

叠压供水与市政管网水力作用模拟与分析

毛 青, 陈盛达, 李树平, 谢 红
(同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: 传统二次供水方式增压泵站数量众多,运行能耗较大,而且还存在水质二次污染风险,为了解决这些问题,出现了叠压供水技术。叠压供水直接从市政管网取水加压,势必会引起市政管网的水力特性变化;同样,市政管网的供水条件也会影响叠压供水的水力特性。因此,为了解市政管网与叠压供水之间的水力作用,利用 FLOWMASTER 软件进行了叠压供水系统运行状况建模,并结合各种影响因素进行了分析。结果表明,叠压供水系统设置时,应考虑用水量、接入管位置、市政主管管径、管网拓扑结构以及市政管网压力等因素;叠压供水接入市政管网系统后,普遍在 3 min 后趋于稳定,且在各种阀门的调控下,管网中的压力波动不会对用户用水造成影响。

关键词: 叠压供水系统; FLOWMASTER 软件; 压力波动; 管网拓扑结构

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0062-05

Simulation and Analysis of Hydraulic Interaction of Pressure-superposed Water Supply and Municipal Pipe Network

MAO Qing, CHEN Sheng-da, LI Shu-ping, XIE Hong

(College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Due to the large number of booster pump stations, the traditional water supply system consumes tremendous energy in operation, and risks the pollution of water quality. Pressure-superposed water supply can solve these problems. Pressure-superposed water supply takes water directly from the municipal pipe network, which can change the hydraulic characteristics of the municipal pipe network; meanwhile, the municipal pipe network conditions can affect the hydraulic characteristics of pressure-superposed water supply. Therefore, to understand the hydraulic interaction between pressure zones, FLOWMASTER software was used to model the operation of the water supply system with multiple zones, and to analyze various influencing factors. The results showed that the water consumption, the location of the accessing pipe, the size of the main pipe, the pipe network topology, and the pressure of the municipal pipe network should be taken into consideration when setting up the pressure-superposed water supply system. After the pressure-superposed water supply system was connected to the municipal pipe network system, it tended to be stable after 3 minutes, and under the control of various valves, the pressure fluctuations in the pipe network would not affect the user.

Key words: pressure-superposed water supply system; FLOWMASTER software; pressure fluctuation; pipe network topology

叠压供水是指直接从市政管网中抽水加压的二次供水方式,其系统主要由水泵机组、防负压设施和

自动控制柜组成。水泵直接从与市政管网连接处吸水加压,然后供给各用水点,根据具体需要,可以增设低位水箱或高位水箱、稳流罐(也叫稳流补偿器)和隔膜式气压水罐。这种方式不但充分利用了市政管网余压,而且基本采用全变频同步调速方式,在夜间低流量时利用气压罐供水,避免了水泵频繁开启,与水池抽水加压方式相比有较大的节能效益^[1]。叠压供水直接从市政管网取水加压,势必会引起市政管网的水力特性变化;同样,市政管网的供水条件也会影响叠压供水的水力特性^[2]。因此,为了解市政管网与叠压供水之间的水力作用,利用 FLOWMASTER 软件进行了叠压供水系统运行状况建模,并结合各种影响因素进行了分析。

1 FLOWMASTER 软件简介

FLOWMASTER 是一维流体动力系统仿真软件,主要用于分析流体管路系统的各种状态,其基本原理是把整个管网系统视为一系列基于压力—流量关系的组件模型,其中组件间以管网节点逻辑连接,用 $f(\text{压力}, \text{流量}) = 0$ 的线性函数方程描述各组件流动,把管网系统问题简化为线性方程组问题^[3]。管网系统中各元件都可看作是阻力部件,水泵相当于负阻抗,其余元件为正阻抗。

市政管网系统以及叠压供水系统建模包括各种功能组件,主要分为边界源、水泵、管道、阀门、控制器和稳压器 6 大类。本研究中用流量源模拟市政管网中的用水点,用压力源提供恒定压力,水泵采用离心泵模型,管道采用刚性管模型。

2 叠压供水影响因素探究

首先利用流体瞬变流计算软件建立一单水源枝状市政管网与叠压供水系统的管网水力模型,然后应用 FLOWMASTER 软件^[4]对叠压供水系统建模,如图 1 所示。通过控制单一变量,利用数值模拟,分析不同条件下叠压供水系统与市政管网系统之间的相互影响^[5]。图 1 中,组件 3、4、23、30 为管道,其中组件 4 表示叠压供水引入管,组件 3、30 为市政干管;组件 26 为压力源边界;组件 1、28 为流量源边界,其中组件 1 代表叠压供水用水点,组件 28 代表下游用水点;组件 5、9、14、16、21 为闸阀;组件 25 为球阀;组件 7、10、12、15、17、22 为水头损失;组件 6、13、20 为止回阀;组件 11、18 为水泵;组件 8 为控制器;组件 31 为稳压罐;组件 27、29 为测量器。各个节点可以设置标高、温度和汽化压力等参数。

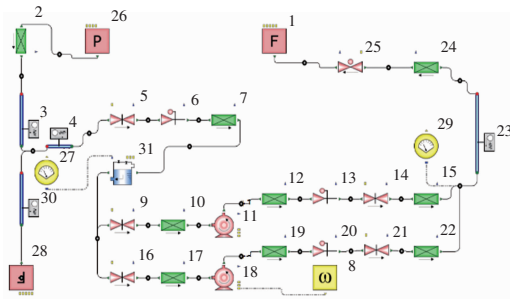


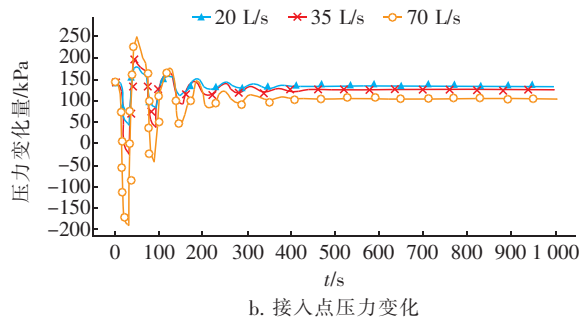
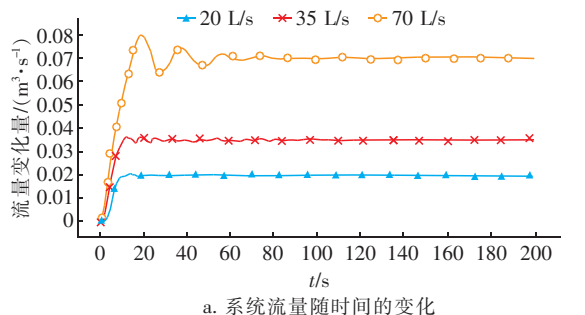
图 1 叠压供水系统模拟

Fig. 1 Simulation diagram of pressure-superposed water supply system

运行参数设置包括:设置市政管网供水压力为 0.22 MPa, 10 s 时流量达到最大设计值,下游用户流量恒定设置为 65 L/s;运行时间步长设置为 0.5 s,运行时间为 200 s。所有泵均以 2 960 r/min 的初始转速运行,之后其中一台泵恒速运行,另外一台泵则由控制器调速运行。系统中所有止回阀的开启时间设置为 2 s,最小开启流速为 0.3 m/s,膨胀罐内起始压力为 0.2 MPa。

2.1 用水量变化的影响

当用户用水量出现变化时,必然会对叠压供水系统以及市政管网造成影响,可通过模拟不同流量工况探究管网系统中的压力变化情况。运行条件中组件 3 管径取 600 mm,长度取 5 000 m;组件 4(引入管)管径取 300 mm,长度取 10 m。设置 3 个流量分别为 70、35 和 20 L/s,模拟结果如图 2 所示。



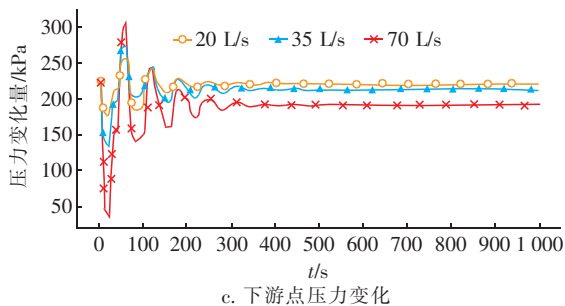


图2 不同用水量工况下的模拟结果

Fig. 2 Simulated results of different water consumption conditions

图2(a)为不同用水量工况下系统流量随时间的变化曲线。可以看出,用水量较小时系统流量趋于稳定所需的时间较短,流量波动幅度也较小,当用户流量为70 L/s时系统流量波动幅度约为20 L/s,而其他两个流量工况下波动幅度均在5 L/s以内。

图2(b)为不同用水量工况下叠压系统运行对市政管网接入点瞬态压力的影响曲线,模拟数值结果见表1。结果显示,随着用水量的增加,引入管与市政管网接口处压力波动不断增加,当用户流量为70 L/s时,压力波动超过0.2 MPa。

表1 不同流量工况下接入点压力对比

Tab. 1 Comparison of inlets pressure under different flow conditions MPa

项 目		最低压力	最高压力	最大压力差	稳定后压力	稳定后压降
用水量/ ($L \cdot s^{-1}$)	20	0.175	0.254	0.079	0.220	0.010
	35	0.131	0.271	0.140	0.212	0.018
	70	0.038	0.302	0.264	0.191	0.039

同样,用水下游点压力变化与接入点压力变化规律类似,如图2(c)所示。

2.2 引入管位置的影响

实际工程中,当叠压供水系统在市政管网不同位置取水时,运行中会对市政管网产生不同的水力影响,现将叠压供水系统引入管分别移至距离市政水源10、5、0.5 km的位置,即分别设置组件3的长度为10、5、0.5 km,用水量均为20 L/s,对系统进行模拟计算。结果表明,当引入管在距离水源0.5 km的市政干管上取水时,系统运行时市政管网压力波动大幅减小,最大压力波动不到0.05 MPa,稳定后的压降为0.002 MPa,系统在50 s内快速达到稳定;而当引入管在距离水源5 km和10 km位置吸水时,最大压力波动分别达到0.136、0.126 MPa,稳定后

的压降分别为0.005、0.012 MPa。同样,下游用水点压力变化规律与引入点一致。

根据上述结果得出:长距离的枝状管网,在相同供水流量下,叠压供水引入管离水源越远,设备启动造成的压力波动越大,达到稳定所需时间越长,稳定后的压降也越大,因此供水风险也越大。

2.3 市政管径大小的影响

当叠压供水系统引入管位置固定且吸水量保持一定时,市政干管与吸水管管径之比也会对接入点的压力产生不同的影响。固定组件3长度为5 000 m,组件8的长度为100 m,组件4的管径为200 mm、长度为10 m。叠压供水用户取水量即组件1的出流量为20 L/s。改变组件3的管径以及组件28的出流量,依次设置组件3的管径为600、800、1 000 mm,同时设置组件28的出流量为160 L/s。模拟结果表明,当市政干管管径为600 mm时,即主管与引入管管径比为3:1时,最大压降为0.052 MPa;而市政干管管径为1 000 mm时,即主管与引入管管径比为5:1时,最大压降仅为0.023 MPa。而稳定后600、800、1 000 mm干管条件下的压力分别为0.194、0.227和0.234 MPa。据此可知,市政干管管径越大,叠压系统运行时接入点压力波动越小,稳定后压降也越小,该结果与稳态的水力计算结果一致。

2.4 市政管网拓扑结构的影响

当上述条件都固定不变时,不同的管网拓扑结构也会对接入点的压力变化产生不同的影响。图3为环状和枝状干管叠压模拟系统示意。

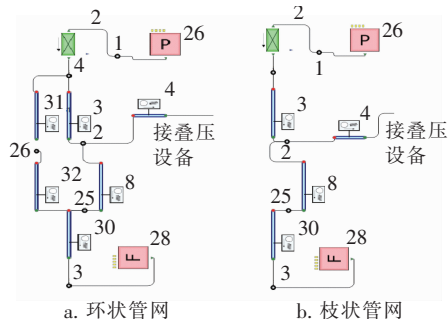


图3 不同管网拓扑结构模拟系统示意

Fig. 3 Schematic diagram of different pipe network topology simulation system

两个系统均固定组件3长度为5 000 m,组件8长度为100 m,组件4管径为200 mm、长度为10 m,叠压供水用户取水量即组件1的出流量为35 L/s。

系统一并联 600 mm 干管,即组件 31 与 32,设置组件 28 的出流量为 200 L/s;系统二设置组件 28 的出流量为 100 L/s,以保证两系统中单根干管的流量基本相同。模拟结果见图 4。系统一的最大压降为 0.034 MPa,而系统二的最大压降达到 0.065 MPa,即环状管网叠压系统运行时接入点压力波动相对枝状管网更小。并且,相比于环状管网,枝状管网流量波动范围更大。

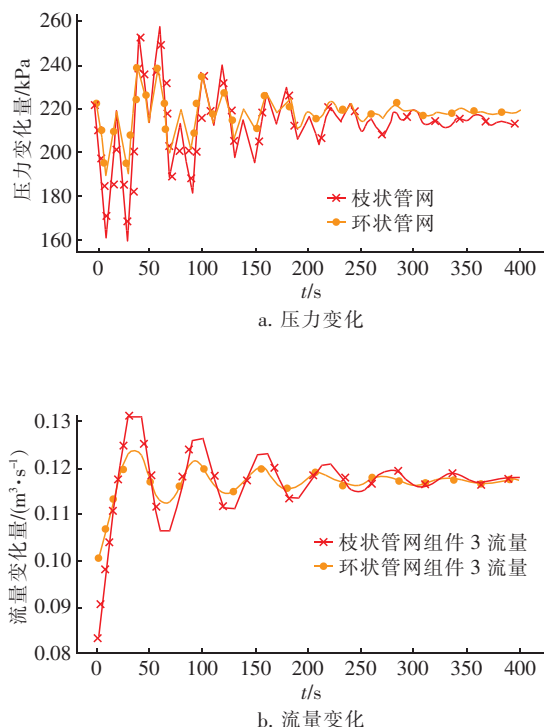


图4 不同管网拓扑结构对压力和流量变化的影响

Fig. 4 Influence of different pipe network topology on pressure and flow change

综上所述:当引入管位置距离水源一定,且市政干管与吸入管管径一定时,不同主管拓扑结构对同一套叠压供水系统抗干扰能力不同,支管成环的主管明显具有更强的抗干扰能力。

2.5 市政管网压力变化的影响

市政供水管网的压力通常在一定范围内波动,会对叠压供水系统产生影响,为了探究不同市政管网压力对叠压供水系统的影响程度,分别将压力源边界设为 0.2、0.28 MPa,假设叠压供水用户端所需压力为 0.5 MPa,用户用水量为最大设计秒流量(35 L/s),为了保持管网等压供水和达到节能目的,调速泵调速运行。模拟结果表明,市政管网压力变化对增压泵出口压力波动几乎无影响,两者曲线基本

重合,市政管网压力为 0.28 MPa 时,增压泵出口压力经过 500 s 后稳定于 0.497 MPa,与市政管网压力为 0.2 MPa 的工况相同。同样,在市政管网接入点两者压力波动幅度相同,两者压力不同仅因为初始压力值不同。

市政管网服务水压增大,增压泵转速降低,扬程减小,使得水泵机组出口压力恒定,市政管网服务水压为 0.28 MPa 时,叠压供水系统调速泵轴功率从 5.5 kW 降至 5.46 kW,相对节能率达到 27%。

3 结论

① 叠压供水系统启动瞬间会使引入管与市政管网连接处压力出现一定程度的波动,且引入管接口越靠近供水水源,所接市政干管管径越大,取水量越小,运行时接入点压力波动越小,叠压用水压力下降值越小,稳定时间越快。

② 相对于枝状管网,在市政干管管径与流量相同的条件下,从环状管网处吸水对市政管网影响更小,接入点压力波动越小。

③ 通过改变市政管网可利用水头大小,模拟发现市政管网服务压力增大时,水泵机组出口压力波动并未发生明显变化,而接入点压力波动幅度和频率与较低进水压力相比基本一致。由此可知,仅仅增加市政管网剩余水头并不能降低接入点在叠压设备时的压力波动。

④ 叠压供水接入市政管网系统后,普遍在 3 min 后趋于稳定,且在各种阀门的调控下,管网中的压力波动不会对用户用水造成影响。

参考文献:

- [1] 李世英. 直接式管网叠压供水与传统供水方式的比较[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2002,28(5): 441-443.
Li Shiyong. Comparison between direct network pressure-superpositional method of water supply and traditional method of water supply [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2002, 28(5): 441-443 (in Chinese).
- [2] 赵铨. 二次供水工程设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
Zhao Li. Secondary Water Supply Engineering Design Manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018 (in Chinese).
- [3] 朱寅春,王小鹏,王定宝. 叠压供水系统适用性分析

[J]. 净水技术, 2015, 34(S1): 122-124, 127.

Zhu Yinchun, Wang Xiaopeng, Wang Dingbao. Applicability analysis of network pressure-superposed water supply system[J]. Water Purification Technology, 2015, 34(S1): 122-124, 127 (in Chinese).

- [4] 邓佑锋, 许仕荣, 徐洪福. 管网叠压供水与市政供水管网的相互影响研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(17): 52-55.

Deng Youfeng, Xu Shirong, Xu Hongfu. Interaction between network pressure-superposed water supply and municipal network [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(17): 52-55 (in Chinese).

- [5] 徐青萍, 陶诚, 耿冰, 等. 叠压供水在二次供水改造中的应用研究[J]. 净水技术, 2017, 36(S1): 123-128, 134.

Xu Qingping, Tao Cheng, Geng Bing, et al. Application of the pressure-superposed water supply in the secondary water supply improvement[J]. Water Purification Technology,

2017, 36(S1): 123-128, 134 (in Chinese).



作者简介: 毛青(1994-), 女, 重庆丰都人, 硕士研究生, 研究方向为给水排水工程设计与运行最优化。

E-mail: 1732756@tongji.edu.cn

收稿日期: 2018-12-12

· 信息 ·

格兰富深耕广西助力水环境综合治理

“格兰富深耕广西 20 余年, 积极与各方合作, 参与了多个水环境综合治理项目, 主要在流域治理、污水收集及工业废水处理方面提供专业的知识, 以帮助广西更好地规划、分配和管理水资源。”格兰富中国区水务事业部总经理张杰先生表示, “我们凭借丰富的水环境治理经验, 因地制宜地针对广西的需求提供特殊定制的解决方案, 为提供居民整体安全和清洁的水环境保驾护航。”

① 餐厨废弃物无害化处理: 由于餐厨废弃物有机物含量丰富、水分含量高、易腐烂, 不恰当的处理易对环境造成恶劣的影响。针对其成分复杂性和高处理难度, 格兰富在南宁餐厨废弃物无害化处理厂改扩建项目中参与建设了餐厨废弃物预处理系统、厌氧发酵系统、污水处理系统和污泥处理系统等, 协助南宁加强餐厨废弃物管理, 切实保障食品安全和人民群众身体健康。

② 老城区流域治理: 长期以来, 沙江河河道两侧多为“城中村”, 河水污染严重, 内涝频繁。为解决这一长期困扰的问题, 格兰富协助建造了沙江河截污泵站, 集中收集泵送周边居民生活污水至污水厂进行排放前处理, 同时将雨水和污水分离处理, 有效改善了沙江河的水质。目前, 沙江河泵站负责处理该流域 10 万居民的生活污水, 单筒处理量达到 $7.56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 是广西流域治理类单筒处理量最大的预制泵站之一。

③ 新城区污水收集处理: 格兰富积极推动南宁新城区生活污水收集设施的建设, 与城区发展同步规划、同步建设, 在城区人口发展前期建立高效的污水收集处理设施。在八尺江大桥附近, 受市政管线深度和占地面积限制, 格兰富设计建设了深达 19.8 m 的全国最深埋式污水提升预制泵站, 不仅节省占地面积, 同时克服了高深度所带来的承压强等技术难点。该泵站可以达到每天处理 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 污水的标准, 有助于改善周边 14 万居民的生活环境, 同时对新城区的长期可持续性发展做出贡献。

(格兰富水泵 <上海> 有限公司 供稿)