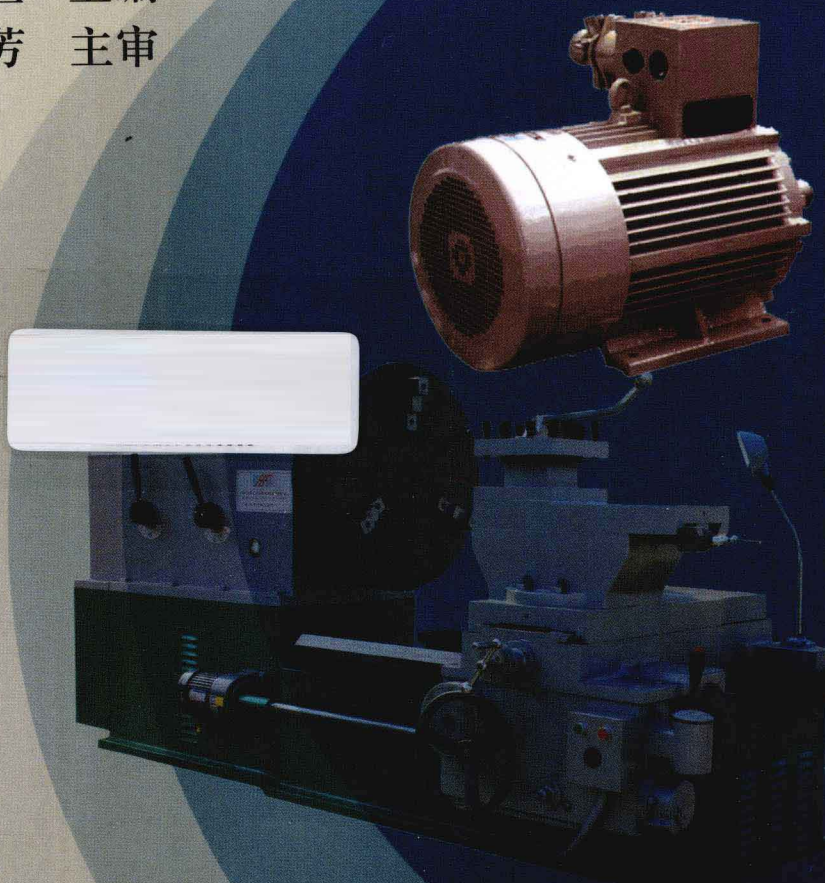


国家示范性高等职业院校建设规划教材

# 电机及拖动

龚在礼 肖 兰 主编  
陈 芳 主审

DIANJI JI TUODONG



黄河水利出版社

国家示范性高等职业院校建设规划教材

# 电机及拖动

主 编 龚在礼 肖 兰  
副主编 张丽娟 狄藤藤  
主 审 陈 芳

黄河水利出版社

· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书是国家示范性高等职业院校建设规划教材,是为满足国家示范性高职院校四川电力职业技术学院重点建设项目水电站动力设备与管理专业建设的需要,根据教育部水电站动力设备与管理专业及专业群人才培养方案和电机及拖动课程标准的要求编写而成的。本书针对我国当前高等职业教育的现状,为适应日益兴起的行动导向教学的需要而编写,共分5个学习项目,主要内容有:变压器及运行,三相异步电动机及拖动,直流电动机及拖动,三相同步电动机及拖动,电动机的控制与选择等。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高等学校及职工培训的机电一体化、工业电气自动化、电气技术等专业的教材,也可作为电气类、机电类专业技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动/龚在礼,肖兰主编. —郑州:黄河水利出版社,2013.6

国家示范性高等职业院校建设规划教材

ISBN 978-7-5509-0466-8

I. ①电… II. ①龚… ②肖… III. ①电机-高等职业教育-教材 ②电力传动-高等职业教育-教材  
IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第085607号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@163.com

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:12

字数:280千字

印数:1—1 000

版次:2013年6月第1版

印次:2013年6月第1次印刷

---

定价:26.00元



## 前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,在全国水利水电高职教研会指导下,用中央财政安排的“支持高等职业学校专业建设”项目经费组织编写的教材。

本套教材以学生能力培养为主线,以工作任务为载体,融“教、学、练、做”为一体,适合开展项目化教学,体现实用性、实践性和创新性的特色,是一套紧密联系生产实际的高职高专教育精品规划教材。

电机及拖动是高等职业技术学院机电一体化、工业电气自动化、电气技术等专业的主干课程。它将传统的电机学、电力拖动、控制电路等内容进行解构,按照工作过程中对知识与技能的需求进行重构,最终形成本教材,通过学习和实践,学生可获得工作中所需的职业技能。

本书主要讲述变压器认知及运行,变压器的运行分析及故障处理,三相异步电动机认知及运行,三相异步电动机的运行分析,三相异步电动机的电力拖动,直流电动机认知及运行,直流电动机的电力拖动,三相同步电动机认知及运行,三相同步电动机的电力拖动,三相异步电动机的控制,电动机的选择等几部分内容。

本书由四川电力职业技术学院承担编写工作,编写人员及编写分工如下:前言、项目2、项目3由龚在礼编写,项目1由狄藤藤编写,项目4由肖兰编写,项目5、拓展阅读部分由张丽娟编写。全书由龚在礼、肖兰担任主编,由龚在礼负责全书统稿;由张丽娟、狄藤藤担任副主编;由湖南水利水电职业技术学院陈芳担任主审。

本书在编写过程中参阅了有关文献,特对相关文献作者致以衷心的感谢。

由于编写时间紧,理论和实践经验不足,错误和遗漏在所难免,恳请广大读者对本书提出宝贵意见。

编 者

2013年1月



# 目 录

## 前 言

项目 1 变压器及运行	(1)
任务 1.1 变压器认知及运行	(1)
任务 1.2 变压器的运行分析及故障处理	(15)
项目 2 三相异步电动机及拖动	(52)
任务 2.1 三相异步电动机认知及运行	(52)
任务 2.2 三相异步电动机的运行分析	(69)
任务 2.3 三相异步电动机的电力拖动	(86)
项目 3 直流电动机及拖动	(106)
任务 3.1 直流电动机认知及运行	(106)
任务 3.2 直流电动机的电力拖动	(117)
项目 4 三相同步电动机及拖动	(135)
任务 4.1 三相同步电动机认知及运行	(135)
任务 4.2 三相同步电动机的电力拖动	(141)
项目 5 电动机的控制与选择	(154)
任务 5.1 三相异步电动机的控制	(154)
任务 5.2 电动机的选择	(168)
拓展阅读 单相异步电动机	(183)
参考文献	(186)



# 项目1 变压器及运行

## 项目描述

变压器是用来改变电压的设备,在电力系统中被广泛使用。对电力用户,其使用的电源一般是从各用户的配电变压器取得的。因此,工厂、矿山、电气化铁路、学校、企事业单位、乡镇均有自己的配电变压器,故配电变压器的使用就更为广泛。

本项目通过配电变压器的吊芯检查、运行中的巡视检查,熟悉变压器、学习变压器的基本结构与基本原理。通过变压器的空载与短路试验,测定并计算变压器的空载参数和短路参数,学习变压器电动势与磁通的关系、磁动势平衡方程式、电动势平衡方程式、折算、等效电路等知识。通过三相变压器连接组别测定,学习三相变压器并联运行的条件与方法、变压器的空载投入与突然短路等知识。

## 任务 1.1 变压器认知及运行

### 【学习目标】

#### 1. 技能目标

- (1)能进行变压器的吊芯检查;
- (2)能监视变压器的运行情况,能对变压器进行巡回检查与维护,能正确填写变压器运行日志、值班记录及其他相关运行记录;
- (3)能收集与工作学习相关的信息,能使用各种信息资源完成学习与工作任务,工作结束后能对工作过程和成果进行反思及评价。

#### 2. 知识目标

- (1)熟知变压器铭牌、基本结构、基本原理;
- (2)知道变压器运行中巡视检查及维护项目。

#### 3. 素质目标

养成与团队成员友好相处、团结协作,动手动脑,遵守劳动纪律与规章制度的好习惯。

### 【任务描述】

1. 在实训室或工厂对变压器进行吊芯检查
2. 在实训室或工厂对变压器进行巡视检查,在实训室或工厂维护变压器

### 【任务准备】

1. 变压器进行吊芯检查所需的知识、设备和工具  
知识:变压器的铭牌、基本原理和基本结构。



实训设备:配电变压器(实训室里用连接组别为 Y,yn0 的 10/0.4 kV 配电变压器)。

起重设备:手拉葫芦、三角钢架、钢丝绳、绳索、道木等。

运输设备:液压推车。

消防设备:灭火器。

工具:扳手、平口螺丝刀、软毛刷。

仪表:500 V 兆欧表、1 000 V 兆欧表、2 500 V 兆欧表、单臂电桥、温度计。

安全用具:安全帽、防护手套。

2. 变压器的巡视检查和日常维护所需的知识、设备和仪器

知识:变压器的结构、检查和维护项目。

设备:配电变压器。

仪器:温度计。

### 【任务实施】

一、联系实习地点、确定实习时间、联系实习用车辆。

二、实习动员:安全教育,下达实习任务书,明确实习内容、时间安排及实习成果等。

三、入厂安全教育。

四、实施过程。

(一)变压器吊芯检查

1. 变压器外部检查

(1)检查变压器油位计中油的油色。新油一般为浅黄色,运行一段时间氧化后颜色变深,呈浅红色。运行中油的颜色迅速变暗,表明油质变坏。

(2)检查吸湿器中硅胶的颜色。如超过 2/3 的硅胶已由浅蓝色变成粉红色,则说明硅胶已饱和吸湿,已失去作用,应及时换用干燥的硅胶或对受潮硅胶进行还原处理后再用。

(3)检查绝缘套管是否清洁,有无破损裂纹及放电烧伤痕迹。

(4)检查外壳是否有机机械损伤及锈蚀,渗透油部位应做出标记。

(5)检查接地是否良好。

2. 变压器试验

(1)绝缘电阻测量。用兆欧表检测变压器高压绕组对低压绕组绝缘电阻值、高压绕组对外壳绝缘电阻值、低压绕组对外壳绝缘电阻值,记录数据并与绝缘电阻要求值(查运行手册)进行比较,判断变压器的绝缘电阻是否符合要求。

(2)用单臂电桥测试变压器三相电阻平衡情况。GB/T 6451—1999 中规定:对于 1 600 kVA 及以下的变压器,直流电阻不平衡率,相为 4%、线为 2%;2 000 kVA 及以上的变压器,直流电阻不平衡率,相为 2%(有中性点引出时)、线为 1%(无中性点引出时)。

3. 吊芯

(1)将变压器移至检查工位。将三角钢架和手拉葫芦置于指定位置,放置好道木。用液压推车将变压器移至检查工位,置于道木上,用绳索固定好三角钢架。

(2)拆下套管、储油柜、调压分接开关操作机构和大盖螺栓。

(3)起吊装置的检查 and 起吊时的绑扎。起吊之前,必须认真检查起重用钢丝绳的强



度和挂钩的可靠性。钢丝绳穿过油箱上部的吊环并挂于手拉葫芦挂钩上。钢丝绳每边与铅垂线之间的夹角不可大于 $30^\circ$ ，以免钢丝绳受力过大，或将吊环拉弯。当该角过大时，应适当加长钢丝绳，或加木撑。起吊时应有专人指挥，变压器周围要有人监视，防止铁芯、绕组及绝缘部件与油箱碰撞损坏。

(4)起吊。对于3 200 kVA及以下的变压器(油箱顶盖与铁芯连成一体的小型变压器)器身和箱盖一起吊出。

#### 4. 吊芯后的检查

(1)冲洗器身。吊芯后，首先对器身进行冲洗，清除油泥和积垢，用干净的变压器油按照从下到上，再从上到下的顺序冲洗一次。不能直接冲到的地方，可用软刷刷洗，器身的沟凹处可用木片缠上浸有变压器油的布擦洗。切勿用碱水刷洗，以免碱水残留于油中影响油质。油箱外部可用碱水清洗。

(2)检查螺栓、螺母。检查器身和箱盖上的全部螺栓、螺母，对松动的加以紧固。若有螺栓缺螺母，则一定要找到该螺母，将它拧紧在原位置，决不允许它散落在油箱内、器身中。

(3)检查绕组。检查各绕组是否有松动、位移和变形，绕组间隔衬垫是否牢固，木夹件是否完好。检查并清理绕组中的纵、横向油道，使其畅通。

(4)检查铁芯。铁芯是否紧密、整齐，硅钢片漆膜是否完好、颜色有无异常。检查铁芯接地是否牢固而有效，铁芯与绕组间的油道是否畅通。

(5)检查铁轭夹件和穿心螺杆的绝缘状况。检查时，用兆欧表测定它们对铁芯(地)的绝缘电阻。测量时，取下接地铜片，检查铁轭和穿心螺栓是否松动，再用1 000 V兆欧表测绝缘电阻。对10 kV及以下的变压器，绝缘电阻值不应低于 $2\text{ M}\Omega$ 。若测得绝缘电阻值很低，可能是绝缘损坏(夹件的绝缘纸板和穿心螺栓的绝缘纸管)，应予以更换。

(6)引出线的检查。绕组的引出线应包扎严密、牢固和焊接良好。引出线与分接开关和套管连接正确、接触紧密。引出线间的电气距离符合要求。

(7)检查绕组和引出线的绝缘是否老化，从外观上对绝缘优劣的评定有以下几种情况：

①绝缘物富有弹性，色泽新鲜均衡，用手压无残留变形，为良好绝缘。

②绝缘物颜色较深，质地较硬，用手压无裂痕和脱落，为合格绝缘。

③绝缘物变脆，颜色深暗，用手压有轻微裂纹和变形，为不可靠绝缘，应予以更换。

④绝缘物已碳化发脆，用手压显著变形、开裂和损坏。这种绝缘必须更换，重绕绕组。

检查绕组整体绝缘的同时，还应对局部绝缘的老化迹象进行检查。局部绝缘老化往往是由于绕组内有故障或隐患造成的。发现局部绝缘老化，应立即停运，及时查出故障和故障点，并进行处理。

(8)检查油箱和散热器。清除它们内部的积垢，擦洗干净后，用合格的变压器油清洗一遍。

#### 5. 组装变压器

按照与拆卸相反的顺序组装变压器，组装过程中注意不得损伤变压器各结构部件，油箱的密封要良好。



## (二) 变压器的巡视检查和维护

### 1. 变压器的巡视检查

严密监视变压器的电压、电流在规定的范围内运行,各项运行参数包括电压、电流、功率、上层油温、线圈温度。

按表 1-1 所列顺序和内容逐一检查,并将检查结果填入表 1-1 中。

表 1-1 变压器监视与检查内容及其记录

序号	监视与检查内容	检查结果
1	名称、标志齐全,完好	
2	本体温度计值与遥测值相符	
3	借助物件听本体内部声响无异常	
4	本体各部件无渗漏	
5	本体接地体完好、无锈蚀	
6	油位、油色正常,油枕及与油枕相连的油路无渗漏	
7	瓦斯继电器无气体且其他均正常	
8	吸湿器硅胶颜色符合相关规定	
9	瓷瓶无裂纹、破损现象,无放电痕迹,无渗漏现象	
10	避雷器瓷瓶无裂纹,构架正常	
11	避雷器计数器密封良好,指示正确	
12	避雷器接地引线接头无锈蚀、焊接良好	
13	避雷器内部无异常声音	

### 2. 变压器的维护

- (1) 保持变压器区域的清洁。
- (2) 定期(一般一周)切换运行变压器冷却装置的备用电源和冷却器。
- (3) 吸湿器内有 2/3 的吸附剂变色时应进行更换。
- (4) 定期(一般一年)应对变压器冷却器清扫一次。
- (5) 定期(一般一年)应对变压器的套管清扫一次。
- (6) 定期(一般一年)应对变压器的各种控制箱、二次回路检查和清扫一次。
- (7) 定期(一般半年)应对变压器进行取油样分析。
- (8) 在更改变压器分接头前后一周各进行一次取油样分析。

## 【相关知识】

### 1.1.1 变压器的铭牌

油浸式电力变压器在电力系统中使用最广泛,三相油浸式电力变压器外形如图 1-1 所示。

在其油箱的外壳上,都装有一块金属制成的铭牌,铭牌上标注有与运行管理有关的型号和额定值,如图 1-2 所示。

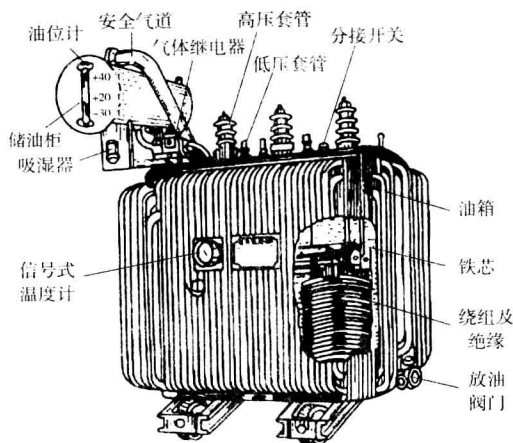


图 1-1 三相油浸式电力变压器外形

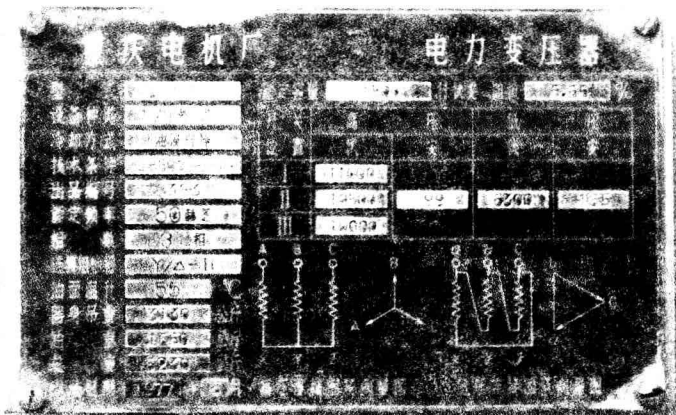
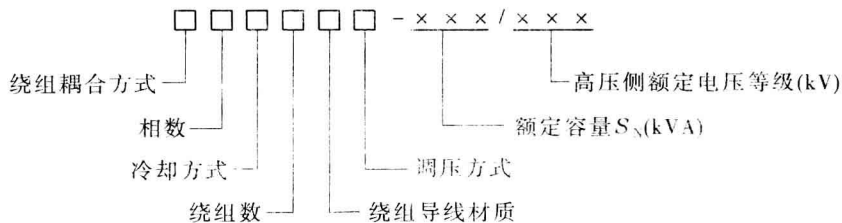


图 1-2 变压器的铭牌

### 1.1.1.1 型号

变压器型号表示变压器的结构、额定容量、电压等级、冷却方式等内容,由字母和数字组成,表示方法为:



电力变压器产品型号的代表符号如表 1-2 所示。

表 1-2 变压器型号的代表符号

分类	类别	代表符号
绕组耦合方式	自耦	O
相数	单相	D
	三相	S
冷却方式	油浸自冷	—
	油浸风冷	F
	油浸水冷	S
	强迫油循环风冷	FP
	强迫油循环水冷	SP
绕组数	双绕组	—
	三绕组	S
绕组导线材质	铜	—
	铝	L
调压方式	无励磁调压	—
	有载调压	Z

例如:SFPL-6300/110 表示三相强迫油循环风冷双绕组铝线、额定容量 6 300 kVA、高压额定电压 110 kV 电力变压器。OSFPSZ-250000/220 表示自耦三相强迫油循环风冷三绕组铜线有载调压、额定容量 250 000 kVA、高压额定电压 220 kV 电力变压器。

#### 1.1.1.2 额定值

按照国家标准规定,标注在铭牌上的,代表变压器在规定使用环境和运行条件下的主要技术数据,称为变压器的额定值。

##### 1. 额定容量

额定容量是变压器在正常运行时的视在功率,通常以  $S_N$  表示,单位为伏安(VA)或千伏安(kVA)。对于一般的双绕组变压器,原、副边的额定容量相等。

##### 2. 额定电压

在正常运行时,规定加在原边绕组上的电压,称为原边的额定电压,以  $U_{1N}$  表示。

当原边绕组加额定电压时,副边绕组的开路电压即为副边额定电压,以  $U_{2N}$  表示。在三相变压器中,额定电压是指线电压,单位为伏(V)或千伏(kV)。

##### 3. 额定电流

额定电流指变压器在额定容量下,允许长期通过的电流。原、副边的额定电流分别用  $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$  表示,单位为安(A)。在三相变压器中,额定电流是指线电流。

##### 4. 额定频率

额定频率指规定的电源频率,我国以及大多数国家的额定工业频率为  $f_N = 50$  Hz。

额定容量、额定电压和额定电流之间的关系为

单相变压器：
$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

三相变压器：
$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$$

此外，变压器的铭牌上还标注额定运行时的效率、温升等。描述变压器特点的相数、连接组别、短路电压、运行方式、冷却方式、绝缘等级等均标注在铭牌上。

### 1.1.2 变压器的基本原理及分类

#### 1.1.2.1 变压器的基本原理

变压器是利用电磁感应定律工作的，它将一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。变压器基本原理如图 1-3 所示，在一个闭合的铁芯上缠绕两个与铁芯绝缘的线圈，一个与电源相连，接受交流电能，通常称为原边绕组（一次侧绕组），以 A、X 标注其出线端；一个与负载相连，送出交流电能，通常称为副边绕组（二次侧绕组），以 a、x 标注其出线端。与原边绕组相关的物理量均以下角标“1”来表示，与副边绕组相关的物理量均以下标“2”来表示。例如原边的匝数、电压、电动势、电流分别以  $N_1$ 、 $u_1$ 、 $e_1$ 、 $i_1$  来表示；副边的匝数、电压、电动势、电流分别以  $N_2$ 、 $u_2$ 、 $e_2$ 、 $i_2$  来表示。

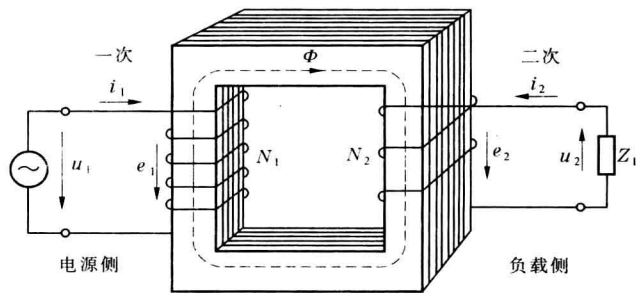


图 1-3 变压器基本原理

当原边绕组接入电压为  $u_1$  的交流电源时，原边绕组有交流电流  $i_1$  流过，便会在铁芯中产生与电源电压同频率的交变磁通  $\Phi$ 。这个磁通同时与原、副边绕组相交链，并在原、副边绕组中感应出电动势  $e_1$ 、 $e_2$ ，当副边绕组接上负载时，就有交流电流  $i_2$  流过副边绕组和负载，达到了传递交流电能的目的。

根据电磁感应定律，在原、副边绕组感应出的电动势  $e_1$ 、 $e_2$  分别为

$$e_1 = - N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = - N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

由于原、副边绕组匝数不等，使得原、副边感应电动势  $e_1$ 、 $e_2$  不相同，由于  $e_1 \approx u_1$ 、 $e_2 \approx u_2$ ，故原、副边绕组端电压  $u_1$ 、 $u_2$  亦不相同，达到了变压的目的。

令

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{u_1}{u_2} = k$$

$k$  即为变压器的变比。对降压变压器而言,原边绕组即为高压绕组,副边绕组则是低压绕组;对升压变压器而言,原边绕组为低压绕组,副边绕组则是高压绕组。

### 1.1.2.2 变压器的分类

电力变压器在电力系统中得到了广泛的应用,它的种类很多,可以从不同的角度予以分类。

(1)按用途分类:电力变压器(又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器等)、仪用变压器(电流互感器、电压互感器)、试验用变压器、整流变压器等。

(2)按绕组数目分类:双绕组、三绕组、多绕组、自耦变压器(单绕组)。

(3)按相数分类:单相、三相和多相变压器。

(4)按铁芯结构分类:芯式、壳式变压器。

(5)按调压方式分类:无载调压、有载调压变压器。

(6)按绝缘介质分类:油浸式、干式变压器。

(7)按冷却方式分类:空气冷却、油浸自冷式、油浸风冷式、油浸强迫油循环式变压器。

(8)按容量大小分类:小型( $\leq 630$  kVA)、中型(800 ~ 6 300 kVA)、大型(8 000 ~ 63 000 kVA)和特大型变压器( $\geq 90 000$  kVA)。

不管如何进行分类,其工作原理及性能都是一样的。

### 1.1.3 电力变压器的基本结构

三相油浸式电力变压器的基本结构包括铁芯、绕组、油箱及其他附件等,其中铁芯、绕组是变压器的主要部件,称为器身,器身放在油箱内部。

#### 1.1.3.1 铁芯

铁芯构成变压器的磁路并形成线圈安装的主骨架。为了提高磁路的导磁性能,减小铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗,铁芯一般采用高磁导率的铁磁材料,即用 0.35 ~ 0.5 mm 厚的硅钢片叠成。变压器用的硅钢片含硅量比较高,以减小磁滞损耗。硅钢片两面均涂有绝缘漆,这样可以使叠在一起的硅钢片相互之间绝缘,以减小涡流损耗。

电力变压器铁芯主要采用芯式结构,如图 1-4 所示。图 1-4(a)为三相芯式变压器铁芯,图 1-4(b)为单相芯式变压器铁芯。三相变压器铁芯是由三个铁芯柱和上、下铁轭构成的闭合磁路。在每个铁芯柱上,双绕组变压器套有 2 个绕组,三绕组变压器套有 3 个绕组。绕组对铁芯应绝缘,铁芯对油箱也应绝缘。铁芯一点接地是通过接地引线经箱体顶部铁芯接地套管引出,在箱体外接地来实现的。在大容量的变压器中,为使铁芯损耗发出的热量能够被绝缘油在循环时充分带走,以达到良好的冷却效果,常在铁芯中设有冷却油道。

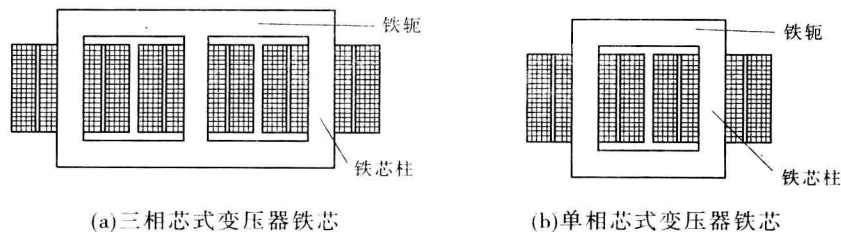


图 1-4 芯式变压器铁芯和绕组布置

小容量变压器多采用壳式结构,如图 1-5 所示。

### 1.1.3.2 绕组

绕组构成变压器的电路部分。它由铜线或铝导线包绕绝缘纸以后绕制而成,按照线圈绕制的特点,可以分为圆筒式、螺旋式、连续式和纠结式等。在电力变压器中,高压绕组常采用纠结式,低压绕组常采用连续式。高压绕组电压高,绝缘要求高,如果高压绕组在内,离变压器铁芯近,则应加强绝缘,提高了变压器的成本造价。因此,为了绝缘方便,低压绕组紧靠铁芯,高压绕组则套装在低压绕组的外面。两个绕组之间留有油道,既可以起绝缘作用,又可以使油把热量带走。

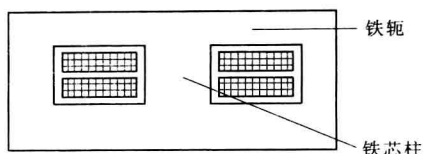


图 1-5 壳式变压器铁芯和绕组布置

### 1.1.3.3 变压器油

高、低压绕组和铁芯构成的器身应放在充满油的油箱中。变压器油有两个作用:一是起绝缘作用,因为油的绝缘性能比空气好,可以提高绕组的绝缘强度;二是起散热作用,因为油受热后的对流,可以将绕组和铁芯中的热量带到冷却器,再由冷却器散发到空气中。对变压器油的要求是介电强度和着火点要高,黏度小,水分和杂质尽可能少。对运行中的变压器油应定期作全面的色谱分析和油质化验。

### 1.1.3.4 油箱及其他附件

#### 1. 油箱

油浸式变压器的器身(绕组及铁芯)都装在充满变压器油的油箱中,油箱用钢板焊成。中小型变压器的油箱由箱壳和箱盖组成,变压器的器身放在箱壳内,将箱盖打开就可吊出器身进行检修。大中型变压器,由于器身庞大和笨重,起吊器身不便,都做成箱壳可吊起的结构。这种箱壳好像一只钟罩,当器身要检修时,吊去较轻的箱壳,即上节油箱,器身便全部暴露出来了。

大容量变压器的油箱广泛采用全封闭结构,即主油箱与油箱顶部钢板之间或上节油箱与下节油箱之间都采用焊接焊死,不使用密封垫,以防止密封不牢靠。为便于检修,在适当部位开有人孔门或手孔门。

漏油是油箱常见的问题。

#### 2. 油枕

油枕又叫储油柜,是一种油保护装置,它是由钢板做成的圆筒形容器,水平安装在变压器油箱盖上,用弯曲管与油箱连接。油枕的一端装有一个油位计(油标管),从油位计中可以监视油位的变化。油枕的容积一般为变压器油箱所装油体积的 8% ~ 10%。

当变压器油的体积随着油的温度膨胀或缩小时,油枕起着储油及补油的作用,从而保证油箱内充满油。同时,由于装了油枕,变压器油与空气的接触面缩小,减小了油的劣化速度。

为防止油与大气接触,大型变压器常用隔膜式油枕和胶囊式油枕。

#### 3. 呼吸器

呼吸器又称吸湿器,通常由一根管道和玻璃容器组成,内装干燥剂(硅胶或活性氧化铝)。当油枕内的空气随变压器油的体积膨胀或缩小时,排出或吸入的空气都经过呼吸

器,呼吸器内的干燥剂吸收空气中的水分,对空气起过滤作用,从而保持油的清洁。浸有氯化钴的硅胶,其颗粒在干燥时是钴蓝色的,但是随着硅胶吸收水分接近饱和时,粒状硅胶将转变成粉红色或红色,据此可判断硅胶是否已失效。受潮后的硅胶可通过加热烘干而再生,当硅胶颗粒的颜色变成钴蓝色时,再生工作就完成了。

#### 4. 压力释放装置

压力释放装置在保护电力变压器方面起着重要作用。充有变压器油的电力变压器中,如果内部出现故障或短路,电弧放电就会在瞬间使油汽化,导致油箱内压力极高。如果不能极快释放该压力,油箱就会破裂,将易燃油喷射到很大的区域内,可能引起火灾,造成更大破坏,因此必须采取措施防止这种情况发生。压力释放装置有防爆管和压力释放器两种,防爆管用于小型变压器,压力释放器用于大中型变压器。

(1) 防爆管。防爆管装于变压器的顶盖上,喇叭形的管子与大气连接,管口有薄膜封住。当变压器内部有故障时,油温升高,油剧烈分解产生大量气体,使油箱内压力剧增。当油箱内压力升高至  $5 \times 10^4$  Pa 时,防爆管薄膜破碎,油及气体由管口喷出,防止变压器的油箱爆炸或变形。

(2) 压力释放器。压力释放器与防爆管相比,具有开启压力误差小、延迟时间短(仅 2 ms)、控制温度高、能重复动作使用等优点,故被广泛应用于大中型变压器上。

压力释放器也称减压器,装在变压器油箱顶盖上,类似锅炉的安全阀。当油箱内压力超过规定值时压力释放器密封门(阀门)被顶开,气体排出,压力减小后,密封门靠弹簧压力又自行关闭。可在压力释放器投入前或检修时将其拆下来测定和校正其动作压力。

压力释放器动作压力的调整,必须与气体继电器动作流速的整定相协调。如压力释放器的动作压力过低,可能会使油箱内压力释放过快而导致气体继电器拒动,扩大变压器故障范围。

压力释放器安装在油箱盖上部,一般还接有一段升高管使释放器的高度等于油枕的高度,以消除正常情况下油压静压差。

#### 5. 散热器

散热器形式有瓦楞形、扇形、圆形、排管式等,散热面积越大、散热的效果就越好。当变压器上层油温与下部油温有温差时,通过散热器形成油的对流,经散热器冷却后流回油箱,起到降低变压器温度的作用。为提高变压器冷却效果,可采用风冷、强迫油循环风冷和强迫油循环水冷等措施。散热器的主要故障是漏油。

#### 6. 绝缘套管

绝缘套管为瓷质材料的变压器引出线导管,使引线与油箱绝缘。

变压器绕组的引出线从箱内穿出油箱引出时必须经过绝缘套管,以使带电的引线绝缘。绝缘套管主要由中心导电杆和瓷套组成。导电杆在油箱内的一端与绕组连接,在外面的一端与外线路连接。它是变压器易出故障的部件。

绝缘套管的结构主要取决于电压等级,电压等级不同,结构不同。电压低的一般采用简单的实心瓷套管。电压较高时,为了加强绝缘能力,在瓷套和导电杆间留有一道充油层,这种套管称为充油套管。电压在 110 kV 以上,采用电容式充电套管,简称为电容式套管。电容式套管除在瓷套内腔中充油外,在中心导电杆(空心铜管)与法兰之间,还有电



容式绝缘体包着导电杆,作为法兰与导电杆之间的主绝缘。

变压器套管漏油是最常见的故障,套管漏油的原因是套管上部算盘珠状橡胶密封圈和套管底部橡胶平垫老化。这两处橡胶件老化除橡胶件本身质量外,一个重要的原因是导管中导电杆两端连接处接触不良发热,尤其是导电杆下部与变压器绕组连接处螺栓松动很难发现。严重的套管故障表现为套管对外壳击穿,套管对外壳击穿的原因往往是套管出现裂纹或脏污。前述原因使导管严重发热遇雨骤然冷却,从而使导管出现裂纹或掉块。

### 7. 分接开关(又称切换器)

切换分接头的装置称为分接开关,其中无励磁分接开关必须在停电状态操作,而有载分接开关可以在变压器运行状态进行操作切换。

分接开关是调整变压器变比的装置。双绕组变压器的一次绕组及三绕组变压器的一二次绕组一般有3、5、7个或9个分接头位置,分接头的中间分头为额定电压的位置。3个分接头的相邻分头电压相差5%,多个分头的相邻分头电压相差2.5%或1.25%。操作部分装于变压器顶部,经传动杆伸入变压器的油箱。根据系统运行的需要,按照指示的标记来选择分接头的位置。

变压器的调压装置分为无载分接开关和有载分接开关两种。无载分接开关是在不带电情况下切换的,其结构简单。有载分接开关是在不停电情况下切换的,为了在切换过程中不致造成两切换抽头间线匝短路,必须接入一个过渡电路,通常利用一个电阻或电抗跨接在切换器的两抽头之间作为过渡。有载分接开关过渡电路结构较复杂,但其分接头可在带负荷下进行,因此在电力系统中被广泛采用。

分接开关是变压器最易出故障的部位。分接开关的故障大部分是开关的接触面烧毁。其原因是接触面不足或接触面压力不够。当近处发生短路时,因过电流的热作用使其烧毁。分接开关发生事故时,一般是瓦斯保护装置动作。

变压器分接头一般都从高压侧抽头,主要原因在于:①变压器高压绕组一般在外侧,抽头引出连接方便;②高压侧电流小,因而引出线和分接头开关的载流部分导体截面小,接触不良的问题易于解决。

从原理上讲,抽头从哪一侧抽均可,要作技术经济比较。例如500 kV大型降压变压器抽头是从220 kV侧抽出的,而500 kV侧是固定的。

### 8. 气体继电器

气体继电器构成的瓦斯保护是变压器的主要保护措施之一,它可以反映变压器内部的各种故障及异常运行情况,如油位下降、绝缘击穿、铁芯、绕组等受潮、发热或放电故障等,且动作灵敏迅速、结构连线简单、维护检修方便。气体继电器还有一个难能可贵的优点,就是对匝间短路等轻微故障产生的少量气体存积到一定“量”而动作,有“故障积累”的功能。

气体继电器装设于变压器油箱与油枕之间的连管上,继电器上的箭头方向应指向油枕并要求有1%~1.5%的安装坡度,以保证变压器内部故障时所产生的气体能顺利地流向气体继电器。

安装在地震度为七级以上地区的变压器,应装用防震型气体继电器。除特殊情况外,800 kVA以下变压器,无气体继电器。





### 1.1.3.5 冷却方式

工厂用配电变压器冷却方式主要有油浸自冷、油浸风冷两种,其他冷却方式在此不作介绍。

#### 1. 油浸自冷

油浸自冷即为油在油箱内自然循环,将热量带到油箱壁,由其周围空气对流传导进行冷却。变压器运行时,绕组和铁芯由于损耗产生的热量使油的温度升高,体积膨胀,密度减小,油自然向上流动,上层热油流经散热器冷却后,因密度增大而下降,于是形成了油在油箱和散热器间的自然循环流动,通过油箱壁和散热器散热而得到冷却。油浸自冷方式用于小型配电变压器。

#### 2. 油浸风冷

油浸风冷是在油浸自冷的基础上,在散热器上加装了风扇,风扇将周围空气吹向散热器,加速散热器中油的冷却,使变压器油温迅速降低。小容量或较小容量的变压器一般采用油浸自冷或油浸风冷冷却方式。加装风冷后,可使变压器容量增加 30% ~ 35%。

油浸风冷变压器运行时,其冷却风扇根据变压器上层油温的高低,自动投入和切除。投、切的原则是:上层油温在 45 °C 以下,冷却风扇不启动,变压器无风扇运行;上层油温在 55 °C 及以上,冷却风扇自动投入;低于 45 °C,风扇自动停止运行;变压器负荷在额定容量的 70% 及以上,冷却风扇必须投入运行。根据上述冷却风扇的启、停原则,对风扇实行自动或手动控制。油浸风冷方式常用于中型配电变压器。

## 1.1.4 电力变压器的巡视检查

### 1.1.4.1 基本要求

(1) 巡视人员应严密监视变压器的电压、电流在规定的范围内运行,各项运行参数,包括电压、电流、功率、上层油温、线圈温度。

(2) 每班应对运行和备用中的变压器至少巡回检查两次,每轮值应对运行和备用中的变压器至少每天巡检两次。

(3) 备用中的变压器及其全部附属设备应按规定进行运行维护和巡回检查,其安全和技术规定和运行变压器一样,与运行变压器同等对待。

(4) 未经调度同意,不得在备用的变压器上工作。

(5) 备用变压器及其全部附属设备应经常处于完好状态,保证能随时投入运行。

(6) 按照定期工作的安排对变压器进行熄灯检查,检查电气设备有无电晕放电以及过热等现象。

### 1.1.4.2 变压器的巡视检查

#### 1. 变压器日常检查项目

(1) 倾听变压器的声音有无增大、异常。

(2) 变压器的油枕、套管的油位、油色是否正常,变压器各部是否有渗油、漏油的现象。

(3) 变压器套管是否清洁,有无破裂、严重油污、损坏、放电痕迹以及其他异常现象。

(4) 变压器的油温和温度计应正常,油枕的油位应与温度对应,各部位无渗油、漏油。

(5) 变压器防爆筒的隔膜是否完好,压力释放阀关闭是否严密。