

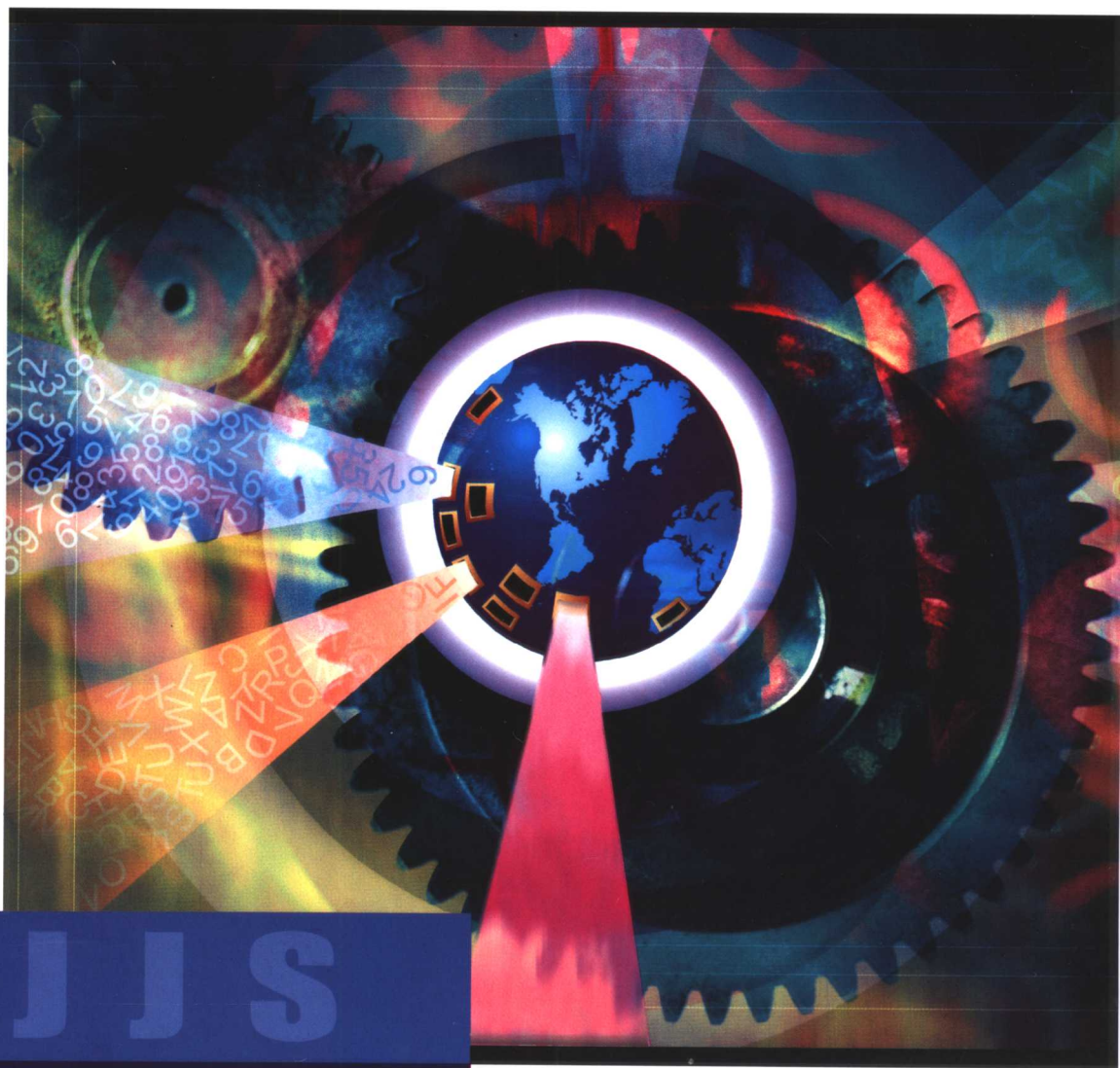


全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材
QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITIHUAJIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

电机技术

DIANJI JISHU

主编 阎伟



D J J S



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn



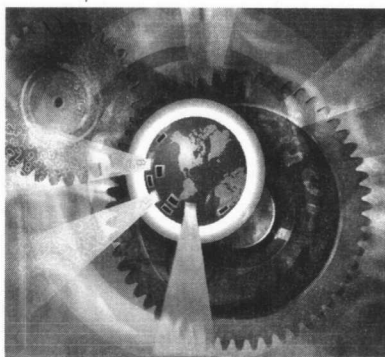
全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITIHUAJIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

电机技术

DIANJI JISHU

主编 阎伟



山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机技术/阎伟主编. —济南:山东科学技术出版社,
2005.6

全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

ISBN 7-5331-4093-1

I. 电... II. 阎... III. 电机技术—高等学校:
技术学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 053005 号

全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

电机技术

主编 阎 伟

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:聊城市东方印刷有限责任公司

地址:聊城市鞠西路

邮编:252000 电话:(0635)8421173

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:18.25

版次:2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 7-5331-4093-1

TM-48

定价:30.00 元

BIANXIESHUOMING

近年来,我国职业教育蓬勃发展。国家教育部多次在全国教育系统会议上强调:“高职教育必须以就业为导向”。这就要求高职教育要培养适合市场需要的应用型技术人才,即高职教育培养的学生应具备扎实的理论水平和熟练的操作技能。

理论与实践相结合的“一体化教学”模式是高职教育在教学改革中探讨出的新方式。目前“双师型”教师在职业院校的比重不断增加,而教材的一体化建设却远远没有做到。目前,各职业院校中使用的教材大多还是理论与实践分开的,编写一套适合高职教育的一体化教学模式的规范教材成为当前一项紧迫的课题。

为了贯彻“一体化教学”在高职教育中实施的指导思想,山东科学技术出版社在充分调研的基础上,组织省内外 10 多家职业院校共同研讨,决定编写一套适合一体化教学特色的教材,并聘请了有丰富经验的专家和工程师负责,组织在职业教育一线教学的“双师型”教师参加编写工作。

这套教材的主要特色有以下几个方面:

1. 吸收和借鉴各地职业院校教学改革的成功经验,保证理论与实践的紧密结合。在每章节中都穿插典型实例,章节后有典型、实用的实训项目及必要的训练要求,从而真正体现了“一体化教学”模式的特点。

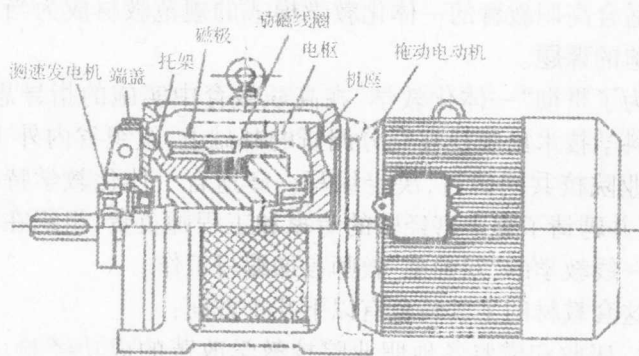
2. 在一些重要课程中编写了课题设计及工程实践内容,力求贴近工业现场,体现了技能训练向工业现场的自然过渡。

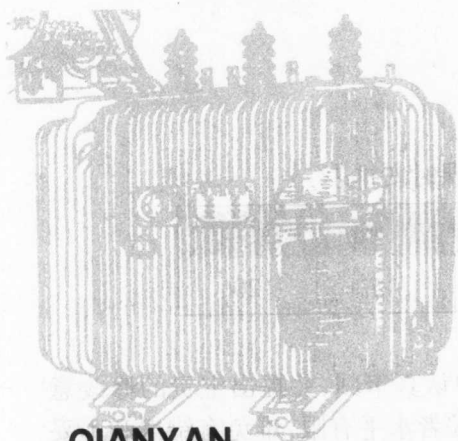
3. 教材编写时力求简练实用,贯彻国家关于职业资格证书制度与就业制度相衔接的有关精神,实训项目的选取参考了该专业相关国家职业技能鉴定(高级)标准。

4. 本套教材层次清楚,内容详实,易学易教,方便自学,在内容选取上体现了知识的代表性和技术的前瞻性。

本套教材可作为高职高专相关专业的“一体化教学”的通用教材,也可结合国家教育部两年制高职教育的试点推行使用,还可在各类职业院校、相关职业培训学校中使用;另外也可作为工程技术人员学习的参考读物。希望读者提出宝贵意见,使本套教材得到不断的充实与完善,为职业教育一体化教学的改革发挥助推作用。

山东科学技术出版社





QIANYAN

本课程是电气技术、工业电气自动化、机电一体化等专业专科教育的一门基础课,也是一门实践性较强的课程。课程的任务是使学生掌握变压器、交直流电机及微特电机的基本结构与工作原理,以及运行原理、分析计算等基础知识。教材从电机和变压器的基础讲起,由浅入深、通俗易懂、图文并茂;然后对相关章节的内容通过实验、实训(含现场参观)等形式得以验证和总结。

本教材是立足于高职高专应用型教育这一特点,以“加强基础知识、重视实践技术、培养动手能力”为指导思想,注重培养工程设计、工程应用的原则为出发点来编写的,从而体现一体化教材的特色。

实验和实训课程放在基础知识讲述的同时进行,以使学生随学习随实践,不断培养分析和解决实际问题的能力。另外,学生通过学习还应达到以下要求:

1. 综合运用电机学中所学的知识去独立完成一个设计和修理项目;
2. 查阅技术手册和文献资料,提高独立思考问题的能力;
3. 熟练掌握电机、变压器的拆装、接线、试验与故障处理等技术;
4. 培养认真的工作作风、严谨的科学态度和扎实的实践技能。

学习本课程时,注意动脑与动手的结合,要重视实验、实训。

全书共六章。绪论、第一章和第三章实验等由山东劳动职业技术学院阎伟编写;第二章由渤海石油职业学院阎相环编写;第三章由山东商业职业技术学院李军编写(实训由苏燕编写);第四章由渤海石油职业学院闫运巧编写;第五章由济南铁道职业技术学院鲍建编写;第六章由渤海石油职业学院袁勇编写,全书由阎伟统稿。



课程授课课时安排表

授课内容	基础知识	实验	实训
课时	70	15	20

全书由评审专家在百忙之中认真审阅,并提出宝贵的修改意见,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,难免有错误和不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编者



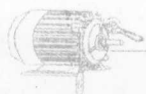
目 录

MULU

绪论	1
----------	---

变 压 器 篇

第一章 电力变压器	5
第一节 变压器的分类与工作原理	5
第二节 变压器的结构	7
第三节 变压器的运行原理	14
第四节 变压器的运行特性	23
第五节 三相变压器	26
第六节 电力变压器的运行	31
第七节 电力变压器的试验	36
第八节 电力变压器的维护和检修	40
本章小结	42
习题与思考题	43
实验一 变压器的空载试验与短路试验	45
实验二 测定变压器的极性和联结组别	48
实训	50
第二章 特殊变压器	52
第一节 自耦变压器	52
第二节 三绕组变压器	56
第三节 仪用变压器	58
第四节 电抗变压器	62
第五节 电焊变压器	63
本章小结	66
习题与思考题	66
实训一 小型单相变压器的绕制	67
实训二 交流弧焊机线圈的修理和重绕	70



交流电机篇

第三章 异步电机	74
第一节 交流电机的工作原理与结构	75
第二节 交流电机的三相绕组	85
第三节 三相异步电动机的工作特性	93
第四节 三相异步电动机的起动和制动控制	99
第五节 三相异步电动机的调速和节能运行	105
第六节 特殊结构三相异步电动机的应用	109
第七节 单相异步电动机的工作原理	113
第八节 单相异步电动机的控制与应用	115
第九节 交流电机的选用	123
第十节 三相异步电动机的维修	126
本章小结	128
习题与思考题	129
实验一 三相异步电动机的常项试验	130
实验二 三相异步电动机的 Y、 Δ 接法及正反转控制	134
实验三 单相异步电动机绕组的测试与接线	135
实训一 三相异步电动机的拆装	136
实训二 三相异步电动机定子绕组的首末端判别	141
实训三 单相异步电动机(吊扇)绕组的重绕	142
第四章 同步电机	145
第一节 同步电机的类型和结构	145
第二节 同步电机的工作原理和电枢反应	149
第三节 同步发电机的运行与特性	155
第四节 同步发电机的励磁方式	164
第五节 同步电动机的起动	168
第六节 其他类型同步电机的应用	170
本章小结	173
习题与思考题	174
实验 三相同步电动机的起动	175
实训	177



直流电机篇

第五章 直流电机	179
第一节 直流电机的工作原理及结构	179
第二节 直流电机的机械特性	184
第三节 他励直流电动机的起动	190
第四节 他励直流电动机的调速	193
第五节 他励直流电动机的制动	200
第六节 直流电机的换向	206
第七节 直流电机的维护与检修	208
本章小结	213
习题与思考题	214
实验一 直流发电机的空载特性与外特性	216
实验二 他励直流电动机的机械特性与调速	218
实训一 直流电动机的拆装	222
实训二 直流电机换向器的检修	223

微特电机篇

第六章 微特电机	225
第一节 微特电机的用途与分类	225
第二节 伺服电动机	228
第三节 测速发电机	239
第四节 步进电动机	244
第五节 旋转变压器和自整角机	250
第六节 其他类型的微特电机	254
本章小结	257
习题与思考题	258
实验一 直流伺服电动机实验	259
实验二 交流伺服电动机实验	262
实验三 步进电动机实验	266
附录 1	271
附录 2	274
附录 3	276
附录 4	277
附录 5	278
参考文献	279



XULUN

一、电机在国民经济建设中的作用

当今社会,电能无疑是最优越的能源。从发电厂到电力用户中,电机成为电能产生、输送、分配等环节能量转换的必要设备。例如:发电厂中采用三相同步发电机把机械能转换成电能;各类变压器完成不同等级电压的变换;异步电动机把机械设备的输入电能转换为机械能作功。

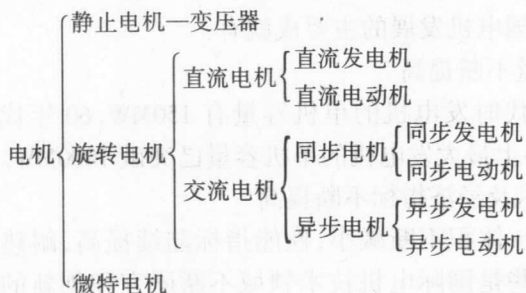
在机械、纺织、化工、冶金等工业领域、在农业机械化生产和交通运输业中,绝大部分生产机械都是采用电动机作为原动机来完成拖动的。

在人类日常生活中,许多家用电器(如电扇、空调、洗衣机等)是由单相交流电动机来控制的。

在自动控制系统中使用的数控机床、智能机器人,在国防领域中的遥控技术、计算技术等,普遍采用微特电机来完成精密、智能控制。

因此,电机作为机械化、电气化和自动化的原动机,已广泛应用于国民经济、科学研究和人类物质文明生活的各个领域。随着电气自动化程度的不断提高,变流技术和调速技术的不断发展,异步电动机将占有更加重要的地位。

总体上电机可归纳为下列几种类型:



二、电机的发展简史

电机产生于 19 世纪初,在电机发展史上首先应用的是直流电机。1831 年法拉第提出的“电磁感应定律”,奠定了发电机发展的理论基础。1833 年,楞次证明了发电机和电动机的可逆原理。

1871 年,凡麦而准发明了交流发电机。1888 年多里沃·多勃罗沃尔斯提出采用交流三相制的建议,并设计和制成第一台三相变压器和三相感应电动机,奠定了三相电路和三相电机的基础。

进入 20 世纪后,结构简单、使用方便、价格低廉的三相笼型电动机被大量应用于工业生产,社会生产力得到了极大的提高。人们在不断地使用中改进了电机的生产工序,提高电机性能,使电机的加工工艺趋于成熟和完善发展。

我国的电机制造工业是解放以后才发展起来的。1958 年浙江大学与上海电机厂共同研制出世界上第一台 12MW 双水内冷汽轮发电机,震动了国际电工界。1969 年上海电机厂又生产出 125MW 双水内冷汽轮发电机。1987 年我国又制造出 600MW 定子水内冷、转子氢内冷大型的汽轮发电机。当前,国内已经研制和成功安装了 900MW 的巨型发电机。2004 年,我国累计发电 21870 亿 kWh,截至 2004 年底,全国的发电机装机容量达到 44070 万 kW。

在中、小型电动机方面,交流异步电动机由 J、JO 系列过渡到 J2、JO2 系列,目前广泛使用 Y 系列。直流电机由 Z2、Z3 系列过渡到 Z4 系列。Y 系列和 Z4 系列电机均符合国际电工委员会(IEC)标准,技术指标先进,并且能国际通用。

20 世纪 80 年代,我国推广了 S7 和 SLZ7 等系列低损耗(节能型)电力变压器,它们具有体积小、损耗低、节能、节省运行费用等优点。20 世纪 90 年代中后期,又推广使用 S9 系列变压器,它的性能进一步提高。目前,国内已能生产 330 ~ 765kV 电压等级、单台容量最大达 840MVA 的电力变压器。

三、近代电机的发展成就

近代,世界各国电机发展的主要成就有:

1. 电机的容量不断提高

20 世纪 30 年代时发电机的单机容量有 150MW,60 年代达到 320MW。当前世界上最大发电机的单机容量已突破 1000MW。

2. 电机的技术及经济指标不断提高

质量逐渐减轻,体积不断减小,性能指标陆续提高,耐热等级也进一步提升,这些是国际电机技术领域不断研究和创新的特征体现。

当前,国内已制造出“耐高温液浸变压器”,成为国际领先的变

压器制造技术。它的寿命期长达 40 年,比传统变压器延长 10 余年的寿命,且无需维护和换油。另外,国内干式变压器的耐热等级也由 F 级升为 H 级。

3. 电机的制造材料和工艺不断改进

国外(日本)成功开发了铁铌硼合金材料替代硅钢片,大大减小了电力损耗(仅为现用材料的 1/10),还可节约材料成本,简化制造工艺,增强环保益处。世界上最大非晶合金^①铁心变压器的单台容量已达 5000kVA。

国内刚研制生产的 0.15mm 超薄高牌号取向硅钢片^②,主要用来制造中高频变压器、磁放大器的铁心。它将成为发展电子工业的重要材料,并广泛应用于国防、航空、航天、邮电等技术领域。

4. 微特电机技术不断进步

在旋转电机的理论上,发展出多种类型的高精度、快速响应的微特电机,它已成为电机学科的独立分支。

近年来世界许多国家都在研究和应用直线电机。如计算机磁盘上的磁头驱动装置便采用了直线电动机;在机床领域,直线悬浮电动机(电磁轴承)成为世界发达国家高速切削设备上的主轴旋转部件;在医学领域,最小的微型电动机(直径 50mm)可以在人体的血管中穿梭工作。

随着科技的进步发展,未来微特电机涉及的学科将更加广泛,发展的趋势将是集成和优化。电机行业也将随着新技术、新材料的采用而注入更强的生命力。

随着我国国民经济的快速发展,国内电机与变压器的制造工业也将跨入世界先进行列。

①非晶合金材料是美国首先研制成功的,于 1979 年用于制造变压器铁心。非晶合金铁心的变压器比取向硅钢片铁心的变压器空载损耗降低 50%~80%,空载电流降低约 50%。

②冷轧硅钢片分为晶粒不取向硅钢片和取向硅钢片两类。前者用于电机制造,后者用于变压器制造。冷轧晶粒取向硅钢片制造的铁心的噪声比常规硅钢片铁心的噪声小。



变 压 器 篇

变压器是用来变换交流电压和电流而传输交流电能的一种静止电器。

变压器是电力系统中使用较多的一种电气设备，它对电能的经济传输、灵活分配和安全使用起着举足轻重的作用。在其他各部门中，也广泛使用着各种类型的变压器，以提供特种电源或满足特殊的用途。

第一章 电力变压器

第一节 变压器的分类与工作原理

一、变压器的分类

变压器有许多种类型，可按照其结构、相数、绕组、用途、调压方式、冷却方式等进行分类。

按用途分类有：电力变压器、仪用互感器、调压变压器、矿用变压器和特殊变压器（如电焊变压器、整流变压器等）；

按铁心结构分类有：心式变压器、壳式变压器；



按绕组数目分类有:双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器;

按相数分类有:单相变压器、三相变压器;

按冷却方式分类有:油浸式变压器、干式变压器;

电力变压器按容量大小分类有:小型变压器(630kVA 及以下)、中型变压器(800 ~ 6300kVA 及以下)、大型变压器(8000 ~ 63000kVA 及以下)和特大型变压器(90000kVA 及以上)。

二、变压器的工作原理

变压器是利用电磁感应原理工作的,它把某一等级的交流电压变换成另一等级的交流电压。以单相变压器为例,其工作原理见图 1-1。图 1-1(a)为两组互相绝缘且匝数不等的绕组,套装在由导磁材料制成的闭合铁心上。通常一组绕组接交流电源,称为一次绕组、初级绕组或原绕组;另一组绕组接负载,称为二次绕组、次级绕组或副绕组。

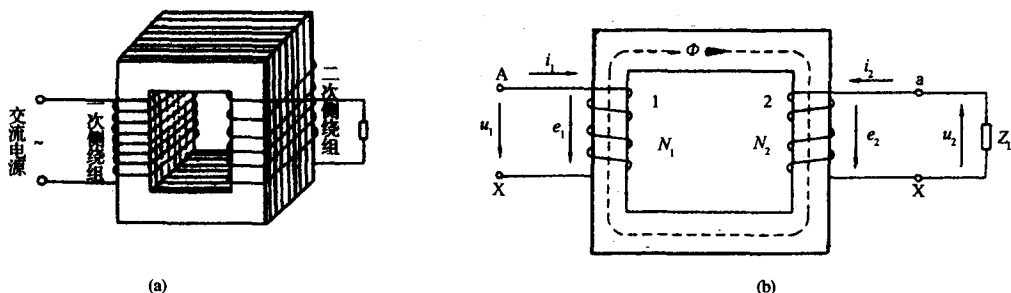


图 1-1 变压器工作原理图

图 1-1(b)所示,当匝数为 N_1 的一次绕组 AX 接到电压为 u_1 、频率为 f 的交流电源上时,由励磁电流 i_1 在铁心中产生交变磁通 Φ ,从而在一、二次绕组中感应出电动势 e_1 和 e_2 ,匝数为 N_2 的二次绕组 ax 侧产生电压 u_2 。当二次绕组接有负载 Z_L 时,一、二次绕组中流通电流 i_1 和 i_2 。感应电动势的大小为

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ e_2 &= -N_2 \frac{d\phi}{dt} \end{aligned} \quad (1-1)$$

若忽略变压器绕组的内部压降, $u_1 \approx e_1$ 、 $u_2 \approx e_2$,则一、二次绕组侧的电压之比为

$$\frac{u_1}{u_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-2)$$

式(1-2)表明,变压器一、二次绕组的电压比等于一、二次绕组的匝数之比。若改变一次或二次绕组的匝数,即可改变二次侧电压的大小。这就是变压器的变压原理。

第二节 变压器的结构

变压器的基本结构由铁心、绕组、油箱及其附件等组成。图 1-2 为电力系统中使用较广泛的两种油浸式电力变压器,下面以其为例分别予以介绍。

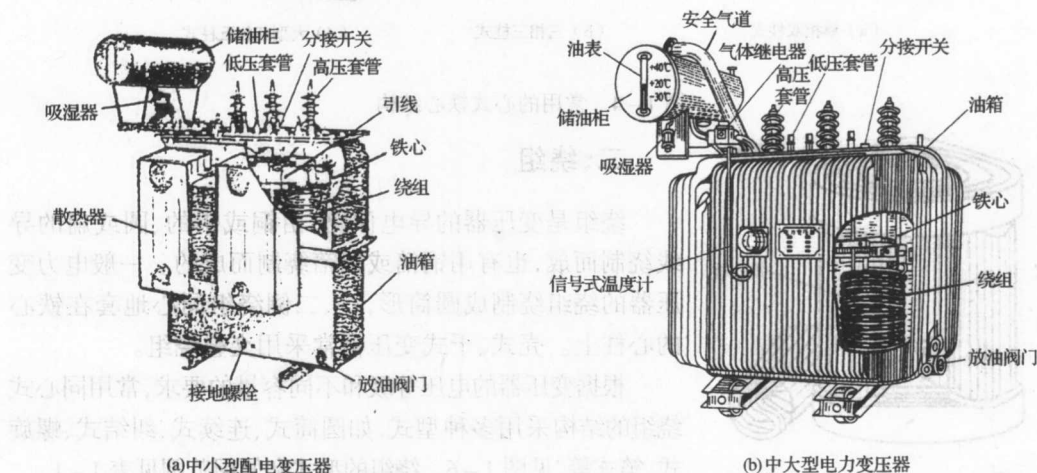


图 1-2 油浸式电力变压器结构

一、铁心

铁心是变压器的导磁回路,也作为绕组的支撑骨架。铁心由铁心柱和铁轭组成,因绕组的位置不同,其结构型式有心式和壳式两种,如图 1-3。

铁心多由 0.35mm 或 0.5mm 厚的,表面涂有绝缘漆的硅钢片叠装而成。目前,国产电力变压器均采用心式铁心,常用的心式铁心的形式见图 1-4。有些变压器的铁心采用更薄的(如 0.23 ~ 0.27mm)冷轧晶粒取向电工硅钢片叠积或卷制而成。图 1-5 是近年来出现的一种渐开线形铁心结构,铁轭由硅钢带卷制成型,铁心柱三角形式摆放,此种铁心便于机械化生产,提高了制造效率。

为了消除铁心及金属附件在电场作用下所产生的电位差以免造成放电,铁心及其金属附件应可靠接地。

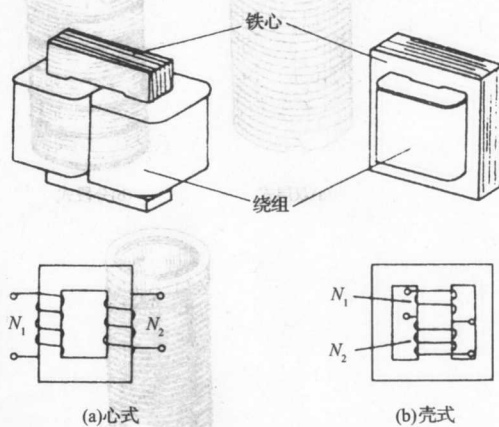


图 1-3 心式和壳式铁心

