



测绘地理信息科技出版资金资助

CEHUI DILI XINXI KEJI CHUBAN ZIJIN ZIZHU



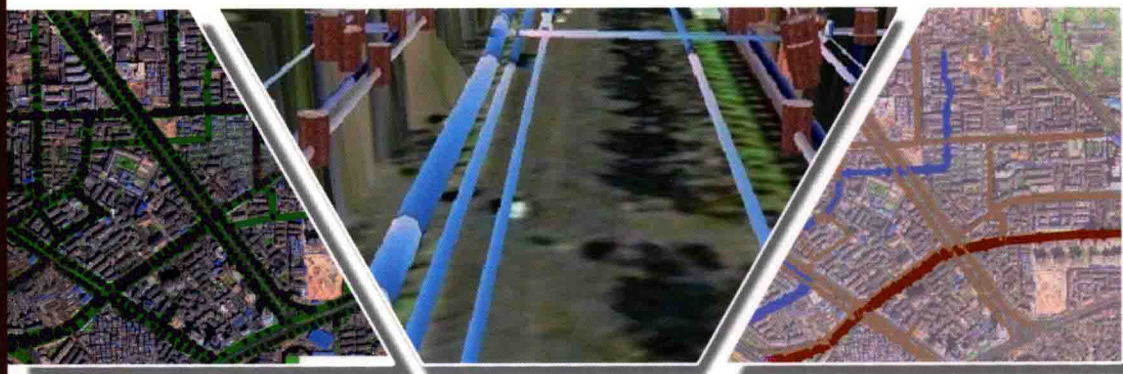
测绘科技应用丛书



地下排水管线水力时空建模及其承载力分析

Analysis of underground drainage pipeline capacity based on hydraulic spatiotemporal modeling

解智强 著



测绘出版社

测绘地理信息科技出版资金资助

地下排水管线水力时空建模 及其承载力分析

Analysis of Underground Drainage Pipeline Capacity Based on
Hydraulic Spatiotemporal Modeling

解智强 著

测绘出版社

• 北京 •

© 解智强 2016

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书研究的主要内容是利用地下排水管线地理信息水力时空建模技术,结合城市排水知识和地理信息技术,模拟地下排水管线运行状态,并对城市排水管线各要素承载力空间分布变化进行可视分析,研究内容紧扣当前地图学与地理信息技术向资源环境科学领域拓展的方向。

本书立足城市地下排水系统展开探讨,定义地下排水管线承载力,并探讨其研究内容,将地下排水管线承载能力研究思想引入地理信息科学领域,主要研究其与城市内涝的关系。据此,以水力时空建模方法模拟城市排水管线系统运行状态,探索城市排水系统现状评价以及改造的科学模式。

图书在版编目(CIP)数据

地下排水管线水力时空建模及其承载力分析/解智强著. —北京:测绘出版社,2016.12

ISBN 978-7-5030-3999-7

I. ①地… II. ①解… III. ①城市排水—地下排水—
管线—水力学—建立模型 ②城市排水—地下排水—管线—
承载力—分析 IV. ①TU992

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 279074 号

责任编辑 田 力

执行编辑 侯杨杨 封面设计 李 伟 责任校对 孙立新 责任印制 陈 超

出版发行	测绘出版社	电 话	010—83543956(发行部)
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)
邮政编码	100045		010—68531363(编辑部)
电子邮箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司	经 销	新华书店
成品规格	169mm×239mm		
印 张	9.375	字 数	181 千字
版 次	2016 年 12 月第 1 版	印 次	2016 年 12 月第 1 次印刷
印 数	001—800	定 价	45.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-3999-7

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前 言

地下排水管线水力模型(hydraulic model)基于水力学研究基础,通过数学公式,利用计算机技术和地理信息系统技术对地下排水管线运行状态进行数字化模拟,同时利用该模型进行地下排水管线水力学领域相关计算,使模型能反映地下排水管线实际的水力运行状态,以支持地下排水管线的管理与研究(张伟,2012)。地下排水管线水力建模技术于20世纪60年代兴起,开始主要通过数学方法计算与模拟地下排水过程、运行状态并找出问题的节点,主要针对地下排水管线的设计与改造。

地下排水管线是城市的重要基础设施,地下排水管线承载着污染排放和城市泄洪等关键作用。在现代城市,地下排水管线具有空间和时间状态的基本运行特征。第一,从地理学领域以地理信息系统的角度描述城市地下排水管线系统,它是由井盖(点)、管线(线)和排水系统(网络)连接而成的城市基础设施,其具有空间分布和拓扑关联特征,且相互之间紧密联系,相互作用。第二,从时间特征描述城市地下排水管线运行过程,主要是研究其管线承载的雨水和污水运行过程与运行的规律,这种规律包含许多人工设计思想,与地下排水管线设施(如泵站、闸门等人工构筑物)息息相关;因此,地下排水管线的设计与建设方法反映了人的思想行为,是按照指定的目标并按照市政规划思想实施,其运行具有一定任务性质,是一定的知识和智能研究的产物。第三,城市地下排水管线系统对于外界作用反应具有敏感性,例如,在城市遭遇单点强降水的过程中,城市地下排水管线系统的薄弱环节会出现内涝积水等不同反应,严重时导致城市洪涝灾害,这是其为适应周围环境而不断自行调节的过程(Price et al,2008)。上述特征是地下排水管线水力模型研究需要考虑的主要内容。目前,国内外相关技术研究管理机构已经利用地理信息系统基础成果,利用水力建模技术对城市排水系统特别是城市内涝乃至水质分析等热点工作开展相关研究。

城市地下排水管线的承载力(drainage pipeline capacity)是管线自身可以承受的最大输水能力,即排水管线能够承受饱和和运行状态的能力。城市地下排水管线的承载力极限则是地下排水管线的水量大小,即水量经过不断累积,达到承载力极限的某个数值(满管状态)。与承载力相比,地下排水管线内的承载物容量是一个可变化且动态演进的过程,因此,宏观状态下的地下排水管线承载力主要研究城市地下排水管线在外在条件(如一定规模重现期降雨或建设工程)变化的影响下,可

持续承载城市正常排水的能力。因此承载力是研究一个定值,即在一定暴雨条件下,地下排水管线承载力适宜性主要体现在不满管排水,而排水管线内部容量一旦超过本身承载力的载荷(满载),则会出现外溢,并发生城市内涝等情况。因此,地下排水管线承载力对维系城市正常运行十分关键。而在现代城市设计中,科学模拟和计算排水管线现状特征是市政研究的焦点。从时间角度而言,城市地下排水管线承载力是一个物质不断堆积并饱和的过程,即城市现有地下排水管线系统能够在一定的降水事件过程中正常运行,以及在未来外在规划条件实施下能够正常运行的能力。因此,从技术层面而言,地下排水管线内部容量变化的可视化表达方式直接影响到市政规划、建设及公众生活的福祉。从地理信息表现的角度,针对城市地下排水管线承载力的研究目标主要是对历史降雨事件中排水管线运行状态、对现状排水管线系统在一定强度的灾害降雨事件中的状态变化及对未来规划条件下城市地下排水状态进行模拟。但如何直观、科学、高效率地对城市地下排水管线内部容量变化状态进行模拟与表示,在国内外鲜有深入研究与分析,这是本书重点探讨和关注的问题。

基于上述目的,本书研究的目标是地下排水管线水力建模,对该模型的可靠性进行评价并使用模型模拟城市排水量演进表达。对于研究者而言,科学探索最终的落脚点是认识并掌握客观世界中各种事物的内在本质、规律及正确利用这些规律的方法,满足工作与生活的各种需要。目前,对于解决城市排水内涝研究和承载力评价领域的问题,主要立足于地理信息系统技术,利用基本水力模型计算的方法实现,这种方法立足于水文学及数学建模,主要使用地下排水管线信息建设水力学模型,计算城市地下排水管线的工作状态,科学预测未来发生的管线事件(周小莉, 2012; Legates et al, 1999)。上述研究相对成熟,但对基础资料要求庞大,且缺乏专业知识支撑决策,使研究成果推广应用存在一定困难,这些问题主要表现在:

第一,现有的地下排水管线系统地理信息服务主要基于固化算法设计,实现的目的和功能相对单一,主要追求局部管线计算结果的实现,对地下排水管线系统网络整体评价的方法和评价结果描述缺乏更多支持。

第二,在对城市地下排水管线系统实际的运行和维护中,人们对于地理信息的需求趋于复杂化、多样化,特别在时空变迁的大背景下,仅靠单个知识服务难以满足决策者实际需求。特别是对排水知识需要进行相应的处理,以满足更准确的决策,需要将多源多态知识服务灵活地组合,形成新的排水知识服务能力,即地理信息智能服务组合,为决策提供依据。

第三,地下排水管线各要素承载力分布及可视表达过程复杂,涉及面广,需要结合排水、管线、降水、地表、系统运行等多方面因素综合考虑,即提出一些全新的可视化策略进行表达,以满足灾害防治及管线评估改造等决策工作需要。

地下排水管线水力时空建模及其承载力分析研究正是在这样的大背景下展

开,其出发点主要有:

(1)将承载力的思想和方法引入城市地下排水管线网络运行状态评价,研究一种符合实际的地下排水管线水力时空建模方法,以地理信息系统手段,对特定环境、特定地域城市地下排水管线各组成要素(包括排水井、管段等)承载力时空分布进行模拟,在资源环境研究领域,既是拓展性的研究课题,更具有重要的现实意义。

(2)本书将针对排水专业知识、水力模型、地理信息等跨专业知识集成研究,利用排水知识驱动水力时空建模,对地下排水量达到并超过管线承载力的过程进行准确、直观及高效率的制图模拟,以满足不同地下排水管线系统规划、设计及改造的需求,促进多元知识在提升城市地下排水管线系统适宜性改造中的作用。

(3)基于上述目标,本书同时立足地理信息系统与地图制图技术,研究地下排水管线各要素承载力空间分布的可视化表达方法与分析手段,对城市地下排水管线的改造与规划提供直观决策,促进知识与地理信息系统结合,并推动其在市政科学规划决策中的拓展与应用。

近年来频繁发生的城市内涝事件使地下排水管线承载能力成为社会关注的焦点与研究对象。但复杂的城市地下排水管线系统现状使针对其开展的决策存在不确定性:一是现状排水系统对城市内涝防治的支撑作用问题,即现状地下排水管线系统能否缓解或解决城市内涝;二是城市排水决策能否缓解或解决城市地下排水管线承载能力不足的问题,即在一定降水条件下,城市地下排水管线规划与建设能否有效承载雨水、污水排放并及时进行处理的问题。因此,如何以排水知识、地理信息系统网络模型、水力时空建模等专业知识对城市地下排水管线系统现状及设计方案进行模拟,并对其决策进行可视化及地图制图分析,为市政地下排水管线改造与规划建设提供科学、合理依据,是本书讨论的重点。

地下排水管线地理信息水力建模是目前国内外新兴的对城市地下排水管线运行状态进行评价的技术方式。它基于水力运算模型,对城市地下排水管线系统进行模拟。而模型自身通常都是通过某种算法或者函数对一定自然与社会现象的模拟,它是对决策的一种技术支撑。地下排水管线是一种典型呈树状或网状分布的城市基础设施,它具有随时间演进、随空间分布和按生命周期运行的特征,作为城市最重要的市政设施,它在城市现代化进程中扮演着越来越关键的角色。目前,由于基础资料缺失,研究城市地下排水管线运行规律主要考虑使用1D(基于地下排水管线地理信息)水力建模的方法,模拟城市市政地下排水管线系统的工作状态,对其进行科学、合理评价。但这种方法存在研究对象单一、研究条件简单、表现方式不足及时空连续性不强等多种问题,因此不能准确模拟区域地下排水的灾害演进情况,不利于决策部门制定城市地下排水管线改造方案。而如何更好地提出一种地下排水管线水力时空建模及成果输出表现方法,提高地下排水管线水力建模精度,能够快速对排水知识进行接纳和分析,集成水力模型的物理学基础,准确定

制模型参数及输入条件,实现地下排水模型属地化,从而对城市排水系统改造及规划方案优劣进行评价,是本书研究的核心内容。

综上,基于地下排水管线地理信息水力建模技术是一种将地图学与地理信息研究思想和方法应用到城市地下排水管线专业领域,以评价其现状和未来运行的有效手段。因此,利用水力时空建模分析研究城市地下排水管线系统承载力的方法是一种有效的地理信息智能化应用模式,以及城市地下排水管线系统科学评价方法。而基于知识的排水模型建设及校核是其中主要研究的基础性问题。针对这一课题,本书的主要研究内容包括以下方面:

(1)对城市排水现象及排水规律做出描述,阐明城市排水过程中的不确定性及需要解决的问题。

(2)利用圣维南方程组建设 1D 非恒定流地下排水管线地理信息模型,并结合浅水方程组建设 2D 地表水力模型,通过管线与地形结合,研究符合实际的排水过程,提高地下排水管线系统模拟评价的准确性。

(3)引入地下排水管线水力时空建模思想,建设 1D+2D 地下排水管线水力模型,以多知识、多模型集成方法驱动该排水模型,模拟不同外部条件下(如强降雨)的城市排水工作状态,实现排水管线承载能力在不同输入条件下的高效、准确的可视化制图表达。

(4)利用高质量排水专题数据、地理信息系统技术和排水专业知识校核并率定地下排水管线水力模型,提高水力模型模拟的准确性,同时通过拓展地下排水管线汇水子区划分、顾及研究暴雨环境下城市排水倒灌等方法,提高模型校核精度,以此为基础,调整水力模型输入参数,促进水力模型模拟实地的精度,优化城市地下排水管线系统,以此提高利用水力模型发现城市地下排水管线系统存在问题的能力。

(5)引入实际案例,通过本书研究的基于时空环境的城市地下排水管线水力模型,以昆明市兰花沟片区为研究对象,模拟城市排水现状及规划承载力,进行制图表达与分析,为地下排水管线市政规划决策提供依据。

在本书的研究中,得到了杜清运教授、李霖教授、蔡忠亮教授、任福教授、王贵武高级工程师、王建华副校长、方源敏教授、左小青教授、吴学群副教授及相关同事和同学的帮助,在此一并表示感谢!

限于水平,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 研究意义	2
§ 1.2 研究现状	3
§ 1.3 研究目标	5
§ 1.4 研究内容	6
§ 1.5 拟突破的难点	9
第 2 章 地下排水管线水力模型研究基础	10
§ 2.1 城市水文学	11
§ 2.2 地下排水管线水力建模概述	12
§ 2.3 地下排水管线水力模型与地理信息系统	23
§ 2.4 研究进展及存在问题	26
§ 2.5 本章小结	27
第 3 章 1D+2D 非恒定流水力模型设计	29
§ 3.1 地下排水管线水流状态及水力特征	29
§ 3.2 地下排水管线 1D 和 2D 水力模型	31
§ 3.3 基于圣维南方程组的 1D 水力模型	31
§ 3.4 2D 水力建模方法及地表洪水模拟	36
§ 3.5 1D+2D 非恒定流水力模型设计	41
§ 3.6 本章小结	44
第 4 章 地下排水管线水力模型校核关键问题	45
§ 4.1 合流制与分流制排水系统划分	45
§ 4.2 排水区域边界划分	50
§ 4.3 基于地形的城市地下排水系统汇水子区划分	50
§ 4.4 顾及水流顶托的地下排水管线模拟	57
§ 4.5 地下排水管线水力模型的校核方法	61
§ 4.6 本章小结	66

第 5 章 地下排水管线水力时空建模方法	68
§ 5.1 地下排水管线水力建模时空特征	68
§ 5.2 数据预处理	71
§ 5.3 降雨及径流条件设计	72
§ 5.4 水力建模关键要素设置	73
§ 5.5 建模过程	75
§ 5.6 建模参数设计与运行	80
§ 5.7 本章小结	81
第 6 章 基于水力建模的地下排水管线承载力可视分析	82
§ 6.1 基于模型支撑的地下排水管线承载力可视化	82
§ 6.2 地理信息可视化	83
§ 6.3 地下排水管线承载力可视表达	88
§ 6.4 地下排水管线承载力制图分析	95
§ 6.5 本章小结	96
第 7 章 实例分析	97
§ 7.1 研究现状	97
§ 7.2 研究背景	99
§ 7.3 研究区域概况	100
§ 7.4 地下排水管线水力建模	105
§ 7.5 模型的建立	109
§ 7.6 数据的检查、推断和检验	110
§ 7.7 研究区域 1D+2D 水力模型的建设与校核	111
§ 7.8 模型的校核	115
§ 7.9 研究区域地下排水管线承载力分析	123
§ 7.10 本章小结	126
第 8 章 结论与展望	127
§ 8.1 总结与创新	127
§ 8.2 研究展望	128
参考文献	130

Contents

Chapter 1	Introduction	1
§ 1.1	Research Significance	2
§ 1.2	Research Status	3
§ 1.3	Research Objectives	5
§ 1.4	Research Contents	6
§ 1.5	Difficulties to Be Broken	9
Chapter 2	Research Foundation of Hydraulic Model of Underground Drainage Pipeline	10
§ 2.1	City Drainage Hydrology	11
§ 2.2	Hydraulic Modeling Summary of Underground Drainage Pipeline	12
§ 2.3	Hydraulic Model and GIS of Underground Drainage Pipeline	23
§ 2.4	Research Progress and Existing Problems	26
§ 2.5	Summary	27
Chapter 3	Design of 1D+2D Unsteady Flow Force Model	29
§ 3.1	Flow State and Hydraulic Characteristics of Underground Drainage Pipeline	29
§ 3.2	1D and 2D Hydraulic Model of Underground Drainage Pipeline	31
§ 3.3	The Flow Model of the Saint Venant Equations Based on 1D Drainage Pipe	31
§ 3.4	2D Hydraulic Modeling Method and Surface Flood Simulation	36
§ 3.5	Design of 1D+2D Unsteady Flow Drainage Model	41
§ 3.6	Summary	44
Chapter 4	Key Problems of Hydraulic Model Checking for Underground Drainage Pipeline	45
§ 4.1	Division of Underground Drainage Pipeline System with Combined Sewer System and Diversion System	45

§ 4.2	Drainage Boundary Division	50
§ 4.3	Divide the City Underground Drainage Pipeline System of Sub Region Based on Terrain	50
§ 4.4	Considering the Simulation of Underground Drainage Pipeline Water backwater	57
§ 4.5	Check Method for Hydraulic Model of Underground Drainage Pipeline	61
§ 4.6	Summary	66
Chapter 5 Space Time Modeling Method for Underground Drainage Pipeline		
§ 5.1	Temporal and Spatial Characteristics of Hydraulic Modeling of Underground Drainage Pipelines	68
§ 5.2	Data Preprocessing	71
§ 5.3	Design of Rainfall and Runoff Conditions	72
§ 5.4	Key Elements of Hydraulic Modeling	73
§ 5.5	Modeling Process	75
§ 5.6	Modeling Parameter Design and Operation	80
§ 5.7	Summary	81
Chapter 6 Visual Analysis of Bearing Capacity of Underground Drainage Pipeline Based on Hydraulic Modeling		
§ 6.1	Visualization of Bearing Capacity of Underground Drainage Pipeline Based on Model Support	82
§ 6.2	Geographic Information Visualization	83
§ 6.3	Visual Expression of Bearing Capacity of Underground Drainage Pipeline	88
§ 6.4	Mapping Analysis of Bearing Capacity of Underground Drainage Pipeline	95
§ 6.5	Summary	96
Chapter 7 Case Analysis		
§ 7.1	Research Status	97
§ 7.2	Research Background	99
§ 7.3	The Regional Situati of Research Regional	100

§ 7.4	Hydraulic Modeling of Underground Drainage Pipeline	105
§ 7.5	Establishment of Model	109
§ 7.6	Data Checking, Inference and Verification	110
§ 7.7	The Construction and Verification of the 1D+2D Hydraulic Model in the Study Area	111
§ 7.8	Model Checking	115
§ 7.9	Study on the Bearing Capacity of Underground Drainage Pipeline	123
§ 7.10	Summary	126
Chapter 8	Conclusion and Prospect	127
§ 8.1	Summary and Innovation	127
§ 8.2	Research Prospects	128
References		130

第1章 绪 论

从一个典型的城市内涝对城市地下排水管线系统造成的破坏、对公众活动的混乱影响入手,突出城市内涝防治和城市地下排水管线承载力对现代城市正常运行的关键作用,阐述了本书的选题理由和意义,并指出了具体的研究内容及本书的组织安排。

近年来,城市内涝事件频发,并对社会造成严重的经济损失(Freni et al, 2010),暴露出城市地下排水管线设施的薄弱,特别是地下排水管线正常运行能力、养护能力问题明显。因此,针对地下排水管线承载能力的分析与评价成为研究的热点,而针对承载力评价所采用的地下排水管线水力建模技术逐渐成为研究工作的关注领域。长期以来,地下排水管线水力建模技术深入推广应用的一个重要原因是其与地理信息系统技术紧密结合,随着地理信息技术服务向专业应用范围内推广,管线地理信息建模(pipeline information modeling, PIM)方法在市政行业得到了更加广泛的应用。作为一种模拟水力过程的数学模型,地下排水管线建模技术与地理信息系统的结合走过了两个时期:第一是地理信息系统技术处于数字化研究时代,排水模型主要与地理信息系计算统方法紧密结合,以空间地理数据为支撑,通过模型等知识应用,重点强调对地下排水管线现状运行状态的模拟;第二是地理信息系统由数字化逐步向智慧化发展,地下排水管线水力模型在高质量数据支撑下,以专业模型、云计算技术、物联网技术、传感器及现代地图制图技术集成背景下不断改进,排水模型技术获得了空前的知识武装,在不同领域获得的知识结构来源更加广泛,因此具有更强的专业应用能力,能够对客观规律进行更清晰的识别,并对城市排水事件进行更准确的预报。

地下排水管线在现代城市运行和维护中扮演的角色日渐重要,它是城市安全运行和生态保障的核心基础设施,如本书所述,从地理信息和知识拓展应用的角度而言,城市地下排水管线网络具有地理信息的空间特征和人类智慧介入的知识特性,且在逻辑结构上呈网络状表现,这些是水力模型建设与研究的基础。因此,水力建模与城市地下排水管线地理信息联系密切,它以地下排水管线地理信息研究成果为实验基础。而在研究领域,如何通过水力时空建模技术,模拟城市地下排水管线的空间分布状态及运行特征?如何以知识为驱动力,拟合城市地下排水管线的运行状态?如何通过水力模型校核及率定工作,相对准确地预测并评价城市地下排水管线网络的优化设计与改造对周围排水环境造成的影响?且针对上述研究

成果,如何利用地理信息系统及地图制图技术进行表达与分析并为决策做支撑?这些都是基于知识校核的地下排水管线水力建模需要探索并解决的问题。因此,研究地下排水管线地理信息时空建模方法、分析其管内容量与承载力的表达过程,并推动其在城市排水管线决策领域的应用,是一项全新的研究课题,它对城市人居环境的提升、城市安全运行具有很重要的现实意义。

地下排水管线水力时空建模与地理信息系统技术集成,建设了一条专业技术知识与空间位置服务的联系的渠道;使城市排水知识能够与位置信息结合,针对不同环境发挥其在空间位置和属性特征描述上的作用,从而能够更加准确和高效模拟城市排水过程,使知识在决策过程中发挥科学指导作用。因此,利用水力时空建模模拟及分析方法对城市地下排水管线系统进行评价及改造,并支持市政排水决策是一种有效的技术实现途径,是一种全新的以地理信息在数字地球(digital earth)乃至智慧地球(wisdom earth)领域拓展服务应用模式。

本章首先从一场暴雨对城市造成的严重内涝开始,这场内涝揭示了脆弱的城市“良心”——地下排水管线在暴雨面前的无助,以及城市内涝灾害中出现的一些匪夷所思的问题,本章概述了本书的研究意义、研究内容及组织结构安排等。

§ 1.1 研究意义

随着城市化和全球化进程进一步加快,在全球极端气候多发的大背景下,城市内涝等次生灾害频繁,地下排水管线系统的安全性和可靠性成为公众关注的焦点。因此,通过科学手段,对地下排水管线承载力评价及分析成为当前研究的焦点课题。本书紧扣这一主题,以水力时空模型建设研究为切入点,探讨地下排水管线的运行和维护方法,以及不同排水要素的承载力时空分布表达情况,为地下排水管线系统的分析决策提供依据。理由如下:

(1)为地下排水管线系统提供科学的评价手段。将地下排水管线水力时空建模思想和方法引入城市排水设计与决策,并应用地理信息系统等技术支持,使地下排水管线的规划、建设与维护更加科学。

(2)提高针对地下排水管线系统科学研究的可靠性。通过知识引入,设计地下排水管线水力模型高质量校核方法,提升模型的精度,为水力模型研究成果在不同环境中的使用奠定基础。

(3)为地下排水管线系统提供科学直观的决策依据。通过上述研究成果的模拟与输出,使城市地下排水管线系统现状分析与改造工作更趋科学性和专业性,能够为城市人居环境提升、城市内涝防治等灾害决策制定工作提供帮助与支持。

本书紧扣当前热点研究主题,研究目标明确,研究思路清晰,研究成果具有重

要的现实意义。首先,通过完成水力模型建设,选择具有研究价值的地区,利用高质量的地理信息数据资源,研究符合实际应用的地下排水水力模型。与之前相关研究工作比较,能更真实地模拟城市地下排水管线各要素承载力的时空分布状态,为城市排水决策提供依据。其次,本书将提供一种有别于之前研究的水力模型校核方法,经过一定周期的实地校核,使地下排水管线模型精度得到大幅度提高。最后,本书将借助地图学与地理信息系统方法,通过模型驱动,对时空环境下地下排水管线各要素空间分布情况制图分析,特别是以点、线、体、颜色、形状等方法模拟地下排水管线要素承载力分布情况,为市政排水决策提供支持。

综上,本书研究成果将在城市防洪、地下排水管线改造、市政建设等多领域应用,研究成果具有显著的社会、经济和环境推广示范价值,因此,本书选题具有显著的现实意义,其主要体现在:

(1)将地下排水管线水力时空建模思想及方法引入城市不同任务层次的排水系统设计与决策,并通过高质量的数据支持,辅以地理信息系统等多元技术,使城市地下排水管线系统的规划、建设与维护更加智能化。

(2)通过多元知识集成使用方式,支撑地下排水管线水力建模的校核与率定,通过改进城市水力模型的输入条件,提高城市水力模型的属地化程度,利用多源知识提高现行城市地下排水管线系统现状及设计模拟精度。

(3)通过上述工作,利用地理信息系统分析方法,对不同外部环境下地下排水管线各要素承载力时空分布特征进行可视分析,使城市地下排水管线系统改造工作更趋科学性和专业性,并使模拟精度和决策效率得以提高。

§ 1.2 研究现状

城市地下排水管线承载力评估作为城市水决策的重要参考,是一个针对城市内涝防治和防涝现状及规划研究的主要方式。近年来,内涝和地下排水管线事故继续影响着城市日常生活。这通常是由全球范围内城市的天气频繁变化和城市范围的无序扩大引起的。2010年中华人民共和国住房和城乡建设部对中国351个城市开展的一项研究发现,从2008年到2010年,全国有62%的城区都经历过内涝,137个城市被水淹三次以上。在进行了调查的城区中,最高水深超过50厘米的有74.6%,其中有78.9%的城区内涝时间大于半小时,57个城市积水时间超过12小时。因此,内涝已成为城镇化历程中的一种疾病和城区水环境安全破坏的重要因素。

内涝预防由此成为城市水政策制定的主要依据之一。由于缺乏科学设计方法与跟踪评价手段,地下排水管线的容量和设施老化成为城市内涝的主要原因,即地下排水管线承载力评价成为城区内涝决策的重要依据。因此,地下排水管线的科

学规划与管理,已变成近年来在全球范围内普遍关心的焦点,且围绕这个问题已经展开了一些研究任务。因此,地下管线的信息化已成为现代城市规划设计和水环境改善的战略研究基础。地下排水管线数字化的过程包括了地下排水管线信息的收集与管理。在中国的 600 个主要城市中,292 个已经完成了地下管线普查工作(截至 2013 年 12 月),且这个数字正在持续增加。一些城市如北京和上海采用了新的技术,不断挖掘并研究城区地下管线数据的潜在价值。其中,针对地下排水管线评价的水力模型的建设、研究和应用是其中重要的先进技术之一,被广泛应用于地下排水管线的承载力评价与设计过程。

在过去的 20 年里,围绕城市地下排水管线领域的建模实践,科技工作者开展了大量的研究。Chow 等(1988)使用地理信息系统数据和水动力建模方法来模拟在许多城市的河漫滩洪水。Strobl 等(2012)通过实验证明模型模拟的准确性往往受地理信息系统数据的类型、数量和准确性的强烈影响。Sun 等(2011)将使用的雨水管理模型(SWMM)软件(Rossman, 2009)与计算机辅助设计(CAD)的数据相结合,以模拟洪水的性能,提出下水道网络设计优化方法来降低网络建设的成本。Zhang 等(2012)用不同的空间尺度数字地图研究北京各流域的径流特性。Archetti 等(2011)使用 InfoWorks CS 软件与城市排水管线的数据(公共下水道的数据)研究在意大利海滨小镇洪水演进过程。Keokhumcheng 等(2012)采用了流体动力学建模方法进行洪水流模拟,来预测在曼谷的素万那普机场的洪水深度和持续时间。Werner 等(2007)使用的数字地形图采用中等分辨率(1:10000)制定了二十年一遇的降雨事件的内涝风险图,它已经证明,地理信息系统地下排水管线数据和其他类型的数据能够发挥城市防洪研究的关键角色。在洪水建模方法上(Kalyanapu et al, 2012),国内外研究主要针对一维(1D)和二维(2D)建模方法展开研究(基于地下排水管线和基于地形+地下排水管线,本书将在第 4 章详细展开研究)。而传统上,1D 水力模型往往被用来确定水力建模过程(Obermayer et al, 2010; Büchele et al, 2006; García-Navarro et al, 2008),有代表性的是 Muschalla 等(2008)在城市防洪研究中采用一维模型建立城市地下排水管线数据模型; Mascarenhas 等(2002)同样使用水力模型预测城市排水系统中可能会被洪水淹没的沙井,对洪水进入沙井的结果进行优化,这种研究对建立模型是十分必要的。因为不同方法的使用,会导致所有的洪水可能会从模型中流失,或者它可能被暂时存储在天上“洪水锥体”中的沙井中,这是当地地上临时蓄洪名义上的表达,他的研究所开发的模型对一维坡面流所经路径的沟道网络进行定义,并通过沙井连接到地下系统。这种方法被用来表示最可能的地面洪水路径,而这些路径可能从该系统的一个组成部分转移洪水到另一个组成部分,地上而非地下,该研究提出的地表水力模拟过程是本书主要研究讨论的内容。因为一维模型开发洪水映射只能提供可能发生洪水,而不是完整详细的洪水程度和准确的评估指示(Büchele et al, 2006);如果

模型化蓄洪锥体的沙井与地面模型并不匹配,那么模拟结果将不可避免地发生错误,因为很难用洪水锥和坡面流环节匹配,准确地表示存储地上的可用物(Gutierrez et al, 2008)。这也是二维排水模型兴起的原因,而使用二维(2D)模型比一维(1D)模型更适合于复杂的表面几何形状,诸如城市地区的建筑物、道路交叉口及其他运输基础设施,以及跨空地(如花园区域和公园)。

在近期的排水过程研究中,由于研究的水力建模进一步复杂化,两者结合研究成为可能,因为水流在洪水事件时既可以进入也可以离开管线系统(Mignot et al, 2006; Koivumäki et al, 2010)。因此,二维水力建模进一步结合了管线和地形,在这种条件下,二维洪水演进允许洪水从路面重新进入一维管线(Lhomme et al, 2006)。且在2D条件下,当使用一个详细的地面作为水流载体时,洪水从一个节点不再局限于有限数量的预先定义的排水渠道形成的地面水流路径。而Kalyanapu等(2012)使用的基于Monte Carlo的洪水建模框架用于估计概率加权的方法适用于扩展的二维模型。同时,也有学者通过计算,描述了洪水也可以集中在地面网格局部洼地;当水在这类池中的深度是足够高的,水可从低的区域溢出,这也是2D洪水模型面临的研究问题(Soares et al, 2008)。

综上,城市地下排水管线水力建模技术日渐发展并推广,不过,在实际研究和使用过程中仍然存有一些突出的难题,关键表现在:

(1)基础资料缺失和缺乏地理信息系统支撑的问题。水力建模技术对基础资料要求十分严格,首先是地下排水管线地理信息数据,包括了地下排水管线的点、线、面数据及其空间拓扑关系的建立。因此,高质量的水力建模过程对数据的精度要求十分明显,这是本书研究的基础,将在本书研究过程中加以解决。

(2)水力模型的率定与校核问题。水力建模技术需要对模型进行校核和率定以模拟不同研究地域的城市排水特点,包括降雨、排水现状等时间分布特征,因此在引入水力模型的内容上,需要研究水力模型的校核手段和率定方法,以促进水力建模精度的提高,并具有更强的区域适应能力。

(3)输出成果的可视化分析问题。地下排水管线承载力输出成果表达方式多样化,静态主要是点、线、面,而动态主要是不同的颜色表现手法,并以专题地图方式实现地图分析,以利于城市规划决策,这些都需要在水力建模研究中加以考虑。

§ 1.3 研究目标

第一,针对城市内涝灾害深入研究,利用水力建模技术模拟城市地下排水管线系统运行状态,重点是模拟地下排水管线的承载力时空分布,通过水力建模知识与地理信息系统集成,提升水力时空建模的精度,在此基础上研究符合城市排水研究实际的水力模型。