

超（超）临界火电机组运行与检修技术丛书

DIANQI
YUNXING YU JIANXIU JISHU

电气 运行与检修技术

张玲 程树仁 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超(超)临界火电机组运行与检修技术

DIANQI
YUNXING YU JIANXIU JISHU

电气 运行与检修技术

张玲 程树仁 张振 王保红 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《超（超）临界火电机组运行和检修丛书》之一。

为了满足电力行业从事大型电力变压器、超临界大型汽轮发电机运行和高压电动机的运行、维护与检修技术人员的工作需要，又能反映近年来国内外的新技术，特编写了本书。

全书共分七章，主要介绍了大型电力变压器的基本知识，大型变压器的运行原理与运行分析，大型变压器的运行维护与检修，超（超）临界大型火电机组的基本知识，超（超）临界大型汽轮发电机的运行分析，超（超）临界汽轮发电机的运行监视与检修，厂用电动机的运行分析与检修等内容。

本书在编写过程中力求紧密结合生产实际，做到通俗易懂、简明扼要，理论联系实际，容易接受、便于自学。

本书可以作为发供电企业中级及以上从事电气工程技术人员的电机运行和检修技术工人的培训教材，也可供高校发电厂及电力系统、电气工程及其自动化专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气运行与检修技术/张玲等编著. —北京：中国电力出版社，2014.5

（超（超）临界火电机组运行与检修技术丛书）

ISBN 978 - 7 - 5123 - 5057 - 1

I. ①电… II. ①张… III. ①发电设备—运行②发电设备—检修 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 248382 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 283 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

国外发展超（超）临界大型火电机组已有 40 多年的历史，目前具有生产 1000MW 超（超）临界大型火电机组的国家有美国、日本、前苏联、德国和丹麦。随着我国电力工业的快速发展，上海电气集团有限公司、东方电机股份有限公司和哈尔滨电机厂有限责任公司通过对国外引进技术、工艺等的积极消化吸收，迅速掌握了国际上最先进的超（超）临界汽轮发电机生产制造技术，成功制造出 1000MW 超（超）临界汽轮发电机。我国相继投产的 600~1000MW 等级超（超）临界火电机组，标志着我国电力技术水平在设计、安装、调试和运行方面接近或达到国际先进水平。大容量超（超）临界火电机组具有节能、高效、环保的特点，必将成为我国电力工业的主力机组。

超（超）临界大型发电机组通常采用发电机—变压器单元接线，组成发电机—变压器组，简称发变组，在变压器高压侧装设断路器，发电机的电能通过双绕组主变压器升压，接入 500kV（或 220kV）超高压（或高压）电力系统。

本书编写前，邀请了具有超（超）临界大型火电机组的发电厂和变电站运行人员座谈，征求了现场具有丰富经验的运行人员的建议，注意结合了电力行业现行运行规程及国家标准中的相关表述，使之更加符合新技术、新特点的要求，同时又兼顾了职业技能资格鉴定和岗位技能培训需要，也可作为高校电类专业教学参考书。

全书共七章。主要介绍了大型电力变压器的基本知识，大型电力变压器的运行原理与运行分析，大型电力变压器的运行维护与检修；超（超）临界大型汽轮发电机的新技术特点，运行分析，运行监视与检修；厂用电动机的运行监视与检修等内容等。本书在编写过程中力求做到理论联系实际，通俗易懂、简明扼要，便于自学。

本书第一、五和七章由郑州电力高等专科学校张玲老师编写，第三、四章由太原电力高等专科学校程树仁老师编写，第二章由郑州供电公司张振编写，第六章由大唐首阳山电厂乔乐侠编写。全书由张玲老师统稿。

本书由西安电力高等专科学校徐益敏老师主审。在审阅过程中徐益敏老师提出了许多宝贵的意见和建议，在此编者表示衷心感谢。

《电气运行与检修技术》是《超（超）临界火电机组运行检修技术丛书》分册之一。本书在编写过程中，参考了本领域许多著作和论文、相关电厂、制造厂、设计院、安装单位和高等院校的技术资料、说明书、整理和引进了国内外部分文献和技术资料等，得到众多单位的大力支持，在此一并表示衷心感谢。由于本书涉及有新技术、新工艺内容，限于编者水平有限、实践经验不足，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2013年6月

目 录

前言

第一章 大型变压器的基本知识	1
第一节 大型变压器的基本结构、工作原理及技术参数	1
第二节 大型电力变压器的发热与冷却	7
第三节 大型电力变压器的选择原则	8
第二章 大型电力变压器的运行原理与运行分析	12
第一节 电力变压器的运行原理	12
第二节 电力变压器的运行分析	23
第三节 三相变压器的磁路系统和接线组	37
第四节 三绕组变压器及特殊变压器简介	41
第三章 大型电力变压器的运行维护和检修	48
第一节 大型电力变压器的运行维护	48
第二节 大型电力变压器的负荷控制	53
第三节 大型电力变压器的常见故障现象及处理方法	57
第四节 大型电力变压器的检修	60
第五节 变压器的绝缘电阻和绕组直流电阻的测定	67
第四章 超(超)临界大型火电机组的基本知识	73
第一节 超(超)临界大型火电机组主要技术参数、新技术特点	73
第二节 超(超)临界大型汽轮发电机的结构特点及运行原理	80
第三节 超(超)临界大型汽轮发电机的励磁系统	93
第四节 超(超)临界大型汽轮发电机的冷却方式与冷却系统	101
第五章 超(超)临界大型汽轮发电机的运行分析	107
第一节 同步发电机的运行特性	107
第二节 汽轮发电机的并联运行	110
第三节 汽轮发电机的功率调节与正常运行	112
第四节 汽轮发电机的异常运行	122
第五节 超临界大型汽轮发电机的中性点接地方式	132

第六章 超(超)临界汽轮发电机的运行监视与检修	135
第一节 超(超)临界汽轮发电机的运行监视	135
第二节 大型汽轮发电机常见故障及处理方法	141
第三节 大型汽轮发电机的检修	143
第四节 大型发电机的在线监测及故障诊断	152
第五节 火电厂大型机组的继电保护与试验	154
第七章 厂用电机的运行分析与检修	165
第一节 三相异步电动机的基本知识	165
第二节 厂用电机的起动和自起动	171
第三节 厂用电机的运行分析与检修	180
第四节 厂用电机的常见故障及处理	188
第五节 厂用高压电动机的继电保护	191
参考文献	194

第一章 大型变压器的基本知识

变压器是一种静止的电气设备,它利用电磁感应原理,把一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。在电力系统中(包括发电厂和变电站)供输电和配电用的变压器,统称为电力变压器。

发电厂欲将 $P=3UI\cos\varphi$ 的电功率输送到用电的区域,在 P 、 $\cos\varphi$ 为一定值时,若采用的电压愈高,则输电线路中的电流愈小,因而既可以节约导电材料又可减少输电线路上的损耗,所以远距离输电采用高电压是最为经济的。

目前,我国交流输电的电压最高已达 1000kV。这样高的电压,无论从发电机的安全运行方面还是从制造成本方面考虑,都不允许由发电机直接生产。

发电机的输出电压比较低,有 10.5、15.75、18、20、24kV,目前最大容量汽轮发电机 1000WM 的输出电压为 27kV,因此必须用升压变压器将电压升高才能实现远距离经济输送。

电能输送到用电区域后,为了适应用电设备的电压要求以实现安全用电,还需通过各级变电站利用变压器将电压降低为各类用电设备所需要的电压值。在用电方面,多数用电器所需电压是 380、220V 或 36V,少数电机也采用 3、6kV 等。

由于电能从发电厂到用户的传输和分配,需要经过多次电压变换,一般电力系统中变压器总容量大约是发电厂设备总容量的 6~8 倍,因此,变压器是电力系统的重要设备之一。

第一节 大型变压器的基本结构、工作原理及技术参数

一、基本结构

变压器中最主要的部件是铁芯和绕组,铁芯和绕组装配在一起称为器身。油浸式变压器的器身放在油箱里,油箱中注满了变压器油。油箱外装有散热器,油箱上部还装有储油柜、安全气道、绝缘套管等。图 1-1 所示是油浸式变压器的结构图。

(一) 铁芯

铁芯是变压器中耦合磁通的主磁路,又是机械骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分构成,铁轭将铁芯柱连接起来形成闭合磁路。

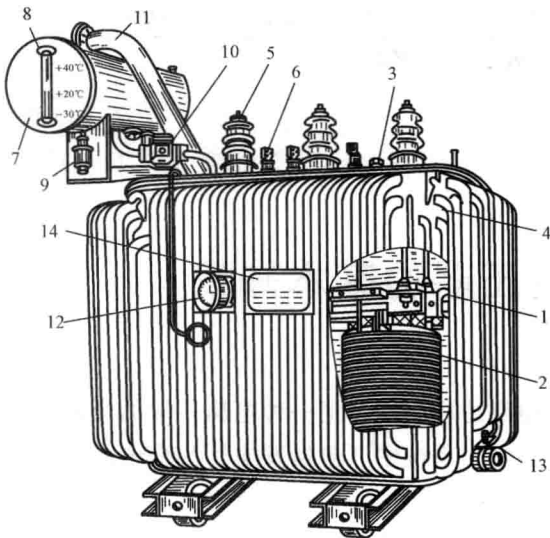


图 1-1 油浸式电力变压器结构图

- 1—铁芯；2—绕组及绝缘；3—分接开关；4—油箱；
5—高压套管；6—低压套管；7—储油柜；8—油位计；9—呼吸器；10—气体继电器；11—安全气道；
12—信号式温度计；13—放油阀门；14—铭牌

容量较大的变压器，铁芯中常设有油道，以改善铁芯内部的散热条件。

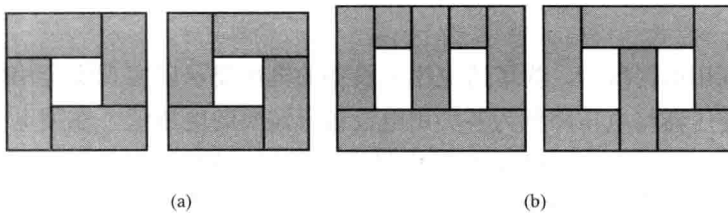


图 1-2 铁芯交错的叠装方式

- (a) 单相四片式铁芯交错叠装方法；(b) 三相六片式铁芯交错叠装方法

(二) 绕组

绕组是变压器重要部件之一，是传递交流电能的电路部分。它常用包有绝缘材料的铜线绕制而成，为了使绕组具有良好的机械性能，其外形一般为圆筒形状，高压绕组的匝数多、导体细，低压绕组的匝数少、导体粗，绕组套在铁芯柱上，如图 1-3 所示。变压器的绕组可分为同芯式和交叠式两类。

同芯式绕组结构简单，制造方便，电力变压器大部分采用这种结构。同芯式绕组的高、低压绕组同芯地套在铁芯柱上。为了便于绝缘和高压绕组易于与分接开关连接，低压绕组靠近铁芯柱，高压绕组套在低压绕组外面，两个绕组之间留有油道以利于冷却。

交叠式绕组的高、低压绕组沿铁芯柱高度方向交替放置，如图 1-4 所示。为减小绝缘距离，通常低压绕组靠近铁轭。交叠式绕组机械强度高，引出线布置方便，多用于低电压

对铁芯的基本要求是具有良好的导磁性和较差的导电性。导磁性好则励磁电流小，相应的铁芯损耗低，变压器吸收的无功少；导电性差，铁芯的涡流损耗就小。

为了提高磁路的导磁性能，减少铁芯损耗，铁芯一般用高磁导率的磁性材料制成。目前变压器铁芯大部分用单片厚为 0.35~0.5mm，其表面涂有绝缘漆的冷轧硅钢片剪成一定形状叠装而成。

为了减小接缝间隙以减小励磁电流，一般采用交错式叠装，使相邻的接缝错开。如图 1-2 所示。铁芯柱的截面一般做成阶梯形，可充分利用绕组内圆空间。

国内大型电力变压器普遍采用芯式铁芯，芯式变压器的铁芯柱截面为圆形立放，高低压线圈截面亦为圆形，同芯地套在铁芯柱上，线圈包围铁芯。

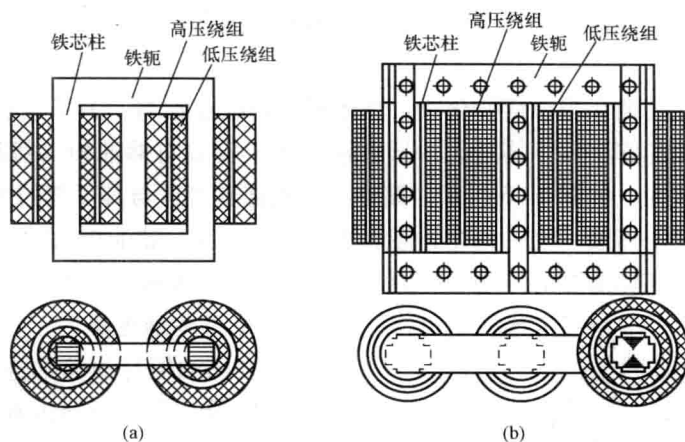


图 1-3 芯式变压器绕组和铁芯的装配示意图

(a) 单相; (b) 三相

大电流的电焊、电炉变压器及壳式变压器中。

绕组的绝缘分为主绝缘和纵绝缘。主绝缘是指绕组与铁芯、油箱等接地部分之间的绝缘，高、中、低压绕组之间的绝缘及各相绕组之间的绝缘。纵绝缘主要是指绕组匝间、层间、段间的绝缘。

油浸式电力变压器所使用的绝缘材料包括变压器油、电缆纸、电话纸、绝缘纸板、白布带、白绸布、木材、酚醛压制品、浸漆等。

(三) 油箱及变压器油

1. 油箱

油箱是油浸式电力变压器的外壳，一般用钢板焊成椭圆形，用来盛装器身和变压器油，变压器的油箱由箱壳和箱盖组成。

2. 变压器油

变压器油既是绝缘介质又是冷却媒介，为保证油的品质，在使用中要防止潮气侵入油中，即便进入少量水分，也会使变压器的绝缘性能大为降低。运行中变压器油通过受热后的对流，将铁芯和绕组中的热量带到箱壁及冷却装置，再散发到空气中。

(四) 主要附件

1. 绝缘套管

绝缘套管是将变压器内部的高、低压引线从油箱内部引到箱外。绝缘套管不但使带电的引线与接地的油箱绝缘，而且起固定引线的作用。绝缘套管由带电部分和绝缘部分组成。带电部分采用导电杆、导电管、电缆和铜牌。绝缘部分分为外绝缘和内绝缘，外绝缘为瓷套，内绝缘为变压器油、附加绝缘或电容性绝缘。为了增大表面放电距离，套管外形成多级伞形裙边。电压愈高，级数愈多。绝缘套管一般是瓷质的，其结构取决于电压等

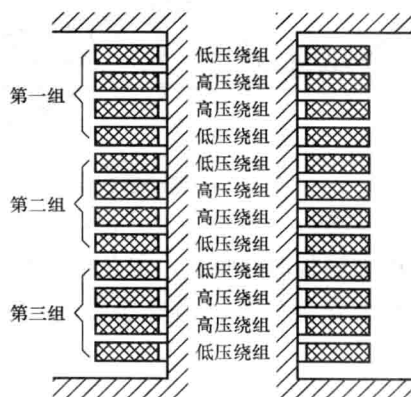


图 1-4 交叠式绕组

级。一般大型电力变压器套管都装设有套管形电流互感器，用于保护和测量。

2. 储油柜

油箱内的变压器油，当温度变化时，其体积会膨胀或收缩。为了减小变压器油与空气的接触面，且给油的膨胀留下裕地，一般在油箱盖上安装有储油柜（俗称油枕）。储油柜通过管道与油箱接通，如图 1-5 所示。储油柜 2 底部有管道与其下部的主油箱 1 连通。主油箱内总是充满变压器油，油一直充到储油柜内适当高度。储油柜内的油面高度随油箱中油温变化而变动。在储油器的一侧装有油位表，以便观察油位的高低。

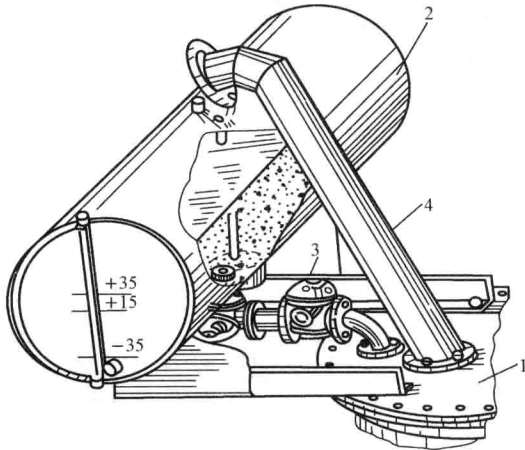


图 1-5 储油器和安全气道

1—主油箱；2—储油柜；3—气体继电器；4—安全气道

在储油柜与油箱的连接管道中装有气体继电器。当变压器内部发生故障，内部绝缘物气化，产生气体，气体从油箱上升进入油枕时，使气体继电器的触点动作，发出信号通知运行人员处理，或直接使断路器跳闸。

4. 安全气道

在油箱的顶盖上装有安全气道，它是一个长的钢管，下面与油箱相通，上部出口处盖以玻璃或酚醛纸板。当变压器内部发生严重故障而产生大量气体时，油箱内压力迅速增大，油流和气体将冲破气道上

端的玻璃板向外喷出，以免油箱受到强大压力而爆裂。最近生产的变压器已采用压力释放阀代替安全气道。当变压器内部发生故障，压力升高时，压力释放阀动作并接通触点报警。

5. 分接开关

分接开关一般装在油箱盖上并埋入油箱内，用来改变高压绕组的匝数以实现小范围调节变压器输出电压。变压器为适应电网电压的变化，在其高压绕组设有一定数量的抽头（即分接头）。如果切换分接头必须将变压器从电网切除后进行（不带电才能切换），称为无励磁调压，这种分接开关称为无励磁分接开关，也称为无载调压分接开关。如果切换分接头可在带负荷下进行，则为有载调压，这种开关称为有载分接开关。两种分接开关如图 1-6 (a)、(b) 所示，图 1-6 (c) 是无励磁分接开关的接线原理图。

此外，变压器的附件还有冷却装置、测温装置、净油器等。

二、大型变压器的基本工作原理

变压器种类虽多，但工作原理基本是一样的。为了简单起见，以单相降压变压器为例说明其工作原理。

变压器主要由两个相互绝缘的绕组套装在具有良好导磁性能材料制成的一个闭合铁芯上构成，如图 1-7 所示。接交流电源的绕组称为一次绕组，该侧是通入交流电流侧，即吸收电能侧。接负荷的绕组称为二次绕组，该侧是接负荷侧，即输出电能侧。一、二次绕组

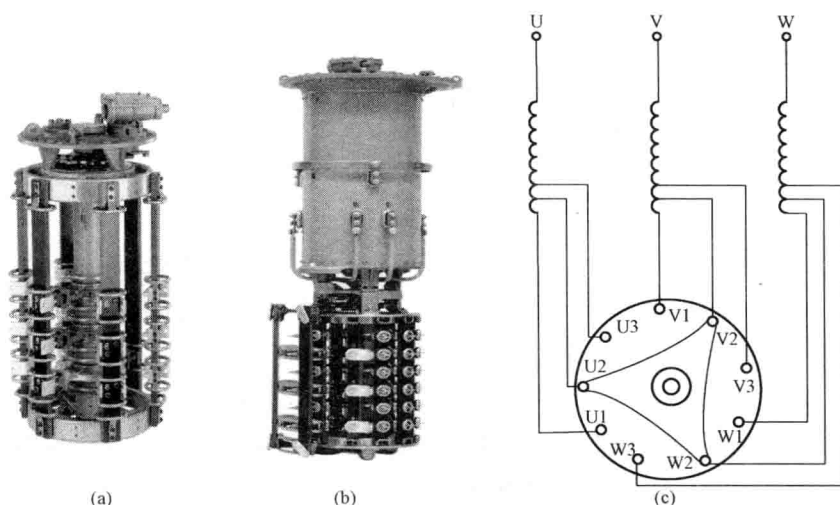


图 1-6 分接开关实物图

(a) 无载分接开关；(b) 有载分接开关；(c) 无载分接开关接线原理图

之间只有磁的耦合，没有电的直接联系。下面为了区别，一、二次电路的各物理量和参数分别用下标“1”和“2”标注。

当一次绕组接在电压为 u_1 的交流电源上时，一次绕组中流过交变电流 i_1 从而产生交变磁通 ϕ ，该磁通由铁芯闭合同时交链于一、二次绕组。根据电磁感应定律可知，交变磁通 ϕ 在一、二次绕组中分别产生感应电动势 e_1 、 e_2 。当感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋关系时，其感应电动势可分别表示为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}, \quad e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

式中 N_1 、 N_2 ——一、二次绕组的匝数；

$\frac{d\phi}{dt}$ ——磁通变化率。

一般情况下，由于 $N_2 \neq N_1$ ，所以 $e_2 \neq e_1$ ，如果忽略一、二次绕组本身的阻抗压降这个次要因素时， $e_1 \approx u_1$ ， $e_2 \approx u_2$ ，则 $u_2 \neq u_1$ 。这就实现了改变电压等级的目的。若二次绕组接上负载，就有电流 i_2 流过，变压器就向负载输出电能，从而实现了不同电压等级的电能传递。由分析显而易见，变压器能够改变电压等级的条件是：

- (1) 由铁芯闭合同时交链于一、二次绕组的磁通必须交变；
- (2) 一、二次绕组的匝数应不相等。

三、大型变压器的技术参数

变压器在规定的使用环境和运行条件下，主要技术数据一般都标注在变压器的铭牌上，主要包括：额定容量、额定电压及其分接、额定频率、绕组联结组以及额定性能数据（阻抗电压、空载电流、空载损耗和负荷损耗）和总重，铭牌上标有变压器的型号和额定

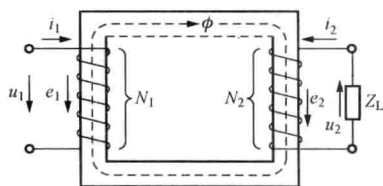
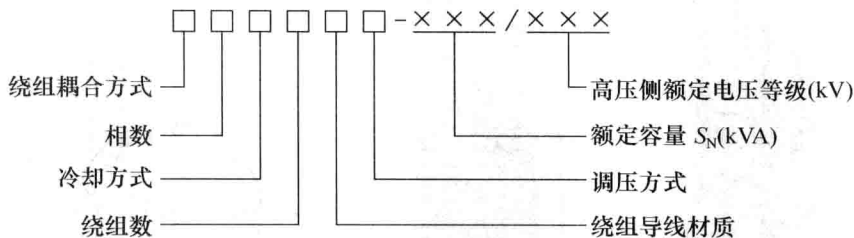


图 1-7 变压器的工作原理示意图

数据等。

(一) 变压器的型号

变压器的型号表示一台变压器的结构、额定容量、电压等级、冷却方式等内容，表示方法如下：



例如：OSFPSZ—250 000/220 表明是自耦三相强迫油循环风冷三绕组铜线有载调压、额定容量为 250 000kVA、高压侧额定电压为 220kV 的电力变压器；SFP—720 000kVA/500kV 表明是三相双绕组变压器，额定容量为 720 000kVA、高压侧额定电压为 500kV，冷却方式为强迫油循环风冷，采用无载调压。

(二) 变压器的额定值

1. 额定容量 S_N (kVA)

额定容量是指变压器额定运行时的视在功率，由于变压器的效率很高，通常一、二次侧的额定容量设计成相等。对于三相变压器而言是指三相的总功率。

2. 一、二次侧额定电压 U_{1N} 和 U_{2N} (kV)

正常运行时加在一次侧的端电压的允许值称为变压器一次侧的额定电压 U_{1N} 。二次侧的额定电压 U_{2N} 是指变压器一次侧加额定电压时二次侧的空载电压。对三相变压器而言，额定电压是指线电压。

3. 额定电流 I_{1N} 和 I_{2N} (A)

变压器一、二次的额定电流，是根据额定容量和额定电压计算出来的电流。对三相变压器而言，额定电流是指线电流。

对单相变压器

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N} \quad (1-1)$$

对三相变压器

$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} \quad (1-2)$$

4. 额定频率 f_N (Hz)

我国的标准规定工业频率 $f_N = 50\text{Hz}$ 。

此外，额定运行时的效率、温升等数据也是额定值。

除额定值外，变压器的相数、绕组连接方式及联结组别、短路电压、运行方式和冷却方式等均标注在铭牌上。

四、变压器的分类

变压器的种类很多，可按以下方式分类：

(1) 按用途可分为电力变压器、特种变压器（电炉变压器、整流变压器、矿用变压

器、音频变压器、中频变压器、高频变压器、冲击变压器)、仪用互感器、调压器、试验用高压变压器等。

(2) 按相数可分为单相变压器、三相变压器。

(3) 按铁芯结构可分为芯式变压器和壳式变压器。

(4) 按绕组数可分为双绕组、三绕组、多绕组变压器以及自耦变压器等。

(5) 按冷却方式和冷却介质可分为干式空冷变压器和油浸式变压器(又可分为油浸自冷、自然油循环风冷变压器、强迫油循环风冷变压器、强迫油循环水冷变压器等)。

(6) 按调压方式可分为无励磁调压变压器和有载调压变压器两种。

(7) 按防潮方式可分为开放式变压器、灌封式变压器、密封式变压器。

(8) 按导电材质可分为铜线变压器、铝线变压器及半铜半铝、超导等变压器。

(9) 按中性点绝缘水平可分为全绝缘变压器、半绝缘(分级绝缘)变压器。

(10) 按变压器容量可分为小型变压器(容量在 $10\sim 630\text{kVA}$)、中型变压器(容量在 $800\sim 6300\text{kVA}$)、大型变压器(容量在 $8000\sim 63000\text{kVA}$)、特大型变压器(容量在 90000kVA 及以上)。

第二节 大型电力变压器的发热与冷却

一、大型电力变压器的发热

电力变压器运行时,导体中电流产生电阻损耗称为铜损耗 $p_{\text{Cu}}=I^2R$,铁芯中交变磁通产生磁滞损耗和涡流损耗称为铁损耗 p_{Fe} ,其大小与铁芯的材料、 B_m^2 及交变频率有关,这些损耗都会变成热量使变压器的铁芯和绕组发热而温度升高。变压器温度升高后,通过辐射和对流作用向周围散发热量。当产生的热量等于电机吸收的热量与散发出去的热量之和时,变压器的温度便不再上升而达到某一稳定数值,此值与周围冷却介质温度之差,称为温升(单位为K)。

电力变压器温度升高对其运行有很大的影响,最主要的影响是会加速绝缘材料的老化,使绝缘材料的绝缘强度受损,影响变压器寿命。因此,变压器的运行温度不允许超过绝缘材料所允许的最高温度,运行中必须对此温度加强监视和调整。另外,由于变压器内部的散热能力不与周围环境温度的变化成正比,即使周围环境温度降低很多,内部温度仍可能超过允许值,因此,运行中还必须对变压器的温升加强监视并使其不超过允许值。

二、绝缘材料

电力变压器中使用的各种绝缘材料,都有一定的最高允许工作温度(单位为 $^{\circ}\text{C}$),在该温度极限内长期工作时,绝缘材料的电性能、机械性能和化学性能都不会显著变坏,通常可保证 $15\sim 20$ 年的寿命。若超过此温度连续工作,绝缘材料会因迅速老化而使性能变坏,寿命会迅速缩短,严重时可被烧毁,造成电力变压器的损坏。据试验统计,A级绝缘的工作温度每上升 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$,绝缘寿命将缩短一半。当电力变压器所用绝缘材料的等级确定后,电力变压器的最高允许温度也就确定了,其温升限值则取决于冷却介质的温度,即环境温度。为了制造全国各地全年都适用的电力变压器,国家标准规定,环境空气温度为

40℃。电力变压器常用绝缘材料的耐热等级和温度极限如表 1-1 所示。

表 1-1 绝缘材料等级与温度极限

绝缘材料等级	A	E	B	F	H	C
温度限值 (℃)	105	120	130	155	180	>180
材料举例	浸渍处理过的有机材料, 如纸、棉纱和普通漆包线用漆等	聚酯薄膜、环氧树脂薄膜、三醋酸纤维、高强度漆包线用漆等	云母片、云母带、石棉、玻璃漆布、漆脂黏合物、高强度漆包线用漆等	云母、石棉、玻璃纤维、合成树脂漆、合成树脂黏合物等	云母、石棉、玻璃丝等无机物用硅有机漆黏合而成的材料	无黏合剂云母、石英、玻璃等, 聚酰亚胺薄膜、聚酰亚胺浸渍石棉等

三、变压器的冷却

电力变压器的冷却决定了电力变压器的散热能力及电力变压器的温升, 从而直接影响电力变压器的寿命和额定容量。电力变压器冷却的主要问题是确定冷却介质和冷却方式。

冷却介质是指能够直接或间接带走电力变压器中所产生的热量物质, 通常有空气和油。

冷却方式分外部冷却和内部冷却两大类。外部冷却时, 冷却介质只与电力变压器的铁芯、绕组端部和油箱的外表面接触, 热量先从发热体内部传到这些表面再传给冷却介质。内部冷却时, 冷却介质进入发热体(空芯导线)内部, 直接带走热量。显然内冷比外冷效果好, 液体介质比气体介质冷却效果好。

第三节 大型电力变压器的选择原则

电力变压器的安全经济运行关系到各行各业的运营的安全性、经济型、合理性、稳定性、可靠性。电力变压器选型是安全经济运行的首要环节。

电力变压器的选择则可参照 GB/T 17468—2008《电力变压器选用导则》, 结合实际使用条件、环境、要求, 投资可行性、相关的技术标准、导则等规范着手。

一、使用条件

根据变压器使用所在地环境条件(海拔高度、年最高和最低温度、最湿月平均最大相对湿度、最大地震强度、环境污秽等级), 参考国家标准相关条件及要求, 进行对照后, 再确定选型的基本要求。

1. 海拔高度

该条件与油浸变压器的外绝缘有关(绝缘距离及套管), 亦与干式变压器器身耐受绝缘水平有关。一般使用地点在海拔 1000m 以下属于正常使用范围; 当超过 1000m 时, 则变压器的外绝缘应该进行校正, 以提高外绝缘水平。

2. 环境温度

变压器的温升与环境温度密切相关, 若变压器冷却空气温度高于最高允许气温

(+40℃), 则变压器的设计应将其绕组、铁芯及温升限值降低, 以保证绝缘材料温度在耐热等级的允许温度以下。

3. 湿度及环境污秽等级

变压器外绝缘性能与环境湿度及其污秽等级有关。对油浸变压器, 湿度影响并不严重, 但对干式变压器有一定影响, 因为干式变压器的主绝缘和铁芯完全裸露在空气中, 凝露不但对变压器绝缘有影响, 而且对变压器的辅助电器设备也有影响。环境污秽因素对变压器的绝缘威胁程度很大, 所以在设计变压器时必须考虑湿度及环境污秽的影响。

二、一般基准原则

选用电力变压器时, 应符合的国家标准、行业标准、国际标准或国外标准、名称及代号, 并同时考虑损耗、声级等参数要求。首先要明确其用途再进行选择, 即确定是升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器还是厂用变压器, 并根据变压器的分类, 结合其用途选择变压器的绕组数(三绕组或是双绕组变压器)、相数(三相或是单相变压器)、调压方式(有载调压或是无励磁调压变压器), 再根据容量大小选用冷却方式。

三、技术参数的选择

1. 额定电压及分接

变压器额定电压应与所在的电力系统各电压等级相符。分接是为了达到调整电压的目的, 将绕组按若干级抽头来改变绕组匝数。一般设计为主绕组和分接绕组, 而分接绕组起到改变匝数的目的。在分接绕组上又分为主分接头与非主分接头, 主分接即为与额定量(额定电压、额定电流、额定容量)相对应的分接, 通常是当分接位置数为奇数时也称主分接为中间分接; 当分接位置为偶数时, 两个中间分接位置有效匝数量多的是主分接。

2. 额定容量

额定容量指变压器额定运行时输入的视在功率, 其中包括变压器本身吸收的有功功率和无功功率。额定容量的选择应遵循相应的国家标准和负载的具体情况。

3. 变压器的绝缘水平

该参数是变压器能承受运行中各种过电压和长期最高工作电压作用的能力。它是以绝缘试验作为考核手段, 包括: ①变压器最高工作电压; ②额定短时工频耐受电压(有效值); ③额定雷电冲击耐受电压(峰值)。对各级电压等级变压器的绝缘水平的要求, 国家标准均有明确规定。

4. 损耗与短路阻抗(也称阻抗压降)

损耗是体现变压器性能水平的参数, 包括空载损耗和负荷损耗; 阻抗压降体现限制穿越变压器短路电流能力的参数。一般实施中可按国家标准或者按制造厂的产品样本来选择两参数。

5. 空载电流

这是铭牌参数, 与空载损耗有关, 空载损耗低者空载电流也相应降低, 两者是相辅相成的, 在选择时, 一般按国家标准或者制造厂的样本作为基准。

6. 联结组别

变压器绕组联结组别的选择与变压器所在电力系统的运行方式有关, 对于三相的电力系统而言, 各侧的变压器绕组连接方式只有三种: ①星形连接或称Y连接, 表示符号Y

(高压测)或y(低压测);②三角形连接或称 Δ 连接,表示符号D(高压侧)或d(低压测);③曲折形连接或称Z连接,表示符号Z(高压测)或z(低压测)。各侧绕组组合后的表示方法是将高压侧的大写符号排在第一位,后面接电压高低依次排列小写符号,后面排列的阿拉伯数字是表示绕组电压相差的时钟制序数。在国家标准对联结组别已作详细定义,并且列出常用的连接方法以及联结组标号与三相变压器连接标志的示例。联结组别的选择应按国标推荐的常用连接组。一般原则:①分期投入的变压器,在前期选择时应谨慎选好连接组,以便后期选用相同连接组,便于维护;②在大电力系统中应固定统一的联结组别,便于以后随系统负荷调节时变压器的变动;③对于需要并联运行的变压器,更应考虑选好联结组别。

7. 冷却方式

冷却装置是变压器的重要组成部分,变压器的损耗是变压器的发热源,若冷却不良会导致变压器在运行时温度急剧上升,从而影响出力。变压器依据其容量采用不同方式的冷却装置;变压器主绝缘材料不同,所选用的冷却方式也有较大的差异。目前常用的冷却方式分类如表1-2所示。

表 1-2 变压器常用冷却方式分类

变压器分类	冷却方式	冷却方式的标志	选用范围	特 征
油浸 变压器	油浸自冷	ONAN	31 500kV 及以下, 36kV 以下 变压器 36 000kV 及以下变压器	无需冷却动力、节能、维护简单、维护费用低廉, 造价成本低
	油浸风冷	ONFN	12 500~63 000kV、35~110kV 变压器; 75 000kVA 及以下变压器、 110kV 变压器; 40 000kVA 及以下变压器、 220kV 变压器	对容量较大变压器有良好的冷却效果, 冷却功率最小; 比较经济, 维护工作量及费用较少
	强迫油 循环风冷	OFAF	50 000~180 000kVA、220kV 变压器, 63 000~16 000kVA、 110kV 变压器	对大容量变压器有良好的冷却效果, 冷却装置动力功率较大; 维护工作量及费用略大
	强迫导向 油循环风冷	ODAF	180 000kVA 及上、220kV 变 压器; 330kVA 和 550kV 变压器	对特大型变压器采用, 冷却装置动力功率较大; 维护工作量及费用较大
	强迫(导向) 油循环水冷	OFWF(ODWF)	一般在水力发电厂作升压变 压器用	因采用水作为第二冷却介质, 装置结构较复杂, 特别是慎防水渗入油中, 维护工作量及费用大
干式 变压器	空气自冷	ANAN	630kVA 以下的 10 (或 6) kV 变压器	结构简单, 无风冷动力功率, 节能; 维护工作量及费用小
	空气风冷	ANAF	630kVA 及以上的 10 (或 6) kV 变压器、35kV 变压器	结构略为复杂, 需要冷却动力功率; 维护工作量及费用略大