

供水管网三维分析算法的研究与应用

王星捷

(核工业西南物理研究院,四川 成都 610041;
成都理工大学 工程技术学院,四川乐山 614007)

摘要:随着智能化供水管网系统的发展,二维供水管网系统已经无法满足日常工作的需要,无法真实反映管网之间的空间关系。目前,三维供水管网系统发展较快,出现了众多产品,满足了在三维展示、查询等方面的应用,而在管网分析方面大多以二维分析为主,缺乏高程地形数据,三维分析效果差。文中结合高程地形图、ArcScene 和 ArcGIS Engine 技术平台,设计了基于流向的爆管分析算法、阀门追踪算法、横剖面分析算法和纵剖面分析算法,并实现了基于三维地形和三维供水管网的分析算法。最终,采用了实际的城市供水管网数据,对爆管分析算法、阀门追踪算法、横剖面分析算法和纵剖面分析算法进行了实验分析,在算法的可行性、准确性和三维展示的效果上体现了较好的效果,为三维管网三维分析算法的研究提供了一种新的技术参考。

关键词:三维分析;爆管分析;阀门追踪;横剖面分析;纵剖面分析

中图分类号:TU992

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)06-0190-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.06.039

Research and Application of 3D Water Supply Network Analysis Algorithm

WANG Xing-jie

(Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China;
Engineering Technical College of Chengdu University of Technology, Chengdu 614007, China)

Abstract: With the development of intelligent water supply network system, two-dimensional water supply pipe network system has been unable to meet the needs of daily work, unable to truly reflect the spatial relationship between the pipe network. At present, the 3D water supply pipe network system develops rapidly, and there are many products which satisfy the application of 3D display, query and so on. However, most of the pipe network analysis is based on two-dimensional analysis, lacking of elevation topography data and poor three-dimensional analysis effect. In this paper, based on the ArcScene and ArcGIS Engine technology platform of elevation topographic map, the burst pipe analysis algorithm based on flow direction, valve tracking algorithm, cross section analysis algorithm and longitudinal section analysis algorithm are designed, and the analysis algorithm based on three-dimensional terrain and three-dimensional water supply pipe network is realized. Finally, the actual urban water supply network data are used to analyze the experimental results of the burst pipe analysis algorithm, valve tracking algorithm, cross section analysis algorithm and longitudinal section analysis algorithm, which shows that the algorithm is feasible, accurate and effective in 3D display, which provides a new technical reference for the research of 3D analysis algorithm of 3D pipe network.

Key words: 3D analysis; tube analysis; valve tracking; cross section analysis; longitudinal profile analysis

0 引言

当前三维管网技术发展迅速,国内出现了众多三维管网的软件平台。已实现的三维管网系统,大多都没有考虑高程数据,只是在二维平面的基础上导入了三维模型,重在三维管网效果的展示、漫游和定位查询

等功能,缺乏三维管网的分析功能,在数据中虽然有高程数据,而分析功能大多以二维为主,缺乏对实际的地形高程数据的分析。

近年来,国内出现了一些三维管网技术研究的理论,如文献[1-3]等。绝大多数的理论研究的侧重点

收稿日期:2018-08-06

修回日期:2018-12-11

网络出版时间:2019-03-06

基金项目:2017年度四川省教育科学重点项目(17ZA0043)

作者简介:王星捷(1980-),男,副教授,硕士,研究方向为数字城市、智慧城市、三维空间数据处理、大数据应用。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190306.1017.088.html>

在三维管网系统的设计^[4-5]、数据库建库、管网模型的快速建模^[6-7]、综合系统的集成以及管网的监测^[8]和预警系统。但有部分涉及三维管网的分析,如爆管分析、纵横断面分析。但分析的数据都缺高程数据,局限于二维数据的分析。因此,文中结合二维矢量数据和地形高程数据设计研究了基于三维爆管分析、阀门追踪、横剖面分析和纵剖面分析等供水管网分析算法。

1 系统架构

该系统架构主要分四个层面进行设计,以便系统在处理庞大的数据和进行复杂算法分析时能够快速响应和避免假死状态。独立地将数据服务和业务功能服务分开,在操作空间地理数据的同时不影响对业务数据的干扰,实现了分层设计的需求。

1.1 应用层

应用层主要是三维数据展示层,展示三维管网数据和三维管网分析的数据,主要采用 ArcScene 和 ArcGIS Engine 技术进行实现。

1.2 服务平台

服务平台分为服务接口、服务发布和算法分析,其中在服务接口中包含 Web 应用开发接口和服务接口 OGC 标准服务,根据此接口开发标准化的应用服务,满足各个层面的需求;在服务发布中包含数据服务和功能服务,数据服务内主要有:专题地图服务、文档服务、网络数据服务,功能服务内主要有:地理编码服务、空间分析服务、空间处理服务等;算法分析主要是针对三维管网的实现分析功能,包括爆管分析、阀门追踪、横剖面分析和纵剖面分析等。

1.3 数据资源

数据资源为服务平台提供各种数据支持,在数据资源中分为基础地理数据、专业业务数据和三维管网数据,其中基础地理数据包含地理实体数据、电子地图数据、地名地址数据,专业业务数据包含国土、规划、管线等,三维管网数据主要是以二维管网和地形数据为基础,进行三维管网建模和高程对应处理。数据是系统平台最核心部分,所以在数据资源管理上,采用基础地理数据和业务数据划分存储管理,保障系统数据库安全,经过分别部署操作,方便后期管理和维护。

1.4 支持层

支持层为云管理平台,分为存储服务、数据库服务、应用服务器、GIS 服务器。通过云管理平台对各个服务体系进行部署管理,协调各部分工作,优化系统性能。

2 基于流向的爆管分析算法

爆管分析是地下管网系统管理中最为常用的功

能。在实际应用中,爆管分析在管道维护、事故预防、事故解决中起着非常重要的作用。

供水管网爆管造成的后果是爆管点下游所有用户停水和水漫出地面影响行人通行。针对这种事故的解决方式就是关闭水阀,然后派遣消防部门对地面进行抽水并让交通执法警队及时赶来维护交通秩序,最后是通知下游停水用户并及时供水。爆管分析首先获取爆管设备信息以便维修,然后获取爆管点的上游阀门和下游所有受影响的管段和调压设备,根据这些信息来处理爆管事故。爆管分析中经常存在搜索查找不必要阀门的问题^[9],影响了爆管分析的效率。

文中研究了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,对传统的爆管分析算法进行了改进。

在进行爆管分析前,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^[10],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^[11]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节点 ID 号、关联管网 ID、XY 坐标、高程数据等属性;网络抽象管线主要包含管线 ID 号、直径、材料、埋深等属性。在实际情况下,只需要关闭爆管点上游阀门便可切断水流。算法设计流程如图 1 所示。

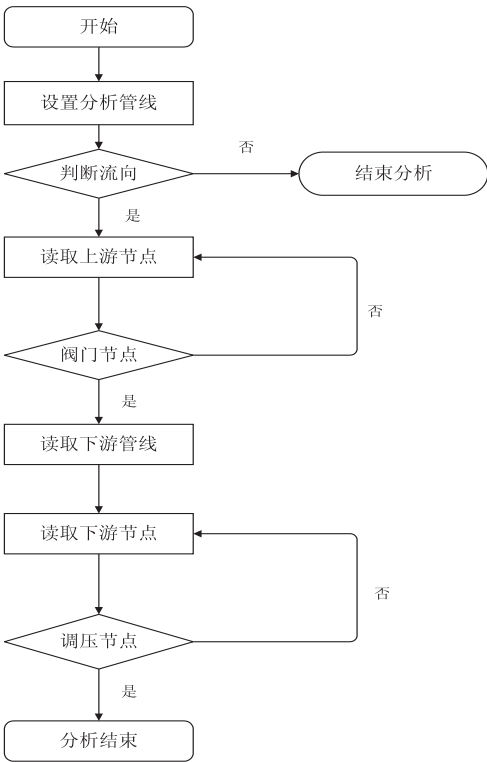


图 1 基于流向的爆管分析流程

爆管分析实现流程为:

- (1) 初始化存储要素的集合边标记对象, 分析结果点存储对象, 分析结果边存储对象, 爆管分析对象。
- (2) 设置爆管分析的终止图层为阀门图层。
- (3) 延上游进行流向分析, 获取最近的上游阀门, 分析后的阀门数据存储在对象中。
- (4) 延下游进行流向分析, 分别获取下游管道和下游调压设备。分析后的调压设备数据和管道数据分别进行存储。

3 阀门追踪算法分析设计

阀门追踪分析^[12]在管网施工中用来快速追踪最近的阀门设备, 以此来分析出最优的阀门关闭方案, 对于管网设施安全起到非常重要的作用。阀门追踪分析具体是, 选择一截管段, 通过算法利用管网连通性获取管段周围的阀门和阀门封闭区域内的管道, 并将阀门和管道在视图上显示出来, 再将阀门的详细信息显示在控件上。阀门追踪分析主要是用来查询管段与周围阀门的关系, 在管网设施检修维护时能够快速地对周围阀门进行定位, 并根据具体情况关闭阀门。具体的设计流程见图 2。

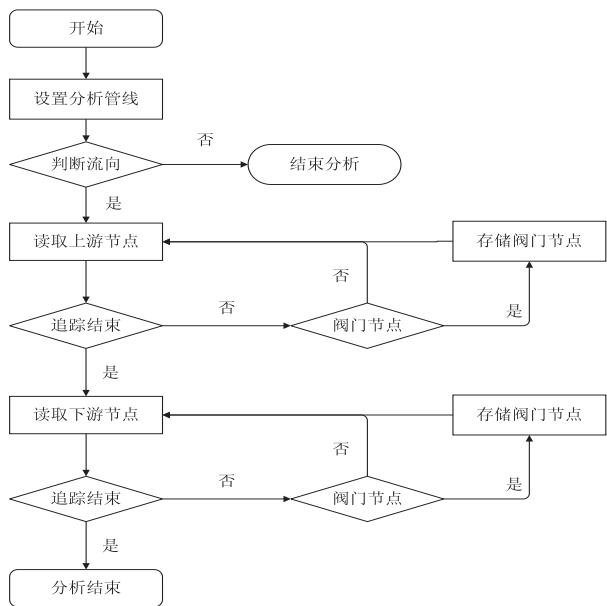


图 2 阀门追踪分析流程

阀门追踪分析主要是利用 ArcGIS 平台提供的几何网络流向分析算法进行重新组合后实现的。具体流程为:

- (1) 初始化存储对象: 创建分析最终结果对象, 分析结果点存储对象, 分析结果边存储对象, 边标记对象和分析对象。
- (2) 设置连通分析终止图层。
- (3) 对选择管线设备进行上下游连通分析。
- (4) 分析过后的获取管线和阀门会存储到管线结

果对象和阀门结果对象中。

4 横剖面分析算法

地下管线横剖面分析^[13]过程是, 依据用户需求, 手动延管网所在平面绘制一条直线。该条直线需要与管线有交叉点, 然后延直线获取每条管段的地面高程和埋深, 并以折线图的形式展现出来。在折线图上展示各个管段的地面高程、埋深、ID 信息和间隔距离。

进行横剖面分析时要首先选择直线绘制原点, 以当前管网在场景中的高度为空间参考, 进行直线绘制。横剖面分析结果为所有与该直线所相交的管段, 其信息包括管段在几何网络上的 ID、地面高程信息、埋深, 通过开发平台提供的要素计算出每个管段之间的间隔距离。最终分析结果以折线图的形式展现出来, 地面的高度变化和管线的深度变化分别用两条折线来表示, y 坐标表示相对于大地水准面的高度, x 坐标表示该要素到绘制直线起点的距离。通过折线图可以分析出管网高程和地面高程随着直线绘制方向的变化趋势, 可以利用这些信息在沿线建设新的地下设施时避免发生空间重叠。

横剖面分析是在划线横剖面区域中查找出与剖面相交的要素, 然后算出管线和横剖面的交点的坐标高度, 再根据计算公式获取该管段的起点高程属性值和终点高程属性值, 最后通过公式计算出相交点的高程值。

如图 3 所示, (x_0, y_0) 表示起点坐标; (x_t, y_t) 表示终点坐标; (x_i, y_i) 表示相交点坐标; D_1 表示起点坐标到终点坐标的距离; D_2 表示起点坐标到相交点的距离; H_0 表示起点高程; H_i 表示交点所在高程; H_t 表示终点高程。

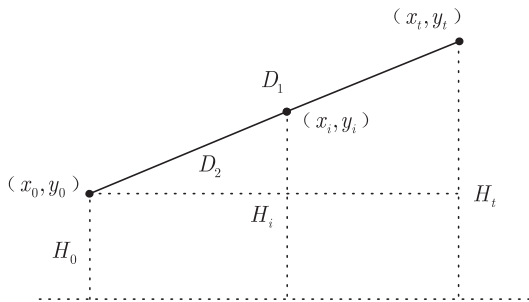


图 3 管线高程解算示意

交点高程 H_i 为待求值, $x_0, y_0, x_t, y_t, H_0, H_t$ 为已知值。

首先求 D_1 起点到终点的距离, 如式 1:

$$D_1 = \sqrt{(x_t - x_0)^2 + (y_t - y_0)^2} \quad (1)$$

然后求 D_2 起点到相交点的距离, 如式 2:

$$D_2 = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (2)$$

最后求出交点高程, 如式 3:

$$H_i = H_0 + \frac{D_2}{D_1}(H_t - H_0) = H_0 + \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}}{\sqrt{(x_t - x_0)^2 + (y_t - y_0)^2}}(H_t - H_0) \quad (3)$$

通过上面公式可以得出相交点的高程值,可以在折线图中表示出来,并展示各个要素的信息,模拟出横剖面的折线图。

横剖面分析算法实现流程为:

获取相交管线要素:

(1)初始化存储要素的集合和所有管线图层集合;

(2)通过查询管线图层,获取所有与绘制折线相交的管线要素存储到要素集合对象。

突出显示查询出的要素,具体步骤为:

(1)通过要素的图形属性提取每个要素的几何对象的几何接口;

(2)通过几何接口对象创建图形图像显示对象,设置图形对象显示参数,最后将图形对象添加到图形图像图层。

结合高程数据和计算的相对于原点的距离,最终展示在折线图上。具体流程为:

(1)遍历查询出的所有要素,提取出它们的高程值存储到高程集合对象中,并获取所有要素到原点的距离存储到距离集合对象中;

(2)获取折线图的序列化对象;

(3)循环创建折线图序列化点坐标集合对象,分别将坐标点参数属性值设置为距离值和坐标点值属性设置为高程值。再将坐标点对象添加到序列化点坐标集合对象。

5 纵剖面分析算法

纵剖面分析目的是获取一段长度的管道并沿着管道的走向获取其埋深和高程的变化。展示出管道的纵剖面图和该管道的属性值,从而了解地下管网的空间分布情况。

纵剖面分析操作流程是通过选择两个空间位置较远的管线要素,利用管网连通性算法,查找出连接这两条管线的最短路径。并以此得到连通路程中的所有相关管道,读取管道的ID信息、相对于大地水准面的高度、埋设深度。以与横剖面分析相同的方式展示在折线图上。

纵剖面分析与横剖面分析展示效果类似,但是剖面截取方式不同。横剖面分析的剖面截取是通过绘制直线作为剖面截取与管线相交点的位置,并获取相交点的高程数据。而纵剖面是通过连通性分析,以多条相互没有直接连通关系的管道计算出与这些管道连通

路径中的所有管线,并获取这些管道的起点高程属性值和终点高程属性值。

纵剖面系统建立方法:令 x 代表横坐标, y 代表纵坐标, L 代表管道长度, K 代表横纵坐标比例系数, H 代表管道设施埋设深度, i 代表管到段数计数值。坐标计算公式如下:

$$X_n = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^{n-1} l_i \quad (4)$$

$$y_n = H_n \quad (5)$$

具体实现流程为:

(1)通过绘制工具绘制多个点对象。

(2)使用连通性方法,将添加的点集合作为参数进行分析。

(3)返回分析结果字典对象,该字典对象存储各个管线图层与两通后的路径重合的管道要素。

(4)遍历分析结果中的所有对象,通过结果对象获取所有管段要素对象。

6 实验分析

依据上述算法、高程地形图结合 ArcScene、ArcGIS Engine 实现了三维供水管网系统,实现了阀门追踪、横剖面分析和纵剖面分析等三维管网分析功能。

通过二维管网数据的三维化处理,再结合高程值,加载高程地形图,实现了三维管网与高程地形的融合。

阀门追踪分析,即通过选择管线,分析出选择管线周围的阀门,并高亮显示在地图视图上和弹出的要素信息显示窗口中。其中视图上的黑色粗线则是分析源管线位置,黑色加粗点表示其四周最近的阀门,粗线环节表示选择管线到四周阀门内的闭合管线,如图4所示。

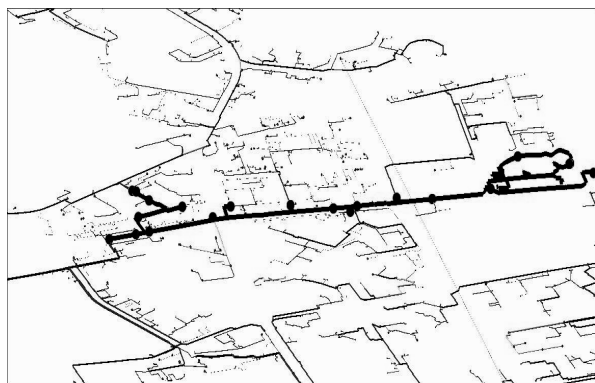


图4 阀门追踪分析

横剖面分析通过手动划线,获取与折线在同一平面上相交的附近管道。然后将管线的埋深变化显示在折线图上。折线图横坐标显示管道到原点的长度距离,纵坐标代表该管道的埋设深度值。具体效果如图5所示。

纵剖面分析首先确定两条管道,然后根据这两条

管道实现连通性分析,查找这两条管道的最优途经线路。获取与这条路径相覆盖的所有管线。然后将管线的埋深变化显示在折线图上。折线图横坐标显示管道到原点的长度距离,纵坐标代表该管道的埋设深度值。具体效果如图 6 所示。

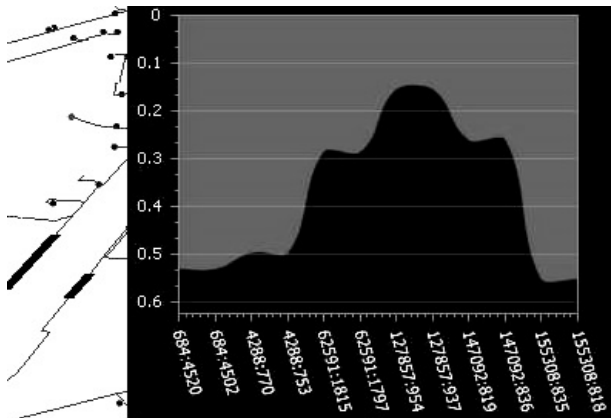


图 5 横剖面分析

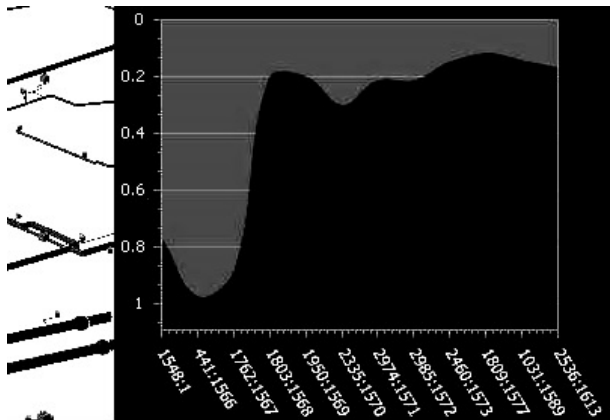


图 6 纵剖面分析

7 结束语

文中的爆管分析、阀门追踪分析、横纵剖面分析和连通性分析,以二维管网数据、三维管网数据、高程值以及高程地形数据为基础,进行算法的研究和设计。采用了 ArcScene 和 ArcGIS Engine 技术平台进行了实现,通过实验证明了三维供水管网分析算法的正确性、可行性和实用性。阀门追踪分析充分体现了三维管网连通的分析效果,为纵剖面分析提供了依据;横剖面分

析和纵剖面分析的结果不仅体现了埋深,同时也体现了随高程地形起伏变化的曲线,为三维供水管网的三维分析算法的研究提供了技术参考。通过三维分析能详细了管网连通性、埋深和起伏的具体情况,便于日常的管理和维护,便于应急情况的处理,具有一定的社会和经济价值。

参考文献:

- [1] 程勉志,侯岳,张键,等.地下管网时空信息集成与管理技术创新[J].测绘通报,2017(7):117-119.
- [2] 王乾坤,乔实,刘思伦,等.三维GIS在地铁车站综合管网设计中的应用研究[J].地下空间与工程学报,2016,12(5):1150-1156.
- [3] 陶迎春,郑国江,杨伯钢.三维城市地下管网规划辅助系统研究[J].测绘通报,2013(10):95-98.
- [4] 刘波,李大军,阮见,等.基于ArcEngine的供水管网三维模块的设计与实现[J].测绘科学,2010,35(6):236-237.
- [5] 陈子辉,胡建平,董春华.城市地下管网三维可视化实现技术研究[J].工程图学学报,2010,31(6):139-145.
- [6] 张文英,何坤金,张荣丽,等.基于开源场景图形的三维可视化与信息管理系统设计[J].计算机应用,2016,36(7):2056-2060.
- [7] 扈震,徐狮.地下管网设施三维精细化模拟技术研究[J].中国给水排水,2012,28(17):68-72.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 王淑嫒,王乾坤,张勇.地铁车站综合管网三维冲突分析系统功能设计与实现[J].武汉理工大学学报,2011,33(11):93-96.
- [11] 李亚君.基于GIS的三维地下管网爆管分析及其系统的设计与实现[D].成都:电子科技大学,2015.
- [12] 高铁军,赵明,毛亚纯.供水管网全网关阀预案与关键阀门分析[J].哈尔滨工业大学学报,2018,50(2):94-99.
- [13] 王达.基于ArcEngine与DWGDirect.net的管网剖面可视化算法[D].北京:中国地质大学(北京),2011.