

微观模型配水系统的优化调度

俞国平¹ 刘 静^{1,2}

(1 同济大学国家污染控制与资源重点实验室, 上海 200092; 2 杭州市城乡建设设计院, 杭州 310003)

摘要 研究了包括多水源和多水库的城市配水系统的优化调度。在给出24 h用水量预报, 水库初始和最终水位, 电费价格和供水管网的水力学约束条件后, 追求能源费用最小的优化调度成为一个带非线性约束的非线性规划问题。由于该优化调度问题非线性约束很多, 维数很高, 求解时, 用一些传统的优化方法, 在计算时间和精度上达到统一的难度较大。采用广义简约梯度法对此求解, 从计算结果和计算(时间)过程来看, 都能够达到令人满意的程度。

关键词 优化调度 广义简约梯度 配水系统

城市配水系统优化调度的目标是在保证安全供水的条件下, 最大限度地降低运行电耗。由于用水量变化的周期性, 配水系统的调度一般以 24 h 为周期, 用水量和电费价格随时间变化, 因此调度是一个动态的优化问题。

配水系统优化调度的困难主要表现在两个方面: ①由于管道水流阻力公式的非线性, 管网中的水

力计算需要求解一组非线性节点(回路)方程。方程数等于管网的节点数或回路数, 一般中小城市管网的节点数或回路数在 50~500 个, 一些省会大城市管网的节点数或回路数可能高达上千个, 同时优化调度的目标函数也是非线性的。数目庞大的非线性约束方程决定了优化调度的计算相当困难。②如果配水系统内没有水库, 调度周期可以划分成 24 个时

定的值较接近, 因此节能效果明显。

(4)改进遗传算法无论是在收敛速度, 还是在计算结果方面都要优于传统算法, 采用改进遗传算法计算管径比传统计算方法节省管道总投资, 而且在实际运行中, 由于对城市管网及二泵站的扬程、运行方案进行了优化, 一年多的生产运行表明, 在满足城市用水量和水压的前提下, 二泵站的电耗比改造前降低了 20% 左右。

表 7 流量计算结果

管段 编号	管径/mm	管段流量 /L/s	管段 编号	管径/mm	管段流量 /L/s
1	保留原有给水管	19.34	7	保留原有给水管	6.68
2	保留原有给水管	378.85	8	保留原有给水管	10.52
3	保留原有给水管	108.65	9	300(新建)	51.3
4	保留原有给水管	19.34	10	300(新建)	56.87
5	保留原有给水管	521.26	11	400(新建)	159.32
6	保留原有给水管	46.09			

4 结论

应用改进遗传算法进行城市给水管网优化设计具有以下几个优点:

(1)从许多点开始进行操作, 而非局限于一点, 因而可以有效地防止搜索过程收敛于局部最优解。

(2)易于处理离散变量函数的优化问题, 在管网优化应用中避免了管径调整。

(3)无需对给水管网进行流量初分配及管径的初设计, 计算结果不仅包括管段流量, 还包括各个节点的水压标高及自由水头, 计算出的结果与规范规

参考文献

- 1 Savic D A, Walter G A. Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks. Water Resour Plng and Mgmt. ASCE, 1997, 123(2): 69~76
- 2 Halhal D, Walter G A, Ouazar D, Savic D A. Water networks rehabilitation with structure messy genetic algorithm. Water Resour Plng and Mgmt. ASCE, 1997, 123(3): 137~145

□电话:(023)65121560

E-mail:wpu2120@sina.com

收稿日期:2004-1-18

段,每个时段的调度决策可以独立求解。当配水系统内有水库时,水库调节峰谷时段的供水量,每小时的供水量可以不等于用水量,调度问题不能分解为24个时段的独立子问题,24组水力计算方程被联立为约束条件,约束条件总数可达成千上万。当系统只有一个水库时,可用动态规划求解;当有2个以上水库时,维数的增加使动态规划的计算负荷不堪承担,计算时间无法满足调度的要求;也有用简化为线性问题的方法提高计算速度,但牺牲了模型的精度,由此而得的调度决策的可靠性受到影响。因此采用广义简约梯度法求解调度问题,希望在计算时间和模型精度上达成某种妥协,这一方法需要从一个初始可行解出发,在可行域内通过迭代改善计算结果收敛到某个局部最优解。一般来说,积累了许多经验的人工调度提供了一个比较好的初始可行方案,这就基本保证了局部最优解不至于太差。

1 优化调度的数学模型

对于一个具有 n 个节点, n_p 个泵站和 n_r 个水库的配水系统,优化调度的数学模型表达如下:

$$\begin{aligned} \min G(Q, H) &= \sum_{k=0}^K E_c Q_p^T C(k) H_p(k) \\ \text{s.t.} \quad &F(Q(k), H(k), V(k)) = 0 \\ &H_r(k+1) = H_r(k) + A Q_r(k) \\ &H_r(0) = H_r(k) = H_0 \\ &H_{R, \max} \geq H_r(k) \geq H_{R, \min} \\ &H_c(k) \geq H_{c, \min} \\ &Q_{p, \max} \geq Q(k) \geq Q_{p, \min} \\ &k = 0, 1, \dots, K \end{aligned}$$

式中 k ——时间段指标;

n_p ——泵站节点数;

E_c ——常数, $E_c = 0.0098$;

Q_p ——泵站输出流量, L/s;

Q ——节点流量, L/s;

H_p ——泵站输出压力, m;

H_0 ——调度周期内的初始水位, m;

$H_{c, \min}$ ——用户节点允许的最小水压, m;

K ——调度周期内的时段数;

A ——水库截面积的倒数, $1/m^2$;

n ——节点总数, 包括泵站节点和水库节点;

H ——节点压力, m;

n_r ——水库节点数;

Q_r ——水库节点流量, L/s;

H_r ——水库水位高程, m;

H_c ——用户节点水压, m;

V ——表示阀门工作状态的系数;

$H_{R, \max}, H_{R, \min}$ ——水库允许的最大、最小水位高程, m;

$Q_{p, \max}, Q_{p, \min}$ ——泵站允许的最大、最小输出流量, L/s;

$F(Q, H, V)$ ——表示节点流量连续性方程的向量函数, $F(Q, H, V) =$

$[F_1(Q, H, V), F_2(Q, H, V), \dots$

$F_{nu}(Q, H, V)]^T$;

nu ——未知压力的节点数, $nu = n - n_r$ 。

水力平差方程是一组非线性节点方程, 在已知节点流量, 水库水位和阀门工作状态时, 求解节点压力。24组节点方程的求解构成了一天24个时段的动态水力模拟计算, 成为优化调度问题的主要约束。在 k 时段, 节点 i 的流量连续性方程可表达为:

$$F_i(Q(k), H(k), V(k)) = \sum_{j \in \Omega_i} V_{ij}(k) R_{ij}^{1/\alpha} (H_i(k) -$$

$$H_j(k)) | H_i(k) - H_j(k) |^{1/\alpha-1} + Q_i(k) = 0$$

式中 Ω_i ——与节点 i 连接的节点集合;

$Q_i(k)$ —— k 时段节点 i 的流量, L/s;

R_{ij} ——管道 (i, j) 的阻力系数;

α ——水头损失计算公式中的常数;

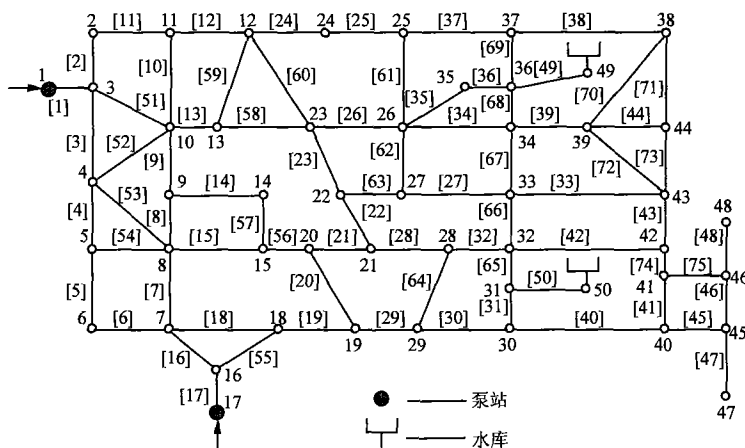


图1 配水系统示意

表1 水库参数

水库	节点	横截面积/m ²	最低水位/m	最高水位/m
1	49	350	20.000	30.000
2	50	400	20.000	30.000

表2 目标函数迭代结果

迭代次数	目标函数/元/d
0	3 046.42
1	2 967.08
2	2 913.91
3	2 867.40
4	2 854.59

表3 优化调度结果

时间	用水量 /L/s	1#泵流量 /L/s	2#泵流量 /L/s	1#水库 水位/m	2#水库 水位/m
0(20:00)	1 140	651.2	492.5	20.000	20.000
1(21:00)	1 010	591.9	452.5	20.038	20.000
2(22:00)	925	554.0	421.7	20.324	20.059
3(23:00)	770	500.5	380.4	20.612	20.263
4(24:00)	625	440.4	336.1	21.246	20.706
5(1:00)	495	399.6	316.4	22.409	21.366
6(2:00)	425	371.4	298.6	23.230	22.322
7(3:00)	405	363.3	289.9	24.488	23.427
8(4:00)	355	342.2	279.1	25.718	24.558
9(5:00)	370	341.1	275.4	27.038	25.799
10(6:00)	450	433.1	350.4	28.231	26.973
11(7:00)	650	466.4	358.4	29.990	28.436
12(8:00)	995	459.9	347.5	29.999	30.000
13(9:00)	1 700	831.3	627.6	29.021	29.169
14(10:00)	1 850	906.6	684.3	27.782	28.082
15(11:00)	1 870	919.9	691.1	26.477	26.892
16(12:00)	1 800	884.0	667.5	25.200	25.661
17(13:00)	1 815	892.1	673.7	23.966	24.505
18(14:00)	1 690	830.4	627.2	22.799	23.283
19(15:00)	1 565	767.9	580.0	21.748	22.111
20(16:00)	1 515	763.0	580.8	20.751	21.029
21(17:00)	1 290	715.2	561.0	20.006	20.141
22(18:00)	1 240	693.1	544.6	20.031	19.994
23(19:00)	1 255	703.2	551.8	20.009	19.994
24(20:00)				20.009	19.994

$V_{ij}(k)$ ——管道(i, j)中控制阀门的状态系数, 阀门全开 $V=1$, 阀门全闭 $V=0$ 。

在上述的数学模型中, 泵站输出流量被定义为决策变量, 节点压力, 进出水库的流量等为状态变量, 模型采用广义简约梯度法求解。需要说明的是, 配水系统的优化调度可分为两个阶段, 第一个阶段

是结合管网水力计算确定各泵站的出水流量和扬程, 第二阶段是根据各个泵站的出水流量和扬程合理地确定水泵的组合及水泵转速的控制。本文的研究是解决第一阶段的任务。

2 算例

某配水系统有2个泵站, 2个水库, 管网中有50个节点, 75根管道和26个回路(见图1); 管道[49], [50]中有2个控制阀门, 这两个控制阀门在正常运行调度中是全开的, 当水位达到水库允许的最高水位(水库进水)或最低水位(水库出水)时, 这两个控制阀门要暂时关闭。表1表示水库参数, 表2和表3分别表示目标函数迭代和优化调度的结果。电费8:00~20:00以0.45元/(kW·h)计, 20.00~8:00以0.21元/(kW·h)计, 计算结果表明优化调度可节约6.3%的运行电耗。在奔4 2.0的计算机上完成本算例24 h的优化调度耗时约30 s。

3 结语

城市配水系统的优化调度是一个高度复杂的大规模的非线性优化问题。算例中的非线性约束方程多达一千多个, 采用广义简约梯度法较有效地求解了优化调度问题, 优化结果比较合理。要作为一种通用的算法, 今后还需要在算法的稳定收敛方面作出改进。

○通讯处: 310003 杭州市新华路70号

杭州市城乡建设设计院

电话: (0571)87069700

修回日期: 2004-4-5

上海开始对自来水原水进行生物预处理

目前, 上海市自来水原水每日需求量约786万m³, 其中来自黄浦江上游的原水约占需求量的64%。从今年6月开始, 原水公司对位于松浦大桥取水口的原水进行生物预处理。该生物预处理工程利用生物膜分解去除水中的氨、氮等有机物, 从而提高原水中的溶解氧, 改善铁、锰等水质指标。这将使得每天来自黄浦江上游的500万m³原水的水质得到全面的提升, 有利于降低制水的成本, 最终改善上海市自来水的色度、口感等水质指标。

(旗 帜)