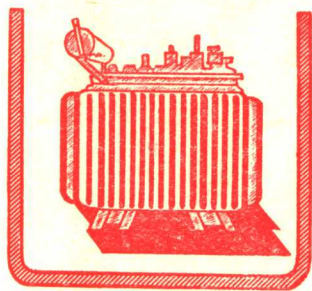


電力變壓器和 調壓裝置

李 鈞著

第 六 冊

發電廠和變電所的電氣工人叢書



水利電力出版社

41

5

內 容 提 要

本書系統地介紹了變壓器和調壓裝置的種類、構綫和運行方式等，說理淺近，是變電所值班人員以及擔任變壓器方面工作的工人的學習參考書。

在變壓器方面，分別敘述了變壓器的分類和構造、結綫組別、保護裝置、各種運行方式、並列運行、變壓器油、常見故障和消除方法、檢修和質量要求以及試驗方法等。

在調壓裝置方面，對分接開關、調壓變壓器、升壓器和電壓調整器等作了較全面的介紹，其中關於構造和應用作了較詳細的敘述。由於電壓調整器雖屬於變壓器一類的電器，但在使用原理方面有它突出的地方，因此對電壓調整器的使用原理也作了淺近而詳細的說明，使讀者易于掌握。

電力變壓器和調壓裝置

李 鈞著

*

1209D345

水利電力出版社出版(北京西郊裕民路三里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 1/32開本 * 3 3/4印張 * 85千字

1958年9月北京第1版

1958年9月北京第1次印刷(0001—10,100冊)

統一書號: T15143·172 定價(第9類)0.40元

出版者的話

随着工农业的大跃进，各省、市、专区、县和有条件的农业生产合作社，都在迅速地建設着中小型的火力发电厂和水电站。因之电气工人必将大量增加。为了适应电气工人的技术学习和工作的需要，我們决定出版一套“发电厂和变电所的电气工人丛书”。这套丛书共二十三册，内容包括：发电厂和变电所的电气设备概論；发电机和調相機、电机的檢修和試驗；交直流电动机和励磁机；发电厂和变电所的主要电力变压器和調压裝置；开关设备；配电裝置；继电保护裝置；蓄电池；繼电保护和二次回路；电气保安；发电厂和变电所的过电压保护；发电厂和变电所的安全設備和用具；发电厂和变电所的自动控制和信号设备；发电厂和变电所的遙远测量和遙远調整；发电厂和变电所的通訊设备；发电机和发动机的安裝；电力变压器的安裝；开关安裝和母綫的安裝等。文字通俗易懂，沒有高深的理論，并适当地附了一些插图来帮助理解文字叙述；它能使具有高小至初中文化程度的电气工人比較系統地从書中得到发电厂和变电所电气设备的結構、性能、安裝、运行和维护等各方面的知識。

因为担任这套丛书編写工作的各位作者写作进度不一，所以这套丛书将不根据順序出版，而是根据作者脫稿的先后陸續出版。在編写这套丛书时，我們考虑了丛书的系統性，也考虑了每册的独立性，所以不按順序出版，对讀者的影响不会太大。我們誠懇的希望讀者提出宝貴意見。

目 錄

第一章 变压器的类型和构造	4
第一节 变压器的分类	4
第二节 变压器的主要构成部分	7
第三节 变压器各部分的构造	9
第二章 变压器的結綫組別	18
第一节 变压器綫卷連接法的分类	18
第二节 連接法的应用	24
第三章 調压裝置	25
第一节 調压裝置的应用与分类	25
第二节 分接开关	29
第三节 調压变压器	32
第四节 升压器	33
第五节 电压調整器	35
第四章 变压器的保护装置	40
第一节 过电流保护	42
第二节 差动保护	47
第三节 瓦斯繼电保护	50
第四节 过电压保护	53
第五章 变压器的运行	56
第一节 变压器的正常运行	56
第二节 电压变动对变压器的影响	62
第三节 变压器的溫升与运行的关系	62

第六章	并列运行	65
第一节	并列运行的条件	65
第二节	极性、接线组别、相序、相位与并列运行的关系	65
第三节	变压比与并列运行的关系	70
第四节	短路电压与并列运行的关系	71
第七章	变压器油	72
第一节	变压器油的性质及试验方法	72
第二节	变压器油的维护与处理	78
第八章	变压器的常见故障和消除方法	83
第一节	变压器在运行中可能见到的故障现象	83
第二节	变压器的常见故障及消除方法	84
第三节	变压器受潮及干燥方法	88
第九章	变压器的检修及其质量要求	95
第一节	变压器的检修	95
第二节	变压器检修的质量要求	99
第十章	变压器的试验	101

第一章 变压器的类型和構造

第一节 变压器的分类

变压器是由鉄心、綫卷、外壳、套管及变压器油等所构成的靜止电器。它的用途是利用电磁感应的作用，把一种电压和电流的交流电系統，轉变为另一种电压和电流的交流电系統，便利电能的傳輸和利用。

根据变压器的应用范围、构造、相数及冷却方式的不同，可以有下列各种分类。

按照变压器的应用范围来分类，可以分为：电力变压器，用于发电厂和电力网中以升降电压；电压調整器，用于电力网中以調整电压；自耦变压器，用于小范围的升压或降压；仪表变压器，用于测量仪表；及专用变压器，如电焊变压器、电炉变压器等等。

按照变压器的鉄心和綫卷的相对位置来分类，可以分为芯式和壳式两种。图 1-1 所示为芯式变压器的内部情况，图 1-2 所示为壳式变压器的内部情况。两种变压器在构造方面虽稍有不同，但在原理方面和运用特性方面并没有基本差别。根据制造和使用的經驗說明，壳式不及芯式方便，芯式的鉄心在构造上較簡單，綫卷的安裝和絕緣也比較容易，特別对电压等級高的变压器，此項优点比較显著，因此現在变压器的制造趨向于芯式，只有对一些特种变压器如电炉变压器等采用壳式。

通常，变压器的鉄心上，只有兩組綫卷，一組为高压綫卷，另一組为低压綫卷，此种变压器称为双綫卷变压器。也有变压

器的鉄心上，除具有高压綫卷和低压綫卷外，还具有中压綫卷，此种变压器称为三綫卷变压器。如具有四綫卷的則称为四綫卷变压器。在現代大型变压器的制造中采用多綫卷的很多，以适应电力网的需要。

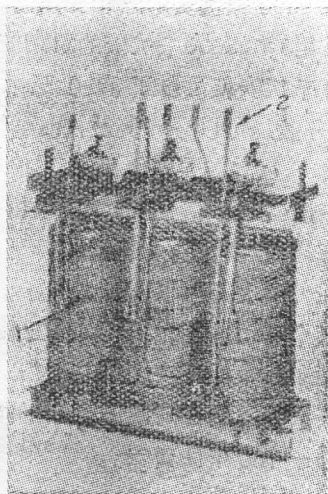


图1-1 心式变压器

1—綫卷；2—綫卷的接綫端。

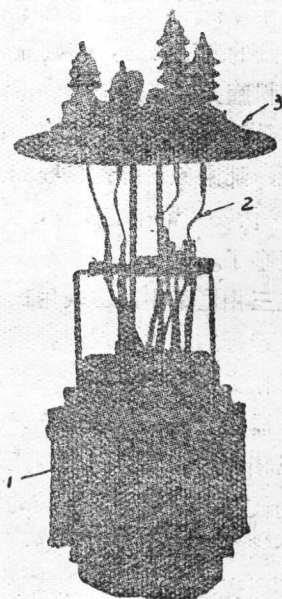


图1-2 壳式变压器

1—鉄心；2—綫卷引綫；3—变压器盖。

按照变压器的相数来分类，可以分为單相变压器和三相变压器。在三相电路中，采用三台單相变压器所构成的变压器組，与采用一台三相变压器效果完全相同。由于一台三相变压器比同容量的單相变压器組，在用鉄方面、絕緣材料方面和高压套管方面等都較节省，因此采用一台三相变压器要比采用同

容量的單相變壓器組投資少。如考慮備用變壓器，則採用單相變壓器組時，三台單相變壓器同時損壞的機會很少，壞了一台其他二台尚可使用，因此每組只要一台單相變壓器作為備用就可以了。如採用三相變壓器，則必須要有另一台同容量的三相變壓器作為備用，因此增加了備用變壓器的容量。此種情況在用大容量的變壓器時，特別顯得嚴重，而且大容量的三相變壓器，體積龐大，運輸困難。例如 195000 千伏安的三相變壓器，備用容量就需 195000 千伏安，如採用 3×65000 千伏安的單相變壓器組，那末備用容量只要 65000 千伏安就可以了。且三台 65000 千伏安的單相變壓器，體積分散，可以分開裝載，在運輸上方便多了。

在三相電路中，應採用三相變壓器或單相變壓器組，須看設備和運行的具體情況，經核算和比較後決定。

單相變壓器和三相變壓器，在外形上即可很容易識別，單相變壓器在它的外殼蓋上，只有二個高壓綫端和二個低壓綫端。三相變壓器則有三個高壓綫端和三個低壓綫端，如三相變壓器的綫卷為星形帶中性綫的連接法時，則在高壓側或低壓側有四個綫端，三個為三相綫端，另一個為中性綫端。

按照變壓器的冷卻方式來分類，可以分為：

1. 乾式（或稱空氣自冷式）變壓器。它的熱量依靠周圍空氣帶走，一般此種變壓器的容量比較小；

2. 油浸自冷式變壓器。這種變壓器的鐵心和綫卷浸在變壓器油內，變壓器的熱量傳遞給變壓器油，靠變壓器油受熱後的對流作用，把熱量傳遞給外殼散發到空氣中去。採用油作為變壓器散熱介質的原因，主要是油的對流散熱能力比空氣強得多，可以得到比空氣更有效的散熱作用，因此容量大的變壓器均採用油浸式，如圖 1-13 和圖 1-14 所示即為油浸自冷式變壓

器的外形；

3. 强力通风冷却式变压器。在油浸式变压器的散热表面，装置鼓风机及风管或风扇，加速冷却空气的流动，以增强散热作用，如图 1-3 所示为强力通风冷却式变压器的一种；

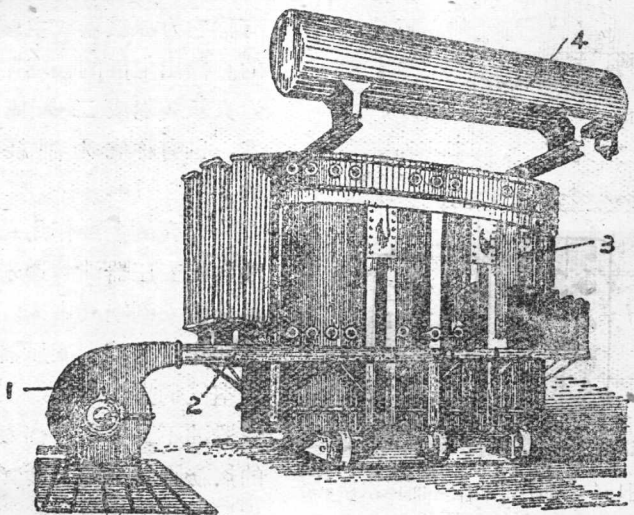


图 3 强力通风冷却式变压器之一

1—鼓风机；2—风管；3—变压器外壳；4—油枕。

4. 加压使油循环而以水冷却油式变压器(如图 1-4 所示)。它依靠增加油的流动速度和较低温度的冷却水来使热油冷却，以加强变压器的散热作用，此种变压器的冷却器内的油压应大于水压，防止油管发生故障时水渗入油内。

第二节 变压器的主要构成部分

变压器的主要构成部分为铁心、线卷、外壳、油枕、套管

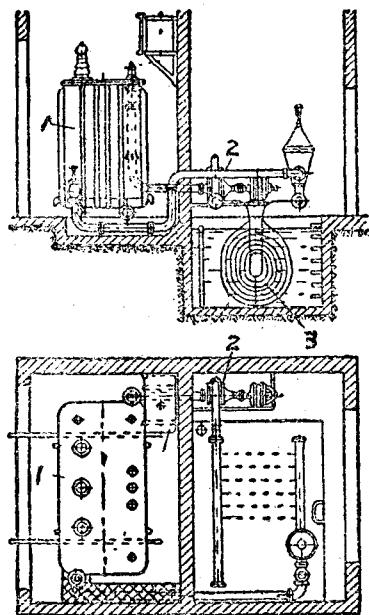


图1-4 加压使油循环而以水冷却
油式变压器

1—变压器；2—油泵；3—冷却管。

及变压器油。铁心为变压器磁通的回路。线圈则用来输入电能和输出电能，输入电能的线圈，称为初级线圈或一次侧线圈，也有称它为原线圈或主线圈的。输出电能的线圈，称为次级线圈或二次侧线圈，也有称它为副线圈的。

外壳的主要作用是盛油和把变压器油传递来的热量散发到空气中去。油枕的作用是减少变压器油与空气的接触面积，使变压器油不易劣化及作为油的热膨胀的余地。套管的作用是将变压器线圈的线端，在保证绝缘良好的情

况下引至变压器外面。变压器油的作用为加强变压器的散热能力及绝缘能力，关于变压器油的问题将在第七章再详细介绍。

决定变压器构造的主要因素为变压器的电压等级和容量。变压器的电压等级高，则对绝缘的要求也高了，因此在绝缘的安排方面要困难得多。其次变压器的容量愈大，变压器的损耗也相对的大了，需要散发的热量也愈多，因此无论铁心、线圈以及外壳均需要较大的散热面积，增加了铁心、线圈和外壳在构造上的复杂性。如果变压器没有足够的散热面积和必要的冷

却方式，那末变压器内部的热量就不能够及时地散发出去，造成变压器过热，势必使变压器不能胜任它所负担的负荷。

第三節 变压器各部分的構造

一、鉄心

变压器的鉄心是用厚度为0.35毫米或0.5毫米的矽鋼片迭成，片与片之間，用薄的絕緣紙或涂以絕緣漆隔开，目的是减少变压器鉄心的渦流損失。变压器的鉄心可以分成两个主要部分，裝有綫卷的称为芯柱，如图1-5中的1所示，不裝綫卷仅作为磁通回路的称为軛鉄，如图1-5中2所示。鉄心截面的大小，决定于所通过的磁通量的多少，通过的磁通量愈多，所需要的鉄心截面积也愈大。芯式变压器，由于通过軛鉄的磁通和通过芯柱的相等，因此芯柱和軛鉄的截面积应该相等，一般为了减少励磁电流和鉄損，可以采用稍大的軛鉄截面。壳式变压器通过軛鉄的磁通只有芯柱的一半，因此軛鉄的截面也只有芯柱的一半。

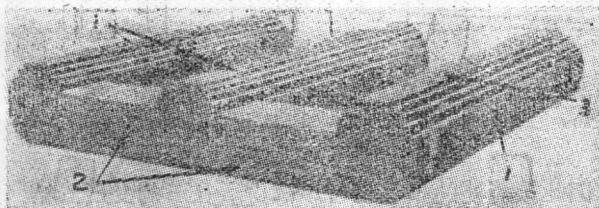


图1-5 三相变压器鉄心

1—芯柱；2—軛鉄；3—夾紧螺栓（穿釘）。



图1-6 鉄心截面

芯柱的截面形状，随綫卷的形状而不同，由于綫卷一般都是圓筒形或圓环形，因此芯柱的截面以采用如图1-6所示的接近于圓的阶梯形为宜。容量愈大的变压器，它的芯柱的直径也愈大，阶梯数就应该愈多，这样才可以使芯柱的截面愈接近外

接圓，使它的面积得到充分的利用。对容量較小的变压器，也有采用正方形作为芯柱截面的。在大型变压器的芯柱迭片之間，一般均留有散热槽，以增加鉄心的散热面积，提高散热能力，槽的形狀如图 1-7 所示，可以和鋼片的平面平行或垂直（后者仅在巨型变压器中才用）。至于軛鉄的截面形狀則和鉄芯柱的

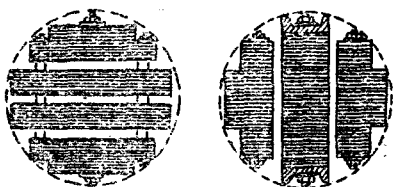


图1-7 具有散热槽的鉄心截面

形狀及阶梯数有关，可采用长方形或阶梯形，但必須使磁通在軛鉄和芯柱內的分布比較均匀。

鉄心的裝配，一般采用如图 1-8 所示的迭裝式，将矽鋼片交錯迭置而成变压器的鉄心整体。如果裝配准确，接縫处的空

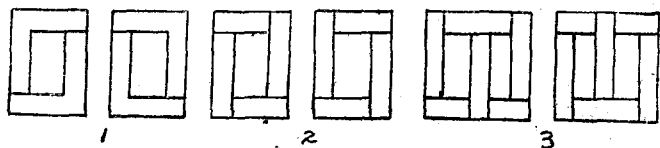


图1-8 迭裝式鉄心的矽鋼片的交迭形式

1、2—單相变压器的鉄心鋼片的交迭形式； 3—三相变压器的鉄心鋼片的交迭形式。

隙可以很小，因此接縫处的損失也可以减少。在旧的变压器結構中，有采用对裝式的裝配方法；将芯柱和軛鉄分別用穿过鉄心的螺栓等夾件裝置成块，然后用支架、角鉄、螺栓等裝配构件；将芯柱和軛鉄对裝成一变压器的鉄心整体。在芯柱和軛鉄之間，存在着由絕緣层隔开的接縫，此項接縫沒有迭裝式交錯迭接的情况良好，接縫处的磁阻比迭裝式大，因此励磁电流和鉄損都大了，同时裝配构件也比迭裝式用得更多。对裝式的惟一

优点是装拆简便，但此优点远抵不上它的缺点，因此现代变压器的铁心装配，一般均采用叠装式。

二、线卷

变压器的线卷，按照它的绕制形式分类，一般常用的有：圆筒式；连续式；盘式及螺旋式等四种。

(1) 圆筒式线卷

圆筒式线卷，是由圆导线或扁导线绕成的线卷，如果匝数不多，可以绕成轴向单层的螺旋形，匝数多的可以绕成好几层。一般圆导线绕成的线卷都是多层的，扁导线绕成的线卷有单层、双层和三层的。线卷的层与层之间用绝缘纸或绝缘纸板隔开。较大变压器所用的圆筒式线卷为了加强线卷的散热，层与层之间隔以5~8毫米宽的散热槽。如图1-9所示，为二根扁导线并列绕成的双层圆筒式线卷。

圆筒式线卷的散热面积不够大；同时线卷端部的支撑面积也不够大，对短路故障时发生的轴向力没有足够的稳定性。由于大型变压器对散热和线卷的机械强度的要求较高，因此圆筒式线卷最大也祇能用在容量为560~750千伏安的变压器。

(2) 连续式线卷

连续式线卷是用1~2根（有时3根）并列的扁导线，绕成径向为圆盘形线圈、轴向为若干圆盘形线圈（至少三个）串联而成的线卷。为了使各导线间的电流平均分布，导线须采用换位的绕法，如图1-10所示。径向的线匝彼此都是紧靠着的，轴向各层线圈之

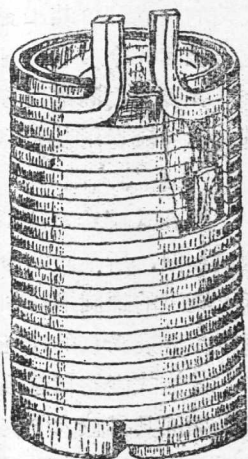


图1-9 圆筒式线卷

图1-10所示。径向的线匝彼此都是紧靠着的，轴向各层线圈之

間有絕緣墊塊隔開，構成徑向油道，各層的導線是連續的，沒有焊接，故稱連續式綫卷。

此式綫卷比圓筒式綫卷有較大的散熱面積，且因為每層綫卷都是由數匝綫圈繞成，因此在綫卷的端部具有較大的支撐面積，短路時對軸向力的穩固性大。所以連續式綫卷一般都用在大容量和高電壓等級的變壓器。

(3) 盤式綫卷

盤式綫卷一般用單根的扁導線，繞成徑向盤形的數個匝組，在匝數較多時，其內部連接可以在繞制過程中焊接。繞好的匝組可裝配在電木紙筒上或分組的裝在臨時的銅繞綫筒上。繞制成功的綫卷即可裝于變壓器鐵心的芯柱上。裝時各個綫卷沿着鐵心高度迭起來，各綫卷之間都留有空隙以加強冷卻，此種綫卷用在大容量高壓變壓器中。

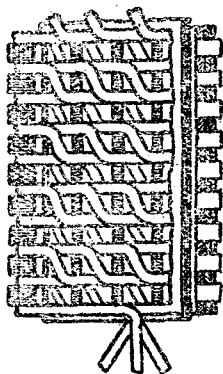


圖 1-10 三根并列繞成的連續式綫卷

(4) 螺旋式綫卷

螺旋式綫卷為數根扁導線并列繞成的綫卷，繞制方法與連續式相似，所不同的為每層綫匝繞成螺旋形，層間油道也是平行於綫匝的螺旋形。如果并列的導線數太多時，可將導線分成兩組，繞成雙重的螺旋形。

螺旋式綫卷和連續式綫卷一樣，具有較大的散熱面積及在綫卷端部具有較大的支撐面積，因此在大型變壓器中，遇採用連續式綫卷不適宜時，可採用螺旋形綫卷。

總的來講圓筒式綫卷，構造簡單，裝置便利；因此在具有足夠的散熱面積和機械強度的情況下，應採用圓筒式綫卷。對

大型变压器，当采用圆筒式线卷，它的散热面积和机械强度均感不足时，必须采用连续式线卷或螺旋式线卷，如因特别需要可采用盘式线卷。

线卷如按照装置在芯柱上的高压线卷和低压线卷相互位置的不同而分类，可以分为同心式和交迭式两种。

(1) 同心式线卷

图1-11所示为同心式线卷的简单剖视图，低压线卷装在靠近铁心的地方，高压线卷装在低压线卷的外面；采用这种装置方式，在绝缘的使用和配合上比较有利。

图1-11中所示的情况，为低压线卷和高压线卷都是采用圆筒式的。对大容量的变压器，低压线卷可以采用圆筒式，高压线卷采用连续式、盘式或螺旋式。

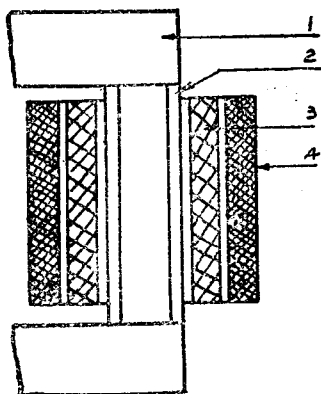


图1-11 同心式线卷的简单剖视图

1—轭铁；2—芯柱；3—低压线卷；4—高压线卷。

(2) 交迭式线卷

图1-12所示为交迭式线卷的简单剖视图，低压线卷和高压线卷，依次交迭着装在芯柱上，靠近轭铁的两端都是低压线卷，这样安排同样在绝缘的使用和配合上比较有利。

根据制造和运行的经验，说明交迭式线卷没有同心式好。同心式的优点：构造简单，装配和拆卸容易；高压线卷和低压线卷之间以及线卷和铁心之间的绝缘也比交叠式可靠；发生短路故障时的稳固性也较强。因此现代在变压器线卷的制造上，同心式佔主要地位。至于交迭式线卷，主要用于壳式变压器中。

三、外壳和油枕

(1) 外壳

变压器的外壳(又称油箱),依照对散热面积的要求的大小,可以制成平板的、管型的或散热器型的。旧式的变压器有制成具有波形的外壳。在变压器的外壳上,装有可供吊起的设备(如钩、环等)、放油阀及固定铁心用的角铁等。100 千伏安以上的变压器为了便利搬移,在外壳的底部装有用角铁和槽铁做的平车。为了加强变压器外壳的刚度,在外壳壁上加装角铁或槽铁做的纵筋。

平板的外壳,由于散热面积不够大,只用在50千伏安以下电压6千伏及以下的小容量的变压器,其构造简单,一般以2~3毫米厚的铁板焊接而成。

图1-13所示为具有波形外壳的变压器,因它具有较大的散

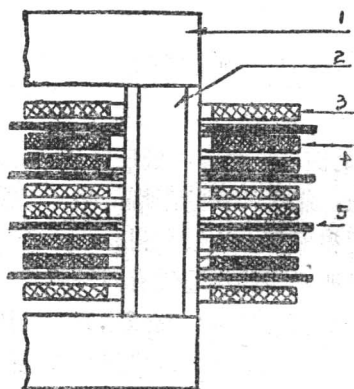


图1-12 交迭式线卷的简单剖视图

1—铁芯；2—芯柱；3—低压线卷；
4—高压线卷；5—绝缘圈。

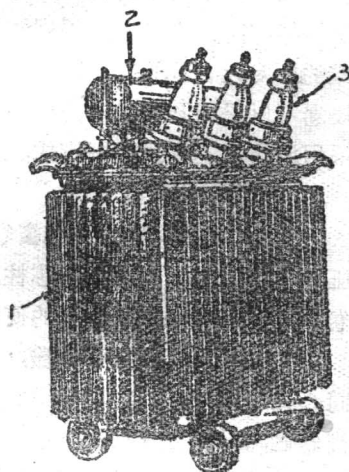


图1-13 波形外壳的变压器

1—外壳的波形壁；2—油枕；3—
高压侧出线套管。

热面积，因此多用在电压为6千伏容量为50千伏安以上或电压为10千伏容量为20千伏安以上的变压器。箱壁用1.5~2.5毫米厚的铁板制成。底用3~4毫米厚的铁板制成，焊接在外壳下端的边缘上。变压器容量增加时，波形外壳的变压器除散热效率不及管形的好外，机械强度也不够，因此现代对于此类变压器均趋向于采用管形的外壳。

管型外壳的构造简单并且坚固，如图1-14所示，一般50~1800千伏安的变压器都可采用管形外壳。再大的变压器，采用平板油箱装配散热器，使变压器的散热面积增加。散热器为一系列的圆形或扁形截面的管子，在

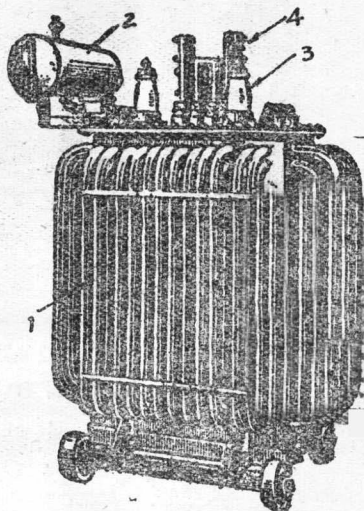


图1-14 管型外壳的变压器
1—散热管；2—油枕；3—高压侧出线套管；4—低压侧出线铜排。

上端和下端用两个汇集器连接起来，用两根弯管与变压器本体连接。图1-15所示即为具有扁形管散热器的变压器。

(2)油枕

油枕是用来保证变压器在工作时能经常充满油以及用来减少油与空气接触的面积以保护油不受潮及氧化。油枕外形是圆筒形或方形，系用2~3毫米厚的铁板焊接而成，一般用铁架顺着油箱狭的一边(如自低压侧看，在变压器的左边)，装在变压器的盖上，油枕的一端装有玻璃油位指示计。油枕的容积应使在冬季变压器被切断而油温最低时油枕中均有油。通常油枕的