

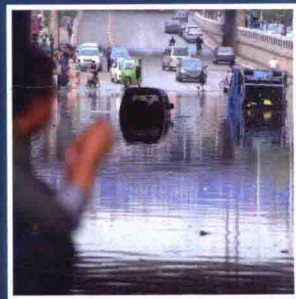


国家自然科学基金项目 (41371495, 41501557) 资助

城市暴雨积涝灾害 居民避难迁安研究

Study on Resident Evacuation and Retreating
for Urban Waterlogging Disaster Caused by Heavy Rain

陈 鹏 张继权 著



科学出版社

国家自然科学基金项目（41371495，41501557）资助

城市暴雨积涝灾害居民避难迁安研究

Study on Resident Evacuation and Retreating
for Urban Waterlogging Disaster Caused by Heavy Rain

陈 鹏 张继权 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕城市暴雨积涝灾害居民避难迁安这一论题,利用多学科交叉的理论与方法,结合实测数据、先进的技术和缜密的逻辑研究了我国城市暴雨积涝灾害居民避难迁安技术,系统地分析了我国城市暴雨积涝灾害成因,实现暴雨积涝情景数值模拟、居民避难困难度评价,并在此基础上研究了应急避难所与物资库优化布局,提出了城市暴雨积涝灾害居民避难迁安概念、模型及算法。本书利用实地观测、室内试验与计算机模拟相互印证,城市暴雨积涝灾害动态模拟和居民应急避难迁安相结合,尽可能地反映城市暴雨积涝灾害居民避难迁安的最新发展。尤其是将兵棋推演技术引入居民避难迁安中,实现了动态化、可视化及智能化的人与暴雨积涝灾害的博弈推演平台。

本书可供城市暴雨积涝灾害应急管理人员、研究人员、业务人员阅读和参考,也可供城市规划、市政管理、政府减灾部门的技术人员、保险的工程技术人员参考使用,还可作为高等院校相关专业研究生的教学参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

城市暴雨积涝灾害居民避难迁安研究/陈鹏,张继权著. —北京:科学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-03-054070-6

I. ①城… II. ①陈…②张… III. ①城市-暴雨-水灾-紧急避难-研究 IV. ①X4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 185200 号

责任编辑:霍志国/责任校对:张小霞

责任印制:张 伟/封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年8月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017年8月第一次印刷 印张:10 3/4 插页:2

字数:209 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



作者简介



陈鹏，男，博士，副教授，硕士生导师，吉林省遥感协会理事，1980年6月生，吉林镇赓人。

多年来，作者一直从事气象灾害风险评价、预警与应急管理方面的研究，积累了较丰富的经验。先后参加了国家科技部、中国水利水电科学研究院项目“国家重点基础研究发展计划‘973’计划专题——气候变化背景下黄淮海地区旱涝组合风险评估研究”、松辽水利委员会水文局(信息中心)项目“第二松花江丰满水库流域暴雨洪水资料加工”、哈尔滨市水务科学研究院项目“哈尔滨市城市暴雨内涝灾害风险评价与应急辅助决策支持系统研究”、水利部“948”项目技术协作“开发基于GIS平台的洪水预报调度系统”、科技部项目“村镇住宅洪水灾害危险性与损失评价的实验研究”、水利部松辽水利委员会项目“黑龙江干流松花江口段河道演变分析研究”等多项洪涝灾害课题。特别是对城市积涝灾害风险评价和应急管理进行了尝试性研究，并取得了一定数量的研究成果，以哈尔滨道里区为例提出了基于三层空间的城市暴雨积涝灾害风险评价的模型、数值模拟方法，并获得了城镇暴雨积涝数值模拟与可视化系统软件著作权。目前，作者就职于吉林师范大学旅游与地理科学学院。经过多年的积累，现主持国家自然科学基金项目1项、吉林省科技厅项目1项、吉林省社科项目1项、国家“十二五”科技支撑项目子课题2项；参与国家自然科学基金项目4项；参编著作2部；获得软件著作权5项；发表科研论文20余篇，其中SCI论文3篇，全部超学科平均影响因子；EI论文1篇；ISTP论文2篇；核心论文8篇；其余为省级论文。



张继权，男，教授，博士生导师，吉林省“长白山学者”特聘教授，1965年2月生，吉林长春市人。日本鸟取大学联合农学研究科生物环境农学博士，日本学术振兴会外国人特别研究员、日本京都大学防灾研究所博士后。现任东北师范大学环境学院副院长、东北师范大学自然灾害研究所所长、东北师范大学综合灾害风险管理研究中心主任，兼任中国灾害防御协会风险分析专业委员会常务理事和副理事长、中国草学会草原火专业委员会常务副理事长和秘书长、中国农业资源与区划学会农业灾害风险专业委员会理事会常务理事和副理事长、吉林省气象学会副理事长、吉林省减灾委专家委员会副主任委员、吉林省气象标准化委员会副主任委员、吉林省气象学会气象灾害防灾减灾专业委员会理事长、“未来地球计划”中国国家委员会(CNC-FE)“变化环境下的灾害预警”工作组专家委员会委员、中国科协灾害风险综合研究计划工作协调委员会(IRDR-China)委员、中国自然资源学会资源持续利用与减灾专业委员会委员、农业部草原防火专家组专家等职务。

长期致力于综合灾害风险研究，首次提出了基于形成机理的综合自然灾害风险评价与管理理论，并初步建立起了比较完整和实用的自然灾害风险评价与管理理论、程式与技术方法体系、数量模型及相应软件系统。主持科研项目80多项，其中国家自然科学基金项目4项、国家公益性行业农业和水利科研专项各1项、全球变化研究国家重大科学研究计划(“973”)专题1项、“973”计划前期专项1项、“十二五”国家科技支撑计划项目1项和课题3项、“十一五”国家科技支撑计划课题3项、“十五”国家科技支撑计划课题1项、博士点基金1项、吉林省重点科技攻关项目2项。发表论文200余篇，其中在 *Ecosystems & Environment*、*Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*、*International Journal of Environmental Research and Public Health*、*Theoretical and Applied Climatology*、*Natural Hazards*、*Knowledge-Based Systems*、*Human and Ecological Risk Assessment*、

An International Journal、*Sensors* 等期刊上发表 SCI 检索论文 50 篇，超过平均影响因子 20 篇，EI、ISTP 收录 60 篇；出版学术著作 9 部；取得软件著作权 10 项，获发明专利 3 项，制定国家或行业标准 5 项。

2007 年北京师范大学出版社出版了《主要气象灾害风险评价与管理研究的数量化方法及其应用》，是迄今为止国内外首部综合研究区域气象灾害风险的专著；2009 年受聘北京大学出版社《高等院校安全与减灾管理系列教材》主编，2012 年首次出版了《综合灾害风险管理导论》；2012 年中国农业出版社出版了《中国北方草原火灾风险评价、预警及管理研究》；2015 年科学出版社出版了《农业气象灾害风险评价、预警及管理研究》。

科技部“十二五”国家科技支撑计划项目“重大自然灾害综合风险评估与减灾关键技术及应用示范”首席科学家，吉林省高校首批“学科领军教授”，获吉林省优秀海外归国人才学术贡献奖、长春市第二批优秀人才荣誉称号，享受长春市政府特殊津贴，获中国水利水电科学研究院科学技术奖一等奖、中国草学会草业科技奖三等奖。

前 言

城市作为国家、区域中社会人流、物流、信息流、资金流、技术流、能量流最为集中、最为活跃和最有生命力的地方，成为一定区域的政治、经济、文化和科技中心。然而，城市由于其特殊的人口和财富的高度集中，社会问题的复杂性和基础设施的脆弱性，无时无刻不面临着突发事件的挑战。随着全球气候变暖和城市化进程不断加快，未来城市暴雨积涝灾害发生频率将越来越高。从历史城市暴雨积涝灾害统计可知，城市道路积水深度可达 1.5~3.0m，车辆、行人无法正常通行，地下设施被淹，负一层住户生命受到严重威胁。2008~2012 年全国 351 个城市都发生了不同程度的积涝灾害，道路积水深度在 50cm 以上的城市达到 60%，积水超过半小时的占到将近 80%，其中城市积涝灾害较重的城市有大连、北京、武汉、杭州、郑州、天津、哈尔滨等。例如，2012 年 7 月 21 日，北京市遭遇历史以来最大的城市积涝灾害，其降雨量总体达到特大暴雨级别。一天内，市气象台连发五个预警，暴雨级别最高上升到橙色。全市平均降雨量 164mm，为 61 年以来最大。其中，最大降雨点房山区河北镇达到 460mm。暴雨引发房山区山洪暴发，拒马河上游洪峰下泄。暴雨洪涝灾害造成房山、通州、石景山等 11 区(县)12.4 万人受灾，4.3 万人紧急转移安置。全市受灾人口 190 万人，其中房山区 80 万人。据初步统计，全市经济损失近百亿元，造成 79 人遇难。再如，2012 年 6 月 18 日，哈尔滨市南岗区海河东路由于暴雨导致道路严重积水，其中道路大面积积水 21 处，严重积水 4 处、较严重积水 9 处，道路最深处积水达到 1.5m 左右。随着道路积水不断增多，导致积水向地下室倒灌。此时，该区副 175 号等 3 家地下室进水，其中 3 人被困于 2m 多深的水中，副 177-1 号和副 179 号两处地下室还有 5 人也同时被困，生命安全受到严重威胁。由此可见，城市暴雨积涝灾害的发生已经给城市居民的生命、财产等造成巨大损失。同时，也给城市发展及经济建设、社会安定带来巨大的负面影响，严重阻碍了城市可持续发展。因此，需对城市暴雨积涝灾害进行管理，开展城市暴雨积涝灾害避难迁安研究，实现我国城市暴雨积涝灾害由危机管理向风险管理的转变，提升我国城市暴雨积涝灾害应急管理能力。

暴雨积涝灾害作为城市灾害的一种，受到气象条件、下垫面条件、排水管网分布等自然和人为因素影响，其发生原因极为复杂，具有一定的随机性和不确定性。此外，由于我国城市暴雨积涝灾害相关研究工作起步较晚，并没有像洪水灾

害那样受到重视,特别是在城市暴雨积涝灾害居民避难迁安方面的研究明显不足。为了加强对城市暴雨积涝灾害的避难迁安研究,本书借助居民水中行走实验、计算机模拟、多源信息融合技术、水动力学方法、兵棋推演及运筹学等相关理论,从实验数据、遥感数据、历史积涝灾害数据入手对城市暴雨积涝灾害居民避难迁安进行研究。内容涉及城市暴雨积涝数值模拟、情景模拟、城市暴雨积涝灾害居民避难行为研究、城市暴雨积涝灾害居民避难困难度评价研究、城市暴雨积涝灾害应急避难所与应急物资库优化布局研究、城市暴雨积涝灾害居民迁安研究。其中,城市暴雨积涝灾害数值模拟与情景模拟是为后续居民避难最优路径、应急避难所与应急物资库布局的前提,居民避难行为研究是居民避难困难度与居民避难迁安研究的基础,综合研究结果可应用于城市暴雨积涝灾害应急管理中。同时对于提高我国城市暴雨积涝灾害防灾减灾和应急具有一定意义。

城市暴雨积涝灾害居民避难迁安可以提升城市暴雨积涝灾害应急管理水平,同时,依据应急物资库与应急避难所布局结果及动态最优路径选取结果,可以快速、高效地组织居民进行避难迁安与救援活动。因此,开展城市暴雨积涝灾害居民避难迁安研究对于保证居民生命、财产安全及城市暴雨积涝灾害应急管理具有重要意义。本书将为政府部门应对风险、积涝灾害预警应急管理提供决策依据,及保证城市未来可持续发展的同时,保证在灾害发生时将损失降到最低。由于书中用到了灾害理论、灾害风险理论、应急管理理论、运筹学理论等众多理论与方法,通过相关改进可应用到其他相关领域汇总,因此,本书成果在一定程度上可满足城市暴雨积涝预测、预警、积涝灾害风险评估系统建设、城市可持续发展及应急管理等领域技术需求。本书的主要方法、模型及关键性技术经改造和移植可用于其他灾害研究,对交叉学科的发展起到促进作用。具体研究成果:

(1) 积涝情景模拟。利用一维、二维非恒定流构建城市暴雨积涝数值模拟模型;利用信息扩散理论计算研究区暴雨发生概率,以此为基础,设定研究区暴雨积涝情景,并实现了不同积涝情景模拟结果可视化。

(2) 居民避难困难度评价。从居民避难过程中影响居民避难的外在因素、内在因素分析入手,筛选城市暴雨积涝灾害居民避难困难度评价指标,构建评价指标体系及评价模型,以期在城市暴雨积涝灾害居民应急避难服务。

(3) 应急避难所与物资库优化布局。在城市应急避难所、应急物资库优化布局原则基础上,结合选址理论、GIS 技术实现城市暴雨积涝灾害应急避难所与物资库优化布局,以期在城市暴雨积涝灾害居民避难迁安提供服务。

(4) 积涝灾害居民避难迁安。从灾害的发生、发展角度出发,分析积涝灾害避难迁安与救援过程的影响因素,以 GIS 技术、线性规划理论为基础构建居民避难迁安模型。首先,以城市暴雨积涝数值模型模拟不同情景下的积涝灾害影响区

域为基础,实现暴雨积涝灾害的危险性模拟;其次,以上述应急避难所布局、应急物资库布局结果为基础,结合GIS技术、线性规划完成居民避难与应急救援,实现居民快速的撤离危险区域;最后,根据居民避难与应急救援结果给出城市规划建设与城市暴雨积涝灾害应急管理的合理措施。

(5)基于兵棋推演的居民避难迁安。以兵棋理论、应急避难理论为基础,利用兵棋推演方法,从定性与定量两个方面出发,构建了城市积涝灾害居民应急避难兵棋推演与评价模型,并以哈尔滨道里区为研究区进行了实证研究。以兵棋推演城市积涝灾害居民应急避难过程,可达到训练应急部门灵活处理应急事件的指挥能力、应急管理能力与决策能力。

在本书的写作过程中,课题组各位成员通力合作,付出了很大的努力和心血,在此向课题组各位成员表示衷心感谢!同时本书在写作过程中引用了大量的参考文献,借此向各位作者表示衷心感谢!本书在出版过程中,受到科学出版社的大力支持,编辑为此付出了辛勤的劳动,在此表示诚挚的谢意!

本书的前期研究和出版得到了国家自然科学基金(41371495, 41501557)资助;吉林省科技厅青年基金(20150520081JH)等项目的协助,在此表示感谢!

作者在前期研究中参阅了大量国内外学者文献,主要观点均作了引用和标注,特此表示衷心感谢,如有疏漏,在此表示歉意。限于作者知识水平和能力所限,对一些问题的认识尚有待于反复实践和不断深入,书中疏漏之处在所难免,敬请各位专家、同行和广大读者批评指正。

陈 鹏

吉林师范大学旅游与地理科学学院

张继权

东北师范大学环境学院

东北师范大学自然灾害研究所

东北师范大学综合灾害风险管理研究中心

2017年4月20日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景与意义	2
1.1.1 研究背景	2
1.1.2 研究目的和意义	3
1.2 前沿与进展	3
1.2.1 国内外城市积涝模型研究进展及评述	3
1.2.2 国内外城市积涝灾害避难迁安研究进展及评述	6
1.2.3 国内外城市积涝灾害迁安支持系统进展及评述	12
1.2.4 存在的问题	13
参考文献	15
第 2 章 城市暴雨积涝情景模拟	21
2.1 研究区概况	21
2.1.1 自然概况	21
2.1.2 研究区积涝灾害概况	22
2.1.3 数据来源	23
2.2 城市暴雨积涝数值模拟	23
2.2.1 研究区集水区确定	23
2.2.2 道里区降雨时程分析	23
2.2.3 排水分区及排水设施概化	24
2.2.4 城市下垫面概化与网格划分	26
2.2.5 城市暴雨积涝模型构建	28
2.3 情景设定	34
2.3.1 基于信息扩散理论的哈尔滨暴雨发生概率分析	34
2.3.2 情景分析及设定	37
2.4 城市暴雨积涝数值模型验证	38
2.4.1 暴雨过程测定	38
2.4.2 模型验证	39
参考文献	40

第3章 城市暴雨积涝灾害居民避难困难度评价	41
3.1 居民水中行走实验	41
3.1.1 实验目的	41
3.1.2 实验场地、设备与人员选定	41
3.1.3 实验内容设计	43
3.1.4 实验方法	43
3.1.5 实验结果	45
3.2 居民避难行为调查问卷	47
3.2.1 问卷调查设计	47
3.2.2 问卷数据统计	49
3.3 城市暴雨积涝灾害居民避难外在影响因素分析	49
3.3.1 居民行走与水深、流速关系分析	49
3.3.2 居民水中行走安全性分析	50
3.4 城市暴雨积涝灾害居民避难内在影响因素分析	51
3.4.1 居民避难行为动机影响因素分析	51
3.4.2 避难影响因素与避难选择相关性分析	55
3.4.3 居民自身特性与避难行为之间相关性分析	56
3.5 城市暴雨积涝灾害居民避难行为研究	57
3.5.1 研究方法与数据来源	59
3.5.2 居民避难行为影响因素分析	60
3.5.3 结果分析	63
3.5.4 对策建议与结论	65
3.6 基于避难行为的城市暴雨积涝灾害居民避难困难度评价	66
3.6.1 居民避难困难度评价指标体系构建	66
3.6.2 评价模型构建	69
3.6.3 评价结果	69
参考文献	71
第4章 城市暴雨积涝灾害应急避难所与物资库优化布局	72
4.1 城市暴雨积涝灾害应急避难所优化布局	72
4.1.1 应急避难所选址影响因素分析	72
4.1.2 应急避难所优化布局原则	73
4.1.3 道里区避难所现状	74
4.1.4 避难所选址适宜区确定	74
4.1.5 避难所优化布局模型构建及应用	78

4.2 基于 TOPSIS 评价法的城市应急避难所选址适宜性评价	80
4.2.1 研究思路与方法	82
4.2.2 指标选取	82
4.2.3 指标量化与权重计算	84
4.2.4 城市应急避难所选址适宜性评价模型构建	85
4.2.5 实证研究	87
4.3 城市暴雨积涝灾害救援物资库优化布局	89
4.3.1 应急物资库选址影响因素分析	90
4.3.2 应急物资库布局原则	91
4.3.3 救援物资库选址适宜区确定	91
4.3.4 城市暴雨积涝灾害救援物资库优化布局模型构建及应用	94
参考文献	97
第 5 章 暴雨积涝灾害居民避难迁安决策分析与实例研究	99
5.1 居民迁安模型要素选取	99
5.1.1 研究区道路网提取	99
5.1.2 需求点信息获取方法	101
5.1.3 人口分布计算	102
5.1.4 需求点信息提取	103
5.2 城市暴雨积涝灾害迁安模型构建	104
5.2.1 最优路径计算	104
5.2.2 基于模糊可变综合评价的避难所选择	105
5.3 实例应用	107
5.3.1 基于静态最优路径的居民迁安决策	107
5.3.2 基于动态最优路径的居民迁安决策	107
5.4 城市暴雨积涝灾害应急救援研究	112
5.4.1 城市暴雨积涝灾害应急救援约束条件	113
5.4.2 城市暴雨积涝灾害救援模型构建	113
5.4.3 实证研究	114
参考文献	117
第 6 章 积涝灾害避难迁安决策支持系统集成	118
6.1 系统总体框架	118
6.1.1 系统设计原则	118
6.1.2 系统体系结构设计	119
6.1.3 系统功能实现	119

6.2 系统数据库设计	120
6.2.1 数据库设计流程	120
6.2.2 数据库设计原则	121
6.2.3 数据库设计方案	122
6.3 系统模型库设计	123
6.3.1 模型库设计原理	123
6.3.2 模型库设计方案	124
6.4 开发实例	125
参考文献	128
第7章 基于兵棋推演的积涝灾害居民避难迁安	129
7.1 城市积涝灾害居民应急避难兵棋推演理论	130
7.1.1 相关概念界定	130
7.1.2 应急避难兵棋推演理论	131
7.1.3 积涝灾害居民应急避难兵棋推演原理	132
7.2 城市积涝灾害居民应急避难兵棋推演内涵和流程	132
7.3 城市积涝灾害居民应急避难兵棋推演规则及评价方法	132
7.3.1 推演规则	132
7.3.2 兵棋推演规则制定方法	134
7.3.3 评价方法	138
7.4 城市积涝灾害居民应急避难过程兵棋推演	139
7.5 城市积涝灾害居民应急避难推演结果评价	146
参考文献	147

Contents

Foreword

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and significance	2
1.1.1 Research background	2
1.1.2 Research purpose and significance	3
1.2 Frontiers and progress	3
1.2.1 Current situation of research on the model of urban waterlogging disaster at home and abroad	3
1.2.2 Current situation of research on resident evacuation and retreating for urban waterlogging disaster at home and abroad	6
1.2.3 Current situation of research on the retreating support system of urban waterlogging disaster at home and abroad	12
1.2.4 Current issues	13
Reference	15
Chapter 2 Urban rainstorm waterlogging scenario simulation	21
2.1 Research area	21
2.1.1 Natural conditions	21
2.1.2 Overview of waterlogging disasters in the research area	22
2.1.3 Data collection	23
2.2 Numerical simulation of urban rainstorm waterlogging	23
2.2.1 Determination of catchment region in the research area	23
2.2.2 Time history analysis of rainfall in the Daoli region	23
2.2.3 Generalization of zoning and facilities of drainage	24
2.2.4 Generalization of underlying surface and grid division	26
2.2.5 Construction of the model of urban rainstorm waterlogging	28
2.3 Scenarios setting	34
2.3.1 Probability analysis of rainstorm based on the information diffusion theory in Haerbin	34
2.3.2 Analysis and setting of scenarios	37

2.4	Verification of the numerical model of urban rainstorm waterlogging	38
2.4.1	Measurement of rainstorm process	38
2.4.2	Model verification	39
	Reference	40
Chapter 3	Evaluation on residents' evacuation difficulty of urban rainstorm waterlogging disaster	41
3.1	Resident walking experiment in water	41
3.1.1	Experimental purpose	41
3.1.2	Experimental site, equipment, and personnel selection	41
3.1.3	Experimental content design	43
3.1.4	Experimental method	43
3.1.5	Experimental result	45
3.2	Questionnaire of residents' evacuation behavior	47
3.2.1	Questionnaire design	47
3.2.2	Questionnaire data statistics	49
3.3	Analysis on the external factors of residents' evacuation of urban rainstorm waterlogging disaster	49
3.3.1	Analysis of relationship between residents' walking and water depth and velocity	49
3.3.2	Safety analysis of residents' walking in water	50
3.4	Analysis on the internal factor of residents' evacuation of urban rainstorm waterlogging disaster	51
3.4.1	Analysis of influencing factors of residents' evacuation behavior motivation	51
3.4.2	Analysis of the relationship between the influence factors and the choice of evacuation	55
3.4.3	Analysis of the relationship between residents' characteristics and evacuation behavior	56
3.5	Research on residents' evacuation behavior of urban rainstorm waterlogging disaster	57
3.5.1	Research methods and data sources	59
3.5.2	Analysis of influencing factors of residents' evacuation behavior	60
3.5.3	Result analysis	63
3.5.4	Suggestions and conclusions	65
3.6	Residents' evacuation difficulty evaluation of urban rainstorm waterlogging	

disaster based on evacuation behavior	66
3.6.1 Construction of evaluation index system of residents' evacuation difficulty	66
3.6.2 Construction of evaluation model	69
3.6.3 Evaluation results	69
Reference	71
Chapter 4 Urban rainstorm waterlogging emergency shelters and materials	
library layout optimization	72
4.1 Urban rainstorm waterlogging emergency shelters layout optimization	72
4.1.1 Analysis of impact factors of emergency shelters location	72
4.1.2 The principles of emergency shelters layout optimization	73
4.1.3 The present situation of emergency shelters in Daoli district	74
4.1.4 Determination of the area suit for emergency shelters location	74
4.1.5 Establishment and application of emergency shelters layout optimization model	78
4.2 Suitability evaluation of urban emergency shelters location based on assessment method TOPSIS	80
4.2.1 Research thoughts and methods	82
4.2.2 Index selection	82
4.2.3 Index quantification and weight calculation	84
4.2.4 Establishment of urban emergency shelters location suitability evaluation model	85
4.2.5 Empirical studies	87
4.3 Urban rainstorm waterlogging emergency materials library layout optimization	89
4.3.1 Analysis of impact factors of emergency materials library location	90
4.3.2 The principles of emergency materials library layout optimization	91
4.3.3 Determine of the area suit for emergency materials library location	91
4.3.4 Construction and application of emergency materials library layout optimization model for urban rainstorm waterlogging	94
References	97
Chapter 5 Analysis on resident evacuation decision and case study of rainstorm	
waterlogging disasters	99
5.1 Selection of elements of the resident evacuation model	99
5.1.1 Extraction of road network in the study area	99

5.1.2	The information acquisition methods of demand points	101
5.1.3	Calculation of population distribution	102
5.1.4	The information extraction of demand points	103
5.2	Construction of the evacuation model of urban rainstorm waterlogging disasters	104
5.2.1	Calculation of the optimum path	104
5.2.2	Selection of the shelter based on the fuzzy variable comprehensive evaluation	105
5.3	Case study	107
5.3.1	Resident evacuation decision based on the static optimal path	107
5.3.2	Resident evacuation decision based on the dynamic optimal path	107
5.4	Research on emergency rescue of urban rainstorm waterlogging disaster	112
5.4.1	The constraints of emergency rescue of urban rainstorm waterlogging disaster	113
5.4.2	Constructing the emergency rescue model of urban rainstorm waterlogging disaster	113
5.4.3	Empirical study	114
	References	117
Chapter 6 Integrating evacuation decision support system of rainstorm waterlogging disasters		
6.1	The system overall framework	118
6.1.1	The system design principle	118
6.1.2	The system architecture design	119
6.1.3	The system function	119
6.2	The system database design	120
6.2.1	The design flow of database	120
6.2.2	The design principles of database	121
6.2.3	The design scheme of database	122
6.3	The design of the system model base	123
6.3.1	The design principles of model base	123
6.3.2	The design scheme of model base	124
6.4	Development example	125
	References	128
Chapter 7 Resident evacuation and retreating for waterlogging disaster based on wargame simulation theory		
7.1	Wargame theory for resident evacuation and retreating of urban	129