

技术总结

## 地表 I 类水长距离输水初期水质稳定性研究

汪翔<sup>1</sup>, 刘立凡<sup>1</sup>, 漆文光<sup>2</sup>, 王志红<sup>1</sup>, 张艳<sup>1</sup>, 苏炯恒<sup>1</sup>, 赖嘉伟<sup>2</sup>

(1. 广东工业大学 土木与交通工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广州市自来水公司 南洲水厂, 广东 广州 510600)

**摘要:** 为确定长距离输送的地表 I 类水的水质稳定性,采用内衬砂浆球墨铸铁管制作循环管道来模拟长距离输水,通入不同初始 pH 值的模拟地表 I 类水,监测流动 52 h、流行距离约为 110 km 的沿程水质变化情况。结果表明:初始余氯为 1.0 mg/L 的自配水在长距离输送过程中水质稳定性良好,总体变化规律为 pH 值沿程升高、DO 浓度沿程降低、浊度沿程降低、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度略有下降、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度略有上升、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度保持平稳。地表 I 类水经输送 110 km 后大部分指标仍符合 I 类水标准,但 DO 有降至劣于 I 类水标准的可能。pH 值是影响 DO 消耗速率的一个重要因素,弱碱性条件下 DO 的消耗速率较弱酸性及中性条件下更慢。pH 值也对浊度降低速率和下降量有一定影响,当 pH 值为 7.0 ~ 7.5 时浊度降低最快,最低降至 0.31 NTU。

**关键词:** 地表 I 类水; 长距离输水; 初期; 水质稳定性

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0036-04

## Initial Water Quality Stability of Class I Surface Water in Long Distance Conveyance Pipeline

WANG Xiang<sup>1</sup>, LIU Li-fan<sup>1</sup>, QI Wen-guang<sup>2</sup>, WANG Zhi-hong<sup>1</sup>,  
ZHANG Yan<sup>1</sup>, SU Jiong-heng<sup>1</sup>, LAI Jia-wei<sup>2</sup>

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Nanzhou Waterworks, Guangzhou Water Supply Co., Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** A nodular cast iron pipe with cement mortar lining was used as a long distance water conveyance pipeline. Simulated class I surface water with different initial pH was utilized as the raw water, and circulated for 52 hours in the pipeline with an initial residual chlorine concentration of 1.0 mg/L. The water was transported approximately 110 km at the speed of 0.6 m/s to imitate the actual situation, and the changes in the water quality parameters were monitored simultaneously in order to determine the stability and to provide references for water supply projects. The study found that the pH value and the concentration of  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  rose along the distance; meanwhile, the DO,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and the turbidity decreased. The  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  index was stable. Overall, the water quality remained acceptable and only one indicator (DO) failed the class I in *Environmental Quality Standard for Surface Water*. The pH value of

基金项目: 广州市水务科技项目(G2CPJ/YB-2015-18)

通信作者: 刘立凡 E-mail: lifan\_liu@126.com

raw water demonstrated significant influences on DO. The DO consumption rate under the weak alkali condition was slower than that under the weak acid and neutral condition. The pH value of raw water also had influences on the turbidity. Largest reduction of turbidity was observed when pH was in the range of 7.0 to 7.5 and the minimum turbidity was 0.31 NTU.

**Key words:** class I surface water; long distance water conveyance; initial period; stability of water quality

长距离输水工程是缓解城市供水紧缺问题的有效措施,迄今在世界范围内已设计实施了多项长距离输水工程。广东省将直饮水列入城市供水的发展规划,在珠江三角洲及其他有条件的地区有计划地建设直接饮用水与生活用水分质、分管供水体系,现阶段已提出兴建河源市新丰江水库至深圳、东莞、广州等地的长距离(城际输水距离在 110 km 以上)输水工程设想,旨在为可持续发展提供保障。

现有研究主要集中在微污染水源及地表Ⅲ类水的长距离输水管道中微生物及预氯化作用对水质的影响。已有研究认为,长距离输水管道在长期运行过程中极有可能附着生长生物膜,生物膜的生物作用通常能使输水水质得到一定程度的净化<sup>[1]</sup>,而水中微生物的生长受温度、pH 值、溶解氧和营养物质等多种因素的影响。在管涵封闭条件下,水体与大气没有接触,复氧能力减弱,其输水过程中的溶解氧浓度变化会影响生物膜代谢,对水质造成影响。另外,管材对水质影响明显,内衬砂浆球墨铸铁管由于其良好的性能优势在长距离输水工程中被广泛采用,但其内衬会析出碱性物质,初期使用时会使输送水的碱度升高,有超出饮用水标准的风险<sup>[2]</sup>。赵乐乐等人<sup>[3]</sup>对实际输水管进行过相关监测,管长在 30 km 左右,目前对输送距离在 110 km 以上的城际输送地表Ⅰ类水工程的水质稳定性报道较少。因此,笔者使用自配水模拟地表Ⅰ类水,采用循环管道装置模拟长距离输水并检测初期水质变化,旨在为地表Ⅰ类水的长距离输水初期的水质稳定性提供参考。

1 试验材料和方法

1.1 试验装置及方法

采用管龄为 3 个月的 DN200 球墨铸铁管制作 50 m 长的循环管道作为试验装置(见图 1)。原水由进水口进入高位水箱,配制并搅拌均匀后从水箱不断循环。设取水龙头、泄水阀口进行取样和泄流换水,并设置电磁流量计实时记录管内水的流量。

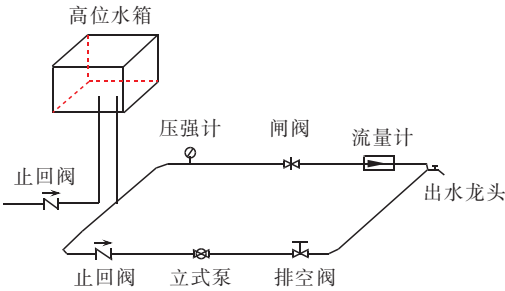


图 1 试验装置平面

Fig.1 Plan of experimental device

投加适量盐酸和 NaOH 溶液调节进水 pH 值使之形成约为 6.5、7.0、7.5、8.0 的 4 个 pH 值梯度进行平行试验,编号依次为 R1、R2、R3 和 R4,以求充分模拟动态变化的水源水。结合工程实际,模拟净水厂采用加氯的方式控制管道中淡水贝类的生长,投加一定量氯使初始余氯浓度达到 1.0 mg/L。开启立式泵使原水在管道中循环流动,控制流速在 0.6 m/s,监测距离约为 110 km 的沿程水质变化。

1.2 进水水质

进水水温为 24 ℃,主要水质指标见表 1。

表 1 试验期间进水水质

Tab.1 Raw water quality during tests

项 目	pH 值	浊度/ NTU	DO/ (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N/ (mg · L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N/ (mg · L <sup>-1</sup> )	COD <sub>Mn</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg · L <sup>-1</sup> )
R1	6.47	2.88	7.76	0.124	0.004 1	0.65	<0.15	<0.005
R2	7.03	2.90	7.91	0.121	0.003 8	0.60	<0.15	<0.005
R3	7.48	2.94	7.78	0.125	0.004 0	0.60	<0.15	<0.005
R4	7.98	2.74	7.91	0.128	0.003 5	0.62	<0.15	<0.005

### 1.3 分析项目及方法

pH值:PHS-3C 雷磁精密 pH 计;DO:便携式溶解氧仪;浊度:Hach 2100P 浊度仪; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ :纳氏试剂分光光度法; $\text{NO}_2^- - \text{N}$ :对氨基苯磺酸与  $\alpha$ -萘胺比色法; $\text{COD}_{\text{Mn}}$ :酸性高锰酸钾滴定法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 pH 值的沿程变化

4 组试验的 pH 值沿程均出现明显升高,之后趋于平稳。pH 值越小,上升速率越快,上升幅度越大。管材对水质 pH 值的改变不大,故管材基本满足《生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准》的要求,经 110 km 输送后出水 pH 值仍小于 9,水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的 I 类水标准。

### 2.2 DO 的沿程变化

4 组试验的 DO 沿程变化情况见图 2。长距离输水管道中的氧化还原反应和好氧生物的代谢均有氧气参与,消耗水中的 DO。由于管线沿程封闭不与大气相通,输送水得不到空气中氧气的补充。在输水过程中,4 组试验的 DO 浓度均出现了明显下降,各组 DO 浓度下降速率沿程基本保持恒定,且 R2 和 R1 明显大于 R3 和 R4。当输水距离分别超过 26、26、42 和 62 km 时,4 组试验的 DO 值均低于 7.5 mg/L,降至地表 II 类水标准;当输水距离分别超过 86 和 77 km 时,R1、R2 的 DO 浓度低于 6.0 mg/L,降至地表 III 类水标准。弱酸性及中性条件下 DO 的消耗速率较弱碱性条件下更高,故 pH 值是影响 DO 消耗速率的一个重要因素。

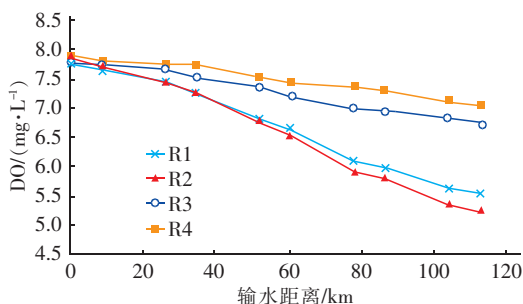


图2 4组试验的DO沿程变化情况

Fig. 2 Variation of DO in four experiments

### 2.3 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的沿程变化

在长距离输水过程中,水中的有机氮在氨化细菌的作用下转化为  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,使  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量上升;亚硝化细菌和硝化细菌的硝化作用可消耗水中

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,生成  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,使  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量下降<sup>[4]</sup>。这三类细菌的生物竞争和代谢作用强弱的变化,造成水中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量有规律的变化。总体来说,4 组试验在长距离输送过程中均能保持  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度低于 0.15 mg/L,维持在地表 I 类水标准范围内。

### 2.4 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的沿程变化

4 组试验的  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度沿程变化如图 3 所示。在长距离输水过程中,输水管道中的硝化作用是水中及生物膜中硝化细菌共同作用的结果。亚硝化细菌通过亚硝化作用将水中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ;当水中 DO 含量较低或局部形成厌氧环境时,反硝化细菌通过反硝化作用能将  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,这两种生物作用均会造成  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度上升。由图 3 可知,R1 和 R2 试验组的  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度上升明显,R3 和 R4 组的  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度小幅上升后趋于平稳。4 组试验的  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  最高瞬时值为 0.011 mg/L,低于标准限值 1 mg/L。

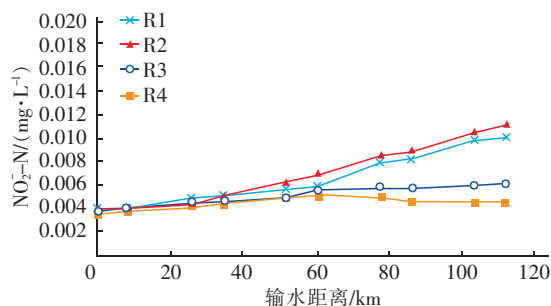


图3 4组试验的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度沿程变化情况

Fig. 3 Variation of  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  in four experiments

### 2.5 浊度的沿程变化

4 组试验的浊度均出现一定程度的下降,其下降速率以 R2 最快,降至 0.31 NTU 左右时保持平稳不再继续降低;R4 下降速率最慢,最低降至 0.94 NTU,故当 pH 值在 7.0~7.5 时浊度降低最快。4 组试验浊度下降量平均为 2.34 NTU。

### 2.6 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的沿程变化

总体来说,初始余氯在 1.0 mg/L 的地表 I 类水在长距离(110 km)输送过程中  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度保持平稳且仍低于 2.0 mg/L,能维持在地表 I 类水水平。由于水源水质良好,有机污染物含量较低,加上初始余氯有一定的持续杀灭微生物的效果,封闭管道输水不会出现明显的有机物超标情况<sup>[5]</sup>,进水 pH 值

的不同对有机物含量的变化影响不大。

### 3 结论

① 总体来说,初始余氯为 1.0 mg/L 的地表 I 类水在长距离(110 km)输水过程中水质保持较好,稳定性较高。运行初期管材较新,总体变化规律为 pH 值沿程升高、DO 浓度沿程降低、浊度沿程降低、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度略有下降、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度略有上升、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度保持平稳。

② 地表 I 类水经长距离输水后有超标趋势的指标主要是 DO。pH 值是影响 DO 消耗速率的一个因素,弱碱性条件下 DO 的消耗速率较弱酸性及中性条件下更慢。pH 值也对浊度降低速率和下降量有一定影响,当 pH 值在 7.0 ~ 7.5 时浊度降低最快,最低降至 0.31 NTU。

### 参考文献:

- [1] 朱永娟,杨艳玲,李星,等. 长距离输水管道微生物存在水平及水质变化规律[J]. 中国给水排水,2012,28(21):34-36.
- Zhu Yongjuan, Yang Yanling, Li Xing, *et al.* Occurrence of microorganism and variation of water quality in long distance water delivery pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(21):34-36 (in Chinese).
- [2] 孙俊峰,康雅. 水泥砂浆内衬管通水初期对水质的影响及应对措施[J]. 中国给水排水,2015,31(7):46-49.
- Sun Junfeng, Kang Ya. Study on initial impact of cement mortar lining on water quality and its control measures [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(7):46-49 (in Chinese).
- [3] 赵乐乐,李星,杨艳玲,等. 南洲水厂原水长距离输水管道水质变化规律研究[J]. 中国给水排水,2014,30(15):70-72.
- Zhao Lele, Li Xing, Yang Yanling, *et al.* Study on water quality variation in long-distance water delivery pipeline of Nanzhou Water Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(15):70-72 (in Chinese).
- [4] 刘扬阳,李星,杨艳玲,等. 长距离输水管道水质变化及管壁生物膜净水效能研究进展[J]. 中国给水排水,2016,32(2):19-23.
- Liu Yangyang, Li Xing, Yang Yanling, *et al.* Advances in researches on water quality change in long-distance raw water transmission system and purification efficiency of pipeline biofilm [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2):19-23 (in Chinese).
- [5] 赵蓉,李振海,祝秋梅. 南水北调中线北京段应急工程的输水水质预测及保护对策[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2009,7(4):311-315.
- Zhao Rong, Li Zhenhai, Zhu Qiumei. Prediction and protection of water quality for emergency water supply project of the Beijing section of the Middle Route Project of the South-to-North Water Transfer [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2009, 7(4):311-315 (in Chinese).



作者简介:汪翔(1992-),男,湖北武汉人,硕士,助理工程师,研究方向为饮用水供水安全性保障技术。

E-mail:mango-wx@qq.com

收稿日期:2018-05-18