

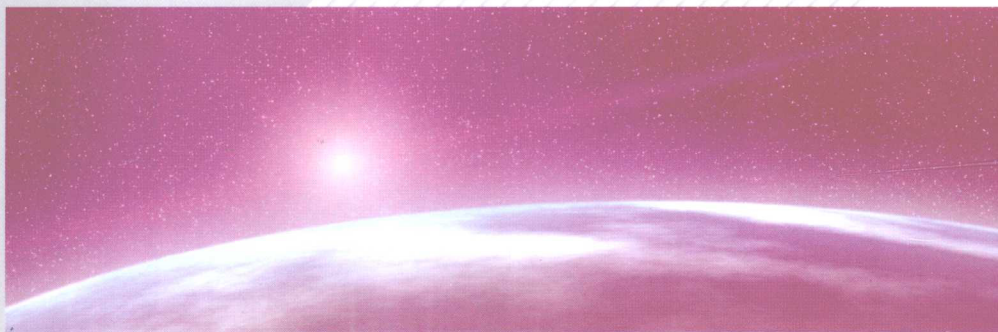


中等职业学校电类规划教材·电气运行与控制专业系列

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO DIANLEI GUIHUA JIAOCAI · DIANJI YUNXING YU KONGZHI ZHUANYE XILIE

DIANJI
YU
DIANQI
KONGZHI
JISHU

电机与电气控制技术



■ 纵剑玲 主 编

■ 缪化武 副主编



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



中国石化出版社有限公司 北京 100028
CUPP, CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS, BEIJING 100028, CHINA

中国石化出版社有限公司
CUPP, CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS
北京 100028
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS
BEIJING 100028, CHINA

电机与电气控制技术

■ 主编：王 强
■ 副主编：曹立群



中国石化出版社有限公司
CUPP, CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

中等职业学校电类规划教材
电气运行与控制专业系列

电机与电气控制技术

纵剑玲 主 编

~~纓化武~~ 副主编

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术 / 纵剑玲主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2010.4
中等职业学校电类规划教材. 电气运行与控制专业系列

ISBN 978-7-115-22301-2

I. ①电… II. ①纵… III. ①电机学—高等学校: 技术学校—教材②电气控制—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第034868号

内 容 提 要

本书是参照中等职业学校电机与电气控制教学大纲与维修电工的职业技能鉴定规范编写的。本书的主要内容包括变压器、直流电动机、交流异步电动机、特种电机的结构及工作原理, 电动机的基本控制电路, 常用机床控制电路的组成及工作原理, 以及与理论知识相配套的实践技能训练项目。

本书表述简洁清楚, 通俗易懂, 重点突出, 教学内容贴近生产实际, 贴近岗位需求, 强调实用, 突出“在学中做、在做中学”, 符合现阶段中职学生特点, 适合中等职业教育电类专业学生使用。

中等职业学校电类规划教材

电气运行与控制专业系列

电机与电气控制技术

-
- ◆ 主 编 纵剑玲
副 主 编 缪化武
责任编辑 李海涛
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.25
字数: 289千字 2010年4月第1版
印数: 1-3000册 2010年4月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22301-2

定价: 21.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



电子产业是我国国民经济的支柱产业，产业的发展必然带来对人才需求的增长，技术的进步必然要求人员素质的提高。因此，近年来企业对电类人才的需求量逐年上升，对技术工人的专业知识和操作技能也提出了更高的要求。相应地，为满足电类行业对人才的需求，中等职业学校电类专业的招生规模在不断扩大，教学内容和教学方法也在不断调整。

为了适应电类行业快速发展和中等职业学校电类专业教学改革对教材的需要，我们在全国电类行业和职业教育发展较好的地区进行了广泛调研；以培养技能型人才为出发点，以各地中职教育教研成果为参考，以中职教学需求和教学一线的骨干教师对教材建设的要求为标准，经过充分研讨与论证，精心规划了这套《中等职业学校电类规划教材》，第一批教材包括4个系列，分别为《基础课程与实训课程系列》、《电子技术应用专业系列》、《电子电器应用与维修专业系列》、《电气运行与控制专业系列》。

本套教材力求体现国家倡导的“以就业为导向，以能力为本位”的精神，结合教育部组织修订《中等职业学校专业目录》的成果、职业技能鉴定标准和中等职业学校双证书的需求，精简整合理论课程，注重实训教学，强化上岗前培训；教材内容统筹规划，合理安排知识点、技能点，避免重复；教学形式生动活泼，以符合中等职业学校学生的认知规律。

本套教材广泛参考了各地中等职业学校电类专业的教学实际，面向优秀教师征集编写大纲，并在国内电类行业较发达的地区邀请专家对大纲进行了评议与论证，尽可能使教材的知识结构和编写方式符合当前中等职业学校电类专业教学的要求。

在作者的选择上，充分考虑了教学和就业的实际需要，邀请活跃在各重点学校教学一线的“双师型”专业骨干教师作为主编。他们具有深厚的教学功底，同时具有实际生产操作的丰富经验，能够准确把握中等职业学校电类专业人才培养的客观需求；他们具有丰富的教材编写经验，能够将中职教学的规律和学生理解知识、掌握技能的特点充分体现在教材中。

为了方便教学，我们免费为选用本套教材的老师提供教学辅助资源，老师可登录人民邮电出版社教学服务与资源网（<http://www.ptpedu.com.cn>）下载资料。

我们衷心希望本套教材的出版能促进目前中等职业学校的教学工作，并希望能得到职业教育专家和广大师生的批评与指正，以期通过逐步调整、完善和补充，使之更符合中职教学实际。

欢迎广大读者来电来函。

电子函件地址：lihaitao@ptpress.com.cn，wangping@ptpress.com.cn

读者服务热线：010-67170985



随着电气控制技术的发展,职业学校电机与电气控制课程的教学存在的主要问题是传统的教学内容无法适应现代企业生产技术的发展,本书的编写尝试打破原来的学科知识体系,按现代企业的电气控制流程来构建技能培训体系,即:机械设备需求→控制过程→电气控制原理图→选择元器件→控制线路板装接。

通过本书的学习将使具备电机及其相应控制电路的知识和直接从事电气控制电路的设计和安装的基本技能,帮助学生掌握一般生产机械电气控制电路的设计、安装工艺和流程。

本书既强调基础知识,又力求体现本行业的新知识、新技术、新工艺,教学内容与国家职业技能鉴定规范相结合。在编写体例上采用新的形式,简洁的文字表述,加上大量实物图片及表格,直观明了。编写过程中充分考虑中等职业学校学生的知识基础和教学实际,尽可能地降低理论深度和难度,每一章都通过具体的应用实例引入,激发学生的学习兴趣,设置“想一想”小栏目,启发学生思考,培养分析问题的能力,注重理论和实践的结合,设置“练一练”小栏目,适合采用理实一体化教学法。技能训练中采用如下写法:第一,改变以往验证性实验为主的教学模式,加强了安装控制电路等工程应用的实训内容;第二,由测量数据和指标为主的验证实验转向完成工作任务以及解决实际问题为主的技能训练;第三,精心设计每一个实践项目的任务,将关键知识点融合在完成任务的过程中。每次技能训练都有严格的评分标准对学生的实训过程进行评价,培养学生的规范意识,适应现代企业的需求。

本课程的教学时数为120学时,各章的参考教学课时见以下的课时分配表。

章节	课程内容	课时分配	
		讲授	实践训练
第1章	变压器	8	2
第2章	直流电动机	10	4
第3章	交流异步电动机	12	4
第4章	特种电机	6	0
第5章	电动机的基本控制	42	16
第6章	常用机床的电气控制	8	8
总计		86	34

本书由纵剑玲任主编,并编写第5章、第6章,缪化武任副主编,编写第1章~第4章。本书的编写得到了程周老师的指导和帮助,以及安徽省宿州工业学校领导、电工电子教研组和实训处的支持和协助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,希望广大读者批评指正。

编者

2010年1月

目 录

第 1 章 变压器	1
1.1 变压器的工作原理、结构及分类	2
1.1.1 变压器的工作原理	2
1.1.2 变压器的结构	3
1.1.3 分类	5
1.1.4 变压器的铭牌	5
1.2 变压器的运行特性	6
1.2.1 变压器的外特性及电压变化率	6
1.2.2 变压器的损耗与效率	6
1.3 三相变压器	7
1.3.1 三相变压器的联结组	7
1.3.2 三相变压器的并联运行	8
1.4 其他用途的变压器	9
1.4.1 自耦变压器	9
1.4.2 电流互感器	10
1.4.3 电压互感器	12
1.5 技能训练——变压器的测试	13
本章小结	14
思考与练习	14
第 2 章 直流电动机	16
2.1 直流电动机的工作原理、结构及分类	17
2.1.1 直流电动机的工作原理	18
2.1.2 直流电动机的基本结构	18
2.1.3 直流电动机的分类	19
2.1.4 直流电动机的铭牌数据	20
2.2 直流电动机的运行特性	21
2.2.1 直流电动机的电磁转矩	21
2.2.2 他励（并励）电动机的工作特性	22
2.2.3 串励电动机的工作特性	23
2.2.4 直流电动机的机械特性	23
2.3 他励直流电动机的控制	25
2.3.1 起动	25
2.3.2 反转	26
2.3.3 调速	26



2.3.4 电气制动	27
2.4 技能训练——直流电动机的拆装与检测	28
本章小结	29
思考与练习	30
第3章 交流异步电动机	31
3.1 三相异步电动机的结构、工作原理及分类	32
3.1.1 三相异步电动机的结构	32
3.1.2 三相异步电动机的工作原理	34
3.1.3 三相异步电动机的分类	35
3.1.4 三相异步电动机的铭牌数据	35
3.2 三相异步电动机的运行特性	37
3.2.1 三相异步电动机的电磁转矩	37
3.2.2 三相异步电动机的机械特性	37
3.3 三相异步电动机的控制	38
3.3.1 起动	38
3.3.2 反转	40
3.3.3 调速	41
3.3.4 电气制动	41
3.4 单相异步电动机	42
3.4.1 单相异步电动机的结构	42
3.4.2 单相异步电动机的工作原理	43
3.4.3 单相异步电动机的分类及应用	43
3.4.4 单相异步电动机的正反转控制	45
3.5 电动机的选择	45
3.5.1 电动机额定功率的选择	45
3.5.2 电动机额定电压的选择	47
3.5.3 电动机额定转速的选择	47
3.5.4 电动机种类的选择	47
3.5.5 电动机形式的选择	48
3.6 技能训练——三相异步电动机的拆装与检测	48
本章小结	50
思考与练习	51
第4章 特种电机	52
4.1 电磁调速异步电动机	53
4.1.1 转差离合器的结构	54
4.1.2 转差离合器的工作原理	54





4.2 伺服电动机	54
4.2.1 交流伺服电动机	55
4.2.2 直流伺服电动机	55
4.3 测速发电机	56
4.3.1 交流测速发电机	56
4.3.2 直流测速发电机	57
4.4 步进电动机	57
4.4.1 步进电动机的结构	57
4.4.2 步进电动机的工作原理	58
4.4.3 驱动电源	59
本章小结	59
思考与练习	60
第5章 电动机的基本控制	61
5.1 概述	62
5.1.1 低压电器的基本知识	62
5.1.2 电气图形符号标准	63
5.1.3 绘制、识读电路图、布置图和接线图的原则	63
5.2 手动正转控制	65
5.2.1 低压断路器	66
5.2.2 开关	69
5.2.3 熔断器	71
5.2.4 手动正转控制	74
5.3 点动正转控制	75
5.3.1 按钮	76
5.3.2 接触器	78
5.3.3 中间继电器	82
5.3.4 固态继电器	83
5.3.5 点动正转控制	84
5.4 连续运转正转控制	85
5.4.1 热继电器	85
5.4.2 连续运转正转控制	87
5.4.3 连续与点动混合正转控制电路	89
5.5 正反转控制	91
5.5.1 倒顺开关	91
5.5.2 正反转控制的原理	92
5.5.3 三相异步电动机正反转控制的方法	92
5.5.4 正反转控制的联锁	93
5.5.5 三相异步电动机正反转控制电路	94





5.6	位置控制与自动往返控制	96
5.6.1	行程开关	97
5.6.2	接近开关	98
5.6.3	光电开关	100
5.6.4	位置控制	100
5.6.5	自动往返控制	102
5.7	顺序控制与多地控制	103
5.7.1	时间继电器	103
5.7.2	按钮实现的顺序控制	105
5.7.3	时间继电器实现的顺序控制	107
5.7.4	位置控制实现的顺序控制	108
5.7.5	多地控制	109
5.8	三相笼型异步电动机降压起动控制	109
5.8.1	Y- Δ 降压起动控制	110
5.8.2	电抗降压起动控制	112
5.8.3	自耦变压器降压起动控制	113
5.8.4	固态降压起动器	115
5.9	三相绕线型异步电动机降压起动控制	116
5.9.1	电流继电器	117
5.9.2	频敏变阻器	119
5.9.3	转子绕组串接电阻起动控制	120
5.9.4	转子绕组串接频敏变阻器起动控制	121
5.10	三相异步电动机的制动控制	122
5.10.1	速度继电器	122
5.10.2	机械制动控制	123
5.10.3	能耗制动控制	125
5.10.4	反接制动控制	128
5.11	三相异步电动机的调速控制	129
5.11.1	双速异步电动机定子绕组的联结	129
5.11.2	双速电动机的控制	130
5.11.3	变频器	132
5.12	技能训练	136
5.12.1	控制电路安装注意事项	136
5.12.2	安装与调试连续运转正转控制电路	140
5.12.3	安装与调试接触器联锁正反转控制电路	142
5.12.4	安装、调试与检修时间继电器自动控制 Y- Δ 降压起动控制电路	144
	本章小结	147
	思考与练习	150



第 6 章 常用机床的电气控制	160
6.1 普通车床的电气控制	161
6.1.1 认识 CA6140 型车床	161
6.1.2 CA6140 型车床的电气控制	163
6.2 摇臂钻床的电气控制	166
6.2.1 认识 Z3040 型摇臂钻床	167
6.2.2 Z3040 型摇臂钻床的电气控制	168
6.3 技能训练——CA6140 车床电气控制电路的安装与调试	173
本章小结	174
思考与练习	175
附录 A 常用电器、电机的图形符号与文字符号	176
附录 B 常用低压电器的常见故障及处理方法	179
附录 C 按钮颜色的含义	182
附录 D 指示灯的颜色及其相对于工业机械状态的含义	183
参考文献	184

第1章 变 压 器

变压器是一种静止的电器，它利用电磁感应原理将某一等级的电压、电流的电转换成同频率的另一等级的电压、电流的电。

学习目标

- ◎ 掌握变压器的基本结构、工作原理和额定值。
- ◎ 了解变压器的外特性、变压器的损耗和效率。
- ◎ 掌握几种常用变压器的结构特点、作用和使用时的注意事项。

技能目标

- ◎ 能正确进行变压器的接线、使用。
- ◎ 能正确测定变压器的变压比、空载电流。

【应用导入】

变压器是电力系统中一种重要的电气设备。要将大功率的电从发电站输送到远距离的用电区，输电线路的电压愈高，线路中的电流和相应的线路损耗就愈小。由于发电机绝缘结构的限制，发出的电压不能太高，因此需用升压变压器把发电机发出的电压升高到输电电压，再把电能输送到用电地区，然后再用降压变压器逐步将输出电压降到配电电压，供用户使用，如图 1.1 所示。此外在需要特种电源的工业企业中，在试验设备、测量设备和控制设备中也应用着各种类型的变压器。

【小实验】

器材：220V/9V(6V)变压器一个，9V 小灯泡 1 个，导线若干。

要求：按图 1.2 所示连接变压器、灯泡，观察灯泡的发光情况。



灯泡会亮吗？

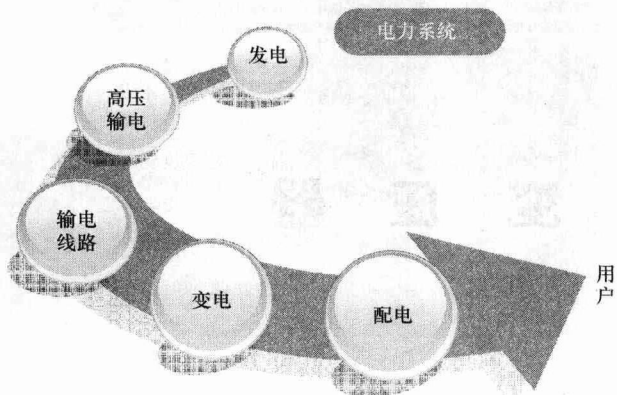


图 1.1 供电系统示意图

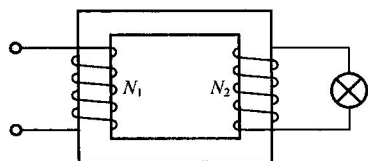


图 1.2 实验原理图

1.1 变压器的工作原理、结构及分类

1.1.1 变压器的工作原理

变压器是按电磁感应原理工作的，它的图形符号如图 1.3 所示，T 是它的文字符号。

把接入交流电源的线圈称为一次绕组，与负载相连的线圈称为二次绕组。一次绕组接在交流电源上，将在铁心中产生交变磁通，这个变化的磁通经过闭合磁路同时穿过一次绕组和二次绕组。在一次、二次绕组中产生感应电动势。这时，如果在二次绕组上接上负载，那么电能将通过负载转换成其他形式的能，如图 1.4 所示。

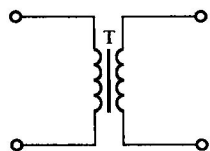


图 1.3 变压器的符号

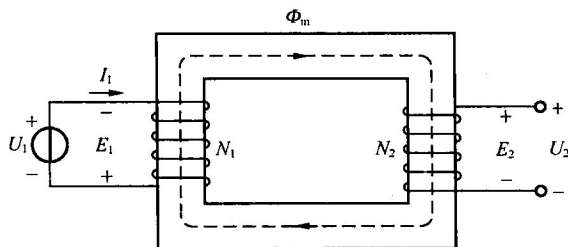


图 1.4 变压器的工作原理

1. 变换交流电压

当变压器的一次绕组接上交流电压后，在一次、二次绕组中通有交变的磁通，若漏磁通略去不计，可以认为穿过一次、二次绕组的交变磁通相同。设一次绕组的匝数是 N_1 ，二次绕组的匝数是 N_2 ，则：

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

如果忽略漏磁通和绕组上的压降，则 $U_1 \approx E_1$ ， $U_2 \approx E_2$ ，则一次、二次电压之比等于



匝数之比。

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

式中, k 称为变压器的变压比。

当 $k > 1$ 时, $N_1 > N_2$, $U_1 > U_2$, 变压器使电压降低, 这种变压器叫做降压变压器。

当 $k < 1$ 时, $N_1 < N_2$, $U_1 < U_2$, 变压器使电压升高, 这种变压器叫做升压变压器。

当 $k = 1$ 时, $N_1 = N_2$, $U_1 = U_2$, 变压器既不升压, 也不降压, 作隔离变压器使用。

2. 变换交流电流

由上面的分析知道, 变压器能从电网中获取能量, 并通过电磁感应进行能量转换后, 再把电能输送给负载。根据能量守恒定律, 在不计变压器内部损耗的情况下, 变压器输出的功率和它从电网中获取的功率相等, 即 $P_1 = P_2$ 。因而 $U_1 I_1 = U_2 I_2$, 即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k}$$

可见, 变压器工作时一次、二次绕组中的电流跟绕组的匝数成反比。变压器的高压绕组匝数多而通过的电流小, 可用较细的导线绕制; 低压绕组匝数少而通过的电流大, 应当用较粗的导线绕制。

变压器除了变电压、变电流外, 还可变换阻抗、改变相位等。



变压器的电压、电流变换只能实现交流电压、交流电流的变换。

1.1.2 变压器的结构

变压器主要由铁心和绕组两部分组成, 铁心和绕组称为变压器的器身, 此外还有油箱、绝缘结构及其他部分, 如图 1.5 所示。

1. 铁心

铁心是变压器的磁路通道。为了减小涡流和磁滞损耗, 铁心是用磁导率较高而且相互绝缘的冷轧硅钢片叠装而成的。

按照铁心构造形式, 可分为心式和壳式两种。心式铁心成“口”字形, 绕组包着铁心, 如图 1.6 (a) 所示; 壳式铁心成“日”字形, 铁心包着绕组, 如图 1.6 (b) 所示。国产电力变压器多采用心式结构。

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分。绕组用具有良好绝缘的漆包线、纱包线或丝包线绕成。应具有较高的耐热、机械强度及良好的散热条件, 以保证变压器的可靠运行和寿命。

绕组分为一次、二次绕组, 也可根据电压大小分为高压、低压绕组。根据高、低压绕组的相对位置绕组可分为同心式和交叠式两种类型。如图 1.7 所示, 国产电力变压器多采用同心式。

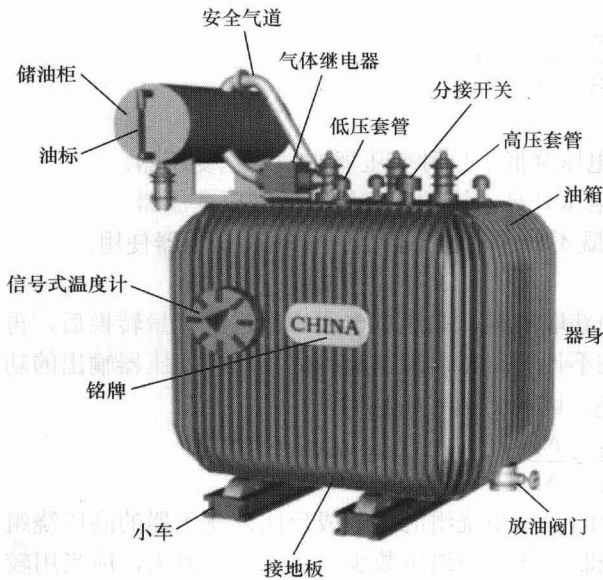
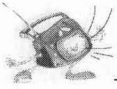
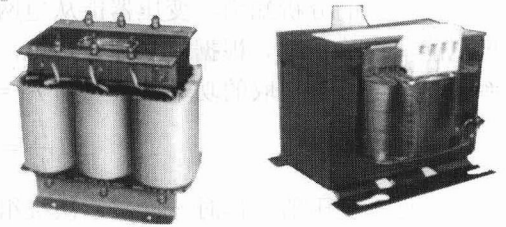


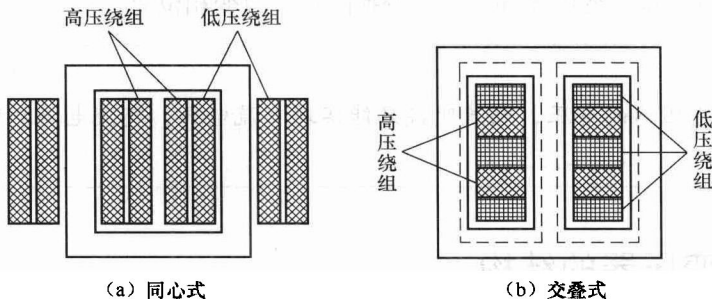
图 1.5 变压器的结构



(a) 心式铁心

(b) 壳式铁心

图 1.6 变压器的铁心构造形式



(a) 同心式

(b) 交叠式

图 1.7 变压器的绕组形式

3. 其他结构部件

(1) 油箱。变压器油是经提炼的绝缘油，既是一种绝缘介质，又是一种冷却介质，变压器油按要求应具有低的粘度，高的着火点和低的凝固点，不含杂质和水分。

(2) 储油柜。储油柜又称油枕，一般装在变压器油箱上面，其底部有油管与油箱相通，当变压器油热胀时，将油收进储油柜内，冷缩时，将油灌回油箱，始终保持器身浸在油内。油枕上还装有吸湿器，内含氧化钙或硅胶等干燥剂。储油柜使油与空气的接触面积减小，从而减少油的氧化和水分的侵入。

(3) 安全气道。较大容量的变压器油箱盖上装有安全气道，它的下端通向油箱，上端用防爆膜封闭，当变压器发生严重故障或气体继电器保护失败时，箱内产生很大压力，可以冲破防爆膜，使油和气体从安全气道喷出，释放压力，以避免造成重大事故。

(4) 气体继电器。气体继电器安装在油箱与油枕之间的三连通管中。当变压器发生故障时，内部绝缘材料及变压器油受热分解，产生气体沿连通管进入气体继电器，使之动作，接通继电器保护电路发出信号，以便工作人员进行处理，或引起变压器前方断路器跳闸保护。

(5) 绝缘套管。作为高、低压绕组的出线端，在油箱上装有高、低压绝缘套管，使变压



器进、出线与油箱（地）之间绝缘。高压套管的结构取决于电压等级，较低电压（1kV 以下）采用实心瓷套管；10~35kV 采用空心充气式或充油式瓷套管；电压 110kV 及以上时采用电容式套管。绝缘套管做成多级伞形，电压越高，级数越多。

（6）分接开关。油箱盖上面的分接开关可以调节高压绕组的匝数（±5%），以调节变压器的输出电压。

1.1.3 分类

一般按相数分为单相与三相变压器，按铁心结构分为心式与壳式变压器，按变压原理分为升压与降压变压器，按使用场合分为电力变压器、整流变压器、调压变压器、输入输出变压器等。

1.1.4 变压器的铭牌

1. 型号

型号表示变压器的结构特点、额定容量（kV·A）和高压侧的电压等级（kV）。如型号为 S9-560/10 的变压器各部分的意义如下：

S —— 三相（D-单相）；

9 —— 设计序号；

560 —— 额定容量，单位为 kV·A；

10 —— 高压侧额定电压，单位为 kV。

2. 额定电压 U_{1N}/U_{2N}

额定电压 U_{1N} ：指交流电源加到一次绕组上的正常工作电压值。

额定电压 U_{2N} ：空载运行时，一次绕组加额定电压时二次绕组的电压值。

单位用 V 或 kV 表示。

3. 额定电流 I_{1N}/I_{2N}

指变压器绕组允许长时间连续通过的最大工作电流，单位以 A 表示。

4. 额定容量 S_N （输出）

指在额定条件下，变压器最大允许输出，即视在功率，单位以 V·A、kV·A 或 MV·A 表示。额定电压、额定电流、额定容量三者的关系是：

单相变压器 $S_N = U_{1N}I_{1N} = U_{2N}I_{2N}$

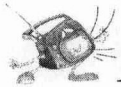
三相变压器 $S_N = \sqrt{3} U_{1N}I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N}I_{2N}$

5. 额定频率

我国规定标准频率为 50Hz。



- 对三相变压器，额定电压指线电压，额定电流指线电流，额定容量指三相总容量；
- 使用时一、二次绕组必须分清；
- 防止变压器绕组短路，以免烧坏变压器。



1.2 变压器的运行特性

1.2.1 变压器的外特性及电压变化率

1. 变压器的外特性

变压器的外特性是指当变压器的一次电压和负载的功率因数都一定时，二次电压随负载电流变化的规律，用公式表示为 $U_2 = f(I_2)$ ，如图 1.8 所示。变压器在电阻性、电感性负载时，外特性是下降的，而电容性负载时，外特性可能上升。

2. 电压变化率

变压器有负载时，二次电压变化的程度用电压变化率 ΔU 来表示。电压变化率是指变压器空载时二次电压 U_{2N} 和有载时二次电压 U_2 之差与 U_{2N} 的百分比，即

$$\Delta U = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\%$$

电压变化率是变压器的主要性能指标之一，它反映了变压器供电电压的稳定性。人们总希望电压变化率越小越好，对于电力变压器来讲，一般在 5% 左右。

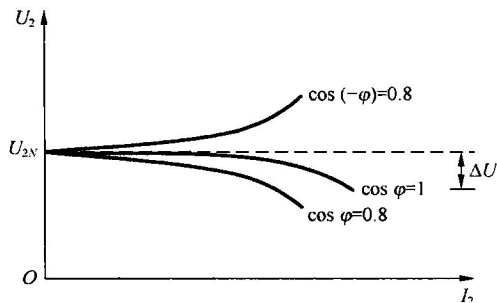


图 1.8 变压器的外特性

1.2.2 变压器的损耗与效率

1. 变压器的损耗

变压器在能量传递过程中会产生损耗，变压器一次输入功率与二次输出功率的差就是变压器所损耗的功率，即

$$P = P_1 - P_2$$

变压器的功率损耗包括铁损耗（磁滞损耗和涡流损耗）和铜损耗（绕组导线电阻的损耗），铜损耗与电流有关；铁损耗决定于电压，并与频率有关。它们的基本关系是：电流越大，铜损耗越大；频率越高，铁损耗越大。

2. 变压器的效率

和机械效率的意义相似，变压器的效率也就是变压器输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比，即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

变压器效率较高，大容量变压器的效率可达 98%~99%。