

最大差值算法优化供水管径的研究

王 永¹, 信昆仑¹, 刘遂庆¹, 方 正²

(1 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2 武汉大学 土木建筑工程学院,
湖北 武汉 430072)

摘 要: 通过赋予待优化管段两个新的属性: 管径等级属性 (label) 和流量等级属性 (level), 将优化目标转为寻求各管段两属性的同一化, 并以最大、最小管径为约束条件, 建立供水管径优化模型。采用最大差值算法求解模型, 对标准管径直接进行优化, 计算速度快, 结果更符合实际情况。

关键词: 市政供水; 管径优化; 最大差值算法

中图分类号: TU991 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2009)17-0046-03

Optimization of Water Supply Pipe Diameter by Biggest Difference Algorithm Method

WANG Yong¹, XIN Kun-lun¹, LIU Su-qing¹, FANG Zheng²

(1 School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092
China; 2 School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072 China)

Abstract All the pipes to be optimized in the urban water supply network were given two new attributes, diameter level attribute (label) and flow level attribute (level), and the target of the optimization became to make the values of the two attributes be the same for every pipe. Besides, the reasonable maximum and minimal pipe diameters were considered as the constraints, and a model for optimization of water supply pipe diameter was established. The biggest difference algorithm method was used to solve the model. The calculation is quick, and the result is in line with the practical situation when the standard pipe diameter is directly optimized.

Key words municipal water supply; pipe diameter optimization; biggest difference algorithm method

国内外管径优化的传统算法主要包括两类: 一类为初始流量已分配的算法; 另一类为初始流量未分配的算法^[1,2]。但这些算法普遍存在变量繁多、约束条件不易确定、目标函数表达复杂等缺点, 使数学建模比较繁杂; 此外, 多数算法将管径视为连续变量, 其直接得出的优化结果并非标准管径, 还要经过进一步的圆整才能得到最终结果, 而圆整过程必然会偏离计算最优点, 于是导致非完全最优化, 降低了

最优化的使用价值。

笔者结合界限流量尝试提出一种新的简化算法, 即视管径为离散的整型变量, 对管网进行直接优化设计, 从而简化了数学建模过程, 便于迅速得出满足各种约束条件的最优管径组合。

1 计算方法

1.1 理论基础

国内相关文献^[1]指出, 由于标准管径的分档较

少, 因此对某一标准管径而言, 不仅存在相应的经济流量, 而且在某一流量范围内使用这一标准管径都是最经济的, 这一流量范围被称为该管径的界限流量。界限流量可以根据相邻两档标准管径的年费用折算值相等而导出, 其计算见式 (1)。

$$q_n = \left(\frac{m}{\mu \alpha} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{D_n^\alpha - D_{n-1}^\alpha}{D_{n-1}^{-m} - D_n^{-m}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中 q_n ——相邻两档管径 D_{n-1} 和 D_n 的界限流量
 α ——管道单位长度造价公式的统计参数
 m ——水头损失计算公式的指数
 μ ——经济因素

由于各地的管网造价、电费、用水规律不同, 水头损失的计算公式也不同, 所以各城市的界限流量并不一样; 随着时间的推移, 同一城市的管网造价、电费、用水规律也在变化, 同样会导致城市的界限流量发生变化。因此, 可以选用适合当地、当时的经济指标和水头计算公式求出相应的 μ 、 α 、 m 等值, 并将其代入式 (1) 求出各管径的界限流量, 形成界限流量表, 具体可见文献 [1]。

将供水标准管径从小到大分成 18 个等级, 该等级数即为管段的管径等级属性 (label)。考虑到管径增加量有 50~100 mm 之分, 当 $D_i \leq 500$ mm 时, 定义 $D_i = 50(\text{label} + 1)$; 当 $D_i > 500$ mm 时, 定义 $D_i = 100(\text{label} - 4)$ 。同理, 对界限流量进行等级划分, 并将其定义为管段的界限流量等级属性, 简称管段流量等级属性 (level), 亦可得到 18 个等级。管道在不同流量下有不同的 level 属性。

1.2 优化建模

1.2.1 模型分析

管网优化的目标可转为优化一组管径, 尽可能使平差计算后的各管段的流量均能满足界限流量所划定的经济流量范围, 即使管段的管径等级属性值与流量等级属性值相等。

$$\text{label} = \text{level} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中 N ——管网中待优化的管段总数

在改、扩建管网工程中, 一些旧管段的管径是不允许变更的, 所以其待优化管段数并不等于管网的总管段数。使每一根待优化的管段都符合式 (2) 几乎是不可能的, 因为存在诸多约束 (如最大、最小管径), 所以只能尽量使符合式 (2) 的管段多一些, 而对于不能满足式 (2) 的管段, 也尽量使其 label 属性与 level 属性的值接近。因此, 需要不断地调整管径

D_i , 使其在所有的标准管径中变化且符合最大、最小管径的限制, 所以 D_i 属于离散型的整型变量。

1.2.2 目标函数及约束条件

目标函数见式 (3), 即让待优化管段的 label 属性与 level 属性之差的绝对值之和最小。

$$\min F = \sum_{i=1}^N \varphi_i |\text{label} - \text{level}| \quad (3)$$

式中 φ_i ——对第 i 根管段进行优化的权重系数,
 $\varphi_i \in (0, 1)$

φ_i 反映的是对管段要求其流量达到经济流量范围的期望程度, 一般对较长的或较粗的管段适当取大, 认为其对管网造价的影响更大, 优先进行优化。

为便于比较不同管径组合下的优化效果, 对目标函数进行归一化处理, 得到目标函数为:

$$\min f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i \frac{|\text{label} - \text{level}|}{|\text{label}| + |\text{level}|} \quad (4)$$

$f \in [0, 1]$, 可作为收敛终止的控制指标。

约束条件:

$$A_{\min} \leq \text{label} \leq A_{\max} \quad \forall i \in (1, N) \quad (5)$$

$$A_{\min} \leq \text{level} \leq A_{\max} \quad \forall i \in (1, N) \quad (6)$$

式中 $A_{\min}$ ——label 属性和 level 属性的最小值, 由最小管径得出

$A_{\max}$ ——label 属性和 level 属性的最大值, 由最大管径得出

1.3 模型求解

所建数学模型属于在不等式约束下的非线性规划问题, 变量 D_i 要经过平差计算才能得到各管段的流量值, 进而得到 label 属性的值; 而平差过程又是一个求解非线性方程组的过程, 即变量对约束条件和目标函数呈现非直接性, 通过平差过程传递, 可采用离散型的整型变量非线性规划方法对其进行求解^[3]。笔者针对城市供水管网介绍一种新算法, 即嵌入管网平差程序直接寻优求解, 计算流程见图 1。需要输入的管网特性数据包括: 水源的虚扬程 H_{∞} 、虚阻耗 S_{∞} 、管长 L_k 、节点编号、管段编号、权重系数 φ_k 、精度控制值 ε 及界限流量的计算参数 μ 、 α 和 m 等。

在程序设计中, 采用每次平差后只对 label 和 level 属性值相差最大的管段管径进行修正的方法, 且只修正一档, 从而使管网特性的改变趋于平缓, 变量寻优方向更明确, 有效避免了目标函数值出现振

荡跳跃的现象,称这种算法为“最大差值算法”。

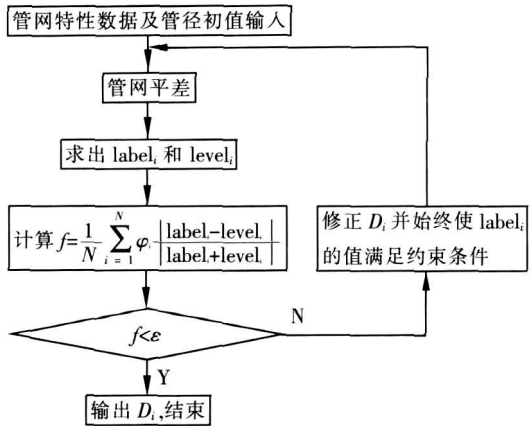


图 1 最大差值算法流程

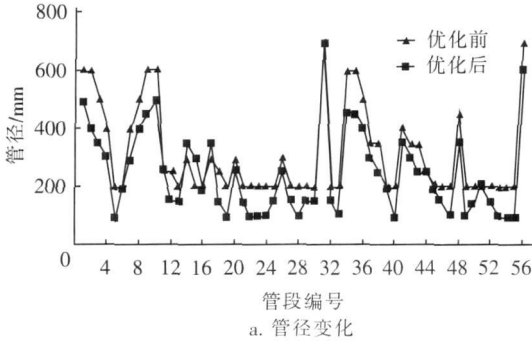
Fig 1 Flow chart of biggest difference algorithm method

为防止平差后出现因最大、最小管径约束而导致的管径无法修改的情况,程序设计为可继续搜索两属性差值次大、再次大的管段,直至搜索到的管段管径不再为 D_{max} 或 D_{min} 。该算法可进行相应改进,即每次搜索多根两属性差值较大的管段来同时修正管径以提高收敛速度,适合大规模管网的管径优化。

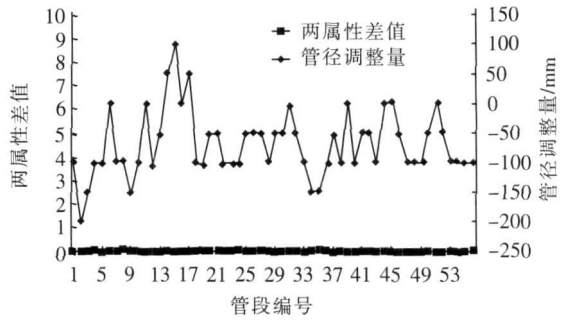
2 算例分析

实例管网由一泵站水源供水,初定设计扬程为 307.5 kPa。由于管网的规模稍大,按照文献 [1] 的界限流量表取 $A_{min} = 2$, $A_{max} = 14$ 取 $\varphi_i = 1$, $i = 1, 2, \dots, N$; 取 $\alpha = 1.18$, $m = 5.33$, $\mu = 1$, $\epsilon = 0.091$ 。

优化后所需供水扬程为 371.5 kPa, 经 74 次平差,管径累计修正 336 次, f 降至 0.0909, 共有 15 根管不符合经济流量要求,而这 15 根管优化后的最终管径均为 DN150 即因最小管径的约束使目标函数值无法进一步降低。取 $A_{min} = 1$, 确定最小管径为 DN100 其他条件不变,则可使所有的管段均达到经济流量的要求,共进行平差计算 58 次,管径累计修正 230 次, f 降至 0.00001, 优化结果见图 2。



a. 管径变化



b. 两属性差值和管径调整量

图 2 供水管网优化结果

Fig 2 Optimized results of urban water supply network

在优化过程中,当最小管径约束为 DN100 时,一般精度会满足 $\epsilon = 0.00001$,但实际上往往需要通过试验来设定合理的精度控制指标 ϵ 因为要根据实际情况设置合理的最小管径约束。

管径初始值要符合约束条件且最好不要是边界值以利于修正管径。因为管径的修正是从可行的标准管径中选取的,即初始解一定要在可行域内,在优化过程中再由可行域向边界扩展以逼近最优点。

3 结论

① 通过赋予待优化管段两个新的属性: label 和 level 将优化目标转为寻求各管段两属性的同一化,并在此基础上建立管径优化的数学模型,目标值为期望最多的待优化管段能够实现 label 值与 level 值相等,约束条件的设立可控制最大、最小管径。

② 采用最大差值算法求解优化模型,即通过每次平差后只修正两属性差值最大、次大或者再次大的一根或几根管段的管径,反复进行平差计算和修正管径,经若干次循环迭代使目标函数值最小,即可获得管径相对最优组合。

参考文献:

[1] 许仕荣,邱振华. 给水管网的计算理论与电算应用 [M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1997.
[2] 卜义惠,赵洪宾,周建华. 用遗传算法求解给水管网系统优化改扩建模型 [J]. 给水排水, 2003, 29(12): 89-92.
[3] 严煦世,刘遂庆. 给水排水管网系统 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

电话: (021) 65985869 13671524904

E-mail wangyongtongj@ yahoo. com. cn

收稿日期: 2009-03-18