

城镇水系统研究与应用

符威, 玉旭日, 龙志宏, 等. 南方某城市地下综合管廊应急排水设计思考[J]. 净水技术, 2024, 43(4):140–144, 189.

FU W, YU X R, LONG Z H, et al. Consideration on design of underground utility tunnel for emergency drainage in a southern city[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4):140–144, 189.

南方某城市地下综合管廊应急排水设计思考

符威¹, 玉旭日¹, 龙志宏², 柳君侠^{1,2,*}, 王琦¹

(1. 广东工业大学土木与交通工程学院, 广东广州 510006; 2. 广州市自来水有限公司, 广东广州 510600)

摘要 城市综合管廊已成为城市基础设施建设重要的一部分, 然而对其应急排水设计目前仍缺乏充分思考。研究以南方某城市地下深埋综合管廊为例, 综合考虑管廊开口处进水、管廊结构缝处渗漏水、管廊接出口渗漏水、管廊内冲洗排水、检修放空排水、供水管道渗漏水 and 供水管道爆管排水 7 种排水; 针对不同规模的供水爆管漏失面积, 提出相应的应急排水措施, 包括提高日常排水泵流量, 设置应急排水泵, 调动移动抽水车; 最后, 研究建立管廊内给水管爆漏应急预案, 提出爆管突发事件的监测要求和应急处置流程, 以期最大限度地减少突发性爆管造成的影响。研究成果对综合管廊供水管道安全运行及应急排水设计具有重要的指导意义。

关键词 地下综合管廊 排水量计算 爆管事故 应急排水措施 应急预警预案

中图分类号: TU992 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)04-0140-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.04.017

Consideration on Design of Underground Utility Tunnel for Emergency Drainage in a Southern City

FU Wei¹, YU Xuri¹, LONG Zhihong², LIU Junxia^{1,2,*}, WANG Qi¹

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Water Supply Co., Ltd., Guangzhou 510600, China)

Abstract Urban utility tunnel has become an important part of urban infrastructure construction, but the design of emergency drainage is still lacking of sufficient consideration. In this study, a deep-buried underground utility tunnel in a southern city was taken as an example, and seven kinds of drainage were comprehensively considered, including water inlet at the opening of the utility tunnel, water leakage at the structural joint of the utility tunnel, water leakage at the outlet of the utility tunnel, washing drainage in the utility tunnel, maintenance and emptying drainage, water leakage in the water supply pipeline and water supply pipeline burst drainage. According to the leakage area of water supply burst pipe of different scale, the corresponding emergency drainage measures were put forward, including increasing the daily discharge of drainage pump, setting up emergency drainage pump and mobilizing mobile pumping truck. Finally, the emergency plan of water supply pipe leakage in the utility tunnel was studied and established, and the monitoring requirements and emergency disposal process of pipe explosion emergencies were put forward, in order to minimize the impact caused by sudden pipe explosion. The research results have important guiding significance for the safe operation and emergency drainage design of the water supply pipeline in the utility tunnel.

Keywords underground utility tunnel drainage calculation pipeline burst accident emergency drainage measure emergency early warning plan

[收稿日期] 2023-03-03

[基金项目] 国家自然科学基金项目(51708130); 广州市自来水有限公司校企合作项目

[作者简介] 符威(2001—), 男, 硕士, 研究方向为膜法水处理技术, E-mail: fuwei1364038513@163.com。

[通信作者] 柳君侠, 副教授, E-mail: whjunxia@163.com。

市政给水管道是城市基础设施的重要组成部分,而在日常生活中,给水管道的爆管事故普遍存在,具有突发性强、危害大、影响面广的特点。2022年广州南洲水厂给水主管发生爆漏,海珠区、越秀区部分区域、天河区珠江新城、员村一带等供水压力将有明显波动,出现停水现象。爆管不仅造成公共财产的重大损失,也为民众的生活带来诸多不便。给水管道的刚性入廊管线之一,在地下综合管廊中,由于多种管线并存,爆管事故造成的影响和带来的损失更大。因此,爆管应急排水设施在管廊建设过程中应予以重点考虑。然而,目前国内各综合管廊的排水系统在设计时仅只考虑了管廊及给水管渗水的情况,预留的排水泵站规模较小,并未考虑爆管时应急排水需求。此外,现行《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)^[1]仅对管廊日常排水设施作相关说明(比如设置排水明沟、集水坑等),而并未对应急排水作较为明确的指导说明。因此,探究爆管应急排水技术是管廊给水管道安全运行亟待解决的关键问题。

本研究以南方某城市地下深埋综合管廊为例,综合考虑管廊开口处进水、管廊结构缝处渗漏水、管

廊接出口渗漏水、管廊内冲洗排水、检修放空排水、供水管道渗漏水 and 事故爆管排水 7 种情况下的排水,针对不同规模的爆管漏失面积,提出了相应的应急排水设施,其中包括排水泵的设置及型号选择。此外,本文研究建立了管廊内给水管爆漏应急预案,提出了爆管突发事件的监测要求和应急处置流程,以期最大限度地减少突发性爆管造成的影响。研究成果对综合管廊供水管道安全运行及应急排水设计具有重要的指导意义。

1 管廊基本情况

如图 1(a)所示,南方某市管廊位于中心城区,属于环形综合管廊,总长度为 45.7 km,全部采用地下敷设方式,共设 46 座出地面井。根据目前设计方案,管廊内径为 5.4 m,外径为 6 m,采用上下分舱,上部电力舱,下部给水通信舱,规划预留一条 DN1600 给水管管位,具体布局可参考图 1(b)。规划给水管道的功能定位为加强该市各大自来水管厂的互联互通,形成中心城区的应急供水高速通道,有效保障中心城区的供水生命线安全,增强城市的防灾抗灾能力。

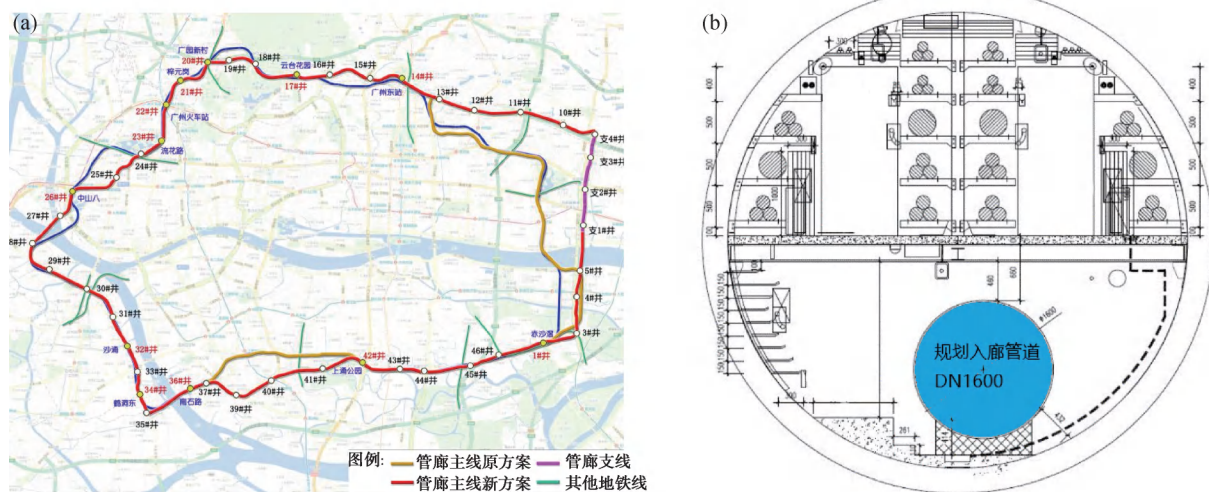


图 1 (a)管廊工程线路及(b)管廊断面

Fig. 1 (a)Utility Tunnel Project and (b)Utility Tunnel Section

管廊埋深较大,井底平均埋深为 24.3 m,最大埋深为 47 m,规划给水管运行压力较高(0.5 ~ 0.8 MPa),在管道最低点容易出现爆管。一旦出现爆管,将对管廊结构本体以及管廊内其他管线造成极为严重的破坏。由于管廊的排水系统在设计时仅

考虑日常排水,不能满足给水管爆漏快速排水需求。因此,针对本项目开展应急排水研究是当务之急,研究成果亦可为同类管廊给水管道运行时的安全性提供借鉴意义。

2 管廊内排水量计算方法

管廊在 7 种情况下的排水量计算如下。

(1) 管廊开口处进水

综合管廊开口处进水包括吊装口、通风口、出入口等^[2]。本项目中,出入口和吊装口平时会遮盖,因此,只需对通风口的进水进行计算。

某市暴雨强度计算如式(1)。

$$q = \frac{2\,424.17(1 + 0.533\lg P)}{(t + 11)^{0.668}} \quad (1)$$

其中: q ——暴雨强度, $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{hm}^2)$;

P ——设计重现期,年;

t ——降雨历时,min。

依据《电力电缆隧道设计规程》(DL/T 5484—2013)^[3]第 10.0.3 条,重现期 $P=50$ 。本项目中 t 取 60 min,则计算得暴雨强度为 $267.88 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{hm}^2)$ 。

根据暴雨强度和通风口面积即可计算出管廊开口处进水量。

(2) 管廊结构缝处渗漏水

根据《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)^[1]及《地下工程防水技术规范》(GB 50108—2008)^[4]相关要求,管廊的渗漏量如式(2)。

$$Q_{\text{漏}} = A \times q_{\text{漏}} \quad (2)$$

其中: $Q_{\text{漏}}$ ——渗漏水, m^3/s ;

A ——管廊计算区间面积, m^2 ;

$q_{\text{漏}}$ ——平均渗水量, $\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,取 $0.05 \text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

根据相关资料,管廊面积总和为 $1\,049\,854.47 \text{ m}^2$,计算可得渗漏水量为 $52\,492.73 \text{ L}/\text{d}$ 。

(3) 管廊接出口渗漏水

综合管廊各管线接出口通常设有防水套管,渗水量较少,可忽略不计。

(4) 管廊内冲洗排水

参照道路浇洒水量标准($2.0 \sim 3.0 \text{ L}/\text{m}^2$)对管廊进行冲洗,单次冲洗水量计算如式(3)。

$$Q_{\text{冲1}} = \frac{A \times q_{\text{冲}}}{3\,600} \quad (3)$$

其中: $Q_{\text{冲1}}$ ——管廊单次冲洗水量, m^3/s ;

$q_{\text{冲}}$ ——单次冲洗水量,取 $2.0 \text{ L}/\text{m}^2$ 。

管廊面积总和为 $1\,049\,854.47 \text{ m}^2$,单次冲洗水量为 $583.25 \text{ L}/\text{s}$ 。

(5) 管道检修放空排水

给水管道运行前、长期停水恢复供水前需要冲洗消毒,根据文献^[5]相关计算方法,管道冲洗水量如式(4)。

$$Q_{\text{冲2}} = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times v \times T \quad (4)$$

其中: $Q_{\text{冲2}}$ ——管道冲洗水量, m^3/s ;

D ——管道直径,m;

v ——管道冲洗平均流速, m/s ,取 $1.0 \text{ m}/\text{s}$;

T ——管道冲洗时间,s。

(6) 供水管道渗漏水

一般管道接口不允许出现渗漏水,且在管廊全线都会设置有监控,当看到供水管道有渗漏情况时可及时关闭管段两端的隔断阀对管道进行检修,因此,管道接口渗漏水在排水量计算时可以忽略不计。

(7) 供水管道事故爆管排水

供水管道爆管的水量大小与渗漏面积有关,而现有典型的爆管渗漏量计算公式如表 1 所示。

表 1 管道爆管渗漏量计算公式
Tab. 1 Calculation Formula of Pipeline Burst Leakage

渗漏公式参考文献	计算水量公式	备注
[6]	$Q_L = 0.421A_L \cdot \sqrt{H_L}$ (5)	Q_L ——爆管渗漏量, m^3/s ;
[7]	$Q_L = 0.64A_L \cdot \sqrt{2gH_L}$ (6)	A_L ——爆点漏失面积, m^2 ;
[8]	$Q_L = A_L \cdot \sqrt{2gH_L}$ (7)	H_L ——漏水口的压力,m;
[7]	$Q_L = 0.6A_L \cdot \sqrt{2gH_L}$ (裂缝) (8)	g ——重力加速度, m/s^2
	$Q_L = 0.8A_L \cdot \sqrt{2gH_L}$ (圆孔) (9)	
[9]	$Q_L = 0.4A_L \cdot \sqrt{2gH_L}$ (10)	
[10]	$Q_L = 4.33A_L \cdot \sqrt{H_L}$ (11)	
[9]	$Q_L = 1.84A_L \cdot \sqrt{H_L}$ (12)	

根据以上分析可知,管廊的日常排水对象主要为管廊开口处进水、管廊结构缝渗漏水、管廊内冲洗排水 3 种;管廊接出口渗漏水、管道渗漏水可以忽略不计;管道检修放空排水可通过充分利用管道的日常排水功能,通过调节阀门排放无需额外考虑;而管道事故排水属于应急排水,根据爆管面积的改变,使排水量发生变化,应予以重点考虑。

3 管廊应急排水措施

针对管廊给水管道的爆管排水,考虑以下 3 种应急方案。

(1)在日常排水设施选泵时适当放大流量,使之具有一定的爆管排水能力。以本项目管廊为例,在管廊工作井废水坑和区间最低点废水坑各设置两台排水泵,日常工作 1 用 1 备,依次轮换工作,发生爆管时两台泵同时使用,可应对较小面积渗漏时应急排水(爆管渗漏面与管道横截面之比为 1:1 000~1:100)。比如管廊日常排水系统的工作井最大流量不超过 80 m³/h;若水泵设计流量适

当放大到 100 m³/h,日常工作 1 用 1 备;而发生爆管时,两台泵同时工作可满足 DN1600 管段渗漏面之比(1:500)的应急排水量,也可以满足 DN1200 管段渗漏面之比(1:300)的应急排水量。具体实施来说,集水坑中设 4 个水位,如图 2 所示:①低水位报警,同时控制回路应保证水泵均处于停泵状态;②当水位达到停泵水位时,两台泵均停止工作;③当水位上升达一泵开泵水位时,第一台泵开启;④当水位上升达二泵开泵水位时,控制回路应保证两台泵都处于运行状态,同时发出超高水位报警信号。由图 2 可知,管廊中的污水经集水槽汇入集水井后,由区间排水泵和工作井废水泵抽排至市政污水管,该段排水管道管径的选择同样重要。金属管内的最大流速不宜大于 10 m/s,选择管径较小的管道,在大流量时,管道可能由于流速过大发生爆管;而选择管径较大的管道,成本相应会增加。在本项目中,排水管道已铺设 DN200 金属管道,可供日常排水及爆管排水直接使用。

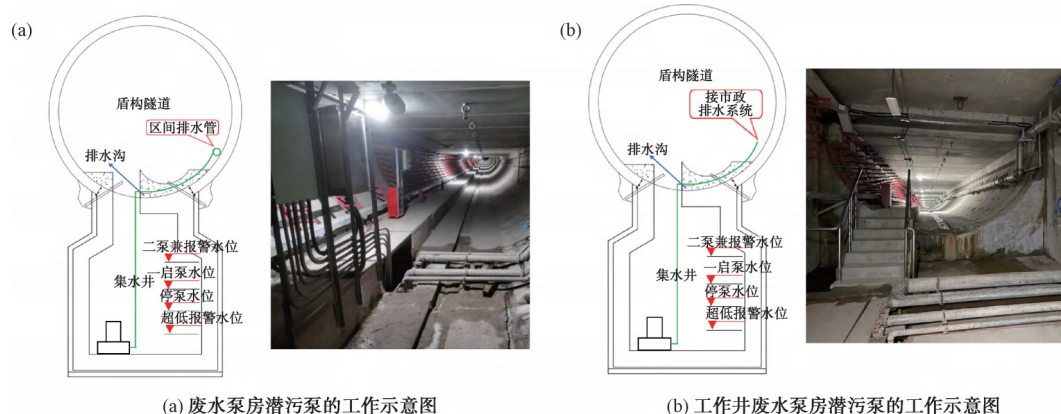


图 2 排水泵的启停示意图

Fig. 2 Start and Stop for Discharge Pumps

(2)在爆管面积增大的情况下(爆管渗漏面与管道横截面之比为 1:100~1:10),仅仅依靠日常排水泵无法及时排出爆管水量。在这种情况下,可考虑在工作井配备一台大流量的应急排水泵,在发生中等程度爆管时能够及时地将水排水,避免管廊中的通信电缆等电缆较长时间浸泡在水中,影响使用或产生安全性问题。本项目工作井空间较为宽敞,在易爆点两侧工作井各配备一台大流量高扬程的应急排水泵,可满足一定程度的应急排水需求。比如在易爆管段两端工作井各配备一台设计流量为 1 000 m³/h 的应急水泵,可满足 DN1600 管段渗漏

比约为 1:50 的应急排水量,也可以满足 DN1200 管段渗漏比约为 1:30 的应急排水量。在具体排水过程中,可利用管廊中现有的排水管道,在工作井处的排水管上设置一个三通接口,以便在爆管时,能把应急排水泵的出水口与排水管连接。此外,在配备应急水泵的同时,每台水泵配备长度为 1 000 m 左右的吸水软管(DN400),以供爆管时应急排水水泵吸水用。

(3)在爆管面积较大的情况下(爆管渗漏面与管道横截面之比大于 1:10),除了应急排水泵,需要额外考虑其他的辅助排水措施。简单可行的做法

是,在接到爆管预警信息后,快速调度移动排水车到达事故处地面进行协助排水作业,快速抽出积水。比如移动排水车采用两台设计流量为 $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的排水泵,可满足 DN1600 管段渗漏比约为 1:5 的应急排水量,也可以满足 DN1200 管段渗漏比约为 1:3 的应急排水量。

4 爆管预警系统

给水管道安全预警技术必不可少。针对本项目给水管道系统,可考虑以下设备监控。

在供水管道的关键位置间距 $0.8\sim 1.0\text{ km}$ 处安装高频压力计和水窃听计,高频压力计和水窃听计安装在阀门井中,高频压力计监测和识别水锤(压力瞬变)信号,主要包括阀门的开启、水泵的停启以及大用户用水引起的流量波动造成的水压波动情况。借助高频压力计、水窃听计采集管网中的压力、声音和流量数据,通过信号分析算法及机器学习算法识别管线中的压力瞬变、异常噪声及流量变化,监测管线中的现存漏点和新增漏点,快速定位爆管区域。此外,高频压力计和水窃听计数据,能够初步判断排气阀是否正常工作,或者确定排气阀是否因密封失效导致漏水。一旦发生异常,即历史未发生过的压力变化,系统将自动报警,提示用户关注异常事件,提高管理水平,实现精细化管理。工作流程如图 3 所示。

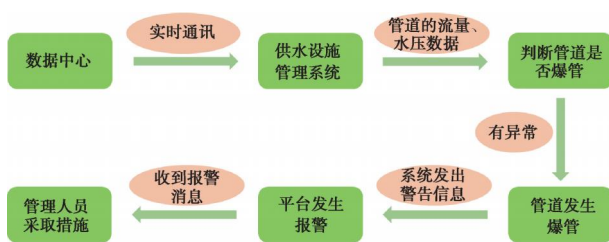


图 3 爆管预警系统流程

Fig. 3 Flow of Pipeline Burst Warning System

本供水管道在正常情况下水龄较长,因此,需要在局部节点安装水质检测仪 EXO(电极插入式安装),为了对原水管线和配水管网进行高精度的双向流量测量,安装成本低但利用效率高的流量计。水质检测仪 EXO 能够提供水质异常报警,组合各种水质检测及运行指标(如浑浊度、氧化还原电位、pH、电导率、温度等),并在空间上关联到地理区域内发生的水质事故。管线上的流量计接入相关检测平台,能够实现长距离管线的流量监控功能。

本综合管廊的工作井平均间距为 1 km 左右,因此,在工作井处设置隔断阀可以满足管道系统隔离检修的需求,且方便阀门的检修与维护。此外,在给水管道的最低处设置排泥阀,在最高处设置排气阀,以保证管道的安全运行。爆管检测系统的数据分析中心根据给水管道系统中安装的高频压力计、水窃听计、流量计等检测设施反馈的数据判断管道是否产生异常。若数据异常则根据算法定位爆管区域,并发出警报并传达给管理人员,管理人员得到消息后及时响应,关闭爆管点两侧工作井处的隔断阀。当高频压力计和流量计的变化较小,则其爆管水量较小,爆管水量由排水渠流入集水坑中,日常排水泵根据集水坑中的水位情况而启动,其具体工作情况如图 2 所示。当高频压力计和流量计的变化较大,管理人员发现两台日常排水泵已同时工作但通过管廊中的监控视频发现有积水时,通知并安排工作人员进入工作井中启动应急排水泵;当高频压力计和流量计的变化很大,工作人员已进入工作井启动应急排水泵,但管廊中仍有大量积水时,管理人员则需要快速调度移动排水车到达事故处地面进行排水作业,快速抽出积水。在控制好爆管点且排掉爆管水量后,及时抢修爆管管段,减少爆管对附近用水的影响。

5 结论

综合管廊给水管道爆管具有突发性强、危害大、影响面广的特点,但目前管廊设计上仍缺乏充分考虑。本研究以南方某城市地下深埋综合管廊为例,提出事故爆管时应急排水预案。研究成果对综合管廊供水管道安全运行及应急排水设计具有重要的借鉴意义。

(1) 针对管廊日常排水,在区间和工作井废水集水坑设两台潜污泵,1 用 1 备。

(2) 发生爆管时,当爆管面积较小(爆管渗漏面积与管径横截面比为 $1:1\,000\sim 1:100$),两台水泵同时开启可满足爆管排水的需求。

(3) 当爆管面积增大时(比如渗漏面与管径横截面比为 $1:100\sim 1:10$),在易爆管两侧的工作井额外配备一台大流量的应急排水泵,可满足爆管时排水需求。

(4) 当爆管面积较大时(渗漏面与管径横截面比大于 $1:10$),应在启动应急排水泵工作的同时,

(下转第 189 页)

- Water Research, 2022, 209: 117869. DOI: 10.1016/j.watres.2011.117869.
- [14] NGUYEN H T T, LE V Q, HANSEN A A, et al. Highdiversity and abundance of putative polyphosphate-accumulating Tetrasphaera-related bacteria in activatedsludge systems [J]. FEMs Microbiology Ecology, 2011, 76(2): 256–267.
- [15] LI J, CHEN T, YIN J, et al. Effect of nano-magnetite on the propionic acid degradation in anaerobic digestion system with acclimated sludge [J]. Bioresource Technology, 2021, 334: 125143. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125143.
- [16] CHEN W, WESTERHOFF P, LEENHEER J A, et al. Fluorescence excitation–Emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter[J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37(24): 5701–5710.
- [17] ANDERSON C R, CONDRON L M, CLOUGH T J, et al. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus [J]. Pedobiologia, 2011, 54(5/6): 309–320. DOI: 10.1016/j.pedobi.2011.07.005.
- [18] ZHANG M, WANG, C, PENG Y Z, et al. Organic substrate transformation and sludge characteristics in the integrated anaerobic anoxic oxic-biological contact oxidation (A^2/O -BCO) system treating wastewater with low carbon/nitrogen ratio [J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 283: 47–57. DOI: 10.1016/j.cej.2015.04.111.
- [19] MCILROY S J, ALBERTSEN M, ANDRESEN E K, et al. ‘*Candidatus* Competibacter’-lineage genomes retrieved from metagenomes reveal functional metabolic diversity[J]. The ISME Journal, 2014, 8(3): 613–624.

(上接第 144 页)

快速调度移动排水车到达事故处地面进行排水作业,快速抽出积水。

(5)给水管道路应安装智能报警系统,在供水管道的关键位置间距 0.8~1.0 km 处安装高频压力计和水窃听计,通过实时检测在爆管时能够快速定位爆管区域,以期最大限度地减少突发性爆管造成的影响。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市综合管廊工程技术规范: GB 50838—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for urban utility tunnel engineering: GB 50838—2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [2] 刘阳, 兰惠清, 张峥茂, 等. 综合管廊排水系统潜水泵的临界淹没深度[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(5): 2026–2033. LIU Y, LAN H Q, ZHANG Z M, et al. Critical submerged depth of sump pump for drainage system in utility tunnel[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(5): 2026–2033.
- [3] 国家能源局. 电力电缆隧道设计规程: DL/T 5484—2013 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2013. National Energy Administration. Code for design of power cables tunnel: DL/T 5484—2013[S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地下工程防水技术规范: GB 50108—2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for waterproof of underground works: GB 50108—2008 [S]. Beijing: China Planning Press, 2008.
- [5] 严熙世, 高乃云. 给水工程[M]. 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021. YAN X S, GAO N Y. Water supply engineering [M]. 5th ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2021.
- [6] 贺山川, 谢孝奎, 郑山锁, 等. 供水管网震后功能快速修复决策研究[J]. 世界地震工程, 2019, 35(4): 1–10. HE J C, XIE X K, ZHENG S S, et al. Research on the decision-making of post-earthquake rapid function restoration on water supply network[J]. World Earthquake Engineering, 2019, 35(4): 1–10.
- [7] 缪惠全, 韦杰, 钟紫蓝, 等. 生命线工程的可靠性研究进展分析(1)—国内供水管网的抗震可靠性研究[J]. 北京工业大学学报, 2022, 48(11): 1189–1207. MIAO H Q, WEI J, ZHONG Z L, et al. Research progress on reliability of lifeline engineering (I)—Domestic research on seismic reliability of water supply networks [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2022, 48(11): 1189–1207.
- [8] LIU Y B, KHADIMALLAH M A, BEHSHAD A. Seismic response of pipes under the effect of fluid based on exact solution [J]. Earthquakes and Structures, 2022, 22(4): 431–437.
- [9] 彭森, 程蕊, 吴卿, 等. 基于极限学习机算法的供水管网爆管识别研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(7): 56–62. PENG S, CHENG R, WU Q, et al. Identification of water supply network pipe burst based on extreme learning machine algorithm [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(7): 56–62.
- [10] 李鸿, 张欢, 王雅然, 等. 集中供热管网泄漏的分类识别[J]. 暖通空调, 2022, 52(11): 175–184. LI H, ZHANG H, WANG Y R, et al. Classification and identification of leakage in central heating networks [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2022, 52(11): 175–184.