

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.03.011

冰浆清洗技术对小口径球墨铸铁给水管道的清洗效果

施 凯, 陈志伟, 彭秀华, 程志强, 赵 吉, 闵 奇
(苏州吴中供水有限公司, 江苏 苏州 215100)

摘 要: 介绍了一种新的管道清洗技术——冰浆清洗技术,该技术通过注入冰浆来清洗管道内壁,去除管道中的矿物沉积物、生物膜以及其他沉积物,该技术无需管道开挖、耗时短、耗水量少,能快速恢复供水,而且不会带来二次污染。针对小口径球墨铸铁给水管道的清洗结果表明,冰浆清洗后管网水浊度降低了约 76%,清洗效果良好,清洗后水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

关键词: 给水管; 冰浆清洗技术; 球墨铸铁管; 小口径; 浊度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)03-0069-05

Cleaning Effect of Ice Slurry Cleaning Technology on Small Diameter Ductile Iron Water Supply Pipeline

SHI Kai, CHEN Zhi-wei, PENG Xiu-hua, CHENG Zhi-qiang, ZHAO Ji, MIN Qi
(Suzhou Wuzhong Water Supply Co. Ltd., Suzhou 215100, China)

Abstract: A new pipeline cleaning technology—ice slurry cleaning technology was introduced. The technology cleans the inner wall of the pipeline by injecting ice slurry to remove mineral deposits, biofilm and other deposits from the pipeline, which has the advantages of no pipeline excavation, less time consuming, quick restoration of water supply and no secondary pollution. According to the cleaning results of small diameter ductile iron water supply pipeline, turbidity of the pipe network water decreased by about 76% after the ice slurry cleaning, the cleaning effect was good, and the water quality after cleaning also could meet *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006).

Key words: water supply pipeline; ice slurry cleaning technology; ductile iron pipe; small diameter; turbidity

目前,给水管清洗是提高管网水质的最有效途径之一,常见的清洗方法主要有单向水冲洗法、高压水射流冲洗法、机械刮管法、化学清洗法和气水脉冲清洗法等^[1-4]。单向水冲洗法适用于给水管内壁仅有松软的积垢,对较坚硬的“生长环”冲洗效果不佳,此外,流速是影响水力冲洗效率最重要的参数,对于大口径管道,提高流速较为困难,水力冲洗

效果不理想,而且耗水量大。高压水射流冲洗法适用于各类容器与管道内外壁的清洗除锈,一次清洗长度有限,而且清洗工作需要使用超高压设备,操作要求高。机械刮管法通常应用于管径 < 450 mm 的管道,一般每次可刮管 100 ~ 150 m,对于较长距离的管道要分成若干个清洗段分别断开、逐段实施,从而增加人工开挖工程量和施工停水时间,遇有管道

基金项目: 苏州市科技计划项目(SS202046)

通信作者: 施凯 E-mail: shikai@wuzhongwater.com

附件时,施工比较困难。当积垢的主要成分为碳酸盐或铁锈时,可以用酸洗法清除,但该法在给水管道的清洗中的适用场景很少。气水脉冲技术清洗管道,对水压、气压、气量的控制比较重要,水量过大,无法形成湍流,不能形成喷砂效果;水量过小,易造成气水分离,清洗失败;气量越大效果越明显,但是气量越大,压力越高,易造成管线破裂,需提前测试,寻找最佳水量、气压配合。

冰浆清洗技术主要是以冰浆作为介质来清洗管道,即将冰浆注入管道内,形成一段柔软的“冰活塞”,利用水压推动冰浆向前移动,在移动时冰浆与管道内壁发生碰撞及摩擦,使沉积物与附着物的稳定结构遭到破坏而剥离管壁,这些物质随着冰浆一起向前移动直至排出管道,最终达到清洗管道的目的。冰浆,也被称作流化冰、泵送冰,由直径不超过1 mm的冰颗粒构成,是一种含有冰颗粒与水混合的固液两相流,表现出“活塞状”流动形式,具有多种复杂的几何形状,其剪切力可以达到水的2~4个数量级^[5-10]。

苏州吴中供水有限公司与江苏省城镇供水安全保障中心合作研发了一套城镇供水管道冰浆清洗的技术方法,并研究制备了一套城镇供水管道冰浆清洗的专用设备,目前已经成功应用于小区及市政给水管道的清洗。笔者选择某小区给水管清洗案例来介绍冰浆清洗球墨铸铁给水管道的效果,旨在为广大水司清洗给水管提供一种新方法。

1 清洗管道概况

某小区共有7幢14个单元,约170户居民,距离供水公司约2.3 km,其给水管网建成于2006年,主管道为DN150的球墨铸铁管,长度约为378 m,呈方形环状(见图1)。小区管线共有1处进水阀(1[#])、1处落水阀(2[#])、2处腰阀(3[#]、4[#])、4处梯口阀(5[#]~8[#])和4个消火栓(9[#]~12[#])。由于管道使用年限较长、附近施工较多,导致管道内部环境复杂、沉积物较多,水质情况一般。

给水管通常埋在地下,为了避免开挖,减少工作量,首选从消火栓注入冰浆和排出清洗废水,如有消防水表时需提前拆除,避免冰柱对水表的破坏,拆除后在原水表位置用短管重新连接。该小区的给水管主管道为方形环状,只有一路进水口,因此需要分两次对小区给水管进行清洗。两次清洗都选择小区西南角的消火栓(9[#])注入冰浆,从东北角的消火栓

(11[#])排出。第一次清洗的管道为南侧与东侧DN150给水管(图1蓝色部分,箭头表示清洗时冰浆流向,下同),长度约为180 m;第二次清洗的管道为北侧与西侧DN150给水管(图1绿色部分),长度约为198 m。

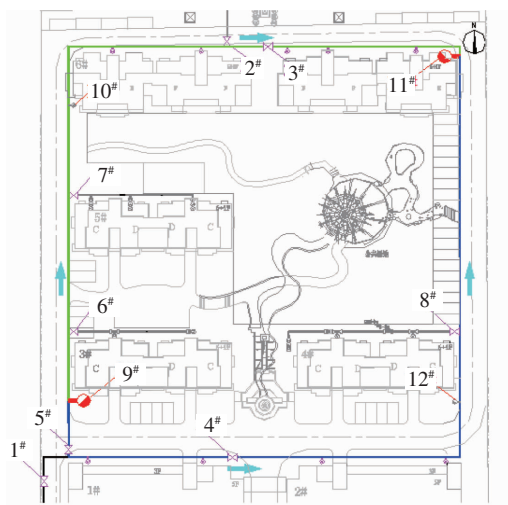


图1 某小区给水管道路

Fig.1 Water supply pipeline in residential area

2 冰浆清洗作业流程

前期准备工作:①提前24 h发布停水通知,停水时间暂定为09:00—17:00,并告知小区物业此次停水原因为小区管道清洗,清洗作业期间会有噪声等。②排查小区内各单元阀及梯口阀,将无法关死的阀门进行更换,并将9[#]、11[#]消火栓水表表芯及滤网取出,用旧水表表盘封堵。

冰浆清洗作业流程如下:①于清洗当天上午09:00关闭小区1[#]进水总阀,之后关闭6[#]、7[#]、8[#]梯口阀以及受清洗工作直接影响的楼栋单元阀和3[#]腰阀。②冰浆运输车辆到达现场后,使用消防水带连接水泵与9[#]消火栓并开启消火栓,同时使用消防水带连接11[#]消火栓至水质检测车(水质检测车另一端用消防水带连至污水井)并开启消火栓。③于09:45进行第一次冰浆灌注,首先开启电源,约持续7.5 min,搅拌桶水位约下降60 cm,然后关闭电源,紧接着关闭5[#]梯口阀,开启1[#]进水总阀进行第一次清洗,控制清洗水的排放,观测清洗废水的浊度变化,当浊度显著上升时开始取样,取样频率为每30 s取样一次,待浊度降低并趋于稳定后关闭1[#]进水总阀、4[#]腰阀,开启3[#]腰阀,第一次清洗结束。④于10:15进行第二次冰浆灌注,首先开启电源,约持续

7 min,搅拌桶水位约下降 55 cm,然后关闭电源,紧接着关闭 9# 消防栓阀门,开启 1# 进水总阀和 5# 梯口阀进行第二次清洗,后续步骤同第一次清洗。⑤清洗作业结束后拆卸消防水带,开启 2# 落水阀进行管网水冲,直至排放水浊度满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,并再次取干净水样带回实验室进行水质检测,对比分析冰浆清洗前后管网水质。⑥清洗完成后,恢复小区内阀门,开启 6#、7#、8# 梯口阀和楼栋单元阀,确保小区用户正常用水;并将 9#、11# 消防栓水表拆出的表芯重新安装回去,确保表芯与水表匹配且表芯方向正确,安装完成后开启 9#、11# 消防栓阀门。

3 冰浆清洗效果

3.1 清洗废水水样

图 2 为冰浆清洗废水水样照片,可以明显看出清洗过程中采集的水样颜色较深且浑浊。对比还可以看出,第二次清洗水样的颜色较第一次清洗水样的颜色更深,也更浑浊,而且第二次清洗时排出口收集到冰浆[见图 2(c)],第一次清洗却没有收集到冰浆。分析认为,第一次冰浆注入量不足且冰浆浓度低,外加气温较高,形成的有效冰柱较短,所以未到排出口冰浆已经全部融化,管道未能全部清洗,清洗效果不佳;第二次清洗时,在排出口收集到冰浆,表明冰浆注入量充足,形成的有效冰柱较长,能持续清洗到排出口,所以清洗效果较好。

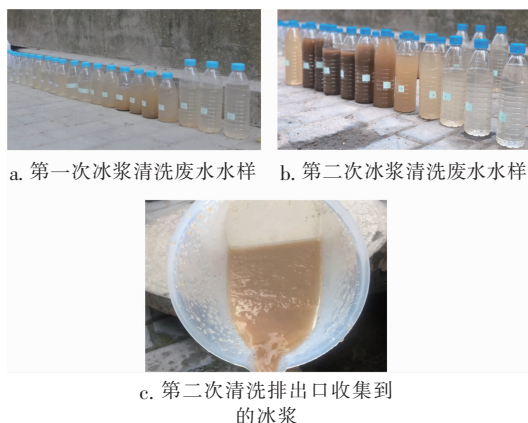


图 2 小区给水管冰浆清洗废水照片

Fig. 2 Photo of wastewater from ice slurry cleaning of water supply pipeline in residential area

引起管网二次污染的原因主要有两方面:一方面是内部原因,给水管在常年的运行中,经过物理、化学、生物等作用,沿管道内壁形成不规则的

“生长环”,其形成机理包括金属管材的电化学腐蚀、微生物腐蚀、沉淀结垢等。另一方面,国内城市的供水管网规模普遍较大,管道建设和更新速度较快,管道施工和抢维修作业频繁,然而国内的管道施工不够规范,管理有缺位,管道保护不足,清洗不到位,容易导致泥沙、碎石等积留于管道内。而冰浆清洗技术可以冲出这些污染物,从实际收集到的水样也可以看出,清洗出来的沉积物主要为泥土、沙子、铁渣、管垢等。

3.2 清洗废水浊度变化

图 3 为两次冰浆清洗过程中清洗废水浊度的变化情况。可以看出,两次清洗废水的浊度均会陡升至最大值,然后再陡降,浊度陡升的过程就是冰浆清洗的过程。

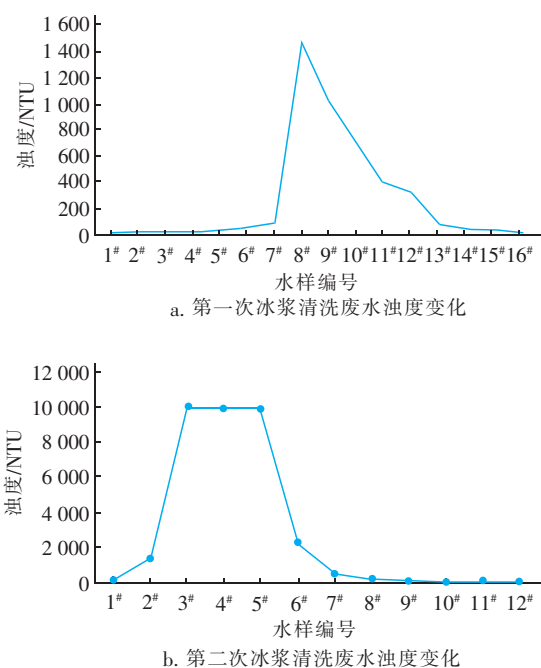


图 3 小区给水管冰浆清洗废水浊度变化

Fig. 3 Turbidity change of ice slurry cleaning wastewater in residential water supply pipeline

第一次冰浆清洗时,废水浊度陡升至最大值 1 445 NTU 用时 3.5 min(取样时间间隔为 30 s),第二次清洗时废水浊度陡升至最大值(超过了浊度仪的量程 9 999 NTU)仅用时 1 min,较短时间内浊度迅速下降、水质迅速提高,很快满足清洗管道水质要求。清洗废水的浊度高,表明冰浆清洗下来的管道沉积物量多,通过经验公式计算得到第一次、第二次冰浆清洗出的沉积物量分别为 1.16、6.85 kg,折算

为6.4、35 kg/km,这充分说明,在注冰量充足的情况下,采用冰浆清洗给水管道效果良好,能将大量沉积物冲出管道。需要说明的是,注冰量充足并不是指冰浆充满整个管道,总结多次清洗经验以及参考国外相关研究成果,认为单次注冰量控制在清洗管道容积的30%左右较佳。

3.3 清洗前后管网水质对比

在冰浆清洗前后,分别在同一个取水点取样进行水质分析,结果如表1所示。可以看出,冰浆清洗管道前后,管网水质都满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,但清洗后管网水浊度由0.758 NTU降低到0.183 NTU,降低了约76%,清洗效果非常显著。

表1 管道清洗前后水质对比

Tab. 1 Comparison of water quality before and after pipeline cleaning

| 项 目 | 清洗前 | 清洗后 |
|----------------------------------------------|--------|--------|
| 色度/倍 | <5 | <5 |
| 浊度/NTU | 0.758 | 0.183 |
| 臭和味 | 无异臭、异味 | 无异臭、异味 |
| COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹) | 1.76 | 1.64 |
| 余氯(以Cl ₂ 计)/(mg·L ⁻¹) | 0.24 | 0.20 |
| 菌落总数/(CFU·mL ⁻¹) | 未检出 | 未检出 |
| 总大肠菌群/(MPN·100 mL ⁻¹) | 未检出 | 未检出 |

综上,利用冰浆清洗技术对小区给水管道进行清洗达到了理想效果,有效提升了该小区的水质,而且冰浆清洗技术操作简单,无需管道开挖,只需利用消火栓即可,整个清洗过程仅用时2.5 h,耗时短、耗水量少,能快速恢复供水,有效节约了水资源和人力成本。

4 适用条件

① 冰浆清洗技术适用于管径在100~500 mm的各种管材管道的清洗。

② 实施清洗时无需额外提供压力,仅需打开上游进水阀门,依靠上游市政压力推动冰浆向前移动进行清洗。

③ 环境温度在10℃以下时,冰浆制备和储存难度较低,冰浆清洗效果和经济性较好,适宜进行冰浆清洗作业。环境温度每上升5℃,所需冰浆体积增加15%~20%。

5 技术性能及经济效益

① 本项目研究开发的冰浆清洗技术及设备已

累计清洗管道长度约5 km,性能及效果稳定;清洗出管道沉积物的质量一般在10~30 kg/km;清洗废水浊度最高超过9 999 NTU;单次清洗水耗不超过清洗管道的2倍体积。

② 与其他管道清洗方法相比,冰浆清洗技术可节省冲洗用水50%以上、节省冲洗用时50%以上,对管道内沉积物和附着物的去除效率较高,操作简便,且不会对管道造成损伤。

③ 在达到同等清洗效果的前提下,冰浆清洗的成本为其他清洗技术的1/5~1/2,具有十分显著的经济效益。

6 结论

因为内部、外部的多种因素,导致给水管道内积累了大量的污染物质,使得自来水在输配过程中水质变差,最终导致用户获得的龙头水质不如人意。介绍了一种新的管道清洗技术——冰浆清洗技术,该技术通过注入冰浆来清洁管道内壁,去除管道中的矿物沉积物、生物膜以及其他沉积物,清洗废水浊度一般在500~3 000 NTU,清洗沉积物的质量一般在10~30 kg/km,无需管道开挖、耗时短、耗水量少,能快速恢复供水,而且不会带来二次污染。实际清洗案例表明,冰浆清洗后管网水浊度降低了约76%,清洗效果良好,清洗后水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,是一种很有应用前景的给水管道清洗技术。

参考文献:

- [1] 张宝东,何刚. 给水管道清洗技术在管网运营维护中的应用分析[J]. 中国给水排水,2012,28(22):43-45.
ZHANG Baodong, HE Gang. Application of pipeline cleaning technologies in operation and maintenance of water network[J]. China Water & Wastewater,2012,28(22):43-45(in Chinese).
- [2] 诸国土,周荣. 气水脉冲技术在非开挖供水管道冲洗中的应用[J]. 给水排水,2015,41(1):94-95,96.
ZHU Guotu, ZHOU Rong. Application of the water-air pulse technology in the trenchless water pipe washing process[J]. Water & Wastewater Engineering,2015,41(1):94-95,96(in Chinese).
- [3] 宁会峰. 基于高压水射流技术小直径管道清洗效率的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2008.
NING Huifeng. Study of Efficiency in Pipe-line Cleaning

- with High Pressure Waterjets [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2008 (in Chinese).
- [4] 龚俊, 宁会峰, 曹文辉. 提高高压水射流清洗小直径管道效率的方法 [J]. 管道技术与设备, 2008 (3): 57 - 59.
- GONG Jun, NING Huifeng, CAO Wenhui. Method of improving the efficiency in small diameter pipeline cleaning with a high pressure water-jet [J]. Pipeline Technology and Equipment, 2008 (3): 57 - 59 (in Chinese).
- [5] QUARINI J, SHIRE S. A Review of fluid-driven pipeline pigs and their applications [J]. Journal of Process Mechanical Engineering, 2007, 221 (1): 1 - 10.
- [6] SHIRE S, QUARINI J, AYALA R S. Experimental investigation of the mixing behaviour of pumpable ice slurries and ice pigs in pipe flows [J]. Journal of Process Mechanical Engineering, 2005, 219 (3): 301 - 309.
- [7] SHIRE S, QUARINI J, AYALA R S. Ultrasonic detection of slurry ice flows [J]. Journal of Process Mechanical Engineering, 2005, 219 (3): 217 - 225.
- [8] EVANS T S, QUARINI G L, SHIRE G S F. Investigation into the transportation and melting of thick ice slurries in pipes [J]. International Journal of Refrigeration, 2008, 31 (1): 145 - 151.
- [9] MONTEIRO A C S, BANSAL P K. Pressure drop characteristics and rheological modeling of ice slurry flow in pipes [J]. International Journal of Refrigeration, 2010, 33 (8): 1523 - 1532.
- [10] 芮文江. 基于实验的管道冰浆清洗效果研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2018.
- RUI Wenjiang. Experimental Study on Pigging Effect of Ice Slurry [D]. Beijing: China University of Petroleum, 2018 (in Chinese).
-
- 作者简介:**施凯 (1975 -), 男, 江苏南通人, 硕士, 高级工程师, 苏州吴中供水有限公司总经理, 主要从事供排水行业生产、经营等管理工作。
- E-mail:** shikai@wuzhongwater.com
- 收稿日期:** 2020 - 11 - 12
- 修回日期:** 2020 - 11 - 19

(编辑: 刘贵春)

(上接第 68 页)

- [5] KASAK K, TRUU J, OSTONEN I, *et al.* Biechar enhances plant growth and nutrient removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands [J]. Science of the Total Environment, 2018, 639: 67 - 74.
- [6] CAO Q, WANG H, CHEN X, *et al.* Composition and distribution of microbial communities in natural river wetlands and corresponding constructed wetland [J]. Ecological Engineering, 2017, 98: 40 - 48.
- [7] GE Z B, WEI D Y, ZHANG J, *et al.* Natural pyrite enhance simultaneous long-term nitrogen and phosphorus removal in constructed wetland; three years of pilot study [J]. Water Research, 2018, 148: 153 - 161.
- [8] YANG H L, CHEN X C, TANG J W, *et al.* External carbon addition increases nitrate removal and decreases nitrous oxide emission in a restored wetland [J]. Ecological Engineering, 2019, 138: 200 - 208.
- [9] 付凌, 刘磊. 黑土洼湿地水质净化效果及存在问题和对策研究 [J]. 水资源管理, 2013 (21): 38 - 40.
- FU Ling, LIU Lei. Result of water purification in Heituwa Wetland: issues and measures [J]. China Water Resources, 2013 (21): 38 - 40 (in Chinese).
- [10] 陈秋颖, 王琦, 王艳, 等. 凌河流域人工湿地水质净化效果分析 [J]. 沈阳农业大学学报, 2016, 47 (2): 178 - 184.
- CHEN Qiuying, WANG Qi, WANG Yan, *et al.* Analysis of water quality changes from inlet and outlet of the constructed wetland for Daling River Basin [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2016, 47 (2): 178 - 184 (in Chinese).
-
- 作者简介:**张春松 (1994 -), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 研究方向为湿地碳氮循环。
- E-mail:** 1187996160@qq.com
- 收稿日期:** 2019 - 10 - 07
- 修回日期:** 2019 - 11 - 17

(编辑: 刘贵春)