

文章编号:1671-6833(2013)03-0121-04

## 输配水过程中管网铁释放规律的研究及应用

周全, 韩 珀, 徐 娟, 苏 喆, 焦志刚, 沈 磊, 李政帅

(郑州自来水投资控股有限公司, 河南 郑州 450007)

**摘 要:** 建立一套管网水龄水质模拟装置, 通过与实际管网水质的对比, 发现装置模拟的管网出水水质指标均在理想范围之内, 为模拟并检测各项水质参数提供了快速便捷的方法. 利用此装置研究了浊度、水龄、溶解氧和电导率等因素对铁释放的影响, 结合 Z 市管网水质调查和地理管网信息系统 (GIS), 对城市“黄水”爆发区域进行了预测.

**关键词:** 管网; 模拟; 铁释放

**中图分类号:** TU991.2 X131.2

**文献标志码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1671-6833.2013.03.029

### 0 引言

铁质管道腐蚀和铁释放是给水管网普遍存在的问题, 它严重影响着供水水质. 特别是当水源切换时, 新水源打破了管垢与水之间的原有平衡, 破坏管垢原有的钝化层, 造成铁锈大量释放溶入水中, 使水中总铁含量、浊度、色度严重超标, 造成“黄水”现象<sup>[1-2]</sup>. B 市曾经因为调用河北水库水替换原有水源进行供水, 使用新水源后管网部分地区用户家中龙头出水出现黄水问题<sup>[3]</sup>, 因此当 Z 市面临南水北调工程建成后的水源切换时, 也同样面临着发生“黄水”的风险.

目前对铁释放的研究规模尚处于管段反应器的试验阶段<sup>[4]</sup>, 对于在实际水力学影响下的管道研究并不多见, 本试验基于对实际管网模拟的需求, 设计了一套管网水龄水质模拟装置, 以达到接近实际管网的目的, 从而获得一种快速便捷的研究途径. 通过该模拟装置, 研究了各项水质参数对铁释放的影响, 开发了一种有效预测管网“黄水”的方法, 并对 Z 市管网“黄水”风险爆发的高敏感区域进行预测.

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验装置

管网水龄水质模拟装置 (见图 1) 主要由控制阀门、水箱、循环水泵和试验管道 (截取的 Z 市给

水管网 DN100 配水管) 等部件组成, 各个部件由管道连接成一个整体, 装置除试验管道外, 使用的管件及管道均为非铁质材料.

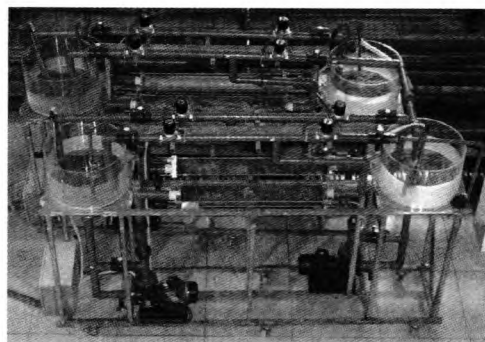


图 1 管网水龄水质模拟装置

Fig. 1 Simulation device of the water distribution networks

#### 1.2 试验方法

(1) 分别向管网水龄水质模拟装置 1~4#水箱依次注入不同水龄的自来水;

(2) 启动循环水泵, 模拟实际管网水的流动状态 12 h;

(3) 而后取各试验管道水样, 检测总铁含量、浊度、电导率、溶解氧等水质指标后, 各水箱自来水依次向下一水箱置换, 1#水箱置换为新鲜自来水, 4#水箱自来水排放地沟;

(4) 关闭循环水泵, 模拟实际管网水的滞留状态 12 h, 而后依照步骤 (3) 取样、检测、换水;

收稿日期: 2012-12-12; 修订日期: 2013-02-01

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07424-003)

作者简介: 周全 (1982-), 男, 河南郑州人, 郑州自来水投资控股有限公司工程师, 主要从事水质管理和技术保障研究, E-mail: zhouquan11066@163.com.

(5)重复步骤(2)~(4)至试验结束.

1.3 检测方法

本研究主要检测总铁含量、浊度、电导率和溶解氧,检测方法及仪器设备型号见表 1.

表 1 检测方法  
Tab. 1 Detection method

检测项目	方法	仪器
总铁含量	邻菲罗啉分光光度法 <sup>[5]</sup>	HACH DR2800
浊度	浊度仪检测	HACH 2100P
电导率	电导率测定仪检测	Thermo Scientific Orion Star
溶解氧	溶解氧测定仪检测	HACH sension6

利用装置模拟的水质指标中,除浊度以外,电导率和溶解氧的偏差都在 10% 以内,原因在于模拟装置使用的管道较短,水力学对管道的影响较大,导致感官性指标浊度增长较快,但是从趋势上来看,与实际管网一致,故可以证明管网水龄水质模拟装置基本可以达到模拟实际管网的预期效果.

2 结果与讨论

2.1 各因素与总铁释放率之间的相关性分析

总铁释放率是指管道内壁每小时向每升自来水中释放的总铁含量,单位是  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . 通过模拟试验发现,相同管道的总铁释放率主要与浊度、水龄、溶解氧和电导率等因素有关<sup>[6-7]</sup>,通过对以上因素的相关性分析,得出总铁释放率与各因素之间的相关系数(见表 2),由此可以判断各因素的影响显著性.

表 2 各影响因素与总铁释放率之间的相关系数表

Tab. 2 Correlation coefficient between iron release and influencing factors

因素	总铁释放率/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	水龄/ h	浊度/ NTU	电导率/ ( $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	溶解氧/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
总铁释放率	1.000	—	—	—	—
水龄	0.412	1.000	—	—	—
浊度	0.541	0.469	1.000	—	—
电导率	0.301	0.271	0.338	1.000	—
溶解氧	-0.312	-0.442	-0.268	-0.690	1.000

由表可以看出,管网中的总铁释放率与水龄和水质指标密切相关,包括水中的浊度、电导率和溶解氧等,根据相关系数的正负判断总铁释放率与水龄、浊度和电导率呈正相关关系,与溶解氧呈负相关关系;根据相关系数的大小可知,众多因素影响总铁释放率能力的大小排序为:浊度 > 水龄 > 溶解氧 > 电导率.

2.2 浊度对管网铁释放率的影响

管网水龄水质模拟装置白天模拟管网水的流

动状态,夜晚模拟管网水的停滞状态. 当管网水力条件发生变化时,浊度将会升高,而升高的浊度又会加剧铁释放现象. 因为浊度的升高,意味着水中的悬浮物质增多,水体与管垢层之间的摩擦力增大,相同流速下水体的剪切力增大,从而加大了管垢脱落的几率,增大了总铁释放率.

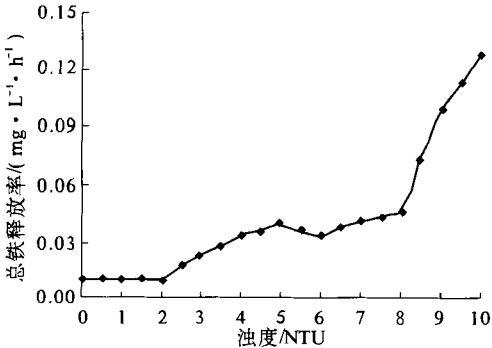


图 2 浊度与总铁释放率关系图

Fig. 2 Effect of turbidity on iron release

从图 2 来看,总铁释放率随浊度的变化呈现出三个阶段,第一阶段是浊度处于 2 NTU 以下,此时总铁释放率与浊度增大无关,呈现略微下降趋势,这是因为此阶段铁释放主要以化学溶解的方式进行,浊度达到 2 NTU 左右时,水体中的铁元素基本处于饱和状态,而此时水体的剪切力还不足以将管垢剥离管道内壁,故总铁释放率略微下降;第二阶段是浊度处于 2 NTU 和 8 NTU 之间,此时水中的悬浮物质已经达到一定数量,水体的剪切力已经开始缓慢剥离管垢,总铁释放率也开始随着浊度的增加而增大;第三阶段是浊度处于 8 NTU 以上,此时水中的悬浮物质进一步增大,铁释放的方式也以物理形式的释放为主,总铁释放率增大十分明显.

2.3 水龄对管网铁释放率的影响

自来水的水龄是影响自来水水质的关键因素,它从时间的角度衡量自来水的品质,一般地说,水质恶化随水龄呈正比关系,故普遍认为铁释放也遵循这个规律. 本试验水龄与总铁释放率关系如图 3 所示,可以发现,随着自来水水龄的增长,管道的总铁释放率并不是持续上升,而是呈现出一种先下降后上升的趋势,原因是在流速相同的情况下,低水龄的自来水中铁含量较低,管垢层与自来水之间总铁浓度差较大,所以释放率也较大;自来水与管垢层经过一段时间的接触,铁含量逐渐上升,管垢层与自来水之间总铁浓度差减小,总铁释放率也随之减小;此后,由于自来水水龄的增大,影响铁释放的其他因素诸如浊度、溶解氧和

电导率等对铁释放的贡献将超越总铁浓度差的贡献,从而占据主导地位,造成总铁释放率又呈现指数增长.图中阴影面积表示各水龄段平均12 h总铁释放量.

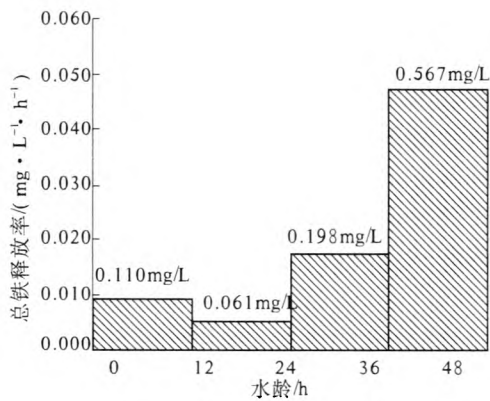


图3 水龄与总铁释放率关系图  
Fig.3 Effect of water age on iron release

2.4 溶解氧对管网总铁释放率的影响

Benjamin, Sontheimer 和 Leroy 等人研究发现,有溶解氧存在的时候,腐蚀速率受溶解氧传递到管壁表面的速率限制,且溶解氧对铁释放有抑制作用,提高溶解氧可以降低总铁释放率<sup>[8]</sup>.由图4可知:溶解氧达到4.5 mg/L是总铁释放率的一个分界线,低于这个含量时的总铁释放率明显大于高于这个含量时的总铁释放率.

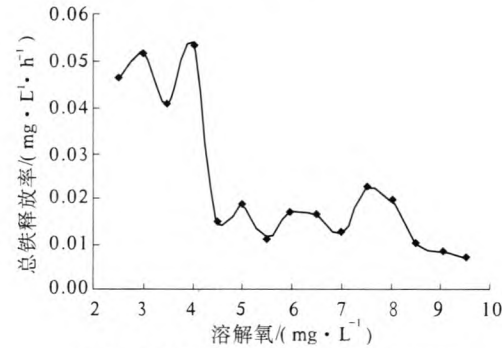


图4 溶解氧与总铁释放率关系图  
Fig.4 Effect of dissolved oxygen on iron release

2.5 电导率对管网总铁释放率的影响

电导率对管网总铁释放率的影响如图5所示,由图5可见,总铁释放率随电导率的增加呈现增大的趋势,特别是在电导率处于300~325 μs/cm之间时,总铁释放率有个明显的阶梯式突变.这是因为铁质管道的腐蚀,主要是由于铁质层与水接触发生的电化学反应引起的,当水中的离子增多时,反应的几率就会增大,从而导致更多的亚铁离子和氢氧根离子等腐蚀产物进入水体中,形成大规模的铁释放.

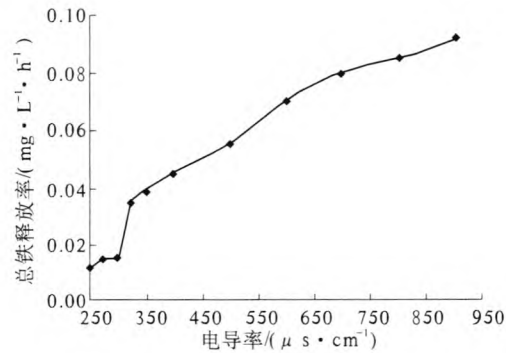


图5 电导率与总铁释放率关系图  
Fig.5 Effect of conductivity on iron release

3 应用与预测

根据以上讨论,预测在水源切换后,Z市管网中水浊度高于2 NTU、溶解氧含量低于4.5 mg/L以及水龄大于36 h的区域将极有可能成为铁释放严重的区域.结合Z市管网水质调查和地理管网信息系统(GIS),对Z市可能爆发“黄水”的区域进行了预测,如图6所示.

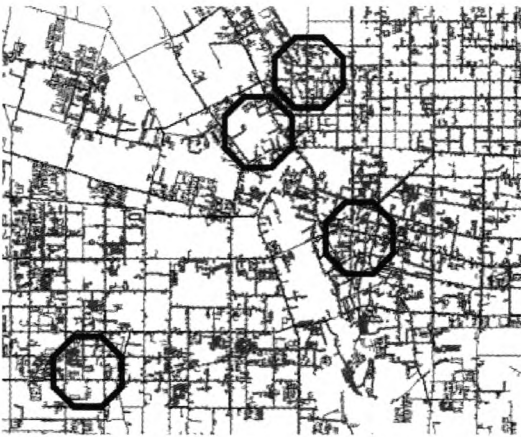


图6 Z市“黄水”爆发区域预测图  
Fig.6 Prediction of the “red water” area

通过Z市管网水质调查发现,全市共有高浊度点6个,低余氯点5个.由于管网水低余氯点一般都是管网末梢,此处水中溶解氧较低,水龄较长,结合以上结论,可推断高浊度点和低余氯点附近的管道铁释放有可能较为严重,水源切换初期,爆发“黄水”的可能性极大.同时结合地理管网信息系统(GIS)中管道材质属性,预测Z市“黄水”可能爆发的区域存在4处,如图6圆圈标示处.

4 结论

(1)设计了一套管网水龄水质模拟装置,水质检测结果及变化规律与实际管网接近,为研究

各项水质指标对总铁释放率的影响提供了快速便捷的途径。

(2) 水龄、浊度、电导率等指标与总铁释放率成正相关性,溶解氧与总铁释放率成负相关性;影响总铁释放率能力的大小排序为:浊度 > 水龄 > 溶解氧 > 电导率;浊度、溶解氧和电导率的限值分别为 2 NTU、4.5 mg/L 和 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

(3) 结合管网水质调查和地理管网信息系统,发现 Z 市存在 4 处“黄水”可能爆发的区域。

### 参考文献:

- [1] SARIN P, SNOEYINK V L, BEBEE J, et al. Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes [J]. Wat Res, 2001, 35(12): 2961-2969.
- [2] 王洋, 张晓健, 陈超, 等. 水源切换引起给水管网黄水问题原因分析[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3555~3561.
- [3] 王洋. 给水管网铁稳定性铁性及控制技术研究[D]. 北京: 清华大学土木工程学院, 2009: 90~91.
- [4] 米子龙, 张晓健, 陈超等. 硫酸根和碱度变化对管网铁释放的影响[J]. 中国给水排水, 2012, 28(1): 31~34.
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [6] 徐兵, 贺尧基. 改善城市供水管网水质的实践与探讨[J]. 给水排水, 2002, 28(12): 13~16.
- [7] 曹楚南. 金属腐蚀学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
- [8] BENJAMIN. Internal corrosion of water distribution systems [M]. 2ed edition. Michigan, USA: American Water Works Association Research Foundation, 1996.

## Application and Study of the Rule of Iron Release in Water Distribution Networks

ZHOU Quan, HAN Po, XU Juan, SU Zhe, JIAO Zhi-gang, SHEN Lei, LI Zheng-shuai

(Zhengzhou Water Supply Investment Holdings Co. Ltd., Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** A set of simulation device of the water distribution networks is established for imitating water age and quality. In comparison with the realistic water quality, the results show that the effluent parameters of the simulation device is closely similar to the realistic water, and it supplied a fast and convenient method for simulating and detecting the water parameter in the distribution networks. Using this device, the effect of turbidity, water age, dissolved oxygen and conductivity on iron release were studied, and in combination with the water quality investigation of the distribution networks and geographic information system of Z city, the risk range of the “red water” was predicted.

**Key words:** water distribution network; simulation; iron release