



普通高等学校“十三五”规划教材

海绵城市概论

□ 主编 刘娜娜 张 婧 王雪琴
□ 主审 张云天



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

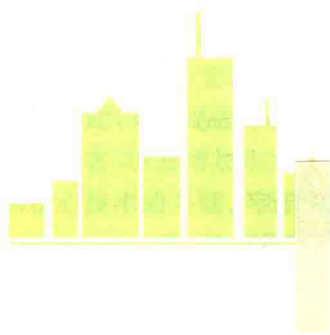




普通高等学校“十三五”规划教材

海绵城市概论

- 主 编 刘娜娜 张 婧 王雪琴
- 副主编 周 洋 叶 巍 伍劲涛
- 吴玉龙 刘清秀
- 主 审 张云天



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

海绵城市概论/刘娜娜,张婧,王雪琴主编. —武汉:武汉大学出版社,
2017.12

普通高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-307-19178-5

I. 海… II. ①刘… ②张… ③王… III. 城市空间—高等学校—
教材 IV. TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 236522 号

责任编辑:方竞男

责任校对:路亚妮

装帧设计:吴 极

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 武汉市金港彩印有限公司

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 9.5 字数: 214 千字

版次: 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-19178-5 定价: 40.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

近年来,每当夏天暴雨过后,关于“内陆看海”的笑谈便俯拾即是。人们并不是真的愿意靠皮划艇出行,也不愿意天天在马路上捕鱼,调侃的背后是人们对于城市内涝问题的无奈。这些年媒体和大众普遍关注的焦点几乎一边倒地投向地下管网建设,认为排水不畅才是内涝的主因。几年来虽投入大量财力修建地下管网,但收效甚微,暴雨过后城市仍旧会被水淹没。

建设海绵城市作为一项国策,彰显中国水资源管理进入一个新的历史时期。水是城市的血液,也是城市的命脉。海绵城市是以“雨洪是资源”为目标,以控制面源污染和保障以水质为核心的水资源管理和水生态治理的理念。雨洪是资源,应当以蓄为先,一个城市或者一个区域要有足够的地表水面积和湿地面积来蓄存常雨量,减少地表径流,促使雨水就地下渗,补充地下水。雨洪是资源,应考虑最大一次连续降雨下城市雨洪的系统管理,实现蓄洪水面、湿地、绿地、雨水花园和公园等空间的最大化,雨洪就地下渗的最大化,地表径流、城市排水管道分散化和系统化,以及城市流域水系和汇水空间格局的合理化。一场连续暴雨的降雨量,占全年降雨量的30%~70%,如果把这一雨洪资源泄掉,那一年就会发生严重的旱灾。而且,如果没有足够的城市空间把雨洪蓄下来,所有的洪水汇集到狭窄的防洪高堤坝内,所形成的洪峰和洪水的压力和威胁是巨大的。因此,海绵城市将从根本上改变防洪防涝的管理方式,减少洪灾旱灾的威胁,这是水安全的重要保障。

一般可以假设,在自然植被条件下,总降雨量的40%会蒸发进入大气,10%会形成地表径流,50%将下渗成为土壤水和地下水。而城市的建设,打破了这种雨水分布格局:蒸腾蒸发进入大气的降雨量将由40%增加到40%以上,地表径流则可能从原来的10%增加到50%甚至更多,下渗的降雨量则会从50%减少到10%甚至更少。显而易见,这种改变造成洪水量和洪峰的危害、雨洪资源的严重丧失、水土流失、面源污染和水系自净化系统的破坏。因此,减少地表径流、减少水土流失、减少面源污染、减少雨洪资源损失、减少洪水和旱灾危害,以及增加雨水就地下渗、补充地下水,就成为海绵城市设计的具体指标(目标)和核心技术的关键。而这些具体指标和核心技术要素,就是低影响开发(low impact development, LID)的核心内容。

如果说,海绵城市建设是城市建设的生态基础设施建设,或者说,海绵城市建设是生态城市建设的关键,那么,海绵城市建设的目标是通过低影响开发的技术得以实现的。为了达到“低影响”,设计和开发就必须遵从“四个尊重”,即尊重水、尊重表土、尊重地形和尊重植被。尊重水,就不应该把河流作为纳污河,就不能破坏水岸边的草沟、草坡,就

要防止面源污染,就要保护好水系的自净化系统和水生态系统。表土是千万年形成的财富,是地表水下渗的关键介质,是植被生长的基础。尊重表土,就是要保护和利用好这样的宝贵资源,防止水土流失,以及在开发中收集好表土及开发后复原好表土。自然地形所形成的汇水格局是一个区域开发的重要因素,地形变了,汇水格局就变了,低影响开发就是要研究原有地形和开发后地形的不同汇水格局及其影响,因此,尊重地形的设计和开发,不但影响小、安全,而且体现空间多样性,具有自然和艺术的美。植被是地形的产物,也是水和土壤的产物;同时,植被是地形、水和土壤的“守护神”,没有植被,水土流失和面源污染则不可避免,没有植被,水质、水资源和表土都会丧失,地形也会改变。当然,没有植被,水也会失去它的资源属性,变成灾难性的洪水、干旱及水荒,造成经济损失和制约城市发展。

因此,在某种意义上,低影响开发与海绵城市建设也可以认为是“同义词”。海绵城市,其狭义是雨洪管理的资源化和低影响化;广义则包括城市生态基础设施建设和生态城市建设的目标体系。它包括流域管理、清水入库、截污治污、水生态治理、滞流沟、沉积坑塘、暴氧叠水堰、植被缓冲带、雨洪资源化、水系的空间格局、水系的三道防线、生态驳岸、水系自净化系统、水生态系统、湿地、湖泊、河流、水岸线、生态廊道、城市绿地、城市空间、雨水花园、下沉式绿地、透水铺砖、透水公路和屋顶雨水收集系统等众多大大小小的具体技术和设计。但是,就目前国家战略来考量,海绵城市建设大多集中在一个重要的议题,即水质和水污染的生态治理技术和设计,这也是本书的重点。

但是,必须强调的是海绵城市在不同尺度下的含义是不同的。海绵城市,在小尺度的小社区和小区域的建设,是目前所提倡的海绵城市建设的理念、技术和设计,这也是美国所提倡的低影响开发的理念、技术和设计。但是,在中国,我们面临许多城市内涝、防洪防旱、水资源安全及水生态安全的问题,仅在小区和城区范围的海绵城市建设是很难奏效的。我们必须在流域的尺度及水系整体打造的尺度上进行海绵城市建设,这些问题才能得以解决。因此,我们更强调和重视大尺度和流域的海绵城市的设计和建设。其中尺度的概念在海绵城市设计中是非常重要的。

在这里,编者也希望就海绵城市设计的一些容易混淆和模糊的理念和技术,按编者的经验给出较为清晰的解释。比如,传统的低影响开发,一般是对一个小区的雨洪管理和地表径流的设计;而海绵城市设计则多是在一个较大的城市或区域尺度空间的规划和设计。另外,低影响开发涉及的是小的汇水面积,而海绵城市设计考虑的则是流域。而且,流域的总体设计包括产业和城市空间布局、土地利用性质的转变等诸多要素的总体空间规划设计。这无疑是一个创新设计和符合国情的低影响开发的应用。因此,可以说海绵城市建设是中国新型城镇化战略、生态文明战略、生态城市战略和水生态文明战略的基础设施建设。它也必将是水资源管理、流域管理和水生态治理的新的里程碑。海绵城市设计广义上也等同于生态城市设计。

海绵城市不仅仅是生态的,更是经济的和社会的最优化选择。据分析,海绵城市建设的区域房地产价值可以增加25%~40%;通过海绵城市设计的环境整治和一级开发成本可以节约10%~20%。这种海绵城市的设计,提高了城市的品质和宜居程度,提高了城市土地的价值。海绵城市设计将提高城市的生态效益、经济效益和社会效

益,城市建设和发展也可更持续。这些都进一步凸显了社会对海绵城市建设的强烈渴求。

本书由刘娜娜、张婧、王雪琴担任主编,周洋、叶巍、伍劲涛、吴玉龙、刘清秀担任副主编,赵越、王艳华担任参编,具体编写分工如下:刘娜娜编写第3章、第6章、第7章,张婧、赵越编写第5章,王雪琴、王艳华编写第1章、第2章,周洋编写第4章,叶巍、伍劲涛、吴玉龙、刘清秀编写第8章。本书由张云天担任主审。

在本书的编写过程中,陈爽、马晓雪、艾阳斌、童赛红、李玲、孟凡林、张青山进行了资料搜集和整理工作,重庆市市政设计研究院吴玉龙、重庆市天然气公司伍劲涛、重庆盛华消防有限公司黄天敏以及武汉海绵城市建设有限公司技术负责人等也提供了宝贵的资料和建议,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2017年6月

目 录

1 概述	1
1.1 海绵城市与雨洪管理	1
1.1.1 海绵城市的定义	1
1.1.2 雨洪管理	2
1.1.3 海绵城市的雨洪管理	4
1.2 海绵城市建设的意义及管理	9
1.2.1 海绵城市建设的意义	9
1.2.2 海绵城市的管理机制	15
2 海绵城市建设的国内外现状	17
2.1 国外海绵城市建设	17
2.1.1 国外海绵城市技术研究	17
2.1.2 国外雨水管理的法律法规与激励政策	22
2.1.3 国外生态雨洪管理案例	23
2.1.4 国外生态雨洪管理的启示	26
2.2 国内海绵城市建设	27
2.2.1 国内海绵城市建设总体情况	27
2.2.2 国内海绵城市建设实例	27
2.2.3 国内海绵城市建设存在的问题	30
3 低影响开发与补偿技术	32
3.1 低影响开发技术的概念	32
3.2 低影响开发技术的意义	33
3.3 低影响开发与补偿技术、措施	41
3.3.1 生物滞留设施	41
3.3.2 绿色屋顶	42
3.3.3 可渗透路面	44
3.3.4 植草沟	44
3.4 低影响开发技术应用实例	45
3.4.1 美国波特兰雨水花园	45
3.4.2 中国黑龙江群力雨水公园——中国第一个“雨水花园”	46

4 海绵城市的规划	48
4.1 海绵城市设计的生态学原则	49
4.2 海绵城市设计的景观生态学应用	50
4.2.1 景观生态学的主要内容	50
4.2.2 景观生态学的结构与功能	51
4.2.3 景观生态学在海绵城市设计中的应用	52
4.3 海绵城市设计与生态基础设施设计	52
4.4 海绵城市设计与生态城市设计	55
4.5 海绵城市设计与流域生态治理	57
4.5.1 流域生态治理同海绵城市的关系	57
4.5.2 流域生态治理针对的问题	57
4.5.3 流域生态治理的思路	58
4.6 海绵城市规划存在的问题及解决措施	59
5 绿色基础设施及设计选择	61
5.1 绿色基础设施的设计思路	61
5.2 绿色基础设施及设计	62
5.2.1 源头控制措施	62
5.2.2 中途转输措施	68
5.2.3 末端处理措施	72
5.3 设施功能比较	75
5.4 低影响开发设施组合系统优化	77
5.4.1 海绵城市雨水系统	78
5.4.2 水文分析及地表径流设计	79
5.4.3 系统的组成	80
5.4.4 系统复杂性	82
5.5 被动式雨水和径流收集	83
5.5.1 收集方法	83
5.5.2 被动式雨水收集系统	84
5.6 主动式雨水收集系统设备	85
5.6.1 屋顶、檐沟和水落管	85
5.6.2 水落管过滤器	86
5.6.3 初期弃流装置和屋顶冲洗装置	87
5.6.4 水落管向雨水桶或雨水链分流	87
5.6.5 存储系统	88
5.7 饮用水处理技术	89
5.8 水量估算及水平衡分析	90
5.8.1 水量估算	90

5.8.2	水平衡分析	91
5.8.3	应用实例	93
6	海绵城市项目开发的基本程序	95
6.1	借助开发准则和规划文件实施项目	96
6.2	制定预申请雨洪概念规划图	96
6.3	预申请会议	97
6.4	审核和批准概念规划图	97
6.5	根据有关部门的意见对概念规划图进行修改	97
6.6	制定最终的雨洪管理规划图	98
6.7	审核和批准最终的雨洪管理基础设施规划图	99
6.8	根据有关部门意见对规划图进行修改	100
6.9	设计后期雨洪管理基础设施	100
6.10	后期雨洪管理基础设施的检查和核查	100
6.11	设计和递交完工图	100
6.12	雨洪管理基础设施的详细目录、追踪和报告	101
7	海绵城市发展趋势	102
7.1	政策方面	102
7.1.1	相关政策高密度颁布,“四位一体”打造项目实施平台	102
7.1.2	试点城市项目陆续落地开花,落实速度超出预期	103
7.2	发展模式	103
8	海绵城市建设绩效评价与考核	106
8.1	评价与考核阶段	106
8.2	评价与考核指标	107
9	我国海绵城市试点城市建设案例	111
9.1	源头减排——昆山杜克大学校区低影响开发	111
9.1.1	项目概况	111
9.1.2	项目问题及需求分析	111
9.1.3	设计目标	112
9.1.4	设计原则	112
9.1.5	设计方案	113
9.1.6	植物配选	113
9.1.7	实施效果	114
9.1.8	项目总结	115
9.2	广场道路——重庆国博中心公建海绵城市改造	116
9.2.1	现状基本情况	116
9.2.2	问题与需求分析	116
9.2.3	海绵城市改造目标与原则	117
9.2.4	海绵城市技术设计	117

9.3 内涝治理——北京市下凹桥排水防涝改造	121
9.3.1 现状问题及分析	121
9.3.2 总体思路	123
9.3.3 典型桥区总体方案	125
9.4 黑臭水体治理——伊通河流域中段水环境治理	127
9.4.1 流域概况	127
9.4.2 汇水分区及污水量概况	128
9.4.3 拦河闸概况	128
9.4.4 污水处理厂概况	130
9.4.5 截流干管设置及污染治理分析	130
9.4.6 海绵城市建设存在的问题	131
9.4.7 治理效果分析	132
9.5 片区建设与改造——南宁市那考河(植物园段)海绵城市建设	132
9.5.1 片区概况	132
9.5.2 片区建设方案	133
9.5.3 内源污染控制	136
9.5.4 河道生态修复方案	136
9.5.5 河道行洪能力提升工程	136
9.5.6 河道建设模式	136
9.5.7 片区建设效果	137
9.5.8 总结	137
参考文献	139



数字资源目录

1 概 述

1.1 海绵城市与雨洪管理

1.1.1 海绵城市的定义

不同专业、不同背景的人对海绵城市的理念有不同的认知和定义,在大量的生态城市规划、海绵城镇规划实践中,对海绵城市也有独特的认识。

《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》对海绵城市的定义为:海绵城市是指城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,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。该定义的内涵具体可分解为以下三层:第一,海绵城市面对洪涝或者干旱时有能灵活应对和适应各种水环境危机的韧力,体现了弹性城市应对自然灾害的思想;第二,海绵城市要求基本保持开发前后的水文特征不变,主要通过低影响开发的开发思想和相关技术实现;第三,海绵城市要求保护水生态环境,将雨水作为资源合理储存起来,以解城市对水的不时之需,体现了对水环境及雨水资源可持续的综合管理思想。海绵城市示意图见图 1-1。

《海绵城市(LID)的内涵、途径与展望》一文中提到,“海绵城市的本质是,解决城镇化与资源环境的协调和谐。传统城市开发方式改变了原有的水生态,海绵城市则保护原有的水生态;传统城市的建设模式是粗放式、破坏式的,海绵城市对周边水生态环境则是低影响的;传统城市建成后,地表径流量大幅增加,海绵城市建成后地表径流量能尽量保持不变。因此,海绵城市建设又被称为低影响设计和低影响开发”。

海绵城市在不同尺度下的含义是不同的。海绵城市在小尺度的小社区和小区域的建设,是目前所提倡的海绵城市建设的理念、技术、

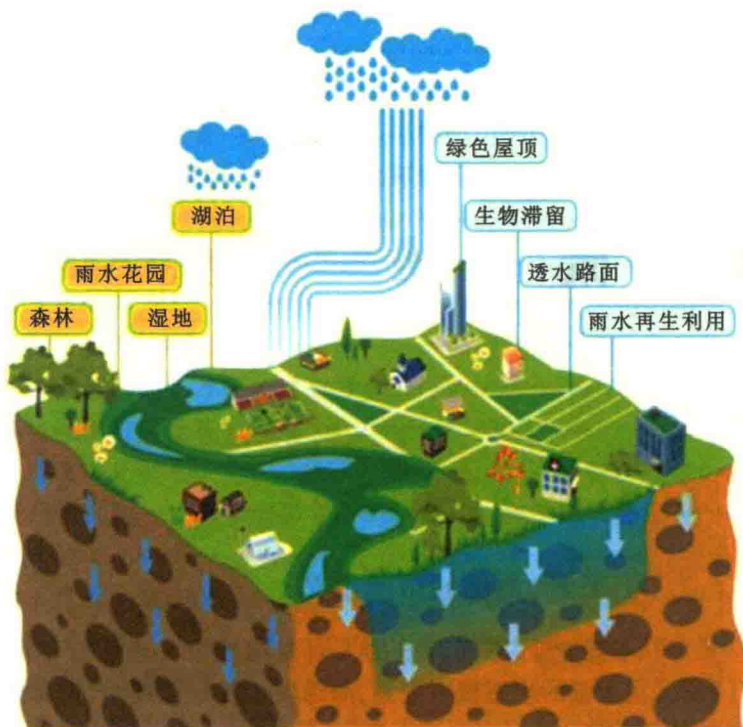


图 1-1 海绵城市示意图

设计。但是,在中国,针对许多城市所面临的内涝、防洪防旱、水资源安全、水生态安全问题,仅在小区、城区范围实施海绵城市建设是很难奏效的。我们必须在流域的尺度上、在水系整体打造的尺度上进行海绵城市建设,这些问题才能得以解决。因此,海绵城市的构建需要宏观、中观和微观层面不同尺度的承接、配合。

① 宏观层面。海绵城市的构建在这一尺度上重点是研究水系统在区域或流域中的空间格局,即进行水生态安全格局分析,并将水生态安全格局落实在土地利用总体规划和城市总体规划中,成为区域的生态基础设施。

② 中观层面。这一尺度主要指城区、乡镇、村域尺度,或者城市新区和功能区块。重点研究如何有效利用规划区域内的河道、坑塘,并结合集水区、汇水节点分布,合理规划并形成实体的“城镇海绵系统”,并最终落实到土地利用控制性规划甚至是城市设计,综合性解决规划区域内滨水栖息地恢复、水量平衡、雨污净化、文化游憩空间的规划设计和建设上。

③ 微观层面。海绵城市的构建最后必须要落实到具体的“海绵体”的构建,包括公园、小区等区域和局域集水单元的建设,在这一尺度上对应的是一系列的水生态基础设施建设技术的集成。

1.1.2 雨洪管理

1. 城市化带来的雨洪管理问题

城市化进程中,建设用地不断扩张,高强度的人类活动强烈干扰原有自然生态系统,

导致地表地理过程以及景观结构的强烈变化。城市地区下垫面特性的改变,尤其是不透水下垫面比例的增加,显著改变了原有的自然水文生态过程,导致一系列的城市雨洪管理问题,集中表现为洪涝灾害频发、水环境持续恶化以及水资源严重短缺。城市中原有的耕地、林地、湿地等渗透性能较好、雨洪调蓄能力较强的自然景观大量被透水性能较差甚至不透水的硬化表面(道路交通用地、建筑屋面、广场等)所取代,透水地表的滞洪、蓄洪能力大幅度减小,影响了降雨的截留、下渗、过滤、蒸发及其产汇流过程,使得原本渗入地下的雨水大部分转为地表径流排出,造成暴雨径流流量增加、汇流速度加快,加大了发生洪涝灾害的频率和强度。近年来,北京、广州、南京、上海、成都等大中城市的暴雨内涝灾害频发。

高强度的城市建设,改变了城市的物质迁移生态过程,使得城市非点源污染负荷量剧增,导致河流水质和生态功能退化。随着工业和生活污染源等点污染源得到有效控制,降雨径流冲刷地表带来的非点源污染已经逐渐成为收纳水体污染的主要来源,加重了城市水质性缺水的局面。根据美国环保局(U. S. Environmental Protection Agency, USEPA)的研究,美国有60%的河流以及50%的湖泊污染与非点源污染密切相关。来自我国环境保护部2015年的数据表明,我国80%以上的城市河流受到污染,有很多甚至出现季节性和常年性水体黑臭现象。90%以上的城市地表水域受到严重污染。

此外,城市地区土地利用/土地覆被(land use/land cover, LU/LC)的强烈变化,还深刻影响着地表水和地下水的相互转化工程,硬化地表阻断了雨水的自然渗透及补给地下水的有效通道。由于地表水遭受越来越严重的污染,面对日益增多的工业、生活用水需求,人类转而对地下水无节制地进行开采。渗透量的减少与地下水的过度开发,使得城市地下水位不断下降,导致诸如“地下漏斗”等一系列环境负效应。

2. 传统雨洪管理模式与体制的弊端

在我国现行的城市规划体系中,涉及城市雨洪管理的专项规划主要有排水(雨水)工程规划和防洪规划。城市防洪规划和排水(雨水)工程规划应对暴雨的指导思想均是传统的“以排为主”的雨洪管理理念,采取管网工程(灰色基础设施)“硬排水”模式,将雨水几乎全部通过城市雨水管网系统收集、排放至受纳水体,较少考虑雨洪调蓄、水质保护、资源化利用等措施和技术。这种单纯依赖人工工程设施的雨洪管理理念和排水模式,缺少相应的自然生态雨洪调控设施,使得由城市下垫面硬化带来的短时雨水管网排放压力剧增,加之管网规划设计的不合理、排水设施的不健全和建设标准降低以及维护管理不善等因素,往往造成暴雨径流短时高峰无法及时排放,增加城市暴雨内涝的发生频率。近年来,北京、广州、南京、上海、成都等大中城市不断出现城市内涝的情况。此外,大量的雨水资源通过不可渗透表面直接进入城市雨水管道,未经处理的地表径流,尤其是初期降雨径流,给受纳水体带来了极大的生态环境压力,极易造成城市地区水生态环境的进一步恶化,导致水资源短缺的局面。

3. 海绵城市生态雨洪管理模式

单纯依赖灰色基础设施(管网工程设施)的传统雨洪管理的弊端已经凸显,因此必须引入生态雨水基础设施(ecological stormwater infrastructure, ESI)视角下的海绵城市低

影响开发理论,从传统的工程管网“硬排水”模式发展到生态雨洪管理(ecological stormwater management,ESWM)的“软排水”模式。在国外先进的雨洪管理理念中,景观生态与雨洪管理的结合已成为趋势,许多国家的雨洪管理理念已经从传统的简单管渠排水的工程技术层面发展到与景观生态设计紧密结合的生态雨洪管理理念,充分发挥城市自然生态系统在涵养水源、调蓄雨洪、水质保护、雨水资源化利用等方面的生态系统服务价值(ecosystem services value,ESV),通过科学、合理的规划设计,维护和提升城市自然水文循环过程,进而实现城市的永续发展。

2013年12月12日,习近平总书记在中央城镇化工作会议上,提出建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”。针对目前城市出现的水生态破坏、水资源短缺、水环境污染、水安全风险、水文化消失等问题,海绵城市遵循“渗、滞、蓄、净、用、排”的六字方针,统筹考虑内涝防治、径流污染控制、雨水资源化利用和水生态修复等城市雨洪管理综合目标,把雨水的渗透、滞留、集蓄、净化、循环使用和排水密切结合,倡导推广和应用低影响开发建设模式,有效利用自然或近自然排水系统——生态雨水基础设施,建设“自然呼吸”的海绵城市。

1.1.3 海绵城市的雨洪管理

在我国,因传统雨洪管理的弊端而提出了建设海绵城市,两者关系密切。第一,海绵城市建设视雨洪为资源,重视生态环境;第二,海绵城市建设的目标就是要减少地表径流和减少面源污染;第三,海绵城市建设将会降低洪峰和减小洪流量,保证城市的防洪安全。

1. 海绵城市的雨洪资源化利用

(1) 雨洪以及雨洪资源化利用

雨洪是指一定地域范围内的降水瞬时集聚或者流经本范围的过境洪水。雨洪资源化利用是把作为重要水资源的雨水,运用工程和非工程的措施,分散实施、就地拦蓄,使其及时就地下渗,补充地下水,或利用这种设施积蓄起来再利用,如冲洗厕所、洗衣服、喷洒道路、洗车、绿化浇水、景观用水等。

雨洪资源化利用是综合性的、系统性的技术方案,不只是狭义上的雨水收集利用和雨水资源节约,还囊括了城市建设区补充地下水、缓解洪涝、控制雨水径流污染以及改善提升城市生态环境等诸多方面。

为什么说雨洪是资源?一般认为,洪水是灾害,造成的损失可能是巨大的。因此,对付雨洪的办法就是排洪、泄洪,似乎排泄越快、越彻底就越安全。为了排洪,河流被改造成泄洪渠道,堤坝高筑。防洪标准越来越高,堤规也越来越高,但洪量、洪峰、洪水的危害也越来越大。然而,我们是否想过,为什么会发生洪灾?为什么洪水越来越多?比如,武汉原来是六水三田一山,可现在的六水变成了三水,另三水被城市占用了。原来是湖泊的区域,现在成了城区,暴雨来了,被淹应该是可以预料的。又比如东莞的内涝,原本与河流水系相连的湿地或河漫滩,现在被城市建设所占用。河堤把水系与这些低洼的区域隔离开来,河道的洪水被控制在河道里,但城区的雨水却由于地势低洼、排泄不畅而滞

留下来,形成内涝(图 1-2)。因此,可以说洪害和内涝是人为的,是城市发展占据了本该属于湖泊、湿地、河漫滩、洪泛的区域的后果。这本该是洪涝的区域,我们原以为可以通过堤规围堵、排泄来解决问题,可不得不承认我们所面临的挑战越来越巨大。



图 1-2 强降雨产生城市内涝

更严重的问题是,当我们采取一切工程手段排洪、泄洪时,我们又面临越来越严重的旱灾。当好不容易把几天的洪水排掉后,可能所面临的是大半年的干旱缺水。许多城市的历史资料告诉我们,年降雨量在近 50 年来并没有太大的变化,但降雨强度和降雨频率变了。一次连续降雨,很可能占全年降雨量的 30%~70%。如果把这 30%~70%的雨洪全部排泄掉,旱灾缺水也就无法避免了。因此,雨洪资源不仅能解决水资源的问题,还能从根本上改变我们的防洪防旱理念和解决工程、技术、设计问题,更解决了城市发展和城市安全的战略问题。

(2) 雨洪资源化对城市的意义

城市的发展使得雨洪具有利害两重性。一方面,城市的发展改变了城市的土地性状和气候条件,使得城市雨洪的产汇流特性发生显著改变,增加了城市雨洪排水系统压力,从而使得城市雨洪的灾害性更为明显,如雨洪流量增大、流速加大、洪峰增高、峰现提前、汇流历时缩短等。另一方面,雨洪对城市发展又有其潜在、重要的水资源价值。雨洪是城市水资源的主要来源之一,科学、合理地利用雨洪资源,可以有效解决城市水资源短缺问题,改善城市环境,保持城市的水循环系统及生态平衡,促进城市的可持续发展,具有极高的社会、经济和生态效益。

我国是一个缺水的国家,在全国 669 个城市中,400 个城市常年供水量不足,其中有 110 个城市严重缺水(图 1-3)。随着城市化的快速发展,城市规模不断扩大,城市人口增加,工业迅速发展,城市用水紧张的问题日益凸显。同时,由于改革开放以来粗放、快速的经济增长,大量工业废水未经处理直接排入自然水体,导致富营养化等水体污染。包

括地下水在内,我国已有超过 70% 的水资源受到污染,水质型缺水成为水资源紧张的突出特征。

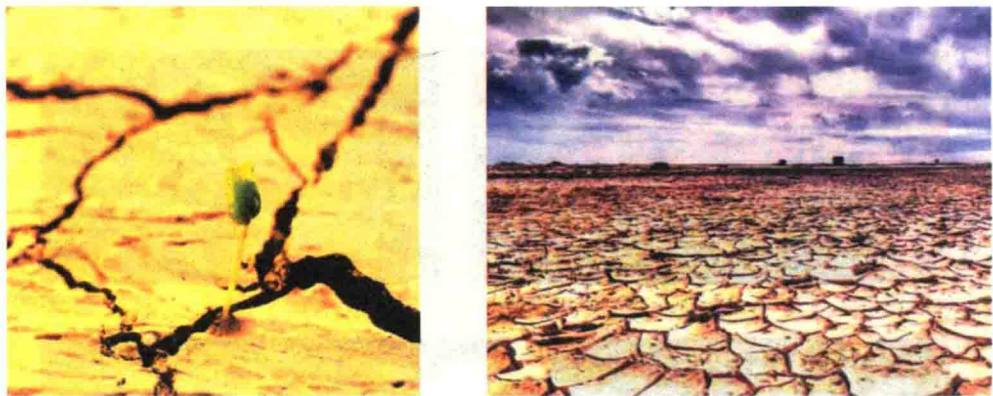


图 1-3 我国严重的旱灾情况

城市水资源的最大来源是降雨,海绵城市设施通过滞蓄、下渗,把城市降雨最大限度地留在城市当中,将城市雨洪转化为宝贵的水资源。雨洪资源化利用可以增加城市的水资源补给,缓解水资源紧张的压力,同时可以产生巨大的生态效益,改善城市小气候,减少城市地表径流量,控制雨洪过程,极大地减轻城市洪涝灾害,减少城市防洪排涝基础设施投资等。

想要利用雨洪资源,就需要在城市打造更多的湿地、湖泊、绿地、公园,城市的宜居程度和生态安全将得以提高,也为城市增加活动空间和生态空间。而这些空间的大小、形态、分布格局,都应该考虑历史最大连续降雨量、地形地势、城市发展格局。当然,雨洪是资源,如何存储这些资源,也就成为海绵城市建设的关键。

2. 海绵城市减少地表径流和雨水就地下渗

大气降水落到地面,会有以下三种情况:一部分蒸发变成水蒸气返回大气(大约占降雨量的 40%),一部分下渗到土壤补充地下水(在自然植被区,大约占降雨量的 50%),其余的降雨随着地形、地势形成地表径流(在自然植被区,大约占降雨量的 10%),注入河流,汇入海洋。但是在城市发展的进程中,随着城市地表的硬化,地表径流可以从 10% 增加到 60%,下渗补充的地下水可能急剧减少,甚至是 0。通过海绵城市的定义可以知道,一个具有良好的雨水收集利用能力的城市,应该在降雨时就地或者就近吸收、存蓄、渗透、净化雨水,补充地下水,调节水循环。因此,减少地表径流、提高就地下渗是打造海绵城市的重点。

雨水就地下渗的重要性表现为以下四点:一是把原来排走的雨水就地蓄滞起来,作为城市水资源的重要来源;二是减低地下排水渠道的排涝压力,减轻城市洪水灾害的威胁;三是回补地下水,保持地下水资源,缓解地面沉降以及海水入侵;四是减少面源污染,改善水环境,修复被破坏的生态环境等。

城市雨水就地下渗对于城市建设而言是一个挑战。它除了要增加湿地、湖泊等水系面积及下沉式绿地、公园、植被面积,都市农业面积的保护、城市生态廊道的建设也是就

地下渗的重要基础设施。这些都是大尺度上海绵城市建设的重要因素。至于雨水花园、透水铺砖、空隙砖停车场、透水沥青公路等都是小尺度上海绵城市建设的具体技术、工程、设计。这两个尺度上的海绵城市建设的终极目标,就是让雨水最大限度地就地下渗,或者最大可能地实现对地下水的补充。

3. 减少地表径流和减少面源污染

水环境污染是由点源、线源和面源污染造成的(图 1-4)。面源污染是指以“面流”的形式向水环境中排放污染物的污染源,包括农田、农村和城镇的面源污染。它们在降水和地表径流的冲刷过程中,使大量大气和地表的污染物以“面流”的形式进入水环境。城市面源污染是城市水体污染的重要污染源。城市面源污染包括直接排放的污水和地表径流携带的污染物。当前,随着国家对面源水污染治理力度的加大且逐步产生成效,点源治理达到一定水平,水污染的主要诱导因素发生转移,面源污染影响水环境质量的贡献比重加大,面源污染治理正逐步受到重视,但面源污染的发生存在时间随机、地点广泛、机理复杂以及污染构成和负荷不确定等特点,使传统的末端治理方法难以达到较好的效果。



图 1-4 城市水系污染

由于城市的扩展,地表不透水面积比例不断增高,径流系数也就越来越大。城市道路和广场的径流系数甚至会超过 0.9,硬质地面的下渗率很低。而且,形成地表径流的时间很短,地表径流来势猛,水量大,对污染物的冲刷强烈。因此,面源污染还具有突发性。

中国工程院王浩院士曾经说过:“污染物是放错了位置的营养物。”例如,氮、磷直接排入水体,可能引起水体富营养化,造成环境污染;若氮、磷随地表径流进入城市绿地,则会成为绿地植被生长的重要营养物质。而且,在一定的可承载范围内,水系具有一定的自净化能力,环境具有一定的可塑性,就像一滴墨水滴在湖里,没有影响,而滴在碗里的影响是显而易见。因此,总量控制很重要。

传统的城市开发模式的绿地(公路绿化带、城市绿化景观等)普遍高于硬化地面,地表径流携带的面源污染物顺着路面,汇集成洪流,进入水系(图 1-5)。这些面源污染量大、污染严重,一方面,绿地无法发挥雨水下渗功能,使水资源白白流失,大量的污染物进入水体,水系无法自我净化,造成水体污染;另一方面,植物生长需要的氮、磷等营养物质却随着地表径流进入雨水管网被排出了城市,营养物质白白流失,人类反而花费人力、财力为绿地施肥以维持其生长。