



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 电机与拖动 基础

刘景峰 主编



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 电机与拖动基础

主 编 刘景峰  
编 写 蒋文平 葛玉娜 谢胜利  
主 审 魏涤非 宋秀生 宋 腾 王世才



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书分为五篇十六章,按照变压器、异步电机、同步电机、直流电机和控制电机的顺序编排;主要内容有变压器,交、直流电机,控制电机的基本结构、工作原理、运行分析及运行特性,交、直流电动机的电力拖动及使用。为了便于教学使用,在本书各章前面提出了教学要求,章后附有小结和思考题与习题,各篇附有阶段测验题。

本书主要作为职业技术学院电力技术类专业或相近专业的教材,也可作为电力类高级技术工人的培训教材,还可供电气类专业工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/刘景峰主编. —北京:中国电力出版社,2006  
教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-4583-5

I. 电... II. 刘... III. ①电机—高等学校:技术学校—  
教材②电力传动—高等学校:技术学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 084889 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 456 千字

印数 0001—3000 册 定价 27.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前言

---

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性，适合国情的先进性和教学适用性；符合职业教育的特点和规律，具有鲜明的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书内容循序渐进，理论联系实际，着力简化各类电机的理论分析，注重各类电机的实际应用和新技术。具有易于讲授、便于自学的特点。

本书分为五篇十六章，按照变压器、异步电机、同步电机、直流电机和控制电机的顺序编排；主要内容有变压器，交、直流电机，控制电机的基本结构、工作原理、运行分析及运行特性，交、直流电动机的电力拖动及使用。为了便于教学使用，在本书各章前面提出了教学要求，章后附有小结和思考题与习题，各篇附有阶段测验题。

全书由保定电力职业技术学院刘景峰副教授主编。书中第五、六、八章由武汉电力职业技术学院蒋文平老师编写，第七、十三章由保定电力职业技术学院谢胜利老师编写，第九至十二章由保定电力职业技术学院葛玉娜老师编写，其余部分均由刘景峰编写。

本书由武汉电力职业技术学院魏涤非副教授、保定天威集团天威保变电气公司宋秀生高级工程师、宋腾工程师以及安徽电气工程职业技术学院王世才老师主审。在本书的编写过程中，得到许多同行和工程技术人员的关心和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的错误和不足之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2006年3月

# 目 录

|    |   |
|----|---|
| 前言 |   |
| 绪论 | 1 |

## 第一篇 变压器

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 变压器的工作原理和基本结构        | 3  |
| 第一节 变压器的基本工作原理           | 3  |
| 第二节 变压器的分类               | 4  |
| 第三节 变压器的基本结构             | 4  |
| 第四节 变压器的铭牌               | 10 |
| 小结                       | 11 |
| 思考题与习题                   | 11 |
| 第二章 单相变压器的运行分析           | 12 |
| 第一节 单相变压器的空载运行           | 12 |
| 第二节 单相变压器的负载运行           | 17 |
| 第三节 变压器的参数测定             | 22 |
| 第四节 变压器的运行特性             | 27 |
| 小结                       | 29 |
| 思考题与习题                   | 29 |
| 第三章 三相变压器及其运行分析          | 31 |
| 第一节 三相变压器的磁路系统           | 31 |
| 第二节 三相变压器的连接组别           | 32 |
| 第三节 三相变压器的并联运行           | 37 |
| 第四节 三相变压器的瞬态过程           | 40 |
| 第五节 三相变压器的不对称运行          | 44 |
| 第六节 三相变压器的使用、维护及常见故障处理方法 | 49 |
| 小结                       | 52 |
| 思考题与习题                   | 53 |
| 第四章 其他变压器                | 54 |
| 第一节 三绕组变压器               | 54 |
| 第二节 自耦变压器                | 56 |

|           |    |
|-----------|----|
| 第三节 电压互感器 | 59 |
| 第四节 电流互感器 | 61 |
| 第五节 电焊变压器 | 64 |
| 小结        | 65 |
| 思考题与习题    | 66 |
| 阶段测验题     | 66 |

## 第二篇 异步电动机

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第五章 三相异步电动机的基本结构和工作原理    | 69  |
| 第一节 异步电动机的用途和分类          | 69  |
| 第二节 异步电动机的基本结构           | 70  |
| 第三节 三相交流绕组               | 73  |
| 第四节 三相旋转磁动势              | 79  |
| 第五节 异步电动机的工作原理           | 83  |
| 第六节 异步电动机的铭牌             | 86  |
| 小结                       | 89  |
| 思考题与习题                   | 90  |
| 第六章 异步电动机的运行分析           | 92  |
| 第一节 异步电动机的空载运行           | 92  |
| 第二节 异步电动机的负载运行           | 96  |
| 第三节 异步电动机的电磁转矩           | 104 |
| 第四节 异步电动机的机械特性           | 110 |
| 第五节 异步电动机的工作特性           | 115 |
| 小结                       | 117 |
| 思考题与习题                   | 120 |
| 第七章 异步电动机的电力拖动           | 122 |
| 第一节 电力拖动基础知识             | 122 |
| 第二节 异步电动机的起动概述           | 126 |
| 第三节 鼠笼式异步电动机的起动          | 127 |
| 第四节 绕线式异步电动机的起动          | 134 |
| 第五节 深槽式和双鼠笼式异步电动机        | 138 |
| 第六节 异步电动机的调速             | 141 |
| 第七节 异步电动机的反转与制动          | 151 |
| 第八节 异步电动机的使用、维护及常见故障处理方法 | 154 |
| 小结                       | 158 |
| 思考题与习题                   | 159 |
| 第八章 单相异步电动机              | 161 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一节 单相异步电动机的基本结构和工作原理 ..... | 161 |
| 第二节 单相异步电动机的起动、反转及调速 .....  | 165 |
| 第三节 单相异步电动机的常见故障处理方法 .....  | 170 |
| 小结 .....                    | 173 |
| 思考题与习题 .....                | 174 |
| 阶段测验题 .....                 | 175 |

## 第三篇 同步电机

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第九章 同步发电机 .....                  | 177 |
| 第一节 同步电机的分类及应用 .....             | 177 |
| 第二节 同步发电机的基本结构 .....             | 178 |
| 第三节 同步发电机的工作原理 .....             | 182 |
| 第四节 同步发电机的励磁方式 .....             | 183 |
| 第五节 同步发电机的并联运行 .....             | 186 |
| 第六节 同步发电机并联运行时有功功率和无功功率的调节 ..... | 189 |
| 小结 .....                         | 193 |
| 思考题与习题 .....                     | 193 |
| 第十章 同步电动机 .....                  | 195 |
| 第一节 同步电动机的工作原理 .....             | 195 |
| 第二节 同步电动机的起动和制动 .....            | 199 |
| 第三节 同步电动机的使用、维护及常见故障处理方法 .....   | 201 |
| 小结 .....                         | 203 |
| 思考题与习题 .....                     | 204 |
| 阶段测验题 .....                      | 204 |

## 第四篇 直流电机

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第十一章 直流电机的工作原理和基本结构 ..... | 207 |
| 第一节 直流电机的工作原理 .....       | 207 |
| 第二节 直流电机的基本结构 .....       | 209 |
| 第三节 直流电机的电枢绕组 .....       | 212 |
| 第四节 直流电机的励磁方式 .....       | 218 |
| 第五节 直流电机的铭牌 .....         | 219 |
| 小结 .....                  | 220 |
| 思考题与习题 .....              | 220 |
| 第十二章 直流电动机的运行分析 .....     | 222 |
| 第一节 直流电机的电枢电动势 .....      | 222 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第二节 直流电机的电磁转矩 .....            | 223 |
| 第三节 直流电机的电枢反应 .....            | 225 |
| 第四节 直流电机的换向 .....              | 228 |
| 第五节 直流电动机的基本方程式 .....          | 233 |
| 第六节 直流电动机的机械特性 .....           | 235 |
| 小结 .....                       | 238 |
| 思考题与习题 .....                   | 239 |
| <b>第十三章 直流电动机的电力拖动</b> .....   | 240 |
| 第一节 直流电动机的起动 .....             | 240 |
| 第二节 直流电动机的调速 .....             | 243 |
| 第三节 直流电动机的反转和制动 .....          | 247 |
| 第四节 直流电动机的使用、维护及常见故障处理方法 ..... | 251 |
| 小结 .....                       | 255 |
| 思考题与习题 .....                   | 256 |
| 阶段测验题 .....                    | 256 |

## 第五篇 控制电机

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第十四章 伺服电动机</b> .....    | 259 |
| 第一节 直流伺服电动机 .....          | 259 |
| 第二节 交流伺服电动机 .....          | 262 |
| 小结 .....                   | 265 |
| 思考题与习题 .....               | 266 |
| <b>第十五章 测速发电机</b> .....    | 267 |
| 第一节 直流测速发电机 .....          | 267 |
| 第二节 交流测速发电机 .....          | 269 |
| 小结 .....                   | 272 |
| 思考题与习题 .....               | 273 |
| <b>第十六章 其他常用控制电机</b> ..... | 274 |
| 第一节 自整角机 .....             | 274 |
| 第二节 旋转变压器 .....            | 278 |
| 第三节 步进电动机 .....            | 281 |
| 小结 .....                   | 287 |
| 思考题与习题 .....               | 288 |
| 阶段测验题 .....                | 288 |
| <b>参考文献</b> .....          | 291 |

# 绪 论

## 一、电机与电力拖动在国民经济中的地位和作用

《电机与拖动基础》课程包括电机原理和电力拖动基础两部分内容。

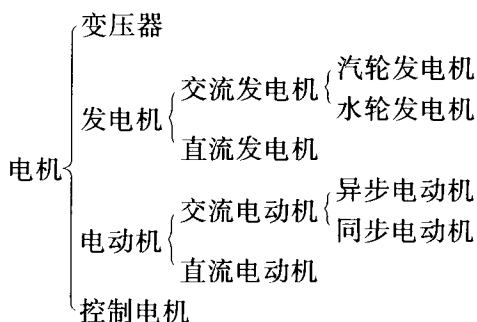
电能是现代最主要的能源。电机是实现电能生产、传输、分配和使用的主要电气设备。按电机的功能不同,可分为变压器、发电机、电动机和控制电机四大类。变压器的作用是升高电压或降低电压,升高电压是为了减小输电线路的电能损耗,实现大容量、远距离、经济地输电,降低电压是为了安全用电;发电机的作用是把机械能转换成电能;电动机的作用是把电能转换为机械能,拖动各种生产机械运转,实现生产过程的机械化、自动化;控制电机的作用是在控制系统中实现信号的变换与传递。

在现代工、农业和交通运输中,为了实现各种生产工艺过程,需要使用各种各样的生产机械。拖动生产机械运转的方法有三种,即气动、液压拖动和电力拖动。由于电力拖动控制简单、调节性能良好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动调节,因此在大多数生产机械中获得广泛应用。所谓电力拖动就是用电动机拖动各种生产机械运转,以实现工农业生产过程的机械化和自动化,从而提高产品质量,改善工人劳动条件,提高生产效率和经济效益。

综上所述,电机与电力拖动在我国四化建设中起着十分重要的作用,与国民经济及科学技术的发展有着密切的关系。

## 二、电机的分类

电机的种类很多,可归纳如下:



## 三、电机的发展概况

解放前,我国电机制造工业非常落后,生产的发电机单机容量在 200kW 以下,电动机容量不超过 132kW,变压器容量不超过 2000kV·A。

解放后,我国电机制造工业迅速发展。1955 年制成 10000kW 水轮发电机,1956 年制成 12000kW 汽轮发电机,1960 年制成 72500kW 水轮发电机和 50000kW 氢冷、100000kW 氢内冷汽轮发电机,1969 年制成 125000kW 双水内冷水轮发电机,1972 年制成 300000kW 双水内冷汽轮发电机和水轮发电机,还制成了电压为 330kV、容量为 360000kV·A 的变压器。目前已能制造 320000kW 水轮发电机、600000kW 汽轮发电机和电压等级为 500kV、容

量为 550000kV·A 变压器。各种电机都有系列产品，并大量采用新材料、新工艺、新技术，电机制造工业正向着高电压、大容量的方向发展。

#### 四、本课程的特点

电机与拖动基础既是一门理论性很强的技术基础课，又具有专业课性质。与电机联系最密切的理论基础课是数学和电工基础。研究电机问题时，经常用到的基本定律有：法拉第电磁感应定律、安培全电流定律、毕奥—萨法尔电磁力定律、基尔霍夫定律、能量守恒定律等。

电机与拖动基础课要讨论的问题，既有单相的又有三相的、既有电的又有磁的、既有时间的又有空间的、既有正弦的又有非正弦的、既有对称的又有不对称的、既有饱和的又有不饱和的、既有静止的又有旋转的等等。因而在分析电机问题时往往采用由简到繁，由特殊到一般的分析方法。为了突出主要矛盾也经常采用忽略次要因素和作某些假定的处理方法，使思路更加清晰，物理概念更加明确。

#### 五、学习本课程的方法

##### 1. 要理论联系实际

在学习电机结构及基本原理的过程中，应十分重视到生产厂实习和电机试验，加强对电机的感性认识，并用课堂上学到的理论分析解决实际中遇到的问题。

##### 2. 要善于抓主要矛盾，使问题简化

在讨论电机某一问题时，有时先忽略次要因素，抓住主要矛盾，运用电磁理论加以分析，从中得出虽是近似但能反映客观规律的结论，使问题的分析简化。

##### 3. 要掌握重点内容

尽管电机种类很多，它们的结构差别很大，运行中的问题也多种多样，但各类电机的基本电磁规律是相似的。因此，要牢固掌握各类电机的基本结构、基本原理、基本电磁规律以及各物理量之间的相互关系。

##### 4. 要注意培养综合分析问题的能力

学习本课程时，要善于对各类电机的结构、原理、性能进行比较，辨别异同，进行综合分析，以加深理解，帮助记忆。

# 第一篇 变压器

变压器是根据电磁感应原理,把一种电压等级的交流电能变换为同频率的另一种电压等级交流电能的静止电气设备。变压器在电力系统中起着传输、分配电能的重要作用。当远距离传输大功率电能时,可以用变压器升高电压,减小电流,以降低输电线路损耗,节省输电线材;在用户处,还可以用变压器降低电压等级以满足配电和安全用电的需要。由于电能从发电厂到用户的传输和分配,需要经过多次变换电压,因此,电力系统中变压器设备总容量大约为发电设备总容量的6~8倍。此外,变压器还广泛应用于电气测量、自动控制、金属冶炼、焊接及其他方面。

下面以双绕组电力变压器为重点,主要讲授变压器的基本结构、工作原理和运行性能,对几种特殊用途的变压器,只作简单介绍。

## 第一章 变压器的工作原理和基本结构

### 教学要求

掌握变压器的基本工作原理和主要部件的结构及其作用,了解变压器的种类和用途及新型变压器的结构特点,理解变压器铭牌数据的含义。

### 第一节 变压器的基本工作原理

#### 一、变压器的原理结构

变压器主要由铁芯和套装在铁芯上的绕组构成,图1-1为一台单相双绕组变压器的原理结构示意图。其中,接到交流电源的绕组称为一次绕组(又称为一次),与负载相接的绕组称为二次绕组(又称为二次)。

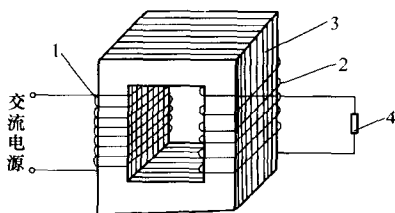


图 1-1 变压器的原理结构示意图

1—一次绕组; 2—二次绕组; 3—铁芯; 4—负载

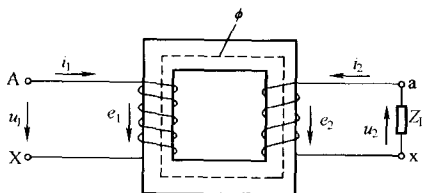


图 1-2 变压器的原理电路图

#### 二、变压器的变压原理

如果将变压器的一次绕组接于电压为  $u_1$  的交流电源,二次绕组两端便输出交流电压  $u_2$ 。那么变压器是如何变压的?下面我们借助图1-2所示的变压器原理电路图进行分析。一次绕组外加交流电压  $u_1$ ,产生交流电流  $i_1$ ,变压器的一次磁动势  $i_1 N_1$  在铁芯中建立交变磁通  $\phi$ ,其频率与电源电压频率相同。铁芯中的交变磁通同时交链一、二次绕

组, 根据电磁感应定律, 一、二次绕组中分别产生感应电动势

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-2)$$

式中  $\frac{d\phi}{dt}$ ——铁芯中磁通变化率;

$N_1$ ——一次绕组匝数;

$N_2$ ——二次绕组匝数。

由电磁感应定律可知, 磁通 $\phi$ 在一、二次绕组的每一匝线圈中感应电动势是相等的, 即一、二次的感应电动势与其绕组的匝数成正比。通常, 变压器的  $N_1 \neq N_2$ , 故  $E_1 \neq E_2$ 。以后将证明,  $U_1 \approx E_1$ ,  $U_2 \approx E_2$ 。因此, 只要改变一、二次绕组的匝数比, 就可达到改变输出电压的目的。若  $N_1 > N_2$ , 则为降压变压器; 若  $N_1 < N_2$ , 则为升压变压器。

如果变压器二次绕组两端接上负载, 则在电动势  $e_2$  的作用下, 二次绕组中将通过电流  $i_2$ , 并向负载供电, 实现了电能的传递。

变压器在传递电能的过程中, 一、二次的电功率基本相等。当一、二次电压不等时, 两侧电流势必不等, 高压侧的电流小, 低压侧的电流大, 故变压器在变换电压的同时, 也改变了电流。

## 第二节 变 压 器 的 分 类

为了适应不同的使用目的和工作条件, 变压器有许多种类。通常根据变压器的用途、绕组数目、相数、调压方式、冷却方式等进行分类。

### 1. 按用途分类

按变压器用途不同可分为电力变压器、仪用变压器、试验用变压器及特殊用途变压器(例如电炉变压器、电焊变压器、整流变压器等)。

### 2. 按绕组数目分类

根据变压器绕组数目不同可分为单绕组(自耦)变压器、双绕组变压器、三绕组变压器和多绕组变压器。

### 3. 按相数分类

按电源相数不同, 变压器可分为单相变压器、三相变压器和多相(例如整流用六相)变压器。

### 4. 按调压方式分类

变压器的调压方式分为无励磁调压和有载调压两种。

### 5. 按冷却方式分类

根据变压器的冷却介质不同分为干式变压器、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、强迫油循环导向冷却)和充气式冷却变压器。

## 第三节 变 压 器 的 基 本 结 构

变压器的种类不同, 其结构也有较大差别。但是, 变压器的主要结构是基本相同的,

一般包括铁芯、绕组和附件。铁芯和绕组是变压器实现电能传递的主体,称为器身。为了保证变压器安全、可靠的运行,变压器还配置油箱、分接开关、绝缘套管、冷却装置、安全保护装置、检测装置等附件。下面仅以图 1-3 所示的油浸式电力变压器为例简单介绍主要结构部件。

### 一、铁芯

#### 1. 铁芯的作用

铁芯是变压器的磁路部分,为耦合一、二次绕组的磁通提供导磁性能好、磁阻小的闭合路径。铁芯还是器身的骨架,用来支撑和固定绕组。

#### 2. 铁芯的材料

为了提高磁路的导磁性能、减小交变磁通在铁芯中产生的磁滞损耗和涡流损耗,变压器的铁芯通常采用  $0.23 \sim 0.35\text{mm}$  厚、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠成。硅钢片分冷轧和热轧两种,冷轧硅钢片又分为有取向和无取向两类。变压器铁芯一般采用有取向的冷轧硅钢片,这种硅钢片沿轧碾方向有较高的导磁性能和较小的损耗。

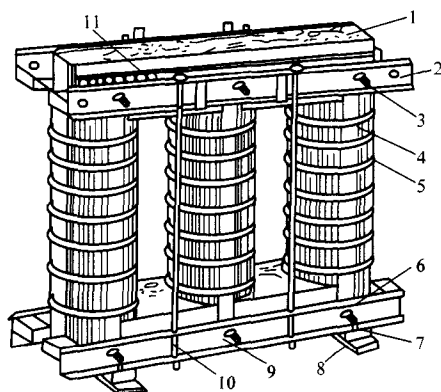


图 1-4 三相三柱式变压器的铁芯结构

- 1—上铁轭; 2—上夹件及其绝缘;
- 3—夹紧螺杆及绝缘管; 4—铁芯柱;
- 5—玻璃绑扎带; 6—下夹件及其绝缘;
- 7—木垫块; 8—垫脚及其绝缘; 9—下铁轭;
- 10—拉紧螺杆; 11—接地片

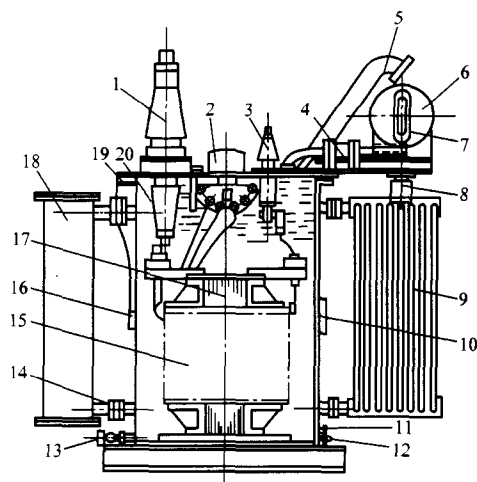


图 1-3 油浸式电力变压器结构示意图

- 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; 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—活门; 15—绕组; 16—信号温度计;
- 17—铁芯; 18—净油器; 19—油箱; 20—变压器油

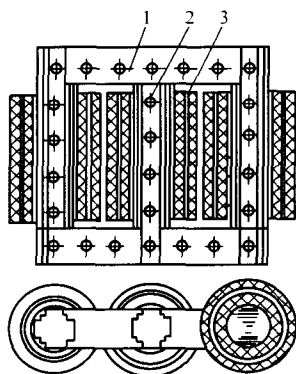
#### 3. 铁芯的结构型式

变压器的铁芯是框形闭合结构,主要由铁芯柱、铁轭和夹紧装置等组成。图 1-4 所示为三相三柱式变压器的铁芯结构。其中套装绕组的部分称为铁芯柱,不套绕组只起闭合磁路作用的部分称为铁轭。

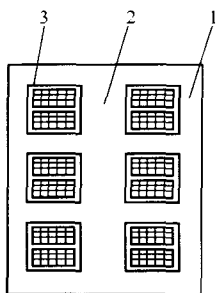
叠片式铁芯的结构型式分为心式和壳式两种。心式铁芯结构的变压器(简称心式变压器),其铁芯被绕组包围着,如图 1-5 (a) 所示。心式变压器结构简单、绕组的装配和绝缘也比较容易,国产电力变压器的铁芯主要采用心式结构。壳式铁芯结构的变压器(简称壳式变压器),它的特点是铁芯不仅包围着绕组的顶端,而且包围着绕组的侧面。壳式变压器的机械强度好,但制造复杂、铁芯材料消耗较多,只在一些特殊变压器中采用,其结构示意图如

图 1-5 (b) 所示。

铁芯叠片的叠装采用交叠式,使相邻两层叠片的接缝相互错开,以减小接缝间隙,降低



(a)

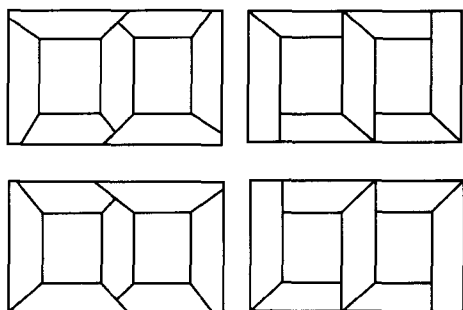


(b)

图 1-5 心式和壳式铁芯结构示意图

(a) 三相心式铁芯; (b) 三相壳式铁芯

1—铁轭; 2—铁芯柱; 3—绕组



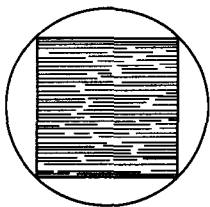
(a)

(b)

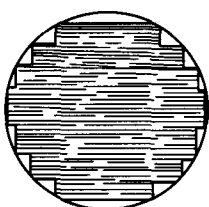
图 1-6 三相铁芯叠片叠积图

(a) 斜接缝; (b) 半直半斜接缝

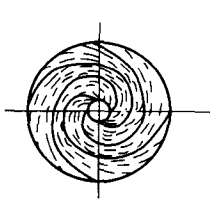
磁阻和励磁电流。由于冷轧硅钢片顺着碾轧方向的导磁性能最好, 为了减小转角处的附加损



(a)



(b)



(c)

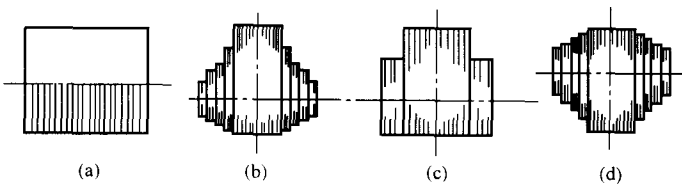
图 1-7 铁芯柱的截面形状

(a) 矩形截面; (b) 多级梯形截面; (c) 圆形截面

耗, 通常采用  $45^\circ$  斜接缝或半直半斜接缝, 如图 1-6 所示。

铁芯柱的截面形状如图 1-7 所示。从结构上看, 铁芯柱的截面形状应与绕组的形状相适应。小型变压器的绕组为矩形, 大型变压器的绕组为圆筒形, 铁芯柱截面应近于圆形, 一般做成多级梯形, 级数越多, 截面越接近圆形, 如图 1-7 (b) 所示。随着铁芯制造技术的不断提高, 为了充分利用绕组内圆的空间, 近年来出现了渐开线形铁芯和卷铁芯, 其铁芯柱截面可做成圆形, 如图 1-7 (c) 所示。

铁芯柱截面也为矩形, 如图 1-7 (a) 所示。大中型变压器的绕组为圆筒形, 铁芯柱截面应近于圆形, 一般做成多级梯形, 级数越多, 截面越接近圆形, 如图 1-7 (b) 所示。随着铁芯制造技术的不断提高, 为了充分利用绕组内圆的空间, 近年来出现了渐开线形铁芯和卷铁芯, 其铁芯柱截面可做成圆形, 如图 1-7 (c) 所示。



(a)

(b)

(c)

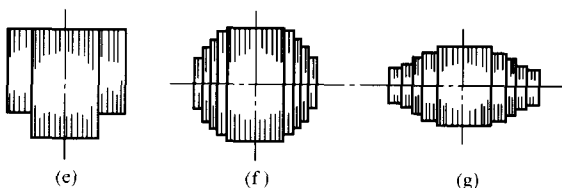
(d)

铁轭的截面有矩形、T 形、多级圆形等几种, 如图 1-8 所示。

## 二、绕组

### 1. 绕组的作用

绕组是变压器的电路部分, 通过电磁感应实现交流电能的传递。



(e)

(f)

(g)

图 1-8 铁轭的截面形状

(a) 矩形截面; (b) 倒多级 T 形截面; (c) 倒 T 形截面; (d) 正多级 T 形截面; (e) 正 T 形截面; (f) 多级圆形截面; (g) 多级椭圆形截面

## 2. 绕组的材料

变压器的绕组一般用绝缘铜线或绝缘铝线绕制而成。小容量配电变压器的绕组常采用漆包铜线，大中型变压器的绕组多采用纸包或纱包铜线。

## 3. 绕组的结构型式

按高、低压绕组在铁芯柱上放置方式的不同，绕组可分为同心式和交叠式两种。

同心式绕组的排列方式如图 1-9 (a) 所示，其高、低压绕组同心地套装在铁芯柱上。为了便于绝缘，通常把低压绕组装在里面，高压绕组装在外面，中间用绝缘纸筒隔开。交叠式绕组的排列方式如图 1-9 (b) 所示，其一次、二次绕组均分成若干线饼，沿着铁芯柱高度方向交替排列，这种绕组主要用于电炉变压器。由于同心式绕组结构简单、制造方便，国产电力变压器均采用此种绕组。

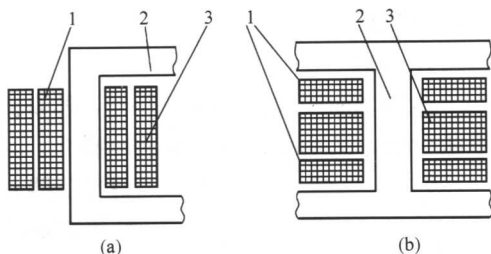


图 1-9 绕组的排列

(a) 同心式；(b) 交叠式

1—低压绕组；2—铁芯；3—高压绕组

根据绕组绕制方法的不同，同心式绕组又分为圆筒式、连续式、螺旋式和纠结式等几种型式，如图 1-10 所示。

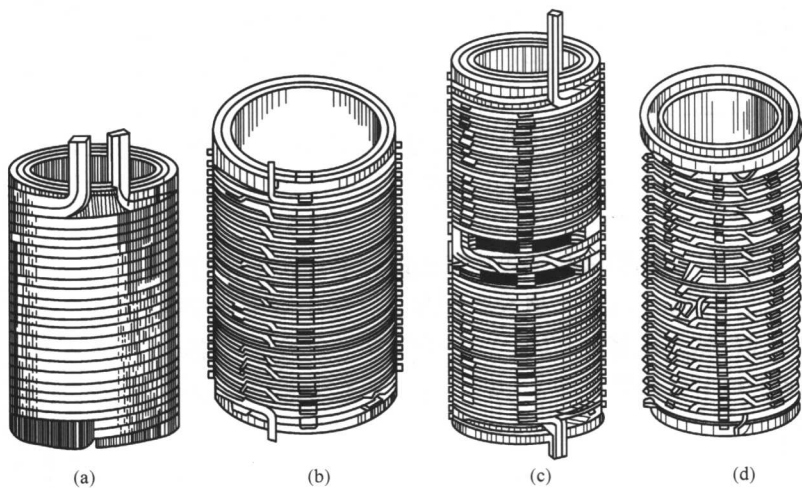


图 1-10 同心式绕组的几种型式

(a) 圆筒式；(b) 连续式；(c) 螺旋式；(d) 纠结式

圆筒式绕组是最简单的一种型式，以它作为低压绕组时，因电流较大，通常用单根或多根扁导线绕制成双层圆筒式；作高压绕组时，因电流较小，匝数较多，则用圆导线绕成多层圆筒式。连续式绕组的特点是把绕组分成若干线饼，沿铁芯高度分布，线饼之间没有焊接头，而是“连续”绕制。螺旋式绕组通常用多根扁导线并联绕制，沿着径向排列，一匝接着一匝，整个绕组像螺旋一样。纠结式绕组的线匝不是依次排列，而是前后交叉纠结，目的是增加线饼之间的等效电容，以改善冲击电压作用时绕组上的电压分布，防止绝缘击穿。

## 4. 绕组的绝缘

绕组的绝缘分为主绝缘和纵绝缘两种。主绝缘是指绕组与铁芯、油箱等接地部分之间的

绝缘,高、低压绕组之间的绝缘以及各相绕组之间的绝缘。纵绝缘主要是指绕组匝间、层间、段间的绝缘。油浸式电力变压器所使用的绝缘材料包括变压器油、电缆纸、电话纸、绝缘纸板、白布带、白绸布、木材、酚醛压制品、浸渍漆等。

### 三、附件

油浸式电力变压器的附件主要包括油箱、分接开关、绝缘套管、冷却装置、安全保护装置、检测装置等。

#### 1. 油箱

油箱是油浸式变压器的外壳,器身就放在充满变压器油的油箱内。变压器油既是器身的绝缘介质,又是冷却器身的散热媒介。油箱由钢板焊接而成,分为桶式和钟罩式两种。中小型变压器多采用桶式油箱。为了检修方便,大型变压器宜采用钟罩式油箱。

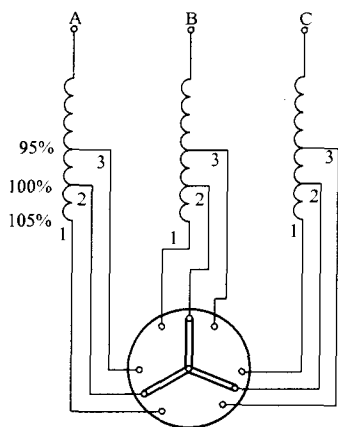


图 1-11 变压器的分接开关

#### 2. 分接开关

在电力系统中,为了使变压器的输出电压控制在允许范围之内,要求变压器高压绕组匝数能在一定范围内进行调节。因此,一般都在高压绕组的某个部位(如中性点或中部)引出若干抽头,称为分接头,所有分接头都连接到分接开关上,如图 1-11 所示。利用分接开关切换分接头的位置,改变高、低压绕组的匝数比,便可调节二次绕组输出电压的大小。

分接开关分为无载调压和有载调压两种。有载分接开关可在不停电的情况下进行电压调节。无载分接开关必须在切断电源后才能进行调压操作,因此,无载分接开关又称为无励磁分接开关。

#### 3. 绝缘套管

变压器高、低压绕组的引线从油箱内穿出时,必须用绝缘套管使带电的引线与油箱可靠的绝缘。绝缘套管主要由瓷套和导电杆等组成,其结构型式根据电压等级不同,一般分为实心瓷套管、空心充气或充油套管和电容式套管。图 1-12 为 35kV 充油式绝缘套管的结构示意图。

#### 4. 冷却装置

变压器运行时,铁芯和绕组中的损耗都会产生热量致使变压器的温度升高。为了把变压器的温升控制在一定的范围内,必须采用一些冷却装置。油浸式变压器的冷却装置分为油浸自冷、油浸风冷和强迫油循环等类型。

油浸自冷是靠油的对流进行自然冷却。为了增加散热面积,50kV·A 及以上的变压器在箱壁上焊有散热管,1000kV·A 及以上的变压器在箱壁上安装可拆卸的散热器。油浸风冷是在变压器的散热器上安装风扇,用风吹加强油箱和散热器表面的空气对流散热。这种冷却装置适用于 8000~31500kV·A 的变压器。强迫油循环冷却是利用油泵迫使热油通过冷却器而冷却,冷却器可采用风冷式,也可采用水冷式。

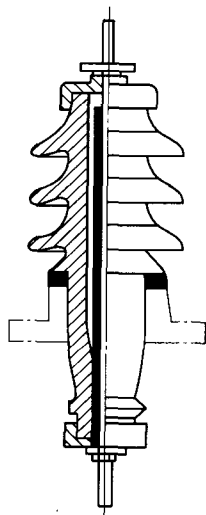


图 1-12 35kV 充油式绝缘套管的结构示意图

### 5. 安全保护装置

安全保护装置分为油保护装置（储油柜、吸湿器、净油器）和安全装置（安全气道、气体继电器）等。

(1) 储油柜。储油柜又称油枕，它是一个圆筒形容器，装在油箱顶部，通过管道与油箱连通。储油柜的作用：一是调节油量，既能保证变压器油箱内充满油，又能使油随温度变化而热胀冷缩；二是减少变压器油与空气的接触面积，防止油的氧化和受潮。

(2) 吸湿器。吸湿器又称呼吸器，储油柜通过它与空气连通。当变压器油因热胀冷缩而使油面高度发生变化时，空气通过吸湿器进出储油柜，形成“呼吸”现象。吸湿器内装有变色硅胶，用以吸收进入储油柜中空气的水分和杂质。吸湿器的外壳用透明玻璃制成，可观察硅胶的吸潮程度，当硅胶受潮到一定程度时就会由蓝色变为粉红色。

(3) 净油器。为了在运行过程中随时除去变压器油因氧化而产生的酸质，在一些大中型变压器油箱的一侧装有净油器。净油器是用钢板焊接成的圆筒形油罐，内部装有吸附剂（如硅胶）。变压器运行时，利用上、下层油温不同形成的自然循环，使油自上而下地通过净油器中的吸附剂进行过滤，以改善变压器油的性能。

(4) 安全气道。安全气道又称为防爆管，装在油箱顶盖上。它是一个长钢筒，其出口封以一定厚度的防爆膜（玻璃板或酚醛纸板）。当变压器内部发生严重事故而产生大量气体，使油箱内压力达到一定数值时，气体和油将冲破防爆膜喷出，防止油箱爆裂。

(5) 气体继电器。气体继电器装在油箱与储油柜连通的管道上。当变压器内部发生故障造成油的分解而产生气体或油流冲动时，气体继电器的触点闭合，接通控制回路，从而及时发出信号或断开变压器的断路器，起到保护变压器的作用。

(6) 检测装置。变压器的检测装置包括油位计和测温元件。油位计用来检测储油柜中的油位，它分为管式油位计、板式油位计和铁磁式油位计三种类型。测温元件的作用是指示变压器上层油温和当上层油温达到一定值时发出信号或起动冷却风扇。测温元件有水银温度计、信号温度计和电阻温度计等。

近年来，我国开始生产密封型油浸电力变压器，如图 1-13 所示。密封型油浸电力变压器的结构特点是：采用密封型波纹油箱，不装储油柜，用压力释放阀替代安全气道。当变压器油温度变化时，密封型波纹油箱可以随着热胀冷缩，避免了油与外界空气的接触，降低油的受潮和老化程度。当变压器内部发生严重事故而产生大量气体，

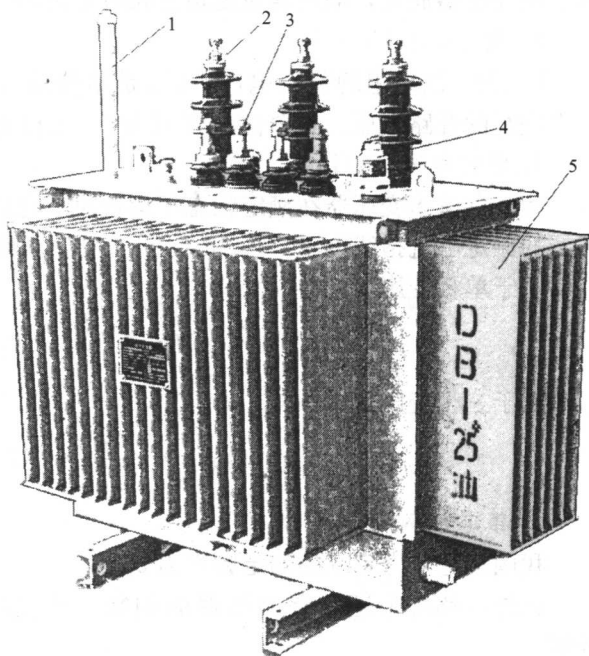


图 1-13 密封型油浸电力变压器的结构

1—测温元件；2—高压套管；3—低压套管；  
4—压力释放阀；5—波纹油箱