

# 油田电网优化运行计算机辅助管理系统

姜衍智 程国建 吴文安 (西安石油学院)

油田电网多为自成系统,集中调度。从电网管理上又分为供(主)电网和配电网,分级管理。

电网优化运行的概念是指在保证电网安全运行和电压质量的基础上,使电网的总损耗为最小。为了实现电网优化运行的目标,首先需对现有电网的运行状况进行分析,并寻找通向优化运行的途径。

在系统设计中,我们也充分考虑到系统设计的一般要求:

1. 对系统工作效率,我们采用了新的算法,使得潮流计算过程较已有的传统算法(牛顿-拉夫逊法、P-Q分解法)更容易收敛,对一种运行方式的计算响应时间仅需数秒到数十秒即可完成。

2. 在系统工作质量方面,使输入工作量远远少于传统算法;程序本身和输出数据具有更好的可读性、精确性和广度上,可根据用户要求进行调整;此外还充分考虑到界面友好、易于学习、使用方便等要求。

3. 在可靠性方面,充分考虑到抗干扰能力和纠错能力。

4. 在可变性方面,考虑到电网具有不断的扩充与发展的可能性,系统必须适应这一特点,易于修改,易于扩展。

3. 没有认真考虑变压器经济运行问题。

4. 没有按网损等微增率原则合理分配无功补偿容量,因此使电网未达到最佳补偿的目标。

上述分析可知,为实现电网优化运行的计算机辅助管理系统,其核心应是输电网潮流计算应用程序。并在此基础上实现变压器经济运行、输电线路经济负荷检验、无功最佳补偿、网损计算及绘制接线图等功能。

油田供电网计算机辅助管理系统流程图如图1所示,现就各子系统的特点、功能与其他子系统的联系、配合关系分述如下:

## 1. 参数处理(CSCL1)子系统

为了对电网进行潮流分布和短路电流计算。首先必须作出电网的等值电路图并求出各电网元件的电阻(R)、电抗(X)、电导(G)、电纳(B)值。参数处理子系统的任务,就是根据用户的要求,作出各种不同运行方式下的电网等值电路图;并求出各电网元件(变压器、线路、发电机、电抗器等)的R-X-G-B值。它有五个分系统,即元件参数输入、网络结构输入、关联矩阵输入、参数显示打印、形成RXGB阵等五个分系统,如图1所示。

## 一、油田供电网

根据电网现状调查分析可知,影响供电网优化运行的因素有以下四方面。

1. 由于缺乏计算手段和工具,难以对不同负荷状况下的潮流分布进行精确和动态的计算,因此只能使电网处于一种运行方式下工作,无法在多种备选的运行方式下选择最佳运行方式。

2. 由于缺乏潮流计算手段,难以精确了解各元件(输电线路、变压器)的工作状况,无法分辨它们是否工作在经济负荷区内。

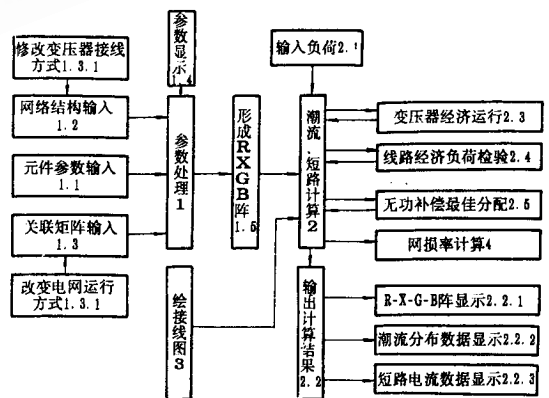


图1 系统流程图

2. 潮流、短路计算(CLJS1)子系统

潮流、短路计算子系统是管理系统的核心。包括输入负荷、显示计算结果、变压经济运行、线路经济负荷检验、无功最佳补偿等分系统。

3. 绘接线图子系统(HJXT)

本系统可在屏幕上绘制电网接线图,并可打印输出,以减轻手工绘图的工作量。所绘制的不同运行方式下的接线图又可以文件型式存入系统,并在潮流、短路计算时调用,以检验各运行方式下接线的正确性。

4. 网损率计算子系统(XSJS1)

为了提高网损率计算精度,本系统采用了一种新网损率算法——功率方差法。

理论分析可知,电网元件 K 上的功率损耗为:

$$\Delta P_K = \frac{R_K}{U^2} [P_{KAV}^2 + Q_{KAV}^2 + D(P_K) + D(Q_K)]$$

- 式中  $P_{kav}$ ——通过K元件的有功潮流;
- $Q_{kav}$ ——通过K元件的无功潮流;
- $R_k$ ——K元件的电阻值;
- $U$ ——K元件额定电压;
- $D(P_k)$ ——K元件中有功潮流的方差;
- $D(Q_k)$ ——K元件中无功潮流的方差。

式中  $P_{kav}$ 、 $Q_{kav}$  可以由该元件的瓦一时计求得(瓦一时计为准确计量表计)。  $D(P_k)$ 、 $D(Q_k)$  则可按式求出(参阅参考文献[1])。

$$D(P) = \left( \frac{P_{max} - P_{min}}{2 \times 1.64} \right)^2$$

$$D(Q) = \left( \frac{Q_{max} - Q_{min}}{2 \times 1.64} \right)^2$$

- 式中  $P_{max}$ 、 $P_{min}$ ——有功功率最大、最小值;
- $Q_{max}$ 、 $Q_{min}$ ——无功功率最大、最小值。

$$\Delta P \Sigma = \sum_{j=1}^N [\Delta P_k(j) + \Delta P_G(j)] + \Delta P_C$$

式中  $\Delta P_G(j)$ ——第 j 元件并联支路损耗

$$\Delta P_{G(j)} = G(j) U(j)^2$$

$\Delta P_C$ ——补偿电容总损耗

$$\Delta P_C = Q_c \cdot \text{tg}\sigma$$

日网损率则为

$$\Delta W \% = \frac{\Delta P \Sigma \times 24}{W} \times 100\%$$

式中 W——日内总负荷电量

二、油田配电网

由于油田“滚动开发”模式的影响,油田配电网不可能在建设初期获得完备的负荷资料,因此难以在油田开发初期设计出满足开发后期的配电网。随着油田开发的不断扩展与深化,油区配电网也随之不断延伸,配网负荷不断增大。为此,从电网优化运行观点来看,油田配电网在优化运行管理上存在着更多的问题。换句话说,它具有更大的节能潜力。

油田配电网在运行中存在那些问题呢?我们对克拉玛依电网中百口泉油区五条配线进行了典型调查,并归纳出以下五个问题:

1. 用户装备容量远大于实际负荷,形成严重“大马拉小车”现象。实际负荷与电动机容量之比约为 0.16~0.27。

由于用户多装备为感应电动机,当负荷率很低时,其工作效率和功率因数也很低,由此导致整个配电网处于低效率运行状态。

2. 配电变压器容量设置过大,不能保持变压器处于经济负荷区运行。

众所周知,当变压器负荷率

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}}$$

时效率最高,国产变压器最佳负荷率应在  $\beta=0.4\sim 0.5$  范围内,但调查可知,油田配网变压器负荷率仅为 0.12~0.25,这也是在优化运行中需要解决的问题。

3. 配电变压器空载损耗过大。由于配电变压器负荷率过低,且多为旧型变压器(JB1300-73型),因此空载损耗过大,调查可知,变压器空载占到总损耗的 82.4%~96%。显然在变压器容量配置上不够合理。

4. 负荷功率因数过低,使配电网网损增大。由于配电变压器和电动机都处在低负荷率状态下运行,使配网出口功率因数过低,一般运行于  $\cos\phi=0.35\sim 0.5$  范围。

5. 配网局部线段(特别是接近电源的线段)负荷电流过大,超过经济电流密度限值,使损耗增大。

这是由于配网运行初期,油井抽油机负荷较轻,配网选择的导线截面较小,当到达油田开发后期,机采负荷增大,而使局部线段电流超过了经济电流密度,使损耗增

大。并影响末端电压质量。

配电网优化运行管理系统设计则应该针对上述问题提出最佳调整方案,使电网达到“优质、经济、可靠”的运行目标。

配电网计算机辅助管理系统流程图如图 2 所示。

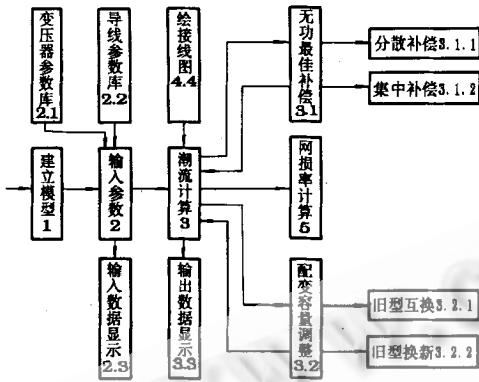


图 2 系统流程图

现将各子系统特点及功能分述如下:

(1) 建立模型子系统。配电网具有多分支、多结点的特点,为了计算其潮流分布,需建立起负荷结点与各联络线段之间的几何关系。为此,本系统中采用了关联矩阵作为配网的模型。图 3(a)为一简化的配网接线图,图 3(b)为该配网的数学模型,其建立程序为:

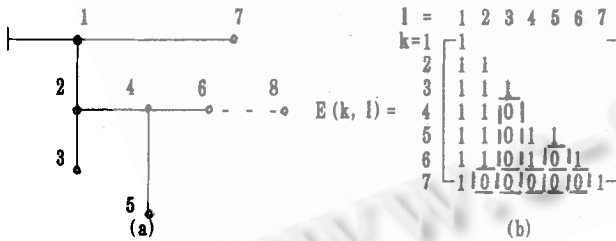


图 3 配电网模型

• 对配网各负荷结点按升序编号,并设与接点相连线段编号与结点号相同。

• 按下列原则确定  $E(k,l)$  阵元素:

$$E(k,l) = \begin{cases} 1, & \text{当第 } k \text{ 结点负荷流经 } l \text{ 时段;} \\ 0, & \text{当第 } k \text{ 结点负荷不流经 } l \text{ 时段。} \end{cases}$$

根据(7)式可得到图 3(b)所示的配网模型( $k,l=1,2,\dots,n$ ) $n$  为配网的结点数。一般来说,配网负荷结点数  $n$  很大。因此按式(7)原则建立  $E(k,l)$  阵时,其输入工作量

太大,而且极易出错。为了克服这一缺点,本系统中采用了“自动生成” $E(k,l)$  阵的新算法:

从图 3(b)可以看到,配网模型为一下三角阵,元素为 1 或 0 值,“自动生成”则是先建立所有元素都为 1 的下三角阵,然后再按下述算法将部分元素改为 0 值。从图 4(a)配网接线图可知,配网分支点及分支线编号如下表所示

分支点	第一分支编号(i)	第二分支编号(j)
1	2	7
2	3	4

根据表中给出数据,使  $k$  从  $j$  到  $n$  行, $l$  从  $i$  到  $j-1$  列的  $E(k,l)=0$  即可最终得到相应的配网模型。

应当指出,为了适应配网接线经常变化的特点,在本系统中还设立了修改模型的功能。在图 3(a)接线图上,如在结点 6 上引伸出一个新负荷点 8,则按(7)式可列出新的配网模型如图 4 所示,从图 4 可知,当在原有配网上增加新的线段或负荷结点时,并不需要重新建立模型,只是在原有模型基础上按下述方法稍加修改即可获得修改后的配网模型:

$$E(k,l) = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} k=1 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & \\ & & 1 & & & & & \\ & & & 1 & & & & \\ & & & & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & \\ & & & & & & & 1 \\ & & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 4 修改后配网模型

• 将延伸点(如图四(a)中 6 点),所对应的行元素作为  $n+1$  行元素,即  $E(n+1,j)=E(m,j)$ , $m$  为延伸点号;

• 使  $E(n+1,n+1)=1$ 。 $n$  为原配电网结点数。

有关配电网模型的“自生成”算法和“自修改”算法,其详细说明请参阅参考文献[1]。

(2) 输入参数子系统。为了进行配电网潮流计算,需要首先输入下列数据:线段距离、导线型号、配变型号及容量、各负荷点的负荷数值,如图 2 所示。

显然,负荷数据的准确性将直接影响配电网潮流计算的精度,理想的方法是采用实时数据采集系统。这也是今后配电网运行管理的发展方向。

(3)潮流计算子系统。该系统用来计算配电网的运行参数,计有:

- 各线段中有功、无功潮流及通过电流;
- 各线段功率损耗、电压损失;
- 各台配电变压器空载损耗、短路损耗;
- 各负荷结点工作电压、短路电流;
- 各末端点电压损失。

并通过上述参数监控配电网电压质量、功率因数及配变运行状况。

在潮流计算子系统中,又包括有无功最佳补偿和配变容量调整两个分系统。

①无功最佳补偿分系统。由于油田配电网负荷多为感应电动机,而且又在低负荷率下运行。因此配网功率因数一般较低,为了提高其运行功率因数、降低线路损耗,有效措施则是进行无功补偿。本系统中提供了两种最佳补偿方法供用户选用。

②最佳分散补偿。最佳化目标函数为年纯收益为最大。其原理可用图5说明之。

曲线1为设置补偿容量所需年费用(NF),它将随着补偿容量(Qc)的增加而增大。

曲线2则为补偿后年节电费用(NJDF)。

最佳补偿容量(Qc\*),则应为使年纯收益(NCSY)为最大所对应的补偿容量。即

$$NCSY(Q_c) = NJDF(Q_c) - NF(Q_c) \rightarrow \text{最大}$$

③最佳集中补偿。

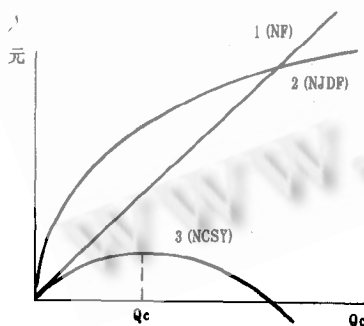


图5 无功补偿效益曲线

分散补偿是以年纯收益为目标函数,因此可能在最

佳补偿状态下,其出口功率因数并不能达到较高的值(高于0.85)。当以提高配网出口功率因数为目标时,则可采用在配电网高压侧集中补偿的方法来实现。为了获得最佳补偿的效果,则应该按照网损等微增率的准则来分配补偿容量,其算法请参阅[1]。

(4)配变容量调整分系统。油田配电网中,配电变压器台数很多,而且大多处在低负荷率状态下运行,为了降低变压器能耗,一般应从调整变压器容量,使大多数变压器都处于经济负荷区运行;或者用低空载损耗的节能变压器更换现有的旧型变压器,为此,本系统含有旧型互换和旧型换新两个分系统,用来处理配电变压器优化运行的问题。

①旧型互换分系统。油田现有电网配备的配电变压器容量选择,一般都没有认真考虑其经济负荷区,本系统可用来检验并调整现有变压器容量,使所有配变都处于经济负荷区,以降低配网能耗。

②旧型换新(型)分系统。根据国家计委要求,配电变压器应陆续更换为按GB1094-79标准生产的节能型变压器。本系统可用来调整现有的变压器容量,将其更换为节能型变压器并保持在经济负荷区运行,实践证明,更换节能变压器获得的节能效果是十分显著的。

③输出数据显示分系统。潮流计算的数据可由本系统显示或打印。

(5)绘接线图子系统。本系统可在屏幕上绘制配电网接线图,并可打印输出,以减轻手工绘图的工作量。

(6)网损率计算分系统。配电网网损率计算分系统是建立在配电网精确数学模型基础上并利用功率方差法原理进行配网网损计算的。它较目前普遍应用的配网理论网损率算法更加合理,有关网损率方差计算法请参阅参考文献[1]。

该系统已先后在多处油田应用都取得了显著的节能效益,并提高了油田电网的供电质量。

参考文献:

[1]姜衍智编著《油田电网优化运行计算机辅助管理系统》西安石油学院