供水系统宏观模型的建立和优化工况点的确定

廖振良　　　　**俞国平**

(江西省建设厅　南昌　330046)　　(同济大学)

摘　要　本文对于测压点压力宏观模型,经过数学推导,给出了一种解法,并且以实例对模型进行了验证;在宏观模型的基础上,利用简约梯度法推求各供水泵站的理论最优工况点,并考虑目标函数的约束条件以确定最终的满意解。

关键词　给水管网　宏观模型　优化调度　泵站。

1　供水管网宏观模型

供水管网是由泵站、管道及阀门等水力要素组成的大型复杂网络系统。给水管网运行时,管网状态随用户水量变化而随机变化,很多状态变量和参数量属未知。运行着的管网的已知量仅限于少量测流测压信息。如何利用少量测流测压值及管路网络拓扑结构推求其它状态变量以确定管网状态是个值得研究的问题。

随着供水技术的发展和遥测技术的推广应用,将一次性仪表和通讯系统结合,用微机可对测量数据实现连续监控。Robert 在 1975 年提出的宏观模型方法[1]。即在运行记录的基础上,建立各主要变量随时间变化的经验关系模型。大量学者开始了这方面的研究。毋庸置疑的是,测量数据作为时间序列样本,必有其内在的关系和联系。运用时间序列分析方法和预测理论建立数据的宏观模型具有很重要的意义。

1.1　测压点宏观模型的建立

在正常供水条件下,调度方案在一定时段内是确定的。在一定供水时段内,管网状态变化具有明显的趋势性。通常管网正常运行时,管路网络拓扑结构不变,影响管网状态的主要因素是供水泵站压力和各用户水量。由于管网监测点均匀分布在各个区域,其中泵站压力和流量直接反映了水源的工况,测压点可大致反映管网的工况。可以认为,管网状态变化可用所有监测信息大致反映管网的工况。可以认为,管网状态变化可用所有监测信息大致反映出来。

吴学伟用实验验证了以下关系[2]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial H_j}{\partial h_i} = a_{ji} = \text{常数} \\[2ex] \dfrac{\partial H_j}{\partial {Q_p}^n} = S_{jp} = \text{常数} \end{cases} \tag{1}$$

式中: H_j 为节点 j 的压力;h_i 为测压点 i 的压力;Q_p 为泵站 p 的流量;n 为流量指数,通常取 1.75～2.0;a_{ji} 指 H_j 随 h_i 的微变系数;S_{jp} 指 H_j 随 ${Q_p}^n$ 的微变系数。

并且整理出给水管网的状态估计模型:

$$H_j = C_j + \sum_{k=1}^{m} A_{jk} h_k + \sum_{s=1}^{p} B_{js} Q_s^n \qquad j = 1, 2 \cdots p \tag{2}$$

式中: C_j, A_{jk}, B_{js} 为系数常数。

利用以上测压点宏观模型,可以建立泵站出口压力与管网测压点压力及泵站出口流量之间的关系模型如下:

设管网中共有 p 个泵站, m 个测压点,则泵站出口压力可用下式表示:

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdots \\ H_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdots \\ C_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11} A_{12} \cdots A_{1m} \\ A_{21} A_{22} \cdots A_{2m} \\ \cdots\cdots\cdots \\ A_{p1} A_{p2} \cdots A_{pm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \cdots \\ h_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} B_{12} \cdots B_{1p} \\ B_{21} B_{22} \cdots B_{2p} \\ \cdots\cdots\cdots \\ B_{p1} B_{p2} \cdots B_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1^n \\ Q_2^n \\ \cdots \\ Q_p^n \end{bmatrix} \tag{3}$$

对于某一监测时刻，有一组监测数据 $\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdots \\ H_p \end{bmatrix}$ 和 设厅

$[h_1 h_2 \cdots h_m Q_1 Q_2 \cdots Q_P]$，设共有 s 组监测数据，s > m + p，它们为 $\begin{bmatrix} H_{11} H_{12} \cdots H_{1p} \\ H_{21} H_{22} \cdots H_{2p} \\ \cdots\cdots\cdots \\ H_{s1} H_{s2} \cdots H_{sp} \end{bmatrix}$ 和

素 组

$\begin{bmatrix} h_{11} h_{12} \cdots h_{1m} Q_{11} Q_{12} \cdots Q_{1p} \\ h_{21} h_{22} \cdots h_{2m} Q_{21} Q_{22} \cdots Q_{2p} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ h_{s1} h_{s2} \cdots h_{sm} Q_{s1} Q_{s2} \cdots Q_{sp} \end{bmatrix}$ 其中第 K 个泵站记

的泵站出口压力为 $\begin{bmatrix} H_{1k} \\ H_{2k} \\ \cdots \\ H_{sk} \end{bmatrix}$。

有 其

对于第 K 个泵站，有：$H_{ik} = C_k + \sum_{d=1}^{m} A_{kd} h_{id} + \sum_{b=1}^{p} B_{kb} Q_{ib}$ (i = 1, 2 …, s)。

利用这 s 个方程组成的方程组，采用最小二乘法可以解出

$(C_k, A_{k1}, A_{k2}, \cdots A_{km}, B_{k1}, B_{k2} \cdots, B_{kp})$。

解法如下：

用 $\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdots \\ b_s \end{bmatrix}$ 代替 $\begin{bmatrix} H_{1k} \\ H_{2k} \\ \cdots \\ H_{sk} \end{bmatrix}$；

用 $\begin{bmatrix} a_{11} a_{12} \cdots a_{1(1+m+p)} \\ a_{21} a_{22} \cdots a_{2(1+m+p)} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_{s1} a_{s2} \cdots a_{s(1+m+p)} \end{bmatrix}$ 代替

$\begin{bmatrix} 1 h_{11} h_{12} \cdots h_{1m} Q_{11}^n Q_{12}^n \cdots Q_{1p}^n \\ 1 h_{21} h_{22} \cdots h_{2m} Q_{21}^n Q_{22}^n \cdots Q_{2p}^n \\ 1 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ 1 h_{s1} h_{s2} \cdots h_{sm} Q_{s1}^n Q_{s2}^n \cdots Q_{sp}^n \end{bmatrix}$

并令 1 + m + p = q，再用 $(x_1, x_2, \cdots, x_q)$ 代替 $(C_k, A_{k1}, A_{k2}, \cdots, A_{km}, B_{k1}, B_{k2}, \cdots, B_{kp})$。

可得如下方程组：

$$b_i = \sum_{j=1}^{m} a_{ij} x_i \qquad (i = 1, 2 \cdots, S)$$

令 $M = \sum_{i=1}^{s} \cdot (\sum_{j=1}^{m} a_{ij} x_i - b_i)^2$

并令 M 对 x_i 的偏导数为 0：

$$\frac{\partial M}{\partial x_i} = 0 \qquad (i = 1, 2 \cdots s)$$

可得如下方程组：

$$\begin{cases} r_{11} x_1 + r_{12} x_2 + \cdots + r_{1q} x_q - t_1 = 0 \\ r_{21} x_1 + r_{22} x_2 + \cdots + r_{2q} x_q - t_1 = 0 \\ r_{q1} x_1 + r_{q2} x_2 + \cdots + r_{qq} x_q - t_1 = 0 \end{cases} \qquad 1$$

其中 $r_{kl} = \sum_{i=1}^{s} a_{ik} a_{ij}$ (k = 1, s; l = 1, q)

$$t_k = \sum_{i=1}^{s} a_{ik} b_i \qquad (k = 1, s)$$

可利用高斯主元消去法，求出 $(x_1, x_2, \cdots x_q)$。

即 $(C_k, A_{k1}, A_{k2}, \cdots, A_{km}, B_{k1}, B_{k2}, \cdots, B_{kp})$。

对所有个泵站均用此法求解，即可得出：

$$\begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ \cdots \\ Cp \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} A_{11} A_{12} \cdots A_{1m} \\ A_{21} A_{22} \cdots A_{2m} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ A_{p1} A_{p2} \cdots A_{pm} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} B_{11} B_{12} \cdots B_{1p} \\ B_{21} B_{22} \cdots B_{2p} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ B_{p1} B_{p2} \cdots B_{pp} \end{bmatrix}。$$

由此，方程式(2)所表示的测压点宏观模型便建立了。

1.2 宏观模型的例证

一年按季节、气候可以分为若干时期，在同一时期中每天同一小时的用水状况基本是相同的，所以，对于同一时期的每天同一小时，利用往年的监测数据，可以建立起一个模型。对于每天 24h，则可逐时地建立 24 个模型。而对全年而言，每一时期都能建立起类似的模型，则可对全年的供水实行优化调度。

福州市自来水公司与同济大学合作研究该市供水优化调度系统。目前已着手进行管网宏观模型的建立工作。

福州市为福建省省会,人口约 130 万。由于闽江穿越福州市区,因此福州市给水系统形成闽江南部和闽江北部两个供水区,两供水区之间由悬挂在大桥上的给水管道连通。南部供水区水厂规模很小,北部供水区分布着 4 座水厂,分别为新西厂(目前 30 万 t/ d)、北厂(15 万 t/ d)、东南厂(15 万 t/ d)、东厂(2.5 万 t/ d)。4 座水厂水源全部为闽江。

考虑 3 座主要水厂(新西厂、北厂、东南厂),利用管网中 7 个测压点的监测值,建立模型。

按照前述方法建立各供水泵站出口压力与流量和各测压点压力之间的关系模型,即测压点压力宏观模型。即要求如下表达式中的系数:

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11} A_{12} \cdots A_{17} \\ A_{21} A_{22} \cdots A_{27} \\ A_{31} A_{32} \cdots A_{37} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \cdots \\ h_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 B_2 B_3 \\ B_1 B_2 B_3 \\ B_1 B_2 B_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1^2 \\ Q_2^2 \\ Q_3^2 \end{bmatrix}$$

下面举一个小时的例子来讨论,具体步骤如下:

a. 选择 1996 年 3 月 19 日至 4 月 20 日这一时段的每天的 21 时为建模时刻。这段时期各个监测值都有的天数为 26 天。

b. 由于忽略了其它水厂的影响,3 个水厂在每天的 21 时供水总量值波动较大,导致计算结果不正确。在去除总量值偏差较远的 10 天后,得到合理结果。最后选定剩余 16 天的监测值为建立模型的数据。

c. 监测记录表见表 1。

表 1 福州市管网监测记录 压力:MPa

测点编号	1	2	3	4	5	6	7	H_1	H_2	H_3	Q_1	Q_2	Q_3
测点名称	人民医院	东百	先施	华联	鼓山农行	物质大厦	盖山	新西厂	北厂	东南厂		单位 1/ s	
3 月 19 日	0.36	0.35	0.23	0.27	0.24	0.39	0.22	0.46	0.39	0.40	3052.2	1972.2	2133.3
3 月 20 日	0.36	0.34	0.22	0.25	0.23	0.37	0.23	0.44	0.39	0.40	3116.1	1916.7	2122.2
3 月 21 日	0.37	0.31	0.19	0.22	0.20	0.35	0.19	0.44	0.33	0.38	3014.4	1777.8	2050.0
3 月 24 日	0.36	0.34	0.22	0.26	0.25	0.38	0.21	0.45	0.39	0.41	3033.1	2000.0	2075.0
3 月 29 日	0.36	0.35	0.21	0.24	0.22	0.39	0.20	0.47	0.38	0.40	2972.5	1944.4	1944.4
4 月 1 日	0.36	0.35	0.22	0.26	0.25	0.39	0.22	0.46	0.39	0.37	2891.1	2000.0	2030.0
4 月 2 日	0.36	0.35	0.23	0.26	0.25	0.39	0.20	0.45	0.38	0.41	2953.6	1972.2	2013.9
4 月 3 日	0.36	0.29	0.21	0.25	0.23	0.34	0.21	0.36	0.36	0.41	2823.9	1944.4	2027.8
4 月 4 日	0.36	0.33	0.22	0.26	0.24	0.38	0.20	0.45	0.38	0.40	2997.8	1994.4	2011.1
4 月 5 日	0.36	0.30	0.21	0.24	0.22	0.35	0.21	0.38	0.37	0.38	2950.3	1994.4	2097.2
4 月 8 日	0.36	0.30	0.21	0.26	0.25	0.34	0.23	0.37	0.36	0.40	2987.8	1888.9	1997.2
4 月 11 日	0.36	0.30	0.20	0.25	0.23	0.36	0.21	0.46	0.39	0.40	2939.7	2138.9	1919.4
4 月 15 日	0.36	0.30	0.21	0.25	0.24	0.34	0.23	0.46	0.39	0.40	2906.1	2055.6	2013.9
4 月 16 日	0.36	0.35	0.20	0.23	0.21	0.40	0.19	0.46	0.42	0.39	2812.5	2027.8	2086.1
4 月 19 日	0.36	0.35	0.23	0.21	0.25	0.39	0.24	0.46	0.40	0.42	3012.2	1916.7	2088.9
4 月 20 日	0.36	0.34	0.22	0.26	0.23	0.39	0.23	0.45	0.38	0.42	3038.9	1888.9	2163.9

根据监测记录,按照前一节所述解法,编制程序进行计算,得结果如下:

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -387.02 \\ 30.65 \\ -83.31 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} B_{11} B_{12} B_{13} \\ B_{21} B_{22} B_{23} \\ B_{31} B_{32} B_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.791 & 11.507 & -5.938 \\ 1.243 & 5.531 & 1.339 \\ 3.521 & 8.344 & -5.478 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A_{11}A_{12}\cdots A_{17} \\ A_{11}A_{12}\cdots A_{17} \\ A_{11}A_{12}\cdots A_{17} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.649 & 1.190 & 0.013 & 1.627 & -1.766 & 0.0054 & 0.0026 \\ -0.993 & 0.158 & -0.002 & 0.042 & -0.044 & 7.86\times10^{-5} & 3.74\times10^{-4} \\ 2.77 & -0.51 & 0.011 & -0.75 & 0.792 & 2.03\times10^{-4} & -4.31\times10^{-4} \end{bmatrix}$$

d. 利用建立的模型计算泵站压力。

利用建立的宏观模型对管网的监测记录进行校验,计算三个水厂二泵站出口压力结果如下表:

表 2　水厂二泵站出口压力计算结果

泵站 / 时间	新西厂实测值 (MPa)	新西厂计算值 (MPa)	北厂实测值 (MPa)	北厂计算值 (MPa)	东南厂实测值 (MPa)	东南厂计算值 (MPa)
3 月 19 日	0.46	0.47	0.39	0.40	0.40	0.38
3 月 20 日	0.44	0.44	0.39	0.39	0.40	0.39
3 月 21 日	0.44	0.44	0.33	0.33	0.38	0.38
3 月 24 日	0.45	0.45	0.39	0.40	0.41	0.42
3 月 29 日	0.47	0.49	0.38	0.38	0.40	0.39
4 月 1 日	0.46	0.45	0.39	0.38	0.37	0.40
4 月 2 日	0.45	0.45	0.38	0.38	0.41	0.40
4 月 3 日	0.36	0.36	0.36	0.36	0.40	0.39
4 月 4 日	0.45	0.44	0.38	0.38	0.40	0.41
4 月 5 日	0.38	0.38	0.37	0.37	0.38	0.39
4 月 8 日	0.37	0.37	0.36	0.36	0.40	0.41
4 月 11 日	0.46	0.51	0.39	0.41	0.40	0.49
4 月 15 日	0.46	0.43	0.39	0.39	0.40	0.45
4 月 16 日	0.46	0.46	0.42	0.39	0.39	0.37
4 月 19 日	0.46	0.44	0.40	0.38	0.42	0.37
4 月 20 日	0.45	0.42	0.38	0.38	0.42	0.35

从上表的数据看,除个别值与实测值相差较大外,其它绝大多数值与实测值吻合。分析误差大的原因,与未考虑其它小水厂的影响以及监测数据序列不够长有关。所以,可以认为,这种建立宏观模型的思路和方法是可行的。

2　多水源供水系统泵站优化工况点的确定

2.1　泵站供水费用数学模型

供水系统小时供水费用为:

$$f = \sum_{i=1}^{p} C(i)\,H(i)\,Q(i) \qquad (4)$$

式中: f —为小时供水费用;

$C(i)$ —为泵站将每 m^3 水升高 1m 水压力耗用的费用;

p —为泵站数。

设泵站将每 m^3 水升高 1m 水压力耗用的费用 $C(i)$ 相同,则可将问题转化为求如下函数的极小值:

$$M = \sum_{i=1}^{p} H(i)\,Q(i) \qquad (5)$$

某一时段管网总供水量不变;为保证利用宏观模型求解的正确性,各泵站流量要限定在建立宏观模型时的变化范围内,所以对 $Q(i)$ 有以下约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{p} Q(i) = Q_{sum} \\ Q_{min}(i) \le Q(i) \le Q_{max}(i) \end{cases}$$

其中 Q_{sum} 为各泵站供水量之和,即供水系统总供水量;

$Q_{min}(i)$,$Q_{max}(i)$ 分别为 i 泵站在宏观模型中流量的变化范围。

2.2　用简约梯度法求解非线性规划下的泵站工况点

前已述及,建立宏观模型,用泵站流量值和监测点测得的压力推求泵站出口压力。公式(2 - 3)可转变为

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdots \\ H_p \end{bmatrix}_0 = \begin{bmatrix} C'_1 \\ C'_2 \\ \cdots \\ C'_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11}B_{12}\cdots B_{1p} \\ B_{21}B_{22}\cdots B_{2p} \\ \cdots\cdots\cdots \\ B_{p1}B_{p2}\cdots B_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1^n \\ Q_2^n \\ \cdots \\ Q_p^n \end{bmatrix} \qquad (6)$$

其中

$$\begin{bmatrix} C'_1 \\ C'_2 \\ \cdots \\ C'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdots \\ C_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}A_{12}\cdots A_{1m} \\ A_{21}A_{22}\cdots A_{2m} \\ \cdots\cdots\cdots \\ A_{p1}A_{p2}\cdots A_{pm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \cdots \\ h_m \end{bmatrix} \qquad (7)$$

令指数 n = 2,并将公式(6)代入目标函数(5),则形成一个三次的非线性规性问题

$$M = \sum_{i=1}^{p} (C'_i + \sum_{j=1}^{p} B_{ij} Q(j)^2)\,Q(i) \qquad (8)$$

约束条件为:

$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{p} Q(i) = Q_{sum} \\ AQ_{min}(i) \le Q(i) \le Q_{max}(i)\end{cases}$$

由于宏观模型是建立在一定流量范围的基础上,所以此目标函数的流量约束也应在建模的流量范围附近,当超出此范围较多时,结果不正确。

可利用简约梯度法求解此不等式约束下的非线性规划问题。步骤如下:

a. 选取一组初值 $Q(i)$,$(i = 1, 2, \cdots, p)$。可以选实际运行中的 $Q(i)$,并确定对于 $Q(i)$ 的计算精度 e_1。

b. 对于此函数,自变量 $Q(i)$ 有 p 个,则有 p - 1 个简约梯度。设 $Q(2)$、$Q(3)$ …$Q(i)$ 为自由变量,则它们的简约梯度 $R(i)$ 为:

$$R(2) = \frac{\partial M}{\partial Q(2)} - \frac{\partial M}{\partial Q(1)}$$

$$R(3) = \frac{\partial M}{\partial Q(3)} - \frac{\partial M}{\partial Q(1)}$$

………

$$R(i) = \frac{\partial M}{\partial Q(i)} - \frac{\partial M}{\partial Q(1)}$$

………

$$R(p) = \frac{\partial M}{\partial Q(p)} - \frac{\partial M}{\partial Q(1)}$$

简约梯度的具体表达式如下:

$$R(k) = \frac{\partial M}{\partial Q(k)} - \frac{\partial M}{\partial Q(1)}$$

$$\frac{\partial M}{\partial Q(k)} = C'_k + 2\sum_{i=1}^{p} B_{ik} Q(i) Q(k) + \sum_{j=1}^{p} B_{kj} Q_{(j)}{}^2$$

则:

$$R(k) = C'_k - C'_1 + 2\sum_{i=1}^{p}(B_{ik} Q(i) Q(k) - B_{i1} Q(i) Q(1)) + \sum_{j=1}^{p} B_{kj} Q_{(j)}{}^2 - \sum_{j=1}^{p} B_{1j} Q_{(j)}{}^2$$

c. 确定使目标函数减小的各自变量变化方向 $d(i)$:

$d(2) = -R(2)$

$d(3) = -R(3)$

……

$d(p) = -R(p)$

由约束条件(1),$Q(1) + Q(2) + \cdots + Q(p) = Q_{sum}$,则 $((Q(1) + xd(1)) + (Q(2) + xd(2)) + \cdots + (Q(p) + xd(p)) = Q_{sum}$,其中 x 为搜索步长。则 $d(1) + d(2) + \cdots d(p) = 0$,所以:

$d(1) = -(d(2) + d(3) + \cdots + d(p) = R(2) + R(3) + \cdots R(p)$。

d. 确定搜索步长的变化范围(即最大搜索步长 X_{max})。

对于 $Q(1)$,由约束条件(2)可知:

$Q(1)_{min} <= Q(1) + xd(1) <= Q(1)_{max}$

如果 $d(1) < 0$,则由上式可得 $x <= (Q(1)_{min} - Q(1))/d(1)$。

如果 $d(1) > 0$,则由上式可得 $x <= (Q(1)_{max} - Q(1))/d(1)$。

则对于 $Q(1)$ 可得其最大搜索步长 X_{max1}。

同样对于 $Q(2)$、$Q(3)$ …$Q(p)$ 也可得 X_{max2}、X_{max3} …X_{maxp}。

令 X_{max} 为它们的最小值:$X_{max} = \min(X_{max1}, X_{max2}, \cdots\cdots X_{maxp})$

e. 确定搜索步长 X。

可利用一维搜索方法 0.618 法对目标函数进行搜索。方法简介如下:

Ⅰ. 对于函数 $M(x)$,$0 < X < X_{max}$。令 $a = 0$,$b = X_{max}$,$c = b - a$,并设定计算精度 e_2。

Ⅱ. 求 $X_1 = 0.618(b - a)$,$X_2 = 0.382(b - a)$,并计算

$M_1 = M(X_1)$,$M_2 = M(X_2)$。

Ⅲ 对 M_1、M_2 进行判断,

如果 $M_1 >= M_2$,则令:

$b = X_1$

$X_1 = X_2$

$M_1 = M_2$

$X_2 = a + (b - a) \times 0.382$

再计算 $M_2 = M(X_2)$。

而如果 $M_1 < M_2$,则令:

$a = X_2$

$X_2 = X_1$

$M_2 = M_1$

$X_1 = a + (b - a) \times 0.618$

再计算 $M_1 = M(X_1)$。

Ⅳ. 对 M_1、M_2 判断之后,再判断精度表达式 $(b - a)/c < e_2$。

如表达式成立,则停止计算;否则回到第Ⅱ步重新计算,直到Ⅳ成立为止。

f. 计算得到 x 之后,判断如下精度表达式:

$- e1 < xd(i) < e_1, i = 1, 2, \cdots p$

如果这些表达式成立,则这组 Q(i) 即为所要求的结果,否则令 $Q(i) = Q(i) + xd(i)$, $i = 1, 2 \cdots p$。再回到 b 重新计算。

g. 计算结果 Q(i) 满足精度要求后,计算 H(i):

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdots \\ H_p \end{bmatrix}_R = \begin{bmatrix} C'_1 \\ C'_2 \\ \cdots \\ C'_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} B_{12} \cdots B_{1p} \\ B_{21} B_{22} \cdots B_{2p} \\ \cdots \quad \cdots \quad \cdots \\ B_{p1} B_{p2} \cdots B_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1^n \\ Q_2^n \\ \cdots \\ Q_p^n \end{bmatrix}$$ 。

2.3 福州市优化调度模型实例求解

对于前面建立的福州市优化调度的宏观模型,采用简约梯度法计算得到的结果如下。

从表 3 中可以看出,优化的目标函数值更小,达到了优化的目的。对于其它日进行计算可得到同样结果,在此不再累述。

表 3 福州市 1996 年 4 月 2 日优化调度结果

	新西厂	北厂	东南厂
实际供水量 $Q_{实}$(L/s)	2953.6	1972.2	2013.9
实际泵站扬程 $H_{实}$(m)	0.45	0.38	0.41
实际目标函数 $M_{实} = Q_{优} \times H_{实}$	1329.12	749.45	825.7
优化供水量 $Q_{优}$(L/s)	2945.1	1920.9	2073.8
优化泵站扬程 $H_{优}$(m)	0.45	0.37	0.36
优化目标函数 $M_{优} = Q_{优} \times H_{优}$	1325.30	710.73	746.57
$M_{优} - M_{实}$	3.82	38.72	79.13
$\sum(M_{优} - M_{实})$		121.67	
$\sum(M_{优} - M_{实}) / \sum M_{实}$		4.2 %	

3 总结

本文建立了描述泵站出口压力与管网测压点压力及泵站出口流量之间关系的宏观模型,并给出了求解宏观模型的数学方法;而后针对多水源供水系统建立了供水数学模型,并给出了简约梯度法作为求解的方法;文中利用福州市供水调度的一个例子验证了建立模型方法的可行性。

由于实际给水管网的复杂性,该课题波及面广,是一个难度很大的问题。要完全解决这个难题,仍需进一步深入研究。随着供水技术的发展,科学技术的不断更新,实施在线调度具有非常重要的意义。由于技术经济等诸多因素的限制,实施起来还有一定难度。今后,在水量和水压预测、计算机测控,计算技术和综合软件的开发等方面,还需要进行大量深入细致的研究工作,使它们继续向前发展。

参考文献

1 Robert Demoyer JR, Lawrence B. Horwitz. Macroscopic Distrebution System Modeling. J. AWWA. No. 7, 1975. 377 - 380

2 吴学伟. 给水管网状态估计及多目标直接优化调度研究,哈尔滨建筑大学博士学位论文. 1996.

收稿日期:1997 年 4 月 28 日

通 知

为提高本刊图稿的印刷质量,要求作者来稿中的插图尽量采用计算机绘制(图字 6 号宋体),横向长度根据图的繁简程度宜采用 70、140mm 二种规格,纵向不限。

本刊编辑部