

KASITE DIQU
HAIMIAN CHENGSHI JIANSHE YUHONG KONGZHI JISHU

喀斯特地区 海绵城市建设雨洪控制技术

赵先进 胡彩虹 杨荣芳 李析男 荐圣淇 罗志远 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

喀斯特地区 海绵城市建设雨洪控制技术

赵先进 胡彩虹 杨荣芳 李析男 荐圣淇 罗志远 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以贵州省贵安新区示范区为研究对象,根据贵安新区示范区的水文地质条件、下垫面条件和研究区水文气象相关资料,对贵安新区示范区的空间数据和城市管网数据进行合理的概化,构建基于SWMM模型的贵安新区示范区城市暴雨洪水模型,对示范区规划采取加入下凹式绿地、透水铺装和绿色屋顶等雨洪措施进行情景研究,模拟分析在实测降雨和设计降雨条件下,示范区规划前和规划后单一及组合雨洪措施等多种情景,从雨洪控制效果的水文效应和经济成本两方面综合评价分析得出贵安新区示范区最优城市雨洪措施布设情景,为喀斯特地区海绵城市建设提供理论和技术支撑。

本书可供市政、环保等行业工程技术人员阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

喀斯特地区海绵城市建设雨洪控制技术 / 赵先进等
编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2021.3
ISBN 978-7-5170-9373-2

I. ①喀… II. ①赵… III. ①城市—暴雨洪水—雨水
资源—水资源管理—研究—贵州 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第044816号

书 名	喀斯特地区海绵城市建设雨洪控制技术 KASITE DIQU HAIMIAN CHENGSHI JIANSHE YUHONG KONGZHI JISHU
作 者	赵先进 胡彩虹 杨荣芳 李析男 荐圣淇 罗志远 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淞永业(天津)印刷有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 11.5印张 225千字
版 次	2021年3月第1版 2021年3月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	80.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《喀斯特地区海绵城市建设雨洪控制技术》

编撰人员名单

赵先进	胡彩虹	杨荣芳	李析男	荐圣淇	罗志远
李 东	申献平	舒永胜	郝志斌	范富东	严 涛
宋全杰	李朝一	周华强	徐媛媛	宋晓波	钟大莉
张京恩	兰光裕	李勇杰	熊 杰	付国栋	鲁 洪
兰绍华	刘成帅	余红敏			


编 撰 单 位

贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司

郑州大学

贵州省喀斯特地区水资源开发利用工程技术研究中心

贵州贵安新区管理委员会规划建设管理局



前言

暴雨来袭，城市“看海”，这些年几乎成了雨季的标配新闻，也成为城市管理的热词。住房和城乡建设部（以下简称“住建部”）2010年对351个城市的内涝情况统计表明，有213个城市发生过积水内涝，占总数的61%；内涝灾害一年超过3次的城市有137个，有57个城市的最大积水时间超过12小时。2013年，南宁、广州、成都、武汉等地先后发生暴雨洪水内涝事件，城市内涝频次呈明显增加趋势。在“2012低碳城市与区域发展科技论坛”中，“海绵城市”概念被首次提出。在2013年12月中央城镇化工作会议上，中央领导人提出“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”的重要理念。2014年住建部专门印发了《城市排水（雨水）防涝综合规划编制大纲》，要求通过采取综合措施来应对暴雨内涝灾害。从2014年起，海绵城市建设成为保护水资源和减轻洪涝灾害损失的重要举措。财政部、住建部和水利部联合启动了全国试点城市工作，2014年住建部编制印发了《海绵城市建设技术指南（试行）》（建城函〔2014〕275号）（以下简称《指南》），2015年水利部颁发了《水利部关于推进海绵城市建设水利工作的指导意见》（水规计〔2015〕321号）。之后，有数百个城市行动起来。30个城市分两批开展了试点建设工作，贵州省贵安新区成为第一批试点城市之一。2016年，《中共中央 国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中也明确提出推进海绵城市建设的要求，充分利用自然山体、河湖湿地、耕地、林地、草地等生态空间建设海绵城市，提升水源

涵养能力，缓解雨洪内涝压力，促进水资源循环利用。在第十二届全国人民代表大会第五次会议上，国务院政府工作报告指出，统筹城市地上地下建设，再开工建设城市地下综合管廊 2000km 以上，启动消除城区重点易涝区段三年行动，推进海绵城市建设，使城市既有“面子”，更有“里子”。2015 年，贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司承担了贵州省科技支撑计划项目“喀斯特地区海绵城市雨洪控制技术研究及示范应用”（黔科合〔2016〕支撑 2903）。贵安新区是贵州省中部快速经济发展地区，选择以贵安新区为研究区域，对喀斯特地区海绵城市建设具有典型意义。

海绵城市，是新一代城市雨洪管理概念，是指城市在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好的“弹性”，也可称之为“水弹性城市”。下雨时吸水、蓄水、渗水、净水，需要时将蓄存的水“释放”并加以利用，且城市建设尽量保护原有的水系统和水环境，最大限度地减少由于城市开发建设行为对自然水文过程和水生态环境造成的破坏，将城市建设成“自然积存、自然渗透、自然净化”的“海绵体”。“海绵城市”概念提出后存在很多争议和异议，海绵城市的核心是水，需要从以水文学为核心的角度进行研究，为海绵城市建设中的“水与气候”“水与环境”“水与生态”等提供技术支撑。本书首先总结了我国城市雨洪内涝情势；其次对贵州省降雨径流变化特征及喀斯特地区的水文情势进行了分析研究，在系统介绍 SWMM 模型原理结构及操作基础上，以贵安新区为研究对象，分析了贵安新区城区建设基础条件以及贵安新区城市管网及斑块建设功能，建立了贵安新区不同时期城市暴雨洪涝模拟模型；最后，基于贵安新区城市建设规划，以贵安新区建设中所采取的海绵措施为基础，以“渗、滞、蓄、净、用、排”为准则，构建了一种海绵城市建设条件下的分布式雨洪计算框架和模型，对不同措施组

合进行了暴雨洪水模拟分析，并建立了反映水文特征、经济效益、社会效益和生态效益的综合评价指标，评价和推荐了贵安新区海绵城市建设的适宜方案，以体现城市建设与自然水环境的和谐发展，增强城市对暴雨内涝灾害的应对能力，保障城市防洪安全。

本书得到了贵州省科技厅、贵州省水利厅及有关专家的指导和帮助，也得到了贵安新区管委会相关领导和专家的支持，他们对项目研究提出了宝贵的指导性意见，在此一并致以衷心的感谢。除本书作者外，还有研究生李东、刘成帅、马炳焱、朱天生、陈游倩以及姚依晨等也参与了研究。在此，对全体参与者的精诚合作表示衷心的感谢。

由于时间有限，加之喀斯特地区的特殊性及城市内涝过程的复杂性，尽管做了大量工作，书中疏漏和不足在所难免，仍有不少问题有待进一步深入研究，恳请读者批评指正。

作者

2020年2月

前言

1 城市雨水管理概述	1
1.1 名词解释	1
1.2 城市雨水管理的概念	2
1.3 雨洪管理措施	3
1.4 海绵城市	8
1.5 研究内容.....	13
2 城市内涝	15
2.1 城市内涝现状.....	15
2.2 城市内涝问题的影响.....	16
2.3 城市内涝的直接原因.....	16
2.4 城市内涝的间接原因.....	19
2.5 城市内涝、排涝典型案例.....	26
2.6 城市内涝治理的主要措施和理念.....	30
2.7 暴雨径流模拟的重要性.....	34
2.8 本章小结.....	35
3 贵州省降雨径流变化特征	37
3.1 区域概况.....	37
3.2 降雨径流变化特征.....	41
3.3 喀斯特地区城市水文特征及对海绵城市建设的建议.....	51
3.4 本章小结.....	52
4 SWMM 模型	54
4.1 模型概述.....	54
4.2 研究进展及应用.....	54
4.3 SWMM 模型发展趋势	59
4.4 模型对比分析.....	62

4.5	SWMM 水文模拟原理	63
4.6	下垫面数据处理	72
4.7	模型界面与操作步骤	74
4.8	本章小结	79
5	贵安新区 SWMM 模型构建	80
5.1	研究区概况	80
5.2	城市防洪排水现状	83
5.3	贵安新区规划前后下垫面条件	84
5.4	降雨数据	88
5.5	城市规划前模型构建	90
5.6	城市规划后模型构建	101
5.7	贵安新区示范区规划前后水文过程对比分析	103
5.8	本章小结	105
6	城市雨洪控制技术措施	106
6.1	低影响开发技术措施体系构建	107
6.2	透水铺装	109
6.3	下凹式绿地	110
6.4	生物滞留设施	112
6.5	绿色屋顶	113
6.6	植草沟	115
6.7	雨水湿地	116
6.8	渗透塘	117
6.9	湿塘	118
6.10	渗管/渠	119
6.11	雨水桶	120
7	贵安新区雨洪控制措施研究	121
7.1	贵安新区海绵城市规划	121
7.2	贵安生态文明创新园	123
7.3	城市雨水管理措施单元选择	128
7.4	低影响开发措施布置及参数设置	128
7.5	低影响开发措施情景设计	132
7.6	低影响开发措施单元水文效应	133
7.7	低影响开发措施组合控制效果	146
7.8	低影响开发措施最优方案	153

7.9 评价指标构建	156
7.10 本章小结.....	160
8 结论与展望	162
8.1 结论	162
8.2 展望	163
8.3 模型特点及局限性	164
8.4 模型推广及应用展望	165
参考文献	166

城市雨水管理概述

1.1 名词解释

(1) 雨水管理：源于英文“stormwater management”，常被直译为“雨洪管理”或“暴雨水管理”，是对城市雨水的控制的利用（吴丹洁等，2016）。发达国家雨水管理较典型的有美国的最佳管理措施（BMP）及低影响开发（LID）体系、澳大利亚的水敏感城市设计（WSUD）、英国的可持续排水系统（SUDS）、新西兰的低影响城市设计和开发（LIUDD）等。但从该领域的发展及中文的语言内涵来看，这显然都不够准确：第一，降水问题不能仅限于“雨洪”和“暴雨水”，还包括雨水利用、径流污染控制和径流总量控制等内容；第二，中文“管理”一词字面意思过于宽泛，且易被狭义理解为非技术性的词语，但“management”在英语语境中是广义的，既包括管理层面的含义，也包括技术层面的内容；第三，“洪”字一般指外源式的来水，而雨水内涝是内源式的。所以，用“雨洪管理”或者“暴雨水管理”都不能准确地表达“stormwater management”的原意，而“雨水管理”能比较全面、清晰地反映其内涵，且包含了雨水回收利用的内容。

(2) 海绵城市：是新一代城市雨洪管理概念，指城市能够像海绵一样，在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好的弹性，也可称之为“水弹性城市”。

(3) 低影响开发（Low Impact Development, LID）：是 20 世纪 90 年代末发展起来的暴雨管理和面源污染处理技术，旨在通过分散的、小规模源头控制来达到对暴雨所产生的径流和污染的控制，使开发地区尽量接近于自然的水文循环（车生泉，2015）。

(4) 水文响应单元：是指流域中下垫面特征相对单一和均匀的区域，是分布式流域水文模拟中最基本的空间单元实体。

(5) 子汇水区：在使用 SWMM 进行模拟时首先需要对模型的计算域进行离散，将整个研究区域按照地表径流汇聚方向划分成若干汇水区域，每一汇水区域即为子汇水区。它的出水口是支流与主流或者支流与支流的汇聚点（赵东泉等，2008）。

(6) 洪峰流量控制率：指在相同降雨条件下，海绵城市建设模式下洪峰流量的减少值与传统开发模式下洪峰流量的比值。

(7) 地表径流系数控制率：指在相同降雨条件下，海绵城市建设模式下地表径流系数的减少值与传统开发模式下地表径流系数的比值。

(8) 洪峰迟滞时间：指在相同降雨条件下，与城市传统开发模式相比，海绵城市建设模式下洪峰出现推迟的时间。

1.2 城市雨水管理的概念

雨水管理是对自然降水的管控过程，它涉及城市雨水资源的科学管理、减轻城区洪涝、控制雨水径流的污染、减缓地下水位的下降及生态环境维护的综合利用等方面，是一项涉及面很广的系统工程。雨水管理是通过城市下垫面的产流、汇流，雨水管线以及沟渠，城市市政排水管线以及城市河流水系等城市雨水排放系统实现对雨水的管控，时间上包括从雨水落地到最终进入受纳水体的全过程。城市雨水管理涵盖雨水的入渗、收集、处理、回收、再利用以及排放等过程，分为水量管理、水速管理、水质管理和径流路径的组织四部分。

(1) 水量管理。水量管理是城市雨水管理的第一环节，根据降雨量的多少，将水量管理分为两类：第一类是在短历时暴雨雨量偏大或骤增的情况下，通过雨水管理技术措施对雨水进行疏导和量化控制，避免城市局部地区产生地表积水而发生内涝，这是水量管理的主要内容；第二类是在某时段降雨量较小时，将地表径流引入生态雨水设施，增加土壤的入渗量，补充绿地灌溉用水，补给地下水，加强水循环。

(2) 水速管理。雨水径流是造成地表及流域范围内土壤受到侵蚀的主要原因。不同降雨强度条件下的地貌与降雨形成的径流侵蚀力存在定量关系，采取不同的径流调控措施对减流蓄水、拦泥阻沙及抗土壤侵蚀过程具有明显的缓和作用。

城市地表径流通过硬质空间时水速过快，雨水通道过于集中，水流迅速汇集，易造成局部城市雨水排水设施的负荷过大。暴雨时，水流迅速流过地表，雨水在地表滞留时间短，即时水量大，入渗面积小，入渗量小，同时由于市政设施中雨水井所处位置最低，雨水主要依靠道路排水，常有裸土伴随过量、过速的地表径流流经硬质场地，滞留于道路上，形成短时的雨水冲刷泥浆路径。

非雨天气时，滞留土成为城市扬尘的主要原因之一。水速管理就是通过改变城市地表形态及用地特性，经过容量预估，结合植被层的滞水作用，增设绿地空间与城市硬质场地的过渡带，通过必要的过渡措施达到控制水速与承接径流的目的。

(3) 水质管理。城市雨水夹杂着城市地表污染物流向排水管网及水系，威胁城市的水系生态环境及水源地安全。城市雨水以地表径流的形式通过城市空间、设计物理沉淀设施对雨水进行初步的水质控制。组织城市绿地与水体及硬质场地的雨水通道，在合适的区域设置具有相应容量的城市水环境净化空间，使之成为城市与外部自然环境的过渡设施，从而促进雨水洁净地回归自然，一方面可以减轻市政排水压力；另一方面可以达到雨水净化的目的。

(4) 径流路径的组织。雨水径流路径的组织是城市水环境规划设计的核心环节，其需要使水量、水速、水质在城市雨水形成径流过程中达到预期管理的目标。径流路径不仅仅是实体的管道路径，同时也以建筑屋面、路面及绿化等用地汇集形成的径流。组织城市雨水径流形成生态通道，将断裂的城市景观斑块在水的作用下串联成为新型的城市景观廊道，使其成为微生物迁徙的通道。

综上所述，针对雨水管理的共性问题，雨水水量、水质管理、防洪及内涝管理和城市开发对城市水文过程的影响需要综合考虑，并进行科学的雨水管理实践。本书在分析贵州省降雨径流特点的基础上，针对贵安新区特点，从雨水水量管理的角度构建了城市洪涝 SWMM 模型，分析评价了不同设计暴雨情景下、不同低影响开发措施下的综合水文效应，推荐了贵安新区雨水管理实践途径，以期雨水管理实践提供参考。

1.3 雨洪管理措施

1.3.1 理论起源与定义

雨洪管理措施始于 20 世纪 80 年代中期美国马里兰州的乔治王子郡。当地一位开发商考虑到传统的雨水管理措施中突显出的经济和环境方面的局限性，想通过一种植被滞留与吸收下渗的再生水处理方式来代替传统的雨水最优管理模式 (Best Management Practices, BMPs)，在该郡环境资源部的协助下，这种生态滞留技术 (bioretention technology) 得以发展和推广，这是雨洪管理措施的原型 (车伍, 2014)。

雨洪管理措施是一种以维持或重现场地开发前的水文形态为目的的设计策略，它通过设计技术的应用来创造一种功能性等同的水文景观。随后，美国自然资源保护协会提出：雨洪管理措施是简单有效的雨水管理策略，与其他复杂

且昂贵的雨水工程策略不同，雨洪管理措施结合绿地、原生景观、自然水文特性和其他技术来实现已开发土地上地表径流的最小化。随着低影响开发理论的发展与完善，维基百科也对其做出定义：雨洪管理措施是美国和加拿大用来描述土地规划和工程设计中雨水径流管理的方法，雨洪管理措施重视通过保护和利用场地自然特征来保护水质，以小尺度的场地水文控制手段，通过渗透、净化、暂存和保留源头的雨洪径流来重现场地开发前的水文形态（赵晶，2012）。

综上所述，对雨洪管理措施的概念归纳如下：

（1）雨洪管理措施是一种起源于雨水径流控制的设计策略，逐步扩展到土地和雨水综合管理方面。

（2）雨洪管理措施以维持或重现场地开发前的水文形态为目的，坚持雨水源头管理的原则。

（3）雨洪管理措施涵盖两个设计方向：雨水径流的最小化和雨水水质的最优化。

（4）雨洪管理措施注重小尺度空间的分散式水文控制手法和生态处理手段。

1.3.2 雨洪管理措施的原则、场地设计策略与技术措施

雨洪管理措施旨在减小净雨和降低径流的污染程度，其原则、设计策略和雨水管理技术措施以及设计过程都是围绕这一目标来模拟或复制场地开发前的水文形态。

1.3.2.1 原则

雨洪管理措施的核心原则主要有以下四点：

（1）以现有的自然生态系统作为土地开发规划的综合框架。首先，要考虑地区和流域范围的环境，明确雨洪管理目标和指标要求；其次，在流域（或次流域）和邻里尺度范围内明确雨洪管理的可行性和局限性，确定和保护环境敏感型的场地资源。

（2）专注于控制雨洪径流。通过更新场地设计策略和使用可透水铺装来实现不可透水铺装面积的最小化，在建筑设计中综合利用绿色屋顶和雨水收集系统，将屋顶用水引入到可透水区域，保护现有树木和景观以保证更大面积的冠幅。

（3）从源头进行雨洪控制。采用分散式地块处理措施和雨水引流措施作为雨洪管理的主要方法；减小排水坡度，延长径流路径并使径流面积最大化；通过开放式的排水来维持自然的径流路线。

（4）创建多功能的景观。将雨洪管理设施综合到其他发展因素中以保护可开发的土地；使用可以净化水质、促进渗透和减小径流峰值的设施；通过景观

设计减小雨水径流和城市热岛效应以达到环境美化的效果。

1.3.2.2 场地设计策略

雨洪管理措施的场地设计策略有四个方向：一是保护场地内重要的水文特性和功能，二是以减少雨水径流为目的进行开发地块的选址与布局，三是减少不可渗透区域，四是采用自然排水系统。在具体应用中，四者之间联系紧密，每个方向的技术策略都有所细分并相互影响，在场地设计应用中应综合考虑。具体策略如下：

(1) 保护场地内重要的水文特性和功能。为了保护场地的初始水文特性，在任何类型的场地开发中，都应保护水系和雨水径流的缓冲区（包括季节性的或暂存性的水渠），以保护天然的土壤和植被覆盖的区域不受破坏，维持开发应用的最小化，避免对可渗透土壤的开发，尽可能地保存现有树种和树丛。

(2) 以减少雨水径流为目的进行开发地块的选址与布局。合理地进行开发地块的选址和布局是减少雨水径流的主要手段。一是场地设计和建筑、道路、植被等设计要素的布局形式要尊重地形，依据地形现状来确定开发尺度，尽量减少改变地形的的设计；二是尽量采用开放空间和集群式的布局形式以减小对场地的使用率；三是利用创新的街道网络设计来减小道路铺装面积，增加可渗透区域；四是减小建筑与道路间的铺装面积。

(3) 减少不可渗透区域。减少不可渗透区域是场地开发中最实效的策略之一，通常采用减小道路宽度、建筑和停车场的占地面积，并消除不必要的人行道和车行道等做法，以减少不同种类不可渗透铺装的使用，从而保持和提高场地的可渗透程度。

(4) 采用自然排水系统。自然的雨水径流排放是最生态的形式。在场地设计中，首先，尽量打断不可渗透区域的连接性，破碎化的布局形式更容易满足地表水的下渗和自然排放；其次，保护或创建小尺度的地形地貌也可以让雨水的排放形式更加符合自然的排放规律；第三，通过改造地形来适当延长雨水径流的路径，在较长时间的雨水径流过程中实现自然下渗，彻底实现自然式雨水排放。

1.3.2.3 低影响开发的雨水管理技术措施

为了实现场地开发后预期的水文特性指标，雨洪管理措施采用小尺度和分散式技术，美国相关部门和研究机构称之为综合管理技术措施（Integrated Management Practices, IMPs），这种方法将自然环境和地段加以整合，消除了大块场地以管道作为雨水径流终端的需求。常用的雨洪管理措施如下：

(1) 雨水收集。雨水收集装置主要分为雨水桶和水箱。雨水桶是成本低和易于维护的滞留装置，适用于住宅和商业、工业低影响开发场地，一般设置于建筑外的下水管附近，以便于收集雨水。水箱是屋顶雨水管理设备，一般设置于建筑内部或地下。

(2) 绿色屋顶。绿色屋顶是一种比较生态的屋顶绿化形式，具有暂存和吸收降水、节省建筑能耗、净化降水和空气等功能。绿色屋顶区别于一般的屋顶花园，以草本植被为主，覆盖面积广，建造绿色屋顶材料的选取以满足生态指标为原则。

(3) 旱井和屋面落水管分流。旱井是一种小型的可用于控制建筑物屋顶径流的设施，由骨料回填的挖掘坑构成，骨料通常为豆砾石等，流经旱井的雨水进入其他渗透系统。屋面落水管分流是指将原本连接到排水管的下水管在地面处断开，将屋顶雨水引入地面进行自然下渗的做法，一般情况下可以与旱井相连以减少下落雨水对地面的冲刷。

(4) 生态滞留池。生态滞留池是一种浅凹陷型的专门进行雨水过滤和暂时存储的栽植池，其材质的保水性极强，池底端与溢流管相连，当存水量达到饱和时，多余雨水可以引流至市政排水管网。这种做法广泛应用于城市道路绿化带、停车场和居住区场地的排水设计中。

(5) 植被过滤带。植被过滤带是位于污染源与水体之间的带状植被区域，具有拦截直流泥沙和吸附污染物的作用，其可通过沉降、过滤、稀释、下渗和吸收等过程净化地表径流中的污染物，可有效消减氮、磷等营养盐进入受纳水体，显著降低非点源污染的影响，在防治水体遭受泥沙淤积和面源污染等方面效果显著。

(6) 增强型草洼地与草洼地。传统的洼地是仅仅满足简单的排水功能的草地渠道，而增强型草洼地主要具有运输雨水径流并使之远离道路的功能，且通过设计实现最大限度的雨水过滤和下渗。依据此功能，设计人员可以设计此类特殊的草洼地的地形和尺度，以优化各种水文因素方面的性能。草洼地是自然或人工种植的植被带，设计于水体、湿地、林地或易受侵蚀的土壤等敏感区域（一般指易被雨水冲刷的地段）周围。

(7) 可渗透铺装。在场地开发中，可渗透铺装是一种通过建造施工技术实现雨水正常下渗的铺装类型。铺装的可渗透性实现了雨水就地下渗的可能性，也缓解了雨水径流流量增加带来的排水压力。

(8) 其他技术措施。雨水管理技术措施依据场地特征和技术策略而设定，其措施类型和数量并不固定。例如，雨水径流分流装置通常是一个分流雨水的出口，将集中的径流转换为片流，并将其均匀分散在一个径流区域内以防止土壤侵蚀。其他的技术措施还包括干沼泽和多孔管系统等。

1.3.3 雨洪管理的理论内容与设计过程

1.3.3.1 雨洪管理的理论内容

雨洪管理策略是以模拟或复制场地开发前的水文形态来保护受纳水体环

境、提供技术改善措施并维护其生态完整性，通过工程设计充分发挥环境敏感型场地的潜力，降低雨水基础设施的建设和维护费用，为雨洪管理引进新概念、技术及目标。基于以上目的，雨洪管理可从场地规划策略与技术、水文分析评估策略以及综合管理策略三个方面进行。

(1) 场地规划策略与技术。场地规划策略与技术可实现雨洪管理的目标，促进场地规划的发展，维持场地的水文功能，是一种经济有效的雨洪管理控制措施。其中，水文方面的目标应该尽早地纳入雨洪管理的场地规划过程中来。具体规划过程如下：首先要确定场地范围适用的上位规划（区域规划、土地利用规划及其他地方性法规等），并根据上位规划来定义发展区域，以水文数据作为设计指标来确定最小化设计场地中的不适水区域，初步整合场地布局；其次以最小化设计的方式来连接不透水区域，修改或增加雨水径流的路径以实现雨水的最大渗透量；最后对场地规划前后进行水文特性方面的对比，并完善和完成雨洪管理的场地规划策略。

(2) 水文分析评估策略。保存或恢复流域的水文功能是雨洪管理的基本前提，为了规划和场地设计的效益最大化，对水文原则的考虑在场地开发的任何阶段都是必要的，对自然的或开发前的场地水文特性的复制不仅可以降低对下游雨水的影响，也有利于控制和减少局部性的影响。

水文分析的目的是维持场地原水文特性而明确雨洪管理控制的级别，为了保持场地开发前的水文特性，可以使用或组合使用各种雨洪管理措施。例如，减少或最小化不透水地面；断开不可避免的不透水表面；保存或保护环境敏感的场地特征；维持或延长汇流时间；不透水表面分洪等。经过场地设计阶段，便可以使用各种方法和分析技术执行水文评估，一般步骤有：①划分流域和次流域；②确定雨洪设计参数；③选取建模技术；④编辑开发前数据信息；⑤开发前场地状况评估和开发基准评估；⑥评估场地规划优势并与开发基准进行比较；⑦评估综合管理；⑧评估补充需求。

(3) 综合管理策略。为了实现场地开发预期的水文指标，低影响开发采用小尺度和分散的设计管理方法，称为综合管理策略。这种方法将自然环境和地段加以整合，消除了大块场地以管道作为雨水径流终端的需求。常用的综合管理策略有：①存储和过滤雨水的生态滞留池；②削减建筑物屋顶雨水径流冲刷的旱井；③在污染物源区和下游接纳水体间起导流和净化作用的过滤带；④栽植于易受侵蚀的敏感区域周围的植被过滤带；⑤防止径流量过大引起水土流失的分流装置；⑥引导雨水径流离开路面的草洼地及起储存及再利用作用的雨水桶和水箱。以上策略在不同的场地环境中的应用应因地制宜，综合选用。

1.3.3.2 雨洪管理的设计过程

雨洪管理的设计过程如下：