

# 基于 GIS 的供水管网水力计算模型

徐少平<sup>1</sup>, 吴信才<sup>2</sup>, 曾文<sup>2</sup>

(1. 南昌大学 信息工程学院 计算机科学与技术系, 江西 南昌 330029;

2. 中国地质大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**供水管网是将水从单一或多个水源地输送到用户的管线网络。文中就基于地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的供水管网水力计算模型的有关概念、建模方法、理论、实现等问题做了阐述, 它将使管网工况分析工作从繁琐耗时变的简单快捷。

**关键词:**地理信息系统; 管网建模; 水力计算模型

**中图分类号:** TP391.41; P208

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3751(2006)03-0176-03

## Water Distribution Hydraulic Simulation Model Based on GIS

XU Shao-ping<sup>1</sup>, WU Xin-cai<sup>2</sup>, ZENG Wen<sup>2</sup>

(1. Dept. of Computer Sci. and Tech., Faculty of Info. Eng., Nanchang Univ., Nanchang 330029, China;

2. Coll. of Info. Eng., China Univ. of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Water distribution system is a pipeline network which deliver water from single or multiple supplying sources to consumer. Presents concept, theory and realizable approach model base on geographic information system (GIS). Pipe network analysis of water distribution system will evolve from a time consuming process done infrequently to a quick and easy process done regularly on system of all sizes.

**Key words:** GIS; pipe network model; hydraulic simulation model

### 0 引言

通过水力计算, 供水调度人员可以了解整个管网各个节点和管段的压力、流量、余氯浓度等参数, 这些运行参数是指导调度人员准确了解管网状况, 辅助进行故障定位、网络分析及应急处理, 从而保证管网的安全运行的保证。虽然传统的水力计算软件大多数都能完成管网水力计算核心功能, 但也存在管网数据(管网空间数据和属性数据)提取困难, 只能进行干网水力参数计算、静态计算等诸多局限, 究其原因主要是系统缺乏对管网数据的管理能力, 文中就建立基于 GIS<sup>[1,2]</sup>的供水管网水力计算模型概念、理论、方法、实现等问题做了相关阐述和讨论。

### 1 GIS 简介

GIS是从20世纪60年代逐步发展起来的新兴边缘学科, 它存储关于客观世界的空间数据和属性数据, 空间数据库中数据主要是跟空间坐标系系统关联, 可以管理地物实体要素之间的拓扑关系。它根据实体的地理坐标对其

进行管理、检索、评价、分析、结果输出等处理, 能提供动态模拟、统计分析、预测预报、决策支持等功能服务。

供水管网以及与管网相关的设备、地形、环境信息从根本上讲是地理信息。传统的数据库管理技术不能很好地管理这些数据, 而 GIS 不但能够很好地管理供水管网数据, 而且它在理论和方法上也独具特色, 相应的许多重要功能也是传统数据管理平台无法提供的。GIS 能够对海量空间数据、拓扑结构、拓扑关系进行有效管理, 能够进行与空间相关的查询统计、空间分析和三维模型分析, 提供多种空间数据录入和输出手段等等, 而这些功能正是建立一个完备的供水管网水力计算模型与分析系统所应具备的基础平台。

### 2 基于 GIS 的供水管网水力计算建模

#### 2.1 供水管网建模的方法

在供水管网中最基本的数据是管网的定位信息、空间分布和拓扑关系<sup>[3]</sup>。建立供水管网模型, 首先将实际的管网简化为管网简图。管网简图是由节点(点)和管段(线)连接起来抽象表示的网络。如图1所示, 供水管网简略的原则是将点状设备(水源、用户、阀门、消防栓、水厂、泵站等)以节点表现形式; 线状设备(主要是管道)在管网简图中以线为表现形式, 一般以管径大于指定值的方式提取构成供水管网干线的管线。管网简图满足欧拉公式:  $N =$

收稿日期: 2005-06-19

**作者简介:** 徐少平(1976—), 男, 江西九江人, 助教, 硕士研究生, 研究方向为计算机图形学、地理信息系统、空间数据库; 吴信才, 特聘教授, 博士生导师, 研究方向为地理信息系统; 曾文, 副教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向为计算机图形学、地理信息系统。

$M + P - 1, N$  为边数,  $M$  为节点数,  $P$  为环数。

管网简图体现管网连接关系,但是管网模型仅仅有这些信息是不够的。关于管网的种种分析必须依据管网拓扑关系,并通过考察管网元素的空间、属性数据,以流体力学数学理论模型为基础,对供水管网的水力特性进行的分析计算。管网模型计算不但要描述管网空间拓扑关系,而且要表达水力系统物理特性,是一种基于对象的拓扑分析,即除了依赖于图形之间的关系外还同时受控于对象的物理状态。

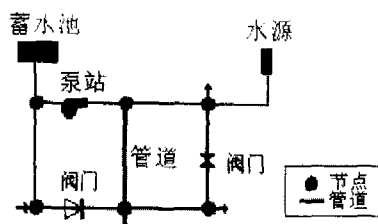


图1 供水管网简图

## 2.2 供水管网水力计算模型

供水管网模型<sup>[4]</sup>中需要建模的重要物理设备有:

1) 管道。管道的物理属性包括长度、直径、粗糙度和次要损失系数等。管网的粗糙度是跟管道的材料和使用年限有关的,次要损失系数是在管段的结合处产生的。当水在管道中传输的时候,由于水和管壁摩擦原因造成了水头损失。水头损失由摩擦损失和次要损失组成。由摩擦损失导致的水头损失的主要原因,可以表示为关于水流速度,管线的长度、直径、粗糙系数等参数的函数;除了摩擦损失外,由于水流方向改变或者是改变供水区域造成的水头损失都可以称为次要损失。次要损失对水头损失的贡献都远远地小于摩擦力引起的损失,在满足精度条件下,可以忽略。

在节点  $i, j$  之间管段之间的水头损失公式为<sup>[4]</sup>:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^2 + mQ_{ij}^2 \quad (1)$$

这里的  $H$  表示水头损失,  $r$  表示阻抗,  $Q$  表示水流速度,  $m$  是次要损失系数。海曾-威廉公式也是供水管网使用最普遍的水头损失公式,水头损失可具体化为  $r = 4.72C^{-1.85}d^{-4.87}Lm = 1.85$ ,  $C$  为海曾-威廉粗糙系数(可查表得到),  $d$  = 管径,  $L$  = 管长。

2) 节点。节点是管道之间的连接点。节点的自由度、高程、水力需求是3个很重要的节点参数。节点的自由度是指有多少个管道连接在这个节点上,水力需求是指对这个节点上所有的水力需要的总和。所有的节点都应该有高程参数,所以对于高程引起的水头是可以计算的。供水管网的水力计算必须满足水力平衡条件的要求,即水流连续性和水头损失平衡。目前水力计算模型很多,各有不同的特点和应用环境。下面介绍一个在供水管网水力计算中常用的计算方法:假定有一个  $N$  个连接节点的管网,管网水力计算实际上就是求解下面的方程组。

$$\begin{cases} \sum_i Q_{ij} - D_i = 0 \\ AH = F \end{cases} \quad (2)$$

$$(3)$$

这里  $A$  是一个  $N \times N$  维的雅可比行列式,  $H$  是  $N \times 1$  维的未知水头向量,  $F$  是  $N \times 1$  维的公式右边的匹配向量。雅可比行列式子对角线上的值是  $A_{ii} = \sum_j p_{ij}$ , 在管段的情况

下值  $p_{ij} = \frac{1}{nr |Q_{ij}|^{n-1} + 2m |Q_{ij}|}$ ; 在泵站的情况

下值  $p_{ij} = \frac{1}{nw^2 r (\frac{Q_{ij}}{w})^{n-1}}$ , 非对角线上的元素则是  $A_{ij} = -$

$p_{ij}$ 。式(3)右边包括了在管网中某个节点上的不平衡的流量和修改因素。其中:

$$F_i = (\sum_j Q_{ij} - D_i) + \sum_j y_{ij} + \sum_j p_{ij} H_j \quad (4)$$

式(4)最后一个项目对应着与  $i$  节点其它相连节点对固定节点  $f$  的值。水流修改因子在为管道的时候,  $y_{ij} = p(r |Q_{ij}|^n + m |Q_{ij}|^2) \text{sgn}(Q_{ij})$ ; 在为泵站的时候,  $y_{ij} = -p_{ij} w^2 (h_0 - r(Q_{ij}/w)^n)$ ,  $\text{sgn}(x)$  为符号函数, 其值当  $x > 0$  时该函数为 1, 否则为 -1。

水流修改公式为:

$$Q_{ij}' = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j)) \quad (5)$$

通过多次迭代计算,最后在达到误差允许条件下停止计算,这时每一个节点所连接管段的流量和压力值就可以得到了,同时整个管网系统也满足水力平衡条件<sup>[4]</sup>。

## 2.3 供水管网水力分析模型的实现

文中讨论的基于GIS的水力计算模型,实际上是对GIS平台软件、各种空间数据和供水专业水力计算模型进行集成<sup>[5]</sup>。目前,基于GIS平台的软件开发方式主要有松散集成和紧密集成方式:

(1) 松散集成通过在GIS和专业应用软件之间建立多种数据交换同道,实现GIS平台和专业应用模块之间的通信。在这种方式下,GIS平台和管网调度应用软件单独管理自己的数据库和数据文件,在实时要求特别高的水力计算分析中这将是系统瓶颈所在,一般不宜采用;

(2) 利用GIS平台提供强大的二次开发能力,采用紧密集成的方式来开发水力计算系统,可以对GIS低层有充分的控制权。下面以国内优秀的MAPGIS系统开发平台<sup>[1]</sup>为例来说明基于GIS的水利计算模型的独特优势。

## 3 基于GIS的水力计算模型的独特优势

### 3.1 管网数据管理

水力计算管网模型中的数据实际上存在二大类的数据:一是静态的管网数据;二是动态管网状态数据,所以在模型中最主要需要存储的对象是管线和节点的位置以及附属的属性数据,其它辅助设备根据系统的复杂程度需要,可存储额外信息。传统的数据库系统不能很好地管理这些数据,也不能提供足够的手段让用户根据需要随时编辑、修改这些数据。

GIS却可以很容易地存储这些数据,它把管网空间数据和属性数据同时保存在空间数据库中,属性数据与空间数据依靠全局ID相关联,属性数据和空间数据是联动的,

数据更新非常方便<sup>[5]</sup>。使用 GIS 作为管网水力计算模型的数据平台将使计算机模型的数据管理能力得到很大的提高,管网设备拓扑关系非常容易管理,而拓扑关系对建立水力计算模型的管网简化图有很重要的作用。

### 3.2 数据提取方便

水力计算管网模型从 GIS 导入所需要的数据,大部分的工作是由系统按事先编写的程序自动完成,主要包括对数据进行校验和检查完整性以纠正源数据中的错误。例如,可以通过设立默认的缺省值消除缺少管径信息的错误;加入额外管线数据解决管网的网络连接错误,以保证整个管网的连通(大口径主管的情况下);自动移去在网络边缘上小口径的管线,去除没有跟主干网连接的小管线等工作<sup>[5]</sup>。

当然,结合人工干预的方法进行其它特殊的数据检查工作是必要的补充。GIS 平台可以自动维护数据空间数据和非空间数据之间的对应关系,建立在其上的模型加快建立模型的速度和减小模型数据输入的难度,留给更加多的时间分析管网运行状况,满足了管网分析在时间上的迫切需求。

### 3.3 分析能力

通常情况下建立管网分析模型的主要工作集中在模型建立阶段,花费大量时间和资源,而没有为校准模型和模型分析留够时间。这种情况在基于 GIS 的管网模型中改变了很多,管网水力计算建模和数据处理模块使得管网建模的时间大大减少,给模型分析留足了充分的时间,这提高了模型分析能力和实用性。如图 2 所示,管网模型可以模拟管网设备动态的操作,检查在管网中各种不同的条件下的运行状态(模拟系统运行状态而不扰动真实系统),对实际日常供水生产有特别大的帮助。

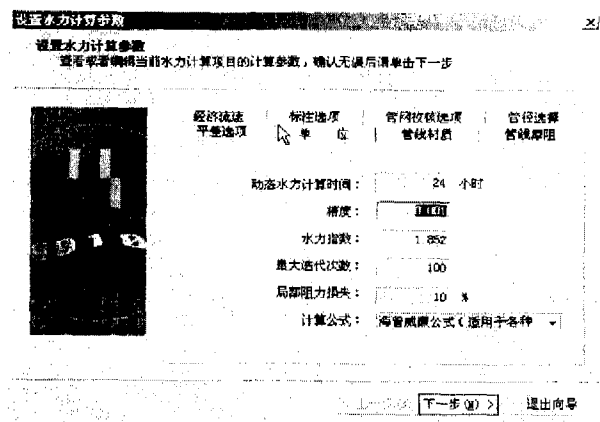


图 2 水力计算参数设置

### 3.4 可视化能力

基于 GIS 的水力计算模型的最大优势是它能直观地反映管网系统及设备的分布,同时通过对管网设备的属性数据、运行状况的处理直接反映管网的实际运行状态,而这正是该系统的优势所在。如图 3 所示,基于 GIS 的水力计算管网模型能够利用 GIS 独特的图形操作界面直观反映实际管网,给分析人员清晰的管网运行全景画面。

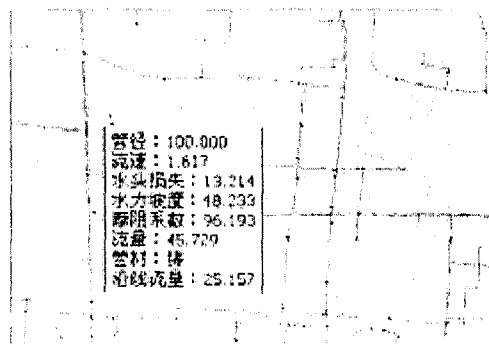


图 3 水力计算结果模拟显示

## 4 结束语

基于 GIS 的管网水力计算机模型可以充分利用 GIS 平台的强大数据管理能力。由于管网的静态数据(空间和属性数据)和水力计算模型处理在统一的数据库平台上完成,不存在冗余的数据,避免用户对数据的重复录入且保证必要的效率,不但可以自动化提取数据,还能可视化表达分析后的数据。

### 参考文献:

- [1] 吴信才. 地理信息系统原理及方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 吴信才. 地理信息系统设计与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [3] Cesario L. Modeling, Analysis and Design of Water Distribution Systems[M]. America: American Water Works Association (AWWA), 1995.
- [4] Fuertes V, Garcia - Serra J, Pérez R. Mathematical Modelling of Water Distribution Systems[A]. In Drought Management Planning in Water Supply Systems[C]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 52 - 88.
- [5] Langsdon R. The integration solution for GIS/SCADA/OMS [EB/OL]. <http://www.gisdevelopment.net/proceedings/gita/2000/cs/cs003.shtml>, 2002 - 04 - 23.

(上接第 175 页)

- [2] 邹涛. 网络与无线通讯技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [3] Raina K, Stallings W. 移动商务安全实用指南[M]. 战晓苏译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [4] 邓红素, 左益强, 赵一鸣, 等. 移动通信中可证安全的双向

认证密钥协商协议[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1489 - 1494.

- [5] 冉蜀阳, 张明, 金军, 等. JAVA 智能卡原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.