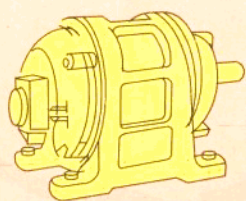


中等职业技术学校试用教材

广东、北京、广西中等职业技术学校教材编写委员会 组编



电机与变压器

广东高等教育出版社

中等职业技术学校试用教材

电机与变压器

广东、北京、广西中等职业
技术学校教材编写委员会
组 编

广东高等教育出版社

·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与变压器/广东、北京、广西中等职业技术学校教材编写
委员会组编. —广州: 广东高等教育出版社, 2002. 8
中等职业技术学校试用教材
ISBN 7-5361-2727-8

I. 电…

II. 广…

III. ①电机-专业学校-教材 ②变压器-专业学校-教材

IV. ①TM3 ②TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 063539 号

广东高等教育出版社出版发行

地址: 广州市天河区林和西横路

邮政编码: 510075 电话: 87555530

广东省教育厅教育印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 368 千

2002 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 2 次印刷

印数: 2001~4000 册

定价: 24.00 元

广东、北京、广西中等职业技术学校教材 编写委员会名单

主任

江海燕

常务副主任

周育安

副主任

刘育民 马叔平 余瑾 郑作广 仇琨
李元元 柳柏濂 孟庆国 刘劲予

编委 (以姓氏笔画为序)

马叔平 仇琨 江海燕 刘育民 刘劲予
李洪 李元元 杜锡强 余瑾 张路
张建虹 周育安 郑作广 孟庆国 柳柏濂
郭鸿 袁晓 唐振中 彭红光 蔡继顺

编委会办公室

主任

杜锡强

副主任

彭红光 要志东

前 言

以电子化、数字化、网络化、信息化为特征的知识经济已初见端倪，以信息技术为先导的科技进步日新月异。有资料表明：20世纪80年代初期，一项技术的寿命大约为30年；90年代，技术寿命变为10~15年；预计到2005年，一项技术仅1~3年就将走下历史舞台。知识经济呼唤现代技术，呼唤大批德才兼备，具有专业技能、创新意识、创业能力，能参与市场竞争的现代人才，这给为经济和社会发展提供智力和人才保障的教育工作带来了机遇和挑战。当我们站在更高的起点和层面上审视我们过去的职业教育的时候，我们会发现，以3年的教育周期，至多仅能使受教育者掌握1~2项甚至仅仅1项专业技术（有的还只是初级水平的专业技术）的传统中等职业教育，远远不能适应知识经济发展的要求。观念、制度、教学内容、教学方法、教学手段等方面的改革已迫在眉睫。

当知识经济不断敲打21世纪大门的时候，广东、北京、广西三省（市、区）的职教同行，决定以课堂教学内容的改革为核心，从课程改革和教材建设入手，编写一套依托三省（市、区）骨干行业、支柱产业，糅合当今世界最新科技成果，体系完善、内容先进的中等职业技术学校的教材，以现代的课程体系和教材，推动职业教育教学内容、教学方法、教学手段的改革，以专业建设的现代化，推动职业教育的现代化。在20世纪的最后一年，这套教材终于面世了。

本套教材遵循“宽基础，重技能，活模块”和“一纲多本”的原则，在组织有关专家、学者审定教学大纲、教学计划的基础上，由三省（市、区）近200名专家、学者、教授及职教第一线的资深教师编写，各专业课教材并经专家和同行业的有丰富

实践经验的人员审定，具有系统性和权威性。本套教材还保持了传统教育的基础性的特色，又注意吸纳当今世界最新科技成果，结合三省（市、区）骨干行业、支柱产业的实际，因此具有实用性、科学性和先进性。

对于本套教材中存在的疏漏和不妥之处，敬请广大专家和读者批评指正，以便我们进一步修订和完善。

广东、北京、广西中等职业技术学校教材
编写委员会
1999年4月

编者说明

《电机与变压器》是根据广东、北京、广西三省(市、区)中等职业技术学校教材编写委员会确定的教学计划和教学大纲编写的,内容包括变压器、交流异步电动机、直流电机、同步电机和特种电机。

将目标定位在中级维修、安装电工应掌握的理论知识和操作技能上;以适度、够用为前提;以生产实际中常用的电机和变压器为重点,理论与实践结合,学习知识与技能训练结合,组织、呈现教学内容,是本教材编写的指导思想。因此,在教学内容中,结合当地的生产实际和中级技术鉴定的要求,增加了一些电机和变压器的使用与维护知识;在学习知识的进程中,将实验与技能训练安排在相应的知识学习内容之后。其用意是增强学生的岗位适应能力,提高学生的技能水平;方便教学过程的优化,提高教学效率。

结合上岗证、中级技术等级证的考核,以及教学中的重点和难点,每章都附有复习与练习题。这对加深学生理解和掌握知识,提高中级技工的合格率,将有一定的帮助。

《电机与变压器》由杨少光任主编。第一章由孔庆斌编写,第二章由何军玲编写,第三章由贺健编写,第四、五章由王芙蓉编写,第六章、全书的实验与技能训练、各章的复习与练习题等由杨少光编写。杨少光对全书统稿并作调整和修改。

电工专业系列教材由杨少光任主编,吴德俊、杜从商、韩亚兰任副主编。

对本书中的错误和不妥之处,恳请老师和读者提出批评和修改意见。

电工专业教材编写组

2002年4月

目 录

第一章 变压器	1
第一节 变压器的结构和分类	1
第二节 变压器的工作原理	11
第三节 变压器的外特性与电压调整率	18
实验与技能训练一 变压器的空载实验	20
实验与技能训练二 变压器的短路实验	22
第四节 变压器的损耗和效率	25
第五节 变压器绕组的极性	28
实验与技能训练三 变压器绕组极性的判别	32
第六节 三相变压器的连接组	34
实验与技能训练四 三相变压器组的连接	41
第七节 变压器的铭牌	44
第八节 变压器的并联运行	48
第九节 变压器的日常运行与维护	52
第十节 特殊用途变压器	58
实验与技能训练五 小型变压器的制作	69
复习与练习	75
第二章 交流异步电动机	86
第一节 三相交流异步电动机的结构和种类	86
实验与技能训练六 小型三相交流笼式异步电动机的拆装	91
第二节 三相交流异步电动机的工作原理	95
实验与技能训练七 笼式三相交流异步电动机的 Y 接线和 Δ 接线及反转试验	101
第三节 三相交流异步电动机的运行原理	105
第四节 三相交流异步电动机的机械特性	107
第五节 三相交流异步电动机的控制	111
第六节 三相交流异步电动机的日常维护	119
实验与技能训练八 笼式三相交流异步电动机的空载测试	126
第七节 单相交流异步电动机的原理和启动	128
第八节 单相交流异步电动机的控制	134
第九节 单相交流异步电动机的常见故障及排除	135

复习与练习	138
第三章 交流异步电动机绕组	146
第一节 交流异步电动机绕组的有关术语	146
第二节 笼式交流异步电动机定子绕组的排列及其展开图	149
第三节 三相交流异步电动机绕组的故障处理	159
第四节 笼式三相交流异步电动机定子绕组的制作与下线	163
实验与技能训练九 线模与下线工具的制作	169
实验与技能训练十 线圈的制作	173
实验与技能训练十一 24 槽 4 极单层链式绕组的下线、端部接线和整形	175
实验与技能训练十二 24 槽 4 极单层同心式绕组的下线和检查	178
实验与技能训练十三 36 槽 4 极单层交叉式绕组的下线和浸漆	180
第五节 单相交流异步电动机的绕组	183
复习与练习	186
第四章 直流电机	190
第一节 直流电机的结构、分类和铭牌值	190
第二节 直流电机的工作原理	197
第三节 直流电机的空载磁场和电枢反应	200
第四节 直流发电机及运行特性	204
第五节 直流电动机及机械特性	208
第六节 直流电动机的控制	211
复习与练习	216
第五章 同步电机	222
第一节 同步电机的特点和分类	222
第二节 同步电机的结构和工作原理	223
第三节 同步发电机的励磁系统	227
第四节 同步电动机的启动	229
第五节 同步发电机的并联运行	230
复习与练习	232
第六章 特种电机	234
第一节 伺服电动机	234
第二节 测速发电机	236
第三节 步进电动机	238
第四节 微型同步电动机	241
复习与练习	245

第一章 变 压 器

变压器是利用电磁感应原理，将某一数值的交流电压变换为同频率的另一数值的交流电压的电气设备。除了在电力系统中用于升高或降低电压的电力变压器外，还有具有稳压、陡降、移相、改变波形等特性的变压器，如在测量系统和自动控制系统中使用的互感器，可以将大电流变为小电流或将高电压变为低电压；用于实验室的调压变压器，可任意调节电压；用于电弧焊接的电焊变压器，具有陡降的输出特性；用于电子扩音电路的变压器，可进行阻抗匹配；脉冲变压器可以传送脉冲波等。

本章的学习要求是：

1. 了解变压器的结构、各部分的名称及作用。
2. 理解变压器的工作原理、外特性；理解变压器的效率随着负载变化的规律，掌握变压器的短路和空载试验。
3. 理解变压器绕组极性的判别方法，掌握三相变压器绕组的连接。
4. 理解变压器并联运行的作用和条件，掌握并列与解列的操作；了解变压器的日常维护。
5. 了解自耦变压器、互感器、电焊变压器等特殊用途的变压器的使用及使用注意事项。

第一节 变压器的结构和分类

简单电力系统如图 1-1 所示。为了减小电力系统中输电导线的截面积和减小输电线路的功率损耗，世界各国在电能的输送与分配方面都朝建立高电压、大功率的电力网

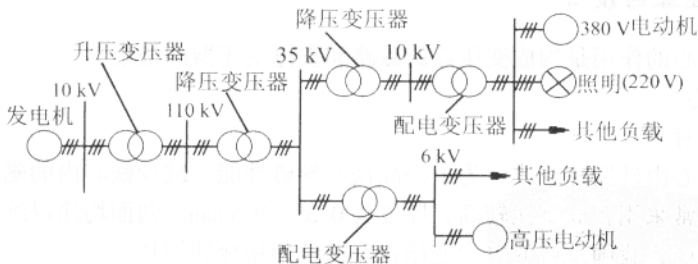


图 1-1 电力系统示意图

系统方向发展。发电机本身由于其结构及所用绝缘材料的限制，不可能直接产生这样的高电压，因此在向电网输电时必须首先利用变压器将电压升高；高压电能输送到用电地区后，为了保证用电安全和符合用电设备的电压等级要求，还必须利用变压器将电压降低。

电力系统中使用的升压变压器、降压变压器和配电变压器统称为电力变压器。电力变压器的特点是运行电压高、容量大。

电力变压器的主要组成部分是铁心、绕组；为了解决散热、绝缘、密封、安全等问题，还需要油箱、绝缘套管、储油柜、冷却装置、压力释放阀、安全气道、温度计和气体继电器等附件。常用三相变压器的外形如图 1-2 所示。

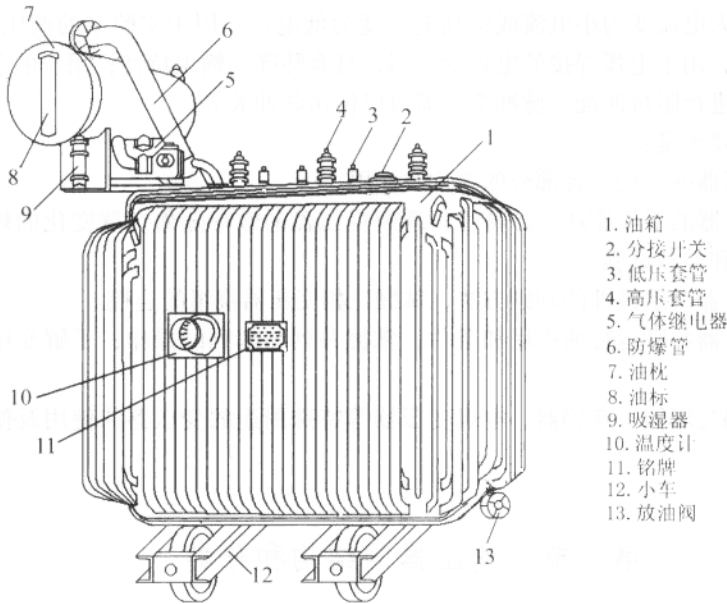


图 1-2 三相变压器外形

一、变压器的铁心

变压器铁心的作用是构成变压器的磁路和支撑变压器的绕组。

(一) 铁心

① 铁心的材料

变压器铁心由硅钢片组成。为了提高铁心导磁性能，减少铁心内的磁滞损耗和涡流损耗，铁心通常采用含硅量比较高，厚度为 0.35 ~ 0.5 mm，两面均涂以绝缘漆的硅钢片叠装而成。目前，我国生产的电力变压器普遍地使用冷轧钢片。

② 铁心的结构

铁心由铁心柱和铁轭两部分组成，绕组装在铁心柱上，由铁轭形成闭合磁路。铁心

可分为心式结构和壳式结构两种。

1. 心式铁心 心式铁心变压器也叫内铁式变压器，如图 1-3 所示，其特点是铁心柱被绕组包围。心式铁心变压器绕组和铁心之间的绝缘处理较方便，硅钢片的装配容易，硅钢片用量少，适用于容量大、电压高的电力变压器。

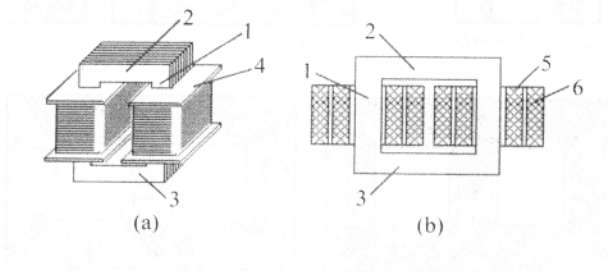


图 1-3 心式变压器铁心

(a) 外形图 (b) 剖面图

1. 铁心柱 2. 上铁轭 3. 下铁轭 4. 绕组
5. 低压绕组 6. 高压绕组

2. 壳式铁心 壳式铁心变压器也叫外铁式变压器，如图 1-4 所示，其特点是铁心作为壳体用来包围绕组。外铁式变压器的机械强度较好，铁心容易散热，但硅钢片的用量较多，制造较为复杂。小型干式变压器多采用这种形式。

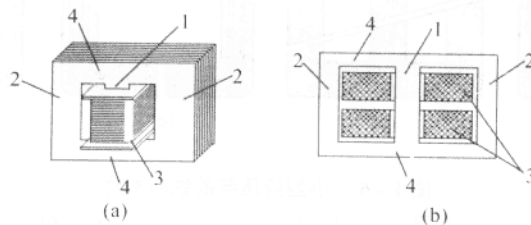


图 1-4 壳式变压器铁心

(a) 外形图 (b) 剖面图

1. 铁心柱 2. 分支铁心柱
3. 绕组 4. 铁轭

③ 铁心叠片的形成

1. 条状铁心叠片 大、中型变压器的铁心，一般都将硅钢片裁成条状，采用交错叠片的方式叠装而成。叠装时使各层硅钢片的接缝互相错开，这样可以减少气隙和磁阻，如图 1-5 (a)、(b) 所示。近年来在大型电力变压器中多采用高磁导率、低损耗的冷轧硅钢片，由于冷轧硅钢片顺着辗压方向才有磁导率高、损耗小的性能，因此采用斜切法下料，叠片方法如图 1-5 (c) 所示。

小型变压器为了简化装配工艺和减小气隙，常采用 E 字形、F 字形、C 字形和日字形冲片交替叠装而成。这些冲片的形状如图 1-6 所示。

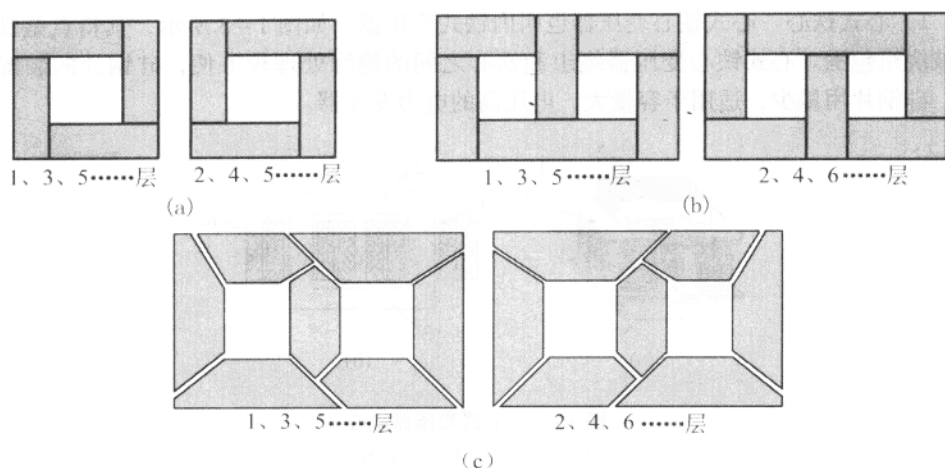


图 1-5 条状铁心叠片

(a) 单相叠装式 (b) 三相直缝叠装式 (c) 三相斜接缝叠装式

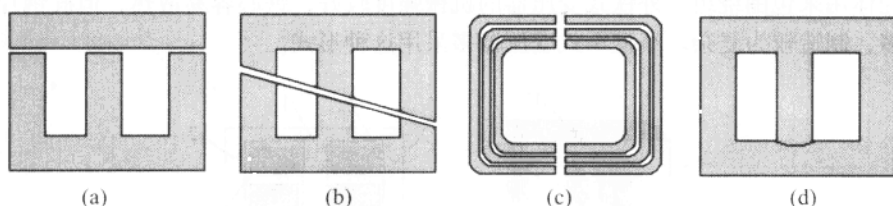


图 1-6 小型变压器的铁心冲片

(a) E 字形 (b) F 字形 (c) C 字形 (d) 日字形

2. 渐开线式铁心 从 20 世纪 60 年代开始出现渐开线铁心结构。它的铁心柱用预先成型的渐开线形状的冷轧硅钢片插装压合而成，铁轭用成卷的带状冷轧硅钢片连续卷绕而成，再用长螺杆等夹紧附件把铁轭和铁心柱对接紧固，如图 1-7 所示。这种渐开线式铁心叠片，各片形状相同，很适合机械化流水线生产，而且具有体积小、用料省、质量轻和铁损耗少等优点。

④ 铁心截面形式

小型变压器铁心柱的截面是方形或长方形的，如图 1-8 (a) 所示。大型变压器为了充分利用空间，铁心柱的截面通常是梯形截面，如图 1-8 (b) 所示。为了改善铁心内部的散热条件，当铁心柱截面较大时，中间留有油道，如图 1-8 (c) 所示。

(二) 磁路

在电机和变压器中，为了得到较强的磁场，通常利用磁导率很高的铁磁材料把电流所产生的磁通集中在限定的空间内。这种集中的磁通所经过的路径称为磁路。变压器的磁路如图 1-9 所示。

二、变压器的绕组

绕组是变压器的电路部分,绕组的作用是作为电流的载体,产生磁通和感应电动势。变压器中,接到高压电网的绕组称高压绕组,接到低压电网的绕组称低压绕组。按高、低压绕组在铁心柱上放置方式的不同,绕组有同心式和交叠式两种。

(一) 同心式绕组

同心式绕组是将高、低压绕组同心地套在铁心柱上。为了便于绝缘,一般低压绕组放在里面,高压绕组放在外面,如图 1-10 所示。由于低压绕组引出线的制作工艺复杂和低压绕组产生的热量较多,也

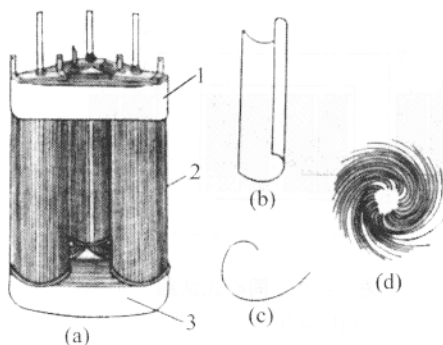


图 1-7 渐开线铁心

(a) 渐开线铁心结构 (b) 铁心叠片
(c) 渐开线形状 (d) 铁心柱截面
1. 上铁轭 2. 铁心柱 3. 下铁轭

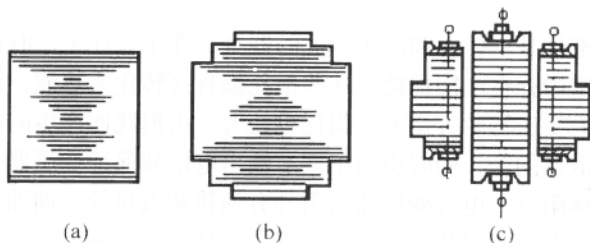


图 1-8 铁心柱截面

(a) 方形截面 (b) 梯形截面 (c) 带油道截面

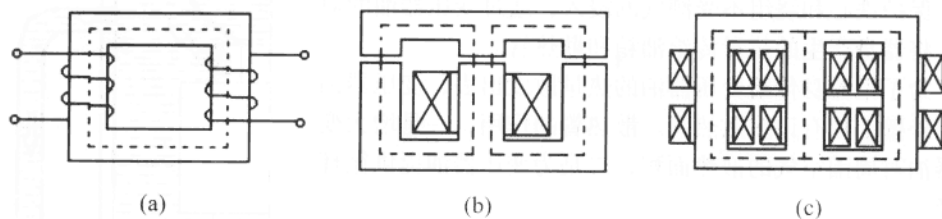


图 1-9 变压器的磁路

(a) 心式变压器的磁路 (b) 壳式变压器的磁路 (c) 三相变压器的磁路

有将大电流的低压绕组安放在高压绕组外面的。

同心式绕组具有结构简单、制造方便的特点,国产变压器多采用这种结构。

(二) 交叠式绕组

交叠式绕组又称饼式绕组,高压绕组和低压绕组是互相交叠放置的,如图 1-11 所

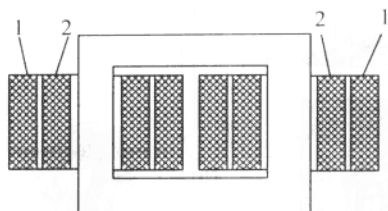


图 1-10 同心式绕组

1. 高压绕组 2. 低压绕组

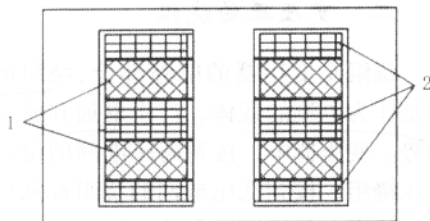


图 1-11 交叠式绕组

1. 高压绕组 2. 低压绕组

示。为了便于绝缘，一般在靠近上、下铁轭的位置安放低压绕组，中间安放高压绕组。交叠式绕组的主要优点是漏抗小，机械强度高，引线方面。由于高、低压绕组之间的绝缘处理工艺比较复杂，交叠式绕组一般用于电炉变压器、电焊变压器等低电压、大电流的变压器。

三、变压器的附件

变压器的主要部件是由铁心和绕组构成的器身，变压器在工作时铁心中存在磁滞损耗、涡流损耗，绕组中存在电能损耗，这些损耗都直接转化为热能，使变压器的器身发热，温度升高。电力变压器的容量大，损耗也较大，由损耗而产生的热量也较大，为了解决电力变压器的散热问题，同时也为了调节输出电压和保证变压器安全运行等，需要一些附属部件，简称附件。电力变压器的附件有油箱和散热管、储油柜、安全气道和压力释放阀、气体继电器、测温装置、绝缘套管、分接头开关等。

(一) 油箱和散热管

油箱的作用是容纳变压器油。油箱里装满了变压器油，变压器的器身浸在变压器油中。变压器油的作用是：绝缘；保护铁心和绕组不受潮气的浸入；通过变压器油的对流，将器身产生的热量传给油箱和散热管。

为了把器身传给变压器油的热量散发出去，变压器油箱的外壁上焊有许多散热管。散热管的作用，一是增大变压器油对周围空气的散热面积，二是为变压器油提供循环路径。

变压器油的循环路径如图 1-12 所示，器身发热使变压器油变热，密度减小；热油在箱内上升，进入散热管与空气进行热交换；油流经散热管散热后温度下降，密度增加，它沿散热管下降，重新进入油箱，再次去冷却器身。以上循环过程是靠变压器油受热后密度变化而自然完成的，因此这种冷却方式称为自然油循环冷却。

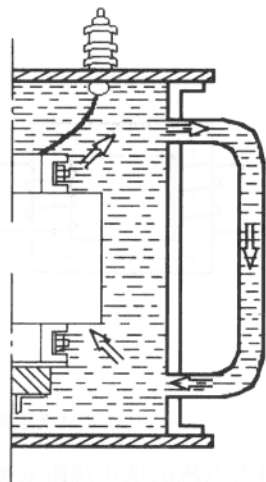


图 1-12 变压器油
自然循环路径

(二) 储油柜

储油柜也称为油枕，其作用是根据温度的变化，适应变压器油的热胀冷缩，随时将油充满整个油箱，防止器身与空气接触和潮气侵入。油枕与油箱连通，当变压器油因温度升高、体积增大时，变压器油排入油枕，使油箱不致因变压器油热膨胀时压力增大而被损坏；当变压器油因温度下降、体积减小时，油枕中的变压器油就补充到油箱中，保证油箱中充满变压器油，避免因温度降低使空气进入油箱。

为了使油枕中的空气保持干燥，在油枕进气管的端部装了一个呼吸器（吸湿器），空气在进入油枕之前先经呼吸器吸潮处理，去除空气中的水分。呼吸器中放有变色硅胶（浸过氯化钠或氯化钴），发现硅胶受潮变色（由蓝变红）要及时更换。

储油柜的侧面装有油标，可观察油面的高低。

(三) 安全气道和压力释放阀

安全气道又称防爆管，其作用是：当变压器内部发生故障而产生大量气体，内部压力超过 50 kPa 时，油和气体冲破防爆膜喷出，从而避免油箱爆炸引起更大的危害。如图 1-13 所示，安全气道装在油箱顶盖上，它是一个长钢筒，出口处有一块厚度约 2 mm 的密封玻璃板（防爆膜），玻璃上划有几道缝。

现在生产的电力变压器已将安全气道改用压力释放阀，其结构如图 1-14 所示。压力释放阀的动作压力为 53.9 kPa，关闭压力为 29.4 kPa，动作时间不大于 2 ms。动作时膜盘被顶开释放压力，平时膜盘靠弹簧拉力紧贴阀座（密封圈），起密封作用。

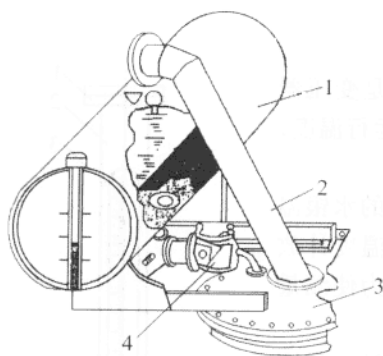


图 1-13 油枕、安全气道和气体继电器

1. 油枕 2. 安全气道 3. 油箱
4. 气体继电器

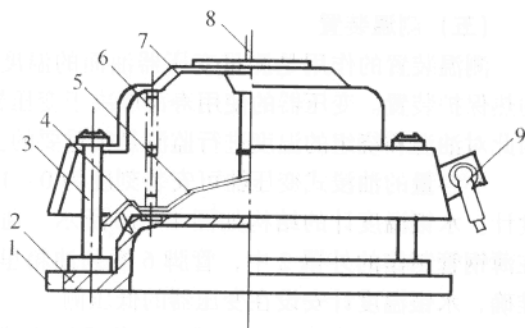


图 1-14 压力释放阀结构

1. 安装孔 2. 阀座 3. 螺杆 4. 密封垫 5. 膜盘
6. 弹簧 7. 护罩 8. 标志杆 9. 接线盒

(四) 气体继电器

气体继电器的作用是：当变压器内部发生故障时，发出信号或切断变压器的电源，它是变压器的主要保护装置。气体继电器装在油箱与储油柜之间的管道中，其外形和结构如图 1-15 所示。

当变压器发生轻微故障使器身过热，变压器油分解产生气体。气体进入继电器内，浮筒动作使其中的轻微故障水银开关接通，发出报警信号。此时应立即将继电器中的气

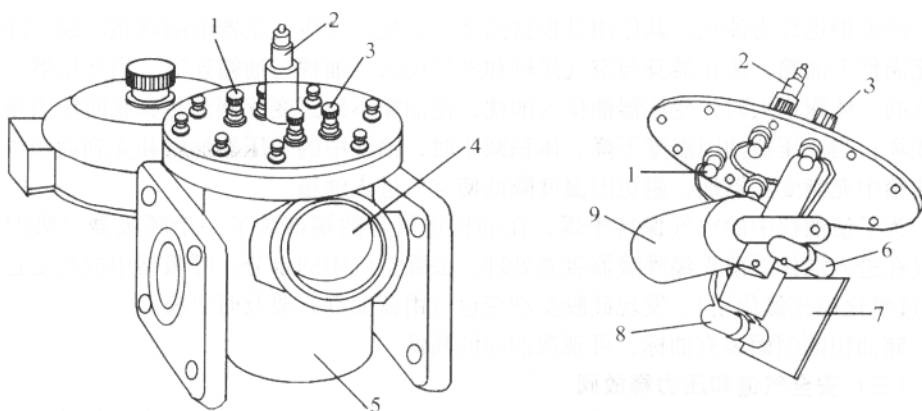


图 1-15 气体继电器的外形和结构

1. 跳闸回路接线柱 2. 放气孔 3. 信号回路接线柱 4. 观察窗 5. 外壳
6. 轻微故障水银开关 7. 挡板 8. 严重故障水银开关 9. 浮筒

体放出检查，若系无色、不可燃的气体，变压器可继续运行；若系有色、有焦味、可燃的气体，则应立即停电检查。当变压器发生短路等严重故障时，变压器油膨胀并产生大量气体，油流冲破挡板，挡板偏转使严重故障水银开关接通，切断变压器电源并发出报警信号。

(五) 测温装置

测温装置的作用是测量变压器油面的温度，它是变压器的热保护装置。变压器的使用寿命取决于变压器的运行温度，因此对油温和绕组的温度进行监测是很重要的。

小容量的油浸式变压器可安装刻度为 $0 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 的水银温度计。水银温度计的结构如图 1-16 所示。通常将温度计放在薄钢管制作的外罩 2 中，管脚 6 插到油箱里面。为使测量准确，水银温度计安设在变压器的低压侧。

在容量较大的电力变压器上应装设压力式温度计，如图 1-17 所示。压力式温度计由测温管、金属软管和表头三部分组成。表头实际上是一个压力表，装在油箱壁上便于观察的位置。测温管内充满某种液体（例如氯化甲烷或乙醚等），测温管通过金属软管与表头连接。测温管固定在油箱顶盖上的一个开口套筒内，套筒内注满变压器油，如图 1-17 (b) 所示。当变压器的油温变化时，测温管内液体的压力也跟着变化，表头的指针（黑针）偏转，指示出相应的温度值。指针的转轴还可带动两对接点，调节装在表头上的最高温度指针（黄针、红针）的位置就可以改变接点闭合时的温度。当油温

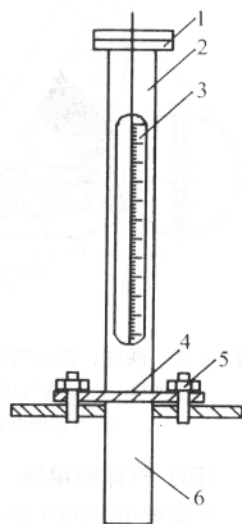


图 1-16 水银温度计

1. 上盖 2. 外罩 3. 温度
度计划度 4. 法兰
5. 螺杆 6. 管脚