

前 言

在能源面临短缺，电力供应日趋紧张的今天，大力普及节电知识，开展节电技术研究，推广节电技术成果，对缓和供电紧张局面，推动工农业生产的发展，提高企业的技术经济效益，无疑具有十分现实的意义。

我国的能源政策是开发与节约并重，目前实际上存在着重开发轻节约的现象。据报道发达国家的先进企业节电潜力约为20%，我国一般约为40%，个别可达50%，可见节电潜力是非常大的。据一般估计，在总节电效益中，通过组织管理可以收到的约占30%，通过改进工艺过程、加工方法以及实行一些基本不花钱的技术措施可以收到的约占40%，通过改造或增加设备且耗费较大投资才可以收到的约占30%。很明显，应当优先采取组织管理措施和不花钱的技术措施。

《实用节电技术》一书主要汇集了常用供用电设备的各种实用节电措施，重点是组织管理措施和不花钱的技术措施，对电力部门和工矿企业开展降损节电工作有着现实的意义。

在编写本书过程中，曾得到安徽电力职工大学教务处主任副教授李益民、界首县供电局局长高级工程师陈怀三、蚌埠市供电局高级工程师汪志根、肥西县供电局局长高级工程师张绍亭、利辛县供电局局长高级工程师潘之亮、临泉县供电局副局长工程师王志排、阜南县供电局局长李广勤、泗县供电局局长技师张宝祥、安徽省电力局原计划处处长高级经济师肖世珍、安徽省电力干校讲师许若齐、六安地区供电局

助理工程师匡绍龙和顾承宏、巢湖地区供电局助理工程师黄琦、安庆地区供电局助理工程师黎安、池州地区供电局助理工程师高志刚和钱清、长丰供电局助理工程师韩东志、广东省平远县电力公司经理工程师陈玉宏、台山县供电局副局长工程师吴强盛等的指导或帮助；得到了安徽电力职工大学、合肥供电局三电办、合肥化工厂、合肥帆布厂、蚌埠市八一化工厂、蚌埠市东风化工厂、怀远县酒厂、长丰县化肥厂、肥东县植物油厂等单位的大力支持；肥东县供电局局长高级工程师张红宇、金寨县供电局局长工程师郭玉林及助理工程师徐钊对本书初稿进行过审阅、修改和补充；此外，作者还参考了许多能源方面的书籍和期刊，并从这些文献中引用了一些有关的资料。在此一并表示衷心的感谢。

由于本人水平有限，经验不足，难免有不当和错误之处，欢迎读者批评指正。

许业清

1990年6月

目 录

前言	(I)
第一章 电网技术线损的计算与分析	(1)
一、概述	(1)
二、损失因数法计算线损	(2)
三、最大负荷损耗小时数法计算线损	(3)
四、均方根电流法计算线损	(7)
五、等值功率法计算线损	(8)
六、6~10 千伏配电网线损计 算	(10)
七、0.4 千伏低压配电网线损的计 算	(14)
八、过网电量线损的计算	(18)
九、三相电压、电流不对称度的计算	(20)
十、三相负荷不平衡时功率因数和线损计算	(22)
十一、合理调整电网运行电压降损电量的计算	(27)
十二、无功功率经济当量	(29)
十三、无功补偿降损电量的计算	(30)
十四、各种技术线损计算方法的评述	(32)
第二章 常用供用电设备电能平衡测试与计算	(33)
一、电能平衡的意义	(33)

二、电能平衡工作的要点.....	(34)
三、变压器电能平衡测试与计算.....	(34)
四、异步电动机电能平衡测试与计算.....	(38)
五、同步电动机电能平衡测试与计算.....	(41)
六、企业变电所电能平衡测试与计算.....	(43)
七、企业配电网电能平衡测试与计算.....	(44)
八、电阻炉电能利用率的测试与计算.....	(46)
九、工厂照明电能平衡测试与计算.....	(48)
十、整流设备电能平衡测试与计算.....	(49)
十一、水泵电能平衡测试与计算.....	(51)
十二、风机电能平衡测试与计算.....	(52)
十三、往复式压缩机电能平衡测试与计算.....	(55)
十四、电能平衡举例.....	(57)

第三章 电网节电..... (60)

一、电网降损节电的途径.....	(60)
二、农电网无功补偿方法.....	(61)
三、城市低压电网的无功补偿.....	(67)
四、农村低压电网的无功补偿.....	(69)
五、10千伏放射式配电网串联电容器补偿.....	(70)
六、放射网串并联补偿最优容量的确定.....	(73)
七、控制配电电压的主要技术措施.....	(79)
八、降压运行降损节电.....	(79)
九、合理调整用电电压节约用电.....	(84)
十、农村电网的电压调节.....	(89)

十一、低压用电线路的降损节电	(90)
十二、电力系统功率因数的计算方法	(93)
十三、合理确定环网的运行方式	(104)
十四、合理安排设备检修	(107)
十五、双电源用户的节电方法	(109)
十六、降低网损的组织措施	(110)
十七、短网的节电措施	(113)
十八、轻载电网的降损措施	(114)

第四章 变压器节电

(116)

一、变压器节电途径	(116)
二、各类变压器的最佳负载系数	(116)
三、同容量双圈变压器的经济运行	(125)
四、两台不同容量双圈变压器的经济运行	(128)
五、两台同型号三圈变压器的经济运行	(129)
六、低损耗变压器的技术经济性能	(132)
七、降低变压器损耗的组织措施	(136)
八、10千伏配电变压器调整节电方法	(141)
九、S ₇ 系列变压器的节电选择方法	(143)
十、10/0.4千伏农电配电变压器的无功补偿	(148)
十一、损失变压器容量对经济性的影响	(151)
十二、高能耗变压器的节能改造方法	(153)
十三、变压器各种节电方法的评述	(158)

第五章 电动机节电.....(160)

- 一、电动机节电的途径.....(160)
- 二、电动机最佳运行电压的确定.....(162)
- 三、笼型异步电动机的调压节电运行.....(165)
- 四、电压不平衡对异步电动机损耗的影响.....(169)
- 五、重载运行电动机的节电方法.....(172)
- 六、电动机负载率的测算方法.....(174)
- 七、异步电动机空载电流的计算方法和统计值
.....(178)
- 八、三相异步电动机 Δ —Y 的最优改接方法
.....(181)
- 九、异步电动机的全压起动与节电.....(183)
- 十、调整电动机节电方法.....(184)
- 十一、低压电动机的无功补偿.....(186)
- 十二、高效率电动机节电.....(188)
- 十三、异步电动机节电器及其应用.....(191)
- 十四、电动机节电风扇.....(195)
- 十五、异步电动机的节能选择方法.....(196)
- 十六、企业同步电动机的经济运行.....(202)
- 十七、改变电动机绕组接线的节电措施.....(205)
- 十八、电动机经济运行管理方法.....(209)
- 十九、单相电动机的经济运行方法.....(210)
- 二十、电动机各种节电方法的评述.....(210)

第六章 照明节电.....(212)

- 一、照明设备节电方法.....(212)
- 二、常用电光源的技术经济特性.....(213)
- 三、电光源的合理选用.....(218)
- 四、照明照度的节电选择.....(220)
- 五、照明设备管理节电.....(221)
- 六、白炽灯的节电方法.....(223)
- 七、日光灯的节电方法.....(224)
- 八、照明设备节电实例.....(224)
- 九、家用电器节电方法.....(225)

第七章 风机、水泵、压缩机节电.....(228)

- 一、风机节电方法.....(228)
- 二、风量调节节电方法.....(229)
- 三、节能型风机及节电效果.....(230)
- 四、水泵节电方法.....(235)
- 五、工业锅炉给水泵的节电方法.....(248)
- 六、压缩机节电方法.....(250)
- 七、风机、水泵各种调速装置的节电效益.....(255)

第八章 工厂节电.....(257)

- 一、工厂节电的主要途径.....(257)
- 二、提高工厂功率因数的方法.....(260)

三、提高工厂负荷率的方法.....	(264)
四、减少工厂电力网附加线损的方法.....	(265)
五、工厂经济运行电压的确定方法.....	(268)
六、工厂供电系统经济运行技术管理方法.....	(269)
七、水泥生产的节电途径.....	(271)
八、纺织生产的节电途径.....	(278)
九、化肥生产的节电途径.....	(284)
第九章 农村节电.....	(287)
一、电力排灌节电方法.....	(287)
二、农副业加工节电管理方法.....	(290)
三、乡镇工业节电方法.....	(291)
附 录 安徽省首届节能新技术新产品集锦	
(节电部分, 1990年9月).....	(294)

第一章 电网技术线损的计算与分析

一、概 述

电力网的线损率是表征供用电企业经济效益和技术管理水平的综合性技术经济指标，也是国家贯彻节能方针，考核供用电部门的一项重要指标。

电力网的线损可分为技术线损和管理线损两部分。技术线损主要包括：与电流平方成正比的变压器绕组和输配电线路导线中的电能损耗；与运行电压有关的变压器铁芯、电容器和电缆的绝缘介质损耗以及电晕损耗等。技术线损可以通过技术措施予以降低。管理线损主要包括：各种各样的电度表综合误差、抄表不同时、漏抄及错抄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、无表用电和窃电等造成的损失电量。管理线损可以通过组织管理措施予以避免或减少。

为了制订和实施经济合理的线损率指标，发现电网结构、调度管理、生产技术管理、用电和计量管理、设备性能和运行状况等方面的薄弱环节，掌握损耗的构成与发展方向，有针对性的采取合理的降损节电措施，并检查措施的实际效果，必须进行线损的理论计算和分析。

电力网的线损是指一定时段内网络各个元件上的功率损耗对时间的积分值的总和，而各元件上的功率损耗一般难以用时间的解析函数关系来表达，所以，应该根据不同的要求

和具体情况，采用不同的简化计算方法进行计算。本章主要介绍计算技术线损的几种常用的基本方法和降损电量的基本计算方法。

二、损失因数法计算线损

损失因数 F 等于线损计算时段内的平均功率损失 ΔP_{av} 与最大负荷功率损失 ΔP_{max} 之比

$$F = \Delta P_{av} / \Delta P_{max} \tag{1.1}$$

通过损失因数，可以用最大负荷时的功率损失计算时段 T 内的线损值

$$\Delta A = \Delta P_{max} F T \tag{1.2}$$

对于一般配电网

$$F = 0.3f + 0.7f^2 \tag{1.3}$$

式中 f 为负荷率， $f = P_{av} / P_{max}$ ； P_{av} ， P_{max} 分别为平均负荷和最大负荷。

对于输电及供电系统

$$F = 0.083f + 1.036f^2 - 0.12f^3 \tag{1.4}$$

例：10千伏配电线路如图1.1示，若 b ， c 点负荷的同时率为0.8，负荷率 $f = 0.5$ ，求年线损值。

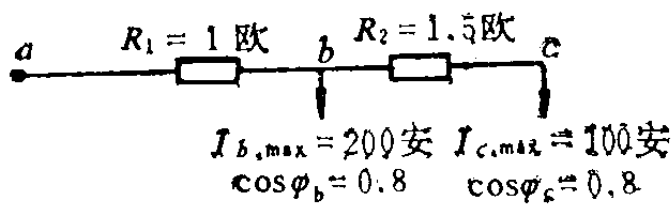


图1.1 10千伏配电线路负荷图

解： ab 段线路的最大电流

$$I_{ab, \max} = (200 + 100) \times 0.8 = 240 \text{ 安}$$

bc 段线路的最大电流

$$I_{bc, \max} = 100 \text{ 安}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\max} &= (3 \times 240^2 \times 1 + 3 \times 100^2 \times 1.5) \times 10^{-3} \\ &= 217.8 \text{ 千瓦} \end{aligned}$$

由式(1.3)得 $F = 0.3 \times 0.5 + 0.7 \times 0.5^2 = 0.325$

$$\begin{aligned} \text{全年线损值 } \Delta A &= \Delta P_{\max} \times F \times 8760 \\ &= 217.8 \times 0.325 \times 8760 \\ &= 620076.6 \text{ 千瓦} \cdot \text{时}。 \end{aligned}$$

三、最大负荷损耗小时数法计算线损

若输电、变电和配电元件中的功率一直保持为最大负荷功率 $S_{\max}$ ，在 τ 小时的线损值恰等于元件全年的实际线损值，则称 τ 为最大负荷损耗小时数。当最大负荷利用小时数 $T_{\max}$ 和 $\cos\varphi$ 知道时，可由表1.1查出 τ 。这时元件的年线损值为

$$\Delta A = \Delta P_{\max} \tau \quad (1.5)$$

式中 $\Delta P_{\max}$ 为最大负荷时元件电阻中的功率损耗。

例：对图1.2示电力网络，变电所低压母线上的最大负荷为40兆瓦， $\cos\varphi = 0.8$ ， $T_{\max} = 4500$ 小时。试求线路及变压器中全年的线损电量。线路和变压器的参数如下：

线路(每回)： $r_0=0.17$ 欧/公里， $x_0=0.409$ 欧/公里，
 $b_0=2.82\times10^{-6}$ 西/公里。

每台变压器： $\Delta P_0=86$ 千瓦， $\Delta P_K=200$ 千瓦，
 $I_0\%=2.7$ ， $V_K\%=10.5$ 。

表1.1 最大负荷损耗小时数 τ 与最大负荷的利用
 小时数 T_{max} 的关系

$\cos\varphi$ τ T_{max}	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
200	1500	1200	1000	800	700
2500	1700	1500	1250	1100	950
3000	2000	1800	1600	1400	1250
3500	2350	2150	2000	1800	1600
4000	2750	2600	2400	2200	2000
4500	3150	3000	2900	2700	2500
5000	3600	3500	3400	3200	3000
5500	4100	4000	3950	3750	3600
6000	4650	4600	4500	4350	4200
6500	5250	5200	5100	5000	4850
7000	5950	5900	5800	5700	5600
7500	6650	6600	6550	6500	6400
8000	7400	—	7350	—	7250

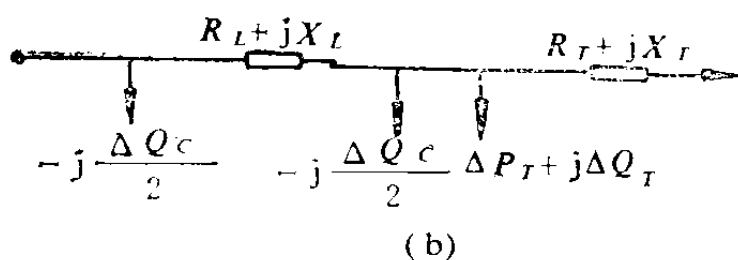
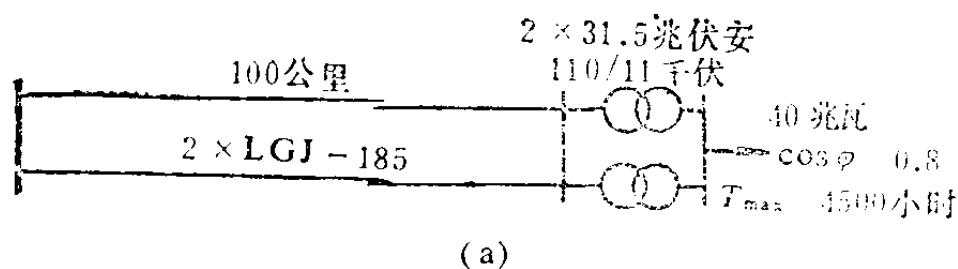


图 1.2 输电系统结线图及等值图
(a) 结线图; (b) 等值图

解: 最大负荷时变压器的绕组功率损耗

$$\begin{aligned}\Delta S_T &= 2 \left(\Delta P_S + j \frac{V_S \%}{100} S_N \right) \left(\frac{S}{2S_N} \right)^2 \\ &= 2 \left(200 + j \frac{10.5}{100} \times 31500 \right) \left(\frac{40/0.8}{2 \times 31.5} \right)^2 \\ &= 252 + j4166 \text{ 千伏安}\end{aligned}$$

变压器的铁芯功率损耗

$$\begin{aligned}\Delta S_0 &= 2 \left(\Delta P_0 + j \frac{I_0 \%}{100} S_N \right) \\ &= 2 \left(86 + j \frac{2.7}{100} \times 31500 \right) \\ &= 172 + j1701 \text{ 千伏安}\end{aligned}$$

线路末端充电功率

$$Q_{B_2} = -2 \frac{b_0}{2} V^2 = 2.82 \times 10^{-6} \times 100 \times 110^2$$

$$= -3.412 \text{兆乏} = -3412 \text{千乏}$$

等值电路中用以计算线路损失的功率

$$\begin{aligned} S_L &= S + \Delta S_T + \Delta S_0 + jQ_{B_2} \\ &= 40.424 + j32.455 \text{兆伏安} \end{aligned}$$

线路上的有功功率损失

$$\begin{aligned} \Delta P_L &= \frac{S_L^2}{V^2} R_L \\ &= \frac{40.424^2 + 32.455^2}{110^2} \times \frac{1}{2} \times 0.17 \times 100 \\ &= 1.8879 \text{兆瓦} \end{aligned}$$

根据 $T_{\max} = 4500$ 和 $\cos \varphi = 0.80$, 从表1.1查得 $\tau = 3150$, 在变压器全年投运时的线损值为

$$\begin{aligned} \Delta A_T &= 2\Delta P_0 \times 8760 + \Delta P_T \times 3150 \\ &= 172 \times 8760 + 252 \times 3150 \\ &= 2300520 \text{千瓦} \cdot \text{时}。 \end{aligned}$$

线路中全年线损值

$$\begin{aligned} \Delta A_L &= \Delta P_L \times 3150 = 1887.9 \times 3150 \\ &= 5946885 \text{千瓦} \cdot \text{时}。 \end{aligned}$$

输电系统全年的总线损

$$\begin{aligned} \Delta A_T + \Delta A_L &= 2300520 + 5946885 = 8247405 \text{千瓦} \cdot \text{时} \\ &= 824.7405 \text{万千瓦} \cdot \text{时}。 \end{aligned}$$

四、均方根电流法计算线损

当电阻为 R 的元件日负荷电流实测值为

$$I_1, I_2, I_3, \dots, I_{24}$$

时，其日线损电量为

$$\Delta A = 3 \times 24 \times I_{\text{rms}}^2 R \times 10^{-3} \text{ 千瓦} \cdot \text{时} \quad (1.6)$$

式中 I_{rms} 为代表日的均方根电流，其值为

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} I_i^2}{24}} \quad (1.7)$$

或

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (P_i^2 + Q_i^2)}{3 \times 24 V_{av}^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (A_{Pi}^2 + A_{Qi}^2)}{3 \times 24 V_{av}^2}} \quad (1.8)$$

式中 P_i, Q_i 分别为正点时通过元件的有功功率（千瓦）、无功功率（千乏）； A_{Pi}, A_{Qi} 分别为正点时的有功电度（千瓦·时）、无功电度（千乏·时）； V_{av} 为平均线电压（千伏）。

例：金寨县供电局有一条35千伏架空输电线路，导线为 LGJ-150，长度为50公里，在7月15日测得24小时电流值分别为100, 100, 120, 100, 150, 150, 190, 190, 190, 190, 160, 180, 190, 180, 170, 160, 180, 180, 160, 180, 160,

150, 120, 120安, 求7月份的线损电量

解: 50公里 LGJ-150导线的等值电阻值为

$$R = 50r_0 = 50 \times 0.21 = 10.5 \text{ (欧)}$$

由式(1.7)可得均方根电流为

$$\begin{aligned} I_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} I_i^2}{24}} \\ &= [(100^2 \times 3 + 120^2 \times 3 + 150^2 \times 3 + 160^2 \times 4 \\ &\quad + 180^2 \times 5 + 190^2 \times 5 + 170^2 \times 1) / 24]^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{614500}{24}} = 160 \text{ (安)} \end{aligned}$$

由式(1.6)得月线损电量为

$$\begin{aligned} \Delta A &= 3 I_{\text{rms}}^2 R T \times 10^{-3} \\ &= 3 \times 160^2 \times 10.5 \times 31 \times 24 \times 10^{-3} \\ &= 59.996 \text{ (万千瓦} \cdot \text{时)}。 \end{aligned}$$

五、等值功率法计算线损

在给定运行时间 t 内, 通过电阻为 R 的元件供电的有功电量、无功电量分别为 A_P (千瓦·时)、 A_Q (千乏·时), 则元件 R 中的线损电量为

$$\Delta A = K^2 \frac{P_{av}^2 + Q_{av}^2}{V_{av}^2} R t \times 10^{-3} \text{ (千瓦} \cdot \text{时)} \quad (1.9)$$

式中 $P_{av} = A_P/t$, $Q_{av} = A_Q/t$, V_{av} 为端电压的平均值(千伏); K 为负荷形状系数。

当平均负荷率 $f > 0.5$ 时 ($f = P_{av}/P_{max}$)

$$K^2 = \frac{\alpha + \frac{1}{3}(1-\alpha)^2}{\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)^2} \tag{1.10}$$

式中 α 为最小负荷率, $\alpha = P_{min}/P_{max} = I_{min}/I_{max}$ 。

当 $f < 0.5$ 时

$$K^2 = \frac{f(1+\alpha) - \alpha}{f^2} \tag{1.11}$$

例：某元件的电阻为 10 欧，在 720 小时内通过的电量 $A_P = 80200$ 千瓦·时 和 $A_Q = 40100$ 千乏·时，平均负荷率 $f = 0.7$ ，最小负荷率 $\alpha = 0.4$ ，平均运行电压为 10.3 千伏，功率因数接近不变。求该元件的线损值。

解：先计算平均功率

$$P_{av} = A_P/t = 80200/720 = 111.4 \text{ 千瓦,}$$

$$Q_{av} = A_Q/t = 40100/720 = 55.7 \text{ 千乏。}$$

当 $f = 0.7$ 时，可由式(1.11)得

$$\begin{aligned} K^2 &= \frac{\alpha + \frac{1}{3}(1-\alpha)^2}{\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)^2} = \frac{0.4 + \frac{1}{3}(1-0.4)^2}{\left(\frac{1+0.4}{2}\right)^2} \\ &= 1.061 \end{aligned}$$

$$\Delta A = K^2 \frac{P_{av}^2 + Q_{av}^2}{V_{av}^2} R t \times 10^{-3}$$