

高级工培训教材



火电厂电气设备及运行

河南省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书共分三篇,第一篇主要讲述发电机、变压器和电动机的基本原理、结构;第二篇主要讲述电气主接线、短路电流计算、电气部分设计的基本知识、电气设备的运行及事故处理;第三篇主要讲述发电厂的操作电源、监察测量、控制操作、信号回路和同期回路。

本书以提高发电厂运行人员的理论知识和工作技能,尤其是对事故和异常运行的分析、判断和处理能力为主要目的,是一本发电厂岗位技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂电气设备及运行/河南省电力工业局编. —北京:中国电力出版社, 1995

发电厂和变电所运行高级工培训教材

ISBN 7-80125-023-0

I. 火… II. 河… III. 火电厂-电气设备-运行-技术培训-教材 N. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11537 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

1995 年 8 月第一版 1995 年 8 月北京第一次印刷

787×1092 毫米 32 开本 14.625 印张 322 千字

印数 00001—10070 册 定价 16.90 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

出 版 说 明

为满足高级工培训工作的需要，根据部颁《电力工人技术等级标准》的要求，我社组织出版了发电厂和变电所运行高级工培训教材。本套教材第一批共 9 种，是由河南省电力工业局和甘肃省电力工业局在其省内广为使用、多次办培训班所采用的运行高级工培训教材的基础上，根据教学中的经验和使用单位与读者的意见，对内容进行了增、删，结构上进行了调整，经重新修改而成，使之更适应运行高级工培训的要求。其中，火电厂运行高级工培训教材分为 4 种，即《火电厂电气设备及运行》、《火电厂继电保护及自动装置》、《锅炉设备运行技术》、《汽轮机设备运行技术》；变电所运行高级工培训教材分为 2 种，即《变电所电气设备及运行》、《变电所继电保护及自动装置》；水电厂运行高级工培训教材分为 2 种，即《水轮发电机组运行技术》、《水工观测技术》。另外，《电力系统运行及过电压保护（火电厂、水电厂和变电所共用）》为共用教材。本套教材供运行高级工培训及自学用，也可供相关专业的工人及技术人员参考。

中国电力出版社

1995 年 7 月

前 言

为了适应电力生产建设迅速发展的需要，提高工人队伍技术业务素质，并对技术工人晋升进行严格考核，原能源部颁发了《电力工人技术等级标准》。在贯彻执行该标准时，全国电力系统均积极开展了技术工人培训工作。为了使从事发电厂、变电所电气运行的高级技术工人能按等级标准进行正规化和系统化的培训，特组织编写了发电厂和变电所电气运行高级工培训教材，共包括《火电厂电气设备及运行》、《火电厂继电保护及自动装置》、《变电所电气设备及运行》、《变电所继电保护及自动装置》、《电力系统运行及过电压保护（火电厂、水电厂和变电所共用）》五本书，除作为发电厂、变电所电气运行高级工的培训教材，也可供发电厂、变电所电气试验及检修高级工培训时参考。

这五种教材由河南电力工业局组织郑州电力高等专科学校的高级讲师、讲师分工编写。在编写过程中，考虑了发电厂、变电所电气运行高级工的专业需要，并力求在保证教材完整性、系统性的同时，注重职工培训的特点，深入浅出，密切联系生产实际，反映现场新技术。

本书主要讲述了火电厂中电气设备的基本结构、工作原理及运行分析，同时还进述了电气接线、短路电流计算、电气部分设计的基本知识及二次回路的基本知识。

本书第一篇由张秀阁编写，第二篇中第一章至第七章、第十一、十二章由郭琳编写，第二篇中第八、九、十章和第三篇由韩浩编写。

由于编写时间仓促，教材中有不足之处，敬请读者指正。

编 者

一九九五年六月

目 录

出版说明

前 言

第一篇 电机基本结构及工作原理

第一章 变压器的基本知识和结构简介	1
第一节 变压器的基本工作原理及分类	1
第二节 变压器的主要结构	3
第三节 变压器的铭牌	7
第四节 变压器的冷却方式	8
复习题	9
第二章 变压器的基本理论及运行特性	11
第一节 单相变压器空载运行分析	11
第二节 单相变压器负载运行分析	18
第三节 变压器的空载和短路试验	25
第四节 变压器的运行性能	29
第五节 三相变压器磁路系统和连接组别	31
第六节 三相变压器磁路、连接方式对电动势波形的 影响	40
复习题	44
第三章 自耦、三绕组变压器和分裂变压器	50
第一节 自耦变压器	50
第二节 三绕组变压器	55
第三节 分裂变压器	59
复习题	63

第四章 同步发电机的基本知识及结构简介	66
第一节 同步发电机的基本知识	66
第二节 同步电机的励磁系统	73
复习题	76
第五章 同步发电机的基本理论及运行特性	78
第一节 同步发电机的电枢反应	78
第二节 同步发电机的等值电路、电势方程和相量图	81
第三节 运行特性	83
第四节 同步发电机的并联运行	85
第五节 有功功率平衡及功角特性	90
第六节 有功、无功功率调节及静稳定概念	93
第七节 调相运行	99
复习题	102
第六章 三相异步电动机简介	106
第一节 三相异步电动机主要结构	106
第二节 三相异步电动机的铭牌	107
第三节 三相异步电动机的工作原理	109
第四节 三相异步电动机的转矩特性	111
第五节 三相异步电动机的起动	113
复习题	116

第二篇 发电厂电气设备及运行

第一章 电力系统和发电厂概述	119
第一节 电力系统的额定电压与接线	119
第二节 电力系统的负荷概述	127
第三节 火力发电厂生产过程的基本知识	130
复习题	132
第二章 发电厂电气主接线和厂用电接线	134
第一节 对主接线的基本要求	134

第二节	发电厂主接线	136
第三节	发电厂厂用电	151
复习题	.....	164
第三章	发电厂电气主接线运行方式及倒闸操作	166
第一节	运行方式的编制原则	166
第二节	电气设备的倒闸操作	170
复习题	.....	175
第四章	短路电流计算	178
第一节	概述	178
第二节	标么制	180
第三节	电力系统各元件的电抗及电路图的化简	182
第四节	无限大容量电源供电电路内的三相短路	191
第五节	发电机供电电路内的三相短路	198
第六节	多电源系统内的三相短路	204
第七节	考虑异步电动机时短路电流的计算	213
附录	短路电流运算曲线	215
复习题	.....	219
第五章	发电厂电气部分设计的基本知识	222
第一节	发电厂电气部分设计的一般步骤	222
第二节	电气主接线设计	224
第三节	配电装置的选择	228
第四节	电气设备的选择	239
复习题	.....	266
第六章	变压器的运行	267
第一节	变压器的允许运行方式	267
第二节	变压器的负荷能力	270
第三节	变压器合闸时的励磁涌流	273
第四节	变压器的操作和并列运行	275
第五节	变压器运行中的维护及检查	281

第六节	变压器油的运行	284
第七节	变压器的事故处理	287
复习题	.....	296
第七章	同步发电机的运行	298
第一节	发电机的允许温度和温升	298
第二节	同步发电机的非正常运行	299
第三节	发电机的负荷增长速度和短时过负荷	309
第四节	发电机起动前的准备工作	310
第五节	发电机的起动、升压和并列	311
第六节	发电机接带负荷与调整负荷	318
第七节	发电机的解列和停机	320
复习题	.....	321
第八章	同步发电机的事故处理	323
第一节	概述	323
第二节	发电机事故处理通则	323
第三节	发电机振荡	325
第四节	发电机失磁	326
第五节	发电机—变压器组保护动作及灭磁开关 自动跳闸	327
第六节	发电机着火	329
复习题	.....	330
第九章	高压断路器	332
第一节	电弧理论	332
第二节	高压断路器的基本知识	339
第三节	高压断路器的运行	343
复习题	.....	346
第十章	互感器	348
第一节	概述	348
第二节	电流互感器的基本知识	349

第三节	电压互感器的基本知识	353
第四节	互感器的运行及事故处理	356
复习题	.....	360
第十一章	消弧线圈	361
第一节	中性点不接地系统单相接地时的运行分析	361
第二节	消弧线圈的作用、原理及补偿方式	367
第三节	消弧线圈的整定原则、容量及连接方式	372
第四节	消弧线圈的运行	374
复习题	.....	378
第十二章	发电厂和电力系统的事故处理	380
第一节	概述	380
第二节	频率和电压降低的事故处理	381
第三节	发电厂与系统解列的事故处理	387
第四节	全厂停电的事故处理	388
第五节	电力系统非同期振荡的事故处理	389
复习题	.....	393

第三篇 发电厂二次部分

第一章	蓄电池	394
第一节	概述	394
第二节	铅酸蓄电池的结构及工作原理	394
第三节	蓄电池组的接线及运行方式	401
第四节	蓄电池的安装、运行中的检查和常见故障	404
复习题	.....	406
第二章	发电厂的监测系统	408
第一节	测量仪表和互感器的配置	408
第二节	绝缘监察装置	415
复习题	.....	418
第三章	断路器的控制回路	420

第一节 概述	420
第二节 具有电磁操动机构的断路器控制回路	423
第三节 具有弹簧和液压操动机构的断路器控制回路	429
复习题	433
第四章 信号回路	434
第一节 概述	434
第二节 中央复归能重复动作的中央信号装置	435
第三节 指挥信号	441
复习题	443
第五章 同期回路	445
第一节 同期方式及同期点的选择	445
第二节 手动准同期	447
复习题	455

第一篇 电机基本结构 及工作原理

第一章 变压器的基本知识和 结构简介

第一节 变压器的基本工作原理及分类

一、变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应原理制成的，图 1-1-1 是变压器的原理图。它有一个闭合铁芯，铁芯上有两个绕组，其中一个绕组接至交流电源。称为一次绕组；另一个绕组接负载，称为二次绕组。

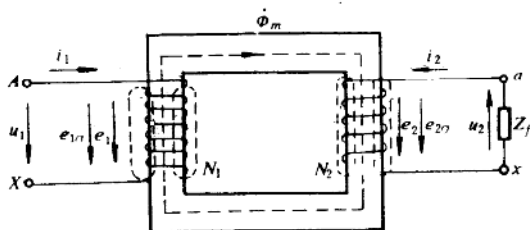


图 1-1-1 变压器的原理图

当一次绕组接入交流电压 u_1 时，一次绕组中有交变电流 i 通过，并在铁芯中产生交变磁通 Φ ，其频率与电源电压频率相同。铁芯中的交变磁通同时交链一次、二次绕组，根据电

磁感应定律，分别在一次、二次绕组中产生交变的感应电动势 e_1 和 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，它们之间的关系式为：

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ e_2 &= -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned} \quad (1-1-1)$$

式中 N_1 ——一次绕组匝数；

N_2 ——二次绕组匝数。

式 (1-1-1) 表明，交变磁通在绕组中的感应电动势与绕组的匝数成正比。一般情况下， $N_2 \neq N_1$ ，所以 $e_1 \neq e_2$ ，如果忽略一些次要因素，可以认为 $e_1 \approx u_1$ ； $e_2 \approx u_2$ 。因此可得 $u_1 \neq u_2$ ，这就实现了改变电压的目的。当二次绕组接上负载时，便有电流流过，向负载供电，实现了电能的传递。

二、变压器的分类

变压器的种类很多，一般分为电力变压器和特种变压器两大类。

1. 电力变压器的分类

按用途分类：升压变压器、降压变压器、配电变压器。

按结构分类：双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器、自耦变压器。

按相数分类：单相变压器、三相变压器、多相变压器。

按冷却方式分类：干式空冷变压器、干式浇铸绝缘变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、油浸水冷变压器、强迫油循环风冷变压器、强迫油循环水冷变压器。

2. 特殊变压器的分类

特殊变压器是根据冶金、矿山、化工、交通等部门的具

体要求而设计制造的专用变压器，主要有以下几种。

- (1) 整流变压器。
- (2) 电炉变压器。
- (3) 试验变压器。
- (4) 矿用变压器。
- (5) 船用变压器。
- (6) 中频变压器。

第二节 变压器的主要结构

变压器的基本结构部件是铁芯和绕组，将这两部分装配在一起就构成变压器的器身。油浸式变压器通常将器身安放在充满变压器油的油箱里。油箱外还有冷却装置、出线装置及保护装置等。下面以双绕组油浸式电力变压器为例介绍变压器的结构，图 1-1-2 为油浸式电力变压器外形结构示意图。

一、铁芯

铁芯是变压器的磁路部分，铁芯上套有绕组的部分叫铁芯柱，连接铁芯柱的部分叫铁轭。

铁芯的基本结构有两种类型，一种是芯式，它的特点是绕组套在铁芯柱上，铁轭只盖住绕组的端面；另一种是壳式，它的特点是铁芯柱和铁轭包围着绕组。电力变压器一般采用芯式铁芯。

为了减小励磁电流，降低交变磁通在铁芯中引起的涡流损耗和磁滞损耗，变压器的铁芯采用导磁性能良好的硅钢片叠成。硅钢片的厚度一般是 0.35mm 或 0.5mm，涂以绝缘漆作为叠片间的绝缘。叠装硅钢片时，常采用交错式装配方法，

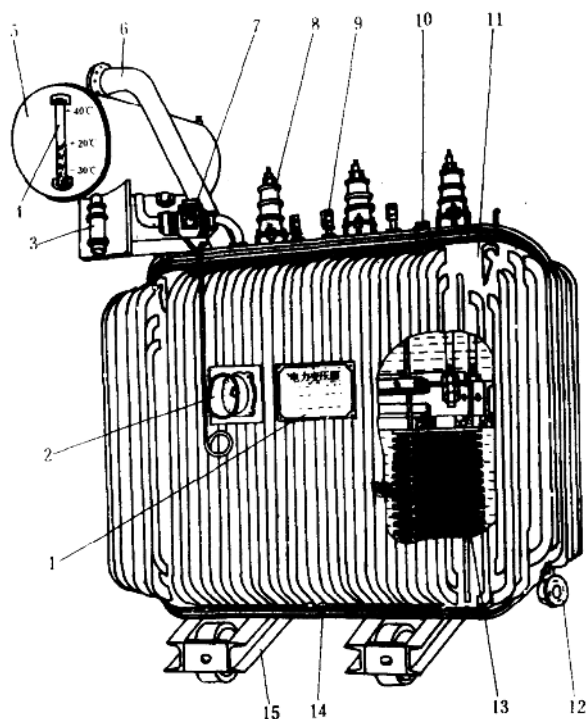


图 1-1-2 油浸式电力变压器

1—铭牌；2—信号式温度计；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—分接开关；11—油箱；12—放油阀门；13—器身；14—接地板；15—小车

图 1-1-3 为相邻两层铁芯叠片示意图。

随着电力工业的迅速发展，节约能源已成为国际上研究的重要课题。目前国外采用的晶粒取向电工钢片正逐渐被非晶合金、高硅材料和薄片材料所取代。与国际水平相比，我

国产生的变压器技术性能和经济指标均较落后。目前国内较先进的导磁材料，采用的是优质 Q147-30 型冷轧晶粒取向硅钢片，采用 45° 全斜接缝叠装，如图 1-1-4 所示。

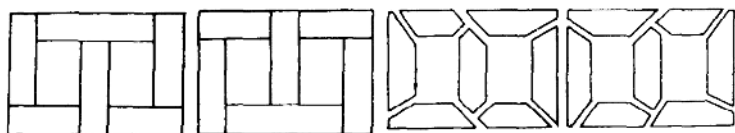


图 1-1-3 相邻两层铁芯叠片示意图

图 1-1-4 全斜接缝叠装图

二、绕组

绕组是变压器的电路部分，一般用包有绝缘的铜线或铝线绕制在绝缘筒上，按照高、低压绕组相互之间的位置以及绕组在铁芯上的安排方法，变压器的绕组可分为同心式、纠结式等，如图 1-1-5 和图 1-1-6。

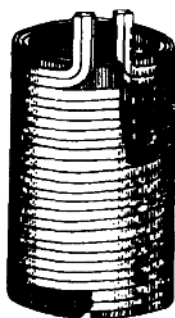


图 1-1-5 同心式绕组

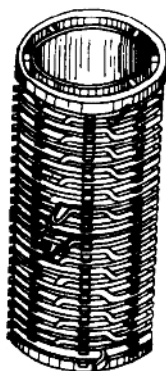


图 1-1-6 纠结式绕组

三、分接开关

电力变压器的高压绕组常有几个抽头，称它们为分接头。

每一个分接头对应不同的绕组匝数，这些分接头与分接开关相连，如图 1-1-7 所示。需要改变电网电压时，通过分接开关接通不同的分接头，以改变绕组的匝数来进行调压。

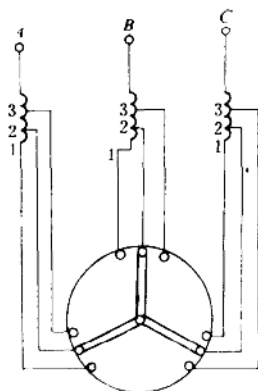


图 1-1-7 分接开关与分接头的连接

四、油箱及变压器油

变压器的器身放在装有变压器油的箱内。变压器油是从石油中提炼出来的优质矿物油。在油浸变

压器中，变压器油既是绝缘介质又是冷却介质，因此对变压器油的质量有较高的要求。

五、保护装置

1. 储油柜

储油柜又叫油枕，通过连通管与油箱相通，其作用是保证油箱内始终充满变压器油用以减少油与空气的接触面积，从而降低变压器油受潮和老化的速度，使变压器油具有良好的性能。

大型变压器有采用胶囊式储油柜的，即在储油柜里装上胶囊，使变压器油与空气完全隔离。

2. 吸湿器

吸湿器又叫呼吸器，通过它吸气和排气，使储油柜与大