

文章编号:1671-251X(2013)01-0030-04 DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.01.009

王晓明,张力,智勇,等.采用改进牛顿法计算配电网理论线损[J].工矿自动化,2013,39(1):30-33.

采用改进牛顿法计算配电网理论线损

王晓明¹, 张力¹, 智勇², 周喜超², 许天鹏¹, 穆星星¹

(1. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃电力科学研究院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:介绍了传统配电网理论线损计算方法,指出电量法和均方根法存在因未充分考虑负荷曲线变化而容易导致理论线损偏小、管理线损偏大的问题;提出采用改进牛顿法计算配电网理论线损的方案,根据某配电网各变电站 24 h 的电量记录进行电量潮流计算,得出该配电网总线损;分别采用电量法、均方根法、改进牛顿法计算某 10 kV 配电网线路的理论线损,结果表明,与传统配电网理论线损计算方法相比,采用改进牛顿法得出的结果更接近统计线损值。

关键词:配电网;线损;理论线损;潮流计算;改进牛顿法

中图分类号:TD60 **文献标志码:**A **网络出版时间:**2012-12-28 16:23

网络出版地址:www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20121228.1623.009.html

Use improved Newton method to calculate theoretical line loss of distribution network

WANG Xiao-ming¹, ZHANG Li¹, ZHI Yong², ZHOU Xi-chao²,

XU Tian-peng¹, MU Xing-xing¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology,

Lanzhou 730050, China; 2. Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The paper introduced traditional calculation methods of theoretical line loss of distribution network, and pointed out that electricity quantity method and root-mean-square method would cause too small theoretical energy loss and too large management line loss because of insufficient consideration of change of load curve. For above problems, it put forward a calculation scheme for theoretical line loss of distribution network by use of improved Newton method, which does power flow calculation according to power records of 24 h of each substation in the whole distribution network, so as to obtain total line loss of the distribution network. It used electricity quantity method, root-mean-square method and the improved Newton method to calculate theoretical line loss of a 10 kV distribution network separately, and got a conclusion that results calculated by the improved Newton method are closer to statistical value than the other methods.

Key words: distribution network; line loss; theoretical line loss; power flow calculation; improved Newton method

0 引言

随着社会生产力的不断发展,人类日常生活及生产过程中使用的能源也越来越多。电能由于具有

经济、环保、输送方便等特点,已成为工业、农业、交通、航天、国防等国民经济领域中不可缺少的动力。电能从生产到传输过程中会产生大量损耗。精确计算电能损耗对于电网管理有十分重要的意义^[1]。本

收稿日期:2012-09-11。

基金项目:甘肃电力科学研究院科研项目(2012101014)。

作者简介:王晓明(1954-),男,甘肃民勤人,教授,博士研究生导师,硕士,研究方向为智能交通控制,E-mail:51472186@qq.com。

文在分析传统配电网电能损耗计算方法的基础上,提出一种新的计算方法,即采用改进牛顿法计算配电网电能损耗,并应用实例对新方法和传统方法的计算结果进行了对比。

1 线损概述

电力网电能的损耗(简称线损)是指电能从发电厂传输到客户端的过程中,在输电、变电、配电和销售的各个环节产生的电能损耗及损失。电力系统的损耗率(简称线损率)是指在同一时间内,电网损耗的电量占该时间内供电量的百分比。电力网的线损率是电力系统的重要经济技术指标,用来综合衡量电力企业的管理水平。线损是一定时间内有功功率损耗对时间的积分^[2],即

$$\Delta A = \int_0^T \Delta P(t) dt \quad (1)$$

对于电阻发热损耗,式(1)可写为

$$\Delta A = \int_0^T I^2(t) R(t) dt \quad (2)$$

统计线损电量是指电力网实际运行中,用电量表计量供电量和售电量之差得到的电量,其包括理论线损电量和实际线损电量。理论线损电量是指电能能在输、变、配过程中不可避免产生的损耗,其数值可通过电气元件本身的参数和建立理想化的数学模型计算求得。管理线损电量是指因管理工作的缺失发生违规用电情况而导致的电能损失。

由于统计线损电量中有一部分是管理线损电量,所以统计线损电量并不能十分准确地反映电网运行过程中的实际损耗。准确地分析各种线损电量,对于加强线损管理以及制定节能降损方案有极其重要的意义。

2 传统理论线损计算方法

根据收集数据的不同,常见的理论线损计算方法主要有电量法、均方根电流法^[3-4]。

2.1 电量法

通过电能表测量线路的有功供电量和无功供电量,再根据线路变压器基本参数,即可计算该线路理论线损。电量法的特点是取值和计算都十分简单。其计算方法如下。

线路可变损耗电量为

$$\Delta A_{kb} = \frac{A_{Pg}^2 + A_{Qg}^2}{U_{pj}^2 t} K^2 R_{d,\Sigma} \quad (3)$$

式中: A_{Pg} 、 A_{Qg} 分别为平均有功供电量和平均无功供电量; U_{pj} 为线路电压; K 为负荷曲线特征系数; $R_{d,\Sigma}$

为元件等值电阻。

线路固定损耗电量为

$$\Delta A_{gd} = t \sum_{i=1}^n \Delta P_{0,i} \quad (4)$$

式中: $\Delta P_{0,i}$ 为变压器固定损耗。

线路总损耗电量为

$$\Delta A_{\Sigma} = \Delta A_{kb} + \Delta A_{gd} \quad (5)$$

2.2 均方根电流法

均方根电流法的物理概念是线路中流过的均方根电流所产生的电能损耗相当于实际负荷在同一时期内所消耗的电能。该方法未充分考虑负荷曲线形状差异和功率因数不同造成的影响,主要应用于负荷特性相近且功率因数相近的电网中,计算公式为

$$\Delta A = 3 \times 24 I_{if}^2 R_{d,\Sigma} \quad (6)$$

式中: I_{if} 为代表日均方根电流,通过电度表采集负荷点 24 h 数据计算得到。

3 基于改进牛顿法的理论线损计算模型

根据变电站 24 h 记录,将每小时负荷的有功电量及无功电量分别转换为以平均有功功率和平均无功功率为基准的负荷系数,形成负荷曲线系数表。有功功率负荷曲线系数表为

$$F^{(1)} = \begin{bmatrix} f_{1,1}^{(1)} & f_{1,2}^{(1)} & \cdots & f_{1,24}^{(1)} \\ f_{2,1}^{(1)} & f_{2,2}^{(1)} & \cdots & f_{2,24}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{i,1}^{(1)} & f_{i,2}^{(1)} & \cdots & f_{i,24}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

无功功率负荷曲线系数表为

$$F^{(2)} = \begin{bmatrix} f_{1,1}^{(2)} & f_{1,2}^{(2)} & \cdots & f_{1,24}^{(2)} \\ f_{2,1}^{(2)} & f_{2,2}^{(2)} & \cdots & f_{2,24}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{i,1}^{(2)} & f_{i,2}^{(2)} & \cdots & f_{i,24}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:行号 i 表示负荷曲线类别;列号表示对应的时间。

通过电度表记录的数据可得到节点 l 的平均有功功率 $P_{l,av}$,则节点 l 在第 j 小时负荷的有功功率出力值 $P_{l,j}$ 为

$$P_{l,j} = P_{l,av} f_{i,j}^{(1)}, l = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 24 \quad (9)$$

式中: $P_{l,av} = \frac{A_{lp}}{24}$, A_{lp} 为节点 l 负荷的有功电量; $f_{i,j}^{(1)}$ 为 $F^{(1)}$ 中第 i 行第 j 列的元素; n 为负荷节点的总数。

节点 l 在第 j 小时的无功功率出力值 $Q_{l,j}$ 为

$$Q_{l,j} = Q_{l,av} f_{i,j}^{(2)}, l = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 24 \quad (10)$$

式中： $Q_{l,av} = \frac{A_{lq}}{24}$, A_{lq} 为节点 l 负荷的无功电量； $f_{i,j}^{(2)}$ 为 $F^{(2)}$ 中第 i 行第 j 列的元素； n 为负荷节点总数。

根据电网结构，将参数描述成节点导纳矩阵形式，以地面作为参考节点，建立 $N \times N$ 阶节点导纳矩阵 $Y = G + jB$ ，节点电压向量为 $\dot{U} = e + jf$ ，此时该电网线损为 $\dot{S} = P + jQ$ ，即

$$\dot{S} = \dot{U}^T (Y \dot{U})^* = (e + jf)^T (G - jB) (e - jf) = e^T G e + f^T G f - j(e^T B e + f^T B f) \quad (11)$$

得

$$P = e^T G e + f^T G f \quad (12)$$

$$Q = -e^T B e - f^T B f \quad (13)$$

式中： P 为有功功率； Q 为无功功率。

电网中各条线路上的损耗等于该条线路正向功率与反向功率的和，可表示为

$$\tilde{S}_{ij} = \dot{U}_i \dot{I}_{ij} = \dot{U}_i [\dot{U}_{iyj0} + (\dot{U}_i - \dot{U}_j) y_{ij}] = P_{ij} + jQ_{ij} \quad (14)$$

$$\tilde{S}_{ji} = \dot{U}_j \dot{I}_{ji} = \dot{U}_j [\dot{U}_{jy0} + (\dot{U}_j - \dot{U}_i) y_{ji}] = P_{ji} + jQ_{ji} \quad (15)$$

式中： \tilde{S}_{ij} 、 \tilde{S}_{ji} 分别为线路节点 i 到节点 j 流过的功率与节点 j 到节点 i 流过的功率。

线路 ij 的损耗为

$$\Delta \tilde{S}_{ij} = \tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji} = \Delta P + j\Delta Q \quad (16)$$

则代表日有功电量损耗为

$$\Delta A_p = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_i \quad (17)$$

全年总线损为

$$\Delta A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i T_i \quad (18)$$

采用改进牛顿法计算配电网理论线损流程如图 1 所示。

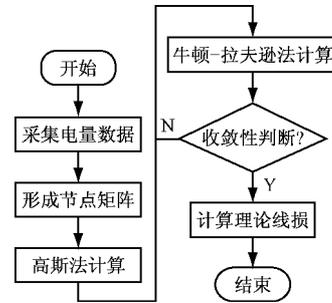


图 1 采用改进牛顿法计算配电网理论线损流程

4 实例分析

某地区某段 10 kV 配电网线路如图 2 所示。通过电网营销系统采集该电网基本数据，包括电网线路首段供电量、无功电量及代表日 24 h 电流、24 h 电压，并记录线路导线型号、每个变压器型号及其售电量。基本统计数据见表 1。

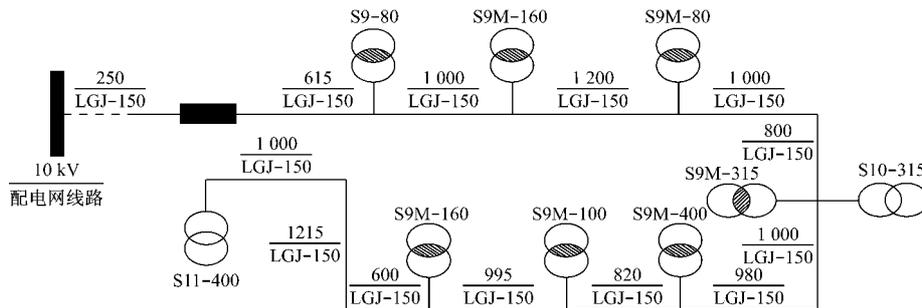


图 2 某 10 kV 配电网线路

表 1 10 kV 配电网基本统计数据

电压/kV	10.1	日功率因数	0.8
K 系数	1.12	日售电量/(kW·h)	10 570
日有功电量/(kW·h)	11 183	统计 日总损耗/(kW·h)	613
日无功电量/(kvar·h)	8 387	线损 日线损率/%	5.48

采用郑州大方软件集团股份有限公司开发的理论线损计算系统为平台，通过 C++ 语言编程，分别采用传统的电量法、均方根电流法以及改进牛顿法计算配电网理论线损。主要计算函数为

```
void CTideDlg::amend()//
{int n=2*Nodenum;y[1]=B[1];
for(int i=2;i<n;i++)
{double a=0;
for(int k=1;k<i;k++)
{a+=Lower[i][k]*y[k];}
y[i]=B[i]-a;}
x[n]=y[n]/Upside[n][n];
for(int j=n-1;j>=1;j--)
{double b=0;
for(int k=j+1;k<=n;k++)
```

$$\{b += \text{Upside}[j][k] * x[k];\}$$

$$x[j] = (y[j] - b) / \text{Upside}[j][j];\}$$

计算结果见表2。采用电量法和均方根电流法计算理论线损时,得到的线损率分别为4.45%和4.69%,而采用改进牛顿法计算得出的理论线损率为4.93%。可见与传统计算方法的计算结果相比,采用改进牛顿法计算理论线损得出的结果更接近统计值(5.48%)。

表2 不同计算方法的结果

指标	计算方法		
	电量法	均方根电流	改进牛顿法
理论日总损耗/(kW·h)	497.6	524.5	551.3
理论日线损率/%	4.45	4.69	4.93
管理线损电量/(kW·h)	115.4	88.5	61.7
管理线损率/%	1.03	0.79	0.55

5 结语

现有的理论线损计算方法在计算过程中十分依赖负荷出力曲线的平稳条件,而电网实际运行过程中,负荷出力曲线平稳的情况十分罕见,通常情况下负荷出力曲线是不断变化的,导致传统方法计算出的线损与真实值之间存在较大误差。改进牛顿法在采集数据过程中充分考虑了负荷的变化,计算得到的电网损耗结果更接近统计线损,能有效控制管理线损的大小。该方法可作为配电网理论线损计算的新方法。

参考文献:

- [1] 张利生. 电网电能损耗管理及降损技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 刘丙江. 线损管理与节约用电[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [3] 宋刚, 黄民翔. 配电网线损理论计算方法比较研究[J]. 能源工程, 2007(5): 30-33.
- [4] 钟贵传, 王星华, 钱同海. 配电网理论线损计算方法综述[J]. 电工技术, 2011(5): 59-62.
- [5] 夏沛, 徐俊明. 改进牛顿法大规模电力系统潮流计算[J]. 计算技术与自动化, 2010, 29(4): 59-62.
- [6] 马国旗, 王志贺, 纪亿. 电力系统潮流计算[J]. 卷宗, 2011(6): 73-74.
- [7] 卫志农, 王步华. 基于潮流计算的电网线损理论计算[J]. 河海大学学报, 2000, 28(6): 43-46.
- [8] SASSON A. Improved Newton's load flow through a minimization technique [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1971, PAS-90(5): 1974-1981.
- [9] 邵军. 一种理论线损计算的电量潮流法[D]. 大连: 大连理工大学, 2004.
- [10] 贾延峰, 王业强, 刘莉. 配电网理论线损计算的研究[J]. 沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2005(增刊1): 68-70.
- [11] 华书晶. 基于C++的电力系统潮流计算[J]. 现代经济信息, 2009(11): 243.
- [12] ZHANG Fan, CHENG C S. A modified Newton method for radial distribution system power flow analysis [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1997, 12(1): 389-397.

《工矿自动化》杂志及编辑部个人获奖信息报道

2012年,《工矿自动化》杂志编辑部积极参加江苏省期刊界各类评比活动,在活动中展现自身的风采,在竞争中提高自身的素质。今年已获得的荣誉有:

《工矿自动化》杂志“科研成果”栏目在由江苏省科技期刊编辑学会组织举办的“第四届江苏省科技期刊‘金马奖’品牌栏目评选”活动中被评为“品牌栏目”。

副主编徐瑛在由江苏省期刊协会组织举办的“江苏期刊明珠奖·优秀个人”评选活动中被评为“优秀主编”。

副主编徐瑛文章“《工矿自动化》杂志‘科研成果’栏目的业绩和影响力分析”在江苏省、浙江省暨上海市科技期刊编辑学会组织举办的“第九届长三角科技期刊发展论坛”征文活动中荣获二等奖。

编辑李明文章“浅谈科技期刊网站建设——以《工矿自动化》杂志网站建设为例”在由中国科技信息研究所和万方数据股份有限公司组织举办的“第十届(2012)全国核心期刊与期刊国际化、网络化研讨会会议”征文活动中荣获三等奖。

(本刊编辑部)