

热电厂

实用技术丛书

电气设备 运行及 事故处理

杜文学 主编



化学工业出版社
环境·能源出版中心

热电厂实用技术丛书

电气设备运行及事故处理

杜文学 主编



化学工业出版社

环境·能源出版中心

· 北 京 ·

本书是《热电厂实用技术丛书》之一,是一本介绍发电厂电气设备运行及事故处理的实用性技术图书,本书主要介绍了电力变压器结构、运行及事故处理;直流发电机的结构、运行及事故处理;同步发电机的结构及运行知识;发电厂电气主接线和厂用电接线;电力系统中性点运行方式及短路的基本知识;发电厂和变电所各种电气设备的结构、运行知识;发电厂的雷电过电压、防雷及接地知识;常用的电工测量仪表的原理、结构及测量接线等知识。同时对新型 SF₆ 断路器和真空断路器的结构,运行和维护,同步发电机的正常运行和各种不正常运行方式,及其事故分析及处理方法进行了重点论述。

本书反映了电力工业的技术进步和发电厂中电气设备的最新发展现状,对从事发电厂设计、运行、检修、管理等专业的技术人员有一定的指导作用,亦可作为高等学校电力工程类及热能动力类专业的电气设备运行课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备运行及事故处理/杜文学主编. —北京:化学工业出版社, 2006. 5
(热电厂实用技术丛书)
ISBN 7-5025-8627-X

I. 电… II. 杜… III. 发电厂-电气设备-运行-事故-处理 IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 040806 号

热电厂实用技术丛书 电气设备运行及事故处理

杜文学 主编
责任编辑:郑叶琳
文字编辑:吴开亮
责任校对:李 林
封面设计:关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
购书咨询:(010)64982530
(010)64918013
购书传真:(010)64982630
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$ 字数 485 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8627-X

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

序

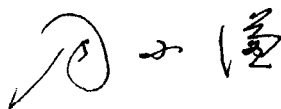
节约能源、保护环境是我国实现可持续发展战略的重要组成部分，这已成为我国的一项基本国策。目前，在商业企业可大规模实现能源转换的技术中，热电联产、热电装置的热电效率是最高的。建设热电厂，实现热电联产、热电冷联供是节约能源、保护环境、提高企业经济效益的有效途径。新中国成立以来，在我国电力和工业建设及城市建设中，都高度重视热电联产的建设，使热电联产在我国得到较大的发展。到2003年底，全国共有6MW以上热电联产机组2121台，总容量达到43691.8MW，占全国火电装机总容量的11.6%，为国民经济发展提供了强大动力，为节约能源、保护环境做出了巨大贡献。初步估算，从发电侧看比纯凝汽发电节省3000万吨以上原煤，从供热侧看比小锅炉节省4000多万吨原煤，相应估算减少CO₂排放1.8亿吨，减少SO₂排放120多万吨，并减少了NO_x和粉尘的排放。在我国能源结构中以煤为基础的格局，以电为中心的发展战略，在相当长的时间内是不会变的。

目前，在我国电厂的能源结构中，燃煤电厂的发电量约占全国总发电量的80%以上，即使到2020年，燃煤电厂的发电量仍将在70%以上。煤燃烧排放的SO₂和NO_x以及粉尘仍是大气主要污染源。努力提高能源利用率，尽可能减少煤炭消耗，减少温室气体和SO₂的排放，仍然是环境保护的重要任务。为此，继续加大热电联产建设步伐，扩大热电联产在电力装置中的比例，就成为今后电力建设中一个重要任务，也是我国实施节约能源、保护环境可持续发展战略的必然选择。

我们不仅要不断增加热电联产的比例、节约能源，同时还要不断提高热电联产的建设、运行管理水平，以进一步提高效率、降低消耗、减少污染、增加效益。近年来，随着科学技术的发展，一些新技术、新设备、新工艺、新的管理理念在火电厂广泛应用，促进了企业技术进步，在节约能源、改善环境方面取得显著成效。循环流化床燃烧技术的应用，不仅能燃烧劣质煤、高硫煤，而且使环境得到改善；脱硫除尘技术的广泛应用减少了SO₂、NO_x以及粉尘的排放，对保护和改善人类的生态环境，保障人体健康起到积极作用；电厂水处理采用膜分离技术，既减少水污染，又节约用水，提高企业经济效益；提高电厂主要设备锅炉、汽轮机、电气设备效率降低了煤耗，风机、水泵及其他辅助设备的电耗，降低工厂用电；完善电厂热力系统及设备的优化配置，改善运行操作，加强运行管理，采用综合利用技术、自动化技术等，都使能源消耗大幅度降低，提高了能源利用率，提高了企业经济效益。

随着热电联产产业的发展，热电厂建设迅速发展，从业人员迅猛增加，热电联产、节约能源、环境保护、综合利用、电厂自动化技术等新技术广泛应用，热电行业对热电新技术普及的要求日益强烈，因此，编辑出版一套适用于热电行业的技术丛书是很有必要的。

由中国电机工程学会组织编写，化学工业出版社出版的《热电厂实用技术丛书》（以下简称《丛书》）正是适应了这一形势要求。《丛书》涵盖了热电厂建设、热电设备、热电技术各个领域，对当今热电厂已经应用的新技术、新设备、新工艺都作了论述，并着重介绍实际应用成果，理论联系实际，经验实用具体。参加《丛书》编写的人员大多是在热电行业第一线的高级工程师，具有丰富的理论和实践经验，《丛书》的编写具有科学性、实用性和可操作性。相信这套《丛书》对于提高我国热电厂的建设技术和管理水平、热电厂的综合利用、环境保护的水准以及提高企业的经济效益都将会起到积极的促进作用。对于热电行业的专业技术人员、技术工人以及热电厂设计、运行、管理及相关人员，这套《丛书》是一套很好的参考书。因此，我向广大热电科技工作者及有关人员推荐《热电厂实用技术丛书》，以飨读者。



2005 年 11 月

前 言

随着国民经济快速稳定增长,电力工业得到了持续迅速发展,发电机装机容量和发电量已跃居世界第二位。为了满足国民经济快速发展对电力的巨大需求,各种类型的大、中、小型发电厂正在全国各地如火如荼地建设中。尤其是近年来,各种类型的地方电厂、城市集中供热电厂、企业自备电厂的大量建设以及新设备、新技术和新工艺的大量应用,对各种类型发电厂的设计、运行、管理等方面提出了新的、更高的要求。培养更多掌握现代发电厂新设备、新技术的设计、运行及管理的专门人才,是目前所面临的迫切的任务。

《电气设备运行及事故处理》一书正是基于上述考虑,结合我国目前发电厂设备的现状及技术发展而组织编写的一本实用性技术书。全书分四篇共十三章:第一篇主要介绍了电力变压器结构、运行及事故处理;直流发电机的结构、运行及事故处理;同步发电机的结构及运行知识。第二篇主要介绍了发电厂电气主接线和厂用电接线;电力系统中性点运行方式及短路的基本知识;发电厂和变电所各种电气设备的结构、运行知识,重点介绍了新型 SF₆ 断路器和真空断路器的结构、运行和维护;发电厂的雷电过电压及防雷,电力系统接地等知识。第三篇发电厂二次部分中,介绍了常用的电工测量仪表及测量知识;发电机、变压器、线路等元件的继电保护;发电厂信号及控制回路以及自动装置等。第四篇介绍了同步发电机的正常运行方式和各种不正常运行方式,介绍了同步发电机的事故分析及处理方法;最后介绍了异步电动机的结构、原理、运行及维护等知识。

全书由杜文学主编,其中第一、二、三、十二、十三章由徐益敏编写,第四、五、六、七章及第十一章部分内容和附录由杜文学编写,第八章由杜文学与李建新合编,第九章及第十一章部分内容 by 王燕编写,第十章由林创利编写。全书由杜文学统稿。

在成书过程中,得到了多家发、供电企业及设备制造厂家的大力支持,作者在此表示衷心的感谢。

由于电气设备涉及的领域和知识面非常广泛,加之时间仓促,笔者唯恐挂一漏万,书中不足之处在所难免,恳切希望使用此书的教师、学生和广大工程技术人员提出批评指正意见。

编 者
2006 年 1 月

目 录

第一篇 电 机 学

第一章 电力变压器及运行	1
第一节 概述	1
第二节 变压器的基本原理和结构	2
第三节 变压器的空载运行、负载运行及短路试验	8
第四节 变压器的极性和连接组别	12
第五节 变压器的并联运行	15
第六节 变压器的运行和事故处理	17
第二章 直流发电机及运行	22
第一节 直流发电机的原理和结构	22
第二节 直流发电机的电枢绕组	25
第三节 直流发电机的电枢反应及换向	29
第四节 直流发电机的运行特性及电压的建立	32
第五节 直流发电机的运行维护及事故处理	34
第三章 同步发电机的结构及基本理论	36
第一节 概述	36
第二节 汽轮同步发电机的基本结构	37
第三节 同步发电机的原理及旋转磁场	38
第四节 同步发电机电枢反应	41
第五节 同步发电机的运行特性	44
第六节 同步发电机的并联及负荷调节	46

第二篇 发电厂电气一次部分

第四章 电气主接线	52
第一节 概述	52
第二节 电气主接线的一般形式	55
第三节 中、小型发电厂接线实例	60
第四节 厂用电接线	62
第五节 厂用电接线实例	64
第五章 短路及短路电流计算	66

第一节	概述	66
第二节	电力系统中性点接地方式	67
第三节	电力系统的元件参数	69
第四节	三相短路电流计算	71
第五节	对称分量法及故障序网络图	74
第六节	不对称短路电流计算	78
第七节	短路电流的限制	82
第六章	发电厂电气设备及运行	86
第一节	电弧的产生与熄灭	86
第二节	断路器的基本知识	90
第三节	SF ₆ 断路器结构、原理及运行	92
第四节	真空断路器结构、原理及运行维护	100
第五节	高压隔离开关及运行	104
第六节	高压熔断器	105
第七节	互感器原理、结构及运行	109
第八节	成套开关电器	116
第九节	低压电器	119
第七章	发电厂的防雷保护	122
第一节	概述	122
第二节	雷电过电压及防雷保护	123
第三节	输电线路防雷	129
第四节	发电厂及变电站的防雷	131
第五节	电力系统接地	134

第三篇 发电厂电气二次部分

第八章	电工仪表及其测量	139
第一节	常用电工仪表的标志符号	139
第二节	直流电流及电压的测量	140
第三节	交流电流及电压的测量	141
第四节	电动系仪表及功率的测量	144
第五节	电能的测量	149
第六节	功率因数表、频率表和同期指示表	152
第七节	万用表、直流电桥及电阻的测量	155
第八节	绝缘电阻和接地电阻的测量	159
第九章	发电厂继电保护	163
第一节	概述	163
第二节	小接地电流电网的绝缘监视装置	165

第三节	发电机保护	166
第四节	变压器保护	178
第五节	发电机-变压器组保护	190
第六节	输电线路保护	191
第七节	厂用变压器继电保护	198
第十章	发电厂的控制、信号和同期回路	200
第一节	发电厂的控制方式与二次回路的基本概念	200
第二节	发电厂操作电源及其装置	204
第三节	断路器的控制回路	210
第四节	中央信号回路	217
第五节	测量仪表及互感器的配置	221
第六节	同期回路	224
第十一章	发电厂自动装置	231
第一节	自动重合闸装置	231
第二节	继电强行励磁装置	235
第三节	发电机自动调节励磁装置	237
第四节	备用电源自动投入装置	243

第四篇 发电机与电动机运行及事故处理

第十二章	同步发电机的运行	248
第一节	同步发电机的允许运行方式	248
第二节	同步发电机的启动、升压和并列	250
第三节	同步发电机运行中的负载调整及运行中的监视	251
第四节	发电机的解列和停机	253
第五节	同步发电机稳定概念、安全运行极限和 $P-Q$ 曲线	254
第六节	同步发电机的励磁与灭磁	258
第七节	同步发电机的进相运行	260
第八节	同步发电机的不对称运行	261
第九节	发电机常见事故及其处理	262
第十三章	异步电动机及其运行	267
第一节	三相异步电动机的基本结构	267
第二节	三相异步电动机的工作原理、特性及铭牌	269
第三节	异步电动机的工作特性	273
第四节	三相异步电动机的启动	274
第五节	异步电动机的允许运行方式	278
第六节	异步电动机在不对称电压下运行	281
第七节	三相异步电动机的检查和维护	281

附 录

附录 I	常用文字及图形符号·····	283
附录 II	发电机主要技术参数·····	285
附录 III	变压器主要技术参数·····	288
附录 IV	开关电器的主要技术参数·····	293
附录 V	互感器的主要技术参数·····	296
附录 VI	避雷器技术参数·····	301
参考文献·····		303

第一篇 电 机 学

第一章 电力变压器及运行

第一节 概 述

变压器是一种静止的电气设备，它是利用电磁感应原理，把某种等级的交变电压变换为同频率的另一等级的交变电压。应用于电力系统（包括发电厂和变电所）中供输电和配电的变压器，统称为电力变压器。

发电厂欲将 $P=3UI\cos\varphi$ 的电功率输送到用电的区域，在 P 、 $\cos\varphi$ 为一定值时，若采用的电压愈高，则输电线路中的电流愈小，因而既可以节约导电材料又可减少输电线路上的损耗。所以，远距离输电采用高电压是最为经济的。

目前，我国交流输电的电压最高已达 750kV。这样高的电压，无论从发电机的安全运行方面或是从制造成本方面考虑，都不允许由发电机直接生产。

发电机的输出电压一般有 3.15kV、6.3kV、10.5kV、15.75kV、18kV、20kV 等几种，因此必须用升压变压器将电压升高后才能进行远距离输送。

电能输送到用电区域后，为了适应用电设备的电压要求以实现安全用电，还需通过各级变电站（所）利用变压器将电压降低为各类设备用电所需要的电压值。

在用电方面，多数用电电器所需电压是 380V、220V 或 36 V，少数电机也采用 3kV、6kV 等。

变压器种类很多，可按以下方式分类。①按用途分为：电力变压器、特种变压器、仪用互感器、调压器、试验用高压变压器等。②按相数分为：单相变压器、三相变压器。③按铁芯结构分为：芯式变压器和壳式变压器。④按绕组数分为：双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器以及自耦变压器等。⑤按冷却方式和冷却介质分为：空冷干式变压器和油浸式变压器（又可分为油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环冷却等）。⑥按调压方式分为：无励磁调压变压器和有载调压变压器两种。

在三相电力系统中，一般使用三相变压器。当容量过大受到制造条件或运输条件限制时，在三相电力系统中也可由三台单相变压器连接成三相组使用。

双绕组变压器是适用性强、应用最多的一种变压器。三绕组变压器常在需要把三个电压等级不同的电网相互连接时采用。例如，系统中 220kV、110kV、35kV 之间有时就采用三绕组变压器来连接。目前，小电厂也有采用三绕组变压器的，它的一次电压为 6.3kV 与发电机母线相连，其二次电压有两种：一种为 11kV（ $\pm 5\%$ ），供本地区；另一种电压为 38.5kV（ $\pm 5\%$ ），与系统电网相连或送到较远的用户。

由于电能从发电厂到用户的传输和分配，需要经过多次电压变换，一般电力系统中变压器设备总容量大约是发电厂设备总容量的 6~8 倍，因此，变压器是电力系统的重要设备之一。

第二节 变压器的基本原理和结构

一、变压器的基本原理

变压器种类虽多,但工作原理基本是一样的。为了简单起见,以单相变压器为例说明其工作原理。

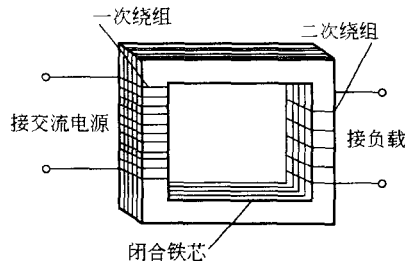


图 1-1 变压器原理模型图

1. 变压器的原理模型

变压器主要由两个相互绝缘的绕组套装在具有良好导磁性能材料制成的一个闭合铁芯上构成,如图 1-1 所示。接交流电源的绕组称为一次绕组,该侧是通入交流电流侧,即吸收电能侧。接负载的绕组称为二次绕组,该侧接负载侧,即输出电能侧。一、二次绕组之间只有磁的耦合,没有电的直接联系。

下面为了区别,一、二次电路的各物理量和参数分别用下标“1”和“2”标注。

2. 变压器的基本工作原理

如图 1-2 所示,当一次绕组接在电压为 u_1 的交流电源上时,一次绕组中流过交变电流从而产生交变磁通 ϕ ,该磁通由铁芯闭合同时交链于一、二次绕组。根据电磁感应定律可知,交变磁通 ϕ 在一、二次绕组中分别产生感应电动势 e_1 、 e_2 。当感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋关系时,其感应电动势可分别表示为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}, e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

式中 N_1 , N_2 ——一、二次绕组的匝数;

$\frac{d\phi}{dt}$ ——磁通变化率。

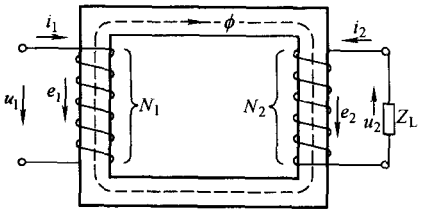


图 1-2 变压器的原理示意图

一般情况下,由于 $N_2 \neq N_1$,所以 $e_2 \neq e_1$ 。如果忽略一、二次绕组本身的阻抗压降这个次要因素时, $e_1 \approx u_1$, $e_2 \approx u_2$,则 $u_2 \neq u_1$ 。这就实现了改变电压等级的目的。若二次绕组接上负载,就有电流流过,变压器就向负载输出电能,从而实现了不同电压等级的电能传递。由分析显而易见,变压器能够改变电压等级的条件是:①由铁芯闭合同时交链于一、二次绕组的磁通必须交变;②一、二次绕组的匝数应不相等。

二、变压器的基本结构

电力变压器根据其容量、电压等级、绕组数的不同,它外形和附件虽不尽相同,但它们的主要部件却是基本相同的。铁芯和绕组是变压器的最主要部件,铁芯和绕组装配在一起统称为器身。油浸式变压器把器身放置在装满变压器油的油箱里。油箱外还有一些附件,如储油柜、冷却装置、绝缘套管、继电器等。下面以图 1-3 油浸式电力变压器为例,介绍变压器的基本结构。

1. 铁芯

铁芯是变压器耦合磁通的磁路部分。为了降低铁芯在交变磁通作用下的磁滞和涡流损耗,铁芯采用厚度为 0.35mm 或更薄的优质硅钢片叠成。目前广泛采用导磁系数高的冷扎晶粒取向硅钢片,以缩小铁芯体积和重量等。

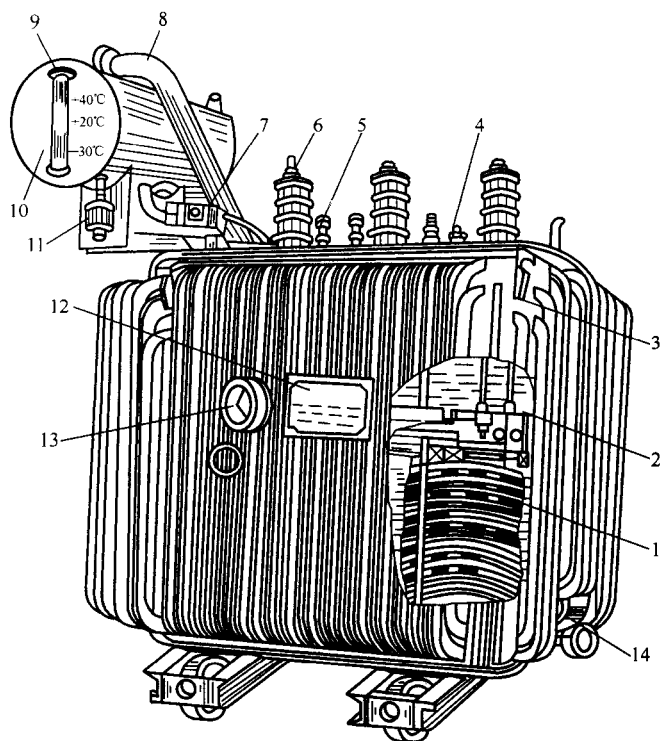


图 1-3 油浸式电力变压器结构图

1—绕组及绝缘；2—铁芯；3—油箱；4—分接开关；5—低压套管；6—高压套管；7—气体继电器；8—安全气道；
9—油位计；10—储油柜；11—呼吸器；12—铭牌；13—信号式温度计；14—放油阀门

变压器铁芯包括铁芯柱和铁轭两部分，铁芯柱上套绕组，铁轭将铁芯柱连接起来，使之形成闭合磁路。装配铁芯时一般采用交错式叠装，以减小接缝间隙从而降低空载励磁电流。如图 1-4 为铁芯交错叠装图。

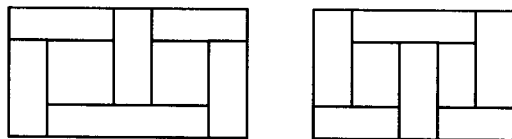


图 1-4 三相变压器铁芯交错叠装图

按照绕组在铁芯中的布置方式不同，变压器主要分为心式和壳式两种。心式变压器是绕组包围着铁芯，其结构比较简单且高压绕组与铁芯的距离较远，绝缘较易处理。一般电力变压器为心式结构，单相芯式变压器铁芯和绕组如图 1-5 所示，三相三铁芯式变压器如图 1-6 所示。壳式变压器是把全部绕组绕在中间的铁芯上，两个分支铁芯和铁轭包围着绕组。其机械强度较高，但制造工艺较复杂，铁芯用材也较多，且高压绕组与铁芯的距离较近，绝缘处理较困难。壳式结构易于加强对绕组的机械支撑，使其能承受较大的电磁力，特别适用于通过大电流的特殊变压器，也用于大容量电力变压器。如图 1-7 所示为三相壳式变压器。

三相心式变压器又有三相三柱式和三相五柱式两种结构。采用三相五柱式是在三相三柱式外侧加两个旁轭而构成，其上、下铁轭的截面和高度比普通三相三柱式的小，从而降低了整个变压器的高度。中、小容量的三相变压器都采用三相三柱式。大容量三相变压器，常受运输高度限制，故多采用三相五柱式。

2. 绕组

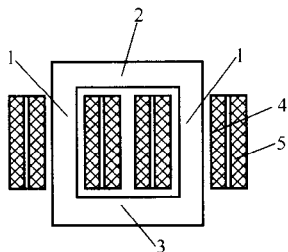


图 1-5 单相芯式变压器铁芯和绕组

1—铁芯；2—上铁轭；3—下铁轭；
4—低压绕组；5—高压绕组

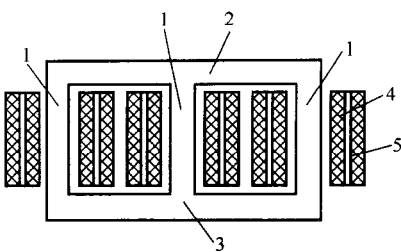


图 1-6 三相三铁芯式变压器

1—铁芯；2—上铁轭；3—下铁轭；
4—低压绕组；5—高压绕组

绕组是变压器传递交流电能的电路部分。变压器的绕组，按其高压绕组和低压绕组在铁芯上相互间的布置，分两种基本形式：同心式和交叠式。同心式绕组，参见图 1-5 和图 1-6 所示，同一相高压绕组和低压绕组均做成圆筒形，套在同一铁芯上。交叠绕组，又称为饼式绕组，如图 1-8 所示，高压绕组和低压绕组各分为若干线饼，沿着铁芯的高度交错地排列着。交叠绕组多用于壳式变压器。

芯式变压器一般都采用同心式绕组。为了绝缘布置方便，通常低压绕组装得靠近铁芯，高压绕组则套在低压绕组的外面，低压绕组与高压绕组之间，以及低压绕组与铁芯之间都留有一定的绝缘间隙和散热油道，并用绝缘纸筒隔开。

同心式绕组根据绕制特点又可分为圆筒式、螺旋式、连续式和纠结式等几种型式。

(1) 圆筒式绕组 圆筒式绕组是最简单的一种绕组，它是用绝缘导线沿铁芯高度方向连续绕制，绕制完第一层后，垫上层间绝缘纸再绕第二层。这种绕组一般用于小容量变压器的低压绕组。

(2) 螺旋式绕组 螺旋式绕组是由多根绝缘扁导线沿着径向并联排列（一根压一根），然后沿铁芯柱轴向高度像螺纹一样一匝跟着一匝地绕制而成，一匝就像一个线盘。图 1-9 所示为螺旋式绕组导线匝间排列的一部分。

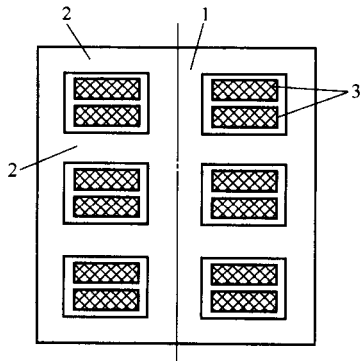


图 1-7 三相壳式变压器

1—铁芯；2—铁轭；3—绕组

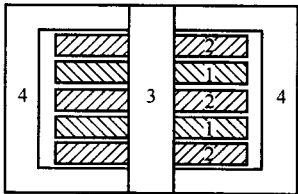


图 1-8 单相壳式变压器

1—高压绕组；2—低压绕组；
3—铁芯；4—旁轭

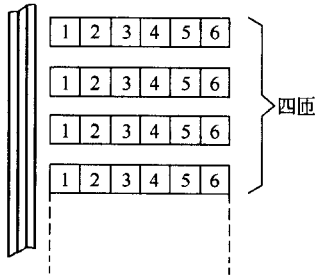


图 1-9 螺旋式绕组导线排列纵剖面图

螺旋式绕组当并联导线太多时，就把并联导线分成两排，绕成双螺旋式绕组。为了减小导线中的附加损耗，绕制螺旋式绕组时，并联导线要进行换位。这种绕组一般用于三相容量在 $800\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上、电压在 35kV 以下的大电流绕组。

(3) 连续式绕组 连续式绕组是用扁导线连续绕制成若干线盘（也称线饼）构成，绕组各匝的排列如图 1-10 所示，相邻线盘间的连接是交替地在绕组的内侧和外侧，都用绕制绕组的导线自然连接，没有任何接头。这种绕组应用范围较大，一般用于三相容量为 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上、电压为 $3 \sim 110\text{kV}$ 的绕组。

(4) 纠结式绕组 纠结式绕组的外形与连续式相似，连续式绕组是每个线盘中电气上相邻的线匝是依次排列的，而纠结式绕组电气上相邻的线匝之间插入了绕组中的另一线匝，如图 1-11 所示，以使实际相邻的匝间电位差增大。纠结式绕组焊头多、绕制费时。采用纠结式绕组的目的是为了增加绕组的纵向电容，以便在过电压时，起始电压比较均匀地分布于各线匝之间。纠结式绕组一般用于电压在 110kV 以上的高压绕组。

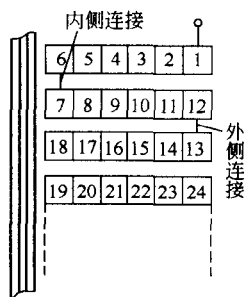


图 1-10 连续式绕组

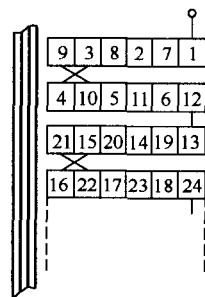


图 1-11 纠结式绕组导线排列

绕组是变压器运行时的主要发热部件，为了使绕组有效地散热，除绕组纵向内、外侧设有油道外，对双层圆筒式绕组，在其内外层之间，多用绝缘的撑条隔垫开，以构成纵向油道；对线饼式绕组，例如螺旋式、连续式、纠结式等绕组，每两个线饼之间也用绝缘板条隔开，构成横向油道。纵向和横向油道是互相沟通的。

3. 变压器油箱及油

油箱用钢板焊成，中、小型变压器的油箱由箱壳和箱盖组成，变压器的器身就放在箱壳内，将箱盖打开就可吊出器身进行检修。

油浸式变压器中使用的变压器油，是从石油中提炼出来的矿物油，其介质强度高、黏度低、闪燃点高、酸碱度低、杂质与水分极少。一般净化的变压器油的耐电压强度可达 $200 \sim 250\text{kV/cm}$ 。变压器油既是绝缘介质又是冷却媒介，为保证油的品质，在使用中要防止潮气侵入油中，即便进入少量水分，也会使变压器的绝缘性能大为降低。运行中变压器油通过受热后的对流，将铁芯和绕组中的热量带到箱壁及冷却装置，再散发到空气中。

4. 附件

(1) 储油器、油位计及呼吸器 油箱内的变压器油，当温度变化时，其体积会膨胀或收缩。为了使油箱内的油面能自由地升降，而又要求不会有大面积油面与空气接触，一般在变压器箱盖上部加装一个圆筒形的储油器（俗称油枕），如图 1-12 所示，储油器 2 底部有管道

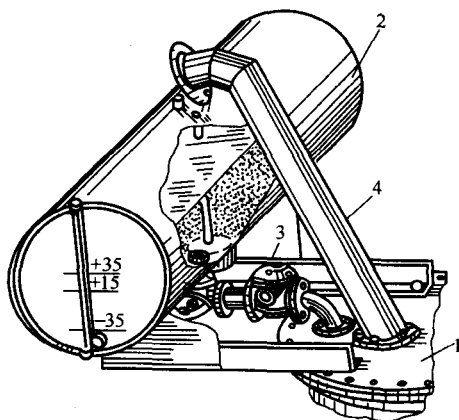


图 1-12 储油器和排气管

1—主油箱；2—储油器；3—气体继电器；4—防爆管

与其下部的主油箱 1 连通。主油箱内总是充满变压器油，变压器油一直充到储油器内适当高度。储油器内的油面高度随油箱中油温变化而变动。在储油器的一侧装有油位表，以便观察油位的高低。

在中、小型变压器上，常在油枕端侧装设一只可直接观察油位的玻璃油位计。为了能使储油器内的油面自由地升降，而又防止空气中的水分和灰尘进入储油器内油中，中、小型变压器的储油器通过一根管道，再经一个呼吸器与大气连通。呼吸器内装有干燥剂（或称吸湿剂），通常采用硅胶。

(2) 压力释放装置 压力释放装置在变压器油箱顶盖上，其在保护电力变压器方面起重要作用。充有变压器油的电力变压器，如果内部出现故障或短路，电弧放电就会在瞬间使油汽化，导致油箱内压力极快升高。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，因而通过压力释放装置使油箱内减压防止上述情况发生。

(3) 气体继电器 气体继电器装在油枕与主油箱之间的连接管路上。当变压器发生故障时，内部绝缘物气化，产生气体，气体从油箱上升进入油枕时，使气体继电器的触点动作，发出信号通知运行人员处理，或直接使断路器跳闸。

(4) 分接开关 变压器分接头切换开关，简称分接开关，一般安装在箱盖并埋入油箱内。它是用来改变绕组（一般为高压绕组）匝数，实现小范围调节二次电压的。变压器为适应电网电压的变化，在其高压绕组（或中压绕组）设有一定数量的抽头（即分接头）。如果切换分接头必须将变压器从电网切除后进行（不带电才能切换），称为无励磁调压，这种分接开关称为无励磁分接开关，也称为无载调压分接开关。如果切换分接头可在带负荷下进行，则为有载调压，这种开关称为有载分接开关。

(5) 绝缘套管 变压器高、低压绕组的引出线从箱内穿过油箱引出时，必须经过绝缘套管，它是引线对地的绝缘，担负着固定的作用。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。

绝缘套管的结构主要取决于电压等级。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 110kV 以上时，采用电容式充油套管，也简称为电容式套管。电容式套管，除了在瓷套内腔中充油外，在中心导电杆（空心铜管）与安装法兰之间，还有电容式绝缘体包着导电杆作为法兰与导电杆之间的绝缘。电容式绝缘体是用油纸（或单面上胶纸）加铝箔卷制而成的。卷制时，在油纸（绝缘纸）每卷到一定厚度，例如 1~2mm 时，即卷一层铝箔，这样从内到表面就形成多个同心的圆柱形电容串联。其目的是利用电容分压原理，使径向和轴向电位分布趋于均匀，以提高绝缘击穿度。

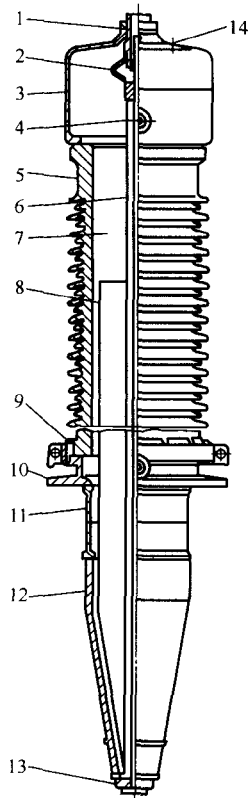


图 1-13 高压电容式充油套管

- 1—顶端螺帽；2—可伸缩连接段；
- 3—顶部储油室；4—油位计；
- 5—空气侧瓷套；6—导电管；
- 7—变压器油；8—电容式绝缘体；
- 9—压紧装置；10—安装法兰；
- 11—安装电流互感器；12—油侧瓷套；13—底端螺帽；14—密封塞

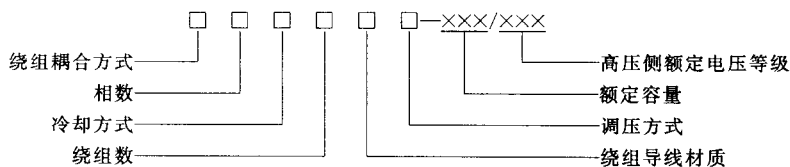
有的电容式套管则是环绕着导电杆包有几层贴附有铝箔的绝缘纸筒，各纸筒之间还留有筒形空间，构成有效的冷却通道，用以散热，以提高载流容量和热稳定性。高压电容式充油套管的一种结构如图 1-13 所示。

此外，附件还有冷却装置、安全气道、净油器等。

三、型号与额定值

1. 变压器的型号

型号表示一台变压器的结构、额定容量、电压等级、冷却方式等内容，表示方法为



如 OSFPSZ-250000/220 表明：自耦三相强迫油循环风冷三绕组铜线有载调压，额定容量 250000kV·A，高压额定电压 220kV 电力变压器。

2. 变压器的额定数据

变压器的额定数据有：额定容量 S_N 、额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定频率 f_N 、阻抗电压百分数 U_k 。这些都标在变压器的铭牌上。此外，在铭牌上还标有相数、接线组别、额定运行时的效率、额定温升及冷却介质温度等参数。

(1) 额定容量 S_N 额定容量是设计规定的在额定条件使用时能保证长期运行的输出能力，单位为 kV·A 或 MV·A。对于三相变压器而言，额定容量是指三相总的容量。

一般对于双绕组变压器，一、二次侧的容量是相同的。对于三绕组变压器，当各绕组的容量不同时，变压器的额定容量是指容量最大的一个（通常为高压绕组）的容量。技术规范中都写明三侧的容量。例如，某厂总变，其额定容量为 48/36/12MV·A，一般就称这个厂总变的额定容量为 48MV·A。

(2) 额定电压 U_N 额定电压是由制造厂规定的变压器在空载时额定分接头上的电压，在此电压下能保证长期安全可靠运行，单位为 V 或 kV。当变压器空载时，一次侧在额定分接头处加上额定电压 U_{1N} ，二次侧的端电压即为二次侧额定电压 U_{2N} 。对于三相变压器，如不作特殊说明，铭牌上额定电压是指线电压；而单相变压器是指相电压（如 $525/\sqrt{3}$ kV）。

(3) 额定电流 I_N 变压器各侧的额定电流是由相应侧的额定容量除以相应绕组的额定电压计算出来的线电流值，单位为 A 或 kA。

对于单相双绕组变压器：

$$\text{一次侧额定电流} \quad I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}$$

$$\text{二次侧额定电流} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

对于三相变压器，如不作特殊说明，铭牌上标的额定电流是指线电流，即有

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$$