

# 城市管网数据模型与网络逻辑拓扑关系

朱明,薛重生,李丹,钟霞,张心彬

中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074

**摘要:** 城市市政网络系统是城市地理信息的重要组成部分,基于 ArcGIS 地理信息系统平台,运用 Catalog、Geodatabase 中间件技术,构造十堰市燃气管网数据库,将 GIS 外部的关系数据库管理系统(RGBMS)与燃气管网调度管理系统(DMS)有机地集成在基于 GIS 空间数据的可视化管理平台上,实现了对管线几何关系数据、逻辑关系数据和实时动态监测数据的统一管理。通过管线要素类和要素集建立市政管网空间数据的几何拓扑关系,通过 Catalog 和 Geodatabase 建立管网的逻辑拓扑规则和准确表征专业管道物理网络的各种连接关系及其流动系统的动力学关系,在实时监控网络数据接口的支持下,通过 SKADA 和 RTU 系统获取管道流体的物理特征实时数据,为燃气调度和事故预警提供动态监测空间位置信息和管道维护检修的决策支持信息。系统集成基于 C/S 和 B/S 体系结构,具有实际应用价值。

**关键词:** 管网数据模型;网络几何拓扑;网络逻辑拓扑;Geodatabase.

中图分类号: TN91

文章编号: 1000-2383(2004)02-0255-04

收稿日期: 2004-09-18

## City Pipe-Network Data Model and Network Topologic Relations

ZHU Ming, XUE Chong-sheng, LI Dan, ZHONG Xia, ZHANG Xin-bin

Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** A municipal network system is an important part of a city's geographic information system. Based on the GIS platform—ArcGIS and applying the technology of middleware—Catalog and Geodatabase, the authors design the Shiyan City gas-pipe database. At the same time, the authors integrate the RGBMS outside the GIS and the gas-pipe DMS on a platform that is based on the visual management of GIS spatial data, and successfully realize the unified management of geometric relational data, logic relational data and dynamically-inspected data. The geometric topology relation of the municipal pipe-network spatial data was established using the feature class and the feature dataset of the pipe-line, and the logic topology rule was established using Catalog and the Geodatabase. It can represent exactly all kinds of linked relations held by the industrial pipe's physical network and dynamic flow system. Supported by the data interface of real-time inspection and by the system of SKADA and RTU, the physical feature data of the hydro-data of the pipeline can be obtained. It provides the dynamic and inspected spatial information for the DMS that is offered for gas control and accident forecast. Based on the frame of C/S and B/S, the system is integrated and holds practical application values.

**Key words:** pipe-network data model; network geometric topology; network logic topology; Geodatabase.

城市市政网络包括水务网络、燃气网络、电力网络、通信网络、交通网络等,它构成了城市的基础设施系统和城市生命动力学系统。笔者以湖北十堰市燃气管网调度管理系统的开发研究为例,重点讨论基于 ArcGIS 地理信息系统平台,构造包含生产输配调度监控系统(SCADA)、客户信息管理系统

(CIS)、管网地理信息系统(GIS)、调度自动化(DA)、客户故障报修管理系统(TCMS)等功能组成的燃气输配调度管理系统(DMS)。

系统的关键是运用 ArcCatalog, Geodatabase 中间件技术(李佳田等,2003),构造十堰市燃气管网综合数据库。综合数据库的建库目标是将分布在 2

个服务器上的基于 GIS 的城市电子地图数据库管理系统与燃气管网输配调度监控系统(SCADA)有机地集成在基于 GIS 平台的空间数据的可视化管理平台,实现对城市基础地理、管线几何关系数据、逻辑关系数据和实时动态监测数据的统一管理。通过 ArcCatalog 和 Geodatabase 建立管网图形与地理要素的几何拓扑和逻辑拓扑规则并准确表征专业管网物理网络的各种连接关系及其流动系统的动力学关系,在实时监控网络数据接口的支持下,通过 SKADA 和 RTU 系统获取管道流体的物理特征实时数据,为燃气调度和事故预警提供动态监测空间位置信息和管道维护检修的决策支持信息。

## 1 基于 ArcGIS 燃气管网地理信息的数据模型构造

城市地理信息系统是燃气管网的信息载体,也是实现燃气管网综合调度管理(DMS)的可视化平台。十堰市城市地理信息系统是基于 1:1 000 电子地图进行城市管网空间数据的组织与管理。系统将面向地理实体对象的数据模型与基于管网设备对象的空间数据集成在 SQL Server 数据库综合管理的平台上,从而可以方便地构造城市地理要素与管网要素之间的关联关系。

### 1.1 基于地理要素的城市电子地图数据库

城市地理要素是一个复杂的空间叠合体。笔者利用 ArcGIS 的 Geodatabase 中间件技术,将城市基础地理数据的图层信息按照城市地理要素之间的空间几何关系和要素之间的逻辑关系来建立它们之间的拓扑准则及其逻辑规则,使地理要素在空间上的位置关系与要素之间的从属关系、邻接关系、交叉关系乃至它们的社会属性、经济属性或其他文化属性等都随同其要素本身进入到由数据库管理的一个统一记录单元里。基于城市管网管理的城市电子地图数据库的数据模型主要是针对管网监测监控和运行及应急事故处理时对准确的地理空间信息的需求而设计的。这就要求模型对街道、建筑物、市政设施等空间信息在几何空间和逻辑关系上具有准确的空间定位表达和对市政基础设施必要的属性描述。因此,它对电子地图的数据模型和库表结构的基本要求就不同于通常的城市地图。我们构造的电子地图库按地理要素可以分为 3 个等级,即要素集、要素类、要

素子类。如街道交通为要素集,其要素类则可分为主干道、主街道、街道和小街区,主干道的子类则可按其交通等级分为有中央隔离带的干道和无隔离带的干道。通过 Geodatabase 对要素的分类可直接建立电子地图库图形库表,然后按照其几何拓扑和逻辑拓扑关系构造其数据模型。

### 1.2 燃气管网空间数据库

城市管网数据是基于管线和结点数据进行构造的。在我们开发的系统中,首先是基于 GPS 技术进行城市燃气管网结点数据的采集,包括点位坐标数据与属性数据,然后依据管网结点的连接规则定制它们的几何连接规则和逻辑拓扑关系。对管网数据模型与空间数据库的库表结构是按照下列步骤进行的:(1)定义实体:管线实体是具有相同特征的集合,根据管网数据特点,一级实体定义为煤气管线实体、煤气结点设备实体、与其空间关连的地理实体;(2)定义关系:在 Geodatabase 的设计阶段,必须正确设计并定义管网空间实体间的关联关系,这对建立管网空间数据库的完整性、一致性和安全性具有重要的意义。关系是管网实体间的一种逻辑关系。在定义实体间的关系时,必须指出实体间的依赖关系,确定关系名,对关系进行定义。(3)定义关键字与属性:定义实体的键属性,并扩展和改进实体与关系的定义,将所有不确定的关系改进、替换成确定的连接(父子)关系或者分类关系,其方法是引进中间实体。定义属性时模型开发的关键步骤,是确定空间实体的属性集和建立属性属主关系,在 Geodatabase 中,空间实体的现实原型是通过各种属性的综合来反映的,因此实体属性定义的合理性直接影响着 Geodatabase 的现实世界反映的真实程度。(4)Geodatabase 技术实施步骤:Geodatabase 可分 5 个步骤进行建库:①实体转变为要素类或表(table);②属性转换为列,并确定列的属性;③明确分类在 Geodatabase 物理模型中的实现方法;④实现 Geodatabase 中空间数据的专业规则;⑤向 Geodatabase 中加载数据。

在十堰市燃气管道专题数据库中,我们按照管网数据的物理结构特征建造了管线数据模型及其专题图库。管网数据库包括管段、阀门、分支结点、气表、堵头封板、排气阀、加压站、供气站、测压点等;属性数据包括管径、材质、埋深、桥管、隧道、管线等级(出厂站管、环线、干管);设施属性数据包括:阀门铭牌、类型、转向和圈数;调压器类型、大小、进出

管口径、出口压力、有无压力监测等。

## 2 Catalog 与 Geodatabase 的技术特点与管网拓扑关系的构造

### 2.1 Catalog 与 Geodatabase 的技术特点

ArcCatalog 是 ArcGIS Desktop 中的重要模块,系统引入 Catalog 的目的是实现对城市各类空间数据与属性数据的有效管理。在十堰市燃气管网综合空间数据库构建中,通过 Catalog 的技术应用,实现了对各类矢量空间数据、遥感图像等栅格数据的管理,而且还可以管理与地理位置有关的各类属性表格数据等,从而让用户更好地使用和管理空间数据。在城市地理数据共享应用方面,Catalog 具有网络可用性,可以使用 Catalog 共享局域网中的文件夹或者空间数据库,甚至可以通过它使用 Internet 网中的其他空间数据库或数据服务。这样就能充分实现空间数据的有效共享。

Catalog 可以管理两种形式的空间数据库:个人空间数据库和通过 ArcSDE 连接管理的空间数据库。个人空间数据库的存储平台是 Microsoft Access,它适用于小数据量的、较简单的空间数据库,多在本机上运行。通过 ArcSDE 连接的数据库平台一般是 Oracle、SQL Server 等大中型数据库,它可以存储海量的空间数据,并具有快速有效的检索、查询、统计等功能,同时具有多用户同时编辑和版本管理等功能。

Geodatabase 在系统中的作用是:创建地理数据模型、实现对空间数据模型的全局管理,其实际作用是使空间地理要素的数据对象与其逻辑数据模型更为接近。在十堰市管网数据模型中,我们通过 Geodatabase 所定义的地理对象不再是传统 GIS 抽象后的“点”、“线”、“面”等简单空间要素,而是应用领域中所熟悉的地理实体对象。更重要的是通过 Geodatabase 帮助我们实现对数据对象的各种操作。因此,Geodatabase 实际上可以看成是系统中所处理和使用的空间数据的一个智能库。

### 2.2 管网数据模型与拓扑关系建造

利用 Catalog 对空间数据的管理功能,可以通过地理对象与管网数据之间的关系建立联系类和几何网络类两种新的数据类型。联系类可以联系空间上有联系的各个空间数据,还可以是空间数据和与

它有关的表格数据。关系的建立可以是 1 对 1 的关系,也可以是 1 对多的关系。利用这种数据模型就可有效地管理和使用地理对象与网络要素对象之间的空间关系及其在工作流中的逻辑关系。

系统利用 Catalog 子类和域的概念来维持对象的属性数据一致性,利用其拓扑概念来维持对象数据的空间一致性。同时我们通过 ArcMap 内置的 VB 语言进行子类和域的定制,并通过 CASE 工具制作燃气管网的数据模型。

(1)网络数据几何拓扑关系建造。在燃气网络中,物理网络中对象实体可以概括为边线和结点两类要素。管线与结点分别代表物理网络中的设备及其连接关系。管网的实体被抽象为要素类后是具有几何形状的并且可以通过网络图形来显示,所以这种网络被称为几何网络。在一个几何网络中只能包含边线要素和结点要素。一个网络可以由多个要素类组成。利用 ArcCatalog 向导可以将现场测量的网络结点自动生成几何网络。在生成几何网络时将各类参数设置如下:①选择参与构建网络的要素类,并输入网络名;如阀门类型、管线类型、设备类型等;另外系统也可以提供选择从已有管网要素类生成网络和先建立一个空网络后添加管网数据两种网络生成模式;②设置网络的简单边线、复杂边线、简单结点、复杂结点、独立结点等要素类型属性;③设置网络的源头和终点;④设置网络权值;⑤设置要素的捕捉半径等。通过上述步骤,仅仅是建立了一个基础网络,还必须设置相应的网络连通性规则,才能确保网络的完整性。以用户的实际需要为前提,建立自己的网络连通性规则。

(2)网络数据逻辑拓扑关系建造。在网络数据模型中,每一个几何网络均对应一个逻辑网络,它是一个幕后的数据结构,其作用是存储边线和结点的连接关系和逻辑拓扑规则。当一个几何网络被生成时,一个逻辑网络将自动被 ArcGIS 产生和维护。当我们进行网络分析功能时,系统对空间数据的操作将只涉及到逻辑网络。因此,创建几何网络要素与逻辑网络元素之间的对应关系或拓扑规则,对于城市网络系统来说是非常重要的。

边线与结点的连接关系是通过网络连通性规则来定制的。连通性规则能够设置相互连接的网络要素类型及可以与另一种要素连接的任一特定要素的数量。通过建立网络连通性规则及其他规则(例如属性域),系统就可以维护数据库中网络数据的完整

性. ①边线—结点规则: 类型 A 的边线能够与类型 B 的结点相连接的关系. ②边线—边线规则: 类型 A 的边线能够通过类型 C 的结点与类型 B 的边线相连接的关系. 边线—边线规则中总是包含一个结点类型. ③缺省的结点类型: 两种类型的边线可以通过多种类型的结点相连接. 当结点为上述边线相接时的缺省结点时, 这种结点类型为缺省的结点类型. ④边线—结点连接度: 可以存在一种规则, 允许 A 的边线连接到 B 的结点上. 缺省情况下, 类型 A 任何数量的边线可以连接到同一类型 B 的结点上. 当需要限制这种情况时, 就指定 2 至 5 条类型 A 的边线连接到类型 B 的结点上, 但是如果少于两条边线或者多于 5 条边线与该结点相接, 将违反连通性规则. 同样也能够限制与任一个类型 D 的结点相连的类型 C 的结点数量.

在几何网络的创建过程中, 可以根据实际需求为网络中的结点特征和边线特征设定权值. 权值可以用来表示在逻辑网络中通过一个要素的耗费. 一个网络可以有与之相关联的任意数量的权值. 网络中的每个要素类可能会有与之属性相关联的一些或全部权值, 也可能没有权值. 每个要素的权值是由该要素的属性决定的. 每个权值可以与一个要素的一种属性相关联, 也可以同时与多个要素相关联.

### 3 城市管网数据模型在网络系统中的应用模式

基于 GIS 平台的管网数据模型是一种在面向地理实体要素和几何网络管网数据模型的基础上的虚拟物理网络, 它完全可以模拟真实网络的物流运动系统及其动力学系统. 因此, 现代城市的市政网络管理都正在利用这一技术建立专业网络地理信息系统和综合调度管理系统. 如湖北武汉市燃气管网、十堰市燃气管网的数字化和信息化建设工程的启动就说明了这一点.

虽然管网地理信息系统可以通过几何拓扑关系和逻辑拓扑关系来建造和虚拟真实的物理网络, 但是虚拟网络在 GIS 平台上的实现并不是城市网络管理的最终目的. 职能部门创建网络系统平台的目

的是为了加强对城市纵横交错的复杂的(地下的、地上的、上行的、下行的等)网络实体进行实时的全面的监控、预警、预报和应急处理的管理、指挥和处理能力. 因此, 基于 GIS 平台的管网地理信息系统(边学工等, 2004)必须与实时监控系统进行系统的无缝集成与数据库的无缝连接(Moutal *et al.*, 1992), 并且将实时监控系统中的预警、预报和报警等事件处置的数据模型加载在 GIS 平台之中, 能够实现监控中心对实时监控网络的数据管理可视化. 在城市应急系统中, 则要求 GIS 系统对事件处理现场进行实时监控和现场指挥, 这就要求系统必须配合 GPS 全球定位系统进行实时数据采集和响应的数据处理功能.

综上所述, 城市管网数据模型及其拓扑关系的构造是市政网络实时监控系统和调度系统对空间数据结构的基本要求, 它服务于实用信息系统, 又是现代 GIS 和空间数据库研究的关键技术问题. 因此, 管网 GIS 系统既是管网实时监控体系的主要基础, 又是管网调度管理系统的集成平台.

在项目的研究中, 得到东风燃气厂领导的支持、指导和业务帮助, 在此表示衷心的感谢.

### References

- Bian, X. G., Hu, R. M., Chen, J., *et al.*, 2004. Based performance model for MCU performance prediction. *Chinese Journal of Computers*, 27(2): 209—215 (in Chinese with English abstract).
- Li, J., T., Liu, H., B., Wu, W., *et al.*, 2003. Application research in database base on SDE. *Personal Computer and Progress*, 13(4): 20—23 (in Chinese with English abstract).
- Moutal, H. P., Bowen, D. R., Wendy, D., 1992. GIS: New York's pipe dream. *Civil Engineering*, 62(2): 66—67.

### 附中文参考文献

- 边学工, 胡瑞敏, 陈军, 等, 2004. 基于分层排队网络模型的 MCU 性能预测及优化研究. *计算机学报*, 27(2): 209—215.
- 李佳田, 刘洪斌, 武伟, 等, 2003. 基于 SDE 的数据库应用研究. *微机发展*, 13(4): 20—23.