

高等职业教育教学改革示范教材 · 自动化类专业规划教材系列

电机维修与拆装技术

何 军 主编 杨开明 主审

工学结合

理实一体

强化技能

面向就业

Automation

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等职业教育教学改革示范教材·自动化类专业规划教材系列

电机维修与拆装技术

何 军 主编
杨开明 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要内容有：变压器的结构、工作原理和运行性能分析，电力变压器的并联运行；三相异步电动机的结构、工作原理和运行特性分析，三相异步电动机的调试和检修技术；单相异步电动机的结构和检修方法；直流电动机的结构、工作原理和运行分析等。各章均按技能训练的要求安排相应的实训内容，并附有习题。

本书主要按照高职学生技能培养的要求来安排教学内容，主要突出了电机、变压器的结构、工作原理和使用要求及检修方法，采用了大量的例图，以求达到简明、示范的作用。

本书可作为高职高专学生的教材，也可作为从事电气相关工作的技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电机维修与拆装技术 / 何军主编. —北京：电子工业出版社，2009.6
高等职业教育教学改革示范教材·自动化类专业规划教材系列
ISBN 978-7-121-08918-3

I. 电… II. 何… III. ①电机—维修—高等学校：技术学校—教材 ②电机—装配—高等学校：技术学校—教材 IV.TM307

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 081287 号

策划编辑：王昭松

责任编辑：张 京

印 刷：北京市李史山胶印厂

装 订：北京京师印务有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：12.5 字数：316 千字

印 次：2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：21.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

近年来,随着 2006 年教育部 16 号文的贯彻落实,高职教育走“工学结合”之路在各高职院校普遍实施,这就要求高职学院培养的学生必须具备较高的实践操作技能,本教材在强调基础知识的同时,突出了实践操作技能的培养和训练,以期达到“做中学,学中做”的目的,突出了知识的实用性和够用性,同时通过大量的例图,帮助学生实践技能的理解和掌握。

本教材的主要特点:

- 突出知识的实用性、够用性和技能性;
- 以电动机检修为目标导向,明确各教学内容的知识要求和技能要求;
- 技能内容突出讲练结合,以电动机修理技能培养为主。

全书分 4 个课题共 7 章,分别讲授了变压器结构和工作原理、三相异步电动机的结构和工作原理、三相异步电动机的安装、调试、三相异步电动机的检修技术、单相异步电动机的结构和工作原理、单相异步电动机的检修技术、直流电机的基本结构和工作原理。

本书第 1 章第 1 节和第 2 节由四川职业技术学院赵国华编写;第 1 章第 5~7 节由四川职业技术学院李海兵编写;第 2 章由四川职业技术学院杨立林编写;第 7 章由四川职业技术学院郑辉编写,其余各章节由何军编写。四川职业技术学院副教授、高级工程师何军担任主编,四川职业技术学院副教授杨开明担任主审。

在本书编写过程中,大连水产学院机电工程学院的何首贤教授提出了许多宝贵意见,四川职业技术学院的部分教师也提出了很好的修改意见,在此对所有为本书付出辛勤劳动的同志表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免不妥或错误之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

第一部分 变压器

第 1 章 变压器结构和工作原理	1
第 1 节 变压器的结构	3
1.1.1 变压器的分类和用途	3
1.1.2 变压器的基本结构	4
1.1.3 变压器的型号和额定值	8
第 2 节 单相变压器的工作原理	10
1.2.1 变压器空载运行的工作原理	10
1.2.2 变压器负载运行的工作原理	14
第 3 节 三相变压器的结构及连接组	19
1.3.1 三相变压器的磁路结构	19
1.3.2 三相变压器的连接组标号	20
第 4 节 变压器的运行性能	25
1.4.1 变压器的电压变化率和外特性	25
1.4.2 变压器的效率特性	27
第 5 节 电力变压器的并联运行	30
第 6 节 变压器参数的测定	32
1.6.1 空载试验	32
1.6.2 短路试验	33
第 7 节 其他变压器简介	35
1.7.1 互感器	35
1.7.2 自耦变压器	36
1.7.3 电焊变压器	38
实训一：电力变压器的认识实验	40
小结	40
习题	41

第二部分 三相异步电动机

第 2 章 三相异步电动机的结构和工作原理	43
第 1 节 三相异步电动机的结构	45

2.1.1 定子	46
2.1.2、转子	47
2.1.3 三相异步电动机的铭牌	49
第2节 三相异步电动机的工作原理	51
2.2.1 定子绕组旋转磁场的产生	52
2.2.2 旋转磁场的转速	53
2.2.3 旋转磁场的转向	54
2.2.4 三相异步电动机的转动原理	54
2.2.5 转差率	55
第3节 三相异步电动机的绕组结构	55
2.3.1 三相异步电动机绕组概述	55
2.3.2 三相异步电动机绕组的排列方法	58
2.3.3 三相单层绕组	58
2.3.4 三相双层绕组	65
第4节 三相异步电动机的运行原理及特性分析	69
2.4.1 三相异步电动机的运行原理	70
2.4.2 三相异步电动机的机械特性	74
小结	77
习题	78
第3章 三相异步电动机的安装、调试	81
第1节 三相异步电动机的安装方法	83
3.1.1 安装地点的选择	83
3.1.2 安装基础的形式和做法	83
3.1.3 校正方法	84
3.1.4 接地装置、电源线的安装	86
第2节 三相异步电动机运行中的检查	87
3.2.1 三相异步电动机正常运行的条件	87
3.2.2 正常运行的主要内容	88
3.2.3 三相异步电动机启动前的检查	88
3.2.4 电动机运行中的监视	89
第3节 三相异步电动机参数的测试及首尾端的判断	90
3.3.1 三相异步电动机参数的测试	90
3.3.2 三相异步电动机首尾端的判断	93
实训二：三相电动机首尾端的判断	96
小结	96
习题	96

第4章 三相异步电动机的检修技术	97
第1节 三相异步电动机常见故障现象	99
第2节 三相异步电动机的检修	100
4.2.1 电动机的定期检修	100
4.2.2 电动机的拆装	101
实训三：三相异步电动机的拆装	106
第3节 定子绕组的局部修理	107
4.3.1 定子绕组接地故障	107
4.3.2 定子绕组受潮	108
4.3.3 定子绕组短路故障	108
4.3.4 定子绕组断路故障	109
4.3.5 转子绕组故障	109
实训四：三相异步电动机定子绕组局部修理	111
第4节 定子绕组的重绕修理	112
4.4.1 绕组数据的获取和记录	112
4.4.2 旧绕组拆除方法	113
4.4.3 线模的制作	114
4.4.4 线圈的绕制	115
4.4.5 嵌线	116
4.4.6 端部整形	119
4.4.7 接线	119
4.4.8 检查	120
4.4.9 浸漆与烘干	121
4.4.10 装配	123
实训五：定子绕组的重绕	124
小结	125
习题	125

第三部分 单相异步电动机

第5章 单相异步电动机的结构和工作原理	127
第1节 单相异步电动机的结构和工作原理概述	129
5.1.1 结构	129
5.1.2 单相异步电动机的分类	129
5.1.3 单相异步电动机的铭牌数据	130
5.1.4 单相异步电动机的工作原理	131

第2节 单相电容(电阻)异步电动机	133
5.2.1 单相电容运行异步电动机	133
5.2.2 单相电容启动异步电动机	135
5.2.3 单相电阻启动异步电动机	135
第3节 单相罩极异步电动机	136
小结	137
习题	137
第6章 单相异步电动机的检修技术	139
第1节 单相异步电动机定子绕组	141
6.1.1 单层绕组	141
6.1.2 双层绕组	143
6.1.3 正弦绕组	144
第2节 单相异步电动机的反转与调速	146
6.2.1 反转	147
6.2.2 调速	147
第3节 单相异步电动机常见故障及检修方法	148
实训六: 吊扇的检修	150
小结	151
习题	151

第四部分 直流电机

第7章 直流电机的基本结构和工作原理	153
第1节 直流电机的基本原理和结构	155
7.1.1 直流电动机的基本工作原理	155
7.1.2 直流发电机的基本原理	156
7.1.3 直流电机的主要结构	157
7.1.4 直流电机的额定值和型号	162
7.1.5 直流电机的励磁方式	163
第2节 直流电机电枢绕组	164
7.2.1 绕组元件与节距	164
7.2.2 单叠绕组	166
7.2.3 单波绕组	169
第3节 直流电机的电枢电动势	170
第4节 直流电机的电磁转矩和电磁功率	172
7.4.1 电磁转矩	172
7.4.2 电磁功率	173

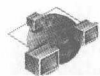
第 5 节 直流电机的磁场及电枢反应	173
7.5.1 直流电机的空载磁场	174
7.5.2 直流电机的电枢反应及负载磁场	175
实训七：小型直流电机拆装及检修	185
小结	185
习题	186
参考文献	187

第一部分

变压器

第一章

变压器结构和工作原理



教学目标

1. 掌握变压器的基本结构及电力变压器各组成部分的作用；
2. 掌握电力变压器铭牌数据的物理含义；
3. 通过单相变压器空载和负载运行分析，掌握变压器的工作原理及各物理量之间的关系；
4. 掌握三相变压器的磁路结构及连接组别的分析判断方法；
5. 掌握变压器的外特性、效率特性的物理意义及其对变压器运行的重要意义；
6. 掌握变压器主要参数测试的方法；
7. 掌握电力变压器并联运行的条件；
8. 了解电力变压器的运行检查的主要内容；
9. 了解其他用途变压器的主要结构和工作原理。



变压器是一种静止的电气设备，它可以将一种电压等级的交流电能转变成同频率的另一种电压等级的交流电能。电力系统中，把发电厂（站）发出的电能经济地传输、合理地分配及安全地使用，都要通过变压器的变压；在电力拖动系统和自动控制系统中，变压器作为能量传递或信号传送的元件，也应用得十分广泛。在其他部门，也要使用各种类型的变压器，以提供特种电源或满足特殊的需要。

变压器的用途广泛，种类繁多，容量小的只有几伏安，大的可达数十万伏安；电压低的只有几伏，高的可达几十万伏，因此其结构各有特点，然而基本原理是相同的。本章以电力变压器为典型，介绍变压器的结构、工作原理、性能及分析方法。

第1节 变压器的结构

知识目标

- (1) 掌握变压器的作用及分类；
- (2) 掌握变压器的基本结构及电力变压器各组成部分的作用；
- (3) 掌握变压器铭牌数据的物理含义。

技能目标

了解变压器各组成部分在结构上的要求。

1.1.1 变压器的分类和用途

变压器是输配电系统的主要电气设备。为了减少线路损耗，远距离输电采用高压，如110kV、220kV、330kV和500kV。目前从发电机发出的电压，因受电机绝缘水平的限制，以6.3kV和10.5kV为最多。发电机发出的电压需经变压器升压然后经高压输电线路输送到远地。到了用电地区，因电压太高不能直接使用，还必须经变压器降压，大型动力设备的电压为6kV、3kV，小型动力设备的电压为380V，单相用电设备和照明设备需用220V电压。输配电系统需多次进行升压和降压，因而变压器的安装容量约为发电机安装容量的5~8倍。在电力系统中应用的变压器称为电力变压器。

除电力变压器外，还有供特殊电源用的变压器，如电炉变压器、电焊变压器、整流变压器等；供测量用的变压器，如电压互感器、电流互感器；以及其他变压器，如高压试验用变压器、自动控制系统中的小功率变压器等。

变压器是利用互感原理工作的电磁装置，它的符号如图1-1所示，T为变压器的文字符号。

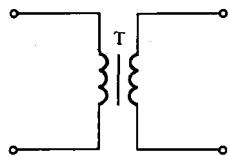


图1-1 变压器的符号

为了实现不同的使用目的，并适应不同的工作条件，要对变压器进行分类。

(1) 按用途分类，可分为电力变压器（电力变压器又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、厂用变压器等）、特种变压器（电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等）、仪用互感器（电压互感器、电流互感器）、试验用的高压变压器和调压变压器等。

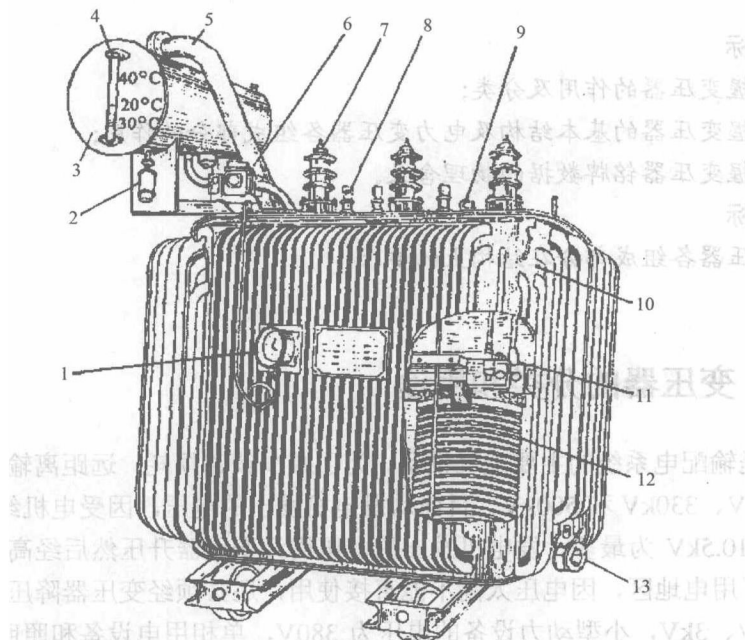
(2) 按绕组的构成分类，可分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器。

(3) 按铁芯结构分类，可分为壳式变压器和心式变压器。

(4) 按相数分类，可分为单相变压器、三相变压器和多相变压器。

(5) 按冷却方式分类，可分为干式变压器、油程式变压器（油浸自冷式、油浸风冷式和强迫油循环式等气式变压器）。

在各种电力变压器中，以油浸自冷式双绕组变压器应用最广泛，电力变压器主要由铁芯、绕组、绝缘套管、油箱及附件等部分组成。三相油浸自冷式变压器结构如图 1-2 所示。



1—信号式温度计；2—吸湿器；3—储油柜；4—油表；5—安全气道；6—气体继电器；
7—高压套管；8—低压套管；9—分接开关；10—油箱；11—铁芯；12—线圈；13—放油阀门

图 1-2 三相油浸自冷式变压器结构

1.1.2 变压器的基本结构

变压器主要由铁芯和线圈两部分构成。

铁芯和绕组合称器身，是变压器通过电磁感应原理进行能量传递的部件。为了改善散热条件，器身浸入盛满变压器油的油箱中。油箱还起到机械支撑、散热和保护器身的作用。变压器油则起到绝缘和冷却的作用。套管的作用是使变压器绕组的端头从油箱内引到油箱



外,且保证变压器引线与油箱绝缘。同时,为了使变压器安全可靠地运行,还设有储油柜、安全气道和气体继电器等附件。

1. 铁芯

铁芯构成变压器的磁路通道,同时又起着器身骨架的作用。铁芯分为铁芯柱和铁轭两部分,铁芯柱用来套绕组,铁轭则是连接两个铁芯柱的部分,以形成闭合的磁路,为了提高铁芯的导磁性能、减少磁滞损耗和涡流损耗。铁芯多采用厚度为 0.35mm、表面涂有绝缘漆的热轧或冷轧硅钢片叠装而成,每层叠片的接缝要互相错开。

按其构造形式可分为心式变压器(见图 1-3)和壳式变压器(见图 1-4)两种。

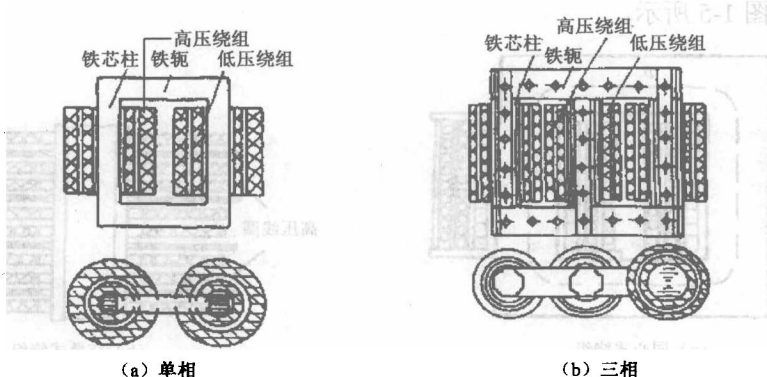


图 1-3 心式变压器

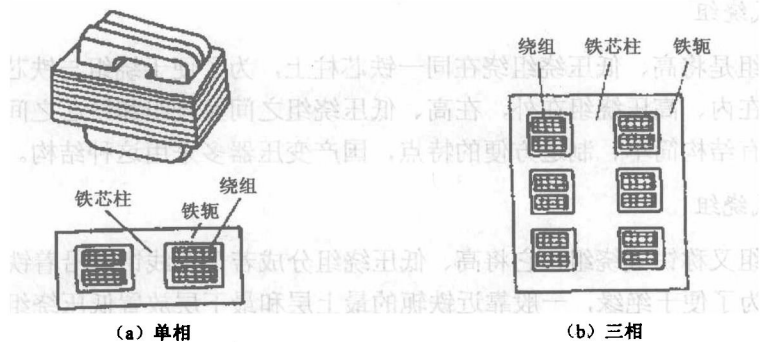


图 1-4 壳式变压器

心式变压器的结构特点是绕组包围铁芯,这种结构比较简单,适用于容量大而电压高的变压器,国产电力变压器均采用心式结构。壳式变压器的特点是铁芯包围绕组,这种结构形式变压器的机械强度好,铁芯容易散热,但外层绕组的铜线用量较多、制造工艺复杂,一般多用于小型干式变压器中。

大、中型变压器的铁芯,一般先将硅钢片裁成条形,然后采用交错叠片的方式叠装而成。交错叠片的目的是使各层磁路的接缝互相错开,以免接缝处的间隙集中,从而减小磁路的磁阻和励磁电流。

小容量变压器的铁芯柱截面一般采用方形和长方形。在容量较大的变压器中，为了充分利用绕组内部的空间，常采用阶梯形截面，且容量越大，阶梯形越多。

2. 线圈

线圈构成变压器的电路，它是变压器输入和输出电能的电气回路。常用绝缘铜线或铝线绕制而成，还有用铝箔绕制而成的。其中，和电源相连的线圈叫原线圈（初级绕组），和负载相连的线圈叫副线圈（次级绕组）。为了使绕组便于制造、在电磁力作用下受力均匀、机械性能良好，一般电力变压器都把绕组绕制成圆形。

按高、低压绕组在铁芯柱上的排列方式不同，绕组可分为同心式和交叠式两种，变压器绕组结构如图 1-5 所示。

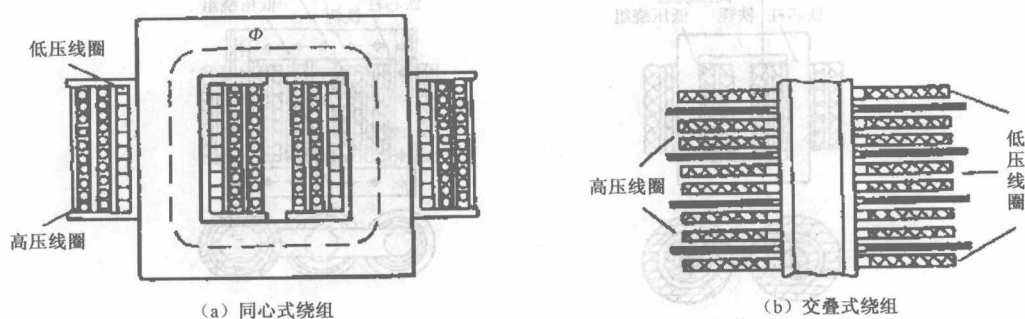


图 1-5 变压器绕组结构

1) 同心式绕组

同心式绕组是将高、低压绕组绕在同一铁芯柱上，为了便于绕组与铁芯之间的绝缘，通常低压绕组在内、高压绕组在外，在高、低压绕组之间及绕组和铁芯之间都加有绝缘。同心式绕组具有结构简单、制造方便的特点，国产变压器多采用这种结构。

2) 交叠式绕组

交叠式绕组又称饼式绕组，它将高、低压绕组分成若干个线饼，沿着铁芯柱的高度方向交替排列。为了便于绝缘，一般靠近铁轭的最上层和最下层放置低压绕组，高压绕组放在中间。交叠式绕组的主要优点是：漏抗小、机械强度好、引线方便。但绝缘比较复杂，这种绕组只适用于壳式大型变压器中，如大型电炉变压器就采用这种结构。

3. 绝缘套管

变压器绕组的引出线从油箱内穿过油箱盖时，要通过瓷质的绝缘套管，以便带电的引出线与接地的油箱绝缘；套管的结构取决于电压等级。为了增加表面爬电距离，绝缘套管的外形多做成多级，电压越高级数越多。图 1-6 是 35kV 充油式绝缘套管结构示意图。

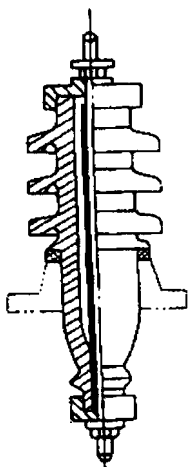


图 1-6 35kV 充油式绝缘套管结构示意图

4. 油箱及其附件

1) 油箱

电力变压器多采用油浸式结构，即把变压器的器身放在装有变压器油的油箱内。变压器油既是一种绝缘介质，又是一种冷却介质。小容量（ $20\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下）的变压器一般采用平壁式油箱，容量稍大的变压器则采用管式油箱（在油箱壁上焊有散热油管，以增加散热面积）。对于容量在 $3000 \sim 10\,000\text{kV} \cdot \text{A}$ 的变压器，则采用散热式油箱； $10\,000\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上的变压器一般采用带有风扇冷却的散热器油箱，即油浸风冷式油箱； $500\,000\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上的变压器则采用强迫油循环冷却油箱。

2) 储油柜

在变压器油箱的上面，一般装有圆筒形的储油柜（油枕），储油柜通过连通管与油箱相通，以保证变压器器身始终浸在变压器油中。柜内油面高度随变压器油的热胀冷缩而变动，储油柜还能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) 气体继电器

气体继电器（瓦斯继电器）装在油枕和油箱的连通管中间，当变压器内部发生故障（如绝缘击穿、匝间短路、铁芯事故等）产生气体或油箱漏油使油面降低时，气体继电器动作，可使断路器自动跳闸或发出信号，对变压器起保护作用。

4) 安全气道

安全气道（防爆管）装于油箱顶部，是一个长形圆筒，上端口装有一定厚度的玻璃板或酚醛纸板，下端口与油箱连通。它的作用是当变压器内部发生故障引起压力骤增时，让油气流冲破玻璃或酚醛纸板，以免造成箱壁爆裂。



5) 分接开关

油箱盖上面装有分接开关,可调节一次绕组的匝数,做到小范围的电压调节,以保证负载端电压的稳定。

1.1.3 变压器的型号和额定值

每台变压器上都有一个铭牌,其上标有型号、额定值和其他一些数据。下面介绍变压器的型号和额定值。

1. 变压器的型号

变压器的型号说明变压器的系列型式和产品规格。变压器的型号是由字母和数字组成的:第一个字母表示相数,后面的字母分别表示导线材料、冷却介质和方式等;斜线前面的数字表示额定容量($\text{kV} \cdot \text{A}$),斜线后面的数字表示高压绕组的额定电压(kV)。变压器型号中代表符号的含义如表 1-1 所示。

例如: S L 7—200/10

S 表示三相, L 表示铝导线, 7 表示设计序号, 200 表示额定容量为 $200\text{kV} \cdot \text{A}$, 10 表示高压绕组电压等级为 10kV 。

通常 $800\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下的电力变压器称为小型变压器; $1000 \sim 6300\text{kV} \cdot \text{A}$ 的变压器称为中型变压器; $8000 \sim 63\,000\text{kV} \cdot \text{A}$ 变压器称为大型变压器; $90\,000\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上的变压器称为特大型变压器。

表 1-1 变压器型号中代表符号的含义

分 类	类 别	符 号
相数	单相	D
	三相	S
线圈外冷却介质	矿物油	—
	不燃性油	B
	气体	Q
	空气	K
	成型固体	C
箱壳外冷却介质	空气自冷	—
	风冷	F
	水冷	W
循环方式	自然循环	—
	强迫循环	P
	强迫导向	D
	导体内冷	N
	蒸发冷却	H