

The background of the cover features a close-up, artistic view of transformer components, including vertical insulators and a complex metal structure, rendered in a dark, blue-toned aesthetic with dramatic lighting.

◀ 变压器制造技术丛书 ▶

变压器油箱制造工艺

变压器制造技术丛书编审委员会 编

机械工业出版社

T1/405
W-1
3

变压器制造技术丛书

变压器油箱制造工艺

变压器制造技术丛书编审委员会 编



机械工业出版社

856466

本书系变压器制造技术丛书之一。全书共分五章,内容包括油箱及结构件的设计、油箱及结构件的加工工艺、试漏检验、油箱及零部件的后处理和油箱在加工过程中所使用的焊接方法。

本书主要用作变压器行业油箱及金属结构件加工专业技术工人的培训教材,也可供从事变压器油箱及金属结构件加工的工人、技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变压器油箱制造工艺/变压器制造技术丛书编审委员会
编. —北京:机械工业出版社, 1998.6
(变压器制造技术丛书)
ISBN 7-111-06124-1

1. 变… I. 变… Ⅲ. 变压器-油箱-生产工艺 IV. TM4
05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 06303 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:俞逢英 版式设计:王颖 责任校对:吴美英
封面设计:姚毅 责任印制:王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1998 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·8.25 印张·192 千字
0 001—4000 册
定价:12.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

《变压器制造技术丛书》编审委员会名单

主 任	熊观银			
副 主 任	杨师和	邢瑞祥		
委 员	邢瑞祥	朱哲滨	钱敬明	魏春华
	杨师和	张金琢	王 勉	王显文
	熊观银	王承志	李宪霞	杭小民
主 编	魏春华	王显文	王承志	
本书编者	张万祥			
本书审者	王显文	宋彦忱		

2003/06

前 言

《变压器制造技术丛书》是为适应变压器行业技术发展的迫切需要，满足变压器行业操作工人的专业培训和工程技术人员业务学习与参考的要求，同时满足社会不同文化层次读者的需要，根据原国家机械委电器局制定的变压器行业《工人技术等级标准》和工程技术人员继续教育的要求，受全国变压器行业职工教育研究会的委托，由沈阳变压器有限责任公司、保定天威集团、西安变压器厂等单位组织有实践经验的工程技术人员，参照《变压器专业工种技术工人培训教材》（内部发行），结合目前国内外变压器发展的最新技术，对原书作了大量的节删、补充和修改后编写而成的。新编的《变压器制造技术丛书》共分八册：

- 1 绝缘材料与绝缘件制造工艺
- 2 变压器绕组制造工艺
- 3 变压器铁心制造工艺
- 4 变压器装配工艺
- 5 变压器处理工艺
- 6 变压器试验
- 7 变压器油箱制造工艺
- 8 干式变压器制造工艺

本丛书以操作工人为主要读者对象，同时照顾工程技术人员继续教育的需要和全国变压器行业各厂家的通用性，内容从原 35~220kV 电力变压器，扩大为 35~500kV 的各类变压器，包括从小型配电变压器到大型五柱铁心变压器；从传统的常规心式变压器到性能较优越的壳式变压器。在技术水平方面，除介绍国际 80 年代水平的内容外，还考虑到今后的发展，介绍了一些具有 90 年代甚至跨世纪水平的最新技术，以满足不同读者的需要。

由于编著者来自不同工厂、不同岗位，因此在掌握内容的深度和广度上不尽相同，各册书之间的水平和尺度免不了有所差别，也免不了存在一些局限性和片面性，甚至有错误之处，恳请有关专家、学者和广大读者提出宝贵意见，以便今后再版时进一步完善。

由于各企业工艺条件不同，在制造方法上也不完全相同，本丛书中所述的工艺方法、工艺参数及具体操作规定和要领仅供参考，望不要生搬硬套本丛书内容并代替各厂现行技术文件。

在编写本丛书过程中，承蒙机械部教育司及机械工业出版社和编写厂家所在省市的上级领导给予大力支持和指导，在此表示感谢。对原《变压器专业工种技术工人培训教材》的组织者和全体作者，以及承担本丛书编写任务的厂家和编印过程中做了大量工作的同志表示谢意。

变压器制造技术丛书编审委员会

1997 年 12 月

目 录

前言

第一章 油箱结构件的设计	1
第一节 油箱及结构件的设计	1
第二节 结构设计中的防渗漏及保清洁措施	13
复习思考题	16
第二章 油箱及零部件的加工	17
第一节 油箱的加工	17
第二节 箱顶通气联管的配焊	27
第三节 冷却装置的加工	29
第四节 联管及升高座的加工	32
复习思考题	36
第三章 油箱及外部结构件的试漏检验	37
第一节 气压试漏检验	37
第二节 表面渗透探伤	39
第三节 氨渗漏检验及油压试漏检验	40
复习思考题	41
第四章 油箱及零部件的后处理	42
第一节 零部件的表面预处理	42
第二节 零部件的涂装	49
复习思考题	72
第五章 油箱及零部件加工用焊接方法	73
第一节 焊条电弧焊	73
第二节 CO ₂ 气体保护电弧焊	93
第三节 埋弧焊	116
复习思考题	122
参考文献	123

第一章 油箱结构件的设计

第一节 油箱及结构件的设计

一、油箱的本身设计

1. 油箱的基本结构形式

变压器运行时，铁心、绕组、引线和钢结构件中均产生损耗。这些损耗将转变成热量散发于周围的介质中，从而引起变压器发热和温度升高。为使变压器各部分温升不超过规定的值，应采取有效的冷却措施。当变压器的容量和电压均较低时，变压器运行过程中产生的热损耗也较小，通过周围空气就可将变压器的温度降到规定的范围内，这样的变压器称为干式变压器。随着变压器容量的增大，电压等级的升高，运行过程产生的损耗也会增大，当增大到周围的空气不能将器身的温度降下来时，需考虑将器身放到以油（变压器油）为介质的环境中，通过油的循环使器身降温，这是使用变压器油的一个作用；变压器油的另一个作用是对器身带电部分绝缘。这种将器身放在油中的变压器称为油浸式变压器。用于盛装变压器器身和变压器油的容器，称为变压器油箱。

变压器油箱的结构形式一般有以下几种：钟罩式油箱，筒式油箱，波纹式油箱，壳式变压器油箱。

(1) 钟罩式油箱 这种油箱的箱沿设在下部，一般距箱底 250~400mm，上节油箱做成钟罩形，用螺栓将上、下节油箱联接在一起，中间加密封胶条，多用于 8000kV·A 以上的变压器中。这种结构形式的油箱给现场进行器身的检查维修带来了方便。在检修时只要将上节油箱吊开就可以了，而目前最大容量的产品上节油箱重量也不超过 30t，远远低于器身的重量，这就大大降低了对现场起重设备能力的要求。钟罩式油箱是我国大型电力变压器主要采用的结构形式。

钟罩式油箱还可以分为拱顶式油箱、平顶式油箱和梯形顶式油箱三种（见图 1-1）。拱顶式油箱和平顶式油箱一般用于电压等级在 110kV 以下产品，并且根据近几年国内产品的发展情况，平顶式油箱有取代拱顶式油箱的趋势，对于梯形顶式油箱不管国内国外基本都用于电压等级在 220kV 以上的产品。

(2) 筒式油箱 我国一般用于 6300kV·A 及以下的变压器，箱沿设在油箱的顶部，箱盖与箱沿用螺栓相联。箱盖一般是平的，但是在国外，尤其是日本，大部分变压器油箱都是筒式结构，小产品采用平盖，大产品采用梯形盖，筒式油箱基本结构形式如图 1-2 所示。但是日本的产品有一个特点，就是箱盖和箱沿之间不是用螺栓联接的，而是在试验合格后焊牢的，现场不进行检修，一旦出现问题现场根本无法修理，必须返厂将箱沿的焊缝刨开才能检修。

(3) 波纹式油箱 这种油箱结构形式一般主要用于小产品，它是在油箱箱壁的外侧焊上折起很多凸起的波纹栅（见图 1-3）。在几个凸起部位的对应箱壁上上、下开有导油孔，用以导油。波纹栅的主要作用是用来散热和调整变压器内部压力，代替扁管式和片式散热器等。波

纹栅是由厚度为1~2mm的薄钢板折成，每个槽宽十几毫米，间距为30~40mm，槽深100~200mm，这种结构的油箱在国外已被普遍采用，国内近几年也有一些厂家引进生产线，生产这种变压器油箱。

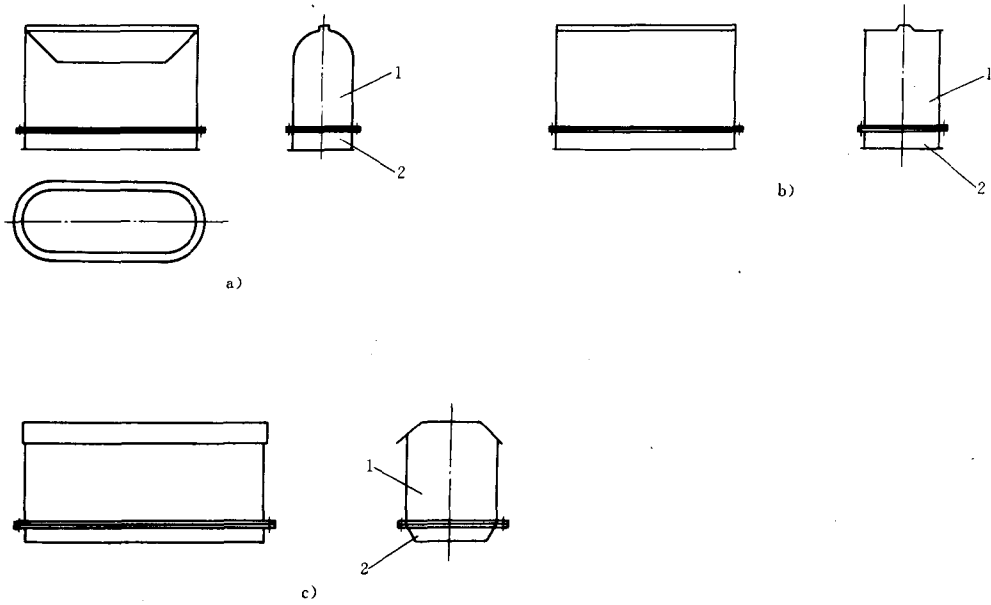


图 1-1 钟罩式油箱基本结构形式示意图

a) 拱顶式 b) 平顶式 c) 梯形顶式

1—上节油箱 2—下节油箱

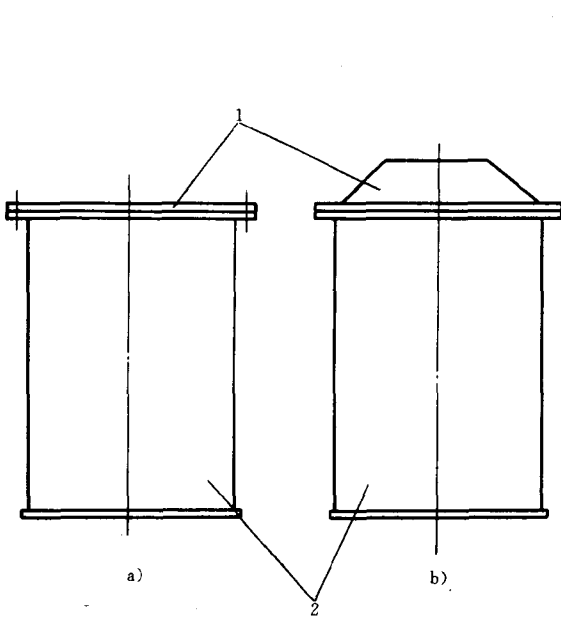


图 1-2 筒式油箱基本结构形式示意图

a) 平盖筒式 b) 梯形盖筒式

1—箱盖 2—油箱

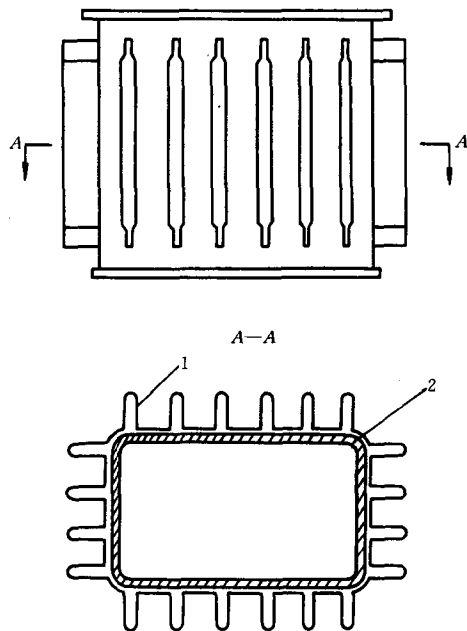


图 1-3 波纹式油箱基本结构形式示意图

1—波纹栅 2—油箱箱壁

(4) 壳式变压器油箱 壳式变压器油箱是用于壳式变压器的，根据铁心的结构形式不同，变压器可分为心式变压器和壳式变压器两种，我国目前生产使用的主要是心式变压器。心式铁心的铁心柱通常是竖直放置的，铁心柱截面为多级圆形，铁心叠片的固定靠夹件、拉板、拉带、玻璃粘带等紧固，绕组套在铁心柱的外面；壳式铁心的铁心柱通常是水平放置的，铁心柱截面为矩形，边长比一般为1:2或1:3，它的夹紧是靠油箱自身夹紧，不用夹件、拉板、拉带、玻璃粘带等，绕组被铁心围在中间(见图1-4)。这种变压器有以下特殊的优点：1) 运输性能好；2) 油的冷却效果好；3) 绕组的冲击电位分布好；4) 单台极限容量大；5) 机械强度高；6) 引线方便；7) 损耗小，噪声低；8) 它是电炉变压器和整流变压器一种理想的结构形式。基于这种特殊的铁心结构，油箱结构也相应的有些改变，一般是分成两节或三节，铁心被固定在上节或中节和下节之间，也就是说油箱的一部分起了夹件的作用，因此油箱的结构较复杂，加工精度高。由于从壳式铁心到油箱的距离小，变压器结构紧凑，特别是壳式变压器采用强油导向冷却时冷却效果比心式变压器好得多。目前我国开始引进这方面的技术，在1996年保定变压器厂与日本三菱公司合作就生产了一台180MV·A/220kV变压器，运行良好。

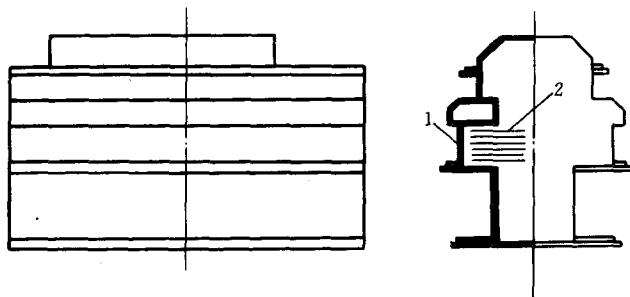


图1-4 壳式变压器结构示意图

1—油箱 2—铁心

虽然前面我们讲解了如此多的油箱种类，但是由于目前我国大多数厂家在中大型电力变压器产品上仍以钟罩式油箱为主，因此在以后的各章节中，将主要以钟罩式油箱这种典型结构进行各方面的阐述。

2. 油箱基本尺寸计算

油箱的基本尺寸主要是指油箱的长、宽、高，这三个尺寸的计算是在变压器完成前期设计计算之后，绘制产品布置图时进行的。

一台变压器产品的设计首先要根据产品的主要技术参数计算确定出铁心铁轭直径和绕组尺寸，当铁心和绕组通过反复计算验证确定后就可以进行油箱尺寸的计算。

(1) 油箱的长度和宽度 油箱的长度和宽度是根据绕组的直径和铁心柱的中心距得来的，油箱长度的计算如下

$$L = D + 2d_0 + 2L_1$$

式中 D ——外部绕组的外径 (mm)；

d_0 ——铁心柱中心距 (mm)；

L_1 ——长轴方向绕组与油箱的间隙 (mm)；

L ——油箱总长 (mm)。

油箱宽度的计算如下

$$B = D + 2L_1$$

式中 D ——外部绕组外径 (mm)；

L_1 ——外部绕组在短轴方向至油箱距离 (mm)。

(2) 油箱的高度 油箱的高度主要是根据铁心的高度计算出来的。

$$H = h_w + 2h_e + h_d + d_1 + \delta$$

式中 h_w ——铁心窗高 (mm);
 h_e ——铁轭高 (mm);
 h_d ——垫脚高 (mm);
 d_1 ——铁心至箱盖距离 (mm);
 δ ——垫脚绝缘厚 (mm)。

3. 油箱的加强

对于高电压的变压器, 变压器中含气量和含水量对变压器的质量是有很大影响的, 因此在变压器行业中作了如表 1-1 中的规定, 变压器油中含气和含水重量的标准规定值见表 1-1。

表 1-1 变压器油中含气和含水量的标准规定值

电压等级/kV	35	63	110	220	330	500 以上
油中气的体积分数 (%)	—	—	—	≤2	≤2	≤0.5
油中含水量/mg·kg ⁻¹	—	—	—	≤16	≤16	≤12

为了保证油中含气量和含水量不超过上述标准规定的值, 在大型变压器注油时均要对油箱内部抽真空, 油箱注油时的真空度应符合表 1-2 的规定。

表 1-2 油箱真空注油的真空度要求

电压等级/kV	35	63		110		220	5000 以上
容量/kV·A	4000kV·A 及以上	20000kV·A 及以上	16000kV·A 及以下	20000kV·A 及以上	16000kV·A 及以下	全部容量	全部容量
真空度/kPa	50.7	21.3	50.7	21.3	50.7	0.133	0.133

注: 表中 35~110kV 电压等级的产品真空度是器身在真空罐中全真空浸油后在油箱中注油的真空度。

由于变压器需要按上述要求进行真空注油, 因此油箱必须有足够的机械强度, 以便在抽真空时不致于产生影响产品质量的永久变形。油箱必须能够承受如表 1-3 中的机械强度试验。

表 1-3 油箱机械强度试验压力

电压等级/kV	变压器容量/kV·A	真空度/kPa	正压/kPa
220 及以上	全部容量	0.133	98.1
110	20000 及以上	21.3	78.5
	16000 及以下	50.7	58.8
60	20000 及以上	21.3	78.5
	5000	50.7	58.8
	16000	50.7	58.8
35	4000 及以下	50.7	49
	4000	50.7	58.8
	31500	50.7	58.8
	4000		49

油箱在表 1-3 所示的压力下,应无机械损伤,各部位产生的永久变形不应超出表 1-4 中的规定。

表 1-4 油箱在规定压力下的允许缩性变形量

变形部位	加强铁	箱 壁	箱 盖
缩性变形量	≤1 倍壁厚	≤1.5 倍壁厚	≤0.5 倍壁厚

油箱除了满足上述真空注油的机械强度要求外,还必须具备满足下列功能要求的强度。变压器在装配试验装车等过程中要多次进行吊运移动位置,这就要求油箱上必须具备能承受整个变压器重量的天车起吊吊轴。在厂房内用天车起吊挂钢丝绳用的吊轴,目前多数设计在上节油箱上,而且高于变压器的重心位置,这样吊运时较安全平稳,而变压器在到达现场卸车就位时,现场一般没有太大的起重设备,因此就只能是用千斤顶将变压器顶起,因此油箱上也必须具备千斤顶的支点,这些支点一般设计在下节油箱上或上节油箱下部,距箱底的高度一般不超过 500mm。

由于变压器的重量与产品的容量和电压等级有关,因此在吊轴和千斤顶支架数量上虽然不同的厂家各有不同,但大致有这样一个规律:电压等级为 220kV,容量在 50000kV·A,包括 50000kV·A 及以下的产品和电压为 110kV 及以下的所有产品,吊轴和千斤顶支架一般为高低压侧各两件,电压 220kV、50000kV·A 以上的变压器的吊轴、千斤顶支架高低压侧各设计 4 件。这些吊轴和千斤顶支点(架)本身及其与油箱的联接强度,必须满足在起运整个变压器时不致使油箱出现机械损伤和永久变形。

另外,在运输过程中还会遇到以下的情况:1) 火车的起动和事故急刹车时的惯性力,加速度值一般最大按小于 3 倍的重力加速度计算;2) 轮船运输时的摆动,摆动角度按 30°考虑;3) 公路运输时的坡度,按 15°考虑等。在这些情况下油箱也不应出现机械损伤和永久变形。

为了满足以上这些强度要求,必须提高油箱抗变形能力,而单靠油箱壁厚是不行的,或者说不合理的。因此油箱的强度是靠一定厚度的箱壁和焊在上面的加强铁来保证的。箱壁的厚度和加强铁的形式虽然各厂家有所区别,但是大体上还是一致的,对于中、大型产品,随着电压等级和容量的增加,箱壁厚度一般为 6~10mm,加强铁的形式有厚钢板、12.6mm 工字钢和折弯槽钢等。根据目前的发展趋势看,折弯槽钢有代替 12.6mm 工字钢的趋势。

变压器油箱加强铁的布置形式不仅直接影响到油箱的强度,而且对于变压器的外观质量也起着关键性的作用。一台成品变压器,看到的主要是油箱,而加强铁的布置是否合理是影响油箱外观的一个重要因素。一个产品给客户的第一印象就是外观,外观质量好的产品,在内部性能满足要求的情况下就容易争取到客户,占有市场。随着市场经济的发展,工业产品也正在向这方面发展。

加强铁布置形式的发展,与我国变压器行业的发展史有着紧密的联系。我国变压器技术,最初主要是从前苏联引进的,因此油箱加强铁的结构形式也和前苏联的产品没有太大的区别,其主要材料采用 12.6mm 工字钢和厚钢板。加强铁的布置形式为横竖交叉的网格形式布置,在若干根竖加强铁之间布置上一道或两道的横加强铁,将箱壁划分成若干个方块。

油箱加强铁这样布置的一个指导思想是,使横竖交叉的加强铁在油箱的箱壁外侧构成一个骨架,这个骨架将箱壁分割若干个小区域,以提高箱壁的强度。但这种布置形式,使加工变得较为复杂。首先,因为加强铁为 12.6mm 工字钢,需将从中间用气割一破为二,而工字

钢是单面受热加工，割开以后的 12.6mm 工字钢就会产生弯曲变形，需进行矫直后才能使用。另外假设横加强铁是整根的，竖加强铁是断开的，那么在加强铁的交叉处，竖加强铁端部都要气割配割成如图 1-5 所示的形状，而在此处经常割的不很合适，易使横竖加强铁之间形成较大的缝隙，给焊接带来困难，同时焊成的焊缝也不美观；其次给油箱焊后给喷涂也带来很大的困难。一方面由于加强铁与焊缝的外侧有加强铁翼板的遮挡，给焊道的清理带来不便，另一方面在喷涂加强铁翼板内侧时，喷涂人员必须向外翻手腕，喷枪朝外喷才能喷上涂料，使喷涂的复杂程度增加很多。每一根横 12.6mm 工字钢的加强铁上需开漏水孔，否则下雨时会存水，容易造成油箱的腐蚀。

从外观角度讲，这种变压器的加强形式，给人一种捆绑感，紧固感，从感觉上不舒服。

因此这种结构形式在我国大多数厂家都正在被淘汰，逐渐向全竖加强铁和全横加强铁过渡，加强铁的形状也由工字钢改制型向钢板折边槽钢型发展。

全竖加强铁和全横加强铁在加工方面各有其优缺点。首先，对于同一规格的加强铁，加强铁的长度越长，刚性越低。而一般的变压器油箱的高度总是比长度小，因此在选用竖加强铁时，在保证同样刚性的前提下，规格就可以选的小一些，而用横加强铁则必须选用大规格的加强铁，竖加强铁的间距一般为 600mm 左右，因此一台大产品所用的加强铁数量一般为 15~20 根，而横加强铁一般在箱壁高度上分为上下两圈。

从自动焊角度讲横加强铁优于竖加强铁，但横加强铁所用加强铁的规格要比竖加强铁大的多，而且横加强铁长度一般都超出了折边机的折边能力范围，需要拼接。因此一台产品是采用竖加强铁还是横加强铁应根据油箱的长高之比来衡量，对于长高之比比较大的（如：长比高 >2 ）应采用竖加强铁，对于长高比小的宜采用横加强铁，至于采用横加强铁还是竖加强铁，不同的厂家各有不同，即使同一厂家各种形式加强铁结构的产品也都有。

下面再来谈谈正在发展中的一种新的油箱加强形式，那就是在箱壁上直接折出槽形加强铁，如图 1-6 所示。

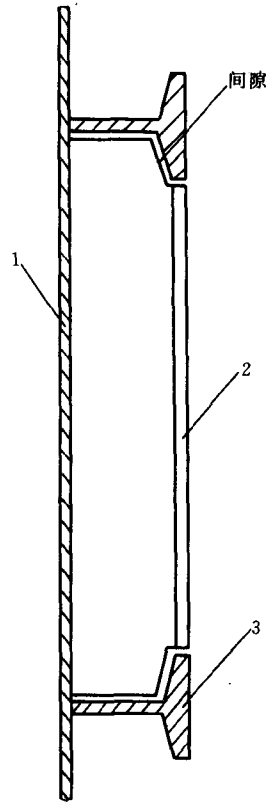


图 1-5 工字钢加强铁横竖交接处的形状

1—箱壁 2—竖加强铁 3—横加强铁

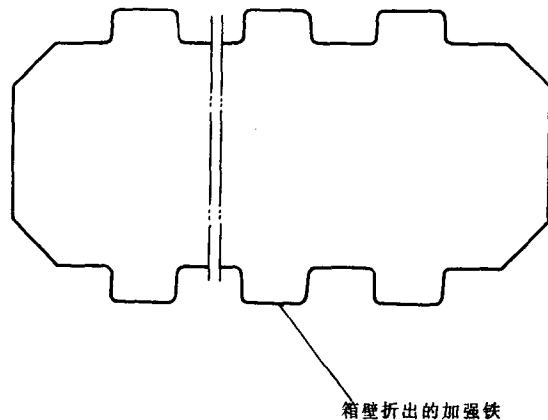


图 1-6 箱壁上直接折出槽形加强铁结构示意图

这种加强结构没有了加强铁与箱壁之间的角焊缝，箱壁与加强铁全部是圆弧过渡，较为美观。

由于目前油箱上的加强铁大部分厂家还都是使用手工焊或半自动焊 CO_2 气体保护焊，采用这些方法焊接的焊缝质量不仅与焊接设备、各种焊接材料的质量有关，还直接与焊工的技术水平、疲劳程度、劳动态度、心理状态等方面因素有关，因此很难保证焊缝质量长期保持稳定。而采用在箱壁上直接折出加强铁的办法，就可避免因焊接质量不高而影响变压器的外观质量的问题。

另一方面，由于加强铁不再进行焊接，大大减少了手工焊接的工作量，降低了焊工的劳动强度，提高了生产效率，缩短了油箱的加工周期。

采用在箱壁上折出加强铁的结构形式，对于防止油箱焊缝的渗漏有着极大的益处。因为不管是横加强铁还是竖加强铁总不可避免的要遮盖住一些可漏焊缝，这些焊缝又不便作检验，往往易造成漏油且不易发现，常常是油箱已发到了用户甚至运行很长时间后才从加强铁处慢慢渗出油来，造成很大的损失。上述新型加强结构就没有了因加强铁扣住而不便作试漏检验的焊缝，从而减少了焊缝漏渗油情况。

这种结构形式的加强铁还给油箱上一些零部件的布置带来了极大的方便。过去对于焊到油箱上的槽钢加强铁经常与油箱上一些导油管接头发生矛盾，也就是说管接头赶在了加强铁上，如图 1-7a 的形式，一方面加工较为困难，另一方面又不便观察焊缝。因此经常是改动其中一件的位置，但又不能移的太多，造成两者靠的很紧，焊接时很不方便。而图 1-7b 中的在箱壁上折出的加强铁结构很容易地解决了这个问题，它还增加了油箱的散热面积，可减少散热器和冷却器数量。

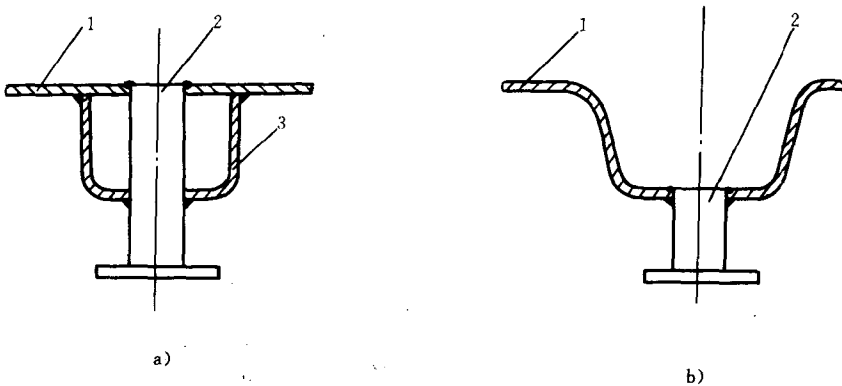


图 1-7 加强铁与管接头的焊接情况

a) 管接头在槽钢的加强铁上 b) 管接头在箱壁折出的加强铁上

1—箱壁 2—管接头 3—加强铁

对于 110kV 及以下产品，由于强度要求较低，油箱箱壁选用的钢板较薄，加强铁焊完后，加强铁之间的箱壁常常出现波浪变形，造成箱壁的平面度超差，整形极其困难，严重影响外观质量。

上面讨论了在箱壁直接折出加强铁结构的诸多优点，但是它还存在以下一些问题。

首先是要采用这种结构就必须增加大型折板机等设备，以及与加强铁尺寸相配套的模具等，投资较大。其次这种结构的强度水平比焊在箱壁上的槽钢加强铁的强度要弱一些（在槽

钢尺寸相同的情况下)。

还由于槽钢内也盛油，使变压器的用油量增加。

通过对以上几种油箱加强结构形式的分析，不难看出，油箱也正在逐步向结构简单化，方便加工，易实现自动化，外形美观化等方向发展。应该说在箱壁上直接折出加强铁这种结构形式是比较理想的，但一次性投资较大，对于有条件的企业应考虑这种结构形式。

4. 油箱内涡气的防止

前面在油箱的加强中已经提到，变压器油中的含气量是有一定限制的，尤其是对高电压而言，限制就更加严格。因此在 220kV 级及以上的变压器注油时都要抽真空，但即使是要求全真空，要抽到绝对真空也是不可能的，而且要求过高的真空度会使产品的成本大大提高，延长生产周期，给生产也带来不便。在注油时让真空条件下剩余的空气或变压器运行中产生的气体能够顺利排出，是油箱及结构件设计时需要考虑的一项重要因素。

在油箱的整体设计时必须考虑气体的排放问题，包括注油时排放空气，变压器运行过程中排放所产生的气体。必须在油箱上部最高点开有与贮油柜和真空泵相连的孔，孔一般设计在油箱顶盖的一端，个别产品也有在顶盖中间的，并且使顶盖从低端到高端长轴方向与水平面有 1%~1.5% 的坡度。另外在油箱内部应避免一些口朝下的较封闭的盒子。这样在注油时就会顺利地将油箱内的气体排出。

在零部件的结构设计时也应考虑到这一点，如某些升高座内设计有隔板，而升高座在油箱上又是倾斜放置的，升高座内隔板的排气结构如图 1-8。图中箭头所指部分就会窝气，解决的办法也很简单，在升高座隔板上开一孔或去一条，使其处在升高座安装后隔板的最上部，气体就能通过孔排出。

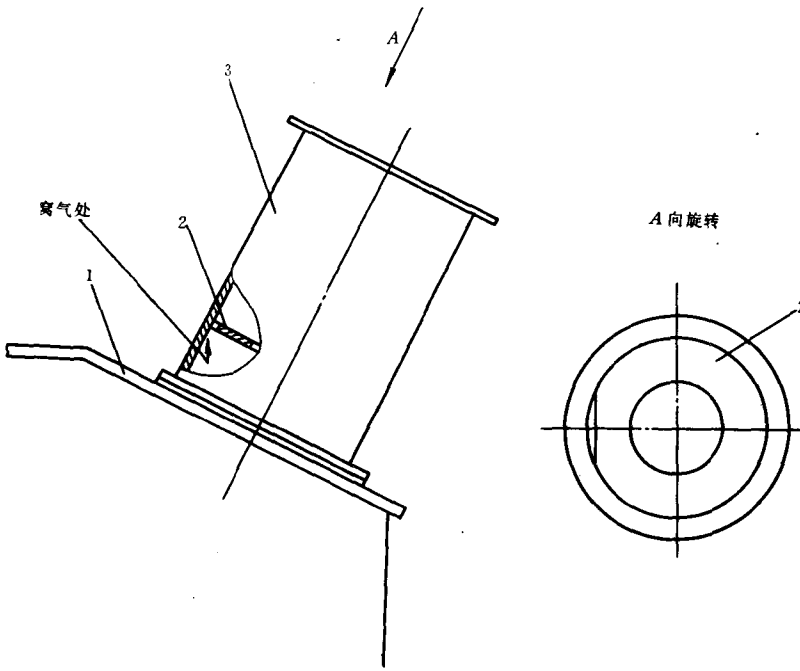


图 1-8 升高座内隔板的排气结构

1—箱盖 2—托板 3—升高座

5. 油箱上一些零部件的配置

一台完整的变压器油箱必须具备以下这些零部件。

1) 安装套管用的法兰盘、升高座和识别套管的字牌等，一般分为高压、低压、中压、零相和接地套管。

2) 安装有载或无载开关用法兰盘、底板、升高座等。

3) 与冷却系统联接的进出油的法兰盘或管接头。

4) 支撑贮油柜柜脚的固定板。

5) 安装安全装置的法兰盘或管接头。

6) 安装信号、温度计、电阻温度计、玻璃温度计的塞座。

7) 油箱底部安装小车用的固定板。

8) 起吊整体及上节油箱用的吊轴。

9) 顶起变压器整体用的千斤顶支架。

10) 安装端子箱的底板和固定控制线的底板。

11) 安装铭牌的底板。

12) 固定吸湿器联管的底板。

13) 注、放油用的管接头，在下节油箱最下部。

14) 油样活门用于油样化验用。

15) 接地螺栓及接地字牌。

16) 梯子及扶手。

17) 固定器身用的定位件。

这些零部件在器身的具体位置，一般由产品的规格（容量和电压等）、器身的结构形式、配套外购件的需要以及用户的特殊要求等多方面因素来确定，这里不再细讲。

二、箱顶联管的设计

在前面油箱的本体设计中已提到了油箱的排气措施，而在油箱上还要安装一些高出油箱的零部件，如升高座等。在这些零部件内的气体也会影响变压器的质量和安全运行，因此必须设法排出。

1. 联管的设计原则

对于高出变压器油箱的零部件内的气体是通过联管导出的。其中有一根主联管，它与油箱顶盖基本平行，高端接在油箱与贮油柜之间的联接管上，位置低于气体继电器。低端应高出各升高座联管的最高位置，如图 1-9 所示。保证各升高座到主联管的分联管要有 1%~1.5% 的坡度，而且主联管端要高。

2. 升高座上管接头的焊接方式

升高座的管接头的焊接方式不外乎如图 1-10 所示的三种。

图 1-10a 中的管接头距升高座的法兰有一定的距离，一般在 50mm 左右，这是为焊接管接头时方便些。图 1-10b 中的管接头在升高座法兰的上面，虽然它满足了在升高座最高位置的要求，但可能会因此而加大升高座法兰直径，且很容易在除锈，喷涂及运输过程中产生磕碰变形。图 1-10c 的结构形式是较理想的一种，它是将管和升高座孔割成如图 1-11 所示的形式。图 1-10c 中管割去的部分应与升高座法兰的厚度相等。这种结构不仅满足了管接头在升高座最高点的要求，而且法兰对管接头的强度起到了加强的作用，管接头不易变形。

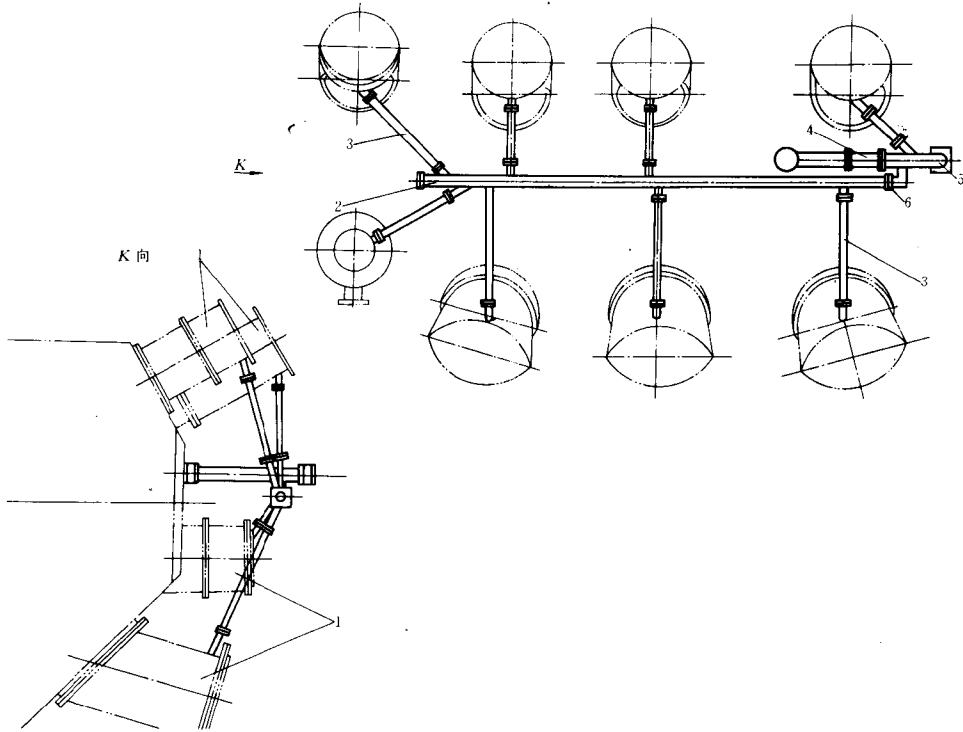


图 1-9 通气管结构示意图

1—升高座 2—主通气管 3—支通气管 4—气体继电器 5—联管 6—法兰

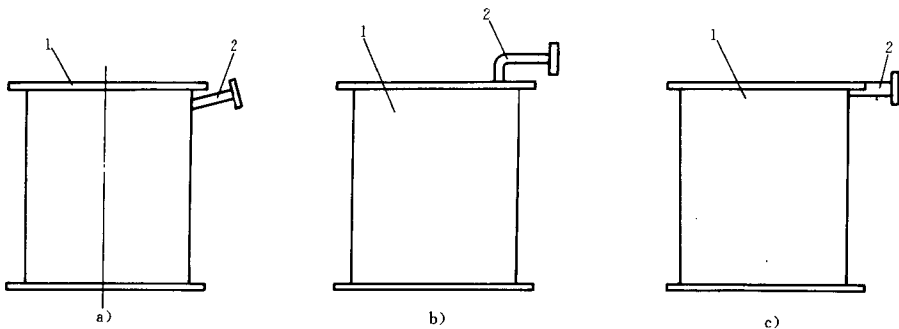


图 1-10 升高座上通气管的焊接方式

a) 管接头在法兰下 50mm b) 管接头在法兰上 c) 管接头紧贴在法兰下面

1—升高座 2—通气管接头

3. 管接头防变形措施

管接头的变形有两种原因造成，一是焊接变形，二是后工序加工或运输中的磕碰变形，不管是哪种变形都会影响到变压器的安装。

(1) 焊接变形 焊接变形是由于管接头在焊接一周时各个方向的受力不均造成的，克服焊接变形的办法应首先在汇气管和升高座上开孔时，孔的大小比管接头管的外径稍大，不可大的太多，否则会造成缝隙太大易产生焊接变形。其次在配焊时应沿管周边多点焊一些，甚至可先打一遍底，待拆下来后再认真焊，这种方法在防止焊接变形上更加有效。

(2) 磕碰变形 防止磕碰变形主要的方法是避免磕碰，但有时也难以做到台台件件不磕

碰,根本的解决办法是改进结构。首先应该使用较粗的管子,至少用 $\phi 25\text{mm}$ 以上的管子。如果用 $\phi 40\text{mm}$ 的管子,即使有较微的磕碰也不会出现明显的变形,如管子直径用 $\phi 80\text{mm}$ 时,可能会抵抗住较大的磕碰。其次应尽量缩短管接头的长度。管接头的长度应在能保证方便地拧紧联接法兰的螺栓的前提下尽量短些。通过以上两个措施可以大大提高管接头抵抗外力的能力。

(3) 汇气管及升高座的开孔方法

对于多数产品来讲汇气管的直径一般都大于其上面管接头用管的直径。因此汇气管上的孔一般是用钻床钻孔,钻孔后清理干净毛刺。钻床钻的孔比较准确,不

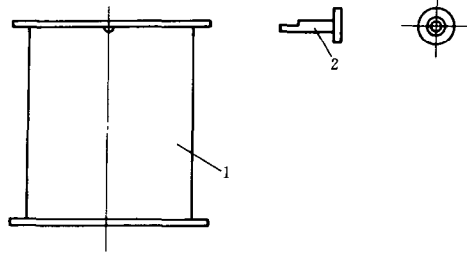


图 1-11 管接头紧贴法兰下面的升高座及管接头形状

1—升高座 2—通气管接头

易造成较大的缝隙,可减小管接头的焊接变形,也可避免焊接管接头时飞溅等异物进到管子内部。升高座上面的孔一般是将升高座按图样安装到油箱上,找到升高座的最高位置,再用气割开孔,开孔后应先将孔内的氧化渣去除干净,然后配焊管接头。

配管时的结构一般是将管接头的管插入孔中,对于汇气管端,管接头插入的量应尽量少。而升高座一端应与升高座壁平,如超过升高座壁待配焊完拆下升高座后,用气割去除,而且升高座上的管接头要内外焊。

三、冷却系统设计

变压器在正常运行过程中,由于磁场和电流作用于铁心和绕组而发热,使铁心和绕组温度升高。对于铁心和绕组的温度又必须加以控制,使之不超过某一限定值,才能保证变压器的正常运行。大中型变压器为了保证温升要求,一般均采用油浸式结构,即将变压器器身浸泡在油中。铁心绕组和引线产生的热量通过传导对流等方式扩散到变压器油中,使靠近器身的变压器油的温度增加,从而出现温差,油箱内的变压器油就会对流,高温的变压器油到箱壁和冷却系统后,热量将从油箱内壁或冷却系统内壁传导到外壁,再从外壁通过辐射对流方式扩散到空气中。变压器的铁心和绕组产生的热量和扩散到空气或水中的热量达到平衡时,铁心、绕组、变压器油均分别保持在一个稳定的温度范围之内。由于本书只讲结构方面的问题,在这里就不再对变压器温升的计算进行过多的讨论,如果需要可查阅变压器有关方面的资料。

1. 变压器的冷却方式

(1) 油浸自冷式 主要是用于小型变压器,一般容量在 $6300\text{kV}\cdot\text{A}$ 以下。它的冷却主要是采用自然油循环,空气对箱壁以及焊(装)在箱壁上扁管式或片式散热器等进行冷却而完成热量传递的。它可以通过增加油箱的表面积和增加扁管或片式散热器的数量来增强对器身的冷却能力,从而降低温升。

(2) 油浸风冷式 主要是用于电压等级在 110kV 及以下,容量在 $8000\sim 63000\text{kV}\cdot\text{A}$ 的中型变压器产品。这种变压器油箱内的油仍采用自然循环的方式,而变压器外部的散热器则用风扇吹风,加速空气在散热片(管)间的流动,从而增强冷却能力。

(3) 强迫油循环式 前面的两种冷却方式油均为自然循环,循环速度较慢。当电压等级上升到 220kV 及以上或容量超过 $63000\text{kV}\cdot\text{A}$ 时,自然油循环已不能满足降低温升的要求,这时就要强迫油在器身和散热器间流动。但由于绕组的辐向尺寸大,绝缘结构复杂,致使油