

基于三维 GIS 的城市地下管线管理系统研究综述

安 聪, 吴楚怡

(地泰克工程勘察(上海)有限公司, 上海市 201206)

摘 要: 由于传统的二维管网 GIS 系统已经不再满足现今社会经济发展的需要, 因此从二维管网 GIS 技术向三维管网 GIS 技术过渡的角度出发, 探讨了三维地下综合管线管理系统建设中的若干关键技术, 包括地上与地下同步浏览、二维与三维联动分析、三维管线分析 3 个方面。

关键词: 二维 GIS 管网; 三维 GIS 管网; 地下管线管理

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)01-0245-05

1 研究背景

1.1 城市地下管线及其管理现状

城市地下综合管网肩负着各种物质的输送和调配、信息的传输等工作。传统图纸图表管理模式已经很难实现对大量管线信息的有效管理和利用, 导致城市管线施工事故频频发生^[1]。随着 GIS 对地理空间数据的强大展示和分析能力的研究, GIS 网络分析等功能是解决管网维护中遇到问题的利器, 将 GIS 技术尤其是三维 GIS 技术用于地下综合管网的管理是大势所趋。

地下管网的特点是层次结构错综复杂, 仅仅使用传统的二维平面 GIS 技术来建立地下管线信息管理系统, 不可避免地会出现管线在平面上重叠、错乱等问题, 极易造成视觉上的不好分辨, 导致管理工作上的错误, 也给地下管网问题分析、决策带来极大的难度。这就需要将地下综合管线进行三维可视化表达, 将二维和三维系统进行有效集成, 实现地下管网系统的二维与三维一体化, 才能对地下综合管线进行有效、统一的管理。将三维 GIS 技术用于管网管理信息系统建设, 不仅可以使错综复杂的地下管网在显示层面上变得层次明确, 更能使非 GIS 专业的管理人员也能够轻松使用管理系统, 降低了管网管理过程中的人力成本。

GIS 的空间数据管理与分析技术是改变目前滞后的管网信息化管理的根本途径, 是实现管网管理现代化的核心技术。另外, 三维 GIS 以其在管网可视

化、三维空间分析上的优势, 成为地下管网管理信息系统建设时的最优选择。

1.2 国内外研究现状

在信息化程度比较高的城市, 地下管网信息管理系统的建设属于城市重要的基础设施建设。比如法国的巴黎、美国的洛杉矶和日本的东京, 在 20 世纪八九十年代就开始了地下管网管理信息系统的建设工作。

从国外情况来看, 自 20 世纪 90 年代开始, 城市规划与城市管理中大量地引入了 GIS 技术, 大量国外城市的 GIS 管理系统建设如火如荼, 在地下管网管理方面也建立起了各种规模的地下管网管理信息系统。从运行状况来看, 取得了较高的经济效益与社会效益。例如法国巴黎的旧城区和日本东京的地下污水管道, 都采用了 GIS 建立了地下管网管理系统, 可以很方便地对地下管道进行检查^[2]。

国内的地下管网信息管理系统由于种种原因起步较晚, 比国际先进水平差距较大, 但是近些年来发展迅猛, 取得了不少成果。北京市在 20 世纪 90 年代就开始了地下管网管理信息系统的建设, 在全国都有比较大的示范意义。上海建成了自来水管理信息系统, 广州建成了地下电力管线信息系统。随后, 武汉、南京、杭州也分别建设了各种地下综合管网管理信息系统^[3]。

整体来看, 国内各个城市已经建设的地下管网管理信息系统局限性还是比较大的。例如没有统一的标准, 开发的软件系统不具备广泛使用的特点; 个别城市想要开发新的系统, 需要面临资金投入大、建设周期长、数据规模大、技术难度高等问题。从实际来看, 一般中小城市的相关部门无法承受上述问题^[4]。大量

收稿日期: 2021-04-14

作者简介: 安聪(1995—), 女, 硕士, 助理工程师, 从事综合物探工作。

缺乏对于管线的各种分析功能,如横断面分析、纵断面分析、连通性分析等,这样使得管线施工遇到极大的问题。传统的二维GIS向三维GIS过渡显然是大势所趋,但是技术细节问题还是较多,目前还没有一款完全的三维GIS平台,在不抛弃传统二维GIS的同时进行三维GIS的研究,从二维与三维一体化的角度去解决问题是目前大多数方案的核心^[5]。

综合国内外地下管网管理信息系统发展的情况来看,大致可总结为4个阶段^[6]。

第一阶段:管理信息系统建设阶段。这一阶段使用数据库管理系统(DBMS)技术,完成管线、管点的数据录入与存储。其特点是以数据的存储为核心。

第二阶段:管理信息系统与图形相结合。这种方法其实很简单地将图形数据与属性数据一分为二。

第三阶段:连接图形数据和属性数据。

第四阶段:采用三维GIS来统一管理图形、属性、拓扑关系。这样不仅能够满足人们对空间信息的要求,而且其特有的三维可视化表达和三维空间分析功能能够完美地进行各种统计分析、动态模拟和辅助决策服务。构建基于三维GIS的地下管线信息管理系统是目前最合适的选择。

基于地理信息系统的三维GIS平台的开发总体上可以分为两方面:一方面是管理模式的设计与开发,另一方面是管理平台工具的二次开发。

2 三维管网模型构建理论研究

在GIS中描述对象的方法主要基于如下几个方面:几何属性描述、语义描述、空间关系和时间描述。基于描述含义不同,对象可分为空间对象和非空间对象两种类型,即空间数据和属性数据。三维管网模型构建的空间数据包括三维管线的长度、埋藏地点、埋深等。属性数据包括的内容比较多,如管线的设计使用年限、管线的权属等。由空间信息和属性信息来共同构建三维管网数据模型。

2.1 三维数据类型

空间数据模型是用来描述空间数据组织和进行空间数据库设计的理论基础。常见的模型由概念数据模型、逻辑数据模型和物理数据模型部分构成。对于三维GIS研究的发展,空间数据库模型必须经历由二维向三维的转化。由于三维数据结构复杂,数据量很大,较难建立一个有效的三维数据模型^[7]。

2.2 地下管网空间数据模型

地下管网空间数据模型是空间数据模型的一

类,它为描述地下管网空间几何对象和管网可视化等方面提供了基本的方法,在管网数据的可视化描述和管网空间分析等方面起着至关重要的作用,是管网信息管理系统核心和关键技术

2.3 地下管网数据结构特点

城市地下管网中,各类管线在三维空间上相互独立。其中,排水管网等重力管线属于单向树状管网。燃气、热力等压力管线在设计时考虑到安全因素,多采用环状设计。地下管网数据可简化成弧段与节点的集合。节点不但包括管线的变径点、分支点、交叉点、拐点,还包括管网数据中附属设施的抽象点、弧段。该数据结构的优势是在管网信息管理系统中建立管线拓扑关系时,不用考虑点与面、线与面的拓扑关系。因此,应对管网进行抽象处理和适当的简化,既能满足三维可视化需求,又能强调管网系统的分析功能。现实世界管网的管线大多数为圆柱或圆台管道,可通过快速化建模实现。

2.4 地下三维管网建模

三维建模的基础是使用CAD图纸转化为DXF开放式矢量数据格式,然后将管线数据存入三维GIS数据库中。DXF是CAD数据文件的文本格式,是一种开放的矢量数据格式,可以通过为读取基于ASCII编码的DFX格式文件中的图元坐标信息,应用图形匹配算法生成三维管网信息数据库,实现由二维CAD向三维地下管网的数据转换。本研究中,地下管线的数据同时使用SuperMap的网络数据集和三维数据集(包括三维线数据集与三维点数据集)进行组织^[8]。网络数据集既包含管网的线数据(包括流向等信息),又包括管点的点数据。三维数据集主要针对三维建模与空间表达。通过网络数据集可以实现对管网系统的分析功能,如连通性分析与爆管分析。在三维场景中,网络数据集也可以和三维线数据互相转换。由于地下三维管网是一个比较复杂的系统,管线与管点的模型必须要分开建立。管点建模主要是针对可以点状表示的设施,如管道井、管线阀口等。管线建模主要是针对线状表示的管网设施,如各类型的管线、管段和管块。管网建模技术重要有两种,一种是使用超图软件自带的二维三维转化工具自动建模,另一种就是局域3ds Max手动建模,然后倒入应用场景。两种方法各有优缺点,3ds Max手动建模的优点是模型精细程度高,三维展示效果好;缺点是由于手动建模,难度较高、制作效率较低,如城市地下管网这种大数据量的应用中很难实现,并且手动

建模更改麻烦,后期模型数据维护更新十分困难。自动建模虽然精细度不如手动建模,但是其优点是制作效率高,后期更新方便。为了扬长避短,各取所需,在地下管网模型构建过程中,大部分数据采用三维管线自动生成方法,还有一些需要精确建模的采用3ds Max 精细建模的方式进行模型数据的生产。

管线模型以管线起止点坐标、埋深、管径等信息为数据基础自动生成三维模型。管点模型如管井、管阀等其标准统一,可采用3ds Max 软件制作精细的管点模型,构建管点模型符号库,以管点坐标、高程、管点类别信息判别,自动加载各类管点符号模型。建模过程如图1所示。

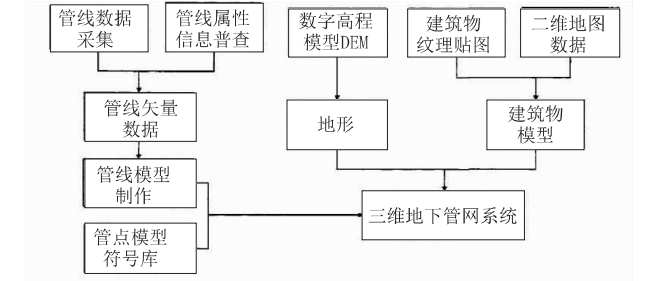


图1 地下管网三维场景构建流程

管线的三维化使用Autodesk 3ds Max 制作三维符号。分别制作了水、电、暖、通信等各类管点和管线的符号。三维点符号只需要通过导入三维模型来构建。制作三维符号时,首先需要设置模型,导入管线的3ds 和Sgm 模型文件。Sgm 是SuperMap 提供的一种三维模型存储格式,在SuperMap 中可将3ds 格式转化为Sgm 格式。3ds 也提供了3D 符号库,包括三维管线符号库文件和三维管点符号库文件,方便快速建模。

3 地下管网系统设计

系统设计遵循以下4个原则:实用性原则、先进性原则、友好性原则、可靠性原则。

经按反演步骤(2)重复多次计算后所得结果见图2~图5。

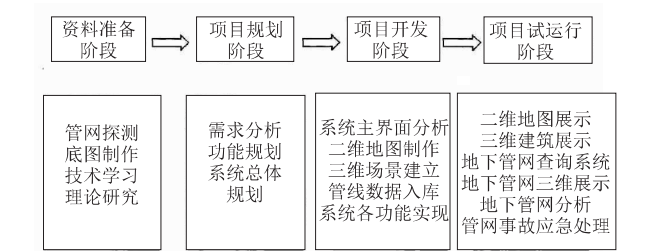


图2 系统设计的4个阶段

3.1 系统设计

三维地下管网管理信息系统以探绘制制的管网

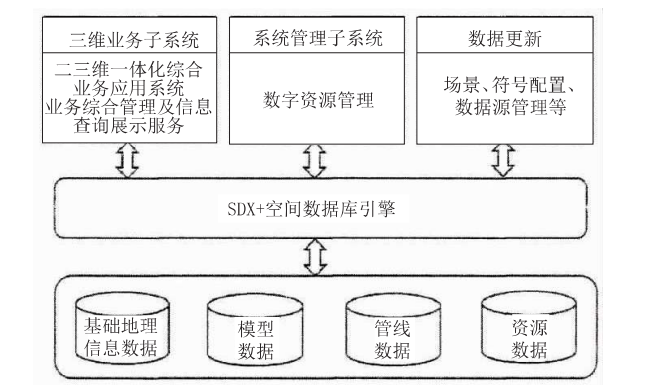


图3 系统总体设计流程



图4 功能模块设计

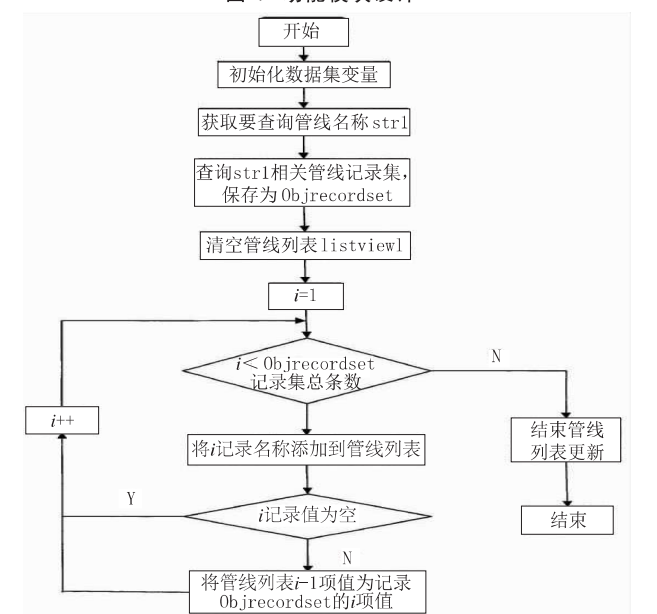


图5 横断面管线查询分析流程

地形图为基础、管线空间信息与属性信息数据为核心、三维GIS 技术作为实现手段。管网管理信息系统可实现对管网设施属性和图形数据输入、修改、查询检索、显示、统计、分析和输出,实现数据的交换和共享,为管网的管理、发展预测、规划决策提供可靠依据。系统设计主要经历了资料准备阶段、项目规划阶段、项目开发阶段、项目试运行阶段4个阶段,具体工作如图2所示。

3.2 系统框架设计

三维地下管网管理信息系统的总体流程图如图

3 所示。主要分为三块:基础数据、SDX+ 空间数据库引擎、不同的子系统与功能模块。

3.3 系统框架设计

模块化设计思想是将产品的某些要素组合在一起,构成一个具有特定功能的子系统。将这个子系统作为通用性的模块与其他产品要素进行多种组合,构成新的系统,产生多种不同功能或相同功能、不同性能的系列产品模块。这是模块化设计和制造的功能单元,具有三大特征:

(1)相对独立性。可对模块单独进行设计、制造、调试、修改和存储。

(2)互换性。模块接口部位的参数标准化,容易实现模块间的互换。

(3)通用性。有利于实现横系列、纵系列产品间的模块的通用,实现跨系列产品间的模块的通用。

针对三维地下管网管理信息系统的特点,设计时采用模块化的设计思路,设计了三大功能模块,如图 4 所示。各功能模块具体描述如图 4 所示。

3.4 管网数据库设计

地下管网主要由管线和管点组成。建立管网数据库不仅要关注管线、管点的空间位置,属性数据的收集与入库也至关重要。属性数据是建立管线数据库的基础,基于管网属性数据来进行查询、统计、空间分析等操作。地下管网三维模型数据包括空间数据和属性数据两种^[9]。

3.4.1 管网信息数据存储形式

管网空间数据包括管网的地理位置及其对象之间的空间拓扑关系,主要包括地下的管线、管点,地上的附属设施点(井盖、消防栓)的空间坐标信息及空间拓扑关系。管线数据主要涉及其种类、使用信息、附属信息等。对于管网数据的存储,一般采用空间数据和属性数据分别存储的形式,使用一体化的技术进行管理。这样既能有效区分不同的数据便于数据存储,又不破坏其空间与属性特征。在 SuperMap 软件中使用矢量数据集进行管理,把数据分为点、线、面,在点、线、面数据基础上加上高程信息,就完成了二维到三维的一体化。

3.4.2 管网空间数据的图层划分

三维地下管网管理信息系统中使用的管网数据不但海量,而且因为管线、管点的种类不同,其结构也相对复杂。为了使系统在运行时就有比较高的效率,以及方便以后的更新维护,在系统设计的过程中必须要对管网数据做进一步的分类,以图层的方式

来区分不同的管线与管点。

管网图层的分类原则是:将不同类别、不同级别的图元数据分层存放,每一层包含一类数据信息或一种专题。根据用户需求和相关标准将一些一致性的图元要素组合在一个图层中,表示管网地理特征和这些特征相关属性的逻辑意义上的几何含义。在相同图层内,数据通常是相同的类别,具有相同的属性特征。在系统设计中分为四大类图层。

第一类图层是地表基础地形图。第二类图层是地表上建筑图层。第三类是平面图层。该图层主要用来在屏幕上显示特点的信息,不随着刷新操作而改变,一般用于 Logo 显示等固定信息的显示。第四类图层是替网图层。地下管网共分为给水、排水(雨水、污水、雨污合流)、燃气、热力、电信、电力、工业管道七个类型。对每类管线按照属性不同又可以细分为多个子类型,所依据的是《城市地下管线探测技术规程》中的规定。

4 管网分析关键技术研究

4.1 横截面分析

地下管线横截面分析原理,是根据分析需求,在管线区域画一条横截面线,使其与地下管线相交,再依据相交的情况分析横截面上的地下管线分布情况,并标示出管线的截面尺寸、种类、高程,管线间的间距等属性信息能够反映出管线之间的空间位置关系。横截面分析主要是需要计算出横截面线与管线相交之处的截面数据。其原理是先区域中查找与横截面相交的管线要素,然后计算管线与横截面线的交点二维坐标,最后使用关联检索出相交管线的起止点埋深信息^[10]。横断面管线查询分析流程如图 5 所示。

4.2 纵断面分析

地下管线纵断面分析的目的在于了解某个位置若干条地下管线的地下埋设状况,并标示出沿线各个管点的位置和各管管段的埋深,自动产生管线纵断面所对应的属性数据和线上各管点的属性数据,从而了解管线的地下分布情况,为管线规划和管线维护提供参考与依据。

4.3 连通性分析

地下管线连接了各个管点、地面设施,其形态已经是网络数据集的形式。网络线段上必定具有资源和要素流动方向,而网络中的资源要素流动的前提是网络的连通。

实现网络连通性分析的原理是从确定的网络流向来寻求网络路线与区域。最短路径分析是根据网络连通性和相应的权重,利用一定路径跟踪原理获取权重向最短路径。管网的连通性分析主要是基于图论的遍历理论搜索出管网的连通分支数。由于算法的优化给出了各连通分支的搜索起始点节点连通性分析,具体流程图如图 6 所示。

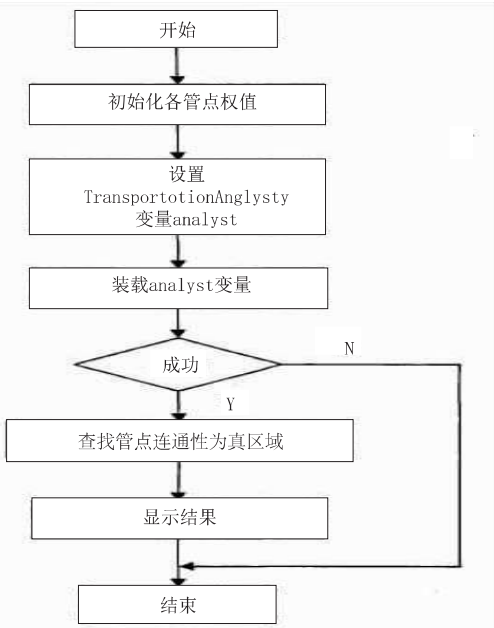


图 6 连通性分析流程图

4.4 地下场景的实现技术

地下场景的控制主要包括 3 个方面。第一,开启或者关闭地下场景。第二,对地表进行透明度设置。第三,进行地表开挖操作。地表开挖操作是对地表指定区域进行某一深度的地下挖掘,能够直观观察该区域的地下管网数据。

4.5 三维查询

三维查询是通过 SQL 关系表达式或者属性信息从三维场景中检索出目标物体。三维查询主要分为两部分:

- (1)从属性信息通过端 L 关系表达式查询对象,也称作“属性查图”。
- (2)通过点击场景中待查地物,显示地物的属性信息,也称作“图查属性”。三维查询的实现流程如下;

- a. 通过访问图层控件来获取图层控件相关联的场景,从场景中得到三维图层的集合 3D-Layers。
- b. 从三维图层集合中检索出数据集所在的图层。
- c. 调用 Selection 函数,获取图层的选择及 3D Selection。
- d. 将查询到的记录集添加到选择集调用 Selec-tion3D.Add 方法。
- e. 更新渲染查询出的数据。

5 结 语

三维 GIS 在地下管线的管理和应用上仍具有很广阔的前景、巨大的发展与提升空间,如管线、管点建模优化,三维管网的空间分析功能的优化,系统平台与移动平台交互,与“智慧城市”的结合等。随着城市化水平的不断提高和城市发展的日益加快,智能化地理信息平台也需要与时俱进,在各领域发挥自身的优势和价值。

参考文献:

[1] 韩勇,陈戈,李海涛. 基于 GIS 的城市地下管线空间分析模型的建立与实现[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2004(3):506-512.

[2] 赵志江,池波.GIS 在地下管线信息管理系统中的应用[J].中州煤炭,2008.

[3] 张春黎. 基于三维 GIS 的地下管线信息管理系统研究与实现[D].合肥:安徽大学,2015.

[4] 魏忠勇. 基于三维 GIS 的地下管线信息系统的设计与实现[J].矿山测量,2017,45(4):67-70.

[5] 孟亚锋. 基于 GIS 的地下管线管理信息系统[J]. 建筑技术开发,2002,29(4):54-56.

[6] 倪志,康停军,古敏聪,等. 基于移动 GIS 的地下管线应用的设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息,2016(7):34-35.

[7] 杨斌,顾秀梅,武锋强,等. 基于 GIS 的城市地下管线综合信息系统[J]. 科技导报,2011(12):50-54.

[8] 李世恒. 基于 GIS 的地下管线信息动态管理系统的设计与实现[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊),2012(24):275-276.

[9] 赵虎川,翟林,廉光伟,等. 基于 GIS 的地下管线资产数据入库检查与更新[J].城市勘测,2013,4(4):63.

[10] 杨伯钢,顾娟,郑国江. 一种基于三维 GIS 技术的地下管线辅助规划审核方法:中国,201610809648.2[P].2017-02-15.