

高等职业教育机电类专业教学改革规划教材

电机及应用

DIANJI JI YINGYONG

李付亮 欧仕荣 主编

高等职业教育机电类专业教学改革规划教材

电机及应用

主 编 李付亮 欧仕荣
副主编 阮湘梅 祖国建 何 瑛
参 编 李文进 杨 明
主 审 庾朝永



机械工业出版社

本书是高等职业教育机电类专业教学改革规划教材,遵从高职教育的特点,注重专业技能的培养。本书以工作为导向,按模块式教学需求编写。本书注重设备的选用、设备的运行管理、设备的控制(或试验)和设备的维护,以此培养学生的工作意识。

全书分4个模块,共15个学习情境,主要内容包括变压器的选用、运行管理、试验和维护;三相异步电动机的选用、运行管理、控制和维护;直流电机的选用、运行管理、控制和维护;同步电机的选用、运行管理和同步发电机的维护。

本书可作为高职高专院校小型水电站及电力网、电力系统自动化技术、机电一体化技术、电气自动化技术等相关专业的教学用书,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机及应用/李付亮,欧仕荣主编. —北京:机械工业出版社,2011.12
高等职业教育机电类专业教学改革规划教材
ISBN 978-7-111-34842-9

I. ①电… II. ①李…②欧… III. ①电机学—高等职业教育—教材
IV. ①TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第246186号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:边萌 责任编辑:边萌 王琪

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·526千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34842-9

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育机电类专业教学改革规划教材

湖南省高职高专精品课程配套教材

编写委员会

主任委员：成立平

副主任委员：董建国 刘茂福 谭海林 张秀玲

委 员：汤忠义 张若锋 张海筹 罗正斌

欧阳波仪 阳 祎 李付亮 黄新民

皮智谋 欧仕荣 钟振龙 龚文杨

钟 波 何 瑛 何恒波 蔡 毅

谭 锋 陈朝晖 谢圣权 皮 杰

前 言

本书从高职教育的实际情况出发，紧扣高职办学新理念，结合高职教学的基本要求，紧密结合工作实际，以常用电机为载体，突出学生在电机的选用、电机的运行管理、电机的控制（或试验）和电机的维护方面的技能训练。

本书在内容选取及安排上具有以下特点：

1. 通过校企合作，对相关职业岗位进行调研后，归纳出了从事实际电机工作的四个不同岗位，依据工作要求进行了教学内容的选取。

2. 为方便学生自主学习，每个学习情境开始都提出了学习目标，包括知识、专业能力、方法能力和社会能力。

3. 为进一步突出技能培养目标，每个学习情境的内容先安排基础理论，后安排技能培养，并给出了较为详细的技能培养评价要点。

4. 本书采用国家标准规定的图形符号、文字符号、名词与术语。

本书由湖南水利水电职业技术学院李付亮任第一主编，并编写了学习情境1、学习情境2、学习情境3、学习情境4；益阳职业技术学院欧仕荣任第二主编，编写了学习情境9、学习情境10、学习情境11；湖南水利水电职业技术学院阮湘梅任第一副主编，编写了学习情境13、学习情境14、学习情境15；娄底职业技术学院祖国建任第二副主编，编写了学习情境5、学习情境6；湖南理工职业技术学院何璞任第三副主编，编写了学习情境7、学习情境8；湖南水利水电职业技术学院李文进、杨明编写了学习情境12。全书由李付亮统稿，由湖南机电职业技术学院度朝永任主审。

在编写本书的过程中，长沙电机厂、长沙同庆电气信息有限公司等单位给予了大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编写者水平有限，加上时间仓促，书中的错误及疏漏之处难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

模块 1 变 压 器 学习情境 1 变压器的选用

1.1 学习目标	1
1.2 基础理论	1
1.2.1 变压器的基本原理及分类	1
1.2.2 变压器的基本结构	3
1.2.3 变压器的铭牌	9
1.2.4 三绕组变压器	9
1.2.5 自耦变压器	12
1.2.6 分裂变压器	14
1.2.7 仪用变压器	14
1.2.8 变电所主变压器的选用	17
1.3 技能培养	20
1.3.1 技能评价要点	20
1.3.2 技能实训	20

学习情境 2 变压器的运行管理

2.1 学习目标	22
2.2 基础理论	22
2.2.1 单相变压器空载运行的物理现象	22
2.2.2 单相变压器空载运行时的各物理量	29
2.2.3 单相变压器空载运行时的基本方程式、等效电路和相量图	30
2.2.4 单相变压器负载运行时的物理现象及基本电磁关系	31
2.2.5 电量的折算	33
2.2.6 单相变压器负载运行时的基本方程式、等效电路和相量图	34
2.2.7 标么值	37
2.2.8 单相变压器的运行特性	41
2.2.9 三相变压器的磁路系统	45
2.2.10 三相变压器的极性与联结组	46
2.2.11 三相变压器空载运行时的电动势波形	50
2.2.12 变压器的并联运行	52

2.2.13 三相变压器的非正常运行	57
2.3 技能培养	67
2.3.1 技能评价要点	67
2.3.2 技能实训	67

学习情境3 变压器的试验

3.1 学习目标	69
3.2 基础理论	69
3.2.1 变压器的空载试验	69
3.2.2 变压器的短路试验	70
3.2.3 变压器的极性和三相变压器联结组标号的测定	72
3.2.4 三相变压器的空载特性和负载特性试验	75
3.2.5 三相变压器的并联运行试验	76
3.3 技能培养	78
3.3.1 技能评价要点	78
3.3.2 技能实训	78

学习情境4 变压器的维护

4.1 学习目标	79
4.2 基础理论	79
4.2.1 变压器的吊心检修与日常巡视	79
4.2.2 变压器故障的检查及分析方法	81
4.2.3 变压器运行故障的分析及处理	83
4.3 技能培养	88
4.3.1 技能评价要点	88
4.3.2 技能实训	88

模块2 异步电动机

学习情境5 异步电动机的选用

5.1 学习目标	90
5.2 基础理论	90
5.2.1 三相异步电动机的结构	90
5.2.2 三相异步电动机的工作原理	94
5.2.3 三相异步电动机的铭牌	96
5.2.4 三相异步电动机绕组的基本知识	98
5.2.5 三相单层绕组	99
5.2.6 异步电动机的感应电动势	100
5.2.7 异步电动机的磁动势	100
5.2.8 单相异步电动机的原理与结构	101
5.2.9 三相异步电动机的选用	104
5.3 技能培养	108
5.3.1 技能评价要点	108
5.3.2 技能实训	109

学习情境 6 三相异步电动机的运行管理

6.1 学习目标	110
6.2 基础理论	110
6.2.1 三相异步电动机的空载运行	110
6.2.2 三相异步电动机的负载运行	112
6.2.3 三相异步电动机的功率与转矩	121
6.2.4 三相异步电动机的运行特性	123
6.3 技能培养	125
6.3.1 技能评价要点	125
6.3.2 技能实训	125

学习情境 7 异步电动机的控制

7.1 学习目标	127
7.2 基础理论	127
7.2.1 电力拖动基础	127
7.2.2 异步电动机的起动控制	137
7.2.3 异步电动机的调速控制	148
7.2.4 异步电动机的制动与反转控制	158
7.2.5 三相异步电动机电力拖动控制电路设计举例	163
7.3 技能培养	164
7.3.1 技能评价要点	164
7.3.2 技能实训	165

学习情境 8 三相异步电动机的维护

8.1 学习目标	167
8.2 基础理论	167
8.2.1 三相异步电动机的常规维护	167
8.2.2 三相异步电动机的绕组故障及维护	170
8.2.3 三相异步电动机运行中的常见故障分析与处理	172
8.2.4 三相异步电动机基本检测方法	176
8.3 技能培养	178
8.3.1 技能评价要点	178
8.3.2 技能实训	179

模块 3 直流电机

学习情境 9 直流电机的选用

9.1 学习目标	180
9.2 基础理论	180
9.2.1 直流电机的原理与结构	180
9.2.2 直流电机的电枢绕组	185
9.2.3 直流电机的磁场及电枢反应	189
9.2.4 直流电机的感应电动势与电磁转矩	190

9.2.5 直流电动机的选用	190
9.3 技能培养	191
9.3.1 技能评价要点	191
9.3.2 技能实训	191

学习情境 10 直流电机的运行管理

10.1 学习目标	192
10.2 基础理论	192
10.2.1 直流电机的换向	192
10.2.2 直流电机的基本特性	194
10.2.3 直流电机的励磁方式	198
10.2.4 直流发电机的基本方程式	200
10.2.5 直流电动机的基本方程式	201
10.3 技能培养	202
10.3.1 技能评价要点	202
10.3.2 技能实训	202

学习情境 11 直流电动机的控制

11.1 学习目标	203
11.2 基础理论	203
11.2.1 他励直流电动机起动控制	203
11.2.2 他励直流电动机制动控制	205
11.2.3 他励直流电动机调速控制	209
11.2.4 直流电动机电力拖动控制电路设计举例	212
11.3 技能培养	214
11.3.1 技能评价要点	214
11.3.2 技能实训	214

学习情境 12 直流电机的维护

12.1 学习目标	215
12.2 基础理论	215
12.2.1 直流电机换向故障的原因及维护	215
12.2.2 直流电机电枢绕组故障的原因及维护	216
12.2.3 直流电机主磁极绕组、换向极绕组、补偿绕组故障的原因及维护	218
12.2.4 直流电机运行中常见故障的原因及维护	220
12.3 技能培养	223
12.3.1 技能评价要点	223
12.3.2 技能实训	224

模块 4 同步电机

学习情境 13 同步电机的选用

13.1 学习目标	225
13.2 基础理论	225

13.2.1	同步电机的基本原理	225
13.2.2	同步电机的分类及发展概况	226
13.2.3	同步发电机结构简介	227
13.2.4	额定值	237
13.2.5	同步电机绕组的基本知识	237
13.2.6	三相双层绕组	240
13.2.7	同步电机绕组的电动势	243
13.2.8	同步电机绕组的磁动势	250
13.2.9	同步发电机的电枢反应	257
13.2.10	同步电抗	260
13.2.11	同步发电机的电动势方程式、相量图及等效电路	262
13.2.12	同步发电机的选用	266
13.3	技能培养	267
13.3.1	技能评价要点	267
13.3.2	技能实训	268

学习情境 14 同步电机的运行管理

14.1	学习目标	270
14.2	基础理论	270
14.2.1	同步发电机的运行特性	270
14.2.2	同步发电机的并列运行	275
14.2.3	同步发电机的电磁功率和功角特性	279
14.2.4	同步发电机并列运行时有功功率的调节	282
14.2.5	同步发电机并列运行时无功功率的调节	286
14.2.6	同步电机的调相运行及同步电动机	289
14.2.7	磁链守恒原理	296
14.2.8	三相突然短路	297
14.2.9	同步发电机的异常运行	303
14.3	技能培养	313
14.3.1	技能评价要点	313
14.3.2	技能实训	314

学习情境 15 同步发电机的维护

15.1	学习目标	317
15.2	基础理论	317
15.2.1	同步发电机的运行与维护	317
15.2.2	同步发电机的常见故障及对策	321
15.2.3	同步发电机的振荡与失步	325
15.3	技能培养	328
15.3.1	技能评价要点	328
15.3.2	技能实训	329

参考文献	330
------------	-----

模块1 变 压 器

学习情境1 变压器的选用

1.1 学习目标

【知识目标】 掌握变压器的基本工作原理；熟悉变压器的分类方法；熟练掌握变压器各组成部分的名称和作用；熟练掌握变压器铭牌上各技术参数的内涵；了解三绕组变压器、自耦变压器、分裂变压器的结构、工作原理；熟练掌握选择变压器的方法。

【专业能力】 培养学生根据生产实际需要选择变压器的能力。

【方法能力】 培养学生自主学习的能力、分析问题与解决问题的能力、组织实施的能力、电气设备规程规范的使用能力、自我管理能力和沉着应变能力。

【社会能力】 培养学生的安全用电意识、团队协作能力、协调沟通能力和语言表达能力。

1.2 基础理论



1.2.1 变压器的基本原理及分类

变压器是一种静止的电器，它的功能是将一种等级的电压和电流，转变成为同频率的另一种等级的电压和电流。用于在电力系统中传输电能的变压器称为电力变压器。在电源端，电力变压器用于升高电压、减小电流，以降低输电线路上的电能损耗；在受电端，用于降低电压，以满足用电设备的要求。

1. 基本原理

变压器是利用电磁感应定律工作的。最简单的变压器是由两个绕组（又称线圈）、一个铁心组成，如图 1-1a 所示。两个绕组套在同一铁心上。通常，一个绕组接电源，另一个绕组接负载。把前者叫做一次绕组（或一次侧），把后者叫做二次绕组（或二次侧）。

当一次侧接上电压为 u_1 的交流电源时，一次绕组将流过交流电流，并在铁心中产生交变磁通 $\dot{\Phi}$ ，该磁通同时交链一、二次绕组，如图 1-1b 所示。根据电磁感应定律， $\dot{\Phi}$ 在一、二次绕组中产生的感应电动势分别为

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

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

式中 N_1 ——一次绕组匝数；

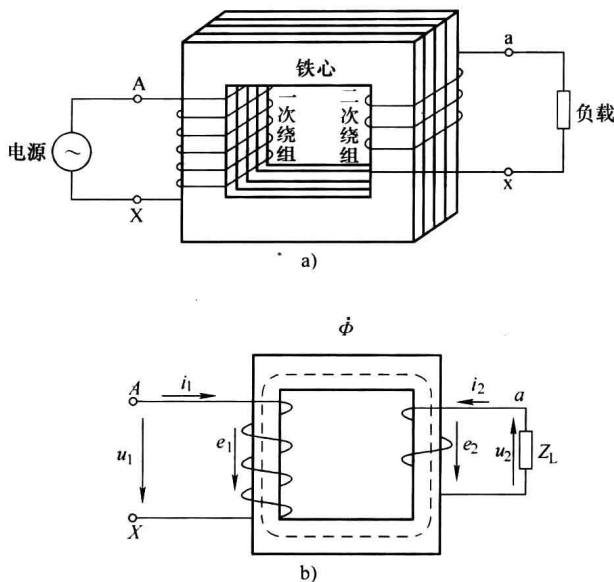


图 1-1 变压器基本结构及原理示意图

a) 变压器基本结构示意图 b) 变压器基本原理示意图

N_2 ——二次绕组匝数。

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

由上式可知，一、二次绕组的匝数不等，是变压的关键；另外，还可以看出，此类变压器一、二次侧之间没有电的直接联系，只有磁的耦合，交链一、二次绕组的磁通是交变磁通，起着联系一、二次侧的桥梁作用，而变压器一、二次侧的频率不变。

如果二次侧接上负载，则在 e_2 的作用下将产生二次电流，并输出功率，说明变压器起了传递能量的作用。

后面将要讲到的各类变压器，尽管其用途和结构可能差异很大，但变压器的基本原理是一样的，且其核心部件都是绕组和铁心。

2. 分类

为了适应不同的使用目的和工作条件，变压器有很多类型，下面择其主要的进行介绍。

按其用途不同，变压器可分为电力变压器（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（电压互感器等）、试验变压器、整流变压器等。

按绕组数目可分为双绕组变压器、三绕组变压器及多绕组变压器。

按相数可分为单相变压器、三相变压器及多相变压器。

按调压方式可分为无励磁调压变压器、有载调压变压器。

按冷却方式不同可分为干式变压器、油浸式变压器、油浸风冷变压器、强迫油循环变压

器、强迫油循环导向冷却变压器等。

1.2.2 变压器的基本结构

这里以中型的油浸风冷变压器为例，扼要地介绍一下其主要部件。图 1-2 和图 1-3 分别为变压器结构的正面及侧面，图 1-4 为变压器器身构造示意图。

变压器主要由以下几部分组成：

- | | | | |
|-----|---|-------------------------------------|----|
| 变压器 | { | 器身 { | 铁心 |
| | | | 绕组 |
| | | 绝缘套管 | |
| | | 引线装置（包括分接开关） | |
| | | 油箱（包括套管、阀门等） | |
| | | 保护装置（包括储油柜、吸湿器、安全气道、气体继电器、净油器、温度计等） | |
| | | 冷却装置（包括散热器、风扇等） | |

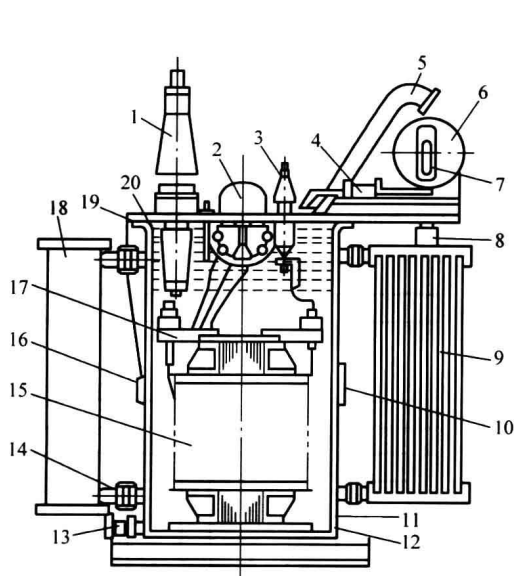


图 1-2 变压器结构（侧面）

- 1—高压套管 2—分接开关 3—低压套管 4—气体继电器 5—安全气道（防爆管） 6—储油柜 7—油位计 8—吸湿器 9—散热器 10—铭牌 11—接地螺栓 12—油样活门 13—放油阀门 14—阀门 15—绕组（线圈） 16—信号式温度计 17—铁心 18—净油器 19—油箱 20—变压器油

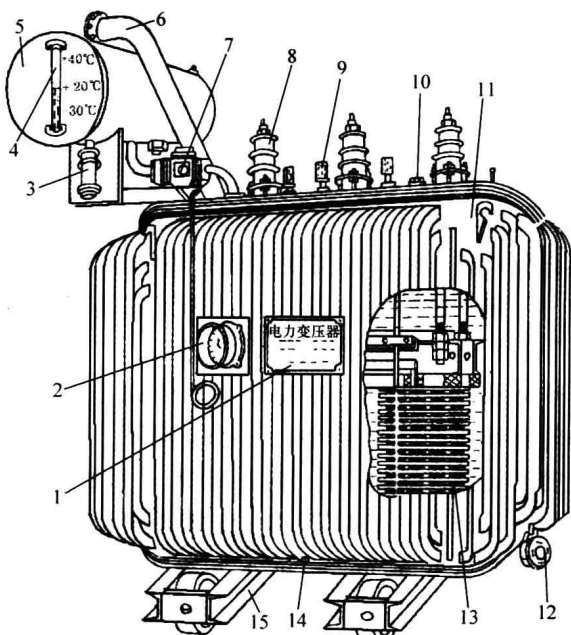


图 1-3 变压器结构（正面）

- 1—铭牌 2—信号式温度计 3—吸湿器 4—油位表 5—储油柜 6—安全气道 7—气体继电器 8—高压绝缘套管 9—低压绝缘套管 10—分接开关 11—油箱 12—放油阀门 13—器身 14—接地 15—小车

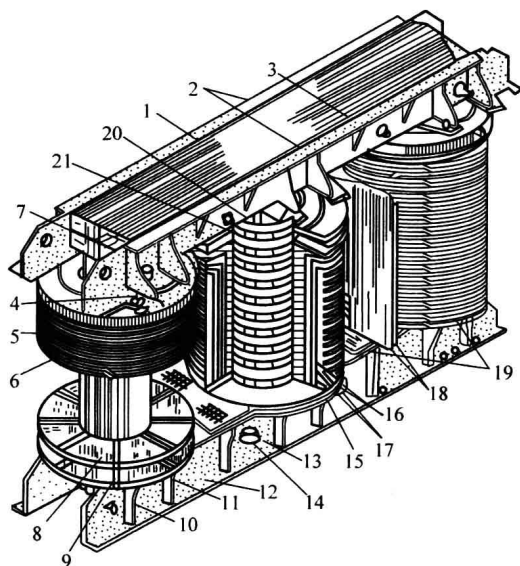


图 1-4 变压器器身构造示意图

- 1—铁轭 2—上夹件 3—上夹件绝缘 4—压锭 5—绝缘纸圈 6—压板 7—方铁
8—下铁轭绝缘 9—平衡绝缘 10—下夹件加强筋 11—下夹件上肢板 12—下夹件
下肢板 13—下夹件腹板 14—铁轭螺杆 15—铁心柱 16—绝缘纸筒 17—油隙撑条
18—相间隔板 19—高压绕组 20—角环 21—低压绕组

下面对变压器各部分逐一介绍。

1. 铁心

铁心用以构成耦合磁通的磁路，通常用 0.35mm 或 0.5mm 厚的硅钢片叠成。套绕组的部分叫铁心柱，连接铁心柱的部分称为铁轭。

采用硅钢片制成铁心是为了提高磁路的导磁性能和减小涡流、磁滞损耗，硅钢片有热轧和冷轧两种，冷轧硅钢片的磁导率比热轧硅钢片高、损耗小。一般情况下，当磁通密度达到 1.45T 时，热轧硅钢片开始饱和，而冷轧硅钢片在 1.7T 时才开始饱和。冷轧硅钢片还具有方向性，即沿轧辗方向有较小的铁损和较高的导磁系数。热轧硅钢片的两面都涂有绝缘漆，以防止片间短路而增大涡流损耗。

在叠装硅钢片时，要把相邻层的接缝错开，如图 1-5a、b 所示，即每层的接缝都被邻层钢片盖掉。然后用穿心螺杆夹紧或用环氧树脂玻璃布带扎紧。这种叠法优点是接缝处气隙小、夹紧结构简单。

铁心柱的截面一般为阶梯形，如图 1-6b 所示，这可以充分利用圆形线圈内的空间，而方形截面（见图 1-6a）已淘汰。铁轭截面有 T 形和多级梯形。较大直径的铁心，叠片间留有油道（见图 1-6c），以利散热。

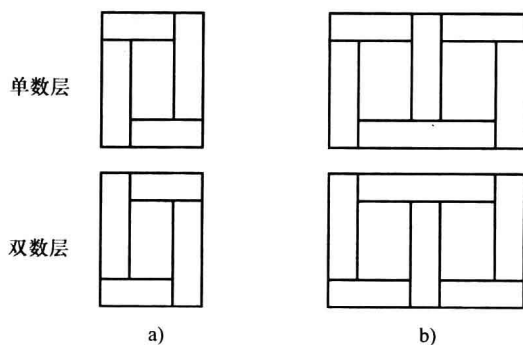


图 1-5 变压器铁心的交替装配

a) 单相变压器 b) 三相变压器

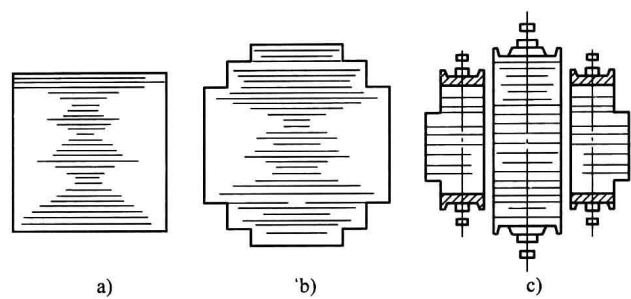


图 1-6 铁心柱截面

a) 方形截面 b) 阶梯形截面 c) 带油道

按照绕组套入铁心柱的形式，铁心可以分为心式和壳式结构两种，如图 1-7，图 1-8 所示。

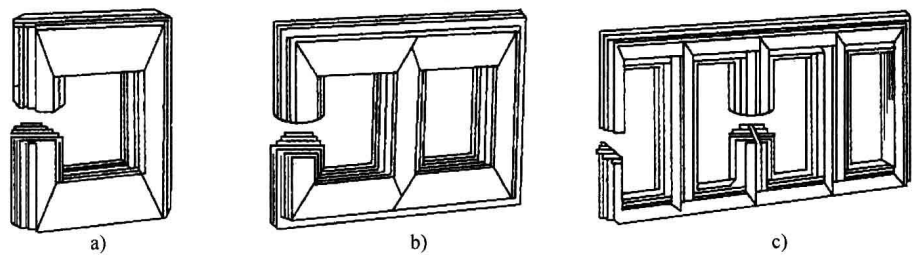


图 1-7 心式变压器的铁心结构

a) 单相双柱式 b) 三相三柱式 c) 三相五柱式

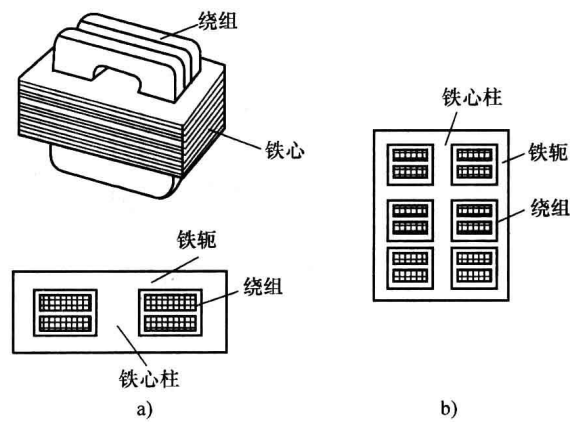


图 1-8 壳式变压器的铁心和绕组

a) 单相壳式变压器 b) 三相壳式变压器

近代大容量变压器，由于受到安装场所空间高度和铁路运输条件的限制，必须降低铁心的高度，常采用五柱式铁心结构，如图 1-7c 所示。这种铁心结构的中央三个铁心柱上套有三相绕组，左右两侧铁心柱为旁轭，旁轭上没有绕组，专门用来作导磁通路。经过计算可知，如果保持铁轭中的磁感应强度不变，则铁轭截面及高度与三相心式变压器比较，可减为原来的 $1/\sqrt{3}$ 。

变压器在运行试验时，为了防止由于静电感应铁心或其他金属构件上产生悬浮电位而造成对地放电，铁心及其构件（除穿心螺杆外）都应接地。

三相心式变压器同一相的一、二次绕组套装在铁心的同一个铁心柱上，如图 1-9b 所示。这种结构比较简单、有较多的空间装设绝缘，装配较容易，且用铁量较少，适用于容量大、电压高的变压器、一般电力变压器均采用心式结构。

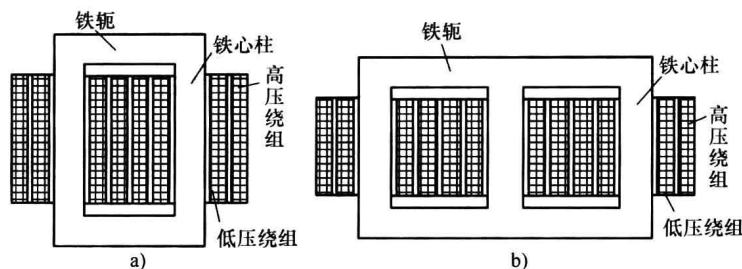


图 1-9 心式变压器的铁心和绕组

a) 单相 b) 三相

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，一般用有电缆纸绝缘的铜线或铝线绕成。为了使绕组便于制造和在电磁力作用下受力均匀以及有良好的机械性能，一般将绕组制成圆形。它们在心柱上的安排方法可有同心式和交叠式两种。电力变压器采用前一种，低压绕组在里，靠近铁心；高压绕组在外。这样放置有利于绕组对铁心的绝缘。

根据绕组绕制方法的不同，同心式绕组可以分为圆筒式、螺旋式、连续式和纠结式等，如图 1-10 所示。

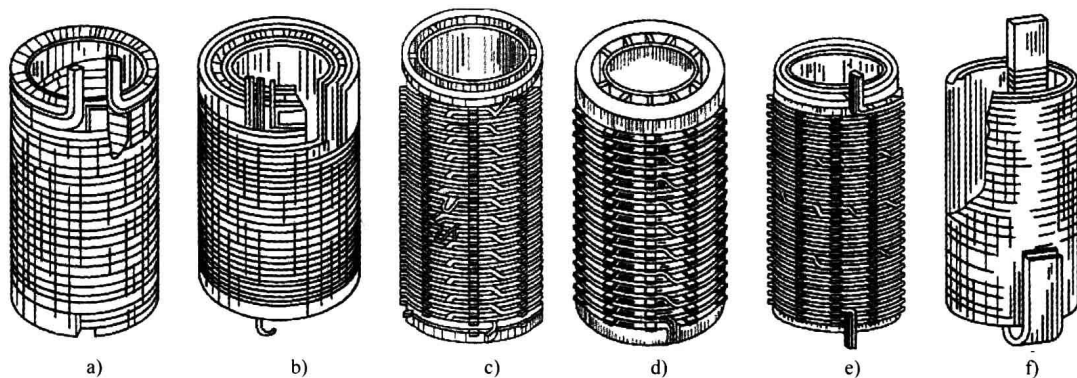


图 1-10 变压器同心式绕组形式

a) 双层圆筒式 b) 多层圆筒式 c) 连续式 d) 纠结式 e) 螺旋式 f) 铝箔筒式

(1) 圆筒（含双层和多层）式绕组绕制方便，但机械强度较差，它是由一根或几根并联的绝缘导线沿铁心柱高度方向连续绕制而成，通常用于每柱容量在 $200\text{kV} \cdot \text{A}$ 以及电压在 10kV 以下的变压器中。

(2) 多层圆筒式绕组线端侧放置静电屏，层间绝缘为电缆纸或油道。一般用于每柱容量为 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以下的高压或低压绕组中。

(3) 连续式绕组是由单根或多根扁漆包线盘绕，沿轴线分若干段绕制成线饼，一般用于容量在 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上、电压为 $35 \sim 110\text{kV}$ 的高压绕组和 $10000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 以上的中压和低压绕组中。

(4) 纠结式绕组与连续式相似,但焊接头较多。通常用于容量在 $31500\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上、电压为 220kV 及以上的大容量高压变压器中,其高压绕组广泛采用纠结式绕组来改善防雷性能。

(5) 螺旋式绕组是由多根扁漆包线沿径向并联排列,然后沿铁心柱轴向像螺纹一样,一匝跟着一匝绕制而成,这时一个线饼就是一匝,当并联导线太多时,可把并联导线沿轴向分成两排,绕成双螺旋式绕组。这种绕组导线截面积大、匝数少、绕组端部连接容易处理,一般用于容量在 $800 \sim 10000\text{kV} \cdot \text{A}$ 、电压在 35kV 以下的大电流变压器的低压绕组中。

(6) 铝箔筒式绕组与多层圆筒式相似,但每一层为一匝,铝箔的宽度等于绕组的高度。常用于中小型变压器中。

几根导线并联起来绕制绕组时要换位。所谓换位,即让各导线在绕制时互换里、外层的位置,目的是为了使各股导线最终阻抗相等,运行时电流分配均匀,从而减少导线中的附加损耗。

交叠式绕组又称饼式绕组,它是高低压绕组分成若干线饼,沿着铁心柱的高度方向交替排列。为了便于绕线和铁心绝缘,一般最上层和最下层放置低压绕组,如图 1-11 所示。交叠式绕组的主要优点是漏抗小、机械强度好、引线方便。这种绕组仅用于壳式变压器中,如大型电炉变压器就采用这种结构。

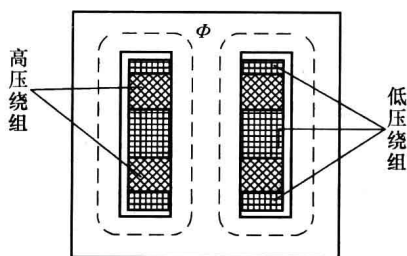


图 1-11 交叠式绕组

3. 绝缘

导电部分之间及导电部分对地都需绝缘。变压器的绝缘包括内绝缘和外绝缘。内绝缘指的是油箱内的绝缘,包括绕组、引线、分接开关的对地绝缘、相间绝缘(又称主绝缘)以及绕组的层间、匝间绝缘(又称纵绝缘);外绝缘指的是油箱外导线出线间及其对地的绝缘。

绝缘套管:绝缘套管是由外部的瓷套和其中的导电杆组成,其作用是使高、低压绕组的引出线与变压器箱体绝缘。它的结构取决于电压等级和使用条件。电压不大于 1kV 时采用实心瓷套管;电压在 $10 \sim 35\text{kV}$ 时采用充气式或充油式套管;电压不小于 110kV 时采用胶纸电容式套管。胶纸电容式及充油式绝缘套管如图 1-12 所示。为了增加表面放电距离,套管外形做成多级伞形。

变压器油:变压器油箱里充满了变压器油,对变压器油的要求是:高的介质强度和低的黏度,高的发火点和低的凝固点,且不含酸、碱、硫、灰尘和水分等杂质。变压器油的作用有两个:加强绝缘和散热。

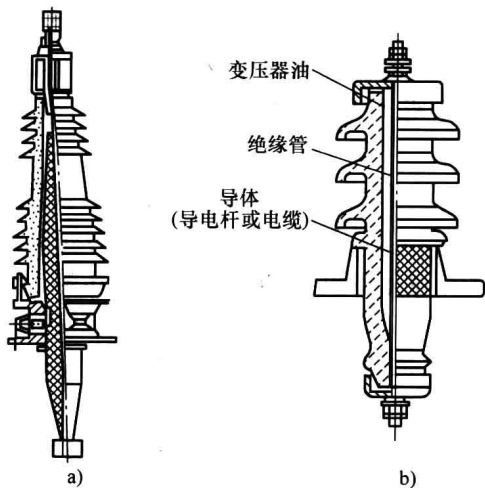


图 1-12 绝缘套管

a) 110kV 胶纸电容式 b) 35kV 充油式

4. 分接开关

变压器常利用改变绕组匝数的方法来进行调压。为此,把绕组引出若干抽头,这些抽头