

# 数字排水技术的发展与内核技术介绍

赵冬泉<sup>1,2</sup> 王浩正<sup>1</sup> 佟庆远<sup>1</sup> 盛政<sup>1</sup> 陈吉宁<sup>2</sup>

(1北京清华城市规划设计研究院,北京 100084; 2清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

**摘要** 城市排水管网担负着收集输送污水,及时排除雨水的功能,是一个复杂多维、规模庞大的网络体系。目前我国排水管网存在管理混乱,资料分散,调控滞后等突出问题。数字排水(DigitalWater)技术是第四代管网管理技术,可以实时采集管网在线数据,进行动态分析和模拟,为排水管网的规划管理、运行养护提供可靠依据,提高城市日常雨、污水的收集排放效率以及应对一些突发状况,从而保障城市公共服务的质量和城市安全。DigitalWater技术平台的内核技术包括多源数据集成,拓扑空间分析,三维分析,模拟结果动态表达等,这些内核技术共同作用,才能使DigitalWater技术应用于十个管网管理工作的具体领域。

**关键词** 数字排水(DigitalWater)管网 雨水 污水 拓扑空间分析 动态模拟 三维分析

## 1 排水管网功能及我国排水管网的问题

城市排水管网是城市水污染防治和城市排渍防涝的骨干工程,担负着收集城市生活和工业生产等污水、及时排除城区雨水和流经市区的雨水的任务,是保证城市正常运转的重要生命线。伴随着我国城市化的进程,城市排水管网系统的建设速度快、规模大、更新快,排水管网管理的难度越来越大,长期以来排水系统管理中存在的问题日益显现,主要包括以下几方面: 管理法规和相关技术标准不完善,缺乏完善可靠的排水管网数字化管理技术规范,各个城市排水管网数字化管理水平和技术标准差异较大; 大部分城市排水管网数据资料管理方式分散不系统,数据存储方式多样,部分城市“重建设轻管理”,造成排水管网数据不完整、不准确,对排水管网资产状况掌握不全面; 分散不系统的管理模式和低效的查询分析方法难以体现复杂排水管网的网络特征和上下游关系,使得分析决策水平还停留在主观判断和简单推理的层次; 排水管网的水力分析、调度分析、布局优化分析和应急事故分析缺乏科学依据,流域级别的综合管理模式无法实现,在应对防汛抢险等危机事件过程中现有管理调度手段苍白无力; 缺乏全面完整、科学有效的管道养护筛选数据库,难以制定高效的管道养护计划,排水管网及排水设施的管理养护随意性大,养护效果也难以评估; 缺乏有效的管网状

态评估和运行监测手段,不能及时掌握管网排水负荷和运行状况的变化,基于实时在线数据的全管网系统分析和动态模拟分析鲜有应用案例。

## 2 数字排水(digitalwater)技术的发展

其实,对于城市排水管网数字化管理和专业化分析的研究和应用一直在持续进行。在国外,20世纪60年代初期排水模型研究者就已经在城市排水系统模拟方面进行了研究和开发,并出现了大量的统计模型、机理模型及管理规划模型。最早在水领域应用的是Linsley和Crawford开发的斯坦福流域模型(Stanford Watershed Model, SWM),这是一个应用于水资源领域的计算机连续模拟模型程序。而真正标志着城市排水计算机建模开端的是1969~1971年由美国环保署(United States Environmental Protection Agency,简称USEPA)资助开发的暴雨管理模型(Storm Water Management Model,简称SWMM)。在国内,20世纪70年代同济大学的杨钦就将计算机技术引入到给水管网的计算中,使大规模的管网计算和优化成为可能,但遗憾的是并没有建立类似国外SWMM、STORM等可以全面模拟城市排水系统的大型计算模型。另外一方面,对于大量复杂空间数据的管理、查询和分析技术也得到了迅速的发展和广泛的应用。从20世纪60年代初加拿大的Roger F. Tomlinson和美国Duane F. Marble在不同方面、从不同角度提出了地理信息系统

(GIS)概念以来,其含义与应用正在不断扩大,目前GIS已成功地应用到了包括资源管理、自动制图、设施管理、城市规划等类别中的一百多个领域。

国内排水管网管理模式的发展可分为四个阶段。

(1)传统管理模式:主要靠图纸和管理者的记忆和经验进行管理;

(2)简单的计算机管理模式:以 AutoCAD、Excel 等文件格式对管网系统进行简单的信息化存储;

(3)基于 GIS的管理模式:将管网数据以空间和属性数据一体化方式存储,实现基本的地图显示和查询功能;

(4)基于监测和模拟的综合管理模式:是目前排水系统管理研究和实施的热点,该模式综合 GIS 和专业模型的优势,利用 GIS提供数据管理和空间分析能力,利用管网水动力学模型提供专业计算和分析功能,为排水管网运营控制提供科学的参考意见;该模式更可以实时采集管网在线监测数据,进行动态分析和模拟技术,为排水管网的规划管理、运行养护提供一个动态可靠的专业分析依据和方案。

### 3 数字排水 (digitalwater)技术平台

数字排水 (DigitalWater)平台采用国际通用的排水管网计算原理作为系统的核心计算引擎,把“排水管网动态模拟计算功能”和“GIS空间管理分析功能”融合在一起的城市排水系统数字化管理平台。完备的 DigitalWater平台包含在线监测体系、硬件支撑平台 and 数据处理体系,其中核心是数据处理体系,平台的先进程度往往是由数据处理的能力决定。好的数据处理体系应具备完善的排水数据、海量数据的集成管理、综合的数据分析和查询、专业的排水系统计算模型。在操作方面,应具备便捷的数据编辑和维护、流程化的应用与系统分析。最后,平台要具备普适性,能够为排水管网的综合管理和模拟分析提供可伸缩的、可嵌入业务流程的、可分期建设的灵活高效解决方案。由此,可以得出数字排水 (digitalwater)技术平台总体框架 (见图 1)。

数字排水 (DigitalWater)平台将 GIS技术和专业模型合理拼接,充分发挥两者的优势,利用 GIS提供空间数据的浏览管理和分析能力,利用模型提供排水系统的模拟和专业分析能力,开发了排水管网

GIS高级应用内核技术——多源数据集成显示查询,拓扑空间查询与分析,管道三维分析与演示,模拟结果动态表达;并在此技术基础上,与城市排水管网规划管理相关的具体应用相结合,能够解决 10 个专业领域实际问题——污水管网结构分析与现状评估,管网升级改造设计与评估,污水管网负荷分析与局部优化,雨水管网溢流管理,雨洪利用设计与评估,管网规划设计与模拟,管线入户设计与评估,排水管网运营监控,管道清淤分析,事故应急分析等。下面详细介绍排水管网 GIS高级应用内核技术,这是实现专业分析功能的基础底层模块。

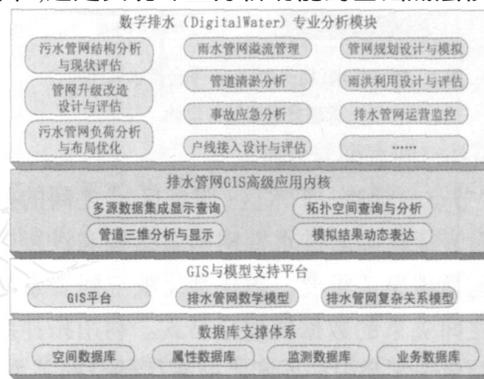


图 1 数字排水 (DigitalWater) 平台总体框架

#### 3.1 多源数据集成

排水系统是一个包含海量数据的复杂系统,一套完整的管网数据库需要各种类型的空间基础数据 (基础地形图、影像航片、DEM 等)的支持,因此,数据分析体系的重要性尤为突出。只有通过集成管理多来源、不同空间尺度的数据,才能更加有效综合的显示和分析大量排水管网数据,为城市排水系统的规划设计、运行管理和模拟分析提供详实全面的、不同尺度、不同显示模式的基础数据支持。

数字排水 (DigitalWater)平台建立了如图 2 所示的综合管理数据库,包括一个空间数据库和一个属性数据库。空间数据库里储存着管网的空间信息以及管网所在区域的基础地形信息。属性数据库里储存着管网模型的各种条件参数和普查的数据。这为管网得数字化管理的建立和实施提供了一个全面完整的数据体系结构,满足管网数据管理、综合查询分析、拓扑网络分析和动态模拟计算等多种不同应用模式的数据需求。该数据库建立的过程中可以利用现有的管网 GIS数据、CAD 数据、Excel表格、图纸等,按照数据加工处理流程,分

区逐渐建立完善数据,从而实现管网数据的集中、高效与安全管理。数据库的建立是基础,数据搜索则是实现功能的必要手段。最终搜索结果会以各种直观的形式显示在屏幕或者打印出来。

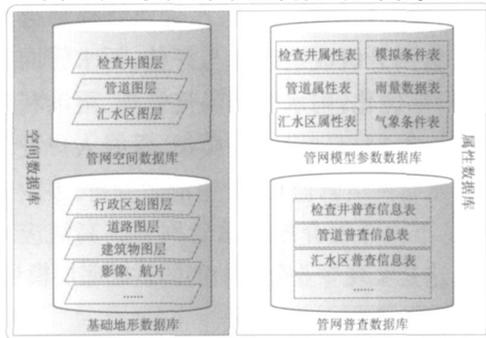


图 2 数字排水 (DigaWater) 平台排水管网综合管理数据库结构设计

### 3.2 拓扑空间查询与分析

“节点—管道—汇水区(服务区)”之间的拓扑关系对表征正确的排水管网网络结构和进行管网分析与模拟至关重要。拓扑是反映空间要素和要素类之间关系的数据模型或格式。利用拓扑规则可以指定要素类中的要素之间有何种空间关系,或者多个不同要素类中的要素之间的空间关系。在城市排水管网数字化管理过程中,将城市排水系统概化成管道、节点和汇水区等要素,这些要素之间通过一定的拓扑关系有机结合在一起。对于排水系统,基本的拓扑关系主要包括:(1)管网系统中代表各管道的线段的起点和终点必须为节点图层中的某个点元素;(2)节点图层中的点元素必须为排水管道图层中线段的起点或者终点;(3)同类型的要素图形之间不能重叠;(4)出水口节点只能有且仅有一个连接;(5)分流器节点必须有且仅有两个下游连接。另外,对于排水管网模拟计算,还需满足特定计算模式下的不同拓扑规则的要求:(1)在稳定流和运动波模式下,管道节点(分流器除外)最多只能为一段下游连接的上游节点;(2)在稳定流和运动波模式下,一个调节连接(孔、堰和出口)只能作为集水节点的下游连接;(3)稳定流和运动波模式中不能存在环状管网;(4)在稳定流和运动波模式下,上游管道管底高程要大于下游管道管底高程;(5)在动态波模式下,管网系统至少应有一个出水口节点。

拓扑关系数据是排水管网数据管理中非常重

要的一个参数,当排水管网发生故障时,往往会产生拓扑错误。因此根据排水管网的空间拓扑关系,可对发生故障周边范围进行管网的连通性分析、上下游检查井、管道、汇水区的分析查询以及结果的统计分析,可以快速定位故障的影响范围,以辅助进行管网的管理和决策。

数字排水 (DigaWater) 平台中集成了排水管网数据中常见的拓扑错误。如果管网数据存在此类错误,那么系统会提示用户,并指出拓扑错误的位置,最终使这些错误得到修正。

### 3.3 管道三维分析与显示

利用三维仿真及虚拟现实技术,可以在原有地形、道路、建筑物等地图数据的基础上,叠加相关的排水管线和节点信息,动态生成的排水管网三维场景图(见图3),从而可以再现区域内的地上和地下三维真实情景。利用三维显示技术,能够让管理决策者不用到现场就可以直观的了解管道周边情况以及管内水流情况。



图 3 管网结构三维显示

### 3.4 模拟结果动态表达

管网模拟分析计算的最终目的是要对现实情况进行模拟预测,但大量的模拟结果是以数据的形式存在。要让普通管理者能够看懂模拟结果,必须进行可视化的显示,这就是动态表达的作用。例如图3中的管道三维视图,就是将分析计算的结果用图的形式表现出来。通过这些丰富的模拟结果表达功能,分析人员可以得出科学专业的决策分析结果。

## 4 结论与建议

数字排水 (DigaWater) 技术是新一代的城市排水管网管理工具,基于国内排水管网管理的数字化需求,利用先进的排水模拟计算引擎、数据库管理技术和GIS技术的集成开发,为排水系统数据的高效管理、排水系统的网络空间分析、排水管网的

# 数字排水技术在雨水管网溢流管理中的应用

赵冬泉<sup>1,2</sup>, 盛政<sup>1</sup>, 王浩正<sup>1</sup>, 王婧<sup>1</sup>, 陈吉宁<sup>2</sup>

(1北京清华城市规划设计研究院,北京 100084, 2清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

**摘要** 近年来,我国城市局地性暴雨事件频发,常造成较严重的突发性洪涝灾害,对城市的正常运转带来较大影响。介绍了第四代管网管理技术——数字排水(DigitaWater)技术如何解决或者减少洪涝灾害带来的影响和损失。通过对雨水管网溢流的模拟,可以重现或者预演上万个城市区块在不同降雨情景下的雨水排除情况,从而找出洪涝灾害频发的区块以及这些区块发生洪涝灾害的原因,进而通过多区块联动的集中调度管理和雨水排水系统优化,从根本上解决溢流管理问题,最大限度地避免和减轻洪涝灾害损失,全面提升城市的防汛应急管理水平。介绍了城市雨水排水模型建立、降雨情景产生、雨水管网排水模拟、模拟结果分析以及雨水管网溢流管理等技术的具体实现过程。

**关键词** 洪涝灾害 防汛 数字排水(DigitaWater)雨水管网 溢流分析 动态模拟

## 1 雨水管网管理现状和解决方案

近年来,我国城市雨水管网溢流和排水不畅事件频发。2004年7月,北京市遭遇暴雨后,城区数百路段和小区发生积水,有的地区出现交通、电力中断情况,严重影响人们的出行和正常的生产生活。2008年6月,南方很多城市(广州、东莞、桂林、柳州等)遭暴雨袭击,造成严重的城市洪涝灾害,对社会秩序、城市功能、环境与资源等造成不同程度的破坏,给人民生活、经济社会发展和城市正常运转带来较大影响。造成我国城市洪涝灾害频发有城市发展、自然气候变化、排水系统不完善、人为造成管道堵塞和排水管网管理运营水平低效等原因。

通常遇有大暴雨时,主要依靠人工巡视道路获取积水水情并通过经验主观判断排涝、分洪方案。这种简单的分析方法使得防汛排水部门无法在短

期内全面掌握城区道路的积水状况和相关排水管网的排水负荷情况,对排多大量、往哪里排、排水后是否后造成排入点附近再次发生溢流等问题并不能进行科学的分析计算。如图1所示,当暴雨发生时,立交桥西南部(图中圆形显示为积水点)由于排水管网的结构原因加上地势低洼发生检查井溢流,导致严重积水,从图1可以直观的看出有四种分洪方案可供选择。但是,这几种方案会对排水系统造成什么样的影响呢?如果方案1中的河流水位本已很高,则该方案将危及周围的建筑及其他排入管网的倒灌;方案2和3则可能导致排入点的下游地区发生连锁性溢流情况;方案4可能由于上游的低洼地势已经造成了该处管道的满管,实施该方案并不能缓解上游的积水情况。由此可以看出,依靠主观判断的排水系统排涝、分洪方案确定方法在应对

动态模拟提供了一个实现的平台,并为专业应用开发和功能深度开发提供一个基础的拓展平台。

应用数字排水(DigitaWater)平台,可以为区域、排水流域或市域等各种不同级别的排水管网管理部门建立一个长期有效、统一方便的综合排水管网数据库,在“统一规划,分步实施”的指导思想下,通过持续的专业模块开发、管网数据维护和相应硬件支撑平台(计算机网络平台、大屏幕展示平台、管

网液位与流量在线监测体系等)的建设,全面提升该地区的排水设施运营管理水平、规划决策水平和客户服务水平,为保障排水设施的安全稳定运行提供现代数字化管理手段。

电话: (010) 62785857 - 763

E-mail: zdq@digitaWater.cn