

# 基于 EPANET 与 ArcEngine 的供水管网建模软件

于志强<sup>1</sup>, 赵新华<sup>1</sup>, 程曙初<sup>2</sup>

YU Zhi-qiang<sup>1</sup>, ZHAO Xin-hua<sup>1</sup>, CHENG Shu-chu<sup>2</sup>

1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072

2. 北京洛克世纪科技有限公司, 北京 100085

1. School of Environment Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. Beijing Rocktech Co. Ltd, Beijing 100085, China

E-mail: hawklorry@gmail.com

YU Zhi-qiang, ZHAO Xin-hua, CHENG Shu-chu. Water distribution system simulation software based on EPANET and ArcEngine. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(6): 35-37.

**Abstract:** To avoid the re-development of business simulation software and satisfy the requirement of water supply company, the method of building water distribution system simulation software based on EPANET and ArcEngine is proposed. In the software system, the Geodatabase model database is designed to store the model data of water distribution system. The EPANET source code is encapsulated with COM technology and the GUI and most of the functions are realized in the .NET framework of ArcEngine. This developing method costs less time and money and the system has been applied successfully in a capital city of one province in North China.

**Key words:** water distribution system simulation; EPANET; ArcEngine; Geodatabase; COM

**摘要:** 为避免采用商业建模软件需要面对的二次开发问题, 使得建模软件更为贴合不同水司的需求, 提出了基于 EPANET 和 ArcEngine 快速构建供水管网建模软件的方法。该系统采用 Geodatabase 存储模型数据, 以 COM 技术对 EPANET 源代码进行改进和封装, 在 ArcEngine 的 .NET 框架中实现界面和大部分功能, 开发时间短, 费用低, 功能针对性强, 已在华北某省会城市得到成功应用。

**关键词:** 供水管网建模; EPANET; ArcEngine; Geodatabase; 组件对象模型

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.06.010 **文章编号:** 1002-8331(2009)06-0035-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 前言

近几年, 经济社会的快速发展对供水行业提出了更高的要求, 各大水司先后建立了供水管网动态数学模型<sup>[1-4]</sup>, 以提高自身的科学管理水平和服务水平。管网建模的过程一般分为两个方面: 收集数据和进行数学模拟, 其中数学模拟一般通过专用的供水管网建模软件进行。目前, 国内外比较成熟的建模软件主要有 WaterGEMS、InfoWorks WS、MIKE URBAN、三高宏扬供水管网水力模拟系统、上海敢创给水管网建模与动态仿真系统等, 各具特色, 都得到了广泛的应用。

然而, 每个城市的给水输配系统都有自己不同的特点, 管理人员对建模的理解与应用也不尽相同, 因此在使用上述成熟的建模软件时, 往往还需要根据实际需求进行必要的二次开发, 并增加相应的开发费用。基于此, 笔者在华北某省会城市的供水管网建模工作中, 并没有采用现有的建模软件, 而是根据该水司的实际需求, 以 EPANET 为核心的计算引擎, 以

ArcEngine 的 GIS 技术作为数据输入和结果展现工具, 开发了建模软件, 并在实际的建模工作中获得了成功应用。

## 2 系统总体架构

系统总体架构如图 1 所示, 其中模型数据库存储管网模型数据, 是进行管网模拟的基础, 支持多种数据库; SCADA 数据库存储 SCADA 监测数据, 用于模型校验; ArcEngine 提供了完善的 GIS 功能, 包括读写模型数据库、显示模型数据和各类分析等, 是系统开发的主要工具; 计算引擎采用 EPANET 经典算法, 以 COM 进行封装; 最后, 界面及其它功能在 .NET 框架中分模块进行构建。

这种架构保证了系统开发的灵活性, EPANET 和 ArcEngine 的应用使得系统开发的起点较高, 不用将精力耗费在管网模拟核心算法和 GIS 功能的开发上, 而可以专注于满足用户的实际需求, 有利于快速开发。同时, EPANET 的开源和

**基金项目:** 国家科技支撑计划(National Key Technologies R&D Program under Grant No.2006BAJ16B02-01); 天津市科技创新专项资金项目(Science and Technology Innovation Special Foundation of Tianjin under Grant No.06FZZDSH00900)。

**作者简介:** 于志强(1982-), 博士生, 主要研究方向: 供水系统优化; 赵新华(1953-), 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 环境工程系统优化与数学模拟; 程曙初(1969-), 博士, 系统架构师, 主要研究方向: 计算机软件技术及应用。

**收稿日期:** 2008-10-09 **修回日期:** 2008-11-14

ArcEngine 的许可分发机制保证了较低的基础软件购买费用,使得系统的总体开发费用较低。

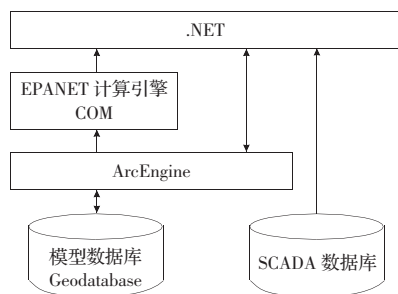


图1 系统架构图

### 3 管网模型数据库设计

#### 3.1 EPANET 数据模型

EPANET 默认的输入数据是文本形式的单一 INP 文件,管网的所有静态数据与动态数据以及模拟计算的相应配置都以节(section)的形式存储在该文件中<sup>[5]</sup>。这种输入数据可在任意支持文本文档的文字编辑软件中进行编辑,不需要第三方软件的支持,对系统的要求很低,但同时具有以下不足之处:

(1)安全性较差,并不适于存储大型管网数据。管网模型数据是模型的基础,需要长时间的调研、实测和校验才能最终建立起来,是水司的宝贵财产,因此安全性非常重要。而单一的文本文件显然不能满足这种需要。

(2)兼容性较差,与现存的地理信息系统无法共享数据。建立管网模型的水司一般已经建有供水管网地理信息系统,管网静态数据一般由地理信息系统中的数据经适当简化得到,并需要建立相应的更新机制。而由 GIS 数据向 INP 文件格式的转换需要开发专门的转换工具,兼容性较差。

因此,本系统并未采用 INP 格式存储模型数据,而是采用 Geodatabase 进行存储。

#### 3.2 建立 Geodatabase 管网模型数据库

Geodatabase 是 ESRI 公司在 ArcGIS 8 中引入的一个全新的空间数据模型,是建立在关系型数据库管理信息系统之上的统一的、智能化的空间数据库,支持几何网络,非常适合存储管网模型数据。

如表 1 所示,INP 文件存储 5 种类型的模型数据:管网要素数据、管网运行数据、水质数据、选项和报表数据、管网图和标记数据<sup>[5]</sup>。其中,管网要素数据存储管网各组成部分的属性数据,而这些组成部分的坐标数据存储在管网图和标记数据中。这两类数据决定了整个管网的地理位置、拓扑关系及其属性信息,可以用 Geodatabase 中的要素类(FeatureClass)分别进行存储,并建立几何网络以维护管网要素的拓扑关系。其他三类数

表 1 INP 文件数据类型与关键词列表

管网要素数据	管网运行数据	水质数据	选项和报表数据	管网图和标记数据
[TITLE]	[CURVES]	[QUALITY]	[OPTIONS]	[COORDINATES]
[JUNCTIONS]	[PATTERNS]	[REACTIONS]	[TIMES]	[VERTICES]
[RESERVOIRS]	[ENERGY]	[SOURCES]	[REPORT]	[LABELS]
[TANKS]	[STATUS]	[MIXING]		[BACKDROP]
[PIPES]	[CONTROLS]			[TAGS]
[PUMPS]	[RULES]			
[VALVES]	[DEMANDS]			
[EMITTERS]				

据没有地理信息,可以存储为 Geodatabase 中的表(Table)。据此,可以将 INP 文件转换为 Geodatabase 管网模型数据库,两者的对应关系如图 2 所示,最终建成的数据库的结构见图 3。对该数据库,有三点需要说明:

(1)由于本系统并未考虑水质模拟,因此水质相关数据并未包含在数据库当中;

(2)几何网络只包含 6 种要素:Junction、Pipe、Pump、Reservoir、Tank 和 Valve,本系统并未考虑 Emitter;

(3)对阀门和水泵有特殊处理。在 EPANET 管网模型中,管线、水泵和阀门都是连接(Link),用于连接节点(Node),具有类似的水力特性,在 EPANET 中用线段表示,并记录其起点编号和终点编号。而在 Geodatabase 中,尺度很小可以忽略其长度的管网要素往往抽象为点,只记录其空间坐标。根据这种原则,水泵和阀门在 Geodatabase 中以点要素的形式存储,而点要素是没有起点和终点的,与 EPANET 模型产生矛盾。

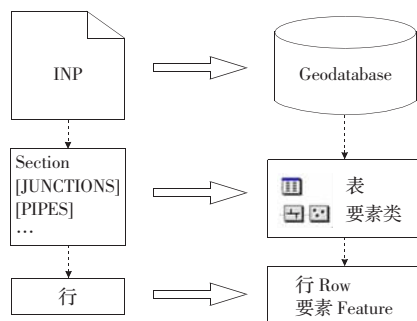


图2 INP 文件与 Geodatabase 管网模型数据库对应关系

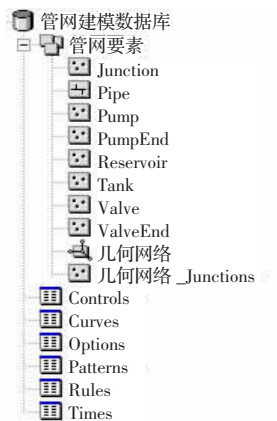


图3 Geodatabase 管网模型数据库在 ArcCatalog 中的结构显示

为解决这种矛盾,本系统在 Geodatabase 中针对水泵添加点要素类 PumpEnd,属性与普通节点 Junction 相同。每一个水泵对应 PumpEnd 中的两个要素,这两个要素的坐标和高度与水泵相同,基础用水量(BaseDemand)设为 0,编号由水泵的编号按照一定规则生成。这样,这两个点要素就分别成为该水泵的起始和终止节点,与 EPANET 模型取得一致。阀门的处理方法与水泵相同,添加点要素类 ValveEnd 即可。

### 4 利用 COM 封装 EPANET 计算引擎

#### 4.1 EPANET 开发方式简述

EPANET 为开发者提供了以下两种开发方式:

(1)API 调用。EPANET 提供了 epanet2.dll,封装了读取 INP 文件、获取和修改管网数据、进行水力和水质模拟、获取和输出

模拟结果等功能函数,开发人员可以在 Dephi、Visual Basic 和 Visual C++ 等多种环境中进行调用<sup>[6]</sup>,使用方便,对开发者的编程水平要求较低。但这种方式只能读取 INP 格式数据,其他格式的模型数据需要先进行转换。

(2)源代码再开发。EPANET 同时提供了 epanet2.dll 的 C 源代码,开发人员据此可以详细了解 EPANET 的模拟计算过程,并在此基础上进行再开发以满足不同的需求,灵活但对开发者的要求较高,需要掌握多种编程技术,开发周期长。

如前所述,本系统的模型数据采用 Geodatabase 数据模型进行存储,而 API 调用方式只局限于 INP 文件格式,因此,本系统只能采用第二种开发方式。

## 4.2 确定 EPANET 源代码再开发技术

对 EPANET 源代码进行再开发主要有两种方式:

(1)采用其他编程语言(C#,Java 等)重写源代码并添加新的功能;

(2)采用 C 或 C++ 在保留大部分源码的基础上添加新的功能。

在本系统的开发中,主要根据以下几个方面确定 EPANET 源代码再开发技术:

(1)满足读取 Geodatabase 模型数据库要求。读取 Geodatabase 需要 ArcEngine 的支持,ArcEngine 是 ArcObjects 组件跨平台应用的核心集合,支持 COM、Java、.NET 和 C++ 等多种开发框架,而 ArcObjects 是基于 COM 的组件库<sup>[7]</sup>;

(2)能够在 .NET 平台中方便调用。本系统的界面和大部分功能在 .NET 平台中构建,模拟计算作为系统的核心模块能够在 .NET 平台中方便地进行调用;

(3)满足快速开发的要求。为加快开发进度,节约开发经费,对源代码的改动要尽量少。

综合上述要求,本系统最终采用 ATL 构建 COM 的方式对 EPANET 源代码进行再开发,以 COM 类和接口的形式为 .NET 提供简便易用的管网模拟功能。

## 4.3 主要修改的实现

本系统主要在以下两个方面对源代码进行了适当修改:

(1)读取 Geodatabase 模型数据。EPANET 源代码中的 input1.c、input2.c 和 input3.c 通过逐行扫描的方式读取 INP 模型数据,并针对不同节的数据提供了相应的读取函数,如读取节点数据的 junedata 函数和读取管线数据的 pipedata 函数等。如图 2 所示,INP 中的节对应 Geodatabase 中的要素类或表,而节中的每一行对应要素类中的每一个要素或表中的每一行。因此,为实现读取 Geodatabase 模型数据的功能,需要对源代码做 3 处改动:

①将打开文件修改为打开 Geodatabase 模型数据库;

②将逐节读取的方式改为分别打开不同的要素类或表;

③将对每行的处理改为对要素类每个要素或表中每一行的处理。

按照上述方法对所有数据读取函数进行修改即可实现 Geodatabase 模型数据的读取。

(2)存储多时段模拟结果。EPANET 对延时模拟提供了两种水力模拟方式:一步式和分步式。其中一步式是所有时段全部进行模拟,用户只能得到最后时段的模拟结果;而分步式则是依次模拟每个时段,用户只能得到当前时段的模拟结果。而在实际应用中,往往需要一步模拟得到所有时段的结果,以便展现某一模拟结果随时间变化的规律,这就要求能够根据管网要素 ID 快速得到该要素的所有计算结果,或者根据管网要素 ID 和时间  $t$  得到该要素在某时刻的模拟结果<sup>[6]</sup>。为了实现这种对模拟结果的快速检索功能,有以下两种方案可供选择:

①每次模拟计算后,将所有计算结果存储到数据库中,需要时进行读取;

②在内存中构建特定的数据结构,将所有计算结果存储到内存中,通过该数据结构相应的检索方法获取需要的结果。

对于一个较大规模的管网,计算结果将占用较多的存储空间,有时甚至能达到 200 MB 或更多。这种情况下,如果采用第一种方案,在将所有模拟结果存储到数据库即硬盘空间上时,由于数据传输速率的限制(远远小于内存的读取速率),需要耗费较长的时间。而如果将计算结果存储到内存中则不存在这种问题,但需要内存空间足够大,以便在存储计算结果之后还能有足够的内存空间以维持建模软件的流畅运行。鉴于当前流行 PC 机的内存配置已经到达 2 GB 或更多,本系统最终选择第二种方案存储模拟计算结果,对于 Link 和 Node 的模拟结果分别建立存储结构,并采用哈希表存储同类型结果以便快速检索。

## 5 功能设计及其实现

### 5.1 功能设计

按照水司的实际需求,本系统的主要功能如图 4 所示,可以分成以下 6 个功能模块:

(1)数据输入输出模块。数据输入用于从其他类型的数据中获取模型数据,主要包括 GIS 数据和 INP 格式数据,可以减少重复数据的输入,有利于建立数据的同步更新机制;数据输出可以将属性信息、各个时段的模拟结果等有选择的输出到打印机和电子表格。

(2)模型编辑模块。提供对模型图形和属性数据的编辑功能,用于模型的日常维护。主要包括绘制和删除管线、节点和水泵等管网模型要素,并修改其相关属性。为方便用户的输入,系统还提供要素捕捉和批量导入的功能。

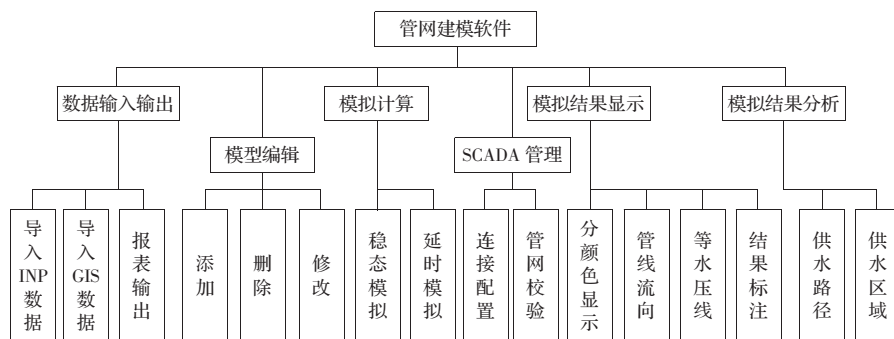


图 4 系统功能设计图

(下转 130 页)