



配电变压器能效标准 实施指南

胡景生 主 编
赵跃进 副主编



 中国标准出版社

配电变压器能效标准 实施指南

胡景生 主 编

赵跃进 副主编

中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

配电变压器能效标准实施指南/胡景生主编. —北京:
中国标准出版社, 2007
ISBN 978-7-5066-4473-0

I. 配… II. 胡… III. 配电变压器-节能-性能指标-
标准-中国-指南 IV. TM421-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 065873 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 11.75 字数 270 千字

2007 年 6 月第一版 2007 年 6 月第一次印刷

*

定价 28.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

编写人员名单

主 编 胡景生

副主编 赵跃进

编写人员	胡景生	赵跃进	胡国元
	董志恒	林 俐	陈海红
	张 新	张国钦	裴 阁
	廉姝媚	万贵臣	侯振宇
	韩 英		

前言

资源、人口和环境是当今世界、也是我国所面临的重大问题。我国的煤炭资源蕴藏量虽然位居世界前列,但由于人口众多,按人均资源计算还不及世界平均水平的一半,因此被排在世界第 80 位,是能源、资源短缺大国。同时,我国的环境污染尤为突出,如二氧化碳的排放量仅次于美国,居世界第二位,二氧化硫排放量已是世界第一位。据世界银行 2001 年报告,世界上有 21 个空气质量最差的城市,有 16 个在中国。因此,立足于当前,考虑长远,从可持续发展的战略高度来审视,必须处理好经济建设、生态平衡、资源利用和环境保护的协调发展关系。

党中央和国务院关于建设节约型社会的方针与政策中明确指出:我国存在着资源消耗大、浪费大、环境污染严重等问题,应坚持资源开发与节约并重,把节约放在首位,加快结构调整,推进技术进步,加强法制建设,尽快建立健全促进节约型社会建设的体制和机制,逐步形成节约型的经济增长方式和消费方式,以资源的高效和循环利用,促进经济社会可持续发展。

当今国际上的经济竞争,实际是一场知识经济大战,也是一场标准化水平的竞争。由于我国的国民经济中科技含量低、标准化水平低,造成国民经济中物质含量高——能耗大、物耗大、资源消耗大,因此,在国际竞争中处于劣势。如何改变现状呢?就是要加速贯彻党中央和国务院建设节约型社会的方针政策,提高能源标准的自主创新能力,创建国际上一流的能源标准水平,从而提高能源系统的科技含量,最大限度地降低能源损耗。

能源标准化是能源系统立足于内涵挖掘节能潜力的重要途径,是向技术挖掘节能潜力,向管理挖掘节能潜力的重要手段。因此,重视开发能源标准化工作,不仅是能源部门和标准化部门的共同任务,也是能源使用部门和能源管理部门的重要职责。

电力变压器(包括输电变压器和配电变压器)是国民经济各行业中广泛使用的电气设备。由于使用量大、运行时间长,变压器在选择和使用上存在着很大的节能潜力,尤其是对量大面广的 10 kV 中小型变压器(即配电变压器)而言,更为显著。降低变压器损耗,提高供配电效率,是目前世界各国普遍关注的问题,也是我国政府抓工业产品节能的重点。

为配合《中华人民共和国节约能源法》的实施,促进资源节约型社会的建

设,提高配电变压器的能源利用效率、降低其损耗,引导企业的节能技术进步,在国家发展改革委和国家标准化委员会的支持下,全国能源基础与管理标准化技术委员会归口组织制定了 GB 20052—2006《三相配电变压器能效限定值及节能评价值》。该标准由国家质检总局和国家标准化委员会于 2006 年 1 月 9 日发布,并于 2006 年 7 月 1 日实施。

为促进该项标准的有效实施,充分发挥能源标准化的功能,促进变压器制造行业的健康发展,推动发、供、用电企业加速老旧配电变压器更新换代优选高效节能型配电变压器,最大限度地降低配电网的损耗,做到“人尽其才,财尽其效、物尽其用、时尽其速”,全国能源基础与管理标准化技术委员会特邀请相关专家编著了本书。本书对标准制定的背景、配电变压器节能技术的发展、配电变压器能效标准的内容和作用,以及国外配电变压器能效标准的情况做了系统的论述;详细阐述了能效标准在老旧变压器更新换代、优化电网结构、变压器经济运行中的作用;通过大量实例计算,定量分析了贯彻变压器能效标准、更新老旧变压器的节电效果,以及由此带来的经济效益、社会效益、综合效益;为企业提供了在有限资金条件下,更新现有配电网中老旧变压器、优选改扩建配电网中新型变压器、优化配电网结构、实施配电网经济运行的技术方法,以便充分发挥财尽其效的功能,为企业和社会创造可观的经济和社会效益。

由于编者水平有限,本书中的缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

李爱仙

2007.4

目 录

第 1 章 贯彻配电变压器能效标准的意义	1
1.1 概述	1
1.2 我国能源消费概况	1
1.3 我国变压器节能技术的发展及运行能耗现状	6
1.4 制定配电变压器能效标准的必要性和作用	13
第 2 章 配电变压器能效标准的制定与内容	15
2.1 能效标准的产生与发展	15
2.2 我国能效标准的特点	18
2.3 制定标准的指导思想和技术依据	21
2.4 能效标准的研究方法	22
2.5 配电变压器能效标准的解释	34
2.6 国外配电变压器能效标准的情况	36
第 3 章 配电网经济运行的基础理论	53
3.1 变压器技术参数	53
3.2 变压器有功功率损耗	56
3.3 变压器无功功率损耗	59
3.4 变压器综合功率损耗	61
第 4 章 贯彻配电变压器能效标准与更换老旧变压器的节电潜力	63
4.1 加速老旧变压器的更新换代——人尽其才	63
4.2 对节能型配电变压器的优化选择——财尽其效	69
4.3 实施变压器安全优质经济运行——物尽其用	74
4.4 增强自主创新能力——时尽其速	85
4.5 老旧配电变压器更新换代的节电潜力与社会效益	91
第 5 章 贯彻配电变压器能效标准与优化配电网结构	96
5.1 配电变压器运行位置的优化调整	96
5.2 变压器与其供电线路的优化组合	102
5.3 对单台运行的变压器优化选择	106

5.4	并列运行变压器台数的优化	112
5.5	不等容量变压器的经济运行	116
5.6	变电所(站)自用变压器的经济运行	117
第 6 章	配电变压器能效标准与经济运行	119
6.1	对供用电系统变压器经济运行中误区的剖析	119
6.2	配电变压器间技术特性优劣的判定	124
6.3	配电变压器并列运行的经济运行方式	132
6.4	配电变压器分列运行的经济运行方式	143
6.5	配电变压器的经济负载系数与经济运行区	152
6.6	配电变压器“大马拉小车”的科学判定	161
附录 A	负载波动损耗系数(K_T)	167
附录 B	无功经济当量与有功经济当量	172
附录 C	老旧变压器更新与节能型变压器优化选型软件简介	175

第 1 章

贯彻配电变压器能效标准的意义

1.1 概述

我国是能源消耗大国,也是能源利用效率较低的国家,虽然具有较丰富的煤炭资源,但现有资源正以惊人的速度消耗;虽然我国人均能源消费很低,但能源年消耗量已排列世界第二位;虽然我国一直在增加发电设备装机容量,但拉闸限电时有发生。能源已不只是影响经济的问题,它已威胁到地球生态环境,也使人类看到传统能源枯竭的一天正快速到来。

最近党中央和国务院向全国人民提出建设节约型社会的方针。节约型社会的内涵是在保证国民经济稳定发展与人民生活水平不断提高的前提下,通过提高全民节约资源意识——自觉性、完善节约资源体制——基础性、健全节约资源法规——法制性、推广节约资源技术——先进性、优化节约资源经济——效益性、实施节约资源管理——科学性、强化节约资源监督——强制性,从而最大限度地节约能源资源与物质资源。

怎样才能把我国建设为节约型社会呢?这就需要健全节约管理体制、完善节约法规、加速推广节约技术、优化节约资金投入、依法进行节约监督、唤起全民节约意识。在国家的调控下,通过全方位的政策和措施,降低资源的消耗率,使国民经济在节约的模式下获得可持续的发展。

在我国资源节约政策实施中,国家能效标准是节能政策实施的技术依据,为了完善国家资源节约政策体系,我国已出台了 20 多项能效标准,GB 20052—2006《三相配电变压器能效限定值及节能评价值》(以下简称“配电变压器能效标准”)就是其中之一。

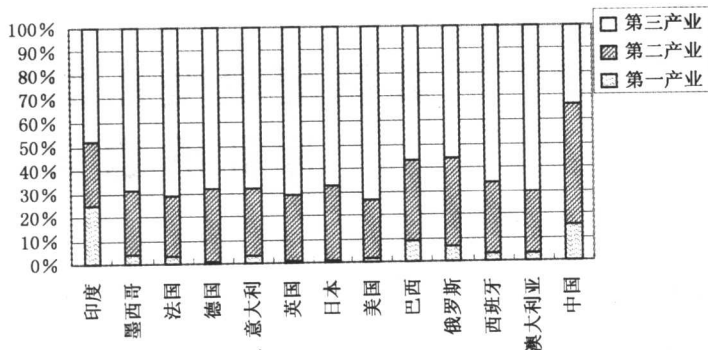
国家标准化管理委员会于 2006 年 1 月 9 日发布了配电变压器能效标准,该标准于 2006 年 7 月 1 日开始实施。在标准中规定了强制性的能效限定值和目标能效限定值,该指标是国家允许生产或进口的技术法规。在标准中也规定了推荐性的节能评价值,该指标是申请节能认证,进入政府采购目录的技术依据。配电变压器使用部门通过贯彻实施配电变压器能效标准,可以改善配电变压器经济运行状态,在配电变压器运行管理中直接获得节能效益和经济效益。

1.2 我国能源消费概况

1.2.1 经济结构

目前世界发达国家第三产业增加值在 GDP 中所占比重一般在 2/3 左右,由于我国近年

来对经济结构的调整,第三产业得到了较大的发展,目前在 GDP 中的比重已达到 1/3,但这与世界发达国家仍有较大的差距。经济结构的差异,势必引起能源消费构成的差异,进而引起单位 GDP 能耗的差别。图 1-1 表示出世界主要国家产业结构情况。



数据来源:世界银行《世界发展指标》数据库。日本是 2000 年数据。

图 1-1 世界主要国家的产业结构

在图 1-1 中可看到,我国第一产业的比重为 15.8%,虽然小于印度,但仍大于其他国家。如美国、日本、德国和英国这些发达国家,其第一产业增加值只有 1%~2%。在图 1-1 中,我国是第二产业比重最大的国家,比重为 50.1%,是美国、法国的两倍。根据图 1-1 所示,我国的经济结构仍然以工业为主,农业在国民经济中仍占居比较重要地位,服务业与发达国家相比,仍具有较大发展的空间。

我国经济结构变化如图 1-2 所示,自 1995 年以来,我国第一产业在经济结构中呈下降趋势,而第三产业呈增加趋势,第二产业的比重基本没有变化,这反映出,我国第三产业发展呈较强的势头。

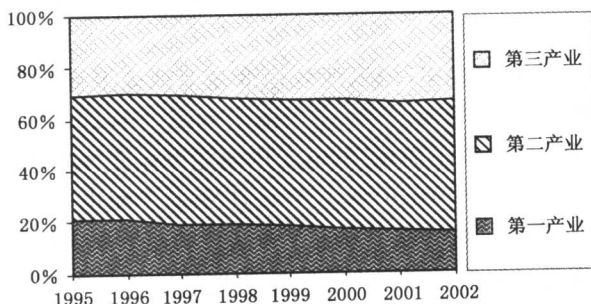


图 1-2 我国经济结构的变化

1.2.2 能源利用的经济效率

能源利用的经济效率是指单位能源消耗所产出 GDP 的数量,一个国家的能源利用效率是由该国的经济结构和能源利用技术水平等因素决定的,它是衡量一个国家或一个部门能源利用水平的技术指标。一般来说,发达国家由于经济结构合理,节能技术水平高,节能

政策到位,所以一般能源利用经济效率高,图 1-3 为 2001 年我国和世界主要国家的能源经济效率。

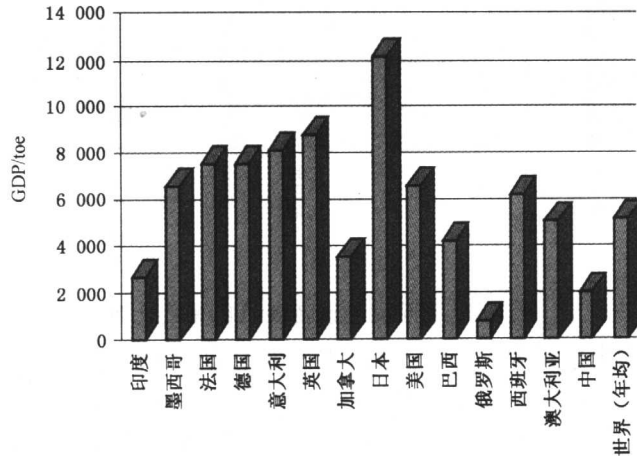
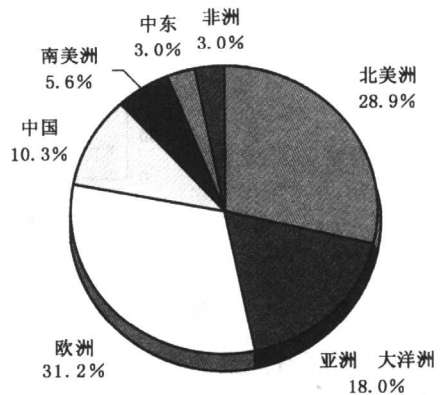


图 1-3 世界主要国家能源利用经济效率

从图 1-3 中可看到,日本的能源经济效率在世界上最高,每一吨标油(toe)的能源可产生 12 105 美元的 GDP。世界平均能源效率为每吨标油可生产出 5 186 美元的 GDP,而我国的能源经济效率只有 1 990 美元,远远低于国际平均水平。所以提高我国的能源经济效率是我国今后能源政策实施的目标之一。

1.2.3 电力

电力是能源的主要品种,是可以定时、定量加以利用的二次能源。电力工业的发展程度已成为衡量一个国家经济和社会发达程度的重要标志。1987 年,我国发电设备装机容量超过 1 亿 kW,成为世界上少数几个电力设备超过 1 亿 kW 的国家之一;1995 年,我国发电设备装机容量超过 2 亿 kW,发电量突破 1 万亿 kWh;1996 年,我国装机容量和发电量双双超过日本,居世界第二位,仅次于美国;2000 年,我国发电装机容量超过 3 亿 kW;2002 年,我国发电装机容量达 3.56 亿 kW,在世界各国发电装机容量上排位第二,其中水电 0.86 亿 kW,火电 2.66 亿 kW(参考《中国能源发展报告 2003》)。2002 年世界发电总装机容量为 34.83 亿 kW,图 1-4 为我国在世界发电设备装机容量的比重。



资料来源:美国能源信息局 2002 年国际能源

图 1-4 中国在世界发电设备装机容量的比重

世界不同发电设备装机容量的比例为:火电 67.1%、水电 20.9%、核电 10.4%、可再生能源发电 1.6%。而我国发电设备的装机容量的结构主要由火力和水电构成,核电与可再生能源的装机容量很小,见图 1-5。

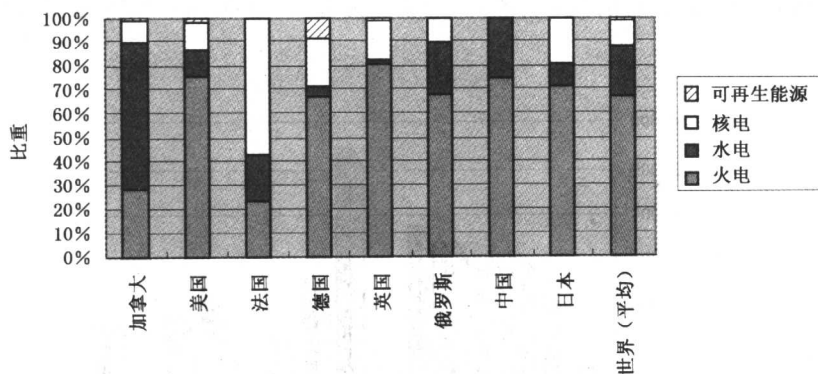


图 1-5 不同发电设备装机容量的比重

为了满足我国用电的需要,我国一直大力发展电力工业的基本建设,我国发电装机容量逐年增加。从1990年以来,我国发电装机容量平均以8.86%的增长率直线上升,在1998年之前,发、用电比值逐年下降,电力供求趋于平衡。自1999年后,由于用电设备容量猛增,装机容量的增长落后于用电设备容量的增长,发、用电比值迅速回升,这种现象的持续发展,使得缺电现象逐渐显现,并造成了2003年和2004年的电力严重紧缺现象,装机容量、用电设备容量和发、用电比的变化情况详见图1-6。

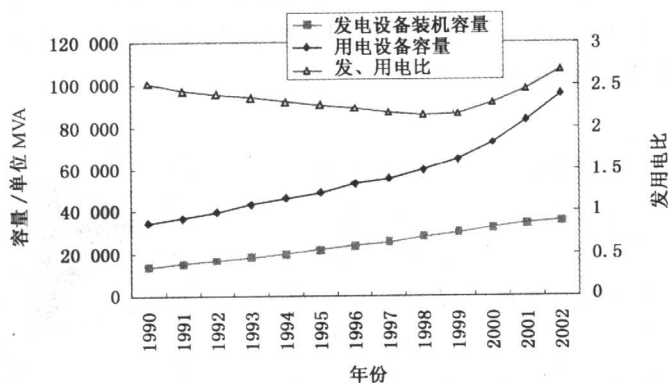


图 1-6 装机容量、用电设备容量和发用电比的增长

1.2.4 能源消费量的对比

2004年世界一次能源消费总量为148.1亿吨标煤,其中美国消费36.2亿吨标煤,占世界能源消费总量的22.5%,居世界第一位。我国大陆能源消费总量为26.5亿吨标煤,占世界能源消费总量的13.3%,居世界第二位,具体见表1-1。

20多年来,世界各地一次能源的消耗比重发生了较大的变化,从图1-7中可见,1980年世界一次能源消耗最大的地区是欧洲,当时其能源消耗占据了世界总消耗的42%,除中国外的亚洲和大洋洲占据了11%,中国占据了6.1%。到2002年时,亚洲和大洋洲的一次能源消耗比重膨胀到29%,与北美和欧洲的比重相等,中国一次能源在世界中的消耗比重增加到了11%。2002年一次能源消费量与1980年相比,北美增加了27.9%、欧洲增加了

3.7%、中国增加了 149.8%、除中国以外的亚洲和大洋洲增加了 131.6%。所以,中国以及亚洲和大洋洲地区是 20 年以来一次能源消耗量增长最快的。

表 1-1 世界一次能源消耗量和排位 亿吨标煤

排位	国家	能源消费量		排位	国家	能源消费量	
		总量	人均 tce			总量	人均 tce
1	美国	36.2	12.34	9	英国	3.6	6.00
2	中国	26.5	1.65	10	巴西	3.3	1.78
3	俄罗斯	10.8	7.52	11	韩国	3.2	6.68
4	日本	8.2	6.40	12	意大利	3.0	5.13
5	印度	5.6	0.52	13	墨西哥	2.4	2.27
6	德国	5.3	6.42	14	乌克兰	2.3	4.94
7	加拿大	4.9	15.06	16	伊朗	2.3	3.44
8	法国	4.1	6.70		世界	148.1	2.52

信息来源:美国能源信息署(EIA)Energy Information Administration.

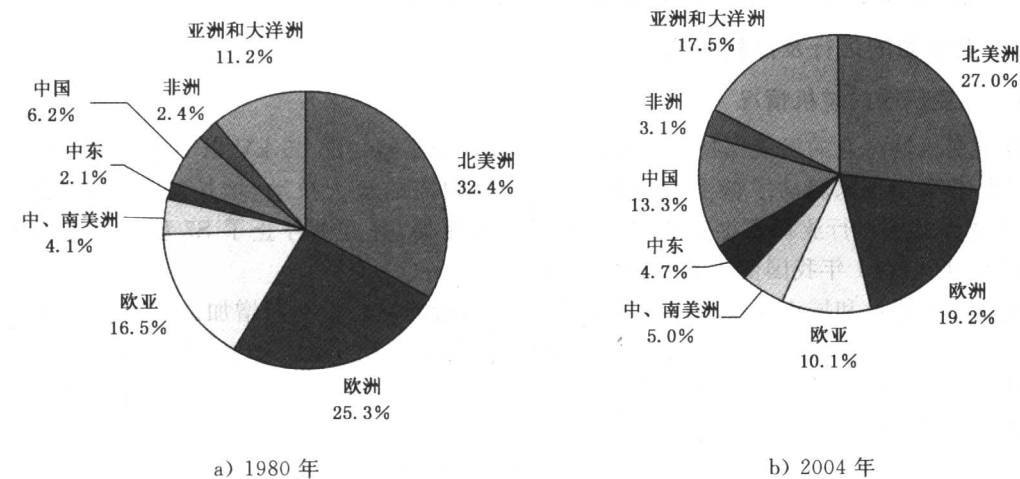


图 1-7 世界各地消耗一次能源的比重(1980 年和 2004 年)

从图 1-8 可看到,多年来世界一次能源消耗的平均增长率维持在 1.4%,而中国一次能源消耗的平均增长率为 4.3%,比世界高出 2.9 个百分点。

如表 1-1 所示,2002 年世界一次能源人均能源消费量折算标煤 2.37 t,其中加拿大人均消费量最高达 15.05 t 标煤,美国人均消费 12.21 t 标煤,我国人均消费只有 1.2 t 标煤,在世界人均一次能源消耗排位中位居第 126,约为世界平均水平的一半,不足美国的十分之一,约为韩国的五分之一。1980 年我国人均一次能源消耗为 0.63 t 标煤,以此相比,我国 20 多年来人均能源消耗增加了近一倍。

人均能源消费量的差异,反映了我国经济发展和人民生活水平同国外的差距。假如我国目前一次能源人均消耗达到世界水平(2.37 tce/人),我国能源总消费量为 30.72 亿 t 标

煤,占现有世界总消耗量的 20.7%,相当于目前我国加上非洲和中东地区的能源消费;假如我国人均消费达到日本水平(6.21 tce/人),我国能源消耗将达 80.4 亿 t 标煤,占现有世界消费总量的 54.3%,相当于我国、非洲、中东、欧洲和南美洲能源消费总合;假如我国人均消费达到美国水平(12.21 tce/人),我国能源总消耗高达 158.2 亿 t 标煤,为现有世界消费总量的 108%,超过世界能源消费总量。

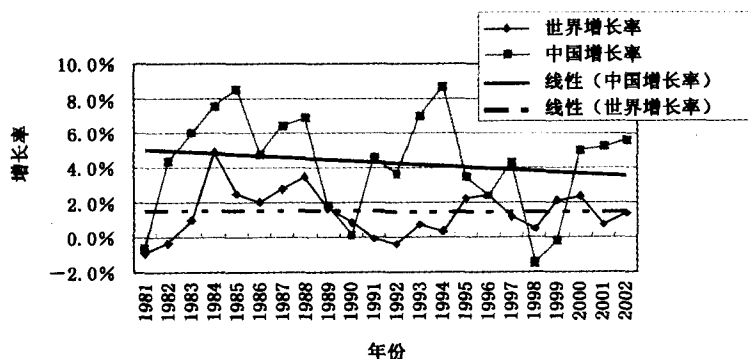


图 1-8 世界和中国一次能源消耗增长率

1.3 我国变压器节能技术的发展及运行能耗现状

1.3.1 变压器的运行及能耗状况

1.3.1.1 变压器的装机情况

我国变压器行业的发展保持了较好的增长势头,变压器中的 35 kV 以下中小型配电变压器,因 1997 年国家启动了城乡电网改造工程,受内需的极大拉动,增长势头更加旺盛。1999 年我国变压器行业积极推广相对 S9 型新型变压器,并逐渐停止了 S7 型变压器的生产。1999 年~2001 年我国变压器产量增长率达 12%~17%。

随着工业建设和城市建设的迅猛发展,我国变压器的使用量不断增加。1978 年~2000 年变压器产量年均增长率达到 7.46%(按照容量计算)(见图 1-9)。2000 年生产各类变压器产品 345 604 台,约为 181 774.9 MVA。其中 35 kV、6 300 kVA 及以下的中小型变压器增长速度较快,按照容量计算,比 1999 年增加 29.37%。

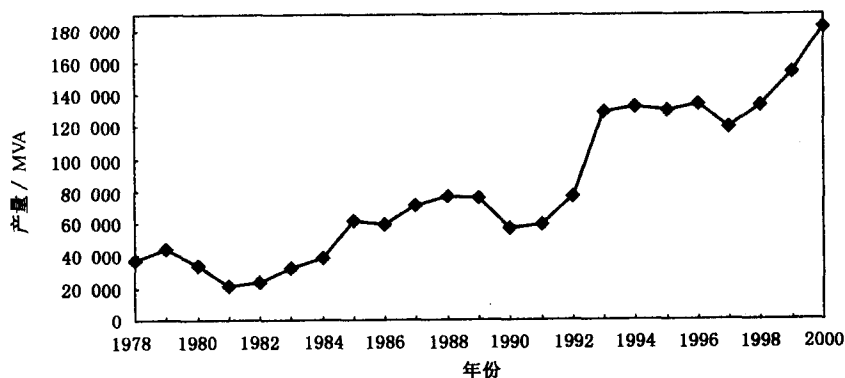


图 1-9 变压器产量的发展过程

1.3.1.2 变压器的损耗

配电变压器的电能转换效率直接与其损耗相关,它们是反比关系,要提高配电变压器的效率就要降低其损耗。配电变压器在运行中除了将大部分电能进行了转化外,一部分电能被自身消耗掉了,这部分被变压器自身消耗的电能称为变压器损耗。配电变压器损耗主要是由空载损耗和负载损耗构成,两者之和称为总损耗。

绝大部分空载损耗产生在变压器的铁心中,也称为铁损,它包括磁滞损耗和涡流损耗,是由于铁心中的磁通以电网交流频率变化而产生的,最终以热的形式散发到变压器外。空载损耗的高低受铁心材料的特性、铁心材料的厚度、铁心叠片方式和生产工艺的直接影响。此外,由于空载电流流经绕组,在绕组内产生电阻损耗 $I_0^2 R$,但空载电流的电阻损耗一般很小。配电变压器铭牌上的空载损耗是将额定频率、正弦波形和额定电压施加于选定的绕组上,并将其他绕组开路,所测量到的变压器所消耗的有功功率。其值可反映变压器空载时所消耗的能量。

绝大部分负载损耗产生在变压器的绕组中,又称为铜损,它主要包括负载电流通过绕组时在导线电阻上产生的损耗和附加损耗,这部分损耗最终也是以热的形式散发到变压器体外。负载损耗的大小主要受负载电流和导线电阻的影响,由于绕组导线电阻又受温度的影响,所以变压器的温度也影响着负载损耗的大小。附加损耗又包括为绕组导线内的涡流损耗、绕组内并联导线中的不平衡电流损耗、铁心和夹件内的附加损耗、油箱的附加损耗。

三相配电变压器铭牌上的负载损耗是当额定电流流过高压绕组时,且低压绕组短路,在额定频率、额定电流及参考温度下变压器所消耗的有功功率,其值可反映变压器负载损耗的特性,由于变压器的负载是变化的,所以铭牌上的负载损耗并不代表变压器的实际损耗。

在变压器行业中,损耗又可分为计算值、标准值、实测值和保证值四种损耗数值,在实际工作中这四种数值大小不同,意义也不同,若混淆了这些数值,将造成工作失误或经济损失。

在变压器设计时根据设计程序,参照所选用铁心材料的单位损耗与工艺系数所计算出的损耗称计算值。在标准中所规定的损耗值称为标准值。实测值是在所规定的试验条件下所测量的损耗值,在试验中若某个条件不在规定值上,可以通过换算求得,测负载损耗时,所加电流不能低于额定电流的 50%。保证值是生产企业在销售合同上所承诺的损耗值,它等于标准值加允许偏差。一般情况下,计算值必须小于标准值或保证值,计算值没有法律效应,而标准值和保证值具有法律效应。

1.3.2 我国变压器节能技术的发展

1.3.2.1 变压器型号的衍变

从我国变压器型号的衍变过程可以看出变压器效率不断提高的过程。过去在计划经济体制中,我国变压器的设计是由国家统一管理,国家投资搞设计,制定统一标准,企业无偿地使用图纸,全国使用同一个系列的名称,所以就变压器节能技术发展脉搏看,我国变压器历经了 S_j、S₇、S₉、S₁₁ 等几个系列的更替过程,节能技术的发展方向也不断发生着改变。

建国初期,我国电力变压器制造行业沿袭英、美标准。从 20 世纪 50 年代起采用前苏联标准,直到 1964 年颁布了我国电力变压器的第一个技术标准 JB 500—1964《电力变压器》,相当于前苏联国家标准 ГОСТ 401-41,产品的性能数据也是参照前苏联这个标准制定的。

该标准一直使用到 20 世纪 70 年代初,相应的主要系列产品有: SJ 系列、SJ1 系列、SJ2 系列、SJ3 系列、SJ4 系列、SJ5 系列、SJL 系列、SJL1 系列。在行业内,这个时期的变压器系列也统称为 64 标准。

1971 年和 1979 年国家有关部门对该标准进行了两次修订,与之相对应的产品性能标准是 1973 年的部颁标准 JB 1300~1301—1973《三相油浸电力变压器基本参数和技术要求》,其中 JB 1300—1973 是 10 kV 级,JB 1301—1973 是 35 kV 级。空载损耗和负载损耗分成组 I 和组 II 两种。组 I 采用 D330-0.35 冷轧硅钢片,组 II 采用 D43-0.35 热轧硅钢片。组 II 较组 I 的空载损耗高 10%~15%,负载损耗高 3%~8%。主要系列产品有: S 系列、S1 系列、S2 系列、S5 系列、SL、SL1 和 SL3 系列,其中 SL、SL1 和 SL3 系列为铝线产品。在行业内,这个时期的变压器系列也统称为 73 标准。

早期生产的配电变压器体积大,损耗高,其结构特点是:铁心除 SJ5、SJL1、SL1 等少数系列产品采用冷轧硅钢片外,大多数采用性能差的 0.35 mm 热轧硅钢片。绕组导电材料为铜线或铝线,导线有漆包、纸包,早期还有纱包。

1985 年和 1986 年分别修订了 GB 1094.1《电力变压器》和 GB/T 6451《三相油浸式电力变压器技术参数和要求》两个国家标准。GB 1094.1~1094.5—1985 等效采用国际电工委员会 IEC 60076-1~60076-5:1976 标准。GB 6451 是参照德国西门子公司 DIN42500、DIN42503、DIN42511 等标准中的损耗值而制定的,标准规定的损耗值均有较大幅度的降低。其主要系列产品有: SL7 型、S7 型、S8 和 SL8 型。

我国曾在 1984 年至 1998 年进行过三次统一淘汰高耗能变压器的活动。1984 年原机械工业部会同国家有关部委联合发布了《机械工业淘汰能耗高、落后机电产品项目》,强制淘汰了 SJ、SJL、S、SZ、SL 等 10 几个系列的配电变压器,推荐采用 S7 系列的配电变压器。通过这次节能技术的推广,使配电变压器的每 kVA 容量的年电耗降低了 15 kWh。1990 年通过淘汰目录又淘汰了 DJMB 系列照明用干式变压器和 DBK 系列控制用干式变压器,并推荐使用当时高效 DJMB2 系列和 DBK2 系列干式变压器。1998 年我国又发布了《机械工业第十七批淘汰落后机电产品项目》,明令淘汰 SL7 和 S7 系列的配电变压器。SL7 系列为铝线变压器, S7 系列是在 SL7 系列基础上衍变出的铜线产品,该系列产品在损耗指标上与 SL7 接近。随着技术不断进步,可靠性措施的提高, SL7、S7 系列配电变压器逐渐显露出不足,特别是空载损耗平均比 S9 高 11%,负载损耗平均高 28%,每年比 S9 产品多耗电约 1 亿 kWh。S9 系列配电变压器年运行成本较 S7 系列平均下降 17.8%。

随着我国市场经济体制不断深化和完善,特别是民营企业的不断壮大和外资企业发展为我国变压器行业注入了新的生机,这些企业不但重视变压器市场的发展趋势和企业的内部管理,同时他们更注重节能新技术的开发和应用,通过自主创新,一些企业不断开发出效率更高、损耗更低的配电变压器,使我国配电变压器效率在较短时期不断接近国际水平。所以在 S9 全面推广后,一些企业很快又推出了 S10、S11、S13、S15 等系列的节能配电变压器,虽然一些系列还没有被行业认可,但他们勇于自我创新的精神,体现了市场机制,赋予了配电变压器行业新的活力。

目前新 S9 产品虽已广泛地占领了市场,但随着经济的发展,用户(特别是农网,变压器负荷率较低)对“11”型产品的需求逐步增长。这就要求我们设计出可靠性高、损耗更低的

新产品。S11 型叠铁心变压器是在新 S9 成熟的技术基础上设计开发的,在保持产品可靠性的前提下,其性能指标有了较大提高。

1.3.2.2 配电变压器节能技术的发展及趋势

前面已经提到,配电变压器的损耗主要包括空载损耗和负载损耗,提高变压器的效率,就要应用新的技术和工艺来降低这些损耗。纵观配电变压器节能技术的发展,每项新技术和新工艺的广泛应用不但带有其时代特征,而且与其经济性紧密相关。我们用科技发展观来看,变压器节能技术的每一步发展,都代表了那个时代的科技水平,是那个时代新技术在变压器制造中的应用。但是新技术是否能够在变压器行业全面推广,还要看它在哪个时期的经济性,也就是它的价格是否被广大用户所接受。

降低变压器损耗的通过两种途径,一种是使用更多的材料来降低损耗,另一种是采用新的技术和工艺来降低损耗。前一种是利用更多的铁心材料增加铁心的截面积,从而使铁心磁阻降低,以达到减小空载损耗的目的。同时利用更多的绕组材料,增加绕组的截面积,使绕组中的电阻值降低,来达到减少负载损耗的目的。可以说,这种途径是有效和简便的,但它的效用是递减的,也就是每次增加同等量的材料,则损耗降低的幅度是不断减小的。所以这一途径目前受到价格、体积、重量等因素的制约而无法继续走下去了。后一种途径是在变压器结构上、材料上、工艺上和设计上采用新的技术,在不增加产品体积和重量的条件下来达到降低损耗的目的,后一种途径将是今后我国变压器节能技术发展的唯一道路。下面我们分别回顾一下变压器铁心和绕组技术发展的过程。

1. 铁心制造技术的发展

(1) 铁心结构

先来看铁心结构的发展,当变压器刚被应用的初期,变压器铁心是由铁线束制成的,这种铁心无疑是导磁率非常低,磁阻非常大,涡流损耗也比较大。后来铁线式的铁线被叠片式铁心所取代,铁心的涡流损耗明显降低,叠片式铁心一直沿用至今,成为传统的铁心结构。目前新型的铁心结构为卷铁心,卷铁芯充分利用硅钢片的取向性,消除了因磁路与硅钢片取向不一致而增加的损耗;这种铁心是由硅钢片带材连续卷绕而成,再经过真空退火,由于铁心无接缝,所以导磁性能大大改善,S11 型变压器铁心主要采用的就是卷铁心技术。S11 卷铁芯配电变压器与传统的叠片式变压器相比较,有以下几个特点:

- 1) 节约原材料,硅钢片无横剪工序,废料少,材料利用率高。
- 2) 节能,卷铁芯充分利用硅钢片的取向性,消除了因磁路与硅钢片取向不一致而增加的损耗。
- 3) 改善供电品质,卷铁芯无需消耗接缝的磁化容量,减小激磁电流,提高了功率因数,降低了电网线损。
- 4) 噪音低,卷铁芯是一个无缝的整体,运行时振动小,噪音只 40 dB 左右。
- 5) 机械化程度高,可提高生产效率。

目前卷铁心又由平面卷铁心向立体三角形卷铁心发展。立体三角形卷铁心使得变压器铁心的磁路缩短,空载损耗进一步降低。卷铁心变压器具有比 S9 空载损耗下降 50%,空载电流下降 90%,体积减少 1/3,重量减轻近 1/4,噪声降低 10 dB 等优点。图 1-10 为两种形式的卷铁心结构。