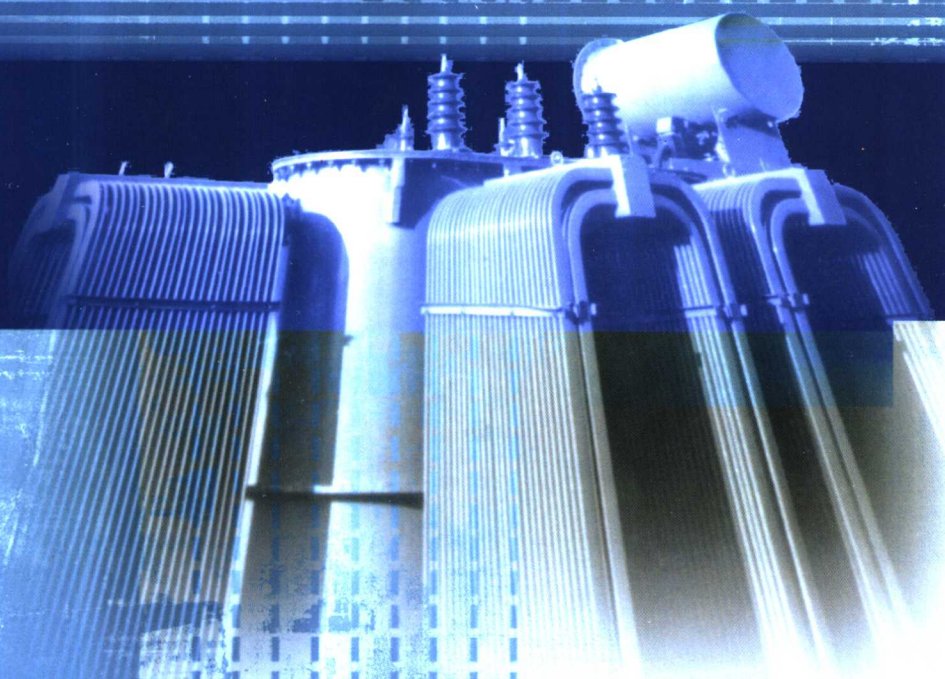


● 赵家礼 编

配电变压器

PEIDIAN BIANYAQI XIULI SHOUC

修 理 手 册



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

配电变压器 修理手册

赵家礼 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是著名老专家赵家礼的封笔之作，作者深入浅出地将多年工作经验和最新相关规定紧密结合起来，简洁实用地介绍了常用配电变压器的各种故障原因、分析方法、运行维护、修理经验和方法，以及修理实例。

本书主要介绍常用配电变压器的各种故障原因、分析方法、运行维护、修理经验和方法，以及修理实例。本书共分13章，主要内容有配电变压器修理基础知识，配电变压器运行维护检查（包括配电变压器运行检查、烧毁的原因及修理、并联与经济运行），变压器检修（吊芯检修、常见故障及处理、绝缘干燥和安装），变压器故障现场检修，变压器绕组和铁芯故障修理，变压器保护装置故障修理，变压器组、附件（分接开关、套管、油箱、散热器等）故障及修理，变压器油净化、再生及色谱分析，防治渗漏油措施，以及变压器重绕计算、改能改造和实例、变压器修理试验和质量标准、试验标准等。本书还收录了密封件选用、密封胶选择及防渗漏油的应用，以及S7、S9、SJL、SJL1、SJ6、BK等系列的常见变压器技术数据，以供参考。

本书适合广大从事变压器运行维护、检修调试、试验安装和修理改装的人员使用，也可供有关专业大专院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

配电变压器修理手册/赵家礼编. —北京：中国电力出版社，2004

ISBN 7-5083-1887-0

I. 配… II. 赵… III. 配电变压器-维修-手册
IV. TM421.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 108171 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004年4月第一版 2004年4月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 31.75印张 780千字
印数 0001—4000册 定价 65.00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



随着我国电力工业的发展,工矿企业、城乡和生活用电量不断增多,运行在配电网上的各种配电变压器得到日益广泛的应用。这些配电变压器中,有相当一部分是20世纪70年代以前的高能耗变压器,据20世纪90年代初期估计约有10000万kVA左右在运行,高能耗变压器约有150万台;年损失电量达70余亿kWh。另外有相当一部分变压器在带病服役。如果在修理中,提高修理质量,进行节电改造以及更新换代等,就会对配电网的线损大大降低,提高运行可靠性,减少故障损失,这将对国家带来很大的经济效益。

除修理、改造、更新变压器的任务外,伴随我国科学技术的飞速发展,新结构、新材料、新标准不断涌出,这就要求从事变压器维护和修理人员对变压器新工艺、新技术、新材料以及新质量标准等应有所了解和掌握,从而提高修理质量,保证修后变压器安全合理的运行。

本书较系统地、全面地介绍了配电变压器故障产生原因、修理方法和修理经验,还列举了大量修理实例。

为了广大读者在修理中查阅方便,还介绍了修理试验标准和方法,修理质量标准以及常用的技术数据。

全书共分13章,内容主要包括变压器修理基础知识、配电变压器运行检查维护、变压器故障现场检修、变压器绕组和铁芯故障及大修,变压器保护装置和分接开关故障及修理、变压器油箱、散热器以及各种阀片故障修理、变压器油净化再生和色谱分析及防治渗漏油措施、配电变压器重绕计算和改造计算以及修理试验内容。

本书作者总结了长期从事变压器检修、修理、改造的实践的丰富经验,突出实用性和针对性,在叙述上深入浅出,通俗易懂。

本书可供变压器运行维护、检修调试、试验安装和修理人员阅读,同时还可供大专院校有关专业的师生参考。

本书在编写过程中,得到北京供电局王书梦主编提供的《北京供电局低损耗配电变压器检修规程》和南通供电局王兴昌总工、原北京重型电机厂周希章高工的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。

参加本书编写的还有鲁明、刘福振、孙树文、王立庆、席文仲等。

由于作者水平有限，书中的不妥和错误之处在所难免，希望读者不吝批评指正。

编 者

2003 年 12 月

目 录



前言

第一章 变压器修理基础知识	1
第一节 变压器用途、分类及基本结构	1
第二节 变压器工作原理和铭牌数据意义	3
第三节 变压器修理所需主要材料	11
第四节 配电变压器技术数据	30
第二章 配电变压器运行及检查维护	35
第一节 配电变压器运行检查	35
第二节 配电变压器烧毁的原因及修理	37
第三节 配电变压器并联运行	41
第四节 变压器经济运行	67
第三章 变压器检修	82
第一节 变压器检修目的、周期和项目	82
第二节 配电变压器吊芯检修	84
第三节 配电变压器常见故障及修理	102
第四节 配电变压器绝缘干燥	108
第五节 配电变压器安装	120
第四章 变压器保护装置故障及修理	123
第一节 储油柜故障及修理	123
第二节 气体继电器故障及修理	130
第三节 吸湿器、净油器故障修理	133
第四节 温度计、安全气道、压力释放阀故障修理	136
第五章 变压器油箱、散热器及各种阀门故障修理	143
第一节 变压器油箱故障修理	143
第二节 散热器故障修理	156
第三节 风扇、风扇电动机及各种阀门的修理	162

第六章 调压分接开关检修	168
第一节 无励磁分接开关检修	168
第二节 有载分接开关检修	176
第七章 变压器套管的故障及修理	189
第一节 变压器套管的作用、要求及型号	189
第二节 套管的类型及使用范围	190
第三节 套管故障修理	196
第八章 变压器油净化再生、色谱分析及防渗漏油措施	201
第一节 变压器油分类、作用及其技术指标和要求	201
第二节 变压器油质主要技术指标和参数的意义	202
第三节 运行中变压器油评价	205
第四节 绝缘油净化和再生	206
第五节 气相色谱分析法及故障判断	211
第六节 变压器渗漏油的原因及消除措施	219
第九章 变压器铁芯故障及修理	223
第一节 铁芯作用、基本分类及结构型式	223
第二节 变压器铁芯故障及修理	236
第三节 配电变压器铁芯修理	241
第四节 卷制铁芯的修理	255
第十章 变压器绕组故障及修理	261
第一节 绝缘分类及绕组绝缘结构	261
第二节 绕组型式及重绕工艺	270
第三节 变压器常用绝缘件加工工艺及标准	292
第四节 线圈绝缘处理及变压器总装配	298
第十一章 油浸式配电变压器重绕计算	316
第一节 基本参数及铁芯计算	316
第二节 绕组型式、导线规格及绕组排列选择	324
第三节 绕组轴向、辐向、绝缘半径尺寸计算	329
第四节 阻抗电压计算	335
第五节 铁芯重量及空载损耗、空载电流计算	338
第六节 油箱尺寸计算	339
第七节 各种绕组附加损耗计算	340
第八节 变压器温升计算	343

第九节	油箱有效散热面积计算	346
第十节	变压器重量计算	350
第十一节	油浸式配电变压器计算实例	354
第十二章	变压器修理节能改造	363
第一节	小型干式变压器计算	363
第二节	变压器修理计算实例	373
第三节	变压器节能改造	386
第十三章	变压器修理试验	404
第一节	试验目的、试验项目及检修周期	404
第二节	变压器吊芯外观检查	405
第三节	绝缘电阻和吸收比试验	405
第四节	变压器组装前主要组部件的检查试验	407
第五节	变压器绝缘油试验	410
第六节	介质损耗因数 $\tan\delta$ 测量	413
第七节	变压器泄漏电流试验	416
第八节	绕组的直流电阻测量	419
第九节	电压比测试	424
第十节	变压器连接组别试验	428
第十一节	外施耐压试验	435
第十二节	空载试验	438
第十三节	短路试验	447
第十四节	突发短路试验	451
附表		
附表 1	密封胶垫选用	454
附表 2	密封胶选择及防渗漏油的应用	457
附表 3	S7-10kV 及以下系列低损耗电力变压器的主要技术数据	458
附表 4	S9-10kV 及以下统一设计系列低损耗电力变压器的主要技术数据 (1985 年)	460
附表 5	SJL 系列电力变压器技术数据	462
附表 6	SJL1 系列电力变压器技术数据	466
附表 7	SJ1 系列电力变压器技术数据	474
附表 8	SJ6 系列电力变压器技术数据	480
附表 9	热硅钢片电磁性能数据	485
附表 10	冷硅钢片电磁性能数据	485
附表 11	冷轧硅钢片 DR360、DR325、DR151 磁化容量 VA/cm ²	487
附表 12	BK 系列小型控制与照明变压器的技术数据	488
附表 13	小型壳式变压器铁芯数据表	488
附表 14	小功率变压器常用标准铁芯每匝伏数表	489

变压器修理基础知识

第一节 变压器用途、分类及基本结构



一、变压器用途

发电厂一般都是建立在燃料产地或水力资源丰富的地区,距离用电区非常遥远,另外发电厂的发电设备——发电机因受到绝缘材料和技术的限制,一般只能制造 10 多 kV 等级的电压。为了节省输电线材料,减少电能损耗,希望输电线路的电压高于发电机输出的最高电压,因此要用升压变压器将发电厂的输出电压提升到 35、60、110、220、330、500kV 等几种。如北京到天津的电力输送就是采用 220kV 高压线路输送的。用电区需要较低的电压,如工矿企业常用的是 6、10kV,车间用 380V,家庭用 220V 等。为解决输电与用电之间的矛盾,需要把输入到用电区的高电压降下来,供用户直接使用,于是采用降压变压器来完成。除了升压变压器和降压变压器,还有许多类别。变压器被广泛应用于生产、电力输送、电力分配和需用电能的各个用电系统中,另外还作为特殊电源用于电子线路方面。

二、变压器分类

常用的变压器分类可归纳如下。

1. 按用途分类

按用途分可分为电力变压器、仪用变压器和特殊用途变压器。

(1) 电力变压器可分为:

- 1) 升压变压器。将发电厂的低电压升高后输送到远距离的用电区。
- 2) 降压变压器。将输送来的高电压降下来供各电网需要。
- 3) 配电变压器。安装在各配电网系统中,供工农业生产使用。
- 4) 联络变压器。供两变电所联络信息使用。
- 5) 厂用变压器。供厂矿企业使用。

(2) 仪用变压器供测量和保护装置使用,可分为:

- 1) 电压互感器。

2) 电流互感器。

(3) 特殊用途变压器可分为：

1) 电炉变压器。供冶炼使用。

2) 整流变压器。供电解和化工使用。

3) 试验变压器。试验变压器有工频试验变压器、调压器等，供试验电器设备时使用，工频试验变压器可提高电压对高压电气设备进行试验。调压器可调节电压大小供试验时使用。

4) 电焊变压器。供焊接使用。

2. 按冷却介质和冷却方式分类

按冷却介质和冷却方式分可分为油浸式变压器、干式变压器、充气变压器和蒸发冷却变压器。

(1) 油浸式变压器有油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷和强迫油循环和水内冷等。

(2) 干式变压器有空气自冷、风冷，使用在无油的场合，如宾馆、医院等。

(3) 充气变压器用化学气体（如 SF_6 ）代替变压器油。

(4) 蒸发冷却变压器用特殊液体代替变压器油进行冷却和绝缘。

3. 按绕组个数分类

按绕组个数分可分为自耦变压器、双绕组变压器和三绕组变压器。

(1) 自耦变压器用于超高压、大容量的电力系统。

(2) 双绕组变压器用于连接两个电压等级。

(3) 三绕组变压器用于连接三个电压等级。

4. 按调压方式分类

按调压方式分可分为无励磁调压变压器和有载调压变压器。

(1) 无励磁调压变压器需断电，停止负载后进行调压。

(2) 有载调压变压器可不停电带载调电压。

5. 按相数分类

按相数分可分为单相变压器和三相变压器。

(1) 单相变压器用于单相负荷和三相变压器组。

(2) 三相变压器用于三相系统的改变电压使用。

6. 按铁芯型式分类

按铁芯型式分可分为芯式变压器和壳式变压器。

(1) 芯式变压器用于普通电力系统中，应用比较广泛。

(2) 壳式变压器多用于特殊变压器和单相小型变压器。

7. 按中性点绝缘水平分类

按中性点绝缘水平分可分为全绝缘变压器和半绝缘（分级绝缘）变压器。

三、变压器基本结构

变压器的基本结构包括器身（铁芯、绕组、绝缘、引线及调压装置）、油箱（油箱本体、附件及有载调压控制部分）、冷却装置、保护装置、出线套管及变压器油等。基本结构和各部件作用如下：

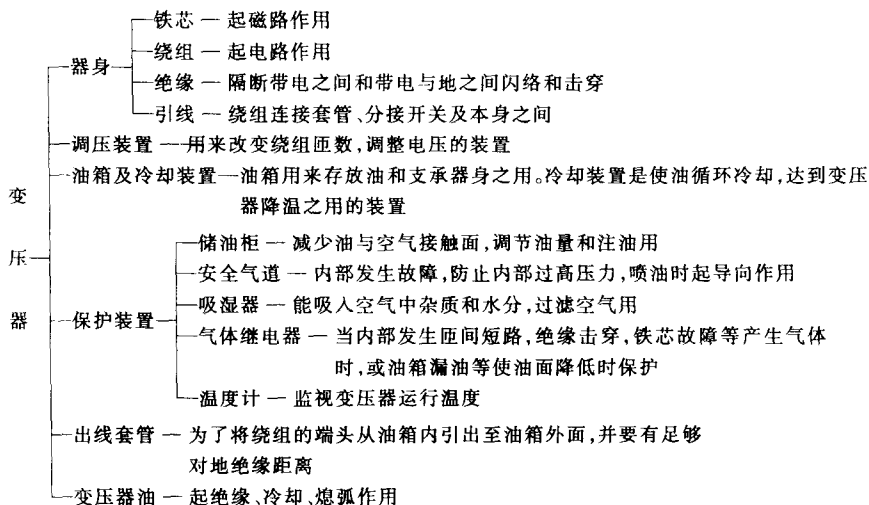


图 1-1 为变压器外形图。

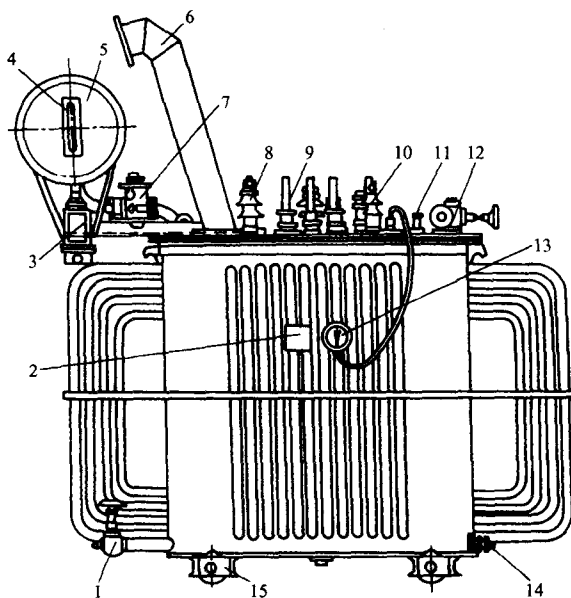


图 1-1 变压器外形图

1—放油阀; 2—铭牌; 3—吸湿器; 4—油表; 5—储油柜; 6—安全气道; 7—气体继电器; 8—高压套管; 9—低压套管; 10—零线套管; 11—温度计; 12—滤油阀; 13—信号温度计; 14—接地螺钉; 15—小车



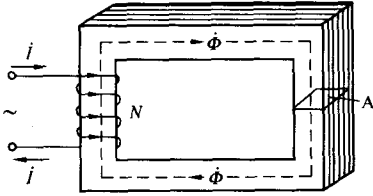
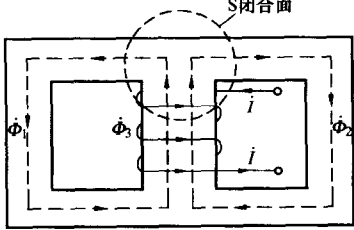
第二节 变压器工作原理和铭牌数据意义

一、变压器磁路有关定律及电磁感应定律

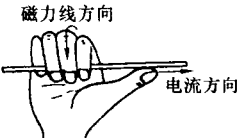
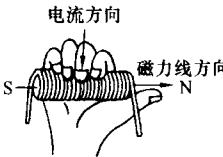
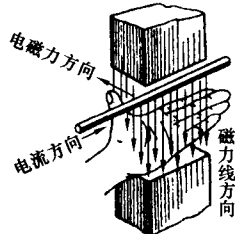
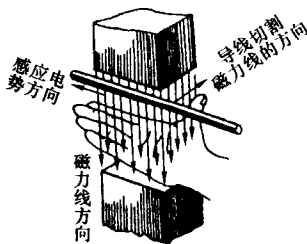
磁路有关定律及电磁感应定律见表 1-1。

表 1-1

磁路有关定律及电磁感应定律

名 称	公 式	备 注
磁感应强度	$\dot{B} = \dot{F} / \dot{I} l$	B ——磁感应强度, T F ——磁动势, A I ——电流, A l ——长度, m
磁 通	$\dot{\Phi} = \dot{B} A$	Φ ——磁通量, Wb A ——横截面积, m^2
磁场强度	$\dot{H} = \dot{I} N / l$	H ——磁场强度, A/m N ——通电线圈的匝数
磁路欧姆定律	$\dot{\Phi} = \dot{B} A = \mu \dot{H} A$ $= \frac{\dot{I} N}{l / \mu A} = \frac{\dot{I} N}{R_m}$ 	IN ——磁动势, A R_m ——磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu A} \text{ H}^{-1}$ 磁路中的磁通与磁动势成正比, 与磁阻成反比
磁路基尔霍夫第一定律	$\sum \dot{\Phi} = 0$ $\dot{\Phi}_3 = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2$ 	穿过闭合面的磁通的代数和必为零。也就是进入闭合面的磁通等于离开闭合面的磁通
磁路基尔霍夫第二定律	$\sum \dot{F} = \sum \dot{I} N = \sum \dot{\Phi} R_m = \sum H l$ 当有两个磁动势 F_1、F_2 时, 合成磁动势 $\sum \dot{F} = \dot{F}_1 + \dot{F}_2$	在闭合回路中, 磁动势的代数和等于回路中磁压降的代数和 F——磁动势, $F = IN$
楞次定律	$e = - \Delta \Phi / \Delta t$	绕组中感应电动势的方向总是企图使它所产生的感应电流产生的新磁通抵消原有磁通的变化 e——感应电动势 (瞬时值) $\Delta \Phi$——磁通变化率 Δt——时间变化

续表

名 称	公 式	备 注
直导体右手螺旋定则		大拇指——指向电流方向 弯曲四指——指向磁力线的方向
螺旋线圈右手螺旋定则		大拇指——指向磁力线的方向 弯曲四指——指向电流方向
左手定则		伸直四指——指向电流方向 掌心——磁力线垂直穿过 大拇指——电磁力方向
右手定则		大拇指——导体运动方向 掌心——磁力线垂直穿过 伸直四指——感应电势方向

二、变压器工作原理

图 1-2 是一台单相变压器工作原理图。接电源侧的绕组称一次绕组，匝数 N_1 ，电源电压 $\dot{U}_1$ ，绕组为左绕；接负载侧的绕组称二次绕组，匝数 N_2 ，绕组为右绕。

1. 空载运行情况

一次绕组接入电源，对电源而言，一次绕组相当于负载。当有电能输入给一次绕组，电源电压为 $\dot{U}_1$ ，于是一次绕组内就有空载电流 $\dot{I}_0$ 流通。在合电源的瞬间，A 点电位高于 X 点，所以电流 $\dot{I}_0$ 流动方向是从上向下，而电压 $\dot{U}_1$ 也是从上向下，这样符合一次绕组对电源而言是负载的情况，也就是符合“电动机”惯例，即 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{I}_0$ 方向是一致的。

空载电流产生空载磁动势 $\dot{F}_0$ ， $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 N_1$ 在铁芯中产生主变磁通 $\dot{\Phi}_0$ ，此磁通 $\dot{\Phi}_0$ 按左绕向的绕组和电流 $\dot{I}_0$ 的流动方向用右手螺旋定则可判定 $\dot{\Phi}_0$ 的方向是朝上流动，然后沿着上轭铁进入右铁芯柱（朝下），再经过下轭铁回到左铁柱，构成一个闭合磁路。此磁通与一、二

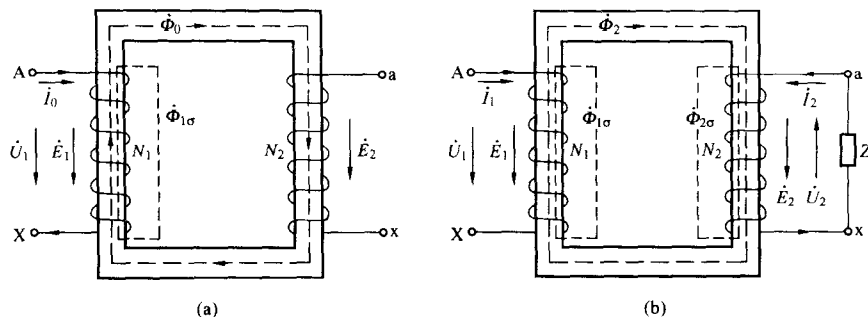


图 1-2 变压器工作原理

(a) 空载时; (b) 负载时

次绕组磁链，称为主磁通。此磁通因切割一、二次绕组，所以在此两个绕组中分别产生感应电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 。

刚合电源瞬间，左铁芯柱内瞬间产生磁通 $\dot{\Phi}_0$ 。按楞次定律，它要反抗磁通 $\dot{\Phi}_0$ 的进入，且保持原来无磁通时的状态，因此要产生电动势 e_1 ，来建立新磁动势。按右手螺旋定则，此电动势方向是朝上的，但由于历史的惯例（遵守电磁感应定律 $e_1 = -N \frac{d\phi}{dt}$ 前面的负号）， $\dot{E}_1$ 的方向与 e_1 相反，箭头应朝下。同理，右铁芯柱进入 $\dot{\Phi}_0$ 后，也要产生电动势 e_2 来抵消 $\dot{\Phi}_0$ ，因此 e_2 方向应朝上，但由于历史惯例， $\dot{E}_2$ 方向应与 e_2 方向相反，所以也朝下，如图 1-2 (a) 所示。

除主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 之外，还有一小部分只与一次绕组磁链的漏磁通 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$ ，漏磁通通过左铁芯柱到空气中形成闭合回路，漏磁通切割一次绕组产生漏感电动势 $\dot{E}_{1\sigma}$ ，因 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$ 不通入右铁芯柱，不切割二次绕组，所以在二次绕组无有漏感电动势。

按电磁感应定律公式，且不考虑漏磁通时，则

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_0 = -U_1 \text{ (按基尔霍夫第二定律 } E_1 = -U_1 \text{)}$$

$$E_2 = 4.44fN_2\Phi_0 = -U_2$$

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 = U_1/U_2 = K_u \quad (1-1)$$

式中 K_u ——变压器电压比。

从式 (1-1) 可以看出，改变绕组匝数 N_1 或 N_2 ，就可以改变电压，当 $N_1 > N_2$ 时， $K_u > 1$ ，此时 $U_1 > U_2$ ，变压器输出电压 U_2 低于输入电压 U_1 ，为降压变压器。反之，当 $N_1 < N_2$ 时， $K_u < 1$ ，此时 $U_1 < U_2$ ，输出电压比输入电压高，为升高变压器。当 $N_1 = N_2$ ， $K_u = 1$ ，不改变电压，这种不用电连接的变压器称为隔离变压器。

2. 负载运行情况

当二次绕组接到负载 Z 后，二次回路中有电流 $\dot{I}_2$ 流通， $\dot{I}_2$ 建立二次绕组磁动势 $\dot{F}_2$ ，于是产生磁通 $\dot{\Phi}_2$ 。但铁芯中的总磁通是取决于电源电压 $\dot{U}_1$ 的，由于 $\dot{U}_1$ 未变，所以铁芯中磁通

基本不变, 所以一次绕组改变电流由 $\dot{I}_0$ 变为 $\dot{I}_1$, 产生 $\dot{F}_1$ 来平衡 $\dot{F}_2$ 的产生, 保持原来的 $\dot{F}_0$, 即

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0 \quad \text{或} \quad \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1$$

用 N_1 除上式, 得 $\dot{I}_1 + \frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 = \dot{I}_0$

由于 $\dot{I}_0$ 非常小, 可视为零, 则有 $\dot{I}_1 + \frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 = 0$, 即

$$N_2/N_1 = -I_1/I_2 = K_i \quad (1-2)$$

式中 K_i ——变压器的电流比。

式 (1-2) 表明绕组中的电流与绕组匝数成反比。 I_1/I_2 前的负号表示 I_1 与 I_2 电流方向相反。

设变压器带载后 [见图 1-2 (b)], 铁芯中总磁通为 $\dot{\Phi}_2$, 在左铁芯柱有漏磁通 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$, 在右铁芯柱有漏磁通 $\dot{\Phi}_{2\sigma}$, 它们产生漏磁动势 $\dot{E}_{1\sigma}$ 和 $\dot{E}_{2\sigma}$, $\dot{E}_{1\sigma}$ 、 $\dot{E}_{2\sigma}$ 的方向与 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 相同。按右铁芯柱中磁通 $\dot{\Phi}_2$ 朝下的方向和二次绕组的右绕向, 由右手螺旋定则可知, $\dot{I}_2$ 方向是从 a 流向 x 的。二次绕组对负载而言是输出电能, 所以是遵守“发电机”惯例, 即电压 $\dot{U}_2$ 方向应与 $\dot{I}_2$ 方向一致。

假设变压器磁导率 $\mu = \infty$, 铁芯中无损耗, 则变压器效率 100%, 即输入功率 P_1 等于输出功率 P_2 , 从而得出

$$P_1 = U_1 I_1 = P_2 = U_2 I_2$$

事实上, 铁芯是有损耗的, 设变压器总损耗为 ΣP , 则

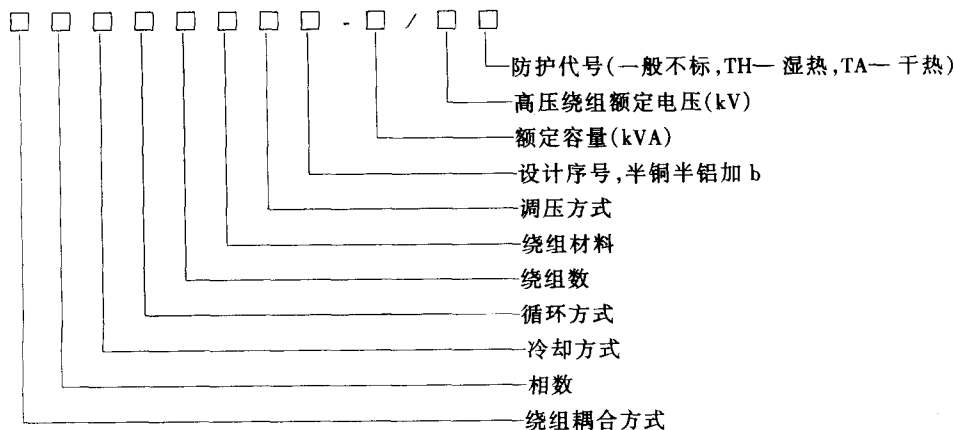
$$P_1 = \Sigma P + P_2$$

$$\text{效率 } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \times 100\% < 100\%$$

三、变压器铭牌数据意义

1. 变压器型号

每台变压器铭牌上都有型号, 型号表示方法如下:



例如, SL7-35kV 表示三相油浸式铝线变压器, 第 7 次设计, 低损耗、额定电压 35kV。
变压器型号含义见表 1-2。

表 1-2

变压器型号含义

分 类	类 别	代表符号		分 类	类 别	代表符号	
		新型号	旧型号			新型号	旧型号
绕组耦合方式	自耦	O	O*	绕组数	双绕组	不表示	不表示
相 数	单相	D	D		三绕组	S	S
	三相	S	S		分 裂	F	F
冷却方式	空气自冷式	不表示	不表示	绕组导线材质	铜 铝	不表示	不表示
	风冷式	F	F			不表示	L
	水冷式	W	S			不表示	
	强迫油循环	P	P				
	油浸风冷	F	F	调压方式	无激磁调压 有载调压	不表示	不表示
	油浸水冷	W	S			Z	Z
	强油循环风冷	FP	FP				
	强油循环水冷	WP	SP				
	干式空气自冷	G	K				
	干式绕组绝缘	C	C				

* O 在前面表示降压变压器, O 在后面表示升压变压器。

2. 额定电压 U_N

铭牌上标示的电压是额定电压, 对三相变压器是指线电压。当变压器一次侧施加额定频率的额定电压时, 二次侧各绕组开路所测出的二次电压为二次额定电压。

电压单位用 V 或 kV 表示。额定电压有一定标准等级, 我国规定供受电设备与系统的电压等级分: 0.4、3.15、6 (6.3)、10 (10.5)、35 (38.5)、110 (121)、220 (242)、330 (363)、500 (550)、750kV。配电电压一般是指 10、6、0.4kV, 但也有较高的电压。

3. 额定容量 P_N

变压器在额定工况下运行时 (在额定电压、额定频率、额定负载、额定功率条件下) 能够传递最大的电功率的能力。单相变压器 $P_N = U_N I_N$; 三相变压器 $P_N = \sqrt{3} U_N I_N$, 其中 U_N 、 I_N 是额定线电压、额定线电流。

双绕组变压器的额定容量就是绕组的额定容量; 多绕组变压器的额定容量是其中最大绕组的额定容量。我国现行的变压器容量等级按 $10\sqrt{10}$ 倍计算 (即 R 10 系列), 但 30kVA 和 63000kVA 以外的容量的容量等级不在此列, 见表 1-3。

P_N 的单位有: VA、kVA、MVA 等。

变压器按容量分类可分为小型变压器 ($P_N \leq 1600\text{kVA}$)、中型变压器 ($P_N = 6300 \sim 63000\text{kVA}$)、大型变压器 ($P_N = 8000 \sim 63000\text{kVA}$) 和特大型变压器 ($P_N > 63000\text{kVA}$)。

4. 额定电流 I_N

表 1-3 现行的变压器容量等级 kVA

10	100	1000	10000	(120000)
	125	1250	12500	(150000)
	160	1600	16000	(180000)
20	200	2000	20000	(240000)
	250	2500	25000	(360000)
(30)	315	3150	31500	
	400	4000	40000	
50	500	5000	50000	
63	630	6300	63000	
80	800	8000	(90000)	

注 组成三相变压器的单相变压器容量为表中数值的 1/3, 其余用途的单相变压器与表中数值相同。

额定电流是指绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应系数（单相系数为1，三相为 $\sqrt{3}$ ）而得的流经线路端子的线电流。当变压器线电流同铭牌上的额定电流，称变压器在额定状态下运行，或称满负荷运行，如果超过额定电流 I_N ，称为过载运行。单位为A、kA。

下面介绍配电变压器额定电流的估算。

(1) 一次侧为10kV时，高压侧电流 I_{N1} 等于其额定容量 P_N 乘以6%，二次侧电流 I_{N2} 等于一次侧电流 I_{N1} 乘以电压比 K_u 。

(2) 高压侧为6kV时，高压侧电流 I_{N1} 等于额定容量乘以10%，低压侧电流 I_{N2} 等于高压侧电流 I_{N1} 乘以电压比 K_u 。

例 1-1 一台三相变压器，已知额定容量750kVA，电压比 $K_u = 10\text{kV}/0.4\text{kV}$ ，求一、二次额定电流。

解 一次侧额定电流 $I_{N1} = P_N \times 6\% = 750 \times 0.06 = 45 \text{ (A)}$

二次侧额定电流 $I_{N2} = I_{N1} \times K_u = 45 \times \frac{10}{0.4} = 45 \times 25 = 1125 \text{ (A)}$

实际计算得出的一、二次侧额定电流分别为43.3A和1083A。

例 1-2 一台三相变压器，已知额定容量 $P_N = 180\text{kVA}$ ，电压比 $K_u = 6\text{kV}/0.4\text{kV}$ ，求一、二次侧额定电流。

解 $I_{N1} = P_N \times 10\% = 180 \times 10\% = 18 \text{ (A)}$

$I_{N2} = I_{N1} \cdot K_v = 18 \times 6\text{kV}/0.4\text{kV} = 18 \times 15 = 270 \text{ (A)}$

实际计算得出的一、二次侧额定电流分别为17.3A和260A。

比较例1-1、例1-2估算与实际计算得出的一、二次侧额定电流，可见误差不大。

5. 额定频率 f_N

额定频率是指对变压器所设计的运行频率。我国标准规定频率为50Hz。

6. 空载电流 I_0

空载电流是指变压器的一个绕组施加额定频率的额定电压，其余绕组开路时，流过绕组中的电流，一般用额定电流的百分数表示。

7. 空载损耗 P_0

空载损耗是指当以额定频率的额定电压施加于一个绕组的端子上，其余绕组开路时，从电源吸收的有功功率。

8. 负载损耗 P_K

对双绕组变压器，负载损耗是指当额定电流流经一个绕组，而另一个绕组短接时，在额定频率下所吸取电源的有功功率。对于多绕组变压器，负载损耗是指以指定的一对绕组为准。

空载损耗和负载损耗之和即为变压器的总损耗，即

$$\Sigma P = P_0 + P_K$$

9. 额定温升

变压器指定部位的温度和冷却介质的温度差，称为温升。变压器处于额定运行时温升，称为额定温升。

冷却介质对于空冷变压器是指周围空气；对于水冷变压器是指冷却水入口的水温。

对运行在海拔1000m以下的油浸式变压器的温升限值见表1-4。