

变压器知识特辑

(四)

目 录

变压器突发短路怎么办？这些原因你得了解.....	1
看完这个，你会全面了解变压器主体的材料和构造.....	5
干式变压器基础知识汇总.....	18
详解不同变压器的工作原理.....	23
箱式变电站怎么会烧掉旁边的高压保险.....	26
变压器的声音到底从哪里发出来的.....	28
变压器有功功率损耗和无功功率损耗计算方法，非常实用！.....	31

变压器突发短路怎么办？这些原因你得了解

在日常作业中处理变压器短路事故，都是要通过检查、试验找出问题实质所在。变压器在遭受突发短路时，高低压侧都将受很大的短路电流，在断路器来不及断开的短时间内，短路电流产生与电流平方成正比的电动力将作用于变压器的绕组，此电动力可分为辐向力和轴向力。在短路时，作用在绕组上的辐向力将使高压绕组受到张力，低压绕组受到压力。由于绕组为圆形，圆形物体受压力比受张力更容易变形，因此，低压绕组更易变形。在突发短路时产生的轴向力使绕组压缩和使高低压绕组发生轴向位移，轴向力也作用于铁芯和夹件。因此，变压器在遭受突发短路时，最容易发生变形的是低压绕组和平衡绕组，然后是高中压绕组、铁芯和夹件。变压器短路事故后的除了检查主要的绕组、铁芯、夹件以及其它部位，在处理过程中还应注意相关的一系列问题：



■ 绕组的检查与试验

由于变压器短路时，在电动力作用下，绕组同时受到压、拉、弯曲等多种力的作用，其造成的故障隐蔽性较强，也是不容易检查和修复的，所以短路故障后应重点检查绕组情况。

■ 变压器直流电阻的测量

根据变压器直流电阻的测量值，来检查绕组的直流电阻不平衡率及与以往测量值相比较，能有效地考察变压器绕组受损情况。例如，某台变压器短路事故后低压侧C向直流电阻增加了约10%，由此判断绕组可能有新股情况，最后将绕组吊出检查，发现C相绕组断1股。

■ 变压器绕组电容量的测量

绕组的电容由绕组匝间、层间及饼间电容和绕组发电容构成。此电容和绕组与铁芯及地的间隙、绕组与铁芯的间隙、绕组匝间、层间及饼间间隙有关。当绕组变形时，一般呈“S”形的弯曲，这就导致绕组对铁芯的间隙距离变小，绕组对地的电容量将变大，而且间隙越小，电容量变化越大，因此绕组的电容量可以间接地反映绕组的变形程度。

■ 吊罩后的检查

变压器吊罩后，如果检查出变压器内部有熔化的铜渣、铝渣或高密度电缆纸的碎片，则可以判断绕组发生了较大程度的变形和断股等，另外，从绕组垫块移位、脱落、压板等位、压钉位移等也可以判断绕组的受损程度。



■ 铁芯与夹件的检查

变压器的铁芯应具有足够的机械强度，铁芯的机械强度是靠铁芯上所有夹紧件的强度与其连接件来保证的。当绕组产生电动力时，绕组的轴向力将被夹件的反作用力抵消，如果夹件、拉板的强度小于轴向力时，夹件、拉板和绕组将受到损坏。因此，应特别仔细检查铁芯、夹件、拉板及其连接件的状况，检查一下情况：

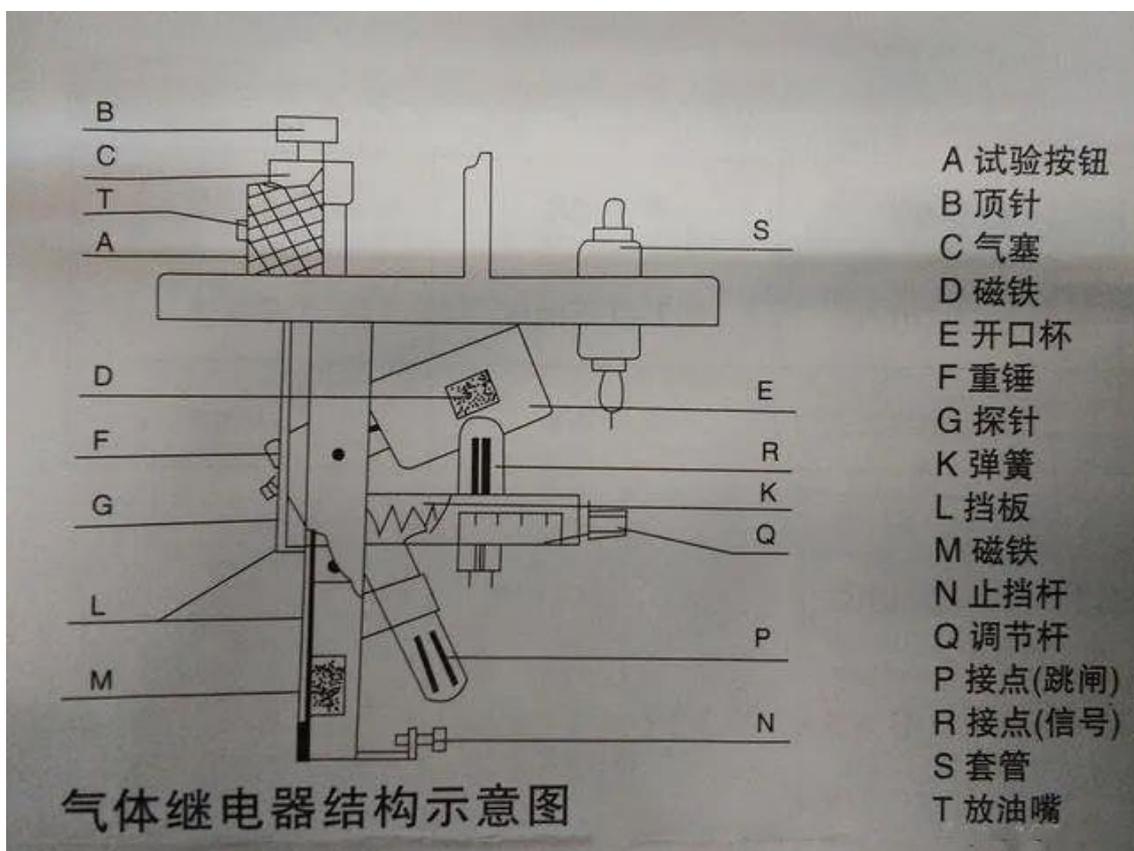
- ① 检查铁芯上铁轭芯片是否有上下窜动情况。

② 应测量穿芯螺杆与铁芯的绝缘电阻，检查穿芯螺杆外套是否受损，检查拉板、拉板连接件是否损坏。

③ 在变压器短路时，压板与夹件之间可能发生位移，使压板与压钉上铁轭的接地连接片拉断或过电流烧损。所以对于绕组压板，除了检查压钉、压板的受损外，还应检查绕组与压钉及上铁轭的接地连接是否可靠。

■ 变压器油及气体的分析

变压器遭受短路冲击后，在气体继电器内可能会积聚大量气体，因此在变压器事故后可以取气体继电器内的气体和变压器内部的油进行化验分析，即可判断事故的性质。



■ 变压器短路故障处理中应注意的事项

(1) 更换绝缘件时应保证绝缘件性能

在处理时对所更换的绝缘件测试其性能，且符合要求方可使用。特别对于引线支架木块的绝缘应引起重视，木块在安装前应放置在 80℃ 左右的热变压器油中一段时间，以保证木块的绝缘。

(2) 变压器绝缘测试应在变压器注油静止 24 小时进行

由于某些受潮的绝缘件在热油浸泡较长时间后，水分会扩散到绝缘的表面，所以注油后就试

验往往绝缘缺陷是检查不出来的。例如，一台 31.5MVA 的 110kV 变压器低压侧在处理时更换了 10kV 铜排的一块支架木块，变压器注油后试验一切正常，10kV 低压侧对铁芯、夹件及地绝缘电阻减为约 $1M\Omega$ 。后经吊罩检查，发现 10kV 铜排的支架木块绝缘非常低。因此绝缘测试应在变压器注油静止 24 小时后进行较为可靠。

(3) 铁芯回装应注意其尖角

铁芯回装上铁轭时，应注意铁芯芯片的尖角，并及时测量油道间绝缘，特别是要注意油道处的芯片尖角，要防止芯片搭接造成铁芯多点接地。例如，一台 120MVA 的 220kV 变压器，在低压侧更换绕组回装上铁轭时，由于在回装时没有注意芯片尖角，又没有及时测量油道间绝缘，安装完毕后测量油道间绝缘为 0，最后花费了较长时间才找到是由于铁芯芯片尖角短接了油道。

(4) 更换抗短路能力较强的绕组材料

改进结构变压器绕组的机械强度主要是由下面两个方面决定的：

① 一是由绕组自身结构的因素决定的绕组机械强度；

② 二是绕组内径侧的支撑及绕组轴向压紧结构和拉板、夹件等制作工艺所决定的机械强度。

当前，大多数变压器厂家采用半硬铜线或自粘性换位导线来提高绕组的自身抗短路能力，采用质量更好的硬纸板筒或增加撑条的数量来提高绕组受径向力的能力，并采用拉板或弹簧压钉等提高绕组受轴向力的能力。

作为电力变压器厂家的技术部门，在签订变压器销售合同前的技术论证时和变压器绕组更换时，应对绕组的抗短路能力进行充分考察，并予以足够重视。

(5) 变压器的干燥

由于变压器受短路冲击后，一般需要较长时间进行检修，为防止变压器受潮，可以采取两种措施：

① 一是在每天收工前，将变压器扣罩，使用真空泵对变压器进行抽真空，以抽去变压器器身表面的游离水，第二天开工时，使用干燥的氮气或干燥空气解除真空，一般变压器在检修后热油循环 24 小时即可直接投入运行。

② 二是每天收工后，对变压器采取防雨措施，在工作全部完工后，对变压器采用热油喷淋法进行干燥，这种方法一般需要 7~10 天的时间。

(6) 其他应注意的事项

在变压器发生短路事故后，除了按照常规项目对变压器进行试验外，应重点结合变压器油、

气体继电器内气体、绕组直流电阻、绕组电容量、绕组变形测量的试验结果判断分析故障的性质，并检查绕组的变形、铁芯及夹件的位移与松动情况，然后确定对变压器的处理方案及应采取的预防措施。在因变压器短路事故造成绕组严重变形需要更换绕组时，应注意铁芯芯片的回装、所有绝缘件的烘干、变压器油的处理及变压器的整体干燥。

看完这个，你会全面了解变压器主体的材料和构造



变压器主体的主要材料包括磁路材料、电路材料、绝缘材料、结构材料等，其具体材料用途和类别有：

1. 硅钢片在变压器中，对硅钢性能的要求主要是：

①铁损低，这是硅钢片质量的最重要指标。各国都根据铁损值划分牌号，铁损愈低，牌号愈高。

②较强磁场下磁感应强度（磁感）高，这使电机和变压器的铁心体积与重量减小，节约硅钢片、铜线和绝缘材料等。

③表面光滑、平整和厚度均匀，可以提高铁心的填充系数。

- ④冲片性好，易于加工。
- ⑤表面绝缘膜的附着性和焊接性良好，能防蚀和改善冲片性。
- ⑥基本无磁时效。

硅钢片的分类及牌号定义

变压器通常采用冷轧取向硅钢片，以确保其空载的能效水平。冷轧取向硅钢片按照性能和加工方式，又可分为普通冷轧取向硅钢片、高导磁硅钢片（或高磁感硅钢片）、激光刻痕硅钢片。通常，将 50Hz，800A 交变磁场（峰值）下，铁心所达到的最小磁极化强度 $B_{800A}=1.78T\sim 1.85T$ 的硅钢片称为普通硅钢片，记为“CG0”，而 $B_{800A}=1.85T$ 以上的硅钢片记为高导磁硅钢片（高磁感硅钢片），记为“Hi-B 钢”，Hi-B 钢其与常规硅钢片的主要区别在于：Hi-B 钢的高斯方位织构度非常高，即在易磁化方向上的硅钢晶粒排列位向整齐度非常高，工业上采用二次再结晶过程制造含硅量为 3% 的硅钢片，Hi-B 钢的晶粒位向与轧制方向的平均偏差为 3° ，而普通硅钢片为 7° ，从而使得 Hi-B 钢有更高的磁导率，通常其 B_{800A} 可达到 1.88T 以上，提高了高斯方位织构度以及磁导率可降低铁损。Hi-B 钢的另一个特点是钢片表面附有的玻璃膜和绝缘涂层的弹性张力为 $3\sim 5N/mm^2$ ，较普通取向硅钢片的 $1\sim 2 N/mm^2$ 更优，钢带表面的高张力层可减少磁畴宽度，减少异常涡流损耗。故 Hi-B 钢比常规取向硅钢片具有更低的铁损值。

激光刻痕硅钢片则是在 Hi-B 钢的基础上，通过激光束照射技术，使其表面产生微小的应变，进一步磁轴细化，实现更低的铁损。激光刻痕硅钢片不能进行退火处理，因为提高温度，则激光处理效果便会消失。

不同牌号的硅钢片其物理特性基本相当，密度基本都是 $7.65g/cm^3$ 。对于同种类硅钢片而言，其性能质量主要区别还是在硅的含量以及生产过程的工艺影响。

2. 非晶合金铁心

非晶合金材料是 20 世纪 70 年代问世的一种新型合金材料，它采用国际先进的超急冷技术将液态金属以 $106^\circ C/S$ 冷却速度直接冷却形成厚度 $0.02\sim 0.03mm$ 的固体薄带，在它还没来得及结晶时就已经固化。该合金材料与玻璃类似呈不规则原子排列，没有金属表征的晶体结构，它的基础元素为铁（Fe）、镍（Ni）、钴（Co）、硅（Si）、硼（B）、碳（C）等。其材料具有以下优点：

- a) 非晶合金材料不存在晶体结构，是一种各向同性的软磁材料；磁化功率小，具有良好的温度稳定性。由于非晶合金为无取向材料，故可以采用直接缝，使制造铁心的工艺比较简单；
- b) 不存在阻碍磁畴移动的结构缺陷，磁滞损耗要比硅钢片小；

- c) 带材的厚度极薄，只有 0.02~0.03 mm，是硅钢片的 1/10 左右。
- d) 电阻率高，约为取向硅钢片的 3 倍；非晶合金材料的涡流损耗大大降低，因此单位损耗约为取向硅钢片的 20%~30%；
- e) 退火温度低，约为取向硅钢片的 1/2；非晶合金铁心空载性能优越，采用非晶合金铁心制造的变压器其空载损耗较常规变压器下降 70~80%，空载电流下降 50%以上，节能效果突出，目前电网公司在国家节能减排降低网络线损的目的下，国家电网和南方电网从 2012 年开始均大力提高了非晶合金变压器的采购比例，目前基本上非晶合金配变采购占比已达 50%以上。

非晶合金变压器也存在以下几个缺点：

- 1) 饱和磁密低，非晶合金铁心的饱和磁密通常在 1.56T 左右，较常规硅钢片 1.9T 的饱和磁密相差 20%左右，故其变压器设计磁密也同样需要下降 20%，非晶合金油变的设计磁密通常在 1.35T 以下，非晶合金干变的设计磁密通常在 1.2T 以下。



图 1 非晶合金变压器

- 2) 非晶合金铁心带材受应力影响敏感，其铁心带材受到应力后，空载性能容易劣化，故在结构上要特别注意，铁心应采用悬挂方式落在支撑框架和线圈上，整体仅承受自身重力，同时，装配过程中需特别注意，铁心不能受力，要减少敲打等方式。

- 3) 磁致伸缩较常规硅钢片大 10%左右，故其噪声较难控制，这也是限制非晶合金变压器广泛推广的主要原因之一，目前，南网和国网招标中均对非晶合金变压器的噪声提出了较高要求，分

为敏感区和非敏感区，并有针对性的提出了声级要求，这就要求更进一步降低铁心设计磁密。

4) 非晶合金带材较薄，厚度只有 0.03mm，故无法向常规硅钢片那样做成叠片形式，只能制作成卷铁心形式，故其铁心结构常规变压器厂家无法自行加工，通常需整体外购，对应于卷铁心带材的矩形截面，非晶合金变压器的线圈通常也做成矩形结构；

5) 国产化程度不够，目前主要还是进口日立金属的非晶合金带材为主，正在逐步实现国产化，国内已有安泰科技和青岛云路等具备非晶合金宽带（213mm、170mm 和 142mm），且其性能较进口带材在稳定性上还存在一定差距。

6) 最大带长限制，前期非晶合金带材最大外周带长由于退火炉尺寸的限制，其长度也受到了较大限制，不过目前已基本解决，可制作最大外周带长 10m 的非晶合金铁心框，可用于制造 3150kVA 及以下非晶合金干变和 10000kVA 及以下非晶合金油变。

基于非晶合金变压器的优秀节能效果，再加上国家节能减排以及一系列政策的促进，非晶合金变压器市场占有率越来越大，并且，考虑到非晶合金带材（目前为 26.5 元/kg）价格是常规硅钢片（30Q120 或 30Q130）的两倍左右，与铜差距相对较小，再考虑到电网产品的质量和招标要求，故，非晶合金变压器通常采用铜导体。与常规硅钢片相比，非晶合金变压器成本主要差距如下：

1) 由于采用卷铁心结构，故变压器铁心型式宜采用三相五柱结构，这样可以减少单框铁心重量，减低装配难度，三相五柱结构和三相三柱结构从成本上各有优劣，目前大部分厂家采用三相五柱结构。采购回来的单框铁心和组装如图 2 所示：



图 2 采购的非晶合金带材单框原材料

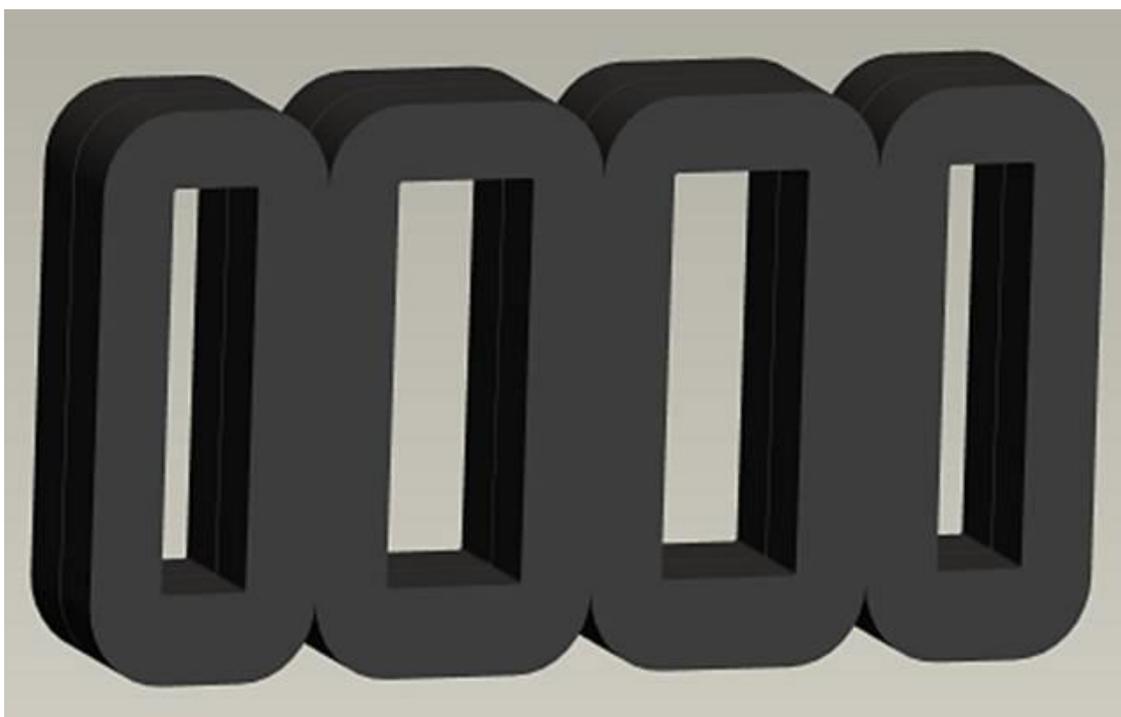


图 3 三相五柱非晶合金铁心组装示意图

2) 由于心柱截面为矩形，故为了保持绝缘距离上的一致，高低压线圈也对应的制造成矩形结构。

3) 由于铁心设计磁密较常规硅钢片变压器低约 25%，且其铁心叠片系数大约在 0.87 左右，较常规硅钢片的 0.97 要低许多，故其设计截面积需要较常规硅钢片变压器要大 25%以上，对应的其高低压线圈周长也要随之增加，同时，还需要考虑高低压线圈匝长度的增加，若在保证线圈的负载损耗不发生变化，其导线截面积则需要对应的有所增加，故，非晶合金变压器的铜用量较常规变压器要多约 20%。

3. 电路材料概述

变压器内部电路主要由绕组（也称为线圈）构成，它与外界的电网直接相连，是变压器的核心组成部分，变压器的内部电路通常是由导线绕组而成，导线（电磁线）按材质分为铜导线和铝导线，按导线截面形状又分为圆导线、扁导线（又可分为单根线、组合线和换位导线）、箔式导体等，导线与导线之间覆盖不同类型的绝缘层，最终形成整体线圈。故，变压器电路的主要导体材料为铜和铝。

3.1 铜材和铝材的特性对比

铜和铝均是导电性能较好的金属材料，是制作变压器线圈的常用导体，其在物理性能上的差

异如下表所示：

表 1 铜铝物理性能对比

性能	单位	铝	铜	铝比铜	
密度 (20℃)	kg/dm ³	2.7	8.9	30.3%	
热膨胀系数 (20℃~100℃)	1/℃ · 10 ⁶	23.6	17.7	133%	
比热 (20℃)	J/kg℃	920	385	239%	
导热率	W/cm · °C	2.1	3.9	53.8%	
熔点	°C	657	1083	低 426℃	
电阻温度系数 (0~100℃)	1/℃	1/225	1/235	104%	
电阻率 (20℃)	Ω .cm	0.0295	0.0176	168%	
抗拉 强度	软 R (20℃)	kg/mm ²	7.5~10	23~30	约 30%
	硬 Y (20℃)	kg/mm ²	10~13	30~35	约 30%
	软 R (高温)	kg/mm ²	5	17.5	约 30%

3.2 铜铝导线在变压器绕组中的性能对比

铜铝变压器的差异也是由材料的差异决定的，具体表现在以下几个方面：

1) 铜导体的电阻率仅仅是铝导体的 60%左右，为了达到相同的损耗和温升要求，所需使用的铝导体截面积要较铜导体大 60%以上，所以相同容量和相同参数情况下，铝导体变压器体积通常要较铜导体变压器大，不过此时变压器的散热面积也有所增加，所以其对油温升较低；

2) 铝的密度仅为铜的 30%左右，所以铝导体配电变压器要较铜导体配电变压器要轻；

3) 铝导体的熔点较铜导体低许多，所以其在短路电流的温升限值为 250℃，较铜导体的 350℃低，所以其设计电密要较铜导体低，变压器导线截面积要大，故体积也较铜导体变压器大；

4) 铝导体硬度较低，故其表面毛刺较易消除，故制成变压器后，其由于毛刺产生的匝间或层间短路的概率减少；

5) 由于铝导体的抗拉、抗压强度较低，机械强度差，故铝导体变压器承受短路能力不如铜导体变压器，在进行动稳定计算时，铝导体的应力应小于 450kg/cm²，而铜导体的应力限值为 1600kg/cm²，承受能力大幅提高；

6) 铝导体与铜导体之间的焊接工艺较差，接头焊接质量不易保证，一定程度上影响了铝导体的可靠性。

7) 铝导体的比热为铜导体的 239%，但是考虑到二者密度和设计电密的差异，实际二者的热时间常数相差并不如比热差值体现的那么大，故对其制成干式变压器的短时过载能力影响并不大。

4. 绝缘材料概述

变压器运行的可靠性和使用寿命却在很大程度上取决于其所使用的绝缘材料。绝缘材料又称电介质，是电阻系数高、导电能力低的物质。绝缘材料可用于隔离带电或不同电位的导体，使电流按一定方向流通。在变压器产品中，绝缘材料还起着散热、冷却、支撑、固定、灭弧、改善电位梯度、防潮、防霉和保护导体等作用。绝缘材料在直流电压作用下，只有极微小的电流通过。它的电阻系数（指在空气中的体积电阻系数）比较高，一般在 $10^8 \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$ （导体的电阻系数是 $10^{-6} \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ，半导体的电阻系数为 $10^{-3} \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ）。

绝缘材料对直流电流有非常大的阻力，由于它的电阻率很高，在直流电压作用下，除了有极微小的表面泄漏电流外，实际上几乎是不导电的；而对交流电流则有电容电流通过，也一般认为是不导电的。绝缘材料的电阻率越大，其绝缘性能也就越好。

绝缘材料在变压器中用以将导电部分彼此之间的导电部分对地（零电位）之间的绝缘隔离，用于各种支承件时，还应具有良好的力学性能。另外，绝缘材料还起到其它的作用，如散热冷却、固定、储能、灭弧、改善电位梯度、防潮、防霉和保护导体等作用。

通常情况下，绝缘材料分为三类：

- 1) 气体绝缘材料：常温常压下，一般的干燥气体具有较好的绝缘性能，如空气、氮气、氢气、二氧化碳、六氟化硫等，其中，空气和六氟化硫在变压器中应用比较广泛；
- 2) 液体绝缘材料：液体绝缘材料通常以油状存在，又称绝缘油。如矿物质油、植物油、合成酯等；
- 3) 固态绝缘材料：如绝缘漆、绝缘胶、绝缘纸、绝缘纸板、瓦楞纸板、电工塑料及薄膜、电土层压板（棒、管）、浇注成型的环氧树脂、电瓷、橡胶、云母制品等。

4.1 绝缘油

绝缘油其特点是电气强度高、闪电高、凝固点低，在氧、高温、强电场作用下性能稳定，无毒、无腐蚀性，粘度小，流动性好等特点。其在变压器、油开关、电容器和电缆等电工产品中广泛使用，起绝缘、冷却、浸渍及填充作用，另外，在油开关中还起灭弧作用，在电容器中还起储能作用。

绝缘油在变压器中同时起绝缘和冷却的双重作用；

绝缘油目前通常分为以下几类：

- 1) 矿物质油：如变压器油、开关油、电容器油、电缆油；

2) 合成油：如十二烷基苯、硅油、合成酯等；

3) 植物油；

4.2 环氧树脂

环氧树脂是一种高分子化合物。树脂特点是一种固体、半固体或准固体有机材料，分子质量不确定(通常是较高)，承受应力时有流动倾向，通常有一个软化或熔化范围，且固体断面常呈现贝壳状，其具有以下基本特征：

1) 分子链很长，每条链包含成百甚至上万个原子，彼此以共价键连；

2) 长分子链由最小重复单元即链节组成，一个分子中的链节数称为聚合度；

3) 大分子的分子间总力往往超过分子内原子间的化学键力，从而使高分子化合物出现一系列特性：例如没有气态聚合物、聚合物溶解过程很慢等，若分子间有交联，则该特点更为特出。

环氧树脂是指含有环氧官能团的低聚物，1891年开始出现环氧树脂，1947后美国、瑞士多个公司相继工业化合成成功双酚A环氧树脂。我国于1956年开始生产。

环氧材料的电气绝缘性能尤其突出，不加填料时，固化物的EB高于16MV/m，pV高于1011Ω·m， ϵ_r 为3~4，工频下 $\tan\delta$ 约0.002，因此，20%环氧树脂都用于电气电子绝缘，例如环氧浸渍漆作为B级绝缘漆，浸渍中小型电机定子绕组；环氧无溶剂漆用于大电机定子绕组的真空浸渍；层压制品(板、管、棒)用作电机的槽楔和垫块、高压开关操作杆；粘结剂用于高压电瓷套管的粘结；浇注料用于六氟化硫全封闭组合电器(GIS)中的盘形隔离绝缘子、互感器和高压陶瓷电容器等的部件。目前国内生产的环氧树脂或改性环氧树脂的牌号命名暂时仍不很统一。全球不同环氧树脂制造商的命名也各不相同，需要根据商标识别。

环氧树脂只是低聚物，固化后才能使用。固化剂能与环氧树脂反应，使树脂分子从线型结构交联成体型结构。促进剂/催化剂能降低反应活化能的助剂，能促进/调整浇注料凝胶反应历程。固化剂利用其所含的活泼氢与树脂中活泼的环氧基进行开环加成反应实现固化，活泼氢就是固化剂或促进剂中—NH₂、—NH—、—COOH、—OH和—SH中的氢。常用的固化剂有胺类和酸酐两类。固化剂中有的需要促进剂/催化剂，有的需要高温条件，有的在低温下即可剧烈反应。固化剂的不同也会导致固化产物性能差异悬殊，对产品最终性能有重大影响。因此，在环氧树脂配方体系中设计和选择固化剂是十分重要的。

环氧绝缘用于干式变压器，是近40年的新发展。变压器线圈设计寿命要求达到30年，耐热等级达到F级，一般材料难以达到要求。

为此，要对所用材料及其配方体系和工艺必须进行设计、优选、试验和验证，才能获得理想效果的话。在树脂绝缘干式变压器中，环氧树脂体系通过浇注或浸渍成型，再经过热固化形成线圈绝缘(即纵绝缘)，在干式变压器整个运行期间，环氧树脂绝缘要同时保证线圈的电气绝缘和机械强度，并通过热传导方式散发线圈内部的热量。

其最大弱点是树脂绝缘缺陷和损伤(一般在制造过程中产生缺陷，在运行过程中产生损伤)的不可恢复和不可修复性。因此，避免固体绝缘开裂、避免浇注缺陷、避免局部放电(即局放)就显得格外重要，并成为固体绝缘制造技术的关键，是制造商间相互竞争的焦点。

由于变压器运行中损耗带来的较高温升，使树脂绝缘长期在高温工作(比如F级变压器，设计的最高工作温度一般在140℃左右)，而变压器在投运前和检修期间又可能处在低温(比如-30℃)，而且，变压器随时会受到雷电高压冲击或短路时的巨大电动力冲击。树脂绝缘的线圈应能适应这些变化，并能抵御或承受极端高低温下的短路电动力冲击，因此对环氧绝缘体系的热、机、电性能提出了极其苛刻的要求。

树脂浇注变压器的绝缘材料体系目前有两种，一种是“纯树脂浇注+高填充率玻璃纤维增强”，另一种是“树脂石英粉浇注+预浸玻璃网格局部加强”。

而绝缘体系(即习称绝缘结构)所包含的领域比绝缘材料体系更广，它指电气设备(或其独立部件)的绝缘整体，不仅包括绝缘材料及其组合方式，还应考虑绝缘与导体或磁体间的关系、与电场的关系、绝缘与周围环境(气体或液体及其状况、表面污秽、散热条件、机械力或辐射作用等)的关系等，它与电力系统运行参数间的适应性就是绝缘配合。干式变压器中气流和散热情况、绝缘受力情况等，都在绝缘体系要考虑的范围之中。

4.3 绝缘纸

植物纤维纸分为木质纤维、棉纤维和麻纤维，其中最常用的为纯硫酸盐木浆纤维纸，其原料为木材，常用的是软木中的松杉科木材，如黄松、白松、红毛杉和红松等木材，主要成分为纤维素，是一种天然的高分子化合物。绝缘纸制造方法采用化学法，如硫酸盐法，该方法中蒸煮液主要成分为硫化钠(Na₂S)，硫化钠水解，生成硫化氢钠和氢氧化钠，硫化氢钠能和纤维素以外的木质素发生反应，将其溶于碱液中，该蒸煮液比较温和，故纤维素的分子量下降很少。变压器中常用的植物纤维素绝缘纸有：电力电缆纸，高压电缆纸和变压器匝间绝缘纸等。

1) 电缆纸：电缆纸是由硫酸盐纸浆制造，牌号为DL08、DL12、DL17，厚度分别为0.08mm、0.12mm和0.17mm，成卷供应，电缆纸经变压器油浸渍后，其机械强度和电气强度均会有明显提高，

如在空气中电力电缆纸电气强度为 $6\sim 9\times 10^3\text{kV/m}$ ，而干燥浸渍变压器油后其电气强度达到 $70\sim 90\times 10^3\text{kV/m}$ ，电缆纸在变压器的运行中有足够的热稳定性，通常用作缠绕绝缘和层间绝缘。电缆纸又包括高压电缆纸、低压电缆纸、高密度电缆纸及绝缘皱纹纸。高压电缆纸适用于 $110\sim 330\text{kV}$ 变压器、互感器，介质损耗角正切值低；低压电缆纸用于 35kV 及以下的电力电缆和变压器或其它电气产品的绝缘；绝缘皱纹纸是由电工绝缘纸经起皱加工而制成，沿其横向有皱纹，拉伸时被拉开，常用于油浸式变压器的绕包绝缘，如线圈出头、引线及静电屏蔽装置的绝缘包扎；高密度电缆纸，也是绝缘皱纹纸的一种，比一般的皱纹纸的电气强度要高 $100\%\sim 150\%$ ，机械强度高 50% ，电气强度高，耐油性能好，弹性好，便于拉伸，可替代漆布带用作引线以及导线连接和弯曲部位的绝缘。

2) 电话纸：电话纸也是用硫酸盐纸浆制造，常用与电话电缆，它的机械强度较差，一般作为导线的匝绝缘、层绝缘或导体的覆盖绝缘。

3) 电容器纸：电容器纸按使用要求分为 A 类和 B 类，A 类电容器纸用于电子工业金属化纸介电电容器上。B 类主要用作电力电容器的极间介质。电容器纸的特点是紧度大，厚度薄。一般电流互感器常采用电容器纸，变压器用得较少。

4) 卷缠绝缘纸：卷缠绝缘纸用作上胶纸的底纸，上胶纸用来卷绕绝缘筒（管）和电容式套管，其特点是吸水高度高于电缆纸低于浸渍纸。上胶纸分为单面或双面涂胶（酚醛或环氧树脂），经低温固化而成，用上胶纸卷制纸筒或压制层压制品时再经加温加压时胶最后固化，卷筒一般用单面胶纸，压制胶纸板用双面胶纸。此外，还有菱格点胶纸（网格式点涂胶纸），用于油浸式箔绕线圈的层间绝缘，固化后即保证绝缘之间及绝缘与箔之间的粘合，增强了强度又有较好的透油性。

常规的变压器绝缘纸中应用较多的是电缆纸、皱纹纸和菱格点胶纸，用在变压器中作为匝间绝缘、层间绝缘、引线绑扎等，通常，各类绝缘纸价格相差并不会太大，大约均在 20元/kg 左右。

4.4 电工复合材料

电工薄膜和电工复合材料具有优良的介电性能，都属于薄片绝缘材料。电工薄膜有聚酯薄膜和聚酰亚胺薄膜，在变压器中也可用作导线绝缘、层间绝缘等。电工复合材料是由薄膜的一面或双面粘合纤维材料而制成的复合制品，在变压器中可用作层间绝缘，尤其是在干变的箔绕线圈中，低压线圈通常采用复合材料预浸树脂后作为层间绝缘。常用的复合材料有 DMD、GHG 等。

DMD 全名为聚酯薄膜聚酯纤维非织布柔软复合材料，分为预浸树脂 DMD 和非预浸 DMD，它是在一层聚酯薄膜（M）两侧粘贴聚酯纤维非织布（D）制成的三层柔软复合材料。DMD 具有优异的电

绝缘性、耐热性和机械强度以及优异的浸渍性。非预浸 DMD 可用作油浸式变压器的层间绝缘，预浸 DMD 可用作 F 级干式变压器的低压箔绕线圈层间绝缘。其具体性能指标如下表所示：

表 2 DMD 性能参数

性能项目	配方 1#	配方 2#	配方 3#	配方 4#	试验标准
1. 拉伸强度 / MPa	85~95	80~90	65~75	50~60	ISO/R527
2. 拉伸弹性模量 / GPa	3.2~3.8	3.3~3.9	3.2~3.8	12~14	DIN53457
3. 断裂伸长率 (%)	4~6	4~6	3~4	0.8~1.1	ISO/R527
4. 压缩强度 / MPa	130~150	125~140	120~135	200~220	ISO/R604
5. 弯曲强度 / MPa	130~150	125~140	110~130	115~125	ISO/R178
6. 表面应变 (%)	6~8	5~6	4~6	1.0~1.5	ISO/R178
7. 冲击韧度 / (kJ/m ²)	12~17	18~20	25~30	10~12	ISO/R179
8. 马丁耐热温度 / °C	85~95	65~75	50~60	80~90	DIN53458
9. Tg/°C	100~115	70~85	60~70	90~100	DSC
10. 导热系数 / [W/(m·K)]	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3	0.8~0.9	DIN52612
11. 热膨胀系数 / 10 ⁻⁶ K ⁻¹	60~70	70~80	80~90	30~35	VDE0304
12. 吸水率 (%)	0.25~0.3	0.3~0.35	0.3~0.35	0.1~0.2	ISO/R62
13. 击穿强度 / (kV/mm)	16~19	16~19	16~19	18~20	IEC243
14. 耐电弧性 / s	60~110	60~110	60~110	185~195	ASTM-D495
15. tan δ (%)	0.3~0.4	0.3~0.4	0.3~0.4	2~3	DIN53482

GHG 全名为聚酰亚胺薄膜预浸 H 级树脂玻璃纤维柔软复合材料，它是在一层聚酰亚胺薄膜(H) 两侧粘贴玻璃纤维布 (G) 制成的三层柔软复合材料。相较于 DMD 其具有较好的耐热性，可用于 H 级绝缘干式变压器的低压箔绕线圈层间绝缘。

NHN 全名为聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料，是聚酰亚胺薄膜两面用 H 级粘合剂 粘合聚芳酰胺纤维纸 (Nomex) 而成。NHN 是目前最高档的薄层绝缘材料，具有优异的耐热性、较 好的介电性能、较小的吸水性及优良的防潮性能。它属于 H 级绝缘材料，可用于 H 级干式变压器 的层间绝缘。其具体性能参数如下表所示：

表 3 NHN 性能参数

指标名称		单位	标称厚度/mm		
			0.20	0.25	0.30
拉伸强度 ≥	纵向	N/mm	10.0	10.0	10.0
	横向		8.0	8.0	8.0
击穿电压 ≥	常态	kV	8.0	8.0	8.0
	弯折后		7.0	7.0	7.0
	180℃		7.0	7.0	7.0
	受潮后		7.0	7.0	7.0
体积电阻率, ≥	常态	MΩ·m	1.0×10 ⁵		
	180℃±2℃		1.0×10 ⁴		
常态粘结性			不分层		

4.5 绝缘纸板

绝缘纸板是用纯硫酸盐木浆抄纸制成，可用于饼式绕组的油隙垫块、油隙撑条、隔板、纸板筒、瓦楞纸、铁轭绝缘、夹件绝缘和端绝缘绕组压板等，其常用厚度为 1.0mm、1.5mm、2mm、3mm、4mm、6mm，绝缘纸板按密度分为低密度纸板、中密度纸板和高密度纸板，低密度纸通常称为 T3 软纸板，密度在 0.75g/cm³~0.9g/cm³ 之间，强度较低，常用于折弯件或经润湿以后制作拉伸件，如成型角环、环状件和软纸筒等。低密度纸板吸油率高，成型性好，但力学性能较差；中密度板通常称为 T1 纸板，密度为 0.95g/cm³~1.15g/cm³ 之间，用作撑条垫块等；高密度纸板通常称为 T4 硬纸板，密度为 1.15g/cm³~1.3g/cm³，用作绝缘纸板筒、绝缘压板和端圈等。在高压线圈多层纸筒组成的油-板间隔结构中，也可用瓦楞纸板代替纸板撑条形成油隙，这样可以在保证绝缘性能的基础上节省材料。

4.6 聚丙烯薄膜

聚丙烯薄膜是由聚丙烯树脂 (PP) 挤出厚片，经定向拉伸而成，其特点是：1) 密度小，可拉伸成 0.06mm 甚至更薄，其密度为 0.89g/cm³~0.92g/cm³。2) 具有较好的电气性能和化学稳定性，相对介电系数为 2~2.2，击穿打大于 150MV/m；3) 具有很好的机械性能，其抗张强度大于 100MPa；4) 可在 125℃ 长期使用，属于 E 级绝缘；5) 具有疏水性，防吸水的能力很强，可用于油浸式变

压器的导线绝缘。

4.7 其它绝缘材料

变压器油、绝缘纸是油浸式变压器线圈的主要绝缘材料，树脂、绝缘纸、复合材料是干式变压器线圈的主要绝缘材料，除了这些材料外，在变压器中还常用到以下一些绝缘材料：(层压木、层压板、绝缘漆、绝缘胶、棉布带、紧缩带、无纬带等

1) 层压板：电工层压制品是由纸、布及木质单板作底材，浸（或涂）以不同的胶粘剂，经热压（或卷制）而制成的层状结构的绝缘材料。根据使用要求，层压制品可制成具有优良电气、机械性能和耐热、耐油、耐霉、耐电弧及耐电晕等特性的制品。层压制品主要包括层压板、层压木、层压管、棒、电容套管芯和其它特种型材等。层压制品的性能取决于底材和胶粘剂的性质及其成型工艺。层压板按照原材料和粘合剂的不同，分为绝缘层压板（纸板，用于油变）、酚醛层压纸板（通称电木板，纸板浸渍酚醛树脂，用于油变）、酚醛层压布板（棉布浸以酚醛树脂，常用于油变）、环氧玻璃布板（玻璃纤维布以环氧树脂为粘合剂，可用于F级干变或油变）、改性二苯醚玻璃布板（玻璃纤维布以改性二苯醚树脂为粘合剂，可用于H级干变）、双马来酰亚胺玻璃布板（玻璃纤维布以双马来酰亚胺树脂为粘合剂，可用于H级干变）。层压板通常具有较好的机械强度和绝缘性能，在变压器中常用作铁心夹件绝缘、外部支承件等。

2) 绝缘筒（管）：变压器中的绝缘筒主要用于内外线圈间、线圈与铁心之间，用于线圈内衬骨架，导线直接绕制在绝缘筒上，同时，绝缘筒还可用于主绝缘，增加主绝缘油隙数量，增强绝缘。绝缘筒根据材料的不同，通产共分为酚醛纸筒（常用于油变）、环氧玻璃布筒（常用于油变或F级干变）、改性二苯醚玻璃布筒（常用于H级干变）、玻璃钢筒（常用于H级干变）、双马来酰亚胺玻璃布筒（常用于H级干变）等。

3) 层压木：电工层压木选用优质的硬木，如白桦木、山毛榉等，经70℃~80℃两次蒸煮，去掉木材本身的木质酸和油脂后，切为1~3mm的单板，干燥后再涂以树脂胶黏剂，经预固化处理后，经反复组坯叠装而成，具有良好的绝缘强度和机械强度，在油变中可用作垫块、角环等的。

4) 绑扎带：变压器用绑扎带有棉布带、紧缩带、网状半干无纬带、玻璃布带、聚酯带等，用于铁心、线圈的绑扎、收紧等。

5. 材料结构和附件

在变压器中，还有结构材料和附件，结构材料主要起到变压器支承、磁路、电路加固、变压器绝缘液封装等功能，包括夹件、油箱、散热器、储油柜等，其主要材料为Q235钢材，对于油箱

箱盖的出线套管位置常采用无磁钢以减少涡流，此外变压器器身内部有时也会在采用无磁钢或高牌号钢材。

变压器附件主要其性能监测和保护功能，干变中包括温控器、风机、互感器等，油变中包括气体继电器、温控器、压力释放阀、分接开关等，部分附件需求是由客户提出。

干式变压器基础知识汇总

干式变压器广泛用于局部照明、高层建筑、机场，码头 CNC 机械设备等场所，简单的说干式变压器就是指铁芯和绕组不浸渍在绝缘油中的变压器。

冷却方式分为自然空气冷却 (AN) 和强迫空气冷却 (AF)。

自然空冷时，变压器可在额定容量下长期连续运行。

强迫风冷时，变压器输出容量可提高 50%。

适用于断续过负荷运行，或应急事故过负荷运行；由于过负荷时负载损耗和阻抗电压增幅较大，处于非经济运行状态，故不应使其处于长时间连续过负荷运行。

1、结构类型

构造性能

(1) 固体绝缘包封绕组

(2) 不包封绕组

两个绕组中，电压较高的是高压绕组，较低的是低压绕组

从高低压绕组的相对位置看，高压可分为同心式 交迭式

同心式绕组简单，制造方便，均采用这种结构方式。

交迭式，主要用于特种变压器。

2、结构特点

1. 安全，防火，无污染，可直接运行于负荷中心；

2. 采用国内先进技术，机械强度高，抗短路能力强，局部放电小，热稳定性好，可靠性高，使用寿命长；

3. 低损耗，低噪音，节能效果明显，免维护；

4. 散热性能好，过负载能力强，强迫风冷时可提高容量运行；

5. 防潮性能好，适应高湿度和其他恶劣环境中运行；
6. 干式变压器可配备完善的温度检测和保护系统。采用智能信号温控系统，可自动检测和巡回显示三相绕组各自的工作温度，可自动启动、停止风机，并有报警、跳闸等功能设置；
7. 体积小，重量轻，占地空间少，安装费用低。

铁芯

采用优质冷轧晶粒取向硅钢片，铁芯硅钢片采用 45 度全斜接缝，使磁通沿着硅钢片接缝方向通过。

绕组形式

- (1) 缠绕；
- (2) 环氧树脂加石英砂填充浇注；
- (3) 玻璃纤维增强环氧树脂浇注(即薄绝缘结构)；
- (4) 多股玻璃丝浸渍环氧树脂缠绕式(一般多采用 3，因为它能有效的防止浇注的树脂开裂，提高了设备的可靠性)。

高压绕组

一般采用多层圆筒式或分段式结构。

3、形式

1. 开启式：是一种常用的形式，其器身与大气直接接触，适应于比较干燥而洁净的室内，(环境温度 20 度时，相对湿度不应超过 85%)，一般有空气自冷和风冷两种冷却方式。

2. 封闭式：器身处在封闭的外壳内，与大气不直接接触(由于密封、散热条件差，主要用于矿用，属于防爆型)。

3. 浇注式：用环氧树脂或其它树脂浇注作为主绝缘，它结构简单、体积小，适用于较小容量的变压器。

4、技术参数

- 1、使用频率：50 / 60HZ ；
- 2、空载电流：< 4 % ；
- 3、耐压强度：2000V / min 无击穿；测试仪器：YZ1802 耐压试验仪(20mA) ；
- 4、绝缘等级：F 级(特殊等级可定制)；
- 5、绝缘电阻：≥2M 欧姆测试仪器：ZC25B 一 4 型兆欧表<1000 V)；

6、连接方式：Y/Y、 Δ /Y0、Yo/ Δ ，自耦式(可选)；

7、线圈允许温升：100K；

8、散热方式：自然风冷或温控自动散热；

9、噪音系数： ≤ 30 dB。

5、工作环境

1. 0 - 40(°C)，相对湿度 $< 70\%$ ；

2. 海拔高度：不超过 2500 米；

3. 避免遭受雨水、湿气、高温、高热或直接日照。其散热通风孔与周边物体应有不小于 1000px 的距离；

4. 防止工作在腐蚀性液体、或气体、尘埃、导电纤维或金属细屑较多的场所；

5. 防止工作在振动或电磁干扰场所；

6. 避免长期倒置存放和运输，不能受强烈的撞击。

6、产品选用-产品定义

配电变压器为工矿企业与民用建筑供配电系统中的重要设备之一，它将 10(6)kV 或 35kV 网络电压降至用户使用的 230/400V 母线电压。此类产品适用于交流 50(60)Hz，三相最大额定容量 2500kVA(单相最大额定容量 833kVA，一般不推荐使用单相变压器)

1) 有大量一级或二级负荷时，宜装设二台及以上变压器，当其中任一台变压器断开时，其余变压器的容量能满足一级及二级负荷的用电。一、二级负荷尽可能集中，不宜太分散。

2) 季节性负荷容量较大时，宜装设专用变压器。如大型民用 S4270D27-29 27 2005.7.29, 3:24 AM 建筑中的空调冷冻机负荷、采暖用电热负荷等。

3) 集中负荷较大时，宜装设专用变压器。如大型加热设备、大型 X 光机、电弧炼炉等。

4) 当照明负荷较大或动力和照明采用共用变压器严重影响照明质量及灯泡寿命时，可设照明专用变压器。一般情况下，动力与照明共用变压器。

产品选用-根据使用环境选择变压器

1) 在正常介质条件下，可选用油浸式变压器或干式变压器，如工矿企业、农业的独立或附建变电所、小区独立变电所等。可供选择的变压器有 S8、S9、S10、SC(B)9、SC(B)10 等。

2) 在多层或高层主体建筑内，宜选用不燃或难燃型变压器，如 SC(B)9、SC(B)10、SCZ(B)9、SCZ(B)10 等。

3) 在多尘或有腐蚀性气体严重影响变压器安全运行的场所, 应选封闭型或密封型变压器, 如 B S 9、S9 - 、S10- 、SH12-M 等。

4) 不带可燃性油的高、低配电装置和非油浸的配电变压器, 可设置在一同房间内, 此时变压器应带 IP2X 保护外壳, 以策安全。

产品选用-根据用电负荷选择变压器

1) 配电变压器的容量, 应综合各种用电设备的设施容量, 求出计算负荷(一般不计消防负荷), 补偿后的视在容量是选择变压器容量和台数的依据。一般变压器的负荷率 85%左右。此法较简便, 可作估算容量之用。

2) GB/T17468-1998《电力变压器选用导则》中, 推荐配电变压器的容量选择, 应根据 GB/T17211-1998《干式电力变压器负载导则》及计算负荷来确定其容量。上述二导则提供了计算机程序和正常周期负载图来确定配电变压器容量。

7、安装要点

配电变压器为变电所的重要组件, 无外壳干式变压器直接落地安装, 四周加保护遮栏; 有外壳干式变压器直接落地安装。其安装参见国家建筑标准设计图集。03D201-4 10/0.4kV 变压器室布置及变电所常用设备构件安装。

8、选型-温度控制系统

干式变压器的安全运行和使用寿命, 很大程度上取决于变压器绕组绝缘的安全可靠。绕组温度超过绝缘耐受温度使绝缘破坏, 是导致变压器不能正常工作的主要原因之一, 因此对变压器的运行温度的监测及其报警控制是十分重要的。

(1) 风机自动控制: 通过预埋在低压绕组最热处的 Pt100 热敏测温电阻测取温度信号。变压器负荷增大, 运行温度上升, 当绕组温度达 110℃时, 系统自动启动风机冷却; 当绕组温度低至 90℃时, 系统自动停止风机。

(2) 超温报警、跳闸: 通过预埋在低压绕组中的 PTC 非线性热敏测温电阻采集绕组或铁心温度信号。当变压器绕组温度继续升高, 若达到 155℃时, 系统输出超温报警信号; 若温度继续上升达 170℃, 变压器已不能继续运行, 须向二次保护回路输送超温跳闸信号, 应使变压器迅速跳闸。

(3) 温度显示系统: 通过预埋在低压绕组中的 Pt100 热敏电阻测取温度变化值, 直接显示各相绕组温度(三相巡检及最大值显示, 并可记录历史最高温度), 可将最高温度以 4~20mA 模拟量输出, 若需传输至远方(距离可达 1200m) 计算机

选型-防护方式

通常选用 IP20 防护外壳,可防止直径大于 12mm 的固体异物及鼠、蛇、猫、雀等小动物进入,造成短路停电等恶性故障,为带电部分提供安全屏障。若须将变压器安装在户外,则可选用 IP23 防护外壳,除上述 IP20 防护功能外,更可防止与垂直线成 60° 角以内的水滴入。但 IP23 外壳会使变压器冷却能力下降,选用时要注意其运行容量的降低。

选型-过载能力

干式变压器的过载能力与环境温度、过载前的负载情况(起始负载)、变压器的绝缘散热情况和发热时间常数等有关,若有需要,可向生产厂索取干变的过负荷曲线。

如何利用其过载能力呢?

(1)选择计算变压器容量时可适当减小:充分考虑某些轧钢、焊接等设备短时冲击过负荷的可能性--尽量利用干式变压器的较强过载能力而减小变压器容量;对某些不均匀负荷的场所,如供夜间照明等为主的居民区、文化娱乐设施以及空调和白天照明为主的商场等,可充分利用其过载能力,适当减小变压器容量,使其主运行时间处于满载或短时过载。

9、检查

- 1.有无异常声音及振动。
- 2.有无局部过热.有害气体腐蚀等使绝缘表面爬电痕迹和碳化现象等造成的变色。
- 3.变压器的风冷装置运转是否正常。
- 4.高、低压接头应无过热.电缆头应无漏电、爬电现象。
- 5.绕组的温升应根据变压器采用的绝缘材料等级,监视温升不得超过规定值。
- 6.支持瓷瓶应无裂纹.放电痕迹。
- 7.检查绕组压件是否松动。
- 8.室内通风、铁芯风道应无灰尘及杂物堵塞,铁芯无生锈或腐蚀现象等。

10、区别

变频器:通过它调整能够达到所需要的用电频率(50hz,60hz 等),来满足我们对用电的特殊需要。

变压器:一般为“降压器”,常见于小区附近或工厂附近,它的作用是将超高的电压降到我们居民正常用电电压,满足人们的日常用电。

干式变压器和油浸式变压器是使用最多的两种变压器,与油浸式变压器相比较,干式变压器

的防火性能更好，多用于对于防火要求较高的场所，如医院、机场、车站等场所，但相对来说价格跟高，对环境也有一定的要求，比如不能太潮湿、不能有太多的灰尘和污秽等。

详解不同变压器的工作原理

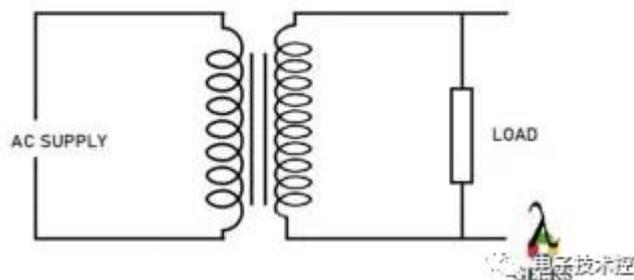
变压器是一种包含磁耦合线圈的设备，这些线圈通常彼此电隔离，变压器将电力从一个电路传输到另一个电路。变压器是如何工作的？这篇文章将带你了解不同变压器的工作原理。

变压器工作的基本原理是电磁感应（或互感），当两个不同的电隔离线圈靠近时，当交流电施加到初级线圈时，一个磁场可以链接到另一个线圈，波动的磁场产生的磁场在次级线圈中产生电动势。

一、升压变压器的工作原理

在次级产生比施加到初级的电压更高的电压的变压器是升压变压器。

变压器使用互由共同（波动）磁通量耦合的两个电路之间的感应（基本原理）。当向初级线圈施加交流电（AC）时，会产生波动的磁场，从而在次级线圈中产生电动势。



升压变压器电路

作为（加紧变压器）大于初级线圈（ n_1 ），EMF（电动势）对应于匝数。因此，次级校准相对于初级线圈产生更高的电压。

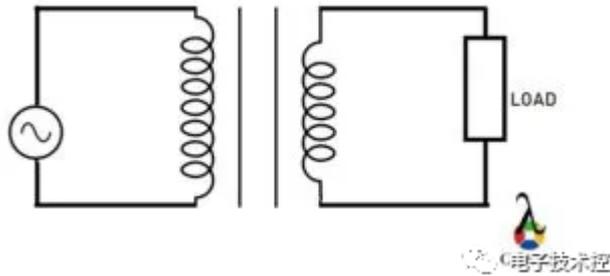
电压变换升压变压器的比率（ K ）大于 1（ $K > 1$ ）。 $K = E_2/E_1 = N_2/N_1$ ，其中 K 为变压比， N_1 为初级线圈匝数， N_2 为次级线圈匝数。

二、降压变压器的工作原理

降压（变电站变压器的一种）变压器在变压器的次级侧产生较低的电压。

降级 变压器厂 关于两个电路之间的互感，这些电路彼此电隔离，但通过磁通量耦合。当交流电（AC）通过初级线圈时，会产生波动的磁场，从而在次级线圈中产生电动势（emf）。

由于初级线圈的匝数(n_1)大于次级线圈的匝数(n_2),即 $n_1 > n_2$, 感应电动势(emf)与匝数成正比, 从而在次级线圈上产生电压线圈(变压器)低于初级电压。



降压变压器电路

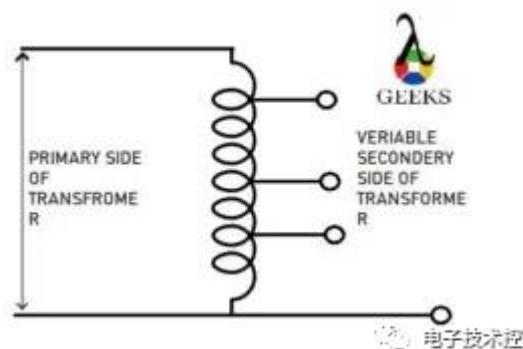
降压变压器的变压比(K)小于1($K < 1$)。

三、自耦变压器的工作原理

其(初级和次级线圈绕组)电气互连的变压器是自耦变压器, 这意味着它具有变压器初级和次级侧共用的单个连续绕组。

自耦变压器的工作原理是法拉第电磁感应定律(或互感)。根据法拉第电磁感应定律, 当初级线圈连接到交流电源时, 初级线圈中会产生电动势(EMF)。与自耦变压器一样, 初级和次级线圈在单个连续绕组中。

随着每匝电压比在两个绕组中保持相同, 将产生 EMF。产生的次级电压将与连接到变压器次级侧的匝数成正比。



自耦变压器电路

绕组(初级和次级线圈)之间的直接电气连接确保部分能量通过变压器初级和次级绕组之间的传导进行传输。变压器(或自耦变压器)的初级侧和次级侧共享的绕组量称为公共扇区。绕组的一端连接在电源和负载之间, 而电源(交流电源)和负载的另一端连接到沿绕组的接线片。

当交流电源连接在变压器绕组上时，自耦变压器可以是降压变压器。负载通过跨绕组相对较小部分的接线片连接。

四、微波变压器的工作原理

微波变压器坚固、便宜，并且会产生高压电弧。微波变压器的工作原理与其他变压器一样。微波（烤箱）变压器具有三个（1 个初级和 2 个次级）绕组。当电流通过磁控管时，电子会受到影响以产生微波辐射。当微波炉的磁控管（烤箱）变压器工作，交流流过（微波）变压器的次级绕组（或线圈）导致铁芯产生磁饱和；随着磁控管的阳极电压上升。阳极电流也随着通过次级绕组的电流的增加而增加，加强磁分离并增加漏磁通量，导致变压器产生高次级电压。

五、输出变压器的工作原理

输出变压器阻断直流，让交流信号通过。

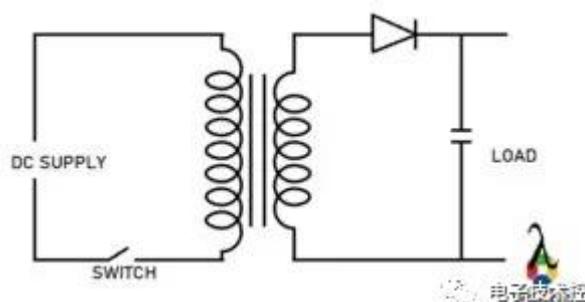
输出变压器是一种利用法拉第电磁感应定律原理工作的电磁装置，将输入电路与输出流量隔离，同时过滤交流信号通过输入和输出电路之间的磁耦合。

输出变压器可用于增加或减少通过输入电路到输出电路的施加电压。

六、反激变压器的工作原理

反激变压器（产生锯齿波信号）也被认为是线路输出变压器。这个变压器可以用直流电压来激励。它既可以传输能量，也可以储存能量。

反激变压器的基本工作原理是互感。在这个变压器中，一个二极管是链接与次级线圈串联（基本的）变压器和一个电容器与负载并联。



反激变压器电路

初级线圈与开关一起连接到直流电源。当开关打开时，（直流）电流流过变压器的初级电路并激励初级线圈。初级线圈斜坡（电压的稳定上升）是通过初级电感产生的，初级电感以磁能的形式存储在变压器的电感间隙（线圈之间）之间。二极管与变压器的次级线圈串联，处于反向偏置，

限制了次级电路中电流的形成。

当开关关闭时，初级电流下降到零，间隙中储存的能量被释放并转移到次级线圈，导致输出电压随着电压转变为正向偏置而迅速上升。

七、升降压变压器的工作原理

升降压变压器用于调节电压电平，它可以用来对施加的电压进行微小的改变，最高可达 30%。

升降压变压器有四个绕组，可以根据需要以不同的方式连接。它是基于磁耦合线圈之间的互感原理。降压-升压变压器产生的（输出）电压是输入电压的函数。如果输入电压发生变化，则输出电压将以相同的百分比变化。根据线圈之间的连接，变压器可以升压或降压。

箱式变电站怎么会烧掉旁边的高压保险

箱式变电站中的一次侧、二次侧出现短路故障或者二次侧瞬间短路和操作过电压、操作过电流都会引起一次侧的高压保险丝熔断。属于再正常不过的事情。

箱式变电站根据不同负载，其内部变压器室是可以选择不同品牌及型号的变压器的。例如有 S9/S11/S13/SCB10 和低功耗的非晶合金变压器。



变压器的一次侧保险丝是作为变压器内部故障保护用的，其容量应该按变压器一次侧额定电

流的 1.5~3 倍选择，考虑到熔丝的机械强度，一般变压器一次侧保险丝不小于 10A。

◆箱式变电站适用于城市环网供电，双电源供电或终端供电系统，作为高压配电计量，补偿控制和保护装置，高压侧还装有四工位负荷开关，后背保护熔断器及插入式熔断器，低压侧按用户要求装配控制电器，配电电器，补偿装置及电能计量表等。所有的设备在工厂一次性安装、调试合格后出厂。真正实现变电站建设工厂化，缩短了设计制造周期，现场安装仅需箱体定位、箱体间电缆联络、出线电缆连接、保护定值校验及其它需调试的工作。



箱式变电站可用于室内，有用于室外，广泛运用于工业园区，商业中心及高层建筑等各种场所。

◆箱式变电站的特点

箱变由高压配电装置，变压器及配电装置联接而成，分为三个功能隔室，即高压室，变压器室和低压室、高、低压室功能齐全，高压侧一次供电系统，可布置成环网供电、终端供电、双电源供电等多种供电方式，还可装设高压计量元件，满足高压计量的需求，变压器室可选择 S9、S11 S13 / SCB10 和低损耗的非晶合金变压器；

低压室根据用户要求可采用面板或柜装式结构组成用户所需供电方案，有动力配电、照明配电、

无功功率补偿、电能计量和电量测量等多种功能,满足用户的不同需求。并方便用户的供电管理和提高供电质量。



高压室紧凑合理,并具有全面防误操作联锁功能。变压器在用户有要求时,可设有轨道能方便地从变压器两侧大门进出。各室内均有自动照明装置,另外高、低压室所选用全部元器件性能可靠、操作方便、使产品运行安全可靠、维护方便。

采用自然通风和强迫通风两种方式。变压器室和高、低压室 均有通风道,排风扇有温控装置按指定温度能自动启动和关闭,保 证变压器正常运行。

变压器的声音到底从哪里发出来的

变压器的声音是从变压器内部出来的。变压器属于电磁感应原理,内部安装有一次侧绕组线圈和二次侧绕组线圈,中间有高导磁材料的硅钢片。正常情况下变压器的线圈绕组都按照铁芯截面积来计算一个叫“安匝比”的线圈。

既然有线圈绕组,它通入交流 50Hz 电源时,就会有一个励磁电流。在交流铁芯线圈中有两部分损耗,可变损耗就是短路损耗,也就是铜损耗,它也分为两个部分,即有功功率部分和无功功率部分。



这个“涡流”使 变压器的 损耗增加,并且使 变压器的
铁芯发热 变压器的 温升



线圈电阻R上有铜损耗 RI^2 及铁芯中的铁损(磁滞损耗和涡流损耗)。铁损耗近似和 B_m^2 成正比。在电源频率为定值情况下,线圈的铁损和的工作电压有关系。根据恒磁通概念 $U=4.44fNB_mS$ 可知,铁芯中的 B_m 和外加电压成正比。换句话说,铁损耗近似与外加电压的平方成正比。

因为变压器可以根据运行的声音来判断运行的情况。其方法是用听棒的一端顶在变压器的油箱上,另一端贴近耳边仔细听声音,如果是连续的“嗡嗡”声则说明变压器的运行正常。如果“嗡嗡”声比平常加重,要检查变压器的电压,电流和油温,看是否由于电压过高或超负荷引起,若无异状,则多是由于铁芯松动而引起。当听到“吱,吱”声时,要检查套管表面是否有闪络现象。当听到

“噼啪”声时,则是内部绝缘有击穿现象。

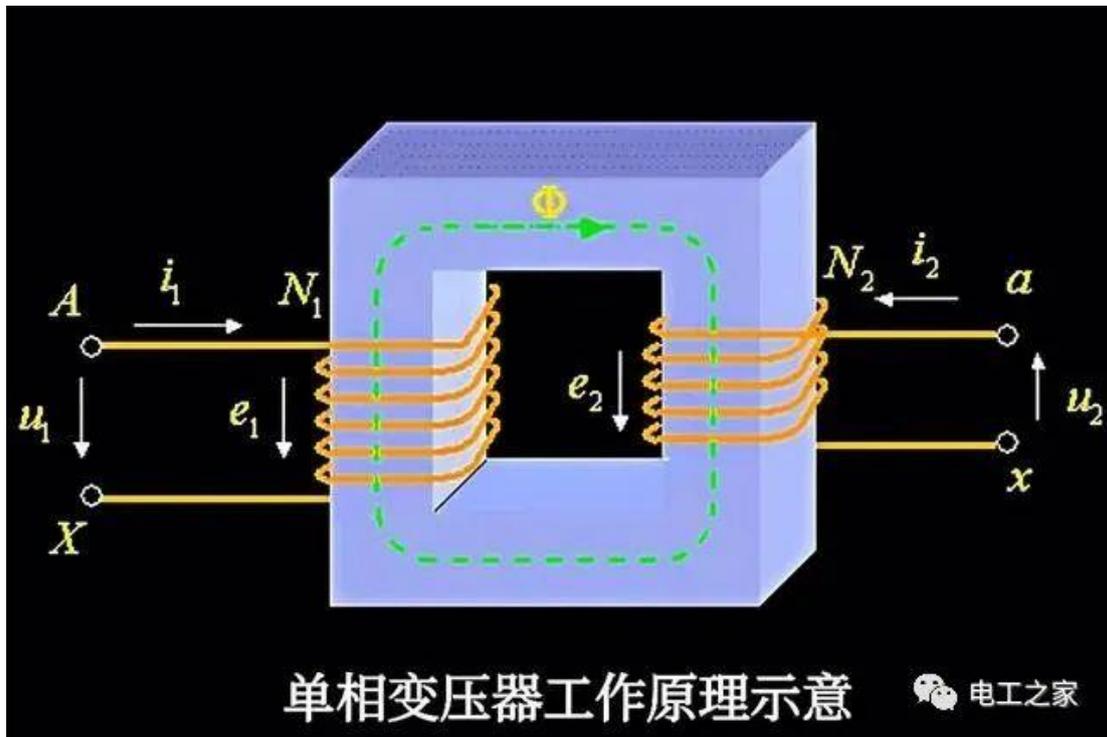
空载损耗看分为有功损耗和无功损耗两个部分。变压器在次级开路状态下,初级仍然还有一定的电流,再乘以初级的额定电压就有一定的功率消耗,这个电流称为空载电流。有功功率损耗基本上是指铁芯中的磁滞损耗和产生的涡流损耗,一般情况下在变压器的出厂说明书或者试验报告中说明。无功损耗部分是励磁电流产生的损耗,它近似于等于变压器的空载功率,可根据空载电流用以下公式计算。

$$Q_0 = I_0 (\%) / 100 S_e$$

式中的 Q_0 是指空载损耗中的无功损耗,单位是 kvar;

$I_0 (\%)$ 指的是变压器空载电流占额定电流的百分数;

S_e 指的是变压器额定容量,单位是千伏安 (KVA)。



有功部分是变压器的一次绕组、二次绕组的电阻通过电流时产生的损耗,它和电流的平方成正比,因此它的大小取决于变压器负载的大小和功率因数的高低。无功损耗部分主要是漏磁通产生的损耗,它可以通过以下公式进行计算。

$$Q_d = U_d (\%) / 100 S_e$$

式中的 Q_d 指的是变压器短路损耗中的无功损耗部分,单位是千乏 kvar;

U_d 为短路电压占额定电压的百分数;

Se 指的是变压器的额定容量，单位是千伏安（kvA）。

变压器有功功率损耗和无功功率损耗计算方法，非常实用！

说到变压器有功功率和无功功率损耗计算，想必从事电气行业多年的电气人员再熟悉不过了，但是到目前仍然有不少的电气人员对这方面知识很欠缺的。在现代科技，经济飞速发展的社会中，电能的重要地位日益显现出来，节能降耗工作也越来越重要。变压器功率损耗在电能损耗中占较大的比重。

在建筑项目中，使用的变压器规格，型号和数量各种各样，主要取决于建筑规模的大小和其各种使用功能。变压器这种电气设备，在电能的传输到分配和使用过程必不可少。由于其在广义电源系统中具有大量和高功率，因此变压器的电能损耗约为发电量的 10%。对于国家来说，这意味着每年变压器的电能损耗超过 1000 亿千瓦时，跟一个大电网的发电量差不多。变压器损耗约占电力线损耗的 50%，在农业供应系统中，变压器电能损失占农业电网电能损失的 60-70%。因此，变压器的经济运行，新型节能变压器的使用和变压器损耗的减少，这些都是建筑电气系统经济开发中的重要环节，也是节约能源的重要途径。那么变压器有功功率和无功功率损耗如何计算呢？下面本文就把方法分享给大家。



计算依据：《工业与民配电设计手册》第四版P3

0

双绕组变压器的有功及无功功率损耗：

有功功率损耗： $\Delta PT = \Delta P0 + \Delta Pk (Sc/SN)$ kW

无功功率损耗： $\Delta QT = \Delta Q0 + \Delta Qk (Sc/SN)$ kv

ar

以上式中 Sc ----- 变压器计算负荷，kVA  电气知识课堂

SN ----- 变压器额定容量，kVA；

$\Delta P0$ ----- 变压器空载有功损耗，kW；

ΔPk ----- 变压器短路有功损耗，kW；

$\Delta Q0$ ----- 变压器空载无功损耗，kva  电气知识课堂

$\Delta Q0 = I0\% * SN / 100$ ；

$I0\%$ ----- 变压器空载电流占额定电流的百分数；

ΔQk ----- 变压器短路无功损耗，kvar， $\Delta Qk = u$

$k\% * SN / 100$ ；

$uk\%$ ----- 变压器阻抗电压占额定电压的百分

数。

 电气知识课堂

$\Delta P0$ 、 ΔPk 、 $I0\%$ 、 $uk\%$ 均可从变压器的产品样本中查得。

当变压器负荷率不大于85%时，其功率损耗可以概略计算如下：

$\Delta PT = 0.01Sc$

$\Delta QT = 0.05Sc$

 电气知识课堂

以ABB SC(B)11系列变压器为例，给出计算格式：


ABB SC(B)11系列变压器技术数据表 (10kV)

额定容量 (kVA)	变压器型号	高压组合			联结组别	空载损耗 (W)	负载损耗 75 °C (W)	空载电流 (%)	短路阻抗 (%)	声压级 (dB)
		高压 (kV)	高压分接范围 (%)	低压 (kV)						
100	SC(B)11-100					360	1370	1.7	4	44
125	SC(B)11-125					420	1610	1.5	4	
160	SC(B)11-160					480	1860	1.5	4	45
200	SC(B)11-200					550	2200	1.3	4	46
250	SC(B)11-250					640	2410	1.3	4	47
315	SCB11-315					790	3030	0.9	4	48
400	SCB11-400	6				880	3480	0.7	4	49

500	SC B1 1- 50 0	6. 3	±2*2. 5%	0.4	Dy n1 1 或 Yy n0	1040	4260	0.7	4	50
630	SC B1 1- 63 0	6. 1 0 1 0.5 1				1200	5130	0.5	4	51
630	SC B1 1- 63 0	1				1170	5200	0.5	6	51
800	SC B1 1- 80 0					1360	6100	0.5	6	52
1000	SC B1 1- 10 00					1590	7000	0.4	6	53
1250	SC B1 1- 12 50					1880	8400	0.4	6	54
1600	SC B1 1- 16 00					2200	10200	0.4	6	55
2000	SC B1 1- 20 00					2740	12500	0.3	6	55
2500	SC B1 1- 25 00					3240	15000	0.3	6	56

采用精确计算时变压器的损耗计算：					
计算负荷 (kVA)	采用变压器额定容量 (kVA)	空载有功损耗 (W)	短路有功损耗 75 °C (W)	空载电流百分数 (%)	短路阻抗百分数 (%)
S_c	S_N	ΔP_0	ΔP_k	$I_0\%$	$u_k\%$
1250	2500	3.24	15	0.3	6
				空载无功损耗 (kvar)	短路无功损耗 (kvar)
				ΔQ_0	ΔQ_k
				7.5	150
变压器有功功率损耗 (kW)	变压器无功功率损耗 (kvar)				
ΔP_T	ΔQ_T				
10.74	82.5				
变压器总损耗 (kVA)					
83.20					
采用概略计算时：					
变压器有功功率损耗 (kW)	变压器无功功率损耗 (kvar)				
ΔP_T	ΔQ_T				
12.5	62.5				
变压器总损耗 (kVA)					
63.74					

汉中新环干式变压器有限责任公司

HANZHONG XINHUAN DRY-TYPE TRANSFORMER CO.,LTD.

公司地址：陕西省汉中市经济开发区(北区)陈仓路南侧（大坝村）

服务专线：13891633018 0916-8195256 0916-8195261