

PEIDIANWANG
XINSHIBEI YU XINJISHU

配电网

新设备与 新技术

《配电网新设备与新技术》编写组 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

配电网

新设备与新技术

《配电网新设备与新技术》编写组 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共十六章，主要内容包括：新型变压器；真空断路器；六氟化硫（SF₆）断路器；自动重合器；自动线路分段器；配电开关；配电网可靠性及管理；开关设备的配合；负荷开关、隔离开关、高压熔断器、跌落保险；电力网无功补偿；金属氧化物避雷器；配电网自动化的组成和规划；馈线自动化；地理信息系统；负荷控制；自动抄表与客户服务系统。

本书可供从事配电网的设计、运行、维护的技术人员及管理人员阅读，也可供从事电气设备的设计、制造的技术人员及高等学校有关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

配电网新设备与新技术 / 《配电网新设备与新技术》

编写组编. —北京：中国水利水电出版社，2006

ISBN 7-5084-3746-2

I. 配... II. 配... III. 配电系统—基本知识

IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 038089 号

书 名	配电网新设备与新技术
作 者	《配电网新设备与新技术》编写组 编
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales @ waterpub.com.cn 电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 22.75 印张 539 千字
版 次	2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	45.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

为了满足城乡电网建设与改造的需要，一些高能耗、高线损的电力设备将逐渐被淘汰，新一代电力设备（如新型变压器、断路器、重合器、分段器、避雷器等）已被不断地推出。这些新设备不但性能优良，而且对于我国建设现代化电力网，提高电力网工作的可靠性，实现配电网自动化，起着决定性的作用。为满足广大技术人员与管理人员的需求，《配电网新设备与新技术》一书主要介绍新一代设备的结构组成、工作原理、产品规格、技术参数、安装方式、运行特点以及新技术、新管理方法等。

全书共分十六章：第一章新型变压器；第二章真空断路器；第三章六氟化硫断路器；第四章自动重合器；第五章自动线路分段器；第六章配电开关；第七章配电网可靠性及管理；第八章开关设备的配合；第九章负荷开关、隔离开关、高压熔断器、跌落保险；第十章电力网无功补偿；第十一章金属氧化物避雷器；第十二章配电网自动化的组成和规划；第十三章馈线自动化；第十四章地理信息系统；第十五章负荷控制；第十六章自动抄表与客户服务系统。本书反映了上述各种电气设备的特点，对于从事新型高压电器性能研究、使用、选型，尤其是对于专门从事新型高压电气设备培训的人员来说是一本良好的教材。

新型高压电器的种类非常多，作者在编写过程中虽然尽了很大的努力，但由于时间短暂、水平不高，书中仍有许多不妥之处，还望广大读者给与批评指正。

作者

2006年2月

目 录

前言

第一章 新型变压器	1
第一节 概述	1
第二节 新型卷铁芯变压器	6
第三节 卷铁芯结构和线圈的绕制工艺	9
第四节 非晶合金变压器	12
第五节 调容变压器	16
第六节 H 型系列电力变压器	17
第七节 干式变压器	19
第八节 全密封变压器	22
第九节 S9 系列 35kV 三相油浸式变压器	23
第十节 变压器的状态检修	26
第十一节 三相电力变压器绕匝数测试法	30
第十二节 电力变压器绝缘电阻的测量与判断	32
第十三节 变压器中性点接地方式	35
第十四节 变压器室的通风	39
第十五节 变压器瓦斯保护动作原因与对策	41
第十六节 变压器空载时三相电压不平衡原因分析	44
第十七节 油浸式电力变压器油中溶解气体的色谱分析	46
第十八节 双绕组不等容量变压器并列经济运行分析	47
第十九节 主变运行方式对能耗的影响	48
第二章 真空断路器	51
第一节 真空开关灭弧室的结构和工作原理	51
第二节 真空断路器的灭弧原理	53
第三节 户外和户内真空断路器	55
第四节 真空断路器机械参数	58
第五节 真空断路器的在线检测	60
第六节 截流过电压产生和对电机产生的危害	63
第七节 真空断路器的应用	66
第八节 高质量的 3AH 真空断路器	69
第九节 真空断路器存在的问题和故障分析	76
第十节 各种类型户内、外高压真空断路器	81
第三章 六氟化硫 (SF ₆) 断路器	90

第一节	SF ₆ 气体的特性	90
第二节	国产 SF ₆ 断路器	91
第三节	SF ₆ 断路器的优缺点分析	97
第四节	SF ₆ 断路器在寒冷地区的使用	99
第五节	SF ₆ 断路器气密性检查	101
第六节	PASS 断路器系统	102
第七节	组合电器的运行	104
第八节	高压 SF ₆ 断路器	106
第九节	SF ₆ 断路器的控制回路	108
第四章	自动重合器	111
第一节	重合器综述	111
第二节	国产 OSM/TEL12—16/630 型自动重合器	112
第三节	柱上重合器	119
第四节	ZCW32—12 型户外高压真空自动重合器	128
第五节	ZCW—40.5 型户外高压真空自动重合器	129
第六节	OSM12 (15) 型户外高压自动重合器	130
第七节	DF5111K 和 PDCU—IA 重合器控制器	131
第五章	自动线路分段器	133
第一节	线路分段器概述	133
第二节	FDK10—12/D 型户外交流高压跌落式分段器	134
第三节	RL—MA 系列自动分段器	137
第四节	线路自动分段器使用举例	140
第六章	配电开关	142
第一节	概述	142
第二节	RL 系列气体绝缘负荷开关	147
第三节	FN7—10 系列真空负荷开关及熔断器组合电器	150
第七章	配电网可靠性及管理	152
第一节	电力系统可靠性	152
第二节	中压配电网的可靠性	157
第三节	县级配电网可靠性的提高	160
第四节	配电网自动化与供电可靠性	163
第五节	故障指示器在配电系统中的应用	167
第六节	配电系统的设置定义和状态的划分	168
第七节	配电网可靠性指标	171
第八节	配电系统可靠性评估	173
第九节	具有分段和分支开关单向供电配电网可靠性分析	175
第十节	环网供电可靠性评估	178

第十一节	系统可靠性	179
第十二节	开关选择的原则以及开关数量的确定	181
第十三节	开关动作特性的选择	185
第十四节	实现配电自动化效益计算	186
第八章	开关设备的配合	189
第一节	重合器与熔断器的配合	189
第二节	重合器其他配合方式	193
第三节	重合器最小跳闸电流的整定和定值电阻的选择	195
第四节	重合器和分段器在配电网自动化中的应用	196
第五节	配电网自动化系统柱上开关设备的特性与选型	199
第六节	配电网自动化系统运行方案	202
第九章	负荷开关、隔离开关、高压熔断器、跌落保险	208
第一节	隔离开关和负荷开关	208
第二节	隔离开关检修的基本要求	209
第三节	GW6—220 型隔离开关	211
第四节	SF ₆ 负荷开关在城乡电网中的应用	214
第五节	户内高压真空负荷开关及熔断器组合电器	215
第六节	跌落式熔断器	218
第七节	跌落式熔断器的选择和维护	220
第八节	配电变压器高压侧保护装置——跌落式熔断器	222
第九节	各种高压配电设备	224
第十章	电力网无功补偿	229
第一节	无功功率补偿技术及发展趋势	229
第二节	电网中无功功率补偿	231
第三节	10kV 并联电容器的过压保护	234
第四节	新型电压无功自动调节装置的应用	235
第五节	无功优化的典型问题	236
第六节	三相电动机高功率因数运行控制器	239
第七节	农村小型变电所无功补偿存在的问题	241
第八节	无功补偿的经济效益分析	242
第十一章	金属氧化物避雷器	244
第一节	雷电对人身及设备安全的危害	244
第二节	金属氧化物避雷器的引用及接线分析	245
第三节	避雷器的安装方式	250
第四节	避雷器的运行	252
第五节	金属氧化物避雷器的试验	256
第六节	变电所电子设备和微机保护的防雷	258

第七节	农村电网的防雷措施	265
第八节	沿海湿热地区配电网的防雷措施	266
第九节	丘陵地带架空线路雷击原因及措施	268
第十节	10kV 配电网的雷击原因分析	268
第十一节	调度微波通信站的防雷措施	270
第十二节	无线电通信天线的防雷	271
第十三节	MOA 带电测试及其角度校正	272
第十四节	35kV 农村小型化变电所防雷设计	274
第十二章	配电网自动化的组成和规划	276
第一节	配电网自动化的定义和组成	276
第二节	配电网自动化的规划	280
第十三章	馈线自动化	291
第一节	馈线自动化 (FA) 概述	291
第二节	故障处理的各种方案	294
第三节	FTU 实现环网柜备用电源自动投切	298
第四节	接地故障的判别	300
第十四章	地理信息系统	303
第一节	GIS 系统的功能	304
第二节	配电网 GIS 使用对象	308
第三节	县局配电网地理信息系统的设计	310
第四节	基于 ArcObjects 的配电 AM/FM/GIS 与 SCADA 一体化	314
第五节	GIS 配电网停电管理系统	317
第六节	基于 GIS 的配电生产管理决策支持系统	321
第十五章	负荷控制	324
第一节	负荷控制对电力营销管理的意义	324
第二节	负荷控制系统的术语	327
第三节	负荷控制系统的主控站设备	331
第四节	负荷控制系统的收、发信机	334
第五节	负荷控制系统的终端	337
第十六章	自动抄表与客户服务系统	341
第一节	自动抄表系统的意义和技术要求	341
第二节	电力载波抄表系统	341
第三节	远红外与无线自动抄表系统	344
第四节	电力企业客户服务中心系统	349
第五节	客户呼叫系统的应用	353
参考文献		356

第一章 新型变压器

第一节 概述

电力变压器分为油浸式和干式两大类。目前，升压变压器、降压变压器、联络变压器和配电变压器均采用油浸式变压器，部分装在室内的配电变压器采用干式变压器。

电力变压器可以按绕组耦合方式、相数、冷却方式、绕组数、绕组导线材质和调压方式分类。但是，这种分类还不足以表达变压器的全部特征，所以在变压器型号中除要把分类特征表达出来外，还需标记其额定容量和高压绕组额定电压等级。

一些新型的特殊结构的配电变压器，如非晶态合金铁芯、卷绕式铁芯和密封式桶皮变压器，在型号中分别加以 H、R 和 M 表示。

变压器是电能传输过程中不可缺少的电力设备，它的容量列在所有用电设备之首，而变压器在电力传输过程中自身损耗较大，特别是目前广泛使用的油浸式变压器，它的损耗已超过总损耗的 50%，因此，改进变压器性能，降低损耗，提高配电系统效率，一直是电力行业的重要工作之一。而且，降低变压器的损耗是降低电网线损的关键。20 世纪 90 年代后期，随着市场经济的发展、变压器制造技术的不断进步和受到城乡电网改造工程的拉动，新材料、新工艺不断应用，新的低损耗配变相继开发成功。另外，变压器体积大、笨重、噪声大、所用矿物油污染环境、铁芯饱和时产生谐波等问题，促使国内外电力专家不断地进行新型变压器的开发和研究。

一、卷铁芯变压器

变压器铁芯由硅钢片带材连续卷绕而成，由于铁芯无接缝，所以导磁性能大大改善，变压器的空载电流、空载损耗和运行噪声相对降低，是目前比较先进的节能型变压器。以容量为 315kVA 的变压器为例，采用卷铁芯结构后，空载电流下降 92%，空载损耗下降 46.8%，负载损耗下降 7.5%，油箱体积减少 1/4，重量减轻 1/5，空载电流谐波降低 80%，运行噪声也降低了 13dB。

在降低变压器能量损耗的研究中，着重研究降低变压器空载损耗，因为空载损耗是随变压器投入运行而发生的，与负载大小无关，相对为一常数。经过研究，变压器的空载损耗的大小决定于铁芯的材质、内部磁分子排列、铁芯结构形式和加工工艺水平。经过多年的技术进步，铁芯的材质由软铁发展到硅合金钢，进一步发展为非晶态合金，铁芯硅钢片的排列形式由直接对缝式发展为斜缝搭接式，近年来又发展了卷绕式铁芯。

1. 铁芯的材料与叠装

电力变压器应用卷绕式铁芯，利用其连续卷绕没有接缝的特点，可以大大改进变压器的磁路特性。

为了将铁芯制成阶梯形或圆形，铁芯卷绕时，须把硅钢片纵裁成不同宽度，分层卷



绕。在线圈绕制和套装方面,有些变压器是采取线圈分开绕制。

2. 卷绕铁芯变压器的特点

(1) 采用薄型冷轧硅钢片,电磁特性好,磁路中没有气隙,降低了磁路的磁阻,提高了导磁率,同样容量条件下,可在新 S9 型变压器的空载损耗基础上,再降低 25%~30%,空载电流可降低 30%~40%。

(2) 铁芯绕制及铁芯和绕组的紧固好,变压器噪声比叠片式可降低 6~8dB。

(3) 节约原材料,同容量条件下,卷绕式铁芯比叠片式铁芯少了 4 个尖角和 4 个小尖角,可节省铁芯总量的 10%~12%。卷绕式变压器空间利用系数高,线圈导线的长度减少,节约铜材,又可降低负荷损耗。节约原材料,从而减轻变压器的重量。

(4) 卷绕铁芯变压器配合全密封结构油箱可以大大地提高运行可靠性,减少日常维护工作量,延长变压器使用寿命。

(5) 使用卷绕铁芯变压器,可降低运行费用,以 100kVA 变压器为例, S9 型变压器年空载损耗电能为 2540.4kWh,卷绕铁芯变压器年空载损耗电能 1752.4kWh,每年减少 788kWh。按每 kWh 电费为 0.5 元计,每年仅空载损耗费用可减少 394 元。

二、晶合金变压器

非晶合金变压器的铁芯材料运用了无向非晶体钢板,与以往的硅钢片相比损耗约为 1/3~1/4,是损耗非常低的铁芯材料。无向非晶体钢板比硅钢片的厚度要薄,而且宽度要窄,使用受到局限。但随着非晶体钢板价格的降低,它的优点将得到认可。非晶配电变压器是我国“九五”计划重点推广的新型节能产品,节能效果十分显著。为了降低变压器空载损耗,采用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。非晶态合金引起的磁化性能的改善,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,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%。空载电流可下降 80%左右。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,加制成全密封型,即可实现免维修。

(2) 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和空载电流降低很多。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。

(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、搬动、安装等,以保持其优越的空载特性。

(4) 非晶态合金铁芯配电变压器必须遵循下面三点要求:

1) 由于非晶合金材料的饱和磁密较低,在产品的设计时,额定磁通密度不宜选得太高,通常选取 1.3~3.5T 磁通密度便可获得较好的空载损耗值。

2) 非晶合金材料的单片厚仅为 0.03mm,所以其叠片系数也只能达到 82%~86%。

3) 为了使用户能获得免维护或少维护的好处,现把非晶合金配电变压器的产品,都设计成全密封式结构。



三、新合金变压器

据海外媒体报道,铁铋硼锆合金在试验中发现,这种合金有氧化和不易加工等缺点,后来去掉了有磁性的锆,最终开发成功只用铁铋硼三种金属的合金,电力损耗比硅钢片降低 9/10。

使用这种新的合金制造变压器,不仅能够大大减少电力损耗,而且还可节省材料成本、简化制造工艺。测算表明,用这种新材料制造的变压器,还会减少电力损耗所产生的温室效应,在环保方面也有益处。

四、高温超导变压器

高温超导变压器维持电磁转换原理不变,用超导线材取代了现有的电磁线(铜导线或铝导线),所以需要给变压器创造适合于高温超导材料工作的低温环境。这样变压器的基本结构,尤其是线圈结构和冷却系统结构,发生了根本性的改变,冷却介质由变压器油或空气改变为液氮。

高温超导变压器具有过载能力强、尺寸小、重量轻、效率高等优点,还有利于环保,也可以改善整个电力系统的抗短路性能。国外变压器行业在高温超导体应用于变压器技术上投入了大量的精力和资金,积极开展超导技术的应用研究,并在超导变压器实用化方面取得了许多成果。

五、绕组导线变压器

这种新型电力变压器高、低压采用两种不同形式的线圈,高压线圈采用新设计,它的绕组导线由和其并联的绝缘导体组成,而低压绕组不变,这是因为低压线圈电压低,载流量大,如果采用先进线圈,其性能改进并不显著。新的绕组导线比传统的绕组导线更宽更厚,每段允许更多的匝数,并减少了导线的分段数,而且这种新型电力变压器的线圈是连续的,没有任何交叉和内部屏蔽,交叉换位和焊点也相应减少,几乎不存在人为的铜焊点,绕组数量减少,过负荷能力增大。由于设计简单,生产费用也有所减少。新的绕组设计可使变压器损耗减少 1/4。全部费用减少 15%。

六、干式变压器

环氧树脂浇注干式变压器(简称干变),国外从 20 世纪 60 年代生产,技术日趋成熟。这种变压器有带填料的(石英粉)、纯树脂的、绕包的,各种工艺、结构并存。干式变压器的主要特色是可靠性高;安全性好。由于干式变压器的耐热等级高,因而变压器的体积小、重量轻,特别适合于高原、沿海地区及运行条件比较恶劣的环境。

七、电力电子配电变压器

电力电子变压器又称固态变压器,是近年来随着电力电子技术发展而引起人们关注的新型配电变压器,它采用最新的电力电子变流技术,将工频交流电转换为高频交流电或直流电,然后用高频变压器进行隔离以实现电压电流的变换,最后将高频交流电转化为工频交流电或将直流电逆变为工频交流电供电网用户使用。由于电力电子变压器使电网与用户隔离,所以消除了来自电网侧的电压波动、电压波形失真以及电网频率的波动,也消除了由用户端所产生的无功、谐波、瞬时短路对供电电网的影响。电力电子变压器可以避免传统变压器由于铁芯磁饱和而造成系统中电压、电流的波形畸变,从而改善了供电质量。

电力电子变压器采用了高频变压器,体积将大大减小,价格也将不断下降而低于传统



工频变压器。

八、气体绝缘变压器和封式变压器

随着国民经济的发展,城市向大型化、繁华化发展,人口密集,高层建筑成群。城网造中规定 110kV 线路进城,变电所以 110kV 变压器布点。但是大型变压器在城市中心就好比是一颗颗定时炸弹。因此,人们开始对 SF₆ 气体绝缘变压器重视起来, SF₆ 气体作为绝缘介质具有不燃、无毒、无臭、优越的耐电弧性、很高的绝缘性能。

九、我国开发比较成熟的新型低损耗配变

目前我国研制开发比较成熟的新型油浸式低损耗配变主要有 S11 系列和非晶合金铁芯配变。S11 系列包括卷铁芯和叠铁芯两种,其中卷铁芯又分平面卷铁芯和立体卷铁芯。

1. S11 卷铁芯配变(典型型号: S11—M·R)

这种配变 20 世纪 90 年代在我国开发研制,最大的特点就是铁芯由硅钢片不间断连续卷制而成,在片形上没有接缝。其主要优点是:

- (1) 硅钢片连续卷制,铁芯无接缝,大大减少了磁阻,空载电流减少了 60%~80%;
- (2) 连续卷绕充分利用了硅钢片的取向性,空载损耗降低 20%~35%;
- (3) 卷铁芯结构成自然紧固状态,无需夹件紧固,避免了因铁芯加紧力所带来的铁芯性能恶化,损耗增加;
- (4) 卷铁芯自身是一个无接缝的整体,且结构紧凑,在运行时的噪音水平降低到 30~45dB,大大优于国标要求(44~57dB),保护了环境。因此,很适合于建筑物内和生活区安装使用。
- (5) 应用特殊夹件进行器身装配,使其抗短路能力优于叠片式铁芯。
- (6) 铁芯和线圈在专用设备上卷制,减少了由人工制造造成的质量波动,质量稳定可靠。

卷铁芯变压器的缺点:

- (1) 铁芯退火工艺要求较高。
- (2) 铁芯和绕组维修较困难。

目前我国市场上主要供应的是平面卷铁芯配变,平面卷铁芯有“阶梯型”和“R 型”两种结构。

2. S11 叠铁芯配变(典型型号: S11—M)

S11 叠铁芯配变是在新型 S9 系列产品结构设计的基础上进行开发的,其主要特点是铁芯采用了高导磁、低损耗的优质高性能硅钢片,降低了空载损耗。

叠铁芯生产使用时间长,生产工艺成熟,结构稳定。但由于采用人工叠片、叠装、插上铁轭等,产品质量容易受人为因素影响,造成质量波动。另外,由于结构所限,其噪声要比卷铁芯配变大。

3. 非晶合金配变(典型型号: SH11—M·R)

非晶合金配变因铁芯采用非晶合金材料制成而得名。非晶合金材料是一种新型软磁材料,用它代替硅钢作为变压器铁芯可大幅度降低变压器空载损耗和负载损耗。目前,非晶合金配变铁芯一般也采用卷制式。非晶合金配变的主要特点是:

- (1) 非晶合金与硅钢片变压器相比空载损耗下降 70%~80%,空载电流下降 80%。



节能效果显著。

(2) 运行噪声性能同卷铁芯配变。

(3) 非晶合金对机械应力非常敏感，张引力和弯曲应力都会影响磁性能，结构设计特殊。

4. 三种型号配变技术性能分析

根据以上的技术特点，对 S11—M、S11—M·R 和 SH11—M·R 三种配变进行技术性能分析：

(1) 空载损耗：S11—M 和 S11—M·R 相同，SH11—M·R 较前两者下降 70%~80%。

(2) 运行噪声：S11—M·R 和 SH11—M·R 比 S11—M 降低 7~10dB。

(3) 生产工艺：S11—M 生产工艺成熟，结构稳定；S11—M·R 和 SH11—M·R 采用了新的卷铁芯工艺，目前对 S11—M·R 型 315kVA 以上的大容量配变，国内铁芯硅钢片的卷制和退火工艺与国外先进水平相比还有差距，在一定程度上影响了产品的质量。

5. 各种新型配变投资效益分析

计算典型配变空载消耗。由于 S11—M 和 S11—M·R 的价格和空载损耗都相当。所以下面只选用 S11—M·R 进行比较，见表 1-1，其他容量的配变均可采用上述方法计算。

表 1-1 配变年空载消耗电费

型 号	容 量 (kVA)	空载损耗 (kW)	空载电流 (%)	总空载损耗 (kW)	耗 能 (kWh)	电 费 (元)	配变价额 (元)
S9—M	100	0.29	1.6	0.45	3942	1813	10980
S11—M·R		0.2	0.35	0.25	2058	946	12520
SH11—M·R		0.06	0.7	0.13	1138	523	25350
S9—M	315	0.67	1.1	1.01	8904	4096	21840
S11—M·R		0.48	0.26	0.56	4922	2264	24900
SH11—M·R		0.14	0.4	0.27	2330	1071	46487

十、现代化的电网对变压器的要求

现代城市电网配电系统对电力变压器的要求，除应满足基本技术性能外，还要求有较高的安全可靠。针对现代化城市的特点，变压器还需要满足环境保护、经济运行、节约能源、防灾害等方面的要求，如：

(1) 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，以提高安全可靠。

(2) 满足城市防灾需要，提高防灾能力。适应变压器有建筑物主体内安装、地下安装和在易燃易爆特殊环境中使用，变压器要实现无油化。

(3) 满足环境保护的要求。城市内的变压器在运行中产生的噪声，应符合国家标准 GB3096《城市区域环境噪声标准》的规定，一方面应改进变压器生产工艺，选用优质铁芯材料；另一方面，对大型变压器要有合理运行方式，提高自然冷却能力，不用或少用风



冷设备,减少风扇噪声。必要时要有隔音措施。此外,还要加强油务管理,防止污油排放造成的污染。

(4) 满足经济运行节约能源的要求。在变压器制造上改进结构设计,适当降低铁芯磁通密度,改进铁芯叠片方式;选用薄型晶粒取向硅钢片或采用非晶态合金,降低空载损耗;变压器绕组采用优质铜导线。降低负载损耗;变压器运行中选用合理的经济运行方式,保证高效率运行。

现代化的电网设备应坚持科技进步、安全可靠和节约能源的原则,实现电网设备小型化、无油化、自动化、免维护或少维护及环境保护的要求。

第二节 新型卷铁芯变压器

一、新型卷铁芯变压器的发展

近几年,卷铁芯配电变压器得到较快发展,已批量生产并有 10000 多台已挂网运行。统计资料表明,2000 年、2001 年、2002 年底,全国农网仅县及县以下配电变压器数量分别为 324 万台、348 万台、376 万台,年平均增加 26 万台。现在,配电变压器平均单台容量约 125kVA。由于数量巨大和空载损耗的固定性,使选择适用的节能变压器意义重大。

1. 卷铁芯变压器的技术优势

卷铁芯是用硅钢片带料,连续卷制成的封闭形铁芯,卷铁芯变压器具有独特的优势。卷铁芯变压器的制造工序主要有硅钢片的纵剪、铁芯卷制、铁芯真空退火、线圈绕制、器身绝缘装配、产品总装配等。

卷铁芯变压器按相数可分为三相卷铁芯变压器和单相卷铁芯变压器,卷铁芯的截面形状分为矩形截面、阶梯圆形截面、近似圆形截面 R 型等。按制造工艺不同,卷铁芯可分为断轭结构和不断轭结构等。国内生产的卷铁芯变压器以不断轭结构的冷轧硅钢片卷铁为主。

S11—M·R 型卷铁芯变压器适用范围广,性能水平与传统的 S9 型叠片式铁芯变压器相比,空载损耗平均降低 30%、空载电流平均下降 70%、噪音水平下降 7~10dB,具有重量轻、体积小、机械和电气性能优越等优点。

同国外同类产品空载损耗指标比较,比日本东芝变压器低 39%、比意大利变压器低 39.6%、比德国变压器低 11.6%。因此,我国目前的 S11 卷铁芯变压器空载损耗方面在国际上具有领先水平。

2. 卷铁芯变压器经济效益

S11—M·R 型卷铁芯变压器的价格高于 S9 变压器,但运行费用节省。综合计算表明,购置节能型卷铁芯变压器替代普通变压器的投资回收年限一般只需 2~3 年。广泛应用,不仅可以为用户带来直接经济效益,其节能相当于减少发电量,同时可使发电厂减少排放大量 CO₂、SO₂ 和氮氧化物等,减轻对大气的污染,具有良好的环境效益。

3. 推广应用

我国在 20 世纪 60 年代开始研制卷铁芯变压器,限于当时材料和技术的因素,生产厂家和产品很少。到了 20 世纪 80 年代后期,国内的一些厂家才开始生产卷铁芯变压器。



20 世纪 90 年代中期以来, 卷铁芯变压器逐渐快速发展, 到了商业化生产的阶段。2000 年, 原国家电力公司农电工作部、成套设备部、电力机械局联合召开了 S11 卷铁芯变压器应用研讨会, 明确各地可根据实际情况推广使用。2002 年 9 月, 原国家经贸委以国经贸厅电力 [2002] 122 号文发出《关于在农村电网建设与改造工程中应积极推广使用卷铁芯变压器的通知》, 要求在农村电网建设与改造工程中积极推广使用这一产品。2003 年 11 月, 中国电器工业协会关于变压器行业发展的导向性意见中将配电变压器向小型化、卷铁芯方向发展, 作为国内变压器行业技术发展方向之一。

卷铁芯变压器的生产, 目前我国主要集中在电压等级 10kV, 容量一般在 800kVA 以下, 较大容量 1600kVA 也有试制。全国现有卷铁芯变压器生产厂 200 多家, 形成一定的生产能力的厂家约占总数的 20%。全国卷铁芯变压器的生产能力约为 1600 万 kVA, 但实际产量较低。目前, 电力部门采购的卷铁芯变压器以 315kVA 及以下的容量居多。

4. 现存问题

在肯定卷铁芯变压器技术优越性的同时, 也必须看到现存问题。

产品铁芯结构方面:

(1) 平面三相卷铁芯由于其结构因素, 轭与柱的磁密不一致, 中柱两端的两个三角区成为局部高磁密区。

(2) 铁芯三相间磁路长度不同, 磁力线在内外框中的分布也不尽相同。内环和外环因磁路长短不同, 外环磁阻大于内环磁阻, 内环磁通密度比外环磁通密度高出 10% 左右。

(3) 三相铁芯每个柱中都会有三次谐波磁通。在三角区内, 谐波分量相当高。一般三相卷铁芯变压器的高压联结组为 D 接法。

上述弱点在小容量卷铁芯变压器上 (315kVA 以下, 特别是 100kVA 以下), 反映还不明显, 较大容量影响就大一些。

制造方面:

(1) 专用设备: 生产卷铁芯变压器在铁芯卷制、退火、绕线时需用的专用设备及工装、模具较多, 要求严格, 投入大, 且效率相对较低。

(2) 退火: 铁芯退火受退火设备、温度、时间 (升温、保温、降温)、硅钢片牌号及厂家装炉量、铁芯直径、炉内温度等因素影响较大, 使铁芯损耗工艺系数分散性较大。退火耗电量较大。

(3) 退火后工序较多: 导致铁芯退火后又重新受力, 铁芯空载损耗增加, 使退火效果打了折扣。

使用与维护方面:

产品一旦需要维修, 对铁芯或绕组较为困难, 这将给传统的维护规程和观念带来变化。以上问题和困难, 亟待变压器研究与制造部门进一步深入研究, 多方努力, 认真加以解决, 但不影响现有产品的推广使用。

二、技术与品种的新进展

随着卷铁芯变压器研究开发的不断深入和发展, 已派生出多种卷铁芯变压器产品, 如



组合式卷铁芯变压器、干式卷铁芯变压器、地下式卷铁芯变压器、高燃点油卷铁芯变压器等。

国内已研制出了立体组合的三角形卷铁芯变压器，它采用三只相同的矩形半圆截面卷铁芯框组合而成，相邻的两个铁芯框的边柱组成一相截面近似圆形的心柱，在结构上有一定的优越性。例如三相铁芯磁路对称，可以节省材料，与传统铁芯相比可以减轻一个重量，但绕组绕制工艺较复杂，且有磁密不均的问题，比较适合于做容量较大的配电变压器。

国产化的开口卷铁芯技术正在开发之中。这种技术成功后，将有利于大批量高效生产，并有利于产品性能均匀稳定。铁芯的填充系数高，退火后工序较少，绕线可单独进行。产品分解修理也较简单。

(1) 卷铁芯变压器的推广具有较好的效果和实用性。在现有技术水平条件下，三相卷铁芯变压器选用的容量一般为 315kVA 及以下。单相卷铁芯变压器比传统的单相变压器有明显的优势。

(2) 三相卷铁芯变压器与三相叠铁芯变压器相比，两者没有压倒性的优势，关键是各有各的适用范围。

三、单相卷铁芯变压器选用

利用硅钢片制造变压器铁芯主要有叠装式和卷绕式两种，卷绕式适用于 1000kVA 及以下变压器。现在国内有不少厂家生产卷铁芯变压器，D11—M·R—5—100/10 系列和 D12—M·R—10—160/10 系列单相卷铁芯变压器。

D11—M·R—5—100/10 系列和 D12—M·R—10—160/10 系列单相卷铁芯变压器是一种全新的节能产品，联结组标号为 I, i0。具有绕制工艺简单、重量轻、体积小、噪音低、损耗少、维护简便、运行费用节省、节能效果明显等特点，是农村照明、单相用电的理想产品。

(1) 单相卷铁芯变压器的特点如下：

1) 采用薄型冷轧硅钢片，电磁特性好，且单相卷铁芯变压器只有一个框，铁芯经退火后，其工艺系数仅为 1.05，可大幅度降低空载损耗和空载电流。

2) 卷绕式铁芯没有接缝，铁芯绕制及铁芯和绕组的紧固好，变压器噪声比叠片式可降低 6~8dB。

3) 铁芯四角为圆角，减少角部多余部分，节省硅钢片。空间利用系数高，线圈导线的长度减少，节约了原材料，从而减轻变压器的重量。

4) 卷绕铁芯变压器为全密封结构油箱，提高了变压器运行的可靠性，基本达到免维护要求，延长了变压器使用寿命。

5) 铁芯卷成后需要退火处理，退火工艺要求较高，铁芯卷绕和绕组绕制需要专用设备。变压器的铁芯和绕组需要维修时较困难。

(2) D11—M·R—5—100/10 系列变压器容量及性能参数见表 1-2。

(3) D11—M·R 与普通单相农用变压器损耗的比较。在单相卷铁芯变压器未出品前，使用的单相变压器一般为普通单相农用变压器系列，下面我们对单相卷铁芯变压器与普通单相农用变压器损耗进行比较，见表 1-3。



表 1-2 容量及性能参数

额定容量	联接组	空载电流	空载损耗	负载损耗	短路阻抗
kVA	标号	%	W	W	%
5	I, i0	1.2	25	130	3.5
10	I, i0	1.0	35	250	3.5
20	I, i0	0.8	55	420	3.5
30	I, i0	0.6	75	600	3.5
50	I, i0	0.5	120	860	3.5
80	I, i0	0.4	160	1250	3.5
100	I, i0	0.3	200	1500	3.5

表 1-3 损 耗 比 较

额定容量	卷铁芯	普通单相	卷铁芯	普通单相
kVA	D11	负载损耗 (W)	D11	负载损耗 (W)
10	35	60	250	275
20	55	100	420	480
30	75	135	600	680

从表 1-3 中看出，单相卷铁芯变压器比普通单相农用变压器的空载损耗和负载损耗都有下降。使用卷绕铁芯变压器，可降低运行费用，以 30kVA 变压器为例，普通单相农用变压器年空载损耗电量为 1183kWh。D11 卷绕铁芯变压器年空载损耗电量 657kWh，每年空载损耗减少 526kWh。另一方面单相卷铁芯变压器在台区建筑材料及施工费用等方面可节约大量资金。在电压质量上能够满足客户的要求。

(4) 运行中应注意的事项：

1) 单相卷铁芯变压器运行的环境要求为最高气温 +40℃，最高日平均气温 +30℃，最高年平均气温 +20℃，最低气温 -30℃，海拔不超过 1000m。变压器运行期间上层油温不宜超过 85℃。

2) 用电负荷一般控制在变压器额定容量的 50%~60% 范围内，使变压器处于最经济运行状态。

3) 通过调节变压器无励磁分接开关来改变低压侧出口电压，保证末端用户的电压偏移在允许范围内，在农用电低峰要适当降低农网运行电压，在农用电高峰期要适当提高农网运行电压。

第三节 卷铁芯结构和线圈的绕制工艺

在降低变压器能量损耗的研究中，着重研究降低变压器空载损耗，因为空载损耗是随变压器投入运行而发生的，与负载大小无关，相对为一常数。经过研究，变压器的空载损