

文章编号: 1008-2786-(2017)2-212-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000214

西南山地城市雨洪灾害防治多尺度空间规划研究 ——基于水文视角

李云燕^{1,2} 赵万民^{1,2}

(1. 重庆大学建筑城规学院, 重庆 400045; 2. 重庆大学山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 西南地区城市因山地环境的特殊性, 面临城市雨洪灾害频发、多发和危害严重等特点, 其雨洪灾害防治方法也不同于其它地域城市。通过对典型山地城市重庆近 10 年水文数据的观察, 将雨洪灾害的形成、发展与城市水文过程特征进行关联分析。借助水循环模拟分析的理论基础, 结合山地流域多元化、城镇空间组团化、社区空间多维化等特点, 以多尺度空间下的水文模拟过程为依托, 建构应对山地城镇雨洪灾害防治框架体系: (1) 流域尺度生态安全格局体系建构; (2) 城镇尺度雨洪防灾基础设施布局及空间优化; (3) 社区尺度雨洪设施的低冲击设计。研究探索山地城镇雨洪灾害发生的规律特征和科学价值, 可为全球气候变暖下的山地城市雨洪灾害防治提供参考。

关键词: 西南山地城市; 雨洪灾害; 防治; 多尺度; 规划策略

中图分类号: TU984, TU992

文献标志码: A

近年来, 在全球气候变暖的大背景下, 我国城市雨洪灾害呈现频发、多发趋势, 给城市发展造成了极大的损失。根据 2007 年至 2013 年的统计数据, 我国雨洪灾害基本覆盖所有 31 个省份, 全国城乡年均受灾人口在 1 亿人左右。在快速城镇化的推动下, 我国每年约有 1 000 多万人进城, 新建成的建筑面积相当于世界建筑总量的一半^[1], 城市规模的快速扩张, 城市硬质下垫面不透水地表面面积的增厚增多, 地表径流量大幅度增加, 使得自然水循环过程和系统受到影响, 水文系统紊乱, 水生态系统退化严重。据美国环境保护署研究分析, 降水产生的地表径流, 城市建成区是自然地表的 5.5 倍, 约有 55% 降水量形成地表径流, 15% 降水下渗, 地表径流量显著增加。西南山地区域在复杂地形条件影响下的水文过

程更加复杂, 城市雨洪灾害防治不能以常规思路进行, 迫切需要理论方法的探索和积累。

1 国内外雨洪灾害防治研究与实践评析

雨洪灾害研究开展多年, 国内外已有相当积累。以美国为首的发达国家, 在经历了城镇化从快速发展到稳定发展阶段, 雨洪灾害研究也从快速城镇化阶段的源头前端低影响开发 (LID: Low Impact Development) 研究发展到城镇化稳定阶段末端治理的最佳管理措施 (BMPs: Best Management Practices)^[2-3], 通过运用规划和设计手段模拟自然的水文过程, 创造具有生态功能性的水环境^[4], 使雨水

收稿日期 (Received date): 2016-06-28; 改回日期 (Accepted date): 2017-02-23。

基金项目 (Foundation item): 国家社会科学基金西部项目 (16XGL001), 国家自然科学基金项目 (51678086), 中央高校基本科研业务费 (106112015CDJXY190001)。[Western Projects of the National Social Science Foundation of China (16XGL001); National Natural Science Foundation of China (51678086); Fundamental Research Funds for the Central Universities (106112015CDJXY190001)]

作者简介 (Biography): 李云燕 (1980-), 男, 四川大邑人, 博士, 博士后。主要研究方向: 山地城镇减灾防灾。[Li Yunyan (1980-), Male, Native of Sichuan Dayi, Ph.D., Postdoctoral. Mainly engaged in the research on urban disaster prevention and mitigation in Mountainous city] E-mail: liyunyan007@126.com.

* 通信作者 (Corresponding author): 赵万民 (1955-), 男, 博士, 教授。主要研究方向: 山地人居环境建设 [Zhao Wanmin (1955-), Male, Ph.D., Professor, specialized in the research on Mountain Residential Environment. E-mail: zwm65126371@sina.com.]

自然下渗,减少径流。英国面对已建成城市雨水管网无法承载地表径流产生的洪涝压力,通过在雨水流动的过程中(源头-传输-末端)进行层层处理,分级削减和控制,形成维持城市良性水循环的分级措施,即可持续城市排水系统(SUDS: Sustainable Urban Drainage System)^[5],以达到降低雨洪灾害威胁,实现城市可持续发展。澳大利亚结合地广人稀的实际,以生态理念引导,开展以维持自然水文条件的水敏感性城市设计(WSUD: Water Sensitive Urban Design)研究^[6],强调自然环境以及人工景观系统对于雨水系统的消解和净化作用,降低城市建设对原始水文循环的破坏。新西兰集合 LID 和 WSUD 的

理念形成了低影响城市设计与开发(LIUIDD: Low Impact Urban Design and Development)^[7],旨在建立从设计到开发建设的雨洪灾害全过程控制方法,并从水文特点进行分析,探索城市雨洪控制的模型、方法等^[8-9]。德国在雨洪灾害的技术措施上有较多研究和实践,如利用绿色屋雨水顶一项措施在德国的应用比例就达 10% 以上^[10]。日本结合城市的高密度发展和山地地形,采用快排模式(表 1)。这些雨洪灾害理念都是城市化背景下的产物,它们都着力于寻找一种适合特定场地或区域的雨洪灾害防控解决途径。

表 1 国外主要国家雨洪灾害防治研究与实践特征表
Tab. 1 Main foreign countries of rainwater disaster prevention and practice

国家	城市发展特征或问题	理念和措施	措施特点
美国	城镇化快速发展到稳定发展阶段	运用规划和设计手段模拟自然水文过程,创造具有生态功能性的水环境,使雨水自然下渗,减少径流。	源头处理,末端治理
英国	建成区城市雨水管网无法承载地表径流产生的洪涝压力	通过在雨水流动的过程中(源头-传输-末端)进行处理,分级削减和控制,形成维持城市良性水循环的分级处理措施,减少径流。	分尺度、分级处理
澳大利亚	地广人稀	以生态理念引导,维持自然水文条件,强调自然环境以及人工景观系统对于雨水系统的消解和净化作用,减少城市建设对原始水文循环的破坏。	生态化处理
新西兰	城市高度发展	集合 LID 和 WSUD 的理念形成了低影响城市设计与开发理念(LIUIDD)。	系统化开发
德国	城市高度发展	在雨洪管理技术体系研究和工程应用等方面达到国际领先水平,尤其是工程应用方面,仅绿色屋雨水顶一项措施在德国的应用比例就达 10% 以上;	现代技术化
日本	城市高密度发展	地下排水设施的系统性。	快排模式

在国内,研究方面比国外发达国家略晚。随着我国城镇化的发展,雨洪灾害的多发,从水文视角进行了一些尝试。越来越多的学者开始关注城市雨洪灾害防控研究,开始借鉴国外雨洪管理经验^[11-12],提出了我国雨洪灾害管理的基本对策^[13-15],分别从分尺度、分层次、分阶段构建雨洪安全格局的管理措施进行了探索^[16-17],运用云模型进行雨洪灾害的预警以及风险评价^[18],提出了可持续城市雨洪灾害防控措施^[19],以及城市雨水污染物控制,城市雨洪调蓄,建筑的雨水利用模式^[20-21],城市设计方法^[22]等,并在实践方面付诸实施,如“北京城区雨洪控制与利用示范工程”、“深圳市光明新区生态城”、“株洲市清水塘生态新城”等是我国开展比较早的城市雨洪灾害防治与利用项目之一。

综上,国内外在城市雨洪灾害防治方法研究以及实践方面做了一定的探索尝试,对城市水文条件

也有较深的认识,特别是国外开始模拟水循环过程来探索雨洪灾害防控方法。由于各国的城市发展阶段不同,对水文认识基本都考虑了不同空间尺度的影响,但针对山地城市的研究较少,对山地环境条件下水文复杂过程的分析稍显不足,对山地环境下的雨洪灾害发生特征规律认识还不够。

2 西南山地城市水文特征及雨洪灾害问题分析

西南地区地形地貌和水文环境比较复杂,城市空间环境受到地形、河流、山体的分割,呈现多种复杂状态和特征,导致山地区域城市水文环境比较脆弱,较易受到人类活动影响,出现极端气候和天气,引发雨洪灾害,这些特征问题归纳起来主要有以下几个方面(表 2):

表2 西南山地城市水文特征及雨洪灾害问题特征

Tab. 2 Hydrological characteristics and rainwater disaster features in the southwest mountainous cities

空间环境特征	水文特征	雨洪灾害特征
多尺度流域复合嵌套	受地形地貌的分割,西南山地城市基本处于多流域复合交叉的状态,山地、丘陵起伏,江河纵横,各个流域相互嵌套,形成多个流域交汇区域。	雨洪灾害受多个流域因素影响
多年平均降水变化丰富	各地的年降雨量很不稳定,降雨量一般集中在4-9月,其余月份降雨量较少。	雨洪灾害发生较集中
山区径流变化与平原差异大	盆地的径流系数约0.3,平原为约0.5,山地约为0.8。	雨洪灾害与山地环境相关
受山地地形影响	由于地形坡度不同,以及建设用地和非建设用地的汇水面本质不同,导致了地表径流的差异化较大。	雨洪灾害组团化分布明显

2.1 多尺度流域复合嵌套,水文过程复杂

受地形地貌的分割,西南山地城市基本处于多流域复合交叉的状态。山地、丘陵起伏,江河纵横,各个流域相互嵌套,形成多个流域交汇区域,水文过程复杂。例如,长江流域为一级流域地带,包含金沙江流域、乌江流域、嘉陵江及长江干流流域、岷江、沱江等多个二级流域,各个二级流域又包含诸多城市和河流。从水系发育上,西南山地区域江河纵横,水网密布,城市与河网关系密切。例如,重庆地区,以长江和嘉陵江为干流,其它河流为网络,构成密度较大的水系网络,干支流呈格状水系、树枝状水系。这些河流径流量丰富,但分配不均,11月至次年3月份为枯水期,7至8月为丰水期。各河流域内水土流失严重,较易引起灾害的发生。

2.2 多年平均降水变化丰富,水文活跃期较集中

以典型山地城市为例,重庆市属季风气候区,下半年受湿热的海洋气团影响,空气暖湿,降水较多,水文活跃。据统计,重庆都市区多年平均降雨量基本在1200 mm左右,且各地年均降雨量相差不大,但各地的年降雨量很不稳定。降雨最多年与最少年差值在700-800 mm左右^①。4-9月降雨量占全年总降雨量的3/4左右。10-3月在极地干冷气团控制和影响下,降雨稀少,其降雨量占全年的1/4左右。

重庆都市区暴雨时间较为集中,最早出现在3

月,最晚在11月结束,以6、7、8月三个月最多,占年暴雨日数的70%左右,降雨量在全市中处于较高水平。其它各区域大于50 mm的暴雨日数平均为2.6-2.9,差异不大;大于100 mm的大暴雨主要集中在5-8月份,大暴雨年均均在1次以下(图1)。其中北碚的大暴雨次数最多,年均大暴雨0.7天,大暴雨最多的年份有3次;大于150 mm的特大暴雨日数年平均为0.1-0.3天,以北碚和渝北最多,各地1日最大降雨量都可超过200 mm^②。

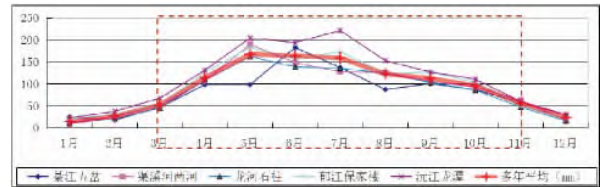


图1 重庆地区2004-2014年平均降水量变化曲线图(5个观察站数据)

Fig. 1 Average annual precipitation change curve in Chongqing (2004-2014 5 observatory's data)

2.3 山区径流变化与平原差异大,随高程变化明显

山地城市与平原城市的最大区别在于山地城市空间结构的多维性,山地城市起伏多变的地貌特征,决定了其环境组成因子呈立体分布的三维特性^[23]。这也使得山地城市形态较平原丰富,河网密度也大于平原地区。山区的地表坡度和切割程度也较平原大,故水系发育的条件山区比平原充分。在相邻地区,山区的径流系数大于平原,且山区径流量的分布随高程而异。例如,中国北纬30°附近,根据综合估测,四川盆地的径流系数为0.3左右,长江中下游平原地区约为0.5,鄂西山地区域约为0.7,川西山地区则可高达0.8,年径流系数的分布与地形等高线保持一致^[24]。

以重庆为例,根据总体地貌特点,地形高程可划分为海拔160 m-195 m及以下、195 m-350 m、350 m-450 m、450 m-800 m和800 m以上等高程带。粗略统计,其中海拔在450米以下的地区占比最大。现状建成区主要分布在195 m-450 m高程的台地上,高程在350 m以上的区域约占49%;195 m-350 m之间的区域约占39%,250 m以下的区域约占12%。山区径流系数也随着高程变化明显。

2.4 受山地地形影响 雨洪灾害组团化分布明显

山地城市形态格局 在长期的发展演变过程中,与山地自然地理形成了较为紧密的关系,其形态大多呈组团分布,空间族群化发展。城市建设用地和非建设用地之间的分隔界限较为明显,生态基地较为突出。由于建设用地和非建设用地的汇水面本质不同,导致了地表径流的差异化较大。这也是雨洪灾害集中发生在城市建设密度较高,地形较低洼出的主要原因。以重庆为例,城市地形受到山体切割,形成若干个不同的汇水区域,区域最低点则容易积水,引发雨洪灾害。其次,城市的汇水面主要以建筑、道路等为主,其径流系数较大,若排水不当,则也会引起积水,造成雨洪灾害。根据重庆多年雨洪灾害的发生地统计分析,可以看出,发生雨洪灾害的地方通常是高程较低、处于山体边缘或处于城市组团较为中心的区域,汇水面较多。

3 西南山地城市雨洪灾害防治多尺度空间规划思路

雨洪灾害与其所属流域、所在城市和所处社区都有着密切关系。从区域宏观视角,流域特征(包括流域面积、河网密度、流域形状、流域高度、流域方向等)直接影响一个地区的水文情况。如河网密度大的城市,水汽蒸发较多,空气中承载水量就较丰富,降水自然也多;从城市中观视角,城市空间结构和布局是塑造城市环境的重要条件,不同的空间结构和布局,其城市的环境条件具有很大不同,如山地组团式和分散式布局相较于平原集中式布局,具有城市硬质地面较集分散,城市绿化环境较多等优势;从社区微观视角,地形高差变化直接影响雨水径流速度和总量,地形高差越大地表径流越快越多,下渗就较少。同时,雨水地表径流则较易快速地汇集在地形平坦区域形成灾害。宏观流域、中观城市、微观社区不是相互割裂的,三者是一个层次嵌套的关系,三个层次相互影响、相互作用,共同决定着该区域的水文情况(图2)。研究雨洪灾害防治需要以整体观为指导,建立系统的框架体系。

山地雨洪灾害发生的机理较为复杂,涉及山地的复杂的多要素,如流域特征、地质环境、植被森林等,和水文多过程,如降水形成、滞留、径流、汇集等复杂过程。山地雨洪灾害的防治需要系统集成、耦合山地多要素特征,进行水文循环的多阶段过程观察,还

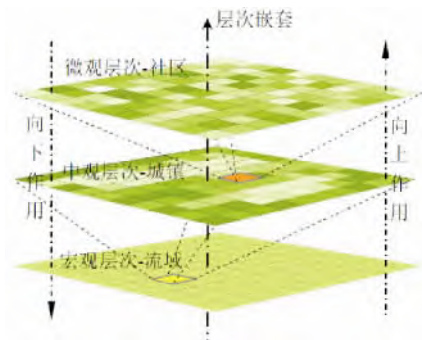


图2 空间的层次与嵌套性

Fig.2 Spatial hierarchy and nestedness

原水文过程与灾害发生的内在关系,通过改善外部环境条件,形成良性水循环调控机制,构建多尺度空间调控策略(图3)。

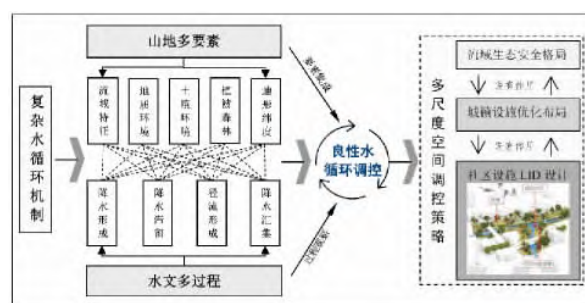


图3 水文循环过程思路简图

Fig.3 Concept diagram of hydrologic cycle

4 西南山地城市雨洪灾害防治多尺度空间规划策略

4.1 流域尺度:生态安全格局体系构建

山地城镇生态环境脆弱,灾害频发,不合理的生态格局往往能影响区域降水量的变化^[25],增加或减少都是引发灾害发生的重要因素。要实现区域层面的水资源安全与城市的可持续发展,必须突破以小尺度雨水管理为主的行动策略,形成区域水管理策略,建构流域尺度的生态安全格局体系。在区域空间尺度上,将水系统作为一个有机整体进行统筹协调,并综合考虑流域自然条件、土地利用、基础设施建设和经济发展水平等因素,系统解决雨洪灾害问题。运用水循环模拟方法对典型流域系统进行水文过程模拟分析,探索流域水文过程的特征,总结雨洪灾害发生与流域生态环境的内在关系,继而从区域生态视角建构应对雨洪灾害发生的流域生态安全格局体系,促进自然环境与流域空间水循环网络的高

度耦合,避免复杂水循环机制引发雨洪灾害。

根据 Richard T. T. Forman 和 Michel Godron^[26] 的景观格局优化观点,保护流域生态系统的稳定性是首要任务,需要建立区域“基底-斑块-廊道”的稳定性。首先,西南地区基本处于我国地势发展的第二阶梯上,海拔从最低 500 m 左右到最高 2 000 m 左右,地势变化剧烈。受自然地理条件限制,该地区经济发展相对东部落后,广大区域仍保留传统的对自然资源过度依赖的生活方式,这种方式不仅不可持续,而且对环境基底破坏严重,影响整体生态格局建构。需要发挥生态优势,提倡“可持续生计”^③,发挥区域生态优势,发展生态种植、生态养殖、生态旅游等可持续发展模式,维护区域生态基底安全稳定。其次,西南地区河流众多,河网密度大,河流对地形的切割较厉害,生态基底被划分,发展中需要考虑发挥起重要连接作用的河流生态廊道、道路生态廊道、绿化生态廊道的生态作用,规划预留足够宽的生态范围。以河流生态廊道为例,保证其能发挥生态作用的两侧生态廊道宽度应保持在 80 m - 100 m 以上^[27],甚至对于西南地区主要河流如长江、嘉陵江等的重要地段需要更宽的生态廊道范围,以保证其发挥更大的生态效应。第三,对于流域内具有重要生态服务功能,以及高生态敏感的各类公园绿地、湿地、湖泊、水体、自然森林植被等生态斑块进行保护,维系其生态功能,强化生态斑块作为“海绵体”^④的作用,发挥其对于宏观雨水的调节能力。通过基底、斑块、廊道的生态保护维系,发挥整体流域环境对于微气候的调节能力,防止城市出现干旱和内涝极端气候状况,消弱雨洪灾害发生的基础条件(图 4)。

4.2 城镇尺度:雨洪防灾基础设施空间布局及优化

山地城镇受地形环境的限制,呈现出空间组织

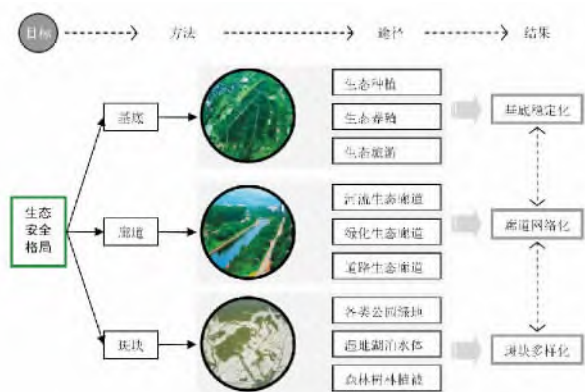


图 4 流域生态安全格局体系

Fig. 4 Ecological security patterns system on watershed

族群化、地形纬度多元化、生态环境敏感化和水文条件复杂化等特征。这也使得城市公园绿地、蓄水池、道路广场等雨洪防灾设施布局参差不齐,体系较差,较难应对山地复杂水文变化。要突破山地复杂地形和水文环境的影响,需要从城镇尺度进行雨洪防灾基础设施统筹布局。首先要根据山地地形变化特点,在地势变化较大区域,需要快速引导雨水排出至江河或湖泊,减少城市积水压力。如图 5 蓝色区域,因地形坡度较陡区域(坡度 $i = \tan\alpha$)的地表径流量较大,当地表径流雨水到达地形坡度平缓区域

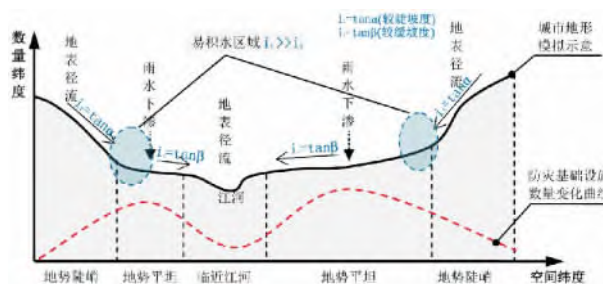


图 5 山地防灾基础设施空间分布剖面示意图

Fig. 5 Sectional view of spatial distribution of mountain disaster prevention infrastructure

(坡度 $i = \tan\beta$) 因 $\tan\alpha$ 远大于 $\tan\beta$,该区域内地表径流由流量较大骤然降低,使得进入该片区的雨水量大于排出量,则较易形成积水,演变成雨洪灾害,这和前面分析的实际状况是一致的,在沙坪坝杨公桥立交、九龙坡二郎立交、江北嘉州路和南岸滨江地区等区域雨洪灾害出现次数较多(图 6 中蓝色圈范围)。这就需要加大该片区的海绵城市建设力度,如增加下沉式绿地、透水铺装等海绵设施,强化吸水能力。同时,根据山地排水特点,增大主要干道的排



图 6 重庆都市区主要历史积水点分布及防灾设施重点规划区域(根据相关资料整理绘制)^[28,30]

Fig. 6 Distribution of historical water points and key planning area of disaster prevention facilities in Chongqing metropolis

水管径 加强雨水排出(图 6 中绿色圈范围);其次在地势变化较平坦区域,则需要充分利用自然渗透、自然蓄存等方法,减少地表径流,避免雨水汇集。这需要加大海绵设施如绿地、透水铺装等等设施的建设。基于这样的前提,山地城市雨洪防灾基础设施的布局就不是均衡布局,而是需要根据地形环境特点和城市建设情况来布置,如图 5 红色曲线所示,在城市建成环境区域地势变化较大地段则不需要太多的雨洪防灾基础设施,地势平坦地段则需要更多的雨洪防灾基础设施。以此为基础建立雨洪防灾基础设施的规划布局方案需要及时反馈到城市总体规划,并优化城市空间布局结构。

4.3 社区尺度:雨洪防灾设施的低冲击设计

受地形地貌限制,山地城市建设用地紧张,作为非经营性用地的城镇绿地、生态湿地、广场等雨洪防灾设施多分布于地形环境较差的非建设用地区域,如滑坡、冲沟、河岸等生态脆弱地带,其自身就不具有稳定性,在规划设计中特别要注意其低冲击设计(LID),减少因建设而进一步导致的隐患产生。社区尺度雨洪设施一般为人工修建,是应对雨洪灾害的重要环节,保持其开发前后径流量总量和峰值流量保持不变是重要的设计标准。

绿地、生态湿地、广场等雨洪防灾设施具有自身的水文过程特点,在规划设计时应针对山地社区典型的雨洪防灾设施绿地、生态湿地、广场等进行归纳分类,研究各类型设施的径流数据特征。通过各类设施的径流特征分析,探讨设计各类设施滞留雨水的作用。如在城市建成区受建设条件限制,低影响设施只能局部改造,植被缓冲带则是适用于该区域的设施之一。植被缓冲带可在道路、铺地等不透水面周边进行布置,对不透水面形成的雨水进行截留和缓冲。在城市新建区则需要有计划地进行各类低影响设施布局的综合考虑,这就需要掌握各类的影响设施的性能特征,综合选用(表 3)。据范世香、韩绍文^[30]对地面坡度影响地表径流的实验显示,地形坡度变化对径流有直接的影响,呈现非线性增长趋势,其中 4°到 12°是径流量变化较大的拐点(图 7),在低影响开发设计中应注意对于地形坡度的优化整理,以降低地表径流量。在地形坡度较大的地方建议采取分台处理,消解大坡度带来的大径流量。大坡度地形必然导致较大的地表径流量(图 8a),分台处理则大大降低地表坡度(图 8b),必然降低地表径流量。

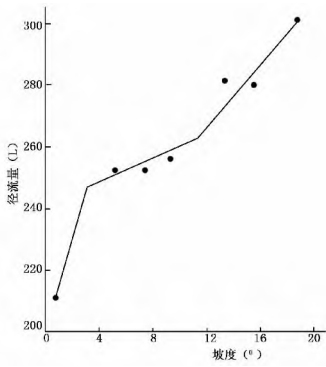


图 7 地表径流量随地形坡度变化图^[29]

Fig. 7 Relationship between surface runoff and terrain

表 3 山地城市主要低影响设施功能特征
(根据相关资料整理绘制^[28-30])

Tab. 3 Function and characteristics of low-impact facilities in mountainous city

低影响设施	功能特征			建议布局方式	
	集蓄利用雨水	补充地下水	削减峰值流量	分散	相对集中
透水砖铺装	○	●	◎	√	—
透水水泥混凝土	○	○	◎	√	—
透水沥青混凝土	○	○	◎	√	—
绿色屋顶	○	○	◎	√	—
下沉式绿地	○	●	◎	√	—
简易型生物滞留设施	○	●	◎	√	—
复杂型生物滞留设施	○	●	◎	√	—
渗透塘	○	●	◎	—	√
渗井	○	●	◎	√	√
湿塘	●	○	●	—	√
雨水湿地	●	○	●	√	√
蓄水池	●	○	◎	—	√
雨水罐	●	○	◎	√	—
调节塘	○	○	●	—	√
调节池	○	○	●	—	√
转输型植草沟	◎	○	○	√	—
干式植草沟	○	●	○	√	—
湿式植草沟	○	○	○	√	—
渗管/渠	○	◎	○	√	—
植被缓冲带	○	○	○	√	—
初期雨水弃流设施	◎	○	○	√	—
人工土壤渗滤	●	○	○	—	√

注: 1. ●——强 ◎——较强 ○——弱或很小。

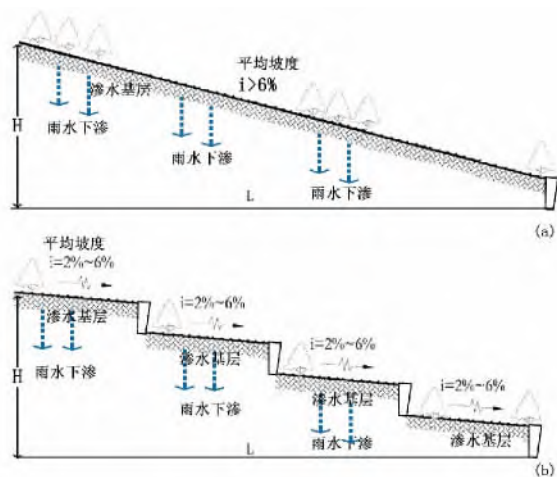


图8 大坡度地形分台处理对比图

Fig. 8 Comparison chart of treatment for large slope topography

另外,在低影响设计中要综合用好“渗、滞、蓄、净、用、排”的方法,注重系统的设计。如在重庆长寿区滨江公园设计中,规划设计充分利用基底环境的渗透、水塘的蓄水,生态湿地的滞水、净水作用,实现开发建设前后的水文条件保持一致,做到了环境的冲击设计(图9)。



图9 社区环境低冲击设计示意(重庆长寿区)

Fig. 9. Low-impact design for community environment(Changshou, Chongqing)

5 结语与思考

城市雨洪灾害防治是一项复杂系统工程,涉及宏观到微观的各个环境层面,也涉及从规划、水利、安全、景观、管理等多学科的交叉,更涉及城市的经济、社会、文化等多种影响要素,在操作中需要综合运用系统思维进行思考。本文是从山地水文过程视角进行的雨洪灾害防治的思考,还仅限于理论层面的探索,希望能在以下几个方面有所创新思考:

(1) 从理论层面上,山地城市雨洪灾害防治框架体系是补充完善山地城市灾害防治理论的重要内

容。近年来,在全球气候变暖的大背景下,我国城市雨洪灾害呈现多发趋势,给城市发展造成了极大的损失。占国土面积约2/3的山地城市,由于地域环境限制,城市建设各方面滞后,缺乏必要的防灾减灾理论储备和积累,亟需经验的总结和理论的指导。

(2) 从方法层面上,本文涉及从规划、安全、水利、管理等多学科的内容,是多学科交叉融合理念的探索。文章从山地多尺度空间视角模拟城市自然水文过程,并建立应对雨洪灾害的防治方法是灾害研究的方法上的创新。山地城市建设涉及的科技问题较之平原地区更为复杂,存在空间尺度的不同,水文过程不同,要素影响不同等,而城市化进程的加快又使其面临更多新的复杂问题,亟需与山地特征相适应的科学技术方法来指导城市建设活动。

(3) 从实践层面上,目前国家正在开展“海绵城市”建设,从规划、建设与运行管理中存在较多的实际问题。探索较为成熟的雨洪灾害防治方法和模式,对于减少雨洪灾害危害具有重大意义。我国地域广大,城市类型多样,不同地域、不同类型城市有不同的特征。城市雨洪灾害防治措施不能“一刀切”,如山地、河网、沿海等多雨地域的城市雨洪灾害防治与北方干旱地域的雨洪灾害防治方法必然不同。干旱地域雨量少,可通过蓄水来削减调节洪峰流量,多雨地域则面临雨水过多的问题,蓄水量需要控制,大量的雨水需要及时排出,消除隐患。

注释:

①根据重庆地区2004—2014年5个降水量观察站数据资料统计,以沅江龙潭站观察数据为例,2010年降雨量达到1716mm,2011年只有958mm,最多年与最少年差值在700—800mm左右。

②根据重庆市气象局綦江五岔、渠溪两河、龙河石柱、郁江家楼、沅江龙潭5个观察站数据。

③可持续生计概念最早见于20世纪80年代末世界环境和发展委员会的报告。1992年,联合国环境和发展大会将此概念引入行动议程,主张把稳定的生计作为消除贫困的主要目标。1995年,哥本哈根社会发展世界峰会和北京第四届世界妇女大会进一步强调了可持续生计对于减贫政策和发展计划的重要意义。目前,中国政府提出的科学发展观,倡导以人为本,全面、和谐、和可持续发展。强调城市与农村的协调发展、人与自然协调发展、国内发展与对外开放协调发展战略。

④海绵体指的是“海绵城市”建设过程中,绿

地、水系等基础设施能像海绵一样对雨水具有吸纳、蓄渗和缓释作用,能有效控制雨水径流,实现自然积存、渗透和净化,对降雨能就地消纳和利用,实现“小雨不积水,大雨不内涝”的生态基础设施。

参考文献(References)

- [1] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 建设科技, 2015 (01): 11-18 [QIU Baoxing. Connotations, ways and prospect of sponge city(LID) [J]. Construction Science and Technology, 2015 (01): 11-18]
- [2] US EPA. Federal Water Pollution Control Act Amendments of 1972 [S]. 1972. Public Law 92-500
- [3] 车伍,吕放放,李俊奇,等. 发达国家典型雨洪管理体系及启示[J]. 中国给水排水, 2009 (20): 12-17 [CHE Wu, LV Fangfang, LI Junqi et al. Typical stormwater and flood management systems in developed countries and their inspiration [J]. China Water&Waste Water 2009 (20): 12-17]
- [4] US EPA. Low Impact Development (LID): A Literature Review [R]. United States Environmental Protection Agency, 2000. EPA-841-B-00-005
- [5] CIRIA. Sustainable Urban Drainage System-Best Practice Manual [R]. Report C523. Construction industry research and information association, London, 2001
- [6] LLOYD S D, Wong T H F, Chesterfield C J. Water Sensitive Urban Design—A Stormwater Management Perspective [R]. Industry Report. 2002
- [7] ROON, M R V, GREENAWAY A, DIXON J E, et al. Low Impact Urban Design and Development: scope, founding principles and collaborative learning [R]. Proceedings of the Urban Drainage Modelling and Water Sensitive Urban Design Conference. Melbourne, Australia. 2006
- [8] BURNS M J, FLETCHER T D, WALSH C J, et al. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform [J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 105 (3): 230-240
- [9] HAN K, KIM Y, KIM B, et al. Calibration of stormwater management model using flood extent data [J]. Proceedings of the ICE-Water Management 2014, 167(1): 17-29
- [10] 车伍, 闫攀, 赵杨, 等. 国际现代雨洪管理体系的发展及剖析[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18): 45-51 [CHE Wu, YAN Pan, ZHAO Yang et al. Development and analysis of international updated stormwater management systems [J]. China Water & Wastewater 2014, 30(18): 45-51]
- [11] 张书函, 丁跃元, 陈建刚. 德国的雨水收集利用与调控技术[J]. 北京水利, 2002 (3): 39-41 [ZHANG Shuyuan, DING Yuyuan, CHEN Jiangang. Techniques on rainwaet recollecton, reuse and control in Gemrany [J]. Beijing Water Resources 2002 (3): 39-41]
- [12] 王虹, 丁留谦, 程晓陶, 等. 美国城市雨洪管理水文控制指标体系及其借鉴意义[J]. 水利学报, 2015, 46(11): 1261-1271 [WANG Hong, DING Liuqian, CHENG Xiaotao, et al. Hydrologic control criteria framework in the United States and its referential significance to China [J]. ShuiLiXueBao, 2015, 46(11): 1261-1271]
- [13] 张军红, 徐义萍, 王文鑫, 等. 我国城市雨洪灾害原因及对策研究[J]. 科技创新与应用, 2015 (22): 179-180 [ZHANG Junhong, XU Yiping, WANG Wenxing, et al. China's urban rainwater disaster causes and suggestions [J]. Technology Innovation and Application 2015 (22): 179-180]
- [14] 林小如, 曹韵. 我国城市雨洪管理困境解析与行动应对[J]. 现代城市研究, 2014 (7): 14-18 [LIN Xiaoru, CAO Yun. The Storm and the flood hazard problems and the corresponding approaches in chinese cities [J]. Modern Urban Research 2014 (7): 14-18]
- [15] 孙明, 李响, 易好磊. 小城镇雨洪灾害的应急管理研究综述与对策[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(22): 120-122 [SUN Ming, LI Xiang, YI HaoLei. Emergency management review and countermeasures on small towns rainwater disasters [J]. Journal of Anhui Agri. Sci. 2015, 43(22): 120-122]
- [16] 俞孔坚, 李迪华, 刘海龙. “反规划”途径[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 33-34 [YU Kongjian, LI Dihua, LIU Hailong. “Anti planning” approach [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005: 33-34]
- [17] 俞孔坚, 王思思, 李迪华等. 北京城市扩张的生态底线——基本生态系统服务及其安全格局[J]. 城市规划, 2010 (2): 19-24 [YU Kongjian, WANG Sisi, LI Dihua, et al. Ecological baseline for beijing's urban sprawl: basic ecosystem service and their security patterns [J]. City Planning Review 2010 (2): 19-24]
- [18] 王贺, 刘高峰, 王慧敏. 基于云模型的城市极端雨洪灾害风险评价[J]. 水利经济, 2014, 32(2): 15-18 [WANG He, LIU Gaofeng, WANG Huiming. Warning of urban extreme rainstorm flood disasters based on cloud model [J]. Journal of Economics of Water Resources 2014, 32(2): 15-18]
- [19] 赵晶. 城市化背景下的可持续雨洪管理[J]. 国际城市规划, 2012 (2): 114-119 [ZHAO Jing. Sustainable stormwater management in the background of urbanization [J]. Urban Planning International 2012 (2): 114-119]
- [20] 王建龙, 车伍, 易红星. 低影响开发与绿色建筑的雨水控制利用[J]. 工业建筑, 2009, 39(3): 123-125, 102 [WANG Jianlong, CHE Wu, YI Hongxing. Stormwater management in green building on the base of low impact development [J]. Industrial Construction 2009, 39(3): 123-125, 102]
- [21] 车伍, 张炜, 李俊奇等. 城市雨水径流污染的初期弃流控制[J]. 中国给水排水, 2007 (6): 1-5 [CHE Wu, ZHANG Wei, LI Junqi et al. Initial split-flow control of urban rainwater runoff pollution [J]. China Water&Waste Water 2007 (6): 1-5]
- [22] 蔡凯臻. 缓解雨洪内涝灾害的城市设计策略——基于街区层面的暴雨径流过程调控[J]. 建筑学报, 2015 (10): 73-78 [CAI Kaizhen. Strategizing urban design to mitigate the disastrous damage of urban stormwater and waterlog based on the adjustment of stormwater runoff on the block level [J]. Architectural Journal, 2015 (10): 73-78]
- [23] 王琦, 邢忠, 代伟国. 山地城市空间的三维集约生态界定[J].

- 城市规划 2006 (08) : 52 – 55. [WANG Qi; XING Zhong; DAI Weiguo. Three-dimensional intensive approach to the spatial design of mountainous cities [J]. City Planning Review 2006 (08) : 52 – 55]
- [24] 程根伟, 余新晓, 赵玉涛, 等. 山地森林生态系统水文循环与数学模拟 [M]. 科学出版社 2004: 231 – 232 [CHEN Genwei, YU Xinxiao, ZHAO Yutao et al. The hydrological cycle and its mathematical models of forest ecosystem in mountains [M]. Science Press 2004: 231 – 232]
- [25] 蓝永超, 丁宏伟, 胡兴林, 等. 黑河山区气温与降水的季节变化特征及其区域差异 [J]. 山地学报 2015 (3) : 294 – 302 [LAN Yongchao, DING Hongwei, HU Xinglin et al. The seasonal change characteristics of temperature precipitation in the mountain areas of the heihe river and their regional differences [J]. Mountain Research 2015 (3) : 294 – 302]
- [26] RICHARD T T. FORMAN, Michel Godron. Landscape ecology (1st Edition) [M]. Wiley, 1986.
- [27] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度 [J]. 生态学报 2005 25 (9) : 2406 – 2412 [ZHU Qiang, YU Kong-jian, LI Dihua. The width of ecological corridor in landscape planning [J]. Acta Ecologica Sinica 2005 25 (9) : 2406 – 2412]
- [28] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建 (试行) [R]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部 2014 [Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Sponge City Construction Technology Guide——Low Impact Development Rainwater System Construction (Trial) [R]. Beijing: Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China 2014: 46 – 50]
- [29] 范世香, 韩绍文. 地面坡度对地表径流影响的实验研究 [J]. 水土保持通报 1991 11 (4) : 6 – 10 [FAN Shixiang, HAN Shaowen. Testing research on the effects of land surface slopes upon surface runoff [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation 1991 11 (4) : 6 – 10]
- [30] 中华人民共和国住房和城乡建设部标准定额研究所. 室外排水设计规范 (GB50014 – 2006) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006: 21 – 23 [Standard Quota Research Institute of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of outdoor wastewater engineering (GB50014-2006) [S]. Beijing: China Planning Press 2006: 21 – 23]

On the Space Planning of Urban Flood Control on a Multi-Scale Basis in the Southwest Mountain Cities of China —Based on Hydrological Perspective

LI Yunyan^{1 2} ZHAO Wanmin^{1 2}

(1. Faculty of architecture and urban planning, Chongqing university, Chongqing 400045; 2. Key Laboratory of New Technique for Construction of Cities in Mountain Area of the Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The particularity of geo-environment in the mountain cities of Southwest China, which are suffering frequent flooding and serious damages, makes great difference to the pattern of engineered prevention and control of urban flood from those of non-mountain cities. By examining hydrological observations for recent 10 years collected in a typical mountain city, Chongqing, this research tried to make a causal connection for the formation and development of urban flood to the features of urban hydrological processes by integrated analysis. In consideration of the properties of mountain cities, such as diversity of mountain watersheds, grouping of urban spaces and multi-dimensionality of local communities, etc., it commenced with the theory of water circulation to conduct hydrological process modeling on multi-scale basis and accomplish a construction of framework of integrated control of flooding in mountain city: (1) Construction of ecological security system on a watershed scale; (2) Infrastructure layout and space optimization of flood control on a urban scale; (3) Design of facilities with against flooding damages on a community scale. The investigation on the governing mechanism of urban flood and resultant scientific merits would provide reference to rainfall flood control in mountain cities under the circumstance of global warming trend.

Key words: Southwest mountainous cities; rainstorm disaster; prevention and control; multi-scale; space planning.