# 不修改原网$Y_{节}$或$Z_{节}$整定相间距离保护的算法

东北电力学院　　曹国臣

**摘要**　本文应用补偿原理去处理因开断元件及故障造成的网络局部拓扑结构的变化，利用迭加原理和互易定理将开断元件前后的故障状态联系起来，提出了一种不修改原网节点导纳阵（$Y_{节}$）或节点阻抗阵（$Z_{节}$）整定相间距离保护的新算法。该算法不但进一步提高了整定计算速度，而且消除了因开断元件带来的修正误差，并便于编制程序。文中给出了利用$Y_{节}$和$Z_{节}$的整定计算格式。按该算法编制的软件，经与现有实用程序相比较，结果正确。

**关键词**　相间距离　补偿原理　整定计算

## 1　引　言

近年来，为缩短相间距离保护的整定计算周期，把整定计算人员从繁杂的整定计算工作中解放出来，许多大网局、省局的运行或设计部门先后与高校联合或自已开发了相间距离保护整定计算程序[1][2]。

相间距离保护整定计算的关键是在本线末端母线电源为最小方式下，计算不开断元件和轮流开断一个元件又发生短路、相继动作时的配合系数[3]。因此，相间距离保护整定计算可归结为在故障点注入单位电流，求解因母线电源容量变化或因开断元件以及故障造成的网络局部拓扑结构变化时的一系列线性稳态电路的问题。如何求解这一系列的稳态电路关系到算法的优劣。现有算法将网络拓扑结构变化的处理和配合系数的计算分别考虑，首先用支路追加法修改原网节点导纳阵或节点阻抗阵反映网络拓扑结构的变化，然后计算相应的配合系数。这种处理方法不但需要花时间去修改和恢复节点导纳阵或节点阻抗阵，而且多次开断元件时会引进修正误差。为进一步提高相间距离保护的整定计算速度、消除修正误差，本文应用补偿原理将因开断元件或故障造成的网络局部拓扑结构的变化，用在原网相应点注入补偿电流等效，在此基础上利用迭加原理和互易定理将开断支路前后的故障状态有机地联系起来，提出了一种将网络局部拓扑结构变化的处理和配合系数的计算统一考虑的整定计算方法。该算法不但无需修改原网节点导纳阵或节点阻抗阵，一步完成网络拓扑结构变化的处理和配合系数的计算，而且便于编制程序。

## 2　计算方法

### 2.1网络模型的建立

设在原网中开断p—q、s—t支路后，j—$l$支路上距j母线K处发生短路故障，且$l$侧开关先跳开（图2—1）。

根据补偿原理，图2—1中因开断元件和相继动作造成的局部网络拓扑结构变化，可以利用在原网相应点注入补偿电流来等效（图2—2）。图2—2为下面计算各种运行方式下的配合系数所采用的网络模型。

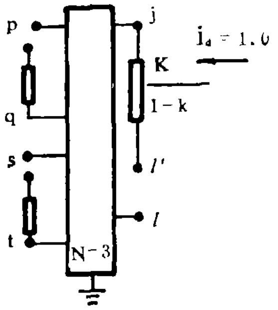


图2—1

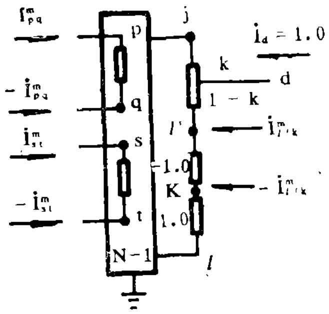


图2—2

**2.2正常方式发生短路故障**

在图2—2中，令补偿电流$\dot{I}^m_{pq}=0$、$\dot{I}^m_{st}=0$和$\dot{I}^m_{l',k}=0$

即得到正常方式，j—l支路上距j母线K处发生短路时的网络模型。

故障时，通过故障支路j—d段的短路电流为：

$$\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}=\frac{\dot{U}^{(d)}_{jd}}{k\bar{Z}_{jl}}$$

将故障点电压，

$$\dot{U}^{(d)}_{d}=K\dot{U}^{(d)}_{l}+(1-K)\dot{U}^{(d)}_{j}+K(1-k)\bar{Z}_{jl}$$

代入上式，并整理：

$$\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}=\frac{\dot{U}^{(d)}_{jl}}{\bar{Z}_{jl}}-(1-K)$$

考虑到故障时，任一母线电压，

$$\dot{U}^{(d)}_{t}=K\dot{U}^{(l)}_{t}+(1-K)\dot{U}^{(j)}_{t}\quad(t=1,2,\cdots,n)$$

$\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}$可按下式求出：

$$\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}=\frac{K\dot{U}^{(l)}_{jl}+(1-K)\dot{U}^{(j)}_{jl}}{\bar{Z}_{jl}}-(1-K)$$

根据互易定理，还可写成：

$$\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}=\frac{K\dot{U}^{(jl)}_{l}+(1-K)\dot{U}^{(jl)}_{j}}{\bar{Z}_{jl}}-(1-K)$$

$$=\frac{\dot{U}^{(jl)}_{j}-K\dot{U}^{(jl)}_{jl}}{\bar{Z}_{jl}}-(1-K)\qquad(2.1)$$

故障时，通过保护所在i—j支路的短路电流为：

$$\dot{I}^{(d)}_{ij\cdot D}=\frac{\dot{U}^{(d)}_{ij}}{\bar{Z}_{ij}}$$

$$=\frac{K\dot{U}^{(l)}_{ij}+(1-K)\dot{U}^{(j)}_{ij}}{\bar{Z}_{ij}}$$

$$=\frac{\dot{U}_{j}^{(il)}-k\dot{U}_{jl}^{(il)}}{\overline{Z}_{il}} \tag{2.2}$$

根据配合系数的定义，可以计算出相应的配合系数，

$$K_{p}=\left|\frac{\dot{I}_{jd}^{(d)}{}_{D}}{\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{D}}\right| \tag{2.3}$$

在上述公式中，$\dot{U}_{pq}^{(i)}$（i=d，$l$，j；pq=j$l$，ij）为在原网节点i注入单位电流时，节点p和q之间的电压；$\dot{U}_{m}^{(pq)}$（pq=j$l$，ij；m=i，j，e）为在原网节点p注入正的单位电流在节点q注入负的单位电流时，节点m的电压；$\overline{Z}_{pq}$（pq=j$l$，ij）为p—q支路的支路阻抗。

今后文中未加说明的符号符合此约定。

综合上述，计算正常方式短路时的配合系数可按如下步骤进行：

a 利用原网络因子表对电流向量

$$I=[0,\cdots,\overset{j}{1},\cdots,\overset{l}{-1},0,\cdots]^{T}$$

进行回代运算，求出$V^{(jl)}$；

b 利用原网络因子表对电流向量

$$I=[0,\cdots,\overset{i}{1},\cdots,\overset{j}{-1},0,\cdots]^{T}$$

进行回代运算，求出$U^{(ij)}$；

c 利用(2.1)式求出故障支路电流$\dot{I}_{jd}^{(d)}{}_{D}$；

d 利用(2.2)式求出保护所在支路电流$\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{D}$；

e 利用(2.3)式求出配合系数$K_{p}$。

由（2.1）式、（2.2）式，还可以推出利用节点阻抗矩阵计算配合系数的步骤：

a 求故障支路电流

$$\dot{I}_{jd}^{(d)}{}_{D}=\frac{(Z_{jj}-Z_{jl})-k(Z_{jj}+Z_{ll}-2Z_{jl})}{\overline{Z}_{jl}}-(1-K)$$

b 求保护所在支路电流

$$\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{D}=\frac{(Z_{ij}-Z_{jj})-K(Z_{ij}-Z_{jj}-Z_{il}+Z_{jl})}{\overline{Z}_{ij}}$$

c 与上述e相同。

## 2.3 正常方式发生相继动作

在图2—2中，令$\dot{I}_{pq}^{m}=0$，$\dot{I}_{St}^{m}=0$，即得到正常方式j—$l$支路上距j母线K处发生短路时，$l$侧先跳开的网络模型。

相继动作时，通过保护所在i—j支路的短路电流为：

$$\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{X}=\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{D}+\dot{I}_{ij}^{(l,K)}\cdot\dot{I}_{l,K\cdot X} \tag{2.4}$$

式中，

$\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{D}$与（2.2）式相同；

$$\dot{I}_{ij}^{(j,K)}=\frac{\dot{U}_{ii}^{(j,K)}}{\bar{Z}_{ii}}$$

$$=\frac{\dot{U}_{ij}^{(jj)}}{\bar{Z}_{jl}\cdot\bar{Z}_{ij}} \qquad (2.4.1)$$

为减少乘除运算次数，将$\dot{I}_{ij}^{(j,k)}$扩大$\bar{Z}_{jl}$倍，这样：

$$\dot{I}_{ij}^{(j,k)}=\frac{\dot{U}_{ij}^{(jj)}}{\bar{Z}_{jl}} \qquad (2.5)$$

（注意：（2.4.1）式只表示$\dot{I}_{ij}^{(j,K)}$的大小和相位关系，而量纲关系为：$\dot{I}_{ij}^{(j,K)}=1.0\,\Omega\times\dot{U}_{ij}^{(jj)}/\bar{Z}_{jl}\cdot\bar{Z}_{ij}$。以下为讨论方便，不再涉及量纲问题）

下面求补偿电流，由图2—2：

任一点m的电压：

$$\dot{U}_{m\cdot x}^{(d)}=\dot{U}_{m}^{(d)}+\dot{U}_{m}^{(l,k)}\cdot\dot{I}_{l,k\cdot x}$$

利用上式可求得补偿电流：

$$\dot{I}_{L,l\cdot x}=-\frac{\dot{U}_{l,k}^{(d)}}{\dot{U}_{l,k}^{(l,k)}-1.0}$$

式中，

$$\dot{U}_{l,k}^{(d)}=\frac{K\dot{U}_{i}^{(il)}+(1-K)\dot{U}_{l}^{(jl)}+K\bar{Z}_{jl}}{\bar{Z}_{jl}}$$

$$\dot{U}_{l,k}^{(l,k)}-1.0=\frac{\dot{U}_{ll}^{(jl)}-\bar{Z}_{jl}}{\bar{Z}_{jl}^{2}}$$

考虑到（2.5）式中已将$\dot{I}_{ij}^{(j,k)}$放大了$\bar{Z}_{jl}$倍，应取：

$$\dot{I}_{l,k\cdot x}=K-\frac{\dot{U}_{l}^{(jl)}}{\dot{U}_{jl}^{(jl)}-\bar{Z}_{jl}} \qquad (2.6)$$

根据配合系数的定义：

$$K_{p}=\left|\frac{1}{\dot{I}_{ij\cdot x}^{(d)}}\right| \qquad (2.7)$$

综合上述，利用2.2节的回代结果$U^{(jl)}$、$U^{(ij)}$计算正常方式发生相继动作时的配合系数可按以下步骤进行：

a 利用(2.5)式求出$\dot{I}_{ij}^{(j,k)}$；

b 利用(2.6)式求出补偿电流$\dot{I}_{l,K\cdot X}$；

c 利用(2.4)式求出$\dot{I}_{ij}^{(d)}{}_{X}$；

d 利用(2.7)式求出配合系数。

由（2.5）式和（2.6）式，还可以推出利用节点阻抗阵计算配合系数的步骤：

a求 $\dot{I}_{ij}^{(l,k)}$

$$\dot{I}_{ij}^{(l,k)}=\frac{(Z_{il}-Z_{ij})-(Z_{jl}-Z_{jj})}{\bar{Z}_{ij}}$$

b 求补偿电流 $\dot{I}_{l,k\cdot x}$

$$\dot{I}_{l,k\cdot x}=k-\frac{Z_{jj}-Z_{jl}}{Z_{jj}-2Z_{jl}+Z_{ll}-\bar{Z}_{jl}}$$

c 与上述d相同。

2.4 开断一个元件又发生短路故障

在图2—2中，令 $\dot{I}_{p,q}^{m}=0$，$\dot{I}_{l,K}^{m}=0$，即得到开断p—q支路后，j—$l$支路上距j母线K处发生短路时的网络模型。

故障时通过故障支路j—d段的短路电流为：

$$\dot{I}_{jd\cdot D}^{(d)\prime}=\dot{I}_{jd\cdot D}^{(d)}+\dot{I}_{jd}^{(pq)}\cdot\dot{I}'_{pq\cdot D} \tag{2.8}$$

通过保护所在i—j支路的短路电流为：

$$\dot{I}_{ij\cdot D}^{(d)\prime}=\dot{I}_{ij\cdot D}^{(d)}+\dot{I}_{ij}^{(pq)}\cdot\dot{I}'_{pq\cdot D} \tag{2.9}$$

(2.8)式和(2.9)式中，

$\dot{I}_{jd\cdot D}^{(d)}$、$\dot{I}_{ij\cdot D}^{(d)}$已在(2.1)式和(2.6)式中求出；

$$\dot{I}_{jd}^{(pq)}=\frac{\dot{U}_{jl}^{(pq)}}{\bar{Z}_{jl}} \tag{2.10}$$

$$\dot{I}_{ij}^{(pq)}=\frac{\dot{U}_{ij}^{(pq)}}{\bar{Z}_{ij}} \tag{2.11}$$

用类似2.3节中求补偿电流$\dot{I}_{l,K\cdot x}$的分析方法，可求得：

$$\dot{I}'_{pq\cdot D}=\frac{\dot{U}_{j}^{(pq)}-K\dot{U}_{l}^{(pq)}}{\dot{U}_{pq}^{(pq)}-\bar{Z}_{pq}} \tag{2.12}$$

根据配合系数的定义，可求得配合系数：

$$K_{b}=\left|\frac{\dot{I}_{jd\cdot D}^{(d)\prime}}{\dot{I}_{ij\cdot D}^{(d)\prime}}\right| \tag{2.13}$$

综合上述分析，计算开断一个元件又发生短路故障时的配合系数可按以下步骤进行：

a 利用原网络因子表对电流向量

$$I=[0,\ \cdots,\ \overset{p}{1},\ \cdots,\ \overset{q}{-1},\ 0,\ \cdots]^{T}$$

进行回代运算，求出$U^{(pq)}$；

b 利用(2.10)式求出 $\dot{I}_{jd}^{(pq)}$；

c 利用(2.11)式求出$\dot{I}_{ij}^{(pq)}$；

d 利用(2.12)式求出$\dot{I}'_{pq\cdot D}$；

e 利用（2.8）式求出$\dot{I}^{(d)\prime}_{jl\cdot D}$；

f 利用（2.9）式求出$\dot{I}^{(d)\prime}_{ij\cdot D}$；

g 利用（2.13）式求出配合系数$K_i$。

由（2.10）、（2.11）和（2.12）式，还可以推出利用节点阻抗阵计算配合系数的步骤：

a 求$\dot{I}^{(pq)}_{jl}$

$$\dot{I}^{(pq)}_{jl}=\frac{(Z_{pj}-Z_{qj})-(Z_{pl}-Z_{ql})}{\bar{Z}_{jl}}$$

b 求$\dot{I}^{(pq)}_{ij}$

$$\dot{I}^{(pq)}_{ij}=\frac{(Z_{pi}-Z_{pj})-(Z_{qi}-Z_{qj})}{\bar{Z}_{ij}}$$

c 求补偿电流$\dot{I}'_{pq\cdot D}$

$$\dot{I}'_{pq\cdot D}=-\frac{(Z_{jp}-Z_{jq})-K(Z_{pj}-Z_{pl}-Z_{qj}+Z_{ql})}{Z_{pp}+Z_{qq}-2Z_{pq}-\bar{Z}_{pq}}$$

d、e、f与上述e、f、g相同。

## 2.5 开断一个元件又发生相继动作

在图2—2中，令$\dot{I}_{jl}=0$，即得到开断p—q支路、j—e支路上距j母线K处发生短路，l侧开关先跳开时的网络模型。

相继动作时，通过保护所在i—j支路的短路电流为：

$$\dot{I}^{(d)\prime}_{ij\cdot X}=\dot{I}^{(d)}_{ij\cdot D}+\dot{I}^{(pq)}_{ij}\cdot\dot{I}'_{pq\cdot X}+\dot{I}^{(l'k)}_{ij}\cdot\dot{I}_{l'K\cdot X}\tag{2.14}$$

式中，

$\dot{I}^{(d)}_{ij\cdot D}$、$\dot{I}^{(pq)}_{ij}$、$\dot{I}^{(l'k)}_{ij}$已在（2.1）、（2.11）、（2.5）式求出。

下面求补偿电流$\dot{I}'_{pq\cdot X}$、$\dot{I}'_{l'k\cdot X}$：

由图2—2，用类似2.3节求补偿电流的分析方法，可求得：

$$\begin{bmatrix}\dot{U}^{(pq)}_{pq}-\bar{Z}_{pq} & \dot{U}^{(pq)}_{jl}\\ \dot{U}^{(jl)}_{pq} & \dot{U}^{(jl)}_{jl}-\bar{Z}_{jl}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}'_{pq\cdot X}\\ \dot{I}_{l'K\cdot X-k}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\dot{U}^{(d)}_{pq}\\ -\dot{U}^{(d)}_{jl}\end{bmatrix}$$

整理：

$$\begin{bmatrix}1 & K_1\\ K_2 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}'_{pq\cdot X}\\ \dot{I}'_{l'K\cdot X}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dot{I}'_{pq\cdot D}\\ \dot{I}_{l'K\cdot X}\end{bmatrix}\tag{2.15}$$

式中，

$$K_1=\frac{\dot{U}^{(pq)}_{jl}}{\dot{U}^{(pq)}_{pq}-\bar{Z}_{pq}};\tag{2.16}$$

$$K_2=\frac{\dot{U}^{(jl)}_{pq}}{\dot{U}^{(jl)}_{jl}-\bar{Z}_{jl}};\tag{2.17}$$

$\dot{I}'_{pq\cdot D}$与（2.12）式相同；

$\dot{I}_{l,K\cdot X}$与（2.6）式相同。

由（2.15）可解得：

$$\dot{I}'_{pq\cdot X}=\frac{\dot{I}'_{pq\cdot D}-K_1\cdot\dot{I}_{l,k\cdot X}}{1-K_1\cdot K_2} \tag{2.18}$$

$$\dot{I}'_{l,k\cdot X}=\dot{I}_{l,k\cdot X}-K_2\cdot\dot{I}'_{pq\cdot X} \tag{2.19}$$

根据配合系数的定义：

$$K_p=\frac{1}{\dot{I}^{(d)\prime}_{ij\cdot X}} \tag{2.20}$$

综合上述，利用2.2节和2.4节的回代结果$U^{(jl)}$和$U^{(pq)}$计算开断一个元件又发生相继动作时的配合系数可按以下步骤进行：

a 利用（2.16）式求出系数$K_1$；

b 利用（2.17）式求出系数$K_2$；

c 利用（2.18）式求出补偿电流$\dot{I}'_{pq\cdot X}$；

d 利用（2.19）式求出补偿电流$\dot{I}_{l,K\cdot X}$；

e 利用（2.14）式求出$\dot{I}^{(d)\prime}_{ij\cdot X}$；

f 利用（2.20）式求出配合系数。

由（2.16）式和（2.17）式，还可以推出利用节点阻抗阵计算配合系数的步骤：

a 求系数$K_1$

$$K_1=\frac{(Z_{pj}-Z_{qj})-(Z_{pl}-Z_{ql})}{Z_{pp}-2Z_{pq}+Z_{qq}-\overline{Z}_{pq}}$$

b 求系数$K_2$

$$K_2=\frac{(Z_{pj}-Z_{qj})-(Z_{pl}-Z_{ql})}{Z_{jj}-2Z_{jl}+Z_{ll}-\overline{Z}_{jl}}$$

c、d、e、f同上。

## 2.6 开断二个元件又发生短路故障

在图2—2中，令$\dot{I}^{m}_{l,k}=0$，即得到开断p—q和s—t支路后，j—l支路上距j母线K处短路时的网络模型。

故障时通过故障支路j—d段的短路电流为：

$$\dot{I}^{(d)\prime\prime}_{jd\cdot D}=\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}+\dot{I}^{(pq)}_{jd}\cdot\dot{I}''_{pq\cdot D}+\dot{I}^{(st)}_{jd}\cdot\dot{I}''_{st\cdot D} \tag{2.21}$$

通过保护所在i—j支路的短路电流为：

$$\dot{I}^{(d)\prime\prime}_{ij\cdot D}=\dot{I}^{(d)}_{ij\cdot D}+\dot{I}^{(pq)}_{ij}\cdot\dot{I}''_{pq\cdot D}+\dot{I}^{(st)}_{ij}\cdot\dot{I}''_{st\cdot D} \tag{2.22}$$

（2.21）式和（2.22）式中，

$\dot{I}^{(d)}_{jd\cdot D}$和$\dot{I}^{(d)}_{ij\cdot D}$已在（2.1）式、（2.6）式中求出；

$\dot{I}^{(pq)}_{jd}$和$\dot{I}^{(pq)}_{ij}$已在（2.10）式、（2.11）式中求出；

$$\dot{I}_{jd}^{(st)}=\frac{\dot{U}_{jj}^{(st)}}{\overline{Z}_{jj}} \qquad (2.23)$$

$$\dot{I}_{ij}^{(st)}=\frac{\dot{U}_{ij}^{(st)}}{Z_{ij}} \qquad (2.24)$$

下面求补偿电流 $\dot{I}''_{pq\cdot D}$、$\dot{I}''_{st\cdot D}$：

用类似于2.3节中求补偿电流的分析方法，可求得：

$$\begin{pmatrix} 1 & K_3 \\ K_4 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \dot{I}''_{pq\cdot D} \\ \dot{I}''_{st\cdot D} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \dot{I}'_{pq\cdot D} \\ \dot{I}'_{st\cdot D} \end{pmatrix}$$

由此式解出：

$$\dot{I}''_{pq\cdot D}=\frac{\dot{I}'_{pq\cdot D}-K_3\dot{I}'_{st\cdot D}}{1-K_3\cdot K_4} \qquad (2.25)$$

$$\dot{I}''_{st\cdot D}=\dot{I}'_{st\cdot D}-K_4\cdot\dot{I}''_{pq\cdot D} \qquad (2.26)$$

式中，

$\dot{I}'_{pq\cdot D}$与（2.12）式相同；

$$\dot{I}'_{st\cdot D}=-\frac{\dot{U}_{j}^{(st)}-K\cdot\dot{U}_{jj}^{(st)}}{\dot{U}_{st}^{(st)}-\overline{Z}_{st}} \qquad (2.27)$$

$$K_3=\frac{\dot{U}_{pq}^{(st)}}{\dot{U}_{pq}^{(pq)}-\overline{Z}_{pq}} \qquad (2.28)$$

$$K_4=\frac{\dot{U}_{st}^{(pq)}}{\dot{U}_{st}^{(st)}-\overline{Z}_{st}} \qquad (2.29)$$

根据配合系数的定义：

$$K_p=\left|\frac{\dot{I}_{jd\cdot D}^{(d)''}}{\dot{I}_{ij\cdot D}^{(d)''}}\right| \qquad (2.30)$$

综合上述，利用2.4节的回代结果$U^{(pq)}$计算开断二个元件又发生短路故障时的配 合系数可按以下步骤进行：

a 利用原网因子表对电流向量

$$I=[0,\ \cdots,\ \overset{s}{1},\ \cdots,\ \overset{t}{-1},\ 0,\ \cdots]^T$$

进行回代运算，求出$U^{(st)}$；

b 利用(2.23)式求出$\dot{I}_{jd}^{(st)}$；

c 利用(2.24)式求出$\dot{I}_{ij}^{(st)}$；

d 利用(2.27)式求出$\dot{I}'_{st\cdot D}$；

e 利用(2.28)式求出$K_3$；

f 利用(2.29)式求出$K_4$；

g 利用（2.25）式求出 $\dot{I}''_{pq\cdot D}$；

h 利用（2.26）式求出 $\dot{I}''_{st\cdot D}$；

i 利用（2.21）式求出 $\dot{I}_{ij\cdot D}^{(4)''}$；

j 利用（2.22）式求出 $\dot{I}_{ij\cdot D}^{(4)''}$；

k 利用（2.30）式求出配合系数。

由（2.23）～（2.29）式，还可以推出利用节点阻抗阵计算配合系数的步骤：

a 求 $\dot{I}_{jl}^{(st)}$

$$\dot{I}_{jl}^{(st)} = \frac{(Z_{sj}-Z_{tj})-(Z_{sl}-Z_{tl})}{\overline{Z}_{jl}},$$

b 求 $\dot{I}_{ij}^{(st)}$

$$\dot{I}_{ij}^{(st)} = \frac{(Z_{si}-Z_{ti})-(Z_{sj}-Z_{tj})}{\overline{Z}_{ij}},$$

c 求 $\dot{I}'_{st\cdot D}$

$$\dot{I}'_{st\cdot D} = \frac{(Z_{js}-Z_{jt})-K(Z_{sj}-Z_{tj}-Z_{sl}+Z_{tl})}{Z_{ss}-2Z_{st}+Z_{tt}-\overline{Z}_{st}}$$

d 求 $K_3$

$$K_3 = \frac{(Z_{sp}-Z_{tp})-(Z_{sq}-Z_{tq})}{Z_{pp}-2Z_{pq}+Z_{qq}-\overline{Z}_{pq}};$$

e 求 $K_4$

$$K_4 = \frac{(Z_{ps}-Z_{qs})-(Z_{pt}-Z_{qt})}{Z_{ss}-2Z_{st}+Z_{tt}-\overline{Z}_{st}};$$

f、g、h、i、j与上述g、h、i、j、k相同。

## 2.7 开断二个元件又发生相继动作

图2—2为开断p—q、s—t支路后，j—$l$支路上距j母线K处发生短路，$l$侧开关先跳开时的网络模型。

相继动作时，通过保护所在i—j支路的短路电流为：

$$\dot{I}_{ij\cdot X}^{(4)''} = \dot{I}_{ij\cdot D}^{(4)} + \dot{I}_{ij}^{(pq)}\cdot\dot{I}''_{pq\cdot X} + \dot{I}_{ij}^{(st)}\cdot\dot{I}''_{st\cdot X} + \dot{I}_{ij}^{(l'K)}\cdot\dot{I}''_{l'K\cdot X} \qquad (2.31)$$

式中，

$\dot{I}_{ij\cdot D}^{(4)}$、$\dot{I}_{ij}^{(pq)}$、$\dot{I}_{ij}^{(st)}$、$\dot{I}_{ij}^{(l'K)}$、已在（2.1）、（2.11）、（2.24）和（2.5）式求出。

下面求补偿电流 $\dot{I}''_{pq\cdot X}$、$\dot{I}''_{st\cdot X}$、$\dot{I}''_{l'K\cdot X}$：

用类似2.3节中求补偿电流的分析方法，可求得：

$$\begin{bmatrix} 1 & K_3 & K_1 \\ K_4 & 1 & K_5 \\ K_2 & K_6 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}''_{pq\cdot X} \\ \dot{I}''_{st\cdot X} \\ \dot{I}''_{l'K\cdot X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}'_{pq\cdot D} \\ \dot{I}'_{st\cdot D} \\ \dot{I}_{l'K\cdot X} \end{bmatrix} \qquad (2.32)$$

式中

$K_1$、$K_2$、$K_3$和$K_4$已在（2.16）、（2.17）、（2.28）、（2.29）式中求出；

$$K_5=\frac{\dot{U}_{jl}^{(st)}}{\dot{U}_{st}^{(st)}-\overline{Z}_{st}} \tag{2.33}$$

$$K_6=\frac{\dot{U}_{jl}^{(st)}}{\dot{U}_{jl}^{(jl)}-\overline{Z}_{jl}} \tag{2.34}$$

由（2.32）式可解得：

$$\dot{I}''_{pq \cdot x}=\frac{\dot{I}'_{pq \cdot x}-K_7 \cdot K_8}{1-K_7 \cdot K_9} \tag{2.35}$$

$$\dot{I}''_{st \cdot x}=K_8-K_9 \cdot \dot{I}''_{pq \cdot x} \tag{2.36}$$

$$\dot{I}''_{l/k \cdot x}=\dot{I}_{l/k \cdot x}-K_2 \cdot \dot{I}_{pq \cdot x}-K_6 \cdot \dot{I}''_{st \cdot x} \tag{2.37}$$

式中，

$$K_7=\frac{K_3-K_1 \cdot K_6}{1-K_1 \cdot K_2} \tag{2.38}$$

$$K_8=\frac{\dot{I}'_{st \cdot D}-K_5 \cdot \dot{I}_{l/k \cdot x}}{1-K_5 \cdot K_6} \tag{2.39}$$

$$K_9=\frac{K_4-K_2 \cdot K_5}{1-K_5 \cdot K_6} \tag{2.40}$$

根据配合系数的定义：

$$K_P=\left|\frac{1}{\dot{I}_{(j) \cdot x}^{(d)''}}\right| \tag{2.41}$$

综合上述，利用2.2节中的回代结果计算开断二个元件又发生相继动作时的配合系数可f按以下步骤进行：

a 利用（2.33）式求$K_5$；

b 利用（2.34）式求$K_6$；

c 利用（2.38）式求$K_7$；

d 利用（2.39）式求$K_8$；

e 利用（2.40）式求$K_9$；

f 利用（2.35）式求$\dot{I}''_{pq \cdot x}$；

g 利用（2.36）式求$\dot{I}''_{st \cdot x}$；

h 利用（2.37）式求$\dot{I}''_{l/k \cdot x}$；

i 利用（2.31）式求$\dot{I}_{(j) \cdot x}^{(d)''}$；

j 利用（2.41）式求出配合系数$K_P$；

由（2.33）、（2.34）式，还可以推出利用节点阻抗阵计算配合系数的步骤：

a 求$K_5$

$$K_5=\frac{(Z_{sj}-Z_{tj})-(Z_{sl}-Z_{tl})}{Z_{ss}-2 \cdot Z_{st}+Z_{tt}-\overline{Z}_{st}}$$

b 求$K_6$

$$K_6=\frac{(Z_{ij}-Z_{il})-(Z_{lj}-Z_{ll})}{Z_{jj}-2\cdot Z_{jl}+Z_{ll}-\overline{Z}_{ll}}$$

c～j 同上。

在（2.1）～（2.41）公式中，令K＝1即得到j—l支路对侧母线发生短路或l母线侧先跳开时的配合系数计算公式。

一般情况下，在继电保护整定计算中常将同一条母线上电源容量的变化等效成两种情况[3]，因此开断二个元件基本能满足整定计算要求。特殊情况需考虑开断三个元件时，按上述基本思想，不难推出相应的公式。

## 3 算法校核

按文中算法编制的软件已在VAX—11机上调试通过，并对东北网部分地区进行了实算，经与东北电管局调度局等网局所使用的相间距离保护整定计算程序[1]相比较，结果正确。不久将投入实际使用。

## 4 结论

本文基于补偿原理、迭加原理和互易定理提出了一种将网络局部拓扑结构变化的处理和配合系数的计算统一考虑的整定计算方法。该算法的主要特色是：

4.1 不修改原网$Y_节$或$Z_节$，就能完成全部整定计算工作，不但提高了整定计算速度而且消除了修正误差，并便于编制程序；

4.2 无论利用节点导纳阵还是利用节点阻抗阵进行整定计算，当运行方式变化时，只需计算配合系数中新出现的电气量，计算中没有重复工作；

4.3 利用原网$Y_节$进行整定计算时，整定一套相间距离保护的计算量只比利用原网$Z_节$时增加4次回代运算，并在回代过程中充分利用稀疏矩阵和稀疏向量的特点来加快回代速度；

4.4 本文的基本思想同样适用于其它原理保护的整定计算，本文作者正在做这方面工作。

**参考文献**

〔1〕相间距离保护整定计算实用程序。东北电力学院。东北电管局调度局。1986年。

〔2〕王珍珍，彭丰。电力系统相间距离保护整定计算及管理综合程序的研制。继电器，1991，3。

〔3〕220～500kV继电保护软件包原则。东北电管局调度局，东北电力学院。1988年。