数, 也可以是分数, 只要所有线盘匝数之和等于总匝数就行了。线盘与线盘之间用绝缘垫块隔开, 形成水平油道。撑条构成垂直油道。在一线盘过渡到另一线盘时导线应换位。

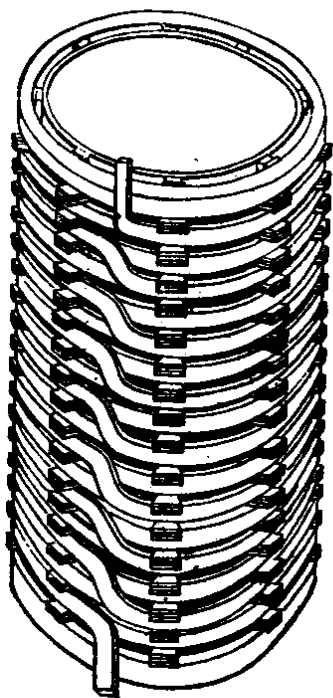


图 8-13 连续式绕组

连续式绕组的特点是机械强度高, 冷却条件好, 故在高电压、大容量的变压器中广泛应用。

(4) 纠结式绕组 目前电压在 110 千伏、220 千伏以上的大容量的变压器中应用纠结式绕组。

2. 交迭式绕组

交迭式绕组的高、低压绕组是互相交迭放置的, 如图 8-10 所示。为了便于绝缘, 最好是低压绕组靠近上下铁轭。交迭式绕组的漏抗小, 机械强度高, 引线方便, 一般用于低电压、大电流的变压器上, 如较大容量的电炉变压器、电阻焊电焊机(如点焊、滚焊、对焊电焊机)的变压器等。

三、其他附件

1. 变压器的分接头及调压开关

变压器在运行时, 副绕组输出电压是随输入电压的高低及负载电流的大小和性质而变化的。为了保持副绕组电压恒

定或控制其变化的幅度，变压器的电压应该在一定范围内可以调节。因此变压器的高压侧一般都有抽头，称为分接头，更换分接头就可改变原、副绕组的匝数比，以达到调节副绕组电压的目的。例如：SJL-1000/10 型渐开线铁心变压器有三个分接头，分别为 6600 伏、6300 伏、6000 伏。额定电压为 6300 伏，其余两个分接头和额定电压相差 $\pm 5\%$ （根据生产上的需要也可有更多的分接头）。变压器分接头通常安排在绕组的中部或一端附近。图 8-14 是几种分接头的布置方式（以一相为例）。

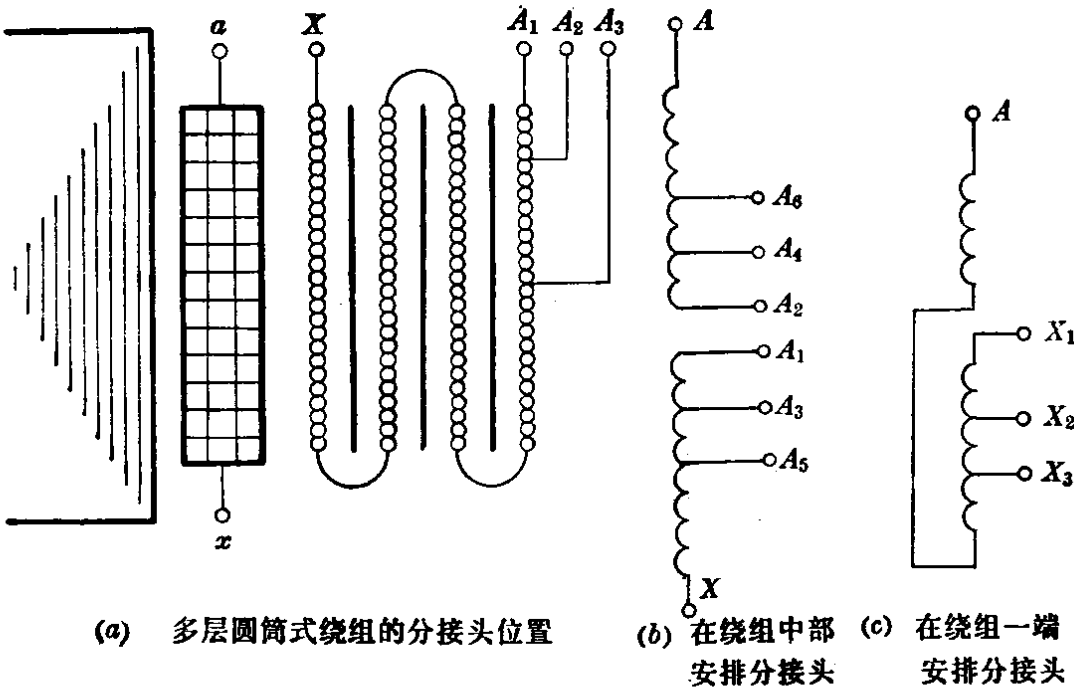


图 8-14 变压器分接头的布置方式

变压器的调压有无载调压和有载调压两种方式。图 8-15 是应用在具有中性点抽头的三相变压器（每相有三个分接头）上的无载调压开关。开关主要由固定在转轴上的动触头及定触头组成。九个定触头分别与三相绕组中的各个分接