

范力杰, 郭金鹏, 王仕豪, 等. 现有供水管道冰浆冲洗技术应用案例分析与探讨[J]. 净水技术, 2024, 43(6):204-209.

FAN L J, GUO J P, WANG S H, et al. Application case analysis and discussion of ice slurry flushing technology for existing water supply pipelines[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(6):204-209.

现有供水管道冰浆冲洗技术应用案例分析与探讨

范力杰, 郭金鹏*, 王仕豪, 王 彬, 石晓川, 张铁勇

(北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100031)

摘 要 管道冲洗是保证供水安全的重要手段,北京市现状供水管网冲洗时根据现状管线的具体情况,多采用传统单向水冲洗、气水冲洗等管道冲洗技术,确保供水管网水质安全。传统单向水冲洗、气水冲洗技术冲洗管网后,其冲洗效果维持时间短。文中以北京市首次应用冰浆冲洗技术冲洗某市政供水管道为例,详细介绍了被冲洗管道的基本情况,并对管道冰浆冲洗作业流程进行了归纳和总结。通过收集整理和分析管道冰浆冲洗过程中的水质监测数据,对冰浆冲洗效果进行了分析与探讨。冰浆冲洗结果表明,冲洗后管道内壁附着的大量污染物被冲洗排出,管网水浑浊度降低了 80.86%,管道内水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求。研究可为其他省市自来水公司管道冲洗提供借鉴和参考。

关键词 市政供水管道 冰浆冲洗技术 浑浊度 电导率 温度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)06-0204-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.06.024

Application Case Analysis and Discussion of Ice Slurry Flushing Technology for Existing Water Supply Pipeline

FAN Lijie, GUO Jinpeng*, WANG Shihao, WANG Bin, SHI Xiaochuan, ZHANG Tiejong

(Beijing Waterworks Group Co., Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract Pipeline flushing is an important means to ensure water supply safety. When flushing the current water supply network in Beijing, traditional one-way water flushing, gas water flushing and other pipeline flushing techniques are often used based on the specific situation of the current pipeline to flush the current pipeline and ensure the water quality safety of the water supply network. This article takes the first application of ice slurry flushing technology in Beijing to flush a municipal water supply pipeline as an example, and provides a detailed introduction to the basic situation of the flushed pipeline. The operation process of pipeline ice slurry flushing is summarized. By collecting, organizing and analyzing water quality monitoring data during pipeline ice slurry flushing, the effect of ice slurry flushing is analyzed and discussed. The results of ice slurry flushing show that a large amount of pollutants attached to the inner wall of the pipeline are flushed out after flushing, and the turbidity of the water in the pipeline network is reduced by 80.86%. The water quality in the pipeline meet the requirements of the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2022). The study can provide reference and guidance for pipeline flushing in other provinces and cities.

Keywords municipal water supply pipelines ice slurry flushing technology turbidity conductivity temperature

新建供水管道经过冲洗消毒,且水质检测合格后,可并网通水投入运行。管道投入运行后,使用年限久的供水管道在物理、化学和微生物作用下,管道

内壁产生水垢、铁锈、沉积物、生长环等形式多样的污垢^[1-3],使水流过水面积减小,流阻系数增加,导致供水流量和压力不足,输送能耗和成本增加。同时,在管道供水过程中,受供水流量、流速和压力等因素变化的影响,可能导致管道内水垢、铁锈、沉积物、生长环等污垢剥离管道,造成水黄、水混、“黑水”、“红水”等水质问题^[4],为供水水质安全埋下隐患。管道冲洗是减少和消除管道内水垢、铁锈、沉积

[收稿日期] 2023-12-12

[作者简介] 范力杰(1983—),男,研究方向为城市供水管理、智慧水务,E-mail:35246568@qq.com。

[通信作者] 郭金鹏(1989—),男,硕士,研究方向为城市供水管理、智慧水务,E-mail:823975395@qq.com。

物、生长环等污垢的有效途径之一。目前,常见的管道冲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^[5-7]。这些传统的管道冲洗方法存在冲洗效率低、耗时、耗水量大、冲洗效果维持时间短、操作过程繁琐、清洗管道长度有限等弊端。

管道冰浆冲洗技术^[8-9]是一种新型管道冲洗技术,为供水行业管网水质薄弱点的解决和高品质饮用水的推行提供强大支撑。冰浆是由直径不超过 1 mm 的冰颗粒与水混合形成的柔软“冰活塞”,在水压作用下,“冰活塞”在管道内流动时具有多种复杂的几何形状,移动过程中与管道内壁发生碰撞及摩擦。此过程中,冰浆与管道内壁碰撞及摩擦产生的剪切力可以达到水的 2~4 个数量级^[10-13]。在剪切力作用下,管道内壁的沉积物与附着物的稳定结构遭到破坏而剥离管壁,并随着冰浆一起向前移动直至排出管道,达到清洗管道的目的。管道冰浆冲洗技术为既有在役供水管线冲洗提供了新的思路和解决方案。国内有关学者也已对管道冰浆冲洗技术进行了研究,但其在国内应用案例较少。目前,可见报道的冰浆冲洗技术多用于小区楼前管的管道冲洗,市政道路供水管线应用较少。江苏某小区 378 m 的 DN150 球墨铸铁管冲洗采用管道冰浆冲洗技术,结果表明,该技术能有效去除小区内供水管道积存的

泥渣等污染物,有效改善管道内部环境,提升管网水质,同时,清洗时管道无需开挖,快连快接,操作方便,且对管道无损伤,清洗成本低^[8]。管道冰浆冲洗最先由英国布里斯托大学提出,并于 2000 年开始应用,其在国外管道冲洗实际应用比较广泛。本文以北京市某道路市政供水管道冰浆冲洗为例,分析介绍冰浆冲洗效果,为其他省市自来水公司管道冲洗提供借鉴和参考。

1 管道概况及新技术使用原因

本次采用冰浆冲洗的市政供水管道位于北京市某市属道路,管道于 1988 年建设完成并网运行,总长度为 423 m,管径为 DN400,管材为铸铁管,管道内壁无内衬防腐层。此管道位于市政供水管网末端,连接两个用户(合计每日用水量约为 600~700 m³)。水表用户曾多次因水黄投诉水质问题,供水集团多次使用消火栓进行常规管道冲洗,但冲洗效果有限,清洁水质难以维持,相隔一段时间后仍会接到水质投诉。考虑到常规冲洗水量损耗大且不能从根源解决问题,决定对该段管线进行特殊处理。使用供水管网水力模型进行模拟,结果显示,管道内流量小(DN400 末端高峰供水时段流量在 35~40 m³/h;夜间最小流量约为 11 m³/h)、流速低(DN400 末端最大流速为 0.09 m/s;最小流速为 0.02 m/s)。管线基本情况如图 1 所示。



图 1 市政供水管线

Fig. 1 Municipal Water Supply Pipelines

经调研发现,管道冰浆冲洗技术与其他管道冲洗技术相比具有无需开挖、操作方便、对管道无损伤、节约用水、成本低等特点,操作条件符合该区域现状管网,具备解决水质问题的可行性。为保证较

好的冲洗效果,选用管道冰浆冲洗时需注意以下问题。

(1)清洗大口径管道所需冰浆量显著增加,冰浆加注时间延长。冰浆泵送进管道内后在浮力作用

下开始上浮并出现冰水分层现象,导致冰浆无法填满管道形成有效的“冰活塞”。冰浆冲洗技术适用于管径为 DN100~DN500 各种管材的管道。

(2)形成有效的“冰活塞”是保证冰浆冲洗效果的关键,单次注冰量控制在冲洗管道容积的 30% 左右为佳。

(3)环境温度对冰浆冲洗效果和其经济性影响较大。环境温度低于 10 ℃ 时适宜进行冰浆冲洗作业,此时,冰浆制备和存储时的经济效果和冲洗效果好。环境温度升高 5 ℃,所需冰浆增加 15%~20%。

2 作业流程

为保证冰浆冲洗作业顺利进行和冲洗质量,冰浆冲洗作业需严格按照作业流程进行,作业流程如图 2 所示。

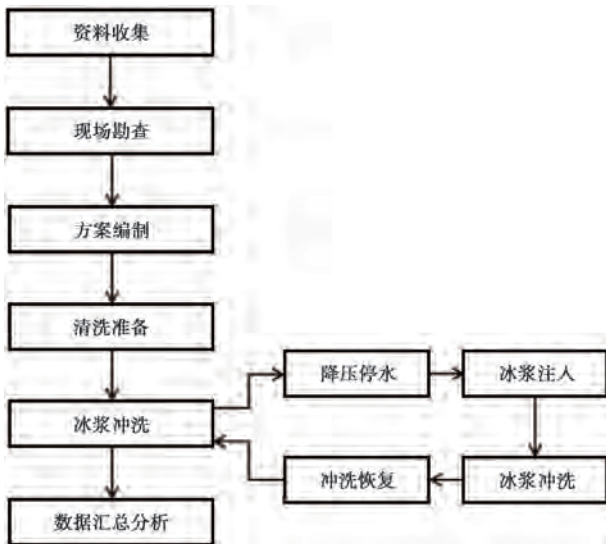


图 2 作业流程

Fig. 2 Operation Process

(1)资料收集:收集被冲洗管线图纸及竣工资料,掌握其管径、管材、埋深、走向及附属设施情况;收集被冲洗管线上下游管线及可能影响的管线资料;收集管网运行状况资料,包括管网架构、运行压力、流向、流量、流速、阀门、水表、消火栓及管线带户情况等。

(2)现场勘查:核实被冲洗管线的管径、管材、走向及沿线水表、阀门、消火栓及其他附属设施的位置和状态;核实冲洗后废水排放口位置;了解管线周边道路地形地貌和交通情况。

(3)方案编制:根据资料和现场勘查情况,编制管道冰浆冲洗方案。

(4)清洗准备:做好停水通知的申报和发放工作,通知冲洗期间被停水的用户,并提醒其做好停水准备工作;根据被冲洗管道基本情况,制作足量冲洗管道所需的冰浆;对接属地道路交管部门,协调冲洗设施和冲洗工作对道路交通影响事宜;对所有参与本次管道冰浆冲洗作业人员进行冲洗方案技术交底。

(5)冰浆冲洗:为尽量减小冲洗停水对被冲洗管道周边用户的影响,冲洗时间为 0:00—3:00,室外气温为 6 ℃,水温为 17 ℃。冰浆冲洗时,闸门 1 和闸门 2 为控制闸,消火栓 1 为冰浆进口,消火栓 4 为冰浆出口。于 0:00 关闭闸门 1 和闸门 2 对管道进行停水,将多功能水质检测仪与冰浆出口消火栓 4 连接,开启消火栓 4 放水对管道泄压。开启冰浆进口消火栓 1,将 10 m³ 冰浆从进口消火栓 1 泵送入管道内,记录冰浆注入开始和结束时间。关闭冰浆进口消火栓 1,开启控制闸门 1,利用 DN600 管线供水压力推动冰浆前行,观察记录出口冰浆开始和结束时间、水温、浑浊度、电导率数据并采集水样。保持闸门 1 开启状态继续冲洗直至水质合格后,关闭冰浆出口消火栓 4,开启控制闸门 2,冲洗完成。

3 冲洗效果分析

3.1 冲洗过程中水质指标变化

管道冰浆冲洗过程中对管道内水质相关指标进行检测,监测的水质指标主要有电导率、浑浊度和温度,电导率和温度检测取样时间间隔均为 30 s,浑浊度检测取样时间间隔为 20 s。冰浆冲洗前检测管道内水的电导率、浑浊度和温度分别为 0.316 mS/cm、0.61 NTU 和 17.3 ℃,满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)。冲洗过程中出水口处冲洗废水电导率、浑浊度和温度三者随时间的变化如图 3 所示。

由图 3 可知,冰浆冲洗过程中 DN600 管线流量为 34.726 m³/h(最小时流量为 19.038 m³/h,最大时流量为 61.01 m³/h),与平时流量无明显变化。冰浆冲洗出水口处冲洗废水的电导率和浑浊度均在短时间内(耗时均为 6 min)陡然升高至最大值,电导率最大值为 70.37 mS/cm,浑浊度最大值为 1 334.22 NTU,然后急速(其中电导率耗时 7 min,浑浊度耗时 3 min)降低至一定数值,最后经过缓慢降低至水质合格范围。出口处冲洗废水温度从 17.3

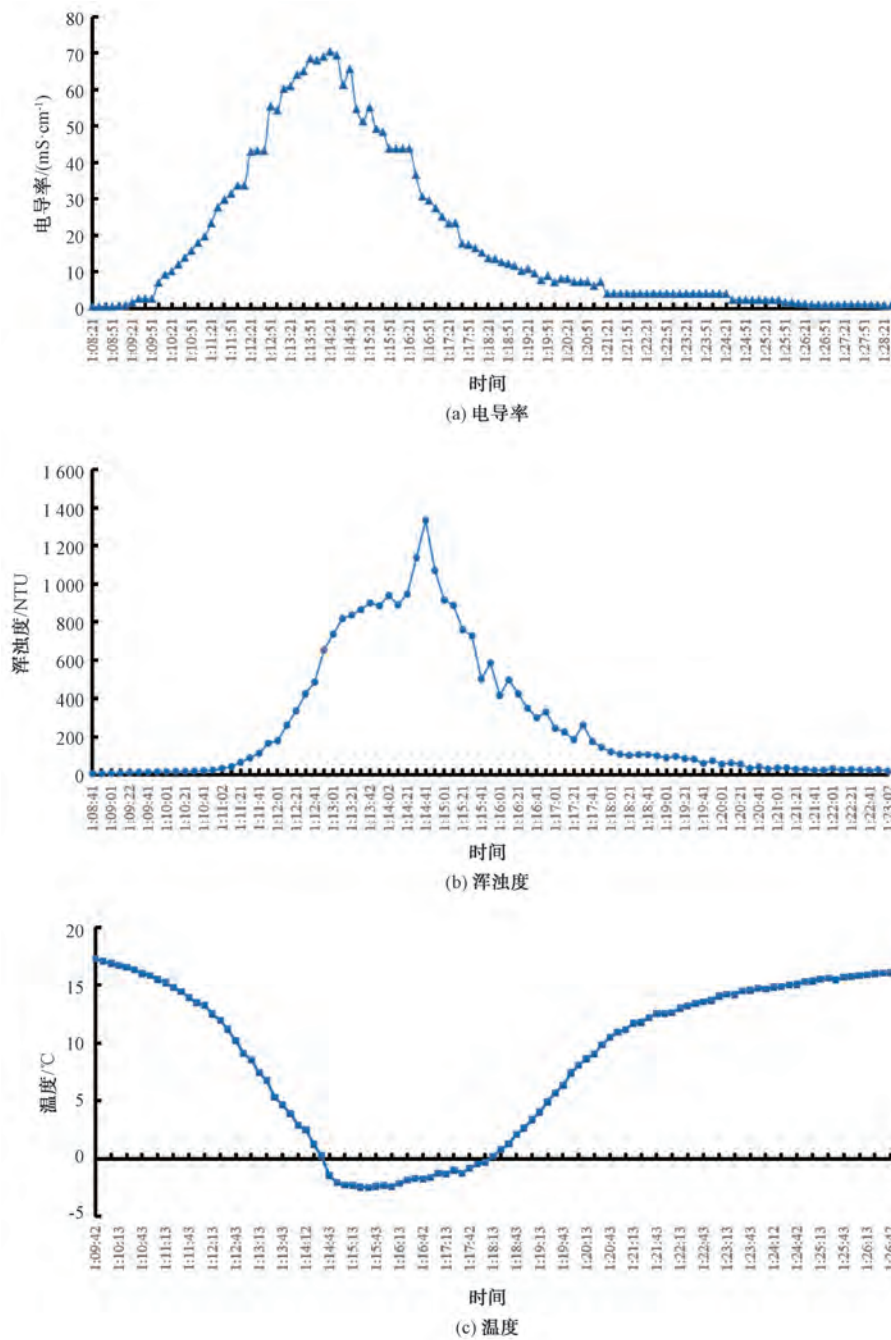


图3 水质指标变化

Fig. 3 Changes of Water Quality Index

℃降低至0℃以下耗时为5 min,随后4 min内废水温度始终维持在0℃以下,最后8 min废水温度由0℃逐渐恢复至17.1℃。

引起冲洗废水的电导率升高的主要原因为冰浆的主要成分是食品级氯化钠溶液,管道冰浆冲洗过程中,部分冰浆融化,氯化钠溶解在冲洗废水中导致

电导率升高;次要原因为管道内壁水垢、铁锈、沉积物、生长环等污垢在冰浆冲洗作用下剥离管道内壁,污垢中可溶性离子重新溶解于水中导致电导率升高。废水浑浊度升高主要是管道内壁水垢、铁锈、沉积物、生长环等污垢在冰浆冲洗作用下剥离管道内壁造成的。冲洗废水浑浊度最大值为1 334.22

NTU,表明冰浆冲洗下来的管道污垢量多。通过相关文献^[8]中的经验公式计算,本次冰浆冲洗出的沉积物质量为 19.7 kg,折算单位管长沉积物质量为 46.57 kg/km。这充分说明此段管道内壁污垢较多,同时本次冰浆冲洗效果良好,将管道内壁大量的污垢冲洗出管道。图 3 中废水到达最低温度的时刻滞后于最高电导率和浑浊度最高的时刻 1 min,其原因是水垢、铁锈、沉积物、生长环等污垢剥离管道内壁后,由“冰活塞”推动向前移动。污垢聚集在“冰活塞”的前方,温度低的“冰活塞”位于水垢、铁锈、沉积物、生长环等混合污垢水的后方,水垢、铁锈、沉积物、生长环等混合污垢水先于“冰活塞”到达出水口采样检测位置。

3.2 冲洗废水水样

冰浆冲洗过程中每隔 2 min 取废水水样一次,冲洗废水水样照片如图 4 所示。由图 4 可知,废水水样由澄清逐渐变浑浊后再逐渐变澄清,颜色由浅逐渐加深后再逐渐变浅。

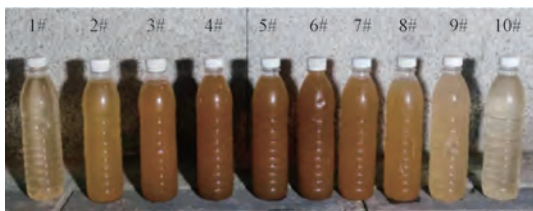


图 4 冰浆冲洗废水

Fig. 4 Ice Slurry Flashing Wastewater

管道内壁水垢、铁锈、沉积物、生长环等污垢形成的主要原因分为内因作用和外因作用。内因作用主要是该管道为普通铸铁管,内壁无内衬防腐措施,受 pH 和溶解氧的影响,在电化学腐蚀和微生物腐蚀作用下,管道内形成氢氧化铁,并附着在管道内表面。管网水中铁、锰、钙、镁等金属离子随着水流在管道中流动,当其达到一定浓度后,随着不同时期管道内水的 pH、温度、余氯等因素变化,铁、锰、钙、镁等金属离子沉积并附着于管道内壁。外因作用主要是由于上游管道建设、抢修施工作业等过程中,不可避免地出现泥沙、碎石、碎屑等,遗留在管道内并随管道内水体流动而沉积于下游管道底部。冰浆冲洗技术对内因作用和外因作用而形成的污垢均有一定的去除效果。

3.3 冲洗前后管网水质对比

冰浆冲洗前后在消火栓 4(图 1)取水检测管网

水质,管网水质指标情况如表 1 所示。

表 1 冲洗前后管网水质对比

Tab. 1 Comparison of Water Quality before and after Flushing

指标	冲洗前	冲洗后
pH 值	7.59	7.62
浑浊度/NTU	0.610	0.165
色度/度	<5	<5
余氯/(mg·L ⁻¹)	0.29	0.34
电导率/(mS·cm ⁻¹)	0.316	0.312
肉眼可见物	无	无
臭和味	无异嗅、异味	无异嗅、异味
菌落总数/(CFU·mL ⁻¹)	未检出	未检出
总大肠杆菌群/[MPN·(100 mL) ⁻¹]	未检出	未检出
大肠埃希氏菌/[MPN·(100 mL) ⁻¹]	未检出	未检出

由图 3、图 4 和表 1 可知,尽管在冰浆冲洗过程中,管道内水质浑浊度不满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求,电导率较高。但冰浆冲洗前和冲洗后,管网水质均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求。冲洗后管网内水的浑浊度由 0.862 NTU 降低至 0.165 NTU,降低了 80.86%。

4 结论

管道冰浆冲洗技术是一种全新的管道冲洗技术,在全国范围内应用较少,本次管道冰浆冲洗也是其在北京市自来水集团的首次应用。管道冰浆冲洗实施前,管网末端 2 户水表用户曾多次因水黄和水浑投诉水质问题,冰浆冲洗后至今已一年有余,未接到用户投诉水黄、水浑等水质问题。在此期间,管线未进行过调整,两用户日均用水量相较之前增加约 5%,用水规律与之前基本一致。冲洗后 3 个月和 6 个月两次通过管线上多个消火栓取水检测,浑浊度在 0.2~0.3 NTU 且未发现水黄现象,说明冲洗效果得到有效保持。

冲洗结果表明,该技术能够有效清除供水管道内的水垢、铁锈、沉积物、生长环等污染物,有效改善管道内部环境,提升管网水质。清洗后的管网水浑浊度降低了 80.86%,清洗能力强,冲洗效果显著。同时,冰浆冲洗技术具有环保、节水、无二次污染等优势,明显减少了冲洗所导致的用户停水时间。

参考文献

[1] 姚寰琰,张文皓,吴冰滢,等. 社区龙头水质抽样调查与供

- 水二次污染控制对策[J]. 宁波大学学报(理工版), 2020, 33(4): 116-120.
- YAO H Y, ZHANG W H, WU B Y, et al. Tap-water quality survey in communities and secondary pollution control of drinking water supplying system [J]. Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering Edition), 2020, 33(4): 116-120.
- [2] 冉毅军. 探讨城市供水管网系统水质二次污染的原因及防治对策[J]. 环境与发展, 2020, 32(6): 53-54.
- RAN Y J. Discussion on the causes and prevention measures of secondary pollution of water quality in urban water supply network system[J]. Environment and Development, 2020, 32(6): 53-54.
- [3] 纪雪梅, 马俊芳, 沈亚茹, 等. 西北地区农村供水管网二次污染气水脉冲处理技术应用研究[J]. 给水排水, 2021, 57(9): 109-114.
- JI X M, MA J F, SHEN Y R, et al. Application of gas-water pulse technology in secondary polluted water supply network in Northwest China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(9): 109-114.
- [4] 杨磊. 气水脉冲管道冲洗技术在给水管道冲洗中的应用[J]. 工程技术研究, 2022, 7(10): 29-33.
- YANG L. Application of air-water pulse pipeline flushing technology in water supply pipeline flushing [J]. Engineering Technology Research, 2022, 7(10): 29-33.
- [5] 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 B D, HE G. Application of pipeline cleaning technologies in operation and maintenance of water network[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(22): 43-45.
- [6] 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 H F. Study of efficiency in pipe-line cleaning with high pressure waterjets [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2008.
- [7] 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, 51(1): 94-96.
- CHU G T, ZHOU R. Application of gas-water pulse technology in flushing of trenchless water supply pipeline [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 51(1): 94-96.
- [8] 施凯, 陈志伟, 彭秀华, 等. 冰浆清洗技术对小口径球墨铸铁给水管道的清洗效果[J]. 中国给水排水, 2021, 37(3): 69-73.
- SHI K, CHEN Z W, PENG X H, et al. Cleaning effect of ice slurry cleaning technology on small diameter ductile iron water supply pipeline[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(3): 69-73.
- [9] SHIRE S, QUARINI J, AYALA R S. Ultrasonic detection of slurry ice flows[J]. Journal of Process Mechanical Engineering, 2005, 219(3): 217-225.
- [10] 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.
- [11] EVANS T S, QUARING 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.
- [12] 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.
- [13] 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(北京), 2018.
- RUI W J. Experimental study on pigging effect of ice slurry[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2018.