

城市多水源供水系统一级优化调度模型及求解

陈 卫¹ 陆 健² 吴志成³ 周克梅³

(1 河海大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2 江苏省工程
咨询中心, 江苏 南京 210003; 3 南京市自来水总公司, 江苏 南京 210002)

摘要: 针对南京市多水源复杂供水系统,建立了以运行费用为目标函数的一级优化调度模型,并采用遗传算法对其进行求解.优化调度结果表明:各泵站供水量、供水压力及 A、B 测压点的压力在满足用户供水要求的情况下得到了优化,调速泵站的调速作用得到了充分发挥,各泵站供水量得到了重新分配,供水压力及管网测压点的压力随之发生了变化,优化后的压力普遍变小且随时间变化较优化前平稳;为多水源供水系统一级优化调度提供了可行方法,并为泵站二级调度创造了条件.

关 键 词: 供水系统; 多水源; 一级优化调度; 模型; 遗传算法

中图分类号: TU183 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2009)02-0129-04

First-class optimal scheduling model and evaluation of urban multi-source water supply systems

Chen Wei¹ Lu Jian² Wu Zhicheng³ Zhou Kemei³

(1 College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2 Jiansu Engineering Consulting Center, Nanjing 210003, China;

3 Nanjing Water Supply General Company, Nanjing 210002, China)

Abstract: According to the water supply system in Nanjing with multi-source complex systems, a mathematic model, whose aim function is the operation costs on first-level, was built and solved by genetic algorithm. By analyzing the optimal results, it shows that water supply capacity and hydraulic pressure of every pump station and hydraulic pressure of pressure points A and B have been optimized greatly after optimization, and variable speed pump station takes into function, hydraulic pressures of water distribution network are smaller and change more peacefully. So this study not only provides a feasible way for first-level optimal operation of multi-source complex system, but also does a good job for second-level optimal operation of pump station.

Key words: water supply system; multi-water source; first-level optimal operation; modeling; genetic algorithm

城市多水源供水的优化调度是供水系统安全经济运行的重要保障,其优化调度决策模型是关键.多水源供水系统具有系统规模大、泵站多、水泵类型和数量多等特点.根据优化调度决策的一般分类法(直接优化调度^[1~3]和二级优化调度^[4~6]),该类供水系统适宜采用二级优化调度,即在一定的管网运行条件下,确定各供水厂最佳供水量和供水压力,再根据一级优化结果确定供

水泵站内水泵组合方式及调速泵转速^[7].本研究针对南京市多水源复杂供水系统,建立了一级优化调度数学模型,并采用遗传算法对其求解,为供水系统优化调度决策提供可行方法.

1 数学模型的建立

优化调度决策模型以运行费用为目标函数,

收稿日期: 2007-05-08.

作者简介: 陈 卫(1958-),女,教授, E-mail: cw5826@hhu.edu.cn.

基金项目: 江苏省 2006 年度社会发展计划资助项目 (BS2006014).

考虑供水系统运行技术要求,可建立多目标函数,主要为供需水压差、泵站电耗、制水成本、供需水量差和供水收入^[3]等.为满足管网技术要求,一般需建立的约束条件有:各泵站日供水能力、各测压点供水压力、水泵供水能力和水泵数量等^[8].

南京市(长江南岸)供水系统中有 4 个水厂,6 个供水泵站(见图 1),其中 3 个泵站的部分水泵为调速运行,属非同步调速运行,另 3 个泵站的水

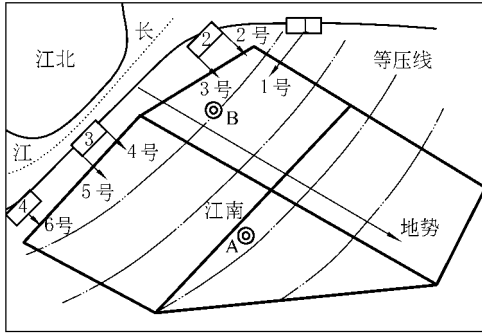


图 1 南京市长江南岸供水系统示意图

泵为定速运行方式.因此,该供水系统宜采用二级优化调度,实行统一管理,各水厂售水价格一致.结合上述特征及售水管理方式,建立一级优化调度数学模型时可忽略供水收入的目标函数,仅选取供需压差、泵站电耗、制水成本和供需水量差等作为子目标函数,将多目标决策问题化为单目标决策问题,建立一级优化调度模型

$$\begin{aligned} \min F &= (1 + F_2)(1 + F_1)(1 + F_3)(1 + F_4), \\ &\sum_{i=1}^N Q_i - Q_d = 0; \\ \text{s. t. } &Q_{i\min} \leq Q_i \leq Q_{i\max}; \\ &H_{i\min} \leq H_i \leq H_{i\max}, \end{aligned}$$

式中: F_1 为供需水压差,

$$F_1 = \sum_{i=1}^M (H_i - H_{i\min})^2 \quad (M = 1, 2, \cdots, 22),$$

M 为所选取的管网测压点数目(此处 $M = 22$); F_2 为泵站电耗,

$$F_2 = \sum_{i=1}^N (S_{2i}(\alpha H_i Q_i / \eta) + S_{1i}) \quad (N = 1, 2, \cdots, 6),$$

N 为管网泵站数目(此处 $N = 6$), S_{1i} 为基本电费, S_{2i} 为电价, α 为换算系数(本文中 $\alpha = 2.776 \times 10^{-4}$), η 为泵站的综合效率,可由相关公式^[3]计算得到; F_3 为制水成本,

$$F_3 = \sum_{i=1}^N S_{3i} Q_i \quad (N = 1, 2, \cdots, 6),$$

S_{3i} 为单位制水成本; F_4 为供需水量差,

$$F_4 = \left| \sum_{i=1}^N Q_i - Q_d \right| \quad (N = 1, 2, \cdots, 6);$$

Q_d 为某一时段供水系统的需水量,由用水量预测模型求得; Q_i 为第 i 泵站的调度供水量; $Q_{i\min}$ 和 $Q_{i\max}$ 为第 i 泵站的最低和最高允许供水量; H_i 为测压点 i 的预测压力,可通过建立供水系统管网分析模型得到; $H_{i\min}$ 和 $H_{i\max}$ 为测压点 i 的最低和最高服务水头.

2 数学模型的求解

所建模型属于混合非线性规划问题,若基于梯度优化方法求解,则求解过程比较繁琐.本文采用遗传算法求解该数学模型.根据遗传算法运算过程,对上述数学模型进行参数可行解编码、遗传算子函数选择、控制参数选择、约束条件处理^[9]等操作.

参数编码即把解空间中的数据解转换为遗传算法所能处理的基因表现形式.对于一级优化调度,其数学模型的解为各供水点的供水量,由于供水量数值较大,根据遗传算法各种编码方法的特征,选用浮点数编码(即实值编码),对 6 个供水点供水量进行实值编码,6 个变量的编码值组成一个个体.

初始种群特征对计算结果和计算效率均有重要影响.要实现全局最优解,初始群体在解空间中应尽量分散.选择 CRTRP 函数创建随机实值种群,种群中的个体数目设为 100,种群的最大遗传代数设为 400(根据计算结果精确程度,可适当增加或减少遗传代数),遗传代沟设为 0.9.

适应度用来度量种群中各个体在优化计算中能达到(或接近于,或有助于找到)最优解的优良程度.适应度较高的个体遗传到下一代的概率较大,适应度较小的个体遗传到下一代的概率相对较小.个体的适应度通常通过适应度函数来衡量.根据适应度函数值各种转换方法的适用范围,由管网时段宏观模型得到各供水点和管网测压点的压力值,再将供水量及压力值代入目标函数 F ,得到各个体的目标函数值 f_i ($i = 1, 2, \cdots, 100$),最后采用“RANKING”函数对各目标函数值进行由小到大排序,并返回一个包含对应个体适应度值的列向量,即适应度值向量.

对应于实值编码的种群,设定作用于群体的 3 种遗传算子的作用函数分别为“sus”,“reclmut”和“mutbga”.

运算中某些函数控制参数的确定和约束条件的处理,可视计算结果精确程度和模型的稳定性调节.一级优化调度数学模型求解流程图见图 2.

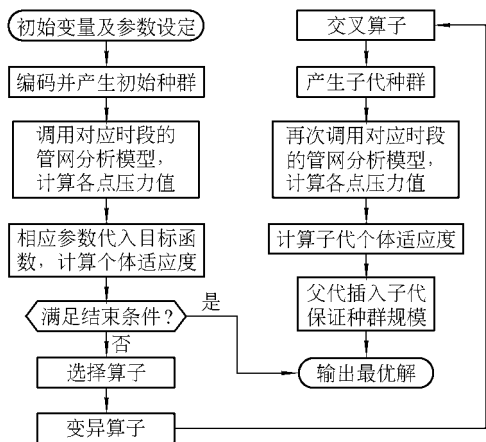


图 2 一级优化调度数学模型求解流程

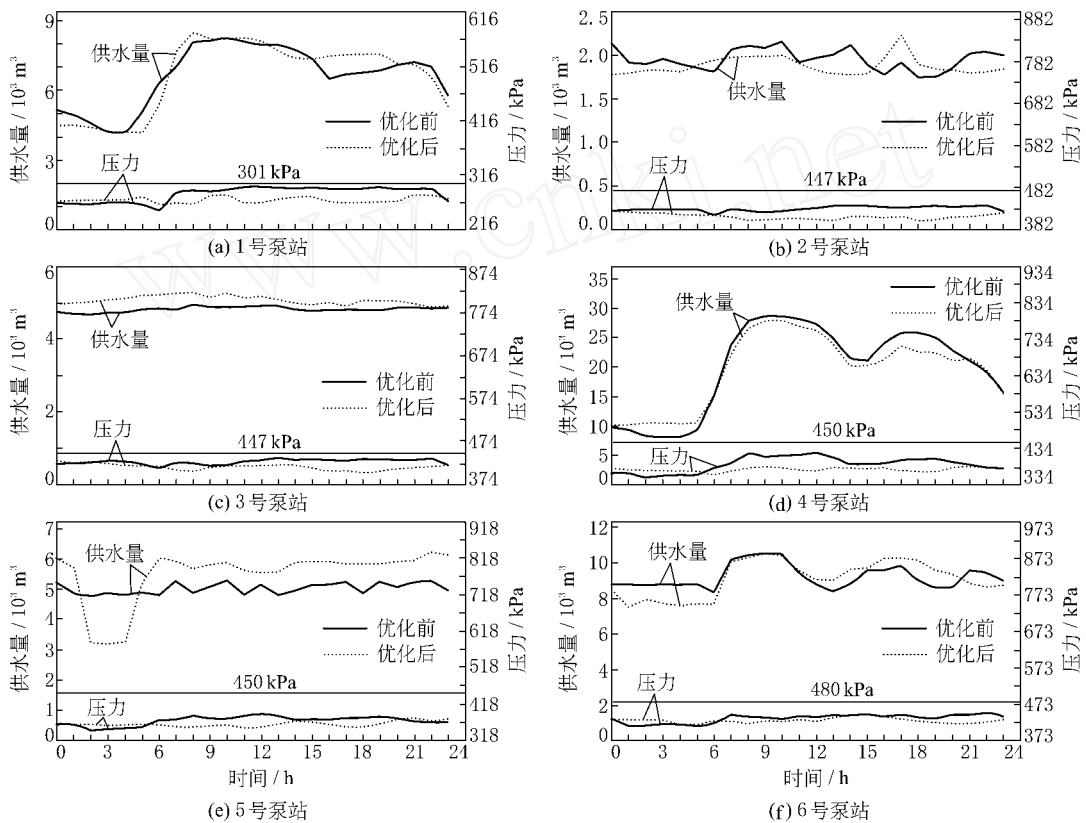


图 3 1~6 号泵站优化前后供水量及压力对比

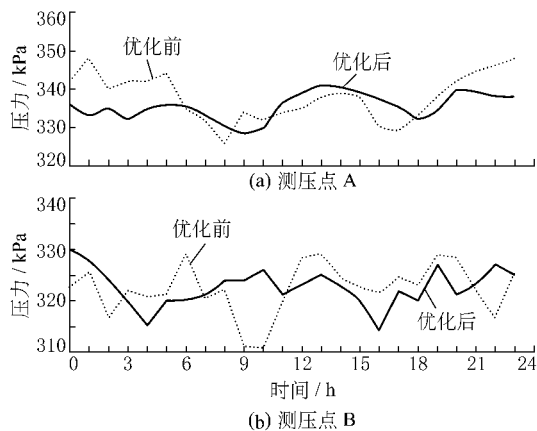


图 4 A 和 B 测压点压力优化前后对比
通过优化调度前后比较可得出以下结论：

3 优化结果分析

结合用水量预测和分时段管网宏观模型^[10]，对一级优化调度数学模型进行分时段求解，并对各个时段的优化结果进行统计. 这里仅以曲线图的方式对各供水泵站供水量、供水压力及 A、B 测压点压力优化调度前后的变化情况进行对比(见图 3 和图 4). 图 3 中直线为该压力点的压力允许值上限，A 和 B 为评价管网压力的重要参考点，压力允许范围分别为 310~360 kPa 和 300~340 kPa.

- a. 各泵站供水量、供水压力及 A、B 测压点的压力在优化调度前后都发生了较大的变化，各泵站供水量得到了重新分配，各泵站的供水压力及管网测压点的压力随之发生了变化. 优化后的压力普遍变小且随时间变化较优化前平稳.
- b. 观察优化前后供水量变化曲线可见，1 号、4 号和 6 号供水泵站的供水量随时间变化的幅度比较大，而 2 号、3 号和 5 号泵站的供水量变化幅度则相对比较小，这是因为前 3 个泵站的供水泵设有调速装置，泵站内可调余地较大，后 3 个泵站的供水泵未设调速装置，可调余地较小.
- c. 经优化后，3 号和 5 号泵站的供水量有所上升，这是因为优化后的水泵工况点更接近设计

工况点,提高了水泵运行效率;而 5 号泵站的供水量在 3-4-5 时段发生陡降,分析认为这个时段可减少 1 台水泵运行,且减少的供水量可由 4 号供水泵站来补充(因为 4 号和 5 号供水泵站是同一水厂的 2 个泵站,地理位置相邻);2 号泵站的供水量优化前变小,分析认为 2 号泵站的综合效率较 3 号泵站的综合效率低,故 2 号泵站减少的供水量可通过 3 号泵站供水量的增加得到补充,从而使整个供水系统得到优化。

d. 分析 6 个泵站的优化前后压力变化曲线可知,优化后的压力随时间的变化比优化前平稳,且设有调速泵的供水泵站(1,4 和 6 号)压力随时间的变化比未设调速泵的供水泵站压力变化更为平稳,可见调速装置对消除剩余扬程、维持管网静压力有很大的调节作用,进而可节约能耗。

e. A 和 B 测压点位于城市活动重要区域,是优化调度人员评价整个管网压力情况的重要参考点。从图 4 的压力分析可知,优化后的压力随时间的变化比优化前平稳,从而在一定程度上可推测优化前后整个管网的压力优化情况。

参 考 文 献

[1] 赵新华,田一梅,武福平.城市配水系统优化运行的研

究[J].中国给水排水,1992(3):18-22.

[2] 武福平.城市供水泵站最优水泵控制[J].兰州铁道学院学报,1996(9):30-34.
[3] 吕 谋,张士乔,赵洪宾.大规模供水系统直接优化调度方法[J].水利学报,2001(7):84-90.
[4] 郑爽英.城市供水系统两级优化调度的宏观模型研究[J].四川联合大学学报,1997(3):60-68.
[5] 廖 莉,林家恒,张承惠.用遗传算法求解供水泵站的效率优化问题[J].中国工程科学,2002(9):54-58.
[6] Yu G P, Powell R S. Optimized pump scheduling in water distribution systems[J]. Optimization Theory and Applications, 1994, 83(3): 463-488.
[7] 崔建国,王俊岭.城市供水系统的优化调度模型研究[J].太原理工大学学报,2002,33(3):285-288.
[8] 丘传忻.泵站[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
[9] 雷英杰,张善文,李继武,等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2005.
[10] 陆 健,陈 卫,吴志成.基于 BP 神经网络的供水管网分时段宏观模型研究[J].中国给水排水,2007,23(3):99-101.

(上接第 120 页)

表 2 列出了按本文公式计算的 5 组组合构件抗弯承载力的结果,通过与试验结果以及数值模拟结果的比较,可以看出公式计算结果与试验结果最大误差为 14 %,比较接近。

表 2 公式计算、数值模拟及试验结果 (kN · m)

构件编号	公式计算结果	数值模拟结果	试验结果
TCW1-1	96.255	119.986	100.8
TCW1-2	74.624	81.270	84.5
TCW1-3	96.255	101.102	100.0
TCW1-4	114.203	116.566	127.1
TCW1-5	96.255	105.018	112.2

参 考 文 献

[1] 韦灼彬,陶 忠,韩林海.方钢管混凝土纯弯构件力学性能及承载力的研究[J].工业建筑,1998,28(10):6-9.
[2] Elchalakani M, Zhao X L. Concrete-filled circular steel tubes subjected to pure bending[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2001, 57(11): 1141-1168.
[3] Schneider S P. Axially loaded concrete-filled steel

tubes[J]. Journal of Structural Engineering, 1998, 124(10): 1125-1138.
[4] 钱稼茹,王 刚,赵作周.钢管高强混凝土构件截面弯矩-曲率全曲线研究[J].工业建筑,2004,34(8):70-72.
[5] 郭兰慧,张素梅,王玉银.方形、矩形钢管高强混凝土受弯构件的理论分析与试验研究[J].钢结构,2002,17(6):29-35.
[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T50081—2002普通混凝土力学性能试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
[7] 中国工程建设标准化协会. CECS159:2004 矩形钢管混凝土结构技术规程[S].北京:中国计划出版社,2004.
[8] 刘 威.钢管混凝土局部受压时的工作机理研究[D].福州:福州大学土木工程学院,2005.
[9] 韩林海.钢管混凝土结构[M].北京:科学出版社,2000.
[10] 赵鸿铁.钢与混凝土组合结构[M].北京:科学出版社,2001.
[11] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T5085—1999 钢-混凝土组合结构设计规程[S].北京:中国电力出版社,1999.

