

技术总结

典型欠压城市供水系统升压供水水量估测及分析

石 韬¹, 姚 芳², 高金良², 郑成志², 刁美玲², 杨 浩²(1. 内蒙古自治区水利水电勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 哈尔滨工业大学
市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 随着城镇化高速发展, 我国大多数中小城市由于供水管网扩建、管龄过长等原因, 城市供水长期处于供水不足的欠压状态。提高供水水头增大供水量时, 水费收益和管网漏失量将随之增加, 合理地确定供水量和供水水头是各城市自来水公司解决城市供水的重要途径。然而目前我国部分中小城市所能得到的城市供水系统的基础资料非常少, 精确预测其用水量进行最优化调度仍有很大困难。从宏观角度出发, 针对基础资料较少的欠压城市建立了欠压状态下供水量估测模型, 并将该模型应用于某中小城市, 分别预测出提高不同供水水头时的用户用水量和管网漏失量, 为该城市自来水公司根据自身泵站电耗确定经济供水水头提供依据。实践结果表明, 仅通过改造泵站来提高用户用水水头的方法并不完全可行, 应调查城市管网实际情况, 在提高泵站水头的同时可适当扩大管径或并行敷设新管。

关键词: 城市供水; 欠压; 用水量预测; 供水水压

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)05-0042-04

Water Supply Capacity Estimation and Analysis under Elevated Pressure in Typical Pressure-deficient Urban Water Distribution System

SHI Tao¹, YAO Fang², GAO Jin-liang², ZHENG Cheng-zhi², DIAO Mei-ling²,
YANG Hao²

(1. Inner Mongolia Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute, Hohhot 010020, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: With the fast urbanization in our country, most water distribution systems in small to medium sized cities are under pressure-deficient conditions, as a result of water supply network expanding, extended service years of pipes, etc. With elevated operation pressure, both water supply profits and amount of water leakage would increase. Therefore, proper determination of water supply capacity and pressure is critical to solve urban water crisis. Most small to medium sized cities are constrained by limited infrastructural data and are encountering challenges in managing and optimize their water supply strategies. A water supply capacity prediction model was developed for systems under pressure-deficient condition. The model was applied to a typical small to medium sized city, and predicted water supply capacity and amount of leakage under different water heads. The model results could be used to economically optimize operating water head with respect to pump station operation costs. It was shown that increasing water head by pump retrofit provided limited benefits. In addition, appropriately enlarge water pipe diam-

eters or constructing parallel pipes should be considered.

Key words: municipal water supply; pressure-deficient condition; water consumption forecast; water supply pressure

我国城镇化正高速进行,人口持续增长、经济高速发展、生活水平不断提高,城市的工业和生活用水需求量也随之大幅度增长。但由于已建城市管网不断老化、新管网持续扩建,我国大部分中小城市全部或部分管网长期处于欠压状态,严重影响了当地居民的正常生活用水。解决欠压缺水问题已是目前城镇化建设面临的严峻挑战,合理地估测欠压状态下城市用水量是解决该问题的关键。

城市用水量普遍具有较强的随机性和周期性,它与城市人口、人民生活水平、经济发展、产业结构及节水水平等诸多因素有关。按照预测的时效性,通常将可用水量的预测分为中长期预测和短期预测两大类。中长期预测可主要用于指导给水管网系统的改扩建及城市整体建设规划;短期预测则可为管网系统优化运行调度提供依据。目前关于用水量预测的方法有很多,最常用的有 ARMA 法、指标法、灰色预测方法、人工神经网络预测法等^[1~4],这些方法都是以时间序列为基础,可大大提高预测精度并减少计算工作量。笔者仍以时间序列为基础,根据城市用水量的特性针对欠压供水提出了一种估测欠压城市用水量的方法。

1 供水水头对用户用水的影响

当城市管网系统满足正常供水时,供水水头与用水量有如下三种关系:

① 供水水头不影响用水量,此时忽略超压出流和物理漏损。这种情况主要适用于居民楼、工业用户等。

② 供水水头影响用水量作用微小,此时忽略物理漏损,仅考虑超压出流。这种情况主要用于用水器具及居民家庭。

③ 供水水头影响用水量作用较小,此时综合考虑超压出流和物理漏损。这种情况主要用于居民小区及城市。

我国大多数中小城市部分管网因长期处于欠压状态,并不能满足用户正常用水,所以以上三种情况并不适用,即提高供水水头将会较大程度地影响当地用户用水量。通常,这些城市并未建立完善的供水管网信息系统,在进行城市用水量预测时,可得城

市供水系统的基础信息较少。本文主要针对以上情况,对供水压力不足的中小城市进行供水量估测,同时考虑用户用水量和漏失水量,建立供水量估测模型,并根据城市供水量、漏失量和水厂收益的关系,确定经济供水水头,用于指导城市优化调度,完成优化调度的目标^[5]及供水系统分区等。

2 建立用水量估测模型

我国大部分城市的供水系统有近百年的历史,管网运行时间远远超过其正常使用寿命,研究表明当管龄超过 20 年时,管道极易发生破损而增加漏失量^[6]。虽然在城市改扩建过程中,已经更换部分老旧管段,但由于供水设备陈旧、管理体制落后等原因,城市供水管网漏失现象仍很严重,漏失问题不容忽视。因此在对欠压中小城市进行用水量估测时,除了考虑用户用水外,还应考虑供水管网漏失量。故本文将用水量划分为用户用水量和漏失量两部分。其中用户用水量与压力之间的关系见式(1)^[7]。

$$q_{i-\text{act}} = \begin{cases} q_{i-\text{design}} & P_i > P_{i-\text{ser}} \\ q_{i-\text{design}} \left(\frac{P_i - P_{i-\text{min}}}{P_{i-\text{ser}} - P_{i-\text{min}}} \right)^{1/2} & P_{i-\text{min}} \leq P_i \leq P_{i-\text{ser}} \\ 0 & P_i < P_{i-\text{min}} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $q_{i-\text{act}}$ 为节点 i 实际用户用水量, L/s; $q_{i-\text{design}}$ 为节点 i 设计用户用水量, L/s; P_i 为节点 i 的实际供水压力, Pa; $P_{i-\text{ser}}$ 为节点 i 要求达到的服务水头, Pa; $P_{i-\text{min}}$ 为节点 i 最小供水压力(小于此压力则无法正常供水), Pa。

实际上,虽然“欠压”用户用水量受到供水水头的影响,但用水量并不为零。因此本文修正 $P_i < P_{i-\text{min}}$ 时用户实际用水量见式(2)。

$$q'_{i-\text{act}} = \beta q_{i-\text{act}} \quad (2)$$

式中: $q'_{i-\text{act}}$ 为正常供水时的用户用水量, L/s; β 为用水量系数。

管网漏失主要是在管道接口处发生,所以模型中选取接口数作为研究因素,忽略其他因素的影响。节点接口数目可用节点水头的大小来反映,因为一般来说节点水头大的区域,用户较多且管道接口也

较多,从统计学上来说,它们基本呈线性关系。基于以上论述,本文建立的漏失与节点压力的关系式如下:

$$q_{i-\text{leak}} = \alpha H^{1.18} \quad (3)$$

式中: $q_{i-\text{leak}}$ 为节点 i 的漏失量, L/s ; α 为漏失系数, $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^{-1.18})$; H 为节点 i 处的供水水头, m (1 m 水柱产生的压力约为 10 kPa)。

α 为节点漏失系数,是反映管道特定时期特性的参数,只与管道本身有关,不随管网运行工况等外界因素变化,是管长、管龄、管材、施工质量等特性的综合反映值。

则可得城市用水量 Q 为:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_{i-\text{act}} = \sum_{i=1}^n (q_{i-\text{act}} + q'_{i-\text{act}} + q_{i-\text{leak}}) \quad (4)$$

式中: Q 为用户总的用水量, L/s 。

3 案例分析

3.1 工程背景

某市共有三个自来水厂(水厂一、二、三)产水送至配水管网,各水厂供水能力如下:水厂一的供水量为 $18.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、泵站出水水头为 49 m (490 kPa),水厂二的供水量为 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、泵站出水水头为 22 m (220 kPa),水厂三的供水量为 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、泵站出水水头为 36 m (360 kPa)。各水源间输配水管网普遍连通。全市供水与用水量缺口很大,多数用户服务水压不足。居民用水量占全市总用水量的 80% 左右,居民楼层普遍为 6~7 层;用水高峰时期 5~7 层用户无用水,夜间 6~7 层用户用水压力不足;除少数高层外无二次加压,无中途加压泵站;大部分庭院小区管网建设时间久远,且多为镀锌钢管,点蚀漏损严重。

3.2 用水量预测

由于历史原因,该市 GIS 信息、管网拓扑等基础信息缺失严重,无法从微观角度分析水量的时空分布。现按照如下方法预测该市用户用水量和管网漏失量:居民楼最小供水服务水头按照 24 m (240 kPa) 计算;满足供水压力的区域,其用水量按式(1)计算;不满足供水压力的区域,用户欠压(间断式停水状态)时,欠压用户平均用水量按式(2)计算;全市用水不区分用水类别,均视为居民类用水,多层建筑居住高度越高则受影响越大;按照总供水量 10% 估算城市现状物理漏损而求出 α ,提高供水水头后按公式(3)求解城市总漏失量。经计算该市现阶段

供水水头加权均值为 42.7 m (427 kPa),现状日用水量为 $26.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。本次用所建模型预测全市泵站供水水头分别提高 5、10、15 m 即 50、100、150 kPa 及满足全市各用户最小服务水头 24 m (240 kPa) 的用水量。预测结果见表 1。

表 1 不同欠压范围时用水量的预测

Tab. 1 Prediction of water consumption with different

pressure-deficient degree $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

| β | 供水水头提高 50 kPa 用水量预测 | 供水水头提高 100 kPa 用水量预测 | 供水水头提高 150 kPa 用水量预测 | 满足全市各用户 240 kPa 水头用水量预测 |
|---------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 0.50 | 28.1 | 30.9 | 32.7 | 34.4 |
| 0.60 | 27.5 | 30.0 | 31.4 | 32.8 |
| 0.70 | 27.3 | 29.2 | 30.8 | 31.5 |
| 0.80 | 27.0 | 28.5 | 29.9 | 30.3 |
| 0.85 | 27.0 | 28.2 | 29.5 | 29.7 |
| 0.90 | 26.7 | 27.9 | 29.0 | 29.2 |

注: 对应上述四种水头要求,增加的物理漏失量分别为 0.48×10^4 、 0.65×10^4 、 0.81×10^4 、 $1.30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

调查得该市 β 为 0.60,即由于供水压力不足,不满足供水压力的居民家庭用水量为正常居民家庭用水的 60%。如表 1 所示,若普遍提高 100 kPa 供水水头时,预计全市供水量将会增加到 $30.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;如果全市供水压力均满足要求,预计全市供水量将会增加到 $32.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3.3 确定经济供水水头

经济水头通常是指实现经济效益及社会效益的最小服务水头。经调查该市普遍处于欠压状态且点蚀漏损严重。当提高供水水头时,不仅提高了用户用水量,还会增加管网漏失量及相应的制水成本,如图 1 所示。此时,预测提高不同供水水头时的供水量,确定经济水头显得尤为重要。结合当地的电费情况,基于定性分析,确定该市的经济供水水头为 15 m (150 kPa)。

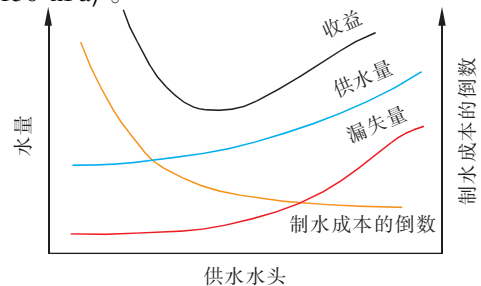


图 1 供水水头对水量及制水成本的影响

Fig. 1 Effect of water head on water quantity and its cost

3.4 问题讨论

① 确定 β 值

β 值是影响用水量模型准确性的重要因素。建议统计供水水头仅有 10 m(100 kPa) 左右的同一类型小区不同楼层各 40 户居民的月用水量,统计时间为 3 个月。分别统计出正常供水用户的用水量 and “欠压”用户用水量,从而有利于准确求出 β 的大小。

② 提高用户供水水头

当供水水头严重不足时,通常可以改造泵组或增加水泵开启台数来提高供水水头,但这种措施并不是完全可行的。管网过流量增大时沿程损失随之增大,此时简单地改造泵站或增加泵站运行功率并不能解决供水不足的问题,即使各泵站提高出水压力至用户所需供水水头,仍会存在供水水头严重不足的问题。如经试验,该市西桥水厂二级加压泵站现在水泵开启台数已经在 3 台以上,即使额外开启两台水泵,对于改善用户供水水头问题仍不明显,并且泵站流量增加幅度也不明显,反而增加水厂的电耗和管网的物理漏损。该现象进一步证明上述结论,此时可以分析供水系统工况,扩建部分管段的管径或并行敷设新管。

4 结论

在进行城市水资源规划时,城市用水量预测是其重要基础内容之一,城市用水量预测结果将直接影响供水系统调度决策的可靠性和实用性,也直接关系到城市水资源的可持续利用和社会经济的可持续发展。提出了基础数据不足时欠压城市的用水量预测方法。同时考虑用户用水量和城市漏失量,并修正供水量小于最小服务水头的用户用水量。将该模型应用于某中小城市,分别预测出提高不同供水水头时用户用水量和管网漏失量,该市自来水公司可根据自身泵站电耗确定经济供水水头。同时,根据工程实践,得出仅通过改造泵站来提高用户用水水头的方法并不完全可行,应调查城市管网实际情

况,在提高泵站水头的同时可适当扩大管径。

参考文献:

- [1] 张雄,党志良,张贤洪,等. 城市用水量预测模型综合研究[J]. 水资源研究,2005,16(1):21-24.
- [2] 章征宝,陈朝东,张一刚. 人工神经网络在城市用水量预测中的应用进展[J]. 给水排水,2007,33(s1):110-115.
- [3] Aly A H,Wanakule N. Short-term forecasting for urban water consumption[J]. J Water Resour Plan Manage,2004,130(5):405-410.
- [4] 王圃,陈荣艳,孙晓楠,等. 加权组合模型在城市用水量预测中的应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(3):428-434.
- [5] 王俊良,郑成志,高金良. 多水源供水优化调度决策支持系统开发与实践[J]. 中国给水排水,2010,26(10):87-90.
- [6] 陈求稳,曲久辉,刘锐平,等. 北京市供水管网的老化漏失规律模型研究[J]. 中国给水排水,2008,24(11):52-56.
- [7] 叶建. 结合图论和评价体系的城市供水管网 PMA 分区优化研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.



作者简介:石韬(1976-),男,内蒙古呼和浩特人,大学本科,高级工程师,研究方向包括给排水、水工结构等。

E-mail: St96041@163.com

收稿日期:2016-08-12