

智慧管网算法研究与应用

戴彦群

(成都理工大学 工程技术学院, 四川 乐山 614007)

摘要:随着智能信息化的发展,智慧管网在人们的日常生活和城市的发展中的需求越来越大,然而智慧管网算法问题一直是一个难题。针对管网爆管点查找模糊、流量监测数据精度不高和管网成本评估分析困难等问题,根据流向分析与缓冲分析结合的思想,设计一种基于流向的管网爆管分析算法,采用管线管网漏损率和多因素的综合资产评估方法设计了管网评估算法,采用面积比流量、沿线水头损失、水力等效原则和管网水力平差等设计了管网水力计算算法。最后通过乐山市市中区管网数据进行了实验分析,有效地实现了智能化的流量监控、预警提示、爆管点分析、智能规划维修路线以及管网成本评估等功能,达到了智慧管网算法的基本需求。

关键词:爆管分析;管网评估;水力计算;流量监控;智慧管网算法

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)03-0152-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.03.029

Research and Application of Intelligent Pipeline Network Algorithms

DAI Yan-qun

(School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan 614007, China)

Abstract: With the development of intelligent informatization, the demand of intelligent pipe network in people's daily life and urban development is increasing. However, the algorithm of intelligent pipe network has always been a difficult problem. In view of the problems such as fuzzy finding of pipe network burst point, low accuracy of flow tube blasting network monitoring data and difficulty in cost assessment and analysis of pipe network, a flow-based pipe burst analysis algorithm is designed according to the idea of combining flow analysis with buffer analysis. A network evaluation algorithm is designed by comprehensive appraisal method with pipeline pipe network leakage rate and multi-factor, and a hydraulic calculation algorithm is designed by the area ratio along the flow, head loss, poor hydraulic equivalent principle and the hydraulic leveling. Finally, through the experimental analysis of pipe network data in Shizhong district of Leshan city, the functions of intelligent flow monitoring, early warning, analysis of burst point, intelligent planning and maintenance route, and pipe network cost assessment are effectively realized to meet the basic requirements of the intelligent pipe network algorithms.

Key words: burst analysis; pipe network evaluation; hydraulic calculation; data monitoring; intelligent pipe network algorithm

0 引言

市政地下管网是整个都市的生命线,是保障都市正常运转、市场金融稳定成长的必要条件,其规模大、领域广、管网类别多、空间分布复杂等特点,散布在城市的每个角落,与人民生活关系密切。管网的智能算法的研究显得尤为重要,可提升市政部门应对公共情况和处置突发事件的能力。突发灾害应急情况后,市政部门可快速了解灾害发生地周围管网布设情况,可快速调用其关联资源,迅速对应急事件进行处置,使发生的危害降到最低。

当前已经有许多优秀算法的研究,如:应用聚类算

法识别供水管网爆管事故^[1],多水源供水管网的水压控制仿真研究^[2],基于流向的管网爆管分析算法^[3],故障树分析在城市燃气管网安全评价中的应用^[4],供水管网爆管分析算法及其GIS组件的实现^[5],供水管网系统爆管可监控最小管径分析方法研究^[6]等。以上算法是基于某一类的问题和具体的功能实现,复杂度高。

文中参考以上算法,结合实际的管网数据^[7-8],设计了基于流向的管网爆管分析、管网水力计算算法和管线评估分析算法。较好地实现了智能管网分析、智能监控以及智能管理等功能^[9-11]。

收稿日期:2019-04-29

修回日期:2019-08-29

网络出版时间:2019-12-05

基金项目:2017年度四川省教育理科重点项目(17ZA0043);2017年成都理工大学基金重点项目(C1220170001)

作者简介:戴彦群(1973-),男,讲师,硕士,研究方向为数值方法及软件开发、神经网络及其应用、教学管理。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20191205.1146.070.html>

1 算法设计原则

系统算法设计主要以六大设计原则为基础来进行构建,如图1所示。

- (1)实用性原则。
算法功能实用,操作便捷,响应快速,符合市场及企事业部门需求,在实际应用领域达到专业性要求,系统运行中数据的准确性和安全性能够得到保障。
- (2)可靠性原则。
能够保障长期有效地执行各功能操作分析,并避免可能产生的错误,在运行中,能够确保数据的可靠性和信息的完整性。
- (3)标准化原则。
算法中采用的数据、理论和公式均符合国家相关

部门的标准和规定,模型的合理性和高程相关信息合理准确。

- (4)安全性原则。
算法在事故记录、空间数据等方面经过严格加密措施处理,确保系统运行安全和数据安全,保障系统在平台安全运行。
- (5)高效性原则。
在处理分析数据时,保障快速的系统响应,并减少分析处理时间,达到良好的用户体验,在操作输入方面设计简洁明了,能够直观反映出来。
- (6)可维护性原则。
预留扩展模块,以备未来算法升级更新,在数据方面预留备份,可以为后期数据更新进行添加修改。

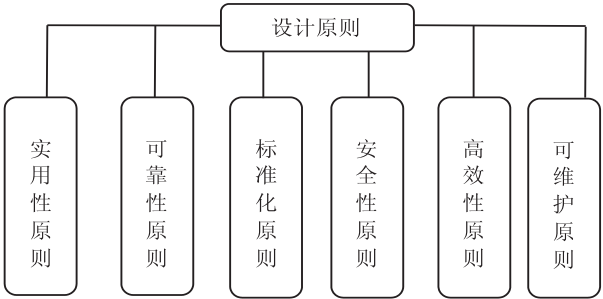


图1 算法设计原则

2 管线评估分析算法

系统根据对管线各个数据的统计梳理,结合实际管道漏损等情况,应用漏损率算法,得出管线评估报告。

城市自来水管网漏损率计算公式如下:
$$Ra = (Qa - Qae) / Qa \times 100\%$$

其中,Ra表示管网年漏损率(%),Qa表示年供水量(km^3),Qae表示年有效供水量(km^3)。

单位管长漏水量计算公式如下:
$$Qh = (Qa - Qae) / Lt \times 8.76$$

其中,Qh表示单位管长漏水量($\text{m}^3(\text{km} \cdot \text{h})$),Lt表示管网管道总长(km)。

单位供水量管长计算公式如下:
$$Lq = Lt / (Qa \div 365)$$

其中,Lq表示单位供水量管长($\text{km}/\text{km}^3/\text{d}$)。

通过上述算法分析得出管网漏损情况,再结合供水管网价值资产评估,分析管网在自然力条件下、人为操作导致的管道变形、内部磨损、管线自然老化等物理性能的损耗或下降引起的管道资产贬值。根据供水管网的各组成部分,参考已使用年限、对勘察的各部分现状及其他因素恰当的综合评定来进行资产评估。

重置成本法是现时条件下被评估资产全新状态的重置成本减去该项资产的实体性贬值、功能性贬值和

经济性贬值后估算资产价值的一种方法,本次评估主要考虑实体性贬值。

- 重置成本法计算公式如下:
评估值 = 重置成本 × 成新率 (4)
重置成本 = 工程造价 + 前期及其他费用 (5)
工程造价 = 直接工程费 + 措施费 + 间接费 + 利润 + 税金 (6)
成新率 = $[1 - (\text{已使用年限} / \text{耐用年限})] \times 100\%$ (7)

3 基于流向的管网爆管分析算法

针对之前爆管分析中搜索查找不必要阀门的问题,本系统经研究得出一套基于管道流向的爆管分析方法。该方法在分析了传统爆管分析算法特点的基础上,利用GIS几何拓扑思路,结合管道水流的流向,对老的爆管分析算法进行了改进。

在开始进行爆管分析时首先要建立几何网络拓扑关系,在其关系中,现阶段在地下管网系统中基本抽象为几何弧段,调压箱、阀门、消防栓等点要素都抽象为网络节点,并都处于各个管线的交点处。因此,拓扑网络中简化为只考虑管线与管线、管线与节点的拓扑关系问题。在GIS网络之中都是通过应用节点至管线的拓扑结构来存储其关系,网络抽象节点主要包含了节点ID号、关联管网ID、XY坐标等属性;网络抽象管线

主要包含了管线 ID 号、直径、材料、埋深等属性。其实,在实际情况下,只需要关闭爆管点上游阀门便可切断水流,其实现思路如图 2 所示。

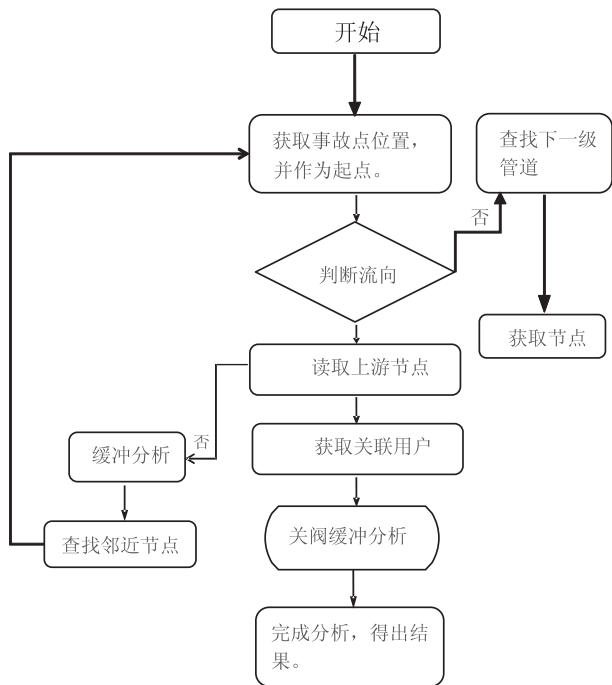


图 2 爆管分析

4 管网水力计算算法

在管网中,管段流量是计算管段水头损失的重要数据,也是对选择管径大小的重要依据,计算管段流量应是先求出沿线流量(这里只考虑针对居民区域用水分析)和节点流量。系统假定在排除大用户用水量外,用水量全部均匀分布在干管上的假设,得出以单位面积计算的比流量,计算公式如下:

$$q_A = \frac{Q - \sum Q_i}{\sum A} \quad (8)$$

其中, q_A 为面积比流量, $L/s \cdot m^2$, $\sum A$ 表示干管供水区域总面积。

在同一管网中,比流量的大小随用水量的变化而变化,在管段沿线两侧配给用户所需流量,根据比流量求出整个管网中任意管段沿线流量,其计算公式如下:

$$q_l = q_i l \quad (9)$$

其中, q_l 表示管段沿线流量, L/s , l 表示该管段的计算长度, A 表示该管段承担的供水面积。

对于管道流量变化大的管段,难以确定水头损失和管径,所以要将沿线流量转化成节点流量。沿线流量转化成节点流量的原理是求出一个沿线不变的折算流量 q ,使它产生的水头损失等于实际上沿线变化的流量 q_x 产生的水头损失,推导过程如下:

假设沿线流量均匀分布,则管道任意断面上的实

际流量为:

$$q_x = q_l + \frac{q_l}{l}(l - x) \quad (10)$$

沿线水头损失为:

$$h_f = \int_0^l \frac{k[q_l + \frac{l-x}{l}q_l]}{d^m} dx = k \frac{(q_l + q_l)^{n+1} - q_l^{n+1}}{(n+1)d^m q_l} \quad (11)$$

根据水力等效原则,得:

$$h_f = k \frac{(q_l + \alpha q_l)^n}{d^m} l \quad (12)$$

令 $\gamma = q_l/q_l$, 推导可得:

$$\alpha = \sqrt[n]{\frac{(\gamma + 1)^{n+1} - \gamma^{n+1}}{n+1}} - \gamma \quad (13)$$

上述表明,折算系数 α 只和 γ 值有关,取水头损失计算流量指数 $n=2$,在管网末端,转输 q_l 为零,则 $\gamma=0$,得:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{3}} = 0.578 \quad (14)$$

取水头损失计算流量指数 $n=1.852$, $\alpha \approx 0.5678$ 。如果 $\gamma=100$,折算系数为 $\alpha=0.5$ 。

因此,管网任意节点,由沿线流量折算成的节点流量为:

$$q_i = 0.5 \sum q_l \quad (15)$$

根据上述管段流量数据和实际管径信息,灌渠总水头损失计算公式为:

$$h_z = h_y + h_j \quad (16)$$

其中, h_z 表示灌渠总水头损失, h_y 表示灌渠沿程水头损失, h_j 表示灌渠局部水头损失。

在管网水力平差计算中,一般不考虑局部水头损失,主要考虑沿程水头损失,考虑相关规范在水力方面的协调,系统主要针对其中一种做计算分析。

塑料管及内衬与内涂塑料的钢管按达西公式计算。

$$h = \lambda \frac{lv^2}{d2g} \quad (17)$$

其中, λ 表示沿程阻力系数($\lambda = \frac{8g}{c^2}$); L 表示管

段长度,单位为 m ; d 表示管道计算内径,单位为 m ; v 表示管道断面水流平均流速,单位为 m/s ; g 表示重力加速度,单位为 m/s^2 。

在经过上述复杂的水力计算,系统模拟计算出各个监测点流量数据,用于系统做统计分析。

系统通过实时 GPRS 数据传输,将数据保存于数据库中,并通过调用数据库服务实现数据的实时监控^[12-13]。系统可在控制窗口实时监控监测位置的流

量情况,预设报警流量值,系统自动实时分析数据资源,当有流量异常时,系统会自动报警,并在地图上显示异常位置信息,调出处理窗口,分管人员查看异常点实时情况,调配人员前去处理,智能化地监控整个管网流量信息。

其实现技术主要通过调用数据库服务,对数据进行不断地查询分析,一旦查找出异常,直接将异常位置坐标上传到服务器,服务器进行异常处理分析^[14-15],调出处理窗口,通过缓冲区和几何追踪分析,找出最近阀门,定位其位置,再通过关联属性操作,找出关联用户等信息。调用最短路径分析算法,计算并求解出维修部门与事故发生点的最短路径,并通过应急车辆上传的实时坐标位置,在地图上显示实时行进情况,并做相应安排部署。

5 实验分析

COM 的组件式开发技术主要是通过面向对象和其组件式软件在 GIS 中的应用操作,这使得基于 COM 组件的二次开发的开发周期大大缩减,能够迅速研发出特定应用领域的专业软件。

GIS 的组件式开发技术可根据实际应用需求进行

模块化的开发,针对不同的需求调用相应的模块控件,调用接口的可扩展性使得系统能够在后续版本和功能上得到加强和完善,使得系统更能够满足实际应用的需求,并保持良好的版本兼容问题^[16]。对于 COM 的组件式开发已慢慢形成一种行业内的标准,集成了大量的控件模块,大量的接口服务,使得 GIS 技术慢慢推向大众化、精简化,让普通用户也能够通过开发的产品了解和应用 GIS 处理和管理地理信息数据。该系统采用开发平台应用 Visual Studio 2013,调用 COM 组件来实现快速开发。采用了四川省乐山市市中区管网数据为实验数据。

设备预警功能,主要采用水力计算算法计算各个水力值,在发生爆管的时候,就会依据爆管分析算法进行查询,找到爆管位置和所需关闭阀门要素。系统通过实时监测各个控制点的数据并进行分析,一旦发生异常现象,系统将会启动应急预案并弹出解决窗口进行事故处理。点击事故处理按钮,弹出监测窗口,选择相应的监测数据,连接监测点,启动智能监测,当发生数据异常时,立即进行相应的处理流程,并分析得出事故位置范围的详细信息,并做相应的处理操作,如图 3、图 4 所示。

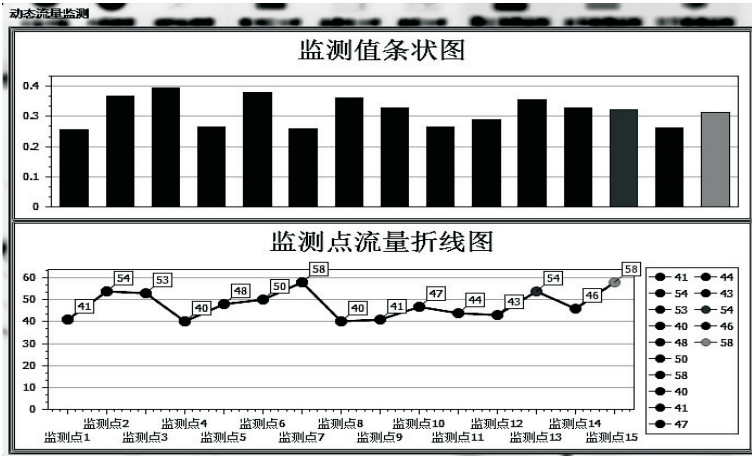


图 3 数据监测

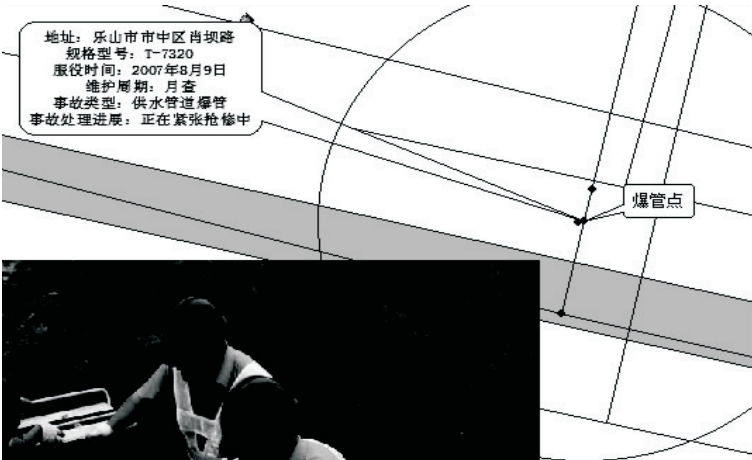


图 4 事故处理

网评估算法,系统设计出针对不同管网的评估算法,通过输入工程造价和各个管材的单价,依据算法公

式,求出成新率和评估结果,并对结果做一个维护成本的预估分析,如图 5 所示。

图 5 管网评估算法

6 结束语

采用算法设计的基本原则,依据空间数据的特性、管网空间特性、水流原理、水流损失和水压设计、管网漏损以及资产评估等,设计了管网水力计算算法、基于流向的管网爆管分析算法和管线评估分析算法,实现了管网评估、水流量数据监测、数据传输、异常数据爆管分析以及事故处理等功能,形成了完善的智慧管网算法,智能地处理了监测数据的异常、爆管分析,自动预警提示,管网资本评估分析。该算法采用乐山市的数据进行算法测试,通过实验结果证明了该算法的正确性、可靠性、实用性和智能性。为智慧管网算法的研究提供了一定理论依据和现实的技术性参考。

参考文献:

- [1] 刘书明,吴以朋,王晓婷,等.应用聚类算法识别供水管网爆管事故[J].清华大学学报:自然科学版,2017,57(10):1096-1101.
- [2] 薛国新,陆柯彤,张晓芬.多水源供水管网的水压控制仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(6):193-196.
- [3] 李平,李永树.基于流向的管网爆管分析算法[J].计算机应用,2012,32(s2):45-47.
- [4] 张扯拉,周奎,谌容,等.故障树分析在城市燃气管网安全评价中的应用[J].现代电子技术,2013(18):4-6.
- [5] 王卫兵,于志斌,田春伟.供水管网爆管分析算法及其GIS组件的实现[J].哈尔滨理工大学学报,2015,20(4):122-126.
- [6] 赵丹丹,程伟平,许刚,等.供水管网系统爆管可监控最小管径分析方法研究[J].中国给水排水,2014,30(23):117-122.

- [7] 曾武,徐速.基于移动GIS技术的供水管网巡线系统设计与开发[J].水利水电技术,2011,42(1):92-95.
- [8] 王星捷,李春花.基于ArcScene平台的三维管网系统的研究[J].计算机技术与发展,2018,28(11):217-220.
- [9] 王星捷,李春花.基于WebGIS技术旅游系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2018,28(8):148-151.
- [10] 杨玉思,辛亚娟.管网爆管的水力因素分析及防爆技术探讨[J].中国给水排水,2006,22(21):61-63.
- [11] 刘魁星,耿若曦,龙惟定.能源总线系统输配管网水力计算方法[J].暖通空调,2017,47(4):10-13.
- [12] DANIELEWICZ J, ŚNIECHOWSKA B, SAYEGH M A, et al. Three-dimensional numerical model of heat losses from district heating network pre-insulated pipes buried in the ground[J]. Energy, 2015, 108:172-184.
- [13] WEI D, TIAN M, GUO H, et al. The design and implementation of the 3D pipelines network aided design system based on arc engine[C]//2015 international conference on computer science and mechanical automation (CSMA). Hangzhou: IEEE, 2015:340-343.
- [14] LENG X, LIU D, LUO J, et al. Research on a 3D geological disaster monitoring platform based on REST service[J]. International Journal of Geo-Information, 2018, 7(6):226-244.
- [15] MURSHED S, AL-HYARI A, WENDEL J, et al. Design and implementation of a 4D web application for analytical visualization of smart city applications[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018, 7(7):276-294.
- [16] REN F, MA G, WANG Y, et al. Unified pipe network method for simulation of water flow in fractured porous rock[J]. Journal of Hydrology, 2017, 547:80-96.