

北京工业大学

硕士学位论文

排水管网水力模型与地理信息系统（GIS）集成技术研究

姓名：张红旗

申请学位级别：硕士

专业：市政工程

指导教师：周玉文

20090501

摘要

目前我国城市建设发展迅速,使城市水体保护与可持续利用越来越受到重视,相应的雨水排除和处理设施也越来越完善,排水管网及其附属设施的信息量越来越大。但是,在我国绝大多数城市中仍采用较落后的人工管理方法来管理城市排水管网,其弊端显而易见。为充分管理和合理应用越来越多的排水管网信息,建立一个完整、准确的排水管网 GIS 系统模型,提高排水管网管理的效率、质量和水平,是现代城市发展的要求。

本文以排水管网水力模型与地理信息系统的集成技术为研究内容,以暴雨管理模型(SWMM)作为管网微观模型方面的研究对象,以 ArcGIS 作为研究的平台,用二次开发方法对 SWMM 和 ArcGIS 进行了系统集成。首先,研究了城市排水管网信息管理体系的框架、结构和系统应具备的功能。其次,分析了排水管网属性数据和图形数据的特点,研究了排水管网属性数据和图形数据的来源、获取和转换的方式,介绍了系统数据库的组织模式和结构,并在图形数据和属性数据之间建立了连接和双向更新机制。然后,研究了 ArcGIS 与 SWMM 各自的数据接口和两者之间数据传递与转换的方式,并将两者紧密地结合在一起。最后,分析了绘制排水管网横、纵剖面图所需的数据和算法,并结合 ArcGIS 强大的数据存储和空间分析功能,开发了基于 ArcGIS 技术动态生成、显示横纵剖面图的功能。

系统应用于北京市石景山区老山地区排水系统模拟中,充分证明该系统能用于排水管网的日常管理和系统的风险评估。并将自行开发的系统与世界比较成熟的软件(DHI 公司的 Mike Urban)进行比较,从系统界面、基本操作、开发成本等方面详细论述两个系统的优缺点。突出了自行开发系统操作简单,开发成本相对较低等特点。

关键词 排水管网; 地理信息系统(GIS); 暴雨管理模型(SWMM); ArcGIS; 地理空间数据库

ABSTRACT

With the rapid development of urban construction, the protection of water environment is more and more important, the rain water remove and treatment establishment has been gradually completed. And it brings a lot of data of draining pipe network and appurtenant works. It is very difficult to manage urban underground network by handwork method. It is necessary for modernization city to establish a perfect, exact draining pipe network GIS(Geographical Information System) to enhance management efficiency and quality of draining pipe network.

The content of this paper, is the technology of integrating drainage system model with Geographic Information System(GIS). In a way of studying the model of drainage system, the object is Storm Water Management Model (SWMM). At the aspect of working over GIS, the object is ArcGIS. The method of integrating SWMM with ArcGIS is the second development using the technology of Dynamic Linked Library(DLL). Firstly, investigation had been done on the drainage network system's structure and system function. Secondly, analysis had been carried out on the system's properties as well as its geometrical information, the sources, process of obtaining as well as the transformation methods. A database schema and structure had been introduced; a connection between network's property information and geometrical information had been established and could be updated in both directions. Then, the transformation and transmission process between ArcGIS and SWMM of its inter-connection properties was investigated. Lastly, combining with ArcGIS, a new functionality of ArcGIS for dynamic generation of the longitudinal and vertical profile of the drainage network was created.

This model has been used in the management of the drainage system of Shijingshan. It has been proved by practice that this model can be used as the daily management and scientific evaluation for the drainage system. And I will compare the system that developed by myself with the mature software (Mike Urban of DHI) of the world. Considered the advantages and disadvantages of the basic interface and the development cost, I have come to the conclusion that the system developed by myself is simple to operate and cost less money.

Keywords Drainage network system, Geographic Information System (GIS), Storm Water Management Model (SWMM), ArcGIS, Geodatabase

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名：张红旗 日期：2009.6.4

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名：张红旗 导师签名：周玉波 日期：2009.6.5

第1章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

城市排水管网系统是重要的城市基础设施,其任务是收集与输送城市污水和城市降雨、融雪产生的径流,它具有保护环境和城市减灾的双重功能。随着城市建设进程的加快,市政排水事业也逐步得到了迅速的发展。随之带来了大量、复杂、繁琐的管理工作,原来仅凭经验、图纸的管理方法已不能适应当前的排水管理的需要^[1]。系统在排水设施基础资料的数字化、现代化,动态信息的自动化、信息化的基础上,实现排水设施数字化信息管理、管理调度、事故处理、规划设计的自动化,并逐步扩大规模、开发功能模块,实现排水系统的数字化、智能化的专家管理运营调度系统,对排水设施进行科学的长期规划、合理安排、准确调度、水力状况模拟已成为城市排水系统发展的一种趋势^[2]。

1.1.1 现代城市突显出的排水新特点

(1) 城市内洪涝灾害

随着城市化进程的加快,首先,由于屋顶和硬质地面等不透水面积的大幅增加,出现地表入渗水量变少、地表粗糙系数变小、洪水总量增多、洪峰流量增加、洪水汇水时间缩短、地表径流量增大、汇流速度变快、洪峰出现时间提前等,使得排蓄条件加剧恶化,城市更易产生涝灾;另外,我国很多城市的排水管网系统服役时间过长,暴雨期间不能迅速有效地排除雨水,使得市区严重积水,不仅给城市交通及市民生活带来极大不便,也造成环境污染和资源浪费。

(2) 城市排水管网系统的信息技术

如今,计算机模拟在科学研究中扮演的角色越来越重要,它是计算机技术和其他具体工程科学技术的结合,还有人将21世纪称之为模拟技术的世纪。采用计算机模拟技术对排水管网进行优化设计,改进传统设计方法,提高设计标准和可靠性;对已建成的城市排水管网进行科学的信息化管理,使其效益充分发挥,是给排水科技工作者和给排水管理部门的一项艰巨任务。

城市排水过程和管理具有复杂性,为了实现排水管网系统的管理,对雨水径流、管道污水汇流的复杂过程有清晰的认识,要对该过程进行准确模拟和预测,必须借助现代信息方法和技术手段。因此,涌现出了很多城市排水管网动态模拟模型。这些模型用于雨水管网、合流制管网和污水管网的规划、设计以及运行管

理,研究重点集中在限制雨水和合流制系统溢流次数和流量及研究溢流污水的最佳处理途径^[3],减少管道超载和地面淹水,减少溢流量,以达到消除城市内涝积水,减少溢流的污染负荷,降低暴雨造成的城市危害,合理利用雨水资源等多个目标。

1.1.2 动态模拟的意义

在我国传统的城市排水管网规划设计过程中,均采用恒定流理论计算管网的汇流过程,以经验公式方法进行管道水力计算,并采用恒定流的假设,因此仅能近似地表示管网内的水流状态,而不能真实反应管网内水流的状态,更不能表示管网内水流状态随时间的变化过程。在城市排水管网设计和运行管理的很多情况下,都需要了解管网内水流的真实状态和随时间的变化过程。且目前也没有普遍采用管道水力测量技术,通过实测流量水位等的方法对理论计算设计结果进行验证,因此在排水系统的规划设计中,产生较大误差是不可避免的,致使我国多数城市的排水管网系统均存在不同程度的缺陷。

我国室外排水规范规定采用推理公式法进行雨水管渠等设计,但未对推理公式法的应用条件明确界定。虽然推理法实用简便,但隐含的假定带来很大的缺陷,会导致设计管渠精度不高,尤其不适用于区域较大的大型排水系统设计。发达国家设计标准认为推理法的应用逐渐局限于小型排水系统,而大型排水系统必须采用计算机水力模型辅助设计。

如欧盟 EN 752 中规定:

推理公式法,汇水面积小于 200 公顷或汇水时间小于 15 分钟;

对于较大区域,必须采用随时间变化的设计降雨和计算机基础的流量模拟方法。

针对传统的以恒定流为基础,经验公式、理论计算和图表分析为手段的传统水力计算方法所不能解决的排水系统存在的问题,就只有采用专业水力模型和实测流量水位(排水管网监测)为工具的动态模拟分析方法,才能提出有效的解决方法。

因为还需要一定的时间普及非恒定流模拟技术的应用,目前可以采用动态模拟模型对设计的排水管网系统进行校核,如此即可以提高管网设计的可靠性,还对于雨水调节设施和排水泵站的设计具有很大实际意义^[4]。另一方面,在排水管网系统运行管理中的作用将更为突出,不仅可以将排水系统过去的运行表现重现,还可以对系统未来的运行情况进行预测,实现管网系统的真实模拟、查找超负荷管段,并可分析城市积水原因,从而为城市排水管网系统的管理和改造提供了科学依据。

1.2 国内外研究现状

近年来,国内外普遍将计算机信息化管理应用于排水行业。一些发达国家研发了多个GIS软件平台,如ArcGis、GeoMedia和Mapinfo以及武汉中地的MapGIS,这些软件系统应用于许多城市地下管网管理中;国内外研究部门还基于现有的排水管网计算方法、水力学和水文学的知识开发了排水管网水力模型,对排水管网进行更加科学地评价与预测,充分分析排水设施规划和设计中的不足之处;近年来,国内外将排水管网水力模型与GIS系统平台集成结合,产生了商业模型,这类商业模型既能对排水管网进行日常管理又能对排水管网进行科学模拟评价。此类商业模型已经在典型城市得到应用。

1.2.1 GIS 技术研究现状

GIS (Geographic Information System) 即地理信息系统,是在计算机软、硬件系统支持下,对现实世界(资源、设备与环境)各类空间数据及采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述关于这些空间数据特性的技术系统,它是集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的。它作为新兴边缘学科迅速地兴起和发展起来。地理信息系统中“地理”的概念并不等同于简单的地理学概念,而是广义地指地理坐标参照系统中的坐标数据、属性数据以及由此演义出来的知识。

在应用需求和技术进步的双重驱动下, GIS软件技术体系得到迅速发展。当今GIS蓬勃发展, GIS的发展趋势就是组件化,这也是GIS的重要发展方向之一。从发展历程看, GIS可以划分为几个重要发展阶段: GIS模块、集成式GIS、模块化GIS和核心式GIS,如图1-1所示。这些GIS软件需要另外的GIS二次开发语言,并且开发出来的系统扩展性不好,不能很好的满足给排水行业的需求。目前, ComGIS和WebGIS是GIS日益明显的发展趋势。ComGIS逐渐成为开发C/S模式应用系统客户端的首选GIS软件,它的各组件之间可以自由、灵活地重组,并且具有方便的标准接口和可视化的界面,不需要另外的GIS开发语言,只需按照Microsoft的ActiveX控件标准开发接口,实现GIS的基本功能函数,使GIS软件开发简化,而且增强了软件的可扩展性。GIS软件系统开发者,不必掌握其它的GIS开发语言,只需熟悉基于Windows平台的通用开发环境,以及ComGIS各个控件的属性、方法和事件,就可以完成应用系统的开发和集成^[5]。

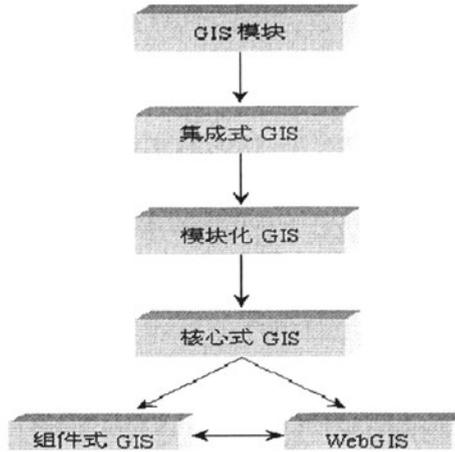


图 1-1 GIS 软件发展历程

Fig.1-1 Progress of GIS Software Development

ComGIS具有高效的系统无缝集成功能，将专业模型、ComGIS控件、其它控件在统一的界面下紧密地结合；利用ComGIS就不需要专门的GIS开发语言；由于用户使用ComGIS的控件可以象使用其它ActiveX控件一样，非专业的GIS用户也能对GIS进行应用开发工作；非GIS功能更是可以利用非专业控件，大大降低了系统开发的复杂程度和成本^[6]。

ComGIS基于标准的组件式平台，这些组件式平台主要有Microsoft的COM(Component Object Model, 组件对象模型)/DCOM(Distributed Component Object Model, 分布式组件对象模型)和OMG的CORBA(Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构)，目前占市场领导地位的是MicrosoftCOM/DCOM。Microsoft推出了基于COM/DCOM 的ActiveX技术，标准组件ActiveX控件在当今可视化程序设计中应用最为广泛。新一代的ComGIS也大都都是ActiveX控件或者其前身OLE控件。ComGIS代表着当今GIS发展的潮流。本系统是基于COM/ActiveX规范的ComGIS开发的^[7]。

纵观 GIS 软件的发展历程，组件化是一个非常重要的趋势，研究这一技术，对于我国 GIS 产业的发展具有重要意义。而其中 ComGIS 在与 MIS 耦合、Internet 应用、降低开发成本和复杂程度等方面，具有明显优势^[8]。同时也打破了以往少数厂商垄断 GIS 基础软件的局面，小型研究机构和厂商有机会打入 GIS 基础软件市场，来提供专业组件。我国 GIS 基础软件起步较晚，ComGIS 技术为我国 GIS 基础软件的开发提供非常难得的机会。

1.2.2 ArcGIS Engine 技术

ComGIS给国内GIS基础软件的开发提供了一个良好的机遇，采用面向对象

技术和组件式GIS软件系统（包括基础平台和应用系统），它的基本思想是把GIS的各大功能模块划分为几个组件，每个组件完成不同的功能。GIS组件与其它非GIS组件之间，以及各个GIS组件之间，都可以通过可视化的软件开发工具方便地集成起来，形成GIS基础平台以及最终的应用系统^[9]。

由于GIS组件可以直接嵌入MIS开发工具中，因而广大开发人员就可以自由选用他们熟悉的工具进行开发。而且，GIS组件提供了非常接近MIS工具的模式API形式，开发人员可以像管理一般数据库表一样熟练地管理地图等空间数据。基于COM技术的对象库ArcObjects为GIS开发提供了前所未有的灵活性^[10]。

ArcObjects是ESRI公司最新推出的基于COM技术的对象库，为GIS开发商提供了前所未有的灵活性。从而利用支持面向对象技术的高级语言（如C++）和GIS厂商提供的组件来开发面向最终用户的GIS应用系统^[11]。ArcGIS Engine是基于开发的用于搭建及配置ArcGIS解决方案的产品。ArcGIS Engine是基于ArcObjects构建起来的，并提供了C++组件技术框架，支持所有标准开发环境，包括.NET、COM（组件对象模型）、C++和Java以及所有主流操作系统，如Windows，UNIX和Linux。此外，开发人员还可以嵌入部分ArcGIS扩展模块中提供的功能，因此，它是为针对每个用户GIS功能实现的特定需求的基础。很多时候不是一个完整功能的桌面GIS，而只需要简单的数据编辑器。ArcGIS Engine提供的工具可以满足以上需求，它提供了嵌入式的GIS组件库，能用来在一个组织内建立应用，在构建应用时为用户提供常规的GIS功能^[12]。

ESRI公司的ArcObjects是ArcGIS的功能核心，也是ArcMap、ArcCatalog、ArcScene等桌面应用程序的开发平台。ArcObjects是一种集成的面向对象的地理数据模型的组件库，它是开发GIS应用程序的基础。用户可以利用其框架进行编程，以提高ArcGIS的性能，从而扩展其应用。它的发布形式是以完整有序的对象组件的集合^[13]。

采用AO开发虽然实现了复杂的GIS应用功能，但是也出现一些问题。AO庞大的体系包含了ArcGIS中所有实现的功能，整个体系非常复杂，这显然不合适短期开发项目。

应用程序是依托于AO组件运行的，用户必须安装ArcGIS相关产品才能使用应用程序，这使软件的购买成本大大增加。如果只是为了在应用程序中集成地图显示、编辑、查询、简单空间分析等简单功能，采用AO进行二次开发就显得复杂。同时ESRI也提供了其他的开发方式，其中MapObject对于上述情况就是一种不错的选择^[14]。

ArcGIS Engine作为嵌入式GIS，能用来在一个组织内建立应用，此应用能为用户提供有针对性的GIS功能。进行GIS应用开发时彻底地摆脱了ArcGIS桌面平台。ArcGIS Engine开发包的三个关键部分是：控件，工具条和工具，对象库。控件是ArcGIS用户界面的组成部分，你可以嵌入你的应用程序中使用^[15]。例如：

可以将一个地图控件和一个内容表控件加在应用中，以展示和交互式运用地图。工具条实际上是GIS工具的分类集合，在应用程序用它来实现与地图及地理空间数据库的交互。工具包括：平移、缩放、查询和与地图交互的各种选择工具。工具在应用界面上用工具条的方式展现。通过调用一套丰富的常规工具和工具条，建立应用程序的过程就简化了。开发者可以很容易的将选择的工具拖放到定制应用中或为实现与地图的交互而创建自己定制的工具。对象库是可编程ArcObjects组件的集合，包括几何图形、GIS数据源和geodatabase等一系列库。程序员在windows, UNIX, 和Linux平台的开发环境下使用这些库，可以开发出从低级到高级的各种应用程序。构成ArcGIS桌面软件和ArcGIS Server软件的基础就是相同的GIS库。

ArcGIS Engine由一组核心ArcObjects包组成，其对象与平台无关，能在各种的编程接口中应用，其可以帮助用户实现以下的功能^[16]：

- (1) 读取所有支持ESRI数据格式包括geodatabase
- (2) 地图制作（创建和编辑MXD）
- (3) ArcGIS级别的绘图
- (4) 查询和分析
- (5) 地理编码
- (6) 简单编辑（shp和pGDB）

1.2.3 GIS 平台与排水管网水力模型结合的发展及应用

将 GIS 及图形预处理和后加工模块整合到城市排水管网模型中，是从 20 世纪 90 年代开始的。从此模型的输入和输出功能大大加强，但模型的内部结构或模型的理论基础并无大的变化。如，XP-SWMM 就是将图形界面用于对 SWMM4.0 获得的输入或输出数据进行预处理或后加工的模块。建模手段的进步虽未影响模型的理论基础和精度，但却提高了模型的效率。尤其视窗图形界面操作系统的出现之后，使得城市排水管网模型软件的用户界面更加友好，从而更加有利于城市水文分析方法的普及。也相继出现了商业化运作的城市排水管网模型软件，这加速了城市排水管网模型的应用进程。

许多学者深入研究了 GIS 与城市水文、水力模型的连接、整合。Greene 和 Cruise 将流域的地形、土壤、土地利用、透水或不透水区域、雨水管网、河道以及街道网络等信息分别数字化为不同的 GIS 图层，并将每一个图层的属性信息创建成属性数据表^[17]。Meyer 等采用光栅式的 GIS 软件对科罗拉多州柯林斯的城市区域进行研究，证实基于 GIS 的水文模型优于缺少 GIS 支持的水文模型^[18]。Shamsi 对 GIS 与模拟模型的信息交换形式进行了分析，并认为二者之间的信息

交换主要有三种类型：互换（Interchange）、界面（Interface）和整合（Integration）^[19]。Gilles^[20]，Vasamsetti^[21]，Slavicek^[22]，的研究也证实了 GIS 能够提高水文建模研究的效率。

近年来，基于 GIS 的城市排水管网模型商业化软件在国内外发展迅速。DHI（丹麦水力研究所，Denmark Hydra Institution）先后推出了 MOUSE 和 MIKE URBAN^[23]。这些平台提供了一个集成化的工作环境，能够方便快捷的对给排水管网的数据进行管理；EPA（美国环境保护署）提供了给水管网模拟计算的 EPANET 引擎和雨污水管网模拟计算的 SWMM 引擎；美国 Bentley（奔特力）公司的 SewerGEMS 是全动态、多平台（GIS、CAD 和 Stand-Alone）市政排水系统综合模型^[24]，可以对雨水系统、污水系统以及合流制系统进行全面完整的技术分析，并且可以任意选用 EPA 的 SWMM 水力模型或奔特力公司先进的圣维南方程隐式解水力模型来执行这些分析。英国 Wallingford 公司的 InfoWorks CS 具有自己的计算引擎^[25]，能够用于对城市完整水循环的水文模拟，包括城市污水泛滥及污染情况的预测以及水质模拟和沉积物在管网中的转移情况，最多节点数为 100000。

1.3 课题的来源和内容

1.3.1 本课题的来源

本研究课题来源于“十一五”国家科技支撑计划“城市市政管网规划建设与运营管理关键技术研究示范（2006BAJ16B04）”的子课题“城市市政管网信息管理系统及可视化动态管理系统研究”，本文主要研究内容是城市市政排水管网信息管理系统部分。

同时，本课题也是北京市石景山市政所与北京工业大学的合作课题“北京石景山区排水地理信息系统”的重要组成部分。

1.3.2 主要研究内容

根据城市排水管网信息化建设与数字化管理的需要，本课题主要研究搭建城市排水管网信息管理系统核心技术，并使建成系统在北京市石景山区排水管网的信息化管理中得到应用。

主要研究内容包括：研究了城市排水管网信息管理系统框架、结构和系统应具备的功能；分析了排水管网图形数据和属性数据的特点；论述了排水管网图

形数据和属性数据的来源、获取和转换的方式；重点介绍了绘制排水管网横、纵剖面图可视化等。

1.4 系统开发的软、硬件环境

本课题主要是在选定系统软件和地理信息系统平台软件的基础上进行应用分析程序的开发。采用的主要软件如下：

(1) 操作系统

采用Microsoft XP。目前绝大多数微机用户使用Microsoft公司的视窗操作系统，其中又以Microsoft XP和Microsoft Vista居多，而Vista系统不能很好的支持ArcGIS，因而我选择了Microsoft XP。

(2) 编程语言

采用Microsoft Visual C++6.0进行程序编制。

(3) GIS平台软件

采用ArcGIS组件式软件，主要是利用MapGIS处理矢量图形数据和在Visual C++6.0环境下调用ArcGIS Engine控件进行系统开发。

(4) 排水管网水力模型

EPASWMM软件及源码可供开发学习使用；并且北京工业大学给排水系统研究室得到EPA（美国环保总局）授权对其进行了汉化，已经推出首版汉化SWMM，更利于开发研究工作的进行。

(5) 其他图形软件

AutoCAD2004等。

ArcGIS 功能强大、结构复杂，同时在使用和开发的过程中所需硬件设备就有一定的要求。本实验室拥有较好的排水管网实验设备、服务器和十余台计算微机，可以顺畅运行 ArcGIS 各个组件。

第2章 系统总体设计

2.1 系统整体框架

排水管网模型与GIS的集成模式,指的是通过对GIS二次开发的方式将水力模型软件的计算内核嵌入到GIS中,在GIS平台下完成排水管网动态建模的每一个环节,并对模拟结果进行表达与分析^[26]。由此实现两个平台的有机结合。系统的整体框架如下图所示。

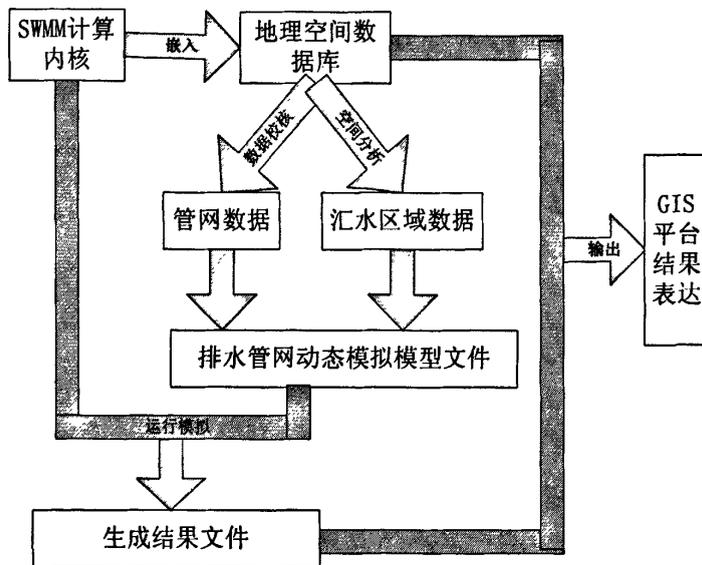


图 2-1 排水管网信息管理系统整体框架

Fig. 2-1 Basic Frame Structure of drainage network information management system

首先,SWMM计算内核嵌入地理空间数据库中。地理空间数据库中存储了管网数据和汇水区域数据,这两种数据是排水管网水力模拟的基础,也是必不可少的支持。通过调用这两种数据,生成SWMM水力计算所需要格式的排水管网动态模拟模型文件。其次,将排水管网动态模拟模型文件在SWMM计算内核中运行模拟,从而生成结果文件。SWMM模型可以计算出管网范围内不同时间、各个位置的水力要素值,而且通过模拟结果的处理能够在排水管网地理信息系统平台上进行可视化显示。最后,结果文件和地理空间数据库相结合,输出在GIS平台上。包括区分无压流和有压流,绘制纵、横剖面图等。对排水管网系统的分析、决策建立在管网水力模拟基础之上。

2.2 总体结构

研究的主要内容是基于数据的城市排水管网地理信息系统模型的设计与实现。其系统结构如图 2-2。该系统的核心是 GIS 数据平台。它是整个信息系统的枢纽。一方面它是基础数据的存放地，另一方面它是所有应用系统的支撑。关键技术是需要实现空间数据和属性数据的无缝整合。

后台关系型数据库使用 Access 数据库系统，主要功能是存储和管理海量的地理空间信息数据。其中包括图形数据库和属性数据库。

ArcSDE（空间数据库引擎）应用服务器，主要负责响应客户端的数据渲染和查询分析等请求，从数据库中搜索、存取和分发海量数据。

客户端浏览构件，主要负责与用户交互，响应查询、分析请求，并向服务器提交请求。

客户端浏览由“GIS 应用框架”、“应用接口”、“引擎接口”三部分构件组成，其中“引擎接口”为“应用接口”提供数据服务，负责与“空间数据库引擎”进行数据库通讯；“应用接口”为“GIS 应用框架”服务，负责管理获得的地图数据，NetGIS 系统将在应用框架的基础上进行二次开发。

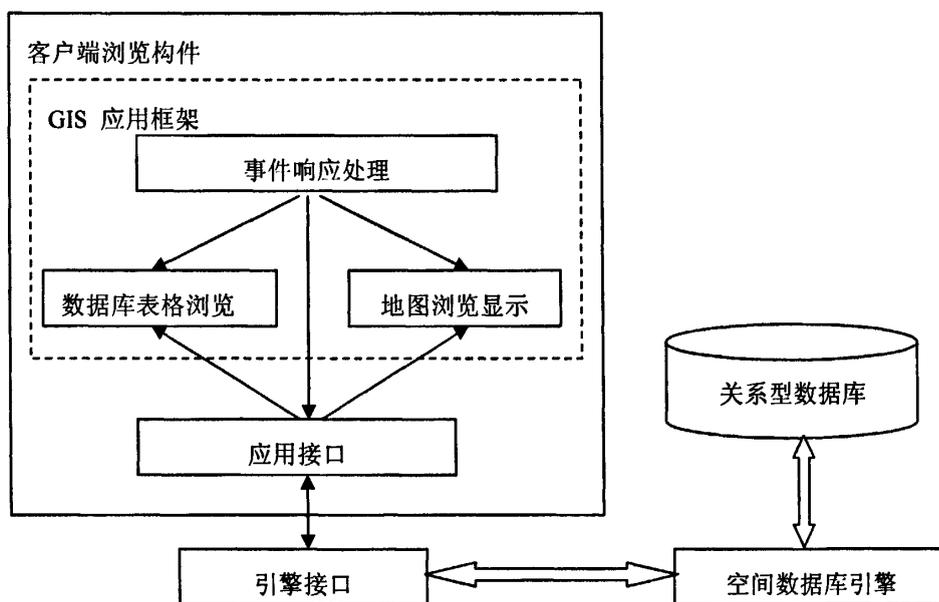


图2-2 系统体系结构

Fig.2-2 System Architecture

“GIS 应用框架”由“事件响应处理”、“地图浏览显示”、“数据库表格浏览”三部分组成。主控模块是事件响应处理构件，负责实现 GIS 应用逻辑，接收来自用户界面的各种操作事件，控制其它构件的工作。地图浏览显示构件负责地图的显示，数据库表格浏览构件用于显示属性数据，它们在事件响应处理构件的控制下，从应用接口构件获取空间数据，从而提供各种浏览功能。应用接口构件按照事件响应构件提供的查询命令与检索条件，再由引擎接口向空间数据库引擎发出查询请求，按照接收结果组织空间数据与属性数据。从而为各个界面构件提供空间数据和属性数据。

2.3 功能设计

针对当前城市排水管网系统所面临的问题，基于 ArcGIS 平台设计开发了 NetGIS 系统。它既具有 GIS 平台自带的地图制作、地图显示、地图数据检索、地图数据分析、地图输出等功能，同时也为专业用户提供了对地图进行综合查询、空间分析（如生成横、纵断面图）、等水压线图绘制、水力计算报表输出等功能。功能模块如图 2-3。

管网数据由图形数据和属性数据组成，管网数据编辑模块分别对图形数据和属性数据进行编辑。地图导航操作包括对地图控件上的地图进行放大、缩小、全屏、移动、鸟瞰导航、前一视图、后一视图、动态缩放等导航操作。图文双向查询通过用鼠标选取某些点、线、面要素，查出与该点、线、面有关的说明文字或属性信息，或通过输入某些属性的查询条件，在地图上通过高亮显示的方式标记符合这些条件的点、线、面要素。

要素渲染根据渲染方法和设定参数（如大小、颜色等）对图层进行重绘。横纵断面生成模块通过在平面图上选定单条管线上的两点，获取离这两点最近的两个检查井，搜索两个检查井之间的管线连接，形成这两个检查井之间的管段的纵剖面图；通过用户给定一条截线段，找出所有与截线段相交的管线，绘制其横剖面图。空间计算模块可以查询两点之间的空间距离或计算多个面域的面积和周长。水力计算模块能够对某一节点周围的积水区的水流量进行计算并生成报表输出。等水压线图绘制能够直观的显示节点的高程模型。

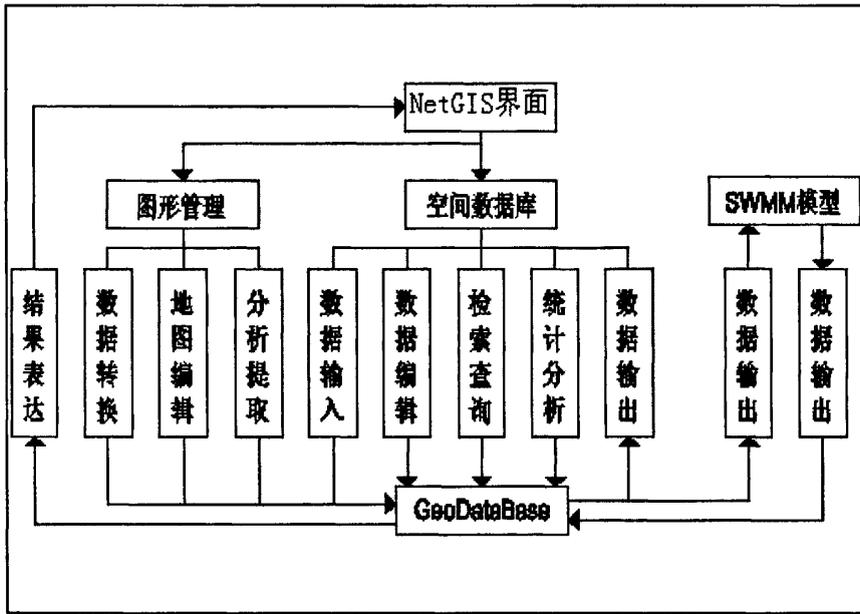


图 2-3 系统功能模块图

Fig. 2-3 System function module

平台常用功能模块和扩展功能模块之间相互独立。根据用户在界面输入的参数，相应的模块会做出不同响应。当各模块处理工作完成后，就会将结果反馈给用户界面。

2.4 排水管网水力模型的选择

2.4.1 模型的分类

长期以来，国内外学者进行了大量水力模型的研究，从不同的角度可以对其进行分类，主要分类方式有以下几种：

按照排水体制划分，排水管网可分为合流制管网、分流制雨水管网和分流制污水管网。与之相应，城市排水管网水力模型也可分为合流制管网水力模型、分流制雨水管网水力模型和分流制污水管网水力模型。按照管网中水量来源的不同，城市排水管网水力模型又可划分为雨季排水管网水力模型（包括分流制雨水管网和合流制管网）和旱季排水管网水力模型（包括分流制污水管网和合流制管网）。文献[27]对雨季排水管网水力模型的建立有详尽的论述；雨季雨水管网水力模型则是本文的主要研究内容。

排水管网水力模型还可以分为静态模型（或稳态模型）、准动态模拟模型和动态模拟模型三个层次。静态模型是节点流量按照恒定流考虑的管网模拟模型，

现行规范中的雨水管道设计方法就是一种静态模型；准动态模拟模型是不考虑管网图形的变化，节点流量按照非恒定流考虑的管网水力模型，目前所研究的水力模型多属于这个层次；在准动态模拟模型基础之上，如果再考虑排水管网的管段数和节点数，即管网计算简图随节点排水量变化而动态发生变化的情况，则该模拟模型可称为动态模型。动态模型能够根据不同时刻管网各个节点流量分布的不同，而采用不同的管网计算简图和水力模拟模型。

排水管网模型按照模拟的目标可分为水量模型、水力模型和水质模型；按照空间变量的维数，水力模型可分为一维模型、二维模型和三维模型等。

排水管网模型还有以下分类^[28]：

确定性模型和统计性模型，确定性模型的每一个输入参数对应一个确定的结果值，而统计性模型中一个输入的对应结果值不止一个，确定性模型建立在守恒定律的基础上，包括能量守恒和质量守恒，模拟一维水流动状态相对于确定性模型，统计性模型的灵活性较差，因为统计关系建立于反映特定空间分布的数据资料，如果有不同特征的空间分布形式或过程，就需要重新设计数据建立新的关系，统计性模型只能用于粗略的估计分析，或者在确定性模型因资料欠缺而无法使用的情况下，才能用统计性模型。

分布式模型和集中模型，分布式模型包含了空间变量；而集中模型不考虑输入值的空间分布因素。据研究统计，大部分城市排水管网系统模型都是确定性、分布式模型。

概念模型和经验模型，概念模型即以物理定律为基础建立的相关变量的函数关系；经验模型则是根据一定量的实测资料经观测推导出来的。

事件模型和连续模型，事件模型用于短时间地模拟少数或者单一暴雨事件，适用于暴雨设施的设计，以及运行情况模拟；连续模型模拟一个流域长时间内的全部水平衡情况，包括月降雨和季节降雨，是水资源规划模型的基础，可用来估计各种基础构筑物在其生命周期内的费用成本。

2.4.2 排水管网水力计算模型的发展

20世纪60年代开始，一些基于计算机技术开发的水文、水力模型在国外陆续推出。1969-1971年由EPA（美国环境保护署）资助，M&E公司（梅特-卡夫-埃迪）、WRE（美国水资源公司）和UOF（佛罗里达大学）等联合开发了SWMM模型^[15]。随后，ILLUDAS（伊利诺城市排水区域模拟模型）、UCURM（辛辛那提大学城市径流模型）、STORM等模型也相继问世。此后，国外研究者还开发了许多城市雨洪过程线模型和城市雨洪模拟模型，如伊利诺雨水管道系统模拟模型（ISS）、水文计算模型（HSP）等^[29]。

我国在城市排水管网水力模型的研究方面起步较晚,但近年来在消化吸收国外研究成果的基础上,也出现了一些适合我国国情的试验性研究成果。1993年,岑国平、詹道江建立了雨水管道径流计算和设计模型—城市雨水管道计算模型(SSCM),它由暴雨、地表产流、地表汇流、管网汇流和雨水管道设计等子模型组成^[30]。该模型主要用于雨水管道系统的设计和校核,也可作为城市雨洪模拟模型,用于城市雨洪的控制和雨水污染防治等。1998年,周玉文建立了城市排水管网非恒定流模拟模型(CSPSM),将非恒定流模拟技术应用于我国城市排水系统的规划设计和运行管理中,为后续的排水系统动态模拟奠定了基础^[27]。1998年,徐向阳提出了一个适用于平原地区城市水文过程模拟的数学模型,由地表产流、地表汇流、管网汇流、河网汇流四个子模型组成,该模型对北京市太平湖排水小区雨洪过程模拟的结果表明,它是可靠和合理的^[31]。

2.4.3 SWMM

SWMM 是 EPA 开发的用于排水管网中水力和水质情况的动态模拟。SWMM 可以用多时间步长模拟排水管网中的管段流量、管段水位、节点出入流量、水池水位、管网中某种污染物的含量。

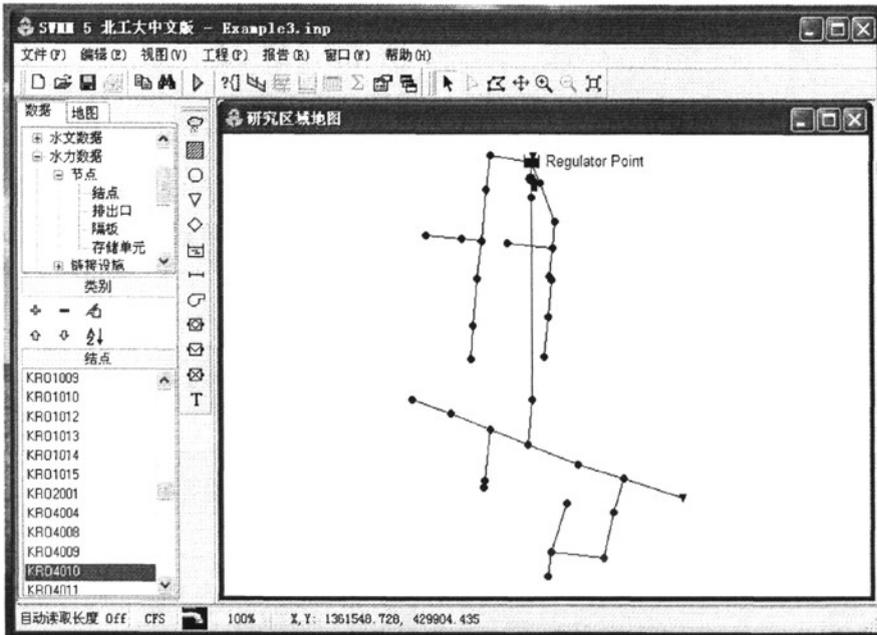


图 2-4 SWMM 平台

Fig.2-4 The Platform of SWMM

(1) SWMM 中管网的表达

SWMM 通过一组由节点和与之相连的连接来模拟排水系统的。节点代表雨水篦子、检查井、雨水池、排出口等;连接代表管段、水泵。图 2-5 说明了这些

组件是如何组成一个排水管网系统的。

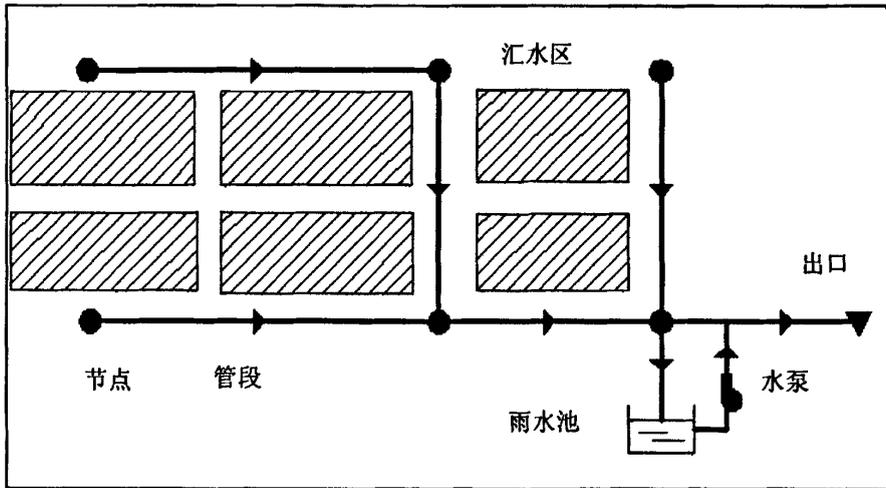


图 2-5 SWMM 中的管网部件

Fig.2-5 Physical Components in a Drainage System

(2) SWMM 模块组成

SWMM 模型包括几个核心的水文水力模块。主要有径流模块(RUNOFF BLOCK)、输送模块(TRANSPORT BLOCK)、扩展的输送模块(EXTENDED TRANSPORT BLOCK)、调蓄/处理模块(STORAGE/TREATMENT BLOCK)和受纳水体模块(RECEIVING WATER BLOCK)等。核心模块之间的关系如图 2-6 所示。

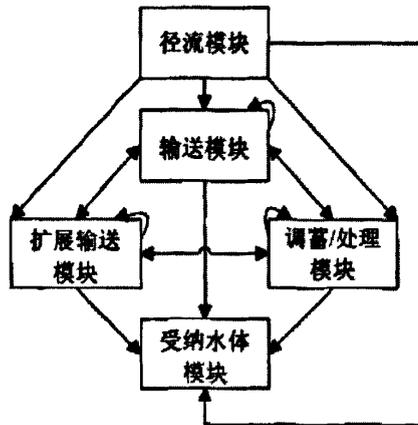


图 2-6 SWMM 核心模块关系图

Fig.2-6 The Connection of SWMM Main Block

由图可知，输送模块、扩展的输送模块以及调蓄处理模块三者之间的输出结果可以作为自身的输入，也可以作为其它模块的输入，而径流模块只能作为其它模块的输入，不接收其它模块的输出。

此外，SWMM 还包含多个服务模块，主要有降雨模块(RAIN BLOCK)、统计模块(STATISTICS BLOCK)、绘图模块(GRAPH BLOCK)、联合模块(COMBINE

BLOCK)和运行模块(TEMP BLOCK)以及执行模块(EXECUTIVE BLOCK), 各模块之间的关系如图 2-7 所示。

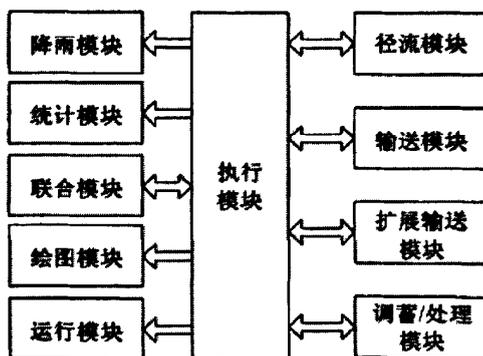


图 2-7 SWMM 模块结构图

Fig.2-7 The Framework of SWMM Block

这些模块整合了研究区域数据输入、城市水文、水力和水质模拟、模拟结果浏览等功能，具有时序图形和表格、剖面图、动画演示和统计分析等多种模拟结果表现形式。模型的功能非常强大，具体来说可以分为以下几类：

根据选用模块不同，SWMM 可以用于城市区域降雨径流模拟、地面径流模拟、管网汇流模拟、天然河道模拟等。

根据模拟对象不同，可以用于模拟各排水设施的流量和水质变化，如合流制排水管道、污水管道、雨洪调蓄设施、处理设施、分流器、水泵、控制设备等。

根据水流状态不同，可以用于模拟重力流、压力流、环流、回水、倒流和地面积水等现象。

根据模拟目的不同，可以用于排水系统的规划、分析、设计和管理等。

(3) SWMM 汉化

为了方便中国用户使用 SWMM，为了在中国推广 SWMM，使大家对 SWMM 软件的操作更加熟练，我们北京工业大学给排水系统研究室对 SWMM 5.0 进行了汉化。

此汉化软件既做到了语言的准确和优美，也充分考虑了语言专业化的需求。

2.5 本章小结

本章主要介绍了城市排水管网信息管理系统的总体框架、体系结构和功能模块，介绍了选择 GIS 平台和水力模型的依据。进而在选择的 GIS 平台和水力模型基础上，开发搭建城市排水管网信息管理系统。

本章还从管网模型的概念、分类的角度，着重介绍了排水管网微观模型和微观模型的重要代表 SWMM。通过总结分析得出如下结论：

作为有较高应用价值的排水管网微观模型，由于其对基础数据要求最高、最

复杂，迫切需要其与 GIS 集成，实现基于数据的模型应用系统；

SWMM 具备成熟的水力计算算法和方便高效的表达方式。架构成与 GIS 集成的软件系统更有利于用户的使用；

SWMM 汉化版对模型的推广具有一定的推动作用。

第3章 地理空间数据库和地图的建立

建立地理空间数据库与地图是建立排水管网信息管理系统的重要内容。图形是皮肤,有了完整的数据库与地图才能使排水管网生动全面地展示给用户,从而在海量数据的基础上建立准确的水力模型。此外,地图与数据库之间建立连接也是至关重要的,并在两者之间建立一套完整的更新机制。

集成模型涉及的空间信息主要是雨水管段、检查井、排出口、雨水池、汇水区域和一些背景图,但系统的建立却要面临大量的图纸和档案资料,涉及到大量的空间数据和属性数据,需要有效地将它们输入管理。首先需要以一种简便、高效的方式转换、输入、编辑管网基础数据,建立与雨水管段、检查井、排出口、雨水池、汇水区域等相关的属性数据库,直接以相关知识和模型为基础,直观地表达排水管网的拓扑关系。其次,管网系统描述是具有时间、空间和其它各个主题域的多维数据,加上需要精确到测点的取样位置,如何有效地组织数据至关重要。

3.1 GIS 平台地理空间数据库的设计

数据库系统是对数据进行存储、管理、处理和维护的软件系统,是现代计算环境中的一个核心成分。在建立模型时数据是流动的血液,没有正确数据的录入与更新模型就会死掉。排水管网信息管理系统与水力计算模型数据库的建立,可以有效地把排水管网水力计算模拟、监控、调度、运行、优化设计和绘图有机地结合在一起,可随时进行图形与数字信息的转换^[32]。

3.1.1 数据库设计的原则

(1) 方便管理部门日常管理

城市排水设施管理部门在日常管理中,往往需要对排水设施的竣工图纸、排水设施的现状等进行管理。如查询某条管段的管径、管长、近期维护情况等,并对城市的所有管线作统计和分析,如统计使用年限超过20年的管段所占的比例、或雨水方沟占整个管网系统的比例等。在设计排水管网信息管理数据库时了解城市排水设施管理部门的需求是必要的,使数据库中的字段满足管理的需要。

(2) 满足水力计算模型的需要

在水力模型进行模拟之前,需要收集大量的信息,如降雨量信息、汇水区

面积、不透水面积所占的比例、长宽的比例、地面坡度、模拟前多少天没有下雨、土壤的性质、植被情况、水力模拟前检查井的水深等，在设计数据库时要充分考虑到这些需要，满足水力模型模拟计算的输入文件数据的要求。同时还要考虑水力计算结果数据的存储，将水力计算结果有效的组织存储并和输入文件建立连接。

(3) 满足实时监测系统数据的输入与输出

有时水力模拟需要实时模拟降雨对区域所造成的影响，并预测下一刻管网水力状况和地面积水状况，因此降雨的即时测量和输入就是必要的。

(4) 满足模型校核的需要

模型各个参数的选取都不可能绝对真实，而只能接近真实。为了使参数尽量接近真实就必须对模型进行校核。通常雨水管网模型的校核包括：检查井监测仪器计量的流量过程线与模拟的流量过程线进行对比；模拟的各个检查井的水深数值、各个管段的水深、流速与实测数据进行对比。

(5) 信息的冗余度小

数据冗余度是衡量数据结构的指标之一，这个指标与上述相对集中的在同一文件结构中反映事物的各个侧面是矛盾的。因为从整体来看，反映这些侧面的数据集合又必须存在交叉的情况，这样就不可避免地产生了一定的冗余，所以我们就应该在二者折中情况下取得最优解或满意解。

(6) 保持数据的独立性

在进行操作时，如插入、修改和删除数据，数据的结构、数据间相互关系和从属性必须保持不变，并且应用程序不依赖于数据库中数据的存放位置和组织方法，即不同的应用程序可按其所需的数据结构去访问库中的数据。当数据库中的数据组织发生变更时，不需要重新编写或修改已有的应用程序。

(7) 维护简便，有不断扩充和更新的能力

设计好的数据库要想永远使用、就不能一成不变。因为事物是运动发展的，所以设计的数据库系统不仅要满足用户的当前需求，也要具有很好的可扩展性，既对于远期的需求也要有很好的处理方案。

上述是排水管网系统模型属性数据库设计的原则。总之，排水属性数据库文件组织的最终目标是满足系统设计的各种功能的数据的需要，满足存储空间最小和存取速度最快，即能在需要的时间内提供用户所需的所有信息，也要在有限的空间存储尽可能多的数据。

3.1.2 地理空间数据库 (Geodatabase)

Geodatabase 是 ArcInfo8 引入的新的数据结构，可以在数据库中存储要素的

属性，赋予要素某种行为，连接要素间关系，使用代码利用关系定制要素间特殊的行为。它是基于空间模型的，其中保存了图形数据和属性数据，完全达到了图形数据和属性数据的一体化。在它的数据库模型和查询语言中能够提供空间数据类型，可以进行空间索引，且具有空间查询和其它空间分析方法。空间数据包含有市政道路背景图层（background），排水管段图层，排水节点图层，各管段对应的检查井、泵站、雨水池以及附属设施的文字注记信息图层等。属性数据包括各种地物的描述以及相关信息图层。

Geodatabase 表现空间实体采用的是基于面向对象技术的空间数据模型。Geodatabase 有层次地将地理数据组织成数据对象，并存储在要素类、对象类和要素集中。对象类中的对象以点、线、面存储为主，也有一些是由基本图形组成的复合图形。要素类（feature class）则存储了空间信息及其相应的属性信息，在同一个要素类中，空间要素的几何形状必须一致。简言之，要素类是同类要素的集合，可以分别是点、线、面类型要素的集合，也包括地图的标注文本信息的集合（用注记要素类存储）。要素集（feature dataset）用于存放具有同一空间系参考和坐标范围（spatial reference）的要素类。简单要素的要素类可以存放在要素集中，同时也可以作为单个要素类直接存放于 Geodatabase 的根目录下。另外，Geodatabase 中还包含有扩展的几何网络、域和规则等^[33]。由于 Geodatabase 让可以更容易、更自然地表示 GIS 数据要素，更容易地建立要素之间的各种关系^[34]，因而在本系统的设计中采用 Geodatabase 来设计各种实体以及它们的关系。图 3-1 表示了排水管网 Geodatabase 层次结构。

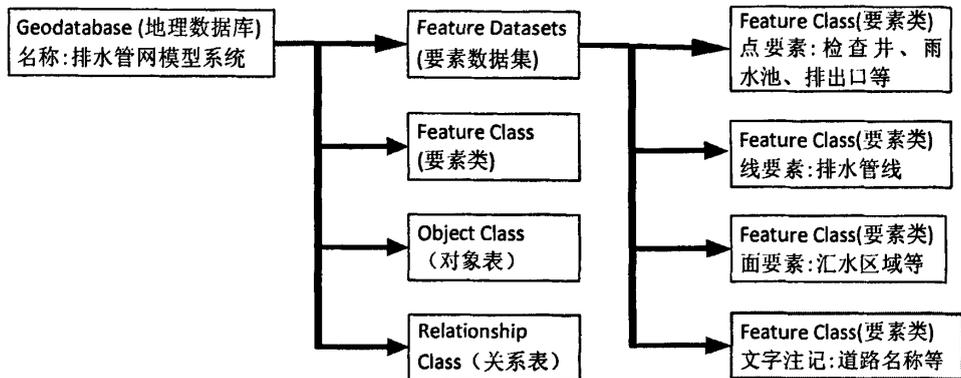


图 3-1 排水管网 Geodatabase 层次结构图

Fig.3-1 Hierarchical Structure of Geodatabase of Drainage System

Geodatabase 用层次分明的数据对象来组织结构，为了方便操作和维护，设计排水管网系统要素数据集，所用的几何图形只有点、线和面。要素集里存放具有同一空间参考的要素类，要素类主要有：

(1) 管线(pipe_line)

存储雨水管线的空间信息及属性。

(2) 检查井(pipe_point)

存储雨水检查井的空间信息及属性。

(3) 文字注记(annotation)

存储道路名称和检查井、泵站以及附属设施的文字注记信息。

(4) 道路背景(background)

存储基础地理信息。道路背景图层包括市区边界图、行政区划图、地形、交通等等，属于基础地理数据。

3.1.3 数据库表设计方案

根据前述数据库设计原则要求，建立了数据库。数据库把大量的数据按一定的模型组织起来，具有存储、维护、检索数据的功能，用户可以方便、及时、准确地获得数据库中所需的信息，图 3-2 就说明了数据库数据的来源与基于数据库的应用。

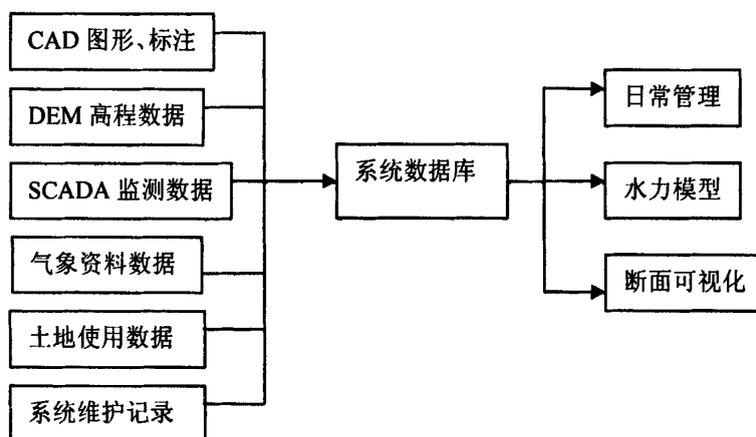


图 3-2 数据库数据来源与应用

Fig. 3-2 Data sources and application

数据库分为管网系统的静态数据和动态模拟时的动态数据。在数据库中应存储这两方面的数据：

(1) 静态数据

包括管网节点（检查井、出水口等）、管段、汇水区等的静态数据。包含管段的长度、管径等，检查井的地面标高、井深等，汇水区的面积、地面坡度等在水力计算中保持不变的数据。我们用各自的数据表，将这部分数据单独存储。

(2) 动态数据

动态数据包括管网各个构筑物上 SCADA 实测、气象数据以及水力计算模拟得到的各个时刻上每个构筑物的水力属性值。气象数据包括研究范围内各个雨量站的雨量情况，用于水力计算模拟时的输入数据。SCADA 实测数据包含在各个

监测点上构筑物的各个水力属性值。同时，动态数据还包含水力模拟结果中各个构筑物上各个时刻的水力属性值。并将各个构筑物上 SCADA 实测数据与水力模拟数值进行对比、校核。

此研究中数据库系统庞大，具体如下：

(1) 气象数据

建立管理区域内的雨量数据收集处理系统是必要的^[35]。由于在整个区域内各汇水区域的降雨强度可能有很大不同，所以应在区域内合适位置建立若干个雨量站，将各雨量站的雨量数据收集、处理。以北京市为例，现有市级雨量站点 125 个，区县自建站点 183 个。

(2) 管网数据

包括管网图形数据和属性数据。当管线铺设完成，这些数据就已基本确定。除非管网改、扩建或地面使用情况发生变化，这些数据基本保持不变。

(3) 计算模拟结果数据

经过水力计算模拟以后，在每个模拟步长，都会产生每个节点、管段、汇水区的水力模拟结果。建立各个构筑物的动态信息表，将模拟结果存在其中。点、线、面状构筑物模拟结果的动态数据包含报告数据和记录数据。报告数据包含在整个降雨过程中各构筑物水力元素的综合报告；记录数据包含在整个降雨过程中每个步长水力元素的结果。

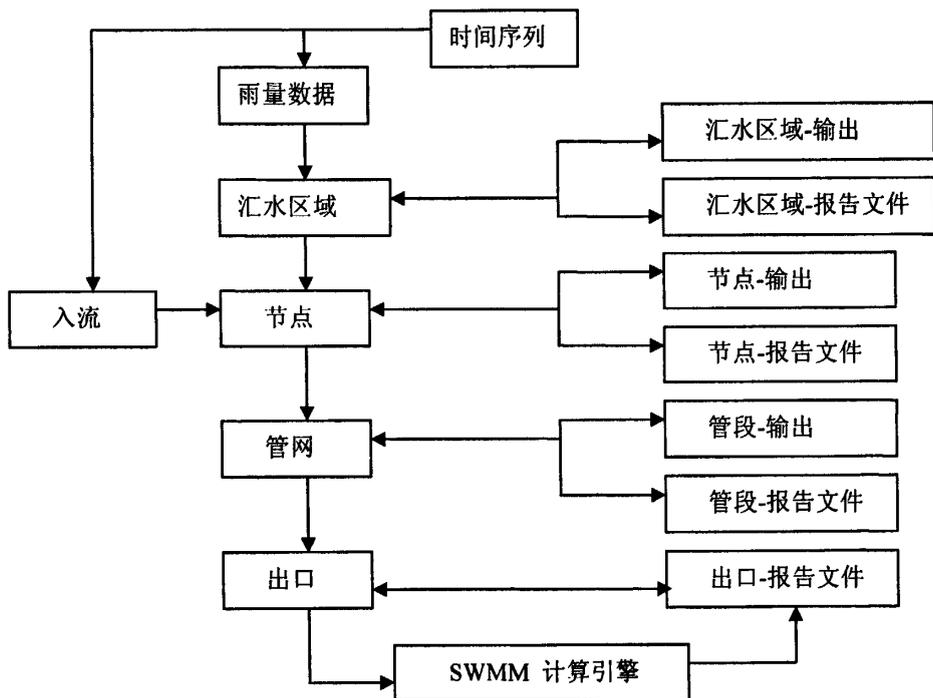


图 3-3 数据库各表之间的关系

Fig. 3-3 The relationship between the database tables

(4) SCADA 数据

在给排水 SCADA 中常用的传感器数据主要有水位、压力、流量、温度、湿度、浊度、BOD、COD、电压、电流、功率、电度、 $\cos \phi$ 、流动电流仪以及接近开关、限位开关、水位开关、继电器等^[36]。排水管网系统中，传感器主要设置在汇水区末端进入雨水口的地方，以监测汇水区的流量过程线；在检查井中监测检查井的水深、流量等；在管段中监测管段的流速、水深、流量、有压无压等。

地图中每个图层都有一个与之相对应的属性数据表，该表包含了该图层中地物的类别信息。图层上的一个空间地物对象与该属性数据表中的一条记录相对应。按照类别不同，排水管网信息管理系统的属性数据库可以分为以下一些属性表。

表 3-1 雨水管网基本信息表
Table3-1 The base information table of the storm system

序号	字段名称	类型	字段长度
1	ID	整型	4
2	编号	字符型	16
3	管长	双精度	8
4	管类型	文本	4
5	管材	文本	20
6	坡度	双精度	20
7	所属部门	文本	20
8	所在道路 ID	整型	8
9	所在道路	文本	20

表 3-2 雨水管网断面信息表
Table3-2 The transect information table of the storm system

序号	字段名称	类型	字段长度
1	所在管段 ID	整型	4
2	断面形状	文本	16
3	参数 1	整型	8
4	参数 2	整型	8
5	参数 3	整形	8
6	参数 4	整型	8
7	并行数	整型	4

表 3-3 雨水管道计算属性表
Table3-3 The compute attributes table of the storm system

序号	字段名称	类型	字段长度
1	ID	整型	4
2	上游检查井编号	整型	4
3	下游检查井编号	整型	4
4	上游管内底标高	双精度	8
5	下游管内底标高	双精度	8
6	前点高程	双精度	8
7	后点高程	双精度	8
8	距道路中线距离	双精度	8
9	曼宁系数	双精度	8
10	上游偏离高度	双精度	8
11	下游偏离高度	双精度	8
12	计算初始流量	双精度	8

表 3-4 雨水检查井基本信息表
Table3-4 The base information table of the node

序号	字段名称	类型	字段长度
1	内部 ID	整形	4
2	ID	整形	4
3	X 坐标	双精度	20
4	Y 坐标	双精度	20
5	井类型	文本	8
6	井直径	双精度	20
7	井盖材料	文本	8
8	所属单位	文本	20
9	所在道路	文本	20
10	井盖标高	双精度	20
11	井底标高	双精度	20
12	井深	双精度	20
13	模拟初始水深	双精度	20
14	最大额外水头	双精度	20
15	表面影响面积	双精度	20

表 3-5 雨水检查井养护信息表
Table3-5 The maintain information table of the node

序号	字段名称	类型	字段长度
1	养护记录 ID	整形	4
2	ID	整形	4
3	第几次养护	整形	4
4	养护类型	文本	20
5	养护时间	日期/时间	12
6	养护责任人	文本	20
7	录入人	文本	20
8	录入时间	日期/时间	12
9	校核人	文本	20
10	校核时间	日期/时间	12

表 3-6 出水口基本信息表
Table3-6 The base information table of the outfall

序号	字段名称	类型	字段长度
1	编号	整型	4
2	底部高程	双精度	8
3	时间序列 ID	整形	4
4	有否防潮门	文本	20
5	可选项	文本	20
6	X 坐标	双精度	20
7	Y 坐标	双精度	20

表 3-7 汇水区基本信息表
Table3-7 The base information table of the catchment

序号	字段名称	类型	字段长度
1	ID	整型	4
2	如流节点	整型	4
3	区域面积	双精度	8
4	不透水率	双精度	8
5	不透水面积	双精度	8

续表 3-7 汇水区基本信息表
Table3-7 The base information table of the catchment

序号	字段名称	类型	字段长度
6	透水率	双精度	8
7	透水面积	双精度	8
8	坡度	双精度	8
9	特征长度	双精度	8
10	雨量计编号	整型	4
11	曼宁系数	双精度	8
12	径流百分数	双精度	8
13	Horton ID	双精度	8
14	G_A ID	双精度	8
15	C_A ID	双精度	8

表 3-8 雨量计基本信息表
Table3-8 The base information table of the raingage

序号	字段名称	类型	字段长度
1	ID	整型	4
2	形式	文本	20
3	时间间隔	日期/时间	12
4	校正系数	双精度	8
5	数据源	文本	20
6	数据名	文本	20
7	所属部门	文本	20
8	所在位置	文本	20
9	型号	文本	20

表 3-9 时间序列基本信息表
Table3-9 The base information table of the timeseries

序号	字段名称	类型	字段长度
1	id	字符型	50
2	时间	时间日期型	50
3	值	浮点型	8

表 3-10 道路基本信息表
Table3-10 The base information table of road

序号	字段名称	类型	字段长度
1	道路 ID	整型	4
2	道路名称	文本	50
3	所在街道	文本	50
4	道路走向	文本	50
5	所属部门	文本	50
6	道路起点	文本	50
7	道路终点	文本	50
8	道路等级	文本	50
9	路面材料	文本	50
10	横断面形式	文本	50
11	路面状况评价等级	文本	50
12	道路总面积	双精度	8
13	规划道路名	文本	50
14	红线宽度	双精度	8
15	规划面积	双精度	8
16	规划长度	双精度	8
17	是否实现规划	文本	50
18	人行道总面积	双精度	8
19	道路长度	双精度	8
20	道路宽度	双精度	8
21	机动车道面积	双精度	8
22	非机动车道面积	双精度	8
23	盲道长度	双精度	8
24	盲道面积	双精度	8
25	检查井数	整型	4
26	建成时间	日期/时间	12
27	养护时间	日期/时间	12
28	养护责任人	文本	20
29	录入人	文本	20

表 3-11 雨水泵站基本信息表
Table3-11 The base information table of the pumping station

序号	字段名称	类型	字段长度
1	ID	整型	4
2	位置	文本	50
3	建成时间	日期/时间	12
4	归属单位	文本	50
5	入口管径	整型	8
6	出口管径	整型	8
7	集水井尺寸	文本	50
8	井底高程	双精度	8
9	泵站平面图	文本	50

3.2 地图设计

AutoCAD是Autodesk公司在不断升级开发的绘图软件。AutoCAD作为一种计算机辅助设计与制图工具，由于其具有简单、易学、界面优美清晰和强大的图形编辑功能等优点，而广泛应用于很多测绘生产部门及设计部门。市政排水工程管线的图形数据和属性数据绝大多数也是以CAD形式存在。因此排水管网模型所需的图形数据大多都是从CAD图形导入ArcGIS的。

3.2.1 CAD 图形整理

AutoCAD 绘制市政排水管网图形过程中只考虑图形表面之间的联系和输出效果，一般不考虑与 GIS 的结合，即不注重图形的属性数据和拓扑关系。AutoCAD 的图形数据如果不经加工就不能完整地转换为 ArcGIS 图形。因此需要对 CAD 图形进行筛选和编辑^[37]。

首先，应将所有 CAD 图形转换成统一的坐标系和相同的比例尺；其次，CAD 图形的信息量大、信息比较杂乱，需对地图中无用的图形信息和数据信息进行删除；再次，根据地图的功能将 CAD 图分成若干个有序的、有明确含义的、符合地理信息思想的图层，每层代表一类对象。我们在实践中将地图整理成主要由十个图层组成的集合，分别是道路、道路名、建筑物、建筑物名、河流、河流名、管线、检查井、水池和水泵。

另外还要做一些个别的修改，如为了方便在GIS中建立拓扑关系，在CAD图

形中表示检查井的圆的半径改为0.5（两个检查井或两个平行管段的距离一般大于1米），具体操作为在AutoCAD“工具”栏中点击“快速选择”，在“对象类型”中选择“圆”，“特性”选择为“图层=检查井”这就在图中选择了所有检查井；在绘图窗口中单击右键，选择“属性”，在弹出的属性对话框中把“半径”改为“0.5”。另外还要使与该检查井相连的管段在圆内连接或相距很近。且保证管线从一个检查井到另一个检查井之间无断开、重合等现象。

3.2.2 导入图形数据

图形导入是在ArcCatalog环境下进行的，它既可以方便得建立空间数据库，添加、删除各个要素类的属性字段，也为导入图形提供了准确、方便、高效的工具。

运行ArcCatalog，新建一个文件夹，在此文件夹中新建一个New Personal Geodatabase数据库；在此数据库名上右键单击选择New—>Feature Dataset，就可以在此数据库下建立一个自己命名的数据表，这时需要注意的是坐标范围的选择，通常我们选择需要导入的CAD文件作为坐标范围导入（也可以选择*.shp、*.mdb等做为坐标范围导入文件），这样就可以把CAD文件的坐标范围导入该数据表中；然后将CAD文件中polyline导入到新建数据库中。现在以“管线”层的导入为例，在新建数据库选中“pipe”，单击右键，在弹出的菜单中选择load—>Load Data。

在弹出的对话框中导入CAD文件中的“Polyline”，点击“next”，然后选择“Load only the feature that satisf”，输入“‘Layer’ = ‘管线’”，点击“ok”即完成。如图3-4所示：

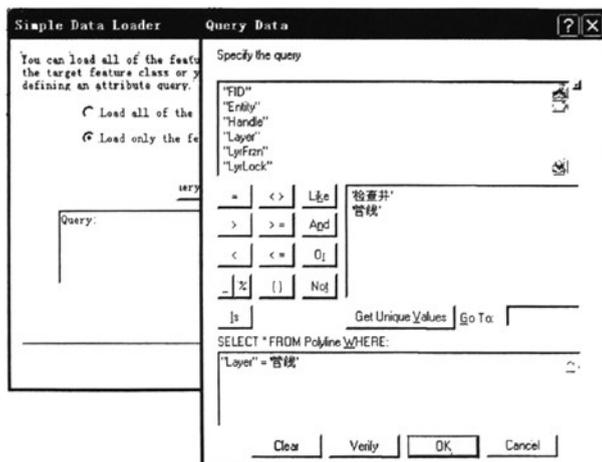


图3-4 导入管网图层

Fig. 3-4 Load the pipe layer

在导入的过程中要注意图层的对应。

CAD 中检查井由圆表示，在导入时生成的是面层。而在模型中检查井是用点表示，这就要求在 ArcGIS 中把检查井面层转换为点层。具体操作为运行 ArcCatalog，打开 ArcToolbox 中的 Feature To Point，输入“manhole”面层。就会把每个检查井圆面转化为点，位置在每个圆的圆心处。

转换后，CAD 中的线型、线宽等信息将丢失^[38]；原来区域的填充颜色等信息也无法导入，因此需对其进行重新设置。

3.2.3 拓扑关系检查

符号和标注是 CAD 图形中表示各种实物属性的主要形式，其表示的拓扑关系较为简单^[39]。如在图 2 中我们可以清楚地看到管段 7-8 与 7 号井和 8 号井的连接关系，但这只是一种视觉效果，而不能说明它们之间有拓扑关系。

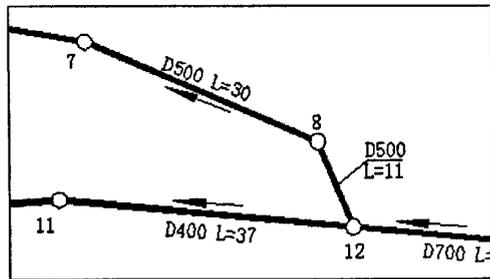


图 3-5 CAD 图形及标注

Fig. 3-5 Map and annotation of CAD

在 CAD 数据库中，通常只记录着表示图形元素的几何位置、形状及大小等。而 GIS 却要求对空间数据的分析功能，不仅有几何坐标，而且包含元素间的拓扑关系。因此 CAD 到 GIS 转换的主要内容之一就是建立了 CAD 几何元素的拓扑关系。

ArcGIS 提供了很多拓扑原则^[40]，可以很方便地检验两个图层是否具有一定的空间关系。建模中用到主要的拓扑规则有：Polygon Must Not Overlap 用于规范汇水区域不能相互交叠；Endpoint Of Line Must Be Covered By Point 用于规范管段两端必须有检查井或排出口；Point Must Be Covered By Endpoint Of Line 用于规范检查井必须在管段端点上。

3.3 地图与数据库的双向更新

在地图和数据库建立连接后，要在图形数据和属性数据之间建立更新机制。当图形数据更改以后，属性数据应该随之更改；在属性数据更改以后，图形数据也应做出更改。

3.3.1 图形数据更改引起的双向更新

(1) 在管段图形更改以后, 如管段长度更改以后, 相应的在数据库中管段表的管长等应该做出相应得改变; 此外, 由于管段管长发生了改变, 在管段上下节点的检查井图形和属性数据的横坐标、纵坐标等也要随之改变。

(2) 当检查井图形数据更改以后, 如检查井位置发生改变, 相应数据库中检查井表的属性数据也要做出改变; 此外, 由于检查井位置发生了改变, 随之检查井上下节点的管长图形数据与属性数据也要随之改变。

3.3.2 属性数据更改引起的双向更新

(1) 在管段属性数据更改以后, 如数据库中管段表中的管段长度更改以后, 相应的在图形中管长等应该做出相应的改变; 此外, 由于管段管长发生了改变, 在管段上下节点的检查井的图形数据和属性数据的横坐标、纵坐标等也要随之改变。

(2) 当检查井属性数据更改以后, 如检查井位置(横、纵坐标)发生改变, 相应数据库中检查井表的属性数据也要做出改变; 此外, 由于检查井位置发生了改变, 检查井上下节点之间的管长也要随之改变。

3.4 本章小结

本章首先介绍了排水管网系统模型属性数据库设计的原则, 按照这些原则就可满足系统设计的各种功能的数据的需要, 满足存储空间最小和存取速度最快, 即能在需要的时间内提供用户所需的所有信息, 也要在有限的空间存储尽可能多的数据。

然后着重论述了本系统的地理空间数据库—Geodatabase, 可以在数据库中存储要素的属性, 赋予要素某种行为, 连接要素间关系, 使用代码利用关系定制要素间特殊的行为; 它是基于空间模型的, 其中保存了图形数据和属性数据, 完全达到了图形数据和属性数据的一体化。并列举了石景山区老山地区排水管网信息管理系统模型所设计数据库表结构。

最后详细说明了地图的来源、转换方式、图形拓扑关系检查。以及介绍了地图和数据库的更新机制。为模型以后的发展更新打下了坚实的基础。

第4章 排水管网水力模型与 ArcGIS 平台的集成

无论在国内还是国外,现在管网建模软件设计的主要趋势都是在地理信息平台基础上进行二次开发。这主要是因为整个世界正向着信息化、数字化不断发展。在给排水领域,“数字化管网系统”概念的提出,恰恰说明了这一点。数字化模式为当前国际上领先的运行控制与管理方式,这也是给排水行业发展的必然趋势^[41]。国内外许多学者对水力模型与 GIS 的集成进行了研究^[42-47]。

目前较为流行的管网模型计算软件有 MOUSE 模型(丹麦水力研究所)、Wallingford Model(英国沃林福特水力研究机构)、SWMM 模型(美国环境保护署)等。其中 EPA(美国环境保护署)开发的 SWMM 已为业界所认同。

随着计算机技术和 3S(GIS、GPS、RS)技术的发展,以及远传设备成本的降低,排水管网系统微观模型的应用进入了实用化的阶段。特别是 GIS 技术的发展,为排水管网系统模型的建立提供了数据和决策支持。排水管网建模软件已不再是原来单纯的以 ASCII 文本文件为数据载体,而是发展为与各种 GIS 软件平台(如 ArcInfo、MapInfo 等)的数据格式无缝连接的阶段。目前国外较为流行的以 GIS 为基础的管网建模软件平台有, DHI(丹麦水力研究所)的 MIKE URBAN, 美国 BENTLEY 的 StormCAD 以及英国沃林福特水力研究机构的 InfoWorks CS 等。但这些研究都是基于他们本国的实际情况。而我国城市排水系统相对复杂,研究多是应用在优化控制方面的宏观模型,克服了微观建模所面临的基础数据缺乏、计算复杂等缺点,但在实际应用中却不够理想。

本章从多角度说明了排水管网模型与 GIS 集成的必要性和优势;并介绍了集成的发展历程;同时,比较了多种集成方式,提出了二次开发集成方式最具优势;并结合实际情况设计了 SWMM 与 ArcGIS 集成的框架结构,为两者的集成作了充分的准备。

4.1 管网水力模型与 GIS 集成的优势

4.1.1 建立管网模型方面

建立大规模城市排水管网水力模型是一项系统工程。要实现排水系统的科学化、规范化、精细化管理,尤其是规模较大的排水系统,建立排水管网动态水力模型是必要的。水力模型可用于排水系统的规划、设计及改扩建;它能用于校核规划、设计是否符合规范;它能用于区域抗洪能力评估以及风险分析。

现实中的管网错综复杂，数据量庞大，为了更加快速、准确地建立已有管网模型，需要借助 GIS 平台强大的空间数据管理和拓扑关系分析功能，提取管网模型所需数据。

4.1.2 管网模型的更新方面

目前我国城市化建设加速发展，管网新建、改扩建速度加快，在这样的情况下需要及时而准确地更新管网。GIS 平台，特别是 ArcGIS 中强大的图形管理功能和便捷的数据组织功能，使管网可以快速有效地更新。数据库更新方面，通过共享数据库的方式，实现了管网模型与 GIS 同步更新的目标。

4.1.3 基于地图的模型输出结果的可视化表达

基于 GIS 平台使得模型表达的结果更加准确、多样化和直观。例如区域地形的表达色彩更加绚丽，并可以制作 DEM 地形图，用 3D 功能更加直观地表现出来。

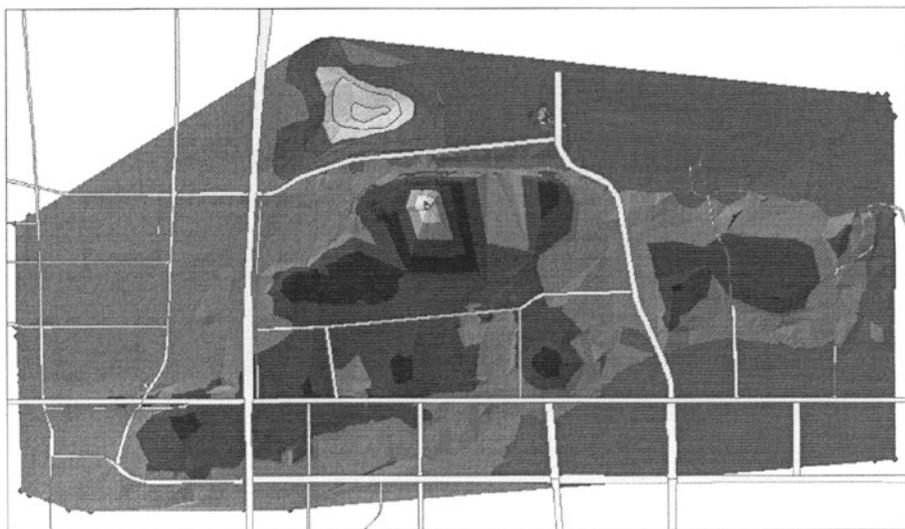


图 4-1 DEM 地形图

Fig. 4-1 Digital Elevation Model

DEM 地形图的优点在于能更直观地反映地势变化，具有良好的可视性。城市地形的确定对于分析雨水流向，划分汇水区域具有重要的指导意义。且对于实现城市排水管网的全面数字化和信息化管理是一个重要内容。

在某些具有详细高程数据的事物，在 ArcGIS 还可以制作出更加形象的立体效果，如我们设定了建筑物高程、道路高程以及管道埋深等信息时，就可以制作

出如图 4-2 所示的立体效果图。

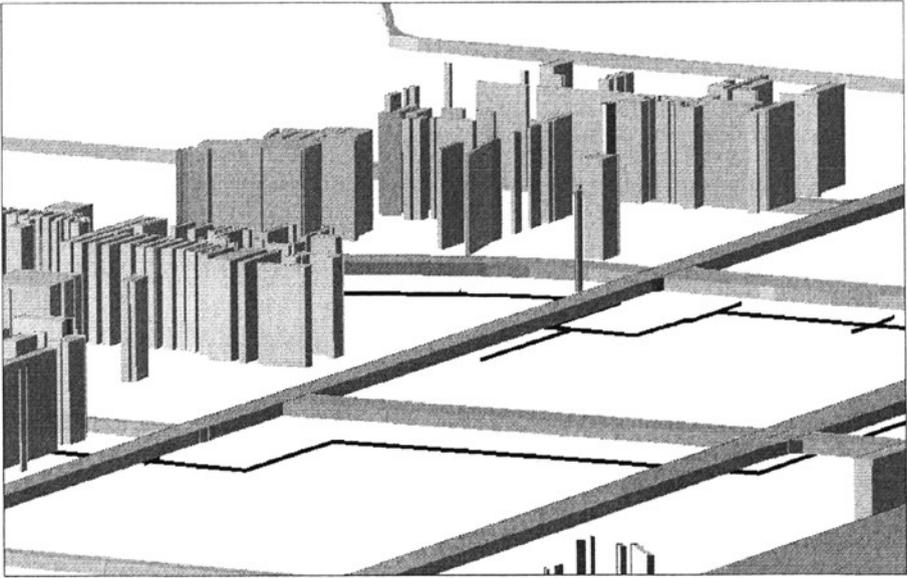


图 4-2 ArcGIS 三维效果图

Fig. 4-2 3D Map of ArcGIS

4.2 排水管网水力模型与 ArcGIS 平台集成的发展历程

以前，多数模型都是运行一个二进制的文本文件（或称脚本文件），在此文件中包含了建模所需的所有数据；渐渐地，模型能够和模型软件自带数据库或其他大众和商业化的数据库软件连接。而地理信息系统本是建立在空间数据库基础上的，能够进行二次开发，现阶段已经发展到水力模型软件与地理信息系统集成。此演化主要分为以下三步过程^[48]。

4.2.1 数据交互阶段

此阶段 GIS 平台和模型间没有直接的关联，而是通过建立两平台间的数据传递机制来关联。GIS 平台和模型平台各自独立运行，数据交换通过一个中间文件，通常是一个 ASCII 文本文件。数据写入这个中间文件，然后读入模型。在这个阶段水力模型和地理信息系统独立运行。

一方面，通过 GIS 平台对数据的管理，产生模型运算需要的全部或部分数据的中间文件；另一方面，模型计算完成后，生成的中间文件作为 GIS 平台模型计算结果的输入文件。

4.2.2 数据接口阶段

此阶段在模型和地理信息系统之间建立了一定的连接。有了这些连接从而使模型和地理信息系统之间同步。数据在连接的两边复制但模型和地理信息系统独立运行。其中最常用的方法是使用 shape 文件，通过它数据可以在模型和地理信息系统之间自动更新或者在两者之间传递。这一阶段需要建立 GIS 平台和模型平台之间统一的协议和组织结构。

4.2.3 数据集成阶段

此阶段是用最精密的方法用于真正的集成中。理想上，GIS 平台应该和模型平台实现无缝链接（通常是建立在数据库的基础上）。水力模型平台和 GIS 平台成为一个整体，可以是水力模型平台集成到 GIS 平台下，或者是水力模型平台具有了管理空间数据库的能力。例如：MOUSE 软件被集成到 ArcGIS 中，产生了 MIKE URBAN 软件。

4.3 ArcGIS 平台与排水管网水力模型的集成的方式

城市排水管网模型中使用的地理信息系统属于应用型 GIS，对于这种 GIS 的开发方式主要有三种：独立开发、宿主型二次开发、基于 ArcGIS 组件的二次开发。

独立开发：对于 ArcGIS 工具软件无任何依赖，从地理空间数据的采集、编辑到数据的处理分析及结果输出，均由开发者独立设计算法，然后选用一种计算机程序语言，在一定的系统平台上编程来实现。

宿主型二次开发：指应用系统开发是基于 ArcGIS 平台软件进行的。ArcGIS 平台软件提供了二次开发的脚本语言（VBA）。用户可以运用 VBA 脚本语言，以原来 ArcGIS 软件为开发平台，为某种应用对象开发出应用程序。

基于 ArcGIS 组件的二次开发：ArcObjects 系列开发包提供了 COM 组件，用户可以利用 ArcObjects 的空间分析能力，直接调用 ArcObjects 中的模块，由简单的地理浏览到复杂的统计分析，同时编写应用程序，开发出针对具体应用环境的相应功能。

表 4-1 对这三种开发方式作了进一步的比较。

系统采取了基于 ArcGIS 组件的二次开发^[49]，在 ArcGIS 平台与水力模型软件之间建立一个临时储存的数据库，既能满足设施维护管理的需要，又能进行模拟、预测与评估时所需的各种水力计算时。

表 4-1 三种应用型 ArcGIS 开发方式的比较
Table4-1 The compare of three ways of development for ArcGIS

开发方式名称	与商业 ArcGIS 工具软件的关系	开发成本	ArcGIS 基本功能的实现难度	开发周期	对开发者的要求
独立开发	无依赖性	低	高	长	高
宿主型二次开发	强依赖性	高	低	短	中
基于 ArcObjects 组件的二次开发	弱依赖性	中	中	中	中

4.4 SWMM 模型与 ArcGIS 平台的集成框架

4.4.1 SWMM 模型的数据接口

EPA (美国环境保护署) 公布了 SWMM5 (暴雨管理模型), 包括用 C 语言编写的具有独立平台的计算引擎 SWMM ENGINE 和用 Delphi 编写的界面平台, 其中计算引擎 SWMM ENGINE 提供了许多 DLL (动态链接库) 可被其他程序调用。

DLL 是允许程序共享执行特殊任务所必需的公共代码和其他资源, 它们能够被应用程序和其它的 DLL 调用的过程和函数的集合体。由于 DLL 代码使用了内存共享技术, 在某些地方 DLL 也被赋予了一些更高的权限, 因而一些一般程序很难实现的功能, 在 DLL 中可以容易地做到, 如实现 Windows 的 HOOK、ISAPI 等。同时, DLL 还为不同计算机语言间代码共享提供了一条方便的途径。动态链接库是 Windows 下程序组织的一种重要方式, 使用动态链接库可以极大地保护用户在不同开发工具、不同时期所做的工作, 提高编程效率。

系统模拟计算时首先由图形数据和数据库数据根据 SWMM 计算引擎需要的输入数据生成模拟所需的输入文件, 然后调用动态链接库 (SWMM DLL) 计算生成输出结果文件, 并将这些按照特殊格式排列的数据读取并保存到数据库中, 根据需要对这些数据进行分析, 也可以进一步结合图形数据进行动态化显示。

SWMM 的 DLL 在调用时提供了以下三个文件作为数据接口^[50]:

(1) 输入文件

这是一个包含模拟一个指定区域内的降雨事件所需的所有信息的文本文件。文件被分为若干个部分, 每个部分以一个关键字作为开头, 在每个关键字下面是具体的属性数据内容。

(2) 输出报告文件

SWMM5 输出报告文件是一个文本文件，此文件包含模拟运行状态信息。同时包含了运行后的错误信息以及各种计算结果的总结信息等。为 SWMM5 提供一个输出报告文件的文件名和输出路径，其计算引擎将运行并书写文件的内容。

(3) 输出二进制文件

SWMM5 模拟过程中，每个事物在每个步长时刻各个水力因素的模拟结果，包含了输出二进制文件。例如，设定 5 秒为模拟步长，则每隔 5 秒就会将每个检查井、管段和汇水区的水力因素写入到二进制文件。

4.4.2 ArcObjects 开发集成平台的结构

集成平台原型是在 Microsoft Visual C++6.0 环境下利用 ArcGIS Engine Developer kit 开发的。基于 COM 组件技术架构了排水管网 GIS 应用的三层框架：基础组件层、高级通用组件层和行业性组件层。

(1) 基础组件

基础组件处于平台最低层，是整个系统的基础，提供基本的交互过程，主要面向空间数据管理，并能实现与数据库系统灵活连接。

从空间数据管理的方面看，利用连续的空间数据模型 SDE（空间数据引擎），借助这一模型，我们可将空间数据加入到 RDBMS（关系数据库管理系统）中去。SDE 并不改变或影响现有的数据库或应用，它只是将图形数据项（Shape Column）加入到现有数据表中，供软件对其关联的空间数据进行管理和访问。SDE 将地理数据和空间索引放在不同的数据表中，通过关键项将其相联。

组成 SDE 中地理要素的是其属性和几何形状点、线或面。与图上的要素或坐标相关联的文字（串）是文字注记，它是地理要素的属性，被存于数据库的一个或多个属性表中。

从空间数据库管理方面看，客户端通过 SDBConn 对象和 DatabaseCatalog 对象与 SDE 进行通讯。前者存储和连接引擎服务器所需的连接参数包括：服务器地址、用户名和密码；后者管理引擎服务器下的图幅目录列表，显示所连接的服务器中存储的所有独立要素类、要素数据集下包含的要素类，且负责将地图显示在地图窗口上。

从空间数据库管理看，客户端主要通过 ADO 来维护属性数据库，并且与图形界面交互。

上述运行机制如图 4-3 所示

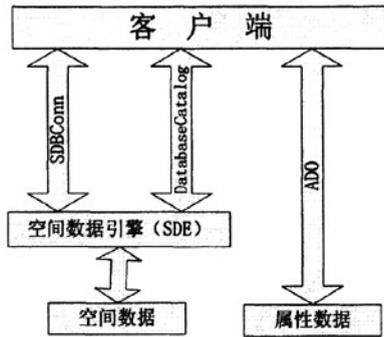


图 4-3 基础组件运行机制

Fig.4-3 The mechanism of based components

(2) 高级通用组件

在本平台原型中, 使用 VC++ 编程环境提供的控件以及 ArcGIS Engine 提供的 ToolbarControl、TOCControl 和 MapControl 控件来定制应用程序的界面。开发者可使用这些控件与其它 ArcObjects 和 ArcGIS Engine 命令, 来创建一个实现 GIS 基本功能的视图窗口应用。如图 4-4 所示为客户端界面。

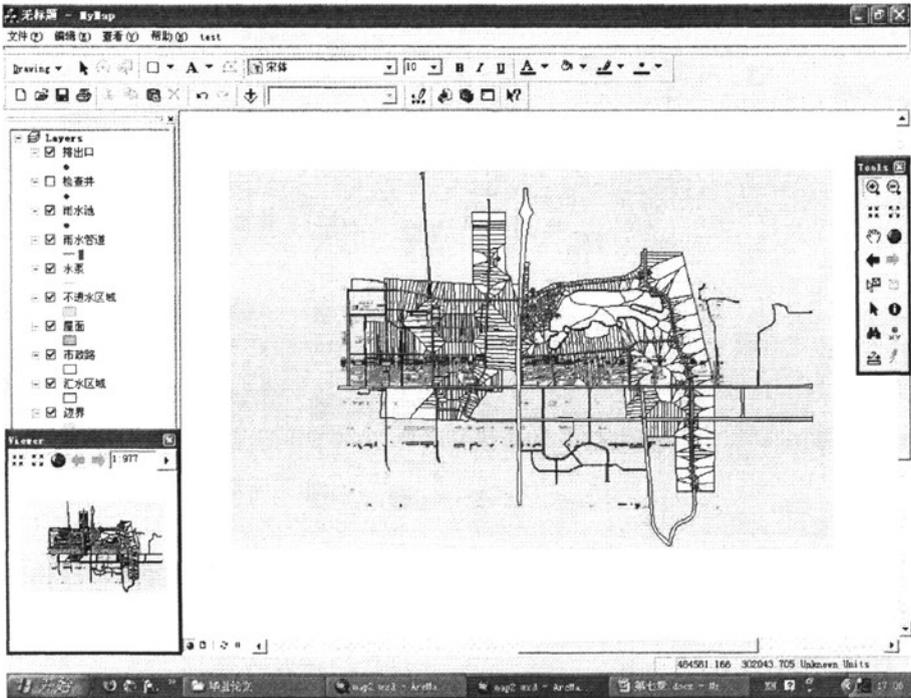


图 4-4 客户端界面

Fig.4-4 The platform of client

(3) 专业组件

作为应用于排水系统的实用型 GIS 系统, 关键是专业组件的开发实现, 即排水管网模型与 ArcGIS 平台的有机结合, 并且将模型的计算结果直观而准确地表达在 ArcGIS 平台上, 从而方便决策管理。

鉴于排水管网拓扑关系复杂、动态模拟难度较大等情况,目前还没有有效的工具型 GIS 系统可以满足排水管网水力状态的模拟,特别是应用于排水企业日常管理和调度的工具型 GIS 系统。因此,本系统在上述基础组件和高级组件开发的基础上将排水管网模拟计算软件 SWMM,通过动态函数库融入到系统平台之中,从而实现了专业组件的开发。利用动态函数库 swmm5.dll 中提供的接口函数对系统生成的输入文件进行计算,并且将计算结果导入到空间数据库中相应的管段和节点的数据表中,实现空间数据和属性数据的无缝关联。

4.5 本章小结

本章首先介绍了排水管网水力模型与 GIS 平台集成优势,这主要表现在:为了更加快速、准确地建立已有管网模型,需要借助 GIS 平台强大的空间数据管理和拓扑关系分析功能,提取管网模型所需数据; ArcGIS 中强大的图形管理功能和便捷的数据组织功能,使管网可以快速有效地更新。数据库更新方面,通过共享数据库的方式,实现了管网模型与 GIS 同步更新的目标;基于 GIS 平台使得模型表达的结果更加准确、多样化和直观。

然后总结了管网模型在排水管网水力模型与 GIS 集成的发展历程;最后说明了城市排水管网模型中使用的地理信息系统属于应用型 GIS,对于这种 GIS 的开发方式主要有三种:独立开发、宿主型二次开发、基于 ArcGIS 组件的二次开发,并最终决定采用基于 ArcGIS 组件的二次开发方式。

为适应 GIS 二次开发的新趋向,在 Microsoft Visual C++6.0 环境下利用 ArcGIS Engine Developer kit,基于 COM 组件技术架构了排水管网 GIS 应用的三层框架:基础组件层、高级通用组件层和行业性组件层,结合排水管网模型数据库的结构,开发了 NetGIS 系统平台。实现主要功能如下:

充分利用了 ArcSDE 建立了空间数据库,并结合排水管网模型数据库的结构,是模型完成了管网空间数据和属性数据的无缝链接;

实现了排水管网 GIS 管理平台图层方式、数据更新和信息查询等功能;

将 SWMM 集成到该平台下,达到了计算结果与空间信息的无缝链接。

第5章 应用实例

5.1 参与项目介绍

2008年8月第29届奥运会在北京举行,我有幸参与了两个有关奥运场馆雨水排除系统研究的项目。分别是:奥运中心区雨水排除系统研究和老山地区自行车、击剑场馆的雨水排除系统研究。

2007年9月,奥运中心区雨水排除系统研究项目由北京市规划委员会组织,主要参与单位有北京市规划设计研究院、北京工业大学、DHI(丹华水利有限责任公司)。

此项目主要采用DHI的Mike Flood软件,基于ArcGIS平台的雨水系统GeoDateBase数据库,构建雨水径流、雨水管网、河道系统、地面二维漫流的耦合模型,选择理论和实际降雨雨型,进行不同重现期情景的模拟,对雨水系统设计进行校核,对超标降雨进行风险分析,提出防洪应对措施。

其中雨水管网模拟部分主要采用Mike Urban软件,该软件是将DHI开发的水力模拟计算软件Mouse与ArcGIS平台集成。属于比较成熟的水力软件,在世界上很多国家都得到推广和应用。

2008年2月,老山地区自行车、击剑场馆的雨水排除系统研究项目由北京市石景山区市政管委组织,主要参与单位是北京市石景山区市政管理所和北京工业大学。

此项目主要采用自行开发的系统NetGIS(SWMM与ArcGIS集成系统),建立了一套健全的监管与高效的管理体系,摆脱传统靠图纸管理繁多信息的方式,建立健全的数字化、信息化管理平台显得十分有必要。在这种情况下,我们开发了城市排水管网地理信息系统,为管理部门的排水信息提供了一个现代化、信息化的管理平台。

系统根据大量石景山区的CAD测绘图,制作了石景山区ArcGIS格式的电子地图。根据规划和设计计算表,将石景山区老山地区排水管网数据录入系统中。其中截流干管管长共计25901米,检查井721个。

系统建立后,改变了落后的人工管理排水管网设备的模式,能够灵活方便的对排水设施进行查询统计并利用专业化的工具进行分析,使管理体系达到了健全、高效的信息化程度。

5.2 自行开发系统主要功能简介

5.2.1 系统界面

该区排水系统主界面如图 5-1 所示，包括菜单栏、绘图栏、工具栏、图层窗口、主界面窗口、缩略窗口等。除了继承了 ArcMap 自身的功能以外，系统还二次开发了一系列排水专业工具，满足排水用户的特定需求。

主界面的左上方是菜单栏和绘图栏，菜单栏里包括：文件，负责打开、关闭文件和界面图形导出等；编辑，操作包括撤销、选择、复制和粘贴；查看，负责工具栏和图层窗口等的显示与否；剖面，用来绘制纵、横剖面图；水力计算，调用 SWMM 进行水力计算。绘图栏用来绘制点、线、面等图形以及输入文字。

主界面的左侧是图层窗口，图层窗口显示当前打开的所有图层名，通过图层窗口，可以方便的控制某个图层是否显示；并可以通过鼠标的拖放，来改变某个图层在地图上所处的上下位置；并可通过单击右键选择图层的复制、关闭、选择关联、属性表查询、显示属性以及数据导出等。

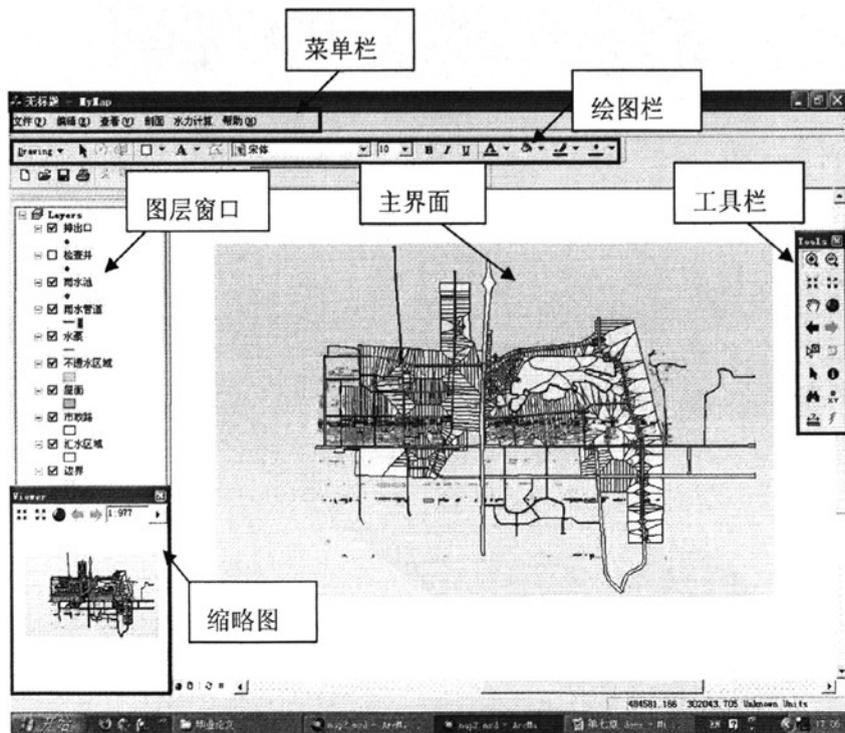


图 5-1 系统主界面

Fig. 5-1 The system main interface

主界面的左下方是缩略窗口，当在主工作窗口中缩放或移动地图时，用户可

以通过缩略窗口清楚地观察到主工作窗口中显示的地图范围在整个地图上所处的位置和大小。

主界面的右方是工具栏，用户可以在其中进行放大、缩小、平移、属性查询、距离查询等各种地图操作。

主界面的最上方是菜单栏和工具栏，最下方是状态栏，状态栏中显示当前地图窗口的缩放比以及正在编辑的图层和选择的图形对象所在的图层。

5.2.2 系统主要功能

(1) 图文双向查询

图文双向查询功能是该系统强大的一个重要标志。也就是说既能够由地图上的管段、检查井等图形元素查询到该元素的属性数据，又能够由属性数据查询到满足用户指定条件的图形元素；并将相应的管段、检查井在地图上以颜色来和同类其他图形元素区分或闪烁显示；并统计报告出满足所列条件的管段的个数和总长度或检查井的个数等统计信息。同时也可以通过列表的方式来得到的满足条件的管段、检查井信息。

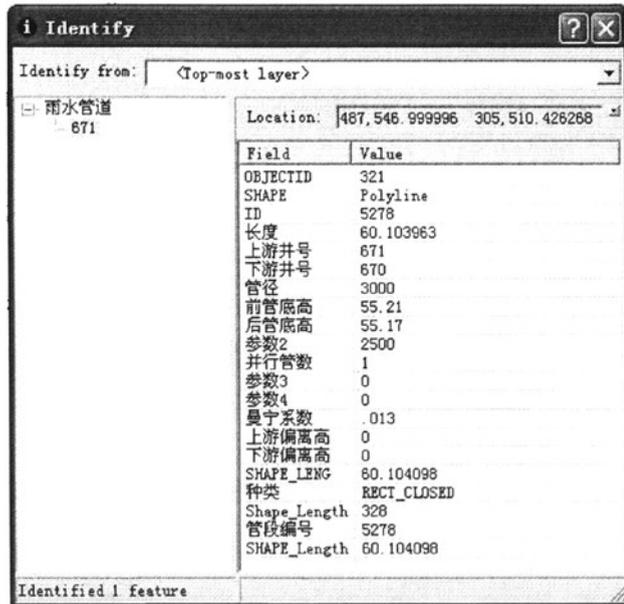


图 5-2 管段查询结果显示

Fig. 5-2 Show the pipe enquiry result

(2) 量算工具

管理排水设施时，某点的点坐标往往需要知道的，任意两点之间的距离以及某个封闭区域的面积等信息也时常需要了解。该系统提供了丰富的测量工具，能够获取地图上任意点的坐标、测量任意两点之间的距离(直线或多段线)、测量任意面的面积。

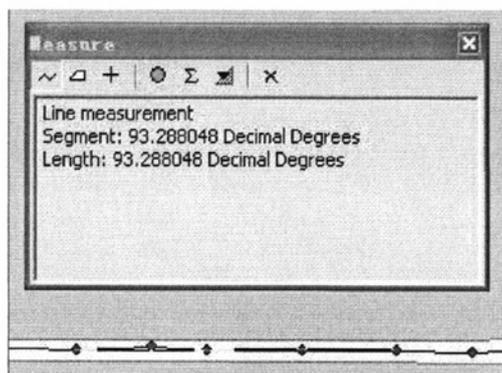


图 5-3 查询两检查井之间的距离

Fig. 5-3 Check the distance between the two wells

(3) 数据检查器

城市排水管网信息量庞大、新建改造速度快，在数据录入和更新的过程中难免有所纰漏，容易导致数据不准或严重错误，而这些误差往往导致模型的模拟结果与真实结果大相径庭。所以在建模前对数据进行检查就很有必要，这样过滤掉人为的错误，从而使模拟结果更接近真实。

本程序根据给排水标准规范，结合地方上不同的约束条件，编制了数据检查器。程序从管长比例、坡度、管段埋深、井深四个角度检查数据的可信程度，校核数据的准确性。

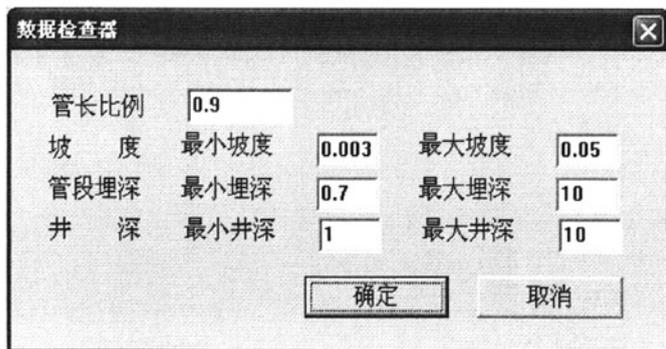


图 5-4 数据检查器的输入参数

Fig. 5-4 The input parameters of the data inspection

(4) 管网连通性分析

由于大意与疏忽，在系统图形数据与属性数据的输入过程中可能导致整个排水流域系统中存在孤立的未与整个排水系统相连接管段、检查井等，而自身又无法形成一个排水子流域系统，在水力模拟计算前要将这些孤立的管段、检查井等查找出来，生成水晶报表给用户进行核查、修改。

(5) 管网专题图

系统能够根据排水管网的专业特性等生成排水管网专题图，包括排水管网流

域图、排水系统大用户图、排水用户分类图，还能根据管段的管径、管长等大小值分阶层生成色阶图。

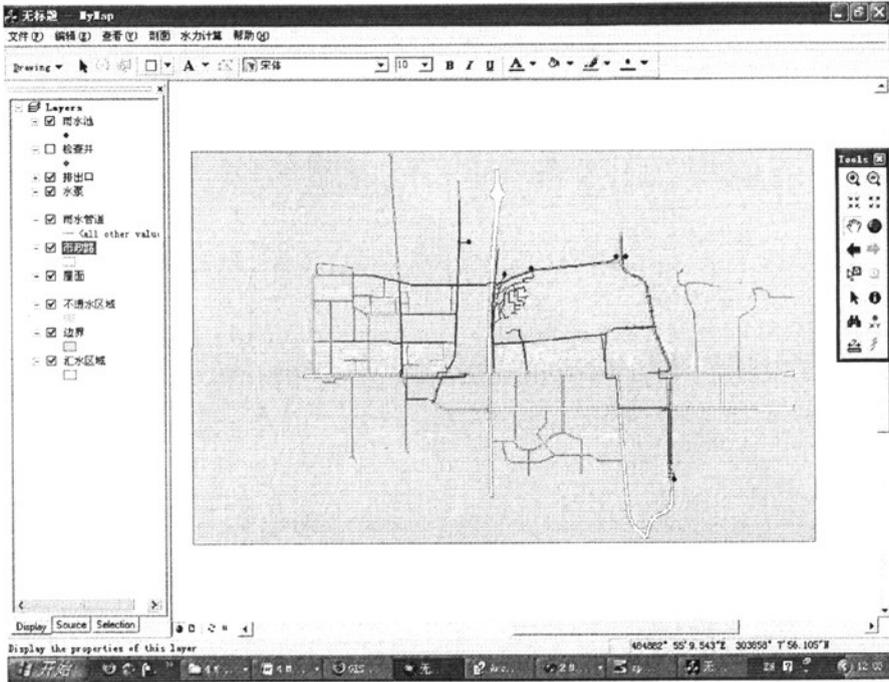


图 5-5 排水管网分布专题图

Fig. 5-5 Drainage network distribution thematic maps

(6) 管网断面可视化

排水管网的横、纵剖面图的自动绘制，对于管网的综合管理、维护和应急决策等均具有重要的意义^[51]。城市排水管道沿其走向的高程信息反映在纵剖面图上，道路切面上管道和道路设施的空间位置关系反映在横剖面图上^[52]。

系统通过对 ArcGIS 进行二次开发，建立了排水管网地理信息系统，并在工具栏上制作了方便快捷的横、纵剖面图命令。点击横剖面图命令后，就可在地图上画出与管道相交的横剖面虚线，横剖面图即可自动生成；点击总剖面图命令，然后任意选择地图上两个连通的检查井，纵剖面图即可自动生成。用户可方便快捷的了解到地下排水管网的平面与空间分布情况。

1) 生成管网纵剖面图

选定两个检查井，通过从属性数据库中查询，获得连接两个检查井的管段，从纵剖面属性数据库中查询多个记录值，通过获取左边埋深与右边埋深字段，获得一系列埋深数据，同时得到这些管段的管径、管长等信息。以设备的横坐标为 x 轴，以埋深为 y 轴，形成纵剖面图。纵剖面图实例如图 5-6 所示：

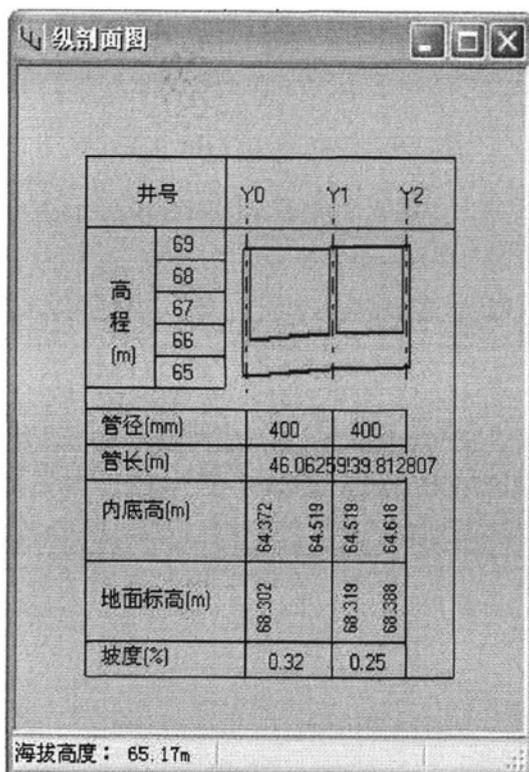


图 5-6 显示的相应的纵剖面图

Fig. 5-6 Showing the corresponding profile map

2) 生成横剖面图

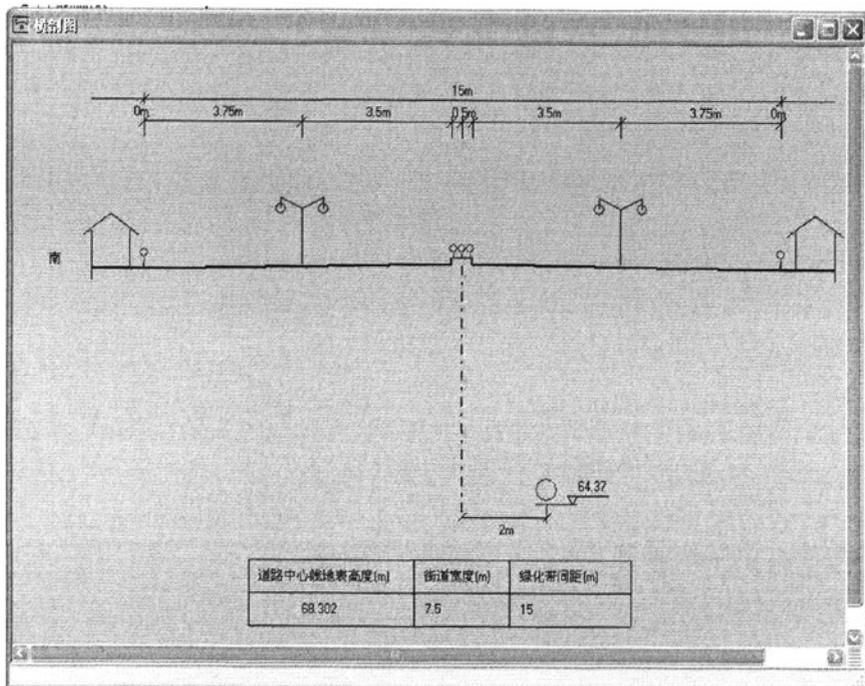


图 5-7 横剖面图的显示

Fig. 5-7 Display the Cross-section map

绘制横剖面图时首先绘制横剖面虚线,并根据横剖面虚线获取该剖面所截取的各种管线的属性信息和道路的属性信息,得到管线的空间分布关系,然后根据这些属性数据绘制横剖面图。

用户鼠标拖动或输入两点的坐标在客户区生成一条线,这条线表示所截管线的任意截面在地图上的投影。从二维地图上获取的节点的原始二维坐标,从属性数据库中读取管线横剖面图相关参数信息。

纵剖面图实例如图 5-7 所示。

(6) 水力计算与模拟

系统集成了 EPA(美国环境保护署)公布的 SWMM(暴雨管理模型)。SWMM 包含用 Delphi 编写的界面平台和用 C 语言编写的具有独立平台的计算引擎 SWMM ENGINE。其中计算引擎 SWMM ENGINE 可以编辑成动态函数库(DLL)供其他程序调用。系统模拟计算时首先由图形数据和数据库数据生成模拟所需的数据文件,然后调用 SWMM 的动态函数库计算生成结果,并保存到数据库中,

The dialog box '参数设置' (Parameter Settings) is organized into several sections:

- 一般设置 (General Settings):**
 - 流量单位 (Flow Unit): CMS
 - 渗透模型 (Permeability Model): HORTON
 - 计算方法 (Calculation Method): DW
 - 允许蓄水 (Allow Storage):
 - 跳过恒定流时期 (Skip Steady State Period):
- 时间设置 (Time Settings):**
 - 开始时间 (Start Time): 2001-01-01 00:00
 - 开始记录时间 (Start Recording Time): 2001-01-01 00:00
 - 结束时间 (End Time): 2001-01-01 08:00
 - 结束时刻 (End Moment): 08:00
 - 开始清扫时间 (Start Sweeping Time): 01:01
 - 结束清扫时刻 (End Sweeping Moment): 12:31
 - 未下雨天数 (No Rain Days): 0
- 步长设置 (Step Size Settings):**
 - 报告 (Report): 00:05:00
 - 径流(干旱) (Runoff (Drought)): 00:20:00
 - 径流(雨季) (Runoff (Rainy Season)): 00:10:00
 - Routing Time: 00:20
- 动力波设置 (Dynamic Wave Settings):**
 - 长度波长(秒) (Wavelength (s)): 0
 - Variable Step: 0.75
 - Inertial Damping: PARTIAL
 - Normal Flow Limited: NO
 - Min Surfarea: 0

Buttons: 确定 (OK), 取消 (Cancel)

图 5-8 水力模拟参数的选择

Fig. 5-8 Hydraulic simulation parameter selection

根据需要对其进行分析和进一步结合图形数据进行动态化显示。模拟时的参数设置界面如图 5-8 所示。模拟计算后,可以得到任意汇水区在降雨过程中的下渗水

量、径流变化情况等；可以得到任意节点在降雨过程中的水位变化过程、流量过程线、是否淹没，淹没时间长度、体积等；可以得到任意管段在降雨过程中的流量变化过程、流速变化过程、水深变化过程、有压流或无压流、有压时间长度、满流或非满流、满流时间长度等。系统可用某一设计重现期降雨量过程线（一般选择芝加哥雨型）的模拟，从而对排水管网规划、设计进行校核、评估；也可以为某一降雨事件对排水管网的影响进行评估，判断排水管网的瓶颈所在，为排水管理部门制定应急预案、管网的改造方案提供参考。

5.3 奥运中心区雨水排除系统

5.3.1 项目基本思路

2008年8月8日奥运会将在北京召开。为了保证奥运会的顺利召开，由市规委组织，会同各部门和专家经过多次论证，提出需要提高奥林匹克森林公园及场馆的排水标准，其中雨水干线标准提高至5年一遇，支干线提高至2-3年一遇，泵站标准提高至5年一遇。同时，制定了奥运场馆雨洪利用技术导则，在保障排水安全的同时，加大了雨洪利用的力度。

在理论分析的基础上，通过成熟先进的雨水系统模拟软件对奥林匹克公园雨水系统进行模拟分析，验证理论分析的结果，模拟在不同强度暴雨条件下奥林匹克公园地区雨水管道的抗洪标准和能力，以及奥林匹克公园地区可能出现的积水点的积水深、积水时间，并以此为依据提出积水应对建议也是十分有必要的。

因此，北京市规划委员会提出了进行“奥林匹克公园地区雨水系统研究”的任务，并委托北京市城市规划设计研究院承担此任务。北京市城市规划设计研究院在对本次规划研究任务进行深入发掘的基础上，联合北京市水利规划设计研究院、北京工业大学和丹华水利有限公司（中国）等单位共同开展研究工作。在各单位研究成果的基础上，北京市城市规划设计研究院编制了奥林匹克公园地区雨水系统研究报告，模拟在不同强度暴雨条件下奥林匹克公园地区雨水管道的抗洪标准和能力，以及奥林匹克公园地区可能出现的积水情况，完成了本次规划研究的任务。

5.3.2 雨水管道模型概述

城市管网模型建立在AO的构架基础上，工程文件采取Geodatabase数据库作为存储格式，这使得其与GIS具有天然的联系，可以提供强大的GIS功能。

其水动力学模型选用 DHI 开发研制的管流模型采用 MOUSE 标准模块 -管流模块。在管流模块中, 先进的计算公式使模型能够准确描述各种水流现象和管网元素如灵活的横截面形状, 包括标准形状、圆形人孔 (检查井)、蓄水区溢流堰泵站操控、水流调节构件、恒定或随时间变化的出口水位、恒定的或随时变化的入流流量、人孔/集水区的水头损失、随深度变化的摩擦系数等。

Mouse 水动力学计算基于动态流 St.Venant 方程组即连续性方程 (质量守恒) 和动量方程 (动量守恒-牛顿第二定律):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = gAI_0$$

式中 y ——为水深 (m);

x ——为水流方向的距离 (m);

α ——为速度分配系数;

I_0 ——为管底坡度;

I_f ——为摩擦比降。

模型采用了 Abbott-Ionescu 六点隐式格式有限差分数值求解, 此计算方法可以自动调整时间步长, 并为分支或环型管网提供有效而准确的解法。并且该计算方法适用于排污管道的有压流和自由水面的垂向均匀流。临界和超临界流都使用同样的数值解法处理。水流现象如倒灌和溢流可以被精确地模拟。

5.3.3 软件主界面

与自行开发的 NetGIS 系统相比, Mike Urban 同样具有菜单栏、绘图栏、工具栏、图层窗口、主界面窗口等。除了继承了 ArcMap 自身的功能以外, 软件还集成了 Mouse 水力计算软件, 满足排水用户的特定需求。

Mike Urban 在菜单栏、绘图栏、工具栏中的选项更加丰富多彩, 工具更注重专业化, 其界面也更加优美。如仅汇水区域选项, 就有多个工具: 有手工绘制, 添加多边形顶点, 删除多边形顶点, 用系统工具自动生成泰森多边形, 将各个汇水区域自动连接到相应的检查井, 也可手动逐个连接。这主要还是 DHI 多年来大量投入人力物力不断开发研究的结果。

Mike Urban 的图层窗口虽然和 ArcGIS 形式完全一样, 但 Mike Urban 却不能直接读取 ArcGIS 格式的数据, 当然 Mike Urban 提供了转换工具, 使 ArcGIS 格式的数据进入模型。

Mike Urban 主界面窗口在色调选择上更加柔和、舒适,当然也可以自己设置颜色来适应用户的喜好。

Mike Urban 主要界面如图 5-9 所示,

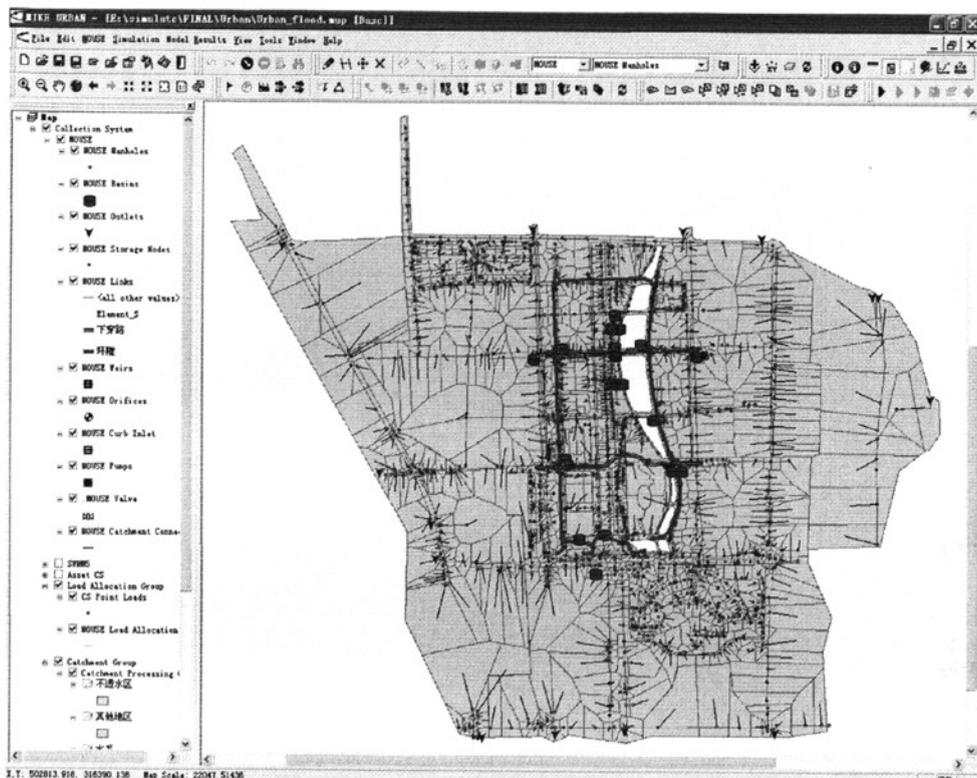


图 5-9 奥林匹克公园地区雨水管网模型图

Fig.5-9 The map of drainage system of the Olympic Park Area

5.3.4 基本操作

与 NetGIS 系统相比, Mike Urban 操作非常复杂,学习起来较难。如 NetGIS 系统可以直接读取 ArcMap 能读的一切数据 (*.shp, *.mdb, *.mxd 等);而 Mike Urban 不行,要让数据进入其中还需用 Mike Urban 的转换工具再次转换,而且此转换是单向的,基本不能重新回到 ArcGIS。

另外在进行水力模拟计算时, NetGIS 系统只需要按图 5-8 提示选择确定参数即可; Mike Urban 却要麻烦的多,仅集水区就要分三种情况进行设置,如图 5-11 所示。

Mike Urban 所识别的输入雨型文件是 DHI 特有的 *.dfs0 的 Mike Zero 文件;

而 NetGIS 系统可以识别*.txt 格式的文本文件。在这方面 NetGIS 系统也减少了两种文件格式转换过程，操作起来更加方便。

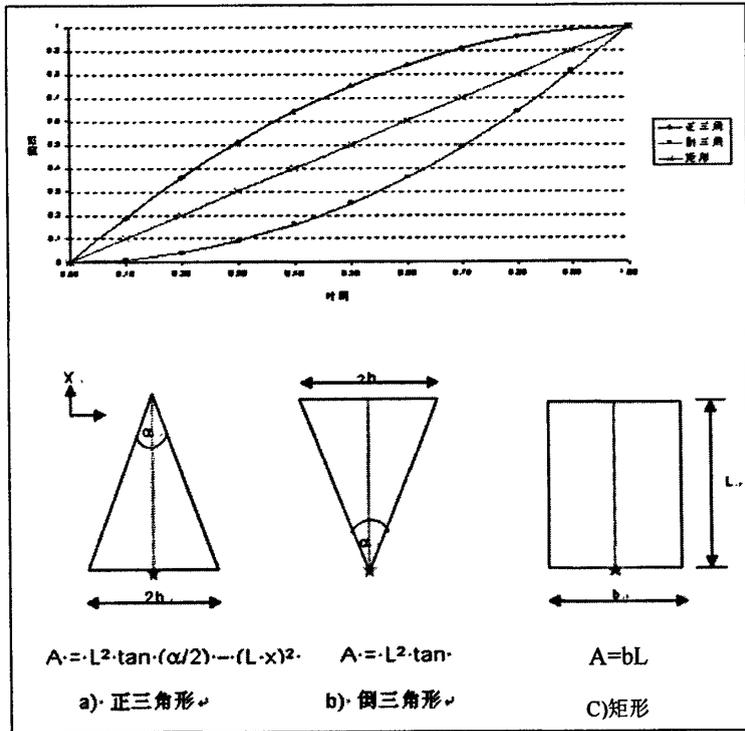


图 5-10 不同类型集水区的时间-面积曲线
Fig.5-10 T-A curves of different subcatchment

5.3.5 结果表达

与 NetGIS 系统相比，同样 Mike Urban 也具有可视化表达，可以绘制管线纵、横剖面图，也可以将有压流管段以专题图的形式表达出来。

另外，Mike Urban 的表达更加多样，还可以查看每个检查井不同时刻的水位变化、每条管段上不同时刻的最大水头并可以录制成影视文件，以便以后查看和展示。

5.3.6 价格比较

Mike Urban 属于商业软件，它里面还包括 ArcGIS 软件部分组件，用户购买时这些组件的价钱也要加进去，因此价格高昂。

相比之下 NetGIS 系统就低得多，它只要求用户购买 ArcGIS 中价格最低的

ArcEngine 组件，就可运行自行开发的 NetGIS 系统。

5.4 本章小结

本章是应用实例介绍，以两个项目为基础，介绍了自行开发的 NetGIS 和 Mike Urban 两个系统。主要内容是 NetGIS 系统界面，以及查询、管线联通性分析、纵横剖面图绘制、水力计算等系统功能等。从而说明了该系统具有较强的分析功能、水力计算功能和表现形式。

并将 NetGIS 系统与 Mike Urban 进行比较，说明了世界公认比较成熟的软件—Mike Urban 具有优美的界面和强大的功能；它在结果表达上的丰富多彩尤其值得我们学习借鉴。也体现了 NetGIS 系统具有操作简便，几乎不用花费时间进行专门学习就可使用；费用低廉，它只要求用户购买 ArcGIS 中价格最低的 ArcEngine 组件就可运行。

由此可见排水管网水力模型与 GIS 平台的集成可用于信息化管理和评估，其实用性强，具有很好的应用前景。

结 论

本文系统地说明了排水管网模型方面的理论知识和发展现状,详细介绍了 SWMM 模拟排水管网的情况。说明了排水管网模型同地理信息平台集成的优势和发展历程,实现了在 Visual C++ 6.0 平台下,将 SWMM 集成到 ArcGIS 平台中。使得管网模型在建立效率上大幅度提高,在运行结果表达上更加直观、形象,在计算上更加快速准确。

并在此基础上构建城市排水管网信息管理系统,取得了以下几方面的创新性成果:

首先,以 SWMM 为管网水力模型的主要研究对象,从多角度论述了排水管网水力模型与 ArcGIS 结合的必要性及其可行性。GIS 在管网模型的建立上,提供了方便快捷的途径。在管网计算结果的表达上,更加丰富多彩,可以方便地绘制 DEM 地形图,建立模型三维立体效果。在管网模型数据的管理和更新技术层面上,更加简单准确。

其次,研究了城市排水管网的图形结构与拓扑结构,并根据排水管网的专业特点,将排水管网的图形进行了科学的组织与分类,根据专业需求,说明了排水管网 ArcGIS 地图的获取途径与转换方法。

然后,设计了排水管网属性数据库,研究了构建城市排水管网信息管理系统所需的属性数据。根据系统设计的各种功能(如绘制横、纵剖面图等)与应用,设计了系统数据库中各个表的字段和各个表之间的关系。分析了各表中字段数据的来源、获取方式与转换方法。研究了图形数据与属性数据之间的链接方式与更新方式,建立了图形数据与属性数据之间的双向更新。

最后,初步将暴雨管理模型(SWMM)与 GIS 平台(ArcGIS)集成,构建了一个集排水设施日常管理维护与水力计算模拟于一体的城市排水管网信息管理 NetGIS 系统。系统既具有 GIS 平台原有的查询、空间分析、量算等功能,还结合给排水专业的特点,集成了 SWMM 对排水设施进行模拟预测的功能,能够对排水设施进行科学化的预测、评估,为排水管理部门提供了一个信息化、专业化的管理平台。

由于时间和精力有限,在城市排水管网水力模型与 ArcGIS 集成技术研究中仍然存在许多不足与实际困难,希望自己以及更多的人以后在以下几个方面进行深入研究:

缺乏对 SCADA 技术、GPRS 技术等新技术的细致研究,应了解自动化控制专业的知识,加强对自动控制仪表、通信设备及其数据接口的研究。

SWMM 是一个功能强大的暴雨管理模型，应更加细致的研究其中水力模拟中各参数的选择、滤定方法，使得模型更加准确，使用更符合我国情况的参数选择范围和获取方式。

ArcGIS 平台已经具有强大的结果表达模式，如 DEM 地形图、空间三维结构图、专题图等，但这些都不属于给排水专业专用的表达方式，并不能将水力计算结果完美的展示出来。因此要学习借鉴 DHI 的 Mike Urban 软件中的结果表达模式，如管段、节点的水头变化过程线，还有录像功能将这些变化过程充分表达。

系统集成了 SWMM 水力模拟模型与 ArcGIS 平台，但两者之间往往存在数据不匹配的地方，应当在两者之间建立便捷、合理的数据纠错机制。应使两者之间的集成更加深入紧密，开发一系列方便、适用的功能。

参考文献

- 1 周玉文. 城市排水管网事业面临的新挑战. 给水排水. 2003, 29(2):卷首语
- 2 张彦晶. 上海城市排水管网数字信息化管理. 上海水务. 2006, 22(3):30~32
- 3 王文远, 王超. 国外城市排水系统的发展与启示. 中国给水排水. 1998, Vol, 14(2):45-47
- 4 周玉文. 城市排水管网非恒定流模拟技术的实用意义与应用前景. 给水排水. 2000, Vol, 26(5) 14-16
- 5 姜永发, 张海涛等. ComGIS 技术开发排水管网信息系统. 中国给水排水. 2004, vol.20(2):12-15
- 6 彭文祥, 贾嵘等. 基于 GIS 的城市排水管网信息系统. 西安理工大学学报. 2001, 17(4):396~399
- 7 张力, 耿为民等. 地理信息系统在排水系统管理中的应用. 城市道桥与防洪. 2002-03, (1):66~69
- 8 修文群等. 城市地理信息系统(GIS). 北京希望电脑公司, 1999
- 9 Reich Hardt, Tony, Environmental GIS : The world in a computer. Journal of Environmental Science & Technology. 1996(1):34-36
- 10 刘光. 地理信息系统二次开发教程. 清华大学出版社, 2003:257~276
- 11 王晓莲, 彭永臻等. 大庆市给水排水管网信息管理系统的开发. 工业用水与废水. 2004-02, 35(1): 50~53
- 12 白玉琪, 李凤霞等. 地图服务器体系结构和 R-Tree 空间索引技术. 计算机工程与应用. 2002, 15: 238-240
- 13 Meinhard Breiling, Paper to Conference "Water Savings Strategies in Urban Renewals" The Use of Geographic Information Systems (GIS) in Local Planning and Possible Contributions to Integrated Water Management in Sweden. February 1 to 3, 1996, Vienna
- 14 朱文忠. 面向对象的 GIS 结构设计. 解放军测绘学院学报. 1994.3, vol.11(1):43-46
- 15 李德仁, 龚健雅等. GIS 的数据组织与处理方法. 测绘通报. 1994, (1):28-37
- 16 黄波. 地理信息系统的数据库模型与系统结构. 环境遥感. 1995.2, vol.10(1):63-69
- 17 R.G. Greene, J.F. Cruise. Urban watershed modeling using geographic information system. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE. 1995, 121(34):318~325
- 18 S.P. Meyer, T.H. Salem, J.W. Labadie. Geographic information systems in urban

- strom-water management. Journal of water resources planning and management.1993, 119(2):206~228
- 19 J.S. David, P.H. James, T.W. Leonard. Geographic information systems, decision support systems and urban storm-water management. Journal of water resources planning and management. 2001, 127(3):155~161
- 20 R. Gilles, D. Pierre. Tools for analysis and decision support for sewer networks: Assessment of needs and interface integration. Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage, Portland. 2002, United States:1~16
- 21 R. Vasamsetti, S. Vatturi, P. Deering. Characterizing physical and hydraulic habitat using ArcGIS and hydraulic modeling techniques. Proceedings of the Symposium - Protection and Restoration of Urban and Rural Streams, Philadelphia. 2003, United States:222~231
- 22 M. Slavicek, L. Macek, K. Charvat. Developing the application of GIS at the Mlada Boleslav Waterworks. Water Supply. 2000, 18(4): 16~23
- 23 <http://www.dhi-cn.com>
- 24 <http://www.bentley.com/zh-CN/>
- 25 <http://www.wallingfordsoftware.com.cn/>
- 26 张震芳, 信昆仑等. 浅谈地理信息系统与排水模型软件的结合使用. 四川环境. 2008, Vol.27(4): 110-113
- 27 周玉文. 城市排水系统非恒定流模拟技术研究. 哈尔滨建筑大学博士论文. 1998
- 28 Christopher Zoppou. Review of urban storm water models. Environmental Modeling & Software. 2001, (16):195-231
- 29 Willam James. Best modeling practices for urban water system(Monograph 10). CHI. 2002
- 30 岑国平, 詹道江. 城市雨水管道计算模型.中国给水排水. 1993, 9(1):37~40
- 31 徐向阳. 平原城市雨洪过程模拟. 水利学报. 1998, (8)
- 32 李树平, 刘遂庆. 给水管网水力计算模型数据库的开发. 给水排水. 2000, 26(12): 81~84
- 33 Melissa Lamont. Managing Geospatial Data and Services. The Journal of Academic Librarianship. November 1997:469~473
- 34 Rian E. Mennecke, Martin D. Crossland. Geographic Information Systems: Applications and Research Opportunities for Information Systems Researchers. Proceedings of the 29th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. 1996:537~546
- 35 尚月娥. 存储式雨量数据收集处理系统. 陕西水利. 1992, (2)
- 36 杨立福. 给水排水自动化技术(SCADA)综述. 给水排水. 2000, 26(3):72~76

- 37 肖鸣. CAD 数据向 GIS 空间数据库转换方法的实现. 测绘信息与工程. 2007, 32(3): 13-14
- 38 高洪俊. AutoCAD 图形数据向 ArcGIS 转换关键技术的研究. 城市勘测. 2006, 24(6): 24-26
- 39 张叶, 孙毅中. CAD 城市基础数据到 GIS 转换的有关问题探讨. 测绘与空间地理信息. 2007, 30(1): 94-97
- 40 党安荣, 贾海峰, 易善帧. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南. 清华大学出版社, 2003
- 41 舒诗湖, 袁一星, 赵宏宾. 建立城市数字化供水管网系统的研究. 供水管网信息化管理与监测技术应用研讨会论文集. 郑州, 2005, 11:197
- 42 R.A. Moeller. Applications of a geographic information system to hydrologic modeling using HEC-1. Civil Engineering Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems, D.B.Stafford, ASCE, 1991, New York: 269~277
- 43 J.K. Sicar, R.M. Ragan, E.T. Engman. A GIS-based geomorphic approach for the computation of time-area curves. Civil Engineering Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems, D.B.Stafford, ASCE, 1991, New York: 287~296
- 44 Deagle, G., and Ancel, S. (2002). Development and Maintenance of Hydraulic Models. AWWA IMTech, Kansas City, Missouri
- 45 Zeiler, M. (1999). Modeling Our World. ESRI Press, Redlands, Californi: 45~59
- 46 S.F. Shih, J.D. Jordan. Landsat mid-infrared data and GIS in regional surface soil moisture assessment. Water Resources Bulletin. 1992, 28(4):713~719
- 47 Shamsi, U. M. GIS and Modeling Integration. CE News. 2001, 13(6).
- 48 Advanced Water Distribution Modeling And Managment. Haested Methods. Haested Press. 2002:527~571
- 49 杨立法. MapInfo 应用系统二次开发方法研究. 昆明理工大学学报. 2001, 26(6):18~21
- 50 LewisA. Rossman. SWMM 5 Interfacing Guide. 2006
- 51 林华, 杨萍. 城市综合管网剖面分析模块的设计与实现. 城市勘测. 2004, (1):30~32
- 52 孙慧修. 排水工程(上册). 中国建筑工业出版社, 1996

附录

生成管线纵剖面图部分代码

```
bool DrawZPDlg::write_to_file()
{
    TCHAR   fname[ 100 ];
    DWORD   dwResult;
    dwResult = GetModuleFileName( NULL,  fname,  100);
    if( dwResult ) {
        PathRemoveFileSpec( fname ); //得到绝对路径
    }
    TRACE( fname );
    CString filename = fname;
    filename += "\\纵剖面数据.txt";
    //char* pFileName = "纵剖面数据.txt";
    CStdioFile f;
    if( !f.Open( filename,  CFile::modeWrite |
        CFile::typeText | CFile::modeCreate ) ) {
        return false;
    }
    int len = guanchang_.size();
    typedef std::deque< CString > ITER;
    ITER::iterator p;
    ITER::iterator end_guanchang = guanchang_.end();
    ITER::iterator end_guanjing  = guanjing_.end();
    ITER::iterator end_syjd      = syjd_.end();
    ITER::iterator end_xyjd      = xyjd_.end();
    ITER::iterator end_qdgc      = qdgc_.end();
    CString s = "[DIA]\n";
    f.WriteString( s );
    s = "";
    for( p = guanjing_.begin(); p != end_guanjing; ++p ) {
        s += *p;
        s += "  ";
    }
    s += "\n";
    f.WriteString( s );
    s = "[LENGTH]\n";
    f.WriteString( s );
    s = "";
}
```

```

for( p = guanchang_.begin(); p != end_guanchang; ++p ) {
    s += *p;
    s += " ";
}
s += "\n";
f.WriteString( s );
s = "[DEPTH1]\n";
f.WriteString( s );
s = "";
for( p = syjd_.begin(); p != end_syjd; ++p ) {
    s += *p;
    s += " ";
}
s += "\n";
f.WriteString( s );
s = "[DEPTH2]\n";
f.WriteString( s );
s = "";
for( p = xyjd_.begin(); p != end_xyjd; ++p ) {
    s += *p;
    s += " ";
}
s += "\n";
f.WriteString( s );
s = "[ELEVATION]\n";
f.WriteString( s );
s = "";
for( p = qdgc_.begin(); p != end_qdgc; ++p ) {
    s += *p;
    s += " ";
}
s += "\n";
f.WriteString( s );
f.Close();
return true;
}

void DrawZPDlg::OnAdd()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    HRESULT hr;
    CString id;
    //////////////////////////////////////
    id.Format( "%d", view_ ->get_id() );
}

```

```

////////////////////////////////////
try {
    hr = con_.CreateInstance( "ADODB.Connection" );
    if( SUCCEEDED( hr ) )
    {
        CString s;
        //      con_ ->CursorLocation = adUseClient;
        //      con_ ->ConnectionTimeout = 5;
        hr = con_ ->Open(
            "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=雨水管网
2000.mdb",
            "", "", adModeUnknown);
        TRACE( s );
        if( is_connect( id ) ) {
            m_list.AddString( id );

            return;
        }
        else {
            MessageBox( "请选择连接管段" );
            return;
        }
    }
}
catch( _com_error e ) {
    CString errormessage;
    errormessage.Format( "%s", e.ErrorMessage() );
    AfxMessageBox( errormessage );
    return;
}
}

bool DrawZPDlg::is_connect( const CString& id )
{
    CString sqlCommand;
    CString db_name;
    if( type_ == "雨水" ) {
        db_name = "雨水管道基本信息表, 雨水管道计算属性表, 雨水管道断
面信息表";
        sqlCommand.Format( "select 参数1, 管长, 上游管内底标高, \
下游管内底标高, 前点高程, 后点高程 from %s where \
雨水管道基本信息表.id = 雨水管道计算属性表.id and \
雨水管道基本信息表.id = 雨水管道断面信息表.id and \
雨水管道基本信息表.id = %s", db_name, id );
    }
}

```

```
else {
    return false;
}
TRACE( sqlCommand );
try {
    rst_.CreateInstance( "ADODB.Recordset" );
    HRESULT hr = rst_ ->Open(
        (_bstr_t)sqlCommand,
        _variant_t((IDispatch *)con_, true),
        adOpenStatic,
        adLockPessimistic,
        adCmdText);
    if( !SUCCEEDED( hr ) ) {
        return false;
    }
}
catch( _com_error e )
{
    AfxMessageBox( e.ErrorMessage() );
    return false;
}
if( rst_ ->adoEOF ) {
    return false;
}
rst_ ->MoveFirst();
_variant_t r;
double guanjing, guanchang, snd, xnd, qdg, hdg;

r = rst_ ->GetCollect( (_bstr_t)"参数1" );
if( r.vt != VT_NULL ) {
    guanjing = r.dblVal;
}
r = rst_ ->GetCollect( (_bstr_t)"管长" );
if( r.vt != VT_NULL ) {
    guanchang = r.dblVal;
}
r = rst_ ->GetCollect( (_bstr_t)"上游管内底标高" );
if( r.vt != VT_NULL ) {
    snd = r.dblVal;
}
r = rst_ ->GetCollect( (_bstr_t)"下游管内底标高" );
if( r.vt != VT_NULL ) {
    xnd = r.dblVal;
}
}
```

```
r = rst_ ->GetCollect( ( _bstr_t )"前点高程" );
if( r.vt != VT_NULL ) {
    qdg = r.dblVal;
}
r = rst_ ->GetCollect( ( _bstr_t )"后点高程" );
if( r.vt != VT_NULL ) {
    hdg = r.dblVal;
}
if( !guanchang_.size() ) {
    begin_ = qdg;
    end_ = hdg;
    save_data( guanjing, guanchang, snd, xnd, qdg, true );
    last_ = hdg;

    return true;
}
if( fabs( end_ - qdg ) < 0.001 ) {
    save_data( guanjing, guanchang, snd, xnd, qdg, true );
    last_ = hdg;
    end_ = hdg;

    return true;
}
// if( fabs( end_ - hdg ) < 0.001 ) {
// }
if( fabs( begin_ - hdg ) < 0.001 ) {
    save_data( guanjing, guanchang, snd, xnd, qdg, false );
    begin_ = qdg;
    return true;
}
// if( fabs( begin_ - qdg ) < 0.001 ) {
// }
rst_ -> Close();
rst_ = 0;
return false;
}
bool DrawZPDlg::add_id( const CString& id )
{
    m_list.AddString( id );
    return true;
}
```

攻读硕士学位期间所发表的学术论文

发表的论文:

- [1] 周玉文, 张红旗. 给排水管网建模中 AutoCAD 与 ArcGIS 的数据转换. 全国城镇供水管网暨配水系统安全与技术发展战略研讨会. 2007.11: 388~393
- [2] 周玉文, 沈宏观, 汪明明, 李骥, 张红旗. 计算机软件著作权 (2008SRBJ0049): 排水管网地理信息系统软件. 2008 年 1 月
- [3] 周玉文, 张红旗, 王新庆等. 城镇给排水管网建模中 AutoCAD 与 Mapinfo 之间的数据转换. 给水排水. 2009 年 4 月增刊: 431~432

参与的科研项目:

- (1) 参与“十一五”国家科技支撑计划“城市市政管网规划建设与运营管理关键技术研究及示范(2006BAJ16B04)”的子课题“城市市政管网信息管理系统及可视化动态管理系统研究”。
- (2) 参与国家自然科学基金项目(50678009) 重污染化工企业面源与事故污染控制初期雨水池设计理论研究。
- (3) 参与北京市规划设计研究院与北京工业大学的合作项目“奥运中心区雨水排除系统研究”, 获得“北京市奥运工程优秀勘察设计奖”。
- (4) 参与北京市石景山区市政管理所与北京工业大学的合作项目“北京市石景山区老山地区雨水系统研究”。

致 谢

本文得到了我的导师周玉文教授悉心的指导，周老师渊博的知识、严谨的治学态度深深地影响了我，本文从选题、研究、撰写、审稿、定稿每一个环节都渗透着周老师的心血，在这里我向他表示衷心的感谢。在我三年的研究生学习生涯中，周老师和曹老师从生活上、学习上给予了我谆谆教诲和细致关怀，在此，我要向我的老师和师母致以崇高的敬意！

另外，衷心感谢市政工程学科部的所有老师对我的帮助，使我在研究生三年的学习生活中增长了知识，开阔了视野，使我受益匪浅。

同时我还要感谢北京市规划设计研究院领导、石景山区市政管理所领导给我课题方面提供的帮助和支持！

最后，我要感谢实验室刁克功、王磊、王新庆、王峰、陶贤成、李骥、李文涛、邢丽云以及其他的兄弟姐妹们。

张红旗

2009年5月10日于北工大