

# 电力系统功率与能量 传输损耗计算

刘晨晖 编著

学苑出版社

# 电力系统功率与能量 传输损耗计算

刘晨晖 编著

## 内 容 提 要

本书对电力系统中功率与能量传输损耗在网中及网中各元件上如何产生及其理论计算与分析方法，进行了系统和详尽的阐述，并进而对各种可能采用的降损技术措施的作用与应用范围都进行了细致的分析。书中引用了大量的计算实例来说明理论计算方法的具体应用。本书对各网、省、地(市)、县供电单位是一本非常有实用价值的书，对提高各供电部门专职线损管理技术人员的业务水平有重要指导意义，同时也是各高等院校电力专业的一本必备的参考书。

## 作者简历

刘晨晖(1935— ),湖南醴陵人。瑞典皇家工学院加冕技术科学博士、武汉水利电力学院教授、著名自动控制学家、电工学家与经济学家。曾获国家级有突出贡献中青年专家、全国五一劳动奖章、全国优秀科技工作者、全国水电系统特等劳动模范、湖北省特等劳动模范、湖北省优秀共产党员、全国先进工作者、政府特殊津贴获得者等荣誉称号。他的著作很丰富,涉及自动控制、电工理论以及企业经济学等不同领域。他曾经在黑龙江省送变电工程处与齐齐哈尔电业局工作过二十年,具有丰富的实际经验并对我国供电部门很熟悉,因此他的研究工作也紧密地结合我国供电部门的需要,正因为如此,使得他和他的几本电力类的著作:《电力系统负荷预报理论与方法》、《发供电运行经济学》、《电力系统无功功率分布与电压调节》、《电力系统功率与能量传输损耗计算》,在我国电力界享有盛誉。

# 前 言

本书是《电力系统无功功率分布与电压调节》一书的姊妹篇，是为供电部门写的。

电能自发电厂发出之后，经过输、变、配几个环节送到用户，在这个过程中产生功率与能量的传输损耗，即线损。线损率是供电部门一项重要的综合经济考核指标，而力求减少线损是每一个供电部门都努力追求的目标。

线损总的来说分为理论线损与管理线损，前者可以通过理论计算大致求得并进而可以通过采取相应的技术措施予以控制；而后者是由于供电管理方面的原因造成的，从而需要采取必要的组织措施与管理措施予以控制。

本书主要讨论理论线损的计算方法与可能采取的减少线损的各种技术措施，为使读者对电力系统中的传输损耗有完整的概念，我们不但讨论能量传输损耗而且也讨论功率传输损耗。

线损问题是供电部门一个基本的而且也是一个从来就有的问题，也就是说它绝非新问题，然而遗憾的是，对这个问题我国各供电部门至今还不是很清楚它的分析与计算方法，而我国学术界对这个问题过去只写过两本小册子，并且能源部到1988年才颁发一个并不很完整的《电力网电能损耗计算导则》(试行)，这种状态当然与加强线损管理这个总的要求是不适应的。

线损计算是一个很复杂的问题，随着电压等级的升高与

电网的扩大,包括大电网的网损在内的线损计算就更复杂了。虽然目前已经有很多种计算机程序可以用来计算不同电网的线损,然而只知道用这些计算程序,但对电网线损产生的机理以及各种可能采用的降损技术措施缺乏系统而深刻的了解,肯定是难以搞好线损管理工作的。尤其是我们大多数供电局专门负责线损的专职技术人员,很多原来并未系统接触过这方面的工作,因此常感到有些困惑,从而迫切希望全面地了解电力网络的线损计算与分析的理论与方法,本书就是为此而写的。

作者相信本书对各供电部门是非常实用的,书中所讨论的问题都是供电中所实际遇到的问题,而且对所有理论分析方法都有应用例子予以说明,本书如此的篇幅说明对线损问题的讨论,无论从深度与广度来看都是可观的。即令如此,有些问题也没有讨论,如电晕损耗等。

本书在正式出版之前,曾以讲义的形式刊行,并举办了数次全国范围内的线损理论与计算讲习班,全国各网、省、地(市)和县供电局从事运行和线损管理的数百名工程技术人员参加了讲习班,作者系统地讲授了本书的内容,受到讲习班的普遍欢迎,参加人员提出了很多的宝贵的意见,并希望能尽早出版。

本书在写作过程中,参阅了国内外很多资料,书中很多的例子是直接从此些资料中选用的,尤其是文献[16],在此作者谨致谢意。

本书与作者另一专著《电力系统无功功率分布与电压调节》是姊妹篇,而非上下篇,也就是说它们各自单独成篇;另一方面,这两个研究内容在很多方面又相互有联系,因此,它们的某些内容是相同的,这不足为奇而且也是为读者单独

成篇阅读所必须的。

我曾经在供电部门工作过很长时期，对供电部门有深厚的感情。最近几年来，我与各省市供电部门交往甚多，结识了很多供电部门的朋友，作者谨以本书奉献给我国供电部门以感谢若干年来对我的关心、鼓励与支持。我尤其应当感谢中国水利电力企协城市供用电研究会，是他们组织与安排了本书的出版与发行。

**刘 展 晖**

于：武汉水利电力学院  
自动控制研究室  
一九九二年二月

# 目 录

## 第一章 线损计算的基本方法

- § 1-1 线路损失率…………… ( 1 )
- § 1-2 负荷曲线…………… ( 14 )
- § 1-3 负荷基本特性描述…………… ( 25 )
- § 1-4 负荷基本特性计算举例…………… ( 36 )
- § 1-5 计算线损的损失因数法…………… ( 55 )
- § 1-6 计算线损的最大负荷损失小时法…………… ( 64 )
- § 1-7 计算线损的均方根法…………… ( 71 )
- § 1-8 计算线损的形状系数法…………… ( 75 )
- § 1-9 计算线损的等值电流法…………… ( 85 )
- § 1-10 具有分布负荷的线路电能损耗计算…………… ( 90 )
- § 1-11 输配电费用及线损进入成本…………… ( 96 )
- § 1-12 过网电量电能损耗计算…………… (101)
- § 1-13 线路的最佳线损率…………… (110)

## 第 二 章

### 单端供电系统中的功率传输与损耗

- § 2-1 单端供电辐射型线路中有功功率与无功功率的确定…………… (115)
- § 2-2 短线路分析…………… (135)



§ 2-3	对短线路的讨论·····	(148)
§ 2-4	中长线路分析·····	(168)
§ 2-5	平行双回线系统分析·····	(189)
§ 2-6	长线路分析·····	(199)
§ 2-7	长线路计算举例·····	(209)
§ 2-8	长线路空载充电时的情形·····	(224)
§ 2-9	线路末端(接受端)功率园图·····	(234)
§ 2-10	线路始端(发送端)功率园图·····	(243)

### 第 三 章

#### 电力变压器中的功率与能量损耗

§ 3-1	变压器的功率损耗计算综述·····	(258)
§ 3-2	电力变压器中的电压降落与功率损耗·····	(266)
§ 3-3	各种变压器的功率损耗计算举例·····	(282)
§ 3-4	两端具有变压器的线路分析·····	(305)
§ 3-5	变压器能量损耗计算·····	(323)

### 第 四 章

#### 联络线及环网中的功率传输与损耗

§ 4-1	电站间联络线上的功率传输·····	(333)
§ 4-2	电站并列运行的一个必要条件·····	(351)
§ 4-3	两电站之间的弱联络线·····	(368)
§ 4-4	对称线路分析·····	(375)
§ 4-5	两端供电系统·····	(382)
§ 4-6	简单闭式电力网中功率分布计算·····	(400)
§ 4-7	多级电压闭式电力网中功率分布计算·····	(408)
§ 4-8	若干环网计算举例·····	(422)

§ 4-9	网络拆开法·····	(444)
§ 4-10	环网中各线段最大负荷利用小时的确定·····	(453)
§ 4-11	用负荷移置法计算复杂网络·····	(456)
§ 4-12	网损的一般表示式·····	(471)

## 第 五 章

### 导线截面积的合理选择

§ 5-1	凯尔文定律·····	(487)
§ 5-2	具有相同最大负荷利用小时时按经济电 流密度选择导线截面·····	(498)
§ 5-3	具有不同最大负荷利用小时时按经济电 流密度选择导线截面·····	(503)
§ 5-4	按允许电压损耗选择导线截面·····	(512)
§ 5-5	低压配电线路导线截面积的决定·····	(529)
§ 5-6	配电线路的经济送电距离·····	(536)

## 第 六 章

### 电网运行方式与线损

§ 6-1	提高电网运行电压减少线损·····	(547)
§ 6-2	组织均衡用电减少线损·····	(558)
§ 6-3	改变线路结构减少线损·····	(567)
§ 6-4	闭式电网的功率经济分布及混合调压变 压器的应用·····	(569)
§ 6-5	应用串联补偿装置实现闭式电力网中的 功率经济分布·····	(581)
§ 6-6	环网系统的合环与开环运行·····	(589)
§ 6-7	若干不同运行方式下的线损·····	(599)

## 第七章 变压器经济运行

- § 7-1 单台变压器效率及按最高效率运行…………… (609)
- § 7-2 同型号同容量双绕组变压器的并列经济运行…………… (622)
- § 7-3 不同容量变压器的并列经济运行…………… (630)
- § 7-4 根据日负荷变化改变变电所的运行方式…………… (636)
- § 7-5 轻负荷时切除部分变压器…………… (652)
- § 7-6 在什么条件下切除变压器及线路…………… (657)
- § 7-7 变压器选用的技术经济比较…………… (667)
- § 7-8 负荷不变时变压器的选用…………… (674)
- § 7-9 按年耗电量最小原则确定变压器容量…………… (683)
- § 7-10 按年运行费用最小原则确定变压器容量…………… (695)
- § 7-11 三绕组变压器并列经济运行的图解法…………… (705)
- § 7-12 三绕组变压器并列经济运行的解析解法…………… (711)

## 第八章 提高功率因数减少线损

- § 8-1 提高负荷功率因数减少线损…………… (719)
- § 8-2 关联电容补偿的一般分析…………… (730)
- § 8-3 辐射型供电网络中最佳补偿容量的决定…………… (751)
- § 8-4 无功优化问题的提出…………… (764)
- § 8-5 用网损微增率原则决定无功功率电源的优化配置…………… (779)
- § 8-6 按最优网损微增率决定无功负荷的合理补偿…………… (794)

§ 8-7	配电主干线上电容器安装的最佳位置·····	(805)
§ 8-8	应用并联电容补偿减少的功率损耗与线损·····	(812)
§ 8-9	负荷非均匀分布的配电线路无功补偿最优配置·····	(823)
§ 8-10	无功经济当量与最佳补偿容量·····	(832)
§ 8-11	配电干线无功补偿优化问题的简化处理·····	(849)

## 第九章

### 配电系统的线损计算

§ 9-1	配电系统的一些典型计算·····	(856)
§ 9-2	配电线路的等值电阻·····	(873)
§ 9-3	配电网电压损耗计算·····	(882)
§ 9-4	低压配电网中的功率分布计算·····	(887)
§ 9-5	6~10 (KV) 配电网线损的计算·····	(893)
§ 9-6	用均方根电流法计算配电网线损·····	(901)
§ 9-7	低压配电网线损计算 (按始端计算)·····	(912)
§ 9-8	低压配电网线损计算 (按受端计算)·····	(916)
§ 9-9	低压配电网电能损耗的实用算法·····	(928)
§ 9-10	几种常用的低压配电方式功率损耗的比较·····	(932)
§ 9-11	三相负荷不平衡时配电网的线损·····	(934)
§ 9-12	三相电流不平衡时低压配电网的线损·····	(939)
	参考文献·····	(945)

## 第一章 线损计算的基本方法

电能沿电力系统各元件传送时，将发生功率损耗并在一段时间内发生能量损耗。这里，功率当然包括有功功率与无功功率，而能量也包括有功电度与无功电度。

线损一般指发生在电力系统中某一元件上或某电力网中在一段时间内的有功电度损耗。这是一个绝对值，若将线损与同时间内的供电量相比，就得到线损率。

就一个电气元件来谈，计算在某一段时间内在其上发生的线损原则上不是很困难。现在已经有一些行之有效的方法被广泛采用，本章先介绍这些方法。

电力系统中应不应当计算无功电度损耗，并且应不应当由用户承担电力系统中发生无功电度损耗的费用，目前这还是一个有争议的问题，尚待进一步探讨，所以我们暂不讨论。

### § 1-1 线路损失率

供电企业的一项极为重要的综合经济指标是线路损失率，它是反映电网运行的经济性和安全水平的重要指标。所谓线路损失率（简称线损率）就是指电力工业企业在变压、输送电力过程中所损失的电量占供电量的百分比。线损率的大小与线损管理、电网结构、电压高低和电压等级的多少、输送距离的远近及调度管理等因素有关。

在电力网的实际运行中，用电度表计量统计出的供电量与售电量之差得到的线损电量，称为统计线损量（相应的线损率称为统计线损率）。在统计线损量中，有一部分是电能传输、变、配过程中不可避免会发生的，其中主要包括：与电流平方成正比的变压器绕组和输电线路导线中的电能损耗；与运行电压有关的变压器铁芯，电容器和电缆绝缘介质损耗及电晕损耗。一般前者称为负载损耗，后者称为空载损耗。这两部分习惯上又称为“技术线损电量”，它可以通过理论计算出，所以又称理论线损量（相应的线损率称理论线损率），它可以通过采取相应的技术措施予以降低。统计线损的另一部分是由于管理工作上的原因造成的。它包括：各种各样的电度表综合误差；抄表不同时；漏抄错抄与错算所造成的统计数值不准确；带电设备绝缘不良引起的漏电；无表用电和窃电所造成的损失电量等等，这一部分线损电量习惯上称为“管理线损电量”，它应该而且可以采取必要的组织措施与管理措施予以避免或减少。在线损管理工作中，既要重视降低“技术线损电量”，也要重视避免和减少“管理线损电量”。

表 1-1-1 我国和工业发达国家电力网线损率变化情况表

单位：%

年份	中 国	美 国	苏 联	加 拿 大	日 本	西 德	英 国	法 国	意 大 利
1949	22.35								
1950									
1951		10.3	8.4		25.3	10.1	9.3	13.0	16.5
1952	11.29	10.3	8.1		24.0	10.0	10.0	12.4	16.3
1953	10.29	9.7	7.7		22.0	8.9	9.0	11.8	15.8
1954	9.56	9.6	7.4		20.3	8.0	9.6	11.0	
1955	8.59	8.7	7.4	9.3	18.4	7.5	9.6	10.8	16.0

续表

年份	中国	美国	苏联	加拿大	日本	西德	英国	法国	意大利
1956	8.81	8.5	7.5	9.8	16.5	7.4	9.4	9.9	15.4
1957	8.71	8.2	7.8	9.6	15.0	7.6	9.1	9.6	15.4
1958	7.67	8.8	8.0	9.4	14.3	7.5	9.1	9.9	15.3
1959	7.35	8.5	7.9	9.6	12.9	7.0	9.0	9.6	14.6
1960	7.11	8.4	7.3	9.4	11.3	6.6	9.5	9.5	13.1
1961	7.41	8.4	6.1	8.7	10.7	6.6	9.3	8.9	13.3
1962	8.73	8.3	6.2	8.1	10.4	6.8	9.2	8.8	11.9
1963	8.37	8.2	6.6	9.2	9.3	6.8	8.3	8.8	12.4
1964	8.10	8.0	6.8	8.9	9.0	6.7	8.4	8.0	10.3
1965	7.31	8.0	6.9	8.9	8.7	6.1	8.3	7.9	10.1
1966	7.73	8.1	7.1	8.3	8.0	5.3	8.1	7.8	9.7
1967	8.60	8.0	7.4	8.2	7.6	5.7	8.2	7.4	9.9
1968	9.0	8.1	7.6	8.2	7.3	6.0	7.9	7.4	9.2
1969	9.43	8.0	7.8	8.5	7.2	6.0	7.9	7.3	9.0
1970	9.22	8.7	7.9	8.1	6.7	5.6	7.9	7.1	8.5
1971	9.48	8.8	8.0	7.8	6.6	5.7	7.9	7.0	8.4
1972	9.43	8.9	8.2	8.1	6.6	5.2	7.7	6.8	8.1
1973	9.53	8.5	8.0	9.0	6.4	5.0	7.4	6.6	8.7
1974	9.91	8.4	8.0	9.3	6.1	4.8	7.2	6.5	7.9
1975	10.21	8.8	8.0	10.5	6.4	5.1	7.6	6.8	9.0
1976	10.32	8.5	8.2	9.8	6.3	4.8	7.3	6.9	8.9
1977	10.19		8.2	9.6	6.2		7.9		
1978	9.64			(10.1)	6.2	4.3	8.6	7.1	8.9
1979	9.24	8.7	8.3	9.7	6.2	4.1	8.2	7.2	8.8
1980	8.93	8.7	7.9	9.3	5.8	4.5	8.1	6.8	9.1
1981	8.98	7.9		7.2	6.0	4.3	7.7	6.6	9.0
1982	8.64	(6.1)		7.1	5.9	4.8	8.4	7.0	8.4
1983	8.53	(6.7)		9.6	6.0	5.2	8.6	7.5	9.6
1984	8.28	(5.8)		8.7	6.1	4.5	8.7	8.0	8.7
1985	8.18	(6.1)		9.2	5.8	5.2	8.7	7.7	9.0
1986	8.15	(6.1)			5.9	4.7	8.5	7.4	8.5
1987	8.48				6.0	4.9		7.6	
1988	8.18								
1989									
1990	8.18								

(括号内数字为参考数据)

表 1-1-2 全国35个重点城市供电(电业)局线损率(%)

供电局名称	年 度													
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
北京供电局	3.65	4.53	4.03	3.19	3.52	2.74	6.16	6.11	4.92	4.87	4.85	4.93		
天津市电力局	2.28	1.76	1.30	2.34	1.93	1.35	3.95	3.95	3.18	3.17	3.19	3.23		
唐山供电局	2.78	1.96	1.23	0.24	0.90	2.01	4.41	3.70	3.77	3.04	2.99	2.41		
石家庄供电局	7.32	6.48	6.32	6.98		2.46	1.82	1.00	1.63	4.93	4.99	5.34		
太原供电局	4.72	5.36	6.11		5.82	2.75	3.06	3.12	2.46	5.54	3.14	1.41		
呼和浩特供电局	8.49	9.46	7.62	9.48	7.95	8.30	8.72	8.24	7.49	6.59	7.23	6.68		
沈阳电业局	3.52	3.78	3.01	2.98	2.91	3.20	3.48	3.64	3.63	3.67	3.82	3.70		
大连电业局	3.70	3.23	3.73	3.81	3.63	3.31	2.92	2.57	2.99	3.07	2.87	2.84		
长春电业局	5.88	4.95	5.65	5.10	4.72	4.98	4.97	5.37	5.98	5.05	5.12	5.04		
吉林电业局	3.06	2.99	3.88	2.89	2.87	2.48	2.65	2.60	2.69	2.68	2.65	2.65		
哈尔滨电业局	8.07	7.51	8.10	7.43	7.26	6.83	6.17	6.41	5.89	5.16	5.11	4.94		
上海市电力局	5.74	6.04	5.71	5.81	5.37	5.31	5.10	5.04	4.93	4.66	4.59	5.42		
南京供电局	6.25	6.19	6.63	7.18	6.10	5.98	3.47	5.43	3.59	3.37	3.63	3.96		
常州供电局	5.50	6.80	5.30	4.93	4.22	3.64	3.94	4.71	3.85	7.13	6.03	6.43		
杭州供电局	10.41	12.30	11.80	10.46	9.51	8.00	6.86	6.62	5.61	5.37	5.21	5.02		
合肥供电局	12.71	11.40	11.05	9.41	4.74	4.81	1.96	2.05	1.62	3.83	3.09	3.25		
济南供电局	4.79	4.33	4.04	4.81	4.42	6.24	1.76	2.82	3.10	4.41	2.86	3.06		



续表

供电局名称	年 度													
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
青岛供电局	5.75	5.57	5.96	5.60	5.10	7.48	3.97	3.45	3.23	4.34	3.91	4.40		
福州供电局	7.17	4.02	2.90	4.21	5.90	4.56	5.66	4.65	4.57	4.76	4.99	4.54		
郑州供电局	4.89		5.28	4.92	2.91	3.30	2.53	2.13	2.02	1.65	2.69	2.37		
武汉供电局	5.98	5.99	5.61	6.28	5.31	4.61	3.56	2.42	1.65	3.59	3.07	2.78		
长沙电业局	10.27	12.73	4.28	3.57		4.00	3.96	4.03	8.81	7.94	7.76	5.32		
南昌供电局	12.07	9.06	8.86	8.43	8.86	9.24	9.68	5.48		3.68	4.00	4.09		
广州供电局	6.80	8.61	7.36	6.04	5.97	5.20	4.11	4.14	3.84	3.62	4.18	4.59		
南宁供电公司	7.40	8.37	8.88	6.28	5.37	4.58	4.74	3.81	3.85	3.52	3.05	2.93		
桂林供电公司					4.23	1.93	2.56	2.75	5.10	5.70	5.23	4.43		
成都供电局	- 2.8	40.05	37.59	15.52	6.03	5.73	5.02	4.45	3.86	4.65	5.17	4.26		
重庆供电局	6.81	6.30	6.83	7.59	6.77	4.37	5.20	4.59	4.34	4.42	5.24	3.75		
贵阳供电局	25.17	14.04	13.33	14.14	10.51	6.80	8.65	7.12	1.82	0.89	8.67	5.93		
昆明供电局	5.83	7.05	7.89	7.92	7.99	4.50	3.63	3.83	4.20	3.87	3.64	3.65		
西安供电局	5.76	5.64	4.88	4.30	4.19	4.30	3.93	4.27	3.87	3.43	3.98	3.99		
兰州供电局	6.90	6.32	3.93	4.37	4.19	4.06	3.78	5.19	5.37	5.91	5.34	5.34		
西宁供电局	7.23	6.80	8.56	7.86	7.11	6.49	7.86	8.65	5.24	4.69	4.16	8.95		
银川供电局	8.78	10.41	11.78	11.70	7.30	7.26	6.27	6.18	4.60	4.86	4.51	4.35		
乌鲁木齐供电公司	13.10	17.10	13.30	6.81	7.71	6.86	6.27	2.97	6.72	3.28	3.13	3.03		