

DIANLI GONGCHENG

电力工程

电工
手册

第二分册

华东电业管理局

水利电力出版社

DIANGONG SHOUCE

内 容 提 要

《电力工程电工手册》共分三个分册。第一分册为基础知识、电工材料及旋转电机部分；第二分册为电气设备及其试验部分；第三分册为电子技术，继电保护、自动装置等二次部分。本书为第二分册，共九章。主要内容有：电力变压器、消弧线圈及电抗器，电流互感器、电压互感器，高压开关设备，低压电器，电力电容器，过电压及其保护，电气设备的试验，照明，直流电源。

本书为专业工具书，可供有关电力技术人员和电力技术工人使用，也可供有关院校教学人员参考。

电 力 工 程
电 工 手 册
第 二 分 册
华东电业管理局

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 57.75印张 1315千字 2插页

1991年4月第一版 1991年4月北京第一次印刷

印数0001—7300册

ISBN 7-120-01066-2/TM·304

定价34.30元

前 言

水利电力部为了推广发电厂、变电所的运行检修经验和这方面技术革新与科研成果，提高运行检修水平，组织了华北电业管理局、华东电业管理局、东北电业管理局在总结经验的基础上，共同编写《电力工程电工手册》。

本手册共有三个分册，第一分册为基础知识、电工材料、旋转电机部分、由华北电业管理局负责编写；第二分册为电气设备及其试验部分，由华东电业管理局负责编写；第三分册为电子技术和继电保护、自动装置等二次部分，由东北电业管理局负责编写。

本手册的编写注意了以下几方面的问题，即：选材来自国内运行检修经验的总结以及这方面行之有效的新技术；重点编写各种电气设备(装置)运行和检修的要点；述及的设备(装置)，应属80年代国内仍需大量使用的产品和80年代可望投入运行的新产品；资料必须有根据，图表数据必须正确无误，运行检修的经验有实用性和通用性，并符合国家和部颁发的规程规范的规定(考虑到规程规范的修订，手册中凡与现行规程规范不一致的地方，应以现行规程规范为准)。

本手册的编写过程中，三个编写单位及其作者做了大量的工作，部系统内外有关单位，在提供资料和审稿方面也给予了很大支持和帮助。华北电业管理局除负责编写第一分册外，还提出本手册的结构和编写提纲初稿，作为本手册讨论编写提纲的基础。水利电力出版社为使手册尽快出版，也作了很大努力。因此，本手册是集体劳动的成果。

本手册为发电厂变电所运行和检修方面的专业性工具书，可供电力技术人员和电力技术工人使用，也可供有关院校教学参考。

手册的编写和出版，时间仓促，疏漏和不足之处在所难免，请广大读者提出批评和意见，以臻完善。

水利电力部生产司

一九八五年十二月

编 者 的 话

根据原水利电力部下达的任务,我们组织人员编写了《电力工程电工手册第二分册》。本书共九章,继华北电管局编写的第一分册章节之后,章节顺序从第十五章起,至第二十三章止,内容包括:电力变压器、消弧线圈及电抗器,电流、电压互感器,电容器,高、低压开关设备,过电压及保护,照明和直流电源以及电气设备的试验等。从有利于电力工程应用出发,书中除叙述设备原理和结构外,力求简明地叙述运行中的要求和维修中的工艺过程,给出常用的计算公式,列出各种设备的技术数据,还收集了已在我国电力系统中使用的部分进口设备的技术数据,供实用中参考。

在本书编写过程中,曾征求并吸收了有关科研、工厂、企业等单位提出的许多宝贵的意见和建议,谨在此表示衷心的感谢。北京电器研究所马春英同志,上海电器科学研究所周茂祥同志,以及华东电业系统的冯宝忆、陈圣斋、朱匡宇等同志,在本书有关章节的复审中,提出了许多宝贵的建议,在此也表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,经验不足,在本书的编写中难免有漏误之处,诚恳希望广大读者批评指正。

一九八九年八月

目 录

前 言

编者的话

第十五章 电力变压器、消弧线圈及电抗器

陈叔涛 周于邦 黄克惠	1
第一节 变压器的基本知识	1
一、基本原理(1) 二、分类(2) 三、主要结构(3)	
第二节 变压器主要技术参数和名词解释	15
第三节 变压器等值电路和相量图	17
一、双绕组变压器(17) 二、三绕组变压器(17) 三、自耦变压器(19) 四、分裂绕组变压器(23)	
第四节 变压器连接组别	24
一、绕向与相量关系(24) 二、连接组的特点与适用范围(26)	
第五节 有载调压变压器	27
一、动作原理(27) 二、有载调压分接开关参数与额定等级(28) 三、有载调压分接开关结构(28) 四、变压器分接绕组与开关的接线方式(29) 五、有载调压的控制装置及整定原则(31) 六、有载调压分接开关的维护(33)	
第六节 变压器的绝缘	34
一、绝缘配合(34) 二、绝缘结构(35)	
第七节 变压器试验	37
一、出厂试验(37) 二、型式试验(37) 三、特殊试验(39) 四、组部件试验(39)	
第八节 电力变压器的运行	40
一、温升与绝缘寿命(40) 二、在非额定条件下运行(42) 三、三相不平衡条件下运行(46) 四、两相运行(46) 五、并联运行(47) 六、自耦变压器的运行(51) 七、中性点接地运行方式(52) 八、效率与经济运行(53) 九、瞬态过程(55) 十、变压器的监视与维护(61) 十一、变压器绝缘油(62) 十二、变压器异常情况的处理(65) 十三、技术资料、图纸与备品备件的管理(68)	
第九节 变压器检修	69
一、一般小修(69) 二、定期大修(70) 三、事故检修(75) 四、有载分接开关的检修(75) 五、检修要点与验收(76) 六、绝缘干燥(76)	
第十节 套管与套管型电流互感器	81
一、40kV及以下电压的变压器套管(81) 二、油纸电容式套管(82) 三、胶纸电容式套管(83) 四、电缆出线盒(83) 五、套管型电流互感器(83)	

第十一节 电力变压器的选择与技术参数	84
一、变压器的选择(84) 二、购置变压器时的技术要求(84) 三、油浸式变压器技术参数(96)	
第十二节 消弧线圈、接地变压器与电抗器	96
一、消弧线圈(96) 二、接地变压器(98) 三、电抗器(98)	
第十三节 干式变压器与其它绝缘变压器	103
一、干式变压器(103) 二、其它绝缘变压器(105)	
第十四节 变压器运输与安装	105
一、变压器运输(105) 二、变压器安装(107)	
第十五节 变压器防火、噪声与抗震	109
一、变压器防火(109) 二、变压器的噪声(111) 三、变压器抗震(112)	
附录 允许过载倍数、持续时间与年等值环境温度曲线	113
参考文献	114

第十六章 电流互感器、电压互感器

奚伯温 石伟峰	115
第一节 电流互感器	115
一、工作原理(115) 二、电流互感器的使用特性(121) 三、电流互感器的型号和技术数据(123) 四、电流互感器检修(133) 五、SF ₆ 全封闭组合电器(GIS)用电流互感器特点(134) 六、220kV电流互感器防爆措施(136)	
第二节 电压互感器	137
一、工作原理(137) 二、电压互感器的使用特性(141) 三、电压互感器的型号和技术数据(146) 四、电压互感器检修(148) 五、全封闭组合电器(GIS)所用电压互感器特点(155)	
第三节 电容式电压互感器	157
一、工作原理(159) 二、性能和误差(161) 三、电容式电压互感器的型号和技术数据(171) 四、维护要点和试验项目(175)	
第四节 互感器的试验	176
一、互感器的试验项目(176) 二、电流互感器试验(176) 三、电压互感器试验(184) 四、HE5型和HEG2型互感器校验仪(187)	
第五节 互感器的合成误差计算	194
一、测量有功电能时互感器的合成误差计算(194) 二、测量无功电能时互感器的合成误差计算(199) 三、互感器合成误差的计算方法(200)	
参考文献	203

第十七章 高压开关设备

朱树藩 莊炳文 秦维洵 刘兆林 江钧祥	204
第一节 高压断路器的一般概述	204
一、用途、基本组成和额定参数(204) 二、灭弧方法(205) 三、高压断路器的使用条件(208)	
第二节 高压多油及少油断路器	223

一、高压多油断路器(223)	二、高压少油断路器(242)	三、高压油断路器的运行(263)
第三节 压缩空气、六氟化硫与真空断路器	269	
一、压缩空气断路器(269)	二、SF ₆ 断路器(274)	三、真空断路器(290)
第四节 高压断路器的操动机构	295	
一、概述(295)	二、电磁操动机构(296)	三、液压操动机构(300)
四、弹簧操动机构(307)	五、气动操动机构(309)	
第五节 隔离开关、负荷开关及成套电器	312	
一、隔离开关(312)	二、负荷开关(320)	三、成套电器及全封闭组合电器简述(325)
第六节 高压熔断器	327	
一、概述(327)	二、结构及工作原理(328)	三、电气性能和技术要求(331)
四、熔断器的运行、维护和检修(339)		

第十八章 低压电器

蒋容兴 万绍尤 方泽安 杨介琪	341
第一节 低压成套电气装置	341
一、低压成套电气装置概述(341)	二、几种常用的低压成套电气装置(342)
三、低压成套电气装置中的电器元件及其功能(343)	
第二节 低压电器产品标准及型号	344
一、低压电器产品标准(344)	二、低压电器产品型号(349)
第三节 刀开关	351
一、用途及分类(351)	二、结构(352)
三、常用刀开关的技术数据(352)	四、选用、安装与维护(352)
第四节 熔断器	354
一、用途及分类(354)	二、结构(354)
三、选用及技术数据(355)	四、安装、维护与检修(367)
五、更换熔体注意事项(367)	
第五节 断路器	367
一、用途及分类(367)	二、结构及动作原理(368)
三、技术数据(374)	四、断路器的选用及与其它电器间保护特性的协调(374)
五、安装、维修与检修(384)	
第六节 接触器	386
一、用途与分类(386)	二、结构与原理(387)
三、选用的一般原则(390)	四、维护、检修与检查(400)
五、安装接触器的注意事项(400)	六、常用接触器的技术数据与线圈数据(400)
第七节 起动器	400
一、用途与分类(400)	二、结构(401)
三、选用、安装与维修(401)	四、常用起动器的主要技术数据(406)
第八节 热继电器和控制继电器	406
一、用途和分类(406)	二、热继电器的结构(407)
三、常用热继电器的技术数据(408)	四、热继电器的试验调整(410)
五、热继电器的选用(410)	六、热继电器的故障与处理(411)
七、电磁式控制继电器的选用、安装与维护(411)	
第九节 低压电器的修理	414
一、电器触头的维修(414)	二、电磁系统的修理(417)

第十节 低压成套电气装置的检修及低压电器的试验	422
一、低压成套电气装置的检修 (422) 二、低压电器的试验 (423)	
参考文献	430

第十九章 电力电容器

徐维钧 赵 杰 万善良 杨昌兴	431
第一节 概述	431
一、电容器的基本概念 (431) 二、并联电容器的无功补偿原理 (432)	
第二节 电力电容器的结构、型号及参数	433
一、电力电容器的结构 (433) 二、并联电容器的结构 (434) 三、电力电容器的主要液体介质材料性能 (435) 四、电力电容器的型号 (437) 五、并联电容器的型号及主要技术参数 (438)	
第三节 并联电容器组的接线方式	439
一、电容器组的容量和分组 (440) 二、电容器额定电压的选择 (441) 三、电容器组的接线方式 (443) 四、电容器接线组中对并联台数的选择 (445)	
第四节 并联电容器运行维护	447
一、概述 (447) 二、运行电压 (447) 三、运行电流 (447) 四、运行温度 (448) 五、合闸涌流 (448) 六、操作过电压 (450) 七、谐波对电容器的影响 (450) 八、运行巡视检查 (451) 九、运行操作 (451) 十、维护检修 (452) 十一、并联电容器故障原因及处理方法 (454)	
第五节 并联电容器组的自动投切	454
一、概述 (454) 二、自动控制方式的选择及技术要求 (454) 三、自动控制装置的分类 (455) 四、各种控制装置的原理和使用 (455)	
第六节 耦合电容器	467
一、概述 (467) 二、基本性能 (467) 三、耦合电容器的结构 (468) 四、耦合电容器的主要技术参数 (468) 五、耦合电容器的电压、容量额定值 (468)	
第七节 高压断路器用均压电容器	468
一、概述 (468) 二、均压电容器的结构及参数 (469)	
参考文献	470

第二十章 过电压及其保护

孙 煦	471
第一节 概述	471
一、过电压与电力系统设备的绝缘水平 (471) 二、过电压的分类 (472)	
第二节 过电压保护的一般规定	473
一、电力系统的接地方式 (473) 二、计算用内过电压倍数的规定 (473) 三、抑制内过电压的原则 (474)	
第三节 绝缘配合的原则与一般方法	475
一、正常运行电压和暂时过电压的绝缘配合原则 (475) 二、雷电过电压的绝缘配合原则 (476) 三、操作过电压的绝缘配合原则 (477) 四、雷电、操作过电压绝缘配合方法的选择 (478) 五、应从标准数值档次中选取冲击耐受电压的取值 (478)	

第四节 发电厂、变电所的过电压保护	479
一、直击雷的防护(479) 二、对侵入雷电波的防护(481) 三、旋转电机的防护(485) 四、微波通信站的防护(489) 五、配电变压器的防护(490)	
第五节 过电压保护设备	490
一、避雷针和避雷线的选择与应用(490) 二、阀型避雷器(494) 三、金属氧化物避雷器(502) 四、避雷器的动作计数器(512) 五、普阀型避雷器的解体检修(515)	
第六节 消弧线圈的应用	519
一、中性点绝缘的电网单相接地时的弧光接地过电压(520) 二、消弧线圈在补偿电网中的两种不同工作状态(520) 三、补偿电网的调谐(524) 四、补偿电网的单相接地故障电流(526) 五、电网电容电流的测量(528) 六、消弧线圈运行时的要求(530) 七、消弧线圈的参数(533)	
第七节 接地装置	534
一、发电厂、变电所的接地网(534) 二、避雷针、避雷线的独立的接地装置(535) 三、土壤和水的电阻率(537) 四、接地电阻的测量方法(537)	
第八节 雷电观察	539
一、雷暴日(539) 二、雷电流幅值测量及其概率曲线(539) 三、用电火花仪测量雷电闪击在导线上的过电压(541) 四、雷电观察的技术管理(542)	
参考文献	542

第二十一章 电气设备的试验

金家豪 周秋森 杨新村 王志胜 朱树藩	543
第一节 绝缘试验的一般问题	543
一、试验条件及注意事项(543) 二、名词解释(548)	
第二节 基本试验项目	551
一、绝缘电阻的测定(551) 二、介质损耗因数 $\tan\delta$ 、介质常数 ϵ 的测定(553) 三、直流泄漏电流及直流耐压试验(561) 四、交流耐压试验(564) 五、冲击电压试验(573)	
第三节 电气设备预防性试验标准	575
一、试验原则(575) 二、同步发电机和调相机(576) 三、直流电机(576) 四、中频发电机(583) 五、交流电动机(583) 六、电力变压器、消弧线圈和油浸电抗器(585) 七、互感器(589) 八、断路器(589) 九、隔离开关(600) 十、套管(601) 十一、支柱绝缘子和悬式绝缘子(602) 十二、干式电抗器(604) 十三、电力电缆(604) 十四、电容器(604) 十五、绝缘油(605) 十六、避雷器(607) 十七、母线(607) 十八、二次回路(608) 十九、1kV以下的配电装置和电力布线(610) 二十、1kV以上的架空电力线路(611) 二十一、接地装置(611) 二十二、电气安全用具(613) 二十三、有关试验中的参考技术数据(615)	
第四节 介绍几项绝缘试验方法	630
一、变压器操作冲击电压试验(630) 二、发电机静子超低频耐压试验(633) 三、局部放电测试(634) 四、三倍频耐压试验(650)	
第五节 绝缘老化检测	653
一、绝缘油老化的判定(653) 二、套管绝缘老化的检测(654) 三、变压器绝缘老化的检测(654)	

第六节 同步发电机、调相机、直流电机的试验	656
一、直流电阻的测定(656) 二、转子绕组交流阻抗及有功损耗的测定(657) 三、轴电压的测定(658) 四、发电机静子铁芯试验(658) 五、发电机、调相机的空载试验(659) 六、直流电机的空载试验(659) 七、发电机的温升试验(660) 八、发电机效率试验(662) 九、发电机带电测温(663) 十、发电机参数的测定(665) 十一、发电机转子匝间短路故障测试(675) 十二、转子一点接地的检测(677) 十三、直流电机磁极极性及其绕组连接的检查(678) 十四、电刷中性线的测定(679) 十五、接头测量(680) 十六、发电机相序测定(680) 十七、发电机及调相机的短路特性试验(681) 十八、同步电机V型曲线的测定(681) 十九、直流电机的负载特性及外特性(681) 二十、直流电机无火花换向区域的测定(683)	
第七节 变压器及消弧线圈的试验	683
一、变压器变比试验(683) 二、变压器的直流电阻测定(大型变压器直流电阻的快速测定法)(685) 三、变压器极性组别试验(688) 四、变压器空载试验(690) 五、变压器短路试验(693) 六、变压器带电测温(695) 七、温升试验(697) 八、零序阻抗的测定(699) 九、无载冲击合闸试验(700) 十、变压器圆图(700) 十一、消弧线圈的伏—安特性(703) 十二、混油试验的标准和要求、绝缘油的微水量测定(704) 十三、变压器油的色谱分析(含气分析故障)(705)	
第八节 互感器的试验	708
一、电压互感器变比误差和角误差测量(708) 二、电流互感器变比误差和角误差测量(710) 三、互感器的极性和组别试验(713) 四、电容式电压互感器的试验(714) 五、干式互感器的试验(715)	
第九节 高压开关设备的试验	715
一、高压开关设备的试验分类(715) 二、高压开关设备现场试验中的若干问题(716) 三、SF ₆ 全封闭组合电器(GIS)的现场试验(719)	
第十节 避雷器试验	720
一、并联电阻的电导电流和非线性系数试验(720) 二、间隙的放电特性试验(722) 三、阀片的残压试验(723) 四、无间隙金属氧化物避雷器(氧化锌避雷器)的工频参考电压试验(723) 五、密封试验(724) 六、避雷器动作次数记录器的试验(724) 七、带电检测避雷器的泄漏电流(725)	
第十一节 接地装置的试验	725
一、接地电阻的测量(725) 二、土壤电阻率的测量(728) 三、接触电势和跨步电势的测量(728) 四、接地电阻允许值的规定(730)	
第十二节 三相异步电动机试验	730
一、直流电阻的测量、极性试验(730) 二、特性试验(731) 三、圆图(734)	
第十三节 电力电容器及耦合电容器试验	739
一、电容量的测量和接线(739) 二、冲击合闸试验(742) 三、温升试验(742) 四、带电试验电容器(743)	
第十四节 定相试验	743
一、相序的检测(743) 二、定相试验(744)	
第十五节 电力电缆故障的测寻	744

一、电桥法(744) 二、脉冲法(746) 三、声测法(747)

第十六节 输电线路参数的测量747

一、测量工频参数(747) 二、测量高频参数(751)

参考文献753

第二十二章 照明

秦乾华 赵桂根754

第一节 基本概念和定义754

一、可见光(754) 二、光度学的测量单位及其有关术语(755) 三、照度计算(755)

第二节 电光源758

一、热辐射光源(759) 二、气体放电光源(762)

第三节 灯具774

一、概述(774) 二、灯具规格(777) 三、行灯(786)

第四节 发电厂和变电所的照明787

一、照明种类(787) 二、光源、灯具的选择和布置(787) 三、照明标准(791) 四、发电厂照明(794) 五、变电所照明(794)

第五节 照明线路的布置和安装804

一、照明线路的一般要求(804) 二、照明线路的布置(805) 三、照明线路导线截面的选择(809) 四、照明线路的安装、维护(814)

第六节 事故照明及自动投切装置816

一、事故照明的供电(816) 二、自动切换装置(817) 三、事故照明的安装场所及所需的最低照度值(818)

第七节 照明装置的运行管理818

一、照明装置的维护及检修(818) 二、照明装置的故障与处理方法(818)

参考文献822

第二十三章 直流电源

洪昌凯 焦西明823

第一节 固定式铅酸蓄电池823

一、固定式铅酸蓄电池的型式、结构、工作原理和特性(823) 二、固定式铅酸蓄电池的安装与检修(834) 三、固定式铅酸蓄电池组的运行和维护(842) 四、固定式铅酸蓄电池的故障处理(846)

第二节 碱性蓄电池851

一、碱性蓄电池的型式、构造(851) 二、碱性蓄电池的工作原理(853) 三、碱性电解液的配制(855) 四、碱性蓄电池的特性(856) 五、碱性蓄电池的安装及初充电(857) 六、碱性蓄电池的运行和维护(857)

第三节 整流电源装置858

一、GKA型硅整流装置(859) 二、电容储能式硅整流分合闸装置(861) 三、复式整流装置(872) 四、镉镍电池式硅整流分合闸装置(877)

第四节 充电设备及其运行维护883

一、电动直流发电机组的运行维护 (883)	二、硅整流器及其运行维护 (884)	
第五节 直流系统的监察装置		890
一、直流系统的绝缘监察装置 (890)	二、直流母线的电压监察装置 (893)	三、闪光装置 (893)
四、直流系统接地的处理 (893)		
第六节 直流控制屏		895
一、BZ-1型和BZF-1型直流控制屏 (895)	二、BZGN-1系列和BZG系列镉镍电池直流控制屏 (904)	
参考文献		909

电力变压器、消弧线圈及电抗器

陈叔涛 周于邦 黄克惠

第一节 变压器的基本知识

一、基本原理

变压器借助于电磁感应，在两个或更多的绕组之间变换交流电压和电流。通常变压器各绕组的电压和电流值并不相同。

假设变压器绕组的电阻和漏磁通都很小，而铁芯的磁导率很大，铁芯的损耗和激磁磁势可以略去不计，那么变压器的基本原理可简述如下：

1. 电压比

当变压器的一次侧端子上施加频率为 f 、有效值为 U_1 的正弦交流电压，且二次侧端子开路时，铁芯中便产生主磁通 Φ 。根据电磁感应定律和电势平衡规律，可得出

$$U_1 = E_1 = 4.44fN_1\Phi_{max} \quad (15-1-1)$$

$$U_2 = E_2 = 4.44fN_2\Phi_{max} \quad (15-1-2)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_{12} \quad (15-1-3)$$

K_{12} 为变压器的电压比。从上述公式可以看出，适当选择变压器一、二次绕组的匝数比 $\frac{N_1}{N_2}$ ，就可以将一次侧的电压 U_1 变换成所需要的二次侧电压 U_2 。

2. 电流比

若二次侧端子上接入负载阻抗 Z ，二次绕组内有电流 I_2 ，同时一次绕组也有电流 I_1 流入，以平衡二次绕组的磁势，因此

$$I_1N_1 = I_2N_2 \quad (15-1-4)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K_{12}} \quad (15-1-5)$$

3. 容量

变压器容量的公式为

$$S = U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (15-1-6)$$

当变压器一、二次侧的电压和电流为额定值时，变压器容量 S 为额定容量。

4. 阻抗折算关系

二次侧负载阻抗

$$Z = \frac{E_2}{I_2} \quad (15-1-7)$$

折算到一次侧时的负载阻抗为

$$Z' = \frac{E_1}{I_1} = K^2 Z \quad (15-1-8)$$

实际上，变压器铁芯的磁导率不是无穷大，产生磁通需要激励磁势，即 $I_0 N_1 = I_1 N_1 - I_2 N_2$ ，而且铁芯还要产生损耗；绕组有电阻和漏磁通。在研究分析变压器的运行特性时应把这些因素考虑进去。

二、分类

电力变压器按用途可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器（连接几个不同电压等级的电网用）和厂用电变压器（供发电厂自用电用）等几种。它还可以按绕组数、相数、冷却装置以及调压方式等分类，如表15-1-1所示。

表 15-1-1 电力变压器的分类和型号代表的字母及含义

序 号	分 类	含 义	代 表 的 字 母
1	绕组耦合方式	独 立 自 “耦”	— O
2	相 数	“单” 相 “三” 相	D S
3	绕组外绝缘介质	变压器油 空气（“干”式） “气” 体 “成”形固体	— G Q C
4	冷却装置种类	自然循环冷却装置 “风”冷却装置 “水”冷却装置	— F S
5	油循环方式	自然循环 强“迫”油循环 强油“导”向	— P D
6	绕 组 数	双 绕 组 “三”绕组 双“分”裂绕组	— S F
7	调压方式	无励磁调压 有“载”调压	— Z
8	绕组导线材质	铜 “铝”	— L

电力变压器产品型号举例如下:

(1) 三相、油浸、自冷、双绕组、无励磁调压、铜导线、1000kVA、10kV级电力变压器的型号: S-1000/10。

(2) 三相、油浸、风冷、双绕组、无励磁调压、铝导线、20000kVA、110kV级电力变压器的型号: SFL-20000/110。

(3) 三相、风冷、强迫油循环、三绕组、有载调压、铜导线、63000kVA、220kV级电力变压器的型号: SFPSZ-63000/220。

(4) 三相、风冷、强迫油循环、双分裂绕组、铜导线、31500kVA、220kV级电力变压器的型号: SFPF-31500/220。

(5) 自耦、三相、水冷、强迫油循环、三绕组、有载调压、铜导线、120000kVA、220kV级自耦变压器的型号: OSSPSZ-120000/220。

(6) 三相、干式、风冷、双绕组、无励磁调压、铜导线、1600kVA、10kV级干式变压器的型号: SGF-1600/10。

三、主要结构

1. 铁芯

铁芯有芯式和壳式两种。我国变压器都采用芯式铁芯, 常用的芯式铁芯见图15-1-1。近代铁芯大多用晶粒取向冷轧硅钢片制造, 铁芯叠片为 45° 全斜接缝, 无冲孔, 在自动程序控制的纵横剪切流水线上生产, 铁芯空载性能比过去有较大改善。图15-1-2为三相三柱式铁芯的典型结构, 其铁轭绑扎方法见图15-1-3。

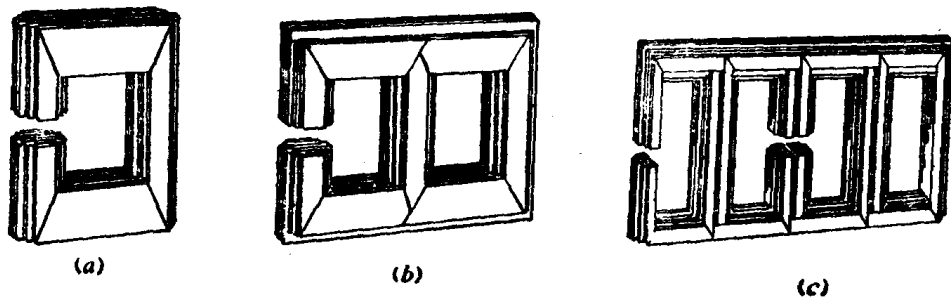


图 15-1-1 常用的芯式铁芯
(a)单相双柱式; (b)三相三柱式; (c)三相三柱旁轭式(又称三相五柱式)

对铁芯的技术要求:

(1) 施加在铁芯芯柱和铁轭上的压力应均匀适当。压力过大, 会由于硅钢片的磁致伸缩而产生异常的噪声; 压力过小, 则硅钢片松动, 会因接地不良而导致周期性放电响声; 压力不均匀, 部分叠片未压紧, 自由端振动, 亦会引起间断性噪声。

(2) 铁芯及其金属夹紧装置, 都要可靠接地, 而铁芯叠片只允许有一点接地。铁芯接地片安装后, 应避免与硅钢片端面接触。铁芯接地方法见图15-1-4。

(3) 近代大型变压器铁芯冷却油道采用绝缘垫条或垫块构成, 有的铁芯各叠片组还用绝缘纸板分隔成几个相互绝缘的部分, 以提高铁芯质量。此时铁芯仍须一点接地, 其接

地方式见图15-1-5。

(4) 铁芯接地片拆除后, 铁芯与油箱、夹件、绑带等金属结构件间的绝缘电阻应大于下列参考值: 10kV级及以下的变压器大于 $10\text{M}\Omega$ (用1000V摇表测量); 20~35kV级变压器大于 $50\text{M}\Omega$ (用2500V摇表测量); 110~220kV级变压器大于 $200\text{M}\Omega$ (用2500V摇表测量)。

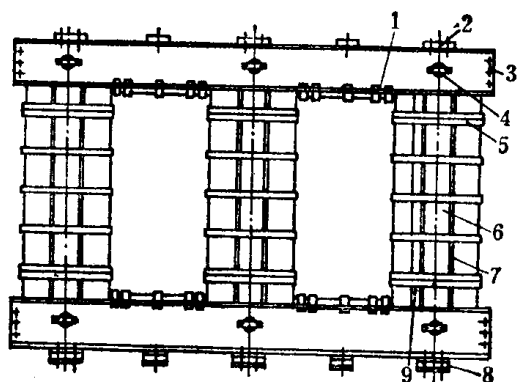


图 15-1-2 三相三柱式铁芯结构

1—拉带；2—横梁；3—轭端外侧夹紧件；4—固定钩；5—绑带；6—拉板；7—拉板绝缘；8—垫脚兼夹紧横梁；9—圆形木撑条

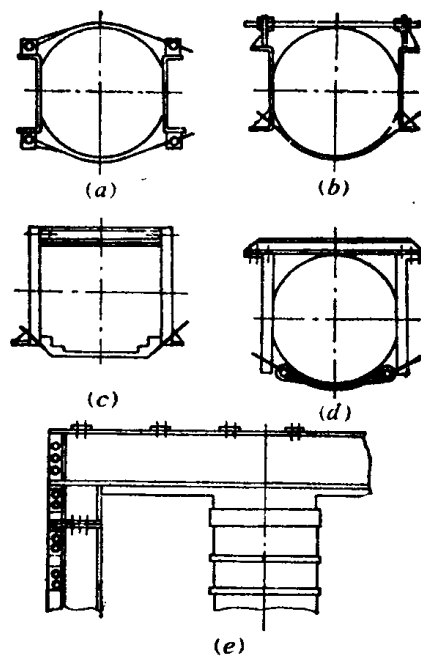


图 15-1-3 铁轭绑扎方法

(a) 双侧绑带；(b) 单侧绑带之一；(c) 单侧绑带之二；(d) 单侧绑带之三；(e) 旁轭的紧固

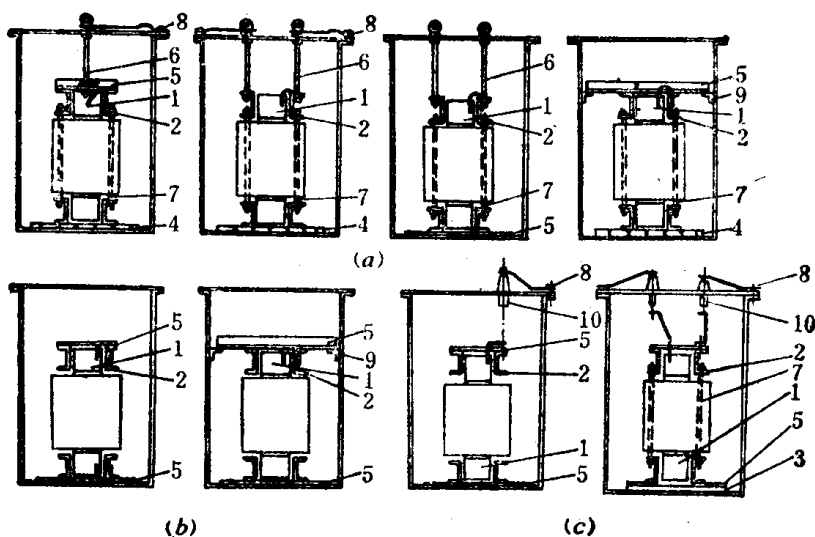


图 15-1-4 铁芯接地方法

(a) 经夹件, 吊螺杆连接油箱接地; (b) 经夹件, 垫板或垫脚连接油箱接地; (c) 经接地套管接地
1—铁芯; 2—钢铁轭夹件; 3—绝缘; 4—木垫脚; 5—钢横垫板(垫脚); 6—吊螺杆; 7—连接上下铁轭夹件的拉螺杆; 8—箱盖螺栓; 9—箱壁固定铁; 10—接地套管

(5) 铁芯上铁轭表面, 发现有锤印或毛刺, 有可能造成严重的片间短路时, 应用插板刀将毛刺除去, 稍加整理, 再在片间垫以0.12mm厚的绝缘纸条。

2. 绕组

绕组是变压器最关键的部件, 它应具有足够的绝缘强度和机械强度, 而且还要有良好的散热条件。绕组的结构型式是根据变压器容量的大小和电压的高低来选定的, 常用的绕组型式见图15-1-6及表15-1-2。

对绕组的技术要求:

(1) 绕组表面应整洁、无漆瘤、无破损, 油道畅通、无悬浮的布带或纸片等杂物。

(2) 绕组油道中的撑条或垫块应上下对齐, 基本上不偏斜, 并要求不越出上、下铁轭绝缘的垫块。

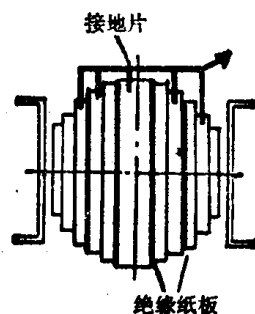


图 15-1-5 大型变压器铁芯接地方式

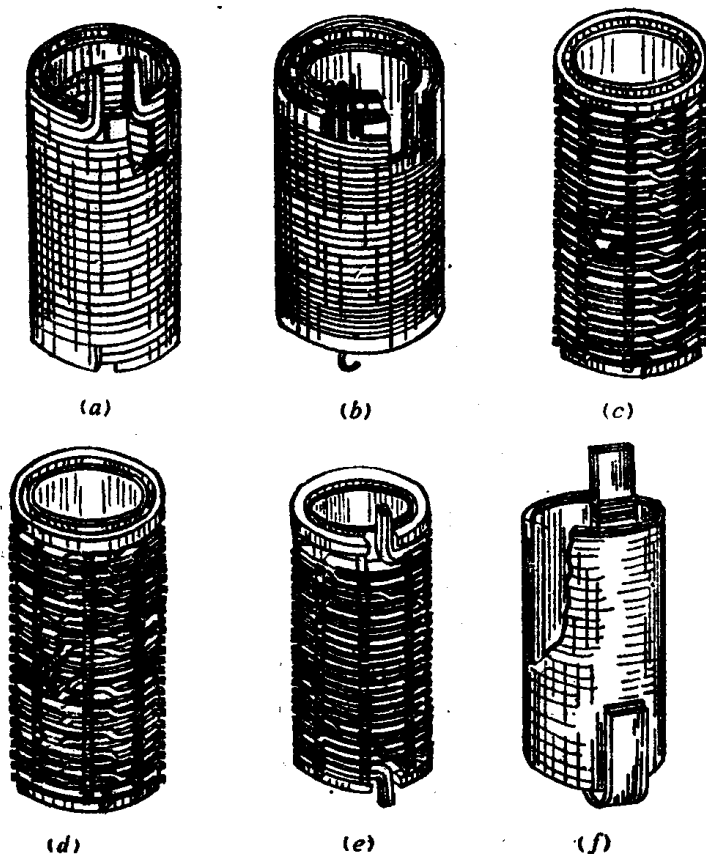


图 15-1-6 常用的绕组型式

(a) 双层圆筒式; (b) 多层圆筒式; (c) 连续式; (d) 纠结式; (e) 螺旋式; (f) 铝箔筒式

(3) 绕组绕制紧密, 轴向压紧, 两端的垫块以姆指推不动为合格。

(4) 绕组应保持同心, 套装时绕组与铁芯间、绕组与绕组间都不能太松, 避免短路时产生位移。

(5) 绕组内部绝缘纸筒两端都应引伸一定长度, 见图15-1-7及表15-1-3和表15-1-4。

图15-1-8是110kV变压器主绝缘结构图, 图15-1-9是220kV导向冷却变压器主绝缘结构示意图。由于制造的设计和工艺不断改进, 近两年来图中标的绝缘距离略有改小。