



阀门系统调节降低城市供水管网的漏损量

马力辉¹, 齐 翀²

(1. 太原理工大学建筑与环境学院, 太原 030024; 2. 吉林建筑工程学院, 长春 130024)

摘要: 降低供水管网的漏损量是供水行业一项非常重要的目标, 由于供水压力直接影响着城市供水管网的漏损量, 所以通过有效地调节阀门的大小来改变供水压力, 降低节点超量水压, 从而实现总体漏损量的减少。本文通过最优化的理论和方法, 建立了城市供水管网阀门优化调度运行的数学模型, 经过实例验证, 该方法可以有效降低城市供水管网的漏损量。

关键词: 阀门; 供水管网; 漏损量; 优化

中图分类号: TU991.33 文献标识码: A 文章编号: 1004-7948(2003)08-0017-03

1 引言

新建的城市供水管网运行一段时间之后, 不可避免地会出现漏损, 而供水管网建成后, 影响供水管网漏损的诸因素中, 只有供水压力可以调节。由于过量水压会增加管网的漏损程度, 因此我们考虑通过系统调节来降低节点的超量压力, 从而达到降低供水管网整体漏损量的目的。

对整个供水系统来说, 有许多途径可以降低过量水压, 如降低水泵扬程, 实现分区供水等方法。而这些方法仅仅能够实现全局的、系统的降压, 针对局部超量水压, 却无能为力了。本文通过远程控制阀, 应用阀门优化运行调节数学模型, 来改变供水管网各节点的压力, 使各节点实现在满足用户所需足够水头之后, 最大限度地降低各节点的超量水压, 从而系统降低整个供水管网的漏损量。

2 数学模型的建立

根据系统优化中分层优化的原理, 阀门调节应用于供水管网的漏损控制, 主要包括两层优化: 第一层, 控制阀在城市供水管网中的优化布置; 第二层, 在控制阀优化布置后, 整个控制阀系统优化运行调节的问题。本文只涉及第二层优化。

本文通过调节阀门的开启程度的大小, 来控制漏损量的大小, 所以应以总体漏损量最小作为目标函数。

目标函数为: $\min Z = \sum_{k=1}^p w_k$

式中 p —管段数;

w_k —节点 i 和节点 j 之间第 k 管段的漏损量。

可用下式进行计算:

$$w_k = c_{ij} L_{ij} \left[\frac{1}{2} \left(|H_i - Z_i| + |H_j - Z_j| \right) \right]^{1.18}$$

式中 c_{ij} —漏损常量, 由漏损水平和区域平均水压决定;

L_{ij} —节点 i 与节点 j 之间的管长;

H_i —节点 i 的总水头;

Z_i —节点 i 的高程。

约束条件为:

$$\sum_{j \in J_i} \left[\phi_{ij}(H_i, H_j) + \frac{1}{2} w_{ij} \right] + c n_i = 0$$

$$i = 1, \dots, n$$

$$H_i^l - \delta_i \leq H_i \leq H_i^u \quad i = 1, \dots, n$$

$$V_j^l \leq V_j \leq V_j^u \quad i = 1, \dots, m$$

式中 J_i —与节点 i 相连的节点的集合;

ϕ_{ij} —节点 i 与节点 j 之间的流量水压关系。

本文取 Hazen-Williams 水压-流量表达式

$$Q_{ij} = V_k R_{ij} \operatorname{sgn}(H_i - H_j) |H_i - H_j|^{0.54}$$

式中 Q_{ij} —流量, L/s;

V_k —阀门开启程度系数(从 0 至 1);

$\operatorname{sgn}()$ —符号函数;

R_{ij} —系数;

$$\text{取 } R_{ij} = \frac{278.54 C_{ij} D_{ij}^{2.63}}{L_{ij}^{0.54}}$$

式中 C_{ij} —Hazen-Williams 摩擦系数;

$c n_i$ —节点 i 的用水量;

H_i^l —节点 i 的最小允许水头;

δ_i —公差, 与节点 i 目标水头的最大偏差;

H_i^u —节点 i 水压允许上限值;



n —节点数;
 m —阀门数。

3 模型的求解

本文的优化问题可以概括为:

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ \text{s. t. } g_i(x) = 0 \quad i = 1, \Lambda, m \\ x_j^l \leq x_j \leq x_j^u \quad j = 1, \Lambda, n + m \end{aligned} \quad (1)$$

该模型的决策变量共有 $n + m$ 个(即节点数与阀门数之和), 且由于该优化问题的非线性性和高次性, 所以模型的求解是一个相对复杂的过程。本文应用序列二次规划法(Sequence of Quadratic Programming, 简称 SQP 法), 也称有约束问题的变尺度法或拉格朗日-牛顿法进行求解, 该方法是被公认的当今求解光滑的非线性规划问题的最优秀算法之一。运用 SQP 方法中 QPS(Quadratic Programming Subproblem, 简称 QPS) 子程序, 进行迭代求解, 保证非线性约束问题的算法具有超 1 次性。具体是以二次规划问题(2)来近似代替原问题(1)求解。

$$\begin{aligned} \min \nabla f(x^k)^T d^k + \frac{1}{2} (d^k)^T B^k d^k \\ \text{s. t. } \nabla g_i(x^k)^T d^k + g_i(x^k) = 0 \quad i = 1, \Lambda, m \\ (x^k - x^L) + d^k \geq 0; (x^U - x^k) - d^k \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 d^k —第 k 次迭代可行方向向量;

B^k —正定对称矩阵, 由 BFGS 方程式来更新,

即:

$$B^{k+1} = B^k + \frac{y^k (y^k)^T}{(y^k)^T s^k} - \frac{B^k s^k (s^k)^T B^k}{(s^k)^T B^k s^k}$$

其中 $y^k = \nabla f(x^{k+1}) - \nabla f(x^k)$
 $s^k = x^{k+1} - x^k$

其基本迭代过程为:

①给定初值 $x^0, B^0, k = 0$

②解二次规划问题(2), 确定 d^k 和 x^{k+1}

③令 $x^{k+1} = x^k + d^k$, 判断 (x^{k+1}, λ^{k+1}) 是否满足收敛条件, 若是令 $(x^*, \lambda^*) = (x^{k+1}, \lambda^{k+1})$, 停止计算。否则令 $k = k + 1$ 返回(1)。

4 实例校核

应用该优化模型方法, 根据某市供水管网资料(管网节点及管道资料见表 1 和表 2, 用水量信息及水源信息见图 2、3、4), 对该市管网(管网布置见图 1)运用根据非线性规划 SQP 法编制的 FORTRAN77 程序, 求解优化模型, 实现对远程控制阀系统最优控制。并且对有阀调节与无阀调节两种运行状态进行比较(见图 5), 得出该方法能够经济有效地降低城

市供水管网的漏损量。

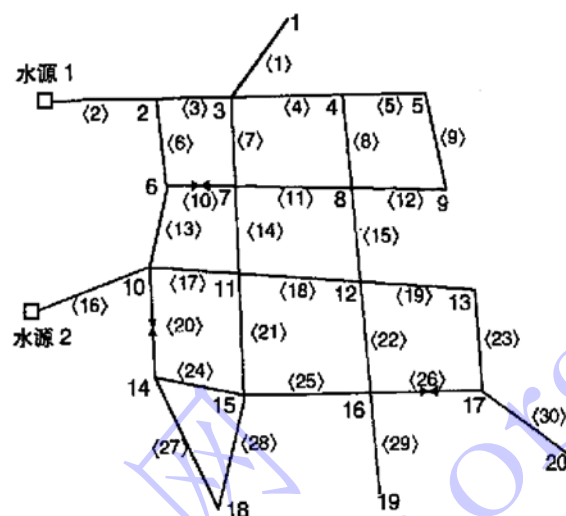


图 1 某市城市供水管网现状布置图

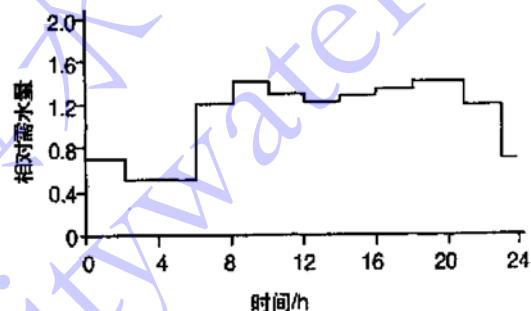


图 2 日用水量曲线

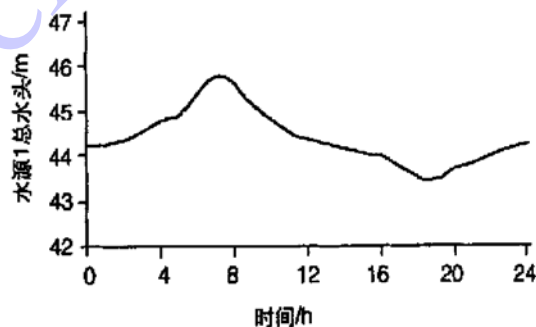


图 3 水源 1 总水头日变化曲线

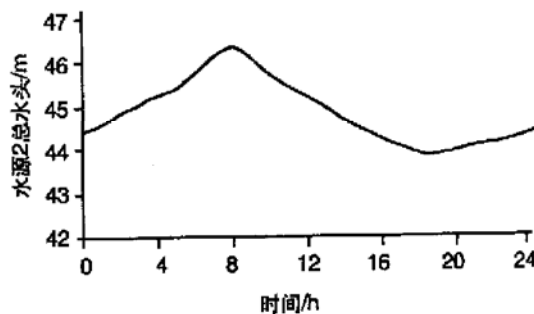


图 4 水源 2 总水头日变化曲线

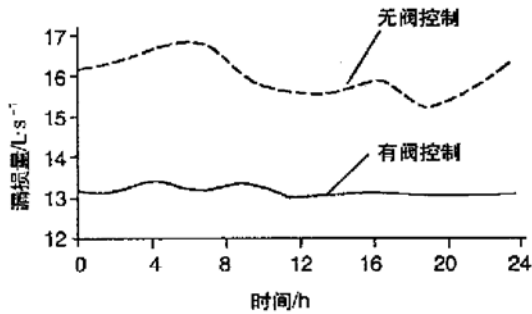


图 5 有阀控制与无阀控制漏损量比较图

5 结论

降低供水管网的漏损量是供水行业一项非常重要的目标, 本文通过系统调节阀门的大小来改变各节点供水压力, 降低超量水压, 实现了总体漏损量的减少。该方法相对于其他漏损控制方法是经济可行的, 能够有效地应用于供水管网的漏损控制, 从而有效地提高供水行业的整体效益。

表 1 供水管网节点参数信息表

节点号	节点用水量 /L/s	高程 /m	最小服务水头 /m	最小总水头 /m
1	20.0	9.2	24	33.2
2	5.0	11.7	24	35.7
3	0.0	11.1	24	35.1
4	0.0	10.8	24	34.8
5	5.0	7.9	24	31.9
6	12.0	13.2	24	37.2
7	0.0	11.5	24	35.5
8	5.0	9.7	24	33.7
9	14.0	9.3	24	33.3
10	0.0	13.4	24	37.4
11	0.0	12.7	24	36.7
12	0.0	13.5	24	37.5
13	15.0	8.3	24	32.3
14	0.0	12.4	24	36.4
15	0.0	13.6	24	37.6
16	0.0	7.4	24	31.4
17	0.0	7.3	24	31.3
18	20.0	12.5	24	36.5
19	30.0	8.2	24	32.2
20	15.0	6.8	24	30.8

注: 为计算方便高程均已减去 780m

表 2 供水管网各管段参数信息表

管段号	起始节点	终止节点	管径 DN/mm	管长 /m	HazenWilliams 系数值
1	3	1	300	530	130
2	水源 1	2	400	820	100
3	2	3	400	475	100
4	3	4	300	763	100
5	4	5	300	462	100
6	2	6	300	505	100
7	3	7	300	513	100
8	4	8	200	524	100
9	5	9	200	540	130
10*	6	7	300	412	100
11	7	8	300	740	100
12	8	9	200	560	100
13	10	6	300	529	100
14	11	7	300	558	100
15	12	8	300	585	100
16	水源 2	10	400	860	100
17	10	11	300	517	100
18	11	12	300	584	100
19	12	13	300	591	100
20*	10	14	400	633	100
21	11	15	300	674	100
22	12	16	300	695	100
23	13	17	300	627	130
24	14	15	400	490	100
25	15	16	300	675	100
26*	16	17	300	694	100
27	14	18	300	830	100
28	15	18	300	704	130
29	16	19	300	680	100
30	17	20	200	712	130

注: * 为设阀管段

参考文献

[1] R S Puar. Leaks in pipe networks[J]. Journal of hydraulic engineering, June 1992: 1031- 1045.
[2] 仲伟俊. 城市供水系统的计算机调度与设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1995.
[3] 杨冰等. 实用最优化方法及计算机程序[M]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1994.
[4] 严煦世等. 给水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

作者简介: 马力辉(1977-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事给水系统优化与管理方面的研究。