



普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

电机运行与维护

主 编 杨星跃
副主编 宋 杰
主 审 朱焕林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

电机运行与维护

主 编 杨星跃

副主编 宋 杰

主 审 朱焕林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是针对电气类专业编写的一本教材, 既为电气类专业后续专业课程教学提供相关的专业基础知识, 又兼顾电机设备自身运行及维护的实用技术。本书主要介绍各种交流电机(变压器、同步发电机、异步电动机)的工作原理、基本运行规律分析、运行操作要求、基本维护内容和电机在应用过程中的基础测试项目。通过相关知识的介绍, 让读者明确如何正确使用电机, 如何对电机的运行进行分析判断, 明确电机设备的操作和故障处理原则, 明确电机设备基本的测试和维护项目。

本书可作为高职高专教育相关专业的教材, 也可作为从事相关技术专业的工作人员的参考读本。

图书在版编目(CIP)数据

电机运行与维护 / 杨星跃主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 8

普通高等教育“十二五”规划教材. 示范院校重点建设专业系列教材

ISBN 978-7-5170-2537-5

I. ①电… II. ①杨… III. ①电机—运行—高等学校—教材②电机—维修—高等学校—教材 IV. ①TM30

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第218868号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 示范院校重点建设专业系列教材 电机运行与维护
作 者	主编 杨星跃 副主编 宋杰 主审 朱焕林
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.25印张 409千字
版 次	2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

四川水利职业技术学院电力工程系 “示范院校建设”教材编委会名单

冯黎兵 杨星跃 蒋云怒 杨泽江 袁兴惠 周宏伟
韦志平 郑 静 郑 国 刘一均 陈 荣 刘 凯
易天福 李奎荣 李荣久 黄德建 尹自渊 郑嘉龙
李艳君 罗余庆 谭兴杰

杨中瑞（四川省双合教学科研电厂）

仲应贵（四川省送变电建设有限责任公司）

舒 胜（四川省外江管理处三合堰电站）

何朝伟（四川兴网电力设计有限公司）

唐昆明（重庆新世纪电气有限责任公司）

江建明（国电科学技术研究院）

刘运平（宜宾富源发电设备有限公司）

肖 明（岷江水利电力股份有限公司）



前 言

PREFACE

本书主要是针对电气类专业编写的，既为电气类专业后续专业课程教学提供相关的专业基础知识，又兼顾电机设备自身运行及维护的实用技术。

本着高职高专类学校培养高层次技术型、应用型专门人才的要求，着力于以职业能力培养为本位，本书以在理论上“适度、够用”，在能力上“实际、实用”为原则，淡化学科的系统性和完整性，着重物理概念的阐述，并与实际的生产和应用紧密结合，偏重于知识的应用，增强了电机运行和常见故障分析及处理的内容，力求做到内容精炼、重点突出、通俗实用。

本书分为变压器、同步发电机、异步电动机、电机的基本测试、变压器检修、三相异步电动机的检修等几个部分。本书从基本概念和物理现象出发，对主要型式电机的工作原理、基本结构、电磁关系、运行特性、常见故障处理、维护管理、电机的基本测试及维修等内容进行了阐述。

本书由四川水利职业技术学院杨星跃担任主编，宋杰担任副主编，杨星跃老师负责绪论、电力变压器、异步电动机等部分的编写，宋杰老师负责电机的基本测试、变压器检修、三相异步电动机检修等部分的编写，东风电机有限公司朱焕林高级工程师参与了本书编写内容的研讨、完稿后的审核并提出了宝贵的修改意见。全书由杨星跃统稿，由四川水利职业技术学院电力工程系示范院校教材建设编委会审核。

由于编者的水平有限，错误和不足之处在所难免，欢迎指正。

编者

2014年5月



目 录

CONTENTS

前言

绪论	1
项目一 电力变压器	7
任务一 认识电力变压器	7
任务二 电力变压器的运行特性	15
任务三 电力变压器的运行维护	42
任务四 其他类型的电力变压器	59
项目二 同步发电机	67
任务一 认识同步发电机	67
任务二 同步发电机的运行特性	80
任务三 同步发电机的运行维护	116
项目三 异步电动机	152
任务一 认识三相异步电动机	152
任务二 三相异步电动机的运行分析	160
任务三 三相异步电动机的使用维护	196
任务四 单相异步电动机	208
项目四 电机的基本测试	213
任务一 变压器的空载及短路试验	213
任务二 三相变压器的极性组别测定	216
任务三 电机绝缘电阻测定	221
任务四 电机绕组直流电阻测定	224
任务五 三相异步电动机定子交流绕组首尾端测定	226
项目五 变压器检修	229
任务一 变压器检修的基本知识	229
任务二 变压器各部件的检修	233
任务三 变压器大修后的试运行	244
项目六 三相异步电动机的检修	246
任务一 三相异步电动机的拆卸	246
任务二 三相交流绕组展开图绘制	249
任务三 三相异步电动机绕组绕制	250
任务四 三相异步电动机的装配	263
任务五 三相异步电动机的通电试验	265
参考文献	268

绪 论

一、课程的性质与作用

电机运行与维护既是一门电气类专业基础课，又是一门电机设备的实用技术课，本课程主要介绍各种交流电机（变压器、同步发电机、异步电动机）的工作原理和基本运行规律、电机设备在应用过程中的基本维护内容和基础测试项目。通过这门课程的学习，能够正确使用电机，能够对电机的运行状态进行分析判断，能够对电机进行基本的测试和维护。

二、课程的主要内容及培养目标

本课程的主要内容包括：变压器、同步发电机及异步电动机的工作原理、运行分析、正确使用及电机的基本测试、基本维护方法。

培养目标：掌握电机的基本工作原理，掌握电机的基本性能，具备一定的对电机运行过程及运行状态进行分析和对常见故障进行判断的能力，具备一定的维护、处理电机常见问题的能力。

三、课程的教学方法

充分需要利用教学资源，通过课堂理论教学、利用多媒体教学、现场实物教学、实际动手操作、实用项目专项练习等方式进行教学，并要逐渐探索出项目导向、任务驱动的教学方式，在项目进行过程中，不论是理论教学，还是动手操作，按照知识点的要求，逐点进行内容的完成和成绩的评定。考核及成绩评定按照任务分解完成情况逐项评定形成最终课程成绩。

四、项目简介

电机运行与维护是一门理论和技能要求都较高的课程，对各理论知识和应用技能要点，按照项目和任务进行分解，形成项目导向、任务驱动的教学模式。

五、标准及重要性

按照课程标准的要求，讲授和学习各任务的知识内容，课程标准的确立参照专业培养目标所规定的内容，以国家相关行业工种标准为依据，确立教学内容及考核要求。本课程既是一门专业基础课，又是一门自成一体的专业课，它不仅为强电类专业奠定专业基础，也为电机设备的理论分析、实际应用提供相关理论依据和方法。

六、课程的预备知识

电机是一个电的、磁的和机械的综合体，学习本课程应具备电路、磁路的基本知识及机械结构的基本识图能力。在学习讨论各电机时应首先了解电机的基本结构，根据基本电磁理论，结合电机结构明确电机的工作原理，研究电机内部各电磁量的相互关系，从而找出电机运行的规律。分析电机的电磁量间关系时，利用电磁理论推出的基本方程式及对应的等效电路和相量图进行分析，分析过程中根据问题及要求，可进行定性或定量的分析。

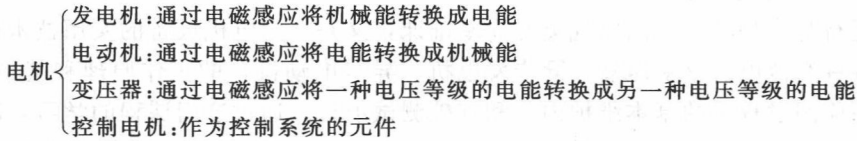


在本课程的学习过程中，要注意理论联系实际，学会用学过的理论来分析电机运行中遇到的实际问题，还要重视作业练习、实验及实习，加强动手能力的培养。

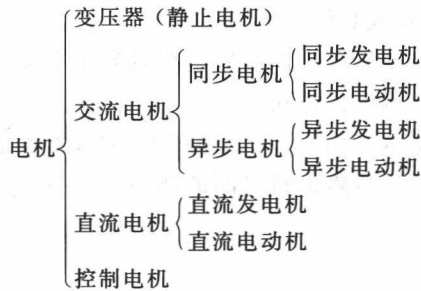
(一) 电机类型及作用

电机是一种利用电磁感应原理进行能量转换的机器。在电力系统中，电机是生产、传输、分配及使用电能的重要设备。在现代社会中，电能是最主要的能源，因此电机的应用非常广泛，并在国民经济中起着重要的作用。

电机的种类很多，按其功能可分为：



按其工作原理可分为：



本课程只讲授变压器、同步发电机和异步电动机。

(二) 分析电机常用的基本知识

1. 磁场

磁场是由电流产生的。表征磁场的物理量有磁感应强度 B (也称为磁通密度) 及磁通量 Φ 等。磁场在自然界中实实在在存在，但看不见，摸不着，用仪表可测试到。

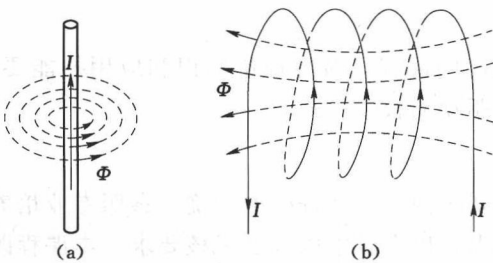


图 0-1 导线中流过电流时磁场的分布

(a) 载流直导体中的磁通方向；(b) 螺旋线圈中的磁通方向

磁场形成后按一定的方式分布，磁场的分布与电流及周围介质的情况有关。直导线和螺线管 (线圈) 流过电流时在空气介质中磁场的分布如图 0-1 所示。电流与磁场的方向关系满足右手螺旋定则：①对直导线，用右手握住直导线，大拇指指向电流方向，余下四个手指的方向为磁场的方向；②对螺线管，用右手握住线圈，四个手指指向电流的方向，大拇指所指的方向为线圈内部磁场的方向。

在磁场中，沿任一闭合路径磁场强度矢量的线积分，等于穿过该闭合路径的所有电流的代数和，这就是安培全电流定律 (或安培环路定律)。即有如下关系：

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum i$$

在电机中，一个 N 匝的线圈流过电流 I 时，这一定律可写成



$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum I = NI = F$$

式中： $F=NI$ 为磁动势，单位为安匝。磁路由 k 段组成。

磁通大小与磁动势的大小及磁通通过的路径有如下关系：

$$\Phi = \frac{F}{R_m}$$

其中

$$R_m = \frac{l}{\mu s}$$

式中： R_m 为磁路的磁阻； l 为磁路的长度； μ 为磁路的导磁率； s 为磁路的截面积。

直流电流产生恒定磁场，即大小和方向恒定的磁场；交流电流产生交变磁场，大小和方向与交流电流同步变化。

2. 铁磁物质

电机是利用电磁感应作用实现能量转换的，所以，在电机里有引导磁通的磁路和引导电流的电路。为了引导磁场，并在一定的励磁电流下产生较强的磁场，电机中使用了大量的铁磁材料。那么铁磁材料有什么特性呢？

(1) 铁磁材料的导磁性。

铁磁材料包括铁、钴、镍以及它们的合金。所有的非铁磁材料的导磁系数都接近于真空的导磁系数 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，而铁磁材料的导磁系数 μ_{Fe} 比真空的大几千倍。因此在同样大小的励磁电流（或磁动势）下，铁芯线圈的磁通比空心线圈的磁通大得多。

同时，铁芯也能起到引导磁场的作用，在电机中铁磁材料都制作成一定的形状，以使磁场按设计好的路径通过，并达到分布的要求。

即铁磁物质具有增强磁场和引导磁场的作用。

(2) 磁饱和现象及剩磁。

铁磁材料的磁状态见图0-2磁化曲线。铁磁材料之所以有高导磁性能，是由于铁磁材料内部存在着很多很小的强烈磁化的自发磁化区域。相当于一块块小磁铁，称为磁畴。磁化前，这些磁畴杂乱地排列着，磁场互相抵消，所以对外界不显示磁性。但在外界磁场的作用下，这些磁畴沿着外界磁场的方向作有规则的排列，顺着外磁场方向的磁畴扩大了，逆着外磁场方向的磁畴缩小了，结果磁畴间的磁场不能互相抵消，从而形成一个附加磁场叠加在外磁场上，使总磁场增强。随着外磁场的不断增强，有更多的磁畴顺着外磁场的方向排列，总磁场不断增强，见图0-2曲线bc段。当外磁场增强到一定的程度后，所有的磁畴都转到与外磁场一致的方向，这时它们所产生的附加磁场达最大值，再没有了更多的磁畴参与增强磁场，总磁场的增强极度减缓，这就出现了磁饱和现象，见图0-2曲线cd段。

由于磁畴间靠得非常紧，彼此间存在“摩擦”，由于这种“摩擦”的存在，当外界磁场消失后磁畴不能完全恢复到磁化前状态，磁畴与外磁场方向一致的排列被部分保留下来，这时的铁磁材料对外呈磁性，这就是剩磁现象，见图0-2曲线a点。

(3) 磁滞损耗和涡流损耗。

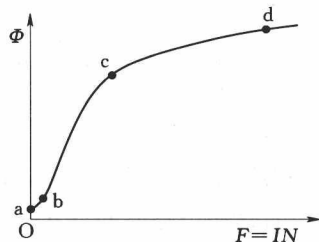


图0-2 铁磁材料的磁化曲线



若作用在铁磁材料上的外界磁场为交变磁场，在交变磁场的作用下，磁畴不断偏转，因而磁畴之间不停地互相摩擦，消耗能量，因此引起损耗，这种损耗称为磁滞损耗。

当通过铁芯的磁通发生交变时，根据电磁感应定律，铁磁材料内将产生感应电动势和感应电流。这些电流在铁芯内部围绕磁通呈旋涡状流动，称之为涡流。涡流在铁芯中引起的损耗 ($i^2 r$) 称为涡流损耗。

可见，不论是磁滞损耗还是涡流损耗，产生的根源都是交变磁场，磁滞损耗及涡流损耗所消耗的能量都转换成了热量。在电机中，通过交变磁场部分的铁磁材料都是采用厚度为 0.35~0.5mm 厚的硅钢片叠装而成，硅钢片两面刷上绝缘漆，叠装后涡流被斩断，涡流所流经的路径变短，从而减小涡流，也就减小了涡流损耗。

磁滞损耗与涡流损耗合在一起，总称为铁损，铁损可用下式进行计算。

$$p_{Fe} = P_{1/50} \left(\frac{f}{50} \right)^\beta B_m^2 G$$

式中： $P_{1/50}$ 为频率为 50Hz、最大磁感应强度为 1T 时，每千克铁芯的铁损，W/kg； B_m 为磁感应强度的最大值，T； f 为磁通交变频率，Hz； G 为铁芯质量，kg。

系数 β 随硅钢片含硅量的增高而减小，其数值范围为 1.2~1.6。

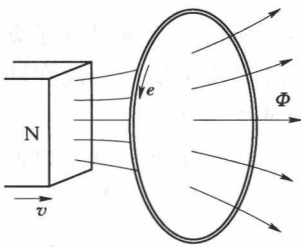


图 0-3 穿过线圈磁场改变在线圈中产生感应电动势

3. 电磁感应定律

(1) 感生电动势。

一个匝数为 N 匝的线圈，若与线圈交链的磁通 Φ 随时间发生变化，在线圈内会产生感应电动势，如图 0-3 所示。

如果把感应电动势的正方向与磁通的正方向规定得符合右手螺旋关系，即右手的大拇指表示磁通的正方向，其余四个指头表示电动势的正方向，则感应电动势可表示为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

1) 自感电动势。

当线圈中有电流 I 流过时，就会产生与线圈自己交链的磁通 Φ 。若电流随时间变化，则产生的磁通也随时间变化。根据电磁感应定律，磁通的变化将在线圈内感应电动势，这种由于电流本身随时间变化而在线圈内感应的电动势称为自感电动势，可得：

$$e_L = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

由于磁链 $\Phi = Li$ ，于是自感电动势：

$$e_L = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

式中： L 为自感系数，H。

2) 互感电动势。

如图 0-4 所示，紧邻线圈 1 放置了线圈 2，当线圈 1 内有电流 i_1 流过时，它产生的磁通也穿过线圈 2。这样，当 i_1 随时间变化时，它所产生的磁通也随时间变化，线圈 2 中也会感应电动势。这种电动势称为互感电动势，用 e_M 表示，有：

$$e_M = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -M \frac{di_1}{dt}$$



式中： M 为线圈1和2之间的互感系数，简称互感， H 。

若线圈1和2靠得非常近，它们的匝数分别为 N_1 和 N_2 ，且 $N_1 \neq N_2$ 。当线圈1施加交流电压 u_1 ，线圈1流过电流 i_1 ，产生磁通 Φ 同时穿过两个线圈，两线圈分别产生感应电动势

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

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

线圈2有交流电压 u_2 输出，由于 $N_1 \neq N_2$ ，两线圈感应电动势 e_L 、 e_M 的大小不相等，对应的电压 u_1 、 u_2 也不相等。变压器就是按此原理实现变压的。

(2) 切割电动势。

导体与磁场有相对运动时，导体切割磁力线，在导体中会产生感应电动势。在均匀磁场中，若直导体的有效长度为 l 、磁感应强度为 B 、导体相对切割速度为 v ，则其感应电动势为

$$e = Blv$$

切割电动势的方向可以用右手定则来确定，如图0-5所示，展开右手，使拇指与其余四指垂直，让磁力线穿过手心，大拇指指向导体切割磁场的方向，则四指所指的方向即为切割电动势的方向。发电机就是按此原理工作的。

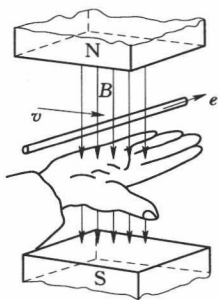


图 0-5 切割电动势的产生

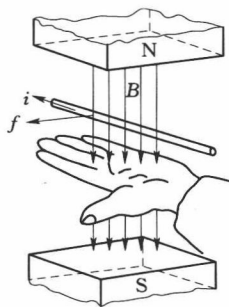


图 0-6 载流导体电磁力的产生

4. 电磁力定律

载流导体在磁场中会受到力的作用。由于这种力是磁场和电流相互作用产生的，所以称为电磁力。若磁场与载流导体互相垂直，导体的有效长度为 l 、磁感应强度为 B 、导体中的电流为 i ，则作用在导体上的电磁力为

$$f = Bli$$

电磁力的方向可用左手定则来确定，如图0-6所示，把左手掌伸开，大拇指与其余四指垂直，用掌心迎着磁力线，四指指向电流的方向，则大拇指所指方向就是电磁力的方向。电动机就是按此原理工作的。

5. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫电流定律。

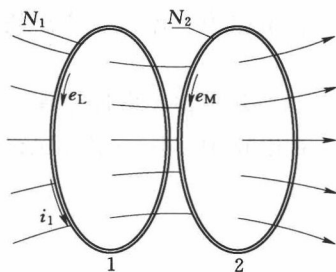


图 0-4 自感电动势及互感电动势的产生



在电路中，流入、流出任一节点的电流和等于零。其数学表达式为

$$\sum I = 0$$

(2) 基尔霍夫电压定律。

在电路中，任一闭合回路的电位升等于电位降。其数学表达式为

$$\sum E = \sum U$$

或

$$\sum U = 0$$

习 题

1. 磁场是如何产生的？如何根据电流的情况判断磁场的分布？
2. 什么是铁磁材料？在电机中为什么要大量使用铁磁材料？什么是铁磁材料的磁滞损耗和涡流损耗？引起铁磁材料磁滞损耗和涡流损耗的原因是什么？铁损的大小与哪些因素有关？
3. 铁磁材料的磁饱和及剩磁是怎么回事？
4. 导线中可通过哪些方式产生感应电动势？电动势的大小如何计算？电动势的方向如何判断？
5. 什么是自感电动势？什么是互感电动势？
6. 什么是电磁力定律？电磁力的大小如何计算？电磁力的方向如何判断？

项目一 电力变压器

【项目分析】

电力变压器是电力系统中的重要设备，它对电能的传递起着至关重要的作用。

电力变压器是一种静止电器。它是利用电磁感应原理，将某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。

变压器广泛地应用于电力、电信和自动控制系统中。本项目主要讨论变压器在电力系统中的应用。电力系统中变压器主要用作升高、降低电压，升压以适应远距离输电的需要，降压以满足用户用电的要求。用于电力系统中升高、降低电压的变压器叫做电力变压器。

本项目主要研究一般用途的电力变压器，内容包括变压器的作用、结构、原理、运行特性，及理解变压器的使用方法、运行规定、故障处理，以及其他常用特殊变压器（三绕组变压器、自耦变压器和互感器）的用途及特点。

【培养目标】

从变压器的基本原理着手，掌握变压器的基本构件构成及各部件的功能，掌握变压器额定参数及相关技术参数的含义，掌握变压器基本运行特性，明确变压器的运行维护要求，初步掌握变压器常见故障的判断及处理，明确电力系统中特殊变压器（三绕组变压器、自耦变压器、电流电压互感器）的作用及应用。

任务一 认识电力变压器

【任务描述】

对变压器的用途、在电力系统中的作用、工作原理、主要构成部件、运行参数的含义作一基本的了解。

【任务分析】

从变压器的用途着手，明确变压器的基本原理，了解变压器由哪些基本构件构成、各构成部件的作用，了解变压器额定参数的含义，从而对变压器有一个基本的认识。

【任务实施】

一、电力变压器在电网中的作用

电力系统中变压器主要用作升高、降低电压，升高电压是为了远距离输电的需要，降低电压是为了满足用户用电电压的要求。用于电力系统中升高、降低电压的变压器叫做电力变压器。

在电力系统中，发电厂发出的电能通过输电线路以电流 I 的形式进行传输。由于输电线



路存在电阻 r 和电抗 x ，电流流过输电线路时，会产生电能和电压两方面的损耗。电能损耗和电压损耗的大小都与电流的大小有关。

电能损耗：
$$\Delta p = I^2 r$$

电能损耗被转换成热量散发到空气中浪费掉了。

电压损耗：
$$\Delta U = I \sqrt{r^2 + x^2}$$

电压损耗使得电能传输到用户时用户端的电压降低，影响电能用户的正常工作。

不论是电能损耗，还是电压损耗，都对电力系统电能的传递带来不利的影 响，通过上面两个损耗表达式可见，电能与电压的损耗除了与输电线路的结构参数有关外，还与传输电能过程中输送的电流大小有关，要想减小相应的损耗应从两个方面着手：①用导电性能好的材料作输电线路导体（减小电阻）；②减小输电时的传输电流。

用导电性能好的材料作输电线路导体是最基本的方法，但是这个方法不能完全解决问题，主要是受到自然资源及制作成本的限制，在实际应用中大量使用铝作为输电线路的材料。

目前解决问题的最根本方法主要是采用高压输电。在三相输电线路中，传输的电能可按下式计算：

$$S = \sqrt{3}UI$$

可见，在传输同样量的电能时，可用提高输电电压（这就是通常所说的“高压输电”）的方法，这就相应减小了传输电能时的电流值，输电电压越高则输电电流值就越小，从而减小了上述两类损耗。原则上传输的电能越多，输电距离越远，输电的电压就应越高。采用高压输电，则在输电线路的起始端，需要提升输电电压。

当电能以高压的方式传输到输电线路的末端时，又需要降低电压，以满足用户用电电压的要求。因此，在电力系统输电环节的首、末端需要装设升压、降压的专用设备——变压器。显而易见，没有变压器就不能进行电能的远距离传输。

二、电力变压器的工作原理及类型

（一）工作原理

变压器是利用电磁感应规律工作的。变压器的基本结构是将两个互相绝缘的绕组套在一个共同的环状铁芯上，这两个绕组具有不同的匝数，且互相绝缘，如图 1-1 所示。其中绕

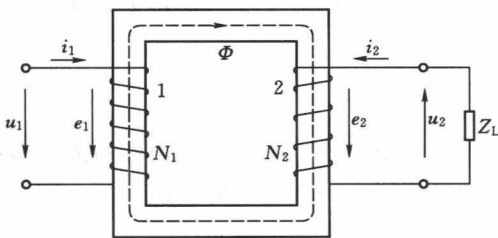


图 1-1 变压器工作原理图

组 1 接于需要进行变压的交流电源上，这个绕组叫做一次绕组，或原绕组、一次侧；另一绕组 2 接为输出，接负载，这个绕组叫做二次绕组，或副绕组、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 i_1 ，并在铁芯中产生交变磁通 Φ ，这个磁通同时交链着一、二次绕组，根据电磁感应定律，交变磁通 Φ 将在一、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 ， N_2 分别是一、二次绕组的匝数。

可见一、二次侧绕组电动势的大小正比于各自绕组的匝数，而绕组的感应电动势又近似等于各自的电压，制造好的变压器 $N_1 \neq N_2$ ，相应输入、输出的电压也就不相等，从而起到了变压的作用。

如果二次侧接上负载，则在二次侧输出电压的作用下产生输出电流，并输出功率，说明变压器起了传递电能的作用。

由上述可知，一、二次绕组的匝数不等是变压器变压的关键。其次，变压器的一、二次侧之间没有电的直接联系，只有磁的耦合，而交链一、二次绕组的磁通，起着联系一、二次侧的桥梁作用。另外，变压器只能对交流电压进行变压，若一次侧施加直流电压，一次绕组将流过直流电流，在铁芯中产生恒定磁通，这个磁通穿过一、二次绕组不会在绕组中产生感应电动势，二次侧不会有电压输出。

在以后的讨论中，有关一、二次侧的各量，例如功率、电压、电流、绕组匝数等，分别在其代表符号的右下角注以下标 1、2，如 U_1 、 I_1 、 N_1 、 U_2 、 I_2 、 N_2 等。

(二) 分类

为了适应不同的使用目的和工作条件，变压器的类型很多，可以从不同的角度予以分类。

按其用途的不同，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（电流、电压互感器等）、试验用变压器、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、多绕组变压器（一般用于特种用途）及自耦变压器。

按相数可分为单相变压器、三相变压器、多相变压器。

按冷却方式的不同，可分为干式变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、油浸水冷变压器、强迫油循环风冷变压器、强迫油循环水冷变压器等。

按线圈导线使用的材质的不同，分为铝线变压器、铜线变压器。

按调压方式可分为无励磁调压变压器、有载调压变压器。

三、电力变压器的构成部件及作用

现以常用的油浸自冷变压器为例介绍变压器的结构。

从变压器的功能来看，铁芯和绕组是变压的核心部件，铁芯和绕组称为变压器的器身。为保证器身的正常、安全运行，还必须有其他相关部件。下面以油浸式变压器为例对变压器的主要构成部件的功能、构造及原理进行说明。图 1-2 为油浸自冷式变压器的结构图。

(一) 铁芯

变压器铁芯是变压器的磁路和安装骨架，其对变压器的性能有很大的影响。

铁芯的作用是导磁，以减小励磁电流。为了提高磁路的导磁性能和减小涡流及磁滞损耗，铁芯通常用两面涂有绝缘漆的 0.35mm 或 0.5mm 厚的硅钢片叠成。

变压器的铁芯是矩形闭合结构。其中套线圈的部分称为芯柱，不套线圈只起闭合磁路作用的部分称为铁轭。

在迭装硅钢片时，常采用交错式装配方法。它是把剪成一定尺寸的硅钢片交错迭装而成，迭装时相邻层的接缝要错开。为减少装配工时，一般用两、三片作一层，如图 1-3 所示。

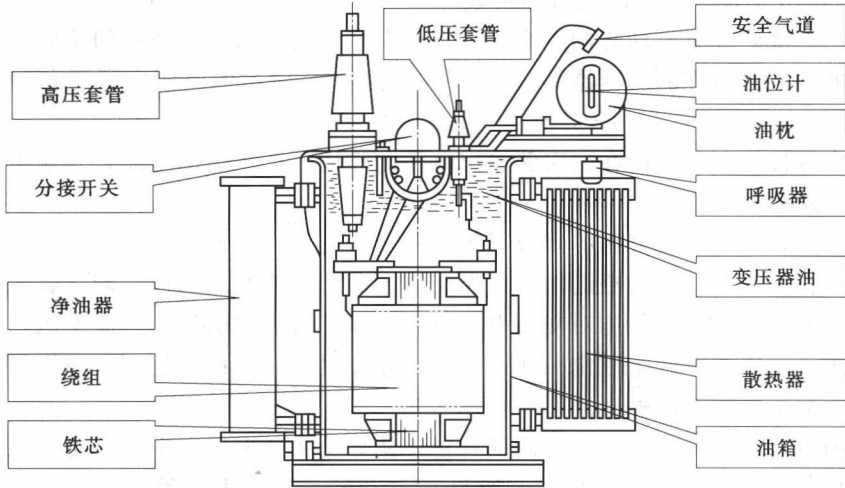


图 1-2 油浸自冷式变压器结构

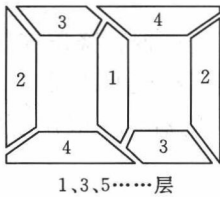


图 1-3 三相迭片式铁芯迭装次序和迭装方法

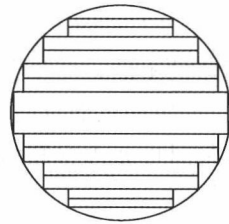
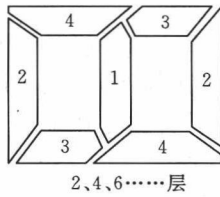


图 1-4 铁芯柱截面图

为了能充分利用圆形绕组内空间中的面积，节约绕组金属用量，铁芯柱的截面多制成内接多级阶梯形，如图 1-4 所示。大型变压器的铁芯还设有油道，以利变压器油循环，加强散热效果。磁轭截面有矩形、T 形和阶梯形几种，如图 1-5 所示。

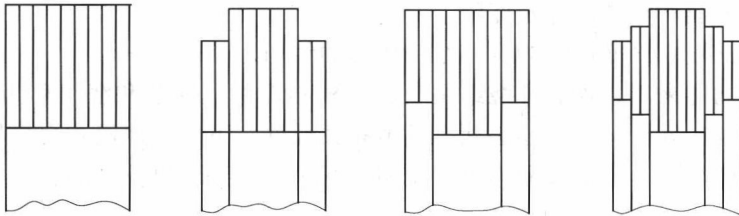


图 1-5 磁轭的截面图

变压器在运行或试验时，为了防止由于静电感应在铁芯或其他金属构件上产生悬浮电位面造成对地放电，铁芯及其构件（除穿芯螺杆外）都要接地。

(二) 绕组

绕组是变压器的电路部分，一般用绝缘材料包裹的铝线或铜线绕成。

按变压器高低压绕组的相互位置的不同，主要分为同心式绕组和交叠式绕组两类。同心式绕组就是高、低压绕组都做成圆筒形状，同心地装在铁芯柱上，为便于铁芯、线圈间的绝



缘, 及为方便高压侧绕组与分接开关的连接, 低压绕组靠近铁芯柱, 高压绕组套装在低压绕组的外面, 绕组间留有油道以便于冷却和加强绝缘, 如图 1-6 所示。

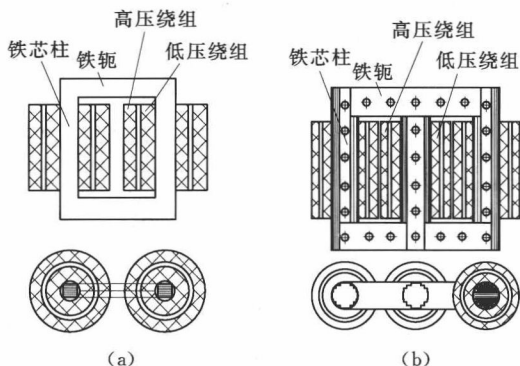


图 1-6 变压器同心绕组的放置方式

(a) 单相变压器; (b) 三相变压器

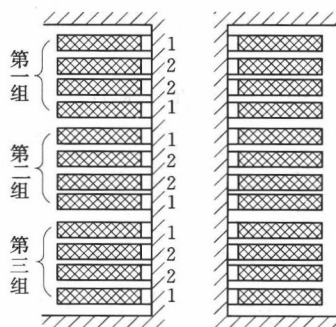


图 1-7 交叠式绕组

1—低压绕组; 2—高压绕组

交叠式绕组都做成饼式, 高、低压线圈交替放置套在铁芯柱上, 如图 1-7 所示。

(三) 油箱和变压器油

油箱是油浸式变压器的外壳, 油箱用钢板焊成, 变压器的器身置于油箱的内部, 箱内注满变压器油。油箱分箱盖、箱壁、箱底三部分。

中小型变压器多制成箱式, 即将箱壁与箱底焊接成一个整体, 器身置于箱中。检修时, 需要将器身从油箱中吊出, 如图 1-8 (a) 所示。

大型变压器油箱皆制成钟罩式, 即将箱盖和箱体制成一体, 罩在铁芯和绕组上。这将为检修提供方便, 检修时只需把钟罩吊起, 器身则显露出来, 这要比吊起沉重的铁芯方便得多, 如图 1-8 (b) 所示。

油箱中注满变压器油, 其作用是为了冷却和加强绝缘。

(四) 油枕

油枕又称储油柜, 安装在变压器顶部, 通过弯曲联管与油箱连通, 如图 1-2 所示。油枕内油面高度随着变压器油的热胀冷缩而变动, 保证变压器油箱内充满变压器油, 并缩小变压器油与空气的接触表面, 减少油受潮和氧化过程。

(五) 呼吸器

呼吸器又称吸湿器, 油枕上部的空气通过呼吸器与外界空气相通, 如图 1-2 所示。当变压器油热胀冷缩时, 气体经过它进出油枕上部, 以保证油箱内压力正常。呼吸器内部装有颗粒状硅胶, 具有很强的吸潮能力, 当空气经呼吸器进入油枕时, 水分将被硅胶所吸收, 同时滤掉空气中的杂质, 延缓变压器油的老化。

(六) 防爆管

防爆管又称为安全气道, 如图 1-2 所示。防爆管是变压器的安全保护装置, 800kVA

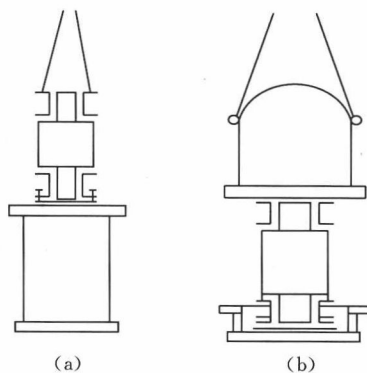


图 1-8 变压器油箱

(a) 吊器身; (b) 吊上节油箱