可设 $\dot{U}_i^{(0)}=1\angle 0$（角度为弧度数）。

(3) 为节省计算时间，对于循环中不变的常数，如$\frac{P_i-jQ_i}{Y_{ii}}$、$\frac{Y_{ij}}{Y_{ii}}$可放在循环外事先算好。

(4) 开始几次迭代可暂不检查 PV 节点的 $Q_i^{(?)}(i=m+1,m+2,\cdots,n-1)$，而在接近收敛时再进行检查。

(5) 整个程序流程包括两个循环，一是有限次（n－1 次）的内循环，每迭代一次，所有 n－1 个节点都要计算一次；二是由收敛指标 $\Delta U_{max}<\varepsilon$ 决定的外循环。

4-7 牛顿——拉夫逊法计算潮流

应用牛顿——拉夫逊法进行潮流计算的关键是根据功率方程找出其相应的修正方程，同时在迭代计算时要根据各节点的给定量及各变量的约束条件进行适当处理。

功率方程（采用导纳）有直角坐标与极坐标两种形式，在处理方式上略有不同，下面分别叙述。

1 直角坐标形式

(1) 功率方程

功率方程形如式(4-45)所示。在牛顿——拉夫逊法中要求写成 $f_i(x)=0$ 的形式。但由于实际电力系统各节点给定量不同，其相应的方程式也有所不同。

对于 PQ 节点（$i=1,2,\cdots,m$），给定量为节点注入功率，记为 P_{ic}、Q_{ic}，则由式(4-45)可得

$$\left.\begin{aligned}\Delta P_i&=P_{ic}-e_i\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}e_j-B_{ij}f_j)-f_i\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}f_j+B_{ij}e_j)=0\\ \Delta Q_i&=Q_{ic}-f_i\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}e_j-B_{ij}f_j)+e_i\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}f_j+B_{ij}e_j)=0\end{aligned}\right\}\qquad(4\text{-}86)$$

$$i=1,2,\cdots,m$$

式中，ΔP_i、ΔQ_i 分别代表第 i 节点的有功功率的误差、无功功率误差，相当于式(4-70)中的 $f_i(x)$，其物理意义是节点功率的不平衡量。

对于 PV 节点（$i=m+1,m+2,\cdots,n-1$），给定量为节点注入有功功率及电压数值，记为 P_{ic}、U_{ic}，因此代替式(4-86)中无功功率误差方程的是电压数值误差方程，即为

$$\left.\begin{aligned}\Delta P_i&=P_{ic}-e_i\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}e_j-B_{ij}f_j)-f_i\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}f_i+B_{ij}e_j)=0\\ \Delta U_i^2&=U_{ic}^2-(e_i^2+j_i^2)=0\end{aligned}\right\}\qquad(4\text{-}87)$$

$$i=m+1,m+2,\cdots,n-1$$

对于平衡节点（$i=n$），因为其电压数值及角度给定，所以 $\dot{U}_n=e_n+jf_n$ 也确定，不需参加迭代计算。

因此功率方程共有 2(n－1)个实数方程，前 2m 个形式如式(4－86)，后 2(n－1－m)个形式如式(4－87)。

(2) 修正方程

将上述 2(n－1)个方程按台劳级数展开，并略去修正量 Δe_i、Δf_i 的高次方项后，可得如下形式的修正方程：

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta Q_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta Q_2 \\ \cdots \\ \Delta P_{m+1} \\ \Delta U_{m+1}^2 \\ \cdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & N_{11} & H_{12} & N_{12} & \cdots H_{1\,m+1} & N_{1\,m+1} & \cdots \\ J_{11} & L_{11} & J_{12} & L_{12} & \cdots J_{1\,m+1} & L_{1\,m+1} & \cdots \\ H_{21} & N_{11} & H_{22} & N_{22} & \cdots H_{2\,m+1} & N_{2\,m+1} & \cdots \\ J_{21} & L_{21} & J_{22} & L_{22} & \cdots J_{2\,m+1} & L_{2\,m+1} & \cdots \\ \cdots & & & & & \cdots & \\ H_{m+1\,1} & N_{m+1\,1} & H_{m+1\,2} & N_{m+1\,2} & \cdots H_{m+1\,m+1} & N_{m+1\,m+1} & \cdots \\ R_{m+1\,1} & S_{m+1\,1} & R_{m+1\,2} & S_{m+1\,2} & \cdots R_{m+1\,m+1} & S_{m+1\,m+1} & \cdots \\ \cdots\cdots & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_1 \\ \Delta f_1 \\ \Delta e_2 \\ \Delta f_2 \\ \cdots \\ \Delta e_{m+1} \\ \Delta f_{m+1} \\ \cdots \end{bmatrix} \tag{4-88}$$

雅可比矩阵的各个元素如下：

非对角块元素：$j\neq i$

$$\left.\begin{aligned} H_{ij} &= \frac{\partial \Delta P_i}{\partial e_j} = -(G_{ij}e_i + B_{ij}f_i) \\ N_{ij} &= \frac{\partial \Delta P_i}{\partial f_j} = B_{ij}e_i - G_{ij}f_i \\ J_{ij} &= \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial e_j} = -G_{ij}f_i + B_{ij}e_i = N_{ij} \\ L_{ij} &= \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial f_j} = B_{ij}f_i + G_{ij}e_i = -H_{ij} \\ R_{ij} &= \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial e_j} = 0 \\ S_{ij} &= \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial f_j} = 0 \end{aligned}\right\} \tag{4-89}$$

对角块元素：$j=i$

$$\left.\begin{aligned} H_{ii} &= \frac{\partial \Delta P_i}{\partial e_i} = -\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) - G_{ii}e_i - B_{ii}f_i \\ N_{ii} &= \frac{\partial \Delta P_i}{\partial f_i} = -\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j) - G_{ij}f_i + B_{ii}e_i \\ J_{ii} &= \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial e_i} = \sum_{j=1}^{n}(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j) - G_{ii}f_i + B_{ii}e_i \\ L_{ii} &= \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial f_i} = -\sum_{j=1}^{n}(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) + G_{ii}e_i + B_{ii}f_i \\ R_{ii} &= \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial e_i} = -2e_i \\ S_{ii} &= \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial f_j} = -2f_i \end{aligned}\right\} \tag{4-90}$$