

地铁区间消火栓系统爆管点定位系统研究

吴正中¹ 余文举¹ 刘俊萍² 李柯¹ 刘宗洲¹ 常军霞¹
刘超¹ 童俊杰¹ 俞科成¹

(1. 中铁二院华东勘察设计有限责任公司, 310009, 杭州; 2. 浙江工业大学土木工程学院, 310014, 杭州)

摘要 [目的] 地铁区间消火栓系统出现爆管等漏水事故时, 列车控制室直接远程关闭消火栓系统进区间主管上的电动阀门, 导致整个区间消火栓系统处于无水状态, 给运营带来较大安全隐患, 故有必要对地铁区间消火栓系统爆管点定位系统进行研究。[方法] 提出了在区间消防立管上增加电磁流量计和电接点压力表, 以实现爆管点的精确定位的方案。同时, 通过 BAS(环境与设备监控系统) 联动控制, 以最快速度远程关闭爆管点前后的电动阀门, 从而将对区间消防系统的影响降至最低。阐述了地铁区间爆管点定位系统的总体架构, 包括感知层、网络层和应用层三部分。[结果及结论] 建立爆管点快速定位系统, 远程关闭爆管位置前后阀门, 最大程度地减少无消火栓系统保护地段及地铁停运时间, 实现地铁区间在爆管等事故发生后的正常运营。

关键词 地铁; 消火栓系统; 爆管点; 定位; 地铁区间

中图分类号 U231.96

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.025

Positioning System for Burst Pipe Points in Metro Interval Fire Hydrant Systems

WU Zhengzhong¹, YU Wenju¹, LIU Junping², LI Ke¹, LIU Zongzhou¹, CHANG Junxia¹, LIU Chao¹, TONG Junjie¹, YU Kecheng¹

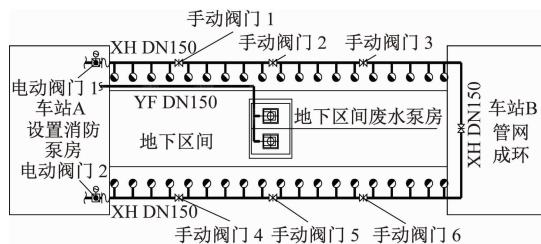
(1. CREEC East China Survey and Design Co., Ltd., 310009, Hangzhou, China; 2. Zhejiang University of Technology College of Civil Engineering, 310014, Hangzhou, China)

Abstract [Objective] When water leakage accidents like pipe bursts occur in the fire hydrant system of metro intervals, the train control room will directly close the electric valves on the main pipeline remotely, cutting off water supply to the entire interval fire hydrant system. This results in significant safety risks for operations. Therefore, it is necessary to study a positioning system for burst pipe points in metro interval fire hydrant systems. [Method] A solution is proposed to install electromagnetic flowmeters and electric contact pressure gauges on interval fire protection risers to enable precise positioning of burst pipe points. Additionally, through linkage with the BAS

(building automation system) for environmental and equipment monitoring, electric valves before and after the pipe burst point can be closed remotely and swiftly, minimizing the impact on the interval fire protection system. The overall architecture of the positioning system for burst pipe points in metro intervals is outlined, comprising three layers: perception layer, network layer, and application layer. [Result & Conclusion] A rapid positioning system for burst pipe points is established, enabling the remote closure of valves before and after the burst point location. This approach could minimize unprotected sections of the fire hydrant system and the metro service downtime, ensuring the metro interval resumes normal operations promptly following accidents such as pipe burst.

Key words metro; fire hydrant system; burst pipe point; positioning; metro interval

根据 GB 50974—2014《消防给水及消火栓系统技术规范》中“11.0.5 条款, 消防水泵应能手动启停与自动启动”的规定^[1], 为满足消火栓系统自动启泵的需求, 采用车站仅与相邻前后区间共享一套独立消火栓系统的模式逐渐成为主流趋势。如在车站 A 设置的消防泵房, 仅负责车站 A 及其至车站 B 区间内的消火栓系统供水; 消火栓管网在相邻车站 B 的端部形成环路, 并不与车站 B 的消火栓系统直接连通(见图 1)。在新的“一站一区间”模式下, 若区间消火栓发生爆管或漏水, 运营人员会立即关闭区间消防供水主管上的电动阀门 1 和电动阀门 2, 待地铁晚间停运后进行检修。然而, 此举会导致整个区间消火栓系统在阀门关闭后管网无水, 给运营带来重大安全隐患。若选择在运营期间进行人工检修, 则会导致地铁停运, 影响城市居民的日常出行。此外, 多地消防部门要求, 消防系统临时关闭时需向消防部门报备。因此, 在地铁正常运营期间关闭整个区间消火栓系统显然不合理。若能迅速定位区间爆管点并临时关闭其前后最近的阀门, 则可避免上述问题。



注: XH DN150—管径为 DN150 的消防管道; YH DN150—管径为 DN150 的管道配件。

图1 车站和相邻区间消火栓系统图

Fig. 1 Fire hydrant system diagram of the station and adjacent metro interval

1 区间消火栓系统爆管的影响

1.1 爆管原因分析

当地下车站消火栓系统满足两路水源条件时,消防泵可直接从市政供水管网取水,而不设置消防水池。因此,市政管网压力的波动对消火栓系统产生较大影响。依据 GB 50974—2014 中“11.0.4 条款,消防水泵应由消防水泵出水干管上设置的压力开关、高位消防水箱出水管上的流量开关,或报警阀压力开关等开关信号应能直接自动启动消防水泵”^[1],为满足消防泵自动启泵的要求,选择了“一站一区间”消火栓系统模式,并设置了稳压泵组进行稳压。平时,整个消火栓系统管网的工作压力较大,且消火栓系统的最不利点通常位于车站站厅层远离消防泵房的出入口位置,因此区间消火栓系统的压力负荷更大。目前,许多城市市政供水部门提供的市政给水接驳点压力为规范要求的最小值 0.14 MPa,但位于城市中心的地铁站周边市政水压通常能达到 0.3~0.4 MPa。在用水低谷时段,接驳点市政压力突然增大,会进一步增加整个系统的压力负荷,从而显著增加漏水甚至爆管的风险。经与多地运营部门沟通了解,区间波纹补偿器、金属软管等管道附件接口位置因施工质量、使用年限等因素,都存在不同程度的漏水、爆管等问题。

1.2 爆管危害

区间消防管道的标高通常在轨面上 0.55 m 处,消火栓栓头距离道床高度为 1.1 m。盾构内径一般在 5.5~5.9 m 范围内。当消防管道发生爆管时,会形成连续喷射。考虑到消防水枪充实水柱可达 10 m,消防水能够喷射到盾构横断面范围内的任意位置,直接影响到区间接触网、照明、信号、疏散等专业设备(见图 2),从而造成次生危害。同时,爆管也会影响地铁的正常运行。爆管后若直接关闭区间

消火栓给水系统,将给列车运营及乘客安全带来重大安全隐患。

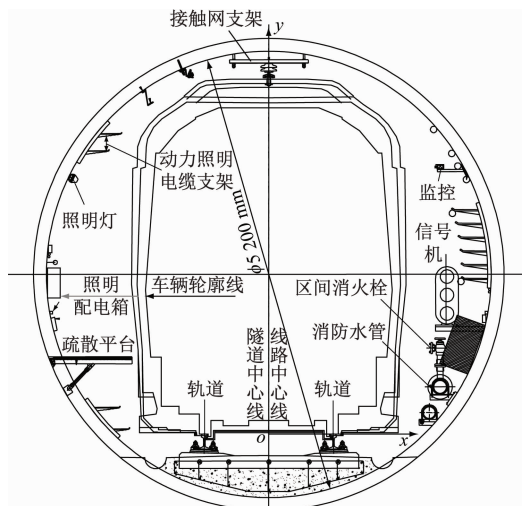


图2 消防水管与区间其他设备关系图

Fig. 2 Relationship diagram between the fire pipelines and other equipment in the interval

2 爆管点准确定位模型建立

根据 GB 51298—2018《地铁设计防火标准》中“7.3.6 条款,室内消防给水管道的布置应确保检修管道时关闭停用消火栓的数量不大于 5 个”的规定^[2],当区间阀门全部采用电动阀门时,通过精确定位爆管点及其前后阀门的位置,并远程关闭前后检修阀门,可以最大程度地减少对运营的影响,同时满足规范及消防管理的要求。

2.1 模型建立

在区间消防供水车站进入区间上、下行线消防立管的电动阀门后增设电磁流量计,分别记录爆管发生时经过上、下行线的流量 q_1 、 q_2 。在电磁流量计后的同一高度增设电接点压力表,分别记录爆管发生时上、下行同一高度点的节点管中心水压 p_1 、 p_2 (见图 3)。

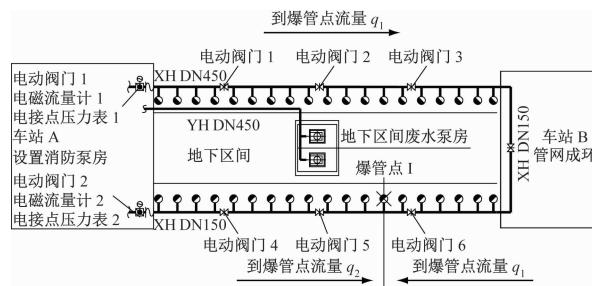


图3 爆管点定位系统区间消火栓系统图

Fig. 3 Fire hydrant system diagram of burst pipe point positioning system in interval

基于能量守恒定律,可以得出以下关系式:

节点 1 的水压标高减去从节点 1 到爆管点 I 的总水头损失等于爆管点 I 的水压标高;同样,节点 2 的水压标高减去从节点 2 到爆管点 I 的总水头损失也等于爆管点 I 的水压标高。因此,可以推导出:节点 1 的水压标高减去从节点 1 到爆管点 I 的总水头损失等于节点 2 的水压标高减去从节点 2 到爆管点 I 的总水头损失。

将水压标高分解为位置水头、压力水头和速度水头,可得到:节点 1 的位置水头加上压力水头 1 (p_1)加上速度水头 1,再减去从节点 1 到爆管点 I 的总水头损失,等于节点 2 的位置水头加上压力水头 2 (p_2)加上速度水头 2,再减去从节点 2 到爆管点 I 的总水头损失。由于节点 1 和节点 2 均位于车站站厅层的同一标高,因此它们的位置水头相等。而速度水头则可以通过电磁流量计 1 和电磁流量计 2 测量得到。

进一步整理上述关系式,可以得到总水头损失之差(从节点 1 和节点 2 到爆管点 I)等于压力水头之差加上速度水头之差,即 Δh 。 Δh 是一个可以通过读取电接点压力表和电磁流量计远传数据并进行逻辑计算得到的已知常数。

利用海曾-威廉公式,可以知道水头损失值 h 与管材、流量和管长等变量有关。在本文中,根据进入区间的电动阀门位置节点到爆管点的管长来精确定位爆管点的位置。

$$h = \alpha l Q^n \quad (1)$$

式中:

α ——比阻,根据系统特性取值 15.487;

l ——管段长度;

Q ——管段流量;

n ——管道水头损失计算流量指数。

所以,节点 1、节点 2 到爆管点 I 水头损失差为一常数的计算模型可以转换为:

$$\alpha l_1 q_1^n - \alpha l_2 q_2^n = \Delta h \quad (2)$$

$$l_1 + l_2 = \Delta l \quad (3)$$

式中:

l_1 ——下行线节点 1 至爆管点 I 的长度;

l_2 ——上行线节点 2 至爆管点 I 的长度;

Δl ——区间消防管总长度;

n ——取值与管材、安装及连接方式有关,本系统根据实际测量数值来确定系统 n 的取值。

综上, α 、 q_1 、 q_2 、 Δh 、 Δl 均为已知常数, n 为一个

可测常数,结合式(3)可分别计算得出 l_1 、 l_2 ,即准确定位出爆管点或者漏损点位置及区间里程,进一步可得知爆管点前后阀门位置及里程。

2.2 系统 n 值确定

在区间消火栓系统工程安装调试圆满结束后,式(1)中的 n 值基本得以确定。这一确定过程主要依赖于现场放水试验,通过该试验来精确测量并计算出该区间消火栓管道工程的 n 值。

具体操作步骤如下:

1) 打开电动阀门 1,同时关闭电动阀门 2。接着,开启消火栓 a 进行放水试验。在此过程中,详细记录远传压力表 1 的读数为 P_1 ,远传压力表 2 的读数为 P_2 ,并同时记录电磁流量计 1 的读数为 Q_1 ,而电磁流量计 2 的读数则为 0(见图 4)。由于电动阀门 2 已被关闭,原本环状的消防管网因此转变为枝状管网。值得注意的是,由于两电接点压力表处于相同标高位置,因此它们之间的差值即代表了系统流量为 Q_1 时流经管路所产生的水头损失。在此情境下,式(1)可转化为以下形式:

$$h = P_1 - P_2 = \alpha_{1 \sim a} l_{1 \sim a} Q_1^n \quad (4)$$

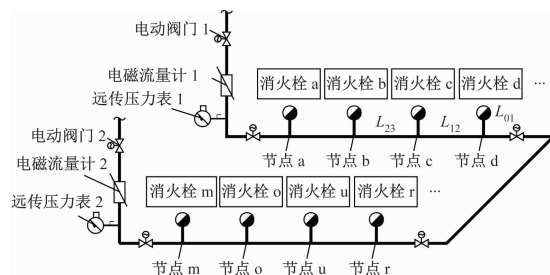


图 4 放水试验系统图

Fig. 4 Diagram of drainage test system

2) 电动阀门开启状态保持不变,打开消火栓 a 进行放水试验时,通过消火栓手轮控制不同的放水流量,此时远传压力表 1 读数为 P_3 ,远传压力表 2 读数为 P_4 ,记录此时电磁流量计读数为 Q_2 ,电磁流量计 2 的读数仍为 0,式(1)转变为:

$$h = P_3 - P_4 = \alpha_{1 \sim a} l_{1 \sim a} Q_2^n \quad (5)$$

3) 因为同一位置放水,式(5)中 $\alpha_{1 \sim a}$ 、 $l_{1 \sim a}$ 数值相同,式(4)与式(5)进行相比,可得只含未知数 n 的关系式如下:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_3 - P_4} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^n \quad (6)$$

4) 依次类推,对消火栓 b、消火栓 c 等逐一进行放水,可分别计算得出各管段 n 的取值。

2.3 关阀操作

2.3.1 人工关阀

在爆管点的精确位置被确定后,通过分析系统图(见图3),可以明确需要关闭的阀门为5号和6号。若未配置电动阀门而需采用人工关闭方式,首要条件是操作人员需先对阀门所在区间的里程有深入了解。随后,通过地铁列车的“添乘”方式进入指定区间,定位并关闭系统图中的5号和6号阀门。这两个阀门的设计间距一般约为240 m。在此操作过程中,相关路线的列车须暂停运行。可见,人工手动关闭阀门不仅会对列车运行和市民出行造成较大干扰,而且运营人员在列车停运期间进入区间作业本身也存在较高的安全风险,故该方式并非首选。

2.3.2 远程关阀

地铁系统配备了专门的综合监控系统,通过将综合监控系统中的普通检修阀门改进为电动阀门,并利用BAS(环境与设备监控系统)在地铁车控室实现远程关闭操作。在区间消火栓系统爆管点定位系统建立后,一旦发生爆管事件,系统将通过逻辑计算分析确定需要关闭的阀门位置及编号,并向BAS发送反馈信号,以实现第一时间远程自动关闭对应阀门。整个操作流程迅速、安全、高效,因此推荐使用此方式对区间阀门进行操作管理。

2.4 定位系统建立

地铁区间爆管点定位系统的总体架构由感知层、网络层和应用层三部分构成。感知层主要由电磁流量计、电接点压力表和PLC(可编程逻辑控制器)组成。PLC通过Modbus通信协议和4~20 mA电流模拟信号实时采集区间消防系统立管上的流量和压力数据,并根据理论模型进行数据处理和计算,为应用系统提供统一标准和格式的数值^[3]。网络层负责实现感知层和应用层之间的数据传输。应用层则包括数据库、GIS(地理信息系统)平台和应用服务器,其中数据库记录区间消防供水立管上的实时和历史数据,GIS平台根据线路资料模拟出区间消火栓系统的管道、阀门、消火栓栓头、波纹补偿器、泄水阀、自动排气阀等设计图像,使爆管点位置和需关闭阀门的显示更加直观和精确。应用服务器为系统提供基础支撑,并为运营管理人员提供浏览服务^[4]。

3 结语

消防安全无小事。地铁区间消火栓系统因其

管道位置的特殊性,一旦出现故障,运营方往往选择关闭整个区间消防系统以避免对地铁运营和城市居民出行造成影响。然而,区间消火栓系统的关闭可能会潜在影响地铁行车安全和乘客安全。本文提出在区间消防立管上增加电磁流量计和电接点压力表以实现爆管点的精确定位,并通过BAS联动控制以最快速度远程关闭爆管点前后的电动阀门,从而将对区间消防系统的影响降至最低。该方案工程费用增加较少,实施可行性高,且后期运营管理方便快捷。然而,从系统的初步建立到实际投入使用,还需建设方、设计方、运营方等多部门共同协商决定。对地铁区间消火栓系统爆管点快速定位系统的初步研究旨在解决因区间消火栓系统管理不规范所带来的安全隐患问题,并最大程度地保障乘客和运营的安全。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 消防给水及消火栓系统技术规范: GB 50974—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code of design on fire protection water supply and hydrant systems: GB 50974—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [2] 住房和城乡建设部. 地铁设计防火标准: GB 51298—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Fire prevention standards for subway design: GB 51298—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [3] 刘书明, 王欢欢, 徐锦华, 等. 基于智能优化算法的供水管网漏水点定位[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(5): 740.
LIU Shuming, WANG Huanhuan, XU Jinhua, et al. Identification of leakage location based on modern optimization algorithms[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(5): 740.
- [4] 周鹏. 基于GSM下管道流量泄漏监测与定位系统[J]. 管道技术与设备, 2007(1): 18.
ZHOU Peng. Pipeline flux leakage monitoring and locating based on GSM[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2007(1): 18.

· 收稿日期:2022-06-13 修回日期:2022-08-02 出版日期:2025-03-10

Received:2022-06-13 Revised:2022-08-02 Published:2025-03-10

· 通信作者:吴正中,高级工程师,858965803@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取CC BY-NC-ND协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license