

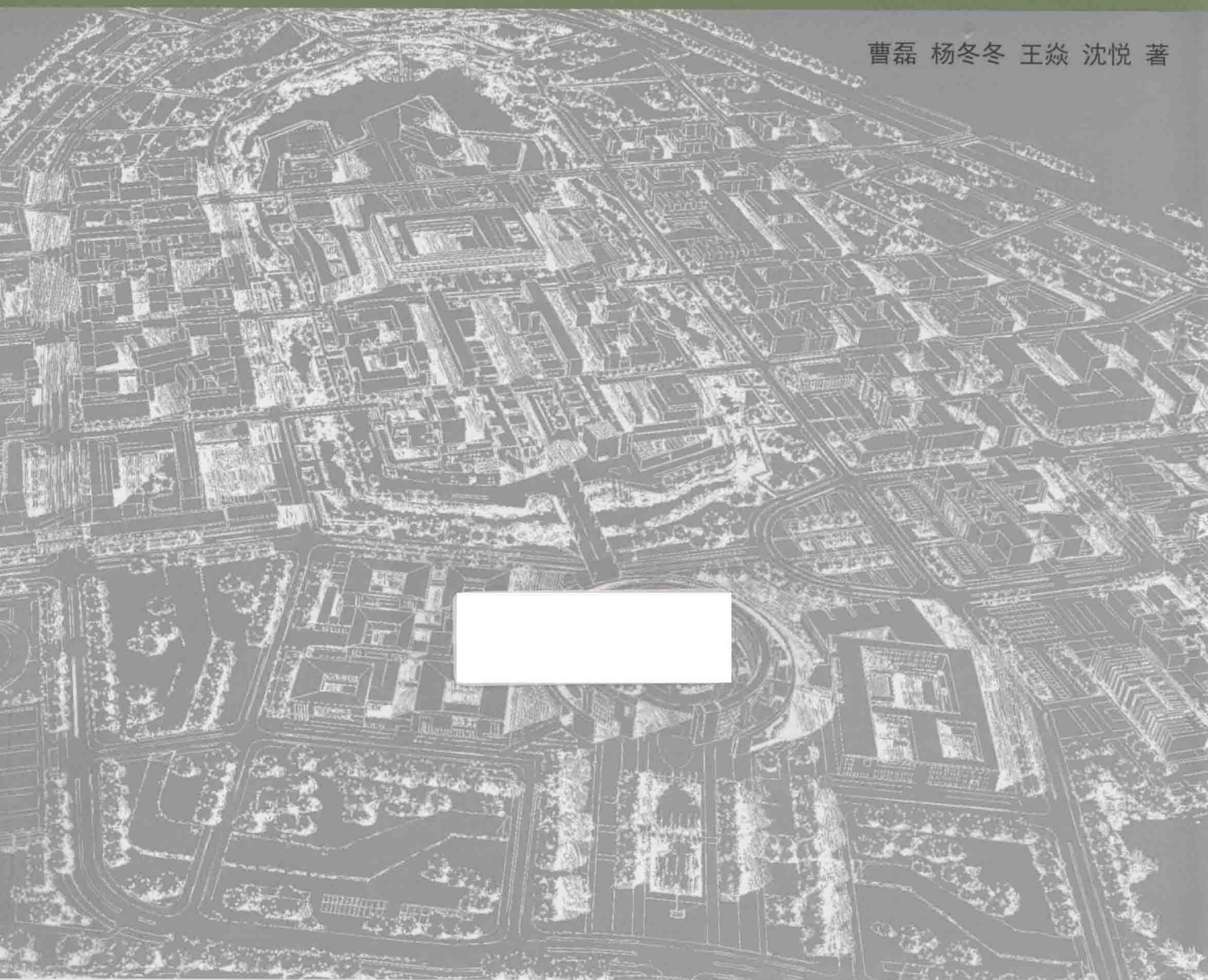
北洋设计文库

走向海绵城市

STRIDING TOWARDS TO SPONGE CITY

——海绵城市的景观规划设计实践探索

曹磊 杨冬冬 王焱 沈悦 著



北洋设计文库

走向海绵城市

STRIDING TOWARDS TO SPONGE CITY

——海绵城市的景观规划设计实践探索

曹磊 杨冬冬 王焱 沈悦 著

图书在版编目 (C I P) 数据

走向海绵城市：海绵城市的景观规划设计实践探索 /
曹磊等著. — 天津：天津大学出版社，2016.3
(北洋设计文库)
ISBN 978-7-5618-5537-9

I. ①走… II. ①曹… III. ①城市规划—景观规划—
研究—中国 IV. ①TU984.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 032512 号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编：300072)
电 话 发行部 022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 廊坊市瑞德印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 210mm×285mm
印 张 9.25
字 数 144 千
版 次 2016 年 4 月第 1 版
印 次 2016 年 4 月第 1 次
定 价 168.00 元

凡购本书，如有质量问题，请向我社发行部门联系调换
版权所有 侵权必究

前言

FOREWORD

当前海绵城市成为热门话题，各地纷纷争做海绵城市建设试点城市，制定地方标准，住建部也要求各地抓紧编制海绵城市专项规划。但什么是海绵城市？为什么建设海绵城市？如何建设海绵城市？北方缺水地区是否适宜建设海绵城市？这些问题即便是一些专业人员也未必能准确理解和把握，特别是在不同地区的不同环境建设海绵城市还有很多课题需要进行深入的研究和探索。

首先，建设海绵城市不是为了赶时髦，而是实现城市生态环境可持续发展的重要措施，尤其是北方的城市和地区，常年缺水，夏季易受极端气候影响，暴雨造成城市内涝，水质恶化污染严重，就更突显出海绵城市建设的重要性和紧迫性。海绵城市就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，需水时将蓄存的水“释放”出来并加以利用。针对我国城市建设密度高、强度大的现状，海绵城市建设应突出中国雨洪管理特色，即统筹低影响开发雨水系统、城市雨水管渠系统及超标雨水排放系统，三个系统相互补充形成联动，实现“弹性”的科学管理。

其次，海绵城市建设必须与城市景观建设相结合，通过景观生态型的雨洪管理措施与方法实现，使城市生态环境可持续发展。国外的成功经验可以借鉴学习，但不能生搬硬套，建设海绵城市要根据区域环境和场地的特点采取不同的措施和方法。例如在天津盐碱地区就应该结合场地设计，将排盐、土壤改良、景观设计等与雨洪管理措施统筹考虑，甚至能取得一举两得之效果。海绵城市的规划设计方法多种多样，应该灵活运用，应该探索创造有地域特色的优美的雨洪管理型景观生态环境。

另外，海绵城市建设前期需要进行大量的调研分析和科学研究，要以准确的数据、科学计算和模拟分析为依据，选择最适宜的措施和方法；建设后期需要进行长期的测试、评价和维护管理。

最后，结合我们完成的四个典型海绵城市实践案例进行深入分析。四个案例呈现了生态化雨洪管理措施在不同场地环境中各种不同的处理措施和方法，涵盖了平原型、山地型以及教学科研型三种不同项目类型。

海绵城市建设需要设计人员将雨洪管理的概念和方法或多或少地融入到自己创作的项目中，使我们的城市更美好，生态更可持续。

曹磊

2015年12月26日

目录

CONTENTS

第1章 城市化与城市水文循环	1
1.1 城市化与水循环	2
1.2 传统雨洪管理模式	5
1.3 海绵城市	7
第2章 城市生态化雨洪管理与海绵城市	9
2.1 城市生态化雨洪管理	10
2.2 海绵城市基本理论	15
2.3 海绵城市建设技术要素与措施	16
2.3.1 海绵城市建设技术要素	16
2.3.2 海绵城市建设技术措施	23
第3章 海绵城市规划设计要则	41
3.1 海绵城市规划设计内容	42
3.2 海绵城市规划设计步骤	44
3.2.1 现状调研分析	44
3.2.2 雨洪管理控制目标和指标的制订	47
3.2.3 雨洪管理技术措施及其组合系统的确定与选择	47
3.2.4 雨洪管理措施设计	50
3.3 海绵城市中低影响开发雨水系统的构建途径	51
3.3.1 景观规划层面低影响开发雨水系统的构建途径	51
3.3.2 景观设计层面低影响开发雨水系统的构建途径	53
3.4 海绵城市规划设计要则	66
3.4.1 构建弹性海绵系统	66
3.4.2 创造宜人的景观氛围	67
3.4.3 满足多重功能需求	67
3.4.4 综合多专业、多系统的复合、联动	70

第4章 实践案例研究	71
4.1 概述	72
4.2 天津大学北洋园校区景观规划设计	73
4.2.1 案例阐述	73
4.2.2 案例分析	90
4.2.3 案例总结	110
4.3 天津蓟县于庆成雕塑园景观规划设计	116
4.3.1 案例阐述	116
4.3.2 案例分析	119
4.3.3 案例总结	131
4.4 天津大学阅读体验舱景观设计	132
4.4.1 案例阐述	132
4.4.2 案例分析	136
4.4.3 案例总结	141
4.5 天津大学建筑空间环境实验舱景观设计	142
4.5.1 案例阐述	142
4.5.2 案例分析	144
4.5.3 案例总结	147
结论	148
参考文献	149

资助项目:

国家自然科学基金面上项目“以景观规划设计为途径的京津冀地区城市自然与人工水循环系统耦合方法研究”(51578367);

国家自然科学基金青年项目“城市生态化雨洪管理型景观空间规划策略研究”(51308318)

资助机构:天津市景观生态化技术工程中心

An aerial photograph of a city grid with a river winding through it. The image is overlaid with a scale bar at the bottom left and a table of contents on the right side. The title '第 1 章 城市化与城市水文循环' is centered in the upper half of the image.

第 1 章 城市化与城市水文循环

1.1 城市化与水循环

1.2 传统雨洪管理模式

1.3 海绵城市

1.1 城市化与水循环

改革开放后,我国经历了翻天覆地的变化,社会生产力迅猛发展,科学技术水平取得长足进步。在全国国内生产总值中,第二产业、加工业以及以通信业、服务业为代表的第三产业所占比重快速升高,而农业、林业等第一产业所占比重逐年下降。与此同时,大量人口向城市转移,城市核心圈层建设趋于饱和,城市用地不断向郊区扩展。与此同时,城市中的居住形式也随之发生改变,由之前低密度的分散式向高密度的集约式转变,居住空间逐渐远离自然环境。这些现象都标志着城市化进程的不断加剧。但遗憾的是,由于很长一段时间人们对城市中自然生态系统的忽视,生态系统依靠自我调节能力已难以适应、跟上这种快速变化,城市化成为了一把双刃剑,由此引发了一系列生态问题。城市水问题正是其中非常突出的一项。

参与城市水循环的水体主要有雨水、河湖水、地下水、饮用水、景观水以及废水。雨水下渗补充地下水,补充河湖等自然水体;城市取湖水或地下水作为水源净化处理后,为市民提供饮用水以及生产、生活用水;生产、生活用水经使用后成为废水,被输送至污水处理厂净化处理后,排入自然水体;自然水体蒸发(包括植物蒸腾)促成降雨(见

图 1-1-1)。城市发展初期,这种循环有序进行,城市供需水量基本保持平衡。然而城市化的高速发展打破了这种良性循环过程。为了满足日益增长的需求,密集的楼房、纵横的道路带来城市下垫面硬化率的大幅上升,导致雨水无法入渗,降水与地下水、河湖自然水体之间的通道被阻隔。而此时,埋于地下的城市管网,默默工作,集中收集地表径流。中小降雨时,雨水径流经管网快速排至城市下游;遇强降雨时则受管网设计建造标准的限制,在排水受阻时形成内涝灾害。高硬化率的城市下垫面与管网排水方式共同造成城市降水无法入渗、来不及蒸发,进而导致雨水资源流失、城市地下水减少、河湖水体缺乏补充,最终危及城市供水环节,引发城市水问题。据统计(见图 1-1-2),对于未经开发的自然地而言,中小降雨后,降雨量的 50% 会经土壤入渗地下,其中一半补充深层地下水,而另一半则成为壤中流,形成沿坡面的侧向水流,最终从表层土壤流入河网、湖泊等自然水体。另外的 40% 或直接被蒸发,或被植物吸收后在蒸腾作用下再次回到空气中,遇到恰当的气候条件再次形成降雨。地表径流量仅占降雨总量的 10%。然而在同一块场地,随着建设强度的增大,当场地下垫面不透水率达到 75%~100% 时,在同样强度

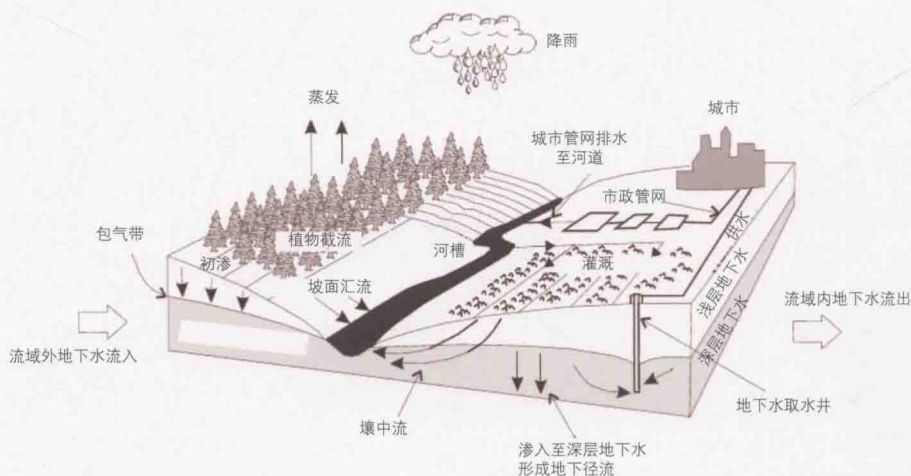


图 1-1-1 城市水循环系统示意
(来源: After, M.L. Davis, D.A. Cornwell. *Introduction to Environmental Engineering*, 1991.)

的降雨工况下，可入渗地下的水量仅占降雨总量的15%，其中10%补充自然水体，有超过一半的降雨量被留在地表，成为内涝隐患。

图 1-1-3 则基于统计学数据，对典型降雨条件下场地建设前后地表产流过程进行比较，阐明了城市化高不透水面积率对于城市水环境产生消极影响的核心要因：① 高峰值，由大量的地表产流所致；② 峰值前置，硬质化地面比自然地粗糙程度低，糙率小，由径流汇流时间短所致。图 1-1-4 同样说明随着建设强度的增加，地表径流的峰值流量明显增加，而且高峰值流量的历时更长。由此引发的不仅仅是城市洪涝灾害，还不可避免地产生水土流失、水

质恶化、水生动植物栖息环境改变等一系列环境问题。表 1-1-1 对城市化过程中硬质化率增大对城市水循环过程产生的一系列影响进行总结。由表可以看出，大面积不透水下垫面也是造成河流旱季缺水甚至干涸，而雨季逢雨就涝的主要原因。表 1-1-2 以加拿大多伦多市为例，比较了不同开发建设强度下，采用不同雨洪管理方式，同一场地雨水资源空间分配量的差异。由表可知，采用合理的雨洪管理方式，形成从源头、过程到终端的雨洪管理系统，可使场地的产汇流过程趋向于初始状态，进而促进水环境归于健康。

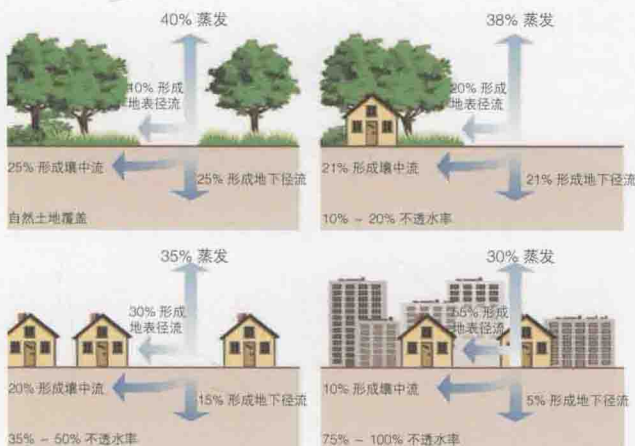


图 1-1-2 城市化对雨水资源空间分配的影响
(来源: U.S. EPA, 2007)

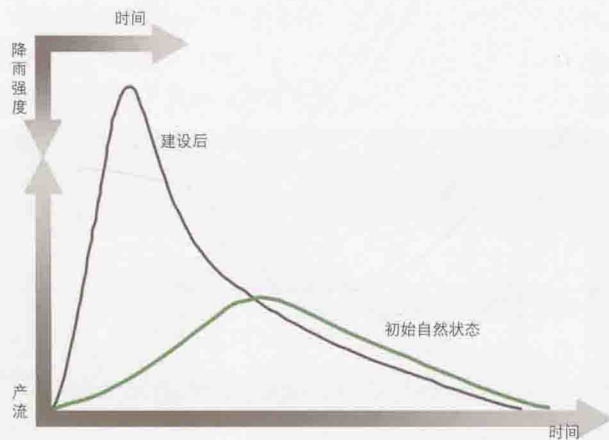


图 1-1-3 城市化对地表产流过程的影响

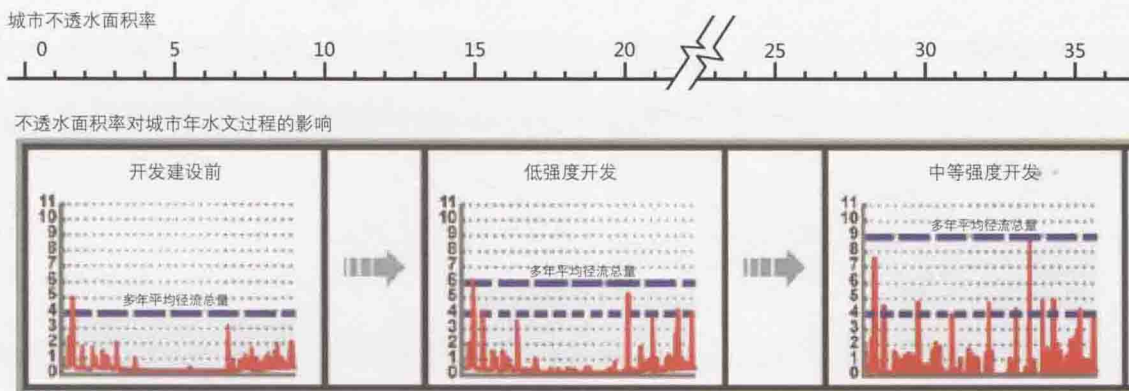


图 1-1-4 城市化对产汇流量的影响
(来源: BC MWLAP, 2002)

表 1-1-1 城市化的水环境效应¹

城市硬化率提高产生的水环境效应	直观表现					
	洪灾和湍急流	栖息地减少	侵蚀和沉积	河道拓宽	河床侵蚀	水质
地表径流总量增加	√	√	√	√	√	√
峰值流量增加	√	√	√	√	√	√
峰值提前	√	√	√	√	√	√
河道温度提高		√				√
河道基流减少	√	√				√
河道水沙比例改变	√	√	√	√	√	√

表 1-1-2 不同开发强度、不同雨洪管理方式下雨水资源的空间分配量²

开发强度	土壤类型	雨洪管理方式	平均值 (mm)			
			降雨量	地表径流	下渗	蒸发
自然地	砂土		804	77	418	365
中等开发强度	砂土	无管理 ³	804	291	264	289
中等开发强度	砂土	传统暴雨管理方法 ⁴	804	259	291	284
中等开发强度	砂土	生态化暴雨管理方法 ⁵	804	183	363	303

注：1 源自 *Credit Valley Conservation, 2007b*

2 源自 *Credit Valley Conservation, 2007b*

3 无暴雨水管理；

4 传统暴雨管理方法，例如蓄滞区；

5 生态化暴雨管理方法，包括源头措施、管网以及末端的大型湿地。

1.2 传统雨洪管理模式

传统的雨洪管理模式依靠地下管网系统排水（见图 1-2-1）。在世界城市开始步入工业化以及城市化初始阶段，这种快速、高效收集雨水径流并将其排至城市下游的方式确实有效地解决了城市的排涝问题。此后，随着工程技术的不断进步，出于对污染防治和下游地区城市饮用水安全的保障考虑，城市依靠管网的雨洪管理模式从早期的雨污合流向雨污分流形式转变。前者指废水与雨水排入同一套管网系统中，雨水混着污水一同经管网排至河流等自然水体；后者指污水与雨水分别进入两套彼此分离的管网系统中，污水输送至污水处理厂处理，雨水则排至受纳水体中（见图 1-2-2）。

在我国，自 20 世纪 80 年代起，从合流向分流制管网转变的“排水体系改革”在全国各大城镇广泛铺开，并率先在广州、昆明、天津、南京等城市中心城区实施改造工程进行尝试，力图在汛期或者大暴雨来临时，避免大量雨

水径流混合污水因受管网过流能力限制，溢流至地表或进入自然受纳水体，造成内涝、水体污染等问题。然而，由于种种原因，无论从内涝防治还是水环境改善的角度来看，效果似乎都并不明显。以南京为例，始于 2010 年的雨污分流改造工程耗资 180 亿，但据南京市环保局发布的《2012 年南京市环境状况公报》公布，2012 年外秦淮河水质总体劣于 2011 年水平，几项主要污染指标如氨氮、COD 和石油类都超过了 IV 类水质标准，处于劣 V 类水平。不仅如此，近年来我国城市“逢雨必涝”现象突出，据住建部 2010 年对我国 351 个城市进行的城市排涝调研结果显示，之前 3 年间有 62% 的城市发生过不同程度的内涝，这种情况甚至扩大到干旱少雨的西安、沈阳等西部、北部城市。2012 年北京“7·21”城市大规模内涝事件，更是造成 79 人死亡，160.2 万人受灾，经济损失 116.4 亿元。



图 1-2-1 地下给排水管网

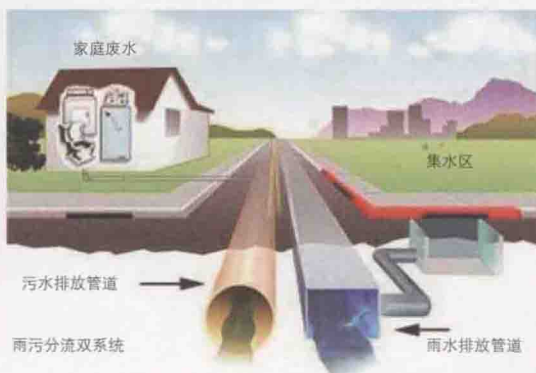
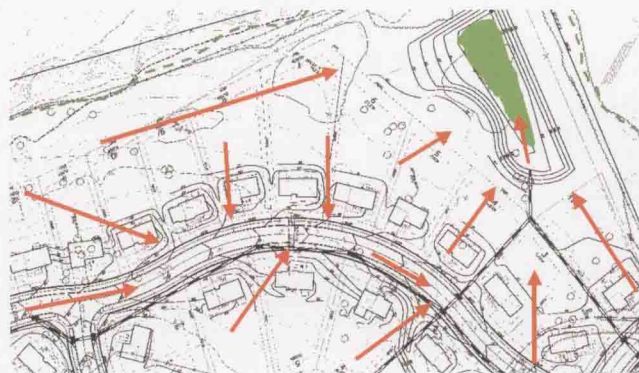


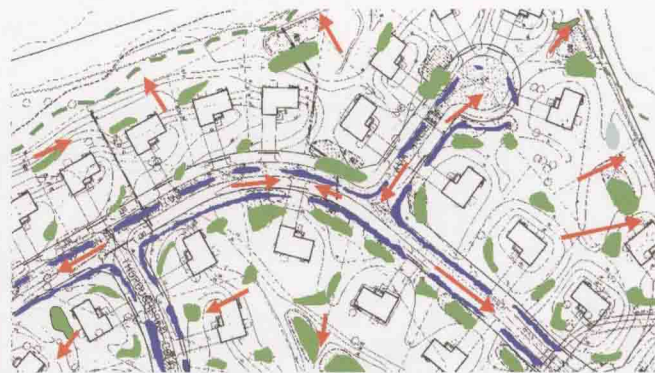
图 1-2-2 城市排水进入雨污分流阶段

上述现象究其原因，有管网系统自身的问题，也有来自外部的压力。自身问题：市政管网作为城市地下工程性基础设施，无法针对快速的城市变化做出及时调整甚至改变。若进行应对，必然产生高额资金投入，并对城市交通、市民生活等造成影响。例如，采用雨污合流制排水方式的场地，原为低层建筑区，拆改重建后成为多层或高层建筑群，容积率大幅提高，场地实际建设规模成倍增长，原有的地下管网必然难以承受增加了数倍的排水量，内涝隐患加剧。加之我国排水管网建设标准偏低，规划布局不够合理，水环境问题日益突显。外部压力：城市硬化率大幅提高，原始自然水循环过程中的下渗、蒸发环节被阻滞。近年来随着城市不透水面积的激增，相同降雨条件所对应的雨水径流量成倍增长，汇流时间急速缩短。规模相对稳定的城市排水管网排水难以应对城市水文过程的巨变。

由此可见，在很大程度上单纯依靠地下管道的传统城市雨洪管理模式既不可持续，也难以应对城市的快速发展以及全球日益突显的气候变化问题。伴随国际水资源意识的增强以及环境保护意识的加深，调整传统雨洪管理模式，使之向更为生态化、可持续化的方式转变，充分利用城市不同层面的建设机会，合理发挥不同城市管理部门的职责，并全面调动全民参与的积极性，成为国际社会普遍认可的未来城市水环境改善的新机遇。在此背景下诞生的“海绵城市”理念，作为城市水环境改善领域的中国声音，将助力中国城市水问题的解决。图 1-2-3 所示为集中处理的传统雨洪控制与分散处理的低影响开发策略 LID 雨洪控制的空间比较。



集中处理：排水压力大



分散处理：源头处理，减轻压力

图 1-2-3 雨洪管理集中处理方式与分散化处理方式的比较

1.3 海绵城市

2013年中央城镇化工作会议明确指出：“解决城市缺水问题，必须顺其自然。比如，在提升城市排水系统时要优先考虑把有限的雨水留下来，优先考虑更多利用自然力量排水，建设自然积存、自然渗透、自然净化的‘海绵城市’，推行低影响开发。”

为了大力推行海绵城市生态化雨洪管理理念的推广和落地工作，2015年，我国中央财政部发布了有关建设海绵城市资金补助的政策文件。相关文件明确指出对于申请海绵城市建设试点的地区，在三年内中央财政将给予补助。补助金额根据城市规模的大小，按照直辖市、省会城市以及其他城市划分三类：直辖市的补助金额为每年6亿元，省会城市每年5亿元，其他城市每年4亿元。文件同时提出若某个城市或地区采用公私合营模式进行雨洪管理且效果明显，则所得资助将在原补助金额的基础上给予10%的奖励。消息一经公布，全国各地积极响应，有百余城市开展了试点城市的申请工作。经过从申报、筛选再到评价的激烈竞争，经过国家中央财政部、住建部、水利部三部委的联合审查与评估，2015年4月2日中央财政部网站公

布了我国第一批海绵城市建设试点城市名单，其中包括济南市、重庆市、厦门市、武汉市等16个城市。截至2015年8月，这些试点城市的建设项目已经全面展开。以济南市为例，济南建设试点区总面积为39平方千米，区内需实施海绵城市建设理念和措施的项目共计43个，已经实施开工的项目为21个，接近半数。可见，我国海绵城市建设正在如火如荼地进行。图1-3-1为海绵城市的模式图示。

本书将以天津大学风景园林系曹磊教授工作室4个不同类型的海绵城市景观规划设计项目为例（天津大学北洋园校区景观规划设计、天津蓟县于庆成雕塑公园景观规划设计、天津大学阅读体验舱景观设计、天津大学建筑空间环境实验舱景观设计），阐述城市生态化雨洪管理理念与措施在中国的实践应用。尽管这些项目中的具体做法、手段未必能简单地移植到其他项目中，但是相信书中的内容可以激发广大读者对海绵城市建设的热情与期待，启发该领域出现更具特点、更具创意的设计作品，为海绵城市建设作出一定的贡献。

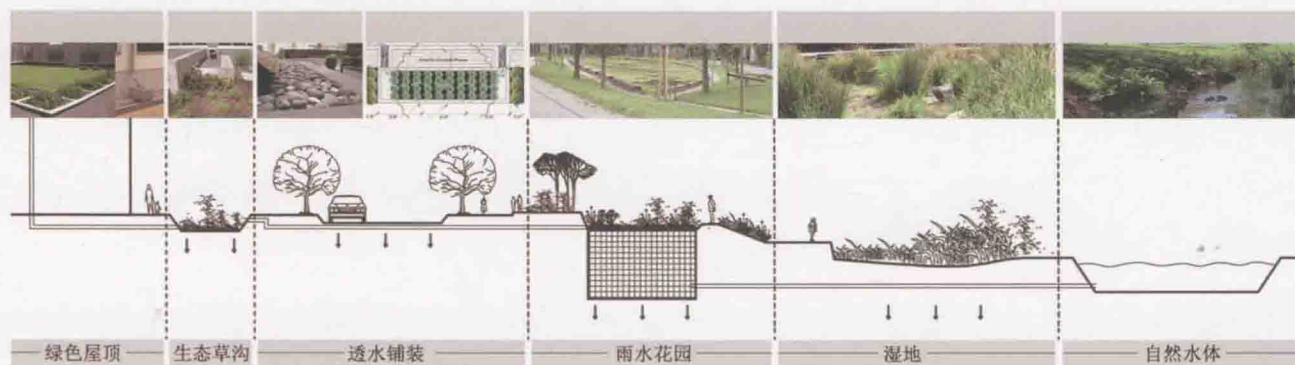


图 1-3-1 海绵城市模式图示



第2章 城市生态化雨洪管理与海绵城市

2.1 城市生态化雨洪管理

2.2 海绵城市基本理论

2.3 海绵城市建设技术要素与措施

2.1 城市生态化雨洪管理

“城市雨洪管理”这一概念最初由国外引入，包括城市防洪排涝、降雨径流面源污染控制和雨水资源化利用三个主要方面。其具体内涵可理解为：城市雨洪管理是在法律、政策、经济等条件的保障或约束下，通过规划、设计、工程、管理等途径，鼓励雨水径流的蒸发、下渗、储水和再利用，从而减少或消除城市降水径流过程中潜在的城市内涝、下游洪水、河道侵蚀、面源污染等问题，以及在特定条件下对雨水进行收集与利用的一种系统化的管理方

式。该概念区别于城市传统市政管网对待雨水径流的快排速泄方式，以“促进雨水重返自然循环过程”为核心特点（见图 2-1-1）。伴随城市管理部门和相关研究机构对于城市化与城市内涝、水质恶化内在关系的认识日趋明晰，“还原自然”水循环模式的雨水管理概念逐渐深入人心，由此“效仿自然”的绿色雨洪管理技术、措施不断出现。“生态化”和“可持续”成为城市雨洪管理又一核心内容。

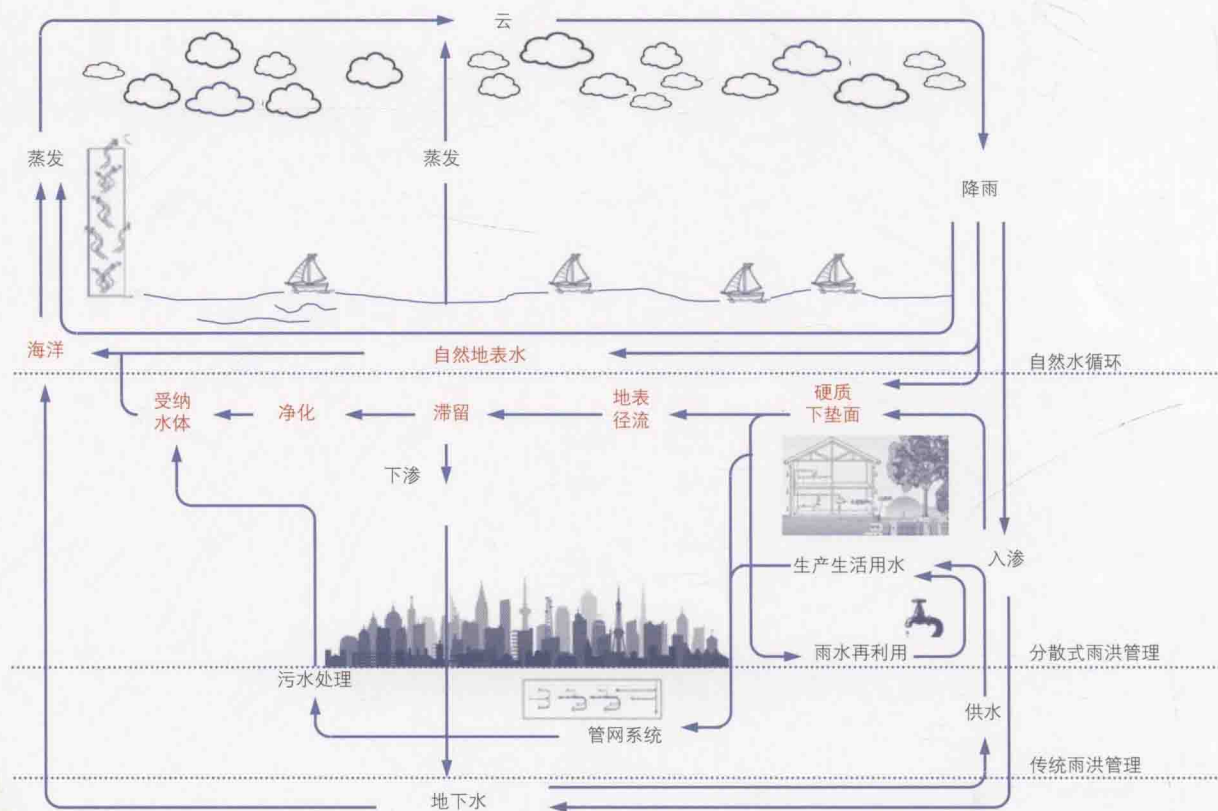


图 2-1-1 自然水循环与城市水循环系统的关系
(来源：作者根据 *Water Sensitive Urban Design—Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future* 改绘)

在过去的几十年间，世界各地纷纷就城市内涝、水质恶化问题展开研究。德国是第一个提出“源头就地处理”雨水径流的国家，并于20世纪90年代初开展生态化雨洪管理技术应用实践，如德国汉堡法姆森马场的新居住区开发项目。法姆森马场居住区位于德国汉堡东北部，19世纪初这里是一个砖厂，1911至1976年间成为了德国非常著名的赛马场。但此后由于赛马行业的衰败，赛马场被逐渐废弃。直至20世纪90年代，汉堡市政府决定将这一区域发展成为居住区。新规划设计注重场地文脉的传承，场地作为砖厂和赛马场的历史得以体现。住宅沿着赛马场的环形跑道呈椭圆形布置，场地中心的自然坑塘湿地被保

留下来（见图2-1-2）。社区禁止汽车进入，一条椭圆形慢行步道连接着社区内、外环的所有建筑，其间串联着若干不同主题的儿童乐园。场地规划最为突出的特点是慢行步道旁并行着的人工椭圆形带状水系。该水系以雨洪管理为目标，经植草沟收集雨后社区建筑、慢行步道产生的径流。水系内布设有若干阻水坎以保证水系维持一定的景观水位，遇较强降雨，当水位超过阻水坎高度时，水历经溢流口溢流至椭圆形中心的两个集中蓄水坑塘中（见图2-1-3~图2-1-6）。同时期的实践项目还有柏林的波兹坦广场项目。

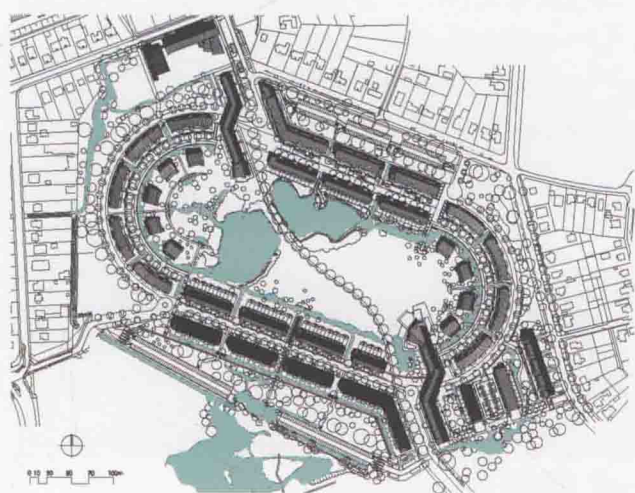


图 2-1-2 德国汉堡市法姆森马场居住区总平面图
(©Kontor Freiraumplanung Möller + Tradowski)

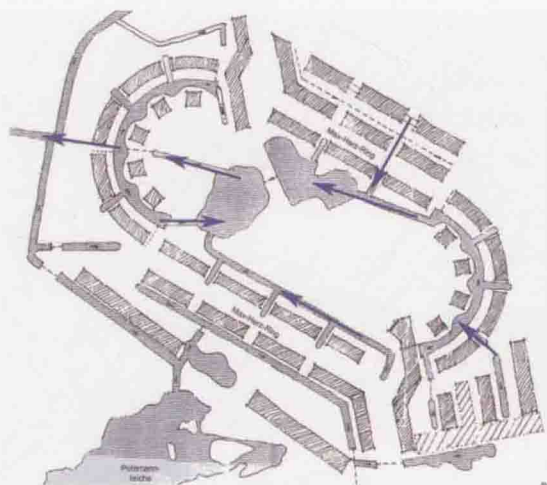


图 2-1-3 德国汉堡市法姆森马场居住区水循环系统分析草图
(©Kontor Freiraumplanung Möller + Tradowski)



图 2-1-4 下凹植草沟
(©M. Derneden)



图 2-1-5 人工水系收集雨水径流
(©M. Derneden)



图 2-1-6 循环系统末端的中央水池
(©M. Derneden)