



中国建筑 电气设备 手册 (年刊)

2000 年版

中国建筑工业出版社

**Handbook For Selecting
Electrical Equipment in
Electrical Installations of
Buildings**

**(Yearly Publication)
First Publication 2000**

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

TU85-62

L72

中国建筑电气设备手册
Handbook for selecting
electrical equipment in
electrical installations of buildings

(年刊)
(yearly publication)

2000 年版

First publication 2000

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

图书在版编目(CIP)数据

中国建筑电气设备手册:年刊:2000年版/《中国建筑电气设备手册》编委会编. —北京:中国建筑工业出版社,2000

ISBN 7-112-04164-3

I. 中… II. 中… III. 建筑工程-电气设备-技术手册 IV. TU6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 14806 号

本书以年刊的形式,将建筑电气产品分为十三个大类,并分别介绍各类产品的特点、技术数据、选用导则、国内外生产厂家产品的详细介绍等,同时还介绍了每年通过鉴定的各类合格电气产品和已淘汰的产品型号及标准等信息。本书具有实用性、先进性、权威性和系统全面的特点,是广大建筑电气设计、施工人员,以及房地产开发和生产厂家技术人员必备的工具书。

中国建筑电气设备手册

(年刊)

2000 年版

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/16 印张:43 插页:1 字数:1097 千字

2000 年 4 月第一版 2000 年 4 月第一次印刷

定价:70.00 元

ISBN 7-112-04164-3

TU·3281(9640)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第一章 城市电网中的新型配电变压器

第一节 现代电网对配电变压器的要求

现代化电力系统随着经济发展的需要其规模越来越大,已发展到跨地区或跨国的规模,随着电力系统规模的扩大,电力系统的容量必将随之加大。大容量的电力系统中必然有许多座大容量的发电厂供应电能。发电厂的建设限于资源的地理位置,如水利资源的枢纽工程、煤矿等;或限于环境保护的要求,如核能电站,因而发电厂的位置一般都远离人口密集的城市负荷区(除城市供热的发电厂),电能由发电厂送至负荷区需要传输。目前发电机受结构的限制,发电电压不可能过高,从输送大容量电能的经济和技术因素考虑,传输电能需要升高电压,即高压输电。电能输送到负荷区(工业区或生活区),根据负荷分布、负荷性质的不同,所需的电压各不相同,因此,高压电能要降压为不同电压等级的配电电压,来满足负荷的需要。电力系统中电压的升或降都需用变压器来完成,所以说变压器是电力系统中最重要的设备之一。

从 19 世纪末,电从发明到应用的发展过程中变压器制造技术也得到了发展,如今从品种上变压器类产品已达数十种;从容量上电力变压器容量可达百万千伏安;从技术性能上其经济技术指标也有了明显的提高,至今变压器制造技术仍在不断进步提高。

近年来,我国变压器生产发展迅速,品种产量均有增加,据有关部门对全国 30 家主要变压器生产企业 1998 年统计,变压器总产量台数比 1997 年增长了 20.43%,容量比 1997 年增长了 10.1%,其中 500kV、330kV 超高压大型变压器产量台数增长了 1 倍以上,在配电变压器领域里树脂绝缘干式变压器的台数和容量均比 1997 年增长了 80% 左右,由于全国城市电网改造,中压配电系统配电方式的改革,箱式变电站发展更为突出,其台数和容量比 1997 年均增加了 4 倍以上。随着产量的增加,变压器的质量水平也相应提高,变压器生产企业在变压器生产过程中除了不断地改进产品结构设计外,还抓住了生产工装设备、原材料、人员素质三项影响产品质量的重要因素,如引进先进的生产线、提高生产自动化水平,选用优质的硅钢合金片和铜材、树脂等优质材料,引进高科技人才充实生产第一线。同时,相应地加强产品质量管理,大多数变压器生产企业取得了质量保证体系认证。综合上述各项因素的实施,为提高变压器产品质量有了可靠的保证。

21 世纪即将到来,新的世纪电力系统特别是城市配电系统将会遇到新挑战和新要求,相信到 21 世纪会有更多的新技术来推动城市电网配电系统新技术,同时,各项新技术的发展也必然对城市电网配电系统提出新的要求,其中最主要的是供电质量和供电可靠性。对于城市电网配电系统的主要设备——电力变压器,必须适应这一新的形势,采用新技术,提高质量,满足城市电网配电系统的需要。

现代城市电网配电系统对电力变压器的要求除基本技术性能外,还要有较高的安全可靠性能,针对现代化城市的特点,还需要满足防灾害、环境保护、节约能源等各方面的要求。

首先,在提高安全可靠性能方面采取了改进变压器的结构设计、选用优质原材料和先进的制造工艺等措施。如采用密封式油箱,国外变压器生产早已采用,我国在中、小型配电变压器生产中也已得到推广。密封式油箱隔绝了绝缘油与空气的接触,空气中的水分和氧气等杂质不能和油发生化学作用而使油变质,即保证了油的耐压水平不致降低,也防止了油中的水分增加后使固体绝缘物受到影响,从而保持了绝缘水平。密封式油箱变压器采用真空注油法,这样排除了变压器芯间的空气,消除了油中气泡,使变压器内部材料得到更好的浸透,提高绝缘强度和局部放电水平。为保证变压器运行中因负荷和气温变化引起油的热胀冷缩作用,中、小型配电变压器的油箱采用了波纹型油箱。国外的密封式变压器已用焊接式密封,我国目前仍以螺栓式密封为主。密封式变压器可以大大地减少了运行维护工作量,提高了可靠性。中压配电变压器的二次侧绕组采用箔式绕组,可以提高抗短路应力水平。其他在绕组上增加油道,选用优质绝缘材料和适当降低绕组导线的电流密度等,均对提高变压器安全可靠性能方面起到了一定的作用。

其次,满足城市防灾性能需要,提高变压器抗灾能力。随着城市现代化建设进程及对城市防灾体系的要求日趋提高,要求电气设备要满足城市总体防灾要求,如防火灾、防地震及其他自然灾害等。城市内的变压器从节约占地和市容考虑,要逐步转为室内安装,对变压器一方面要求提高产品本身质量,另外还要采取提高抗灾能力的措施。按防火灾要求安装在室内或易燃易爆等特殊环境中的电气设备要实现无油化。如对中、小型变压器可采用干式变压器、气体绝缘变压器、使用高燃点的人工合成绝缘油代替矿物性绝缘油,或设置健全的消防灭火设备系统等措施。

第三,要满足环境保护的要求。城市环境保护是城市建设中的重点课题,随着城市电力负荷的增长,城市电网建设相应配套,需要在城市高电力负荷密度的商业区和生活区增设超高压、大容量的变电所。要求这些变电所的变压器产生的噪声要符合国家标准 GB 3096-82《城市区域环境噪声标准》的规定。城市变电所的噪声源主要来自变压器的铁芯和冷却系统。因此,一方面要求变压器在制造上要选用优质硅合金材料,还要采用新型的结构及先进的工装设备,生产低噪声铁芯,另外,要保证变压器有合理的运行方式,正常情况下不应超负荷运行,同时改进变压器室的设计,增加变压器室进风口与出风口的高度差,尽量增大进风口的有效面积,从而提高变压器自然冷却能力,尽量不用或少用风扇冷却系统(大型变压器风扇冷却系统产生噪声的强度要大大高于变压器铁芯产生噪声的强度),必要时要考虑隔声设施。

对油浸式变压器要严格油务管理,特别是污油排放管理。在变电所的设计和运行方面都要采取措施,防止将变压器油排放到污水道或雨水道内,或使变压器油自然排放而渗透到土壤中。

第四,要满足节约能源的要求。节约能源是我国经济建设中的重大政策,是满足可持续发展的战略方针,必须给予足够的重视。近年来,变压器的节能技术得到了很大发展。在变压器制造上改进结构设计,适当降低铁芯的磁通密度,合理确定铁芯的尺寸,改进铁芯叠片

方式。选用高导磁率,超薄型晶粒取向硅钢片减少硅钢片的磁滞伸缩量。采用先进的铁芯硅钢片的自动剪切生产线,保证剪切精度等措施,可以大大地降低变压器的空载损耗。如铁芯材料采用铁基非晶态合金,则空载损耗更可大幅度降低。为降低变压器负载损耗,变压器绕组采用优质铜导线,适当减小电流密度、增加导线截面积。在变压器运行中选用合理的经济运行方式,使其保持在高效率区域运行。

采用低损耗型的设备会增加初次投资,为此,在变电所的建设中要进行经济分析,要结合变电所的性质、变压器运行方式等条件,对变电所的初投资、使用年限及运行费用进行经济效益分析,得出合理的设计方案,取得最大投资效益比。

21 世纪是高科技的世纪,21 世纪将会遇到新的挑战和新要求,我们相信到 21 世纪在更多的高新技术推动下,变压器制造技术会有更可喜的进步。

第二节 新型配电变压器

—

变压器是电力网的主要设备。城市电网中的中压配电变压器更具有分布广、数量大的特点。随着国民经济的高速度发展和科学技术水平的不断提高,要求城市电网要建成现代化的城市电网,以适应发展形势的需要。建设现代化的城市电网需要现代化的、新型的电网设备。

现代化的电网设备应坚持科技进步、安全可靠和节能的原则,力求减少占地和建筑面积,降低工程造价,实现城市电网设备小型化、无油化、自动化、免维护或少维修,满足环境保护要求。

根据上述原则,现代城市电网对配电变压器的要求,除满足基本工作性能、质量及安全可靠外,针对现代化城市的特点,还需要满足防灾、环境保护和节约能源等要求。

(一) 防灾性能

随着城市现代化建设进程及对城市防灾体系的要求日趋提高,如:防火灾、防地震及其他自然灾害等,电气设备应满足城市总体防灾要求。按城市建设市容的要求,城市内的配电变压器逐步转为室内安装,为此,对变压器一方面要求提高产品本身质量,提高可靠性,还要求采取各种措施提高其抗灾能力,如采用干式变压器、使用人工合成高燃点的绝缘油代替矿物性绝缘油、健全变(配)电室的消防灭火系统等措施。

(二) 满足环境保护要求

环境保护是城市建设中的重点课题。随着城市的发展,城市的电力负荷不断增长,需要城市电网建设相应配套,配电设备的分布密度要与负荷密度同步增加,而这些变配电设备一般都建在城市的商业区或生活区,因此,便要求这些变配电设施产生的噪声要符合(GB 3096)《城市区域环境噪声标准》的规定。由于变配电所的噪声源主要为变压器的铁芯和冷却系统,为了减小变压器噪声就要不断提高变压器制造水平,选用优质材料、确定合理的运行方式、改进冷却方式等一系列措施。为保护生态环境,还要严格变压器污油的排放管理,

采取措施防止变压器油排放到污水道或雨水道内或自然排放到土壤中。

(三) 满足节能的要求

节约能源是我国经济建设中的重大政策之一,关系到可持续发展战略方针,必须给予足够的重视。对变压器来说节能的主要内容就是降低能量损耗、提高效率。近年来,变压器的节能技术得到了很大发展。如在变压器设计方面合理选型计算;在制造方面选用优质新型的铁芯材料、改进结构;在运行中确立合理的经济运行方式等措施,达到降低损耗、节约能源的效果。另外,在考虑节约能源的技术措施的同时,还应对变配电设备的初投资、使用年限及运行费用,计算其投资效益比,得到合理的方案。

二

目前,城网应用的新型配电变压器介绍如下:

(一) S_9 系列普通油浸式配电变压器

配电变压器一般是指 6~35kV 配电网的变压器,是电力网送到用户最后一级的变压器,是电网中数量最大的变压器群。1998 年全国生产各类电力变压器约 80000 台,1.4 亿 kVA,其中配电变压器就达 60000 多台。1980 年以前生产的配电变压器为 SJ、SJL、SL 等系列,沿用旧的设计属于高能耗产品。1980 年以后,改进了铁芯材料,开发了 S_7 系列变压器,虽然其效率有所提高,但能量损耗仍然较高,特别是负载损耗。80 年代中期参照国际先进的损耗水平,组织全国统一设计开发了 S_9 系列配电变压器。 S_9 系列配电变压器的设计首先是改变了设计观念、以增加有效材料用量来实现降低损耗,主要增加铁芯截面积降低磁通密度和高低压绕组均使用铜导线,并加大导线截面积降低绕组电流密度,从而降低了空载损耗和负载损耗,与 S_7 系列变压器比较,空载损耗平均降低 10%,负载损耗平均降低 25%。为了节约能源、推广新技术产品,国家已于 1998 年 3 月明令在 1998 年底停止生产和淘汰 S_7 和 SL_7 系列产品,推荐 S_9 系列为更新替代产品。

S_9 系列配电变压器由于增加了有效材料用量,因此产品价格比同容量 S_7 系列产品平均要高 20% 左右。但从长远观点分析,用投资价差回收年限法计算,用两种变压器初投资价差与两种变压器年损耗电费价差相比,便可发现一般运行 3 年左右即可收回多付出的投资。1983 年原国家计委节能局在《关于节约能源基本建设项目可行性研究的暂行规定》中规定,计算回收年限一般不应超过 5 年,最长不超过 7 年。按变压器平均使用年限 20 年计算,当收回投资后,比较年运行费用, S_9 系列变压器比 S_7 系列变压器有着明显的经济效益。

由于 S_9 系列变压器与降低空载损耗的同时降低了负载损耗,而变压器负载损耗实际发生值是与负载率平方成正比的,所以在计算回收年限时,还应考虑运行负载率的因素。参照美国全国电气制造商协会(NEMA)制订的《确定高能效配电变压器导则》(TP1—1996 标准出版物)中的总拥有费用法(TOC 法)计算,变压器负载率越高,多投资的回收年限越短,特别是二班制或三班制生产的工厂企业效果更为明显。计算发现一班制作业,负载率低于 50% 时,回收年限将超过国家计委 1983 年的规定范围,但从变压器使用年限 20 年来看,经济效益还是明显的。 S_9 系列配电变压器主要技术数据见表 1-1。

表 1-1

本系列采用铜导线线圈和 DQ147-30 冷轧取向电工钢片, 高压侧无励磁调压分接开关, 调压范围 $\pm 5\%$, 温升标准: 线圈 65°C , 油顶层 55°C

额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标号、	阻抗电 压 (%)	损 耗 (W)		每匝电压 (V)	重 量 (kg)			油箱内部尺寸 长×宽×高 (mm)	散 热 面 积 (m ²)
	高 压	低 压			空 载	负 载		总 重	油 重	器身重		
30	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	120	600 575 585	2.31	340	90	165	390×300×610	1.596
50	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	155	855 850 865	2.9233	455	100	260	470×300×660	2.07
63	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	190	1030 990 1020	3.3	505	115	280	470×320×680	2.5
80	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	230	1250 1175 1215	3.85	590	130	340	500×330×705	2.912
100	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	280	1485 1405 1445	4.3574	650	140	380	510×340×730	3.56
125	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	320	1735 1725 1680	4.7142	790	175	440	890×340×760	4.322
160	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	390	2075 2040 2010	5.5	930	195	530	920×360×790	4.993
200	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	460	2495 2450 2355	6.243	1045	215	605	950×370×820	5.814
250	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	535	2945 2895 2880	7	1245	255	730	990×390×880	7.01
315	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	650	3420 3420 3265	7.9655	1430	280	855	1040×400×910	8.224
400	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	775	4195 4095 4055	8.8846	1645	320	1010	1080×420×970	10.078
500	10 6.3 6.0	0.4	Yyn0	4	945	4980 4940 4895	10.043	1890	360	1155	1110×440×1010	12.256

续表

额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	损耗 (W)		每匝电压 (V)	重量 (kg)			油箱内部尺寸 长×宽×高 (mm)	散热 面积 (m ²)
	高压	低压			空载	负载		总重	油重	器身重		
630	10		Yyn0	4.5		5950	11				1280×520×1235	14.818
	6.3	0.4			1145	5840		2825	605	1720		
	6.0					5970						
800	10		Yyn0	4.5		7195	12.158				1300×540×1315	17.94
	6.3	0.4			1340	7095		3215	680	1965		
	6.0					7075						
1000	10		Yyn0	4.5		9955	13.588				1370×550×1470	23.95
	6.3	0.4			1675	9750		3945	870	2180		
	6.0					9975						
1250	10		Yyn0	4.5		11665	14.438				1400×570×1600	28.01
	6.3	0.4			1800	11610		4650	980	2615		
	6.0					11240						
1600	10		Yyn0	4.5		13975	16.5				1440×610×1670	33.06
	6.3	0.4			2320	13915		5205	1115	2960		
	6.0					13875						

(二) 全密封型配电变压器

自 60 年代美国为了提高充油型互感器的可靠性,首创了全密封结构,获得了成功。70 年代初开始,一些国家相继研究全密封型变压器并逐步形成系列化生产。如:德国变压器联合公司(TU)将高压电压为 6~36kV,容量在 250~2500kVA 的配电变压器,全部设计为全密封型。前苏联 70 年代便制订了全密封电力变压器国家标准,应用于高压电压为 10kV,额定容量 250~2500kVA 的配电变压器。法国 CEM 变压器公司将高压电压为 23kV 及以下,容量在 800~5000kVA 的配电变压器,设计为全密封型。其他国家如比利时、日本、加拿大、美国等都在生产全密封型变压器。国外有些厂家已把全密封型变压器应用于超高压、容量的主变压器。我国自 80 年代后期开始研制全密封型配电变压器,在《变压器行业科技发展规划》报告中,提出了中、小型配电变压器要推广全密封型结构,实现免维修,并将逐步取代普通型的配电变压器。目前,全密封型配电变压器在公用配电系统已得到普遍应用。

从运行中的变压器发生故障的原因分析,由于绝缘部件故障引起的变压器故障,是故障的主要原因。

油浸变压器的内绝缘结构材料主要是变压器油和绝缘纸,油隔板的介电常数一般是油介电常数的两倍左右,主绝缘所承受的电压 90% 左右是由绝缘油所承担,因此变压器油的耐电强度起着关键作用。纯净的变压器油理论耐电强度约为 400kV/mm,净化后的工程变压器油的耐电强度约为 20~25kV/mm。但在实际运行中由于油与空气的直接接触,空气中的氧使油逐渐氧化,变压器运行温度的升高使变压器油与空气中的水分接触后,部分水分进入油中,使油的含水量增加,氧化后的油和油中水分的作用使油的酸值升高。绝缘油酸值

的增高具有一定的腐蚀作用,损坏变压器的内部结构。油中的含水量增加,降低了油的纯度,导致绝缘油的击穿电压降低。

由于绝缘物内纤维素和纤维结构的水解特性,积累在纤维素链间的水分子促进了它们的热裂解,在纤维素热——动裂解以及油老化期间都会生成水,这些水又会引起纤维素链的进一步分解,水连续地引起新分子分裂,被分离的一些分子会转变成其他的物质,它们在油中形成酸或低分子淤垢,沉集或附着在绕组和铁芯上,形成了一层薄膜,严重地影响散热,而使局部温度升高,氧化速度加快,极易引起热击穿。空气和水中的氧也是影响油——纤维素绝缘老化的一个因素。油分子的氧化作用在一定程度上也与纤维素分子结合。油在氧化作用下,产生的氧化物主要是酸、淤垢、水、二氧化碳和一氧化碳,这些氧化物的生成都加速了油的老化进程。

由此可见,变压器油的劣化是造成内部绝缘损坏的主要因素,而油的劣化是由于变压器油与空气接触,由空气中的水分造成的。采用全密封结构和新的工艺就是从根本上隔绝变压器油和空气的接触。

非密封型变压器尽管装有带吸湿剂的呼吸器,但由于吸湿剂(硅胶)的吸湿能力有限,在运行中又不能及时处理吸湿饱和的吸湿剂,致使失去了吸湿作用,仍然会有潮湿空气进入变压器,接触变压器油,使油的含水量增加。

全密封型变压器的结构特点:

1. 全密封型变压器的工作部分——铁芯和绕组与普通油浸式变压器相同,目前为 S_0 系列。

2. 全密封型变压器的油箱,采用波纹式油箱。这是为了使油箱壁具有一定的弹性,以满足变压器运行中由于负荷变化或季节变化引起变压器内部温度升降时,油的热胀冷缩的需要。波纹式油箱完全可以满足散热面积需要。

3. 密封型变压器油箱的密封形式有两种,一种为大盖等密封件用螺栓紧固,采用软木丁腈橡胶作密封垫。另一种则采取油箱各处均采取焊死的方式(国外的密封型变压器,甚至超高压的密封型变压器均为采取焊接密封法)。

4. 密封型变压器采用真空注油法。这样排除了变压器内部的空气,注油后保证绝缘物被油浸透,避免产生气泡。

5. 为防止变压器运行中内部发生故障而引起内部压力的增加而导致的油箱爆裂,全密封型变压器在上桶盖装有压力释放阀。当变压器内部压力达到一定值时,压力释放阀动作,可排除油箱内的过压。内部压力经释放后,释放阀自动关闭。

压力释放阀因需要不同,其动作压力值也不同,一般有 25、35、55、70、85kPa 几种,关闭压力为当内部压力降至动作压力的 53%~55% 左右时,释放阀自动恢复关闭。

全密封型变压器由于隔离了空气与变压器油的接触,防止了油的老化,在正常运行方式下,可连续运行 25 年而不需要对变压器内部进行维修工作。全密封型变压器不需要储油柜,节约了原材料。所以全密封型变压器综合小型化和免维护或少维护的要求。

(三) 非晶态合金铁芯变压器

在变压器的运行费用中除维护费外,其中能量损耗费占了很大的比例,特别是变压器的空载损耗(铁芯损耗)占了能量损耗的主要部分。据专家的经济评估,在整个运行年限内空载损耗占用的运行费相当于负载损耗所占用三倍。所以,降低变压器空载损耗的研究便成

为合理使用能源研究项目中的重点项目。

近年来,为了降低变压器的空载损耗国内外都在研究低损耗的磁性材料,并用于变压器铁芯。非晶态合金是高导磁率的软磁材料,将非晶态合金应用于变压器,制成非晶态合金铁芯的变压器,取得了可喜的成果。

非晶态合金是未结晶原子结构的金属合金。非晶态合金是在 Fe、Ni、Co 中加入 Si、B、C、P 等元素,经过熔炼后从熔融状态下迅速冷却凝结,与冷却同时轧制,即可得到薄带状的非晶态合金,其厚度可轧制到 0.025mm。它的种类很多,其中高饱和磁感应强度型和高磁导率型具有优良的软磁特性,可用来作变压器类产品的铁芯代替现在的硅钢合金片铁芯。

由于非晶态合金的原子排列根本性不同,因此它具有独特的物理性能,其中最明显的是非晶态合金引起的磁化性能的改善。非晶态合金与传统合金钢相比,其 B-H 磁化曲线很狭窄,因此其磁化周期中的磁滞损耗就会大大降低,又由于非晶态合金带厚度很薄,并且电阻率高,其磁化涡流损耗也大大降低。非晶态合金用于制造变压器铁芯,可使变压器的空载损耗(磁滞损耗和涡流损耗)大大降低,据实测,非晶态合金铁芯的变压器与同电压等级、同容量硅钢合金铁芯变压器相比,空载损耗要低 75%~80%。非晶态合金已成为变压器铁芯的常用材料。

非晶态合金的主要特点:

1. 非晶态合金不存在晶体结构,是各向同性的软磁材料,磁化功率低;
2. 不存在阻碍磁畴壁移动的结构缺陷,磁滞损失大大低于硅钢片;
3. 非晶态合金的厚度较薄,填充系数相应小,只有 0.75~0.3;
4. 电阻率很高,是硅钢片的 3~6 倍,因此其涡流损耗就大大降低,用于变压器从而可使变压器空载损耗中的涡流损耗部分降低 20%~30%;
5. 非晶态合金的硬度是硅钢片的 5 倍,且对各种应力非常敏感,因而加工难度大;
6. 非晶态合金的磁畴伸缩要比硅钢片大得多,可为硅钢片的 7~8 倍,因此直接影响变压器的噪声加大;
7. 非晶态合金对应力特别敏感,无论是压应力、张应力或弯曲应力,都会影响其磁性。为了减少这种影响,改善磁结构的排列,同时也为了减少非晶态合金铁芯变压器的噪声,非晶态合金铁芯要在 390℃ 氮气下,同时施加一定的磁场强度下,进行退火处理。

综上所述,由于非晶态合金具有特殊的磁化性能,用来制造变压器的铁芯可使变压器取得较好的节能效果。近年来,世界各国都在研究开发非晶态合金铁芯变压器。

如前所述非晶态合金的特点,为此,用来制造变压器铁芯时,需要采用相应的结构型式。

首先,因为非晶态合金带的厚度很薄,且对应力敏感,不能冲压和机械加工用于制造变压器铁芯时,多采用卷绕型(最近国外已有叠片型的)。卷绕型铁芯制造时,先将铁芯绕制好,然后锯出开口再套入已绕好的绕组,见图 1-1。

非晶态合金铁芯变压器是从单相配电变压器开始,现已扩展到三相配电变压器。三相变压器铁芯仍由单相卷绕型铁芯组成。可用三个卷绕型铁芯组成三相芯式铁芯(内铁式),亦可用四个卷绕型铁芯组成三相壳式铁芯(外铁式),见图 1-2。

其次,非晶态合金的磁饱和强度大约为 1.6T(特斯拉),比硅钢的磁饱和强度(2.03T)低,实际应用非晶态合金铁芯的工作磁感应强度限在 1.3~1.4T 之间,低于硅钢合金铁芯;又由于非晶态合金铁芯叠片系数约在 0.8 左右,低于硅钢片铁芯(0.97),所以,非晶态合金

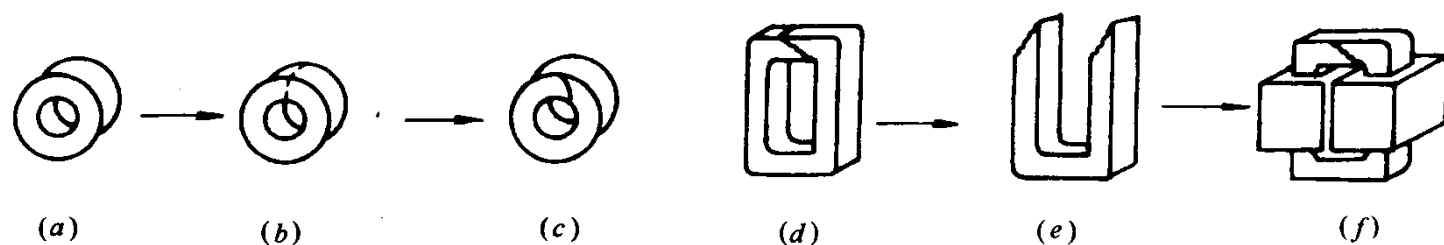


图 1-1 非晶态合金铁芯的制造示意图

(a)原料带卷;(b)切割后的圆环;(c)错开缝的圆环;(d)矩形;(e)铁芯一端打开;(f)线圈已放入

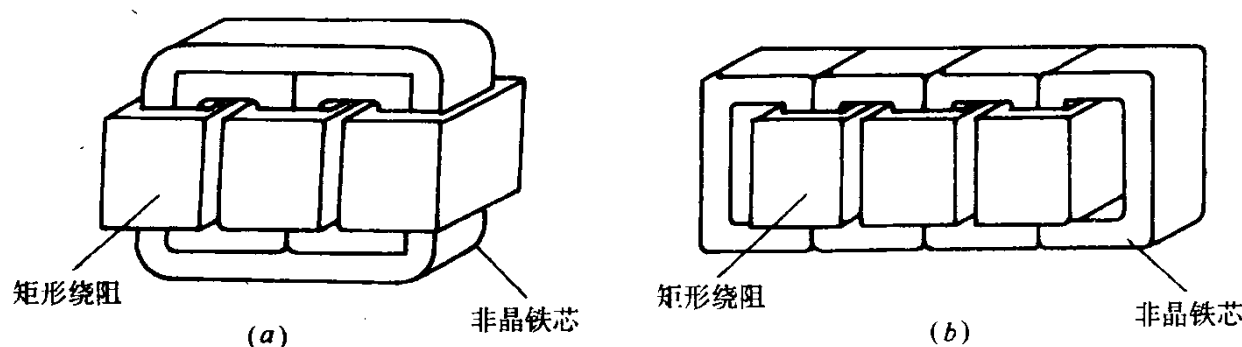


图 1-2 三相非晶态合金铁芯变压器

(a)三相三柱式;(b)三相五柱式

铁芯与硅钢片铁芯等效相比就需要一个较大的铁芯毛面积。由于这两个原因导致非晶态合金铁芯变压器较硅钢铁芯变压器要有较大的铁芯,相应要有较大的绕组,从而增加了生产的材料成本。目前,非晶态合金铁芯变压器的产品价格比同容量硅钢片变压器要高 20%~30%。但是,我们经过经济评估分析可以发现,从变压器使用年限及年运行费用(能量损耗费用和维护费用)和初投资增加的部分比较分析,5 年内即可收回增加值,如变压器运行按 20~25 年计,所节约的运行费用,可收回变压器全部投资。可见使用非晶态合金铁芯变压器可取得最大经济效益。

目前,非晶态合金铁芯变压器生产,国外已可以做到 2500kVA(中压配电变压器)国内自 1994 年试制成功以来,已可生产 1000kVA 及以下容量等级的配电变压器,利用引进的非晶态合金铁芯时,可生产 2500kVA 配电变压器。

非晶态合金铁芯配电变压器应用中的几个问题:

1. 非晶态合金铁芯变压器的空载特性在变压器寿命期内,特性稳定,有较高的可靠性,如制成全密封型,即可实现免维修。

2. 非晶态合金铁芯变压器最突出的特点是比硅钢片铁芯变压器的空载损耗降低 70%~80%,空载电流降低 80%。所以非晶态合金铁芯变压器适合用于峰谷差大的用电负荷。如住宅生活用电、商业用电、城市路灯、农村季节性用电等。

3. 由于非晶态合金具有薄、硬、脆,对应力敏感等特性,所以,在变压器结构设计、制造、运行时必须采取措施,降低和减少对铁芯影响的应力,如运输、扳动、安装等,以保持其优越的空载特性。

非晶态合金铁芯变压器我国已有一些变压器厂投产,但尚都处于初级阶段,有待进一步在设计、制造、试验上开展研究。在推广使用中更主要的是转变观念,树立节约能源意识,用经济的方法和思想,加强宣传,使广大用户理解和接受,把非晶态合金铁芯变压器全面推向市场。

非晶态合金铁芯变压器与 S₉ 系列变压器特性比较见表 1-2。

非晶态合金铁芯变压器与 S₉ 系列变压器特性比较

表 1-2

容 量 (kVA)	电 压 (kV)	AMDT				S ₉			
		阻抗电压 (%)	联结组	损 耗 (W)		阻抗电压 (%)	联结组	损 耗 (W)	
				空 载	负 载			空 载	负 载
50	10/0.4 或 6/0.4	4	Dyn11	35	870	4	Yyn0	155	855
80				50	1250			230	1250
100				60	1500			280	1485
160				80	2200			390	2075
200				100	2600			460	2495
250				120	3050			535	2945
315				140	3650			650	3420
400				170	4300			775	4195
500				200	5100			945	4980
630				240	6200			1145	5950
800	4.5	4.5	Dyn11	300	7600	4.5	Yyn0	1340	7195
1000				340	10300			1675	9955
1250				400	12000			1800	11665
1600				500	14500			2320	13975

注: AMDT(Amorphous Material Distribution Transformer)非晶态合金铁芯配电变压器。

(四) 干式变压器

安装在建筑物内、地下铁道、机场、及其他对防火要求高的场所的变压器(所有的电气设备)需要使用无油型设备。为了满足防火要求,不充油变压器——干式变压器应运而生。早期的干式变压器为空气自冷式或风冷式,变压器的工作部分,如绕组、铁芯均裸露在空气中,为解决运行中的散热问题,变压器绕组的绕制形式不同于油浸式变压器,增加或扩大了绕组层间(高压)和匝间(低压)的间隙作为散热风道。运行中利用空气自然对流散热或加装鼓风机强迫对流散热。为解决变压器绕组纤维性绝缘物的防潮问题,需要在变压器绕组绕制后,整体在酚醛清漆中浸透、干燥。尽管如此,使用时还要求安装地点必须有良好的通风,设法保持平均空气相对湿度不超过 70%,环境温度不超过 40℃,这种干式变压器既限制了高电压、大容量的产品,又给运行工作带来很大的不便。目前,空气自冷式干式变压器只应用在电压等级在 500V 以下特殊用途的小型变压器,3kV 以上电压等级的干式变压器均已由树脂浇注干式变压器所取代。

由于市场对防灾型变压器的需要,60 年代德国 TU 公司(变压器联合公司)研制了一种全缠绕、铜导线、环氧树脂浇注、玻璃纤维增强的干式变压器。这种变压器高、低压绕组分别绕制、浇注,然后套装在铁芯柱上。该产品投放市场后,引起用户极大的兴趣,受到了用户的欢迎。随后世界上许多国家也相继研制或引进专利生产。我国于 70 年代末开始引进 TU 公司的技术,自行研制生产环氧树脂浇注干式变压器。目前我国年生产能力已达年产约 5000 台、300 多万 kVA。电压等级最高为 35kVA,最大容量为 20000kVA。

环氧树脂浇注干式变压器的结构特点:

目前环氧树脂浇注干式变压器结构类型可分为三类。

第一类:高压绕组采用分段圆筒式结构,低压绕组采用多层圆筒式结构,高、低压绕组均采用铜导体、全缠绕、玻璃纤维增强、树脂不加填料,绕组在真空状态下浸渍浇注,然后在适当的温度下固化成型。这种结构称为薄绝缘型。

第二类:高压绕组采用分段箔式绕制,树脂加填料浇注形成厚绝缘型。低压绕组为箔式导体绕制。高、低压绕组可采用铜箔或铝箔。低压绕组不整体浇注,只作封端。

第三类:高压绕组采用分段圆筒式结构,采用铜导体,树脂不加填料浇注,如第一类结构中的高压绕组型式,为薄绝缘型。低压绕组采用铜导体箔式绕制,不整体浇注,只作封端。

高压绕组采用分段圆筒式结构,降低了层间电压,改善了电压分布,提高了耐受冲击过电压水平。采用玻璃纤维作为增强物,树脂不加填料浇注,使绕组绝缘水平增强,提高了工频耐压水平。由于树脂不加填料而成为薄绝缘型绝缘,层厚只有 1.5~2.0mm,因而可以有较好的散热性能。另外,由于绕组为复合薄绝缘层型,其热膨胀系数与铜的热膨胀系数接近,因而薄绝缘型具有抗开裂性能。

箔式不浇注绕组具有较高的轴向抗短路应力性能和散热性能好的优点。目前,环氧树脂浇注干式变压器采用第一类和第三类者为多,具体型式可由用户选择。

树脂浇注干式变压器调压分接开关一般为中间抽头式(适应 Dyn0 联结组),无激磁调压分接转换采用连接板调整,安装有载分接开关装置后,(一般可用真空式有载分接开关)可实现有载(自动)调压。

树脂浇注干式变压器一般均装有自动温度监测和控制装置。在变压器低压绕组第一匝导线处理设铂热电阻测温元件,自动监测绕组温升情况。随着环境温度及负载的变化,当绕组达到限定温度时,温控装置自动发出信号,可以自动报警、启动风机或跳闸。亦可与微机保护相联,使变压器运行中有可靠的过载保护。

树脂浇注干式变压器的冷却采用自然空气冷却和强迫空气冷却两种方式。在额定负载条件下正常运行,可采用自然空气冷却;而在变压器过载运行或环境温度过高时,可启动风机采用强迫空气冷却,使变压器继续运行。变压器强迫空气冷却方式是通过装在绕组下面的风机实现的。强迫空气冷却的风机有两种型式,一种为双风机式,在变压器下部正、背面两侧,各设一台轴流式风机,通过横在绕组下面的风道,风道正、背面各有一条,风道在绕组正下方开有出风口,风机工作时,强风通过风道,将风吹向绕组,强迫空气对流;另一种为六风机式,双风机式强迫空气冷却的缺点在于三相绕组受风的强度不均匀,靠风机端的一相最强,依次递减。六风机式为在每相绕组前、后两侧下方设置一台小型直排式风机,需要风机工作时,六机同时启动,直接吹向绕组。其散热效果大大优于双风机式。

树脂浇注干式变压器本体无外壳,防护等级为 IP00(无防护),根据运行的安全需要,可以加装栅网式防护外壳,采用 IP20 防护等级,可防止人和物的意外接触(变压器绕组虽有树脂绝缘,但仍有较高的对地电位,因此,干式变压器运行中人和物不可接触变压器绕组外部)变压器装置地点的环境恶劣时,亦可采用 IP23 防护等级外壳。IP23 防护等级外壳可具有一定的防淋水功能。

环氧树脂浇注干式变压器的技术特点:

1. 电气强度高

(1) 树脂及玻璃纤维组成的固体绝缘具有较高的介质强度,其工频击穿电压不小于 34kV/mm。

(2) 耐压水平高,其基本耐冲击电压水平最高可达 200kV。SC 系列干式变压器全波冲击电压和工频耐压试验电压如表 1-3 所示。

SC 系列干式变压器冲击电压和工频试验电压值

表 1-3

额定电压 (kV)	工频试验电压 (kV,有效值)	全波冲击试验电压 (kV,峰值)	额定电压 (kV)	工频试验电压 (kV,有效值)	全波冲击试验电压 (kV,峰值)
<1	3	—	10	28/35	75/95
3	10	40	20	50	95/125
6	20/25	60	35	70/85	145/170

注:表中斜线上数据为 IEC 726、GB 6450 标准数据,斜线下数据为用户要求加强绝缘型产品数据。

(3) 局部放电量小,检测局部放电量是为了检测绕组的浇注质量,绕组在浇注时如内部留有气泡,则会形成绕组的绝缘弱点,留下隐患,影响变压器的运行寿命。目前我国的环氧树脂浇注干式变压器均采用了真空浇注,树脂由下向上浸渍,有效地排除了气泡,使变压器局部放电量一般可达到 10pc 以下,部分产品可降至 5pc,远远高于 IEC 标准和 GB 国标的要求。

2. 机械强度高

(1) 薄绝缘层结构树脂不加填料浇注,浇注时树脂流动性能好,渗透力强。真空浇注可避免产生浇注死角,经固化后,大大提高了绕组的总体强度。

(2) 树脂与玻璃纤维形成的复合绝缘可获得与铜导体相近的热膨胀系数,因而在运行中可避免因温度变化而形成树脂会开裂现象。

(3) 由于树脂包封层较薄(仅有 2mm),内部温度升高时,散热快,树脂层内外温差小,不会产生热应力。

(4) 树脂浇注后的绕组动稳定度大大提高。可经受 25 倍额定电流突发短路的电动力。

3. 具有较好的过负荷运行能力

由于树脂浇注干式变压器所使用的绝缘材料均为 F 级及以上绝缘材料,经复合后绕组绝缘耐热等级均可达 F 级,因此,在运行中的允许温升限值高于油浸式变压器。树脂浇注干式变压器的绕组从结构上具有轴向风道和较薄的包封层,有较好的散热能力,特别是树脂材料的热容量高于变压器油的热容量,所以树脂浇注干式变压器具有一定的过负荷运行能力,其短时过负荷(30min)能力明显高于油浸变压器。这个特性特别适合在突发性的瞬时故障情况下运行。树脂浇注干式变压器均装有温升控制的、自动的强迫风冷装置,更可提高其过负荷运行能力。

4. 具有难燃性和自熄性

物体燃烧的破坏程度取决于燃烧时所产生的热量。环氧树脂与玻璃纤维复合绝缘燃烧时所产生的热量只有同容量油浸变压器的 1/20,浸硅油变压器的 1/17,所以其燃烧速度低,约为 0.30~0.32mm/s,具有难燃性。即使外界火源引燃变压器,由于燃烧时产生的热量低,不会起到助燃作用,外界火源切断时,变压器本身具有自熄性,火焰很快会熄灭。

5. 电能损耗低

树脂浇注干式变压器铁芯均采用冷轧晶粒取向硅钢片,并选取远离磁饱和点的较低磁密度,因而可获得较低的空载损耗。

6. 噪声低

由于变压器铁芯的磁密度低,远离饱和点,铁芯中产生的高次谐波分量较小,因而在硅钢片中由电源频率基频和高次谐波分量叠加而引起的硅钢片磁滞伸缩所引起的噪声强度会降低。另外,在变压器结构方面,所有夹紧部位均采用弹性件缓冲,减小振动幅度,也有利于降低噪声。

7. 体积小、重量轻

树脂浇注干式变压器较油浸变压器或其他防灾型变压器减去了笨重的外箱和油,减小了体积和重量。又由于其具有较好的难燃性,从变电室的结构上,允许不单设变压器室,可与高、低压配电装置安装在同一室内,大大地节约了占地,适合于室内应用。

8. 安装简单,可免去日常维护工作量

树脂浇注干式变压器的高、低压绕组均由环氧树脂封装,铁芯硅钢片亦由树脂涂覆,因而有较高的抗潮湿能力和耐腐蚀能力,从而大大减少了日常维护工作。

虽然环氧树脂浇注干式变压器具有上述的技术特点,有利于防灾,方便运行,但应该看到树脂浇注干式变压器还存在着人们期待值不满足的问题。首先,其价格大大高于普通同容量油浸变压器,选用干式变压器大大增加了初投资,阻碍了干式变压器的广泛采用(为了防火灾事故,可以采取独立式变电室的布置)。其次,变压器随着现代化城市建设的发展,越来越多地进入高层建筑或公共建筑的主体,按照国家《环境保护法》的要求,降低噪声污染越来越重要,仅符合行业标准 ZBK 41005—89 和国家标准 GB 6450—86 生产的干式变压器其噪声已不能完全被人们所接受,要求噪声进一步降低。

另外,根据可持续发展的战略方针,节约能源、降低能源损耗是永远的课题。人们希望更低损耗的产品,提高产品效率,增加经济效益。

随着科技的进步,树脂浇注干式变压器为了进一步提高性能水平,从结构上采取了一系列改进措施。

1. 努力降低噪声水平 为降低噪声采取了以下措施

(1) 采用磁滞伸缩量较小的优质硅钢片(晶粒取向高导磁率),其次根据硅钢片的磁滞伸缩曲线的特性,选用较低的磁通密度(1.3~1.45T)充分避开了硅钢片磁滞伸缩量较大的区间。

(2) 改进铁芯的叠片方式及尺寸,使其固有振动频率避开磁滞伸缩振动的基频及2、3、4次高频谐波的频带范围,有效地消除了谐振的产生。

(3) 自动化、高精度的硅钢片剪切质量可保证较高的叠片系数,相对降低了铁芯面积所占的空间,再加以新的铁芯紧固方法,降低了铁芯片间振动。

2. 大力降低变压器的能量损耗,提高变压器运行效率

(1) 上述为降低变压器噪声的措施,同时也取得了降低变压器空载损耗的效果。

(2) 从设计上适当增加变压器铁芯的有效截面积,降低铁芯的磁通密度,因为变压器空载损耗是和 B_c^2 (B_c 为磁通密度)成正比的。

(3) 在绕组的设计上使用铜导体并适当的降低绕组导体的电流密度,增加导体的截面积,实践证明,变压器高压绕组导体截面积增加40%,低压绕组导体截面积增加5%,即可使

变压器满载负载损耗降低 10% 左右。(SC₉ 系列与 SC₈ 系列 630~1600kVA 变压器)

我们相信,随着科学技术的发展,变压器生产从设计、选用材料、制造工艺等各方面还会有所进步,其技术经济性能也会有更大的提高。

SC₉ 系列 10kV 级环氧树脂浇注干式变压器技术数据见表 1-4。

SC₉ 系列 10kV 级干式变压器技术数据

表 1-4

型 号	额 定 容 量 (kVA)	损 耗 (W)		空 载 电 流 (I ₀ %)	阻 抗 电 压 (U _k %)	质 量 (kg)
		空 载	负 载 75℃			
SC ₉ -30/10	30	200	560	2.8	4	315
SC ₉ -50/10	50	260	860	2.4	4	520
SC ₉ -80/10	80	340	1140	2	4	550
SC ₉ -100/10	100	360	1440	2	4	590
SC ₉ -125/10	125	420	1580	1.6	4	740
SC ₉ -160/10	160	500	1980	1.6	4	880
SC ₉ -200/10	200	560	2240	1.6	4	1000
SC ₉ -250/10	250	650	2410	1.6	4	1175
SC ₉ -315/10	315	820	3100	1.4	4	1580
SC ₉ -400/10	400	900	3600	1.4	4	1580
SC ₉ -500/10	500	1100	4300	1.4	4	1920
SC ₉ -630/10	630	1200	5400	1.2	4	2210
SC ₉ -630/10	630	1100	5600	1.2	6	2270
SC ₉ -800/10	800	1350	6600	1.2	6	2710
SC ₉ -1000/10	1000	1550	7600	1	6	3275
SC ₉ -1250/10	1250	2000	9100	1	6	3950
SC ₉ -1600/10	1600	2300	11000	1	6	4675
SC ₉ -2000/10	2000	2700	13300	0.8	6	5580
SC ₉ -2500/10	2500	3200	15800	0.8	6	6650

注: 1. 额定电压: 高压 10kV, 低压 0.4kV。

2. 连接组标号: Dyn11, 或 Yyn0。

3. 变压器质量为变压器部分, 不包括外壳等附件。

4. 本表取自顺德特种变压器厂产品技术手册。

(五) 气体绝缘干式变压器

为了解决油浸变压器不能防燃、防爆的问题, 提高变压器的防灾能力, 开发研制了气体绝缘变压器。气体绝缘变压器为在密封的箱壳内充以六氟化硫(SF₆)气体代替绝缘油, 利用六氟化硫气体作为变压器的绝缘介质和冷却介质。六氟化硫气体绝缘用于高压电器已有成功的经验, 它具有防火、防爆、无燃烧危险, 绝缘性能好, 防潮性能好, 运行可靠性高, 维修简单的优点, 六氟化硫气体绝缘高压电器已广泛应用于公共建筑、地铁等室内需要防灾型设备的场所。将六氟化硫气体绝缘应用于变压器, 同样可满足防灾型设备的要求。

气体绝缘变压器的结构特点: