

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.04.023

常州金坛区新旧水厂切换方案制定与实施

刘彩娥¹, 周佳雯², 毛青², 黄文忠¹, 谢红², 李树平²

(1. 常州市金坛自来水有限公司, 江苏常州 213200; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 为解决常州市金坛区的用水问题, 近期建成规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的长荡湖水厂, 在新水厂投入运行时, 容易发生浑黄水、水流方向及流速变化等新旧水厂切换问题。为了降低对供水管网水压和水质的不利影响, 通过利用软件模拟, 提出可行的水厂切换方案, 实施后成功实现了新旧水厂供水方式的切换。

关键词: 水厂切换; 节点压力; 节点水龄; 管段流速

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)04-0133-06

Formulation and Implementation of Switching Schemes between New and Old Waterworks in Jintan District of Changzhou

LIU Cai-e¹, ZHOU Jia-wen², MAO Qing², HUANG Wen-zhong¹, XIE Hong², LI Shu-ping²

(1. Changzhou Water Supply Company of Jintan District, Changzhou 213200, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to solve the problem of water use in Jintan District of Changzhou, the Changdanghu waterworks with a scale of $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ has been built recently. When it is put into operation, there will be problems such as muddy yellow water, changes of flow direction and flow rate during waterworks switching. To reduce the adverse effects of water pressure and quality on water supply network, a feasible scheme is proposed and implemented by software simulation, which successfully realizes waterworks switching.

Key words: waterworks switching; water pressure of nodes; water age of nodes; flow rate of pipes

1 水厂切换改造背景

常州市金坛区原先共有4路供水水源, 分别为常金供水、金武供水(净水)、第三自来水厂(以钱资湖作为水源, 以下简称为三水厂)及若干座乡镇水厂, 采取同时供水的模式。然而近年来, 钱资湖水质恶化, 无法继续作为饮用水水源地, 同时乡镇水厂供

水量逐年减少, 导致三水厂供水量难以满足城镇用水要求。为解决该问题, 根据《金坛区城乡统筹市政设施总体规划》, 拟建一座规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的长荡湖水厂, 该水厂将逐步取代三水厂和常金、金武供水, 成为金坛区主要的区域供水水厂^[1-2]。

为实现金坛区新旧水厂供水模式的顺利切换,

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07201002)

通信作者: 李树平 E-mail: lishuping@tongji.edu.cn

首先考虑切换前后管网内水质是否会出现大的变动。经过调查,长荡湖水厂与原三水厂的出水水质主要指标变化不大,因此总体上不会影响供水管网内的化学稳定性和生物稳定性^[3-4]。水厂切换关注点将集中在流向发生变化、流速显著增加或降低部位的状况,对它们的分析将建立在供水管网水力与水质分析模型基础上,由此形成新旧水厂切换方案,并于2018年6月实施。

2 水力水质模型构建与结果分析

2.1 管网拓扑结构简化

金坛区实际管网纵横复杂,为便于建立水力模型,需在保证一定精度的前提下简化管网拓扑结构^[5]。具体简化方法如下:

① 删除管径<DN200的枝状管段,仅保留部分成环的DN150管段。

② 将距离<30 m的相邻节点合并为一个节点。

③ 长荡湖水厂供水环线以外的管网仅保留主干管,其余管网省略。

2.2 节点流量分配

水厂切换前用水规模为 $14.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,切换后增至 $15.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,增加的用水量:通往西北丘陵地区、西南乡镇水厂的水量分别增加3 000、2 500 m^3/d ,集中加在附近节点上;剩余4 500 m^3/d 水量平均分配在管网内各用水节点上^[6]。

2.3 建模与校核

供水管网水力与水质模拟采用EPANET软件^[7]。根据简化后的管网和节点流量分配结果,建立水厂切换前、后的管网模型。通过数据对比及水厂负责人的校对,验证模拟结果在可接受的误差范围内,可用于后续分析。水厂切换前、后的管网模型如图1所示。

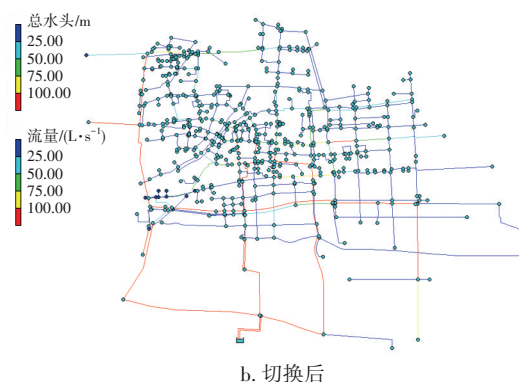
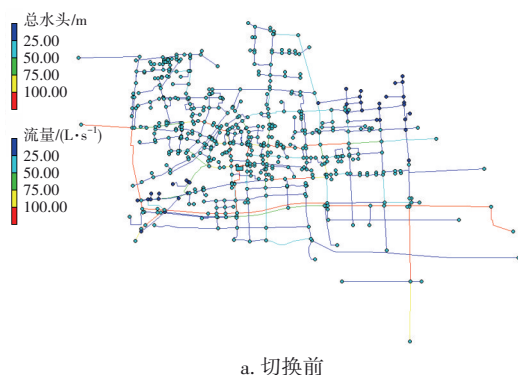


图1 水厂切换前、后的管网模型

Fig.1 Pipe network model before and after waterworks switching

2.4 模拟结果分析

2.4.1 节点压力变化

水厂切换前、后的节点压力等值线见图2。

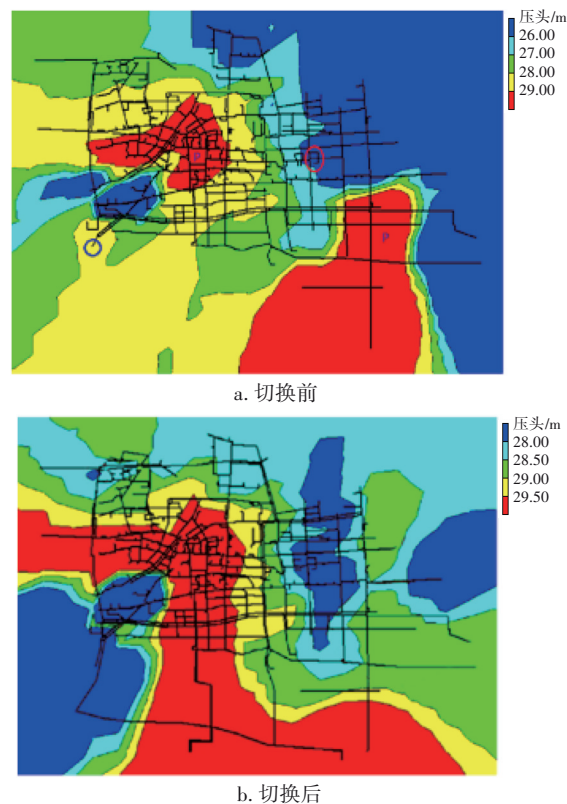


图2 水厂切换前、后的节点压力等值线

Fig.2 Contour map of water pressure of nodes before and after waterworks switching

切换前,金坛区的区域供水主要由位于中心区域的三水厂和城市东南角的金武水厂完成。节点水压基本以水厂为核心,呈辐射状向外逐渐降低,符合水头损失原理;整个金坛区的管网低压中心集

中在东北部的工业区,与实际的管网低压中心金江苑丰田路两侧[图 2(a)中红色圆圈区域]重合;西南角通往乡镇水厂的节点[图 2(a)中蓝色圆圈所示]压力水头为 28.04 m,满足运行要求。切换后,三水厂和金武供水同时停止供水,区域供水主要由长荡湖水厂承担。出厂水总管分为东线、中线、西线三路接入原供水管网,然后与北面新修的供水主干管形成环状管网,完成水厂的切换工作。

2.4.2 节点水龄变化

通过模拟计算,得到水厂切换前、后的水龄分布(见图 3)。

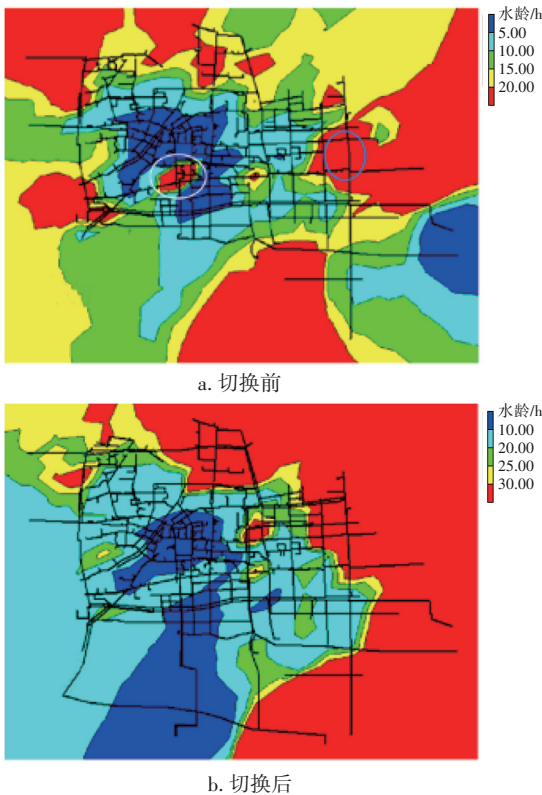


图 3 水厂切换前、后的节点水龄变化

Fig.3 Change of water age of nodes before and after waterworks switching

给水管网中的节点水龄是指从管网进水点(如水厂)至该节点的流行时间;该流行时间包含中途经过蓄水设施时在蓄水设施内的存储停留时间。由于管网中发生的物理、化学和生物反应是时间的函数,尽管水龄是由水力计算得到的,但是模拟中它常作为反映管网中水质状况的替代性参数。管网中节点水龄越短,其各项水质指标越接近出厂水的状况。

水厂切换前,由多个区域供水厂向金坛区供水,绝大多数节点水龄在 15 h 以内,节点出水的水质较好。图 3(a)中白色圆圈区域的节点水龄>20 h,原因在于建模过程中没有考虑到多水源的问题,因此出现水流方向相反的情况,实际供水过程中并无该问题。图 3(a)中蓝色圆圈区域节点水龄>20 h 是由于南北走向的阀门关闭,水流只能从三水厂通过较小管段到达,导致水流历时较长。

水厂切换后,中线供水管附近的节点水龄在 10 h 以内,大部分节点水龄在 20 h 以内。切换后水龄>20 h 的节点数目明显大于切换前,且主要集中在东北部,判断由于东北部工业区位于城市管网边缘,水流到达的历时较长,实际运行应保证管网中的余氯量,防止水质恶化。

2.4.3 管段流速变化

经模拟,管网系统中仅有 19.16% 的管段流速大小及方向发生改变。水厂切换前、后流速流向发生变化的管段如表 1 所示。

其中,76% 的管段管径均<DN600,这部分管段的流速、流向变化基本不会造成管道水质问题。其余 24% 的管段中,管径>DN1 000 的为连接新旧水厂的主干管,其变化较大,原从三水厂往南送水的管段流向发生改变,流速大小也有所波动,如图 4 所示。在切换初期,应考虑由于对流造成的管道冲刷,做好防止水质变差的应急措施。

表 1 水厂切换前后流速、流向发生变化的管段

Tab.1 Pipes with flow rate and flow direction changing before and after waterworks switching

管段 ID	长度/m	管径/mm	切换前流量/(L·s ⁻¹)	切换后流量/(L·s ⁻¹)	切换前流速/(m·s ⁻¹)	切换后流速/(m·s ⁻¹)
管道 p483	155.28	150	1.25	-0.36	0.07	0.02
管道 p339	920.52	200	-16.88	14.43	0.54	0.46
管道 p609	492.64	200	3.29	-1.54	0.1	0.05
管道 p638	444.51	200	2.26	-0.91	0.07	0.03
管道 p9	431.17	300	-1.66	2.87	0.02	0.04
管道 p11	491.35	300	0.62	-4.05	0.01	0.06

续表1 (Continued)

管段ID	长度/m	管径/mm	切换前流量/(L·s ⁻¹)	切换后流量/(L·s ⁻¹)	切换前流速/(m·s ⁻¹)	切换后流速/(m·s ⁻¹)
管道 p12	376.73	300	2.39	-2.34	0.03	0.03
管道 p37	345.53	300	-2.53	0.13	0.04	0
管道 p56	1 438.13	300	-2.42	21.62	0.03	0.31
管道 p60	64.13	300	-22.67	31.37	0.32	0.44
管道 p161	651.16	300	1.39	-8.26	0.02	0.12
管道 p91	128.98	300	0.67	-0.91	0.01	0.01
管道 p471	234.56	300	0.34	-3.40	0	0.05
管道 p78	420.92	300	19.39	-2.40	0.27	0.03
管道 p618	658.37	300	3.50	-1.10	0.05	0.02
管道 p155	41.99	300	43.64	-4.04	0.62	0.06
管道 p629	128.33	300	0.22	-7.86	0	0.11
管道 p630	495.79	300	1.69	-6.43	0.02	0.09
管道 p645	46.17	300	31.74	-3.99	0.45	0.06
管道 p278	579.24	300	36.14	-15.7	0.51	0.22
管道 p272	588.28	300	29.83	-5.85	0.42	0.08
管道 p646	102.44	300	31.06	-4.66	0.44	0.07
管道 p255	507.65	300	5.01	-3.15	0.07	0.04
管道 p378	347.20	400	32.41	-3.35	0.26	0.03
管道 p39	42.96	500	8.57	-19.8	0.04	0.10
管道 p348	922.75	500	186.19	-151.35	0.95	0.77
管道 p238	453.49	500	-67.4	14.19	0.34	0.07
管道 p405	83.68	500	-61.48	19.46	0.31	0.10
管道 p154	3 642.78	500	39.9	-12.38	0.2	0.06
管道 p628	452.54	500	47.19	-0.60	0.24	0
管道 p108	202.35	500	11.28	-17.47	0.06	0.09
管道 p109	305.04	500	17.79	-11.68	0.09	0.06
管道 p187	106.97	500	21.11	-8.87	0.11	0.05
管道 p643	31.25	500	24.21	-6.50	0.12	0.03
管道 p239	319.56	500	69.62	-12.04	0.35	0.06
管道 p240	140.76	500	70.39	-11.29	0.36	0.06
管道 p241	267.39	500	71.45	-10.26	0.36	0.05
管道 p231	525.07	500	73.42	-8.36	0.37	0.04
管道 p13	37.30	600	-23.63	23.49	0.08	0.08
管道 p626	604.43	600	22.55	-24.53	0.08	0.09
管道 p627	888.69	600	32.27	-19.77	0.11	0.07
管道 p308	1 366.70	800	2.30	-186.11	0	0.37
管道 p41	3 339.34	1 000	-163.73	173.10	0.21	0.22
管道 p117	388.53	1 000	4.87	-2.43	0.01	0
管道 p340	92.37	1 000	-6.52	17.32	0.01	0.02
管道 p124	109.56	1 000	169.53	-167.48	0.22	0.21
管道 p121	1 558.47	1 000	172.34	-164.76	0.22	0.21
管道 p120	510.40	1 000	178.27	-159.02	0.23	0.20
管道 p85	894.23	1 000	156.18	-43.57	0.20	0.06
管道 p205	1 966.87	1 000	411.9	-281.62	0.52	0.36
管道 p17	1 252.50	1 000	-2.11	9.19	0	0.01
管道 p294	125.41	1 200	8.14	-211.21	0.01	0.19
管道 p334	1 517.56	1 200	-344.67	2.47	0.30	0
管道 p100	2 988.96	1 400	-337.08	9.82	0.22	0.01

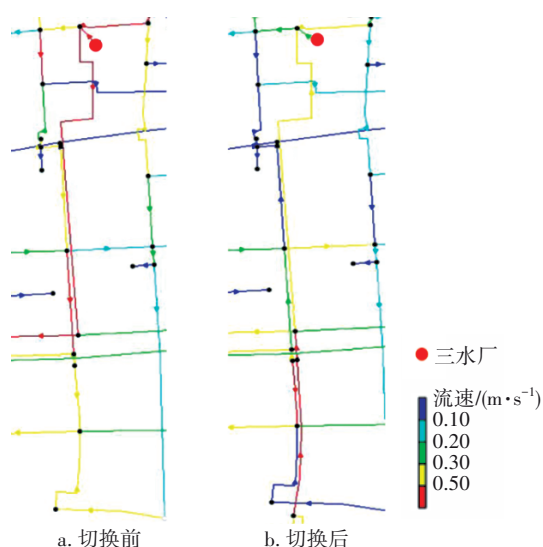


图4 水厂切换前、后流速发生变化的主管(三水厂南部)

Fig.4 Change of flow rate in the main pipe before and after waterworks switching(at the south of the third waterworks)

3 水厂切换方案

结合上述水力水质模型模拟结果分析,从前期准备、供水置换、应急处理方面制定具体方案。

3.1 前期准备

① 全面排查沿线主要供水及排空阀门的启闭情况是否完好,确保新旧水厂供水切换时相应阀门能正常开关;排查原先安装的所有城乡分区计量总表,在水厂切换前全部改造完成。

② 在新水厂东线、西线、北线和各乡镇的关键节点选定并安装相应的测压点共12处,确保水厂切换时水压平稳过渡。

③ 在新水厂东线、西线、北线管网和各乡镇的关键节点选定排污阀排水5处,新老水厂供水切换时安排专人进行排污,确保管网水质。

④ 通水前管道冲洗、排放。a. 对新敷设的东线、西线、北线主供水管道进行大流速、高余氯量的冲洗,杜绝通水后浑黄水现象的发生。b. 对模型模拟结果中水流方向发生变化的主供水管道,在夜间用水量较少的情况下逐条进行大流量冲洗。

3.2 供水置换

① 所有置换操作均在夜间执行,提前做好夜间停水通知。

② 东部乡镇停水后进行管道大流量冲洗,次日早上直接由原金武供水转为长荡湖水厂供水。冲洗步骤:关闭3#、5#、6#、7#、8#、9#、10#阀门,打开

2#、4#阀门,进行大流量管道冲洗,通过尧塘河及沿线排污阀排放。

③ 南州花园至金武路段总管也要先停水,之后用长荡湖水厂的水进行管道大流量冲洗,再用三水厂的水进行反冲,直到彻底冲洗干净后于次日早晨直接转由长荡湖水厂供水。冲洗步骤:打开1#、19#阀门,关闭20#阀门,用长荡湖水厂水进行大流量冲洗排放;随后打开20#阀门,关闭19#阀门,用三水厂的水进行大流量冲洗排放。

④ 长荡湖水厂起始调试水量为 $(8\sim10) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出厂压力先调至0.32 MPa左右,缓慢打开1#、2#、3#、4#、5#、7#、8#、11#、19#、20#、21#阀门,关闭9#、10#阀门,同步停用金武供水、三水厂自产水。

⑤ 观察各测压点压力值,长荡湖水厂根据测压点压力值及时调整出厂压力,如果压力过高或过低再调整1#、2#阀门开启度,直至新水厂供水后各测压点压力与原先三水厂供水时的压力值基本一致,保证管网中各节点在切换前后的水头差 $\leq 3 \text{ m}$ 。

⑥ 利用化验室对城乡管网水质进行跟踪检测,特别是管网末梢水质,加强浊度、余氯、pH值、嗅味等水质指标的化验分析。

⑦ 金武供水保持备用状态,定期对管道进行冲洗、消毒和排放,可随时启用应急。

3.3 应急处理

① 在水厂切换前,管线所对所有排污阀、城区老小区消火栓进行摸底排查,做好浑黄水排放应急预案;切换后,加强管线巡检、管网水质检测,并结合用户反映,各责任部门根据应急预案组织人员到浑黄水出现区域进行集中排放,有排污阀的在排污阀位置迅速排水,无排污阀的利用就近消火栓进行排污。

② 新老水厂切换后,因水流方向、出厂压力发生改变,部分老旧供水管道可能发生爆管。如发生大面积爆管事件,管线所将按照公司管道抢修应急预案及时进行处理。

3.4 切换结果

2018年6月实施了水源切换,达到了预期目标。

① 东部乡镇停水利用长荡湖水厂水进行管道冲洗,经计算需用长荡湖水厂0.42 MPa的出厂压力、1.85 m/s的流速对经十路DN800和金武路DN1400总管冲洗3 h(约 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 的水量),可彻底冲洗干净,但实际只用0.33 MPa的出厂压力、

0.35×10⁴ m³/h 的水量冲洗3 h就达到了要求,最后东部乡镇仅汤庄、尧塘浊度稍高(3 NTU左右),用户对水质变化没有投诉反映。

② 长荡湖水厂出厂余氯保证在0.6~0.8 mg/L,投运后公司化验室对城乡供水区域的管网末梢水进行循环检测,发现城区供水浊度、余氯均合格,但乡镇管网普遍余氯偏低,为0.05~0.15 mg/L,个别乡镇甚至低于0.05 mg/L,因此需设置补加氯,确保余氯合格。

③ 长荡湖水厂正式供水稳定后,逐步降低常金供水水量至2×10⁴ m³/d,并逐步将朱林、社头、上阮三个乡镇制水厂(合计约0.8×10⁴ m³/d)置换成长荡湖水厂直供水。切换后总供水量约为17×10⁴ m³/d,其中长荡湖水厂13.5×10⁴ m³/d,常金供水2×10⁴ m³/d,乡镇1.5×10⁴ m³/d。

4 结论

常州市金坛区三水厂由于供水水源水质恶化,且乡镇各水厂供水量降低,导致旧水厂供水量难以满足城镇用水要求,需停用旧水厂、以长荡湖为新水源新建长荡湖水厂解决该问题。在进行新旧水厂切换时,关注了供水管网水压及水质的相应变化。利用水力与水质分析软件对供水管网建模,模拟水厂切换前后的管网运行情况,对节点压力、节点水龄、管段流速等要素进行了比较,基于分析结果提出了水厂切换方案。经2018年6月的水源切换实践证明,该方案切实可行,取得了预期效果。

参考文献:

- [1] 焦志刚. 浅谈水资源中水源切换对水质的影响[J]. 资源节约与环保, 2013(10):106.
- JIAO Zhigang. Discussion on the influence of water source switching on water quality in water resources[J]. Resource Economization & Environment Protection, 2013 (10):106 (in Chinese).
- [2] 乐勤,许龙,郑国兴,等. 上海市属给水厂青草沙与黄浦江上游原水水源切换工程方案研究[J]. 给水排水, 2010,36(1):47-51.
- LE Qin, XU Long, ZHENG Guoxing, et al. Project research of water switching of Qingcaosha water source and Huangpu River water source in Shanghai water treatment plants[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010,36(1):47-51(in Chinese).
- [3] AINSWORTH R. Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems [M]. London: IWA Publishing, 2013. DOI: 10.2166/9781780405841.
- [4] 翟学东. 水源切换对给水管网水质影响的研究[J]. 环境与发展, 2019,31(2):118-119.
- ZHAI Xuedong. Study on the influence of water source switching on water quality of water supply network [J]. Environment and Development, 2019, 31 (2): 118-119 (in Chinese).
- [5] 金溪,刘欢. 供水管网微观水力模型简化技术研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010,32(3):77-82.
- JIN Xi, LIU Huan. Water supply network micro-scope hydraulic model simplify technology [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32 (3): 77-82 (in Chinese).
- [6] 叶佳琪. 供水管网水力水质的模拟研究[D]. 重庆:重庆大学, 2016.
- YE Jiaqi. Simulation Study on Water Quality of Water Supply Network[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016 (in Chinese).
- [7] 张移胜. 用EPANET确定供水管网的最不利配水点[J]. 东北电力大学学报, 2015,35(4):52-55.
- ZHANG Yisheng. Using EPANET to determine the most unfavorable point of the water distribution network [J]. Journal of Northeast Dianli University, 2015, 35(4): 52-55 (in Chinese).

作者简介:刘彩娥(1974—),女,江苏常州人,大专,高级工程师,从事水厂和二次供水管理工作。

E-mail:916708501@qq.com

收稿日期:2020-05-10

修回日期:2020-08-17

(编辑:衣春敏)