

朱杰,匡海鹰,王海明,等. 次氯酸钠在长距离原水管中辅助减阻的工程效应[J]. 净水技术,2021,40(4):43-48.

ZHU J, KUANG H Y, WANG H M, et al. Engineering effect of sodium hypochlorite on drag reduction aid of long-distance raw water pipelines[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):43-48.



扫我试试?

次氯酸钠在长距离原水管中辅助减阻的工程效应

朱杰¹, 匡海鹰², 王海明², 蒋怀德³, 徐琛宇¹, 邹浩¹

(1. 上海三高计算机中心股份有限公司, 上海 200433; 2. 上海城投原水有限公司, 上海 200125; 3. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要 水力模型是对管网执行常态化水力分析的重要工具。为了寻找原水管道水头损失在短期内发生巨变的原因, 结合模型软件和原水生产参数进行模拟分析。基于水力计算数据和业内的研究成果, 确认原水管的摩阻系数会因水体中藻类密度的差异而发生变化, 且蓝绿藻和预处理阶段投加的次氯酸钠反应生成的多糖高聚物会降低管道输水阻力。文中案例间接佐证了不能以完全相同的方法分析清水管网和原水管网, 在对原水系统模拟分析时, 需综合考虑藻类发生密度和预处理投加药剂对管道阻力系数的影响, 需密切跟踪阻力变化以满足随时可取用的模型工况条件。

关键词 原水 水力模型 次氯酸钠 蓝绿藻 阻力系数

中图分类号: TU991.3 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2021)04-0043-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.04.008

Engineering Effect of Sodium Hypochlorite on Drag Reduction Aid of Long-Distance Raw Water Pipelines

ZHU Jie¹, KUANG Haiying², WANG Haiming², JIANG Huaide³, XU Chenyu¹, ZOU Hao¹

(1. Shanghai 3H Computer Co., Ltd., Shanghai 200433, China;

2. Shanghai Chentou Raw Water Co., Ltd., Shanghai 200125, China;

3. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract Hydraulic model is an important tool to carry out regular hydraulic analysis of pipeline network. In order to find out the reason why head loss of raw water pipeline can change dramatically in a short period of time, this paper combines model software and raw water production parameters to simulate and analyze. Based on hydraulic calculation data and research results of the industry, it is confirmed that friction coefficient of original water pipeline would change due to the difference of algae density in water body. And, polysaccharide polymer produced by the reaction of cyanobacteria and sodium hypochlorite in pretreatment stage would reduce pipeline resistance. This paper indirectly proves that water pipeline network and raw water pipeline network cannot be analyzed in the same way. In the simulation and analysis of raw water system, influence of algae density and the frequency of pretreatment medicament on resistance coefficient of pipeline should be considered synthetically, and the change of resistance should be closely tracked to meet working conditions of the model which can be used at any time.

Keywords raw water hydraulic model sodium hypochlorite blue-green algae drag coefficient

在原水管道流中, 蓝绿藻会和预加的次氯酸钠

反应, 并向水体中释放高聚物^[1]。试验表明, 藻类产生的多糖高聚物是非常好的减阻剂, 在湍流流动中加入少量即可使摩擦阻力大幅减少^[2]。有关添加剂减阻效应的理论, 近年来已逐步被人们认知和研究, 但该理论在工程方面的应用却少之又少。本

[收稿日期] 2020-08-13

[作者简介] 朱杰(1989—), 男, 主要从事管网水力模型研究和水务信息化建设。电话: 15214307105; E-mail: 782175936@qq.com。

文依托多糖高聚物减阻特性的研究成果,对工程应用中特殊的水损现象作出合理解答,同时为在类似环境下的原水调度提供一定的参考价值。

1 项目背景

1.1 原水系统概况

以华东某市水专项课题为例,建设原水管网水力模型系统。

该原水线自长江口水库取水,出库水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中II类标准,经大型陆域泵站加压后,通过两路口径为DN3600的管道泵送下游水厂(图1),上下游供水点相距27 km,管路沿线安装电磁流量计和压力设备以支持准确读数。

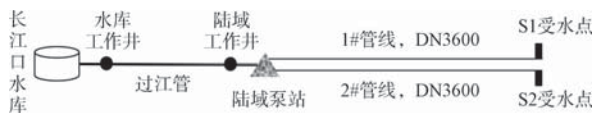


图1 原水模型拓扑结构

Fig. 1 Topology of Raw Water Model

1.2 原水系统基础模型建立

水力模型建设需要满足三大要素:节点水量、拓扑网络、控制参数。

在本项目中,原水系统作为典型的枝状拓扑管网(图2),加之所有数据完全在线,具备了建立高精度微观水力模型的优势基础。

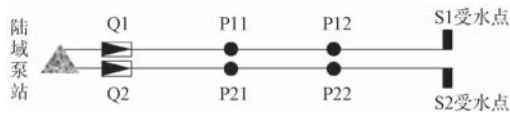


图2 沿线监测点位示意

Fig. 2 Schematic of Monitoring Points along the Line

项目开展初期,以第一季度(1月)作为模型建立和应用的时间背景,建成后管路沿线各校验点模拟误差如图3~图8所示。

(1) 1#管线电磁流量计 Q1: 平均误差为 969 m^3/h , 相对误差为 1.65%(图3)。

(2) 1#管线压力监测点 P11: 平均误差为 0.39 m(图4)。

(3) 1#管线压力监测点 P12: 平均误差为 0.26 m(图5)。

(4) 2#管线电磁流量计 Q2: 平均误差为 719.51 m^3/h , 相对误差为 0.9%(图6)。

(5) 2#管线压力监测点 P21: 平均误差为 0.32

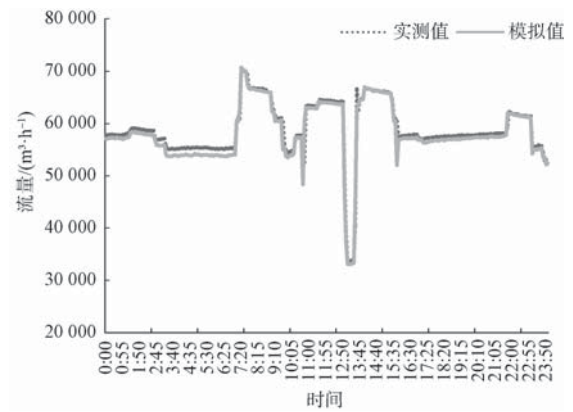


图3 1#管线流量计校核曲线

Fig. 3 Calibration Curve of Line 1 Flowmeter

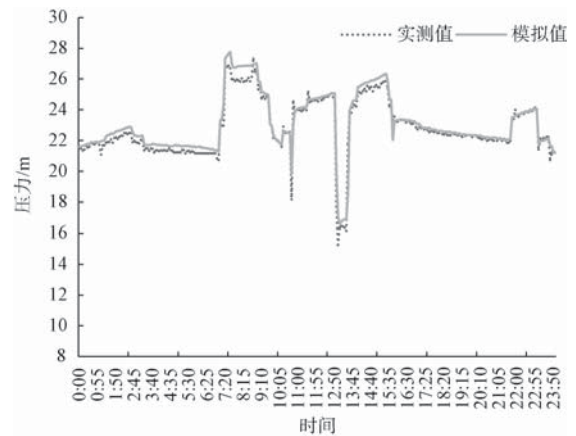


图4 1#管线压力点P11校核曲线

Fig. 4 Check Curve of Pressure Point P11 of Line 1

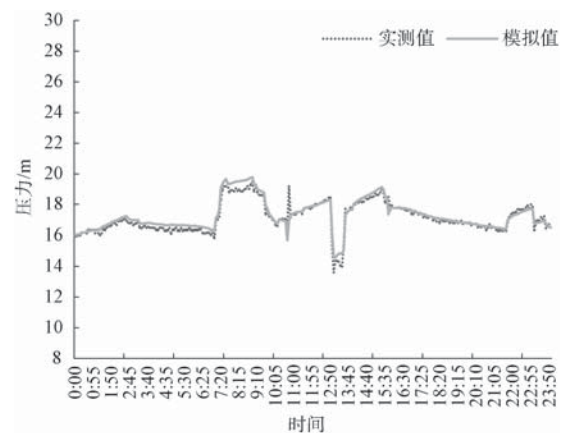


图5 1#管线压力点P12校核曲线

Fig. 5 Check Curve of Pressure Point P12 of Line 1

m(图7)。

(6) 2#管线压力监测点 P22: 平均误差为 0.26 m(图8)。

由以上模拟结果可知,原水枝状结构结合全在

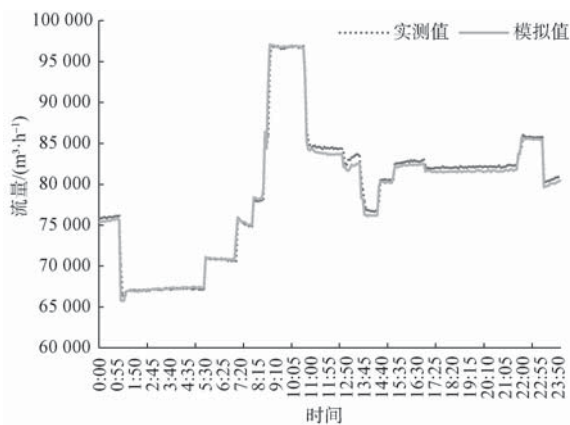


图6 2#管线流量计校核曲线

Fig. 6 Calibration Curve of Line 2 Flowmeter

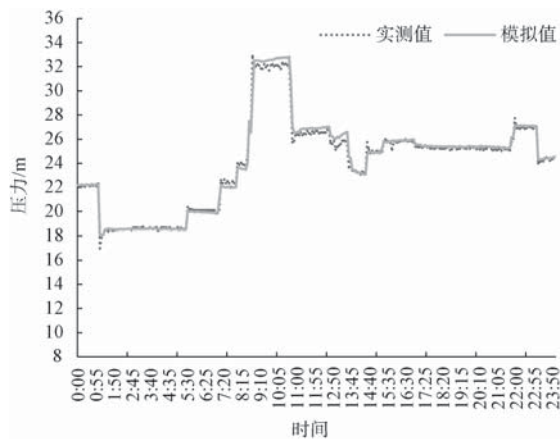


图7 2#管线压力点 P21 校核曲线

Fig. 7 Check Curve of Pressure Point P21 of Line 2

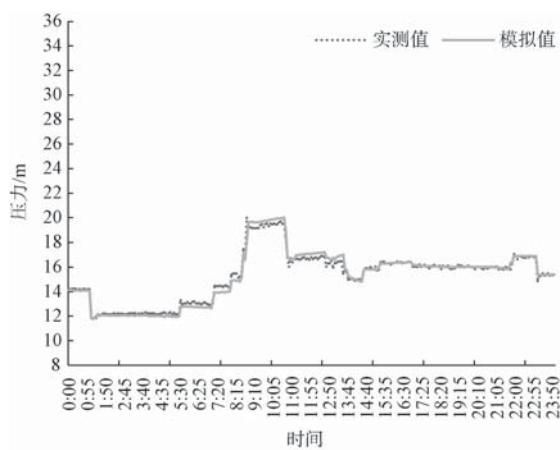


图8 2#管线压力点 P22 校核曲线

Fig. 8 Check Curve of Pressure Point P22 of Line 2

线监测数据,微观水力模型的精度可以达到很高的水平,完全能胜任实际生产下的模拟应用。

1.3 模型问题初现

将建成后的水力模型应用到第三季度(7月)的演练场景中,发现校验点的模拟结果较实际产生了很大偏差,影响到正常的模拟调用。

针对上述问题,将该段管道独立出来分析,以已知的泵送压力和管道流量为边界控制参数,以沿线压力监测点为校验和观察对象,结果如图9~图14所示。

(1)1#管线电磁流量计 Q1:作为已知流量代入(图9)。

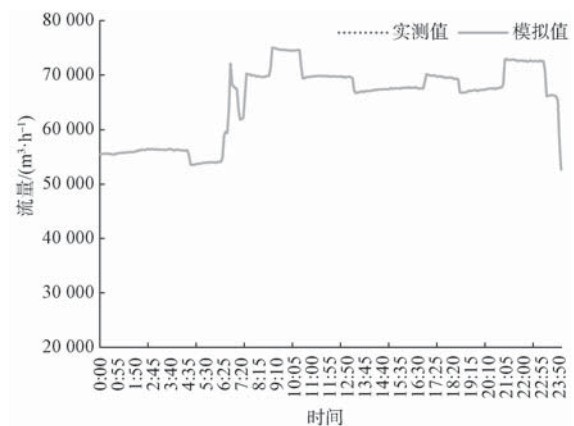


图9 1#管线流量计校核曲线

Fig. 9 Calibration Curve of Line 1 Flowmeter

(2)1#管线压力监测点 P11:平均误差为 1.02 m(图10)。

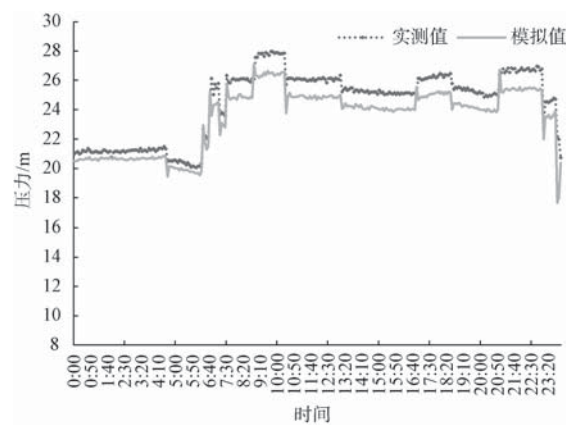


图10 1#管线压力点 P11 校核曲线

Fig. 10 Check Curve of Pressure Point P11 of Line 1

(3)1#管线压力监测点 P12:平均误差为 1.82 m(图11)。

(4)2#管线电磁流量计 Q2:作为已知流量代入(图12)。

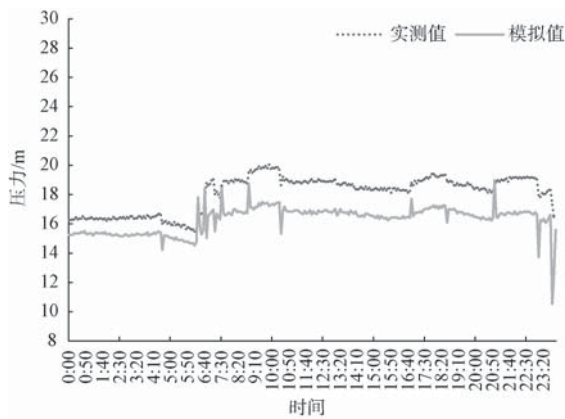


图 11 1#管线压力点 P12 校核曲线

Fig. 11 Check Curve of Pressure Point P12 of Line 1

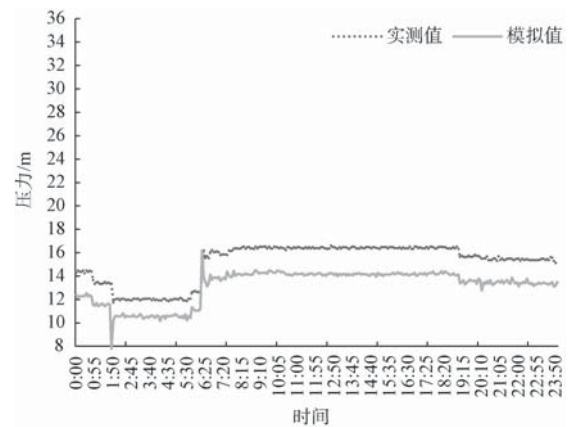


图 14 2#管线压力点 P22 校核曲线

Fig. 14 Check Curve of Pressure Point P22 of Line 2

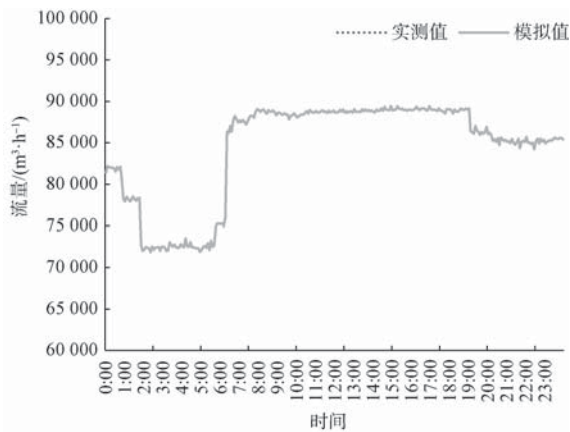


图 12 2#管线流量计校核曲线

Fig. 12 Calibration Curve of Line 2 Flowmeter

对比前后 2 个季度的模拟结果,在管道属性相同且满足各自水力参数的基础上,压力模拟值(实线)向下偏移,较实测值(虚线)低,意味着在第 2 次的模拟过程中产生了更大的总水损,且随着管程的增加呈扩大趋势(表 1)。

表 1 测压点模拟误差对比

Tab. 1 Comparison of Simulation Errors of Pressure Measuring Points

月份	1#管线		2#管线	
	P11 测点 误差/m	P12 测点 误差/m	P21 测点 误差/m	P22 测点 误差/m
1 月	0.31	0.33	0.24	0.32
7 月	1.02	1.82	1.44	2.04

(5)2#管线压力监测点 P21:平均误差为 1.44 m(图 13)。

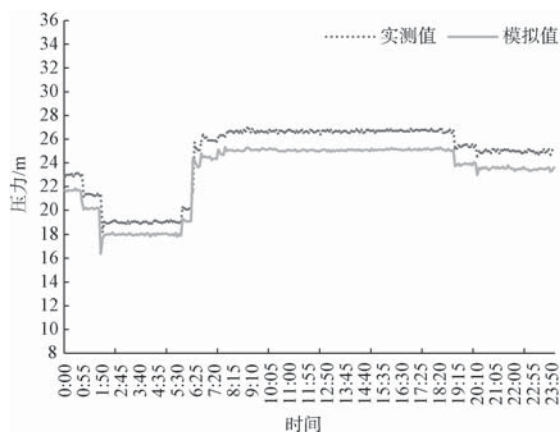


图 13 2#管线压力点 P21 校核曲线

Fig. 13 Check Curve of Pressure Point P21 of Line 2

(6)2#管线压力监测点 P22:平均误差为 2.04 m(图 14)。

2 精度漂移问题的查找方法

2.1 原因追溯

基于以上计算结果,在对管网拓扑、调度阀门、计量仪表等生产资料复核无误后,利用达西水损公式进一步分析,如式(1)。

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

其中: l ——管道长度,m;

d ——管道内径,m;

v ——管内平均流速,m/s;

g ——重力加速度,m/s²;

λ ——沿程摩阻系数。

在一段既定管道的模拟环境中,平均流速 v 、管长 l 、管径 d 均确定,并作为已知参数代入,唯有摩阻系数 λ 取自经验值。初步怀疑,异常增大的水损可

能是由管道摩阻系数 λ 引起的。

通常,引起摩阻系数 λ 变化的原因有很多,管道老旧、管壁结垢、低流速带来的杂质沉降、水体与管壁的生化反应等均会引起变化。回顾本案例,作为投产仅几年的超大口径输水干线,单管平均流速 $>2 \text{ m/s}$,显然管道老化和沉积的可能性非常小,尤其是在短短几个月内发生的这种变化。

对比清水管中多年稳定的摩阻系数,二者最大的区别为水质差异。因此猜测,短时引发原水管道水损异常变化的因素来源于流体水质。

2.2 问题定性分析

优先考虑管壁上附着生物体的影响,其会在次氯酸钠作用下脱落,从而引起管道摩阻系数变化。在南方自然水体中生长着一种贻贝科的淡水壳菜,能够生存于低氧、高流速水体中。幼虫时,随水流大量进入输水设施,发育至一定阶段后会分泌发达足丝,高密度附着在设施上,增加管道糙率、减小过流断面,且其分泌的酸性物质会引起壁面腐蚀,排泄物与尸体腐烂产生的有毒物质还会污染水质。由于管道深埋地下,在运行期间无法直接观察到生物附着情况,但可结合相关资料对附着生物体的分布规律作定性分析。

(1)管道中流速较缓的部位生物附着密度大,管道起始端的附着数量大于沿程其他管段^[3]。

(2)淡水壳菜进入输水系统后通常就近附着,高密度附着在进水口 1 km 范围内,之后附着密度迅速衰减,超过 3 km 管壁上几乎无淡菜附着^[4]。

(3)陆域泵站泵送的水体会经过两道沉淀工序:一是经长江口取水后先进入大型地表水库沉淀,蓄清避污;二是水库水在重力作用下过江,到达陆域泵站的前池沉淀;经两道工序后,才会由陆域泵站送至下游水厂。

结合以上资料,淡水壳菜直接大量进入陆域干管并附着在管壁上的几率较小,且基本上也都是附着在前端。若放在 27 km 长的管道中分析,其对水头的影响完全可作局部阻力考虑,这与当前全线水损且呈扩大之势的现象不符。因此,在本文中可进一步考虑流体水质本身的影响。

2.3 流体水质、预处理药剂及阻力系数的综合分析

在管道流中,水生藻类会因添加剂的加入而产生

多糖高分子聚合物,这在湍流中能产生明显的减阻效应^[2],从而使输水水头损失降低。

回顾本项目,第2次的模拟水损异常增大,反过来表明流体的实际水损减小,即在第2次的场景模拟中,管道流体已经产生了减阻现象。

因此,独立出流量较大的2#管线作定向分析,以确认添加剂、藻类、摩阻系数之间的关系。

收集相关生产数据,包括蓝绿藻浓度、泵送压力、泵送流量、受水点压力、添加剂量等,时间跨度为2012年3月—2018年3月。

整理其水力数据,按达西公式计算得出沿程摩阻系数 λ ,观察变化趋势(图15)。

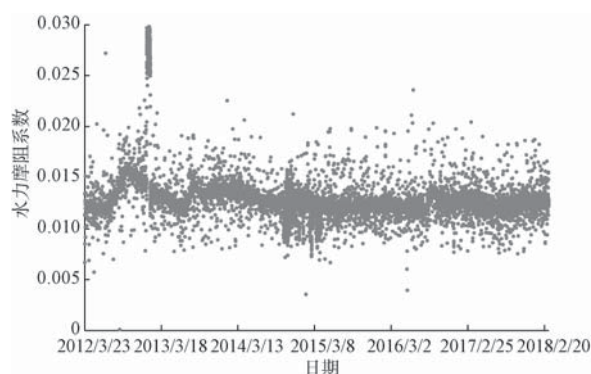


图15 沿程摩阻系数变化趋势

Fig. 15 Variation Trend of Friction Coefficient along Course

整理添加剂量和蓝绿藻浓度数据,发现在本案例中,原水预处理的添加剂仅粉末活性炭和次氯酸钠2种。鉴于粉末活性炭对藻细胞施加的物理吸附作用并不明显,且一般是对分子量处于 $500 \sim 3000$ 的大分子有机物才具备较强吸附功能^[5],本案例中添加剂的分析以次氯酸钠为主。

基于以上分析,绘制次氯酸钠剂量、蓝绿藻浓度和沿程摩阻系数 λ 的综合对比图(图16)。

3 结果和影响分析

3.1 次氯酸钠、蓝绿藻及摩阻系数的关联结果

如图15所示,舍弃2014年10月—2015年5月因受水点压力值波动而产生的异常计算结果。自2014年7月,整个管道的摩阻系数变化趋势相当平缓,平均约在 0.012 振荡,与2012年3月—2014年7月的波动痕迹有明显差别。

如图16所示,在2012年3月—2014年7月,水体中的蓝绿藻正处于暴发期(单位浓度 >1000 万

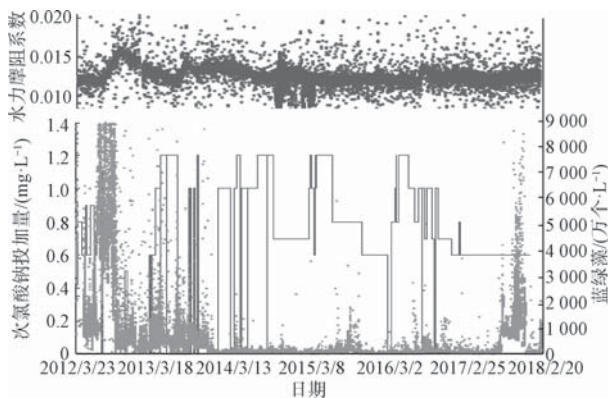


图 16 次氯酸钠、蓝绿藻、摩阻的综合比对

Fig. 16 Comprehensive Comparison of Sodium Hypochlorite, Blue Green Algae and Friction Resistance

个/L),此时由于没有投加次氯酸钠,水力摩阻系数 λ 可跃升至0.016;而一旦投加次氯酸钠,水力摩阻就立刻呈回落之势(以2012年10月—2013年7月和2013年8月—2013年10月为例)。在其后的几年里,次氯酸钠基本处于连续投加状态,得益于该操作,即使在2017年9月—2017年12月的蓝绿藻暴发期,水力摩阻 λ 也能稳定在0.012左右。

3.2 长时间投加次氯酸钠的影响分析

该市原水系统投加10%浓度的次氯酸钠^[6],投加量一般在0.6~1.2 mg/L,溶于水后迅速水解成氯酸和次氯酸根,具有强氧化性,能对原水中的细菌、病原体和浮游植物予以灭活。输水载体主要是涂了内部防腐层的焊接钢管,投运已有10年,运行环境相对稳定。在流体均匀腐蚀产物的作用下,能保护基质,防止管材受到侵蚀;加氯更能抑制微生物的腐蚀作用,从而进一步降低水体对输水管道的侵蚀速率^[7]。

定期投加次氯酸钠,主要是对投加系统本身有影响,如管道结垢、排气或其他安全问题。但是,在长时间的运行养护过程中,管理单位结合成熟技术已经总结出适合自己的管理办法:如采用计量泵代替压力水将次氯酸钠投入到投加系统中,或在投入前用软化水对次氯酸钠进行溶解稀释后再行投加,避免管道结垢;同时,建立生产设施使用制度、安全设施管理制度、设备应急管理制度,以降低设备运行中危险事故的发生^[6]。

尽管次氯酸钠具有强氧化性,可能会腐蚀管道。但经研究发现,含氯原水对管道内衬的腐蚀与停留时间有关,与初始加氯量无关^[7]。因此,在管道头

部水压接近0.4 MPa、流速 >2 m/s的环境下,次氯酸钠对管径的影响极其有限。

4 结论和应用

4.1 结论

在原水预处理的投加工艺中,次氯酸钠用于除藻,粉末活性炭用于吸附净化。在次氯酸钠的强氧化作用下,蓝绿藻细胞表面结构被破坏,促使一部分细胞表层及胞内物质释放到了水体中,这些物质大部分为高聚物^[1]。

多糖高聚物的存在降低了原水管道水力摩阻系数,尤其是在蓝绿藻暴发期,能够显著减小输水的沿程水头损失。

4.2 应用

输水管道摩阻系数的变化,可在无形中影响上游泵站的调度压力,这与节能降耗的经济指标有直接关系。

以沿程摩阻系数 λ 在本文的高峰值0.016为例,在满足下游受水点平均压力为7 m和平均流量为80 000 m³/h的基础上,需要的泵送压力为22.417 m;而若摩阻系数 λ 稳定在0.012附近,则满足同等水力条件需要的泵送压力仅为16.813 m;二者头部压力相差近6 m。

由此可知,在蓝绿藻暴发期,有效投加次氯酸钠不仅能保障管网健康、稳定运行,还能有效降低能耗,提升经济效益。

参考文献

- [1] 王立宁,方晶云,马军,等. 化学预氧化对藻类细胞结构的影响及其强化混凝除藻[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2005, 35(s1): 182-185.
- [2] 郑晨晖. 管道流中微藻多糖高聚物减阻的实验与数值计算研究[D]. 江苏: 江苏大学, 2012.
- [3] 王睿. 长距离输水管线中淡水壳菜的氧化灭杀去除技术研究[D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [4] 杨滴清. 用于原水输水管道沼蛤防治的次氯酸钠投加系统设计[J]. 广东水利水电, 2019(7): 82-84, 111.
- [5] 赵艳,朱光灿,石晶晶,等. 粉末活性炭吸附强化长距离输水管道反应器净水效能实验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2016, 46(4): 801-806.
- [6] 薛俊杰. 浅谈次氯酸钠投加系统在原水中的应用[J]. 科学技术创新, 2020(14): 39-40.
- [7] 史昱晓. 再生水氯消毒对管网水质及管道腐蚀影响的试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2013.