



A GUIDE
to
TRANSFORMER MAINTENANCE

变压器维护指南

(美) 变压器维护协会

S. D. Myers J. J. Kelly R. H. Parrish 编著

内 容 简 介

本书系美国变压器维护协会根据三十余年来在电力变压器维护和技术管理方面的实际经验和大量技术资料编纂而成，概括了北美地区电力变压器维护与管理的技术水平与实践。全书共十章。第一、二章叙述变压器原理和绝缘系统。第三、四、五章详述变压器绝缘油的试验和评价，以及变压器绝缘的现场试验。第六、七章和第十章论述变压器的维护、检修和技术管理。第八章讨论变电站中其他设备的维护问题（第九章阿斯卡列（PCB）变压器的维护，我国没有这种变压器，故略）。全书内容着重实用，强调变压器维护和管理对运行安全和变压器寿命的重要作用，适合电力部门和工厂动力部门从事变压器运行，检修、试验和油务的技术人员阅读。也可供其他有关变压器的专业人员和大专院校师生参考。

变 压 器 维 护 指 南

A Guide to Transformer Maintenance

美国变压器维护协会 编著
(1981年版)

翻译校对	文 闾 成	许 维 宗	肖 明 湘
	操 敦 奎	张 庆 潮	漆 振 侠
	彭 世 建		
审 定	张 育 英		
责任编辑	顾 振 沅	刘 锦 涛	

华 中 电 力 试 验 研 究 所
湖 北

序

有人说,变压器是输配电系统的“心脏”,它明确地表达了变压器在电力系统中的重要地位,以及人们对这一重要性的理解。提高变压器运行维护和技术管理水平,已成为保障供电可靠性的重要手段。对此,大家一直十分关注。事实上,自六十年代以来,我们已经积累了许多通过加强维护与技术管理来改善变压器运行状态的经验;当然,也得到了由于维护不当而遭致变压器损坏的若干教训。随着电力系统的迅速发展,变压器的数量急剧增多,容量和电压等级提高,维护量与技术难度也在加大,因而,对变压器运行维护方面的技术资料的渴求也愈加迫切。为此,我们组织翻译了这本《变压器维护指南》。

这本书系美国变压器维护协会总结三十余年来在变压器维护管理方面的经验和科研成果,并参考大量有关文献编纂而成,反映了变压器监督和维护技术的发展过程,在一定程度上还反映出工业发达国家当今的水平和实践,在北美颇受读者欢迎。相信奉献给读者的这本书也会对国内的同行有所裨益。

本书由华中、湖北电力试研所文闾成、许维宗、肖明湘、操敦奎同志翻译和校对,张庆潮、漆振侠、彭世建同志作了部分译校工作。全书由华中电管局副总工程师张育英同志审定。他们都为这本书的翻译与出版付出了辛勤的劳动。

霍继安

一九九一年八月七日

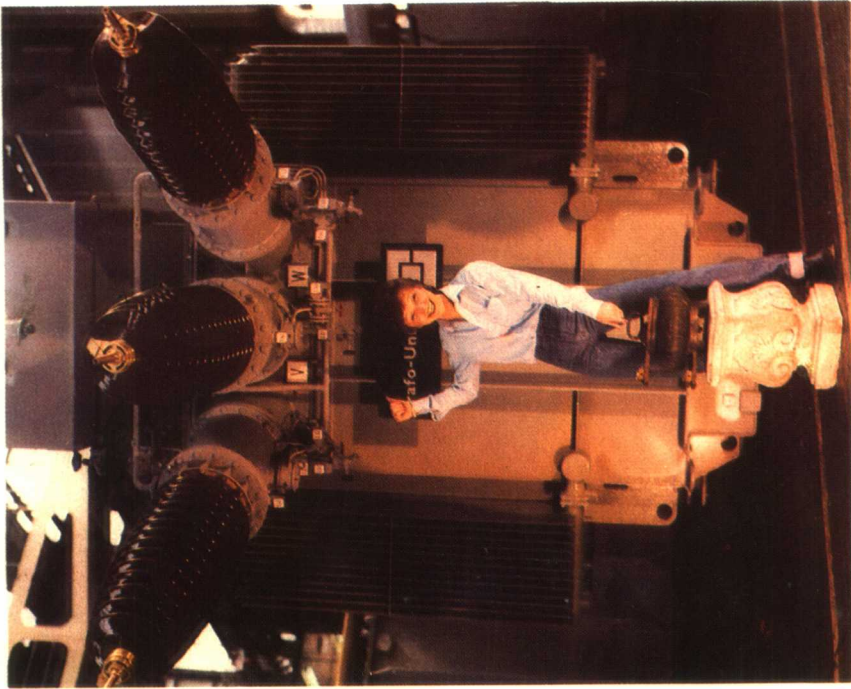


图1.11 变压器—输配电的核心部分。将一台大型变压器与1885年 Blathy Deri和Zipernowsky设计的第一台实用变压器(芯型、约1400 V A)对比。这三位工程师具有首次采用“变压器”这一术语的殊荣。

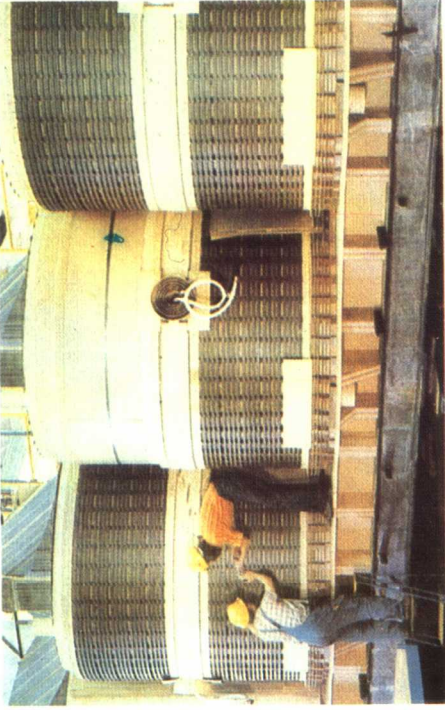


图1.19 变压器设计和构造。1020 MVA, 芯型电力变压器。

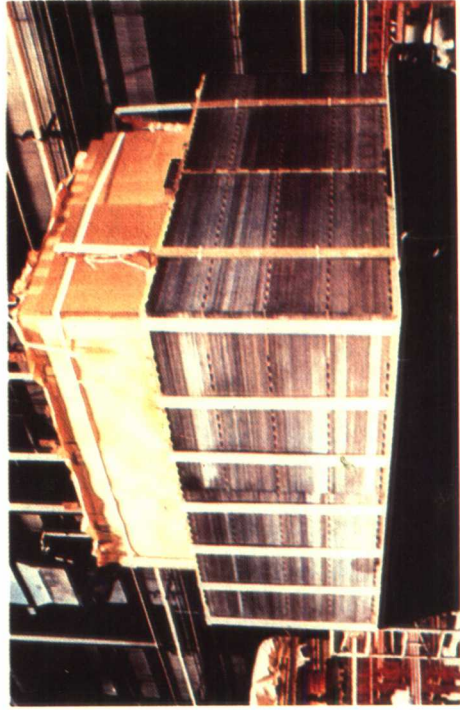
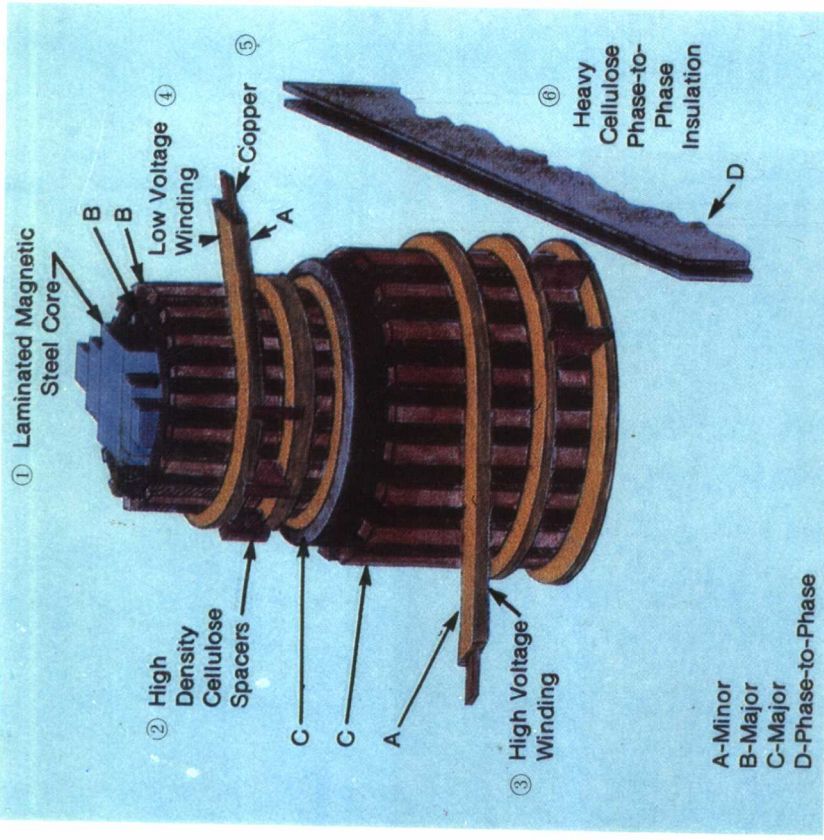


图1.21 变压器设计和构造。大型电力壳型变压器



①层压磁钢芯 ②高度质密纤维素隔层 ③高压绕组
④低压绕组 ⑤铜 ⑥相间加厚纤维素绝缘
A—辅助绝缘 B、C—主绝缘 D—相间绝缘
图1.15 变压器的核心，基本的油浸纤维素绝缘系统/芯型。

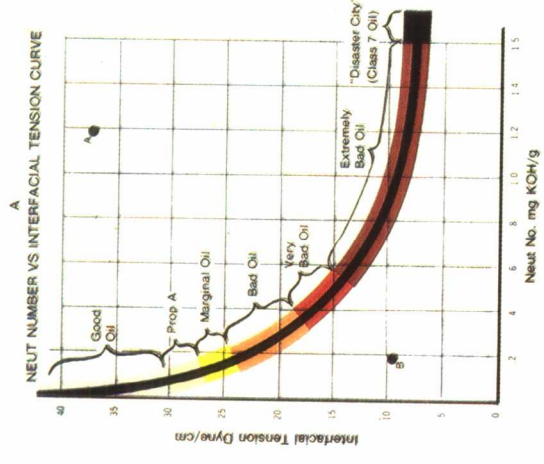


图3.11 变压器油试验数据的说明。(A) 变压器油试验中中和值或酸值与界面张力之关系的分类。几项独立的研究表明：随着中和值增高，通常界面张力降低；当一给定油样的试验结果未落到中线两侧范围内（如A点和B点）时，就需要进一步研究。
(B) 变压器油样的颜色分为7类。

变压器油色标 试验值与颜色的关系 油对变压器的影响
对变压器的影响

Color Classification	Acid (Neet.) No. mg KOH/g	Interfacial Tension Dynes./CM	NOTATION
好	0.03 to 0.10	30-45	1. Providing these functions are maintained. 2. Preserving insulation.
较好	0.05 to 0.10	27-29	Polar Compounds (sludges) in solution (Products of oil oxidation) causes the drop in IFT.
合格	0.11 to 0.15	24-27	Fatty Acids coat the windings. Sludges in solution ready for initial fall-out. Sludges in insulation voids highly probable.
劣	0.16 to 0.40	18-24	In almost 100% of the transformers in this range the windings are covered with core and coils. Sludges are first deposited in fin areas.
很劣	0.41 to 0.65	14-18	Dislodged sludges continue to oxidize and harden. In solution, dielectric is taking place. Premature failure a good possibility.
极劣	0.66 to 1.50	9-14	Sludges heavily coating fins. Such units causing higher operating temperatures.
第七类油	1.50 and higher	6-9	Vast quantities of sludges than Subcategory procedure.

表6.10 油绝缘变压器的基本维护实践权威威的变压器油颜色和类别图。

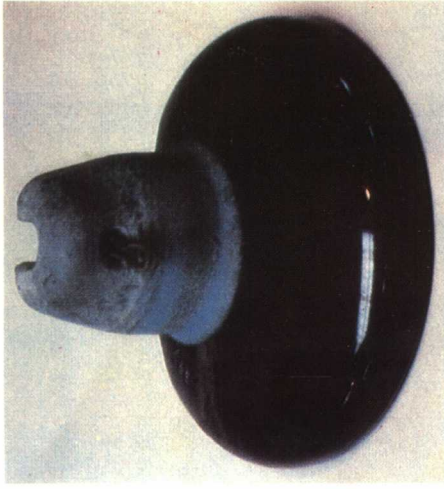


图8.20

变压器套管和有托脚的绝缘子的带电清洗。随着导电通路更明显，在这种针型绝缘子瓷表面发生末级闪络或飞弧。这种绝缘子前级的老化引起更高的电压应力，随后发生陶瓷破裂，继而供电中断。

- ① 提供这些功能：1. 有效的散热
- ② 保护绝缘
- ③ 极性化合物（油泥）溶解（油的氧化产物）造成界面张力降低。
- ④ 脂肪酸浸透绕组溶解的油泥，随时可能造成早期故障，绝缘中的油泥极可能排除。
- ⑤ 在该范围内100%数量的变压器有油泥沉积在铁芯和线圈上，油泥首先沉积在散热片上。
- ⑥ 沉积的油泥继续氧化变硬。绝缘发生收缩、变皱，发生早期故障的可能性很大。
- ⑦ 油泥使散热器绝缘，堵塞油路，使运行温度升高。
- ⑧ 大量的油泥可能需要另外的油泥清洗方法。

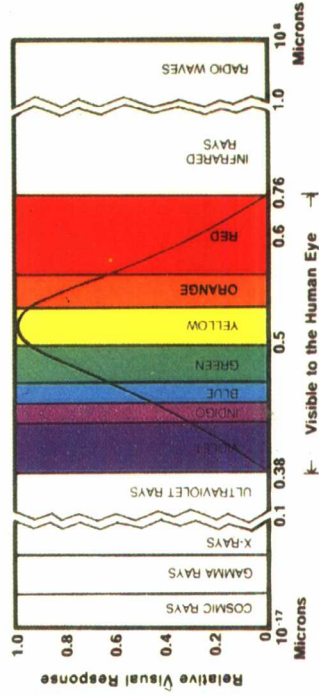


图8.31 电气系统的红外（IR）扫描，约在1805年发现此种红外电磁谱应归功于William Herschel。但是今天采用的红外技术是根据世界上许多科学家的先驱工作。该项技术的发展依靠物理学、光学、电子学和机械设计的专家们。



图8.8 设计的保护涂料。生锈变压器在喷砂清理之前进行可靠的预处理和涂底漆（在带电涂漆之前）。

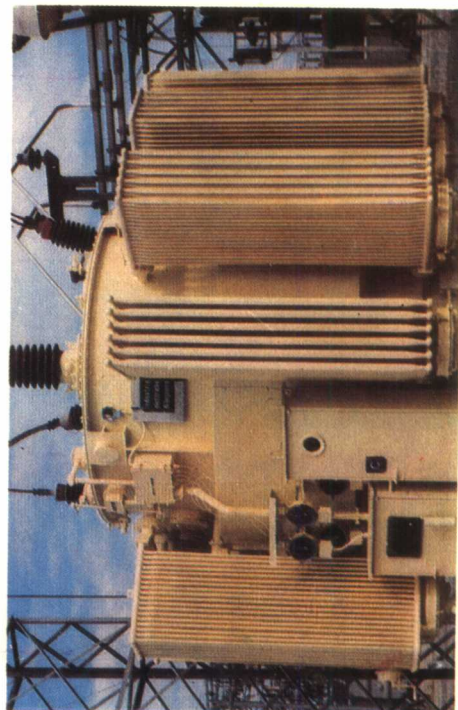


图8.14 设备的保护涂料。美国海军部规范一船用醇酸硅酮塑料清漆（带电涂漆之后）。



图10.4 如何实施维护程序，通过油中可燃气体分析进行的早期检测可防止这种电弧炉变压器退出运行。由于必须停止全部生产，所以这种工业设备不能关闭。已出现这样的情况，即用户已检测气体体积，而且在不可避免的故障之前，已幸运地有一台新变压器运抵现场。根据随后的目测可以发现，该变压器已发生一次绕组对地闪络；进一步观察发现，一次绕组上的绝缘隔板已完全烧坏。

目 录

第一章	变压器——输配电的心脏	
第一节	变压器发展和应用的历史回顾	(1)
第二节	变压器设计和结构	(4)
第三节	变压器寿命	(41)
第二章	绝缘系统——变压器的生命线	
第一节	绝缘介质概况	(51)
第二节	现代变压器油的特性	(57)
第三节	绝缘油变坏的原因	(69)
第四节	纤维素绝缘的寿命	(73)
第五节	纤维素绝缘的劲敌	(83)
第三章	变压器绝缘油的质量评价	
第一节	运行油 9 种可行的现场测试方法	(103)
第二节	变压器油试验数据的解释	(111)
第三节	绝缘油中含水量测试	(117)
第四章	油中气体分析法与其它方法的比较	
第五章	变压器绝缘的现场电气试验	
第一节	现场电气试验的目的	(149)
第二节	概 述	(150)
第三节	电气绝缘试验	(153)
第六章	油绝缘变压器的维护	
第一节	防止油的严重劣化	(168)
第二节	油绝缘变压器的预防性和预测性维护	(172)

第七章 油绝缘变压器的检修

- 第一节 总 则 (187)
- 第二节 变压器脱水 (198)
- 第三节 变压器的油处理——去污 (221)
- 第四节 变压器冷却系统的应用 (241)

第八章 变电站非计划停电的防止

- 第一节 开关和有关的设备 (254)
- 第二节 设备的保护涂层 (260)
- 第三节 变压器套管和变电站绝缘子的带电清洗 (271)
- 第四节 红外扫描技术 (282)

第九章 阿斯卡列(PCB)变压器的维护(略)

第十章 变压器维护方案的实施

- 第一节 对于维护的新观点 (289)
- 第二节 维护方案的开始 (290)
- 第三节 预防性维护方案的经济效益 (295)

第一章 变压器——输配电的心脏

第一节 变压器发展和应用的历史回顾

引言

随着电磁学的发展和第一个电池的发明,科学家们根据各种科学准则发明了许多电器,其中之一便是已成为电力工业基石的变压器。

今天,变压器技术仍在不断发展,以适应社会变化的需要。当今社会环境所能接受的变压器比过去任何时候更能无故障运行,满足可靠供电的要求。

有许多措施可延长变压器的寿命。保护性维护(包括采取防止性、预见性和改正性措施)则是关键。当然,对变压器基本知识的了解是很重要的。随着变压器技术的不断进步,本书无疑将会引起读者的兴趣。

变压器在当代经济中的作用

变压器在 1885 年进入商业应用使许多与电气工业有关的技术、经济问题获得解决。在变压器发明以前,电力输配是靠低压直流进行的。这就使电力只限于供给能用相对短的距离配电的集中有大量用户的城区。用直流供电时改变供电电压的花费高到使人不敢问津。这对新兴的电力工业的继续发展是一个明显的障碍。

交流电的发明为电力工业打开了一条光明之路,1886 年在麻省大巴灵顿(Great Barrington, Massachusetts)进行的使用第一台变压器的表演获得成功。

这至少使在最合适建设发电厂的地方发电,同时将电力经济地输送到百里之外的许多农村用户去成为可能。

今天,在美国大约有 3500 万台变压器在运行。它们在各个居民和工业用户区执行着升压和降压的任务,在现代化的社会中起到了独特的作用。实际上变压器是变电站的心藏。如果没有变压器日日夜夜的默默无闻的巧妙工作,现代社会是不会进入当今的电气革命时代的。

变压器的雏形

1831 年至 1832 年,历史上写下了电的辉煌的一页。两位物理学家,英国的法拉第和美国的亨利(Henry)独立地发现了将电磁学的两个基本定律结合在一起的电磁感应。这样,他们揭示了最初的变压器的概念——在一只铁芯上绕着两只线圈(主线圈和副线圈),合适安排其相互位置,使两线圈由互感耦合起来。

具有某一电压—电流比的电能可以变换为有另一电压—电流比的电能。因为电流流过环路导线时产生磁场。交流电流产生的磁场周期地增强、扩大而后减弱消失。随着电流改变方向而变化极性。当这种磁场切割导体时,便有电压产生。

法拉第发现流经绕在一块软铁上的线圈中的电流使软铁变成电磁铁,如果将此电磁铁放入另一只线圈中,接在此线圈两端的电流计发生偏转(图 1.1)。法拉第的器具(一只原始的脉

中变压器)证明了变压器的工作原理。

作为美国科学界的一名巨匠的派格(Page)发明了最原始的感应电动机和第一只自耦变压器。

现代供电系统的发展

1876年的几个重要事件促成了电力工业的诞生。在费拉德尔费亚(Philadelphia)举行的美国百年纪念展览会上展出了贝尔(Bell)的电话和两只直流发电机。同年在巴黎博览会上俄国工程师雅伯罗什科夫(Yablochkov)展示了一种用感应线圈分配电能的方法。1878年爱迪生发明了第一只实用的白炽灯和他的第一只发电机。1882年法国人高纳德(Gaulard)和英国人吉伯斯(Gibbs)的交流供电系统获得英国专利。他们用一种叫做“第二发电机”(变压器)的设备来升高和降低电压(图 1.2)(见插图页)。

匈牙利电气工程师,德利(Deri)、伯拉锡(Blathy)和济拍劳斯基(eipernowsky)认为高纳德—吉伯斯系统使用开口铁芯是一大缺陷。1885年他们对此作了改进,并首次使用了“变压器”这一名词(图 1.3)(见插图页)

德利等三人在 1885 年布达佩斯展览会上首次获得机会来展示他们的变压器,博得一位重要的美国人,铁路机车气动刹车的发明者威斯汀豪斯(Westinghouse)的重视。

威斯汀豪斯当即看到这一新设备和新系统的巨大潜力。他将几只“第二发电机”运至美国,进行电气和机械的重新设计。

随后,威斯汀豪斯购得高纳德—吉伯斯在美国的专利,并委派他的总工程师斯坦利(Stanley)进一步发展变压器。

斯坦利制造了变压器,还建立了一个交流供电系统。1886年3月20日的晚上,当那些150支烛光的灯泡大放光明时候,挤满了街道和商店的市民们发出了赞美的欢呼。

这一成功促使威斯汀豪斯和他的合伙者建立商业规模的交流供电系统。到1886年9月,从威斯汀豪斯发电厂经四英里线路至宾夕法尼亚的罗伦赛威尔(Lawrenceville, Pennsylvania)的交流系统建成了。同年11月,还建成至纽约巴伐罗(Buffalo)的交流系统。

直到受到直流系统的挑战以前,交流系统似有其供电经济的优点。交流系统的反对派中最有声势的是爱迪生和他的合作者,他们力争用法律手段来禁止“该死的”交流系统。

交流与直流之战

虽然交流系统显示了许多比直流系统更经济的优点。但仍然有两个缺陷——当时没有实用的交流电动机,使它仅限于照明;也没有测量交流用电量的表计。

威斯汀豪斯公司和斯坦利虽然在高速发展电力事业上作出了成绩。但在应该采用交流还是直流供电系统以满足美国电力需求的问题上他们受到了非议。

交流系统占优势

1886年开始的交流与直流之争到1888年达到高峰。1890年,爱迪生以纽约首次用交流电

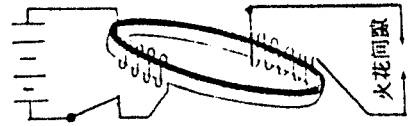


图 1.1 法拉第当时没有想到这个环形铁芯便是一只原始的变压器(1831年)

椅执行死刑作为交流电危险的例证,对威斯汀豪斯的交流系统发起了直接的攻击。威斯汀豪斯集团决定不理采一切论战。而集中力量去克服交流系统的两大缺点。

在这一开发工作中,美国教授汤姆逊(E. Thomson)利用交流电磁推力制作了第一台交流感应电动机。年轻的南斯拉夫科学家泰斯纳(N. Tesla)受聘于威斯汀豪斯。开始了改进交流系统的研究,包括对两个或多个交流电流的同时应用。这就是后来的多相系统。

另一个威斯汀豪斯的工程师赛伦伯格(O. Shallenberger)偶然地发现了后来作为测量交流电能量的基础的一条原理。

到上个世纪八十年代末,交流比直流占上风的形势已很明显。1894年关于用交流系统自尼亚加纳瀑布(Niagara Falls)向纽约巴伐罗供电(22哩)的决定,代表着十九世纪电力研究和开发的高水平,同时也实质上宣告了直流技术停滞不前的困境。

直流技术卷土重来

早期的直流输电在低电压下运行,故不能用于远距离传输,因为那样高的铜导线的造价是不可接受的。结果许多中心发电站不得不建在靠近用户的地方,而由此带来的后果是很高的房地产开支和为获得可靠的燃料和水源的开支。

除了这些早期发现的缺点以外,今天出现的高压直流(HVDC)系统则在某些场合是电力传输的经济的方法。到头来爱迪生还是没有错! 固态设备和光电技术使直流系统能高效率地远距离传输电能。美国的第一个高压直流系统于1977年投入运行。线路全长456哩,将电力从北达柯塔的孙特(Center, North Dakota)送至明尼苏达的多鲁斯(Duluth, Minnesota)。在受端用可控硅换流阀将直流变成交流,然后配电至工厂和居民。

从全世界建设的直流工程来看,直流输电当今处于增长的趋势(图1.4)

现已运行和正在建设的高压直流输电工程的电压从500kV至800kV(美国和苏联),输电距离达到1050哩(1700km,非洲扎伊尔)。较低的绝缘,较窄的线路走廊和较少的能量损耗是直流输电的明显的优点。

虽然直流系统被证明有其优越性,但主要是在输电方面,而交流系统在许多情况下,特别是对居民区配电来说,仍在继续显示其多方面的灵活性。

交流供电可以用变压器经济地升高和降低电压,因为变压器的效率很高(98~99.5%)。与此相反,对直流系统而言,无论是将直流低压变为直流高压传输,或将直流高压变为交流低压使用,都是不容易的。

交流系统的灵活性

工业部门广泛使用交流电证明了交流的实际灵活性。现今有95%以上的商业性电能是由交流供电的。但这并不是说用交流向工业和居民供电一定优于用直流。事实上,交流的主要优点是灵活性,可以转变为直流而立即加以使用。这种用法已由尼亚加拉瀑布电站所证明。该站用交流发电,随

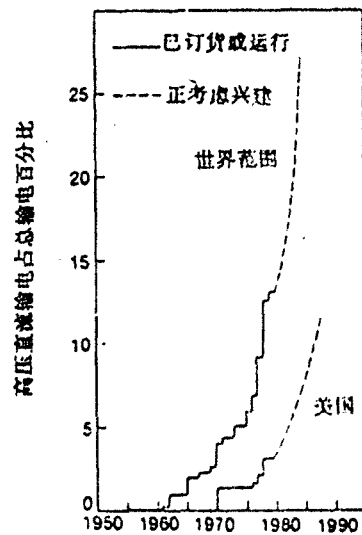


图1.4 美国和全世界的直流输电在日益增长

即变为直流供给周围的电化工厂使用。

交流电也能经济地远距离传输,因而可以实现由单个中心电站集中地大量发电,向一个相当大的地区供电。

总的来说,由于有了变压器,采用交流供电系统是经济的。美国国家标准协会/电机及电子工程师学会的标准 ANSI/IEEE Standard C57. 12. 80-1978 对变压器按大小、绝缘和使用地点进行分类。这种分类的典型总结见表 1.1

表 1.1 变 压 器 分 类¹

大小或用途	机械结构型式		绝缘和冷却介质					安装位置		
	芯式 (图 1.8)	壳式 (图 1.9)	干式(空 气或其他)	充液式		充液式 户内式	户外 全天候	往上 安装	地下 安装	
				油 ²	聚氯联苯					
电力(>500kVA)	X ²	X	X	X ²	X	X	X	X ²	—	X
配电(<500kVA)	X	—	X	X ²	X	X ²	X	—	X ²	X
特 殊 用 途										
仪用互感器	X	—	X	X ²	—	X	X ²	X	—	—
电弧炉	X ²	X	—	X	—	—	X	—	—	X
整流器	X	—	X	X	—	—	X ²	X	—	X
铁道机车	X	—	—	—	X	—	—	X	—	—
煤矿	X	—	X ²	—	X	—	—	—	—	X
地下配电(网络、公路等)	X	—	X	—	X ²	—	—	—	—	X

注 1. ANSI/IEEE 标准 C57. 12. 80—1978. 第 8 页。表中打 X 者为该栏适用于某种用途的变压器。

2. 大多数变压器属此种类型。

3. 按油的储存方式又有另一种分类法。

第二节 变压器设计和结构

引 言

变压器定义为由两个或多个相互耦合的绕组组成的静止电器。它根据电磁感应在同样频率的回路之间传输功率,但通常回路的电压和电流有所改变(升高或降低)。既然变压器是静止电器,习惯上就认为它没有可动部件。这不是事实。应该说变压器是没有运动功能部件的电气设备。而当带电时它是在不断运动的。所谓静止的绕组在运行中发生短路时可以移动 3 英寸之多。

变压器靠不断改变磁场来传输电力,导线是静止的而磁场在改变。铁芯交变磁化是由 60Hz(译注:美国采用 60Hz,下同)的交流电建立起来的。由此造成 120Hz 的机械振动。正常负荷周期性变化,以及热;负荷和电压/电流功率的冲击,都对整个结构的机械振动起主要作用(材料的膨胀和收缩)。

所幸者是认为变压器的部件静止不动因而不需要维护和注意的日子已经过去了。

变压器的主要部件

变压器由三个基本部件组成(图 1.5)。即一次绕组、二次绕组和铁芯

铁芯是带有夹件的磁回路,磁场在其中变化。

铁芯由高质量的硅钢片制成,典型的硅钢片厚 0.014 英寸(0.3mm)。硅钢片叠成宽数英寸的叠片。铁芯叠片帮助减少涡流和铁制零件中的感应电流。每一铁片上涂有绝缘材料,帮助减少铁磁损失和发热损失。

一次和二次绕组都带有压紧装置。较大的变压器的线圈多采用铜线制造。较小的变压器的二次线圈有的采用铝片绕成。采用电阻低、导电好的铜和铝使线圈中电流的发热控制到最小。两个绕组相互绝缘,绕在公共的铁芯上。

其他重要部件有:

• 油箱——内装变压器芯体和冷却剂。油箱同时又作为将热量散发至周围空间的冷却表面。

• 套管——带有支座的从绕组出来的引线或抽头。通常用瓷套管。最新绝缘子材料是合成树脂和硅,叫做 Polysil。套管内部绝缘物是油、纸、环氧树脂或玻璃纤维。套管的作用是将一次或二次绕组对油箱绝缘。

• 冷却剂或冷却装置——空气,其他气体,油或合成液体都可以采用。

图 1.6 说明电力变压器的这六种主要部件。此外,变压器还应有以下重要部件:

- 绕组和铁芯的固体绝缘材料
- 分头和分头切换装置
- 保护机构,回路开关和保护继电器
- 其他辅助设备

最后指出,液体冷却剂和固体绝缘材料组成了一个“绝缘系统”。基于我们的现场经验和各方面的观点,变压器的寿命主要取决于这一绝缘系统的寿命。这种观点没有受到应有的重视,虽然它对液体绝缘系统和干式绝缘系统都是正确的。

在以后各章里,我们将提到下列制造变压器的材料:

• 铜 • 铝 • 铁 • 黄铜 • 木材(枫木) • 牛皮纸 • 硬纸板 • 矿物油 • 硬化纤维 • 树脂 • 瓷 • 水泥 • 聚合物涂料 • 带 • 玻璃丝布 • 线 • 密封材料 • 内层油漆

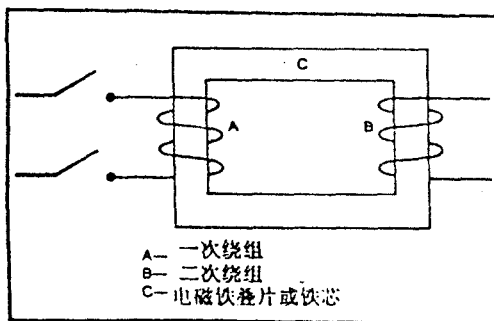


图 1.5 变压器的基本元件

基本设计程序

变压器的具体用途通常决定了变压器的结构。现今的变压器设计,有的使用计算机,有的不用。新型变压器都是按用户规范要求用计算机辅助设计的。然而变压器仍保持着一些老式的特点,因为变压器中,特别是大型变压器中有许多是手工做的。事实上,电力变压器的标准化程度很低。大多数变压器是根据规范书按每一用户要求设计的。这一因素影响到造价,更重要

的是影响交货期拖长到一至两年。因此，光是这时间拖延就足以促使变压器的所有者好好维护现在正运行的变压器。虽然改制变压器的时间较短，但改制费用是新购费用的一个很高的百分数。大多数变压器用户再也买不起备用单元，即使是用于十分重要的地方。现代化的设计，包括计算机辅助设计，牵涉到多方面的因素，必须从了解变压器结构材料的特性着手。

变压器设计者首先必须具备的基本资料是：

1. 用户的规范

重要的内容包括一次侧电源系统、二次侧负荷、需要的保护装置、环境、场地、造价和效率的考虑。

除了传统的环境方面的指标，如海拔高度、风速、环境温度和大气条件以外，最高噪声(可听声、无线电和电视噪声)水平是许多使用场合中日益重要的指标。

2. 设计者的规范

这些规范是制造厂的实用规程，或关于某种具体设计的国内、国际标准。在这些资料中设计者必须考虑的是：

- 线圈相对于铁芯的安排
- 组件设计的型式
- 选定的组件材料的型式
- 最高允许损耗
- 绝缘材料距离和厚度
- 耐受短路、冲击和操作波的水平

一旦收到定货单，温升、阻抗、空载损耗和短路强度等数据将成为保证值。

3. 设计者必须遵守的变压器选择和结构要求的重要标准：

a. 美国标准(ANSI/IEEE)

1) C57. 12. 00. —1980

 配电、电力和调压变压器的一般要求

2) C57. 12. 01. —1979

 干式配电和电力变压器的一般要求

3) C57. 12. 10. —1977

 230kV 及以下变压器的要求

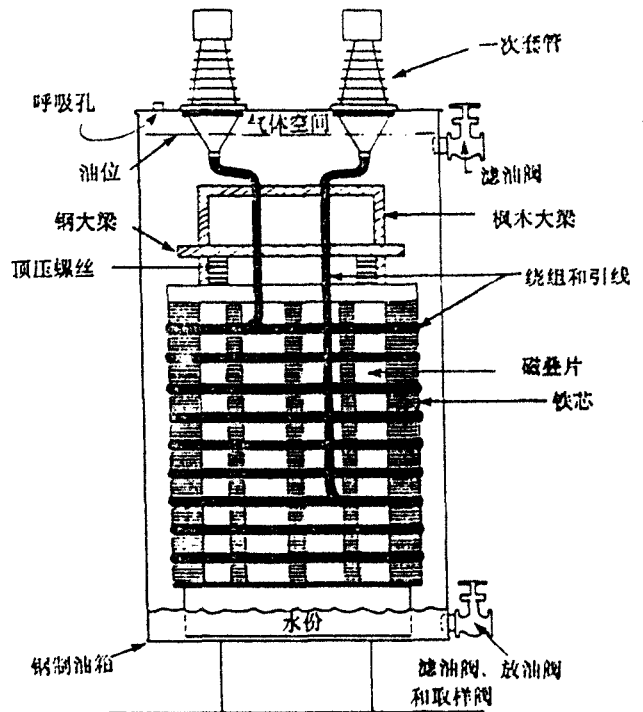


图 1.6 变压器主要部件的图示

4)C57. 97—1971

带或不带有载调压大型电力变压器规范的制订

5)C57. 17—1971

电弧炉变压器要求

6)ANSI C2

国家电气(安全)规程, 1981 版

7)C57. 12. 20—1971

138kV 及以下有载调压变压器要求

8)ASTM D—3487

电气设备用矿物油标准规范

b. 国际标准(IEC)

1)IEC 76, 电力变压器(1967)

2)英国标准 B. S. 与 IEC76 相同

3)IEC296, 变压器和开关设备用新绝缘油规范

4. 变压器设计的目标

电气设计师在造价和效益两方面寻求满意的折衷, 但往往难于作出决定。举例说, 计算机标准化设计是今天配电变压器造价相对低的主要原因。用计算机作标准化设计要求制造厂家制订出统一的铁芯损耗、阻抗值、温升和短路强度标准, 适合多数用户的要求。但是, 美国不同地区(如西部和中西部)的能源价格和负荷条件的不同, 导致对同一等级的变压器取不同的铁损水平。显然, 能耗费用较低虽能获得利益, 却带来设备和装置费用的增加。这种局面将在今后若干年内使变压器设计师和用户感到左右为难。带着这个问题(费用与效益)下面将对变压器过去和现在的设计实践。

变压器的基本原理

变压器的基本设计要求

图 1.7(A)说明这些基本要求:

N—非磁性金属, 例如铜或铝的导体的匝

数

I—电流, A

E—电压, V

Φ —由安匝(NI)产生的磁通或磁力线

M—磁力线运动

变压器的基本关系式

当交流电压 E_1 加在图 1.7A 原方绕组上时, 激磁电流 I_1 将流过绕组, 产生磁通为 Φ (磁力线)的交变磁场。

磁通 Φ 总是沿着磁阻最小的路径流过。它

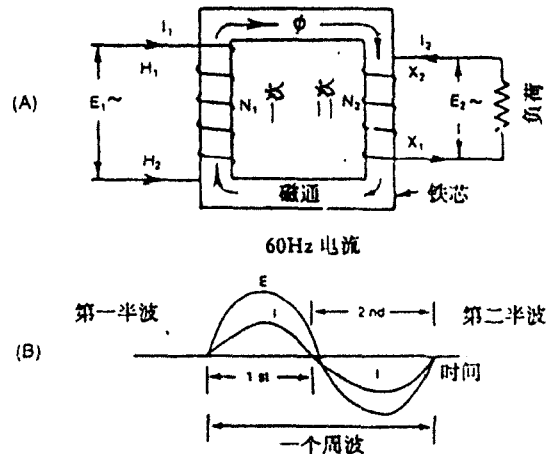


图 1.7(A)一只简单变压器的要素,

(B)在每秒 60 赫系统中, 每个周波发两次换向, 结果, 产生电压。