

文章编号: 1108 - 2786 - ( 2017 ) 1 - 68 - 10

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000197

# 生态水文学视角下的山地海绵城市规划方法研究 ——以重庆都市区为例

赵万民\* 朱 猛 束方勇

( 重庆大学 建筑城规学院 重庆 400045)

**摘 要:** 海绵城市是我国新型城镇化和生态文明建设的重要内容,在城市内涝灾害频发的背景下,具有缓解雨洪灾害和水资源短缺问题、构建城市水文安全体系的重要意义。山地作为海绵城市建设的主体区域之一,其海绵城市建设受到自然地形、气象水文和城市建设等多方面因素的制约。本文以重庆都市区为研究对象,在系统梳理山地水文过程特征的基础上,将生态水文体系与海绵城市规划两者间的理论性和技术性耦合,提出重庆都市区海绵城市规划建设的一般途径,从建设目标、生态空间、雨水单元、场地规划等角度制定规划管控措施,落实海绵城市建设要点,实现山地海绵城市规划的理论创新和实践指导价值。

**关键词:** 海绵城市; 规划方法; 山地水文; 重庆都市区

**中图分类号:** TU984. 11

**文献标志码:** A

海绵城市是我国新型城镇化和生态文明建设的重要组成部分,可以有效缓解城市内涝灾害,控制水体污染,实现雨水资源的循环利用,从而推动城市发展方式的生态化转型。作为海绵城市建设的主体区域之一,西南山地地区自然地质条件复杂,气象水文特征明显,城市建设问题突出<sup>[1]</sup>,海绵城市建设对构建山地城市水安全格局具有显著的现实意义。

当前海绵城市理论与实践研究主要集中在欧美等发达国家,国内尚未形成完整的理论体系,但是在部分城市如嘉兴、镇江等已经展开了许多富有成效的低影响实践。

国际上与“海绵城市”相关的雨洪管理理念主要有:美国的最佳管理措施(BMPs)、低影响开发(LID)、英国的可持续排水系统(SUDS)以及澳大利亚的水敏性城市设计(WSUD)等<sup>[2]</sup>(表1)。各国在雨洪灾害管理、雨水污染防治、雨水回收利用等方面都编制有相对完善的技术规范,并展开了大量案例

实践。国内海绵城市理论研究主要从城市规划学、水文学、景观学等角度出发,探讨海绵城市的基本内涵<sup>[3]</sup>和规划方法<sup>[4-5]</sup>,以及下沉式绿地、透水路面、市政道路等雨水设施建设技术<sup>[6-8]</sup>。实践层面,嘉兴、武汉、北京、深圳等城市在低影响设施建设、雨洪管理技术标准等方面已经取得了一定成果<sup>[9-11]</sup>。

但是与国外先进的雨洪管理技术体系相比,我国海绵城市建设仍很不完善:首先,规划建设侧重于具体工程技术措施,缺乏对城市整体水文体系的深度思考。其次,建设活动停留在项目地块层面,对海绵城市的专业规划部署和实施管理缺乏系统性的研究。最后,实践地域集中在平原城市,山地城市的雨洪管理规划尚处于起步阶段,对山地海绵城市的特殊性和复杂性缺少应有的认识<sup>[12]</sup>。因此,本文从水文过程的角度,探索山地海绵城市的一般规划方法,具有理论上的创新价值。

收稿日期(Received): 2016 - 04 - 15; 改回日期(Accepted): 2016 - 09 - 30。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金面上项目(51278502); 国家社会科学基金西部项目(16XGL001) [National Natural Science Foundation(51278502); Western Projects of the National Social Science Foundation of China(16XGL001)]

作者简介(Biography): 赵万民(1955 - ) 男(汉) 四川阆中人 博士 教授 主要从事山地城市规划与设计研究 [Zhao Wanmin(1955 - ), male, born in Sichuan, Ph. D., professor, research on mountain city planning and design] E-mail: zwm65126371@sina.com

表 1 国外雨洪管理技术体系

Tab. 1 Foreign stormwater management technology systems

| 国家   | 雨洪管理技术  |
|------|---|
| 美国   | 低影响开发( Low Impact Development ,LID)                         |
|      | 雨洪最优管理系统( Best Management Practices ,BMPs)                  |
| 英国   | 可持续排水系统( Sustainable Urban Drainage System ,SUDS)           |
| 澳大利亚 | 水敏感性城市设计( Water Sensitive Urban Design ,WSUD)               |
| 德国   | 雨水利用( Storm Water Harvesting ,SWH)                          |
|      | 雨水管理( Storm Water Management ,SWM)                          |
| 新西兰  | 低影响城市设计与开发( Low impact urban design and development ,LIUDD) |

重庆市作为国家中心城市、成渝城镇群双极核、典型的生态山水城市 ,在西部地区的经济发展和生态文明建设布局中占有重要的战略地位。“巴山夜雨涨秋池”、“片叶浮沉巴子国”、山城雾都一直是重庆最为典型的水生态、水文化景观。但是在近年的城市发展过程中 ,大量生态柔性地面被建设用地取代 ,导致城市内涝灾害频繁发生 ,人员财产损失严重。2015 年 1 月两江新区悦来新城入围全国第一批海绵城市建设试点 ,为重庆市生态水文体系优化提供了重要的契机。

本文以山地生态水文过程的视角 ,结合山地人居环境科学、城乡规划学、城市水文学等科学理论 ,在系统梳理山地水文过程特征的基础上 ,将生态水文体系优化与海绵城市规划两者间的理论性与技术性耦合 ,提出重庆市都市区海绵城市规划建设的一般途径<sup>①</sup>。论文提出以流域治理统筹海绵城市建设 ,从建设目标、生态空间、雨水单元、场地规划等角

度制定规划管控措施 ,优化重庆市海绵城市规划方法 ,实现理论创新和实践指导价值( 图 1) 。

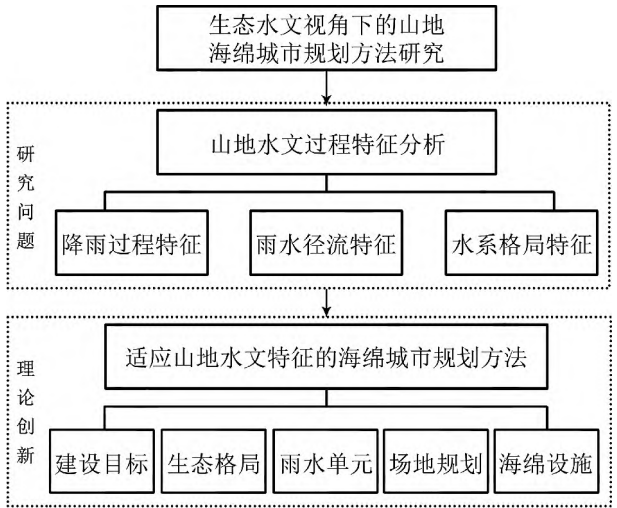


图 1 研究技术路线

Fig. 1 Research roadmap

1 山地水文过程特征及现实问题分析

自然水文循环过程包括雨水从产生到传输、汇集的各个阶段 ,从水蒸气在大气层中遇冷凝结成雨开始 ,雨水以各种形态在不同的空间中完成渗透、径流、滞蓄等过程<sup>[13]</sup>。在山地城市 ,由于地形条件的丰富性和地域气候的独特性 ,这种传输过程表现得更为明显 ,即降雨过程更加集中、雨水产汇流过程改变、地表水文格局也与地形特征高度吻合 ,呈现出明显的树枝状格局( 图 2) 。

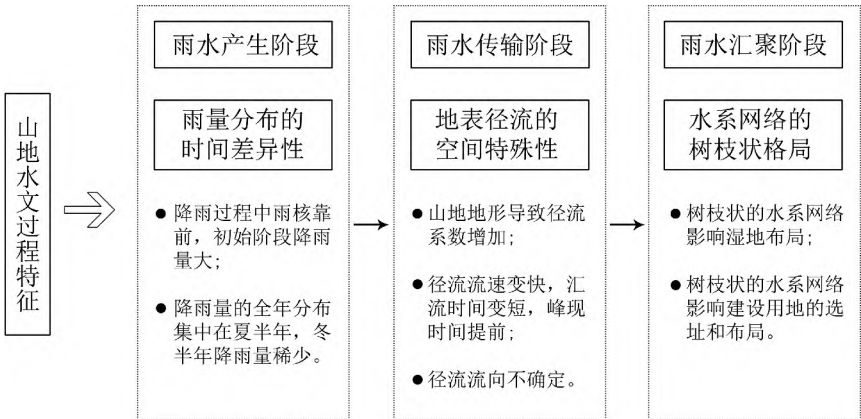


图 2 山地水文过程特征

Fig. 2 Characterization of hydrological processes in mountainous regions

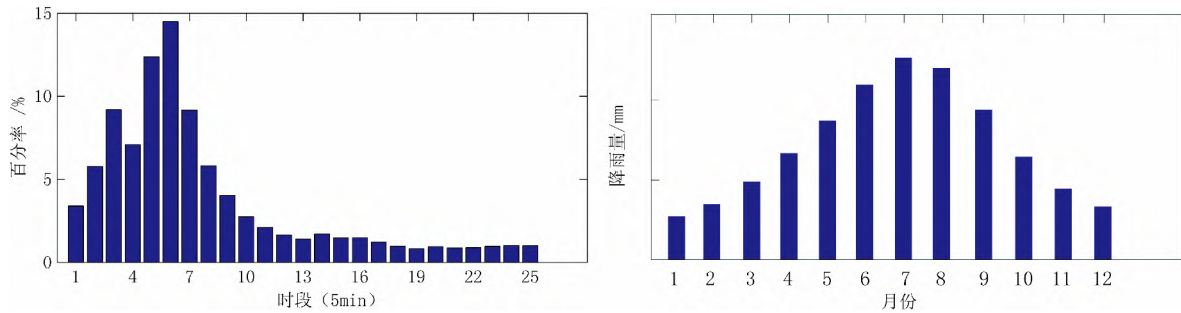


图3 山地降雨过程的时间分布差异和全年差异

Fig. 3 Distribution of rainfall processes in mountainous regions

### 1.1 雨量分布的时间差异性

降雨是影响水文过程的关键因素之一,起到补充河流水量、增强土壤下渗能力、增加空气湿度等作用。一般而言,山地降雨过程的时间分布极不均匀,大多数集中在雨头、雨核阶段,降雨量可以占到整场降雨的80%–90%<sup>[14]</sup>(图3)。雨峰提前,短时间内形成较大强度的汇流量,对城市的防洪排涝设施造成了巨大的压力。

西南山地城市多位于亚热带湿润气候区,降水丰沛,重庆市多年平均降雨量为1100 mm左右,但是全年雨量分布极不均衡。夏半年受湿热的海洋气团影响,空气暖湿,降水较多,4–9月降雨量占全年总降雨量的75%左右。冬半年(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25%左右<sup>[15]</sup>(图3)。这种冬夏差异极大的降雨条件造成雨水设施在两季不能充分发挥调蓄能力,应对夏季强降雨等极端天气时调蓄容量不足,而在冬季又会因为无雨导致设施不能物尽其用,造成浪费。

### 1.2 地表径流的空间特殊性

在一场降雨过程中,雨水径流产生于植物截留和土壤下渗两个阶段之后,当降雨区土壤吸收雨水达到饱和后,便开始进入产流阶段。径流经过一段时间的四散流动,逐渐受坡度作用定向汇聚,进入汇水口后,汇流阶段开始。

山地雨水地表径流在地形影响下所产生的特殊性主要表现在径流系数、流速与汇流时间、流向三个方面。在产流阶段,坡度较大的地表使雨水落到地面后受重力在坡面方向上的分力影响,向低处流动,不能就地下渗,更容易形成径流,地块径流系数也相应增加(图4)。在汇流阶段,坡地导致雨水流速加快,汇流时间缩短,洪峰到来时间相应提前,极易诱发内涝灾害。在雨水流向上,受地形影响,径流方向

不定,不总是沿着既定通道排入自然水体,地势低洼处更易遭受水淹,部分雨水径流会沿着岩层中的缝隙流动,难以控制,需要采取特殊的工程措施。

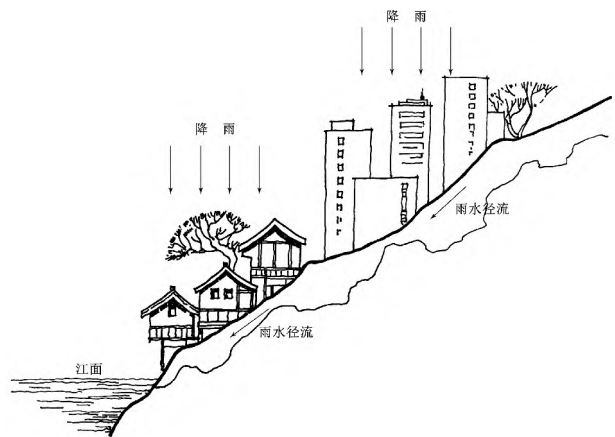


图4 山地城市雨水径流示意图

Fig. 4 Surface runoff in mountainous city

### 1.3 水系网络的树枝状格局

雨水经过降雨生成和径流传输,最终汇聚于水系网络。水系的地景格局受地形的影响极为深刻,例如平原地区地形平坦,水系发育完整,多呈现网状形态;而在山地地区,雨水对山体的冲刷作用形成冲沟,并多源汇聚形成次级河流,次级河流相互交织形成大型干流,呈现出干流、支流、冲沟等级分明的树枝状形态。

这种树枝状的水文格局对城市空间的影响十分广泛。一般而言,建设用地和城市道路布局应符合水系分布特征,以避免大规模的挖填方工程,保留天然水系网络的排水作用。在河流汇集处,如果汇入河流宽度狭窄,而汇流量较大,则容易发生内涝灾害。而在长期水流泛滥的过程中,汇集处可以形成湿地地貌,湿地的分布等级与交汇河流的等级有关,

表 2 重庆市都市区海绵城市规划方法的主要内容  
Tab. 2 Guidelines of Chongqing metropolitan sponge city planning proposal

|                                 | 规划要点 | 海绵城市规划方法                              |
|---------------------------------|------|---------------------------------------|
| 适应山地水文特征<br>的重庆市都市区海<br>绵城市规划方法 | 建设目标 | 制定都市区海绵城市目标与指标体系,提出年径流总量控制率应设定为 60%   |
|                                 | 生态格局 | 划定都市区生态空间格局,形成“四山纵贯、两江合抱、组团布局”的城市山水格局 |
|                                 | 雨水单元 | 划分都市区河流流域并作为海绵城市建设的基本单元               |
|                                 | 场地规划 | 构建建筑、道路、绿地水系和雨水管网相结合的低影响体系            |
|                                 | 设施建设 | 提出山地型低影响设施建设的相关要点                     |

交汇河流的等级越高,湿地的规模就越大<sup>[16]</sup>,雨水蓄存能力也越强。城市建设应当避开这一类洪泛区域,保留原始地貌,而选择地势较高、排水通畅的上游地区。

2 重庆市都市区海绵城市规划方法优化

重庆市都市区位于渝西都市发展地带,包括五大功能区中的都市功能核心区及拓展区,城市功能发育完善,是重庆市域及三峡库区重要的中心城市。在长期的发展过程中,建设工程对地形反复扰动,导致地表硬化、河道填埋,城市水文效应显著。根据重庆市气象局资料,重庆的降雨特征较直辖前已经发生了较大的变化,小雨、中雨日数呈减少趋势,大雨、暴雨日数呈增加趋势<sup>[17]</sup>。地表硬化导致雨水产汇流过程畸变,径流系数增加,在山地地形影响下进一步增强了径流流速和冲刷强度,峰现时间提前,造成城市内涝灾害时有发生。

本文以山地水文特征为基础,以都市区水文效应的实际问题为导向,将城市规划中的管控要点与山地水文特征相耦合,从建设目标、生态安全格局、雨水单元、建筑场地规划、低影响设施 5 个方面融入山地水文过程的特殊要求,制定海绵城市规划措施(表 2)。

2.1 海绵城市建设目标体系

结合雨水管理的水量 and 水质控制双重要求,论文制定了“2+4”的海绵城市建设目标体系,分为总体规划层面的年径流总量控制率、年悬浮物总量去除率和详细规划层面的控制指标体系(图 5)。

年径流总量控制率反映了场地表面对雨水径流的截留能力,控制率越高,雨水形成的径流越少。结合各类型用地的径流系数经验值和都市区 2020 年土地利用结构<sup>[18]</sup>,测算得其年径流总量控制率约为 54%<sup>②</sup>,低于《海绵城市建设技术指南》规定的

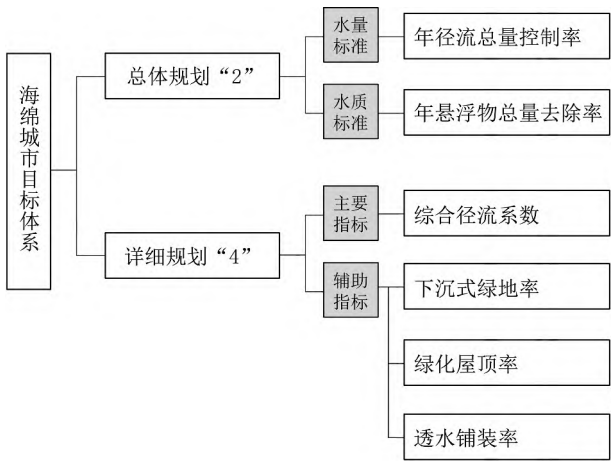


图 5 海绵城市建设目标体系  
Fig. 5 Sponge city construction objective system

75%–85% 范围。但是考虑到山地城市雨水产汇流过程的特殊性,即山地地形对雨水径流的控制能力较弱,以及建成区海绵化改造的经济成本,研究将重庆市都市区年径流总量控制率目标设定为 60%,并根据重庆市生态环境质量评价结果<sup>[19]③</sup>,将海绵城市建设总体目标分解到各行政区(表 3)。

径流污染控制是海绵城市建设的目标之一。城市径流污染物中,悬浮物往往与其他污染物指标(如化学需氧量、总氮、总磷)具有一定的相关性,因此,一般可采用悬浮物作为径流污染物控制指标。重庆市都市区年悬浮物总量去除率目标取 50%,根据片区现状条件一般可以在 40%–60% 之间浮动(表 3)。

在控制性详细规划层面,论文基于“维持开发前后水文特征的基本不变”的总体目标,构建了控制指标体系,即以综合径流系数为主要指标,以下沉式绿地率、透水铺装率、绿化屋顶率为辅助指标。综合径流系数可通过各种地表类型径流系数的经验值,按照各类地表面积比重加权计算而得。辅助指标下沉式绿地率、透水铺装率、绿化屋顶率也是控制

海绵设施建设效果的重要指标。研究根据重庆山地特色,制定了海绵城市控制指标表(表4),对各类型用地的径流系数、下沉式绿地率、绿化屋顶率和透水铺装率作出了刚性规定,在规划设计中可以参照执行。

2.2 区域生态安全格局保护

区域水环境的保护与生态安全格局关系密切,保护对水文过程具有重要意义的河流、山体和绿地,避免城市扩张对生态空间的侵蚀,可以有效维持区域自然水文循环的完整性,涵养水源,控制地表径流,调节城市气候,改善热岛效应。因此,保护区域生态安全格局是海绵城市建设的重要途径之一。

重庆市都市区位于川东平行岭谷地带,缙云山、中梁山、铜锣山、明月山由北至南平行穿越城区,长江、嘉陵江两江蜿蜒交汇于渝中半岛,形成了独特的生态格局风貌。结合GIS信息图谱技术,识别都市区生态安全格局的主体构成,包括以缙云山、中梁

山、铜锣山、明月山四山为主体,桃子荡山、东温泉山、樵坪山等次要山体为补充的山系网络;以长江、嘉陵江为主体,以璧北河、梁滩河、后河等重要支流为补充的树枝状自然水系网络;以郊野公园、风景名胜区、自然保护区、生态农业区、组团隔离带和城市绿地等各类生态绿地为主要内容的绿地网络,形成山体、水系、绿地相互交织的生态安全格局。

都市区内河网纵横,湖泊星罗棋布,呈现典型的山地格局特征(图6)。依托三峡水库175 m蓄水位的建设,长江和嘉陵江江面拓宽、水量十分丰富,水位涨落差异变小,具有更加明显的防洪和滞洪功能。次级支流是水系统的主要组成部分,空间布局上深入城市建设用地,接纳雨水作用明显,是城市泄洪滞蓄网络的主体构成。水库湿地多位于河流交汇处,常年雨水泛滥形成水面,通常作为雨水出口,应当保留原始地貌和植被,建设为湿地公园,主要承担水量调蓄和水质净化的生态服务功能。

表3 重庆市都市区各行政区海绵城市建设目标

Tab. 3 Sponge city construction goal in Chongqing metropolitan area

| 行政区       | 渝中   | 沙坪坝   | 江北    | 渝北    | 北碚    | 九龙坡   | 南岸    | 大渡口   | 巴南    |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 生态环境质量评价  | 39.3 | 54.91 | 49.73 | 58.53 | 59.83 | 36.79 | 53.51 | 45.84 | 56.85 |
| 年径流总量控制率  | 43%  | 60%   | 54%   | 64%   | 65%   | 40%   | 58%   | 50%   | 62%   |
| 年悬浮物总量去除率 | 36%  | 50%   | 45%   | 53%   | 54%   | 33%   | 48%   | 41%   | 51%   |

表4 海绵城市控制指标表

Tab. 4 Sponge city control indices

| 用地类型          |    | 径流系数 | 建筑密度 | 绿化屋顶率 | 绿地率 | 透水铺装率 |
|---------------|----|------|------|-------|-----|-------|
| 居住用地          | 新建 | 0.4  | 40%  | 60%   | 30% | 75%   |
|               | 改建 | 0.5  | 50%  | 40%   | 20% | 50%   |
| 公共管理与公共服务设施用地 | 新建 | 0.4  | 40%  | 30%   | 25% | 75%   |
|               | 改建 | 0.5  | 50%  | 20%   | 15% | 50%   |
| 商业服务业用地       | 新建 | 0.4  | 55%  | 60%   | 10% | 75%   |
|               | 改建 | 0.45 | 65%  | 40%   | 10% | 50%   |
| 工业用地          | 新建 | 0.55 | 40%  | 30%   | 25% | 75%   |
|               | 改建 | 0.6  | 55%  | 20%   | 15% | 50%   |
| 物流仓储用地        | 新建 | 0.55 | 50%  | 30%   | 20% | 75%   |
|               | 改建 | 0.6  | 55%  | 20%   | 15% | 50%   |
| 道路与交通设施用地     | 新建 | 0.5  | —    | —     | 20% | 75%   |
|               | 改建 | 0.55 | —    | —     | 15% | 50%   |
| 公用设施用地        | 新建 | 0.55 | 40%  | 30%   | 25% | 75%   |
|               | 改建 | 0.6  | 55%  | 20%   | 15% | 50%   |
| 绿地与广场用地       |    | 0.15 | 3%   | 80%   | 80% | 90%   |



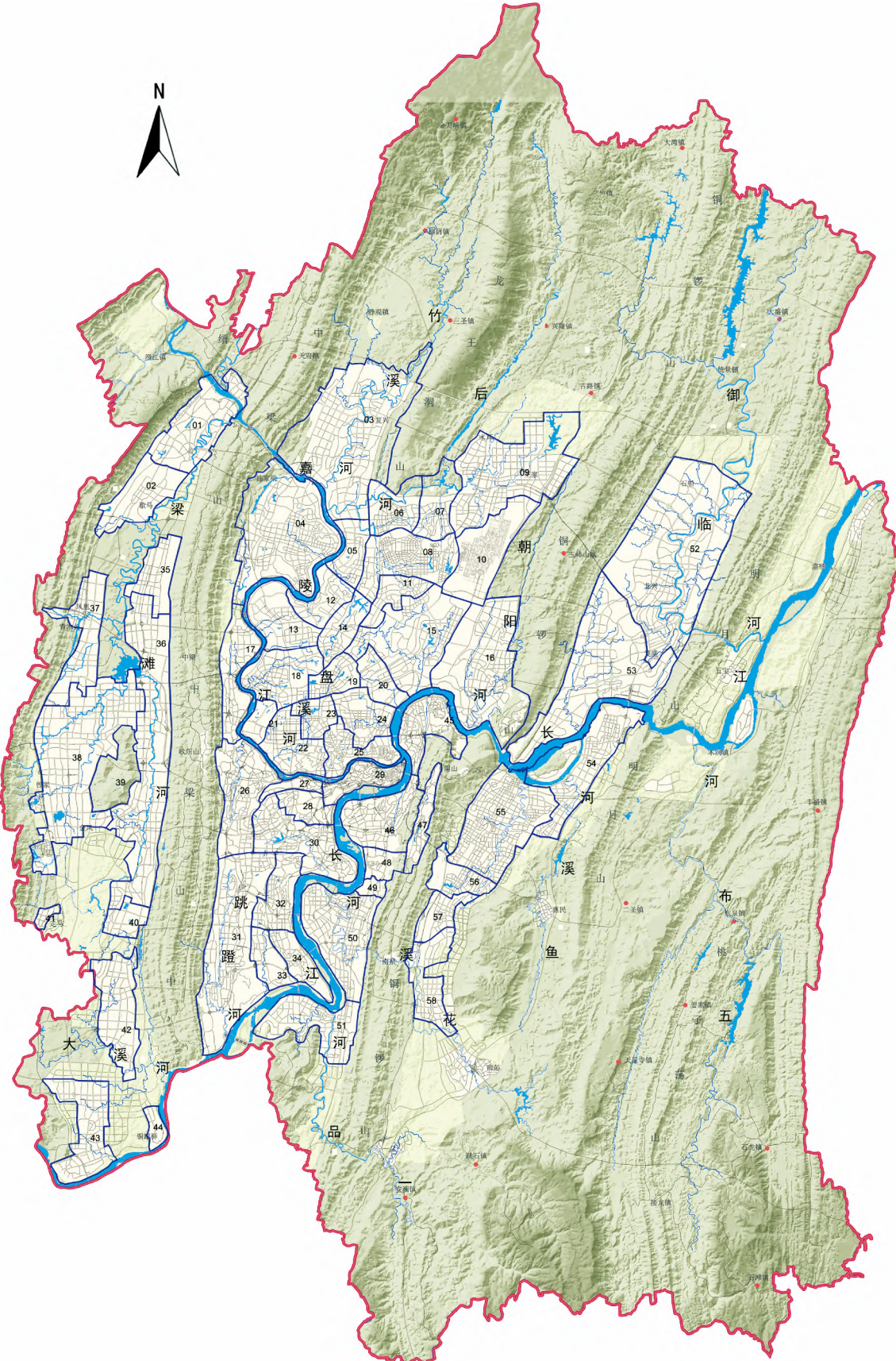


图 6 重庆都市区水系分布示意图

Fig. 6 Drainage distribution

水系与湿地网络体系保护应当注重水系结构的完整性、河流岸线的生态性、滨水绿地的协调性三个方面<sup>[20]</sup>。首先,依据水系保护名录,划定水系保护范围和周边协调范围,优化城市河道(自然排放通道)、湿地(自然净化区域)、湖泊(调蓄空间)的布局与衔接,构建完整有效的自然雨水调蓄系统。其次,保护并修复受损河道,恢复生态型、海绵型岸线,增强河流的持水能力。最后,优化滨水区绿地布局,构建滨水缓冲带,作为城市雨水进入河道前的调蓄设施,合理衔接建设区低影响系统与河流滞蓄系统,可以减轻雨水对河道的冲击作用,削减雨水洪峰流量。

### 2.3 雨水管理单元划分

流域是一个将径流汇到一个共同点的、完整的、相对独立和封闭的自然集雨面或集流区域,既是降雨径流汇集的最小单元,具有独立的生态系统功能;又可以作为一个资源管理和规划的综合单元,具备经济社会属性<sup>[16]</sup>。由于山地地形的阻隔,水文地景格局和雨水循环过程可以在某一条河流的流域内保持相对完整和独立性,将流域作为海绵城市管理的单元,符合地域水文的基本特点。

研究根据都市区水系的汇水方式、地形条件以及城市建设用地的布局,将其划分为58个流域单元(图6)。海绵城市规划应以流域为中心,展开土地利用规划、道路交通建设、水系网络规划和排水系统规划,制定符合城市水文特征的规划措施。首先,保护和修复流域内的主要河道、冲沟、湿地,梳理水系网络,形成泄洪通道与蓄滞洪区相结合的雨洪排放体系。其次,城市建设用地布局符合流域的山水关系,重要的行洪通道和滨水地区应当优先布局为非建设用地,避免城市建设占据重要的生态环境节点。再次,地表水文格局应当成为道路网形态规划的依据,城市路网规划形成平行或垂直于河道的道路形态,有利于流域内雨水向河道的汇集。最后,排水规划应充分利用流域内原有的水系网络和排水工程,形成自然泄洪通道,同时进行雨水污染治理和回收利用,将低影响设施系统、雨水管渠系统和超标雨水排放系统结合起来。

### 2.4 建筑场地的“海绵化”规划方法

《海绵城市建设技术指南》提出海绵城市的建设途径包括生态安全格局保护、水系网络修复和低影响设计三个主要方面<sup>[20]</sup>。在保护城市总体生态格局的基础上,在城市建筑、道路、绿地水系和市政雨水管网等多个系统中落实海绵城市的建设要求,

体现“渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针,是重庆山地海绵城市建设的主体内容。

城市建筑的海绵化规划注重雨水的源头接收,以小流域或集水区为基本单元,控制雨水的外排量,利用屋顶绿化、雨水花园、透水铺装等设施就地消纳雨水,降低下游地块的蓄水压力。道路网既是产生雨水污染的主要场所,也是超标雨水排放的基础性通道,低影响建设以传输功能为主,通过植草沟、生物滞留带接收并净化路面雨水,将超标雨水输送到区域雨水处理枢纽。绿地和水系是海绵城市中的雨水处理枢纽设施,具有区域服务能力,即吸纳周边地块的超标雨水、改善区域小气候等多种复合型功能,应当与周边地块有良好的竖向衔接关系,并保持完整的自然生态景观。市政雨水管网属于灰色基础设施,也是海绵城市的重要组成部分,六字方针中的“排”即指充分发挥雨水管网的调节能力,通过适度超前的建设和良好的运营管理机制,形成体系完整、管网与处理枢纽相结合的雨水工程网络,与绿地、水网等绿色基础设施有机结合,降低城市雨水内涝的风险。

### 2.5 山地低影响设施设计

山地城市的低影响设施建设应当充分考虑山地地形和水文特色,都市区是典型的山地地貌,水文过程与地形契合度较高,在选择低影响设施技术时应充分评估设施对山地地形的适应性,选用在一定坡度下仍能保持良好的雨水调蓄、净化功能的设施(表5)。

山地城市高密度的建设特征使得在场地中无法建设大量的生物滞留设施,因此应当着重建设绿化屋顶,充分利用建筑屋面将雨水截留在初始阶段。在中、小强度的降雨中,屋顶绿化的截留雨水能力较为可观,并通过落水管引入地下蓄水罐或其他雨水调蓄设施,实现雨水资源的循环利用。

在用地条件宽裕的地区,从雨水调蓄容量、径流污染控制角度,应优先选择雨水花园、下沉式绿地等生物滞留设施来调控雨水。雨水花园可根据坡地地形设计成梯级跌落式,使雨水分层流动,有利于水质净化。

在道路、广场等大面积硬化场地中,利用可渗透铺装减少雨水径流,将雨水吸收并渗透到下层土壤和地下水中。但在建筑基础周边铺设可渗透铺装时应做好防渗处理,避免过量雨水渗透引起建筑基础受损和不均匀沉降。



表 5 山地低影响设施选型(部分图片来源于网络)  
Tab. 5 Various LID facilities in mountainous areas

| 名称    | 示例  | 作用   | 适用场所                              |
|-------|---|--|-----------------------------------|
| 屋顶绿化  |    | 接收并过滤初始阶段降雨,改善建筑环境,利用落水管将超标雨水排放到地表绿地中        | 位于低影响设施网络的起始处,一般应用于住宅建筑和小型商业建筑    |
| 垂直绿化  |    | 截留初始阶段降雨,增强坡面固土作用,防止水土流失,并形成生态化风貌            | 位于低影响设施网络的起始处,用于墙面、立柱或挖方形成的高切坡    |
| 雨水花园  |    | 蓄存、渗透一定汇水范围内的降雨,植被种类较为丰富                     | 依据规模大小处于低影响设施网络的中间位置或终端,多用于街头花园   |
| 下沉式绿地 |  | 调节集蓄一定范围内的降雨,并与超标雨水排放系统衔接                    | 位于小型低影响设施系统的终端,在绿地、居住区、工商业区中有广泛应用 |
| 可渗透铺装 |  | 渗透初始阶段的降雨,与土壤、地下水相连,可将雨水渗透到地下,改善大面积硬化场地的蓄水能力 | 用于人行道、广场以及其他硬化铺地,适用范围较广           |
| 植草沟   |  | 带型低影响设施,将雨水从接收设施传输到终端调蓄设施,同时具有渗透、调蓄的作用       | 属于低影响设施网络中的连接设施,多位于绿地、道路等场地       |
| 生物滞留带 |  | 带型低影响设施,与植草沟相比,独立的蓄水调蓄性能更加完善,植物种类也更加丰富       | 一般应用于道路绿化带中,在地形较陡的地区,还可设计为梯级跌落的形式 |



此外,山地地形坡度较大,雨水汇流速度快,流向四散不定,应当采用植草沟、生物滞留带等设施引导雨水径流进入调蓄池。在坡度较大的地区,生物滞留带应在径流下游或汇集点采用耐冲刷的铺装材料。

### 3 总 结

重庆市作为国家海绵城市建设的首批试点城市,在建设过程中面临着山地、水文、城市建设等多层次、地域化的特殊问题。本文以生态水文的视角,梳理出山地水文过程在降雨过程的时间分布、雨水径流的空间特性以及水系网络格局方面的特征,并据此提出重庆市都市区海绵城市规划应当重点解决的问题,即建设目标、生态格局、雨水单元、场地规划和海绵设施五个方面。主要创新点包括:

(1) 确定海绵城市建设目标。制定重庆都市区海绵城市目标与指标体系,提出年径流总量控制率应设定为 60%,并构建了海绵城市建设的控制指标体系。

(2) 划定海绵城市空间红线。划定都市区生态空间格局,形成“四山纵贯、两江合抱、组团布局”的城市山水格局;梳理水系与湿地相结合的雨水调蓄网络,并划分都市区河流流域并作为海绵城市建设的基本单元。

(3) 制定海绵城市规划措施。提出建筑场地就地消纳、城市道路净化传输、绿地水系终端调节、雨水管网补充调蓄四者相结合的海绵城市规划方法,并就山地特征梳理低影响设施建设的相关要点。

论文将山地生态水文体系与海绵城市规划进行理论耦合研究,提出了海绵城市规划的一般途径,为山地海绵城市建设提供借鉴和参考。

注释:

① 论文以重庆市都市区为研究对象,范围包括渝中区、大渡口区、江北区、南岸区、沙坪坝区、九龙坡区、北碚区、渝北区、巴南区行政区域,面积约 5 473 km<sup>2</sup>。

② 对重庆市 1994 年、2005 年、2013 年城市建设用地现状的分析表明,在未进行低影响开发时,都市区年径流总量控制率仅为 26.43% (1994 年)、29.60% (2005 年) 和 31.80% (2013 年)。进行低影响开发后,2020 年都市区年径流总量控制率为 54%,低于国家规范的要求。

③ 由于场地径流控制能力与其生态环境质量密切相关,较高的植被覆盖率和管网密度都能增强雨水控制能力,因此利用生态质量评价结果确定年径流总量控制率目标的分配关系具有一定的合理性。

### 参考文献(References)

- [1] 赵万民,李泽新,黄勇,等. 山地人居环境科学七论 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 2-3 [ZHAO Wanmin, LI Zexin, HUANG Yong, et al. Theories of human settlements in mountainous regions [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015: 2-3]
- [2] 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]
- [3] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望 [J]. 建设科技, 2015, 41(3): 11-18 [QIU Baoxing. Connotation, path and expression of eco-sponge city (LID) [J]. Construction Science and Technology, 2015, 41(3): 11-18]
- [4] 彭翀,张晨,顾朝林. 面向“海绵城市”建设的特大城市总体规划编制内容响应 [J]. 南方建筑, 2015, 1(3): 48-53 [PENG Chong, ZHANG Chen, GU Chaolin. Response to megalopolis' comprehensive city planning for a "sponge city" [J]. South Architecture, 2015, 1(3): 48-53]
- [5] 李岩. 城市规划层面落实海绵城市建设的措施研究 [J]. 中国科技信息, 2015, 27(5): 26-27 [LI Yan. Study on the measures to implement the construction of sponge city on the level of urban planning [J]. China Science and Technology Information, 2015, 27(5): 26-27]
- [6] 苏义敬,王思思,车伍,等. 基于“海绵城市”理念的下沉式绿地优化设计 [J]. 南方建筑, 2014, 1(3): 39-43 [SU Yijing, WANG Sisi, CHE Wu, et al. Optimization design of sunken greenbelt based on the concept of "sponge city" [J]. South Architecture, 2014, 1(3): 39-43]
- [7] 车生泉,谢长坤,陈丹,等. 海绵城市理论与技术发展沿革及构建途径 [J]. 中国园林, 2015, 31(6): 11-15 [CHE Shengquan, XIE Changkun, CHEN Dan, et al. Development and constructive approaches for theories and technologies of sponge city system [J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(6): 11-15]
- [8] 王雯. 市政道路设计中应用雨水利用措施探析 [J]. 价值工程, 2015, 34(9): 116-117 [WANG Wen. Application of rainwater utilization measures in the municipal road design [J]. Value Engineering, 2015, 34(9): 116-117]
- [9] 董玉良,王贤萍. 建设海绵城市——低影响开发在嘉兴的研究与应用 [J]. 建设科技, 2015, 14(7): 56-57 [DONG Yuliang, WANG Xianping. Sponge city construction: the research and application of LID in Jiaxing [J]. Construction Science and Technology, 2015, 14(7): 56-57]
- [10] 王淇,张勇. 北京经济技术开发区雨水规划与实践 [J]. 建设科技, 2015, 14(7): 46-48 [WANG Qi, ZHANG Yong. Rainwater planning and practice in Beijing Economic and Technological

- Development Zone [J]. Construction Science and Technology, 2015, 14(7): 46–48]
- [11] 叶晓东. 海绵城市实施途径及规划应对策略研究——以宁波市为例[J]. 上海城市规划, 2016, 1(1) [YE Xiaodong. Study of implementation approach and measures for urban planning of the sponge city: a case study of Ningbo [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016, 1(1) ]
- [12] 束方勇, 李云燕, 张恒坤. 海绵城市: 国际雨洪管理体系与国内建设实践的总结与反思[J]. 建筑与文化, 2016, 1(1): 94–95 [SHU Fanyong, LI Yunyan, ZHANG Hengkun. Sponge city: conclusion and introspection of international stormwater management systems and domestic construction cases [J]. Architecture & Culture, 2016, 1(1): 94–95]
- [13] 王君. 城市水文效应的规划对策研究[D]. 湖南大学, 2012: 5 [WANG Jun. Study on urban plan strategy of urban hydrologic effect [D]. Hunan University, 2012: 5]
- [14] 任伯帜. 城市设计暴雨及雨水径流计算模型研究[D]. 重庆大学, 2004: 31–32 [REN Bozhi. Research on the urban design rainstorm and urban rainfall calculation model [D]. Chongqing University, 2004: 31–32]
- [15] 重庆市规划设计研究院. 重庆都市区美丽山水城市规划[Z]. 2015 [Chongqing Planning & Design Research Institute. Urban planning of beautiful landscape in Chongqing City [Z]. 2015]
- [16] 赵珂, 夏清清. 以小流域为单元的城市水空间体系生态规划方法——以州河小流域内的达州市经开区为例[J]. 中国园林, 2015, 31(1): 41–45 [ZHAO Ke, XIA Qingqing. The method of city water space system planning based on watershed: a case of Dazhou Economic and Technological Development Zone in Zhou watershed [J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(1): 41–45]
- [17] 杨治洪, 靳俊伟, 张科. 海绵城市的重庆探索[N/OL]. (2015–09–20) [2016–03–12]. <http://www.calid.cn/2015/09/302>. [YANG Zhihong, JIN Junwei, ZHANG Ke. Chongqing exploration of sponge city [N/OL]. (2015–09–20) [2016–03–12]. <http://www.calid.cn/2015/09/302>. ]
- [18] 重庆市规划设计研究院. 重庆市城乡总体规划(2007–2020年)[Z]. 2014 [Chongqing Planning & Design Research Institute. Chongqing urban-rural overall planning (2007–2020) [Z]. 2014]
- [19] 重庆市环保局. 重庆市2012年度生态环境质量评价报告[EB/OL]. (2013–05–20) [2016–03–15]. [Http://www.cepb.gov.cn/uploadfiles/201305/20/2013052000000043460870.doc](http://www.cepb.gov.cn/uploadfiles/201305/20/2013052000000043460870.doc). [Chongqing Environment Protection Bureau. Evaluation report on the ecological environment quality of Chongqing in 2012 [EB/OL]. (2013–05–20) [2016–03–15]. <http://www.cepb.gov.cn/uploadfiles/201305/20/2013052000000043460870.doc>. ]
- [20] 住房城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建[EB/OL]. (2014–10–22) [2016–03–15] [http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj\\_0/jsbwjcsjs/201411/t20141102\\_219465.html](http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/201411/t20141102_219465.html). [Ministry of Housing and Urban–Rural Development. Technical guide for construction of sponge city: construction of LID rainwater system [EB/OL]. (2014–10–22) [2016–03–15] [http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj\\_0/jsbwjcsjs/201411/t20141102\\_219465.html](http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/201411/t20141102_219465.html). ]

## Mountainous Sponge City Planning Methods in the View of Eco-hydrology

### ——A Case Study of Chongqing Metropolitan Area

ZHAO Wanmin, ZHU Meng, SHU Fangyong

(Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** Facing a conflict between the frequently occurring disasters of urban water-logging and a rapid development of new urbanization & ecological civilization construction, the urgency and importance of research on Sponge City is concerned, especially for solving the problems caused by rainstorm and urban flood, and rebuilding urban hydrology system. As one of the main regions, the constraints and difficulties in construction of sponge city in mountain areas are characterized by the features including natural topography, climate and hydrology, urban construction, and etc. By selecting Chongqing downtown area as a case study, this paper, based on systematic analysis on mountainous hydrology features, introduced a theoretical and technical coupling of eco-hydrology system and sponge city planning. It also put forward to general ways of Chongqing sponge city planning, including the methods of target, eco-pattern, stormwater management unit, site plan. This was done with the aim of making sponge city construction methods practicable and fulfilling the value of theoretical innovation and practical guidance of mountainous sponge city.

**Key words:** Sponge city; urban planning method; mountainous hydrology; Chongqing downtown area