

# Theoretical Line Loss of Distribution Network and Its Calculation Methods

Wei Liu<sup>1</sup>, Jiayi Yu<sup>1</sup>, Yifang Xu<sup>1</sup>, Binhe Liu<sup>2</sup>, Zhenhai Liu<sup>2</sup>, Zixia Pei<sup>3</sup>, Lanlan Chen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hainan Power Grid Limited Liability Company, Haikou

<sup>2</sup>Beijing Semeureka Electric Company Limited, Beijing

<sup>3</sup>North China Electric Power University, Beijing

Email: [easahoang@163.com](mailto:easahoang@163.com)

Received: Nov. 7<sup>th</sup>, 2014; revised: Nov. 18<sup>th</sup>, 2014; accepted: Nov. 28<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

To study the theoretical calculation of distribution network line loss is an important technical method to enhance the management of line loss and the energy reduction. This paper started by analyzing the distribution network line loss and the definition and constituent of the line loss rate, then discussed the cause of the line loss and the influencing factors. The mathematical model of distribution network elements was studied, and the methods of calculating the line loss were concluded and compared. At last, the typical lines of Wenchang in Hainan Power Grid were taken for an example to be compared and analyzed.

## Keywords

Distribution Network, Line Loss Rate, Root-Mean-Square Current Method

---

# 配电网理论线损及其计算方法

刘伟<sup>1</sup>, 余加喜<sup>1</sup>, 许宜昉<sup>1</sup>, 刘彬和<sup>2</sup>, 刘振海<sup>2</sup>, 裴子霞<sup>3</sup>, 陈兰兰<sup>3</sup>

<sup>1</sup>海南省电网有限责任公司, 海口

<sup>2</sup>北京水木源华电气股份有限公司, 北京

<sup>3</sup>华北电力大学, 北京

Email: [easahoang@163.com](mailto:easahoang@163.com)

收稿日期：2014年11月7日；修回日期：2014年11月18日；录用日期：2014年11月28日

## 摘要

配电网线损理论计算的研究是加强线损管理、节能降损重要技术手段。本文从配电网线损及线损率的定义、构成分类入手，对配电网线损产生原因、影响因素进行探讨；研究了配电网元件的数学模型，总结了配电网线损理论计算方法并进行比较和展望；以海南电网公司文昌地区典型线路为例进行了比较和分析。

## 关键词

配电网，线损率，均方根电流法

## 1. 引言

配电网处于电力生产、传输、分配使用的末端，其设备数量大、覆盖范围广、电压等级低，导致配电网损耗大，受重视程度与电力建设投资偏向影响，这种现象在我国尤为突出。过大的配电网损耗，降低了电能的利用效率，影响了电网运行的经济性，不利于国家节能减排目标的实现。

所有配电元件在运行时所产生的各种形式的电能损耗均属于配电网网损。在业内，配电网网损也被称为线损，其中由运行参数以及设备参数所决定电能损耗，称为理论线损或技术线损，而由违章用电、表计误差或人工抄表过程中的疏漏所引起损耗，称为管理线损，理论线损和管理线损一起统称为统计线损，在数值上等于电度表统计的供电量与售电量之差[1]。在实际运行中，各供电公司每月均会对重点供电线路及全网的线损进行统计，形成统计线损报表，不但成为系统运行的考核依据，还能通过对比发现异常用电现象。

降低配电网线损可以分别从降低管理线损和降低理论线损两个方面入手，随着管理日渐规范化和居民安全用电意识的增强，管理降损的空间已经非常有限，因此，当前降损的主要途径是技术降损，即通过分析技术线损产生的原因，然后针对性地采取技术手段，进而达到降低配网损耗的目的[2]。

从技术方面来讲，配电网线损的起因主要有二，其一是电阻作用，由于所有导体都存在电阻，电能传输分配时，不可避免在电阻上产生损耗；其二是磁场作用，变压器、发电机等实现电压变换或能量转化是所时需建立及维持的交变磁场，会在铁芯中产生磁滞与涡流效应，进而引起铁芯发热而产生励磁损耗。对变压器而言，绕组中损耗称为铜损，而铁芯中的损耗则称为铁损。降低配电网损耗，主要从降低导体电阻上的损耗和降低变压器铁芯中的损耗两个方面入手。

影响配电网线损的因素比较多，包括流过配网元件的电流、配网供电电压、用户功率因数、设备负载率以及负荷曲线形状等。这些因素之间往往相互作用，难以割裂，因此，本文下面首先从分析影响配电网线损的因素出发，然后对当前线损计算的主要方法进行了简介，对其适用范围及优劣进行了对比分析，在此基础上对配电网降损提出了若干建议。

## 2. 影响配电网线损的因素

配电网的电能的损耗  $\Delta A$  (KW·h) 定义为有功功率损耗在统计时间段内的积分，即：

$$\Delta A = \int_0^T \Delta P(t) dt \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中,  $\Delta P(t)$  表示配电网网损功率的时间函数,  $T$  表示统计终止时间。对于配网设备电阻上的能量损耗, 还可以表示为:

$$\Delta A_1 = \int_0^T i^2(t) R dt \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中,  $i(t)$  表示流过配网设备的电流,  $R$  表示设备的电阻。由(2)可知, 配网线损与负荷电流呈正相关关系, 电流越大损耗越大, 但线路的利用率也越高, 反之, 损耗小, 则利用率也小。因此, 任何配电网线路都有其经济负荷电流范围, 当实际负荷电流保持在这个范围内运行时, 就可以使线损率接近极小值。

当用户需求功率相同时, 电压越高, 线路的电流越小, 由此引起的电阻功率损耗越小, 反之则越大, 但当电压增大时, 可能引起变压器铁芯损耗增加, 因此, 对整个配电网而言, 增大配电电压是否能起到降损的目的, 要看配网铁损在整个网损中所占的比例, 当铁损比重小于 50% 时, 则提高配网电压能够降低配网损耗。与此同时, 提高电压还能减少电阻上的压降, 提高用户电压合格率。

由负荷功率公式:

$$P = UI \cdot \cos\phi \quad (3)$$

可知, 当用户有功需求相同时, 功率因数越高, 则线路电阻的功率损耗减少, 反之, 功率因数降低则导致线路电阻的功率耗增大。然而, 当线路轻载运行时, 由于其电压往往偏高, 变压器的铁损在整个配网损耗中占到较高比例, 甚至超过 70%, 此时, 过高的功率因数则会出现过补偿现象, 导致铁损进一步增大。

除电流、电压、功率因数外, 配电线路及变压器的负载率、负荷曲线的形状也会影响配网的网损。当配网负荷的峰谷差大, 则其负荷曲线形状变化越大, 对应的负载率相对较低, 相应的线损也越大。当配网峰谷差较小时, 其负荷曲线趋于平坦, 设备负载率较高, 则此时线路线损最小。因此, 进行统一的峰谷管理时, 需要不断调整线路的用电结构。

综上所述, 配电网网损是在电流、电压、功率、功率因数、设备负载率、负荷曲线形状等众多因素综合作用下的结果。降低配电网网损, 必须将所有因素综合在一起考虑, 在充分了解配电网网损特性的基础上, 制定相应的技术降损策略与措施, 因此, 准确计算配电网网损, 是降低配电网网损的基础。

### 3. 配网元件损耗计算

配电网线损为各元件电能损耗的总和, 因此, 如果能够准确求取网内各元件的电能损耗, 则可以通过简单的加和来求取整个配网的损耗[3]。

#### 3.1. 配电变压器电能损耗

配电变压器有功功率损耗有铁损(也称固定损耗)以及铜损(也称可变损失)两部分[4]:

##### 1) 固定损失电量

可以通过空载试验, 或配电变压器的厂供产品目录及技术档案中查得其空载损耗数据, 因此, 代表日内, 配电线路上配电变压器的固定损耗按下式计算:

$$\Delta A = \sum_{k=1}^n \Delta P_{ok} \times 24 \times 10^{-3} \quad (4)$$

式中,  $\Delta P_{ok}$  为第  $k$  台变压器的空载损耗,  $n$  则为变压器的总台数。

##### 2) 可变损失电量

配电变压器的日可变损失电量可按下式计算:

$$\Delta A = \sum_{k=1}^n \Delta P_{dl,k} \left( \frac{I_{\max B}}{I_{e,k}} \right) F \times 24 \times 10^{-3} \quad (5)$$

式中  $\Delta P_{dl,k}$  和  $I_{e,k}$  为第  $k$  台变压器的短路损耗及额定电流, 可从变压器的产品目录以及技术档案查得数据,  $I_{\max B}$  及  $F$  为最大负荷电流及损失因数, 需通过计算方法合理确定, 这里不做详细介绍。

## 3.2. 电容电抗器电能损耗

### 3.2.1. 电容器的电能损耗

#### 1) 并联电容器

电容器作为无功补偿设备, 通常作为无功电源处理, 不计算其网损。但在详细的计算中, 由于考虑了电容器的介质电导, 在运行时间  $T$  内并联电容器电能损耗按下式来计算:

$$\Delta A = Q_c \times tg \delta \times T \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (6)$$

其中,  $Q_c$  为时间  $T$  内投入的电容容量, 单位为 kVar,  $\delta$  为电容器绝缘介质损失角, 一般取  $tg \delta = 0.0035$ 。

#### 2) 串联电容器

串联电容器的损耗同样由介质损耗引起。不同与并联电容, 串联电容器端电压与电流成正比, 若已知流过其的日均方根电流  $I_{rms}$ , 串联电容器组日电能损耗按下式计算:

$$\Delta A = 3I_{rms}^2 \frac{1}{\omega C} \times tg \delta \times 10^3 \times 24 \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (7)$$

上式中,  $C$  为串联电容器组的电容( $\mu\text{F}$ ),  $\delta$  为电容器绝缘介质损失角, 额定电压下, 温度在  $25^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$  范围内时,  $tg \delta$  不应大于 0.0035。

### 3.2.2. 电抗器的电能损耗计算

限流电抗器装设在发电厂的出口母线, 实际为电气一次回路的元件, 其电抗值远远大电阻值。因此, 一般潮流计算及短路计算时, 仅考虑其电抗值, 但线损计算时不能忽略其电阻产生的损耗, 在实用计算中, 通常根据电抗器的运行数据, 直接求得其电能损耗, 即[5]:

$$\Delta A = 3 \left( \frac{I_{rms}}{I_N} \right)^2 \times \Delta P_{RK} \times T \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (8)$$

上式中,  $\Delta P_{RK}$  意义相同,  $T$  为线损的计算时段(h);  $I_{rms}$  为  $T$  内均方根电流值(A)。

## 3.3. 低压配电线路的电能损失计算

低压配电线路电能损失的计算范围为公用变压器 0.4 kV 出线至电表箱, 由于线路分布面广, 错综复杂, 缺乏准确、完整的线路及负荷资料, 其计算一般采用简化算法。

设每台配变低压侧出口电流最大值为  $I_{\max bd}$ , 显然, 配电变压器容量相同时, 其低压线路始端的总电流也相同。如果配电线路供电方向数为  $N$ , 则设每个方向始端电流平均值都为  $I_{\max bd} / N$ , 不同容量配变低压线路的供电方向数可通过线路图资料查得, 统计计算得出; 实际供电时, 每个方向始端电流不相等, 计算时用修正系数  $K_1$  进行修正; 配电线路各个方向的负荷分布也影响着其电能损耗, 计算时用修正系数  $K_2$  进行修正[6]。

以上修正系数  $K_1$  和  $K_2$ , 可根据实际运行时的负荷数据进行确定,  $K_1$  按照以下经验公式计算:

$$K_1 = 1 + 0.14K_{bp} + 0.14K_{bp}^2 \quad (9)$$

$$K_{bp} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{pj}} \quad (10)$$

上式中,  $K_{bp}$  称为不平衡系数,  $I_{\max}, I_{\min}, I_{Rj}$  分别表示配变低压线路各供电方向始端电流的最大值、最小值以及平均值。

$K_2$  一般可取 0.3~0.5。线路始端负荷分布重于末端时, 取 0.3, 反之, 则为 0.5。

按照以上分析, 低压配电线路的日线损电量按以下计算:

$$\Delta A_B = 24 \times 10^{-3} M \left( \frac{I_{\max bd}}{N} \right)^2 R_{pj} K_1 K_2 F \quad (10)$$

上式中,  $M$  代表低压配电线路结构, 线路为单相两线制时,  $M = 2$ , 线路为三相四线制时,  $M = 3.5$ ;  $N$  为供电方向数;  $I_{\max bd}$  为配变低压侧出口电流最大值;  $R_{pj}$  低压配电线路每相总电阻均值;  $K_1, K_2$  为修正系数;  $F$  为损失因数平均值, 由实测负荷确定。

### 3.4. 测量设备损失电量的计算

一般而言, 单相电能表的空载功率损耗不超过 1.5 W, 每月损耗的电量为 1 kW·h, 三相电能表可取 2 kW·h; 各种测量表计及电磁型继电器等的电压线圈损耗功率不大于 5 W, 满负荷时电流线圈损耗功率某些不大于 1 W; 自动记录表计的电压线圈损耗功率可达 6 W 或 13 W, 满负荷时电流线圈损耗功率也可达 6 W; 电流互感器平均功率损耗不超过 20~50 W; 电压互感器主要为空载损耗, 约为其容量的 10%; 以上仪器的总电能损耗仅占总线损的大约 0.1%~0.4%, 可忽略不计。

## 4. 配电网理论线损计算方法

### 4.1. 传统简化计算方法

实际运行时, 配电网呈辐射状, 整理和收集元件运行数据或负荷资料十分困难, 一般在其馈线出口处装设电表及功率表, 以获得 24 h 正点电流, 并以此作为简化计算的基础。

#### 4.1.1. 均方根电流法

均方根电流法是配电网线损计算最基本的方法, 元件代表日内 24 h 内电能损耗计算公式如下:

$$\Delta A = 3 \times 24 I_{jf}^2 R \times 10^{-3} \quad (11)$$

上式中,  $I_{jf}$  表示均方根电流(A);  $R$  代表元件电阻( $\Omega$ );

如果负荷代表日 24 h 实测为三相有功功率、无功功率以及线电压, 则:

$$I_{jf} = \sqrt{\frac{1}{72} \sum_{i=1}^{24} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2}} \quad (12)$$

上式中,  $P_i, Q_i$  为三相有功功率及无功,  $U_i$  为同时刻的线电压。

#### 4.1.2. 平均电流法

平均电流法由均方根电流法派生而来, 利用平均电流与均方根电流的等效关系进行线损计算, 其基本思路是同一段时间内, 线路流过平均电流产生的热量相当于实际电流产生热量。平均电流法计算出的实际线损偏小, 要乘以均方根电流  $I_{jf}$  与平均电流  $I_{av}$  之间形状系数  $K$  加以修正, 其中  $K = I_{jf} / I_{av}$ ,  $t$  时间内电能损耗计算按下式:

$$\Delta A = 3 I_{av}^2 K^2 R t \times 10^{-3} \quad (13)$$

$$I_{av} = \sqrt{\frac{A_a^2 + A_r^2}{3 U_{av}^2}} \quad (14)$$

上式中,  $K$  为形状系数,  $R$  代表元件电阻( $\Omega$ ),  $t$  为运行时间(h),  $A_a$  为有功电量(kW·h),  $A_r$  为无功电量(kvarh),  $U_{av}$  电压平均值。

#### 4.1.3. 最大电流法

最大电流法也由均方根电流法派生而来, 利用最大电流与均方根电流的等效关系进行线损计算, 其基本思路是同一段时间内, 线路流过的最大电流产生的热量相当于实际电流产生热量。但不同的是, 最大电流法计算出的实际线损偏大, 要乘以小于 1 的损失因数  $F$  进行修正, 其中  $F = I_{jf}^2 / I_{\max}^2$ ,  $t$  时间内电能损耗计算按下式:

$$\Delta A = 3I_{\max}^2 FRt \times 10^{-3} \quad (15)$$

上式中,  $I_{\max}$  为最大电流(A),  $F$  为形状系数,  $R$  代表元件电阻( $\Omega$ ),  $t$  为运行时间(h),

#### 4.1.4. 最大负荷损耗小时法

最大负荷损耗小时法的基本思路为, 同一段时间内, 假如用户一直保持最大负荷不变, 线路中的电能损耗相当于实际负荷的电能损耗, 若以年  $T = 8760$ , 则电能损耗按下式计算:

$$\Delta A = \frac{S_{\max}^2}{U^2} R \tau \quad (16)$$

$$\tau = \int_0^{8760} S^2 dt / S_{\max}^2 \quad (17)$$

上式中:  $S_{\max}$  表示最大视在功率(kVA);  $R$  为元件电阻( $\Omega$ ),  $\tau$  表示最大负荷损耗小时数(h),  $U$  表示额定电压(kV),  $S$  则表示实际负荷视在功率(kVA)。

#### 4.1.5. 等值电阻法

等值电阻法以均方根电流法为理论基础, 考虑了配电网自身节点元件多、分支线路多、各线路运行数据难以采集的特点, 假设线路的等值电阻  $R_{el}$ , 在相同时间内, 线路出口处总电流流过等值电阻  $R_{el}$  产生的电能损耗, 与分段电流流过分段电阻产生的总电能损耗相等, 即设:

$$\Delta P = 3 \sum_{i=1}^m I_i^2 R_i = 3 I_{\Sigma}^2 R_{el} \quad (18)$$

上式中,  $\Delta P$  为损耗功率,  $R_{el}$  为等值电阻,  $I_i$  及  $R_i$  分别表示分段电流与分段电阻,  $m$  为线路数。实际中, 假设负荷分布与节点配变额定容量成正比, 各负荷节点电压与功率因数均相同, 则等值电阻  $R_{el}$  按下式计算:

$$R_{el} = \sum_{i=1}^m S_{Ni}^2 \cdot R_i / S_{N\Sigma}^2 \quad (19)$$

上式中,  $S_{Ni}$  表示第  $i$  段线路配变的额定容量(kVA),  $S_{N\Sigma}$  则表示配变总容量,  $R_i$  为分段电阻, 以上数据均可从线路运行技术材料中查得, 则  $t$  时段内, 线损计算如下:

$$\Delta A = 3 I_{jf}^2 R_{el} t \quad (20)$$

## 4.2. 基于潮流的计算方法

配网理论线损的传统简化计算方法具有容易获得计算所需数据、方法原理简单、易于实现等优点, 因而得到了广发使用。然而, 由于方法本身进行了大量的假设与简化, 因而计算结果误差较大, 不利于配网经济运行的精细化考核, 亦不利于配网降损的精细化管理, 使其应用受到了较大限制。



基于潮流的配电网网损计算方法由于没有进行简化假设，因而模型更加符合实际情况。随着配网自动化技术的长足发展以及对配网经济运行的精细化要求，基于潮流计算的配网线损计算方法在近年来得到了大力发展与推广应用。

用于配电网线损计算的潮流算法主要有三大类[7]：牛拉法或基于牛拉法简化的 PQ 分解法、母线类方法以及支路类方法。其中，牛拉法收敛性好，几乎能用于所有配网，因而应用广泛，PQ 分解法由于进行了 P、Q 解耦，使迭代方程成为常系数方程，因而具有更快的计算速度，但其收敛性较牛拉法低，即便如此，PQ 分解仍然是线损计算中应用最为普遍的方法之一。

由于配电网呈辐射状，其潮流的流向是单一且确定的，利用这种性质，可以通过前推与回代的方法来获取配网各支路的潮流分布。前推回代法的核心思想是：由已知配电网始端电压以及末端负荷，将馈线作为基本计算单位，计算各节点电压。首先，设所有节点电压均为额定值，按照末端的已知负荷有功及无功，由末端逐段推算至始端，此过程中，只计算相应功率损耗，不计算节点电压，进而求得支路电流以及功率损耗，此称为回代过程；接着，根据已知的始端电压以及前一步得到的始端功率，从始端逐步推算至末端，计算电压降落，求节点电压，此为前推过程。不断重复以上过程，直至每个节点的功率偏差满足允许条件。

配电网前推回代法的具体步骤如下[8]：

- 1) 初始化：给定平衡节点电压；并为全网其他 PQ 节点赋电压初始值  $\dot{U}_i^{(0)}$ ，一般设幅值为额定电压，相角为 0；PV 节点赋无功注入功率初始功率  $Q_i^{(0)}$ 。
- 2) 计算各节点运算功率  $S_i^{(0)}$ 。
- 3) 从网络的末端开始，逐步前推，由节点电压  $U_i^{(0)}$ ，求全网各支路功率分布。
- 4) 从始端出发，逐段回推，由支路功率求各节点电压  $\dot{U}_i^{(1)}$ 。
- 5) 利用求得的各节点电压修正 PV 节点电压和无功功率。
- 6) 检查是否已经收敛，如不满足收敛标准，将各节点电压计算值作为新的初始值自第二步开始进入下一次迭代。

以图 1 为例，经简单推导可得：

$$U_{i+1} = \left\{ \left[ \left( P_{i+1} R_{i+1} + Q_{i+1} X_{i+1} - \frac{1}{2} |U_i|^2 \right)^2 - (R_{i+1}^2 + X_{i+1}^2) (P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2) \right]^{1/2} \right\} \quad (21)$$

$$\begin{cases} P_{i+1} = \sum_{j=i+1}^{N-1} P_{L,j} + \sum_{j=i+1}^{N-1} LP_j \\ Q_{i+1} = \sum_{j=i+1}^{N-1} Q_{L,j} + \sum_{j=i+1}^{N-1} LQ_j \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} LP_i = \frac{R_i (P_i^2 + Q_i^2)}{|U_i|^2} \\ LQ_i = \frac{X_i (P_i^2 + Q_i^2)}{|U_i|^2} \end{cases} \quad (23)$$

式(21)、(22)、(23)构成了前推回代的基本方程。

## 5. 算例分析

本文将将以海南电网公司文昌地区典型代表日的典型 10kV 线路为例，对比分析配电网理论线损计算

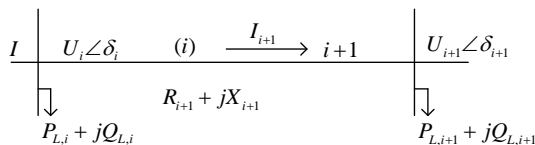


Figure 1. A typical line  
图 1. 一条典型线路

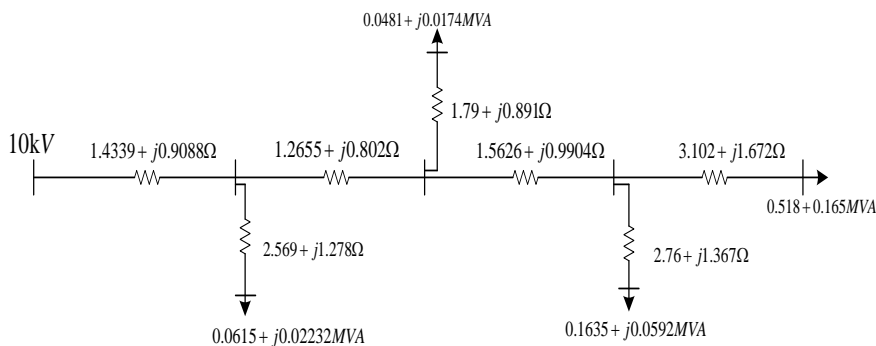


Figure 2. The simplified sketch map of Fengwei line  
图 2. 凤尾线简化示意图

Table 1. Comparison between the results of root-mean-square current method and power flow method  
表 1. 均方根电流法与潮流法计算结果比较

	供电量(kW·h)	理论线损电量(kW·h)	理论线损率(%)	统计线损电量(kW·h)	统计线损率(%)
均方根电流法	643,140	16,470	2.56	73,029	11.36
潮流法	643,140	21,384	3.32	73,029	11.36

的均方根电流法及潮流法，潮流法计算时，基于 PSD 电力系统分析软件。

均方根电流法作为计算线损时最简单有效的方法，适用于长度较短、分支较少的线路。因此先以南电网公司文昌地区抱罗供电所 10 kV 凤尾线为例分析比较均方根电流法及潮流法。选取代表月份为 2013 年 7 月，代表日为 2013 年 7 月 1 日，凤尾线为 10 kV 辐射状线路，所用导线型号为 LGJ-50 mm<sup>2</sup> 和 LGJ-35 mm<sup>2</sup>，全长 24.356 kM，查阅手册可计算出各段线路的阻抗值如图 2 所示。已知其 0 时 - 24 时的整点负荷电流，2013 年七月供电量 643140 kW·h，售电量 570111 kW·h，负荷节点平均功率因数约为 cos φ = 0.94。计算结果对比见表 1。

凤尾线各段线路电阻以及各节点计算功率如下图所示。

## 6. 结论与展望

本文分析了配网线损的影响因素及各类元件及其的数学模型机损耗计算方法，探讨了配电网线损的计算的传统方法及潮流方法并探讨了其优缺点、及适用性。传统线损计算方法以均方根电流法为基础，派生出如平均电流法、最大电流法、最大负荷小时数法及等值电阻法等，均要求负荷实测数据较完备，而基于潮流的线损计算方法计算较为复杂，适用于线路较长、分支较多的线路。对配电网线损的研究与探讨对于电网结构的规划设计以及提高配网运行管理水平及经济效益都有十分重要的意义。

## 参考文献 (References)

[1] 段璟靓 (2012) 配电网极限线损分析及降损措施优化. 硕士论文, 西安科技大学, 西安.



- 
- [2] 李庆民 (2011) 电网损耗计算与降损分析决策系统. 硕士论文, 华北电力大学, 北京.
  - [3] 罗洁青 (2012) 广州荔湾区配电网线损分析及降损措施研究. 硕士论文, 华南理工大学, 广州.
  - [4] 何炳先, 黄沛 (2008) 浅谈电网节能降损的措施. *企业科技与发展*, **1**, 85-87.
  - [5] 唐雷鸣 (2012) 线损理论计算方法的研究现状和展望. *电气开关*, **6**, 14-16, 20.
  - [6] 钟贵传 (2011) 配电网理论线损计算方法及其应用研究. 硕士论文, 广东工业大学, 广州.
  - [7] 刘健, 段璟靓 (2013) 配电网极限线损分析及降损措施优化. *电力系统保护与控制*, **12**, 27-35.
  - [8] 段书红 (2011) 丰南配电网线损分析及降损措施研究. 硕士论文, 华北电力大学, 北京.