

在 GIS 平台上建立给水管网水力模型的方法研究

陈 凌, 刘遂庆

(同济大学 污染控制与资源化研究重点实验室, 上海 200092)

摘要: 在利用 GIS 建立和表达给水管网水力模型的研究中, 传统方法是首先将 GIS 中的管网信息输出到外部数据库, 再利用水力建模软件对数据进行处理和计算, 最后将结果导回 GIS 中进行表达。这种方法容易导致数据在传输过程中发生错误或丢失, 也不能保持模型和 GIS 系统的同步更新。本文通过扩充 ArcInfo 平台的功能直接在 GIS 中建立水力模型, 不但避免了以上问题, 而且可以充分利用了 GIS 系统强大的空间分析和表达功能, 扩展了水力模型适用的范围。与传统建模方法相比, 该方法使用更简单, 计算效率更高, 值得推广。

关键词: GIS, 给水管网, 水力模型, ArcInfo, 空间分析

1. 现行给水管网水力建模的途径和问题

传统利用 GIS 建立和表达给水管网水力模型的方法主要分为以下三步:

① 数据提取和输出 (“Extract & Export”): 根据水力建模的需要, 利用 GIS 强大的导出功能, 将 GIS 图形文件中的属性数据 (GIS 表文件) 有选择性地导出到任一种外部数据库 (DBASE、FoxBASE、Visual FoxPro、Access、Excel、Paradox、SQL、Oracle、Sybase 等) 中, 例如可将管段属性 (管段编号、起始节点、终止节点、计算内径、配水系数、粗糙度等) 和节点属性 (节点编号、节点地面标高、集中流量等) 分别导出到 SQL 数据库中, 作为管网水力分析程序的输入文件, 以进行水力分析^[1]。

② 数据处理和计算 (“Disposal & Calculation”): 选择一种水力建模软件, 如 Epanet、Infoworks、Bentley WaterCAD、同济宏扬等, 设置必要的初始边界条件, 进行延时水力模拟计算; 在计算之前, 根据使用的水力建模软件的需要, 对导出的数据文件格式进行相应的处理, 以转换成水力建模软件能够识别的格式。

③ 数据导入和表达 (“Import & Expression”): 计算完成后, 在 GIS 中增加相应的字段和空间, 将计算结果导回 GIS, 利用 GIS 平台集成的显示模块进行表达。

该方法的缺陷在于:

① 数据丢失或发生错误: 数据传输的中间过程多, 数据可能会丢失或者发生错误; 加上 GIS 数据的来源多数据量大, 多次转换后数据错误可能会放大, 这将严重影响计算精度。

② 数据无法同步更新: 水力模型需对 GIS 的数据进行简化, 而简化的步骤和过程一般没有存贮。因此即使 GIS 数据仅有微小变动, 水力模型也无法做到及时自动同步更新。当模型运行一段时间后现场监测量与模拟量之间的差值会超出允许精度范围, 这样可能需要废除掉原来的模型, 重新进行管网建模。

2. 改进的方法和途径

ArcInfo 是目前最流行的 GIS 开发平台之一。建立给水管网 GIS 并直接利用 GIS 建立给水管网微动态水力模型, 实现管网工况实时监测、管网异常诊断处理、辅助调度等功能是国际先进的方法。我们在开发某自来水公司给水管网 GIS 和水力模型的过程中利用 SQLplus 和 C++ 语言实现了在 ArcInfo 平台上直接建立了给水管网水力模型 (数据库采用 Oracle8.15), 解决了上述问题, 效果良好。

2.1 数据的管理和存贮

尽管水力模型的部分静态数据来源与 GIS 重合, 但是它又有很多其他的需求^{[2][3][4]}:

(1) 给水管网是一个动态的系统, 它的某些数据如节点流量、水泵开关状态, 是随时间变化的。为了反映真实的管网状态, 水力模型也必须是动态, 是依据一定的时间步长变化的 (我们取十五分钟, 因此一天分为 96 个时段)。

(2) GIS 中的点、线数据不需要作拓扑分析, 而水力模型中不允许出现多个管网, 必须作拓扑检查。

(3) 水力模型是对 GIS 中数据的简化和抽象, 可以根据需要选择部分管网进行水力建模, 这样可以大大提高计算的速度。

因此, 首先我们要进行数据分析, 判断是共享数据还是非共享数据、是静态数据还是动态数据, 并进行数据分层; 其次, 我们要对数据选择, 判断哪些数据应该进入水力模型, 那些不进入水力模型, 并进行标记; 然后我们就可以进行水力模型的构建和运行, 得出计算的结果并将计算结果返回到 GIS, 供 GIS 进行空间分析、处理和表达。

由于该 GIS 平台采用的数据库是 Oracle8.15, 所以必须在 Visual C++ 下开发 Oracle 库接口。本文采用的方法是在 Visual C++ 中嵌入 Oracle 支持的 SQLplus 语句, 这就是所指的 Pro*C/C++ (本文简称 PROC)。PROC 支持嵌入式 SQLplus 块等直接调用 Oracle 库, 将过程化语言和非过程化语言相结合, 形成一种更强的开发工具, 可开发出满足各种复杂要求的优化应用程序, 执行效率高。但缺点是应用程序无法向异构数据库平台移植。

我们编制了一个数据管理模块, 它自动在 Oracle 数据库中针对节点、管线、水泵、阀门、水池等数据分别建立三个层, 它们分别是 GIS 层、水力静态数据层和水力动态数据层, 如表 1 所示。两个水力数据层记录水力模型中与 GIS 无关的数据, 区别是静态数据层记录与时间无关的属性数据, 动态数据层则记录随时间改变的参数数值。GIS 层中的数据远远不止表中所列, 表 1 中第二列所列仅仅是 GIS 中与水力建模相关的数据。各层中的数据通过相同 ID 号联系。(注: 我们设定水泵、阀门是附属在管线的设备, 水池等是附属在节点上的设备。)

表 1 数据库结构设计表

	静态数据信息		动态数据信息 (96 时段)
	GIS 共享数据	水力模型	
节点层	节点 ID、坐标、标高	节点 ID、节点类型	节点 ID、压力, 流量, 水龄, 水质
管线层	管线 ID、管径、管长、 管材、埋设时间	管线 ID、阻力系数、水 力坡度、计算管径	管线 ID、流速、流量、水头损失
水泵层	水泵 ID、附属管线 ID	水泵 ID、水泵特性参数	水泵 ID、工作状态 (开启用 1 表示, 关闭用 0 表示)
阀门层	阀门 ID、附属管线 ID	阀门 ID、阻力系数	阀门 ID、开启度 (完全开启用 1 表示, 完全关闭用 0 表示)
水池 (水塔、 水库、吸水井)	水池 ID、附属节点 ID、 面积	水池 ID、最低水位、最 高水位	水池 ID、水位

2.2 数据录入

因为 ArcInfo 是利用 ArcSDE 空间数据引擎将地理特征数据和属性数据统一地集成在关系数据库管理系统中。ArcSDE 存在于 Oracle 数据库的外部, 充当数据库和 GIS 之间的应用网关。因此我们编制了一个内嵌 ArcInfo 的数据录入模块, 通过这个模块调用 ArcSDE 空间数据引擎, 以便在 ArcInfo 的界面输入数据。数据录入根据数据的属性自动将数据存入不同的层。

为了保证输入数据的质量和精度, 我们采用了上海市测绘院提供的上海市北 1: 100 的电子地图作为底图, 在该地图上进行数据的输入, 节点坐标误差小于 $\pm 2\text{m}$ 。该电子地图采用 ArcInfo 支持的 Geodatabase 格式, 从而保证了数据与电子地图在坐标系统、地图比例尺、分类系统、设计方式上的一致性。

在表 1 中, 除了节点压力 (管网中必须至少有一个已知压力点)、节点水龄、节点水质、管线流速、管线流量、管线水头损失、水池水位等动态数据外, 其他数据都是必须输入或在输入过程中自动生成的。自动生成的数据包括 ID、节点坐标、节点标高 (利用已知的控制点通过插值法生成的)、管线长度、管线水力坡度等; 其他数据则是必须输入的且不能为空的, 如管径、管材、埋设时间等。

但是我们在录入往往遇到原始资料缺失或不全的情况。为了避免输入失败, 我们在数据录入模块中添加了自动输入缺省值的功能, 缺省值设置如表 2 所示。为了将这些数据与其他数据区分开来, 我们在 GIS 中每行数据添加了一个布尔型备注项。备注项默认值为 1, 表示“数据准确”。设置缺省值后该行数据的备注项中会由 1 变为 0, 表示“数据可疑”。

项目	缺省值	项目	缺省值
节点类型	已知流量点	水泵阻力系数	10
管线管径	300mm	水泵工作状态	1
管线管材	球墨铸铁管	阀门阻力系数	0.24
管线埋设时间	2000 年 1 月 1 日	阀门开启度	1
管线阻力系数	100	水池面积	2000m ²
管线计算管径	300mm	水池最低水位	0.6m
水泵静扬程	35m	水池最高水位	5m

2.3 数据的维护

数据的准确性,是水力建模成功的关键。在工作量巨大的输入过程中,不可避免存在这样或那样的错误。如管线缺失、阀门缺漏、管径填写错误等等。我们利用 ArcInfo 强大的空间拓扑结构检查功能,通过增加设置一些简单的判断条件,编制了一个数据自动检查模块,进行了自动分析和处理^[5],处理过程分为三步:

① 邻接性的建立:主要利用 Spatial Analysis 功能,确定管段与管段以及管段与节点之间的邻接关系。邻接关系存贮在空间索引表中。

② 连通性的检查:主要利用 Network Analysis 功能,逐一检查所有管线和节点,排查孤立管网和重合管网等。

③ 逻辑性的检查:主要利用 Database Themes 功能,通过添加一些约束条件,对管线直径进行逻辑检查。例如管网末梢是不可能出现大口径管道,管网中是不可能出现非标准管径的管道(如 175mm),长距离直线大口径管中间是不可能出现小口径管等等。

查找出所有错误以后,按错误性质的不同,数据检查模块在 Oracle 数据库中自动生成不同的错误数据 ID 索引表。我们根据 ID 索引表人工进行属性的单个或批量修改。

2.4 建模数据的选择

因为城市供水管网非常庞大,如果不加选择地把所有数据代入水力模型,计算会变得非常困难。因此我们编制了一个数据选择模块,根据实际的需求,对 GIS 数据进行筛选。其原理是:在 GIS 中每行数据添加了一个布尔型标签项。标签项默认值为 0,表示“不参与水力建模”。数据选择的过程就是进行数据标记的过程。

① 管线的选择:在进行水力建模前,首先会要求对进行水力建模的最小管线管径进行选择,如 300mm、500mm、800mm 等。确定后被选择数据的标签项由 0 变为 1,表示“参与水力建模”。管线选择后会对所标记的新管网再次进行拓扑结构检查,防止出现新的错误。

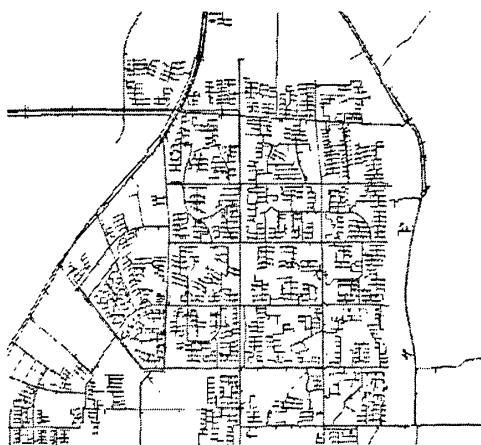


图 1 管线自动选择示意图

(粗线表示被选择,细线表示未被选择)

② 节点的选择:进行拓扑分析,与被选择管线相连的所有节点进入水力模型,它们的标签项由 0 变

为 1。

③ 阀门的选择：因为管网中的阀门一般不进行操作，所以除了特殊情况外，只选择水厂和中途加压泵站的阀门进入水力模型外，它们的标签项由 0 变为 1。

④ 水泵、水池的选择：所有的水泵、水池进入水力模型标，标签项会由 0 变为 1。

2.5 节点流量的分配

在水力模型进行计算前，先要进行节点流量的分配。因为水表一般是位于末端管网的 DN75 或 50 的小口径管线上的，这些管线不参与水力建模，所有我们要把所有水表索引信息从小口径管线移到参与建模大口径管线上。比如我们选择 DN300 以上的管线建模，把水表信息逐级上溯，直到遇到 DN300 的管线为止；如果在水表逐级上溯的过程中遇到由 DN300 以下的管线组成的环，即有两条以上上溯路径，则任意选择一条上溯，然后再重复以上过程，直到遇到 DN300 的管线为止。此时水表信息都已经移到 DN300 的管线上，所以将水表信息由附属管线改为附属节点（前节点或后节点皆可）。这样节点的用水量就是附属于它的所有水表的累计流量。这个过程称为“水表上溯”。以上工作由节点流量分配模型自动进行。对于未计量用水，采用人工根据管长进行比流量分配。

6. 水力模型的运行和效果

管网和节点流量确立后，我们只需要再根据实际运行调度数据确定水泵和阀门的运行工况就可以进行水力平差计算了。水力平差的原理、公式、方法见《给水管网系统理论和分析》，这里不再赘叙^[6]。因为 Epanet 的水力建模模块是公开的，我们将其编译成 DLL 动态链接库，集成到我们编制的水力计算模块中。该模块在后台自动运行，将计算出来的节点压力、节点水龄、节点水质、管线流速、管线流量、管线水头损失、水池水位存入相应的水力动态信息层。根据计算的结果我们可以直接在 ArcView 绘制自由水压等压面图、流速供水区域分布图、水龄分布图、水质分布图等各种动态图形。图 2 是用 ArcView 绘制供水区域分布示意图。图中有 5 个水厂，其供水区域分别用不同颜色表示。为判断节点所属的供水区域，我们在图中做了如下设定：某时段该节点 50% 以上的用水量来自于某水厂，则此时段该节点属于该水厂的供水区域。



图 2 供水区域分布示意图

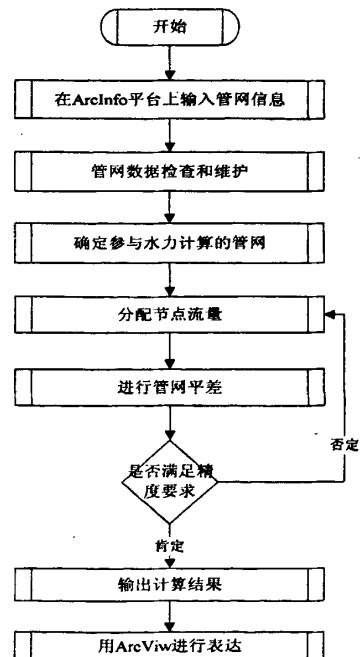


图 3 技术流程

3. 结论和展望

综上所述,我们在给水管网 GIS 开发过程中,借助 SQLplus 和 visual C++开发工具,通过开发了数据管理、数据输入、数据检查、数据选择、节点流量分配、水力计算等六个模块,成功地利用 GIS 平台直接建立了给水管网水力模型。技术流程图如图 3 所示。与传统方法相比,在 GIS 平台直接建立水力模型有如下优势:

① 操作界面统一,无论是输入数据、检查数据、水力计算还是演示结果都在 ArcInfo 平台上进行,操作简单方便,充分利用了 GIS 平台的功能;

② 节省了数据存储空间,提高了数据利用效率,而且省去了 GIS 和水力模型之间数据交换和数据同步更新的问题,数据的安全性和完整性也得到了更好的保障。

该系统在实际应用中取得了很好的效果,帮助自来水公司提高了管理水平。同时,我们也为扩充 ArcInfo 系统的功能找到了很好的办法,实践证明该方法也可以很容易地推广到 ArcInfo 在其他方面的应用上去。

参考文献

1. 赵新华,李霞. 管网水力分析数据处理的新途径[J]. 中国给水排水, 2003, 19 (9): 67-68.
2. 王丹. GIS 技术在城市供水管网中的应用[J]. 武汉大学学报, 2004, 37 (2): 92-94.
3. 朱晓红,朱白伟,刘春茂. 城市给水管网管理信息系统的设计[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26 (2): 126-128.
4. 于静洁,赵洪宾. 城市给水管网管理信息系统的建立[J]. 同济大学学报, 2005, 33 (3): 339-341.
5. 江建华,李素贞,李杰. 基于 GIS 的城市生命线地震反应仿真研究一以上海市供水系统为例. 工程抗震, 2001, 3 (1): 37-42.
6. 赵洪宾. 给水管网系统理论和分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

作者简介:

陈凌 (1978—), 男, 湖南湘潭人, 博士研究生, 研究方向为城市供水管网优化设计研究。

通信地址: 上海市四平路 1239 号同济大学博士 4 号楼 601 室

电 话: 13761184216

电子信箱: jackychenling@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50409016)