

区块化供水管网系统进水点的优化设计研究

刘少武¹, 黄东洪², 王旗齐²

(1. 重庆市建筑科学研究院, 重庆 400020; 2. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 相较于区域计量分区(DMA), 管网区块化(DBS)供水分区管理系统不但可以实现用水量的分区计量, 而且能实现均衡水压和水龄、优化水质和降漏节能等作用, 并且不会降低管网在事故状态下供水的可靠性。进水点数量和位置的确定是DBS分区管理的关键步骤, 以重庆市巴南区鹿角—界石组团的界石供水区域管网为例, 根据DBS分区方法, 利用EPANET 2.0软件模拟区块化供水管网系统的进水点数量和位置, 对比不同供水条件下管网水压、水龄及建设运行费用, 分析进水点数量和位置的确定方法。

关键词: 供水管网; 管网区块化; 进水点; EPANET

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)03-0044-06

Optimal Design of Influent Point of Blocking Water Supply Network System

LIU Shao-wu¹, HUANG Dong-hong², WANG Qi-qi²

(1. Chongqing Construction Science Research Institute, Chongqing 400020, China; 2. School of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Compared with district metering area (DMA), distribution blocking system (DBS) can not only realize water partition measurement, but also achieve the function of balancing water pressure and age, optimizing water quality, reducing leakage and saving energy. In addition, it won't reduce the reliability of water supply network in an accident situation. The determination of influent point number and location is the key step of DBS. According to the DBS partition method, number and location of different influent points were determined through simulation of blocking water supply network system by using EPANET 2.0 software in Lujiao-Jieshi group, Banan district, Chongqing. Water pressure, water age and construction costs under different water supply condition were compared, and the methods for determining influent point number and location were summarized.

Key words: water supply network; distribution blocking system; influent point; EPANET

随着城市化进程的加速,城市供水管网规模逐渐扩大,传统供水管网工程的设计和管理模式引起了供水管网系统供水压力不均衡、漏损率高、爆管、投资运行费用高等问题^[1-5]。为了提高供水管网系统的安全性及经济性,管网分区成为国内外学者的研究热点^[6-8]。供水管网的分区管理可以分为两个层面,大层面的管网区块化(DBS)管理,其区域较大,可对管网水质、水压、水量进行全面管理;小层面的区域计量(DMA)管理,其只涉及水量管理,区域

较小,能够实现对供水管网的漏损检测,但是会降低管网事故状态下的供水可靠性^[9-11]。可见,DBS供水管网分区管理不仅能实现区域用水量的单独计量,还可以有效促进管网水压和水龄分布的均衡性,提高管网供水水质,是实现安全供水、降漏降耗、提高供水效益的有效途径^[9]。其中进水点数量及位置的确定是DBS分区管理的关键步骤,但却鲜有研究报道。

笔者以重庆市巴南区鹿角—界石组团的界石供

水区域管网为例,在供水管网区块化理念的指导下,利用 EPANET 2.0 软件对进水点数量和位置进行模拟,分析不同供水状态下管网水压、水龄分布情况,计算管网投资建设费用与水泵运行费用,分析管网进水点数量和位置的确定方法,旨在为供水管网的优化设计和运行管理提供参考。

1 研究对象及方法

1.1 研究对象

根据文献[12]中供水管网分区方法,利用供水管网信息建立管网微观模型,根据分区目的设定分区阶层,再从均衡水压的角度确定区域规模,并对重庆市巴南区鹿角一界石组团供水管网进行分区。管网分区后,进水点数量和位置的确定成为影响管网分区效果的最后步骤。综合考虑区域的地形标高差、形状及大小等因素,选定界石供水区域为研究对象,探究进水点数量与位置的确定方法。该供水区域地势相对平坦,区域内地形高差小于 20 m,占地面积约为 10 km²,供水量为 6 × 10⁴ m³/d,供水节点为 36 个,管段为 60 根,共 25 个环,总长为 29 322 m,具体管网布置情况及地形条件如图 1 所示。

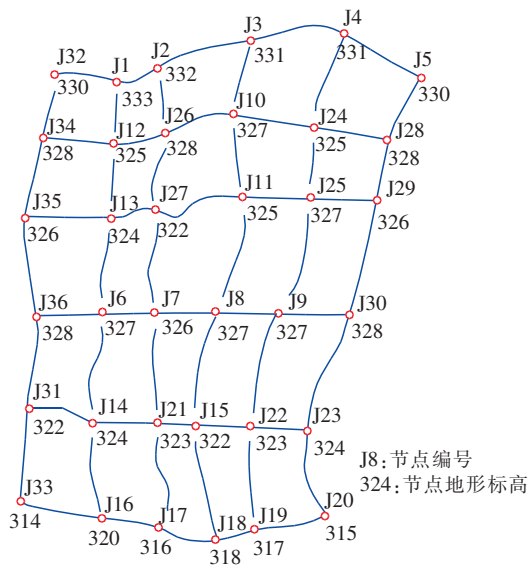


图1 供水管网概化模型

Fig. 1 Generalization model of water supply network

1.2 研究方法

1.2.1 水压模拟分析方法

应用 EPANET 2.0 软件建立界石区域独立管网供水模型,利用鸿业给排水软件管网平差结果确定管网各节点流量,并将结果导入 EPANET 软件中,

从而进行水压模拟分析。在水压模拟分析中,进水点处设置供水池与水泵,控制管网最不利点自由水头 ≥ 28 m (1 m 水柱产生的压力约为 9.8 kPa,下同),调整管段管径 ≥ 150 mm,以保证管段流速在经济流速范围内,由此确定水泵扬程,对不同进水点数量和位置进行水压模拟,且各节点流量保持不变,管网平均水压和最高水压即为在该供水状态下管网所有节点的平均水压及最高水压。

1.2.2 水龄模拟分析方法

基于水压模拟分析的管网模型,设置时间模式步长为 1 h,通过设置乘子的方式绘制 24 h 用水量变化曲线,对不同进水点数量和位置进行历时 72 h 的水质模拟分析。取 72 h 的管网各节点水龄绘制水龄等值线图,管网平均水龄和最高水龄即为 72 h 的管网所有节点的平均水龄及最高水龄。

1.2.3 经济性比较分析方法

根据严煦世等编著的《给水工程》中管网技术经济计算方法,拟合水泵运行费用与管网投资建设费用分别按式(1)、(2)计算。并根据《市政工程投资估算指标:第三册 给水工程》估算泵站投资建设费用,然后与不同进水点数量和位置的投资运行费用进行综合比较。

$$W_2 = \sum_i^N 86\,000 \frac{\gamma \delta}{\eta} \cdot H_{pi} \cdot Q_{pi} \quad (1)$$

式中: W_2 为水泵运行费用拟合结果; γ 为能量不均匀系数; δ 为电价,元/(kW · h); η 为水泵和电动机的效率; H_{pi} 为第 i 个泵站输送扬程, m; Q_{pi} 为第 i 个泵站输送水量, m³/s。

$$C = 580.42 + 2\,738.59 \cdot D^{2.17} \quad (2)$$

式中: C 为管道单位长度造价,元/m; D 为管段直径, m。

2 结果与分析

2.1 进水点数量模拟结果

设置进水点数量为 1、2、3、4,根据工程中原水的实际分布情况,在保证整个管网供水相对均衡的条件下,将对应进水点位置设置在: J3、J3 和 J18, J32、J5 和 J18, J32、J5、J33 和 J18。

2.1.1 水压分析

不同进水点数量下管网水压如图 2 所示。可知,相对于单点进水,2、3、4 点进水时管网平均自由水头分别降低 8.71%、9.48%、10.01%,最大自由水头分别降低 13.68%、15.74%、16.08%,且管网

自由水头平均值与最大值的差值明显减小,管网水压更趋于均匀。同时,多点进水时水泵扬程较单点进水时明显减小,但进水点数量 ≥ 2 时,水泵扬程相差不多,且进水点数量的增加对管网平均自由水头和最大自由水头的影响减小。

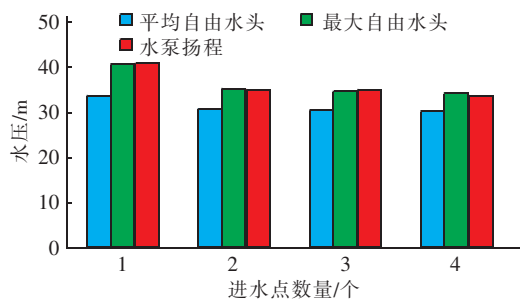


图2 不同进水点数量下管网水压模拟结果

Fig. 2 Simulation results of water pressure of pipe network with different influent points

不同进水点数量下管网水压的等值线如图3所示。可知,随着进水点数量的增加,管网水压整体下降,且分布更加均匀。单点进水时,约1/3的管网水压处于36 m以上,水压相对较高;进水点数量 ≥ 2 时,管网水压均小于36 m,且进水点数量越大,管网整体水压越接近最不利水压的设置要求(28 m)。

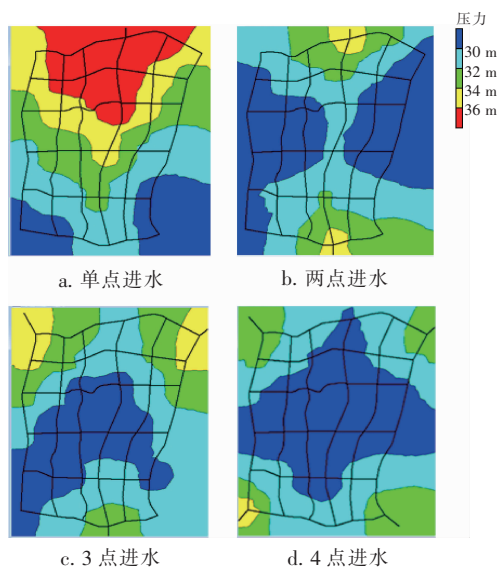


图3 不同进水点数量下管网水压的等值线

Fig. 3 Water pressure isoline of pipe network with different influent points

2.1.2 水龄分析

不同进水点数量下管网水龄模拟结果见图4。可知,随着进水点数量的增加,管网平均水龄与最大

水龄逐渐降低。相较于单点进水,2、3、4点进水时平均水龄分别减小28.22%、38.71%、46.77%,最大水龄分别降低24.84%、36.96%、38.20%。说明进水点数量的增加可显著提高管网水质,且最大水龄与平均水龄的差值逐渐减小,表明管网水龄分布更趋于均匀。但随着进水点数量的增加,管网水龄降低幅度逐渐减小。

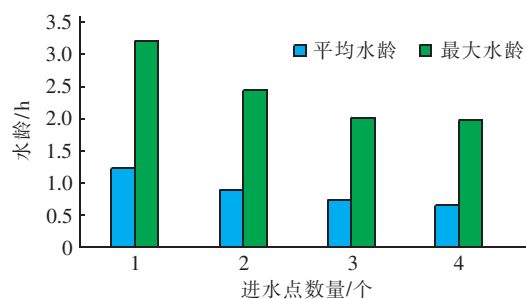


图4 不同进水点数量下管网水龄模拟结果

Fig. 4 Simulation results of water age of pipe network with different influent points

不同进水点数量下管网水龄的等值线如图5所示。可知,进水点数量越多,管网水龄越低。当管网有3个进水点时,管网水龄基本都在2 h以下。当管网有4个进水点时,管网水龄分布相对于3个进水点更加均匀,且整体水龄稍有降低,但不明显。

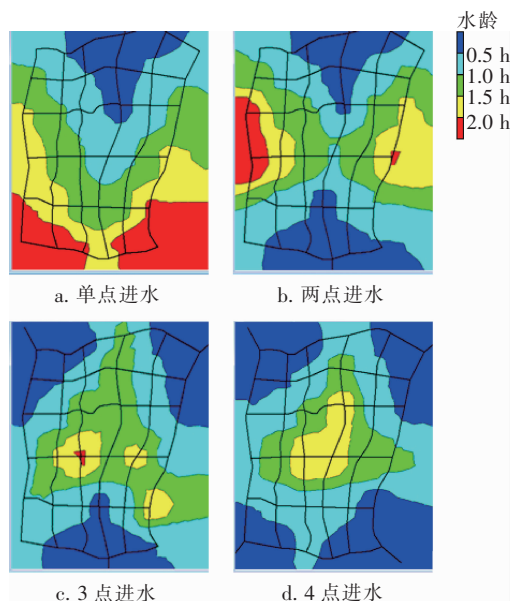


图5 不同进水点数量下管网水龄的等值线

Fig. 5 Water age isoline of pipe network with different influent points

2.1.3 经济性分析

计算不同进水点数量的管网总投资、泵站建设

投资以及年运行费用,结果见图6。可知,相对于管网只有1个进水点,进水点数量为2、3、4时管网总投资分别降低了6%、8%和8.33%,泵站年运行费用分别降低了14.63%、14.63%和17.07%。综合水压分析结果,这主要是因为增加进水点数量后,使管网水压在满足供水压力要求的情况下大幅降低,且更趋于均匀,从而减小管段的经济管径,降低水泵供水扬程,使得管网总投资显著降低。但随着进水点数量的不断增多,泵站数量也随之增加,泵站建设投资上升。综合来看,进水点数量为1、2、3时,管网总投资、年运行费用、泵站建设投资总和相差不多,但进水点数量为4时,总投资增加显著。

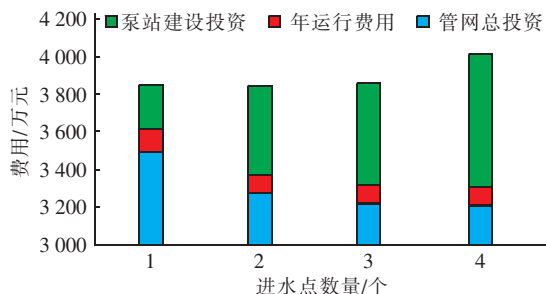


图6 不同进水点数量下管网的经济性比较

Fig. 6 Economic comparison of pipe network with different influent points

2.1.4 进水点数量的确定

综上所述,供水管网中设置的进水点数量越多,管网的水压和水龄越低,且越趋于均匀。当进水点数量 ≤ 3 时,管网总投资相差不多,但当进水点数量为4时,管网总投资大幅度增加。此外,供水管网进水点数量过多还难以确定水压控制点,且闭合环中若小区域内的损失大于区域外,则可能会发生反向流^[12]。因此,在考虑管网水压分布均匀性的情况下,建议管网设置2个进水点;若主要考虑调高供水管网水质、降低管网水龄时,建议设置3个进水点。

2.2 进水位置模拟结果

由于示例供水管网的供水区域较小,设置2个进水点时,不同位置进水对管网供水状态影响较小,难以比较各进水位置的优劣,因此在进水位置模拟分析中均仅设置1个进水点,从而为后续深入研究2个进水点时进水位置的确定提供参考。

2.2.1 平坦地形

对于地势平坦的供水区域,进水点可选择布置在边侧或中部,边侧进水时设置进水点为节点J3,

中间进水时设置进水点为节点J8。

① 水压分析

平坦地形条件下,中间进水时管网平均水压与最高水压分别为31.06和38.00 m,边侧进水时管网平均水压与最高水压分别为33.58和41.00 m,中间进水时最高水压与平均水压差值低于边侧进水6.47%。结合平坦地形不同进水位置时管网水压等值线(见图7)可知,中间进水时管网水压分布更加均匀。

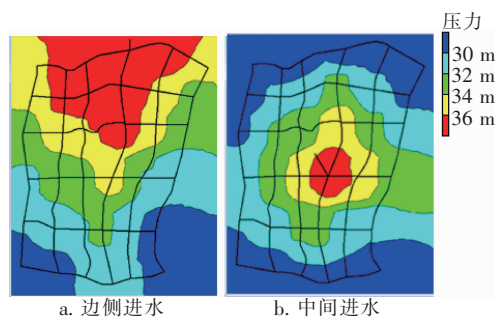


图7 平坦地形不同进水位置时管网水压等值线

Fig. 7 Water pressure isoline of pipe network with different influent positions at flat terrain

② 水龄分析

平坦地形条件下,中间进水时管网平均水龄与最高水龄分别为1.01和2.50 h,边侧进水时管网平均水龄与最高水龄分别为1.24和3.22 h,中间进水时管网平均水龄和最高水龄均明显低于边侧进水,且管网最高水龄和平均水龄差降低了24.75%,结合平坦地形不同进水位置时管网水龄等值线(见图8)可知,中间进水时管网水龄更低,且更加均匀,管网水质更优。

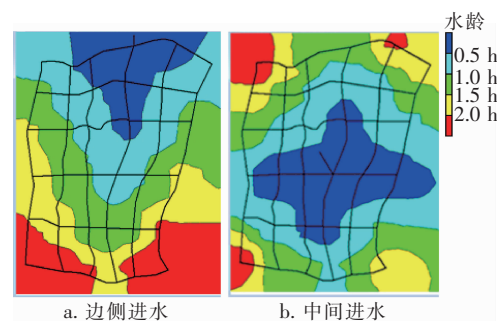


图8 平坦地形不同进水位置时管网水龄等值线

Fig. 8 Water age isoline of pipe network with different influent positions at flat terrain

③ 经济性分析

经计算,平坦地形边侧和中间进水的管网投资

建设费用分别为3 494.34和3 250.48万元,泵站年运行费用分别为117.63和109.03万元。可见,管网中间进水可降低243.86万元的管网投资建设费用和8.6万元的泵站年运行费用,经济效益可观。

④ 平坦地形进水位置的确定

根据以上水压、水龄以及经济性比较,平坦地形的供水区域进水点宜设置在中部位置,可使各节点水压更趋于均匀,且减少水在管道内的停留时间,防止水质恶化,同时减少管网建设投资,降低泵站年平均运行费用。

2.2.2 陡坡地形

对于地形标高差较大的供水区域,进水点可选择布置在区域高程的高点或区域中部。本研究仍以重庆市巴南区鹿角一界石组团供水管网为研究对象,假设地形标高(见图9),分别模拟高点进水和中间进水两种情况,以确定陡坡地形供水管网的进水位置。高点进水时设置进水点为节点J3,中间进水时设置进水点为节点J8。

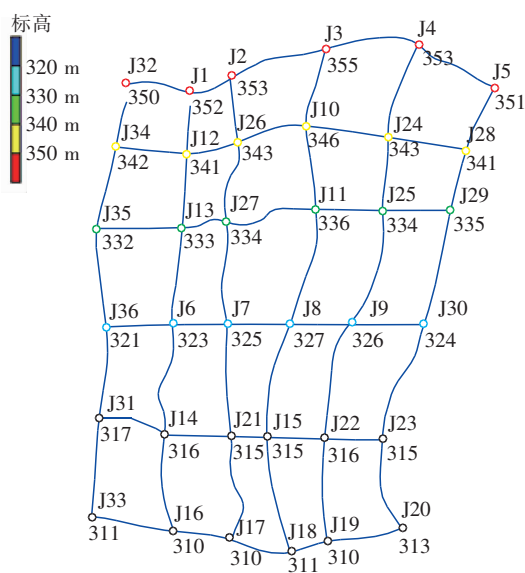


图9 供水区域地形标高示意

Fig. 9 Schematic diagram of topographic elevation of water supply area

① 水压分析

陡坡地形条件下,高点进水时管网平均水压与最高水压分别为44.83和57.81 m,中间进水时管网平均水压与最高水压分别为51.45和67.52 m。可以看出,高点进水时管网平均水压与最高水压均显著低于中间进水,且高点进水时最高水压与平均

水压差低于中间进水19.23%,说明高点进水时管网水压分布更加均匀。图10为陡坡地形不同进水位置下管网水压等值线。可知,管网由中间进水时,管网低区水压过高,约1/2的管段水压超过60 m,管网水压分布极不均匀。管网从高点进水时,水压均低于60 m,整体分布均匀,与管网水压数值分析的结论一致。

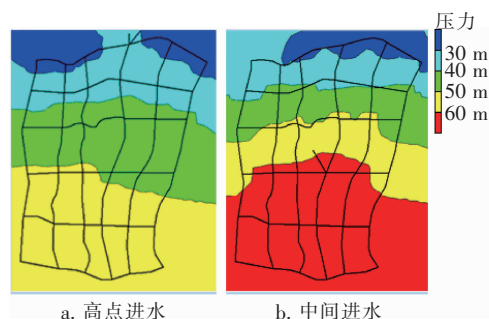


图10 陡坡地形不同进水位置时管网水压等值线

Fig. 10 Water pressure isoline of different influent positions at steep slope terrain

② 水龄分析

陡坡地形条件下,高点进水时管网平均水龄与最高水龄分别为1.08和2.75 h,中间进水时管网平均水龄与最高水龄分别为1.01和2.55 h。可见,中间进水时管网平均水龄和最高水龄均略低于高点进水,说明管网由中间进水时水质稍优于高点进水。图11为陡坡地形不同进水位置时管网水龄等值线。可知,高点进水时,低区部分管段水龄高于1.5 h。中间进水时,2/3以上管段水龄低于1 h,管网边角部分管段水龄高于1.5 h。综合来看,高点进水与中间进水时,管网整体水质情况相近。

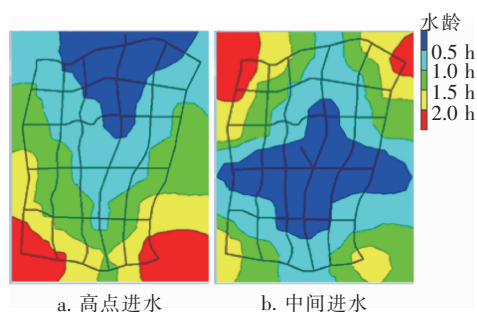


图11 陡坡地形不同进水位置时管网水龄等值线

Fig. 11 Water age isoline of different influent positions at steep slope terrain

③ 经济性分析

经计算,陡坡地形不同进水位置条件下,高点进水和中间进水的管网投资建设费用分别为3 378.34

和3246.19万元,泵站年运行费用分别为243.87和255.35万元。从管网投资建设费用方面来看,中间进水更为经济,而从泵站年运行费用方面来看,高点进水更为节省。

④ 陡坡地形进水位置的确定

根据水压、水龄以及经济性分析,建议地形坡度较大供水区域的进水点宜设置在地形高处,这有利于降低各节点的自由水头,并可利用现有位置水头供水,从而节约电耗。

3 结论

① 若主要考虑管网水压分布的均匀性,建议管网设置2个进水点;若主要考虑调高供水管网水质、降低管网水龄时,建议设置3个进水点。

② 当地形平坦时,管网进水点宜设置在管网中部;当地形坡度较大时,管网进水点宜设置在最高高程点。

③ 管网区块化能有效改善管网水压分布的均匀性,降低管网水量漏损,提高管网水质,节省管网建设运行费用。

参考文献:

- [1] Wu Y P, Liu S M. A review of data-driven approaches for burst detection in water distribution systems [J]. Urban Water Journal, 2017, 14(9): 972-983.
- [2] Al-Washali T, Sharma S, Kennedy M. Methods of assessment of water losses in water supply systems: a review [J]. Water Resour Manage, 2016, 30(14): 4985-5001.
- [3] Wu Y P, Liu S M, Wu X, et al. Burst detection in district metering areas using a data driven clustering algorithm [J]. Water Res, 2016, 100: 28-37.
- [4] Kara S K, Karadirek I E, Muhammetoglu A, et al. Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics [J]. Procedia Engineering, 2016, 162: 521-529.
- [5] Latchoomun L, King R T F A, Busawon K. A new approach to model development of water distribution networks with high leakage and burst rates [J]. Procedia Engineering, 2015, 119: 690-699.
- [6] Ferrari G, Savic D. Economic performance of DMAs in water distribution systems [J]. Procedia Engineering, 2015, 119: 189-195.
- [7] Nardo A D, Cavallo A, Natale M D, et al. Dynamic control of water distribution system based on network partitioning [J]. Procedia Engineering, 2016, 154: 1275-1282.
- [8] 赵明. 输配水系统水力与水质安全研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- Zhao Ming. Study on Hydraulic Safety and Water Quality Safety for Transmission and Distribution System [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008 (in Chinese).
- [9] 舒诗湖, 郑小明, 赵明, 等. 基于区块化的供水管网全系统多级水平衡管理[J]. 中国给水排水, 2013, 29(12): 18-21.
- Shu Shihu, Zheng Xiaoming, Zhao Ming, et al. Multi-level water balance management of water supply network based on DBS [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(12): 18-21 (in Chinese).
- [10] Nardo A D, Natale M D, Giudicianni C, et al. Water supply network partitioning based on simultaneous cost and energy optimization [J]. Procedia Engineering, 2016, 162: 238-245.
- [11] Nardo A D, Natale M D, Giudicianni C, et al. Water distribution system clustering and partitioning based on social network algorithms [J]. Procedia Engineering, 2015, 119: 196-205.
- [12] 赵洪宾, 周建华. 新型供水模式探讨[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(11): 1354-1356.
- Zhao Hongbin, Zhou Jianhua. New way of water supply [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(11): 1354-1356 (in Chinese).



作者简介: 刘少武(1977-), 男, 河南信阳人, 博士, 高级工程师, 研究方向为水处理理论与技术。

E-mail: 52495449@qq.com

收稿日期: 2018-07-22