

供用电工人技能手册

变压器检修

中国电机工程学会城市供电专业委员会 组编
上海电力变压器修造厂有限公司 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

● 供用电工人技能手册

变压器检修

中国电机工程学会城市供电专业委员会 组编
上海电力变压器修造厂有限公司 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

为满足供用电人员职业技能鉴定及日常工作的需要,依据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》和相关规程标准的规定,并结合供用电生产实际情况,中国电机工程学会城市供电专委会和中国电力出版社共同组织编写了一套《供用电工人技能手册》。本套手册以简明扼要的形式,对职业技能鉴定所必备的知识 and 技能要求予以精炼,以便供用电人员在工作中查用,以增强操作技能,提高技术素质。

本分册是《供用电工人技能手册》之一,共十四章,主要介绍变压器基本知识、变压器本体、变压器组件、变压器检修、变压器试验、变压器的起重运输及储存保养、大型变压器的现场安装、变压器的运行维护、变压器油、干式变压器、特种变压器、电抗器、电流互感器、电压互感器等变压器类设备的检修及相关知识,还附录了相关参数和常用数据,为读者查阅提供方便。

本分册是变压器检修工的职业技能鉴定和日常工作的必备工具书,也可作为变压器检修专业技术人员和管理人员等参考工具书。

图书在版编目(CIP)数据

变压器检修/上海电力变压器修造厂有限公司编.

北京:中国电力出版社,2004

(供用电工人技能手册/中国电机工程学会城市供电专业委员会组编)

ISBN 7-5083-2233-9

I. 变... II. 上... III. 变压器-检修-技术手册 IV. TM407

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 026804 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 11 月第一版 2004 年 11 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 16 印张 538 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 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)

《供用电工人技能手册》

编 委 会

主任委员：宗 健

副主任委员：朱良镭（常务） 刘铭刚 陈效杰

孙秉正 杨元峰

编委委员：蒋晓华 燕福龙 程亚平 王 茂

陈延宁 姜 芸 沈兆新 王宏毅

郭宏山 关 诚 肖 兰 张 涛



为了配合全国供电企业的职业技能鉴定工作,满足供用电人员职业技能鉴定及日常工作的需要,中国电机工程学会城市供电专委会和中国电力出版社根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》和相关规程标准的规定,并结合供用电生产实际情况,组织编写了一套《供用电工人技能手册》。这是一套全国供用电企业生产人员在日常工作和现场作业时必备的工具书。

本套手册是经供用电专家的充分酝酿和集体推荐,确定了由一批业内有影响的企业单位推举的约 20 多位有扎实理论基础、有丰富实践经验的专家担任各分册的主编。同时,在各有关单位的支持下,经过编写和审查人员的共同努力,认真完成了本套手册的编写和审查工作。

本套手册包括了职业技能鉴定规范中线路运行与检修、变电运行与检修、营业用电三个专业约 20 个主要工种,具体有:送电线路工、配电线路工、电力电缆工、内线安装工、高压线路带电检修工、变电带电检修工、变电检修工、变压器检修工、直流设备检修工、变电站值班员、继电保护工、电气试验工(油务员)、电测仪表工、用电检查员、电力负荷控制员、装表接电员、抄表核算收费员、电能表修理工、电能表校验工。

本套手册的内容,大部分是与相应工种的《职业技能鉴定规范》内容要求直接相对应,是以《职业技能鉴定规范》中的中级工鉴定内容为切入点,延伸到初级工、高级工、技师的鉴定内容,而且也充分注意到《职业技能鉴定规范》以外的、现场人员经常查用的重要知识,以及新设备、新技术、新工艺的推广应用。因此本套手册的内容定位,体现了符合现场量大面广的工作实际需要。

本套手册突出了“手册”的特点,对技能鉴定规范的知识要求内容进行了浓缩、精炼,对技能要求内容注意提炼出要点和关键内容,一方面力求易查、易懂,便于现场使用,另一方面力求在日常工作中能够夯实职业技能鉴定的基础,提高生产人员技术素质。

本套手册的编写工作得到了河北省电力公司、北京供电局、上海久隆电力集团公司、太原供电局、郑州电业局、上海电缆输配电公司、上海超

高压输变电公司、上海电力公司表计厂等单位的大力支持，在此表示衷心的感谢！

《供用电工人技能手册》编委会

2004 年 1 月



电力变压器是输配电工程中的主要设备，它起到电网中变换交流电压的作用，是一种量大面广的电气设备。据统计全世界范围内约有五千多万台电力变压器在运行，在我国电网中也有 400 余万台在使用中。

变压器的使用寿命按其绝缘材料老化而定，当正常使用，变压器的寿命可长达 25~30 年，甚至超过 30 年仍在运行。在漫长的使用岁月中，有必要对其进行定期维修，消除存在的缺陷或干燥处理，以提高在使用周期中所下降的电气绝缘强度，并可根据当前的水平作若干改进，提高其安全可靠性和延长其使用寿命。

本手册描述了电力变压器的基础原理、结构和主要组件、运输、安装、运行、检修、事故和试验。对变压器类中的互感器、电抗器等亦作了叙述，并将性能参数等常用资料附录于后。

各章节分别由有关专业人员累积日常工作中的经验，参考了大量文献编写而成。初稿的内容超过了规定的篇幅很多，又作了大量的浓缩才完成本工具手册。全书共分十四章，第一章由徐红编写，第二章由陆瑾、陈英编写，第三、六章由杨奇岭编写，第四、八章由周波编写，第五章由陈国恩编写，第七章由胡敏编写，第九章由陈曦编写，第十章由王海阳编写，第十一、十四章由李佳宇编写，第十二、十三章由杨燕编写，附录由张琛编写。全书由郭宏山担任主编，周晓凡、林瑞麒担任副主编，由陈叔涛担任主审。由于写作经验有限，错误与不妥之处在所难免。恳请读者在阅读和使用本手册中将发现的问题及早告知我们，以便修改补充，促使成为理想的工具书。

编 者

2004 年 6 月



前言

编者的话

第一章 变压器基础知识 1

第一节 电工基本知识 1

一、电工名词 (1) 二、单相交流电路 (6) 三、三相交流电路 (9)

第二节 变压器基本知识 10

一、变压器常用名词术语 (10) 二、变压器的用途及分类 (14)
三、变压器的基本工作原理 (16) 四、变压器的铭牌值 (18)
五、变压器装配图知识 (19)

第二章 变压器本体 21

第一节 铁心 21

一、铁心的作用 (21) 二、铁心材料的类别 (21) 三、铁心的分类 (23) 四、铁心的夹紧结构 (25) 五、铁心的绝缘和接地 (28) 六、铁心的叠片形式 (30) 七、铁心叠装质量对铁心性能的影响 (31)

第二节 线圈 32

一、对变压器线圈的基本要求 (32) 二、线圈的结构形式 (32)
三、线圈的绕制 (36) 四、线圈的浸漆和烘干 (41) 五、线圈内的电压分布 (41)

第三节 变压器的绝缘 42

一、变压器绝缘的分类 (43) 二、绝缘材料在变压器中的作用和分类 (43) 三、常用绝缘材料及其技术指标 (43) 四、绝缘材料与绝缘件的保管与运输 (45)

第四节 器身结构 46

一、高压为 40kV 级及以下的器身绝缘结构 (47) 二、高压为

110kV 级及以下的器身绝缘结构 (举例) (48)	三、高压为 220kV 级及以下的器身绝缘结构 (48)
第五节 引线的绝缘与装配	49
一、引线的型式 (49)	二、引线截面的选择 (49)
三、引线的装配 (54)	四、引线对各有关部件的参考绝缘距离 (62)
第六节 油箱	68
一、油箱结构类型 (68)	二、油箱的机械强度与真空度要求 (70)
第七节 总装配	70
一、器身整理 (70)	二、器身现场检查及检查要点 (75)
三、变压器注油 (77)	

第三章 变压器组件 80

第一节 变压器有载分接开关	80
一、变压器电压调整的目的和基本形式 (80)	二、变压器有载分接开关的基本工作原理 (80)
三、常用有载分接开关的基本型号规格、技术参数 (82)	四、有载分接开关自动电压调整器 (87)
第二节 无励磁分接开关	88
一、无励磁分接开关的常用调压形式分类和性能 (88)	二、无励磁分接开关的型号含义 (88)
第三节 套管及套管型电流互感器	88
一、套管的作用及套管型号的含义 (88)	二、40kV 级及以下导杆式套管结构 (89)
三、40kV 级及以下穿缆式套管结构 (95)	四、油纸电容式套管特点 (97)
五、胶纸套管结构 (97)	六、SF ₆ 套管结构 (98)
七、电缆进线套管 (98)	八、套管型电流互感器 (98)
九、63~220kV 套管型电流互感器外形和参考尺寸 (99)	
第四节 气体继电器	100
一、气体继电器的主要用途和基本工作原理 (100)	二、气体继电器基本型号 (101)
三、气体继电器的外形尺寸 (102)	
第五节 压力释放阀	103
一、压力释放阀的用途和特点 (103)	二、压力释放阀的型号、规格和基本参数 (103)
三、压力释放阀的结构与安装尺寸 (103)	
第六节 冷却装置	104
一、变压器冷却装置的用途 (104)	二、片式散热器的特点和

型号、规格 (105)	三、管式散热器 (108)	四、强油风冷却器的特点和型号、规格 (108)	五、油泵的特点和型号、规格 (111)
六、风扇的型号、规格及常见故障的排除 (112)			
第七节 储油柜	116		
一、储油柜的作用 (116)		二、储油柜的容积要求 (116)	
三、开启式储油柜的结构 (117)		四、隔膜式储油柜的结构 (117)	
五、胶囊式储油柜的结构 (117)			
第八节 油位计	118		
一、管式油位计的基本结构 (118)		二、指针式油位计的用途及基本型号 (119)	
三、指针式油位计的基本结构和工作原理 (119)			
第九节 温度计	120		
一、温度计的用途 (120)		二、常用的温度计介绍 (120)	
三、压力式温度计的工作原理 (120)		四、电阻式温度计的工作原理 (121)	
第十节 阀门	122		
一、常用球阀、闸阀的结构、尺寸 (122)		二、常用蝶阀的结构、尺寸 (124)	
三、常用活门、油样阀的尺寸 (128)			
第四章 变压器检修	130		
第一节 变压器检修总则	130		
一、检修周期和检修项目 (130)		二、吊罩后器身暴露在空气中的时间和湿度控制 (130)	
第二节 变压器的检修	130		
一、变压器铁心的检修 (130)		二、变压器绕组的检修 (133)	
三、变压器引线的检修 (136)		四、变压器油箱的检修 (138)	
五、有载分接开关的检修 (139)		六、变压器附属装置的检修 (144)	
第三节 变压器的现场干燥处理	161		
一、概述 (161)		二、常用干燥加热方法比较 (162)	
三、热油喷淋真空干燥 (164)		四、涡流加热连续热风真空干燥 (165)	
五、零序短路真空干燥 (167)			
第四节 变压器的渗漏油处理	168		
一、变压器渗漏油的主要原因及常见部位 (168)		二、变压器渗漏油的常用处理方法 (168)	
三、防止渗漏油的技术措施 (170)			
第五节 变压器故障	172		

第五章 变压器试验 175

第一节 例行试验 175

一、绕组直流电阻测量 (175) 二、电压比测量和连接组号测定 (176) 三、绕组对地绝缘电阻和绝缘系统电容的介质损耗因数的测量 (179) 四、负载试验和短路阻抗测量 (182) 五、空载损耗和空载电流的测量 (185) 六、绝缘试验 (187) 七、有载分接开关试验 (203) 八、绝缘油试验 (205)

第二节 型式试验 206

第三节 特殊试验 210

一、零序阻抗试验 (210) 二、短路承受能力试验 (211) 三、声级测定 (216) 四、空载电流谐波测量 (219) 五、频响法试验 (220) 六、低电压短路阻抗试验 (221)

第四节 预防性试验 222

一、预防性试验项目与内容 (222) 二、预防性试验项目与方法 (223)

第六章 变压器起重运输、储存和保养 227

第一节 起重基本知识 227

一、麻绳的特点和用途 (227) 二、钢丝绳的特点和用途 (227) 三、卡环的用途及使用 (228) 四、滑车的类型和用途 (228) 五、千斤顶的用途和种类 (229) 六、电动绞车的类型和特点 (229) 七、锚碇的作用和种类 (229) 八、指挥信号和类别 (229)

第二节 变压器运输 230

一、变压器本体运输一般规定 (230) 二、变压器长途运输的几种方法 (230) 三、变压器本体运输前的包装 (232) 四、变压器附件运输前的包装 (233)

第三节 变压器的卸车和滚杠运输 234

一、变压器的卸车 (234) 二、变压器的滚杠运输就位 (235) 三、滚杠使用的注意事项 (236)

第四节 整体或钟罩起吊时注意事项 236

一、注意铭牌 (236) 二、致意标记 (236) 三、注意安全距离 (237) 四、整体吊装及要求 (237)

第五节 人身、设备安全注意事项 237

一、变电所现场的安全措施 (237)	二、设备搬运时的注意事项 (238)	三、起重设施的检查、维护 (238)	四、变压器运输注意事项 (239)
第六节 变压器运输后的验收、储存和保管 239			
一、变压器本体的运输验收 (239)	二、变压器组件的运输验收 (240)	三、到货的清点、交接 (240)	四、变压器的储存 (241)
五、变压器组件的储存 (241)			
第七节 变压器的充氮和充氮运输 242			
一、变压器的充氮运输 (242)	二、充氮的主要设备 (242)	三、放油充氮的工艺过程 (242)	
第七章 大型变压器的现场安装 244			
第一节 前期工作 244			
一、安装前的检查 (244)	二、安装前的保管工作 (244)	三、排氮工作 (245)	
第二节 变压器吊心检查 246			
一、吊心前的准备 (246)	二、器身检查的内容 (248)	三、干燥 (252)	
第三节 安装工作 254			
一、本体及组件安装 (254)	二、注油 (268)	三、热油循环、补油和静置 (270)	四、整体密封检查 (270)
第四节 变压器投入运行前的试验 270			
第五节 工程交接验收 271			
第八章 变压器的运行与维护 273			
第一节 变压器的定期巡视 273			
一、变压器的监视与维护 (273)	二、变压器的不正常运行和处理 (274)		
第二节 变压器过电压 276			
一、过电压种类及产生 (276)	二、变压器绕组中的波过程 (276)	三、绕组间波的传递 (279)	四、变压器绕组的内部保护 (279)
第三节 预防性试验项目与内容 281			
第四节 过载运行对温升和寿命的影响 282			
一、温升与绝缘寿命 (282)	二、非额定条件下运行状态的影响 (284)		

第五节 效率与经济运行	288
一、变压器的效率 (288) 二、与经济运行有关的因素 (289)	
第六节 变压器的并联运行	291
一、并联运行的必要条件 (291) 二、不按常规条件和特殊条件的并联运行 (291)	
第七节 变压器安全运行	294
一、变压器防火 (294) 二、环境对变压器运行的影响 (295)	
第八节 变压器的噪声要求	296
一、变压器噪声及环保要求 (296) 二、变压器降噪措施 (297)	
第九节 变压器出线短路的处理	298
一、变压器的出线短路 (298) 二、变压器出线短路故障的判断 (299)	

第九章 变压器油 301

第一节 变压器油的基本性质	301
一、变压器油的物理性质 (301) 二、变压器油的化学性质 (303)	
三、变压器油的电气性能 (304) 四、油中杂质 (305)	
第二节 变压器油在充油电气设备中的作用	307
一、变压器油的作用 (307) 二、变压器油的主要使用性能要求 (308)	
第三节 变压器油牌号的划分与质量标准	309
一、变压器油牌号的划分 (309) 二、国产变压器油的质量标准 (309)	
第四节 油的劣化	310
一、油品的氧化现象 (310) 二、油品氧化产物的危害性 (311)	
三、影响油品氧化的因素 (311)	
第五节 防止油的劣化	312
一、添加 T501 抗氧化剂 (312) 二、安装热虹吸器 (312)	
三、隔膜密封 (312) 四、充氧保护 (314)	
第六节 变压器油的净化及再生	314
一、净化及再生方法的分类 (314) 二、废旧油的物理、物理-化学净化处理 (315)	
三、废旧油的化学再生法 (317)	
第七节 常用的滤油设备和油泵设备	318
一、油泵 (318) 二、压力式滤油机 (319) 三、真空净油机 (321)	

第八节 油中溶解气体的色谱分析及故障诊断	323
一、故障的诊断 (323) 二、气相色谱分析基础知识 (324)	
三、变压器油的色谱分析及故障的诊断 (326)	
第九节 变压器油的试验	329
一、取样 (329) 二、变压器油的试验 (331)	
第十节 其他绝缘油	333
一、Beta 油与 Alpha 油 (333) 二、硅油 (333)	
第十一节 油务工作	334
一、油务工作的内容 (334) 二、变压器油的监督及维护 (334)	
三、油的补充及混合 (336)	
第十二节 安全及防火	337
一、带电处理变压器油的安全措施 (337) 二、消防 (338)	

第十章 干式变压器

第一节 结构特点	340
一、铁心 (341) 二、各类干式变压器绕组结构 (341) 三、其他结构 (343) 四、调压装置 (343) 五、温度测量及控制 (343)	
六、干式变压器主要性能特点 (343)	
第二节 冷却方式	344
一、冷却方式的标志 (344) 二、自然空气冷却 (AN) (345)	
三、强迫空气冷却 (AF) (345)	
第三节 绝缘等级与温升限值	345
一、绝缘耐热等级 (345) 二、温升限值 (346)	
第四节 绝缘水平	347
一、正常海拔下干式变压器的绝缘水平 (347) 二、高海拔运行干式变压器的绝缘水平 (347)	
第五节 性能参数	347
第六节 试验项目	357
一、绕组电阻测定 (出厂试验) (357) 二、电压比测量和连接组	
标号检定 (出厂试验) (358) 三、短路阻抗和负载损耗测量 (出厂试	
验) (358) 四、空载损耗和空载电流测量 (出厂试验) (358) 五、工	
频耐压试验 (出厂试验) (358) 六、感应耐压试验 (出厂试验) (358)	
七、雷电冲击试验 (型式试验) (359) 八、重复绝缘试验 (359)	
九、局部放电试验 (359) 十、声级测量 (特殊试验) (361)	

第七节 运行要求	361
一、必备技术文件 (361) 二、必备工作条件 (361) 三、干式变压器运行方式 (362)	
第八节 检修与日常检查项目	364
一、确定检修项目的几点因素 (364) 二、确定有载开关检修项目的几点因素 (364) 三、日常检查项目 (364) 四、几种特殊情况下对干式变压器增加巡视检查次数 (366) 五、定期检查项目 (366) 六、干式变压器的不正常运行和处理 (367)	
第十一章 特种变压器	369
第一节 接地变压器	369
一、原理 (369) 二、结构特点 (371) 三、试验要点 (371) 四、铭牌 (372) 五、运行注意事项 (372)	
第二节 消弧线圈	372
一、原理 (372) 二、结构特点 (375) 三、试验 (376) 四、铭牌标志 (377) 五、运行注意事项 (377)	
第三节 携带型试验变压器	378
一、原理 (378) 二、结构特点 (379) 三、试验 (380) 四、铭牌标志 (381) 五、运行注意事项 (381)	
第四节 检修	382
第十二章 电抗器	383
第一节 总述	383
一、电抗器的作用与类型 (383) 二、电抗器的结构 (384)	
第二节 并联电抗器	386
一、概述 (386) 二、主要技术参数 (387) 三、试验 (388)	
第三节 限流电抗器	389
一、概述 (389) 二、主要技术参数 (390) 三、试验 (391)	
第四节 串联电抗器	391
一、概述 (391) 二、主要技术参数 (391) 三、试验 (393)	
第五节 电抗器的使用及维修	394
一、电抗器的定期维护检查 (394) 二、电抗器定期和大修后试验 (394)	

第十三章 电流互感器 396

- 第一节 电流互感器的原理 396
 - 一、基本工作原理 (396) 二、分类、型号及其基本参数 (397)
 - 三、使用特性 (400)
- 第二节 电流互感器的结构 404
 - 一、基本结构 (404) 二、油浸式电流互感器的结构 (405)
 - 三、一般干式和浇注式电流互感器的结构 (407) 四、SF₆ 气体绝缘式电流互感器的结构 (407)
- 第三节 电流互感器的运行及异常处理 408
 - 一、电流互感器的运行要求 (408) 二、电流互感器的异常运行及处理 (409)
- 第四节 电流互感器的检修 410
 - 一、油浸式电流互感器的检修和工艺 (410) 二、固体绝缘式电流互感器的检修 (413)
- 第五节 电流互感器检修时的试验 413

第十四章 电压互感器 416

- 第一节 电压互感器原理 416
 - 一、基本工作原理 (416) 二、电压互感器的分类、型号和基本参数 (417) 三、电压互感器的使用特性 (419)
- 第二节 电磁式电压互感器的结构 424
 - 一、铁心和绕组 (424) 二、油浸式电压互感器结构 (425)
 - 三、浇注式电压互感器结构 (427) 四、SF₆ 气体绝缘电压互感器结构 (428)
- 第三节 电压互感器的运行 429
 - 一、运行要求 (429) 二、异常运行与处理 (429)
- 第四节 电压互感器的检修 430
 - 一、油浸式电压互感器的检修 (430) 二、SF₆ 气体绝缘电压互感器的检修 (437)
- 第五节 电压互感器检修后试验 438
 - 一、油浸及固体绝缘电压互感器检修后试验 (438) 二、SF₆ 互感器检修后试验 (440)

附录 A	三相油浸电力变压器性能参数 (GB 6451—1999)	442
附录 B	高压输配电设备的绝缘水平标准 (GB 311—1997)	451
附录 C	导磁材料	453
附录 D	变压器类产品引线用及其他应用的导电材料	457
附录 E	变压器类产品常用导线材料及常用 绝缘浸漆、金属件涂漆	461
附录 F	绝缘材料	471
附录 G	变压器类产品结构件常用材料	477
附录 H	起重吊装常用工具品种和数据	482
参考文献		491