

电力变压器的运行与检修

水利电力出版社



内 容 提 要

本书为电力变压器的现场运行和检修的一般知识。全书共分三章，在第一章变压器的基本知识中，着重叙述了变压器的基本原理、构造等；在第二章变压器的运行中，着重叙述了变压器的正常运行和特殊运行的原理以及现场的一般运行知识；在第三章变压器的检修中，着重叙述了变压器的吊芯大修、绝缘干燥及其试验项目等。

本书可供发电厂和变电所从事电力变压器方面工作的青年工人在自学中参考之用。

电力变压器的运行与检修

上海闸北发电厂 徐名通

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京印刷二厂排版

长春市印刷厂印刷

*

1976年8月北京第一版

1976年8月长春第一次印刷

印数 00001—75450册 每册 0.52 元

书号 15143·3174

毛主席语录

什么“三项指示为纲”，安定团结不是不要阶级斗争，阶级斗争是纲，其余都是目。

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

不斗争就不能进步。

工业学大庆

抓革命，促生产，促工作，促战备。

前 言

在毛主席革命路线的指引下，经过伟大的无产阶级文化大革命和批林批孔运动，经过学习无产阶级专政理论和评论《水浒》；特别是通过批判邓小平、反击右倾翻案风的斗争，无产阶级专政空前巩固，新生事物茁壮成长，伟大的祖国繁花似锦，一片兴旺景象。电力工业也和全国形势一样，到处莺歌燕舞。全体电力工人，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，坚持抓革命、促生产，当好“先行官”。各地区电力系统不断扩大，大大小小的电站和变电所相继建成，为发展我国社会主义建设事业增添了新的动力，为工业学大庆、农业学大寨运动不断做出贡献。

为了适应我国电力工业迅速发展和广大青年工人学习的需要，我们在总结群众实践经验的基础上，编写了《电力变压器的运行与检修》这本书，供发电厂和变电所内从事电力变压器方面工作的同志参考。

由于各单位的现场条件各不相同，所以运行和检修中有关各种具体技术数据和项目的规定也不相同，本书中所述的数据和项目等仅供参考。

本书对变压器绕组烧毁后的恢复性检修，因系属于变压器的制造性检修，所以不作详述。

由于本人政治、业务水平有限，加之写作时间比较短促，书中难免有错误之处，恳切地希望广大工农兵读者给予批评指正；同时，由于人们对客观事物的认识是不断深化

的，因此，在实践中，还需对本书不断加以修改和完善。

上海闸北发电厂 徐名通

一九七六年五月

目 录

前 言

第一章 变压器的基本知识	1
第一节 变压器的基本原理.....	1
第二节 变压器的基本构造.....	4
第三节 变压器的定额数据.....	31
第二章 变压器的运行	35
第一节 变压器的空载运行.....	35
第二节 变压器的负载运行.....	45
第三节 变压器的短路试验.....	58
第四节 变压器的并列运行.....	60
第五节 变压器的过负荷.....	78
第六节 变压器投入运行前的检查.....	87
第七节 变压器的投入运行.....	95
第八节 变压器运行中的检查.....	99
第九节 变压器油的运行.....	101
第三章 变压器的检修	113
第一节 检修的目的.....	113
第二节 变压器吊芯检修的期限和项目.....	114
第三节 变压器吊芯检修的方法.....	116
第四节 变压器不吊芯检修的期限和项目.....	170
第五节 变压器检修时的试验项目、标准和方法.....	172
第六节 变压器的干燥 (烘潮).....	203

附录一	正弦交变量的基本知识·····	218
附录二	外壳涡流加热磁化线圈计算方法·····	226

第一章 变压器的基本知识

在电力系统中，变压器已占着极其重要的地位，无论是在发电厂或变电所(站)，都可以看到各种型式和不同容量的电力变压器在运行着。为了使工业的布局更加合理，常需将电站建造在靠近动力资源的地方，这时就需要用巨大的升压变压器，通过远距离输电到工业区和城市网络；当电能输送到工业区和城市网络后，又要由数量众多的各种容量的大、中、小型变压器，来完成各种电压等级的电能分配；而多个电站联合起来组成一个电力系统时，除需要输电线路等设备外，也要依靠变压器把各种电压不相等的线路联接起来，形成一个系统。所以变压器在电力系统中，已成为不可缺少的重要设备。下面将变压器的基本知识作一概括介绍。

第一节 变压器的基本原理

1. 变压器 变压器是一种静止的电器。它由绕在同一个闭合的铁芯上的两个或两个以上的绕组组成，通过交变磁场的联系，把一种交流电的电压和电流转变为频率相同的另一种或几种数值不相等的电压和电流。

2. 变压器的工作原理 变压器的工作原理是基于电磁感应定律。在电工学中可知，当导线处在变动着的磁场中时，导线的两端就会感应出电势，这种现象就是电磁感应。图1-1所示的是变压器的原理图。在一个成闭合回路的铁芯 3 上，绕有原绕组 1 和副绕组 2，这两个绕组（也叫做线圈）的匝

数通常是不相等的，它们分别为 w_1 匝和 w_2 匝。如果副绕组不接上负载，而将原绕组接到电压为 U_1 的交流电源上，那末

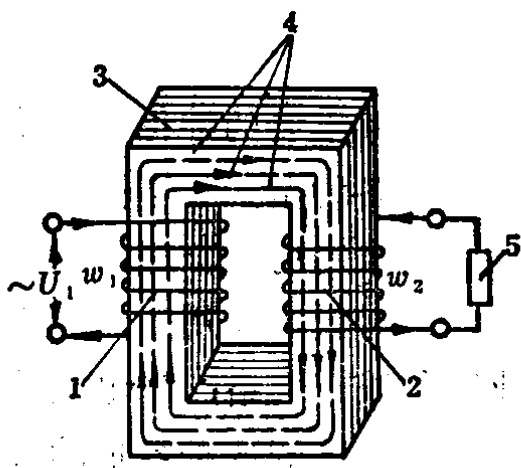


图1-1 变压器原理图

1—原绕组；2—副绕组；3—铁芯；
4—交变磁通 ϕ ；5—负载

就有交流电流流过原绕组。电流流过原绕组后，就产生了磁动势（简称磁势），在铁芯中就会建立起交变磁通 ϕ ，这个交变磁通 ϕ 与原、副绕组都同时相磁链。由于交变磁通 ϕ 是随时间而变化的，所以在两个绕组中就分别感应出瞬时电势 e_1 和 e_2 。

感应电势数值的大小，与绕组的匝数和磁通随时间变化的速率（即单位时间内磁通量的变化）成正比。假设在时间 t_1 时的磁通为 ϕ_1 ，到时间 t_2 时的磁通为 ϕ_2 ，那末在时间差 $t_2 - t_1 = \Delta t$ 的这一短暂的时间内，磁通量的变化是 $\phi_2 - \phi_1 = \Delta \phi$ ，所以磁通变化的平均速率可以表达为 $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ ，于是在该时间内感应电势的平均值 E_p 可用下式求得

$$E_p = w \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \text{ ①}$$

所以原绕组感应电势的平均值

$$E_{1p} = w_1 \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

①这里只考虑感应电势数值的大小，而未考虑感应电势的方向，如考虑到方向，则表达式应为 $E_p = -w \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ 。

副绕组感应电势的平均值

$$E_{2p} = w_2 \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

由于 $w_1 \neq w_2$, 所以 $E_{1p} \neq E_{2p}$ 。

如果将副绕组接上负载, 则在感应电势 E_{2p} 的作用下, 沿着副绕组和负载所组成的回路内就有电流流过, 这时原绕组便从电源中吸取电能, 并通过电磁感应将能量传递给副绕组, 再由副绕组供给负载, 这就是变压器的工作原理。

3. 常用术语及其含义 凡接到电源上吸取能量的绕组叫原边绕组, 也称原边、一次侧、初级; 而输出能量给负载的绕组叫副边绕组, 也称副边、二次侧、次级。

有关原绕组的各电量, 例如电势 E ①、电流 I 、电压 U 、阻抗 Z 等, 在它的代表符号的右下方均注以角码 1, 如 E_1 、 I_1 、 U_1 、 Z_1 等; 同样有关副绕组的各电量, 在它的代表符号的右下方均注以角码 2, 如 E_2 、 I_2 、 U_2 、 Z_2 等。

一般情况下, 变压器原、副两边的电压是不相等的, 如副边电压大于原边电压, 就叫做升压变压器; 如副边电压低于原边电压, 就叫做降压变压器。有时把电压高的这只绕组称为高压绕组, 而电压低的这只绕组就称为低压绕组 (本书常以高压绕组作为原边绕组来讨论)。

如果变压器只有两个绕组, 就叫做双绕组变压器, 或叫做双线圈变压器, 简称双圈变压器; 如果变压器有三个绕组, 就叫做三绕组变压器, 或叫做三线圈变压器, 简称三圈变压

①在交流电的各电量中, 例如电势、电压、电流等, 它们有瞬时值、有效值和最大值之分。用符号来表达时, 通常瞬时值用小写文字表示, 有效值用大写文字表示, 最大值用大写文字加角码 m 表示。例如电势用 e 、 E 、 E_m ; 电压用 u 、 U 、 U_m ; 电流用 i 、 I 、 I_m 表示等。

器；有多个绕组的变压器称多绕组变压器；原边和副边有共同绕组的变压器称为自耦变压器。

第二节 变压器的基本构造

每台电力变压器(指较大容量变压器而言)总是由铁芯、绕组、油箱、绝缘套管和冷却系统等五个主要部分构成，现分别叙述如下。

一、铁 芯

变压器的铁芯有两种基本的结构型式，一种叫芯式铁芯，也叫内铁式铁芯，如图1-2和图1-3所示；另一种叫壳式铁芯，也叫外铁式铁芯，如图1-4和图1-5所示。

在单相芯式变压器中（见图1-2），是将绕组分别放在两个铁芯柱上，这两个铁芯柱上的绕组可以接成串联，也可以

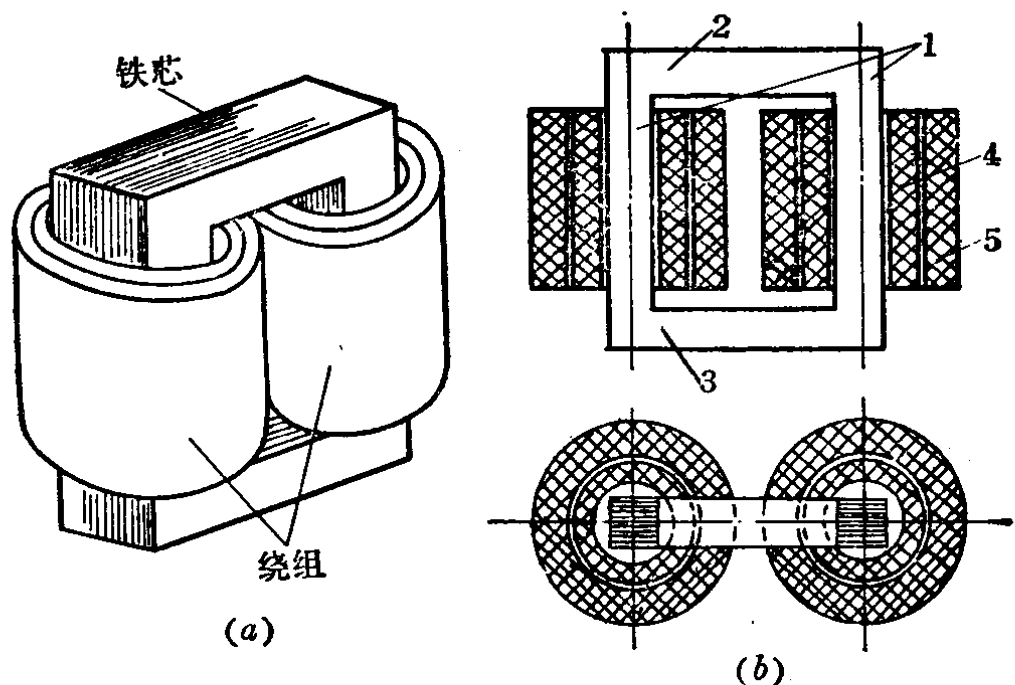


图1-2 单相芯式变压器的铁芯和绕组

(a) 外形；(b) 剖面图

1—铁芯柱；2—上铁轭；3—下铁轭；4—低压绕组；5—高压绕组

接成并联。在三相芯式变压器中（见图1-3），每相各有一个铁芯柱，因此共有三个铁芯柱，用上下两个铁轭把三个铁芯柱联接起来。

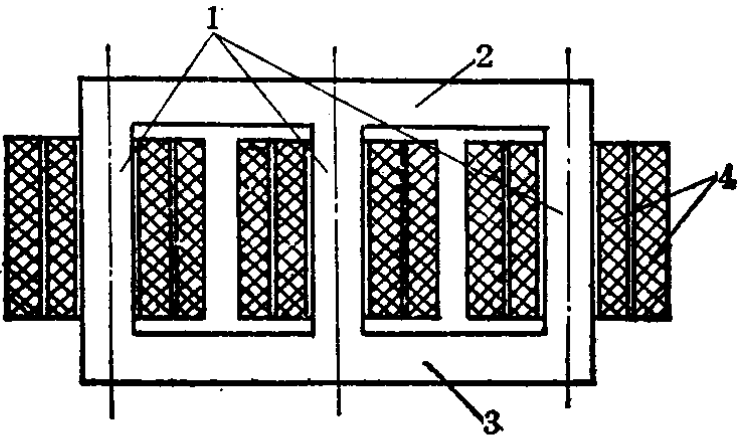


图1-3 三相芯式变压器的铁芯和绕组
 1—铁芯柱； 2—上铁轭； 3—下铁轭； 4—绕组
 单相壳式变压器的构造（见图1-4），具有两个分支的磁

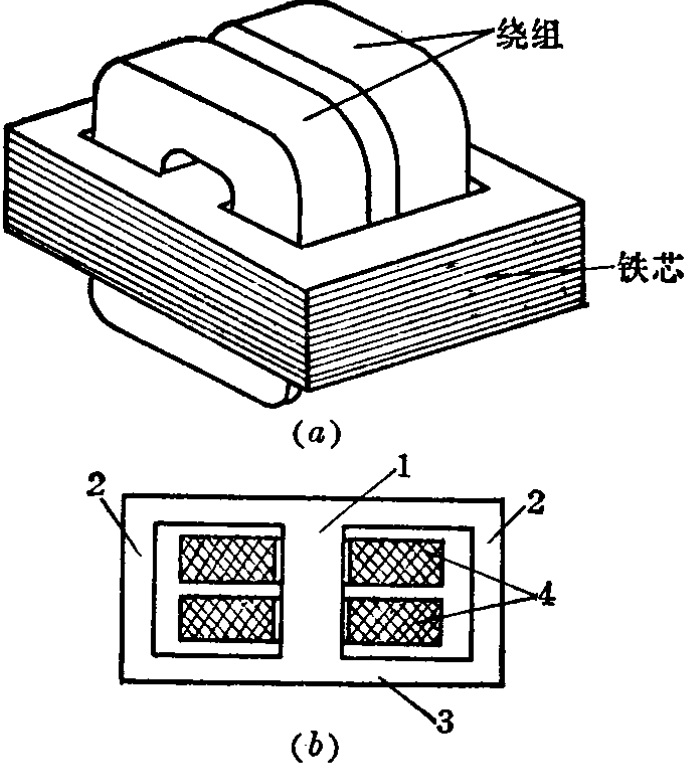


图1-4 单相壳式变压器的铁芯和绕组
 (a) 外形； (b) 剖面图
 1—铁芯柱； 2—分支铁芯柱； 3—铁轭； 4—绕组
 路系统，且中间一个铁芯柱的宽度等于两侧分支铁芯柱的宽

度之和。把绕组放在中间的铁芯柱上，两个分支铁芯柱分别围绕在绕组的外侧，好像是绕组的“外壳”似的，因而得名有壳式变压器之称。三相壳式变压器（见图1-5），可以看作是由三个独立的单相壳式变压器并排放在一起组成。

在结构上，芯式变压器比壳式变压器简单，而且绕组与铁芯之间的绝缘也比较容易处理，所以得到广泛的应用，在我国，只有小容量的

单相变压器才采用壳式变压器，如无线电用的变压器等。

1. 铁芯的材料 为了降低铁芯中的发热损耗，变压器的铁芯是由厚度为0.35或0.5毫米的硅钢片迭装而成。这种硅钢片的含硅量达4~5%。为了减少涡流损失，在迭装之前，硅钢片的两面均涂以绝缘清漆，使片与片之间相互绝缘。在较老的产品中，亦有用0.04~0.06毫米厚的绝缘纸隔开作为片间绝缘的。

变压器的铁芯也有用一种叫做冷轧钢片做成的。这种钢片在沿着辗轧的方向磁化时，有较小的铁中发热损耗和较高的导磁系数。当变压器铁芯的材料用了这种冷轧钢片时，它的体积和重量就会显著的减小、减轻。但冷轧钢片的价格要比普通的硅钢片贵些，在我国，目前生产的电力变压器都已普遍地使用冷轧钢片。

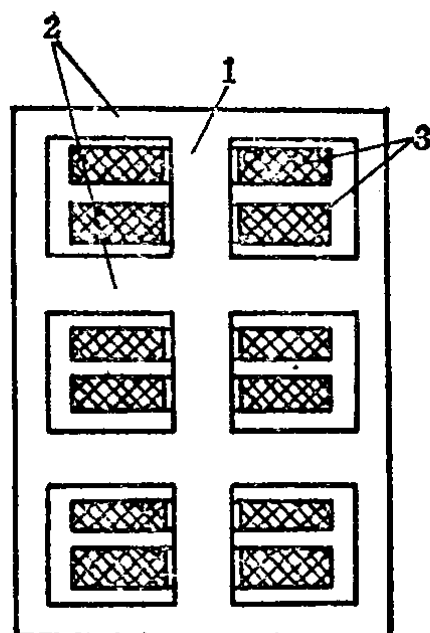


图1-5 三相壳式变压器的铁芯和绕组

1—铁芯柱； 2—铁轭；
3—绕组

2. 铁芯的装配 铁芯用裁成长条的硅钢片迭装而成。迭装时每层在接缝处错开，如图1-6和图1-7所示。在每一层

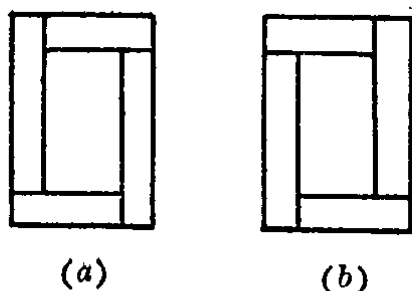


图1-6 单相变压器铁芯迭装法

(a) 第1、3、5……层；(b) 第2、4、6……层

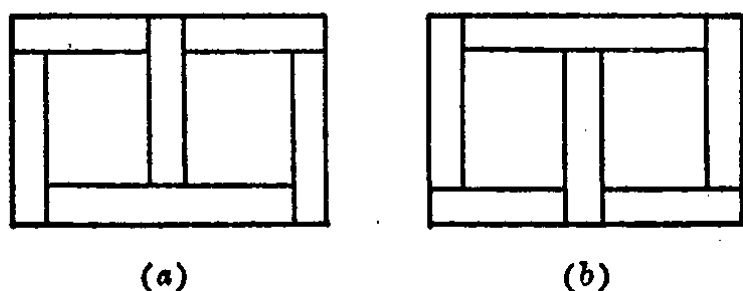


图1-7 三相变压器铁芯迭装法

(a) 第1、3、5……层；(b) 第2、4、6……层

铁芯的钢片接缝处，都被邻层的钢片盖上，用这种迭装法可使空气隙减小。当钢片迭装到所需要的厚度时，就用夹紧螺栓将钢片夹紧，使之成为一个坚固的铁芯整体。但夹紧螺栓与钢片之间应该绝缘，如果不绝缘，钢片就会被夹紧螺栓所短路，在此短路的地方就会引起过热，当过热严重时会导致烧坏附近的铁芯和绕组，所以是比较危险的。目前，在新的铁芯制造工艺中，铁芯柱已不再用螺栓来夹紧，而广泛地采用无纬环氧玻璃布带扎紧，但铁轭仍依靠型钢等夹件用螺栓夹紧。

3. 铁芯的截面 铁芯柱的截面，在容量较小的变压器中是做成方形的或长方形的，如图1-8(a)所示。当容量稍大些时，为了节省材料和充分利用空间，铁芯柱的截面做成一

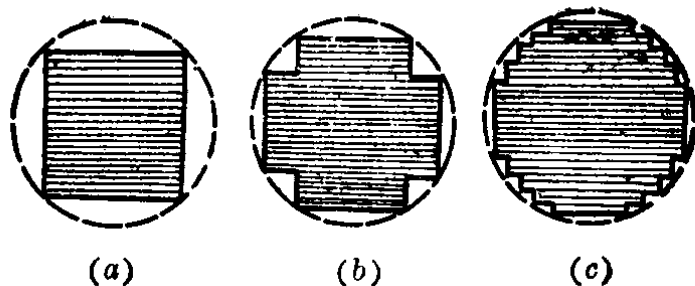


图1-8 铁芯柱的各种截面形状

(a) 方形；(b) 十字形；(c) 多级阶梯形

个外接圆的阶梯形，如图1-8(b)所示的十字形截面；随着变压器容量的不断增大，铁芯柱的直径也随着增大，阶梯的级数也随着增加，则可做成如图1-8(c)所示的多级阶梯形截面。

在大容量的变压器中，为了使铁芯中发出来的热量能被绝缘油在循环时充分地带走，从而达到良好的冷却效果，因此除将铁芯柱的截面做成阶梯形外，还设有散热沟(油道)，如图1-9所示。散热沟的方向与钢片的平面可以做成平行的，如图1-9(a)所示，也可以做成垂直的，如图1-9(b)所示，垂直的效果比平行的好，但铁芯的结构因而也复杂了。

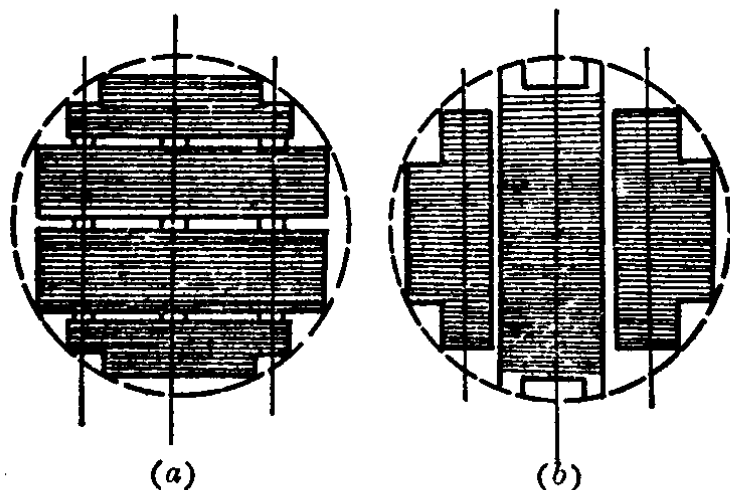


图1-9 有散热沟的铁芯柱截面

(a) 平行的；(b) 垂直的

铁轭的截面也有方形的和各种阶梯形的,如图1-10所示,为了减少变压器的空载电流和铁芯发热损失,铁轭的截面可以比铁芯柱的截面大5~10%。

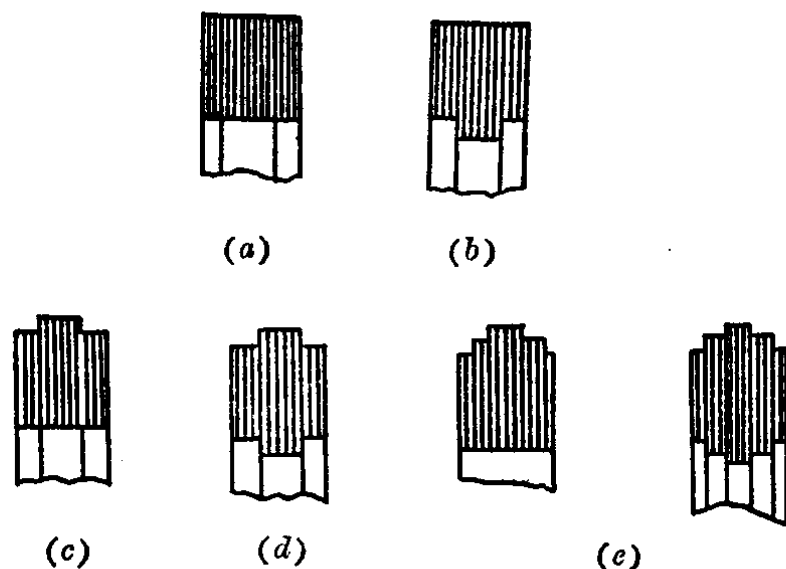


图1-10 铁轭截面的各种形状

(a) 方形; (b) 丁字形; (c) 倒丁字形; (d) 十字形;
(e) 多级阶梯形

4. 铁芯的接地 变压器在运行中,铁芯以及固定铁芯的金属结构是处在强电场之中,在电场的作用下,它具有较高的对地电位,如果铁芯不接地,它与接地的夹件(即夹紧上、下铁轭的型钢或金属构件)及油箱等之间就会有电位差存在,在电位差的作用下,会产生断续的放电现象,这是不允许的。因此必须将铁芯以及固定铁芯的金属结构接地,使之与油箱等同处于地电位。

铁芯通常是采用一点接地的方法以达到接地的目的,因为铁芯的硅钢片间是相互绝缘的,用以防止产生较大的涡流,因此不可以将所有的硅钢片都接地,否则即造成较大的涡流使铁芯发热,那么铁芯的接地又是怎样做到的呢?通常是将

铁芯的任意一片硅钢片接地来实现的，因为硅钢片间虽有绝缘，但其绝缘电阻值是很小的，它只足以防止涡流从一片流向另一片，而不能阻止感应的高压电荷，所以，我们若将铁芯的任一片硅钢片接地，那么整个铁芯也就都接地了。

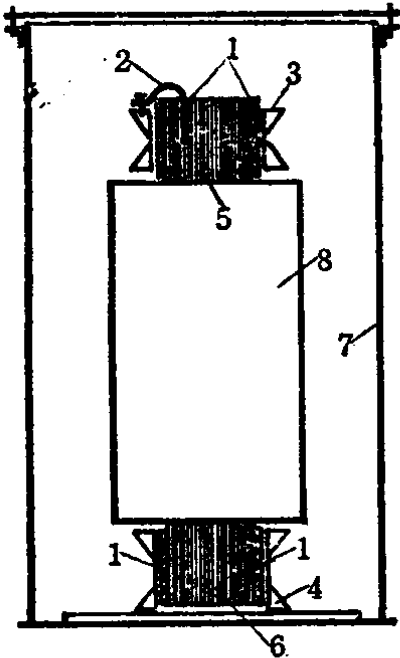


图1-11 变压器铁芯
接地示意图

1—绝缘衬垫；2—接地铜片；3—上夹件；4—下夹件；5—铁芯上铁轭；6—铁芯下铁轭；7—箱壳；8—绕组

组成铁芯的硅钢片与上、下夹件之间是用绝缘物绝缘开来的，如图1-11中的1所示，我们用一片薄的接地铜片（如图中的2），一般厚度约为0.3毫米，将其一端插入上铁轭的任意两片硅钢片之间，它被铁轭的硅钢片所夹紧，而将其另一端与夹件相连接，由于夹件是直接接地的，于是铁芯就一点接地了。

某些变压器，由于其内部结构的需要，其上、下夹件是相互绝缘的，这时就必须在上、下铁轭各插入一片接地铜片，但其上、下铁轭接地的位置

必须对应，即接地铜片到铁轭边缘的距离应相等，否则会使部分硅钢片间形成局部短路，产生大电流而引起铁芯发热。

铁芯的穿芯螺栓、螺帽、垫板等是不接地的，但由于它们都处在铁芯之中，所以与铁芯一样是同属于地电位的。

二、绕 组

我国生产的电力变压器，基本上只有一种结构型式，即