

线损与降损措施

XIANSUN YU JIANGSUN CUOSHI

党三磊 李健 肖勇 林声宏 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

线损与降损措施

XIANSUN YU JIANGSUN CUOSHI

党三磊 李 健 肖 勇 林声宏 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电能损耗（俗称线损）是发供电企业综合管理水平的重要体现，因此现代化电力线损管理需要精益化、信息化的管理模式，应采用规范的、合理的管理方法，切实有效的降损措施。因此，根据多年线损管理经验，结合标准规程和管理规范，组织编写了《线损与降损措施》一书。

本书共分为六章，主要内容包括线损基础知识、线损理论计算、线损管理与统计分析、技术降损措施、降损管理措施、线损管理信息化等。

本书可作为全国各网省电力公司、地市县供电企业以及发电企业等的线损管理人员、线损专业人员的培训用书，也可供从事电能计量、装表接电、营销稽查、用电检查等相关技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

线损与降损措施/党三磊等编著. —北京：中国电力出版社，2013.12

ISBN 978-7-5123-5295-7

I. ①线… II. ①党… III. ①线损计算②降损措施 IV. ①TM744
②TM714.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 288592 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 12 月第一版 2013 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 538 千字

印数 0001—3000 册 定价 60.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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

节能是缓解能源供应矛盾的重要措施,是提高经济增长质量和效益的重要途径,是国家的基本国策。电力行业是节能工作重要的领域之一,电力生产单位和电力使用单位的节能潜力都很大,在电力输送过程中通过采取有效的技术和管理等措施,降低电力线损,打造节约型的现代化绿色电力,是电力企业的根本目的。

电力企业对节能政策的贯彻落实主要在于提高电力线损管理水平。电力线损是一个综合性指标,涉及电力规划、设计、基建、更新改造、运行维护、检修、计量、管理等众多方面,既反映了电力企业的技术管理水平,又体现了电力企业的经营管理水平。电力系统中各种电气设备产生的电能损耗的机理错综复杂,且影响电能损耗的因素众多,只有掌握电力线损相关方面的理论知识和基本概念,才能制订行之有效的管理措施和技术措施,降低电力电能损耗,提高电力企业经济效益,促进降损节能工作的深入开展。

线损已经成为电力企业经营管理的指标。电力企业必须将线损管理作为企业经营工作的重中之重,抓住线损管理不松,深挖内部潜力,向管理要效益,向线损要效益,这是电力企业必须长期坚持的战略定位,这也是提高企业经济效益的根本途径。近年来广东电网公司按照重点降低管理线损、努力降低技术线损的工作思路,大力推进降损工作和线损精益化、信息化工作,在电力线损管理与节能降损方面取得一定成果。

本书依据电力标准规程、管理规范 and 各项线损专题研究成果,并结合编者在广东电网公司多年来从事电力线损管理积累的丰富工作经验编写而成。书中重点从线损四分管理、线损理论计算、技术降损、管理降损、线损管理信息化等方面,系统全面介绍了线损管理内容方法和工作流程,是一本实用性很强的指导书,可广泛应用于电力企业和基层单位的各个部门。

由于编者水平所限,难免有不足之处,恳请读者多提宝贵意见和建议。

编著者

2013年10月

前言

第一章 线损基础知识	1
第一节 基本概念	6
第二节 线损的产生与构成	10
第三节 线损的影响因素	14
第四节 线损管理内容	20
第二章 线损理论计算	23
第一节 线损理论计算基本概念	23
第二节 35kV 及以上电力网的线损理论计算方法	25
第三节 配电网的线损理论计算方法	51
第四节 低压网的线损理论计算方法	63
第五节 其他元件线损计算方法	73
第六节 高压直流系统线损理论计算	74
第三章 线损管理与统计分析	80
第一节 线损管理的基本概念	80
第二节 线损四分管理	84
第三节 线损指标管理	91
第四节 线损统计分析	100
第五节 线损异常控制	109
第四章 技术降损措施	139
第一节 电网降损规划	139
第二节 无功补偿与经济运行	156
第三节 配电网降损技术改造	170
第四节 节能新技术	178
第五节 发电侧和用电侧节能降损措施浅析	197

第五章 降损管理措施 215

 第一节 电能计量管理 215

 第二节 电量抄核收管理 230

 第三节 窃电防治管理 243

第六章 线损管理信息化 258

 第一节 电能自动采集与线损统计分析 258

 第二节 理论线损在线计算分析系统 290

附录 线损理论计算分析报告模板 308

参考文献 311

第一章

线损基础知识

2010 年末,英国《经济学人》杂志推出了一项用于评估中国 GDP 增长量的新指标——克强指数 (Li keqiang index),是三种经济指标:耗电量、铁路运货量和银行贷款发放量的结合。由此可见,用电量作为经济发展速度的重要衡量标准已得到世界的公认。电力行业作为国民经济发展的基础早已深入人心。随着社会经济的快速增长,电力改革的持续推进,我国电力行业呈现了又好又快的发展态势,具体体现在以下几个方面:

(1) 电力建设实现了跨越式发展。截至 2011 年年底,全国发电装机总容量达 10.6 亿 kW,同比 2010 年增长 9.3%;年发电量达 4.72 万亿 kWh,同比 2010 年增长 11.9%;220kV 及以上输电线路回路长度达 48 万 km,同比 2010 年增长 7.9%;变电容量达 22 亿 kVA,同比 2010 年增长 10.5%。我国发电量和电网规模已居世界第一位。图 1-1 为我国 2003~2011 年电力投资情况。

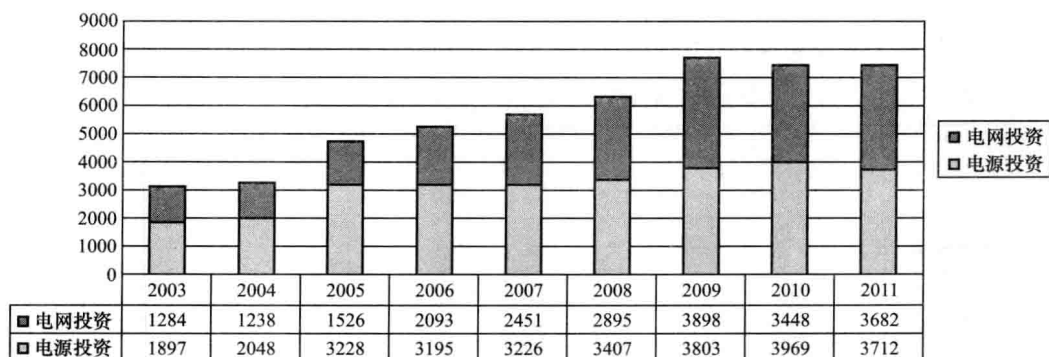


图 1-1 2003~2011 年我国电力投资情况 (亿人民币)

(2) 转变发展方式进展明显。电力能源结构逐步优化,30 万 kW 以上火电机组占火电装机容量比重超过 70%,百万千瓦级超超临界机组建成投产已超过 50 台。新能源和可再生能源快速发展,2011 年,水电装机 2.3 亿 kW,年发电量 6900 亿 kWh,风电并网运行规模超过 4500 万 kW,均居世界第一。核电已投运装机 1191 万 kW,在建规模占世界 40% 以上。图 1-2 所示为 2011 年末我国的发电装机结构图,图 1-3 所示为 2011 年全国发电量结构图。

(3) 技术装备水平显著提高。火电机组从中高压参数发展到超超临界参数,单机容量由十万千瓦等级发展到百万千瓦等级,并且在大型空冷机组、循环流化床机组应用等方面取得国际领先地位。我国百万机组的投运情况如表 1-1 所示。

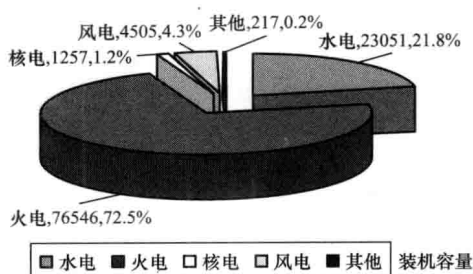


图 1-2 2011 年末全国发电装机结构 (万 kW)

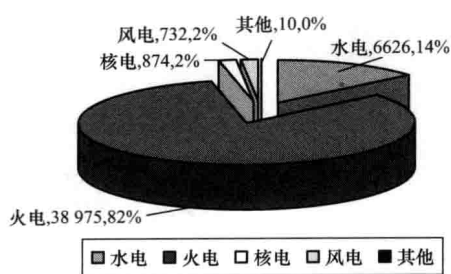


图 1-3 2011 年全国发电量结构 (kWh)

表 1-1 100 万 kW 超超临界机组投产统计

投产时间	投产机组 (台)	累计投产机组 (台)	投产时间	投产机组 (台)	累计投产机组 (台)
2006 年	3	3	2010 年	13	33
2007 年	4	7	2011 年	13	46
2008 年	4	11	2012 年	6	52 (截止 8 月 16 日)
2009 年	9	20			

(4) 电力节能降耗成效明显。2011 年, 火电供电标准煤耗为 330g/kWh, 比 2005 年下降 11%, 达到世界先进水平; 烟气脱硫机组占燃煤总装机容量的 89%, 单位火电发电量二氧化硫排放比 2005 年减少了 60% 以上; 煤泥、煤矸石综合利用发电装机达 2600 万 kW, 比 2005 年增长约 3 倍。表 1-2 展示了“十一五”电力行业节能减排相关指标完成情况。

表 1-2 “十一五”电力行业节能减排相关指标完成情况

指 标	2005 年基准值	2010 年			
		目标值	实际值	目标完成情况	目标来源
供电标准煤耗 (g/kWh)	370	355	333	2008 年实现	能源发展“十一五”规划
综合线损率 (%)	7.21	7.00	6.53	2007 年实现	
发电水耗 (kg/kWh)	3.10	2.80	2.45	2008 年实现	
电力二氧化硫排放总量 (万 t)	1350	951.7	956*	2009 年实现	全国主要污染物排放总量控制计划
脱硫机组投运容量 (亿 kW)	0.53	“十一五”期间投运 3.55	截至 2010 年底脱硫机组 5.78 亿 kW	实现	节能减排综合性工作方案
工业固体废物综合利用率 (%)	55.8	60.0	粉煤灰综合利用率 68.0%, 脱硫石膏综合利用率 69.0%	实现	“十一五”规划纲要

* 956 万 t 为环境保护部核定值, 行业统计值为 926 万 t。

总之，我国电力事业的发展极其迅猛，成绩斐然，影响深远。图 1-4 为 2011 年末我国电力系统的互联示意图。

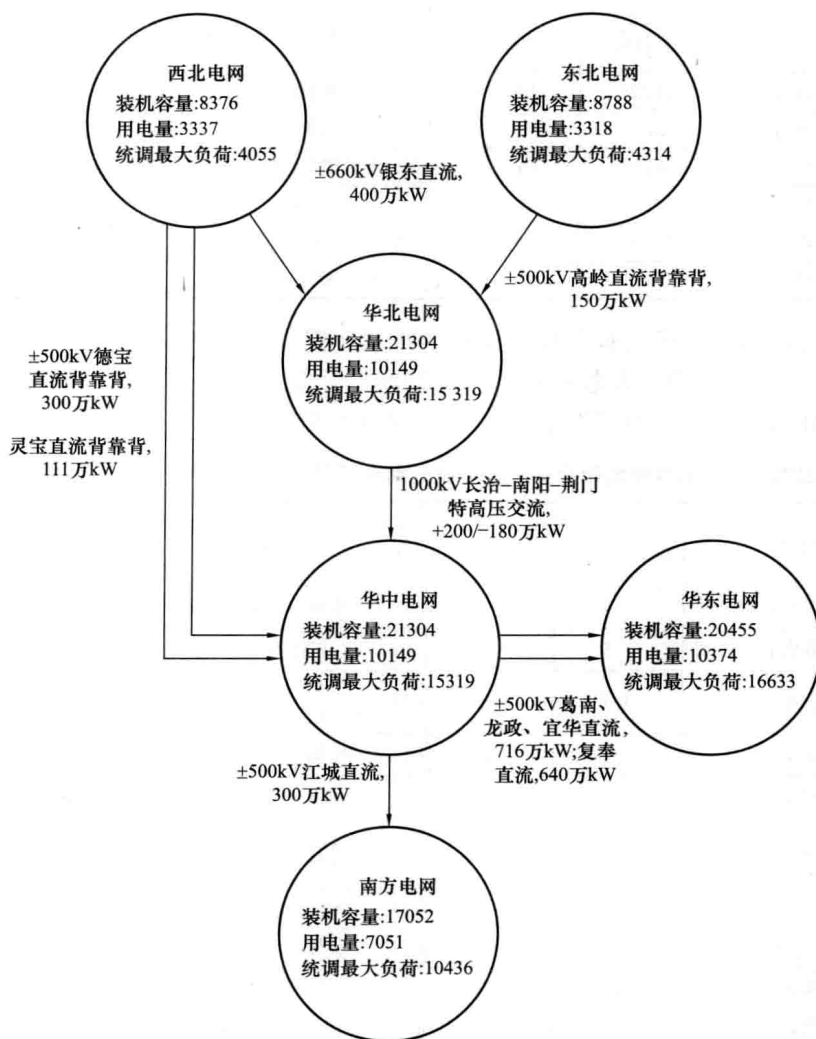


图 1-4 2011 年末全国联网示意图（装机容量，MVA；用电量，亿 kWh；统调最大负荷，MW）

尽管我国电力行业取得了突飞猛进的成绩，但由于我国资源分布不均，经济发展不平衡，电力供需仍然存在一定的矛盾。而节能是缓解能源供应矛盾的重要措施，是提高经济增长质量和效益的重要途径，是国家的基本国策。电力行业是节能工作重要的领域之一，电力生产单位、电力输配单位和电力使用单位都具有巨大的节能潜力。厂网分离以来，发电侧的节能降损任务主要由发电企业承担，而输配侧的节能降损工作则由电网公司负责。

1. 发电侧

发电公司作为电力的生产单位，如何降低电力生产成本，提高一次能源的利用效率是其一直需要高度重视的问题。表 1-3 列出了被电力监管委员会督查的部分发电集团公司“十一五”节能减排规划目标完成情况，主要关注节能。

表 1-3 被电力监管委员会督查集团公司“十一五”节能减排规划目标完成情况

关停小火电机组 (万 kWh)			供电标准煤耗 (g/kWh)		
集团公司	“十一五” 关停目标	“十一五” 实际关停	集团公司	2010 年目标值	2010 年实际值
中国华能集团公司	251.20	519.60	中国华能集团公司	329	323
中国大唐集团公司	401.15	750.80	中国大唐集团公司	335	325
中国华电集团公司	468.30	625.10	中国华电集团公司	340	328
中国国电集团公司	505.00	641.10	中国国电集团公司	333	326
中国电力投资集团公司	398.81	796.30	中国电力投资集团公司	340	332
神华集团有限责任公司	—	99.00	神华集团有限责任公司	321	319

2010 年, 全国发电厂用电率 5.43%, 比 2005 年下降 0.44 个百分点。其中, 水电 0.33%, 比 2005 年下降 0.11 百分点; 火电 6.33%, 比 2005 年下降 0.47 个百分点。表 1-4 列出了 2010 年 21 家发电集团公司平均火电厂用电率及与全国水平比较情况。

表 1-4 2010 年 21 家发电集团公司平均火电厂用电率及与全国水平比较情况一览表

序号	公司名称	2010 年火电厂 用电率 (%)	与全国平均水 平比较 (%)	序号	公司名称	2010 年火电厂 用电率 (%)	与全国平均水 平比较 (%)
1	申能 (集团) 有限公司	4.3	-2	12	中国国电集团公司	6.0	-0.3
2	新力能源开发有限公司	4.5	-1.8	13	广东省粤电集团有限公司	6.1	-0.2
3	江西省投资集团公司	4.7	-1.6	14	四川省水电投资经营集团 有限公司	6.4	-0.6
4	江苏省国信集团	5.1	-1.2	15	中国华电集团公司	6.5	0.2
5	安徽省能源集团有限公司	5.3	-1	16	河南投资集团有限公司	6.6	0.3
6	广州发展集团有限公司	5.4	-0.9	17	神华集团有限责任公司	6.7	0.4
7	国投电力公司	5.6	-0.7	18	河北省建设投资公司	6.8	0.5
8	浙江省能源集团有限公司	5.6	-0.7	19	天津市津能投资公司	7.2	0.1
9	中国华能集团公司	5.7	-0.6	20	中国电力投资集团公司	7.2	0.9
10	中国大唐集团公司	5.8	-0.5	21	甘肃省电力投资集团公司	7.5	1.2
11	华润电力控股有限公司	5.9	-0.4				

2. 电网侧

电网公司作为电力的输配单位, 在电力的传输和配送过程中, 通过采取有效的技术和管理措施, 降低电能损耗, 打造资源节约型和环境友好型的现代化绿色电网, 是其根本目的和生存之道。表 1-5 列出了 2011 年全国主要电网公司生成能力及其线损情况。

表 1-5 2011 年全国主要电网公司生成能力及其线损情况

企业名称	全国	国家电网	南方电网	蒙西电网
指 标				
220kV 及以上公用变压器 容量 (万 kVA)	238280	174678	58693	4909
220kV 及以上线路长度 (km)	465144	361354	90006	13784

续表

企业名称 指 标	全国	国家电网	南方电网	蒙西电网
供电量 (亿 kWh)	41499	33003	7062	1434
线损量 (亿 kWh)	2611	2155	402	54
线损率 (%)	6.29	6.53	5.69	3.77

在电力生产过程中,发电厂发出来的电能经过电力网供给电力用户使用,而在输送电能时,发电、输电、变电、配电和用电设备内部均将产生电能损耗。根据电力监管部门的管理分工和电能损耗的性质,电力系统总的电能损耗由发电损耗、电力网损耗和用电损耗三部分组成。发电损耗主要是发电厂内与发电生产有关的电气设备的用电和损耗的总和;电力网损耗是全部输电、变电、配电设备损耗的总和,一般称为线损;用电损耗则是指电力用户电气设备损耗的总和。

2010年,全国电网综合线损率6.53%,比“十一五”确定的7%的目标值低0.47个百分点。目前我国电网综合线损率低于2007年的英国(7.4%)、澳大利亚(7.5%)、俄罗斯(11.95%),接近2007年美国(6.38%)水平,居同等供电负荷密度条件国家的先进水平。“十一五”期间,线损累计下降0.68个百分点,累计节约电量321亿kWh。其中,国家电网公司和南方电网公司均提前超额完成国家规定的目标值,2010年,国家电网公司综合线损率5.98%，“十一五”期间共下降0.61个百分点,低于“十一五”考核目标值0.32个百分点;南方电网公司综合线损率6.28%，“十一五”期间共下降1.1个百分点,低于“十一五”考核目标值0.02个百分点。2010年部分电网企业综合线损率水平见表1-6。

表 1-6 2010 年部分电网企业综合线损率情况一览表

序号	电力公司名称	2010 年综合线损率 (%)	序号	电力公司名称	2010 年综合线损率 (%)
1	江西省电力公司	4.89	5	吉林省电力公司	6.42
2	甘肃省电力公司	5.61	6	北京市电力公司	6.68
3	广西电网公司	5.65	7	福建省电力公司	6.73
4	云南电网公司	5.65			

近年来,部分发达国家电网企业的线损率均处于6%以下,日本更是低至3.83%,我国电网的线损率与国外先进水平仍存在差距。2011年全国全社会用电量达46928亿kWh,全国电网输电线路损失率为6.31%,如果将全国的线损率降低一个百分点,以0.5元/kWh的电价折算,将减少234.64亿元的浪费,可见我国节能降损潜力巨大。从发电到用电过程中,电气设备总的电能损耗在系统发电量中所占比重很大,电力企业(发电企业和电网公司)本身所直接承担的电能损耗为发电损耗和电力网损耗,所以电力企业本身的节约用电和降损工作具有相当重大的意义。

尽管电力网中的这些电能损耗是客观存在的,但是可以通过相应的管理措施和技术措施,使之保持在一个合理的水平。然而,电力网中各种电气设备产生的电能损耗的机理错综复杂,而且影响电能损耗的因素众多,只有掌握电网线损相关方面的理论知识和基本概念,才能制定行之有效的管理措施和技术措施,降低电网电能损耗,提高电力企业经济效益,促进降损节能工作的深入开展。

第一节 基本概念

电能需要通过电力网进行传输和分配,而电力网在输送电能时产生的电能损耗直接影响到电力的使用效率和供电企业的经济效益。电力网电能损耗有在输电、变电和配电设备中消耗的,也有在电网运营管理环节中发生的,情况比较复杂,本节将对电网线损基本概念进行详细介绍。

一、线损与线损率

1. 线损

电能从发电企业输送到电力客户终端的过程中,要流经输电、变电、配电中的各种设备,一方面由于这些设备存在着电阻,因此电能通过这些设备时就会产生电能损耗,并以热能的形式散失在周围的介质中;另外,还有管理方面的因素所造成的电能损耗等,这两部分电能损耗称为线损电量,简称线损。

按照国家电网公司电力工业生产统计规定,在实际运行中,实际线损电量是指从发电厂与电网结算上网电量的关口表计至电力用户结算关口表计之间所有的电能损耗,它反映了一个电力网的规划设计、生产技术和运营管理水平。实际线损电量不能直接计量,一般是按规定时间统计出来的,如月、季、年度线损电量,它可通过供电量与售电量相减计算得到,即

$$\text{线损电量} = \text{供电量} - \text{售电量} \quad (1-1)$$

供电量是指供电企业生产活动的全部投入电量,即是指发电厂、供电地区或配电网向电力用户提供的电量,包括输电和配电运行中的电能损耗的电量。

$$\text{供电量} = \text{发电厂上网电量} + \text{外购电量} + \text{电网输入电量} - \text{电网输出电量} \quad (1-2)$$

(1) 发电厂上网电量:指本地区统调发电厂送入电网的总电量,该电量的计量点规定在发电厂出线侧(一般为发电厂与电网的产权分界处),对于一次电网的上网电量是指发电厂送入一次电网的电量,对于地区电网的上网电量是指发电厂送入地区电网的电量。

(2) 外购电量:指各供电公司从本公司供电区域以外的电网购买的电量。

(3) 电网输入电量:指高于本供电区域管理的电压等级的电网输入的电量。

(4) 电网输出电量:指各供电公司从本公司供电区域向外部电网输出的电量。

售电量是指所有电力用户的抄见电量的总和。是供电企业售给电力用户(含趸售用户)的电量和电力企业供给本企业非电力生产、基建和非生产部门所使用电量的总和。

为了分级统计线损的需要,规定把输往下一级电网的电量视为售电量。因此,售电量是营业收费的依据,它包含当地电厂供给的电量和购入或送入后又转售给电力用户的电量,但不包括电力企业之间的输出电量,这部分电量应由输入单位计算售电量,以免重复计量。

按线损的性质一般可分为统计线损、技术线损、管理线损、经济线损和定额线损等。

(1) 统计线损也称实际线损,是根据电能表指示数计算出来的线损,是供电量和售电量两者之间的差值。它是上级考核线损指标完成情况的唯一依据。

(2) 技术线损又称理论线损,是根据供电设备的参数(导线的规格型号、长度,设备的额定容量等)和电力网当时的运行方式、潮流分布以及负荷情况,由理论计算得出的损耗电量。主要包括:

- 1) 与电流平方成正比的变压器绕组和输配电线路中的电能损耗。
- 2) 与运行电压有关的变压器铁芯、电容器和电缆的绝缘介质损耗。
- 3) 包括高压电晕损耗在内的其他不变损耗和可变损耗。

技术线损可通过理论计算来预测,技术线损的理论计算是加强线损管理的一项重要技术手

段,通过线损理论计算,可以发现电网线损的分布规律,暴露出电网管理和技术上存在的问题和薄弱环节,为电网降损改造提供理论和技术依据,使降损工作抓住关键和重点,提高降损和节能的效果,从而使线损管理更加科学合理。所以在电网的建设、改造及正常运行管理中都要经常进行线损理论计算。

(3) 管理线损是指在电网运行及营销管理过程中,由于管理方面的原因造成的电量损耗,它等于统计线损(实际线损)与理论线损之间的差值,通常是指不明损失,也称其他损失。主要包括:

- 1) 各种电能表的综合误差。
- 2) 抄表不同时,漏抄、错抄、错算所造成的统计数值不准确。
- 3) 无表用户和窃电等造成的电量损失。
- 4) 带电设备绝缘不良引起的漏电损耗等。

由此可见,可以通过提高线损管理水平来降低管理线损。

(4) 经济线损是对于设备状况固定的线路,理论线损并非为一固定值,而是随着供电负荷大小的变化而变化,实际上存在一个最低的线损率,这个最低的理论线损率称为经济线损,相应的电流称为经济电流。

(5) 定额线损也称目标线损,是根据电力网实际线损,结合下一考核期内电网结构、负荷潮流情况以及降损措施安排情况,经过测算所确定的线损指标,是须经过努力才能争取和达到的目标。据 GB/T 3485—1998《评价企业合理用电技术导则》规定,降低企业受电端至用电设备之间的线损率应达到:

- 1) 一次变压 3.5% 以下。
- 2) 二次变压 5.5% 以下。
- 3) 三次变压 7.0% 以下。

2. 线损率

线损率是指有功电能损失与输入端输送的电能总量之比,或有功功率损失与输入的有功功率之比的百分数。线损率的大小反映了电网的规划设计、生产技术和运营管理水平,是电网企业一项综合性技术经济指标,是衡量线损高低的标志。线损率的计算公式为

$$\begin{aligned}\text{线损率} &= (\text{线损电量} / \text{供电量}) \times 100\% \\ &= [(\text{供电量} - \text{售电量}) / \text{供电量}] \times 100\%\end{aligned}\quad (1-3)$$

一个网、省(市、区)电网公司管辖范围内地、市、县(市)供电公司及一次电网的统计线损电量的总和与其供电量之比的百分数,称为网、省(市、区)电网公司的综合线损率,即

$$\begin{aligned}\text{综合线损率} &= (\text{管辖范围内线损电量总和} / \text{供电量}) \times 100\% \\ &= [(\text{供电量} - \text{售电量}) / \text{供电量}] \times 100\%\end{aligned}\quad (1-4)$$

其中,供电量是指本单位电网的输入电量。

(1) 对省级供电企业供电量为

$$\text{供电量} = \text{发电厂上网电量} + \text{外购电量} + \text{电网输入电量} - \text{电网输出电量}$$

(2) 对地区供电企业供电量为

$$\text{供电量} = \text{省对地关口表计电量} + \text{小电厂的外购电量}$$

(3) 对县级供电企业供电量为

$$\text{供电量} = \text{地对县关口表计电量} + \text{小电厂的外购电量}$$

由于供电量与售电量抄表时间不统一,综合线损率中存在错月电量,造成综合线损率波动性

较大，其线损值是统计值，而不是真实的实际线损。

二、线损率分类

根据电力网的生产特点、电网公司管辖范围和电压等级，整个电网线损划分为一次网损率和地区线损率，目前一次网损率可分为 500、330kV 和 220kV 网损率，而地区线损又可分为地区网损率和配电网线损率。电力网线损分网、分压示意图如图 1-5 所示。

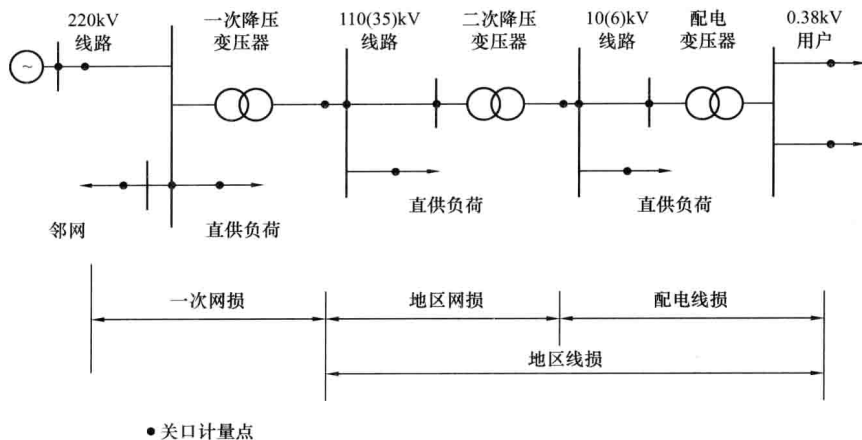


图 1-5 电力网线损分网、分压示意图

1. 一次网损率

由省、市电力公司调度管理的送、变电设备（包括调相机）产生的电能损耗，称为一次网损，又称一次供电损失。一次供电损失的电量占一次供电量的百分率，称为一次网损率，或称一次供电损失率。一次网损电量由一次供电量与一次售电量相减计算得到。即

$$\text{一次网损电量} = \text{一次供电量} - \text{一次售电量} \quad (1-5)$$

$$\begin{aligned} \text{一次网损率} &= (\text{一次网损电量} / \text{一次供电量}) \times 100\% \\ &= [(\text{一次供电量} - \text{一次售电量}) / \text{一次供电量}] \times 100\% \\ &= [1 - (\text{一次售电量} / \text{一次供电量})] \times 100\% \end{aligned} \quad (1-6)$$

一次供电量是指送入 220kV 及以上电网的全部投入量，计算公式为

$$\text{一次供电量} = \text{发电厂上网电量} + \text{邻网输入电量} - \text{向邻网输出电量}$$

一次售电量是指一次电网向地区电网输出的电量和一次电网用户的电量之和。

2. 地区线损率

由地区供电局调度管理的送、变、配电设备（包括调相机）产生的电能损耗，称为地区线损电量，又称地区供电损失。地区线损电量是由地区供电量与售电量相减得到。计算公式为

$$\text{地区线损电量} = \text{地区供电量} - \text{售电量} \quad (1-7)$$

地区线损电量占地区供电量的百分率，称为地区线损率。计算公式为

$$\begin{aligned} \text{地区线损率} &= (\text{地区线损电量} / \text{地区供电量}) \times 100\% \\ &= [(\text{地区供电量} - \text{售电量}) / \text{地区供电量}] \times 100\% \\ &= [1 - (\text{售电量} / \text{地区供电量})] \times 100\% \end{aligned} \quad (1-8)$$

地区供电量是指送入地区电网的全部投入量，计算公式为

$$\text{地区供电量} = \text{一次电网的输入电量} + \text{邻网输入电量} - \text{向邻网输出电量} + \text{购入电量}$$

$$(1-9)$$

售电量是指地区电网用户的用电量。

地区线损按照运行电压等级分为 110、66 (35kV) 地区网损和 10 (20、6) kV 及以下配电线损。

3. 分压线损率

分压线损是指本电压等级网络在输、变电过程中所产生的损耗总和，它主要由本电压等级的输电线路和一次电压为本电压等级的变压器以及相关各元件所形成的电能损耗。分压线损率是指本电压等级的线损电量与本电压等级的供电量比值的百分率。其计算公式为

$$\text{分压线损率} = (\text{本电压等级电压总供电量} - \text{本电压等级电压总售电量}) / \text{本级电压总供电量} \times 100\% \quad (1-10)$$

其中，本电压等级电压总供电量为输入本电压等级网络的全部电量。本电压等级电压总售电量是指本电压等级网络向下一级电压等级的全部输出电量、本电压等级直供用户的用电量以及向其他地区的输出电量之和。

4. 10kV 综合线损率

10kV 损失电量是指 10kV 网络在配电过程中所产生的损耗，也就是输入 10kV 配电网的总表与 10kV 供电客户售电表计之间的损耗。它主要包括 10kV 配电线路损耗、配电变压器损耗、计量设备损耗以及管理损耗等。10kV 综合线损率是指 10kV 的损失电量与 10kV 配电网总供电量比值的百分率。其计算公式为

$$\begin{aligned} 10\text{kV 综合线损率} &= [(10\text{kV 配电网供电量} - 10\text{kV 配电网售电量}) / 10\text{kV 配电网供电量}] \times 100\% \\ &= (10\text{kV 配电网损失电量} / 10\text{kV 配电网供电量}) \times 100\% \end{aligned} \quad (1-11)$$

其中，10kV 配电网供电量是指本单位各变电站 10kV 母线总表电量与发电厂 10kV 上网电量之和。

10kV 配电网售电量是指本单位 10kV 线路客户售电量之和。

5. 10kV 有损线损率

10kV 有损线损率是指 10kV 的损失电量与 10kV 配电网有损供电量比值的百分率。其计算公式为

$$\begin{aligned} 10\text{kV 有损线损率} &= [(10\text{kV 配电网供电量} - 10\text{kV 配电网售电量}) / (10\text{kV 配电网供电量} \\ &\quad - 10\text{kV 配电网无损电量})] \times 100\% \\ &= (10\text{kV 配电网损失电量} / 10\text{kV 配电网有损供电量}) \times 100\% \end{aligned} \quad (1-12)$$

其中，10kV 配电网有损供电量是由 10kV 配电网供电量减去 10kV 专线用户电量（无损电量）得到。

电力网分网、分压统计示意表如表 1-7 所示。

表 1-7 电力网分网、分压统计示意表

项目 线损分类	供电量 (万 kWh)		售电量 (万 kWh)		线损电量 (万 kWh)		线损率 (%)		说明
	本月	累计	本月	累计	本月	累计	本月	累计	
全网合计									
一次网损	500kV								
	220kV								

续表

项目 线损分类			供电量 (万 kWh)		售电量 (万 kWh)		线损电量 (万 kWh)		线损率 (%)		说明
			本月	累计	本月	累计	本月	累计	本月	累计	
地区 线损	地区 网损	110kV									
		35kV									
	城市 电网	10kV									
		0.4kV									
	农村 电网	10kV									
		0.4kV									

注 各电压等级的供电量不能相加，只能用于计算本级电压的线损率。

三、无损电量

供电企业通过电网从发电厂或相邻电网购买电量的同时，又通过电网把电量卖给各类用户，在电力营销和线损统计管理中，有一类电量被称为无损电量。其中包括：

(1) 全无损电量：营销管理中，在某些特殊情况下，会存在由于购电的计量点和售电的计量点是同一块计量表计或者是在同一母线上（且有购、售关系）的两块表计，如果忽略电流在母线上损耗，这类供电量和售电量对于供电企业来说，不承担电能在线网传输及电力营销中的任何损耗，可以将这部分电量称为全无损电量。

(2) 本级电压无损电量：在实际线损管理中，通常将以变电站出线关口表计费的专线电量称为无损电量。需强调的是，这种无损电量的所谓“无损”是个相对的概念。例如，对 10kV 电压等级而言，10kV 首端计费的专线电量是无损电量；但对于 35kV 及以上电压等级而言，10kV 首端计费的专线电量则是经历了 35kV 及以上电网输送的，显然存在着损耗，因此在计算 35kV 及以上电网线损率时，10kV 首端计费的专线电量不能看作无损电量。

供电企业在进行线损统计计算时，从供、售电量中分离出无损电量的目的在于：一方面可以查找本级电压电网线损发生的环节，从而进行有针对性的分析，并制定降损措施；另一方面能得到客观反映管理水平的线损率，更便于不同电网和企业之间的比较和分析。

如在进行 10kV 电网的线损率统计时，可以有两种统计方法：一种是在供、售电量中包含 10kV 首端计费的专线电量，另一种是在供、售电量中不包含 10kV 首端计费的专线电量。显然按第一种方法计算出来的线损率（综合线损率）低于按第二种方法计算出来的线损率（公用线损率），但是后者更能反映该电网运行的经济性和管理水平，在线损分析和管理中更有意义。

第二节 线损的产生与构成

电能从发电厂输送到电力用户，是通过各级变压器经输电线路输送的。目前，我国一般是通过六级变压进行输送。由于六级变压都是电能和磁能的相互转换，尽管转换效率较高，但仍然存在一定的电能损耗，加上导线和带电设备本身存在电阻，电流通过这些设备必然要产生电能损失和功率损耗，这些电能损耗和功率损耗引起输电导线和带电设备的电流增加，造成导线和设备发热，消耗发电厂的有效功率。电力网的这些损耗通常分为负载损耗（可变损耗）和空载损耗（固定损耗）。负载损耗是指输、变、配电设备中的铜损，它与流过的电流的平方成正比。空载损耗是指变电设备中的铁损、电晕损耗、绝缘中的介质损耗以及仪表和保护装置中的损耗，这部分损耗一般与运行电压有关。

一、线损的产生

1. 电阻损耗

电能 在电网传输过程中, 由于输电线路等电气设备电阻的存在, 电流必须克服电气设备电阻的作用而流动, 因此引起电气设备的温度升高和发热, 电能转换为热能, 并以热能的形式散失于电气设备周围的介质中, 随之产生了电能损耗 (线损)。由于这种损耗是由电气设备对电流的阻碍作用而引起的, 故称为电阻损耗。电阻损耗可用下式计算

$$\Delta P = I^2 R \quad (1-13)$$

式中: ΔP 为电阻损耗, MW; I 为流过设备电阻的电流, kA; R 为设备的电阻值, Ω 。

由式 (1-13) 可知, 电阻损耗与流经电气设备的电流的平方成正比, 随着电流的大小而变化, 故称可变损耗。

2. 铁芯损耗

在交流电路中, 电气设备只有在磁场的维持下才能正常运转, 如变压器需要建立并维持交变磁场, 才能起到升压和降压的作用。然而在电磁转换过程中, 由于磁场的作用, 在电气设备的铁芯中产生磁滞和涡流现象, 使电气设备的铁芯温度升高和发热, 从而产生了电能损耗。实验证明, 磁滞损耗的大小取决于电源的频率和铁芯的材料磁滞回线的面积, 电源频率越高, 磁滞回线面积越大, 磁滞损耗就越大, 通常磁滞回线的面积与铁芯最大磁通密度的二次方成正比; 涡流损耗是交变磁通在铁芯碟片中感应的涡流所引起的损耗, 涡流损耗与最大磁通密度和频率的二次方成正比。如变压器铁芯、电抗器、互感器、调相机等设备均有铁芯损耗。一般有铁芯的电气设备与电源并联, 流经的电流取决于系统电压的高低, 其损耗大致与电压的平方成比例, 即

$$\Delta P = P_0 (U/U')^2 \quad (1-14)$$

式中: P_0 为变压器的额定空载损耗, kW; U 为变压器实际运行电压, kV; U' 为变压器分接头电压, kV。

由于电网中各电压等级电压波动较小, 由式 (1-14) 可知, 铁芯损耗相对稳定, 故称不变损耗。只有少数带铁芯设备如串联电抗器和电流互感器与负荷串联, 其铁芯损耗可视为与负荷电流平方成正比。

3. 电晕损耗

电晕是指集中在曲率较大电极附近的不完全自激放电现象。较高电压的设备裸露在大气中的导电部分在电压作用下产生电晕, 并随之产生电晕损耗。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 (一般为 $20 \sim 30 \text{ kV/cm}$) 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紫蓝色的荧光, 这就是导线表面产生的电晕现象。电晕损耗与相电压的平方成正比, 并与导线的等效直径、表面粗糙度等几何物理特征和空气压力、密度、湿度等气象条件有关。电晕损耗的准确计算目前尚没有精确的计算公式, 一般可按其年均损耗约为线路年均电阻损耗的 10% 进行估算, 或采用经验公式进行计算, 公式计算为

$$\Delta P = K_Y L (U/U_N)^2 \quad (1-15)$$

式中: K_Y 为额定电压和标准气象条件下单位长度线路的电晕损耗; L 为线路长度; U 为线路实际运行电压; U_N 为系统额定电压。

一般情况下, 只有对 220kV 及以上线路和 110kV 线路导线截面小于 185 mm^2 的架空线路方需进行计算。

4. 介质损耗

各种电气设备的非气体绝缘材料在电场作用下, 由于介质电导和介质极化的滞后效应, 在其