

doi: 10.12052/gdutxb.210127

小区优质饮用水改造工程方案多维度比选

曾佳榆¹, 陆瑶², 曹昊晨², 李薇³, 袁文麒⁴, 舒诗湖¹

(1. 东华大学 环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 上海浦东威立雅自来水有限公司, 上海 200127; 3. 中国电建集团建筑规划设计研究院有限公司, 北京 100024; 4. 上海韵水工程设计有限公司, 上海 201707)

摘要: 为了响应国务院颁布的《水污染防治行动计划》, 实现2035年市政自来水直饮的目标, 本文对上海某老旧小区的二次供水管网进行模拟。根据管网布置现状, 提出了3个不同的管网布置方案, 对其进行模拟, 比较各点水龄、压力、流速等水力情况。选取较为合适的改造方案: 现状和方案1, 并分别对其进行水池水位和管网管径优化。模拟结果显示水池水位优化和管网管径优化方案可以显著缩短水龄, 压力和流速均处于较合适的范围, 根据模拟结果多维度比选, 最终选取基于水池水位与管网管径优化的现状管网。经检测, 改造后各项水质指标检测均达标, 余氯衰减系数降低了53.3%。

关键词: 直饮水; 改造方案; 水力模型; 水龄

中图分类号: TU991

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2023)03-0122-05

Multi-dimensional Comparison and Selection of High-quality Drinking Water Renovation Project Schemes for Communities

Zeng Jia-yu¹, Lu Yao², Cao Hao-chen², Li Wei³, Yuan Wen-qi⁴, Shu Shi-hu¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Shanghai Pudong Veolia Water Supply Co., Ltd., Shanghai 200127, China; 3. China Power Construction Group Architectural Planning and Design Institute Co., Ltd., Beijing 100024, China; 4. Shanghai Yunshui Engineering Design Co., Ltd., Shanghai 201707, China)

Abstract: In response to the "Water Pollution Prevention and Control Action Plan" promulgated by the State Council and to achieve the goal of direct drinking of municipal tap water in 2035, the secondary water supply network of an old community in Shanghai is simulated. According to the current pipeline network layout, three other different pipeline network layout schemes are proposed, which are simulated to compare the water age, pressure, flow rate and other hydraulic conditions at each point. Choosing a more appropriate transformation plan and comparing the current situation and planned one, the water level of the pool and the diameter of the pipe network are respectively optimized. The simulation results show that the water level optimization and pipe diameter optimization of the pool can significantly shorten the water age, and the pressure and flow velocity are in a more appropriate range. According to the simulation results, the multi-dimensional comparison and selection are finally selected based on the current situation of the optimization of the water level of the pool and the pipe diameter. After testing, all water quality indicators are up to standard after the renovation, and the residual chlorine attenuation coefficient is reduced by 53.3%.

Key words: direct drinking water; renovation plan; hydraulic model; water age

目前饮用水水质在现有深度净水工艺基础上不断提高, 但仍不能确保龙头水水质达到直接生饮水平。二次供水位于市政供水管网的末端, 具有水力停

留时间长、余氯含量低、水质易受二次污染等特点^[1], 尤其对于老旧小区而言, 管材腐蚀严重, 水质问题投诉较多。以上海某老旧小区作为直饮水示范点,

收稿日期: 2021-08-30

基金项目: 上海市科委社发重点项目(19DZ1204400); 上海市水务局科研项目(沪水科2020-12)

作者简介: 曾佳榆(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为给水管网模拟, E-mail: 1149295616@qq.com

通信作者: 舒诗湖(1981-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为给排水管网系统模拟与优化, E-mail: shushihu@dhu.edu.cn

对其进行二次供水改造。虽然国内已有多个直饮水试点工程,但大多直饮水工程主要聚焦于对市政自来水采用各种组合工艺(如过滤、高级氧化、纳滤工艺等)处理制备直饮水^[2],未能实现市政自来水直饮。对于二次供水小区的改造大多也停留在漏损控制、屋顶水箱和增压设备上^[3],而该工程通过优化小区给水管网的水龄来降低二次供水的风险,实现市政自来水直饮目标。

该小区房龄22年,二供模式均为低位水池+变频水泵供水,泵房内水泵的使用情况是两用一备,泵的扬程为40 m,流量为5.56 L/s,街坊管道材质为聚氯乙烯(Polyvinyl Chloride,PVC),楼宇管道材质为三型聚丙烯(Polypropylene Random,PPR)。经检测,该小区改造前用户楼立管、用户龙头水的异养菌数、细菌总数、浑浊度等水质指标在夏季存在一定的风险,但小区进水口的水质指标较好。因此,在该小区建立水力模型,为改造过程中的管道布置、泵房设计提供依据,改善二次供水的水力、水质条件,缩短水龄,防止水在水池、管网中发生水质恶化。

1 供水管网水力模拟

1.1 构建水力模型

在建立水力模型之前,需要搜集管网资料,包括节点坐标、高程、各门洞水表数据、管道长度、管径、管材(确定粗糙系数)、小区配水管网的进水口节点坐标等。

根据水表数据,求出各门洞24 h用水量的平均值,从而得出各门洞的基本需水量。水库总水头设为1,以实际的进水压力作为进水模式。在数据中输入水泵的流量和扬程得到水泵曲线,并将水泵的效率均设为0.8得到水泵模式。构建水力模型的流程如图1所示。

各节点24 h需水量模式如图2所示,将其导入EPANETH水力模型中对小区现状管网进行水力模拟。

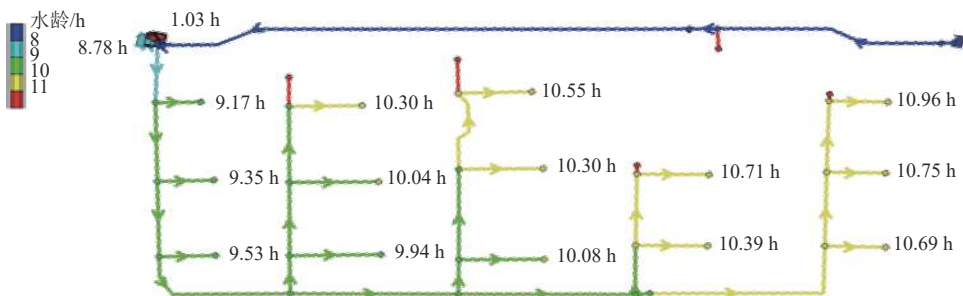


图3 现状管网水力模拟图

Fig.3 Current pipe network hydraulic simulation diagram

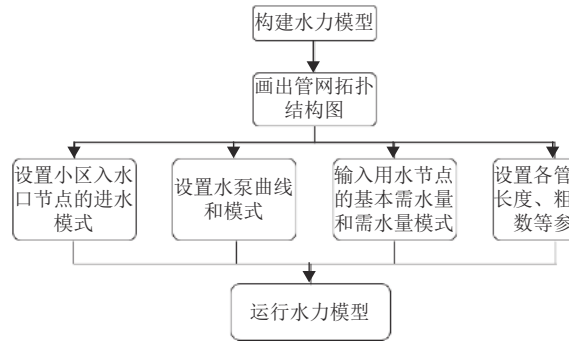


图1 构建水力模型流程图

Fig.1 Flow chart of constructing hydraulic model

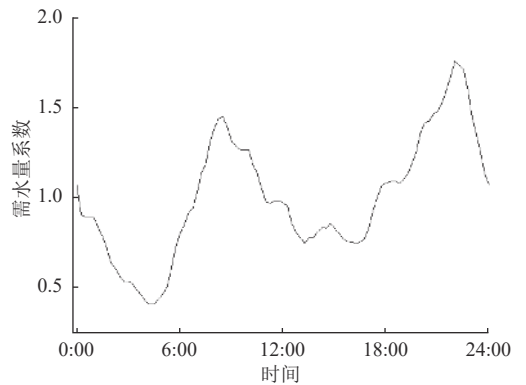


图2 需水量系数随时间变化图

Fig.2 The water demand coefficient changes with time

1.2 现状

根据小区现状给水管网拓扑结构图和各门洞的水表数据,获得各节点的基本需水量和住宅24 h需水量曲线,使用EPANETH水力模型对小区现状管网进行水力模拟,运行24 h后各节点和管段的水龄如图3所示。最不利点的水龄为10.95 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为8.78 h,因此水在水池中停留的时间为7.75 h(出水点水龄-进水点水龄,下同),管网内储存的水大约2.17 h(最不利点水龄-出水点水龄,下同)用完。泵房内只开1台泵,并对该水泵开启80%变频,各门洞早上8点的压力值约为34.54 m,符合压力需求。

1.3 方案1

对小区现有管网进行改造,管网末梢与泵房出口管道联通形成环网(联通管不与其他管道联通),并对改造后的管网进行水力模拟。模拟结果显示,24 h后最不利点的水龄为13.26 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为8.78 h,因此水在水池中停留的时间为7.75 h,管网内储存的水大约4.48 h用完。泵房内只开1台泵,并对该水泵开启80%变频。

1.4 方案2和方案3

方案2是将管网末梢与泵房出口管道联通形成环网(联通管与其他管道联通),并对改造后的管网进行水力模拟。模拟结果显示,24 h后最不利点的水龄为13.42 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为8.78 h,因此水在水池中停留的时间为7.75 h,管网内储存的水大约4.64 h用完。泵房内只开1台泵,并对该水泵开启80%变频。

方案3是将管网末梢回水至泵房水池(回水管不与其他管道联通),并对改造后的管网进行水力模拟。模拟结果显示,24 h后最不利点的水龄为12.14 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为10.60 h,因此水在水池中停留的时间为9.57 h,管网内储存的水大约1.54 h用完。泵房内开两台泵,对该水泵开启80%变频,相比现状、方案1、方案2,该方案的电力消耗较大。

2 方案优化与多维度比选

2.1 水池水位优化

2.1.1 基于水池水位优化的现状管网

现状管网水池的初始水位为1.5 m,最低水位为0.5 m,最高水位为2.8 m。耿冰^[4]提到降低最高水位可以有效地减小水池的有效容积,从而降低水龄,但是在调节水位的同时也要考虑水池中的低循环区域占比不能过大,否则会由于进水量小无法充分混合而产生死水区。因此保持原有最低水位不变,在保证该水力模型正常运行(不发出警报)的情况下降低最高水位,经过多次调整最高水位和初始水位,最后达到模型能够正常运行的状态。优化后初始水位为1.6 m,最低水位为0.5 m,最高水位为1.7 m。相比原来设定的水池水位,大约可以缩短1 h的水龄。其中,最不利点的水龄为10.05 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为7.85 h,因此水在水池中停留的时间为6.82 h,管网内储存的水大约2.2 h用完。

2.1.2 基于水池水位优化的方案1管网

方案1管网水池的初始水位为1.5 m,最低水位

为0.5 m,最高水位为2.8 m。与现状水池水位优化方案类似,保持原有最低水位不变,在保证该水力模型正常运行的情况下降低最高水位,优化后初始水位为1.6 m,最低水位为0.65 m,最高水位为1.65 m。相比原来设定的水池水位,大约可以缩短半小时的水龄。其中,最不利点的水龄为13.18 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为8.69 h,因此水在水池中停留的时间为7.66 h,管网内储存的水大约4.49 h用完。

2.2 管网管径优化

2.2.1 基于水池水位和管网管径优化的现状管网

缩小管网管径可以减小运输过程水在管网中的体积,可以缩短水龄,因此在符合管网流速的条件下对管网管径进行优化。现状管网从市政管到泵房水池的进水管管径为DN150,小区内部街坊管管径为DN150,街坊管到各门洞的进水管管径为DN100。经调整,从市政管到泵房水池的进水管管径仍为DN150,小区内部街坊管管径采用DN100,入户管管径采用DN50。调整后,相比原管径大约可以缩短0.5 h的水龄,管网流速小幅度提升,但大部分管道流速仍低于0.1 m/s,符合管网流速条件,运行24 h后各门洞水龄如图4所示。最不利点的水龄为9.59 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为7.85 h,因此水在水池中停留的时间为6.82 h,管网内储存的水大约1.74 h用完。

2.2.2 基于水池水位和管网管径优化的方案1管网

方案1管网从市政管到泵房水池的进水管管径为DN150,小区内部街坊管管径为DN150,街坊管到各门洞的进水管管径为DN100,回路管径为DN100。经调整,从市政管到泵房水池的进水管管径仍为DN150,小区内部街坊管管径采用DN100,入户管管径采用DN50,回路管径为DN100。调整后,相比原管径大约可以缩短1.5 h的水龄,管网流速小幅度提升,但管道流速仍低于0.1 m/s。其中,最不利点的水龄为11.45 h,水池进水点的水龄为1.03 h,水池出水点的水龄为8.69 h,因此水在水池中停留的时间为7.66 h,管网内储存的水大约2.76 h用完。

2.3 多维度比选

由表1可知,水池水位优化方案缩短了水在泵房的停留时间,管网管径优化方案缩短了水在管网中的停留时间。这两个优化方案对改善水龄均有着较大的促进作用。从供水可靠性来看,枝状管网的供水可靠性较低,环状管网的供水可靠性较强。从水龄上来看,环状管网由于增加了管道,因此增加了水在管

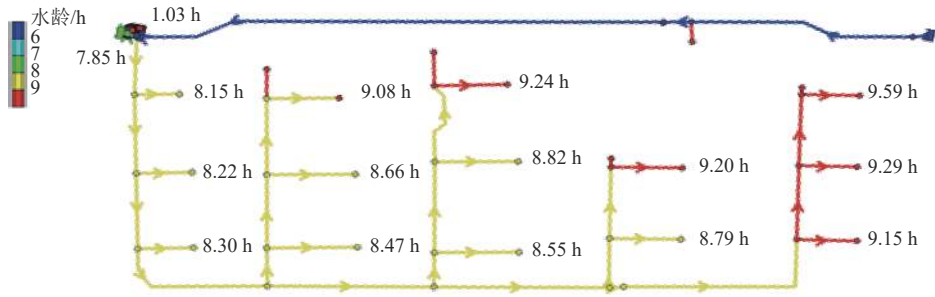


图4 基于水池水位和管网管径优化的现状管网水力模拟图

Fig.4 The current pipe network hydraulic simulation diagram based on the optimization of the water level of the pool and the pipe diameter

网中的停留时间,从而增长水龄,现状枝状管网的水龄最短。从节能的角度考虑,现状、方案1、方案2、方案3的入门洞压力均相差不大,但方案3开了2台泵,其余方案只开了1台泵,从泵的能耗来看,现状、方案1、方案2较节能;方案1、方案2、方案3均是环状管网,

增加了管道的工程量,从工程造价方面考虑,现状的工程量最少,造价最低。

根据以上多维度的比较,选择维持现状的管网布置,并进行水池水位优化和管网管径优化,最终水龄为9.59 h,入门洞压力为34.58 m。

表1 各工况下的水龄比较

Table 1 Comparison of water age under various working conditions

工况	最不利点 入门洞压力/m	最不利点 水龄/h	进泵房前管道 停留时间/h	泵房内部 停留时间/h	出泵房后管道内 停留时间/h
现状	34.54	10.95	1.03	7.75	2.17
方案1	34.54	13.26	1.03	7.75	4.48
方案2	34.54	13.42	1.03	7.75	4.64
方案3	34.36	12.14	1.03	9.57	1.54
现状水池水位优化	34.64	10.05	1.03	6.82	2.20
方案1水池水位优化	34.64	13.18	1.03	7.66	4.49
现状水池水位优化+管网管径优化	34.58	9.59	1.03	6.82	1.74
方案1水池水位优化+管网管径优化	34.63	11.45	1.03	7.66	2.76

2.4 水池容积优化

当水池的设计容积远大于需水量时,会产生死储水容量,不能经常补充自来水,导致水质恶化,久之容易造成二次污染^[5],且水池的水力停留时间=水池容积/小区用水量^[6],因此,要缩短水龄就需要对水池容积进行优化。改造前原水池尺寸为5 m×2 m×3 m,有效容积为25 m³,经水池水位优化后,模拟结果显示现状水池有效容积最少需要10 m³。根据《建筑给水排水设计标准》GB50015-2019,生活用水低位贮水池的有效容积宜按建筑物最高日用水量的20%~25%确定。已有水表数据显示,2020年9月14日至11月9日的最高日独立计量分区(District Metered Area, DMA)流量为97.7 m³,因此水池有效容积取19.54~24.425 m³较为合理。模拟结果显示现状水池所需的有效容积仅为10 m³,但贮水池不仅用于贮备生活用水量,还用于调节生活用水量和贮存消防和事故用水^[7],因此改造方案仍应遵守设计规范,最终改造方案取19.54 m³的有效水池容积。

3 结论

多维度比选后最终确定了水龄最优的方案,即基于水池水位和管网管径优化的现状管网方案。由于氯主要与水中的有机物、无机物、微生物发生反应,当水中的污染物浓度较高时余氯衰减的速率也较高,反之,余氯衰减速率较小,因此在二次供水中控制余氯衰减速率是保障居民饮用水安全的措施之一^[8]。该工程改造前后分别对泵房进水口、泵房出水口、用户水龙头、用户楼立管等处采样并监测各采样点48 h的余氯衰减。根据48 h的监测结果拟合余氯衰减一级动力学模型 $C = C_0 e^{-kt}$,可以拟合出在水温为12 ℃时改造前的主体水余氯衰减系数约为0.015,而改造后的主体水余氯衰减系数约为0.007,主体水余氯衰减系数降低了53.3%。由此可见,此次基于水龄优化的改造对水质提升具有较明显的效果。

除此之外,还在泵房增加水质在线监测系统,包括泵房进出水余氯值、浑浊度值以及水温、泵房进出水压力等参数,方便值班人员实时观察系统运行情

况并及时处理突发情况^[9]。

基于上述优化方案的实施,可以看出水质优化改造工程着重在于对其进行水池水位优化、管网管径优化、更换管材、水池容积和进水模式优化等方面。在二次供水方面可以通过多种优化方式相结合以缩短小区内部的水龄,达到市政自来水直饮的目的。对于小型或对供水可靠性要求不高的工程可采用枝状管网以减小水龄,对于大型或对供水可靠性要求较高的工程可采用环状管网以提高供水可靠性。

4 展望

为了进一步缩短水龄,可以在预知出水量升高前增加进水量,在预知出水量降低前减少进水量,即根据水池出水量变化曲线调整水池进水曲线。图5为调整前水池的进出水量曲线,调整后水池的进水量随着水池的出水量的变化而变化,不断地补充新的水与存水混合,降低水龄,如图6所示。在理想状态下,调整后可以在高峰期前增加水池进水,在低峰期前减少水池进水,从而达到降低水龄的效果。因此,下一步可以对水池进水模式进行调试。

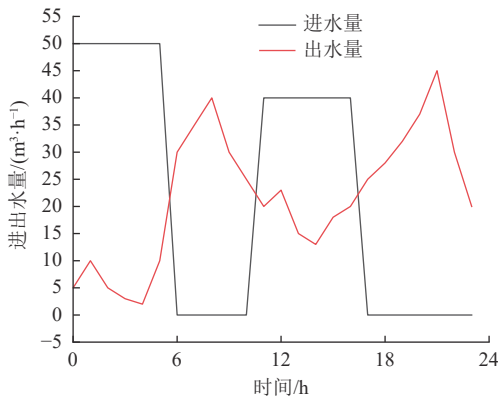


图5 调整前水池进出水量曲线

Fig.5 Curve of water in and out of the water tank before adjustment

直饮水是一个复杂的工程,在改造的过程中不仅要考虑小区二次供水的改造方案,还要考虑到整个直饮水供水链条,包括供水水源、途径供水管网、受水单位和户内内装管道、龙头^[10],要求每个环节水质均达到高品质饮用水要求。因此后续可以找出从水厂至该小区途径的管网,根据EPANETH水力模型找出流速较低的滞水管道,通过增加阀门或缩小管径的方式提升滞水管道的流速,以缩短水龄,提高水质。

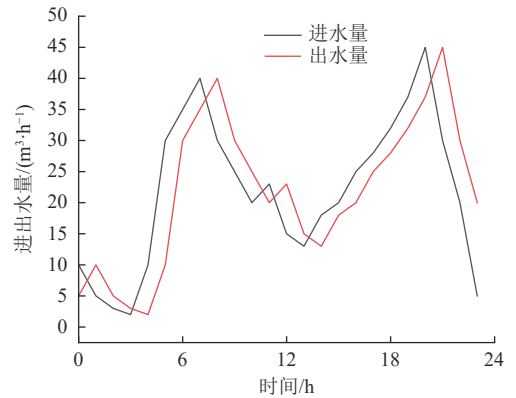


图6 调整后水池进出水量曲线

Fig.6 Curve of water in and out of the water tank after adjustment

参考文献:

- [1] 张浩, 杨艳玲, 李星, 等. 高层建筑转输供水系统余氯衰减规律与补氯特点研究[J]. 给水排水, 2018, 54(1): 115-121.
- [2] 袁海芳, 翟学东, 闫学亚, 等. 办公楼直饮水工程实例[J]. 山西化工, 2018, 38(5): 129-131.
YUAN H F, ZHAI X D, YAN X Y, *et al.* Examples of direct drinking water in office buildings [J]. Shanxi Chemical Industry, 2018, 38(5): 129-131.
- [3] 庞愉文, 严棋, 任远志, 等. 上海市某区二次供水改造后水质变化研究[J]. 给水排水, 2021, 57(1): 121-125.
PANG Y W, YAN Q, REN Y Z, *et al.* Study on the change of water quality after secondary water supply transformation in a district of Shanghai [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(1): 121-125.
- [4] 耿冰. 基于液位控制下的水池(箱)水龄估算方法及优化建议[J]. 净水技术, 2021, 40(5): 142-145.
GENG B. Estimation of water age in water pool(tank) based on water level control and suggestion for optimization [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(5): 142-145.
- [5] LIU X Y, SHU S H, YANG K, *et al.* Intelligent management of secondary water supply systems in downtown Shanghai [J]. *Procedia Computer Science*, 2019, 154: 206-209.
- [6] 吴雪, 肖磊, 刘书明, 等. 常州市小区内余氯降解规律研究[J]. 给水排水, 2020, 56(10): 98-103.
WU X, XIAO L, LIU S M, *et al.* Research on residual chlorine degradation in Changzhou communities [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(10): 98-103.
- [7] 王成功. 一种二次加压系统节能效果试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [8] 邵茁, 李鑫, 邵蓊, 等. 不同供水水质管网余氯衰减规律分析[J]. 供水技术, 2013, 7(2): 19-21.
SHAO Z, LI X, SHAO W, *et al.* Analysis of residual chlorine attenuation regularity for different water supply quality network [J]. Water Technology, 2013, 7(2): 19-21.
- [9] 陈建勋, 胡雨前. 某住宅小区管道直饮水系统设计[J]. 绿色环保建材, 2021(5): 61-62.
- [10] 童俊. 上海市政自来水实现直饮目标的对策研究[J]. 给水排水, 2020, 56(4): 70-75.
TONG J. Study on the countermeasures of Shanghai municipal tap water to achieve the target of direct drinking [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(4): 70-75.

(责任编辑: 杨耀辉)