

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育电气化铁道供电技术专业课程改革规划教材



高电压设备测试

课程
改革

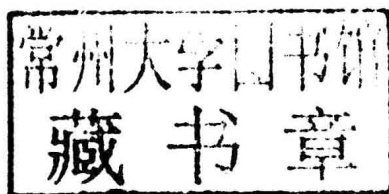
■ 何发武 陈继杰 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育电气化铁道供电技术专业课程改革规划教材

高电压设备测试

何发武 陈继杰 主 编
方 彦 苗 斌 副主编
陈瑞源 主 审



中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书是全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材。全书以典型高压设备为载体,共分7大项目,按设备分类顺序介绍了电力变压器、互感器、高压开关、避雷器、电力电容器、电力电缆、套管及绝缘子、GIS等试验项目及全过程。

由于高压属于特种危险行业,本教材围绕电力系统的高电压技术,以高压设备测试与绝缘为核心内容,立足于高压电气试验工的核心岗位,同时适用于高压变电工、配电工、检修工,是电气专业从业人员技能培训精品教材。

本书是高等职业教育电气化铁道供电技术专业教学用书,也可以作为职业技能培训与鉴定教材,或供从事高压测试类的维护与管理人员、现场一线员工的学习培训参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高电压设备测试/何发武,陈继杰主编. —北京:

中国铁道出版社,2014.7

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材 高等职业
教育电气化铁道供电技术专业课程改革规划教材

ISBN 978-7-113-18158-1

I. ①高… II. ①何…②陈… III. ①高压电器—测试—
高等教育—教材 IV. ①TM510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 042930 号

书 名:高电压设备测试

作 者:何发武 陈继杰 主编

策 划:阚济存

责任编辑:阚济存 编辑部电话:010-51873133 电子信箱:td51873133@163.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:龚长江

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京新魏印刷厂

版 次:2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14.25 字数:354 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-18158-1

定 价:29.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

本教材根据全国铁道职业教育教学指导委员会确定的规划教材编写计划及要求进行撰写。

由于高压测试涉及绝缘和防护方面的理论知识和操作技能,理论与实践比较难以融合理解,在授课时也存在“理论涩,实训难”的问题。所以本教材涉及电力变压器、互感器、高压开关、避雷器、电力电容器、电力电缆、套管、绝缘子、GIS等常见高压设备,并以设备分类为主线,介绍了绝缘介质(气体、液体、固体)的基本电气特性,阐述了高压设备绝缘基本概念,并全面讲解了测试方法及过程。通过本教材的学习,能掌握电气设备绝缘结构的基本知识和测试方法,掌握高电压试验和绝缘预防性试验中常用的试验装置及测试仪器的原理与用法、基本测试程序和安全防护技能等。

本书具有以下几个特点:

1. 标准化测试。本教材依据国标(GB 50150—2006)《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》(以下简称《试验标准》)和电力行标(DL-T 596)《电力设备预防性试验规程》(以下简称《规程》)进行编写,通过标准化测试训练,强化标准化意识,规范测试行为。

2. 项目化强。本课程以高压测试案例进行教学,从大量现场高压案例分析中导入与高压相关的基本理论知识,激发学生学习和参与的兴趣,提高动手能力。在教学设计上,将内容按设备分成多个高压试验项目,形成一个高压实践课程教学系列,以项目任务为载体实施教学,让学生在完成项目任务的过程中逐步提高职业能力,在教材中也增加现场中新设备检测技术的介绍。通过实训与案例教学,能正确理解高压的基本概念及成因,具有一定程度的现场综合操作能力,基本能从事高电压相关技术工作。

3. 操作性强。实现教学中的学做一体,工学结合。本套教材立足于高压试验工的核心岗位,紧扣试验工的核心技能要求,以中、高级技能人才培养为主,同时引入输配电高压试验的工艺和技术标准,把《中华人民共和国职业技能鉴定规范 电力行业:电气试验工(11057)》引入教材内容,保持学习和实际工作的一致性,力求教学过程中在提高专业能力的同时培养职业素质。本教材采用项目教学形式,反映最新的高职教学理念,实现真正意义上的“教、学、做”一体,培养学生的职业能力和职业素质。本教材填补了高压试验项目教学教材的空白。

4. 实用性强。本教材将根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范 电力行业》电气试验工职业技能鉴定培训的要求编写的。教材突出了以实际操作技能为主线、将相关专业理论与生产实践紧密结合的特色,反映了当前我国高压试验技术发展的水平,体现了实用可操作性的原则,融入最新的高压测试与试验技术。

5. 配套资源丰富。除纸质教材之外,本教材还将高压试验项目开发成虚拟学习资源,与广州供电段联合录制教学项目视频,创建包括文档、课件、动画、录像等的教学资源库,建立网络课程学习平台,以供学习参考之用。

本书由广州铁路职业技术学院何发武、陈继杰主编,陈瑞源主审。本书项目一、二、三及附录由广州铁路职业技术学院何发武编写,项目六、七由广州铁路职业技术学院陈继杰编写,项目四和项目五之任务一、二由西安铁路职业技术学院方彦编写,项目五之任务三、四由西安铁路职业技术学院苗斌编写。

在本书编写过程中,多次到广铁集团供电段、广东电力设备厂等单位进行项目调研,张仕斌、张明凯、骆世忠等专家提出了宝贵意见,同时得到广州铁路职业技术学院电气化铁道供电技术团队王亚妮、刘让雄、余木鳌、谭慧铭、陈海军、何桂娥、陈健鑫、赵华军、刘文革、张红等审核,同时也得到了杨洪琳、何泽南、冼明珍、何发文、车水轩、何安洋、李逸捷、李俊、李雅、何凤华、何发贤、何月华等同志的大力支持,在内容、体例、案例等给予充分研讨和支持,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错漏,希望读者多多指正。

作者

2014年6月于广州

目 录

项目一 高压设备绝缘综述	1
任务一 高压试验安全常识	2
任务二 电力变压器绝缘	5
任务三 互感器绝缘	13
任务四 断路器与隔离开关绝缘	15
任务五 避雷器	18
任务六 绝缘介质及放电机理	20
任务七 常用绝缘材料	24
项目小结	25
项目资讯单	26
项目考核单	26
项目操作单	28
项目二 电力变压器试验	30
任务一 绝缘电阻、吸收比、极化指数测量	33
任务二 直流电阻测量	36
任务三 变压器变比、极性和组别测量	40
任务四 泄漏电流测量	42
任务五 介质损失正切 $\tan\delta$ 试验	46
任务六 交流耐压试验	49
任务七 变压器油色谱分析	52
任务八 变压器现场巡视与异常处理	58
项目小结	67
项目资讯单	68
项目考核单	68
项目操作单	70
项目三 互感器试验	72
任务一 绝缘电阻测量	75
任务二 交流耐压试验	78
任务三 电压互感器介损测量	84

任务四 极性、变比和励磁特性试验	86
任务五 局部放电	89
项目小结	92
项目资讯单	92
项目考核单	93
项目操作单	95
项目四 高压开关电器试验	97
任务一 断路器绝缘电阻与介损测量	98
任务二 断路器主要参数测定	101
任务三 断路器交流耐压测试	103
任务四 隔离开关试验	106
项目小结	109
项目资讯单	109
项目考核单	110
项目操作单	112
项目五 防雷设备测试	114
任务一 输电线路防护	114
任务二 变电所雷电防护	127
任务三 避雷针试验	132
任务四 避雷器试验	136
项目小结	147
项目资讯单	147
项目考核单	148
项目操作单	150
项目六 电力电容器、电力电缆、绝缘子的绝缘试验	152
任务一 认识电力电容器	152
任务二 电力电容器试验项目及方法	155
任务三 电力电容器交流耐压试验	159
任务四 电力电缆试验	164
任务五 绝缘子试验	173
任务六 套管试验	175
项目小结	177
项目资讯单	178
项目考核单	178
项目操作单	180

项目七 GIS 试验	182
任务一 认识 GIS	182
任务二 GIS 主要组成部件及主要技术参数	185
任务三 GIS 断路器试验项目及方法	191
项目小结	198
项目资讯单	198
项目考核单	199
项目操作单	200
附录一 高压电气设备试验规程及设备选型	202
附录二 高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压标准	218
参考文献	219

项目一 高压设备绝缘综述

【项目描述】对变电所电力一次设备实物进行辨识,着重从高压绝缘的防护和介质设置上,结合设备功能及特性,理解一次主要设备在高压安全测量和防护措施。

【知识要求】

◆能辨别电力变压器、互感器、高压开关、避雷器、电力电容器、电力电缆、套管、绝缘子、GIS等常见高压设备。

◆辨识常用电气设备高压绝缘结构和绝缘特性,了解绝缘水平下降的成因及解决方法。

◆掌握常用的气体、液体、固体绝缘介质特性,介绍其在高压设备中的应用。

◆掌握安全距离的范围及安全接地要求。

◆掌握常用绝缘安全用具测试方法、检测周期和使用方法。

【技能要求】

◆能掌握常用电气设备绝缘性能指标。

◆能准确把握高压电气设备的结构、功能和绝缘水平。

◆能掌握电气设备测试电气连接关系。

◆掌握验电、接地和拆除地线的正确步骤及方法。

【安全须知】

◆树立高压安全意识。

◆掌握不同电压对应的最小安全距离。

◆掌握接地线和拆除的顺序及方法。

变配电所中承担输送和分配电能任务的电路,称为一次电路或称为主电路、主接线。一次电路中所有的电气设备,称为一次设备或一次元件。

一次设备按其功能来分,可分为以下几类:

(1)变换设备。其功能是按电力系统运行的要求改变电压或电流、频率等,例如电力变压器、电压互感器、电流互感器、变频机等。

(2)开关设备。其功能是按电力系统运行的要求来控制一次电路的通断装置,例如断路器、隔离开关。

(3)保护设备。其功能是用来对电力系统进行过电流和过电压故障等的保护,例如熔断器和避雷器等。

(4)补偿设备。其功能是用来补偿电力系统中的无功功率,提高系统的功率因数,例如电容补偿装置等。

(5)成套设备。按一次电路接线方案的要求,将有关一次设备及控制、指示、监测和保护一次设备的二次设备组合为一体的电气装置,例如高压开关柜、GIS柜等。

高压设备的安全运行是整个电力系统安全运行的基础。高压电气设备在电网中运行时,如果其内部存在因制造不良、老化以及外力破坏造成的绝缘缺陷,会发生影响设备和电网安全运行的绝缘事故。在设备投运后,进行预防性试验和检修,以便及时检测出设备内部的绝缘缺陷,防止发生绝缘事故。因此,认识绝缘是高压设备测试中非常重要的环节,只有提高设备的绝缘水平,才能在产品设计制作、高压输变电设备运行中,提高绝缘耐压水平,使电力系统稳定地安全运行。下面针对主要的一次设备,着重介绍设备的绝缘材料及结构等内容。

任务一 高压试验安全常识

电气设备绝缘预防性试验是对运行的电气设备进行检验鉴定,防止设备在运行中发生故障的重要措施。由于试验过程中采用了高电压、大电流,并且许多设备属于容性储能设备(如电容器、电缆等),在试验后依然残存静电,常常会危及人身安全。在每年各地的试验中,因安全防护不到位或操作不当而引发的事故时有发生。因此,在试验过程中必须做好安全工作。

一、安全距离

在规定的安全距离下,带电作业中才能确保人身和设备安全。

安全距离是指为了保证人身安全,作业人员与带电体之间所保持各种最小空气间隙距离的总称。具体地说,安全距离包括下列五种间隙距离:最小安全距离、最小对地安全距离、最小相间安全距离、最小安全作业距离和最小组合间隙。最小安全距离是指地电位作业人员与带电体之间应保持的最小距离。最小对地安全距离是指带电体上等电位作业人员与周围接地体之间应保持的最小距离。最小相间安全距离是指带电体上作业人员与邻相带电体之间应保持的最小距离。最小安全作业距离是指为了保证人身安全考虑到工作中必要的活动地电位作业人员在作业过程中与带电体之间应保持的最小距离。最小组合间隙是指在组合间隙中的作业人员处于最低的 50% 操作冲击放电电压位置时人体对接地体与带电体两者应保持的距离之和。

各种安全距离可以参考表 1-1、表 1-2。

表 1-1 各种不同电压等级的安全距离

设备额定电压(kV)		1~3	6	10	35	60	110	220	330	500
带电部分到接地部分(mm)	屋内	75	100	125	300	550	850	1 800	2 600	3 800
	屋外	200	200	200	400	650	900	1 800	2 600	3 800
不相同带电部分之间(mm)	屋内	75	100	120	300	550	900	—	—	—
	屋外	200	200	200	400	650	1 000	2 000	2 800	4 200

表 1-2 人身与带电体的安全距离

电压等级(kV)	10	35(27.5)	63(66)	110	220	330	500
安全距离(m)	0.4	0.6	0.7	1.8(1.6)	2.6	2.6	3.6

在试验中,为保证人员及设备安全,试验人员与带电体之间、带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间,都要保持一定的安全距离。安全距离的大小因电压高低、设备类型、安装方式及天气状况的差异而变化。对于各项安全距离,国家都有明确的规定,

不再赘述。有一点值得注意,带电体往往被习惯性地认为是试验中的试验仪器和电气设备,忽视了与设备相连的导线、导线排也同时带电,若工作时距离过近易发生危险。故应将所有带电部位整体看作是带电体,对其所占空间范围均须保持安全距离。特别是做母排耐压试验时,所有人员都要远离柜体,不可进行柜内工作,以免发生危险。

另外,试验工作与其他工作禁止交叉进行。对于非试验人员,由于不熟悉试验工作和带电范围,不得进入试验区域观看或帮助。试验区域围绳或警示牌就是为其划定的安全距离线。若试验中带电体与人体、其他设备、带电线路之间的距离达不到规定要求,此时要进行试验,必须装设临时遮栏、绝缘挡板、绝缘皮垫等进行隔离。试验时若产生火花或放电声,说明距离不够或绝缘介质表面不干净,立即停止试验,调整好距离,擦净绝缘表面,然后再行试验。

二、高压接地

接地是试验中一项重要的工作,也是一项重要的安全措施。试验中的接地包括两部分:即工作接地和保护接地。

高压接地线是用于线路和变电施工,为防止临近带电体产生静电感应触电或误合闸时保证安全之用。高压接地线由绝缘操作杆、导线夹、短路线、接地线、接地端子、汇流夹、接地夹组成。

工作接地是利用大地作为导线或根据正常运行方式的需要将网络的某一点接地,借以形成电气回路,这也是进行试验(特别是耐压试验)的必备条件。以测量避雷器的工频放电电压为例,在升压变压器的高压输出侧,其高压首端与避雷器首端相连,而两者尾端接地,这样工频电源、调压器、升压变压器、避雷器和大地经导线连接就构成一条电压回路,工频电压经升压变压器升压,将高电压加到避雷器上。对高压柜手车上的真空断路器进行耐压试验,测试其对地电气绝缘水平,但此时手车已从柜内拉出,金属外壳脱离接地网,失去了大地导线,若不将其金属外壳接地,则无电压回路,耐压试验无法进行。对耐压试验而言,需要将电气设备金属外壳接地,此时的接地属工作接地。

保护接地是将电气设备正常工作时不带电的金属外壳接地,以防止设备内部故障时碰壳带电危及人身安全。保护接地在供电系统运行中比较完备,而在试验过程中却常常被忽略。试验中因保护接地出现的问题多集中在试验仪器上,因为电气设备(少数需脱离原位置的除外)都有保护接地。由于试验仪器的接线多、拆接频繁、移动性大,加之一些试验人员省事图快,并抱有一定的侥幸心理,对于试验仪器的保护接地往往不做或疏于检查,留下了事故隐患。

接地关系到试验能否正常进行,能否保证人身安全。接地线前应先验电确认已停电,在设备上确认无电压后进行。先将接地线夹连接在接地网或扁铁件上,然后用接地操作棒分别将导线端线类拧紧在设备导线上。拆除短路接地线时,顺序正好与上述相反。装设接地线时须两人进行,装、拆时均应使用绝缘棒和绝缘手套。

安装接地线首先检查接地线是否完好,有无断裂和破损。接地线两端尽量地采用压接方式,不能缠绕,避免接触不良,因此应焊接上金属叉或导线夹。试验仪器或者电气设备上接地点的螺丝和螺母要保证良好的电气接触,若有氧化锈蚀或者绝缘漆覆盖,将其彻底清除、打磨干净。接地体的选择首选地排,若与地排距离较远时,选择临近电气设备的金属外壳接地点,不要挂在如柜门把手、绝缘挡板紧固螺丝等接地状况不可靠的部位。接线地与工作设备之间不能连接刀闸或者熔断器,以防断开失去接地时,检修人员发生触电事故。高压接地线按照电压等级可分为:10 kV 接地线,35 kV 高压接地线,110 kV 接地线,220 kV 高压接地线,500 kV

高压接地线。如图 1-1 所示是 220 kV 高压接地线。

短路接地线应妥善保管。每次使用前,均应仔细检查其是否完好,软铜线无裸露,螺母不松脱,否则不得使用。短路接地线检验周期为每五年一次,检验项目同出厂检验。经试验合格的携带型短路接地线在经受短路后,应根据经受短路电流大小和外观检验判断,一般应予以报废。

三、常用绝缘工具

电气安全管理中,把绝缘工具分为基本安全用具和辅助安全用具。所谓基本安全用具,是指绝缘强度足以承受电气运用电压的安全用具,如绝缘棒、绝缘夹钳、绝缘台(梯)。而辅助安全用具,是指不足以承受电气运行电压,在电气作业中,配合基本安全用具,例如绝缘垫、绝缘鞋,不可以接触带电部分,可以防止跨步电压对人身伤害。

图 1-2 是常用绝缘工具,包括绝缘棒、绝缘手套、绝缘鞋、安全帽、绝缘拉杆、验电器等。绝缘工具最小有效绝缘长度参考表 1-3。

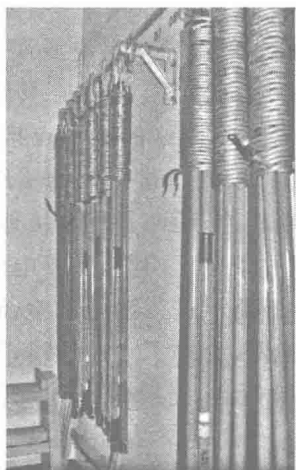


图 1-1 220 kV 高压接地线



图 1-2 常用绝缘工具

表 1-3 绝缘工具最小有效绝缘长度

电压等级(kV)		10	35(27.5)	63(66)	110	220	330	500
有效绝缘长度 (m)	绝缘杆	0.7	0.9	1	1.3	2.1	3.1	4
	绝缘承力工具、绳索	0.4	0.6	0.7	1.0	1.8	2.8	3.7

按照《电业安全工作规程》的要求,这些安全用具必须进行定期耐压试验,满足高压使用安全标准。安全用具应半年进行定期检查。

绝缘操作杆主要用于闭合或打开高压隔离开关,装拆携带式接地线以及进行测量和试验等。绝缘操作杆要有专人保管,半年要对绝缘操作杆进行一次交流耐压试验,不合格的要立即报废,不可降低其标准使用。绝缘操作杆一般有三节,由工作、绝缘、握手三部分组成。工作部分大多是由铜、铸钢、铝合金等金属材料制成,根据需要可以做成不同的形状,装在操作杆的顶端。要注意的是,工作部分的金属钩,在满足需要的情况下,应尽量做得短一些,以免在操作时造成接地或相间短路。工作部分的长度,一般为 50~80 mm。绝缘部分起到绝缘隔离作用,一般由电木、胶木、塑料带、环氧玻璃布管等绝缘材料制成,握手部分用与绝缘部分相同的材料

制成,为操作人员手握部分。为保证操作时有足够的绝缘安全距离,绝缘操作杆的绝缘部分长度不得小于 0.7 m;要求外观上不能有裂纹、划痕等外部损伤,耐压强度高、耐腐蚀、耐潮湿、机械强度大、质轻、便于携带,一个人能够单独操作。使用绝缘拉杆进行验电时必须戴绝缘手套,穿绝缘靴。

35 kV 及以下电气设备用的绝缘操作杆,其交流耐压试验电压不应小于线与线间电压的 3 倍,且不应低于 44 kV。对于电压在 100 kV 及以上电气设备用的绝缘操作杆,试验电压应为线与地间(相电压)电压的 3 倍。试验电压须持续 5 min。在耐压试验时,如果不发生放电或爆裂声,试验后无局部发热现象,即认为合格。泄漏电流则不定标准。各式绝缘操作杆,应每年试验一次。存放在无人值班的变电所的操作杆及测验用绝缘操作杆除外应每两年试验一次。测验用绝缘操作杆应每 6 个月试验一次。

绝缘鞋是属于辅助安全用具,可防止跨步电压对人身伤害,其电压等级有 6 kV、20 kV、25 kV、35 kV 绝缘靴。注意应根据作业场所电压高低正确选用绝缘鞋,低压绝缘鞋禁止在高压电气设备上作为安全辅助用具使用,高压绝缘鞋可以作为高压和低压电气设备上辅助安全用具使用。但不论是穿低压或高压绝缘鞋,均不得直接用手接触电气设备。根据新标准要求,电绝缘鞋外底的厚度不含花纹不得小于 4 mm,花纹无法测量时,厚度不应小于 6 mm,绝缘鞋的鞋面或鞋底应有标准号、绝缘字样及电压数值。

绝缘手套每次使用前应进行外部检查查看表面有无损伤、磨损或破漏、划痕等。如有砂眼漏气情况,禁止使用。检查的方法是,将手套朝手指方向卷曲,当卷至一定程度时,内部空气因体积减小,压力增大,手指鼓起,不漏气即为良好。使用绝缘手套时,应将外衣袖口放入手套的伸长部分里。绝缘手套要在干燥并且无尖锐物体的地方存放,每半年应进行预防性试验检测。

【事故案例】忘记拆除短接线引起事故。

事故经过:在 6 kV 进线开关进行耐压试验后,试验人员忘记拆除用做短接线的熔丝,运行人员复查时又未能发现(光线较暗),导致开关投入后短路,引发上级电站跳闸,开关触头有一定的烧损。

事故教训:根据规程,做短接线时,试验专用软线和熔丝必要时可配合使用。为保证安全,必须做到“谁短接、谁拆除,专人检查、组长检查和联合检查相结合”。



复习与思考

1. 110 kV 带电设备的安全距离是多少?
2. 安全距离有哪几种? 10 kV 发电机出线端子与人体的电气安全距离是多少?

任务二 电力变压器绝缘

一、电力变压器绝缘结构

变压器是一种通过改变电压而传输交流电能的静止感应电器。在电力系统中,变压器的地位十分重要,要求安全可靠,所以绝缘要求高。

变压器除了应用在电力系统中,还在特种电源的工矿企业中。例如:冶炼用的电炉变压器,电解或化工用的整流变压器,焊接用的电焊变压器,试验用的试验变压器,交通用的牵引变压器以及补偿用的电抗器,保护用的消弧线圈,测量用的互感器等。所以不同场合中的变压器,对绝缘的要求是不同的。

变压器主要结构如图 1-3 所示,主要包括以下部分。

- (1)器身:包括铁芯、绕组、绝缘部件及引线。
- (2)调压装置:即分接开关,分为无励磁调压和有载调压。
- (3)冷却装置:包括油箱、油枕及散热管等冷却装置。
- (4)保护装置:包括安全气道、吸湿器、气体继电器、净油器和测温装置等。
- (5)绝缘套管:包括高压绝缘套管、低压绝缘套管。

变压器的铁芯与绕组,铁芯由硅钢片叠成,硅钢片导磁性能好、磁滞损耗小。在铁芯上有 A、B、C 三相绕组,每相绕组又分为高压绕组与低压绕组,一般在内层绕低压绕组,外层绕高压绕组。图 1-4 所示左边是高压绕组引出线,右边是低压绕组引出线。如图 1-5 所示为三相电力变压器内部结构图,如图 1-6 所示为电力变压器铁芯实物图。

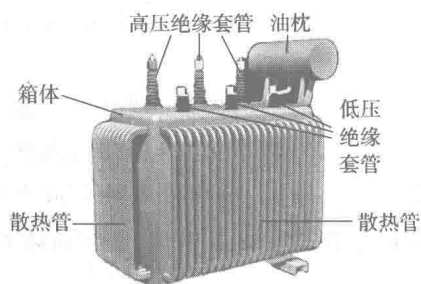


图 1-3 三相电力变压器外观结构

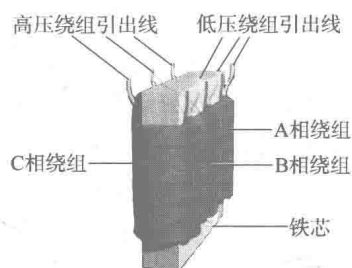


图 1-4 三相电力变压器内部铁芯与绕组

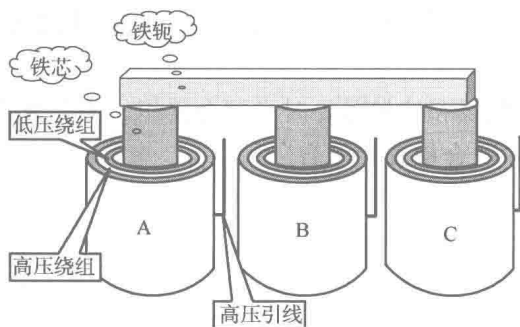


图 1-5 三相电力变压器内部结构图

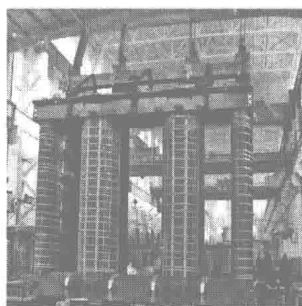


图 1-6 电力变压器铁芯实物图

把铁芯与绕组放入箱体,绕组引出线通过绝缘套管内的导电杆连到箱体外,导电杆外面是瓷套管,通过它固定在箱体上,保证导电杆与箱体绝缘。为减小因灰尘与雨水引起的漏电,瓷套管外型为多级伞形。右边是低压绝缘套管,左边是高压绝缘套管,由于高压端电压很高,高压绝缘套管比较长,如图 1-7 所示。

变压器主要结构的箱体(即油箱)里灌满变压器油,铁芯与绕组浸在油里,如图 1-8 所示。变压器油比空气绝缘强度大,可加强各绕组间、绕组与铁芯间的绝缘,同时流动的变压器油也

帮助绕组与铁芯散热。在油箱上部有油枕,有油管与油箱连通,变压器油一直灌到油枕内,可充分保证油箱内灌满变压器油,防止空气中的潮气侵入。

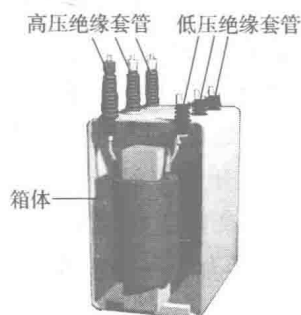


图 1-7 变压器高低压绝缘套管

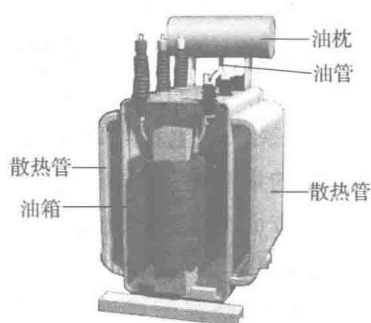


图 1-8 变压器油枕与散热管

变压器运行时会发热,绕组和铁芯温度升高,根据 A 级绝缘,绕组间、绕组与铁芯间的绝缘材料耐受温度一般不能超过 95°C ,所以油箱外排列着许多散热管,运行中的铁芯与绕组产生的热能使油温升高,温度高的油密度较小上升进入散热管,油在散热管内温度降低密度增加,在管内下降重新进入油箱,铁芯与绕组的热量通过油的自然循环散发出去,如图 1-9 所示。

一些大型变压器为保证散热,装有专门的变压器油冷却器。冷却器通过上下油管与油箱连接,油通过冷却器内密集的铜管簇,由风扇的冷风使其迅速降温。油泵将冷却的油再打入油箱内,图 1-10 是一台容量为 $400\,000\,\text{kV}\cdot\text{A}$ 的特大型电力变压器模型,其低压端电压为 $20\,\text{kV}$,高压端电压为 $220\,\text{kV}$ 。

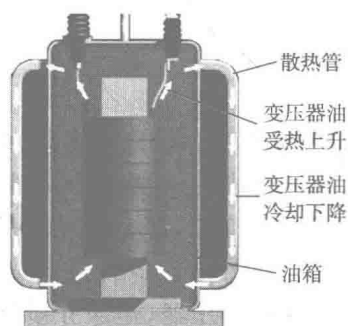


图 1-9 变压器油对流散热图

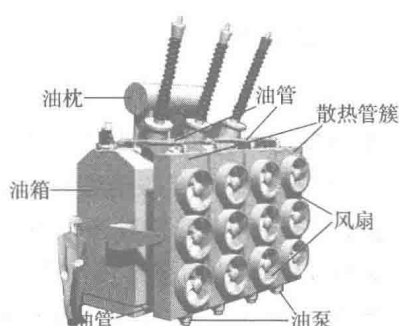


图 1-10 变压器外观结构图

采用油冷却的变压器结构较复杂,存在安全性问题。目前,在城市内、大型建筑内使用的变压器已逐渐采用干式电力变压器,变压器没有油箱,铁芯与绕组安装在普通箱体内。干式变压器绕组用环氧树脂浇筑等方法保证密封与绝缘,容量较大的绕组内还有散热通道,大容量变压器并配有风机强制通风散热。由于材料与工艺的限制,目前多数干式电力变压器的电压不超过 $35\,\text{kV}$,容量不大于 $20\,000\,\text{kV}\cdot\text{A}$,大型高压的电力变压器仍采用油冷方式。

电力系统所使用的变压器,其中性点的绝缘结构有两种:一种是全绝缘结构,其特点是中性点的绝缘水平与三相端部出线电压等级的绝缘水平相同,此种绝缘结构主要用于绝缘要求较高的小接地电流接地系统,目前我国 $40\,\text{kV}$ 及以下电压等级电网均属小电流接地系统,所用的变压器基本是全绝缘结构。另一种是分级绝缘结构,其特点是中性点的绝缘水平低于三

相端部出线电压等级的绝缘水平。分级绝缘的变压器主要用于 110 kV 及以上电压等级电网的大电流接地系统。采用分级绝缘的变压器可以使内绝缘尺寸减小,从而使整个变压器的尺寸缩小,这样可降低造价。电气设备中,绝缘投资比较大,为了节省变压器的投资,分级绝缘使靠近中性点的部分绕组的绝缘投资减少,绝缘水平下降,但是中性点电位正常很低,不会造成绝缘击穿,能够满足正常运行要求。而全绝缘是绕组所有部分的绝缘水平是一样的,投资较大。

变压器的绝缘水平也称绝缘强度,是与保护水平以及其他绝缘部分相配合的水平,即耐受电压值,由设备的最高电压 U_m 决定。设备最高电压 U_m 对于变压器来说是绕组最高相间电压有效值,从绝缘方面考虑, U_m 是绕组可以联结的那个系统的最高电压有效值,因此, U_m 是可以大于或者等于绕组额定电压的标准值。绕组的所有出线端都具有相同的对地工频耐受电压的绕组绝缘称全绝缘;绕组的接地端或者中性点的绝缘水平较线端低的绕组绝缘称分级绝缘。

绕组额定耐受电压用下列字母代号标志:

LI——雷电冲击耐受电压;SI——操作冲击耐受电压;AC——工频耐受电压。

变压器的绝缘水平是按高压、中压、低压绕组的顺序列出耐受电压值来表示(冲击水平在前)的,其间用斜线分隔开,分级绝缘的中性点绝缘水平加横线列于其线端绝缘水平之后。如:LI850AC360—LI400AC200/LI480AC200—LI250AC95/LI75AC35,其含义为:220 kV 三侧分级绝缘的主变压器,高压侧引线端雷电冲击耐受电压是 850 kV,工频耐受电压是 360 kV,高压侧中性点引线端雷电冲击耐受电压是 400 kV,工频耐受电压是 200 kV;中压侧引线端雷电冲击耐受电压是 480 kV,工频耐受电压是 200 kV,中压侧中性点引线端雷电冲击耐受电压是 250 kV,工频耐受电压是 95 kV;低压侧引线端雷电冲击耐受电压是 75 kV,工频耐受电压是 35 kV。

二、变压器分类

变压器的分类有很多种,常用的变压器分类有以下几种。

(1)按冷却方式分类:有自然冷式、风冷式、水冷式、强迫油循环风(水)冷方式、及水内冷式等。由于变压器绕组内容的绝缘材料主要是由绝缘漆和绝缘纸组成的 A 级绝缘材料,耐受温度不能超过 95℃,所以需要对运行中的变压器内部发热绕组进行冷却,其中常见的是油浸式变压器,迫使油循环的油泵安装在变压器底部。

(2)按冷却介质分类:有干式变压器(绝缘介质是空气)、油浸变压器(绝缘介质是变压器油)及 SF₆ 气体变压器(绝缘介质是 SF₆)等。

(3)按中性点绝缘水平分类:有全绝缘变压器、半绝缘(分级绝缘)变压器。

变压器型号包括变压器绕组数、相数、冷却方式、是否强迫油循环、有载或无载调压、设计序号、容量、高压侧额定电压,如:SFPZ9-120000/110 指的是三相(双绕组变压器省略绕组数,如果是三绕则前面还有个 S)双绕组强迫油循环风冷有载调压,设计序号为 9,容量为 120 000 kV·A,高压侧额定电压为 110 kV 的变压器。

电网中各种电气设备绝缘(包括变压器绝缘),在运行中承受长时间的正常工作电压、操作过电压,并在避雷器的保护下承受大气过电压的作用。也就是说,电气设备既要能承受正常工作电压和操作过电压的作用,还应承受避雷器残压的作用,且应有一定的绝缘裕度。

变压器的电气绝缘强度是变压器能否投入电网可靠运行的基本条件之一,变压器中的任何部位如绕组、引线、开关等零部件的绝缘若有损伤,就可能引起整台变压器的损坏,甚至会由

此危及整个电网的安全运行。变压器生产出厂时,应具备耐受试验电压的水平,而且有一定的绝缘裕度。变压器出厂试验合格,表明变压器绝缘具备上述水平。

变压器的绝缘可分为内绝缘和外绝缘,是以变压器器身为界分类,外面是外绝缘,里面是内绝缘。外绝缘是指变压器外部绝缘部分。内绝缘包括绕组绝缘、引线绝缘、分接开关绝缘和套管下部绝缘。内绝缘还可分为主绝缘和纵绝缘,如表 1-4 所示。

表 1-4 变压器绝缘分类

绝缘类型	部件	绝缘性质	描述
内绝缘	线圈	主绝缘	同相绕组之间
			异相绕组之间
			绕组对油箱
			绕组对铁芯柱、绕组对旁柱之间
		纵绝缘	绕组端部对铁轭
			绕组线匝之间
			绕组饼间
	引线	主绝缘	绕组层间
			引线对地
		纵绝缘	引线对异相线圈
外绝缘	套管	主绝缘	一个绕组的不同引线之间
			开关对地
		纵绝缘	开关上不同绕组引线触头之间
			同相绕组不同引线触头之间
			套管对各部分接地之间

主绝缘是指绕组对它本身以外的其他结构部分的绝缘,包括对油箱、对铁芯、夹件和压板、对同一相内其他绕组的绝缘以及对不同相绕组的绝缘。变压器高压绕组线圈主要分为饼式和圆桶式,如图 1-11 所示为饼式结构。绕组端部至铁轭或者相邻组端部间的绝缘又称为端绝缘,属主绝缘。纵绝缘是指绕组本身内部的绝缘,包括匝间、层间、线段间绝缘以及线段与静电板间的绝缘。主绝缘和纵绝缘分别按工频耐压试验和冲击电压试验来检验。

变压器器身表面是散热器,散热面越大,散热效果越好,当变压器上层油温和下层油温产生温差时,通过散热器产生对流经散热器冷却后流回油箱,起到降低变压器的温度的作用,为提高变压器油的冷却效果可用强油风冷或强油水冷的措施。

变压器内绝缘是油箱内的各部分绝缘,外绝缘是套管上部对地和彼此之间的绝缘。主绝缘是绕组与接地部分之间以及绕组之间的绝缘。在油浸式变压器中,主绝缘以油纸屏障绝缘结构最为常用。纵绝缘是同一绕组各部分之间的绝缘,



图 1-11 变压器绕组绝缘结构图