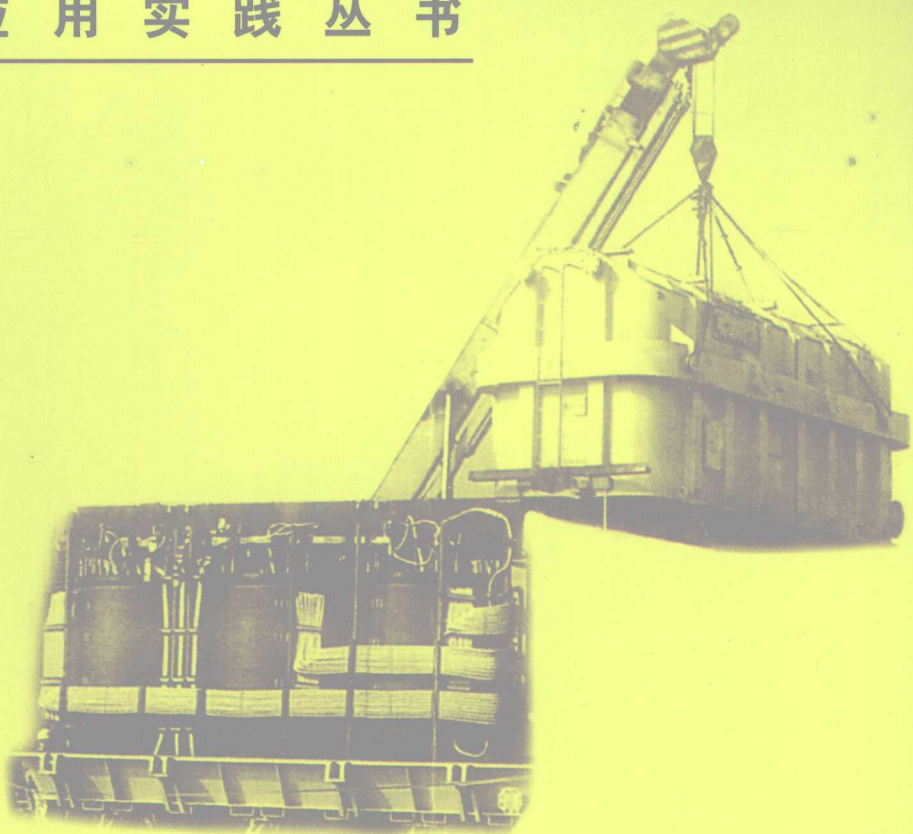


节电技术应用实践丛书



变压器节能方法与 技术改造应用实例

姚志松 姚磊 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

节 电 技 术 应 用 实 践 丛 书

变压器节能方法与 技术改造应用实例

姚志松 姚磊 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

企业用电量总和等于变压器供电量,故变压器节能对企业来讲意义重大。本书介绍了如何制造和改造,使变压器(包括壳式变压器和低噪声变压器)更节能;系统地讲述了国内外变压器能效、现状、发展、各代标准值、节能变压器种类;全面汇总了降低空载损耗、负载损耗、杂散损耗、辅助损耗的各种方法实例和旧变压器改造的方案、计算、要求、设计、方法及加装有载分接开关。

本书可供电力、化工、冶金、建筑、纺织、石油、铁道、制造、修理、改造等行业的技术人员、工程人员及管理人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

变压器节能方法与技术改造应用实例/姚志松,姚磊编著. —北京:中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8314-9

I. 变… II. ①姚…②姚… III. 变压器-节能-技术 IV. TM4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第211445号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 27.75印张 686千字

印数0001—3000册 定价49.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

由于我国经济蓬勃发展,各行各业对能源的需求越来越大,据报道,2007年我国对进口石油依赖度达到50%,已进入能源预警期。世界能源价格有时很高,能源消耗面临严峻考验,节能工作刻不容缓。随着《中华人民共和国节约能源法》的颁布,我国实施了把节约放在首位的能源发展战略,先后出台了《关于加强节能工作的决定》、《配电变压器的能效限定值及节能评价标准》、《单位GDP能耗考核体系实施方案》和节能技改财政奖励办法,并建立层层责任制,把节能指标纳入各地评价体系,作为领导和企业负责人考核内容,推行“一票否决制”和“问责制”。如在浙江省,企业每节约相当于1t煤的能源就奖励20元,反之,若超额消耗1t煤的能源就罚款20元。

据报道“十一五”期间(2006~2010年)国家电网公司投入8000亿元,南方电网公司投入3000亿元,全国共将投入11000亿元进行电网建设(“十五”期间全国“两网”改造总计投入2650亿元),这将快速促进变压器的更新换代。温总理2007年在中欧工商峰会上述,预计未来5年,我国节能环保将投入3000亿美元,占世界市场30%。国际能源机构估算,2001~2030年我国电力投资为1.84万亿元。而我国电网损耗占供电容量7.2%,其中变压器损耗占大部分。2007年我国变压器产量达9亿kVA,加上电网原有变压器,构成很大的节能潜力库。因此采用节能变压器、降低变压器损耗是节能工作的重大措施。

为了适应节能的紧迫形势,挖掘节能潜力,本书搜集、汇总、合并、归类、提炼了各种节能方法实例,并加以补充、完善,以求制造和改造出比目前更节能、更经济的变压器。对SJ、SL1、S7、S9型等各代标准的高损耗变压器,其价值如何判断、怎样改造、新购应选哪种哪型号等问题,本书都有评述。对主变压器冷却器的新型特点和旧型改造,壳式变压器、低噪声变压器的设计、制作和工艺及节能治噪也有专门论述。本书还简述了变压器,包括大、中、小容量和主、配变压器的原理、结构、效率、性能、标准和粗、细调压,正、反调压节能比较。

本书作者获得过国家发明奖,长期从事变压器设计、制造、试验、运行、安装、管理、修理、改造工作,是生产一线具有丰富生产经验的工程技术专家和高级技师,曾任省重点科研项目课题带头人和多家大型工厂顾问,到过多个国家进行变压器考察和验收。

本书汇聚了作者多年的工作实践经验,且内容新颖、全面、实用,文字精练,图文并茂,通俗易懂,详略得当,结合最新标准,可操作性强。

本书在编写过程中参考和引用了大量的文献和资料,在此对相关作者表示诚挚的感谢!参加本书编写工作的还有陈希明、张一军、赵寿生、高山、章寿源、顾克拉、王吉庆、何勇、刘洪鑫、李宏雯、潘巍巍、刘义华、周锡忠、刘东江、金敏锋、吴军、潘林凤、吴学林、胡美华、吴勇、廖凤香等,全书由姚志松负责统稿和校订。限于作者的水平,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作者

目 录

前言

第一章 变压器能效和节能变压器类型	1
第一节 概述	1
一、节能紧迫性	1
二、国内外能效对比	3
第二节 电网和用电负载种类	7
一、电网概述	7
二、特高压电网	12
三、用电负载种类	13
第三节 变压器的损耗和效率	14
一、损耗	14
二、效率	18
三、降低损耗的有关问题	19
第四节 变压器发展的回顾和我国产品现状	23
一、变压器发展的回顾	23
二、我国配电变压器的现状	26
第五节 节能变压器的种类简述	33
一、概述	33
二、改进材质节能的变压器	33
三、改造部件结构节能的变压器	34
四、根据工作原理节能的变压器	35
五、其他种类节能变压器	35
第二章 变压器的数据、原理和各时期标准数值	37
第一节 变压器的分类、铭牌和额定值	37
一、用途分类概述	37
二、铭牌和额定值	38
第二节 变压器的工作原理和运行性能	42
一、变压器的基本原理和空载运行	42
二、变压器的负载运行	43
三、变压器的磁路	45
四、变压器的调压方法	46
五、变压器合闸通电时的涌流现象	47
六、电压变动率	48

七、冷却方式和代号	50
第三节 不同联结组对谐波的影响	51
一、Yy、YNy 联结的变压器三相组和三相变压器	52
二、Dy、Yd、YNd 联结	53
三、影响变压器零序阻抗的因素	54
四、Yz 联结	55
第四节 损耗水平代号和各标准损耗数值	56
一、型号中损耗性能水平代号意义	56
二、各种标准损耗数值	58
第三章 叠片式铁心变压器结构	66
第一节 概述	66
一、变压器的组成和结构	66
二、变压器的制造流程	70
三、统一设计变压器的要求要点	72
第二节 变压器的铁心	73
一、铁心的作用和分类	73
二、铁心截面和加工	76
三、铁心的夹紧、捆扎和接地	80
第三节 变压器的绕组	85
一、绕组形式	85
二、层式绕组	88
三、连续式绕组	88
四、螺旋式绕组	90
五、纠结式绕组	91
六、内屏蔽式绕组	91
七、箔式绕组	92
八、“8”字绕组	92
九、分裂式绕组	92
第四节 变压器的绝缘	93
一、绝缘材料等级	93
二、绝缘分类	94
三、主绝缘	94
四、纵绝缘	96
五、绝缘件和压紧装置	97
第五节 油箱、冷却系统和储油柜	100
一、油箱和冷却系统	100
二、储油柜的种类	103
第四章 采用先进材料、工艺、设计方法降低空载损耗	107
第一节 空载损耗概述	107
一、填充系数和工艺系数及叠装系数	107

二、空载损耗和降低的主要途径·····	108
三、空载损耗和空载电流的影响因素·····	110
第二节 采用细畴高导磁硅钢片和非晶合金片·····	112
一、硅钢片的性能·····	112
二、HI-B 高导磁硅钢片·····	115
三、激光照射、机械压痕和等离子处理的高导磁硅钢片·····	118
四、非晶合金和速冷法制成的硅钢片·····	119
第三节 空载损耗的解析技术·····	120
一、解析技术概述·····	120
二、铁心解析技术的应用·····	121
三、应用解析对铁心损耗的计算·····	122
四、铁心损耗分布·····	124
第四节 减小工艺系数·····	124
一、工艺系数和叠片系数计算实例·····	124
二、冲剪加工对工艺系数的影响·····	125
三、冲剪设备和刀具、调整的重要性·····	125
第五节 阶梯叠接缝·····	128
一、概述·····	128
二、铁心接缝级数与磁密的关系·····	129
三、实现“阶梯叠”的生产设备·····	130
四、“阶梯叠”与“交错叠”的空载损耗实测比较·····	131
五、“阶梯叠”中每阶片数对降损的影响·····	132
六、采用阶梯接缝降低铁心角部损耗·····	135
第五章 改进铁心结构降低空载损耗·····	136
第一节 改进铁心结构·····	136
一、综述·····	136
二、减小铁心塔接宽度和采用“凸”字形铁轭降损·····	136
三、少混或不混硅钢片·····	138
四、采用圆柱矩轭或椭圆形铁心·····	139
第二节 铁心不叠上铁轭工艺·····	141
一、叠装工装·····	141
二、叠装工艺·····	141
三、经济效益·····	142
第三节 选择合适片宽减少铁心角重·····	143
一、铁心片宽与铁心角重的关系·····	143
二、减少角重的措施·····	146
第四节 减小铁心窗口尺寸和降噪节能·····	146
一、减小铁心窗口尺寸·····	146
二、设计无共振铁心实现节能·····	148
第五节 减小变压器高次谐波降低损耗·····	149

一、由于铁磁材料饱和所产生的奇次谐波	149
二、由于直流偏磁所产生的偶次谐波	150
三、减小高次谐波的措施	152
第六节 合理选择心柱、主轭、旁轭截面和结构	153
一、减小铁心主轭和旁轭的质量	153
二、合理分配主轭、旁轭和边柱的截面积	156
三、三相四框五柱铁心优良结构的确定	157
第七节 加插硅钢片来解决空载损耗过大的方法	159
一、空载数值超标的原因	159
二、解决方法	159
第八节 改造时降低空载损耗的简易方法	161
一、每层叠片数不同对磁通密度的影响	161
二、每层叠片数对空载损耗影响	161
三、混合叠片法	161
第六章 采用先进材料和设计方法降低负载损耗	163
第一节 负载损耗概述	163
一、综述	163
二、绕组直流电阻损耗	163
三、导线的涡流损耗	164
四、环流损耗	164
五、引线损耗	166
六、结构件的杂散损耗	166
第二节 降低负载损耗方法概述	166
一、实施具体方法	166
二、导线尺寸选择和顺序翻头法	169
三、完全翻头法	170
四、翻不翻头比较和导线宽度影响	171
第三节 采用低损低阻导线	172
一、概述	172
二、换位导线的应用	174
三、组合导线的应用	177
四、应用碳纤维复合导线的前景	179
第四节 漏磁分析和涡损计算	180
一、绕组漏磁场分析	180
二、干式变压器漏磁场研究	183
三、涡流损耗计算	185
第五节 解决负载损耗过大的方法	190
一、负载损耗过大的分析方法	190
二、绕组涡流损耗和构件杂损计算 (30.5℃)	191
三、故障原因分析和验证	192

第七章 采用先进的结构降低负载损耗	193
第一节 油纸绝缘结构概述	193
一、变压器油	193
二、相对介电常数	193
三、液体电介质击穿机理	195
四、变压器油的工频击穿特性	195
五、油中沿面放电	196
六、油—屏障绝缘	196
第二节 绝缘结构的特点和利用	198
一、利用油的“距离效应”	198
二、利用油的“体积效应”	199
三、受潮油浸纸随含水量增加耐压强度下降	200
四、利用油中绝缘层的“厚度效应”	200
五、油中放隔板的位置选择	201
六、主绝缘节能结构	202
七、出口配电变压器的绝缘结构	205
第三节 采用先进的绝缘结构	206
一、采用适用绕组,提高填充系数	206
二、改进结构提高填充系数	207
三、增加绝缘隔板	208
第四节 优选绕组内部保护	209
一、概述	209
二、实际采用的保护措施及结构	211
三、纠结式绕组	214
四、内屏蔽式绕组(插入电容式绕组)	214
第五节 导线换位和双头并绕	215
一、概述	215
二、环流损耗的计算	217
三、不完全换位引起的环流损耗	217
四、三列螺旋式绕组换位	221
五、铜箔双头并绕节能	221
六、绕线工艺的改进	223
第六节 采用长圆形等绕组和 Yyn0 联结及降高度节能	223
一、采用长圆形铁心、长圆形绕组节能	223
二、采用矩形带圆角绕组节能	224
三、采用 Yyn0 联结节能	224
四、降低干式变压器绕组高度节能	225
第八章 降低杂散损耗和辅助损耗的方法	226
第一节 杂散损耗和降低方法	226
一、概述	226

二、降低杂散损耗的方法	227
三、穿板引线引起的涡损和局部过热	229
第二节 降低油箱杂损和辅助损耗的方法	232
一、油箱损耗的计算	232
二、油箱损耗分布	233
三、减少箱壁涡流损耗的措施	233
四、设计控制漏磁通	234
五、有效的冷却控制和蒸发冷却变压器	234
六、降低辅助设备的损耗	235
七、变频调压式冷却器电源的使用	235
八、综合利用变压器废热降能	235
第三节 新型风冷却器的优点和旧型更新	235
一、风冷却器的发展和各时期风冷却器的特点	235
二、旧型、较新型、新型冷却器的比较	239
三、更新改造	240
第四节 老式(旧型)冷却系统的更新改造	241
一、苏州供电修试所改造实例	241
二、衢州电力局改造实例	243
三、不换冷却器只换部件改造实例	244
四、电厂主变压器风冷却器旧改新实例	244
五、二次改造由差变优实例	244
第五节 强油导向风冷改自冷和风冷	246
一、改造分析	246
二、冷却系统改造及改造后运行情况	247
第六节 提高变压器冷却效果方法	248
一、调换进出风向提高冷却效果	248
二、水冷改风冷	249
三、冷却系统智能监控装置	250
第九章 变压器的节能优化设计	251
第一节 概述和变压器主绝缘结构改进	251
一、概述	251
二、变压器主绝缘结构改进	253
第二节 变压器的优化设计	256
一、优化变压器设计的几个思路	256
二、油浸变压器优化设计实例	257
三、干式变压器优化设计	258
第三节 变压器低损耗的优化设计	261
一、磁通密度和工作状态分析	261
二、变压器结构参数与技术经济参数	262
三、总损耗最低设计	264

四、负载损耗最优设计·····	265
五、计算实例·····	265
第四节 以损耗折算费用的能效优化设计·····	266
一、损耗和价格的计算·····	266
二、能效优化算法·····	268
三、方案对比实例·····	269
第五节 以软件来优化设计实例·····	271
一、电磁优化设计·····	271
二、主绝缘布置·····	272
三、变压器屏蔽安排·····	273
第六节 长圆形、椭圆形、长十字形铁心变压器·····	273
一、长圆形铁心变压器·····	273
二、椭圆形铁心变压器·····	275
三、长十字形铁心变压器·····	277
第七节 椭圆形铁心截面的设计和计算·····	279
一、椭圆形铁心求解方法·····	279
二、椭圆形截面铁心叠积尺寸设计·····	280
三、三相三柱角重计算·····	281
四、椭圆周长计算·····	281
第十章 调压节能方式和新型冷却器·····	283
第一节 调压节能方式比较·····	283
一、粗细调压和正反调压节能、节材比较·····	283
二、线性调压和正反调压节能、节材比较·····	287
第二节 提高变压器散热能力的研究·····	288
一、新式片式散热器·····	288
二、9Q 系列轴流冷却风机开发·····	290
三、抬高散热器提高冷却效果·····	291
四、加小油泵的自冷变压器·····	292
第三节 热管在变压器中的应用·····	293
一、热管原理和在箱式变电站散热器的应用·····	293
二、半埋式热管预装式变电站和组合式变压器·····	294
第四节 热管变压器和热管分体散热新技术·····	298
一、热管变压器·····	298
二、自冷式热管分体散热新技术·····	301
第五节 新型风冷控制系统和冷却器系统·····	304
一、新型 SPS 系列变压器风冷控制系统·····	304
二、新型冷却器系统·····	306
第十一章 壳式变压器的节能作用和结构·····	307
第一节 壳式变压器概述·····	307
一、壳式变压器生产情况·····	307

二、壳式变压器的特点	308
第二节 壳式变压器制作关键工艺	309
一、制作过程和结构要点	309
二、工艺要点	310
第三节 壳式电炉变压器的制作和节能效益	312
一、壳式电炉变压器的结构和优点	312
二、变压器实例	314
三、电炉变压器采用壳式结构和心式结构的工艺性能对比	316
第四节 壳式变压器的节能作用和特点	316
一、心式和壳式变压器的具体比较	316
二、壳式变压器的具体优缺点	318
三、生产壳式变压器的难点	321
第五节 壳式变压器铁心磁通的计算	322
一、等值磁路的建立	322
二、建立磁路的相关方程式	323
三、方程求解实例	324
四、磁路的性质特点分析和谐波磁通	324
第六节 壳式变压器故障分析	325
一、壳式变压器的检查和处理情况	325
一、原因分析	327
第十二章 减少噪声和治理噪声的节能思路	328
第一节 噪声的基础知识	328
一、声学的若干概念	328
二、噪声概念	330
三、等响度曲线	334
四、噪声的标准要求	335
第二节 噪声的影响因素	337
一、变压器噪声的组成	337
二、硅钢片磁致伸缩特点	338
三、硅钢片材质的影响	339
四、内部应力的影响	340
五、绝缘膜影响	341
六、磁力线与压延方向夹角对伸缩的影响	341
七、温度对磁致伸缩的影响	341
八、磁通密度与磁致伸缩及噪声的影响	342
九、铁心的接缝方式对噪声影响	342
第三节 变压器降低噪声的方法	343
一、降低铁心磁通密度	344
二、采用高导磁优质硅钢片	344
三、铁心结构尺寸的合理选择	345

四、阶梯叠接缝	345
五、采用先进的加工工艺和设备	345
六、增大铁轭截面积以减小铁轭中的磁通密度	345
七、避免铁心共振	345
八、减少硅钢片内应力	346
九、铁心表面涂胶	346
十、下铁轭与木垫块间空隙填充环氧腻子	346
十一、在铁心垫脚与箱底间放置减振橡胶	346
十二、改善铁心的夹紧质量	346
十三、分隔铁心与低压绕组间的气隙	346
十四、运行条件引起的变压器噪声及其降低措施	347
十五、环境对噪声的影响及控制	348
十六、强油风冷却器降噪分析	348
十七、加厚油箱和增加加强筋	350
十八、采用自冷方式	350
十九、采用低噪声风冷却器降低变压器噪声	350
二十、采用波纹管等减振装置	351
第四节 噪声的外部治理	351
一、变电所房屋建筑布局上防噪声	351
二、将变压器放置在地下或半地下	351
三、隔噪声技术措施	351
四、在油箱中装隔声围屏	354
五、隔声油箱	354
六、隔声墙	355
七、隔声室	356
八、变压器配置吸声墙	357
九、变压器装双层壳体	357
十、选用高弹性、小阻尼材料来降噪	357
十一、变压器加防声罩	358
十二、隔振与阻尼	358
十三、振动及控制	358
十四、吸声和消声	359
十五、有源消声	362
十六、采用风扇消声装置	364
第十三章 低噪声变压器的节能设计和工艺	365
第一节 概述	365
第二节 低噪声变压器噪声的设计计算	365
一、变压器箱内噪声计算	365
二、变压器箱外噪声衰减计算	366
三、变压器合成噪声的计算	366

四、铁心固有频率的计算	366
第三节 降低变压器噪声源的主要设计方法、工艺和结构	367
一、选用高导磁优质硅钢片	367
二、优化计算来选取有利的铁心参数	367
三、改进铁心结构并采用先进的叠装和装配工艺	367
四、针对噪声传播途径改进变压器的结构	368
第四节 冷却系统的降噪措施和隔声结构	368
一、冷却系统降噪	368
二、隔声结构的设计	369
第十四章 高损耗变压器的节能改造论证	372
第一节 新购低损变压器及更换高损变压器经济和节能分析	372
一、电网现状和国家规定	372
二、投资回报测算数学模型	373
三、新购买 S11 型配电变压器的投资回报测算	373
四、更换 S9 型配电变压器的投资回报测算	374
五、更换 S7 型或更早的配电变压器的投资回报测算	374
六、非晶合金铁心变压器的经济性评价	375
七、采购和更换结论	378
第二节 概述和旧变压器改制前的检查	379
一、旧变压器改制概述	379
二、旧变压器改制前的检查	379
第三节 改造方案分析和计算	381
一、改造指标	381
二、高损耗变压器改造方案和计算	381
三、改制方法	384
四、具体改制步骤	386
五、变压器降容改造实例	387
第四节 改造的技术要求	387
一、低压绕组	387
二、高压绕组	388
三、层间绝缘	388
四、绕组质量标准	388
五、绕组的组装及绝缘结构	393
六、分接开关	396
七、铁心	396
八、油箱和附件（壳体）	398
第十五章 高损耗变压器节能改造的具体方法	399
第一节 具体改造方法	399
一、更换绕组法	399
二、更换绕组同时更换上铁轭	401

三、同时换铁心和绕组·····	401
四、节约投资计算·····	401
五、主变压器增容改造实例·····	402
六、为实施20kV电压制的主、配变压器改造·····	403
第二节 拆装改造变压器的有关标准和要求·····	405
一、改造检修前的准备工作·····	405
二、待改变压器的外部检查·····	405
三、变压器的拆卸和吊心工作及质量标准·····	405
四、油箱的检查及质量标准·····	406
五、套管的检修及质量标准·····	407
六、分接开关和引线的检修及质量标准·····	408
七、变压器器身的检查·····	408
八、变压器器身的分解及绕组和铁心质量标准·····	410
第三节 改造时新绕组绕制和变压器装配·····	416
一、新绕组绕制前的准备工作·····	416
二、新绕组的绕制和接头焊接·····	417
三、绕组的浸漆和烘干·····	417
四、变压器的绝缘装配及绝缘距离·····	418
五、变压器的装配·····	418
六、变压器的总装·····	419
第四节 高损耗变压器更新改造优化设计程序·····	420
一、优化设计的数学模型·····	420
二、优化设计的算法·····	421
三、更新改造的设计程序及其说明·····	422
第五节 变压器加装有载分接开关·····	423
一、开关的选择·····	423
二、改装类型·····	423
三、安装时要进行的工作·····	425
参考文献·····	427

第一章

变压器能效和节能变压器类型



第一节 概 述

一、节能紧迫性

能源是现代人类生存和发展所依赖的重要资源。随着社会的发展、人民生活水平的提高，人类对能源的需求越来越多，20 世纪世界能源消费的增长情况见表 1-1。

表 1-1 20 世纪世界能源消费增长情况

年份	能源总消费量 [$\times 10^8$ t (标准煤)]	人口 (亿)	按人口平均 (kg/人)	按总消耗量 增长倍数	按人口平均 增长倍数
1900	7.75	15.71	492	1.0	1.0
1925	16.65	19.65	847	2.15	1.72
1950	26.64	24.86	1080	3.44	2.19
1975	85.70	40.45	2140	11.06	4.31
2000	210.00	60.00	3500	27.10	7.11

加拿大商业银行最近的报告说，到 2010 年，沙特阿拉伯日益增长的国内需要会抵消其石油产量 40% 的增长，而伊朗预计将减少一半出口也是其国内需求增加而造成的。在 2010 年，俄罗斯、墨西哥和石油输出国组织中一些成员国的国内石油消耗量激增将使原油出口每天减少 250 万桶，占全球需求的 3%。这个比例听起来并不高，但由于需求没有太大变化，而多余的生产能力有限，所以即使很小的供应不足都将导致价格上涨。例如 2002 年，委内瑞拉的工人罢工导致世界石油产量下降 3%，石油价格在几周内却激增了 26%。尽管世界原油消费量在 2002 ~ 2006 年的 4 年间仅增长了 7.7%，但是油价却达到了 2002 年的 4.2 倍。目前全球石油市场仍然由传统的消费国所主导，尤其是美国，其石油消费量占世界的 1/4，一些产油国的人均消耗量已经超过美国，这些国家包括巴林、科威特、卡塔尔和阿联酋。目前，由于全球金融危机暂时阻缓了石油消费的增长，但从世界总战略看，能源需求的增长将是大势所趋。

我国由于经济的蓬勃发展，对能源的需求越来越大，能源更面临着严峻的挑战。首先是我国自然禀赋不足，能源严重缺乏。我国 45 种主要矿产资源人均占有量不足世界人均水平的一半。由于科技水平和经济实力等原因，我国在能源方面过度依赖石化燃料，在资源的可持续供应上存在很大压力。我国人均能源可开采储量远低于世界平均水平，2002 年人均石油可开采储量只有 2.6t，人均天然气可开采储量 1074m³，人均煤炭可采储量 90t，分别为世界平均值的 11.1%、4.3% 和 55.4%。按目前探明储量和开采能力测算，我国石油、天然气、煤炭可采年限分别只有 15 年、30 年和 80 年，而世界平均水平分别是 45 年、61 年和

230 年。其次是我国能源依赖度大、利用效率偏低。我国的经济社会发展对能源的依赖比发达国家大得多。2002 年,我国终端能源用户用在能源消费的支出为 1.25 万元,占 GDP(国内生产总值)总量的比例为 13%,而美国仅为 7%。从能源利用效率来看,我国单位产品的能耗高,目前 8 个高耗能行业的单位产品能耗平均比世界先进水平高 47%,而这 8 个行业的能源消费占工业部门能源消费总量的 73%。我国能源利用效率只有 33%,比国际先进水平低 10 个百分点左右;2003 年单位 GDP 能耗是世界平均水平的 3.1 倍。《红楼梦》里有“卖油娘子水梳头”的句子,这种节约的精神对今天的人们来说,仍是一个很好的启示。从我国当前实际情况出发,人们在积极开发新能源的同时,必须把节能放在优先的地位。节电的意义不能以通常产品节约的价值来简单衡量。节电不仅节约了电能,降低线损,改善电能质量,而且还可以节省发电用的燃料,节省发、供、用电设备的投资,用电企业也降低了其企业的生产成本。节电还可为需要用电的企业创造更多的社会财富,用于扩大再生产,促进提高企业管理水平。据测算,1995 年我国在网配电变压器因空载损耗所消耗的电能约为 180 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。若全部采用非晶合金变压器,一年可节省电 126 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,相当于一个装机容量 2400MW 的发电厂一年的发电量,由此可减少排放二氧化碳 $19.6 \times 10^6 \text{t}$,二氧化硫 $3 \times 10^4 \text{t}$,二氧化氮 $15 \times 10^4 \text{t}$ 。按目前情况,减排数量将更多。第三,我国依赖石油进口,影响能源安全。随着人均收入水平的提高,必须面对难于避免的两个情况:① 石油消费量显著增加;② 受石油资源的约束,需要大量进口石油满足需求。自 1993 年我国成为石油净进口国之后,我国石油对外依赖度从 1995 年的 7.6% 增加到 2000 年的 31%,2007 年达到 50%,已进入能源预警期。到 2020 年,石油消费量最少也要 4.5 亿 t,届时石油的对外依赖度有可能超过 60%,超过目前美国的水平或相当(美国的石油对外依赖度为 58%)。2007 年,我国能源消费弹性系数近 0.7,而制造业规模也相对较大的日本,其 2006 年能源消费弹性系数仅为 0.1,我国是日本的 7 倍。能源消费弹性系数是反映能源消费增长速度与国民经济增长速度之间比例关系的指标。

2003 年,我国 GDP 首次超过 11 万亿元大关,占世界总量的 4% 左右,经济持续高速增长。2006 年,我国 GDP 占世界总量的 5.5%,但这消耗了世界 35% 的煤、50% 的水泥、38% 的铝、35% 的钢和 30% 的化肥,这些产品是耗能高产品,耗量比例也高,说明我国耗能高。2001 ~ 2004 年,我国能源消费年均增速高达 9.89%。2003 年和 2004 年,能源消费弹性系数(指能源消费年增长率与 GDP 年增长率之比,越大能源消费越多)达到 1.39% 和 1.6%。2007 年 11 月,国务院总理温家宝在中欧工商峰会上说,预计未来 5 年,我国在节能环保上的投资将达到 3000 亿美元,占世界市场 30%。据国际能源机构估算,2001 ~ 2030 年,我国能源需投资 2.3 万亿美元,其中 80% 用于电力投资,即 1.84 万亿元。

2006 ~ 2008 年,我国 GDP 保持了年均两位数的增长速度。在经济社会发展过程中,特别在进入工业化、城市化加速阶段,把 GDP 扩张放在第一位,而对节能环保重视不够,导致经济发展后,资源、环境的代价沉重。2004 年,全国先后有 26 个省市拉闸限电。电力紧张也引发了煤炭、石油、天然气和运输的连锁反应,不仅给全国经济社会发展造成不利影响,也给居民生活带来很大不便。据估算,仅 2003 ~ 2004 年,由于拉闸限电造成的 GDP 损失就超过了 1 万亿元。鉴于经济发展与资源环境的矛盾日趋尖锐,如果延续“十五”以来能源消费的超高速态势,我国将面临严峻的能源供应、能源安全、环境保护等方面的挑战,如果应对不当,将会阻碍我国走科学发展、和谐发展的道路。自 2003 年以来,党中央、国务院就开始采取一系列重大政策措施,保障我国经济社会与能源、环境之间的协调发展。