

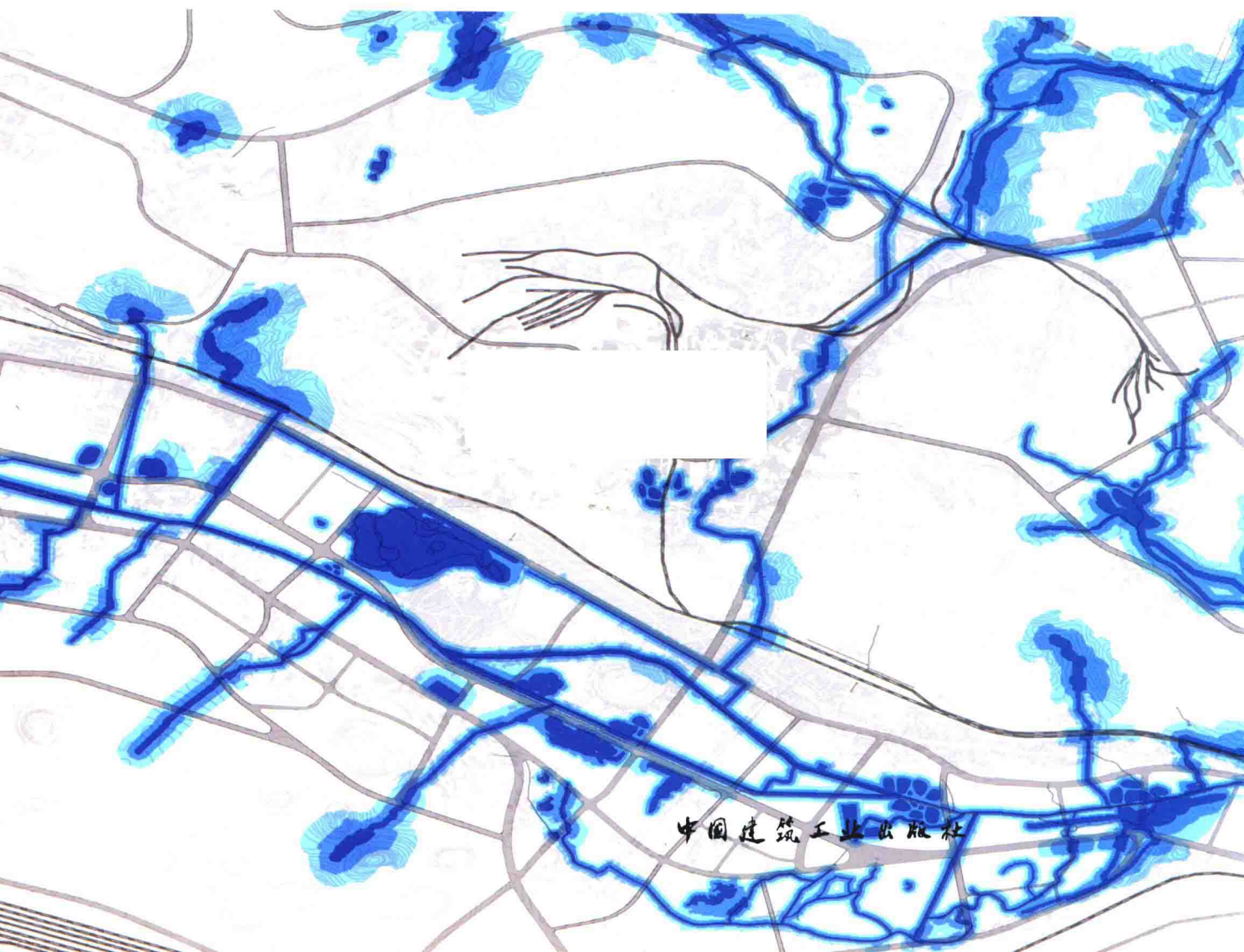


Sponge City: Theory and Practice

海绵城市

——理论与实践（上）

俞孔坚 等著



中国建筑工业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

海绵城市

——理论与实践

Sponge City: Theory and Practice

俞孔坚 等著

(上)

中国建筑工业出版社

审图号 GS (2016) 1143号

图书在版编目 (CIP) 数据

海绵城市——理论与实践 / 俞孔坚等著. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2016.6
ISBN 978-7-112-19489-6

I. ① 海… II. ① 俞… III. ① 城市—防洪工程—研究
IV. ① TU998.4

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第131705号

责任编辑: 郑淮兵 王晓迪
责任校对: 陈晶晶 刘 钰

海绵城市——理论与实践
Sponge City: Theory and Practice
俞孔坚 等著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京锋尚制版有限公司制版
北京方嘉彩色印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230毫米 1/16 印张: 51½ 字数: 1926千字
2016年7月第一版 2016年7月第一次印刷
定价: 368.00元 (上、下册)

ISBN 978-7-112-19489-6
(28607)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

在国家最高领导、国务院以及住房和城乡建设部等多个部委的积极倡导和推动下，海绵城市建设在各地轰轰烈烈地开展了起来，形势喜人，同时又让人担心，如果没有正确的理论指导、没有正确的方法和好的样板，这样运动式的、大规模的投资和建设很容易会事倍功半，甚至误入歧途。正当此关键时刻，俞孔坚及其团队近二十年的海绵城市研究和实践成果集结出版了，真可谓是雪中送炭。

作为海绵城市理念和实践的先行者，俞孔坚以其广阔的时空视野、严谨的科学思考、系统的方法论和技术体系，以及脚踏实地的众多实践案例，全面提出了海绵城市的定义、哲学、理论、方法和技术体系。

首先，他给了“海绵城市”一个系统而全面的定义，明确了海绵城市理论与方法探讨的边界，指出“海绵城市”既是一种城市形态（即生态型城市），也是一种关于雨、水及雨洪管理和生态环境治理的哲学、理论、方法和技术体系。

接着，他从哲学高度，深刻反思了工业革命以来人类对待雨和水的态度，反思了单一目标导向的“灰色”工程依赖所导致的各种城市病，提出了系统全面的雨和水的价值观，提出了系统解决以水为核心的综合生态与环境问题的方法论：通过建立生态基础设施（即绿色海绵系统），保障综合的生态系统服务，即供给、调节、生命承载和文化等服务，来系统地、综合地解决城市水及其他生态与环境问题。

最后，他又在三个尺度上，通过其亲自设计完成的遍布全国乃至世界的诸多优秀实践案例，注解了海绵城市的构建方法。他的国土海绵系统和区域海绵系统规划方法论在宏观尺度上把海绵城市引导到“海绵国土”和再造秀美山川的宏伟理想；而在最微观的尺度上，他把海绵城市理念引入每家每户，使海绵城市的建设融入人们日常的家居生活，让每个公民参与到生态文明的建设中。特别需要强调的是，他提出的宏观、中观和微观三个尺度上的海绵城市规划设计 and 工程建设体系，是和中国现行法定的城市规划体系相对应的，即城市总体规划、控制性规划，和修建性规划设计及项目工程的各个阶段，因而具有很强的可操作性，破解了当前海绵城市建设中经常遇到的一个疑问：即如何将海绵城市的规划设计植入现行的城市规划体系中。

除此以外，我觉得本书还体现了俞孔坚的工作具有以下三个突出的特点：

第一，问题解决与实验性相结合：俞孔坚及其团队能坚持不懈近二十年，非常难能可贵。当他的许多理念尚不被业界理解的时候，他就已经通过扎实的实验设计来证明其理念和技术的可行性；他把实际问题的解决与案例项目的实验性、教育性有机地结合起来，使项目具有可复制性和推广价值。他在全国各地的实验性工程，如哈尔滨群力雨洪公园、天津桥园，上海后滩公园、迁安三里河，等等，为我们积累了大量现实城市环境下的实验数据，如10%的城市用地来消纳城市雨水，每公顷强化型人工湿地可以净化800吨的劣V类河水至III类水，以及将雨水用作城市生产性景观建设以及土壤改良的技术数据、工程造价和管理成本等，都为各地的海绵城市建设提供了难得的实验依据。

第二，科学性与艺术性相结合：本书除了是迄今为止最系统、全面地阐述了海绵城市理论与方法的书籍之外，另一个鲜明的特点是在其工程案例中将科学与艺术完美结合，将当代环境艺术和景观设计语言与当代海绵城市建设的科学技术相结合。这具有很强的艺术感染力，因而具有很好的传播力，实际上它们在过去已经起到了很好的示范作用。无怪乎这些案例许多都在国际上获得了大量很高的奖项，并被收入欧美大学的专业教材，起到引领国际同行的作用。

第三，本土性与国际性相结合：毫无疑问，当代西方雨洪管理和生态修复理论与技术在俞孔坚的实践中得到了全面的应用，但俞孔坚并不迷信这些，更没有照搬照抄。俞孔坚的实验性工程所采用的技术大部分是在研究中国农业文明中水利遗产和农耕遗产的基础上，提升并再创造的，进而用于解决具有地域特色的当代中国城市水和生态环境问题。他对中国农民的造田、灌溉、种植和旱涝调节技术和智慧格外珍惜，诸如陂塘技术、桑基鱼塘技术、梯田技术等，通过其科学的升华和艺术的提炼，将其用于海绵工程之中。正如他是凭着中国农民千百年积累的智慧走向国际的，他的海绵城市建设路径是可以在中国大地上践行的。

鉴于以上原因，我非常乐意将此书推荐给正在探寻海绵城市建设理论、方法和技术的城市建设决策者、城市规划设计专业人士以及工程技术人员。并非常高兴地看到，俞孔坚及其团队近二十年的学术积累和实践成果，在当今宏大的海绵城市建设中，终于得以被认识和推广。



任南琪

中国工程院院士

住房和城乡建设部全国海绵城市建设技术指导委员会主任

哈尔滨工业大学教授

2016年3月3日

海绵城市建设将是我国新型城镇化的重要发展方向，这是由我国国情和水资源情况决定的：我国人均水资源少，目前年人均水资源拥有量为2070立方米，而世界的平均水平为7350立方米，在世界有水统计的192个国家中，中国的人均水资源量排名第121位；我国南北的水资源分布不均，南方的长江、珠江、东南诸河、西南诸河，四大流域占全部水资源量的81%，而北方的黄河、淮河、海河、辽河、松花江，内陆河六大流域只占19%；我国特殊的季风气候，导致水资源季节分布不均，夏季容易产生洪涝灾害，而冬春季节则容易发生干旱，2007年至2013年，我国超过360个城市遭遇内涝，其中，六分之一的城市单次内涝淹水时间超过12小时，淹水深度超过半米，北京、广州、济南等城市甚至发生了造成人员伤亡的严重内涝，而干旱问题却同样严重；不只水资源的量整体贫乏，而且，我国的水质污染也非常严重，特别是水系统的面源污染难以用简单的工程性方法来处理；与此同时，与水相关的生态系统的严重退化，亟待修复。正是在这样的背景下，以城市综合水环境治理为核心的海绵城市建设，得以在全国范围内广泛开展起来。

俞孔坚及北京大学和土人设计团队正是这场全国性海绵城市建设浪潮的引领者。近二十年的潜心研究和深入实践，形成了一整套的理论方法和技术体系。本书的出版，对于轰轰烈烈进行中的全国海绵城市建设，无疑是雪中送炭。

在当今世界，特别是在经过三十多年快速城镇化发展后的中国，水是制约可持续发展最为重要的因素，也是最复杂的因素，而水系统的破坏也是中国城乡环境破坏中最突出的，系统治理亟待进行。我主张水系统治理应该分为七个层次来考虑：一是水安全，就是防洪、排涝；二是水资源，即河流湖泊的供水功能；三是水环境，也就是水质治理；四是水生态，需要构建出和谐的水生态系统；五是水景致，打造出水清岸美的风景；六是水文化，挖掘河湖的文化内涵；七是水经济，通过提升土地价值，整合资源回收前期投资，使水生态治理可持续发展。如何将这七个层次统一协调起来，以实现水系统的综合治理并不是一件容易的事，而俞孔坚做到了！这得益于他具有关于水和水系统的全面的价值观，掌握了科学对待水和水系统的方法论，并在此基础上，探索了一套跨学科进行水系统规划设计的技术；同样重要的是，他能够针对现实问题，建立起一个综合各个专业的实践队伍，不断创新实践，并在实践中不断改进提高。近二十年来，他的团队在全国200多个城市完成了一千多个海绵城市规划设计实践项目，这对中国的生态城市建设来说是极其宝贵的财富。

正如俞教授在书中所强调的，“海绵城市”既是指生态城市的形态，也是关于水和水系统的价值观，也是指国土规划设计及新型城市规划设计的方法论，也包含系统解决水生态和水环境问题的技术体系。也就是说，对海绵城市理论必须从“道”（即“海绵”的哲学）、“术”（即海绵系统的规划设计方法及工程技术）和“物”（即建立在海绵系统基础上的城市或区域）三个方面来认识和掌握。而其中的道是根本，那就是俞孔坚讲的五个方面，一是完全的水生态系统价值观，而非功利主义的、片面的价值观；二是就地解决水问题，而非将其转嫁给异地；三是分散式的，而非集中式的，由千万个细小的单元细胞构成一个完整的“海绵”体系；四是慢下来而非快起来，滞蓄而非排泄；五是弹性适应，而非刚性对抗，要以柔克刚，人水和谐共生！至于用什么“术”，读者完全可以因地制宜，古今中外皆有丰富的技术宝库可供调用；而在“物”的层面，更需要跨尺度、跨专业去思考，从海绵社区、海绵城市到海绵区域、海绵流域、海绵国土。

我在水资源领域研究和实践数十年，难得看到一部如此理论与实践兼备、科学与艺术俱佳，跨学科、跨尺度，综合而系统地解决城乡水系统问题的优秀专著问世，乐为之序！



王浩

中国工程院院士

流域水循环模拟与调控国家重点实验室主任

中国水科院水资源所名誉所长

全球水伙伴中国委员会副主席

中国可持续发展研究会副理事长

2016年5月1日

中国的整体水环境和水生态问题已经到了危机的状态，以本人长期研究的长江流域为例，流域部分江段水体污染严重；近70%的湖泊处于富营养化状态，太湖、巢湖等等这些曾经美丽的湖泊，都因为污染严重而一度造成地区的水安全危机；大量湿地严重退化，导致湖区水安全保障能力降低；长江渔业资源严重枯竭；长江流域水鸟栖息地的减少和破坏直接威胁着众多稀有鸟类的生存，生物多样性面临严重破坏。这种情况在全国其他流域有过之而无不及。而就在我们身边，我们生活的大部分城市逢雨必淹，北方城市有河皆干，南方城市的河流有水皆污。

在过去几十年的城市建设中，我们一方面投入了大量的资金，搞了大量的钢筋水泥“灰色基础设施”，如江河裁弯取直，渠化硬化工程，越来越高的防洪堤坝工程，城市集中排水管网工程，等等，它们都以单一目标为导向，破坏了自然水系统的完整和健康；另一方面，城市又投入巨资搞城市美化，热衷于堆假山、造假水、引种奇花异木，化妆式的园林绿地横行于各大城市，它们很少起到城市雨洪管理和水质净化的作用；而且这些绿地往往需要大量的灌溉、施肥，甚至农药和高投入的维护，反而给城市的市政设施和水生态系统带来严重的负担（包括带来河湖的富营养化、地下水位的下降、乡土生物多样性的减少等）。这样的城市绿地，尽管有绿的颜色，却缺乏“绿”的功能。

面对如此严峻且更复杂的城乡水环境和水生态问题，我们再也不能用简单的工程思维来应对了，城市的绿化美化必须与城市的生态修复和环境治理紧密结合。对待综合的、普遍的水生态和水环境问题，必须有系统的、生态的思维、理论、方法论及技术！海绵城市无疑是解决城市雨涝问题、同时系统解决水生态和水环境问题的根本出路。我们必须根据城市所在流域、区域及城市本身的特征，构建多尺度、多类型的城市海绵体系，通过优化“渗、滞、蓄、净、用、排”之间的关系，设计符合城市特点的海绵体。这样的海绵系统，不仅仅具有综合的生态功能，同时也具有美丽的外貌，并且具有提升城市经济价值的功能，也就是本人一直倡导的水安全、水环境、水景观、水文化、水经济五位一体的综合功能。

俞孔坚及其领导的团队，既是海绵城市理念的重要倡导者，也是海绵城市实践的引领者。二十年来一直致力于城乡生态环境综合治理的研究与工程实践，开创了生态安全格局理论与方法，提出通过建立生态基础设施来综合解决城乡生态与环境问题的方法论和技术体系。《海绵城市——理论与实践》一书是俞教授二十年来的理论研究与实践之集大成者，也是目前关于海绵城市最全面和系统的理论与方法论的探讨，更是其大量亲手实践案例之精选，集中体现了他知行合一的治学理念。在当前全国性的海绵城市建设大潮来临之际，该书的出版，具有重要的理论和实用价值。通观全书，我特别提醒读者关注该书的以下几方面的贡献：

第一，厘清海绵城市的学理。“海绵城市”作为一个名词，势必会有纷繁的解释、支离破碎的理解，亟待正本清源、厘清其学理。俞孔坚的著作里，把“海绵系统”定义为生态基础设施。这个海绵系统具有综合的生态系统服务功能，包括供给服务、调接服务、生命承载服务和文化服务。海绵系统的这一定义，使具有中国特色的“海绵”概念与国际上关于生态系统服务的科学研究语境紧密联系在一起，为海绵城市的理论和方法确立了科学基础。本书清晰界定了“海绵城市”的概念，明确其包含关于水及水问题的认识论，通过生态基础设施来进行系统解决城乡水生态与水环境的方法论及技术体系，以及建立在生态基础设施之上的海绵型城市等三重含义。

第二，阐明海绵城市建设的目标。本书提出了海绵城市建设的目标不能仅仅局限于对雨水的量和质的管控，而应该以全面提升生态系统服务为目标，来规划和设计海绵系统；对海绵城市建设的认识不宜拘泥于LID的源头减排范畴，而应该从流域和全生命周期内来认识和理解以水为核心的生态基础设施设计。

第三，建立方法体系并与现行规划体系无缝对接。如何与现行国土、区域和城市规划体系对接，是目前海绵城市建设的一大难点，本书提出了从宏观、中观和微观三个尺度上，进行海绵城市的规划设计，并分别与现行法定的总体规划、控制性规划和修建性详细规划各个层面上实现对接。

第四，可复制的实践案例。本书的另一可贵之处是其收集了俞教授亲自主持设计的建成案例，有的已经过了十多年的检验并有运行后的观察，具有一系列模块化的设计，有很强的可复制性和推广价值。当中所呈现的建成案例除了具有实质性的生态功能外，大多都景观优美，有许多获过国际奖项，这不是能复制和照搬的，科学和艺术的完美结合是需要设计师的匠心的。

鉴于以上诸方面的贡献，作为长期致力于水生态与水环境治理的研究和实践者，我期待《海绵城市——理论与实践》一书能在全中国范围内的海绵城市建设热潮中，发挥重要的作用！



王超

中国工程院院士

河海大学副校长，教授、博士生导师

国家重大基础研究计划“973计划”项目首席科学家

中国环境学会水环境专业委员会副主任委员

中国水利学会环境水利专业委员会副主任委员

2016年5月7日

目录

序一	24 2.1.4 结语
序二	
序三	
1 导言 问题与背景	26 2.2 国外传统农业水适应景观研究概况
1 0.1 缘起	26 2.2.1 引言
1 0.2 海绵城市的中国性	27 2.2.2 造田方式和典型农业类型研究
1 0.2.1 复杂的水问题	29 2.2.3 适应性水利设施景观研究
2 0.2.2 水问题形成的自然背景	32 2.2.4 水灾害适应策略研究
3 0.2.3 水问题形成的社会经济背景	32 2.2.5 结语
4 0.2.4 常规解决途径的困境	
5 0.3 海绵城市理论与实践的发展	35 2.3 中国传统城镇水适应性景观概况
	35 2.3.1 引言
9 第一章 “海绵”与“海绵城市”的哲学	36 2.3.2 古代城镇的水适应性景观的外部环境
10 1.1 水殇	37 2.3.3 古代城镇的水适应性景观形态
11 1.2 雨殇	39 2.3.4 古代城镇的水适应性景观要素
12 1.3 海绵的哲学	42 2.3.5 古代城镇水适应性景观的价值和启示
13 1.4 新型城市的生态基础设施	
15 第二章 海绵城市遗产与综述	44 2.4 国外传统城镇水适应性景观研究概况
16 2.1 中国传统农业水适应景观概况	44 2.4.1 引言
16 2.1.1 引言	44 2.4.2 水适应性聚落选址
17 2.1.2 洪涝适应性农业景观	45 2.4.3 水适应性水利设施
20 2.1.3 干旱适应性农业景观	48 2.4.4 水适应性城市形态
	49 2.4.5 结语
	50 2.5 黄泛平原古城镇洪涝经验及其适应性景观
	50 2.5.1 引言
	50 2.5.2 黄泛平原城镇的洪涝灾害经验
	51 2.5.3 黄泛平原古城镇洪涝适应性景观
	55 2.5.4 结语
	57 2.6 黄泛平原“水城”景观及其保护
	57 2.6.1 引言
	57 2.6.2 黄泛平原“水城”景观及其形成

59		2.6.3	消失中的“水城”
60		2.6.4	回归“生存的艺术”：“水城”保护与建设途径
61		2.6.5	保护、恢复和重建与黄泛平原相适应的水系统：菏泽“水城”案例
63		2.6.6	结语

66 | 2.7 陂塘景观研究进展与评述

66		2.7.1	引言
66		2.7.2	陂塘的相关定义与特征测度
68		2.7.3	陂塘景观的生态功能
69		2.7.4	不同发展阶段下陂塘景观的变化
71		2.7.5	陂塘景观的综合评价、保护与利用
71		2.7.6	结语

72 | 2.8 国外现代城市雨洪管理发展综述

72		2.8.1	发达国家现代城市雨洪管理发展历程
73		2.8.2	发达国家可持续城市雨洪管理的进展
76		2.8.3	对我国城市雨洪管理的启示

77 | 2.9 城市水系统弹性研究进展

77		2.9.1	弹性概念的发展历程
79		2.9.2	城市水系统弹性概念及发展
81		2.9.3	城市水系统弹性的评价方法研究
81		2.9.4	弹性策略
84		2.9.5	研究展望

87 | 第三章 海绵城市定义及其构建方法

88		3.1	海绵城市是关于雨、水及其问题的价值 观、认识论和方法论
----	--	-----	--------------------------------

89		3.2	海绵城市是指建立在生态基础设施之上的 健康的城市形态
----	--	-----	-------------------------------

90 | 3.3 海绵城市是一种以生态基础设施为先导的
城市规划设计方法论

90		3.3.1	城市生态基础设施（海绵系统）的空间构 建方法
90		3.3.2	多尺度的海绵系统与法定城市规划体系相 对应

93 | 3.4 海绵城市工程是古今中外多种技术的集成

93		3.4.1	古代水适应智慧和技术遗产
93		3.4.2	生态设计和生态修复技术
94		3.4.3	当代雨洪管理技术

94 | 3.5 海绵城市体现在具体场地的系统设计

96		附1	构建生态基础设施的关键战略
101		附2	基于生态基础设施的城市“反规划”途径

108 | 第四章 宏观：海绵国土与海绵区域
总体规划

109 | 4.1 国土尺度海绵系统：中国水生态安全格局

119 | 4.2 华北地区海绵系统构建

119		4.2.1	北京水生态基础设施规划：首都的海绵系统
127		附	北京中心城区内涝成因

136 | 4.3 黄淮下游平原海绵系统构建

136		4.3.1	东营案例：解决城市生态环境问题的生 态基础设施途径
144		4.3.2	菏泽案例：作为禁建区的城市绿色海绵

152 | 4.4 长江中游平原海绵系统构建

- 152 | 4.4.1 岳阳案例：基于陂塘景观的海绵系统构建
- 177 | 4.4.2 黄冈案例：海绵城市规划与城市控制性规划的结合

190 | 4.5 江南水乡海绵系统构建

- 190 | 4.5.1 杭州案例：老城水系统的再生

202 | 4.6 东南沿海地区海绵系统构建

- 202 | 4.6.1 台州案例：基于生态基础设施的城市空间发展格局
- 218 | 4.6.2 福建东山案例：海岛型海绵系统构建

238 | 4.7 山东半岛海绵系统构建

- 238 | 4.7.1 威海案例：构建山海之间的城市海绵

249 | 4.8 四川盆地海绵系统构建

- 249 | 4.8.1 遂宁案例：海绵系统与城市总体规划的衔接

265 | 第五章 中观：海绵城市控制性规划

266 | 5.1 海绵系统优先的城市设计

- 266 | 5.1.1 玉环港北新区：从总体规划到控制性详细规划城市海绵
- 280 | 5.1.2 武汉五里界海绵城市设计：生态基础设施先行
- 292 | 5.1.3 重庆市江津北部新区：景观都市主义视角下的海绵城市设计
- 306 | 5.1.4 海口江东组团：热带滨海城市海绵系统构建
- 317 | 5.1.5 巴厘岛海龟岛：热带海岛雨洪管理系统构建
- 327 | 5.1.6 中关村生命科学园：海绵园区与创新网络

- 334 | 附1 中关村生命科学园中心区建成景观

- 340 | 5.1.7 中关村软件园海绵园区规划：生命之树概念

346 | 5.2 基于已有城市布局的海绵系统规划

- 346 | 5.2.1 广州天河智慧城海绵系统构建
- 366 | 5.2.2 西咸沣西新城海绵系统构建
- 376 | 5.2.3 天津南部新城海绵系统构建
- 389 | 5.2.4 大连太平湾临港经济区海绵系统构建
- 408 | 5.2.5 北京亦庄开发区南部产业新区海绵系统构建
- 415 | 5.2.6 美国密西西比河沿岸之明尼阿波利斯段海绵系统构建
- 432 | 5.2.7 俄罗斯喀山市卡班湖群海绵系统构建

450 | 5.3 海绵体规划

- 450 | 5.3.1 慈溪三灶江滨河区海绵系统构建：城市水系多目标景观设计
- 465 | 5.3.2 昆明滇池水系绿道：线性海绵系统构建
- 480 | 5.3.3 昆明滇池西岸生态基础设施：山湖海绵系统构建
- 495 | 5.3.4 美国奥斯汀沃勒溪：海绵技术营造城市绿洲
- 505 | 5.3.5 长江新济洲湿地生态修复：洲滩海绵体规划
- 511 | 5.3.6 遂宁圣平岛海绵岛屿设计：古代智慧启迪当代设计

521 | 第六章 微观：绿色海绵工程系统设计
与案例

522 | 6.1 海绵细胞，从小做起

- 523 | 6.1.1 家庭海绵技术概述

523 | 6.1.2 案例之一：北京褐石园公寓生态住家

532 | 6.1.3 案例之二：法国肖蒙的中国方圆

536 | 6.2 渗透消纳，化有为无

536 | 6.2.1 消纳技术概述

537 | 6.2.2 案例：国际关系学院校园

546 | 6.3 缓流滞蓄，聚水若财

547 | 6.3.1 滞蓄技术概述

547 | 6.3.2 案例之一：辽宁公安司法管理干部学院之海绵校园

565 | 6.3.3 案例之二：哈尔滨群力湿地公园：绿色海绵营造水弹性城市

578 | 6.4 与水为友，弹性适应

579 | 6.4.1 与水为友的技术概述

580 | 6.4.2 案例之一：浙江黄岩永宁公园

586 | 6.4.3 案例之二：金华燕尾洲

594 | 6.5 湿地净化，变废为宝

595 | 6.5.1 加强型人工湿地净化技术概述

595 | 6.5.2 案例之一：上海后滩公园：景观作为生命系统

617 | 6.5.3 案例之二：从郊外鱼塘到城市海绵——宜昌运河公园

625 | 6.6 回归生产，循环闭合

626 | 6.6.1 从“污水”到“肥水”的技术概述

626 | 6.6.2 案例之一：沈阳建筑大学稻田校园

635 | 6.6.3 案例之二：秦皇岛森林公园（二期）

641 | 6.7 仿生修复，自然做工

642 | 6.7.1 生态系统服务仿生修复技术概述

642 | 6.7.2 案例之一：天津桥园

651 | 6.7.3 案例之二：秦皇岛海滨生态修复

659 | 6.8 变灰为绿，去硬还生

660 | 6.8.1 水岸生物技术概述

662 | 6.8.2 案例之一：秦皇岛护城河生态修复

674 | 6.8.3 案例之二：宁波鄞州中心区水系生态修复

682 | 6.8.4 案例之三：中山岐江公园亲水生态护岸

688 | 6.9 最少干预，惜墨如金

689 | 6.9.1 最少干预的技术概述

690 | 6.9.2 案例之一：秦皇岛红飘带公园

698 | 6.9.3 案例之二：哈尔滨文化中心湿地

708 | 6.10 系统集成，综合治理

708 | 6.10.1 案例之一：六盘水城市水系统综合治理

724 | 6.10.2 案例之二：迁安市三里河绿道

736 | 6.10.3 案例之三：天津海河教育园区的量化海绵系统

762 | 参考文献

781 | 附件 关于建设生态基础设施及城市绿色海绵系统给中央和北京市领导的建议

802 | 本书贡献者

导言

问题与背景

0.1 缘起

习近平总书记在2013年12月中央城镇化工作会议上要求,“建设自然积存、自然渗透、自然净化的‘海绵城市’”。为了贯彻落实习近平总书记讲话及中央城镇化工作会议精神,2014年2月《住房和城乡建设部城市建设司2014年工作要点》中明确提出:“督促各地加快雨污分流改造,提高城市排水防涝水平,大力推行低影响开发建设模式,加快研究建设海绵型城市的政策措施”。并于同年11月发布《海绵城市建设技术指南》。2014年12月财政部、住建部和水利部共同发布《关于组织申报2015年海绵城市建设试点城市的通知》,正式拉开海绵城市试点建设大幕。2015年4月2日,16个海绵城市试点名单公布,海绵城市建设试点工作迅速全面铺开;7月10日,住建部出台《海绵城市建设绩效评价与考核办法(试行)》进一步加强引导和规范试点城市建设工作。2015年9月11日住建部专门成立了“海绵城市建设技术指导委员会”;10月12日,《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见》出台,旨在全方位进一步加强对海绵城市建设的技术指导和规范管理。一时间,“海绵城市”概念成为学术界、投资领域和广大公众的一个热点议题。号称数万亿的投资拉动效应正成为街谈巷议的重要话题。在拉动内需,绿色GDP考核等堂而皇之的口号之下,在商家们的鱼目混珠、利令智昏的追逐下,将不可避免地出现盲目的投资和盲目的工程,以至于出现过去常见的“好心办坏事”的悲剧,海绵城市很可能会成为一个挥霍和浪费自然及社会资产行为的幌子。

在此背景下,科学认识、系统理解海绵城市的概念和内涵,推广海绵城市的关键技术和经验及优秀案例,对避免理念和行动上的混乱,减少自然资产和社会资产的巨大浪费,具有重要意义。

0.2 海绵城市的中国性

0.2.1 复杂的水问题

认识和理解海绵城市,首先需要理解的是,海绵城市是立足于我国的水情特征和水问题而提出的一个综合、系统的解决途径。这些水情特征和水问题包括:

(1) 水资源短缺。从人均水资源占有量上看,我国人均占有量不足世界平均水平的1/4,被列为13个贫水国之一(宋全香等,2004)。据统计,我国有14个省(自治区、直辖市)的人均水资源占有量低于国际公认的1750 m³的用水紧张线(左其亭和陈曦,2003;张大玉和任夏媛,2005),全国661个建制市中,缺水城市占2/3以上,其中100多个城市严重缺水(吴季松,2003)。除地表水资源缺乏外,地下水超采现象也非常严重,浅层地下水的含量逐年持续下降(王会肖和王红瑞,2006)。如:北方平原地下水开采区浅层地下水储量累积变化自2003年呈现连续下降趋势,河北、北京、吉林、陕西和山东的平原区浅层地下水储量与1980年相比,累计分别减少721亿、91亿、38亿、33亿和29亿 m³(2011年中国水资源公报,2012)。即使在沿海降水量充足的地区,由于大量开采地下水,地下水位也大幅度下降,引起海水倒灌等问题。随着人口的增加,经济的发展,工农业与城市对水资源的需求逐年增长,区域性的水资源短缺问题将呈现进一步加剧的趋势。

(2) 洪涝灾害频繁。我国自古多水患,1949年以前,平均每2年发生一次洪水灾害,每次都造成严重的灾害损失,近年来我国水患灾害有更加频繁的趋势,社会经济损失巨大。仅2008年沿海地区共发生风暴潮25

次,直接经济损失192.24亿元(中国海平面公报2008,2009);国家防汛抗旱总指挥部(SFDH)提供数据表明:每年洪水灾害的直接成本超过100亿元,仅2010年,洪水造成直接经济损失176.5亿元人民币,受灾人口134万人。1998-2006年,国家每年为巩固防洪设施投资170.6亿元。从2011年开始,将分配4万亿元(约2010年的国内生产总值的10%)给国家水利工程,其中的38%将用于防洪防汛。除区域性的洪涝灾害以外,城市内涝问题也日趋严重,2010年,对全国32个省(自治区、直辖市)的351个城市(多为大中型城市)的调研发现,我国城市内涝问题呈加剧趋势。2008-2010年期间,被调研城市中有213个发生过不同程度的积水内涝,其中137个城市发生了超过3次以上的内涝。积水深度超过50 cm的城市占到74.6%、积水深度超过15 cm的占90%以上,积水时间超过30 min的占79%(侯玉栋等,2012)。2012年北京“7.21”特大暴雨,造成79人遇难,经济损失近百亿元,是我国城市内涝问题的典型表现。

(3) 水污染形势严峻。我国的地表水水质污染状况不容乐观。2014年,对全国21.6万 km²的河流水质状况进行的评价发现:全年Ⅰ类水河长占评价河长的5.9%,Ⅱ类水河长占43.5%,Ⅲ类水河长占23.4%,Ⅳ类水河长占10.8%,Ⅴ类水河长占4.7%,劣Ⅴ类水河长占11.7%,水质状况总体为中;对全国开发利用程度较高和面积较大的121个主要湖泊共2.9万 km²水面进行的水质评价发现:全年总体水质为Ⅰ~Ⅲ类的湖泊为39个,Ⅳ~Ⅴ类湖泊57个,劣Ⅴ类湖泊25个,分别占评价湖泊总数的32.2%、47.1%和20.7%。对上述湖泊进行的营养状态评价发现:处于富营养状态的湖泊有93个,占评价湖泊总数的76.9%(2014年中国水资源公报,2015)。沿海海域也呈现出严重的富营养化现象,2014年,全海域共发现赤潮56次,累计面积7290 km²。东海发现赤潮次数最多,为27次;渤海赤潮累计面积最大,为4078 km²。2014年赤潮次数和累计面积均较上年有所增加,与近5年平均值基本持平(国家海洋局,2015)。

地下水水质情况亦不容乐观。2014年,对主要分布在北方17个省(自治区、直辖市)平原区的2071眼水质监测井进行的监测评价发现:地下水水质总体较差。其中,水质优良的监测井占评价监测井总数的0.5%、水质良好的占14.7%、水质较差的占48.9%、水质极差的占35.9%(2014年中国水资源公报,2015)。水污染不仅导致了区域水环境恶化,同时还造成了“水质性缺水”,加剧了我国的水资源短缺问题。在这里必须注意的是,对水体污染的治理除了需要对点源工业和城市生活污染源的控制和治理外,更艰巨的任务将是对广大范围内的面源污染的治理,而后者正是海绵城市策略可以发挥巨大作用的地方。

(4) 栖息地大面积消失。河湖湿地提供着极为重要的生态系统服务,也是最为宝贵的生物栖息地。但是在城市化飞速发展的这几十年间,土地开发和城市建设导

致大量湿地、坑塘、河流等生态系统被占用,加上气候变化等原因,湿地河流生态系统退化相当严重。我国对水资源的开发空前过度,特别是北方地区,黄河、塔里木河、黑河等河流下游出现断流局面,湿地和湖泊大面积消失(王浩,2010)。据统计,在1978-2008年间,我国湿地面积减少了33%,东北区域和长江中下游地区等我国湿地集中分区的湿地面积呈持续减少的趋势(牛振国等,2012)。长江中下游因大规模围湖造田,五大淡水湖湿地面积锐减,其中洞庭湖的围垦面积最大,在1700 km²以上,洞庭湖面积由1949年的4350 km²缩减到1995年的2625 km²。三江平原地区为了开垦沼泽和沼泽化草甸湿地,修建的排水沟渠纵横交错,仅排水干渠即达10045 km,平原地区的湿地率由80.1%降至20.2%。我国自1949年以来,累计围垦滩涂湿地119万 hm²,若加上潮间带城乡工矿占地96.5万 hm²,人工养殖面积19.5万 hm²,滩涂湿地面积已丧失相当于现有海岸带天然湿地总面积的40%(刘兴土,2007)。国家林业局第二次全国湿地资源调查结果表明,作为国家重要生态资源的湿地,最近10年减少了339万多公顷,其中长江中下游和东北三江平原湿地面积减少最多、情况最严重(穆希,2015)。

(5) 水文化服务功能丧失。河湖湿地是区域和城市的重要景观类型,具有丰富的文化功能,包括审美启智。一条自然的河道和滨水带,必然有凹岸、凸岸、深潭、浅滩和沙洲,呈现丰富多样的自然形态之美,在这里,动物与植物相依偎、动与静相映衬,自然而不凌乱,变化而不失秩序。然而,我们在城市建设中,对作为城市生命的水系统毫不尊重,长期以来,许多城市不惜变卖具有重要文化服务功能的河漫滩以谋求城市发展所需要的土地;剩下的狭窄河道也被道路和建筑所侵占、填埋或覆盖、水系被当作城市排污通道和垃圾场。与此同时,源于小农时代对水的恐惧意识和工业时代初期工程至上的硬化、渠化和拦河筑坝等理念和方式,支配着城市水系的治理工程,导致河道被裁弯取直、河流水系的连通性被隔断、千百年的水文化遗产遭到破坏。这些不当的河流整理工程在严重损害河流生态系统功能的同时,也毁掉了城市河流的社会文化功能和审美功能,滨水地带的经济价值也得不到充分的发挥。曾经自然的、水草丛生、白鹭低飞、青蛙缠脚、鱼翔浅底的河岸,被僵硬的水泥护岸和雕琢的人工装饰所代替,变得寸草不生,生物多样性消失,水体的生态自净功能丧失,更毋庸说美学功能(俞孔坚和李迪华,2003a)。

0.2.2 水问题形成的自然背景

(1) 季风性气候决定了我国旱涝灾害同时频发。海绵城市是针对中国独特的地理气候特征提出来的。我国降水受东南季风和西南季风控制,年际变化大,年内季节分布不均,主要集中在6-9月,占到全年的60%~80%,北方甚至占到90%以上,同时,我国气

候变化的不确定性带来了暴雨洪水频发、洪峰洪量加大等风险，导致每年夏季成为内涝多发时期。同时，由于汛期洪水峰高量大，绝大部分未得到利用和下渗，导致河流断流与洪水泛滥交替出现，且愈来愈极端。资料表明，最大洪峰流量与年最大洪峰流量平均值之比，在北方达到5~10倍，南方达到2~5倍，年内和年际以及地区间的极度不均衡，导致洪涝灾害风险过大（龚子同，1998）。

（2）在我国西高东低的地理特征和季风气候影响下，水资源时空分布不均。从空间分布上看，水资源分布不均，尤其与土地资源和生产力布局不匹配，表现为：南方地区面积占全国的36%、人口占54%、耕地占40%，但水资源量占全国的81%；而北方地区面积占全国的64%、人口占46%、耕地占60%，水资源量仅占全国的19%。从时间分布上看，全年降水量和河川径流量的60%~80%集中在汛期，南方地区最大和最小年降水量一般相差2~3倍，北方地区一般相差3~6倍；年际间河川径流量最大和最小年份可相差10倍以上，且往往出现连续丰水或连续枯水年的情况（左其亭和陈曦，2003）。水资源时空分布的不均是导致水资源短缺和水资源利用供需矛盾突出的客观背景。

针对这样的降雨特征和旱涝灾情，要求人类的生产、生活和居住空间具有相应的适应能力。这就注定了中国城市的雨洪管理策略和基础设施建设具有一定的特殊性。与中国地域气候特征相适应的、更富有水弹性的“海绵城市”理念因此得以孕育。

0.2.3 水问题形成的社会经济背景

近40年来快速的城镇化和工业化是我国社会经济发展的大背景，也是导致水环境问题持续恶化的一个不可忽视的条件，加重了水资源短缺而引发的矛盾，还带来了很多在发展之初我们所始料未及的水灾害：

（1）城镇化。1949年中国总人口为5.4亿，城市化水平仅10.6%，城镇总人口为5765万（国家统计局，2009）；2014年全国总人口约13.7亿，城镇人口为74916万人，占总人口的54.68%（国家统计局，2015）。盲目的城镇扩张，导致缩河造地、填湖造城，大量湿地和河漫滩消失，据不完全统计，全国湖泊面积减少了15%，陆域湿地面积减少了28%，使河道行洪、蓄洪能力下降。自20世纪90年代以来，长江、松花江、辽河、珠江、淮河、太湖流域等多地出现特大洪水和不利洪水组合，设计洪水量被迫大幅增加（王浩，2010）；城市化快速推进带来用水的高度集中，导致区域水量耗散通量增大，水循环过程特征

发生显著改变。2012年与2000年相比，中国城市用水量从1423.1亿 m^3 增加到2228.7亿 m^3 ，城市用水比例从25.9%上升至36.4%。用水量增加的同时，城市耗水增加也非常迅速（刘家宏等，2014）。同时，39个百分点的城市化率增长在空间上意味着非均衡的建设用地增长，例如，1981年中国城市建设用地面积约6720 km^2 （赵可等，2010），根据2014年城乡建设统计公报，2014年年末全国建成区面积已达到4.98万 km^2 （住房和城乡建设部，2015）；城市化和各项灰色基础设施建设以及不透水地面增加，直接导致植被覆盖减少、水土流失、水体系统破碎化、地表水与地下水联系中断，极大改变了径流、汇流等水文条件，量级暴雨的产流系数增大，雨水更快向低洼地汇集，总体趋势呈现汇流加速、洪峰值增高（Milliman, et al., 2008）。与此同时，大型城市形成热岛效应，进而产生雨岛效应，使城市更容易成为区域的暴雨中心，高强度暴雨发生得更为频繁（程晓陶，2010）。这些因素都必然加剧城市洪涝灾害风险，城市的水灾成因也更加复杂。

（2）工业化。全国工业总产值由1980年的4328亿元增长到2014年的227991亿元；人均工业用水量从1949年的4.3 m^3 提高到2014年的98.98 m^3 （国家统计局，2015）。与用水量的增长相比，更严峻的问题来自于工业废水排放。工业废水是我国水域的主要污染源。我国工业生产主要集中在几十个大城市，而这些城市大多建在江岸河畔，由于工业排放废水量大，再加上技术力量薄弱以及资金短缺，造成废水回收处理能力不足、工业废水的处理量少、达标率低，成为城市下游江段河流水质严重污染的主要原因（雷川华和吴运卿，2007）。

城镇化和工业化同时导致广大乡村的水生态系统的巨大破坏：粗暴的、城市化的灰色基础设施和“机械化”“现代化”工程延伸到广大的乡村，无情地切割着精巧而脆弱的乡村小生态系统；千百年来形成的、世代人所依赖和维护的水文化景观被毁弃，包括致密的民间灌溉系统、陂塘系统被大型的水利工程，如大坝和大型水库所替代（俞孔坚等，2015），曾经流入家家户户的水渠和门前的水井被集中式的自来水管所替代，沟渠坑塘被垃圾所充塞；便宜的化肥农药，替代了人畜粪便，被喷洒在广袤的大地上，前者成为水体面源污染物，而本来作为宝贝的有机肥却成为负担排放进入水系统；集中的饲养场和人工饲料的大量使用，在催生起一批批速生的猪、鸡、鸭和各类鱼的同时，也污染了一个个干净的水域、毒化了一片片丰饶的湿地。一项针对全国141个村庄的调查研究显示，46.1%的村庄水资源受到了污染，主要原因依次为工业污染、农药、化肥污染、生活垃圾和城市排污（唐丽霞和左停，2008）。陈敏鹏等（2006）在其研究中明确指出农业生产发展是造成区域环境压力的主要原因，其中畜禽养殖污染和化肥流失贡献较大。

0.2.4 常规解决途径的困境

直至今日，我们依然热衷于通过单一目标的工程措施，构建灰色的基础设施来解决复杂、系统的水问题，结果却使问题日益严重，进入一个恶性循环。为了解决水问题，我们花费了大量人力、物力、财力建设钢筋水泥、威力巨大、抑或“世界第一”的各类工程，诸如拦河筑坝、渠化河道、跨流域调水、城市集中排水管网工程、水景观工程等。截至2011年，全国已建堤防29万 km，是新中国成立之初的7倍；水库从新中国成立前的1200多座增加到8.72万座，总库容从约200亿 m³增加到7064亿 m³（周学文，2011）。在我国，对几乎所有流经城市的河流，都进行了河道改造、护岸加固，并建有堤防和水闸，几乎已不存在自然状态的河道；全国已建成流量为5 m³/s及以上的水闸98192座，其中大型水闸870座。长江流域闸坝超过1万座，大型水库达109座。黄河与淮河闸坝与水库数量次之（水利部，2014）。这些大型工程和基础设施的建设，也使得城市的发展更加依赖于更高的防洪堤、更粗的排水管道、更大规模的区域调水、更贵的污水处理设施和更脆弱的人工系统。

一味地迷恋单一目标的技术和工程措施，往往会得到适得其反的结果。如任南琪院士明确提出，治污产业同时也是高耗能产业，盲目提高标准只会加重环境负效应¹；我们靠大量堆砌所谓节能技术试图实现建筑的节能，结果实际能耗并没有降低，很多情况下反而能耗升高了（江亿，2009）。治水也是如此，河道裁弯取直往往导致河流生态系统的破坏，如长江的下荆江河段裁弯取直案例表明：裁弯后原河道长度缩短了1/3，比降加大，造成河道冲刷加大等不良影响（潘庆桢，2001）。河道硬化、渠化和裁弯取直及堤坝工程也影响了物质交换的速度、方式和量，导致了水系统的污染、富营养化和盐碱化等“生态阻滞”现象（Glińska-Lewczuk and Burandt, 2011），并将在长时间、大尺度范围内对河流的生境、生物资源、生物多样性及生态完整性以及水资源利用、水环境质量、河口生境等方面产生综合累积的负面影响（肖建红和施国庆，2007）。大坝阻隔了洄游性鱼类的通道，乡土物种数量减少，如我国的淡水江豚、印度的捕鱼猫、蜜獾等（迪谷，1996），优势种群发生交替（Benjankar, et al., 2012）。位于我国西辽河支流老哈河上的红山水库的建成，发挥了防洪和灌溉作用，却导致了下游土地的沙漠化（郝璐等，2008）；三峡水库竣工后，产生了水体污染加剧，回水区水体富营养化，鱼类生存环境恶化，种类减少，生物多样性锐减等问题（Yi, et al., 2010, 2013; Wang and Xia, 2009; Li, et al., 2012; Huang, et al., 2012）；“三面光”的河道不但让乡村的水牛望而却

步，青蛙不能上岸，还成为落水者的死亡陷阱。河道的渠化和硬化也导致本来优美的水体和滨水景观变得枯燥无味。

以排涝为单一目的的城市集中排水管道系统，不但不能适应中国大部分城市的季风性气候下的短时暴雨情况，同时还会将珍贵的雨水资源排掉，导致当地的地下水位持续下降；而且，径流在管道中的速度远远大于在自然地表中的流动速度，这种高速的汇集效应能够在流域出口处形成巨大的洪峰流量，同时也会使径流的汇集时间和峰现时间缩短，导致城市下游面临更大的洪水风险（Hollis, 1975）。

过去几十年中，全国各地花费巨资修建了无数的以美化和化妆为单一功能的公园和绿地，堆砌奇花异卉，营造假山假水，需要投入大量的人力和物力来精心维护，如大面积的观赏草坪和观赏花木，雨季需要排水，旱季需要浇灌，它们正是作者所批判的“小脚园林”（俞孔坚，李迪华，2003；俞孔坚，2006a；Yu, 2009）。它们往往成为城市的经济和生态的负担，每平方米的园林绿地维护成本少则10元，多则几十元不等。同时，这些“小脚化”的化妆式园林，不但没有提供很好的生态系统服务，还消耗大量环境资产，包括大量农药化肥的使用所带来的污染，大量灌溉带来的水资源的浪费，园艺品种和奇花异木对乡土生境的侵占等，加剧了城市的旱涝灾害。目前，中国的每个城市都有30%~50%的公共绿地，如果它们能够通过规划设计成为一种生态基础设施，发挥综合的生态系统服务功能，特别是城市旱涝的调节、水质的净化、食物和生物质能源的生产、乡土生物多样性的保护以及社会文化服务，那么，城市的内涝问题便可以迎刃而解，其他生态环境问题也将得到大大改善。

所以，那些看起来似乎让城市变得更安全、更高效、更清洁的灰色工程，使城市更优美的化妆工程，却往往使城市由于过度依赖人工的技术系统，水生态系统本身的综合生态服务功能得不到发挥，并遭到破坏，而变得更加脆弱、维护和运转费用更加昂贵，从而走向不可持续的道路；狭隘的、简单的工程思维，也体现在（或起源于）政府的“小决策”的和部门分割、地区分割、功能分割的水资源管理方式。水系统本是地球上最不应该被分割的系统，但我们目前的工程与管理体制却把水系统分解得支离破碎：水和土分离，水和生物分离，水和城市分离，排水和给水分离，防洪和抗旱分离……简单的工程思维和管理上的“小决策”直接带来了上述综合性水问题的爆发，诚如Odum所说：“小决策是一切问题的根源”（Odum, 1982）。所以，解决诸多水问题的出路在于回归水生态系统，通过建立一个生态基础设施来综合地解决诸多生态与环境问题，海绵国土及海绵城市的理念应运而生。

¹来自任南琪院士2014年12月5日在北京大学“生态文明与美丽国土”大师系列讲座上发表的题为“我国城市水资源与水环境可持续发展对策思考”的演讲。

0.3 海绵城市理论与实践的发展

海绵城市并非一个学术概念，所以，当其迅速地推广，并很快深入到实践层面和技术层面来进行讨论时，很多人开始追问其理论渊源：海绵城市的确切概念及其发展路径到底如何？其背后的理论基础又是什么？

首先，关于海绵城市的理论基础。目前对海绵城市的热议讨论中，理论的探讨相对薄弱，加强其理论框架的梳理是一个重要的课题。水科学、生态学中丰厚的研究基础早已为海绵城市的提出奠定了坚实的理论基础。其中，水循环理论和水生态系统理论是海绵城市理论体系中最基本和最具有支撑作用的两个理论。海绵城市强调的是水的自然属性和生态属性，水循环理论和水生态系统理论恰恰是把水这一要素放在自然生态系统中来予以研究和认识的。

水在地球系统中以气态、液态与固态的三种相态赋存在大气、海洋、陆地（包括河、湖与水库的地表水、土壤和地下岩层中储存的水）中，并包绕着地球。三种相态赋存的水在热力、分子力与重力等作用的驱动下，不断持续进行着循环运动与相变，积极实现着水量与能量的相互交换和转化，这就是我们常称的水循环（刘昌明和梁康，2009）。刘昌明院士曾明确指出，水循环原理不仅是水文学研究最为基本的原理，也是水资源合理开发利用最主要的科学依据。解决水资源、水环境、水生态、水灾害与水管理等方面问题的实质就是如何维持水系统的良性水循环。王浩院士在此基础上进一步提出，自然水循环结构和进程被人类打破后，以“供水-用水-排水”为基本过程的社会经济系统水循环的通量、路径和结构不断成长演变，形成了“自然人工”二元驱动力及结构的复合水循环系统（王浩等，2011）。只有充分了解了这些水循环过程，才能在宏观尺度理解水循环的生态效应，在场地尺度理解径流的形成和汇集过程，污染物在水、土环境中的迁移过程（陈敏建，2007；王超，1996）。“海绵城市”中关键的“积存、渗透、净化”过程恰恰就是复合水循环过程的一部分。

水生态系统（aquatic ecosystem）是指由水生生物群落与水环境共同构成的具有特定结构和功能的动态平衡系统。水生态系统和其他生态系统一样为人类提供着基本而丰富的生态系统服务。保护水生态系统的完整性和连续性，维护和提高其生态

系统服务能力是“海绵城市”建设的核心目标。在河流、湖泊生态系统的研究中，水生态系统理论已经被广泛应用（濮培民等，2001），同时有学者将针对城市的雨水利用、防洪排涝、污水排放和水环境保护等方面的研究均纳入到城市水生态系统研究范畴内（王沛芳等，2003）。更多随后发展起来的分支理论，如河流生态学、生态水利学等，针对不同类型的水体、水循环过程和水利工程展开了丰富的研究，更加系统地阐述了河流、湖泊等各类水体以及雨洪过程在自然生态系统中的支撑作用及其作用产生的机制，反省了现代各种涉水工程可能造成的生态负面效应（董哲仁，2009；丰华丽等，2002）。它们为后来在实践层面广为应用的河流生态修复、雨洪管理等规划设计方法及其相关技术的发展奠定了坚实的理论基础。

其次，关于“海绵城市”的概念。国际上行业内和学术界习惯用“海绵”来比喻城市的某种吸附功能，例如澳大利亚人口研究学者巴奇应用海绵来比喻城市对人口的吸附现象（Budge，2006）。近年来，更多的学者是用海绵比喻城市或土地的雨涝调蓄能力。“海绵城市”、“城市海绵”、“绿色海绵”、“生态海绵”、“海绵体”等这些非学术性概念之所以得到学界的广泛应用，恰恰在于其所代表的生态雨洪管理思想日益得到广泛认同。尽管表述有所不同，但核心思想是一致的。“海绵城市”直观地表述了具有“海绵特征”的城市，而“海绵”则是海绵城市功能的载体。早在2003年，笔者曾用“海绵”概念来比喻自然系统的洪涝调节能力，指出“河流两侧的自然湿地如同海绵，调节河水之丰俭，缓解旱涝灾害。”（俞孔坚和李迪华，2003）更早关于生态雨洪管理及生态治水的系统论述是2001年笔者和同事们提出的“城市生态基础设施建设的十大战略”（俞孔坚等，2001a），以综合生态系统服务为目的，来进行城市的景观系统建设，其中的两大战略都直接针对城市生态雨洪管理，包括，维护和恢复河道和海岸的自然形态，保护和恢复湿地系统。笔者严厉批判了当时盛行（现在仍然是）的河道渠硬化、城市建设中的“三通一平”破坏大量城乡湿地等现象，指出，要通过维护和完善城市的河流水系网络和湿地系统，来为城市提供综合的生态系统服务，包括提供干净的水，调节干旱和雨涝，补充地下水，为多样化的生物提供栖息地，和为城市居民提供休闲和审美启智的服务。这十大战略继