

# 基于 MapX 的油田配电网理论线损计算系统

毕洪波<sup>1</sup>, 张玉波<sup>1</sup>, 王金龙<sup>2</sup>

(1. 大庆石油学院电气信息工程学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 大庆油田工程有限公司规划室, 黑龙江 大庆 163712)

**摘要:** 针对油田配电网的特点, 开发了基于 MapX 的油田配电网理论线损计算系统。提出前推回代法的简化条件, 给出了改进算法的计算机实现步骤。实用效果表明, 简化后算法具有更高的精度及更快的运算速度。同时, 利用地理信息系统技术很好地将 MapX 与线损计算系统结合, 构造了关联数据库, 提出了网络拓扑的自动生成算法, 实现了计算的可视化、智能化。

**关键词:** MapX; 油田配电网; 线损; 前推回代法; 拓扑

## Theoretical line loss calculation system of oil field distribution power net based on MapX

BI Hong-bo<sup>1</sup>, ZHANG Yu-bo<sup>1</sup>, WANG Jin-long<sup>2</sup>

(1. Faculty of Electric and Information Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China;

2. Daqing Oilfield Engineering Company, Ltd., Daqing 163712, China)

**Abstract:** The paper introduces the theoretical line loss calculation system of oil field distribution power net based on MapX aiming at the characteristics of oil field distribution power net. The simplified condition of the back/forward sweep method and the realization of the improved algorithm using computer are given. The application results show that the simplified algorithm is more accurate and faster. Furthermore, the system makes use of the GIS technique, combining the MapX and the line loss calculation system to construct the related database, and presents the generation method of the topology of the oil field distribution power net conveniently. It realizes the visualization and intelligence of computation.

**Key words:** MapX; distribution power net; line loss; back/forward sweep method; topology

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)03-0019-04

## 0 引言

油田配电网在油田担负着分配电力、保证油气正常生产的重要任务。同时, 油田配电网自身也有电能损耗, 其主要来源于电流在电力线路和变压器传导过程中的发热损失。实际上, 在油田电力系统的发电、输电、变电、配电四大环节当中, 配电环节的电能损耗是最大的。

油田配电网的线损是一个综合性的经济技术指标。它不但能反映油田电网结构和运行方面的合理性, 而且可以反映油田企业的技术管理水平, 促使相关部门采取各种节能措施, 进而降低线损率。然而, 由于配电环节作为系统的末端, 电压等级低, 直接与用户相连接, 线路分布广, 网上设备多, 其理论线损的计算涉及环节多、数据多、工作量大、人为因素较多等问题, 且靠手工计算已不能适应现

代化管理的要求。因此, 为了保证理论线损计算的准确性, 及时发现线损管理中存在的各种问题, 采取有效措施降低管理损耗, 开发一套实用的理论线损计算系统是非常必要和迫切的。

随着计算机的普及和网络技术的发展, DMS (配电管理系统) 的一体化已成为一种趋势。从国内外的的发展来看, 目前 DMS 系统主要集成了 GIS (地理信息系统) 和管理信息系统 (MIS), 实现了配电系统的实时、可视化管理<sup>[1]</sup>。本系统结合 GIS 和 MIS 的强大功能, 设计了基于 MapX 的配电网理论线损计算子系统, 并将其嵌入到 DMS 系统中, 大大提高了软件的实用性和运行效率。

## 1 GIS 及 MapX 简介

GIS (地理信息系统) 是一门边缘学科, 包含了计算机图形学、数据库技术、图论技术等方面的内容<sup>[2]</sup>。目前, 其已经具备了强大的图形显示、空间拓扑和数据库功能, 已经在生产生活的多个领域

基金项目: 黑龙江省教育厅科技项目 (GZ07A102)

发挥着重要的作用。当今流行的 GIS 平台开发软件较多,如 ESRI 系列产品、AUTODESK 系列产品和 Mapinfo 系列产品等。根据配电系统对地图控制的要求以及各系列产品的特性,本系统设计选用了 Mapinfo 公司的 ActiveX 插件产品 MapX。

MapX 是 MapInfo 公司向用户提供的具有强大地图分析功能的 ActiveX 控件产品。由于它是一种基于 Windows 操作系统的标准控件,因而能支持绝大多数标准的可视化开发环境如 Visual C++、Visual Basic、Delphi、PowerBuilder 等<sup>[3]</sup>。利用 MapX,能够简单快速地在应用中嵌入地图化功能,增强应用的空间分析能力。MapX 采用基于 MapInfo Professional 的相同的地图化技术,可以实现绝大部分地图编辑和空间分析功能。

## 2 计算范围及算法的实现——递推的前推回代法

本理论线损计算系统计算的电压等级为:6 (10) kV、低压线路 400V;涉及的元件有:导线、变压器、电容器、低压配线、各种站、油井等。

在油田配电网中,负荷节点数量及类型很多,网络具有闭环设计、开环运行的特点,因此实际运行中的配电网呈辐射状且多采用单向供电的接线方式,为此,建立了其等效数学模型,如图 1 所示。

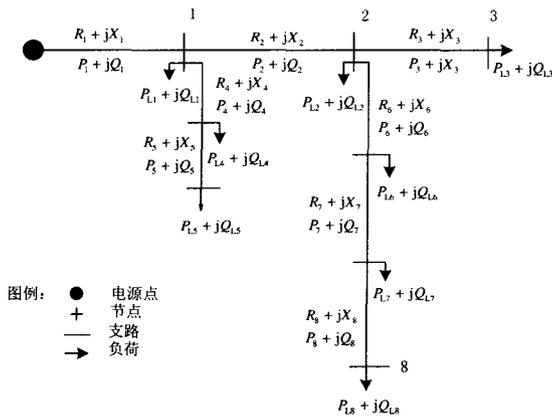


图 1 辐射状油田配电网

Fig.1 Radioactive oilfield distribution power system

虽然可以利用等值电阻法、均方根电流法、平均电流法、等值电流法、节点功率等效法及用前推回代的潮流分析方法等多种方法来进行配电网理论线损计算,但是具体的设计要结合实际中可以收集和整理的各负荷点负荷资料及元件运行数据,根据本系统的实际情况,提供了各负荷点的运行均方根电流,及低压负荷处的功率因数,因此,采用前推

回代的潮流分析方法进行理论线损潮流计算简便可行<sup>[4]</sup>。另外,有文献表明,潮流分析方法与均方根电流法计算理论线损结果无明显差别,所以选取此算法完全可以保证计算结果的正确性<sup>[5]</sup>。

但是,由于油田配电网的负荷分散性大,功率因数低,末端压降大,传统的前推回代法在计算上将引入很大误差,而且运算速度极慢,为此,本系统在满足一定精度的前提下,做了以下简化:(1)假定网络中各节点的电压相等,忽略沿线路的电压损失对能耗的影响;(2)假定各负荷节点的功率因数与首端相等。通过后续的迭代处理,使各节点的电压和功率因数接近于其真实值,计算结果表明,此简化条件不仅保证了数据的准确性,而且提高了算法的收敛速度。

由于前推回代法需要递推处理,因此比较适宜用计算机实现,具体步骤如下:

(1) 读入网络数据:包括各种参数、配电网网络的拓扑结构、源点电压值(即变电所输出电压)以及各节点负荷的功率。

(2) 给各节点(源点除外)一个合理的电压初始估计值  $U$ 。

(3) 前代:从末梢节点起始,计算每一节点的等价功率,直至源点。如对图 1,设各节点有功、无功功率矩阵为

$$P = [P_1, P_2, \dots, P_8] \quad (1)$$

$$Q = [Q_1, Q_2, \dots, Q_8]$$

则各支路的有功、无功潮流矩阵为

$$P_E = PE = [P_1 + P_2 + \dots + P_8, P_2 + P_3 + P_6 + P_7 + P_8, P_3, P_4 + P_5, P_5, P_6 + P_7 + P_8, P_7 + P_8, P_8] \quad (2)$$

$$Q_E = QE = [Q_1 + Q_2 + \dots + Q_8, Q_2 + Q_3 + Q_6 + Q_7 + Q_8, Q_3, Q_4 + Q_5, Q_5, Q_6 + Q_7 + Q_8, Q_7 + Q_8, Q_8] \quad (3)$$

其中:  $E$  表示图 1 所示的拓扑连接矩阵,具体获取方法可参见下文。

支路长度、单位电阻矩阵为

$$L = [l_1, l_2, \dots, l_8] \quad (4)$$

$$R = [r_1, r_2, \dots, r_8]$$

那么支路的功率损耗为

$$\Delta P_{L8} = \sum_{i=1}^8 \frac{P_{Ei}^2 + Q_{Ei}^2}{U^2} r_i l_i \quad (5)$$

由此可以推广到  $n$  个节点的配电网线损为

$$\Delta P_L = \sum_{i=1}^n \frac{P_{Ei}^2 + Q_{Ei}^2}{U^2} r_i l_i \quad (6)$$

(4) 回代: 从源点出发, 顺次求解每个节点电压值至末梢节点。各节点电压由公式 (7) 导出:  

$$U_r^4 + [2(PR + QX) - U_s^2]U_r^2 + (P^2 + Q^2)(R^2 + X^2) = 0 \quad (7)$$

其中:  $U_r$  为各次迭代的节点电压,  $U_s$  为变电所输出电压,  $R$ 、 $X$  分别为线路的电阻和电抗,  $P$ 、 $Q$  为与各节点相关的等效负荷, 既包括节点自身的功率, 也包括流过节点的负荷功率, 还包括线路的能量损耗。

(5) 用新的电压值, 重新计算线损。若两次迭代所得线损的变化量大于某一给定误差, 则转回 (2) 重新迭代; 否则, 结束。

利用上述算法对大庆油田采油三厂一矿北二四变电所多条出线的线损进行计算, 结果如表 1。

表 1 不同算法计算的线损比较

Tab.1 Comparison of different calculation methods for line loss

出线号	传统算法线损 计算值/(%)	本文算法线损 计算值/(%)
32414	1.33	1.32
32419	0.96	0.98
32420	0.28	0.28
32423	1.69	1.68
32424	1.33	1.33

结果表明, 本算法计算结果准确, 在精度上完全满足现场要求。

### 3 基于 MapX 的拓扑结构生成

在进行算法的实现前, 需要事先获得油田配电网的拓扑结构, 可用一个节点——支路关联矩阵  $E$  描述油田配电网的拓扑结构, 建立网络的精确数学模型, 其中每一个元素满足:

当节点  $i$  的负荷功率流经支路  $j$  时,  $E(i, j) = 1$ , 当节点  $i$  的负荷功率未流经支路  $j$  时,  $E(i, j) = 0$ 。

因此, 图 1 可用下面的矩阵描述。

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

本系统利用 MapX 组件获取油田配电网的拓扑

结构信息。MapX 平台具有成熟的拓扑分析功能, 通过 SDE (空间数据库引擎) 能够方便地实现空间数据与专题属性数据的统一管理。同时, 此平台提供了丰富的接口函数和强大的二次开发能力, 使用户能够更灵活地使用其内部各模块, 使用户专注于功能与数据结构的构造, 而不必关心其内部实现方式, 大大加快了软件的开发速度并提高了运行可靠性。值得注意的是, MapX 提供的拓扑分析功能无法直接得到油田配电网的网络结构, 因此, 需要深入的设计 GIS 中地图的空间关系数据库。

本系统采用如表 2~5 建立油田配电网的拓扑结构。

表 2 变电所—线路间关系表

Tab.2 Substation-relationship of lines

变电所标识	线路 1 标识	线路 2 标识	...	线路 n 标识
-------	---------	---------	-----	---------

表 3 线路分段间关系表

Tab.3 Relationship of line segmentations

线路标识	线路分段 1 标识	线路分段 2 标识	...	线路分段 n 标识
------	--------------	--------------	-----	--------------

表 4 线路分段—节点间关系表

Tab.4 Relationship of line segmentations-nodes

线路分段标识	起始节点标识	终止节点标识
--------	--------	--------

表 5 节点间关系表

Tab.5 Relationship of nodes

节点标识	是否负荷 节点	相邻节点 1 标识	相邻节点 2 标识	...	相邻节点 n 标识
------	------------	--------------	--------------	-----	--------------

根据上文的空间数据表格式, 利用 MapX 判断节点拓扑和线路分段拓扑, 可以很容易地得到诸如连通性、邻接性等拓扑对象间的空间关系。其实现过程为:

(1) 通过选定变电所及相应的线路名, 搜索表 1 确定线路标识;

(2) 跟据线路标识搜索表 2, 进而获得线路各分段标识;

(3) 根据线路各标识搜索表 3, 进而获得线路起始和终止节点标识;

(4) 根据起始和终节点标识搜索表 4, 进而获得相邻的节点标识, 同时考虑节点处开关状态 (由 GIS 系统中获得), 根据潮流方向, 获得网络的拓扑结构。

实践表明, 用此方法得到的节点——支路关联矩阵与上述的节点——支路关联矩阵完全一致, 从而证明了此方法的正确性。

将配电网的 GIS 地图按上述的方法建立空间数据库以后, 通过 Geomedia 将空间数据和属性数据导入到数据库中, 就可以调用 GIS 地图中的拓扑结

构及其属性数据, 进行计算。这样, 在拓扑分析模块和网损计算模块各自独立的基础上, 实现了二者在功能上的紧密结合。

#### 4 结束语

基于 MapX 的配电网理论线损计算模块, 已成功地嵌入到 DMS 系统中, 成为 DMS 系统的重要组成部分。本系统在前推回代算法的原理基础上, 建立了一个更适合计算机编程计算的算法, 并且借助现有的 MapX 平台将该算法可视化, 由于采用了可视化技术, 大大提高了软件的实用性, 不需人工干预, 达到了高度的智能化。

#### 参考文献

- [1] 杨学伟, 运志涛, 张根保, 等. 基于 GIS 的可视化配电网理论线损计算子系统[J]. 现代电力, 2003, 20(1): 37-38.  
YANG Xue-wei, ZHANG Gen-bao, YUN Zhi-tao, et al. Visualized Line-Loss Calculation Subsystem for Distribution Net Based on GIS[J]. Modern Electric Power, 2003, 20(1): 37-38.
- [2] 龚健雅. GIS 基础[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
GONG Jian-ya. The Fundmation of GIS[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [3] 陈立平, 李德军, 刘媛杰. 基于 GIS 的配电网理论线损系统的应用[J]. 微计算机信息, 2007, 23(71): 234-246.  
CHEN Li-ping, LI De-jun, LIU Yuan-jie. Application of Management System Based on GIS for Theoretic Line Loss of Distribution Net[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(71): 234-246.
- [4] 姜建国, 王秀芳, 王金龙, 等. 基于行业标准的油气田电网线损率计算方法[J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(5): 85-95.  
JIANG Jian-guo, WANG Xiu-fang, WANG Jin-long, et al. Method for Calculating the Rate of Transmission Losses in Oil and Gas Fields' Electrical Power Network Based on Industry Standardization[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2006, 30(5): 85-95.
- [5] 丁心海, 罗毅芳, 刘巍, 等. 配电网线损理论计算的实用方法——改进迭代法[J]. 电网技术, 2000, 24(1): 39-42.  
DING Xin-hai, LUO Yi-fang, LIU Wei, et al. A New Practical Method for Calculating Line Loss of Distribution Network——Improved Iteration Method[J]. Power System Technology, 2000, 24(1): 39-42.
- [6] 韦化, 李滨, 杭乃善, 等. 大规模水-火电力系统最优潮流的现代内点算法实现[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 13-18.  
Wei Hua, Li Bin, Hang Naishan, et al. An Implementation of Interior Point Algorithm for Large-scale Hydro-thermal Optimal Power Flow Problems[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 13-18.
- [7] Mingbo Liu, Tao S K. An Extended Nonlinear Primal-dual Interior-point Algorithm for Reactive-power Optimization of Large-scale Power Systems with Discrete Control Variables[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(4): 982-991.
- [8] 周双喜, 朱凌志, 郭锡玖, 等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [9] 朱鹏程, 刘黎明, 刘小元, 等. 统一潮流控制器的分析与控制策略[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 45-51.  
ZHU Peng-cheng, LIU Li-ming, LIU Xiao-yuan, et al. Analysis and Study on Control Strategy for UPFC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 45-51.

收稿日期: 2007-08-30; 修回日期: 2007-12-20

作者简介:

毕洪波(1979-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为油气田供配电系统优化、电力系统信息化等; E-mail: bihongbo@dqi.edu.cn

张玉波(1982-), 女, 硕士, 助教, 研究方向为电网优化、电力系统自动化等;

王金龙(1969-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为油气田供配电系统规划、信息化等。

收稿日期: 2007-09-13; 修回日期: 2007-11-22

作者简介:

黄若霖(1976-), 男, 工程师, 主要从事电力系统继电保护、变电站综合自动化以及电气设备故障诊断等领域的研究和维护工作。

(上接第 18 页 continued from page 18)