



数据加载失败，请稍后重试！

变电运行岗位技能培训教材 (220kV)

全国电力工人技术教育供电委员会 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书共二十一章,汇总了四大部分内容。一、变电所的一次设备和一次接线,涉及到的一次设备有变压器、电压互感器、电流互感器、断路器、隔离开关、SF₆全封闭组合电器、电抗器、电容器、电抗、母线与金具、绝缘子、避雷针与避雷器;二、变电所的二次设备,包括二次回路、继电保护及自动装置、电工仪表及操作电源;三、倒闸操作及事故处理;四、变电所的生产管理与电网调度。

图书在版编目(CIP)数据

变电运行岗位技能培训教材:220kV/全国电力工人技术
教育供电委员会编.-北京:中国电力出版社,1997(重印)
ISBN 7-80125-264-0

I. 变… I. 全… II. 变电所,220kV-电力系统运行
-技术培训-教材 N. TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第22523号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

1997年4月第一版 1997年7月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22印张 498千字

印数8601—13670册 定价23.50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

根据中国电力企业联合会教育培训部的安排,由全国电力工人技术教育供电委员会组织编写的电力工人岗位技能培训试编样本教材——《变电运行岗位技能培训教材》,经过四年多的酝酿探讨、编写审查和反复修改,终于和广大读者见面了。

这套教材集中了全国供电系统许多专家学者的智慧,汲取了全国电力系统工人培训教材建设的成果和经验教训,在体裁、结构和内容上均有较大的革新和突破,具有工人岗位培训教材的鲜明特色。

这套教材按照部颁《电力工人技术等级标准》和《变电运行岗位规范》要求,突破传统教材的学科体系,理论联系实际,紧密结合生产,坚持按需施教,按岗位和设备系统组织教材,以部颁规程、规范、标准的内容为主线,突出生产技能、专业理论知识,为掌握生产技能服务,具有较强的针对性、实用性和先进性。主要包括:变电一、二次设备及运行,变电所运行方式变换的操作,变电运行的异常、事故及处理,变电所的运行管理等;此外还选编有运行操作实例、事故案例、典型经验和常用数据。本书是供电系统的岗位技能培训教材,也可作为工矿企业值班电工和农村电工的培训教材,还可作为电力类大中专院校的技能教学参考书。

这套教材按电压等级——35kV、110kV(含66kV)、220kV、500kV(含330kV)分册出版。这次出版的《变电运行岗位技能培训教材(110kV)》主编重庆电业局教授级高级工程师黄政中,主审北京供电局高级工程师胡文炳;《变电运行岗位技能培训教材(220kV)》主编湖北省荆州电力局讲师周石生、副主编梅新、严思雄、严杉,主审湖北省电力工业局教授级高级工程师曾珍高、西安供电局高级工程师魏朝钰;《变电运行岗位技能培训教材(500kV)》主编湖北省超高压输变电局教授级高级工程师李莫川,副主编教授级高级工程师俞善纪、高级工程师韩南贵,主审湖北省电力工业局教授级高级工程师曾珍高,副主审湖北省超高压输变电局教授级高级工程师李国兴、高级工程师邢振德。此外,参加本套教材编写的人员还有邓颖、孙渝江、郑小旺、廖兵、李文、王民友、宋会平、曾跃、刘文浩、苏州、何跃文、固柏民、黄可旺、蔡志平、谌翔虹、谭重伟;参加审稿的人员还有曾昭强、周健真、陆雪梅、秦德明、吴宝珠、汪洋、潘思谦、史久宏、文闰成、冯学艺、彭立明、曾国钧、吴世炎、赵国儒、

邹红雨、陈永波、林治学、顾兆正、袁鸿全、焦生等。

本书在编写、审定、修改过程中得到了中国电力企业联合会教育培训部、中国电力出版社、湖北省电力工业局、广东省电力工业局、重庆电业局、荆州电力局、渭南供电局、湖北省超高压输变电局和全国供电系统有关单位领导和专家的大力支持和帮助，在此致以衷心的感谢。

岗位技能培训教材的编写尚在摸索试点，加之我们水平有限，这套试编教材的不妥之处在所难免，诚恳地欢迎广大读者批评指正。

全国电力工人技术教育供电委员会
教材编审委员会

1995年1月15日

目 录

前 言	
第一章 电力系统基本知识	1
第一节 概述	1
第二节 电力系统的电能质量和经济运行	2
第二章 变压器	6
第一节 变压器的工作原理和结构	6
第二节 变压器的运行标准和规定	17
第三节 变压器的巡视检查	21
第四节 变压器的故障分析及处理	23
第五节 变压器的检修、试验和验收	27
第三章 互感器	35
第一节 电压互感器的工作原理与结构	35
第二节 电压互感器的运行规定	37
第三节 电压互感器的巡视检查	38
第四节 电压互感器的故障分析及处理	39
第五节 电流互感器的工作原理和结构	39
第六节 电流互感器的运行规定	41
第七节 电流互感器的巡视检查	43
第八节 电流互感器的故障分析及处理	44
第九节 互感器的检修、试验和验收	44
第四章 断路器	49
第一节 断路器的工作原理与结构	49
第二节 断路器的参数与运行规定	59
第三节 断路器的巡视检查	61
第四节 断路器的故障分析及处理	63
第五节 断路器的检修与试验	66
第五章 隔离开关	71
第一节 隔离开关的用途与结构	71
第二节 隔离开关的运行规定	77
第三节 隔离开关的巡视检查	78
第四节 隔离开关的异常及事故处理	79
第五节 隔离开关的检修、试验及验收	80
第六章 SF ₆ 全封闭组合电器	82
第七章 电抗器和电容器	90

第一节	电抗器、消弧线圈、阻波器的基本知识	90
第二节	电抗器、消弧线圈及阻波器的运行、巡视检查与维护	94
第三节	电容器与滤波器的基本知识	96
第四节	电容器、滤波器的运行、巡视检查与维护	102
第八章	电缆、母线与金具、绝缘子	106
第一节	电力电缆的性能、运行、巡视检查与试验	106
第二节	母线与金具的运行、维护与检查	111
第三节	绝缘子	116
第九章	避雷针与避雷器	118
第一节	避雷针、避雷器、接地装置的基本知识	118
第二节	避雷针与避雷器的运行检查与维护	123
第十章	变电所的一次接线	126
第一节	220kV 变电所典型主接线与运行特性	126
第二节	高压配电装置的布置	131
第三节	所用电接线及运行	146
第十一章	二次回路的基本知识	148
第十二章	变电所的二次回路	159
第一节	断路器的控制回路	159
第二节	变电所的信号回路	163
第三节	变电所同期回路	167
第四节	二次回路的运行检查和故障处理	171
第十三章	继电保护的基本原理与运行	174
第一节	继电保护的基本知识	174
第二节	电力变压器保护	177
第三节	输电线路保护	200
第四节	母线保护与断路器失灵保护	227
第五节	并联电容器组和并联电抗器的保护	236
第六节	同步调相机的保护与运行	241
第十四章	安全自动装置的构成及运行	244
第一节	自动重合闸装置	244
第二节	按频率自动减负荷装置	246
第三节	备用电源自动投入装置	248
第四节	远方切机、切负荷装置	251
第五节	故障录波器	252
第十五章	电工仪表	259
第一节	电工仪表的基本知识	259
第二节	电工仪表运行检查与维护	262
第十六章	操作电源	263
第一节	开口式铅酸蓄电池	263
第二节	镉镍蓄电池	263

第三节	全密封免维护酸性蓄电池直流系统	266
第四节	直流系统的绝缘监察和电压监察装置	267
第五节	直流供电网络	270
第六节	交流不间断电源简介	272
第十七章	远动装置简介	273
第一节	远动装置的基本知识	273
第二节	远动装置的运行与检查	274
第十八章	倒闸操作	276
第一节	倒闸操作的原则和基本操作方法	276
第二节	倒闸操作的步骤和注意事项	279
第三节	操作票的填写方法	283
第四节	典型倒闸操作的操作要点及新设备投运	294
第五节	防误闭锁装置	301
第十九章	变电所事故处理	306
第一节	常见事故处理的原则	306
第二节	变电所常见事故处理	307
第三节	电网异常和事故的分析处理	309
第四节	误操作事故处理	315
第五节	事故及处理实例	315
第二十章	变电所的生产管理	318
第一节	变电所的运行管理	318
第二节	变电所的设备管理	323
第三节	变电所的技术管理	328
第四节	变电所的安全管理	331
第二十一章	电网调度管理	338
附表	高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压标准	343

第一章 电力系统基本知识

第一节 概 述

为了安全、经济地发供电，满足国民经济和人民生活用电的需要，国内外都把许多发电厂经过升、降压变压器（变电所）和高压输配电线路同用户（电力用户和热用户）连接起来，组成一个统一的供用电系统，称为动力系统。动力系统的一部分——发电厂的电气部分、变电所、输配电线路、电力用户，称作电力系统。电力系统中的变电所和输配电线路称之为电力网。

1. 电能生产的特点及对电力系统运行的基本要求

电能生产最基本的特点就在于电能不能大规模储存，电能的生产、输送、分配、使用几乎是在同时进行的；而且，电能与国民经济的各部门及人民日常生活有着极为密切的关系，供电的突然中断会带来严重的后果，因此，要求发供电要有计划性，要有较高的自动化水平和运行管理水平，对电力系统职工的素质要求也比较高。

根据电能生产的特点，对电力系统的运行有下列基本要求：

- (1) 保证安全、可靠、连续地对用户供电。
- (2) 保证电能的质量。
- (3) 保证电力系统运行的经济性。

2. 建立大电力系统的优越性

目前，我国电力工业发展很快，发电机单机容量越来越大，电网的电压等级越来越高，建立了多个跨省大系统，各大系统的装机总容量、输电距离、供电区域都在不断增大，还实现了华东、华中两大系统联网。建立大电力系统有如下的优越性：

(1) 可提高运行的可靠性。当系统中任一电厂因故障停机时，不致影响对用户的连续供电。

(2) 可提高设备的利用率。由于合理地调度，可使设备得到充分地利用，因而提高了发电、变电设备的利用小时数。

(3) 可提高电能质量。单个机组或单个负荷在系统中所占的比例很小，因此个别负荷或机组的投入和切除对系统频率或电压的影响不大。

(4) 可减少备用机组的总容量，节省投资。为保证供电可靠，系统中需要有适量的发电机组作为备用容量，其中负荷备用约占系统最大负荷的3%~5%，事故备用约占系统最大负荷的5%~10%，还有一定的检修备用容量。由于统一考虑一定的备用机组，就不必每个发电厂都装设备用机组，对全系统而言，大大减少了备用机组的总容量。

(5) 可提高整个系统的经济性。大电力系统可发挥各类电厂的特点，充分利用能源，实

行水、火电配合及经济调度，如丰水期可多发水电，少发火电，枯水期水电减发，而多发火电等。

(6) 为使用高效率、大容量的机组创造了条件。当系统容量很大时，由于系统有足够的备用，故可装备高效率大容量的机组。

3. 220kV 变电所的作用

为了把电能送到较远的用电地区，需将电能经升压变压器把电压升高，通过高压输电线路送到用电地区，再经降压变电所的变压器把电压逐级降低后分配使用。所以，变电所的主要任务是变换电压，集中和分配电能，控制电能的流向和调整电压。

我国通过技术经济比较及总结多年的运行经验，得出了各级额定电压与输送功率及输送距离的关系。一般，110kV 电压级输送功率为 10~50MW，送电距离为 50~150km；220kV 电压级输送功率为 100~150MW，送电距离为 200~300km；500kV 电压级输送功率为 1000~1500MW，送电距离为 250~1000km。由此可见，220kV 电压级最适合作为省级电网的主要输电线路的电压。

第二节 电力系统的电能质量和经济运行

一、电力系统的电能质量

电压、频率、波形是衡量电力系统电能质量的三个重要参数。

1. 频率标准

我国电力系统的额定频率是 50Hz。规定的容许偏差为：电网容量在 300 万 kW 及以上者，为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；电网容量在 300 万 kW 以下者，为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

频率下降意味着系统中有功不足。要求系统频率的偏差值较小，就需要随时保持发电厂的有功功率和用户的有功负荷的平衡。低频运行本质上是对用户供电不足。

由于电力系统的负荷随时都在变化，因此系统的频率也随之变化，欲使系统的频率变化不超过容许的范围，就必须对频率进行调整，这是电力系统调度部门的主要职责之一。

电力系统在正常运行方式下，应严格要求频率偏差不大于规定值，如因重大事故而造成频率下降时，必须采取措施，如动用系统的备用容量，按频率的降低自动切除一部分负荷（即低频减载）等，以迅速恢复电力系统的正常频率。

2. 电压质量

我国的额定供电电压有：低压、单相为 220V，三相为 380V；高压为 10、35、110、220、330、500kV；除发电厂直配电压可采用 3、6kV 外，其它等级的电压应逐步过渡到上述电压。

供电部门供给用户受电端的电压变化幅度不应超过下列数值：

(1) 35kV 及以上供电和对电压质量有特殊要求的用户为额定电压的 $\pm 5\%$ 。

(2) 10kV 及以下高压供电和低压电力用户为额定电压的 $\pm 7\%$ 。

(3) 低压照明用户为额定电压的 $+5\% \sim -7\%$ 。

电压下降意味着系统中的无功不足，当系统中没有足够容量的无功电源时，无功负荷

不得不由发电机负担,这样,一方面导致发电机发出有功功率的能力降低,另一方面,大量的无功负荷由发电机流经各级送电设备时,会产生较大的电压降落,使用户受电端电压降低,同时,使线路损耗增大。

提高电力系统的电压质量主要从以下两方面着手:

(1) 当系统中无功电源不足时,首要问题是增加系统中的无功电源。同步发电机、调相机、并联电容器组、静止补偿器、大型同步电动机等都是重要的无功电源。

(2) 若系统中的无功不缺,则可通过改变变压器的分接头等措施,调整系统中某个局部的电压水平。

电力系统中监视、控制和调整电压的母线称为电压中枢点,一般电压中枢点的电压符合要求,则其它母线的电压就能基本上符合要求。

电压中枢点调压方式有三种:

(1) 逆调压。最大负荷时,逆调压要求电压中枢点的电压较该点所连接线路的额定电压高 5%,在最小负荷时,要求电压中枢点的电压等于该线路的额定电压。这种调压方式,适用于线路长、负荷变动大的电网,一般需要在电压中枢点装设较贵重的调压设备,如调相机、静止补偿器、带负荷调压变压器等。

(2) 恒调压。把中枢点的电压调整到比线路额定电压高 5%左右的数值,保持不变,一般可以不装设贵重的调压设备,利用普通变压器的分接头选择,或装设电力电容器就可以达到要求。

(3) 顺调压。在最大负荷时,使电压中枢点的电压不低于线路额定电压的 1.025 倍;在最小负荷时,使电压中枢点的电压不高于线路额定电压的 1.075 倍,即要求电压中枢点的电压偏移在 2.5%~7.5% 范围内。这种调压方式一般不需要加装特殊的调压设备,可通过普通变压器分接头的选择来达到,它适用于线路电压损耗较小,负荷变动不大或用电单位容许电压偏移较大的电网。

3. 波形质量

电力系统的电压应是正弦波。随着冶金、电气化铁路、电车等换流设备及其它非线性用电设备的增加,致使大量的谐波电流注入电网,造成电网正弦波形畸变,使电能质量下降,给发供电设备及用户(如自动化系统的计算机、通信、精密测量等)的用电设备带来严重的危害。为保证电能质量,保证电网和用户用电设备的安全经济运行,必须对各种非线性用电设备注入电网的谐波电流加以限制。

根据部颁 SD-127-84《电力系统谐波管理暂行规定》要求,电网中任一点的电压正弦波形畸变均不得超过表 1-1 的规定。

表 1-1 中第 n 次谐波电压正弦波形畸变率 DFV_n 为第 n 次谐波电压有效值 U_n 与基波电压有效值 U_1 的百分比,即

$$DFV_n = \frac{U_n}{U_1} \times 100\%$$

总电压正弦波形畸变率 DFV 为各谐波电压(有效值)的均方根与基波电压有效值的百分比,即

$$DFV = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} (U_n)^2}{U_1}}$$

表 1-1 电网电压正弦波形畸变率极限值

用户供电电压 (kV)	总电压正弦波形畸变率 DFV 极限值 (%)	各奇、偶次谐波电压正弦波形畸变率 DFV_n 极限值 (%)	
		奇 次	偶 次
0.38	5	4	2
6 或 10	4	3	1.75
35 或 63	3	2	1
110	1.5	1	0.5

二、电力系统的经济运行

电力系统经济运行的基本要求是：在保证整个系统安全可靠和电能质量符合标准的前提下，努力提高电能生产和输送的效率，尽量降低供电的燃料消耗或供电成本。因此，电力系统经济运行主要反映三个经济指标。

(1) 标准煤耗量。即生产 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 电能所消耗的标准煤量（按规定发热量为 7000kJ/kg 的标准煤）。

(2) 厂用电率。发电厂在电力生产过程中耗用的电量与发电量之百分比。

(3) 线路损耗率。电能在各级电网输送中的损耗量占供电量的百分比。

在运行中应采取措施，努力将全电力系统的各项经济指标降低到最小。主要措施如下：

1. 经济负荷分配

经济负荷分配包括系统内发电厂之间及厂内机组之间的负荷分配，应使火电厂高效率的机组多带负荷，并尽量减少不必要的开、停机次数，有条件时，可按机组的经济特性分配负荷。

在有水电厂的系统内，应充分利用水能，以节省燃料。为此，在丰水期使水电厂尽量多发电，在平、枯水期，水电厂带系统的尖峰负荷，使火电厂机组在平衡负荷下运行。

2. 降低线损

线损就是线路和变压器等的功率损耗，线损率就是全系统的线损量占供电量的百分数。供电部门降低线损的具体措施如下：

(1) 做好供电的技术管理、计量管理和用电管理等工作。

(2) 减少变压级数。每经一次变压大致要消耗 $1\% \sim 2\%$ 的有功功率，变压级数越多，损耗就越大。

(3) 就地平衡无功，在受电地区装设必要数量的无功补偿设备，减少线路输送无功的数量。

(4) 适当改变线路，结合规划，对某些不合理的送、配电线路，如负荷过重或迂回曲折及延伸很长的线路，应适当进行改造或升压，必要时增建第二回线。

(5) 提高电网运行的电压水平。电网运行时，线路和变压器等电气设备的绝缘所容许的最高工作电压，一般不应超过额定电压的 10%，因此，电网运行时，在不超过上述规定的条件下，应尽量提高运行电压水平，以降低功率和电能损耗，如果线路电压提高 5%，线路中的能量损耗约会降低 9%。

(6) 最佳潮流分配。电力系统的经济负荷分配主要是电厂之间有功负荷的分配。引起电网线损的不只是有功负荷，还有无功负荷，合理分配调度有功、无功负荷潮流，将使电网的线损进一步降低，满足经济调度的全面要求。

目前，几个工业发达国家的线损大约为 6%~8%。

第二章 变 压 器

变压器是借助于电磁感应，以相同的频率在两个或多个相互耦合的绕组回路之间传输功率的静止电器。变压器通过变换（升高或降低）交流电压和电流，传输交流电能。因此，变压器也可称作是没有运动功能部件的电气设备。

第一节 变压器的工作原理和结构

一、变压器的工作原理

变压器的工作原理是电磁感应原理，即“电生磁”、“磁生电”的一种具体应用。鉴于220kV变电站主变压器均采用三相三绕组和三相自耦式变压器。故本书仅对上述两种类型的变压器工作原理作简要介绍。

1. 三绕组变压器

三绕组变压器是每相有三个独立的电气绕组的变压器，其工作原理与双绕组变压器基本相同，可以看成是三对双绕组变压器组成的，如图2-1所示。

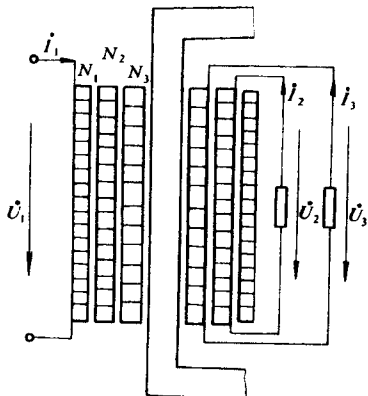


图 2-1 三绕组变压器的原理结构图

三绕组变压器有三个不同的电压。各绕组电压为 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ ；三个绕组间变压比为 $K_{12}=N_1/N_2$ ， $K_{13}=N_1/N_3$ ， $K_{23}=N_2/N_3$ （其中 N_1 、 N_2 、 N_3 为各绕组的匝数）；三个绕组间的阻抗为 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{23} 。根据阻抗的大小，三个绕组的同心位置可以不同，由外向里可以有高压、中压和低压绕组的排列，也可有高压、低压、中压绕组的排列。三绕组变压器一般可有二个输出绕组，所以一次绕组的容量大于或等于二、三次绕组的容量。三个绕组的容量百分比按高压、中压和低压的顺序为 100/100/100、100/100/50 和 100/50/100 三种。

2. 自耦变压器的工作原理

自耦变压器的工作原理可借助于双绕组变压器的工作原理来理解。如图2-2所示，双绕组变压器一、二次绕组绕向相同，它们被铁芯中同一交变磁通所匝链，则一、二次绕组中每匝的感应电动势相同。在一次绕组上找出任何一点 a' ，使 a' 与二次绕组 a 点等电位，且使 X 与 x 点相连并接地（这不影响变压器的工作状态），便可得到 $N_{a'x}=N_{ax}$ ，式中 $N_{a'x}$ 和 N_{ax} 分别为 $a'x$ 和 ax 绕组的匝数。

如对二次绕组采取必要的绝缘措施，使其能耐一定高电压，则可将 a' 与 a 连接起来，使 $a'x$ 与 ax 两部分合并为一个绕组，图2-2则演变成图2-3。

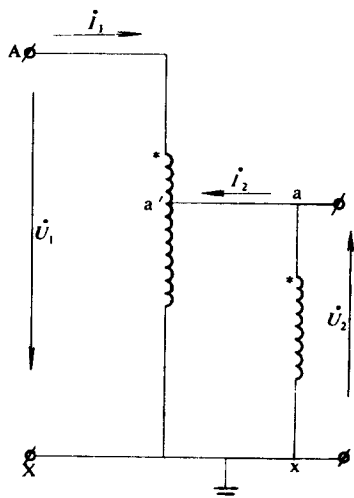


图 2-2 自耦变压器工作原理图

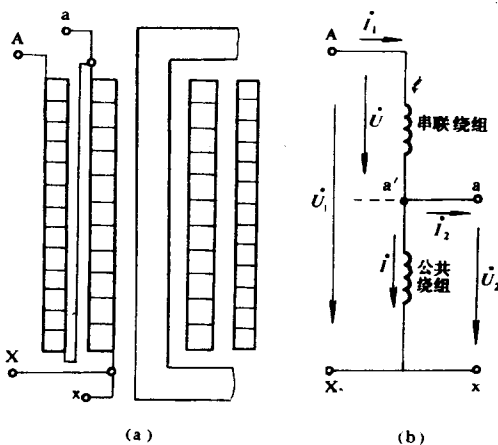


图 2-3 双绕组降压自耦变压器的原理图和接线图

(a) 原理图；(b) 接线图

实际上，图 2-3 (b) 所示，仅比单相变压器多出 Aa 部分绕组，通常叫串联绕组，ax 绕组为高、低压共有，叫做公共绕组。

由此可见，公共绕组和串联绕组是通过“电磁感应”和“电”的直接关系耦合起来，以改变一次和二次侧的电压，并在其之间传输电能的。这种至少有两个绕组具有公共部分的变压器称为自耦变压器。自耦变压器可以是单相的，也可以是三相的，可以降压，也可以升压。理想情况下，其电压比和电流比与双绕组变压器一样，即

$$U_1/U_2 = K, I_1/I_2 = 1/K$$

传输的容量也相同，即

$$S_1 = U_1 I_1 = U_2 I_2 = S_2$$

式中： U_1 、 U_2 为变压器输入、输出电压（有效值）； I_1 、 I_2 为变压器一次、二次绕组的电流（有效值）； S_1 、 S_2 为变压器输入视在功率和输出视在功率。

但是由接线图也知，公共绕组中的电流为

$$I = I_2 - I_1 = I_2 - I_2/K = I_2(1 - 1/K)$$

而串联绕组电压为

$$U = U_1 - U_2 = U_1 - U_1/K = U_1(1 - 1/K)$$

所以串联绕组的容量为

$$S_{Aa} = UI_1 = U_1 I_1(1 - 1/K)$$

公共绕组的容量为

$$S_{ax} = U_2 I = U_2 I_2(1 - 1/K)$$

因此绕组容量，即变压器结构容量小于通过容量，它们的比值就是效益系数 $1 - 1/K$ ，即

$$S_{Aa}/S_1 = S_{ax}/S_2 = (1 - 1/K) < 1$$

显然，结构容量/传输容量 $= 1 - 1/K$ ，电压比 K 值越小， $1 - 1/K$ 也越小，如图 2-4 所示。

假设 $K=2$ ， $1 - 1/K = 1/2$ ，结构容量才是传输容量的 $1/2$ ，因此自耦变压器具备体积小、重量轻、损耗小、最经济等特点。

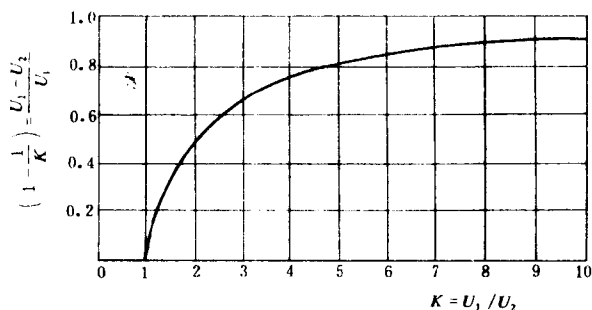


图 2-4 自耦变压器电压比与效益系数的关系

但在实际应用中, 自耦变压器也存在不可忽视的问题:

(1) 由于一、二次绕组之间电的联系, 致使较高的电压易于传递到低压电路, 所以在一定的连接方式下, 低压电路的绝缘必须按较高的电压设计, 否则低压电路易于损坏。

(2) 由于每相绕组均有一部分是两侧所共用的, 一、二次绕组之间的漏磁场较小, 电抗相对较低。所以, 自

耦变压器与普通型式的变压器相比, 在外部短路时, 更易于损坏。

(3) 由于自耦变压器高、中压间的电抗较少, 在高、中压两侧都有电源时, 对两侧都会增大短路电流。在实际运行中, 自耦变压器的高、中压侧两个接地系统均是串接在一起的, 会使得零序电流保护整定计算复杂化。

(4) 自耦变压器的另一个缺点是, 在有调压分接电压的情况下进行绕组间的电磁平衡更困难。由于高、中压存在电的联系, 各种调压方式的实施都会使其失去经济性。

二、变压器的分类及有关铭牌参数

1. 变压器的分类

电力变压器按铁芯型式可分为心式和壳式两种, 我国大型变压器通常采用心式变压器; 按绕组耦合方式可分为普通和自耦式; 按相数可分为单相和三相; 按绕组数可分为双绕组和三绕组。

2. 变压器的铭牌参数

电力变压器主要技术参数铭牌上标出主要有额定容量、额定电压及其各分接头电压、额定电流、绕组连接组别、阻抗电压、空载电流、空载损耗和负载损耗和质量 (含器身质量和油重)。电力变压器产品型号说明见图 2-5。

(1) 额定容量。指变压器额定电压, 额定电流下连续运行时, 电能输送的功率, 对于三相变压器

$$S_e = \sqrt{3} U_e I_e \times 10^{-3} \text{kVA}$$

式中 U_e 、 I_e 为线电压、线电流 (单位为 kV、A)。

(2) 额定电压。指变压器长时间运行时所能承受的工作电压, 单位为 kV, 电力变压器的高压侧都有分接抽头, 分接抽头之间的电压称为分接级电压, 铭牌上的 U_e 值指中间抽头的额定电压值。

(3) 额定电流。指变压器在额定容量下, 允许长期通过的电流, 单位为 A。

(4) 阻抗电压。也叫短路电压, 把变压器的二次绕组短路, 在一次绕组上慢慢升压, 当二次绕组的短路电流等于其额定值时, 一次侧所施加的电压 U_d 称为短路电压, 在变压器铭牌上通常用 U_d 对一次额定电压 U_{e1} 比值的百分数表示。对于三绕组变压器, 绘出的则是高-中、高-低、中-低压绕组间的短路电压。

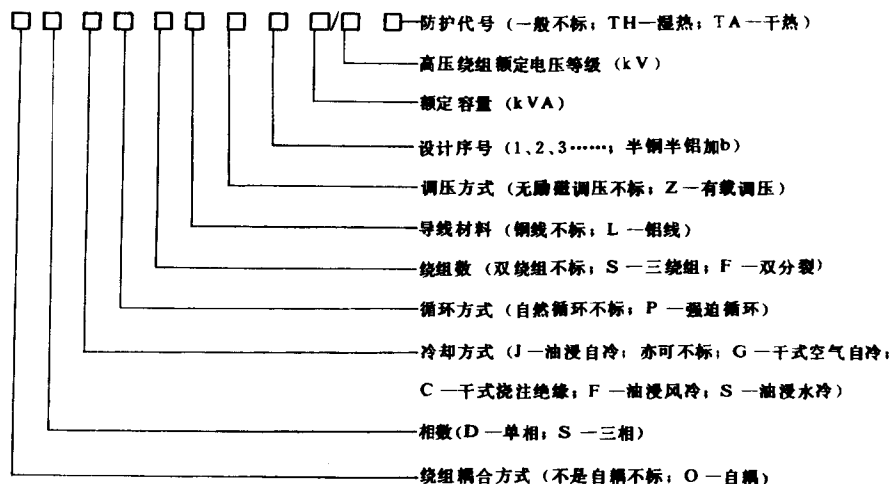


图 2-5 变压器产品型号说明

(5) 负载损耗。把变压器的二次绕组短路，在一次绕组额定分接头位置上通入额定电流，所吸取的有功功率称负载损耗，单位为 kW。

(6) 空载电流。当变压器在额定电压下二次侧空载时，一次绕组中通过的电流 I_0 称为空载电流（即励磁电流），一般以额定电流的百分数表示。

(7) 空载损耗（铁损）。电力变压器在额定电压下，二次侧空载时变压器铁芯所产生的损耗（励磁损耗和涡流损耗），单位为 kW。

(8) 绕组连接组别。通常变压器同一侧绕组是按照一定形式进行连接的。因此，变压器绕组连接方式由三相绕组的连接顺序绕组的缠绕方向和绕组端头的标志三个因素来决定，连接方式直接影响三相变压器高、中、低压侧线电压的相位关系。一般的三相变压器或组成三相变压器组的单相变压器，可以连接成星形、三角形和曲折形等，可以用 Y、D 和 Z 符号表示，D 形和 Z 形接线又有右行和左行之分，加上高、低压绕组相位和相别等不同的组合方式，可以形成许多种连接组。但尽管绕组的连接组很多，但高、低压绕组线电压相位总是 30° 的倍数，所以组别只有 $360^\circ/30^\circ=12$ 种。这就是为什么组别用时钟 12 个小时表示的原因。若将变压器按高压、中压和低压绕组连接的顺序组合起来就是绕组的连接组别。对于高压绕组可以符号 Y、D、Z 表示，中压和低压绕组分别用符号 y、d、z 表示，有中性点引出时，分别用符号 YN、ZN 和 yn、zn 表示。自耦变压器有公共部分的两绕组中额定电压低的一个用符号 a 表示。如：YN，yn0，d11、YN，a0，d11 等。

(9) 温升。变压器绕组上层油面的温度与变压器周围环境的温度之差，称为绕组上层油面的温升。每一台变压器的铭牌上都规定了其温升的限值，国家标准规定，当变压器安装地点的海拔高度不超过 1000m 时，绕组温升的限值为 65°C ，上层油面的温升限值为 55°C ，因此周围环境最高温度不超过 40°C 时，变压器运行的上层油面温度不应超过 95°C ，为保证变压器油及绝缘在长期使用条件下不致迅速劣化变质，变压器上层油面的温度不宜经常超过 85°C ，具体可以变压器制造厂标准为依据，如图 2-6 所示。