

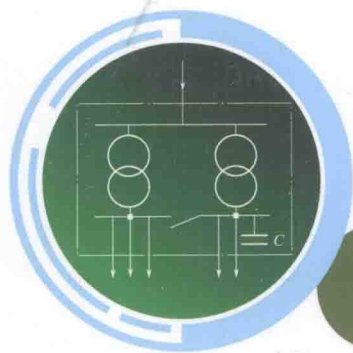


中等职业教育教学示范规划教材

变配电 运行与维护

周志良 主编

徐松柏 主审



化学工业出版社

中等职业教育教学示范规划教材

变配电运行与维护

周志良 主编

徐松柏 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了变配电系统的主要电气设备,接线及配电结构,电力负荷计算,防雷和接地,电气安全管理,继电保护和二次回路,电气设备的运行维护和检修实验等。

本书按项目教学法的方式编写,以岗位职业活动为基础,具有目标明确,项目引领,先形象后抽象,符合学生心理的特点,更注重实践技能的培养。为便于复习掌握,每项任务后面均有思考与练习题或实作训练题。

本书适用于中职学校电气类、机电类专业学生学习使用,也可供企业电气技术工人培训或自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

变配电运行与维护/周志良主编. —北京:化学工业出版社, 2013.7
中等职业教育教学示范规划教材
ISBN 978-7-122-17473-4

I. ①变… II. ①周… III. ①变电所-配电系统-电力系统运行-中等专业学校-教材②变电所-配电系统-维修-中等专业学校-教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 111637 号

责任编辑:张建茹 刘 哲
责任校对:陈 静

文字编辑:云 雷
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数304千字 2013年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

中国化工教育协会电类教材编写委员会

编委会主任：徐寅伟

编委会副主任：（按拼音排序）李关华、李天燕、梁培源、庞广信、邱文棣、

谭爱平、谭胜富、张 洪、张 明、周志良

编委会委员：（按拼音排序）安 磊 毕燕萍 邓朝阳 邓治宇 范 俊

葛华江 韩志浩 黄 杰 李关华 李可成 李丽焕 李 莎

李顺顺 李天燕 李宗孔 梁培源 刘英奎 马 宁 莫 慧

庞广富 庞广信 覃丽萍 邱文棣 冉隆毅 冉勇宁 宋立国

谭爱平 谭俊新 谭胜富 王 冠 韦学艺 吴宝塔 吴伦华

吴清荣 谢阳玉 徐锦铭 徐 鹏 徐松柏 徐寅伟 张 洪

张 玲 张 明 张 祁 赵宇明 周志良 邹火军

序

为实现中国梦，社会进步、经济发展面临良好发展机遇，职业教育服务国家战略，更快、更好地适应新要求，是时代赋予的责任和义务。

在教育部的指导下，2011年5月中国化工教育协会召开了全国校企合作推进教学改革会议，进一步认识到只有通过校企合作完善人才培养模式、深化课程教材改革，才能提高教学质量，为此中国化工教育协会中职电仪类专业教学指导委员会组织全国有关企业和学校进行新一轮的专业教材改革研讨，并在广泛调研、总结成功经验的基础上，重新组建了中国化工教育协会中职电类教材编委会，并由电类教材编委会组织调研，从校企合作的视角组织编写有特色、受欢迎的教材，符合现代职教理念、又适合不同类型、不同教学模式。本套教材在原有基础上体现新的思路和教材改革的深化，具有以下优点：

1. 教材的总体结构和内容选取经过了大量的企业调查研究，根据教育部颁布的专业目录中对电气技术应用、电气运行与控制专业核心课程的要求，结合调研中企业专家对电类专业职业能力培养的重点，兼顾普遍性和特殊性编写。由企业专家担任主审，在符合学生学习心理、提高教学有效性和企业的适应性方面具有鲜明的特色和探索成果。本套教材中等职业学校电类相关专业和职业培训都可使用，学校可整套选用也可单本选用。

2. 《电工与电子技术》采用模块式结构，分基本模块和提高模块两部分。基本模块为非电类或以初级维修电工为主体能力目标的学员选用，是电类专业的学习必备基础。提高模块适用以中级维修电工为目标的学员，具有起点低、突出基本概念和基本技能，形象生动、理论实践一体化学习的特点。

其余八本书为“项目引领、任务驱动”型的项目化教材，《电子技术与应用实践》为电子类专业使用，也可供电气类专业选用；《电工技术与应用实践》为电气类专业使用，也可供电子类专业选用；《电器设备及控制技术》、《单片机应用技术》、《可编程控制器应用技术》、《变配电运行与维护》、《变流与控制应用技术》、《机电一体化应用技术》为电气类专业以中级维修电工为技能目标的学员使用，以岗位职业活动为基础，具有目标明确、由简单到综合、先形象后抽象，符合学生的学习心理特点。

3. 为了使项目化教材有更广的适用范围，在项目设计时也予以考虑，每个任务编写内容由能力培养目标、使用材料与工具、任务实施与要求、考核标准与评价、知识要点、拓展提高、思考与练习组成，以适应当今理论实践一体化学习的要求，核心课程是多年来经验的积累，具有经典性和稳定性。教材的全部内容项目化教学教材，如不用“知识要点”和“拓展提高”部分即可作为实验指导书。“项目”内容由难度不同的“任务”分别加以设计，为提高学员的积极性和学习潜力、进行分类指导提供了条件。

各学校在选用本套教材后可发挥各自的优势和特色，使教学内容和形式不断丰富和完善。

限于编者水平，教材中不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

化工教指委中职电类教材编委会

2013年5月28日

前 言

本书是根据中国化工教育协会电仪类专业教学指导委员会制定的《全国中等职业教育电气运行与控制专业教学标准》编写的。本书从实际出发,按照“项目引领,任务驱动”方式,采用项目教学法,将能力培养渗透到中职教学中。

本书适用于中等职业学校电气运行与控制、电气技术、机电一体化、电气自动化、维修电工、机电技术应用、机电设备维修等专业及相关电类专业使用,也可供企业电气技术工人培训使用或自学。

全书共由10个项目、28项任务组成,教学时数为96学时。其中:项目1、项目2、项目4、项目5、项目7由周志良编写,项目3、项目6由安磊编写,项目8、项目9、项目10由李宗孔编写,全书的电子教案由安磊完成。全书由周志良统稿并任主编,徐松柏任主审。

本书配有电子课件,可免费提供给采用本书作为教材的院校老师使用,可登陆化学工业出版社教学资源网(www.cipedu.com.cn)免费下载。

在本书编写过程中,得到了徐寅伟和张明、化学工业出版社多方面的指导,在此表示感谢;主审徐松柏为编写提供了很多资料,并在编写过程中提出了许多意见,在此表示感谢;陈明峰参与了书中许多图表的制作,在此表示感谢;云南省化工学校领导、云南省化工高级技工学校领导对编写本书给予了极大的关心和支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2013年3月

目 录

项目 1 变配电系统主要电气设备的认识	1
任务 1.1 参观了解变配电所	1
任务 1.2 认识电力变压器	3
任务 1.3 认识高压电气设备	12
项目 2 电力系统的认识	20
任务 2.1 认识电力系统与工厂供电系统	20
任务 2.2 认识电力系统电压的国家标准	24
任务 2.3 认识电力系统中性点运行方式	29
项目 3 变配电所的接线与配电结构的认识	34
任务 3.1 认识工厂变配电所的电气主接线	34
任务 3.2 认识工厂变电所的配电结构	40
项目 4 电力负荷的计算	46
任务 4.1 认识电力负荷与负荷曲线	46
任务 4.2 确定用电设备的计算负荷	49
项目 5 工厂供电线路的认识	56
任务 5.1 认识工厂供电线路的接线方式	56
任务 5.2 认识工厂供电线路的结构与敷设	60
任务 5.3 认识导线和电缆截面的选择校验	72
项目 6 防雷、电气设备接地知识	82
任务 6.1 认识过电压与防雷	82
任务 6.2 认识电气设备的接地	90
项目 7 电气安全管理	94
任务 7.1 掌握电气安全管理的基本要求	94
任务 7.2 掌握保证安全的组织措施	96
任务 7.3 掌握保证安全的技术措施	101
任务 7.4 掌握电气安全作业规程	104
项目 8 继电保护及二次回路的认识	108
任务 8.1 认识变配电所继电保护回路及安装接线	108
任务 8.2 识读变配电所二次回路图和自动装置图	121

任务 8.3 认识变配电所二次回路常见故障的查找	143
项目 9 电气设备的运行与维护	151
任务 9.1 认识变压器的运行维护及故障处理	151
任务 9.2 认识配电装置、电力线路的运行与维护	158
任务 9.3 认识变配电所的倒闸操作	164
项目 10 电气设备的检修试验	171
任务 10.1 认识变压器的检修试验	171
任务 10.2 认识配电装置的检修试验	178
任务 10.3 认识电力线路的检修试验	184
参考文献	190

项目1

变配电系统主要电气设备的认识

任务 1.1 参观了解变配电所



能力目标

- ① 通过参观一个变电所，大致了解变配电所的作用。
- ② 了解和认识变电所中变压器、熔断器、断路器、隔离开关、互感器、电力线路等主要设备。
- ③ 了解变配电所运行值班人员的工作内容。



任务实施及要求

- ① 实地参观变电所的布局，进出线方式。
- ② 指导学生认识各种主要设备的外部形状、安装位置及相互连接方式。
- ③ 让学生了解各种主要设备的作用和变配电所运行值班人员的工作内容。
- ④ 根据实际情况将学生分为 10~15 人一组，由工程技术人员和教师带领现场参观及讲授。



考核标准及评价

- ① 能正确说出变电所作用 30 分。
- ② 根据设备实物能正确说出每种主要设备的名称，六种设备共 60 分。
- ③ 参观学习态度 10 分。



相关知识介绍

(1) 变配电所

变配电所又称为变配电站。变电所(站)和配电所(站)的区别在于所(站)内有无变压器,有变压器的称为变电所,无变压器的称为配电所。

变电所是电网中的一个中间环节,它的作用就是通过变压器和电力线路将各级电力网联系起来,用于接受电能、变换电压和分配电能,控制电力的流向和调整电压。而配电所只用

来接受和分配电能，不承担变换电压的任务。

变电所又可分为升压变电所和降压变电所两大类。升压变电所是将低电压变换为高电压，一般建在发电厂；降压变电所是将高电压变换到一个较低的合理的电压等级，一般建在靠近用电负荷中心的地点。降压变电所根据其在电力系统中的地位和作用的不同，又分为地区变电所和工厂变电所等。工厂变电所和工厂配电所，一般建在工厂内部。

(2) 变电所的主要设备

变电所的主要设备包括：变压器、熔断器、断路器、隔离开关、互感器和电力线路等。

① 变压器：变压器是变电所中最主要的设备，又称主变压器。电力变压器按变压性质分有升压变压器和降压变压器，按冷却方式分有油浸式变压器和干式变压器等，按其绕组的材质分有铜绕组和铝绕组变压器，目前一般采用铜绕组变压器。

② 熔断器：熔断器是一种在通过的电流超过规定值时使其熔体熔化而切断电路的保护电器。熔断器的功能主要是对电路及其电气设备进行短路保护，但也有的具有过负荷保护的功能。

③ 高压断路器：高压断路器是工厂供电系统中最重要电气设备之一。高压断路器具有相当完善的灭弧装置，其用途是使高压电路在正常负荷下接通和断开，在发生短路故障时，通过继电保护装置的作用将故障线路自动断开，使非故障部分正常运行。

④ 高压隔离开关：高压隔离开关主要用于隔离高压电源，将线路中高压电气设备与带电部分可靠地断开，使其有一个明显可见的断开点，确保其他高压电气设备及工作人员安全检修。另外，在供配电系统中，可以利用隔离开关进行倒闸操作。

⑤ 互感器：互感器是电流互感器和电压互感器的统称。从其基本结构和工作原理来说，互感器是一种特殊的变压器。它是一次电路和二次电路之间的联络元件，用以分别向测量仪表、继电器的电流线圈和电压线圈供电。

⑥ 电力线路：电力线路又称输电线。它的作用是输送电能，并把发电厂、变电所和电能用户连接起来。

电力线路按其用途及电压等级分为输电线路和配电线路。电压在 35kV 及以上的电力线路为输电线路；电压在 10kV 及以下的电力线路称为配电线路。电力线路按其架设方法可分为架空线路和电缆线路；按其传输电流的种类又可分为交流线路和直流线路。

(3) 变电所运行值班人员的工作内容

① 变电所运行值班人员必须按有关规定进行培训、学习，经考试合格后方能上岗值班。值班期间，应穿戴统一的值班工作服和值班岗位标志，不进行与工作无关的其他活动，要服从指挥，尽职尽责，确保所内设备的安全运行。

② 依据调度指令正确地进行倒闸操作；并对所内设备运行状况进行监视，按时进行巡视检查、抄表和计算电量，发现缺陷和异常时及时汇报和处理。

③ 完成日常运行维护工作，认真做好各种记录、报表。并做好所内保卫、保密、消防和环境卫生工作。

④ 完成电气设备工作的安全措施，办理工作票的开工和完工手续，并对设备进行完工验收。

⑤ 当运行方式改变、恶劣天气、设备存在严重缺陷和缺陷有发展时，认真做好事故预想。

⑥ 按规定进行故障处理。当发生事故、障碍时，按规定及时进行处理并汇报。

【思考与练习】

1. 变电所的作用是什么?
2. 变压器的作用是什么?
3. 熔断器的作用是什么?
4. 隔离开关的作用是什么?
5. 互感器的作用是什么?
6. 电力线路的作用是什么?
7. 变电所运行值班人员的工作内容是什么?

任务 1.2 认识电力变压器



能力目标

- ① 了解和认识变压器的外部结构及内部结构。
- ② 了解和认识变压器的变压原理。



任务实施及要求

(1) 准备下列材料、工具及设备:

- | | |
|------------|-----|
| ① 油浸式电力变压器 | 一台; |
| ② 各种型号扳手 | 若干; |
| ③ 各种型号起子 | 若干; |
| ④ 起吊设备 | 一套。 |

(2) 任务实施

① 指导学生仔细观察电力变压器外形及铭牌,认识器身、油箱、冷却装置、保护装置、出线装置等组成部分。

② 组织学生拆卸变压器,吊出器身,指导学生了解铁芯和线圈(绕组)等组成部分。

③ 让学生了解变压器的工作原理。

(3) 要求

- ① 正确使用扳手、起子等工具。
- ② 正确拆卸和装配变压器。
- ③ 注意人身安全和设备安全。
- ④ 学生分为 10~15 人一组,由实训教师 and 理论老师带领,组织拆卸学习及讲授。



考核标准及评价

① 能正确说出变压器器身、油箱、冷却装置、保护装置、出线装置等组成部分 50 分(每一部分 10 分,五部分共计 50 分)。

② 能正确说出变压器中铁芯和线圈(绕组)的基本结构各 10 分,共 20 分。

③ 能叙述变压器的基本原理 30 分,叙述不完整或错误时,酌情扣分。

相关知识介绍

变压器是变电所中最主要的设备，又称主变压器。

变电所使用的变压器，多为三相油浸式配电变压器，目前也推广使用干式电力变压器，在此，仅介绍三相油浸式配电变压器。

1.2.1 油浸式配电变压器结构

(1) 总体结构概况

图 1-1 是一台容量为 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ ，高压侧额定电压为 10kV 的油浸式配电变压器。为了看清器身在油箱内的放置情况，将油箱作了局部剖视。变压器的器身放在油箱内，浸泡在变压器油中。变压器油起到绝缘和带走器身热量的作用。变压器线圈的出线分别由高、低压套管引导。在油箱外壁有很多散热管，以增大变压器油和周围空气的热交换面积。另外，为了维持变压器的正常工作条件并在变压器出现故障时保护它不受损坏，还设置了保护装置，即储油柜（油枕）、安全气道（防爆管）、吸湿器（呼吸器）、气体继电器（瓦斯继电器）等。

容量更小的油浸式配电变压器，其总体结构与上述变压器相同，只是由于容量小，油箱外的散热管数量也相应减少。同时，由于容量小，设备的重要程度也较低，故除有油枕外，未设置安全气道、吸湿器和气体继电器等保护装置。图 1-2 是这类配电变压器的外形。它的容量在 $100\text{kV} \cdot \text{A}$ 左右，高压侧额定电压为 10kV 。

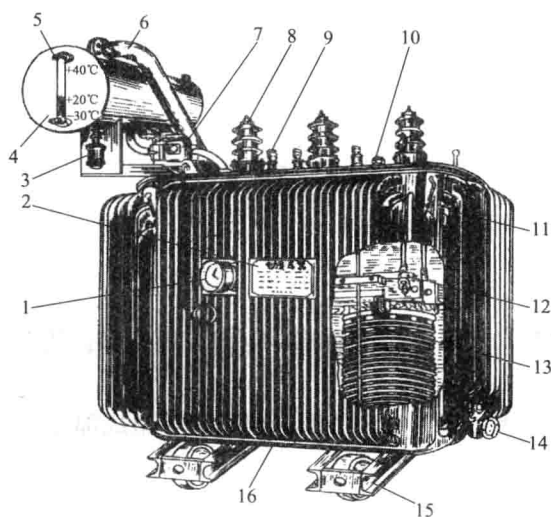


图 1-1 油浸式配电变压器

- 1—温度计；2—铭牌；3—除湿器；4—储油柜；
5—油表；6—安全气道；7—气体继电器；
8—高压套管；9—低压套管；10—分接开关；
11—油箱；12—铁芯；13—线圈及绝缘；
14—放油阀；15—小车；16—引线

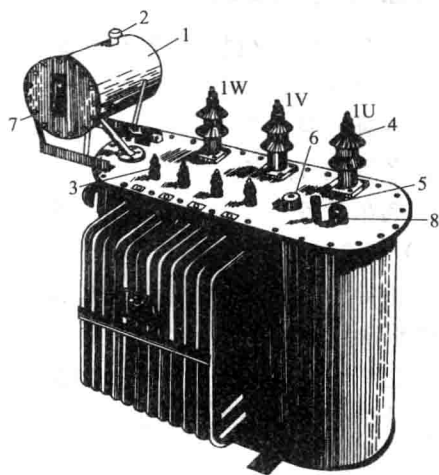


图 1-2 小容量油浸式配电变压器

- 1—储油柜；2—加油栓；3—低压套管；
4—高压套管；5—温度计；6—分接开关；
7—油表；8—吊环

油浸式电力变压器的结构概况可归纳为：

- ① 变压器由器身、油箱、冷却装置、保护装置、出线装置等几部分组成；
- ② 器身由铁芯、线圈、绝缘、引线及分接开关等几部分组成；
- ③ 油箱由本体（箱盖、箱壁、箱底）和附件（放油阀门、小车、油样活门、接地螺栓、

铭牌)组成;

④ 冷却装置主要由散热器组成;

⑤ 保护装置由储油柜、油位计、安全气道、吸湿器、测温元件、气体继电器等部分组成;

⑥ 出线装置由高压套管和低压套管组成。

(2) 器身

图 1-3 是油浸式电力变压器的器身装置后的外观。它主要由导磁的铁芯和导电的线圈两大部分组成。在铁芯和线圈之间、高低压线圈之间及线圈中各匝之间均有相应的绝缘。图中还可见到高压侧的引线 1U、1V、1W, 低压侧的引线 2U、2V、2W、N。另外, 在高压侧设有调节电压用的无励磁分接开关。

电力变压器铁芯采用三相三芯柱结构, 如图 1-4 所示。这种铁芯结构简单, 制造工艺性好, 使用极为广泛。铁芯的芯柱和铁轭均由硅钢片叠成, 叠好后, 芯柱用绝缘带绑扎, 铁轭由上下夹件夹紧。为了保持整体性, 上下夹件间用拉螺杆紧固。铁芯叠片通过接地片与夹件连接实现接地。铁芯叠好后, 把高低压线圈套在各相芯柱上, 就装配出了器身。

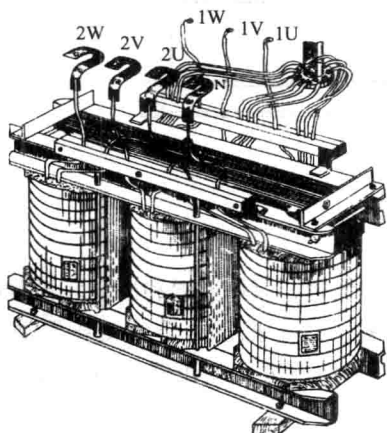


图 1-3 配电变压器器身

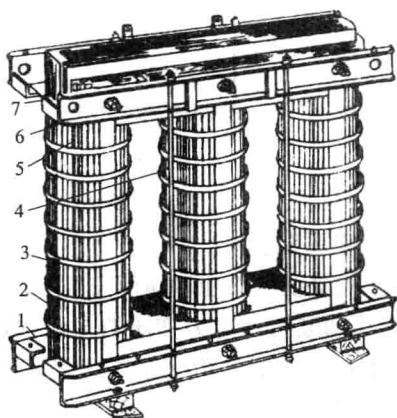


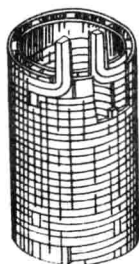
图 1-4 三相三柱式铁芯

1—下夹件; 2—叠片铁芯; 3—芯柱绑扎;

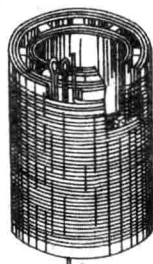
4—拉螺杆; 5—夹紧螺杆; 6—上夹件;

7—接地片

电力变压器线圈广泛采用同心式结构, 同心式结构的特点是低压绕组套在铁芯柱上, 高压绕组同心地套在低压绕组外面。电力变压器线圈都采用圆筒式绕法。圆筒式线圈结构如图 1-5 所示。它的绕法是把一根或几根并联的导线在绝缘纸筒上沿铁芯柱高度方向依次连续绕制而成。一般低压绕组用扁铜线绕成单层或双层 [图 1-5(a)]; 高压绕组用圆导线绕成多层 [图 1-5(b)]。绕制时, 在线圈某些层间用绝缘撑条垫入构成油道; 低压绕组与铁芯之间、高低压绕组



(a) 扁导线绕成的双层线圈



(b) 圆导线绕成的多层线圈

图 1-5 圆筒式线圈

之间也有相应的油道。

(3) 油箱

油箱的作用是容纳变压器油，使器身在运行时浸泡在油中，以满足绝缘和散热的要求。油箱有箱式和钟罩式两种：如图 1-6 所示，箱式油箱的箱壁和箱底焊为整体，器身由螺杆吊在箱盖上，检修时，把箱盖连同器身一起吊出 [图 1-6(a)]。装配时，箱盖和箱壁之间有耐油胶垫，用箱盖螺栓上紧，以防止变压器油泄漏。[图 1-6(b)] 所示为钟罩式油箱，变压器器身用螺栓固定在箱底上，箱盖和箱壁制成一体，像一个钟罩扣在器身和箱底上。检修时，需先把箱内变压器油放出，然后吊起钟罩、露出器身。钟罩式一般用于大型变压器（器身重 15t 以上；容量在 5000kV·A 以上）。电力变压器广泛采用箱式油箱。

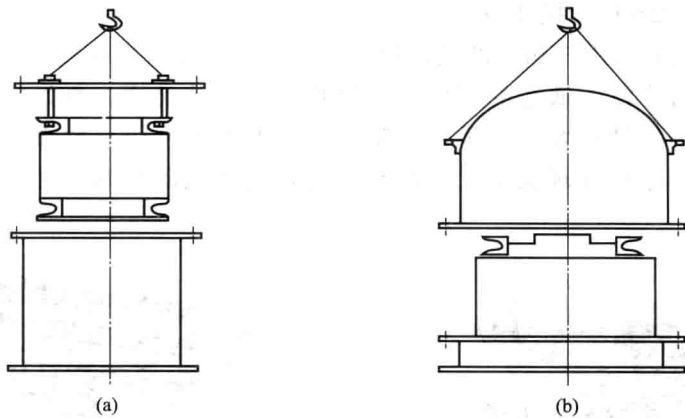


图 1-6 变压器油箱

(4) 附属装置

为了保证变压器能可靠而安全地运行，它还附有冷却装置、保护装置和出线装置等部件。

① 冷却装置：电力变压器多以散热管作为冷却装置。为了把器身传给变压器油的热量散发出去，变压器的箱壁上焊有许多油管。这些油管一方面增大了变压器油与周围空气的散热面积，另一方面为变压器油提供了循环路径。

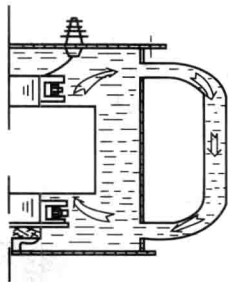


图 1-7 变压器油自然循环途径

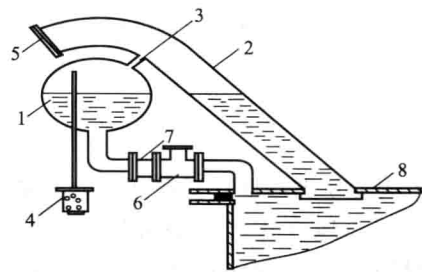


图 1-8 变压器保护装置的设置

1—油枕；2—安全气道；3—连油管；4—呼吸器；
5—防爆膜；6—气体继电器；7—蝶形阀；8—箱盖

由图 1-7 可见，器身发热使变压器油变热，密度减小。热油在油箱内上升，进入散热管与空气进行热交换。油流经散热管后温度下降，密度增加。它沿散热管下降，重新进入油箱，再次去冷却器身，以上循环过程是靠变压器油受热后密度变化而自然完成的，故这种冷却方式称为自然油循环冷却。

为了增加散热面积,很多变压器的散热管采用扁管。对容量很小的电力变压器,为了简化制作工艺,也有在箱壁上焊一些散热的铁片(散热片)来扩大散热面积而不用散热管的。容量较大的变压器($\geq 2500\text{kV}\cdot\text{A}$),为了便于运输,把散热管做成可拆卸的形式,成为单独的散热器。以上各种变压器均为自然油循环冷却,属于油浸自冷式。

② 保护装置:保护装置包括储油柜、安全气道、吸湿器及气体继电器等。它们在变压器油箱盖上设置的情况见图 1-1~图 1-8。

储油柜也称为油枕。它设在箱盖上方,由管道与油箱连通。设置油枕后,变压器油面可以高于箱盖和套管,使变压器引线和套管内出线都浸在油中,增加了绝缘强度。同时,油枕也给变压器油的热胀冷缩提供了一个膨胀室。

吸湿器又称为呼吸器。它内部装有用氯化钴浸渍过的硅胶。硅胶的吸湿能力很强,在变压器油胀、缩时,油枕上部空间的空气通过吸湿器与大气交换,硅胶就会吸收掉这些空气中的水分。用氯化钴浸过的硅胶干燥时为蓝色,吸湿饱和后变为红色。运行中可根据颜色的变化来判断是否应更换硅胶。

气体继电器又称为瓦斯继电器。它装在油枕与油箱间的管道中。当变压器油箱内产生电弧、局部高热等内部故障时,会出现大量气体,造成变压器油气流通过气体继电器使它动作。根据故障程度不同,气体继电器或作用于发信装置发出警告信号,或作用于跳闸回路使变压器从电网中断开,起到保护作用。

安全气道又称为防爆管。它的下部分与油箱连通,上部与油枕膨胀室连通。防爆管顶部用 2~3mm 的玻璃密封,形成防爆膜。当变压器发生严重内部故障时,产生大量油气,使油枕和安全气道上部压力骤增,玻璃破裂,油气喷出,防止了油箱爆裂的重大事故。

除以上各装置外,油枕侧面还装有显示油面高低的油表,箱盖上装有温度计。

③ 出线装置:变压器线圈的高低电压出线,必须穿过油箱盖与电网连接。这些出线既需要与油箱间绝缘,又需要得到必要的支承。高低压套管构成了变压器的出线装置,由它们担任出线的绝缘和支承。

低压套管通常采用图 1-9 的结构。这种套管称为复合瓷绝缘式套管。它由装在箱盖上面的上瓷套管 6 和装在箱盖下面的下瓷套管 9 两部分构成。二者中间夹着箱盖钢板。导电杆 10 为一螺杆,既导电又通过螺母把上、下瓷套夹紧。纸垫圈 8 和 11 起缓冲作用,避免压紧时损坏瓷套。瓷套管的接线形式因导通电流的大小不同而不同。图 1-9(a) 中套管上部采用杆式接线,下部用一片软铜皮连接,适用于工作电流 $\leq 600\text{A}$ 的场合;图 1-9(b) 上部为板式接线,下部用两片软铜皮,适用于电流为 800~1200A 的场合;图 1-9(c) 中,上、下部均采用板式接线,适用于电流为 2000~3000A 的场合。

高压瓷套管一般采用图 1-10 的结构,该瓷套与前述低压套管不同,它只有一个瓷套构成,通常称为单体绝缘瓷套管。该套管中部制有台阶,以便能通过夹持法兰和压钉把它压紧、固定在箱盖上。在瓷套与箱盖压接处设有密封垫,以防止变压器油泄漏。导电杆贯穿套管上下,其上、下部的接线方式是采用杆式或是板式,仍以工作电流大小来确定。在导通电流较大时,套管内应充满变压器油,以增加散热和提高绝缘能力。

1.2.2 变压器的工作原理

从原理上讲,三相变压器可以由三个单相变压器并联而成,所以我们可以从单相变压器的原理出发去学习三相变压器。

(1) 单相变压器的空载运行

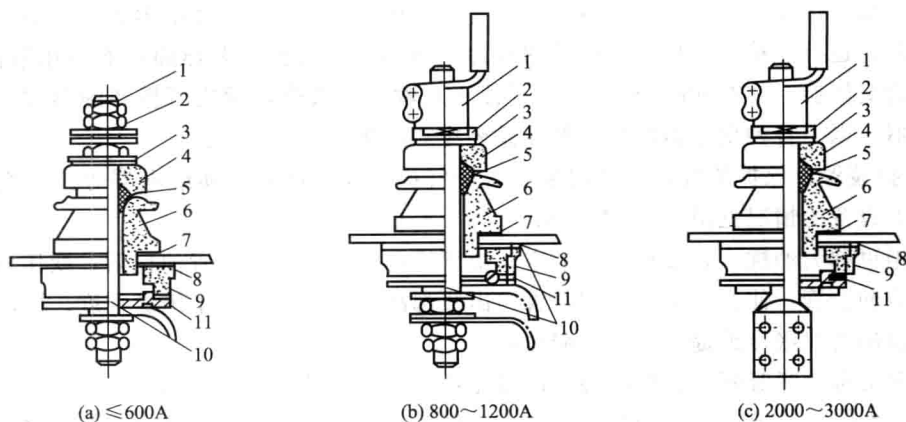


图 1-9 复合瓷绝缘套管

1—接线头；2—圆螺母；3—衬垫；4—瓷盖；5—密封环；6—上瓷套管；
7—密封垫圈；8,11—纸垫圈；9—下瓷套管；10—导电杆

变压器原绕组接上交流电源，副绕组不接负载时的工作状态，称为空载运行。

如图 1-11 为单相变压器空载运行时的示意图。原绕组中的电流称为空载电流 i_0 ，又称为励磁电流。一般变压器的空载电流很小，电力变压器的空载电流是原边额定电流的 3%~8%。

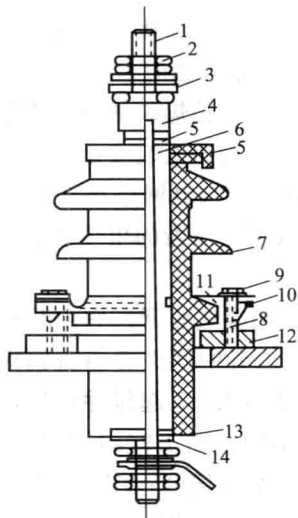


图 1-10 单体绝缘瓷套管

1—导电杆；2,9—螺母；3—垫圈；4—铜套；
5—衬垫；6—瓷盖；7—瓷伞；8—螺栓；
10—夹持法兰；11—压钉；12—钢板；
13—绝缘垫圈；14—铜垫圈

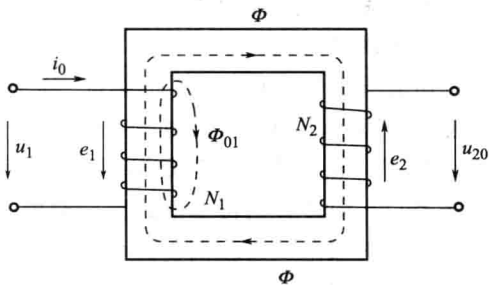


图 1-11 变压器的空载运行

空载时，原绕组的磁动势 $i_0 N_1$ ，产生的磁通大部分通过铁芯磁路交链着原、副绕组，称为主磁通。只有少量的磁通经过空气或变压器油与原绕组交链，称为漏磁通。漏磁通很小，可忽略不计。

由于磁动势按正弦规律变化 ($i_0 N_1$ 中电流 i_0 按正弦规律变化)，其产生的磁通也按正弦规律变化。设 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ ， Φ_m 为主磁通的最大值。根据电磁感应，在原、副绕组中分别产生感应电动势

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \mathrm{d}\Phi / \mathrm{d}t = -N_1 \mathrm{d}\Phi_m \sin \omega t / \mathrm{d}t \\ &= -N_1 \omega \Phi_m \cos \omega t = E_{1m} \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -N_2 \mathrm{d}\Phi / \mathrm{d}t = E_{2m} \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (1-2)$$

它们的有效值分别为

$$E_1 = E_{1m} / \sqrt{2} = N_1 \omega \Phi_m / \sqrt{2} = 4.44 N_1 f \Phi_m \quad (1-3)$$

$$E_2 = E_{2m} / \sqrt{2} = 4.44 N_2 f \Phi_m \quad (1-4)$$

式(1-3)除以式(1-4)得

$$E_1 / E_2 = 4.44 N_1 f \Phi_m / (4.44 N_2 f \Phi_m) = N_1 / N_2 = k \quad (1-5)$$

若忽略原绕组的电阻压降 (I_0 很小):

$$E_1 \approx U_1$$

$$E_2 = U_{20}$$

则得

$$U_1 / U_{20} \approx E_1 / E_2 = N_1 / N_2 = k \quad (1-6)$$

称 k 为变压器的变压比。当 $k > 1$, 即 $U_1 > U_{20}$ 时, 为降压变压器; 当 $k < 1$, 即 $U_1 < U_{20}$ 时, 为升压变压器。由此可见, 变压器具有变换电压的作用。

(2) 单相变压器的有载运行

原绕组接上交流电源, 副绕组接上负载, 称为变压器有载运行。

变压器有载运行时, 副绕组中也有电流, 如图 1-12。在忽略了副绕组的阻抗压降时, 副边电压

$$U_2 \approx U_{20} = E_2$$

由式(1-3)可得

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m \quad (1-7)$$

式(1-7)是反映变压器基本原理的重要公式。可以看出, 在电源电压 U_1 及频率 f 不变的情况下, 不论变压器是空载运行还是有载运行, 铁芯中的主磁通 Φ 基本不变。

变压器有载运行时, 铁芯中的磁通由原、副绕组的磁动势共同产生。

$$\text{即} \quad i_1 N_1 + i_2 N_2 = i_0 N_1 \quad (1-8)$$

式(1-8)为变压器的磁动势平衡方程式。

由于空载电流 i_0 很小, 故 $i_0 N_1$ 也很小, 可忽略, 则上式可写成

$$i_1 N_1 \approx -i_2 N_2 \quad (1-9)$$

对应有有效值关系为

$$I_1 N_1 \approx I_2 N_2 \quad (1-10)$$

$$I_1 / I_2 \approx N_2 / N_1 = 1/k \quad (1-11)$$

变压器有载运行时, 原、副绕组中的电流比等于变压比的倒数。

由此可见, 变压器具有变换电流的作用。

由式(1-9)可以看出, 变压器原、副绕组的磁动势是反相的, 即副边磁动势 $i_2 N_2$ 所产生的磁通总是起着抵消原绕组磁动势 $i_1 N_1$ 所产生的磁通的作用。为了保持铁芯中的主磁通基本不变, 当副边电流增大时, 原绕组中电流相应地增加, 从而使电源的电能以主磁通为媒介, 通过电磁感应, 传递给负载。

变压器有载运行时, 在原绕组外加电源电压不变的情况下, 副边负载电流增大时, 副绕组的内压降相应地增大, 副绕组的端电压相应地下降。变压器副绕组的端电压随负载电流的变化而变化的特性, 称为变压器的外特性, 它的图像称为变压器的外特性曲线, 如图 1-13。