

石油工人技术培训系列丛书

油田维修电工实用技术

张树起 主编

石油工业出版社

《石油工人技术培训系列丛书》

编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新	万志强	马卫东	马平凡
马自勤	王立民	王忠仁	尹君泰
申尧民	石桂臣	许 飞	许大坤
朱长根	向守源	百连刚	齐振林
张凤山	张景仁	张 剑	张启英
张晗亮	李储龙	李越强	岳丛林
范卓璞	段世民	钟启刚	郭向东
郭跃武	侯浩杰	赵益红	郝春生
夏中伏	韩 炜		

《油田维修电工实用技术》

编 写 组

主 编：张树起

副 主 编：崔贵维 班绍顺

策 划：李 强 王玉明

编 委：张树起 崔贵维 班绍顺 李 强

王玉明 王艾军 高 弘 王军廷

邵泽亮 邢恩洪

努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

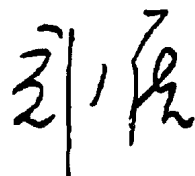
小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术精湛、一专多能、适应国际市场规模施工作业要求的操作技能人才队伍,仍

是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理



2005 年 1 月 28 日

前 言

为了进一步提高油田维修电工的理论水平和操作技能,针对油田维修电工教材比较缺乏的状况,经过充分调研,我们编写了本书。

本书详细介绍了油田采、注、输各种电气设备,针对油田维修电工在工作中识图能力较差的现实,编写了“电气控制制图”这章内容。现在变频器这种节电设备已经在油田推广,但油田维修电工对变频器的原理及维修知识却掌握得很少,为此,本书介绍了变频器和变频器的控制方式。本书中的“电力变压器”、“电动机”以及“异步电动机的常用控制线路”等内容是《职业技能培训教程与鉴定试题集 油田维修电工》中要求掌握内容的细化。针对天然气发电机不断增加和普及的现状,本书编写了“天然气发电机”这章内容。

中国石油天然气股份有限公司王泰富副总工程师、大港油田蒋泽恩、王振胜、夏艳铎高级工程师对本书提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,疏漏、错误之处在所难免,恳请各位专家、读者及同仁提出宝贵意见。

编 者

2007 年 2 月

目 录

第一章 电力变压器	(1)
第一节 电力变压器的结构	(1)
第二节 电力变压器的运行	(6)
第三节 新型经济电力变压器和电力变压器的经济运行	(16)
第四节 电力变压器的绝缘吸收比试验	(21)
第五节 电力变压器的维护保养	(22)
第六节 电力变压器的常见故障及处理方法	(25)
第七节 电力变压器的检修	(28)
本章小结	(30)
思考题	(32)
第二章 电动机	(33)
第一节 异步电动机的结构、铭牌及工作原理	(33)
第二节 异步电动机的运行特性	(44)
第三节 异步电动机的启动	(53)
第四节 异步电动机的调速和制动	(58)
第五节 异步电动机的拆装及常见故障检修	(68)
第六节 同步电动机	(76)
第七节 稀土永磁同步电动机	(102)
第八节 电动机的选择和分类	(109)
本章小结	(112)
思考题	(112)
第三章 油田专用电气设备及常见故障检修	(114)
第一节 带变频装置的抽油机节电控制柜	(114)
第二节 JJB ₁ 型输油泵自耦降压启动柜电路	(116)
第三节 高压注塞泵控制柜的原理及维修	(119)

第四节 RQY 潜油电泵控制柜的原理及维修	(122)
第五节 DW15 万能式断路器的结构及维修	(124)
本章小结	(133)
思考题	(133)
第四章 电气控制制图	(134)
第一节 电气控制线路的绘图原则	(134)
第二节 组成电气控制线路的基本规律	(140)
本章小结	(143)
思考题	(143)
第五章 异步电动机的常用控制线路	(144)
第一节 电动机单向运行控制线路	(144)
第二节 电动机正反向运行控制线路	(148)
第三节 电动机降压启动控制线路	(152)
第四节 电动机的保护线路	(155)
第五节 电动机的软启动方式	(160)
本章小结	(161)
思考题	(161)
第六章 天然气发电机	(162)
第一节 无刷同步发电机的基本结构	(162)
第二节 西门子 1FC5 无刷交流同步发电机的结构	(165)
第三节 同步发电机的运行原理	(168)
第四节 1FC5 同步发电机的励磁系统	(172)
第五节 无刷同步发电机常见故障检修	(175)
第六节 天然气发电机的供电方式	(186)
第七节 天然气发电机的操作与保养规程	(187)
本章小结	(192)
思考题	(192)
第七章 变频器	(193)
第一节 实现变频调速的关键	(193)
第二节 变频调速的特殊问题	(198)

第三节 变频器内部的主体电路	(200)
第四节 变频器的内部控制电路框图	(205)
第五节 操作面板的使用	(212)
第六节 常用逆变模块介绍	(213)
第七节 变频器的功能综述	(218)
第八节 变频器中频率的名称与功能	(221)
第九节 变频器的基本控制功能	(225)
第十节 变频器的控制方式	(229)
第十一节 变频器的保护功能	(230)
第十二节 变频器外接主电路与主要部件的选择	(232)
第十三节 变频调速系统的调试、维护及优点	(236)
本章小结	(252)
思考题	(252)
第八章 可编程序控制器	(254)
第一节 PLC 的一般结构和工作原理	(254)
第二节 PLC 的技术性能指标	(260)
第三节 PLC 的分类及应用	(261)
本章小结	(264)
思考题	(265)
第九章 油田的电气安全及电气安全管理	(266)
第一节 电气安全在油田企业的特殊地位	(266)
第二节 电流对人体的伤害及救护	(269)
第三节 直接接触触电的防护	(276)
第四节 间接接触触电的防护	(278)
第五节 漏电保护装置	(283)
第六节 电气防火、防爆	(285)
第七节 电气安全管理	(287)
本章小结	(288)
思考题	(289)

第十章 维修电工技术比赛的方法与技巧	(290)
第一节 仪表使用的方法和技巧	(290)
第二节 按图配线的方法和技巧	(298)
第三节 排除电路故障的方法和技巧	(299)
本章小结	(302)
思考题	(303)
附录	(304)
参考文献	(312)

第一章 电力变压器

电力变压器是一种在交流电路中常用的电器,它可以把交流电能由某一种电压变换成同频率的另一种电压,还可以用来变换电流、变换阻抗(例如电子电路中的输入、输出变压器)。随着我国改革开放和社会主义现代化建设事业的迅速发展,需要把大量的优质电能进行超高压、远距离的输送,并且按用电地区的不同需要进行电能分配,这些都需要由变压器来升压和降压。变压器在电子计算机、无线电技术和各种电器设备中,在国民经济各部门及日常生活中应用十分广泛。

在电力系统和电网中,为了提高电能输送和分配的经济效益,大量应用着电力变压器,它的使用量往往是发电机容量的几倍。

在电信、电子计算机、自动控制系统中,广泛地使用控制变压器、电源变压器、输入及输出变压器等。

在油田生产过程中,十分广泛地应用着各种型号的电力变压器、特种变压器。维修电工应掌握变压器的基本结构和一般的使用、运行、维护和维修的技术知识。

第一节 电力变压器的结构

电力变压器是电力系统中输配电力的主要设备,虽然变压器的种类很多,但其基本结构和基本原理是相同的,本节主要介绍变压器的结构及各部件的作用。

一、电力变压器的结构

电力变压器的基本结构包括:铁芯和绕组是变压器最基本的组成部分。根据变压器铁芯结构的不同,变压器可分为壳式和心式两种,壳式变压器的结构特点是铁芯包围线圈,容量较小的单相变压器多采用壳式。心式变压器的结构特点是线圈包围铁芯,容量较大的单相变压器和三相电力变压器

均采用心式。变压器绕组(线圈)分为筒形和盘形两种,单相小容量变压器的绕组多采用高强度漆包线绕制,大容量变压器可用扁铜线或铝线绕制。筒形绕组套在变压器铁芯上,一般高压绕组在外面,低压绕组在里面,高低压绕组之间以及低压绕组与铁芯之间,都用绝缘纸筒隔开。盘形绕组是把高低压绕组交叠放置在铁芯柱上,铁芯与绕组之间用绝缘纸筒分开,而高低压绕组之间则采用环形绝缘板互相绝缘。

变压器除上述两部分主要部件外,还有附件和装置。单相和小容量以及干式三相变压器是依靠周围空气散热的,叫做空气自冷式(干式)。容量较大的单相及三相变压器则把绕组和铁芯浸在装满变压器油的油箱里,依靠油的对流作用将热量传给箱壁,通过装在箱壁上的油管由空气将热量带走,这种冷却方式叫做油浸自冷式。大型变压器还用油泵迫使油循环流动,称为强迫油循环冷却,或者用吹风机冷却(油浸风冷式)。变压器油除了起散热作用外,还可以增强线圈的绝缘作用,但当油内有潮气时,它的绝缘强度会大大下降,因此,应避免使油与空气接触。对小型变压器因油箱小、油与空气接触面不大、油的胀缩程度小、密封性能好,所以,可直接将油箱密封。对于大型变压器,为了使变压器油能自由胀缩且能减小油与空气的接触面,在箱顶上安装一个与油箱连通的储油柜(油枕),储油柜的空气经过吸湿器与外界相通,使空气在进入储油柜之前由吸湿器先吸去水分和杂质。

二、各部件的作用

(一)铁芯

铁芯是变压器电磁感应的磁通路。变压器的一、二次绕组都是绕在铁芯上,铁芯是用导磁性能很好的硅钢片叠装组成的闭合磁路。一般采用含硅1%~5%的厚度为0.35~0.5mm的涂漆硅钢片叠制而成。

(二)绕组

绕组是变压器的电路部分。变压器有高、低压绕组,即一次、二次绕组。它是由绝缘铜线或铝线绕成的多层线圈套装在铁芯上,导线外部的绝缘采用纸绝缘纱包绝缘。

油浸式电力变压器的结构如图 1-1 所示。它由铁芯、油箱、套管、分接开关、吸湿器、温度计、防爆管、气体继电器等主要部件组成。

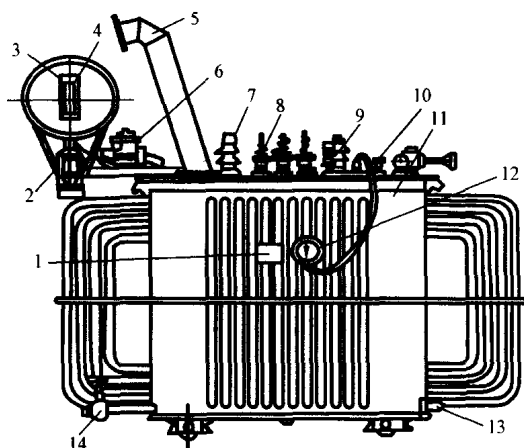


图 1-1 油浸式电力变压器

1—铭牌;2—吸湿器;3—油位计;4—储油柜;5—防爆管;
6—气体继电器;7—高压套管;8—低压套管;9—零线套管;
10—分接开关;11—油箱;12—温度计;13—接地螺钉;14—放油阀

(三) 油箱

油箱是变压器的外壳,变压器的绕组和铁芯装在油箱内,油箱内灌有变压器油。变压器油不仅增强了绝缘性能,还使变压器所产生的热量能及时散发,确保变压器铁芯和绕组的冷却。油箱上装有散热器,使油箱内部的变压器油能流通而冷却。小容量变压器散热器通常用钢管直接焊在油箱上,大容量变压器上、下各有一个集油器,组成散热器,有的还装有冷却专用风扇。

(四) 储油柜

储油柜也称为油枕,如图 1-2 所示。当变压器油的体积随着温度变化而膨胀或收缩时,储油柜内的油面就会上、下变化,储油柜起着储油及补油的作用,保证油箱内是充满油的。储油柜内应保持约占储油柜体积一半的油量,储油柜还能减少油与空气的接触面,防止油被过速氧化和受潮。一般储油柜油容积为变压器油箱的 $1/10$,储油柜上装有指示油面的玻璃管。

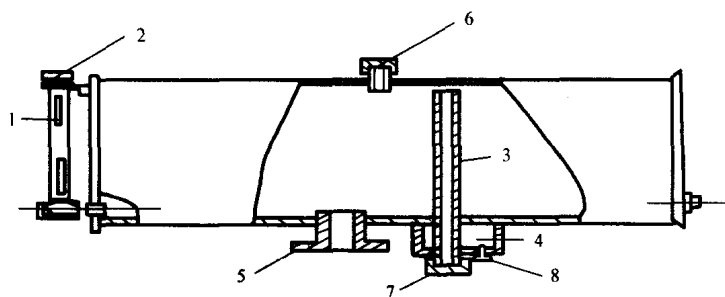


图 1-2 储油柜结构图

1—油位指示玻璃管;2—气孔;3—吸湿管;4—集污器;
5—与外壳连通的管头;6—添油用塞子;7—吸湿孔;8—水分放出螺孔

(五)吸湿器

吸湿器由一个铁罐和玻璃容器组成,在吸湿器内装有硅胶等有较强吸水作用的干燥剂,当储油柜内的空气通过吸湿器进出时,水分及杂质被干燥剂吸收,使油箱内的变压器油不至于受潮和氧化,使油保持良好的电气性能。

(六)气体继电器

气体继电器是变压器的主要保护装置,安装在油箱到储油柜的连接管上。当变压器内部发生局部的绝缘击穿、匝间短路等故障时,产生的气体向储油柜流动,聚集在气体继电器的上接点,接通信号触点,发出报警信号;而当变压器内部发生严重故障时,大量的油将流向气体继电器,冲击继电器挡板,从而接通了用于跳闸的下接点,能发出信号,迅速切断变压器电源,使故障不再扩大。当变压器油面下降至低于气体继电器时,也能及时发出报警信号。

(七)防爆管

防爆管是装在变压器顶盖上的喇叭形管子,它的一端与油箱相连,另一端的管口用玻璃或酚醛板膜片封住。其作用是当变压器内部发生故障时,油位升高,油剧烈分解产生大量气体,使变压器油箱内的压力突然增大,此时防爆口的玻璃膜片首先被冲破,气体和油即从防爆管口喷出,使油箱内压力减小,从而避免发生油箱爆炸或变形等设备事故。

(八)分接开关

分接开关是调整电压比的装置,其作用是保持电压的恒定而适时调节输出电压。分接开关可分为无励磁分接开关(曾称无载分接开关)和有载分接开关两种形式,双圈变压器的一次线圈和三圈变压器的一、二次线圈通常有3~5个分接头位置。它的中间分接头“2”(对于仅有3个分接头的分接开关)即是额定电压的位置,相邻分接头相差 $\pm 5\%$,多分头的

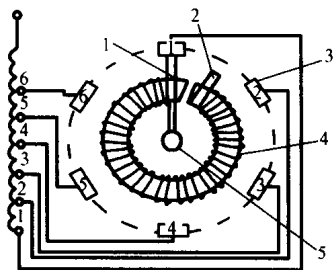


图 1-3 有载分接开关的电气连接

1—主触头;2—辅助触头;
3—定触头;4—过渡触头;5—转轴

的变压器相邻分头相差 $\pm 2.5\%$ 。无励磁分接开关在电网断开情况下进行调压,有载分接开关一般用专用电动机进行驱动,变压器在带负载运行的情况下即可进行分接调压。为提高供电的可靠性,有载分接开关已被广泛应用,其电气连接如图 1-3 所示。图中的辅助触头和过渡电阻的主要作用是使开关在调压时,电弧容易熄灭。

除了油浸式电力变压器,目前我国已生产一定容量的环氧树脂浇注干式变压器,由于此种变压器具有难燃、自熄、耐潮、机械强度高、体积小等特点,已被建筑、冶金、石油化工等各领域广泛应用。

(九)散热器

当变压器的上层油温与下层油温产生温差时,通过散热器形成油循环,使变压器油经过散热器冷却后流回油箱,起到降低变压器温度的作用。大容量变压器可根据容量不同,采用风冷、强油风冷和强油水冷等措施。

(十)高、低压绝缘套管

高、低压绝缘套管是变压器高、低压绕组的引线引到油箱外部的绝缘装置,大都采用瓷套管。它起着固定引线和对地绝缘的作用。

(十一)温度计

温度计用以测量和监察变压器内部的温度,一般由温包、毛细管和表头组成。温包放在油的上层,温包内的液体能随着油温的变化而使压力变化,从而测量变压器的温度。

第二节 电力变压器的运行

一、变压器的工作原理

变压器一次绕组的 A、X 接在额定电压的交流电源上,二次绕组 a、x 开路(即不接负载),这样的运行状态称为变压器的空载运行,即 $I_2 = 0$ 的运行情况。

(1) 感应电动势:图 1-4 所示是单相变压器空载运行原理图。在交流电源电压 U_1 的作用下,变压器一次绕组内便有一个交变电流流过,由于二次绕组是开路的,二次绕组中没有电流,即 $I_2 = 0$,这时一次绕组中的电流叫做空载电流,用 I_0 表示,电流 I_0 通过一次绕组并在一次绕组中产生交变的主磁通势,即 $I_0 N_1$ (N_1 是一次绕组匝数)。磁通势在铁芯内产生交变磁通,磁通通过铁芯构成闭合回路,这部分磁通叫做主磁通,以 ϕ 表示,它的方向与电流 I_0 的方向符合右手螺旋定则;另外有少部分磁通(不到总磁通的 1%)经过空气在一次绕组侧自行闭合,这部分磁通叫做漏磁通,以 $\phi_{\sigma 1}$ 表示。由于主磁通既穿过一次绕组又穿过二次绕组,根据电磁感应定律,主磁通 ϕ 在绕组内产生感应电动势 E_1 和 E_2 ,漏磁通 $\phi_{\sigma 1}$ 在一次绕组中产生漏磁感应

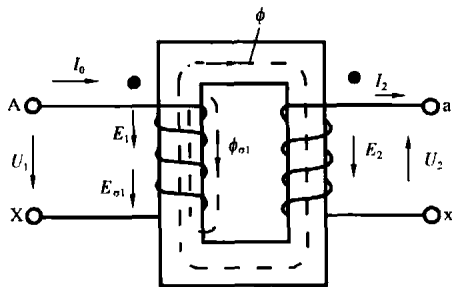


图 1-4 单相变压器空载运行原理图

电动势 $E_{\sigma 1}$ 。

(2) 感应电动势和磁通的关系: 变压器在空载运行时, 一次绕组的漏磁通 $\phi_{\sigma 1}$ 产生的损耗为铁耗。一次绕组的电阻 r_1 和空载电流 I_0 产生的损耗为铜耗, 由于漏磁电动势 $E_{\sigma 1}$ 和一次绕组电阻压降都很小 (一般不超过外加电压的 0.1% ~ 0.25%)。为简化起见, 可忽略这些因素, 因此, 变压器的空载损耗近似等于铁损 (可以通过空载试验测出), 故一次绕组的电动势平衡方程式为

$$U_1 = -E_1 \quad (1-1)$$

式(1-1)中表明: 当忽略电阻压降和漏磁影响时, 电源电压 U_1 和一次绕组中的感应电动势 E_1 是大小相等、方向相反的, 故常称 E_1 为反电动势。外加电压 U_1 、磁通 ϕ 、感应电动势 E_1 和 E_2 均为正弦交变量, 空载电流 I_0 也可视为正弦交变量。

忽略空载时的铜耗和铁耗, 空载电流 I_0 纯粹是为了建立主磁通 ϕ 的磁场, 故又称为励磁电流, 称它是无功电流 I_{0Q} 。空载电流 I_0 与它所产生的主磁通 ϕ 是同相位的, 因此, 一次绕组是一个电感电路, 所以电源电压 U_1 较空载电流 I_0 超前 90° , 也较磁通 ϕ 超前 90° ; E_1 、 E_2 与 U_1 方向相反, 故滞后于磁通 $\phi 90^\circ$ 。它们之间的关系可用图 1-5 的相量图和波形图来表示。

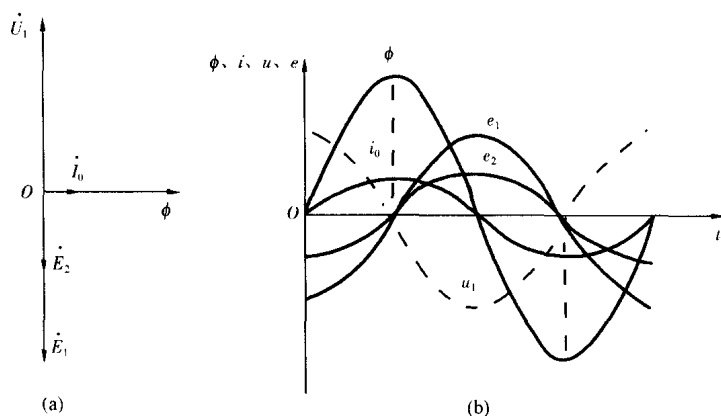


图 1-5 忽略阻抗压降和铁耗时变压器的空载电压、
电流、电动势和磁通的向量图和波形图

(a) 向量图; (b) 波形图

(3) 感应电动势的计算: 根据电磁感应定律, $e = -N\Delta\phi/\Delta t$, 感应电动势 e 的大小与磁通变化率 $\Delta\phi/\Delta t$ 及绕组的匝数 N 成正比, 其方向可由楞次