

34

# 线损的理论计算和 降损的技术措施

浙江大学发电教研组 南京供电局 编

电力工业出版社

TM710  
3349

# 线 损 的 理 论 计 算 和 降 损 的 技 术 措 施

浙江大学发电教研组 编  
， 南 京 供 电 局

电 力 工 业 出 版 社

**线损的理论计算和降损的技术措施**  
浙江大学发电教研组 南京供电局 编

\*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 3.5 印张 74 千字  
1980年5月第一版 1980年5月北京第一次印刷  
印数 00001—16230 册 定价 0.33 元  
书号 15036·4030

## 内 容 提 要

线路损失率是电力系统运行的综合性技术经济指标之一。本书论述电力网线损的某些理论计算方法和降低线损的一些主要技术措施，并在附录部分列入了一些供线损理论计算时参考用的表格和资料。本书可供供电部门负责线损管理工作的专业技术人员参考，也可供电力网设计和运行技术人员参考。

## 前 言

加强线损管理工作，是电力工业部门实现降低消耗的重要内容之一。为了适应这方面工作的需要，我们根据1977年全国供电工作会议的建议和近年来进行线损理论计算工作的一些实践和体会，并参考了国内外的有关资料，编写了这本小册子。

本书只讨论 220 千伏及以下地区电力网线损的理论计算问题和降低线损的一些主要技术措施。对有关省区或跨省的、220千伏及以上电力网线损的某些特殊问题和应用电子数字计算机计算线损的方法，没有加以讨论。在线损的理论计算部分，对高压配电线路、配电变压器及低压配电网络的理论线损电量，提供了一些简化的计算方法，但由于受条件的限制，还没有大量验证这些简化计算方法的精确程度和适用程度，希望各地供电部门在实践中对这些方法加以检验，并提出更精确、更完善的简化计算方法，以便在今后补充修订。

本书的编写提纲曾送原水利电力部电力生产司供用电处、华东电业管理局、北京供电局、上海供电局、旅大电力局、武汉供电局、原湘中供电局、太原供电局等单位征求意见。本书原稿又承旅大电力局进行了细致的审阅，提出了不少修改意见。在此我们对以上各单位深致谢意。

本书由浙江大学倪保珊同志执笔编写，南京供电局徐容民、过浩礼、黄雯等同志参加了具体内容的讨论，并提供了有关资料。在编写过程中，得到了南京供电局领导的大力支持。

由于我们的业务水平有限，经验不足，再加上我们过去的工作有一定的局限性，书中一定会有不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

作 者 1978年9月

# 目 录

## 前 言

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第一章 绪论                            | 1  |
| 第一节 线路损失电量和线路损失率                  | 1  |
| 第二节 降低线损的重要意义                     | 4  |
| 第二章 线损的理论计算                       | 6  |
| 第一节 计算范围                          | 6  |
| 第二节 代表日的选定、负荷实测以及有关资料的准备          | 6  |
| 第三节 代表日理论线损的计算方法                  | 9  |
| 一、电力网供电电量计算                       | 9  |
| 二、线损电量计算                          | 9  |
| (一) 送电线路损失电量计算                    | 9  |
| (二) 升压和降压变电所主变压器损失电量计算            | 22 |
| (三) 并联电容器、调相机、串联电容器以及限流电抗器的损失电量计算 | 25 |
| (四) 6千伏及以上高压配电线路损失电量计算            | 28 |
| (五) 配电变压器损失电量计算                   | 36 |
| (六) 低压配电线路损失电量计算                  | 41 |
| (七) 接户线损失电量计算                     | 45 |
| (八) 电度表及其它仪表设备损失电量计算              | 45 |
| 第四节 线损理论计算结果的分析 and 应用            | 46 |
| 第三章 降低线损的技术措施                     | 49 |
| 第一节 选择合理的结线方式和运行方式                | 49 |
| 一、高压引入大城市或大工业负荷中心                 | 49 |
| 二、对电力网进行升压, 简化电压等级, 减少重复的变电容量     | 50 |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 三、合理确定环网的合环或开环运行, 或改变<br>环网的断开点 .....       | 51  |
| 四、利用纵横向调压变压器或串联电容器实现<br>功率的经济分布 .....       | 57  |
| 五、避免近电远供或迂回供电 .....                         | 60  |
| 六、合理安排设备检修, 尽量实行带电检修 .....                  | 61  |
| 七、更换导线, 加装复导线, 或架设第二回线路 .....               | 63  |
| 第二节 搞好电力网的无功功率平衡, 提高<br>电力网的电压水平 .....      | 63  |
| 第三节 提高负荷的功率因数, 采用无功功率<br>补偿设备, 挖掘无功潜力 ..... | 67  |
| 第四节 变压器的经济运行 .....                          | 74  |
| 第五节 调整 and 平衡负荷 .....                       | 78  |
| 一、调整负荷曲线 .....                              | 78  |
| 二、平衡线路或变压器的负荷, 调整双电源<br>用户的使用电源 .....       | 79  |
| 三、平衡三相负荷 .....                              | 82  |
| 第六节 加强电力网的维护工作 .....                        | 83  |
| 第七节 加强用电管理和计量管理 .....                       | 84  |
| 附录一 电力网供电量和线损电量计算用参考表格 .....                | 86  |
| 附录二 损失因数的经验公式和经验数据 .....                    | 90  |
| 附录三 电力网元件的电气参数计算 .....                      | 91  |
| 附录四 旧英规常用裸铜线的电阻 .....                       | 102 |
| 参考资料 .....                                  | 103 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 线路损失电量和线路损失率

在一个供电地区内，电能通过电力网的送电、变电和配电的各个环节供给用户。在输送和分配电能的过程中，电力网的各个元件都必然产生一定数量的有功功率损失和电能损失。电能损失以热能的形式散失在周围介质中，如果导线、设备选择不当，电网结构不合理，或运行管理不善，这种损失将会增加。所以要采取措施把线损降到合理的范围以内。

在电力网元件中所损失的电量，有一部分与电力网元件中所通过的负荷功率或电流的平方成正比，例如变压器绕组中和线路导线中所损失的电量等等，这类损失称为可变损失。另一部分与通过元件的负荷功率或电流之间的关系不大，而主要与电力网元件上所加的电压有关，例如变压器铁芯中、电缆或电容器绝缘介质中所损失的电量等等，这类损失相对来说可称为固定损失。

此外，在电力网的实际运行中，还有各种不明损失。例如由于用户电度表有误差，使电度表的读数偏小；对用户电度表的读数漏抄、错算；带电设备绝缘不良而漏电；以及无表用电和窃电等所损失的电量。

一个供电地区或电力网在给定期限（日、月、季、年）内，在所有送电、变电、配电环节中所损失的全部电量，其中包括分摊的电网损失电量、电抗器和无功功率补偿设备等所耗用的电量、以及不明损失电量等，称为线路损失电量，



简称线损电量或线损。线损电量中的一部分，虽然可以通过理论计算来确定，或用测量线路损失的表计来计量，但它的全量却无法准确取得。因此，线损电量通常是根据电度表所计量的总“供电量”和总“售电量”相减得出。也就是说，线损是个余量。它的准确度决定于计量供电量和售电量的电度表的准确度，以及对用户售电量的抄录和统计制度。

所谓供电量，是指发电厂、供电地区或电力网向用户供给的电量，其中包括输送和分配电能过程中的线路损失电量。其计算式如下：

$$\begin{aligned} \text{供电地区或电力网的供电量} = & \text{本地区或本网内} \\ & \text{发电厂的发电量} - \text{发电厂厂用电量} + \text{从其它} \\ & \text{电力网输入的电量(包括购入电量)} - \text{向其它} \\ & \text{电力网输出的电量} \end{aligned} \quad (1-1)$$

所谓售电量，是指电力工业企业卖给用户的电量和电力工业企业供给本企业非电力生产（如基本建设部门等）用的电量。对本企业的非电力生产单位，都应作为用户看待。所以，

$$\text{供电地区或电力网的售电量} = \text{用户电度表计量的总和} \quad (1-2)$$

$$\text{线路损失电量} = \text{供电量} - \text{售电量} \quad (1-3)$$

线路损失电量占供电量的百分比称为线路损失率，简称线损率。其计算式为：

$$\text{线路损失率或线损率}(\%) = \frac{\text{线路损失电量}}{\text{供电量}} \times 100\% \quad (1-4)$$

在电力网的实际运行中，实绩供电量减去实绩售电量所得的线损电量，称为实绩线损电量。在实绩线损电量中，有一部分是在输送和分配电能过程中无法避免的，是由当时电力网的负荷情况和供电设备的参数决定的，这部分损失电量

可以通过理论计算得出，所以称为理论线损电量，又称技术损失。另一部分损失是不明损失，这部分损失可以，而且应该采取必要的措施予以避免或减少。

由于实绩线损电量是实绩供电量和实绩售电量相减所得的余量，因此其中理论线损电量占多少；不明损失占多少；在理论线损电量中固定损失占多少；可变损失占多少；以及各级电压网络和各种电网元件的损失各占多少；都无法知道。为了掌握以上各项损失的大致构成情况，有必要根据电力网的供电设备参数和实际负荷情况，进行线损的理论计算工作，以确定电力网的理论线损电量及其构成。求得了理论线损电量以后，由实绩线损电量减去理论线损电量，就可得出不明损失电量的概略值（其中包括供、售电量的计量误差）。掌握了不明损失的概略值以后，就可以有的放矢，分别轻重缓急，采取适当措施，使不明损失逐步减少。同时，通过线损的理论计算，可以了解各部分理论损失的构成情况，因而可以针对电力网的某些薄弱环节，采取有效的技术措施，编制降低线损的工程计划，使理论线损不断降低。

通常对实绩的供电量、售电量及线损电量，都每月结算一次。而要比精确地逐月计算出供电地区或电力网的理论线损电量，就必须有电力网逐月、逐日的详细负荷资料，这是比较难于做到的。所以，一般都根据电力网有代表性的一天（称为代表日）的供电量、这一天24小时的负荷实测记录以及设备参数来进行线损的理论计算。将计算所得的电力网各元件损失电量的总和作为理论线损电量。又根据代表日实际抄录的供电量和计算所得的理论线损电量，按式（1-4）计算出线损率，作为理论线损率。

根据以上所述可知，理论线损率的准确性取决于计量代

表日供电量的电度表和测量电力网代表日负荷的表计以及设备参数三者的准确性。另外，电力网在代表日的运行方式不一定是线损最小的运行方式。所以，不能把理论线损率理解成最低限度的线损率。

有时为了便于比较，在电力网运行方式改变不大的情况下，可以近似地把代表日的理论线损电量按以下各式换算成全月的理论线损电量：

$$\text{代表日理论线损电量} = \text{代表日固定损失电量} + \text{代表日可变损失电量} \quad (1-5)$$

$$\begin{aligned} \text{全月理论线损电量} &= \left[ \begin{aligned} &\text{代表日固定损失电量} \\ &+ \text{代表日可变损失电量} \\ &\times \left( \frac{\text{全月每日平均供电量}}{\text{代表日供电量}} \right)^2 \end{aligned} \right] \\ &\times \text{全月的实际天数} \\ &= \left[ \begin{aligned} &\text{代表日固定损失电量} \\ &+ \text{代表日可变损失电量} \\ &\times \left( \frac{\text{全月供电量}}{\text{代表日供电量} \times \text{全月实际天数}} \right)^2 \end{aligned} \right] \\ &\times \text{全月的实际天数} \quad (1-6) \end{aligned}$$

$$\text{月理论线损率} = \frac{\text{全月理论线损电量}}{\text{全月供电量}} \times 100\% \quad (1-7)$$

因为线损是供电企业的一项综合性技术经济指标，所以实绩线损率以及它与理论线损率之间的差异，在一定程度上是衡量供电企业管理水平的标志。

## 第二节 降低线损的重要意义

电力网的线损必须由发电厂供给，如果线损不合理的增

加，将使一部分发电设备的容量得不到有效的利用。我国每年的发电量在不断增长，如果全国平均的线损率能下降 1%，就可以少损耗数十亿度电。因此，努力降低线损，不但可以节约电力，达到“多供少损”，促进工农业生产，而且可以降低消耗，节约煤炭、石油等动力资源，从而可以降低供电成本，增加积累，加速我国实现四个现代化的进程。当前，工业等电、农业盼电，十分迫切。除大力加快电力工业的基本建设外，努力降低线损，也是电力工业企业的重要任务之一。

降低线损，首先必须加强党的领导，坚持群众路线，实行专业管理和群众管理相结合，做好供电的技术管理、计量管理和用电管理等工作，不断提高电力网的运行水平。同时，还可以采取一些技术措施来实现降低线损。

## 第二章 线损的理论计算

### 第一节 计 算 范 围

对于任何一个供电地区或电力网，线损理论计算的范围包括：

1. 代表日的供电量计算。
2. 下列各元件中损失电量的计算：
  - (1) 发电厂的升压主变压器；
  - (2) 变电所的主变压器和联络变压器；
  - (3) 配电变压器；
  - (4) 调相机；
  - (5) 电容器；
  - (6) 电抗器；
  - (7) 各级电压送电线路；
  - (8) 6 千伏及以上的高压配电线路；
  - (9) 低压配电线路；
  - (10) 接户线；
  - (11) 用户电度表及其它仪表设备。

### 第二节 代表日的选定、负荷实测 以及有关资料的准备

为了使线损的理论计算结果具有足够的代表性，代表日应根据以下原则选定：

- (1) 电力网的负荷和运行方式比较正常，有代表性，

并且没有大的检修工作进行；

(2) 各用户的用电负荷比较典型；

(3) 日供电量和售电量接近全月或全年的平均水平；

(4) 气候是地区的正常气候。

根据以上原则，对多数供电地区，代表日可选在农灌高峰负荷期间。

代表日选定后，应做好代表日负荷实测的各项准备工作，因为理论计算结果的准确性，取决于代表日负荷实测数据和设备参数的准确性。而负荷实测数据的准确性，与表计的准确度和抄录负荷数据人员的责任心有关。因此，必须在负荷实测前，做好各条送电线路、高压配电线路、各台主变压器等等测量表计（主要是电流表、电流互感器和电压互感器）的校核工作，同时准备好记录代表日实测负荷的表格，以便在实测后及时汇集数据。

代表日负荷实测记录有以下几种：

(1) 发电厂 0 点和 24 点的发电量及厂用电量的抄表记录；

(2) 发电厂或变电所 0 点和 24 点从其它电力网输入的电量及向其它电力网输出电量的抄表记录；

(3) 各用户自备电厂 0 点和 24 点向电力网输出及从电力网输入电量的抄表记录；

(4) 发电厂、变电所各主变压器、各级电压送电线路、各 6 千伏及以上高压配电线路的 24 小时负荷电流的抄表记录；

(5) 大用户专用高压配电线路、专用配电变压器高压侧或低压侧的 24 小时负荷电流抄表记录；或是电压、功率和功率因数等抄表记录；或是电压、有功电度、无功电度的抄表记录。

除了以上代表日的抄表记录外，为了计算配电变压器及低压配电线路的损失电量，还需要选定一批典型的配电变压器，进行代表日的负荷实测。选定典型配电变压器的原则和方法如下：

(1) 统计电力网中全部公用配电变压器的容量级别和台数，选择在总容量中占比重最大的各种容量级别的配电变压器作为各典型配电变压器的容量；

(2) 在以上各种典型容量的配电变压器中，根据它们供给不同负荷类别（照明负荷、动力负荷、照明和动力合用等）的特点，再考虑在代表日对它们进行24小时负荷电流实测的可能性（相距较近的二、三台变压器需要二至三组测量记录人员，每组至少二人，轮流测记8至12小时）。一般选定10至15台典型配电变压器，对它们进行负荷实测。

此外，还需要搜集以下各项资料：

(1) 代表日供电地区系统运行结线图；

(2) 代表日各发电厂、变电所的运行结线图；

(3) 各台主变压器的参数资料（制造厂提供的或是最近一次检修后的试验数据）；

(4) 配电变压器的参数资料（制造厂提供的或是最近一次检修后的试验数据。如果没有上述资料，则可参照同类型同容量变压器的参数资料）；

(5) 各送电线路和6千伏及以上高压配电线路的参数资料，包括导线型号、杆位路径、线路长度、线路电阻等参数的测试记录；如无这项测试记录，则按导线型号及线路长度计算线路电阻；

(6) 低压配电线路总长度的统计资料；各台配电变压器供电的低压配电线路图，图中应标明相线和中性线的型号、

档距、接户线位置；

(7) 配电变压器平时运行记录(平时为了监视和平衡配电变压器三相的负荷,一般在日、晚高峰负荷时期测量配电变压器最大负荷电流的记录);

(8) 调相机、电容器、电抗器在代表日投入运行的有关资料;

(9) 接户线单线总长度、每百米单线长每月平均损失电量、以及用户单相和三相电度表的统计资料;

(10) 大用户的历年逐月用电负荷记录(包括最大负荷功率、平均功率因数、逐月用电量等);

(11) 代表日的大气温度、大气压力等资料,这些资料可以向当地气象台站搜集。

应该指出,设备的参数和特性数据是线损理论计算的重要依据,也是搞好电力系统技术管理工作的重要依据。通过线损理论计算工作,可以促进这种技术档案资料的建立和完善。

### 第三节 代表日理论线损的计算方法

#### 一、电力网供电量计算

根据第二节实测资料中关于供电地区的发电量、厂用电量、输入电量及输出电量的记录,按式(1-1)计算出代表日电力网的供电量。计算用表格可参考附录一表F1-1。

#### 二、线损电量计算

##### (一) 送电线路损失电量计算

##### 1. 架空线路

当电流通过三相架空线路时,在线路导线电阻中的功率损失为

$$\Delta P = 3 I^2 R \times 10^{-3} \text{ (千瓦)} \quad (2-1)$$



式中  $R$ ——线路每相导线的电阻 (欧);

$I$ ——通过线路每相的电流 (安)。

如果通过线路的电流是恒定不变的, 则上式的功率损失乘上电流通过的时间就是电能损失 (即损失电量)。但是, 由于通过线路的电流一般都是变化的, 所以要算出某一时间段 (例如一个代表日) 内线路电阻中损失的电量, 必须知道电流随时间变化的规律。在以实测负荷电流为基础的代表日线损电量的计算中, 一般每小时测录一次电流值, 如果近似地认为每小时内电流不变, 则全日24小时线路电阻中的损失电量为

$$\begin{aligned}\Delta A &= 3 (I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{24}^2) R \times 10^{-3} \\ &= 3 I_{jf}^2 R \times 24 \times 10^{-3} \text{ (度)}\end{aligned}\quad (2-2)$$

式中  $I_1, I_2, \dots, I_{24}$ ——代表日24个小时的电流值 (安);

$I_{jf}$ ——日均方根电流 (安),

$$I_{jf} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{24}^2}{24}} \quad (2-3)$$

如果实测的负荷数据不是电流, 而是有功功率和无功功率, 则因

$$3 I^2 = \frac{P^2 + Q^2}{U^2}$$

所以,

$$3 I_{jf}^2 = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} \frac{P_k^2 + Q_k^2}{U_k^2} \quad (2-4)$$

式中  $P_k, Q_k$ ——每小时有功功率和无功功率的读数 (千瓦、千乏);

$U_k$ ——每小时同时的电压读数 (千伏)。