

电力网

电能损耗管理及 降损技术

张利生 编著

714.3
36



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电力网

电能损耗管理及降损技术

张利生 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书作者依据最新的电力行业的规程、规范、导则,并紧密结合多年来丰富的工作经验,将工作中常用的专业知识和一些疑难问题以简洁的文字叙述,并配以图、表和公式,实用性非常强,可以很好地指导现场工作。

本书系统地介绍了从事电力网电能损耗管理所需的基本专业知识,共分八章,主要内容包括电力网电能损耗基本概念、电力网各元件的参数及电能损耗计算、线损理论计算、降损的技术措施、降损的管理措施、电力网电能损耗的信息化管理、无功平衡与无功补偿、电能计量及计量误差等,本书还包括国家电网公司系统电压质量和无功电力管理规定、电力网电能损耗管理规定等。

本书适用于供电企业、电力调度等部门,以及与线损管理和电压无功专业有关的专业技术人员,也可供从事电网规划、设计、运行的工程技术人员和大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力网电能损耗管理及降损技术/张利生编著.

-北京:中国电力出版社,2005

ISBN 7-5083-3008-0

I. 电… II. 张… III. 电力系统-电能消耗

IV. TM714.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 009255 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>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 5 月第一版 2005 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 6 印张 131 千字

印数 0001—4000 册 定价 12.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

胡锦涛总书记指出“电力工业既是基础产业又是公用事业，既是生产资料又是生活资料，关系到社会的进步、生产的发展和水平的提高，地位十分重要”。随着我国国民经济的高速发展，电力工业也得到快速发展。由于国内机械制造技术的较大提高，我国电网的一、二次电气设备技术状况也得到显著的改善，通过几年的“城、农网改造”，我国的电网装备水平技术性能大大提高。当前，电网企业面临的两个突出问题：一是如何保证跨区域电网、地方电网的安全稳定运行；二是如何在保证电网安全运行的基础上，实现电网经济合理的运行，尽可能的减少电力网运行的电能损耗，降低电网企业的生产成本。

在电网安全稳定运行的前提下，电网运行的主要目标是实现电网最经济的运行，尽量减少电网运行中输、变、配电设备的电能损耗，而降低电网运行成本是世界各国电网企业永远追求的目标。电力网的电能损耗率是电网生产经营企业一个重要的综合性技术经济指标，是表征电力系统规划设计水平和经营管理水平的一项综合性技术经济指标。

搞好电力网电能损耗技术管理所需的专业基础知识较多，不仅要求掌握电能损耗的基本概念，线损理论计算方法，降损的技术、管理措施等，还应掌握影响电能损失率准确计算

的电能量及计量误差的理论及实际工作要求。合理地安排电网运行方式,不仅关系到电网安全运行问题,同时对决定电网是否能够保持在较低网损状况下运行关系较大。因此,本书对电网不同的典型运行方式进行了电能损耗分析和对比。

无功功率是交流电力系统中最重要的一个对象,是维持交流电力系统正常运行最主要的一个因素,不仅与电力系统安全稳定运行关系密切,而且是降低电网电能损耗应主要研究的对象。本书较详细地介绍了电网无功平衡理论与无功补偿的实用技术,并对无功补偿的主要设备——高压并联电力电容器技术进行了全面细致的分析和总结。随着信息化及现代通信技术的不断发展应用,对线损的实时在线计算、统计分析提供了可行的先进手段,实现变电所运行设备元件输送电能量计量,远方抄表,线损率分元件、分压自动计算、统计,是线损管理信息化的重要目标。另外,针对目前城市电网谐波问题愈加严重的情况,在谐波对电网损耗的影响方面也进行了简单的介绍。

本书依据最新的电力行业规程、规范、导则,并紧密结合多年来从事电网电能损耗技术管理方面积累的丰富的工作经验编写而成的,书中很多资料都是亲自在进行广泛深入地调查、研究时搜集和整理的,实用性非常强,可以很好地指导现场工作。

感谢内蒙古电力公司对本书的大力支持。

由于编写时间、编写水平所限,难免存在一些缺点和错误,在此恳请广大读者予以批评指正。

编著者

2004年12月

目 录

前言

第一章 电力网电能损耗基本概念 1

第一节 线损电量与线损率 2

第二节 电网运行中的电能损耗 4

第二章 电力网各元件的参数及电能损耗计算 9

第一节 电力网参数的计算 9

第二节 电力网络的等值电路 17

第三章 线损理论计算 19

第一节 线损理论计算的目的、范围 19

第二节 线损理论计算的准备工作 20

第三节 线损理论计算方法 23

第四章 降损的技术措施 45

第一节 加强电网的建设和改造 45

第二节 选择经济合理的电网运行方式 53

第三节 搞好电网的无功平衡及无功补偿 提高运行功率因数 68

第四节 变压器的经济运行 71

第五节 输配电网络中谐波对网损的影响	74
--------------------------	----

第五章 降损的管理措施	76
--------------------	-----------

第一节 线损指标管理	76
第二节 关口设置与计量管理	79
第三节 营销管理	80
第四节 电能损耗分析	81

第六章 电力网电能损耗的信息化管理	83
--------------------------	-----------

第一节 电网网损在线计算系统	83
第二节 配电变压器负荷远程综合监测系统	88
第三节 电力网电能损耗理论计算系统软件	94

第七章 无功平衡与无功补偿	100
----------------------	------------

第一节 无功功率	100
第二节 无功传输	107
第三节 无功平衡	111
第四节 无功补偿	115
第五节 无功对线损的影响	123
第六节 无功补偿设备	125
第七节 电力系统电压调整及无功控制	138

第八章 电能计量及计量误差	148
----------------------	------------

第一节 电能计量装置分类及接线方式	148
第二节 电能计量装置的配置原则	149
第三节 电能计量装置综合误差	150

附录一 国家电网公司电力系统电压 质量和无功电力管理规定	158
---------------------------------------	-----

附录二	国家电网公司电力网电能损耗管理规定	171
附录三	国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则	178
参考文献		184

第一章

电力网电能损耗基本概念

电力网的电能损耗率简称线损率，是电网生产经营企业综合性技术经济指标，也是表征电力系统规划设计水平和经营管理水平的一项综合性技术经济指标。电力网电能损耗，是指一定时间内电流流经电网中各电力设备时所产生的电力和电能损耗，即电网经营企业在电能传输和营销过程中自发电厂出线起至客户电能表止所产生的电能消耗和损失，包括电网整个供电生产和营销过程中发生的送、配、变电设备的生产消耗和不明损失，简称“线损”。

电磁场理论表明，电磁场的能量是通过电磁场所在的介质空间，由电源向负荷传输的，导线起到了引导电磁场能量的作用。进入导线内部并转化为热能的电能损耗，也是由电磁场供给的。发电机发出来的电能输送到用户，必须经过各个送、变、配电元件，由于送、变、配电元件存在着阻抗，因此电能通过元件时就会产生电能损耗，并以热能的形式散失在周围介质中，这个电能损耗称为线损电量。线损电量不能直接计量，它是用供电量与售电量相减计算得到的，即

$$\text{线损电量} = \text{供电量} - \text{售电量}$$

其中 供电量 = 发电公司（厂）上网电量 + 外购电量 + 电网输入电量 - 电网输出电量

实际在线损管理中，通常使用频度最高的是统计线损

率，而统计线损电量是由余量法得到的。因此，在统计线损电量中除技术线损外，还包括其他损耗（包括漏电、窃电损失以及变电所直流整流设备和控制、信号、保护、通风冷却等设备消耗的电量）。

售电量是指所有终端客户的抄见电量，供电局、变电所等的自用电量及第三产业所用的电量。凡不属于站用电的其他用电，均应由当地供电部门装表收费。

发电公司（厂）上网电量指本地区统调电厂（独立发电公司、直属电厂、地方电厂）记录的上网电量，一般规定为发电厂出线侧的上网电量。对于接入一次电网发电公司，上网电量是指发电厂送入一次电网的电量。对于接入地区电网发电公司，上网电量是指发电厂送入地区电网的电量。

电网输入电量主要是指高于本供电区域管理的电压等级的电网输入的电量。

电网输出电量是指供电公司从本公司供电区域向外部电网输出的电量。

外购电量是指各供电公司从本公司供电区域外的电网购买的电量。

第一节 线损电量与线损率

线损电量由输电线路损耗、降压主变压器损耗、配电线路中的损耗、配电变压器损耗、低压网络中的损耗、无功补偿设备及电抗器中的损耗几部分组成，以上各项损失可通过理论计算确定其数值。电流、电压互感器及其二次回路中的损耗，用户接户线及电能表的损耗及不明损失等，可通过统计确定。

(1) 统计线损率是指省(区)、地市(盟市)供电部门对所管辖(或调度)范围内的电网各供、售电量计量表统计得出的线损率

$$\text{统计线损率} = (\text{统计线损电量} / \text{供电量}) \times 100\%$$

其中 统计线损电量 = 供电量 - 售电量

由于线损率实际是根据供电量和售电量相减计算得到的,因此,线损电量也可以说是个余量,它包含了很多影响因素,故并不完全真实地反映电网实际损失情况,其准确程度还决定于发电厂关口计量、售电量电能表以及抄见电量的正确性。

1) 为了分级分压管理,统计线损率又分为一次网损率和地区线损率。一次网损率(主网损失率)是指一次电网的统计线损电量和一次电网的供电量之比的百分率。

一次供电量是指输入一次电网的发电厂的上网电量和外购电量之和;二次供电量是指一次电网输出到地区电网的电量和网售电量之和,则一次供电损失电量为

$$\text{一次供电损失电量(即一次网损电量)} = \text{一次供电量} - \text{二次供电量}$$

为了分级统计的需要,一次网把输往各地区电网的电量视为售电量。

2) 地区线损率(二次供电损失率):一个地区电网的统计线损电量和该地区电网的供电量之比的百分率称为该地区供电企业的线损率。地区线损率是由该地区供电企业管理的输、变、配电设备在电能传输过程中产生的电能损耗,又称二次供电损失。地区线损率还可分解为送、变电线损和配电线损。

(2) 理论线损率:为供电企业对其所属输变、配电设备

根据设备参数、负荷潮流、特性计算得出的线损率

$$\text{理论线损率} = (\text{理论线损电量} / \text{供电量}) \times 100\%$$

(3) 不明损失：不明损失是指整个供电生产过程中一些其他因素引起的损失，主要包括以下几方面：

1) 计量装置误差，表计接线错误，计量装置故障和 TV 二次回路压降造成的计量误差，以及熔丝熔断等引起的计量差错。

2) 用电营业工作中漏抄、漏计、错算及倍率错算等。

3) 用户窃电。

第二节 电网运行中的电能损耗

从电网的组成可以看出，电网电能损耗的主要元件是输电线路和变压器，其有功功率损耗主要有两部分组成：一部分为线路和变压器阻抗回路上流过电流时产生的损耗，即 $I^2 R$ ，称为可变损耗；另一部分则发生在变压器、电抗器、电容器等设备上的不变损耗，如铁损等称为固定损耗。

一、变压器电能损耗

变压器电能损耗包括空载损耗、负载损耗和杂散损耗。空载损耗（铁损）是指发生在变压器铁心叠片内，因周期性变化的磁力线通过材料时材料的磁滞和涡流产生的损耗，其大小与运行电压和分接头电压有关。负载损耗（铜损）是由变压器绕组中的电阻引起，是由流过绕组中的负载电流产生的。另外，有一个重要的附加损耗即涡流损耗，因绕组中涡流是由切割绕组的交变漏磁通和导线中的负载电流相垂直而产生的，由于它随频率的平方而变化，所以在负载电流中存在任何谐波分量时，将产生明显的附加涡流损耗。另外还有

杂散损耗，它是指发生在引线和外壳以及其他结构性的金属零件上的损耗，它的大小与负载有关。

干式变压器比油浸式变压器损耗大，因为干式变压器体积比其相同容量的油浸式变压器要大，这是由于当空气作为绝缘的一部分时，介质空间就要增大；此外，因空气作为冷却媒体比油效率低，也要求有较大的冷却槽；截面的增大意味着空载损耗要大些。又因为这种变压器运行时温度较高，绕组电阻也将增大，因而 $I^2 R$ 损耗也要增加。

二、输电线路损耗

电晕指集中在曲率较大的电极附近的不完全自激放电现象。架空线路导线的绝缘介质是空气，当导线表面的电场强度超过空气分子的游离强度（一般在 $20 \sim 30 \text{ kV/cm}$ ）时，导线表面附近的空气分子被游离为离子，这时发出“嗤嗤”的放电声，在夜间可以看见导线周围发出的紫蓝色的萤光，这就是导线表面产生的电晕现象。

电晕损耗是指由于导线带电后表面场强超过周围空气的击穿强度，使导线周围的空气薄层产生电离形成电晕放电而造成的电能损失。以平均每千米线路损失的功率大小来衡量，其大小与导线表面电场强度、表面的状况、天气条件、地理状况等有关。晴天电能损失小，雾天、雨天、雪天电能损失大，超高压线路的年平均电晕损耗为线路年电阻损失的10%左右。对电晕损耗的计算，目前尚无精确公式，只有经验公式可用。

三、其他设备损耗

电容器损耗：电容器在运行中将有一定的有功损耗，使介质发热。

电抗器损耗：电抗器通过电流时，导线电阻损耗和铁心

磁滞损耗与涡流损耗（铁心电抗器）。

介质损耗因数：是介质有功电流分量和无功电流分量的比值，即 $\tan \delta = I_R / I_C$ 。它是衡量电气设备绝缘性能的一项指标。因为任何绝缘（电介质）都可以看成电阻 R 和电容 C 并联的等值电路。 I_R 的存在表明了电介质在交流电压的作用下电荷运动，因而有能量消耗，这项能耗称为介质损耗。损耗的能量 $P = UI_R$ 。

四、非晶合金变压器

用新型超低损耗铁心材料制成的非晶态铁心变压器，因其具有空载损耗极低、节电效果显著的特点，从而引起变压器制造、电力行业的高度重视。非晶态铁心变压器与硅钢片铁心变压器相比，非晶态铁心变压器具有非常小的空载损耗特性，节电效果显著。在我国当前电力需求迅速增加，一方面电力供应不足，另一方面电力浪费比较严重的状况下，在电网中大力推广应用非晶态铁心变压器具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

1. 非晶态合金材料

非晶态合金的原子是杂乱无章、任意密堆分布的，没有形成结晶晶格。非晶态合金具有自己独特的磁学、力学、化学性能，如磁导率高、电阻率大等。用于制造电力变压器铁心的非晶态合金，主要以铁、硼、硅为主，加入镍、钴、钕等多种元素制成的。要求具有良好的铁磁性能，较高的导磁率，较小的磁滞损耗及涡流损耗和机械强度等要求。

非晶态合金的制造工艺完全不同于传统变压器的冷轧钢片，它在制造中是将一定比例的合金原料在液态下从一个有缝的喷口喷射到快速转动的冷却底盘上，由于采用了超级凝固技术，从钢液到薄带成品一次成型，使合金凝固时来不

及有序排列, 得到合金是长程无序结构, 没有晶态合金的晶粒、晶界存在, 所以称为非晶态合金。非晶态合金带材的厚度在 0.02 ~ 0.06mm 之间, 宽度受技术工艺水平限制, 超过 300mm 的不多, 其物理特性表现为既硬又脆。

2. 非晶态铁心变压器的特点

非晶态铁心变压器的主要特点是, 其空载损耗要比硅钢变压器低 60% 以上。如与我国 S7 型变压器相比, 空载损耗要低 80% 左右。表 1-1 列出了美国生产的非晶态铁心变压器与硅钢片铁心变压器的主要性能参数。

表 1-1 非晶态铁心变压器与硅钢片铁心变压器的主要性能对比

形式	容量 (kVA)	非晶态铁心变压器			硅钢片铁心变压器		
		空载损耗 (W)	负载损耗 (W)	激磁电流 (%)	空载损耗 (W)	负载损耗 (W)	激磁电流 (%)
单相	10	12	102	0.31	29	111	0.60
	15	16	141	0.27	41	143	0.70
	25	18	330	0.15	57	314	0.36
	50	29	455	0.13	87	462	0.23
	75	37	715	0.09	122	715	0.38
	100	49	944	0.09	162	933	0.21
三相	75	51	925	0.14	142	956	0.31
	150	90	1397	0.10	216	1429	0.24
	300	165	1847	0.10	412	2428	0.14
	500	230	3282	0.09	610	3589	0.18
	750	327	4468	0.07	713	5206	0.15

3. 非晶态铁心变压器的应用

在非晶态铁心变压器制造方面,美国在 1986 ~ 1989 年间研制出了容量为 3、10、30、50、100kVA 的不同结构的变压器,之后又制造出三相 500kVA、三相 1600kVA 的非晶态铁心变压器。日本生产的小型非晶态铁心变压器容量均在 130kVA 以下,并为卷铁心结构,主要用作配电变压器。目前,美国、日本政府大力鼓励使用非晶态铁心变压器。印度政府也进口了数千台三相非晶态铁心变压器用于农村电气化改造。

我国 1977 年开始研究用速冷法制造非晶态合金条带,1985 年用进口美国的非晶态合金条带材试制成 30kVA 三相卷铁心变压器。1990 年,用国产非晶态合金条带试制成两台 50kVA 三相非晶态变压器,自 1991 年在涿州市投入运行至今,运行状态良好。

随着我国经济的高速发展,电网规模得到了空前的扩展,但电网中的老旧设备、特别是高耗能配电变压器数量巨大。因此,在我国大量推广使用低损耗的非晶态合金配电变压器,在分布广阔的农村电网和负荷快速发展的城市电网,具有特别重要的意义。

第二章

电力网各元件的参数及 电能损耗计算

电力网电能损耗计算是供电企业生产管理人员进行线损管理的一项基础工作，只有通过行之有效的理论计算，才能摸清电力网元件运行中消耗电能量的规律，从而对电网的线损进行定量分析并实施有效的管理。

第一节 电力网参数的计算

电力网主要有架空线路、电缆线路、变压器、断路器、隔离开关、互感器、并联电容器、并联电抗器、串联电抗器等设备组成，其中电力线路的参数指线路的电阻、电抗、电纳、电导，变压器的参数指变压器的阻抗、导纳。

一、架空线路中电阻参数的计算

(1) 三线制线路的电阻 R (Ω)

$$R = r_0 L = \rho L / S \quad (2-1)$$

式中 r_0 ——导线单位长度的电阻， Ω/km ；

S ——导线的截面积， mm^2 ；

L ——导线的长度， km ；

ρ ——导线材料的电阻率， $(\Omega \cdot \text{mm}^2) / \text{km}$ 。

其中 铝导线 $\rho = 31.5 (\Omega \cdot \text{mm}^2) / \text{km}$ ；铜导线 $\rho = 18.8 (\Omega \cdot \text{mm}^2) / \text{km}$ 。