

基于 EPANET 和 ArcObjects 的在线水力模型系统开发

班福忱, 黑月明, 吴丹

(沈阳建筑大学 市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要: 目前自来水公司普遍存在技术水平和管理水平偏低的现象,因此推进自来水公司信息化管理已经成为供水行业发展的必然趋势。针对自来水公司的信息化需求开发了基于 EPANET 和 ArcObjects 的在线供水管网计算系统,该系统把 EPANET、ArcGIS 和数据库有效地结合起来,然后通过 .NET 框架封装为服务最终发布到 Web 平台上。该系统功能性强、开发成本较低,并且可以通过连接 SCADA 监控数据实时计算供水管网的运行状态,为供水管网模型的实时运行调度提供指导,符合供水行业当下需求。

关键词: 自来水公司; 在线水力模型系统; EPANET; ArcObjects

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)03-0057-04

Online Hydraulic Model System Based on EPANET and ArcObjects

BAN Fu-chen, HEI Yue-ming, WU Dan

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: The technical level and management level in water supply companies are generally low; therefore, it has become an inevitable trend in the water supply industry to promote the information management system in water supply companies. Based on EPANET and ArcObjects, an online water supply network calculation system was developed according to the requirement of the water supply company. This system integrated EPANET, ArcGIS, and database effectively, and provided services to the Web platform through the .NET framework. The system has various function and low development cost, and is able to connect the SCADA monitoring data to calculate the operating status of the water supply network in real-time. This study provided guidance for the real-time operation and scheduling of water supply network models, and satisfied the needs in the water supply industry.

Key words: water supply company; online hydraulic model system; EPANET; ArcObjects

近年来,已经有许多自来水公司提出要建立供水管网在线动态水力计算模型来提高供水行业的科学技术水平和服务管理水平^[1,2]。该模型建立大致分为数据收集、管网计算和发布服务等过程。数据收集阶段主要是收集供水管网的基础属性数据(静

态数据),目前可以采用 ArcMap 绘制供水管网拓扑图的方式把基础属性数据和供水管网的拓扑关系结合起来。管网计算阶段就是把收集到的数据导入到 EPANET 计算引擎中进行水力计算进而获得供水管网的计算数据,之后通过数据库存储的方式把静态

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(20170540744); 住房和城乡建设部 2016 年科技计划项目(2016-K3-026); 辽宁省教育厅科技计划项目(LJZ2017017)

数据和计算数据储存起来。发布服务阶段需要把数据库中储存的数据通过 ArcObjects 的方式开发成动态 GIS 服务并发布到 Web 平台上,最终实现数据结果的在线动态展现。目前市面上有许多较为成熟的建模软件,例如 WaterGEMS、InfoWorks 等,这些软件都具备二次开发的条件,但如果采用这些商业建模软件作为核心计算引擎势必会增加后期二次开发的整体费用。在这种情况下,采用代码开源的 EPANET 作为核心计算引擎的优势就非常明显,并且可以满足自来水公司的实际需求。

1 系统总体架构

系统总体架构如图 1 所示。ArcGIS 基础数据库存储供水管网的静态数据,它是构建水力模型的基础;EPANET 计算引擎利用 ArcGIS 供水管网基础数据进行水力计算,得出水力计算结果;Oracle 数据库存储供水管网基础数据和计算数据;通过 ArcObjects 开发方式把 Oracle 数据库中的数据进行整理和分析,输出为地理数据库存储在 ArcSDE 中;ArcSDE 具有强大的地理数据管理功能,并且可以实现多用户并发操作;SCADA 数据库存储的是监控数据,主要用于后期水力模型的校验。该架构结构分明、层次清晰且具有较高的灵活性,利用 EPANET 和 ArcObjects 可直接进行后期开发。此外,EPANET 本身属于开源的计算引擎,在开发过程中可以节省费用,整个系统的开发成本降低许多。

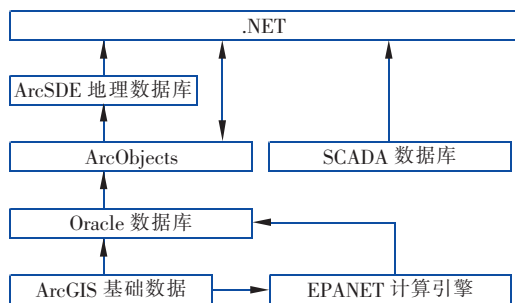


图 1 系统架构

Fig. 1 Framework of online hydraulic model system

EPANET 是由美国环保署开发的用于对供水管网进行水力平差计算的建模软件,它不仅具有跟踪延时阶段管道水流、节点压力、水池水位高度以及整个管网中化学物质的浓度等重要功能,还可以进行水龄的模拟和对供水路径进行追踪,是进行输配水系统设计、运行和管理等工程应用不可或缺的重要组成部分。EPANET 虽然具有进行水力计算的许

多功能,但并不具备对水力模型进行在线运行和管理的功能,开发具有高度实用性的在线水力模型计算系统还需要结合具有强大的地理信息管理和在线发布水力模型功能的产品。ArcObjects 作为 ArcGIS 系列产品中的核心组件库,可以全面管理管网空间数据和属性数据,推进供水行业自动化管理,并实现管网数据动态更新,保持信息实用性,方便对供水管网的节点和管线进行定位和查询。

采用 EPANET 和 ArcGIS 产品中的 ArcObjects 通用开发平台进行结合开发,既弥补了 EPANET 不能进行数据管理的缺点,又弥补了 ArcObjects 不能进行管网水力计算的不足,满足了供水行业对供水管网进行自动化管理的要求。

2 水力模型系统的建立

2.1 工程背景

以 Z 市高新区供水管网的基础数据、营收数据和监控数据为基础建立水力模型。河南省 Z 市高新区供水管网总长超过 200 km,主要采取自来水公司水源井的方式供水,区内由 Z 高新梧桐自来水厂(供水总规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)负责供水,基本实现了高新区内供水管网全覆盖。水厂采用现代化管理,厂内供水设备先进完备,供水数据收集和整理具有高度的全面性和准确性,有利于构建在线水力模型系统平台。区内有 70 余个压力监控点,并且随着城区不断发展,未来会增设更多的压力监控点,对区内供水情况的把控会更准确、可靠。

2.2 EPANET 数据

通过对 Z 市供水数据的收集和整理,在 EPANET 建模软件中建立水力模型,并把水力模型导出成 EPANET 的输入文件,方便之后对水力模型进行二次开发。EPANET 输入文件是一个 INP 类型的输入文件,是文本形式的文件,管网的基础数据和拓扑关系都存储其中,EPANET 计算引擎在进行水力计算前需读取该输入文件中的数据。INP 文件中提供了多个属性标签,并支持自定义修改。该 INP 文件中的属性数据可通过编程来自定义修改,开发者可根据实际数据来定制符合实际情况的管网数据。

INP 中不同的属性数据之间通过属性标签来区分,这样不利于后期数据的查询和管理。一种可行的办法就是在把管网数据存储到地理数据库之前先将 INP 输入文件的数据写入到 Oracle 数据库中,这样在采用 ArcObjects 开发的过程中就可以从 Oracle

中读取格式规范的管网数据,方便后期进行数据的查询和管理。因此,本系统采用先把 INP 数据存储到 Oracle 数据库的方式来存储管网数据。INP 文件中包含 5 种类型的模型数据:管网组件数据(供水管网中各个组成设备的属性数据)、系统运行数据(管网运行中设备工作参数和管网控制条件)、水质数据(管网运行中影响水质变化的参数)、报表数据(管网运行结果)和管网标记数据(管网要素的具体坐标数据,与管网的拓扑结构密切相关)。

2.3 地理数据库管网模型建立

存储在 Oracle 中的数据不具有地理属性,发布水力模型系统前需把 Oracle 中的数据转入地理数据库(Geodatabase)。通过建立管网建模数据的要素数据集(Feature dataset)来构建供水管网地理数据库,在要素数据集中创建有关管网各个设备的静态数据和计算数据的要素类。

在 EPANET 管网模型中,管网被分成点类型和线类型。EPANET 把管线、水泵和阀门当作线类型来处理,把水泵和阀门看成是两个重合端点的长度为零的管线,由于在 Geodatabase 无法识别出这些长度为零的管线,为了便于对管线数据进行处理,需把这两个重合端点的坐标进行微小的偏移来清除长度为零的管线,两个端点分别作为水泵和阀门的起始点和终止点,并单独创建阀门端点和水泵端点两个要素类。通过上述方法解决了模型数据在 Geodatabase 中的显示问题,准确地把模型数据在 Geodatabase 中表达出来。

3 EPANET 计算引擎调用

EPANET 作为一种开源程序,为程序开发人员提供了便捷的开发途径。开发人员可以利用 COM 组件编译出 EPANET 的动态链接库(DLL),动态链接库中封装了读取 INP 文件、水力计算和水质计算等主要方法,开发人员可以通过多种计算机语言对其中封装的各种方法进行调用,减少了程序开发的工作量。这种方式也存在一定的限制性,原因在于该动态链接库只能读取 INP 文本数据,直接把 INP 文本数据转换成 Geodatabase 存在一定困难,因此本系统采用以 Oracle 作为中间数据库关联 INP 数据和地理数据库的方式实现供水管网数据在地理数据库中的存储,详细过程如下:INP 文件中存在着许多属性标签,把每一个标签看成是 Oracle 数据库中的一张表(Table),INP 中每一个标签下都各自含有特定

属性,这些属性就作为表中的列,INP 中属性标签下行对应表中的行。通过编写程序把 INP 中管网数据以表格的形式存储到 Oracle 数据库中。同样地,通过调用 EPANET 计算引擎计算出的结果数据(节点压力、节点流量、管段流量、管段流速和水头损失等水力数据)也采用相同的方式存储到 Oracle 数据库中,此方法可把 INP 数据进行规范化处理,方便 Geodatabase 从 Oracle 数据库中读取管网数据,实现从 Oracle 数据库到 Geodatabase 的转换。

4 ArcSDE 管理地理数据库管网模型

由于供水管网在计算过程中产生的数据量非常庞大,并且存在多用户并发对水力模型系统进行操作的问题,在这种情况下需通过 ArcSDE 来管理地理数据库。ArcObjects 的 API 中提供了许多调用 ArcSDE 的方法,通过 ArcObjects 开发可以实现连接 ArcSDE、创建地理数据库、管理地理数据库等常用操作。程序采用 ArcGIS for .NET 提供的开发框架,通过调用 ArcObjects API 进行连接 ArcSDE、管理和更新地理数据库等操作,得到满足供水管网模型需求的地理数据库。

5 水力模型系统发布

ArcGIS for Server 是一款功能强大的服务器端 GIS 产品,主要功能是提供基于 Web 的 GIS 服务,把含有管网数据的地理数据通过 ArcGIS for Server 发布到 Web 平台上来展示水力模型系统,并且支持用户自定义操作,动态 GIS 服务支持数据实时更新,水力模型系统的管网数据可根据后台实时 SCADA 监控数据进行更新,导入 SCADA 监控数据后,GIS 服务可实时获取监控数据的变化情况,根据 SCADA 监控数据和动态 GIS 服务的实时更新功能实现管网数据的动态更新,保证水力模型系统的数据具有实时性和准确性。GIS 系统具备数据分析功能,可以把不同的数据通过颜色和标记的方式进行区分,管网中任意属性数据都可以通过 GIS 系统分析功能显示在地图上,用户在使用在线水力模型系统时可以直观地了解供水管网在运行过程中的实时情况。

为了满足供水行业对供水管网的功能需求,本系统根据市场需要开发了以下模块:

① 数据导入、导出模块。根据绘制好的供水管网拓扑图导出得到 INP 数据,通过 Oracle 对 INP 数据进行存储进而转换为 GIS 数据,把 EPANET 得到的水力数据储存成 GIS 数据,可以实现数据同步

更新机制,并能以报表的形式导出各个模拟时间点的属性数据。

② 模型编辑模块。系统支持用户对管网模型基本数据进行添加、删除和修改操作,还支持用户对管网运行数据的操作,例如水泵开关、水泵运行曲线以及阀门开关等操作,系统具备较好的灵活性。

③ 模型计算模块。该模块是系统的核心部分,可进行供水管网瞬时计算和延时计算,并在前端平台上显示出各个时间的计算结果及 GIS 图展示。

④ SCADA 模块。GIS 地图中分布了压力和流量监测点,系统支持监测点中 SCADA 数据的读取,可以把 SCADA 数据和模拟计算的数据进行对比,实现对管网模型的校验功能。

⑤ 计算结果展示模块。通过 ArcGIS API for JavaScript 可对模型计算后生成的 GIS 地图进行标记和渲染操作,如按色级显示管网属性数据,动态和静态显示水流流向、节点供水路径、水源供水分区、压力等值分布图和栅格渲染图等功能(见图 2、3)。

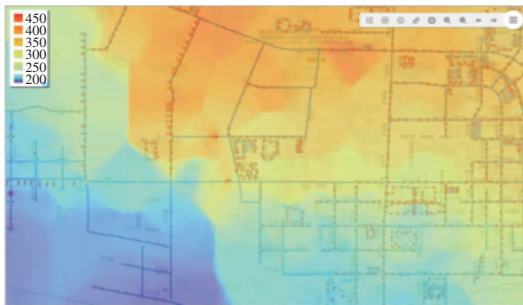


图2 在线水力模型系统平台中的压力渲染图

Fig.2 Pressure rendering chart of online hydraulic model system

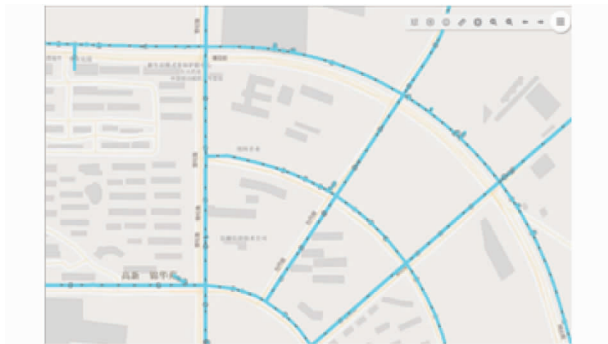


图3 在线水力模型系统平台中的动态水流方向

Fig.3 Dynamic flow direction of online hydraulic model system

图2是经过 GIS 栅格分析后生成的压力渲染

图,获取水力模型计算出的节点压力值,执行 GIS 系统平台分析功能,对不同压力区间用不同的色级标识,并根据计算所得压力值的变化进行动态展现,生动展示出供水管网的压力分布情况。图3是在水力模型计算完成后,系统根据计算得出的管线流量正负以及管线的起止点编号并结合供水管网的拓扑关系绘制出的供水管网在运行过程中的水流方向。

6 结论

针对目前供水行业在城市供水管网管理方面存在的问题,并通过对 EPANET 和 ArcObjects 各自的优缺点进行分析和对比,首次提出了基于 EPANET 源码和 ArcObjects 快速开发在线水力模型计算系统的方法,通过建立地理数据库代替 INP 文本格式的数据,提高了数据的规范性,实现了管网数据的可管理性和更新性;通过 COM 技术把 EPANET 源码编译成 DLL 动态链接库,之后在 .NET 平台中通过 ArcObjects 开发出水力模型系统,最后通过 ArcGIS for Server 实现了系统的在线操作和管理,对供水管网的规划、管理和调度具有积极的指导作用。

参考文献:

- [1] 李树平. 基于 EPANET 本地化的给水管网教学软件开发[J]. 给水排水, 2011, 37(7): 161 - 164.
- [2] 谭奇峰, 高金良, 刁美玲, 等. 给水管网压力驱动水力模型构建及降漏应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(15): 66 - 70.



作者简介:班福忱(1976 -), 男, 辽宁阜新人, 博士, 副教授, 从事给排水系统优化研究。

E-mail: banfc@163.com

收稿日期: 2017 - 08 - 12