

沈阳·规划视野

2

本期主题 / 海绵城市与排水防涝

总第2期
201609

主管单位:沈阳市规划和国土资源局
主办单位:沈阳市规划设计研究院



12 海绵的哲学

17 北京市中心城防洪防涝系统规划概述

38 英国海绵城市建设基本思路

40 低影响开发原则与案例





沈阳·规划视野

本期主题

海绵城市与排水防涝

2

总第 2 期

主管单位 沈阳市规划和国土资源局

主办单位 沈阳市规划设计研究院

编委会 严文复 曾庆元 沈 跃 曲长令 赵 辉
李逸群 于丽新 刘 岩 刘镇川 丁景华
毛 兵 梁成文 吕正华 张晓云 尹连生
支 伟 刘 威 谭许伟 张建军 张绍银
李玉芳 周彦国 苗 伟

主编 毛 兵 梁成文

特约编辑 筑虹传媒

编辑 沈阳市规划设计研究院编辑部

翻译 魏 军

编务 沈阳智邦文化传媒中心

美术编辑 杨文浩 王 超

地址 沈阳市和平区南三好街 1 号 新世界商务大厦 1304

邮政编码 110004

电话 024-23894455-8310

传真 024-23600553

印刷 沈阳鸿诚包装装潢印刷有限公司

出版日期 2016 年 9 月 5 日

本刊声明:

1. 本刊系非营利性公益刊物, 仅供学术交流之用, 欢迎读者对刊载内容展开学术批评和讨论。
2. 欢迎各单位和个人踊跃投稿。对于所刊登的稿件, 本刊有支付稿酬的义务; 对于来稿, 本刊保留修改权。请与本刊联系, 如有特殊要求, 请事先声明。
3. 任何单位或个人如出于商业目的使用本刊所刊载的文字与图片, 需向相关版权所有者获取授权。

卷首语

不难想象，在狩猎采集时代，甚或是农耕时代，人们为了扩大自己的视野，只能爬上山岩或攀上高枝翘首远眺。

当人类的视野仅仅局限于他们能够攀爬到的山岩和树端的时代，他们目力所及是极为有限的，他们眼中的地球是平的；当人类借助工具，把自己的视野向宏观和微观两极拓展的时候，我们看到了更为宽广的世界。

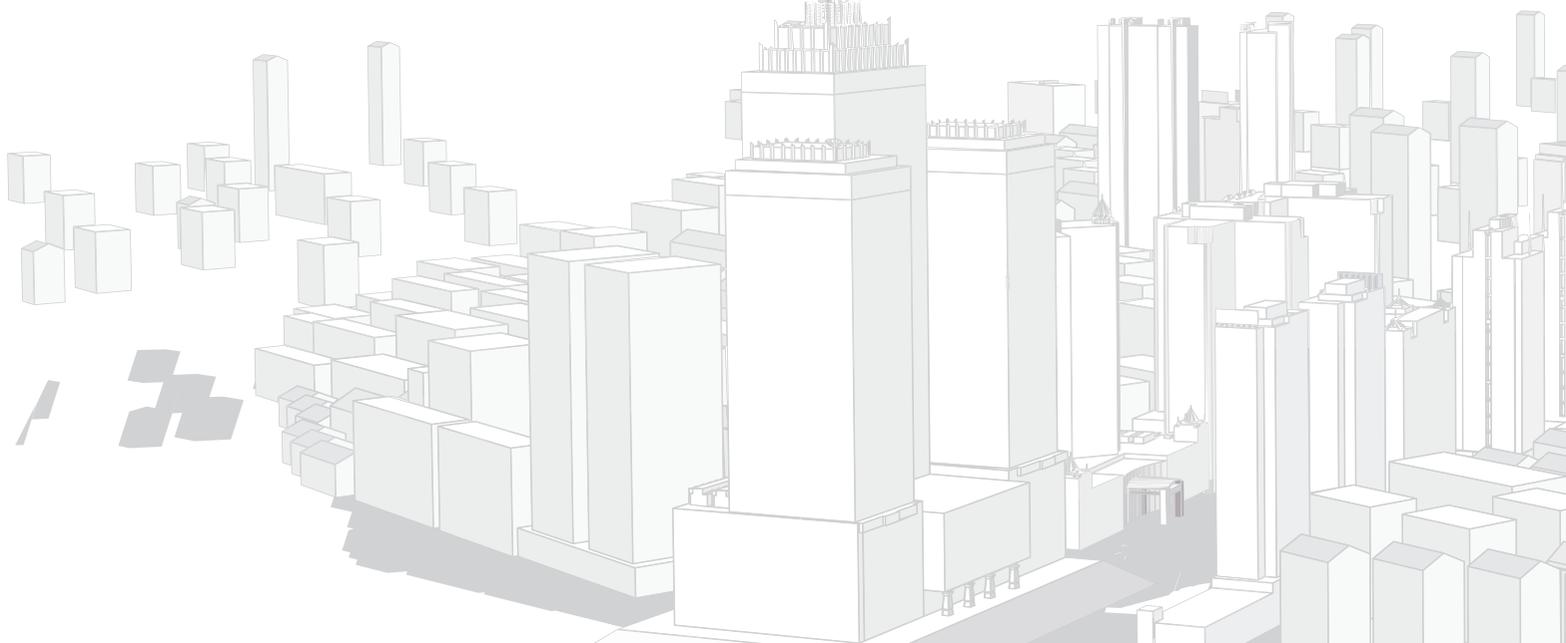
今天，人类的视野在各个维度上不断拓展：在空间维度上，已经无限逼近想象力的边缘，早在地球诞生之前就已发出的某一束光已被天文望远镜捕获，各种基本粒子也在被描述；在时间维度上，甚至超出了想象力极限，宇宙大爆炸模型让人们窥视到了时间的起点；在内省维度上，人类借由对世界的认知更为清晰地认识了自己，以及人在自然中的地位。

视野的拓展，极大地改变了我们对世界的看法、对自身的认识、对自然的态度。人类，既伟大又渺小。我们以被造之身创造出属于自己的世界，表明我们是伟大的；面对我们微不足道的尺度和我们不得不遵守的自然规律，人是渺小的。人类，既是有限的又是无限的，我们以有限的生命想象着无限的存在。由此，我们的行为不再是或拘泥或冒失，态度不再是或恐惧或粗鲁，我们学会了尊重自然并与其建立友好关系。

人类文明的重要标志是视野。视野，决定着我们的思想高度，决定着我们如何选择行为方式，决定着我们如何设定发展目标。

基于新的视野，人类应以审慎、中庸的态度，诗意地栖居于大地之上。

梁晓



目录 CONTENTS

1 主题

- 4 山水盛京
沈阳市规划设计研究院编研中心
- 6 沈阳市中心城区海绵城市专项规划（摘要）
沈阳市规划设计研究院市政管网研究所

2 访谈

- 12 海绵的哲学
本刊编辑部
- 14 沈阳市城市内涝积水问题解决策略
本刊编辑部

3 观点

- 17 北京市中心城防洪防涝系统规划概述
张晓昕
- 20 构建人与自然和谐的海绵城市
谢映霞
- 23 城市排水（雨水）防涝工程的系统架构
周玉文
- 28 澳大利亚水敏性城市设计理论与海绵城市建设实践
佟磊

4 视点

- 32 《对海绵城市专项规划的若干认识》编制技术要点、规划成果与实施建议
任心欣
- 38 英国海绵城市建设基本思路
【英】张剑荣
- 40 低影响开发原则与案例
【美】阿肯色大学社区设计中心文，卢涛译
- 50 城市滨水区绿道规划
王劲韬
- 57 沈阳市海绵城市建设实践经验探讨
姜月
- 61 基于海绵城市理念的沈阳市居住用地低影响开发规划研究
冯爽

5 文化

- 66 浑河两岸是故乡
本刊编辑部



23



38



57



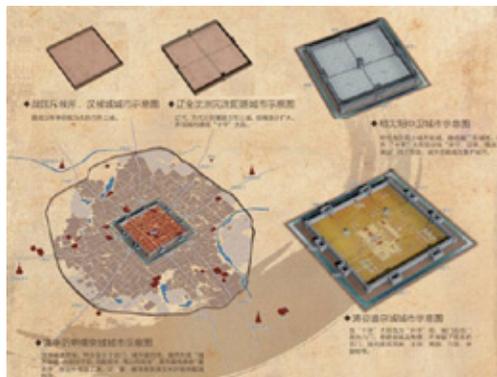
66

山水盛京

沈阳市规划设计研究院编研中心



东北地区自然地理格局



古城空间演变示意图



历史城区板块分布示意图

沈阳市位于辽宁中部，是辽宁省省会，下辖“十区、两县、一市”，市域面积为12860平方公里；沈阳地处辽河平原，属于温带半湿润大陆性气候，年均降雨量约为600mm。2015年末，沈阳市常住人口829.1万人，城镇化率达到80.57%。2015年GDP为7272.3亿元，人均GDP为87734元，一二三产比重为4.7:48.1:47.2，处于后工业化阶段。

区位：沈阳历史上是兵家必争之地，

具有重要战略地位，北有外兴安岭，西有蒙古高原，南向东向有江海。离中原近，是汉族文化和少数民族文化交流的融合点。

历史：沈阳历史久而辉煌，具有丰富的文化遗存要素，具有厚重的历史积淀。在旧石器时代就有了人类活动遗迹，战国时期，燕国设立斥侯所，为沈阳建城之始。西汉时设侯城县。唐、辽金时期称沈州。明代形成以军事职能为主、各民族文化融合发展的边塞重镇。后金到清前期，努尔哈赤从辽

阳（东京）迁都沈阳，后改称“盛京”，这标志沈阳中心城市建设的正式起步。

文化：沈阳是一座深受外来文化影响的城市，东西方文明在这里交融、孕育、发展，形成了东西向、“拼贴式”特征鲜明的城市空间格局。沈阳也是一座多民族融合的城市，是汉族文化和少数民族文化交流的融合点。

自然：沈阳地势由东北向西南逐渐开阔平坦，过渡为大片冲积平原，具有广袤的腹地，是东北三大平原与华北平原和渤海连



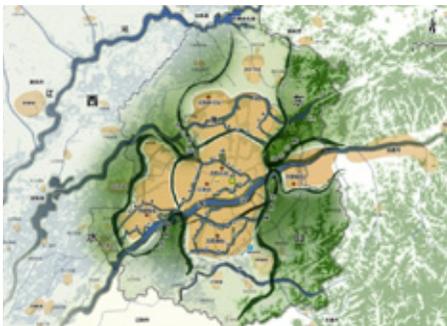
近代沈阳城市拼贴式空间结构示意图



山水盛京结构图



辽河平原大地景观及生态格局图



沈阳城市空间结构示意图



沈阳中心城区绿地体系图

接的战略要地。

沈阳山脉以浑河为界，浑河以北由哈达岭东北向西南楔入城市，浑河以南由千山东南向西北楔入城市，形成“东山”格局。水脉以辽河为界，辽河以北秀水河、柳河、绕阳河自北向南汇入辽河；辽河、蒲河、浑河自东向西汇集于城市西部地区，形成“西水”格局。

为实现“引领实现东北振兴发展中心城市、东北亚地区重要国际中心城市”目标，开展流域生态治理、空间结构优化、生态红线划定、生态廊道构建、绿地系统布局几方面工作。

流域生态治理： 加强以浑河、辽河为主的流域生态治理，带动区域生态安全屏障建设，推进生态环境的一体化。利用辽河平原自然山水特征，形成树成林、路成网、田成格，山海融合，彰显北国风光大地景观。

空间结构优化： 构建“东山西水、一河两岸、一主三副”的城市空间结构。通过完善的基础设施网络，以楔形生态廊道、浑河、三环绿带形成山水城田融合共生的组团布局。

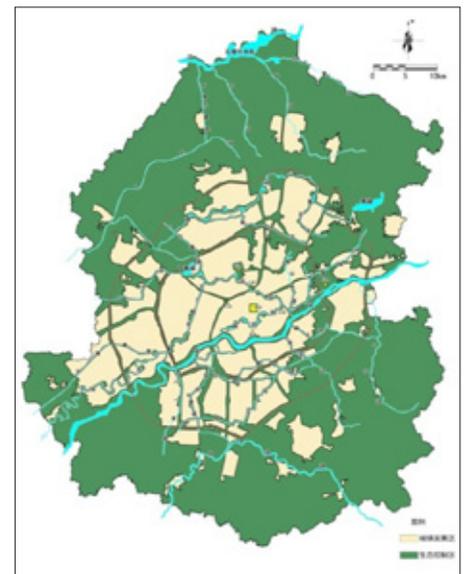
通过跨河交通、综合服务功能和产业功能的加强，以浑河为轴线，强化浑南、浑北主城整体发展。实现城市核心服务功能在浑河两岸集聚发展。

通过公共服务、公共交通和主导产业的全面提升，建立与主城便捷联系的综合性、现代化副城。逐步实现主与副城的产城融合

和职住平衡。

城市边界划定： 以多规合一为手段，划定严格生态控制线，确定城市增长边界，保育东山西水的空间格局，构建“三环、三带、四楔”的生态廊道。

绿地系统布局： 以创建北国风光宜居城市为目标，完善多层次、网络化的城市绿地系统布局，全面提升城市人居环境质量，形成特色鲜明、富有活力的公共休闲活动空间。□



沈阳生态廊道建设示意图

沈阳市中心城区海绵城市专项规划（摘要）

沈阳市规划设计研究院市政管网研究所

一、规划背景

1. 国家政策要求编制海绵城市专项规划

2015年，国务院办公厅颁布《关于推进海绵城市建设的指导意见》（国办发〔2015〕75号），对我国各城市海绵城市建设提出纲领性意见。2016年，辽宁省人民政府办公厅颁布《辽宁省人民政府办公厅关于推进海绵城市建设的实施意见》（辽政办发〔2016〕10号），对省内各城市海绵

城市建设提出具体要求。沈阳市人民政府高度重视，颁布《沈阳市人民政府关于推进海绵城市建设的实施意见》（沈政发〔2016〕9号），并要求“科学制定方案，统筹抓好实施”，编制沈阳市海绵城市专项规划。

2. 沈阳市自身对海绵城市建设有迫切需求

随着沈阳市城市建设的快速发展，逐步出现了内涝积水、水系污染、水资源短缺等城市水系统问题，海绵城市的建设能有效缓

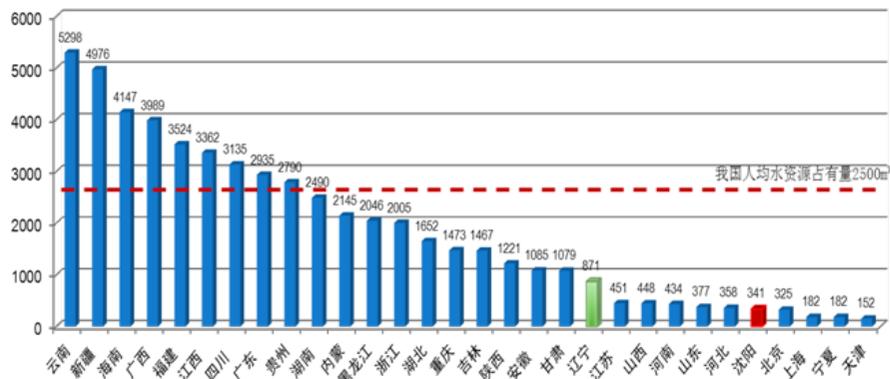
解上述问题。

二、现状评价

1. 现状问题

（1）水资源方面。

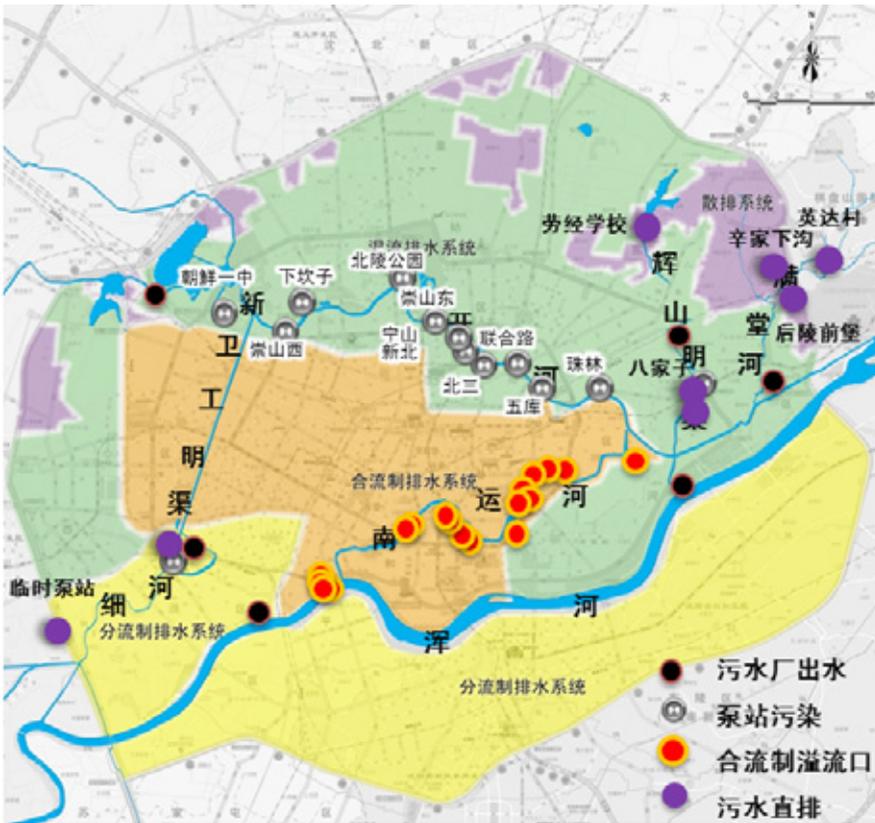
沈阳市属于资源型缺水城市，人均水资源量占有量仅为 341m^3 ，不足全国人均占有量的六分之一。目前，沈阳市部分地区供水水源仍然以地下水为主，市政水源井周边形成地下水下降漏斗。



全国各省市水资源量



沈阳市中心城区地下水漏斗分布图



污染源分布图



下垫面分布图

(2) 水环境方面。

沈阳市建成区水环境污染较为严重，污染原因包括既有合流制地区排水管道雨季溢流污染水体，现状污水处理厂出水水质未达到国家要求的一级 A 标准，部分排水系统建设滞后地区污水直排水体。

(3) 水生态方面。

城市绿地生态功能削弱。随着沈阳城市化进程的推进，城市地表硬覆盖比例增加，地表径流量增大；现状凸起的道路绿地、小区绿地景观等不利于雨水蓄渗，公园与绿地存在使用功能偏重、生态功能偏弱的状况。

河湖生态岸线薄弱。目前，沈阳市现状河岸 40% 以上为刚性护岸，使河流、湖泊逐渐丧失了自然属性。

(4) 水安全方面。

城市应对高强度降雨的能力不强，部分地区存在内涝现象。硬质铺装增加、排水系统能力不足、水系出口不畅、蓄滞空间缺乏等是造成沈阳城市内涝的主要因素。

2. 建设条件

(1) 气候。

沈阳市属于温带季风气候，多年平均降水量约 600 毫米，据记载单场最大降雨发生在 1973 年 8 月 21 日，24 小时降雨量达到 215.5 毫米。沈阳市年均降雨天数 91 天，降雨主要集中在 7、8 月份，约占全年降水量的 50%，7、8 月份为沈阳市主汛期。

(2) 降雨。

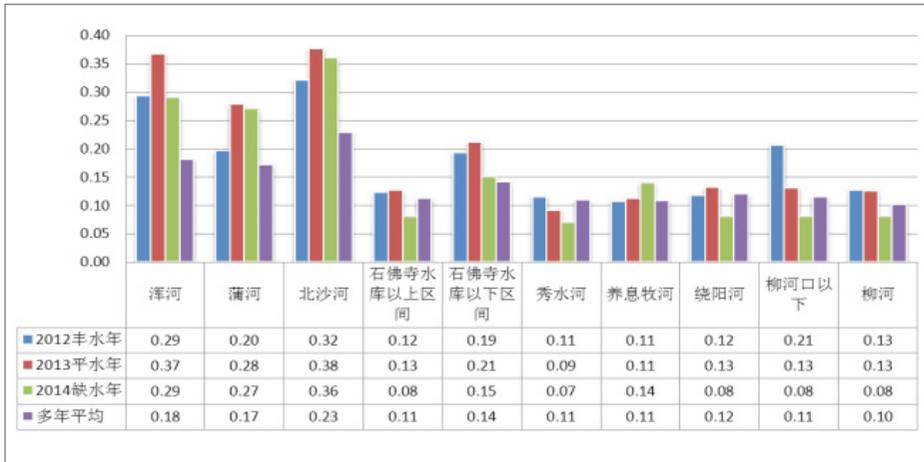
雨型特征：沈阳市雨型为单峰雨型，雨峰雨量约占总雨量的 40% ~ 50%。

降雨空间分布：沈阳市降雨在市域空间分布上较为均匀，东南部略高于西北部，从东南至西北降水量逐渐递减。

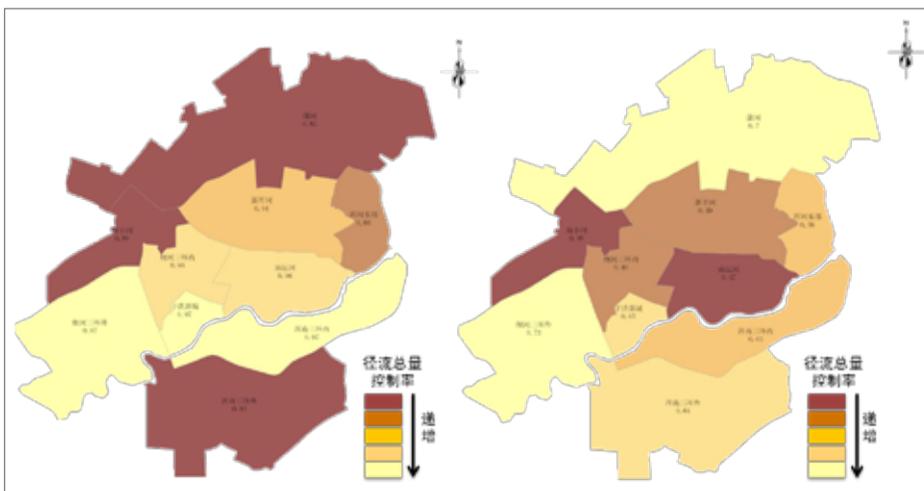
(3) 地势及土壤渗透性。

沈阳市是典型的平原城市，只有东部地区起伏较大，西部大部地区比较平坦，整体地势东北高、西南低，大部分地区高程在 35 ~ 50 米之间，地表坡度在 0.6‰ ~ 0.7‰ 之间。

沈阳主城区内浑河高漫滩及古河道区域以砂性土为主，渗透性良好；其余地区土质基本为粘性土，渗透性一般；二环内主城区大部分地区具有良好的渗透性。



各流域径流系数统计



开发前水文模拟

现状水文模拟

建设条件总结

方面	特征	对策
天 (气候特点)	时段、雨峰双集中	削峰减排
地 (地形地质)	土壤渗透条件良好, 地势平坦, 易于雨水积存	尽可能恢复原有的城市生态本底
水 (河湖水系)	资源型缺水, 水体黑臭, 水网密度低	加强水体保护和修复, 严禁填湖造地、截弯取直、河道硬化
城 (建设现状)	透、蓄水用地空间有限, 三环内、外开发强度区别明显	增加雨水蓄滞空间, 径流总量控制因地制宜, 区别对待

分析角度	分析内容
国家要求	按照降雨量分布, 国家将海绵城市条件要求划分为五个分区, 沈阳市属 II-III 区之间, 其年径流总量控制率 α 取值范围为 $75\% \leq \alpha \leq 85\%$ 。
下垫面情况	通过对现状下垫面水文模拟, 确定各汇水区域径流总量控制率在 40-73%。
建设条件	保持现状开发用地自然肌理, 按照完全开发, 径流总量控制率可以达到 83%-86%。

(4) 水系分布。

沈阳市现状主要河流水系包括浑河、蒲河、南运河、新开河、卫工明渠(细河)、辉山明渠、满堂河等, 近年来实施建设了丁香湖、长白内河, 以及浑河、蒲河景观提升等水系工程, 但中心城区水系仍不丰富。地表水大部分为 V 类水体, 主要超标污染物为氮、磷, 其中辉山明渠、满堂河、细河达到劣五类水体。

(5) 下垫面及用地类型。

中心城区内现状绿化、水系等透水、蓄水率大的用地占总用地面积的 24%; 出于景观微地形考虑, 现状园林绿地地势大多高于周围地面。

(6) 水文状况模拟。

从市域内各流域径流量与降雨量的比值可以看出, 流经城市建成区的流域, 如浑河流域、蒲河流域、北沙河流域径流系数明显高于其他流域。

城市开发前, 中心城区因现状地貌自然调蓄功能较强, 地形平坦且土壤渗透性良好, 雨水下渗和调蓄的能力很强, 年径流总量控制率可达到 85%。

城市开发后, 三环内现状径流总量控制率约 40%, 三环外现状径流总量控制率约 70%。主要为现状三环内外基本上没有按照低影响开发模式进行建设, 并且开发强度不均匀, 三环内开发强度较大, 多为老小区且小区内绿化率较低。

三、规划目标

根据国家要求, 并充分考虑沈阳市现状下垫面情况及建设条件, 制定海绵城市建设总体目标及水生态、水安全、水环境、水资源等各项子目标。

经综合分析确定沈阳市中心城区径流总量控制率为 80%。同时按照国家要求并结合沈阳实际制定 6 大类 18 项子目标。

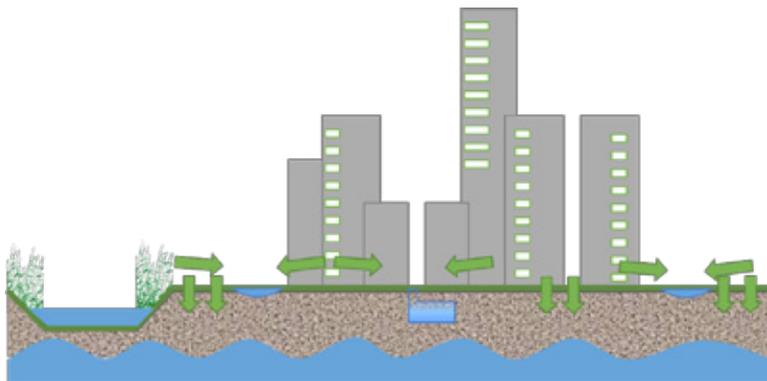
四、总体思路

1. 规划思路

充分发挥平原地形对降雨的积存作用, 发挥砂性土壤对雨水的渗透作用, 同时发挥湿地、水体对水质的净化作用, 保护和修复城市生态环境, 建立完善信息化工作平台。

确定全面恢复老工业基地生态本底, 以

类别	指标	单位	现状	近期目标 (2018年)	中期目标 (2020年)	远期目标 (2030年)
水生态	年径流总量控制率	%	40-70		80	
	生态岸线恢复	%	40	60	70	80
水安全	地下水水位		有地下水漏斗		地下水漏斗逐年减少	
	热岛效应	-	-	缓解	缓解	缓解
水环境	内涝标准	A	3~5	20	50	50
	饮用水达标率	%	98	99	100	100
水富源	地表水体水质标准	-	V类及劣V类	达到地表水V类	达到地表水V类	达到地表水IV类
	城市面源污染控制	%	-	50	60	80
水富源	雨水资源利用率	%	-	5	10	11
	污水再生利用率	%	5	15	30	30
制度建设	管网漏损控制	%	>15	<15	<12	<10
	规划建设管控	-	-	完善各项制度建设		
	蓝线、绿线划定与保护	-	-	完善各项制度建设		
	技术规范与标准建设	-	-	完善各项制度建设		
	投融资机制建设	-	-	完善各项制度建设		
	绩效考核与激励机制	-	-	完善各项制度建设		
显示观	产业化	-	-	完善各项制度建设		
	连片示范效应	-	-	试点区达标	20%以上达到要求	80%以上达到要求



生态修复与保护区图

低影响开发为基础,以水系综合治理为主线,形成“渗、滞、蓄、净”为主,“用”为辅,“排”为基础的沈阳市海绵城市建设模式。

2. 规划原则

(1) 生态优先。

优先通过分散、生态的低影响开发设施实现径流总量控制、径流峰值流量控制、径流污染控制、雨水资源化利用等目标。

(2) 分区管控。

内涝多发区、水生态敏感区,以及易于开展海绵城市建设的新区、新开发地块等采取高标准控制目标;改造困难的建成区采用低标准控制目标,但雨水径流控制总量不应低于国家要求。

(3) 统筹协调。

将海绵城市建设内容纳入水系规划、绿地规划、排水防涝规划、道路交通规划等相关专项规划。

(4) 远近结合。

优先在海绵城市建设条件较好的新区开展规划,老城区要结合棚户区 and 危房改造、老旧小区有机更新等,以解决城市内涝、黑臭水体治理、雨水收集利用为突破口,推进海绵城市建设。

五、分区指引

1. 生态保护与修复区

(1) 体系结构。

依托规划区内现状“山、水、林、田、湖”生态本底情况,规划在中心城区范围内重点形成由环城水系、三环、四环绿化带,蒲河、浑河、沈抚运河生态廊道,以及四条绿楔构成的“三环、三带、四楔、南北绿廊”的海绵框架和“点-线-面”相结合的海绵网络。

(2) 生态修复与保护区域。

以现状及规划城市水系、绿地为重点生态修复与保护区域。要求城市水系和绿地在城市建设过程中只增不减。城市水系重点提升水质、恢复生态岸线;城市绿地重点提升生态功能,恢复物种多样性和蓄滞雨水能力。

(3) 生态红线区。

在中心城区内划定52处生态保护红线区,总面积135.65km²,占中心城区总面积的11%。其中一类区面积25.02km²,二类区面积111.63km²。按类型划分,包括法定保护地红线区面积2.8km²,生态功能和生态

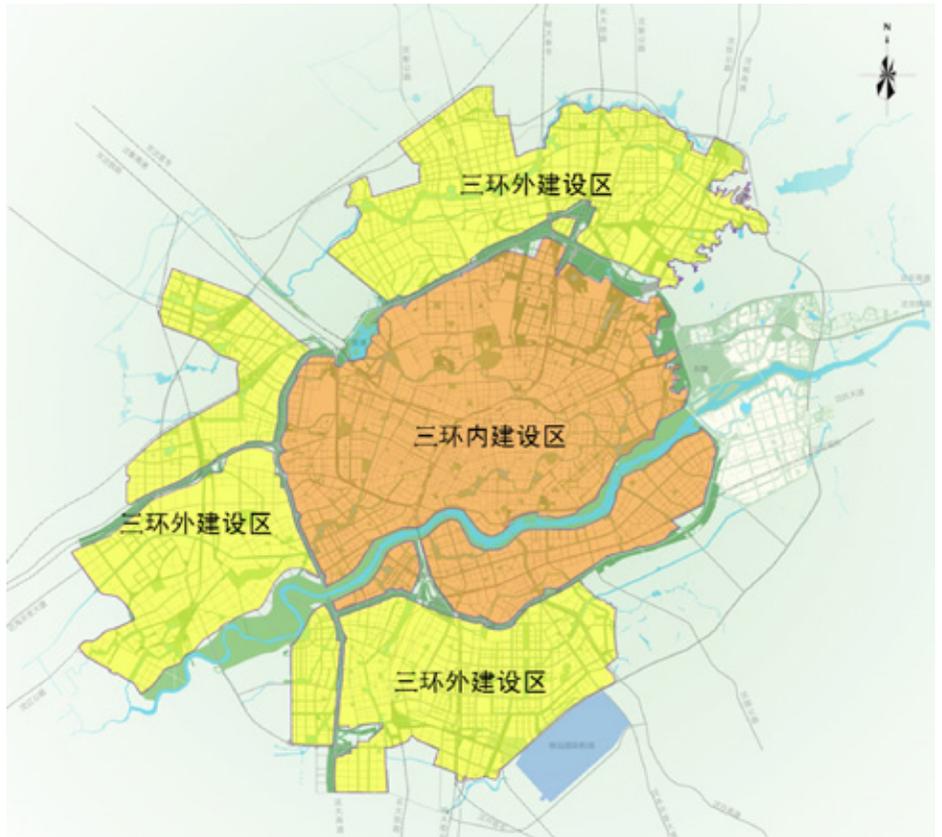
敏感脆弱红线区 71.04km²，城市生态功能服务红线区 61.81km²。

2. 海绵城市建设分区

以三环为界，将中心城区划分为两个建设分区，三环以外以新区为主，径流总量控制目标取 85%，三环以内以老区为主，径流总量控制目标取 70%。

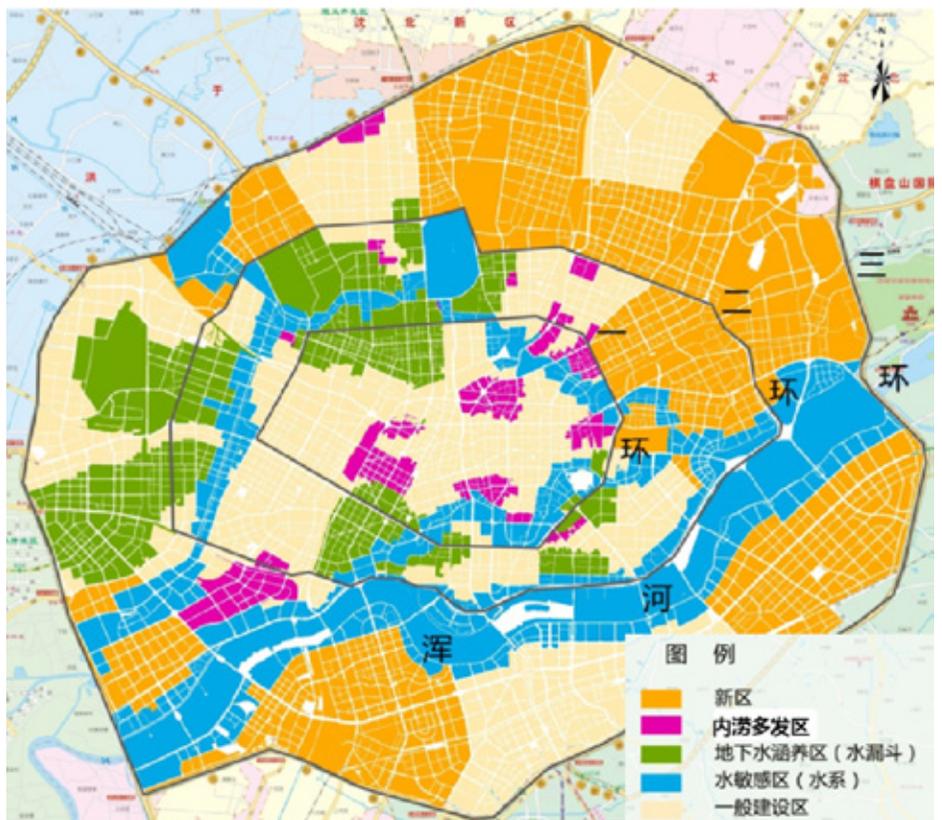
三环内建设区以问题为导向，重点解决黑臭水体治理等问题。三环外建设区以目标为导向，优先保护自然生态本底、合理控制开发强度。

三环内建设分区：以问题为导向划分为五类建设分区，将水敏感区、地下水涵养区、内涝多发区、新区划定为高标准控制地区，其他区域划定为一般区域，提出相应的海绵建设要求。



中心城区海绵城市建设分区图

区域	策略
新区	结合新区建设，综合运用“渗、滞、蓄、净、用、排”
内涝多发区	以“渗、蓄、排”为主，重点解决老城区内涝问题
地下水涵养区	以“渗”为主，同时减少地下水开采，逐步缩小地下水漏斗区
水敏感区	以“净、蓄、渗”为主，减少径流污染，修复生态岸线，提升水体水质
一般建设区	因地制宜，结合老城区更新改造逐步推进海绵城市建设



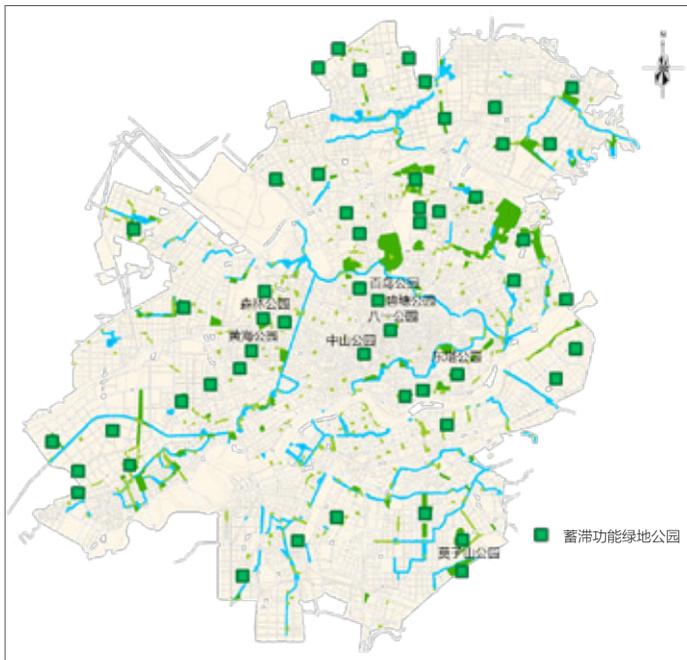
三环内海绵城市建设分区图



蓄水湖泊分布图



蓄滞湿地分布图



蓄滞绿地分布图

3. 海绵蓄滞空间分布

以湖泊、湿地、绿地为主要调蓄空间。中心城区规划形成蓄滞湖泊 34 处，水面总面积 528 公顷。

中心城区规划形成蓄滞湿地 18 处，均为规划湿地，湿地总面积 697 公顷。

中心城区规划形成具有蓄滞功能的绿地公园 409 处，绿地总面积 2500 公顷。

本规划还包括：管控要求、规划衔接、近期建设和实施建议等四项内容，限于篇幅予以省略。□

海绵的哲学

本刊编辑部

编者按：“山水林田湖是一个生命共同体，人的命脉在田，田的命脉在水，水的命脉在山，山的命脉在土，土的命脉在树。海绵城市的建设宜作为致力于海绵城市规划设计研究的专家，中国城市规划设计研究院水务与工程院副院长谢映霞对海绵城市具有深刻的认识和独到的见解。从大局入手，既要考虑‘山水林田湖’这些‘大海绵’的问题，又要考虑低影响开发这些分散的‘小海绵’的建设。”



谢映霞
教授级高级工程师
住房和城乡建设部海绵城市专家指导委员会委员
中国城镇供水排水协会副秘书长
中国城市规划设计研究院水务与工程院原副院长

海绵城市既是一种城市形态的生动描述，也是一种雨洪管理和治水的哲学观和方法论。

海绵城市是指建立在生态基础设施之上的生态型城市，以综合生态系统服务为导向，运用生态学的原理和景观设计的方法以及渗、蓄、净、用、排等关键技术，实现城市内涝和雨洪管理为主且同时包括生态防洪、水质净化、地下水补给、棕地修复、生物栖息地保护和恢复、公园绿地建设、城市微气候调节等整合目标。

海绵城市符合中国独特的地理气候特征，以中国悠久的水文化遗产为基础，并融合了当代国际先进的雨洪管理技术、生态城市思想，是一套完整的方法论和技术系统。

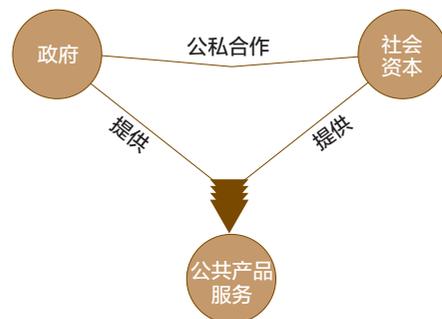
以“海绵”比喻一个富有弹性且以自然积存、自然渗透、自然净化为特色的生态型城市，是对工业化时代机械的城市建设理论及水资源、水系统的错误认识的反思，蕴含

深刻的哲理。

1. 海绵城市的科学发展初见成效

记者：从宣布第一批海绵城市试点到现在大概一年半的时间了，虽然从工程建设的层面，一年半的时间很难见到成果，但是目前这些试点城市有了一些改变，具体表现在哪些方面？

谢映霞：海绵城市的建设得益于国家的推动，随着海绵城市建设的不断深入，我们对海绵城市的认识也逐渐深化，在开展试点城市以来不到两年的时间，我们对



海绵城市的认识已经有了很大的变化，一直在进步。

记者：现在的第一批和第二批试点城市对海绵城市的概念都有什么样的转变，他们的建设模式比起之前的城市建设，又有什么样的变化呢？

谢映霞：海绵城市概念出来后，其实有的城市对这个概念并不理解，甚至到现在，大家对这个概念的认识还是在逐步加深的。比起之前城市建设的一些弊病，现在的海绵城市建设理性得多，也专业得多。现在试点城市基本上都有海绵城市建设的专设机构，并且广泛吸收社会上的技术和资本，以PPP模式去建设海绵城市。建设目标、建设标准也越来越明确，对海绵城市建设是件好事。

记者：从新闻上看到，不少城市说自己的海绵城市建设取得了一定的成效，您是怎么看的呢？

谢映霞：早在2008年，我们国家就在推行低影响开发了，而生态城市建设的推行则在更早就开始了，所以，在海绵城市推行之前，很多城市已经有低影响开发的项目推进了，海绵城市和这些概念是一脉相承的，因此海绵城市的概念提出来之后，一些城市将之前的项目进行了优化整合，比较快地见到了效果，也有的城市领导高度重视，推进力度很大，取得了一定的成效。

2. 解决水危机不能只靠海绵城市

记者：现在已经试点的城市比如南宁、武汉，最近因为密集降雨，又变成了泽国，很多媒体对海绵城市的实行效果就产生了异议。您怎么看？

谢映霞：海绵城市不是万能的，遇到极端气候事件，要加强应急管理，采取综合的工程措施或非工程措施有效应对。海绵城市要解决的问题，不仅仅是城市内涝，还要解决水环境、水资源、水生态问题，缓解城市内涝，要从系统上进行梳理，而不仅仅是源头减控设施。

并且，国家投入这么大的资金，还要求城市资金配套进行海绵城市建设，其目的除了解决城市涉水问题外，也希望能促进经济发展。目前一些试点城市，除了建设雨水花园和透水保水设施等低影响开发设施外，还进行城市雨水管网改造，结合黑臭河整治目



人行道、水塘海绵体解剖图

标，开展水环境综合整治的工作。

记者：如果城市内涝只是海绵城市建设的一个环节，那么海绵城市的实施能否在根源上解决城市内涝？

谢映霞：旱涝交替是自然规律，建设海绵城市的目的就是让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”。近年来，极端天气频发，如果我们按照极端天气的标准修建雨水管网和基础设施，势必造成很大的浪费，海绵城市建设对这些极端天气的意义就是减少危害，尽量提高缓冲的机能，缓解城市内涝。另外，要加强应急管理，加强天气预警预报机制，加强信息沟通渠道。

记者：现在中国北方城市普遍面临地下水位下降，地下水涵养不足的问题，海绵城市能否对这一问题进行补救？

谢映霞：在地下水涵养方面，海绵城市建设是有意义的。但是地下水的涵养也是一个综合、复杂的事情，不是仅靠留住地表径流就能解决的，一些海绵城市范畴内的建设项目，通过地表结构的改造等手段，促进了雨水的下渗，补充和涵养了地下水。但是对于像北京这样的特大型城市来说，地下水位下降的主要问题是人口规模过大，用水量太多，地下水使用过多，所以才出现了严峻的水资源问题。加上中国大部分北方地区属于缺水地区，在这样的环境里又出现人口规模过大的城市，出现水危机是必然的，而解决这个危机单单从建设海绵城市的设施去防范，恐怕还远远不够。

3. 受启发于国外的经验，但不能完全照搬

记者：现在很多海绵城市的建设都在借鉴国外的经验，这些经验对我们来说是否真的可行？

谢映霞：关于借鉴国外经验，也应该从不同的方面去考量。从理念上、技术上看，国外的确有很好的水体治理理念和技术，这个是我们应该去学习的。但是，很多国外城市的气候条件和我们是不同的，国情也不一样，我们不能照搬国外的所有政策和模式，比如，欧洲大多是温带海洋性气候，相对来说全年降雨比较均衡，他们基础设施建设的水平和模式与我们不同，并且国外的城市建设发展时期比我们长，我们是快速的发展模式，地下的建设比地上的要迟缓很多，而国外基本上地下和地上同时建设。现在我们地上的已经建成了，再去改造地下，付出的成本也会比较多。再有，国外的低影响开发都是斑块式的，在城市更新过程中，一点一点的建成，但是我们国家的海绵城市建设，是大规模的，不仅仅是国外低影响开发的内容，所以，我们更应该研究出一套适合我们自己的建设模式。

记者：从字面意义，海绵城市是针对有水的地区，如何保水，如何吸水，但是对于西部一些干旱城市，建设海绵城市又是否有意义呢？

谢映霞：海绵城市是有普适意义的概念，水多的地方，我们要有效控制，减少成灾，对于水比较少的地方，我们更要保护它，减少污染和浪费，让它更充分的被利用。□

沈阳市城市内涝积水问题解决策略

本刊编辑部

编者按：近年来沈阳市加大了排水设施的规划建设力度，城市水环境质量有了较大的改善，但由于气候变化导致极端天气增多，沈阳市也出现了较为严重的内涝积水问题。针对沈阳市内涝积水问题，沈阳市规划设计研究院市政管网研究所所长苗伟提出了规划措施和有针对性的见解。

据统计，2008年以来我国289个城市发生过不同程度的内涝，其中一年内涝3次以上的有137个，为市民的正常出行带来了很大不便，造成经济损失同时，甚至威胁到市民的生命安全。内涝积水已成为城市病之一。2012年6月，2016年7月，沈阳遭遇暴雨天气，老城区内涝积水严重，最大积水深度近3米，交通瘫痪十余小时。

记者：近年来，每年雨季沈阳市都会产生内涝积水，给市民出行带来极大不便，请问目前沈阳市积水点主要分布在哪些区域？

苗伟：关于沈阳市积水点分区情况，每逢雨季各大媒体、交警系统、公众微信、网络平台等都会进行跟踪和报道，沈阳市排水管理部门也进行了摸底调查，汇总积水点分布情况。总体来讲，三环内浑北主城区积水较为严重，特别是二环内老城区尤为突出。积水点主要集中在金廊沿线地区、太原街地



沈阳市三好街

区、排水系统末梢地区、竖向地势低洼地区、下穿地道桥等区域；其中下穿地道桥积水深度大、退水时间长，是内涝积水的重点区，对城市影响最大。

记者：造成内涝积水的主要原因有哪些？

苗伟：造成内涝积水的因素有很多，主要包括以下五个方面。

首先是承担城市雨水排放功能的管网和设施设计标准低，排水能力不足，与国家现行标准有较大的差距。比如老城区排水管网设计重现期标准多为 0.33 ~ 0.5 年，也就是说，正常情况下每年会发生 2 ~ 3 次超过管网设计能力的降雨，易形成地面积水，考虑到管网多年清掏维护不到位、部分管网淤堵等问题，出现积水的概率会更大。

其次，随着城市的开发建设，地表硬覆盖比例增加，雨水入渗困难，导致雨水径流总量增加。如沈阳金廊地区，城市开发改造前径流系数约为 0.5，开发后接近 0.7，雨水径流总量增加近 40%，大大加重管网系统排水负担。

三是末端水系出口排水不畅，如细河穿越三环高速公路节点、新开河穿越裕虎铁路节点、辉山明渠全线等过水能力不足，致使上游排水系统不能全负荷运转，造成上游排水系统壅水、滞水，降低城市排水设施使用效率。

四是城市蓄水滞水空间不足，地面积水无路可排，雨水只能在地势低洼地区聚集，形成积水点。我们的城市与国内其他城市一样，也出现了城市开发与“绿”争地，与“水”抢地的现象，可进行地表雨水蓄积的坑塘、水系逐步消失，生态本底保护不到位；而最能发挥蓄水、滞水功能的绿地系统，大多采取竖向高程高于周边的设计方式，径流雨水得不到有效渗透，蓄水功能更是少之又少。

五是排水设施建设资金投入不足，管理手段有待提高，预报预警系统不完善，智慧排水建设尚需各部门共同努力。

记者：针对上述问题，沈阳市在解决积水点问题方面采取了哪些措施？

苗伟：沈阳市排水系统不应仅仅立足于消灭积水点，而应适应时代发展，谋求城市发展的百年大计，构建以“源头减排系统、排水管渠系统、排涝除险系统、超标应急系统”为主的城市排水防涝工程体系。

源头减排系统，也是目前国家倡导的海绵城市建设重点推进的雨水低影响开发系统。按照沈阳市海绵城市专项规划，沈阳市中心城区年径流总量控制率不低于 80%，对应 24 小时 25.7 毫米降雨不外排，理论上

相当于发生中小雨降水时，雨水在源头地块内消化，不需要市政雨水管道排放，每年可减排 30% 以上降雨。雨水减排系统在新区较易开展，在老城区为避免大拆大建，近期难以形成连片效应，但雨水减排系统建设还是非常必要的，只要持续落实海绵城市建设要求，雨水减排效应将会逐步凸显，我们的城市排涝能力将会逐步加强。

排水管渠系统，是排除城市雨水的最基本手段。按照《沈阳市排水（雨水）防涝综合规划》要求，雨水管渠设计重现期标准一般地区为 3 年，重点地区为 5 年，而沈阳市现状管网低于规划标准是普遍问题。具体标准还要结合沈阳市各排水分区的实际情况，老城区应考虑首先建设末端排水干线，自下而上逐步提标改造支管网；排水不完善地区应以完善排水系统为主，如于洪区广业路地区；而个别点位积水，应逐一分析，各个击破；地道桥排水系统比较独立，积水解决方案与区域排水系统有所不同，应采取一桥一策的解决方案。

排涝除险系统，主要解决雨水源头减排后，超过雨水管渠设计标准的雨水排放问题。按照《沈阳市排水（雨水）防涝综合规划》，沈阳市防涝标准为发生 50 年一遇降雨时，居民住宅和商业建筑物的底层不进水，道路中一条车道的积水深度不超过 0.15 米。排涝除险系统的核心问题是超标雨水找出路，让雨水沿着既定的路线排放，在既定的场所蓄积。可通过两种措施实现：一是利用城市道路、绿化带、河道水系排放超标雨水的地表行泄通道；二是用于蓄积超标雨水的坑塘水系、大型绿地公园、下沉广场、地下蓄水池等调蓄空间。

超标应急系统，是指发生 50 年一遇以上降雨时，城市运转基本正常，不出现大的生命财产损失。其实无论城市排水系统怎么建设，当出现百年一遇、甚至几百年一遇降雨时，城市出现内涝都是不可避免的，我们能做的，只能是将损失降到最低。目前沈阳市已经开展了很多超标应急系统工作，如提前发布暴雨预警，提前放空河道加强蓄排水能力，采用应急抢险车辆盯防重点积水路段，实时监控发布积水情况，联合媒体、交警等

部门进行交通导引等。

上述内容主要是工程方面的措施，城市排水防涝工程体系建设还包括资金投入、法制建设、管理模式等很多方面，需要政府、社会、人民群众共同努力。

记者：刚才提到下穿地道桥内积水的重点区，这个区域的积水问题如何解决？

苗伟：城市排水防涝工程体系内容包括了地道桥排水系统。解决地道桥积水，首先应分析其积水原因。造成沈阳市地道桥内涝积水的原因主要有三个方面：

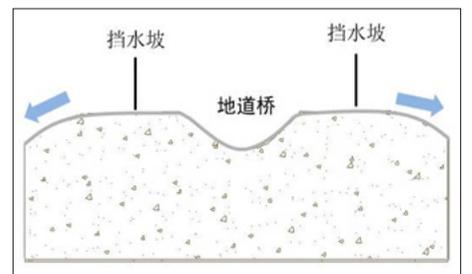
一是桥区排水设计标准普遍偏低，按照《室外排水设计规范》规定，沈阳市中心城区地道桥设计重现期标准应为 30 ~ 50 年，而实际上现状地道桥标准仅为 3 ~ 5 年，如沈山铁路沿线腾飞二街、凌空二街、保工南街等地道桥重现期为 3 年，零公里地道桥为 5 年，考虑其对沈阳市交通出行的影响，设计标准明显偏低。

二是桥区外客水流入，与地道桥相连接道路地面雨水收水能力不足，大量桥区外雨水顺势流入地道桥，增加桥区泵站负荷，导致地道桥区积水。

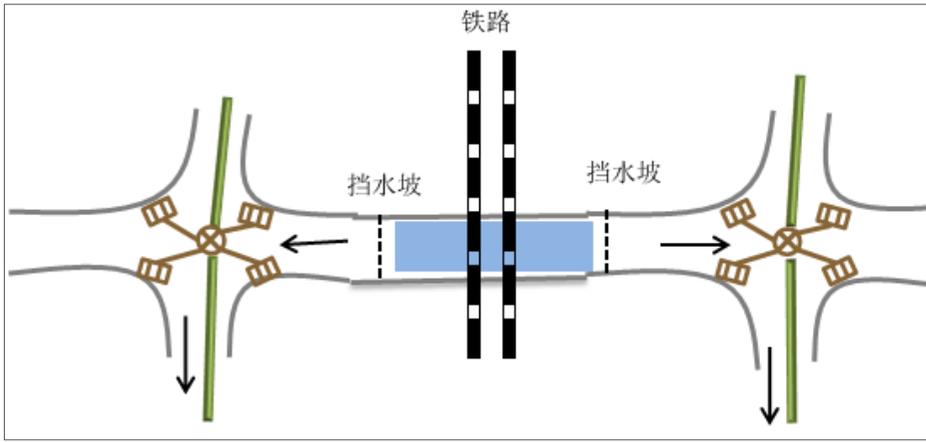
三是桥区泵站排水出口不畅，如长大铁路砂阳路地道桥泵站出水排入胜利大街排水管线，但胜利大街排水管线下游排水不畅，桥区雨水排入胜利大街后又从检查井中冒出来，倒流入砂阳路地道桥。

鉴于上述实际情况，地道桥积水改造措施各不相同，应区别对待，一桥一策。

首先应提高地道桥设计重现期标准，三环内地道桥设计重现期标准采用 50 年一遇，三环外城市快速路下穿地道桥采取 50 年一遇标准，三环外其他地道桥采取 30 年一遇标准。



道路调坡示意图



道路交叉口增设雨水口示意图

二是分离桥区客水，对于地道桥桥区两侧引道较长，具备道路纵坡调整条件的道路，可以考虑改造道路纵坡，形成地面挡水坡，避免桥区外地面雨水流入地道桥。当桥区外引道道路纵坡调整困难时，在道路交会处、道路两侧增设雨水收集口，增加周边道路的雨水收集量及收集速度，也可以间接减少客水流入地道桥区，缓解地道桥区积水压力。

三是改造地道桥排水出口，解决方式通常包括建设地道桥排水专线、雨水调蓄池、提标外围雨水系统三种方式。排水专线是只负责地道桥区范围内的雨水排放，不接纳其余市政雨水；《室外排水设计规范》中明确要求，立体交叉地道排水应设置独立的排水

系统，其出口必须可靠。考虑到建设成本及排水可靠性，排水专线主要适用于现状水网密集，便于地道桥雨水直接排放的区域，如沈辽路下穿沈山铁路地道桥临近卫工明渠，其出口改造时新建管径 1.2 米雨水专线，直接排入卫工明渠，同时减少下游雨水系统排水压力。在雨水专线建设困难或造价较高时，可考虑建设雨水调蓄池错峰排放和利用桥区雨水，如北京市在 2012 年 7 月 21 日遭遇特大暴雨后，为解决地道桥排水出口不畅问题，在有效分离桥区客水的前提下，建设 10 余座调蓄池，目前运行效果良好，有效缓解了地道桥积水问题，我们沈阳市也进行了桥区调蓄池规划，如零公里地道桥结合

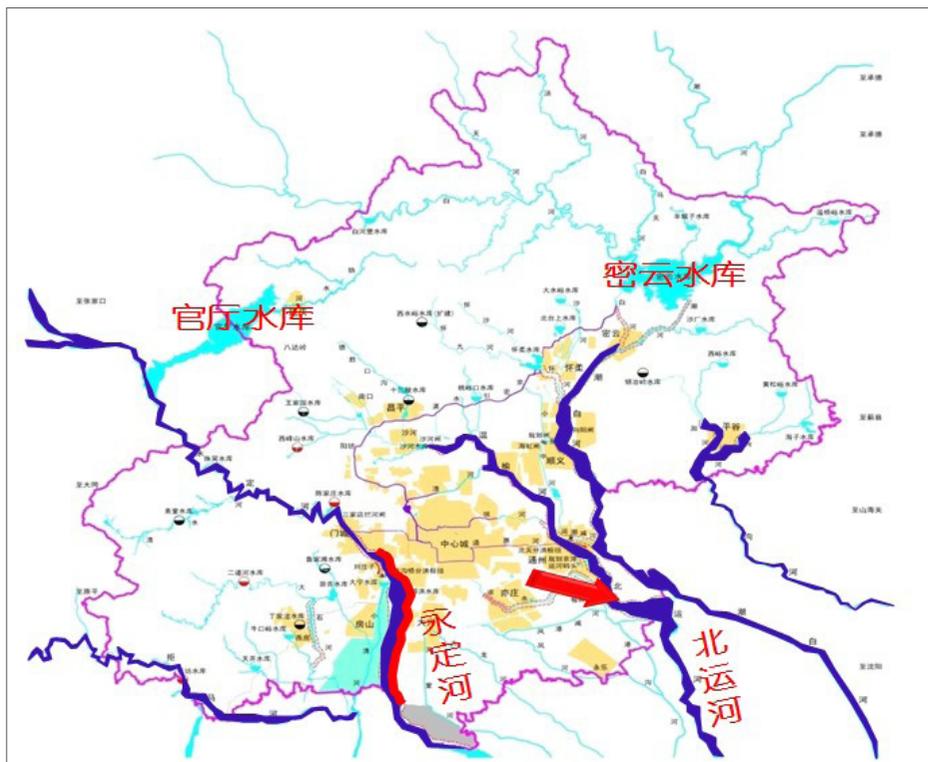
于洪苗圃规划建设生态调蓄池，平时作为城市景观，雨季调蓄桥区雨水，北二路地道桥规划建设 3000m³ 地下调蓄池，雨季调蓄雨水，雨后雨水用于绿化浇洒。当地道桥作为一个独立的排水系统，排水专线和调蓄池均不能解决桥区排水出口不畅问题时，应提高桥区外围排水系统排水能力，使其能够同时承担桥区和桥区外雨水排放需求，该情况在沈阳市比较普遍，实际解决起来还是比较困难的。

记者：针对内涝积水问题，您提出很多措施和方法，请您再谈一谈对排水防涝工作的认识和理解？

苗伟：城市排水防涝工作是一个系统性强，建设周期长，涉及部门多，涵盖内容广的工作。沈阳市排水系统也是经过几十年、上百年的发展，几代人的努力，才有了今天的样子。幻想通过上马一两个项目，一下子彻底解决城市积水问题并不现实，需要科学规划、近远结合、循序渐进地开展工作；另外，城市排水防涝工作也要勇于创新，增大资金投入，运用先进的技术手段和管理模式，打破行政界限，整合优势资源，建立具有地方特色，适应时代发展的新型城市排水防涝体系。□

北京市中心城防洪防涝系统规划概述

张晓昕 / 北京市城市规划设计研究院市政规划所所长



北京市中心城防洪防涝规划总体格局

一、规划背景

水是生命之源、生产之要、生态之基，是支撑和保障城乡发展的基础和命脉。兴水利、除水害，是事关人类生存、经济发展、社会进步的大事。

为有效地指导中、长期北京城市规划和防洪防涝工程建设，最大程度地减少城市洪涝灾害，必须尽快编制与首都政治地位、自然条件及社会经济要求相适应的防洪防涝系统规划。本次规划工作是在北京市规划委和市水务局共同组织下，由北京市城市规划设计研究院承担，由中国水利水电科学研究院、北京市气候中心、北京市水文总站、北京市水利科学研究院、北京市水利规划设计研究院、北京市政工程设计研究总院、北京工业大学等单位共同参与研究和编制。

二、规划目标和原则

1. 规划目标

按照建设“三个北京”和世界城市的要求，完善中心城的防洪防涝系统，减少洪涝灾害，确保城市安全运行，把北京建设成为

安全的宜居城市，为首都经济社会发展提供安全保障。

2. 规划原则

(1) 坚持城乡统筹和流域统筹的原则。

妥善协调城区与乡镇、流域与区域之间的关系。按首善之区的标准要求，全面规划、综合治理，加强城乡防洪防涝基础设施的建设。

(2) 坚持突出重点和统筹兼顾的原则。

一是以严重内涝积水区域（例如环路下凹立交桥）为重点，从全局排水系统出发，编制雨水管道系统、河道系统、调蓄系统及小区雨水控制等综合治理方案，减少这些区域的积水灾害；

二是合理安排建设项目和时序，为北京市重点功能区建设提供安全保障和技术支撑。

(3) 坚持防洪防涝、雨水利用和生态环境建设相结合的原则。

在雨水管道系统、河道系统排涝设施建设的同时，规划在小区、单位、学校、公建区、工业区等场所，采用绿化屋顶、雨水花园、透水铺装、低洼绿地、渗井等低冲击开发措施有效控制雨水径流外排量，同时充分利用雨水资源。即采用绿色和灰色基础设施建设相结合的方式，一方面提高区域防洪防涝能力，另一方面大大改善区域生态环境。

(4) 坚持工程措施和非工程措施相结合的原则。

为加强对新建、改建建筑、小区和市政工程建设的雨水的控制与利用，需要编制相应的法规、标准和设计导则，改变以往单纯的雨水排放理念，加强雨水的控制与利用。另外需结合积水风险预测、交通疏导等情况，提前编制超标降雨预警和应急保障非工程方案。

(5) 坚持科技创新，科学合理规划原则。

以现有排水系统设施为基础数据，采用先进工具建立城市排涝系统模拟模型，对中心城排水系统进行全面评估，对超标标准降雨进行风险分析，最终科学合理地指导规划方案的编制，为制定防汛应急预案提供技术参考。

(6) 坚持以人为本，强化防洪防涝设施基础性和公益性原则。

三、规划内容

1. 城市防洪防涝体系基础研究

(1) 国内外大城市防洪防涝系统调研。

为学习发达国家的先进理念、经验和科技，建设更加合理、安全的中心城排涝系统，实现北京世界城市的宏伟目标，进行此项工作。其主要内容包括：

① 调研世界城市排涝系统的规划设计理念、思路、组成、建设标准、规划设计方法、政策法规体系和组织管理形式等；

② 调研世界城市的水力模型模拟等新技术，以及城市非点源污染控制的理念、思路和方法等；

③ 总结分析中心城排涝系统与世界城市的差距，提出改进措施。

(2) 降雨特征及中心带空间分布规律研究。

为科学合理地制定中心城不同地区的排涝标准和雨水排除系统规划设计标准，以及为更好地编制排涝系统规划方案，切实保证中心城排涝安全，进行此项研究。主要内容包括：

① 研究中心城降雨随时间和空间的变化规律；

② 确定中心城暴雨中心的分布规律、位置和范围等特征。

(3) 中心城防洪防涝系统理论研究。

排涝系统的概念目前在城市还不够清晰，为更好地编制中心城排涝系统规划需进行此项研究。主要内容包括：研究城市防洪防涝系统规划理念、总体思路，分析研究北京市中心城防涝系统的基本组成和布局等；以北京市的自然特征和社会经济为基础，采用模拟分析和数理统计的手段，结合国内外情况，研究确定北京市的中心城排涝标准等。

2. 中心城防洪防涝系统总体规划

(1) 中心城防洪防涝系统总体规划实施评估。

为深入了解 2004 年北京城市总体规划编制后，中心城防洪防涝设施的建设情况和存在问题，以便更好地指导本次规划编制工作，开展此项研究。

(2) 中心城防洪系统总体规划。

确定中心城防洪总体思想、规划目标、规划原则、规划标准、规划内容和总体格局，以及防洪重大基础设施布局，为防洪系统专项规划提供依据和技术支撑。

(3) 中心城防涝系统总体规划。

确定中心城防涝总体思想、规划目标、规划原则、规划标准、规划内容和总体格局，以及中小河道、管道、环状绿带、雨水公园、湿地、调蓄区等防涝重大基础设施布局，为防涝系统专项规划提供依据和技术支撑。

3. 中心城防洪防涝系统专项规划

(1) 中心城中小河道系统规划。

为保证城市排水出路的畅通，需复核与编制中心城河道治理规划。主要内容包括：

① 结合新的雨水管道规划设计标准和新的规划建设区范围，重新计算城市河道规划流量；

② 调查并对现状河道和主要建筑物行洪能力进行校核计算；在满足排涝标准的前提下，研究河道拓宽及主要建筑物改扩建的可能性及规划方案，协调河道与建设用地的关系；

③ 对于难以拓宽的河道，要核算超出行洪能力的雨洪水量，并以此为根据提出对流域内的雨洪控制要求，制定河道治理工程分期实施计划等。

(2) 中心城雨水蓄滞洪区规划。

为保证城市排涝安全，并与海河流域规划（控制北京市出境洪水）相协调，规划在中心城上、下游分别建设城市雨水蓄滞洪区，用于分流城市河道洪水量，减少进入城市的雨水量，同时减少出境雨水量。规划结合河道两岸用地和规划流量情况，确定中心城蓄滞洪区布局规划，确定各蓄滞洪区的位置、规模和占地面积。

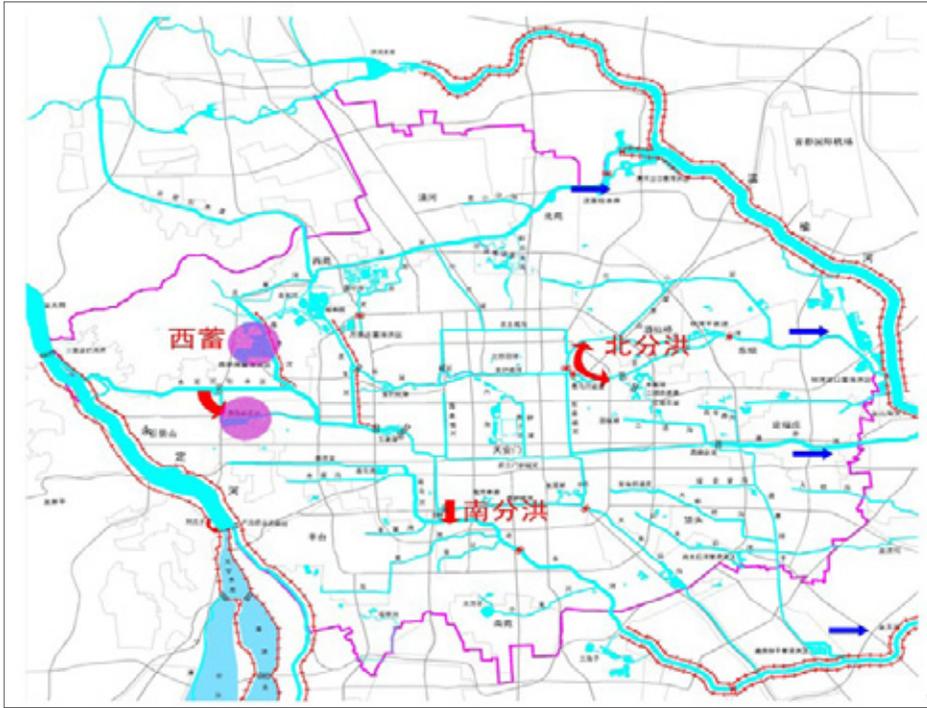
(3) 中心城雨水调蓄区规划。

城市雨水调蓄区用于蓄滞超过雨水管道规划设计标准，但不超过中心城排涝标准的雨水，其包括雨水蓄滞场所和雨水流动通道。蓄滞场所主要指城市公园及广场、运动场、湖泊等。必要时，可建设城市地下大型调蓄水池。

(4) 中心城雨水管道系统规划。

规划按照雨污分流制的原则，采取分流、改扩建及新建雨水管道等方式提高雨水排除能力。主要内容包括：

① 根据规划范围内最新的城市规划，参考北京市中心城降雨特征研究成果和城市功能区规划，划分一般地区、重要地区、特别



北京市中心城“西蓄、东排、南北分洪”规划方针

重要地区和重要道路；

②通过现状调查，并按新的规划设计标准核算现状雨水管道及泵站排水能力，修订雨水管道及泵站规划方案，特别是要解决好现有积水点问题。

③制定雨水管道及泵站系统建设分期实施计划等。

(5) 中心城应对超标降雨措施规划。

为保证中心城排涝系统的安全可靠，需对中心城排涝系统进行验证和校核，以修改完善规划方案，并提出超标雨洪的应对措施。主要包括：

①采用先进的水力模型，模拟分析中心城通惠河等流域在规划情景下的不同重现期降雨的积水范围、深度和时间等，据此成果

修改完善规划方案，并绘制不同重现期的排涝风险图；

②研究发生超过排涝标准的降雨时，宜弃守的区域和应重点保护的区域，并制定对超标雨洪的分流和蓄洪方案；

③研究发生超过排涝标准的降雨时的非工程措施，如编制预警机制、应急抢险预案和交通疏导方案等。

四、相关政策、法规和管理体系等研究

为减少中心城排涝设施的排水压力，充分利用雨水资源，应补充研究现有雨水控制与利用措施所缺失的内容，进一步完善现有城市雨水控制与利用的相关规范、规程和规定等，提出对城市建设规划设计的具体要求和

相关规定，为此进行本研究。主要包括：

①调查整理北京市城市雨水控制与利用现状情况及相关规范、标准、规定等；

②研究制定建筑小区雨水控制与利用规划设计标准、形式及指标（下凹绿地、透水铺装、雨水池等）；

③研究制定城市道路的雨洪控制措施的形式、规划设计标准及指标，并对城市道路标准横断面等提出相应要求；

④制定建筑小区外排径流量控制指标等；

⑤制定相关导则。

五、结论与建议

1. 中心城防洪防涝法规及管理体系建设

为保障北京中心城排涝系统规划的顺利实施和可持续发展，需建立规划实施的保障措施体系，建立健全排涝系统管理设施的建设标准和管理组织形式，完善排涝系统规划设计审批及日常管理的流程、法律法规、政策规章和技术规范等，为此进行本研究。主要包括：

①调查整理城市规划、水务管理的相关法律法规、政策规章和技术规范、标准等；

②进一步完善保障北京市排涝安全的相关法规体系，例如小区雨洪控制要求等；

③制定中心城排涝管理体系和标准，例如确定管理单位的原则、管理设施建设规模的标准等；

④完善防洪排涝设施的规划设计、设计变更、验收审批流程及规定等。

2. 中心城防洪防涝系统规划经济性评估

为评估中心城防洪防涝系统规划的经济合理性，需要开展此项研究。主要包括：中心城防洪防涝系统规划不同方案对应的工程投资估算；预测中心城不同重现期降雨情景下的积水灾害损失；采用损益方法分析中心城防洪防涝系统设施规划的合理性。□

构建人与自然和谐的海绵城市

谢映霞 / 中国城市规划设计研究院水务与工程院原副院长

当前，我国正在按照国务院的部署，全面开展海绵城市的建设，30个试点城市也在按计划有序开展，那么，什么是海绵城市？建设海绵城市的意义又如何呢？

海绵城市是一种形象的比喻，简而言之，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”。其本质是要科学地考虑城市生态需求并改善城市的水循环过程，就是要让水在城市的迁移、转化和转换等活动中更加“自然”，下雨时下垫面能够有效地吸水、蓄水、渗水、净水，需要时又可经适当的迁移和转化作用，将蓄存的水“释放”并加以利用。充分发挥原始地形地貌对降雨的积存作用，自然下垫面和生态本底对雨水的渗透作用，植被、土壤、湿地等对水质的自然净化作用，通过自然和人工相结合的手段，使城市对雨水具有吸收和释放的功能。

一、海绵城市的提出

高速发展的城镇化在带来经济繁荣的同时，也带来一系列的生态环境问题。城市超



海绵城市示意图

负荷运转，建设开发强度高，硬质铺装多，从而改变了原本自然的下垫面条件，建筑、道路、地面等设施建设导致下垫面过度硬化，增加了热岛效应、雨岛效应，改变了城市原有自然生态本底和水文特征，水资源自然蓄滞能力锐减，调查显示，城市地区 70% 以上的降雨形成径流被排放，雨水资源流失、径流污染增加、城市内涝灾害频发，严重影响了人们生活和城市有序运行。为了解决这一系列问题，海绵城市应运而生，成为解决这些问题的一剂良药，作为一项国策，海绵城市既是健康城镇化的一种发展模式，也是促进经济发展的手段之一。

二、海绵城市的概念和作用

广义地讲，海绵城市是指山、水、林、田、湖、城这一生命共同体要具有良好的生态机能，能够实现城市的自然循环、自然平衡和有序发展；狭义讲，海绵城市是指能够对雨水径流总量、峰值流量和径流污染进行控制的雨水管理系统，特别是针对分散的、小规模的原头的初期雨水控制系统，这一系统又叫低影响开发雨水系统。建设海绵城市

的目的是使城市开发建设后的自然水文状态尽量接近于开发前。

海绵城市建设是一种新的城市发展理念，它突破了传统的“以排为主”的雨水管理模式，强调采用低影响开发理念整合城市雨洪资源，建立新的城市发展模式，实现城市资源与环境协调发展的目标。海绵城市以建筑与小区、城市道路、绿地与广场、湖泊水系等建设为载体，通过渗、滞、蓄、净、用、排等多种生态化技术，实现对雨水的自然积存、自然渗透、自然净化功能。建设海绵城市是新形势下转变城市传统发展模式、实现生态文明的具体举措。

研究成果表明，屋顶绿化、雨水蓄渗、下凹式绿地、透水铺装地面、生物滞留池等低影响开发设施对综合雨水径流的大小有一定的影响，可以减少雨水径流量，减少进入分流制雨水管道和合流制管道的雨水量。大面积透水铺装及下凹式绿地等雨水控制和利用措施对小区综合径流的削减作用十分明显，尤其在低重现期时效果更明显；雨水调蓄设施、低绿地、透水铺装等雨水控制方式

的组合利用，能有效降低径流。

通过上述手段，海绵城市可以有效地控制水污染，削减雨水峰值流量，降低内涝风险，同时涵养水资源，补充城市地下水，促进水循环，保护和恢复自然生态系统。因此保障水安全、治理水污染、涵养水资源、保护水生态是建设海绵城市的根本目的。为此，要转变过去末端治理的传统观念，通过“渗透、滞流、蓄存、净化、利用、排放”等多种手段和措施，全过程的管理雨水，实现综合排水，生态排水，实现城市的可持续发展。

三、国际经验借鉴

发达国家在城镇化进程中，也曾出现过水体严重污染、内涝灾害频发，生态环境恶化等类似情况，这些国家通过实施雨水的综合管理，合理控制雨水径流，有效解决或缓解了上述问题。例如美国在上世纪 90 年代初就提出了低冲击开发（又称低影响开发，简称 LID）理念，其基本原理是在人工系统的开发建设活动中，尽可能减少对自然生态系统的冲击和破坏。LID 的方法包括储存、下渗、蒸发、滞留，以削减地表径流，促进



雨水花园



透水铺装



植被浅沟



雨水渗渠



湿塘



雨水湿地

地下水补充，通过分散的、小规模源头控制机制和设计技术，达到对暴雨所产生的径流和污染的控制，从而使开发区域尽量接近于开发前的自然水文循环状态。

英国提出可持续排水系统(Sustainable Drainage Systems, SUDS)的概念，其基本原理也是模仿自然过程，对雨水进行存蓄然后缓慢释放，促进雨水下渗，运用设计技术过滤污染物，控制流速，创造宜人的环境。

澳大利亚提出水敏感城市设计(Water Sensitive Urban Design, WSUD)的思路，也是体现了一种雨水源头控制的理念，其原则是在城市开发中保护自然系统，保护水质，将雨水处理与景观相结合，降低雨水径流量和峰值流量。实质是将雨水在源头上进行收集、控制，减少暴雨径流，同时减少水资源的浪费，也是一种新型的节水技术。德国、新西兰等其他国家也都基于雨水管理提出了相应的措施。

中国在城市建设和治水方面参照了上述国家的经验，结合我国城镇化的特色，强调绿色、低影响开发和可持续发展等理念；推广低影响开发、可持续排水系统、水敏感设计等技术，采用源头削减、过程控制、末端处理的方法，降低雨水径流量和高峰流量，减少对下游受纳水体的冲击；保护利用自然水系，保证透水地面比例，使土地开发时能最大限度地保持原有的自然水文特征和生态系统。通过工程措施和非工程措施，达到防治内涝灾害、控制面源污染、提高雨水利用程度的目的。

四、实现海绵城市的途径

典型的LID设施包括雨水小花园、透水铺装、植被浅沟、雨水渗渠、湿塘、雨水湿地等。

要实现海绵城市就要遵循生态优先的原则，将自然途径与人工措施相结合，在确保城市排水防涝安全的前提下，最大程度地实

现雨水在城市区域的积存、渗透和净化，促进雨水资源的利用和生态环境保护。

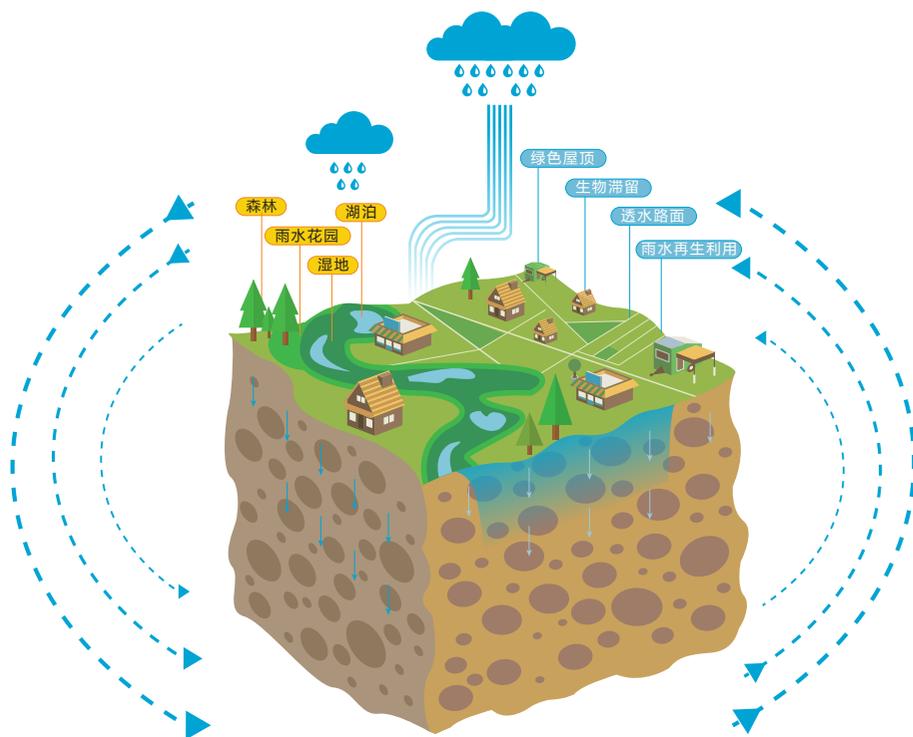
首先，要对城市原有的生态系统进行保护，尤其是河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等水敏感地区的保护，最大程度地保护“山水林田湖”；其次，对已经受到破坏的水体和其他自然环境进行生态恢复和修复，维持城市一定比例的生态空间；再有，城市进行新的开发建设过程中要遵循低影响开发的原则，合理控制开发强度，在城市中保留足够的生态用地，控制城市不透水面积比例，最大限度的减少对原有水生态环境的破坏，增加水域面积，促进雨水的积存、渗透和净化。

五、结语

要发挥海绵城市的作用，需要精细化设计、精细化施工和精细化管理。这对城市建设管理提出了更高的要求。所有从业人员要积极学习相关知识，提高专业技能，同时，海绵城市的建设离不开全社会的广泛关注和支

城市排水（雨水）防涝工程的系统架构

周玉文 / 北京工业大学建工学院副院长



海绵城市示意图

近年来我国城市内涝灾害频发，已经造成巨大经济、财产损失并严重影响了城市的正常安全运行，受到了媒体、公众和政府的高度重视。很多专家学者从不同的角度探讨了产生城市内涝的原因和解决途径，各有建树。为了科学规划建设城市排水（雨水）防涝工程，抵御城市内涝，本文仅从工程的角度探讨如何构建城市排水（雨水）防涝工程的系统问题。

1. 构建城市排水（雨水）防涝工程系统架构的必要性

国务院 2013 年 23 号文“关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知”为科学防治城市内涝灾害提出了从规划做起的基本要求。2014 年 1 月 1 日颁布的《城镇排水与污水处理条例》为科学防治城市内涝灾害奠定了法律依据。2014 年版《室外排水设计规范》为科学防治城市内涝灾害制定了防治标准。在住建部关于印发《城市排水（雨水）防涝综合规划编制大纲》的通知（建城〔2013〕98 号）基础上，应用《城镇内涝

防治技术规范》的相关技术，全国各地都在积极编制城市排水（雨水）防涝综合规划。海绵城市建设已经将城市排水防涝综合规划的实施提上议事日程。如何将以上精神落实到工程中，定义科学防治城市内涝灾害的设计工况就十分必要。

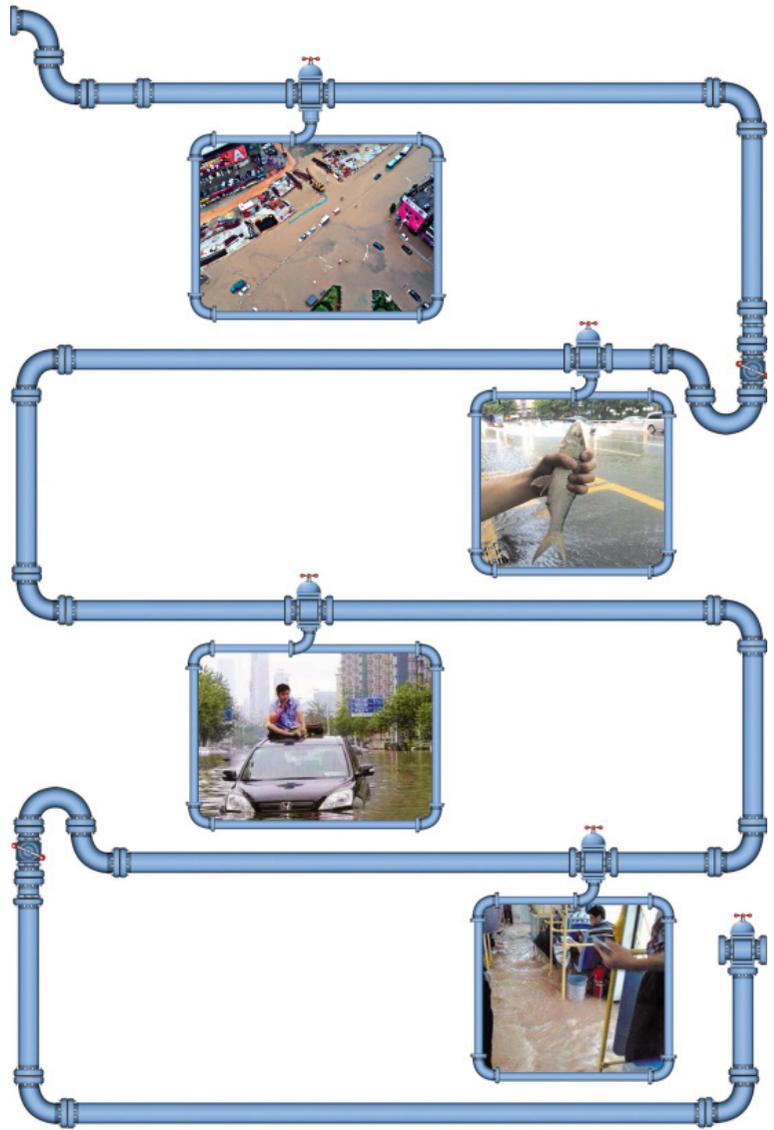
我国一直采用城市排水工程和城市防洪工程的二元工程体系架构解决城市的洪涝灾害问题。2011年版《室外排水设计规范》首次提出内涝的概念，2012年完成的亚洲发展银行技术援华项目《城市雨水管理与内涝防治》的咨询报告全面分析了我国法律、机构、技术和投资等方面存在的问题和解决问题的建议。在2014年版《室外排水设计规范》颁布以前，一直将排水标准作为内涝的防治标准。所以，很多人将排水管网提标改造作为解决城市内涝的核心技术。2014年版《室外排水设计规范》从顶层设计角度，建立涵盖“源头控制体系”、“排水管网系统体系”和“内涝防治体系”的我国城镇排水系统标准体系框架。但是“内涝防治体系”的定义并不明确。有人提出参考澳大利亚将城市排水、内涝防治和防洪三套工程体系架构，一并考虑城市雨水系统的防灾问题。两者的差别是只局限在城市排水的范畴，还是从整个城市雨水系统来构架工程系统。我们要提高现有排水管网设计标准，同时制定出新的内涝防治标准，并且要与城市排水标准和防洪标准相衔接。

目前还存在着源头控制、过程控制和受纳水体控制的关系应进一步明确和准确地确定科学防治城市内涝灾害的设计工况和设计参数等问题，很多基本概念一直困扰着工程技术人员，有必要予以澄清。

2. 城市排水（雨水）防涝工程体系的系统架构

城市是一个人工生态系统，它的生态安全、排水安全和防灾安全都依赖于相应的工程设施提供保障。城市排水（雨水）防涝工程体系包括对降落在城市区域的雨水进行科学管理、排除地表径流、防止在低洼地区产生内涝和预防河水倒灌进入市区或泛滥成灾的一整套工程设施，这一整套工程设施是防治城市内涝灾害的重要基础条件。

为了实现城市排水（雨水）防涝工程体



城市防洪工程

系防灾、减灾的目的,并考虑到量化规划、设计该工程体系,参考国际发达国家的经验和我国的具体实践,拟将城市排水(雨水)防涝工程体系划分为5个单项工程:源头控制工程(海绵城市建设第一期)、雨水排水管网工程(小排水系统)、内涝防治工程(大排水系统上游)、排涝工程(大排水系统下游)和防洪工程。5个单项工程互为上下游关系,量化共同分担防止内涝灾害发生的责任。

1) 源头控制工程

降落到城市规划区范围以内的降雨,在小区或街坊内产生地表径流,产生地表径流的量取决于用地性质和地表覆盖种类。科学地规划建设各种用地性质的雨水径流过程,可以有效地控制进入雨水管网的流量过程线特性。

源头控制工程采用调蓄或增加入渗等低影响开发(LID)和雨水利用典型技术,主要设计参数为降雨量(mm)。常用的设计调蓄水量为10~30mm,超过设计值之后该工程失效,将产生向源头以外的排水过程。

从原则上讲,通过工程设施可以将全部的降雨都蓄滞在进入雨水管网之前的地表径流阶段,但是从经济方面和安全性等角度考虑,在大城市寄希望于通过源头控制工程解决城市内涝问题可能是不经济和不安全的。

2) 雨水排水管网工程

在城市规划范围以内,都要求建设城市雨水管网排除设计重现期以内的暴雨径流,以便解决城市居民在降雨期间的出行方便问题。降落在城市规划区内的暴雨,产生地表径流以后,从建筑小区、工厂、学校、单位等区域设计地面流向道路,并通过道路边沟进入设置在路边的雨水口进入地下雨水管网系统,雨水管网收集地表径流以后排向下游接纳水体(排涝工程或防洪工程)。由于城市雨水管网的设计重现期与城市内涝防御工程设计重现期相比都比较低,所以北美和澳大利亚等国称城市雨水管网为小排水系统(minor drainage system)。在我国的规划设计理念中,超过雨水管网排水能力的暴雨径流可以暂时蓄存在地表低洼处,待暴雨过后或管网有富余排水能力时再排出,所以一定会产生城市区域内积水问题。



城市排涝



海绵城市源头控制

据推理公式法设计理论,城市雨水管网的主要设计参数是设计暴雨强度 $[mm/min$ 或 $L/(s \cdot hm^2)]$,常用的设计重现期为2~5年。

3) 内涝防治工程

城市规划区范围以内产生积水问题是一种自然现象,超过城市雨水管网排水能力的暴雨径流聚集在城市低洼地区,造成一定经济或财产损失即产生内涝灾害。城市内涝灾害是一种发生在城市规划区范围以内新的自然灾害,这是改革开放以后经济

发展带来的,确定城市内涝防治标准,建设城市内涝防御工程是保护市民财产和保证城市快速、安全运行的需求。在我国的规划设计理论中没有包含城市内涝灾害防治的内容,所以内涝防治工程规划建设是一种新的需求。为了科学构建城市内涝工程防灾体系,2014年版《室外排水设计规范》给出了城市内涝综合防治标准,设计重现期范围在20~100年,远远高于城市雨水管网设计标准。美国、日本、欧盟等国家均对内涝设计重现期做了明确规定。我国在此之前

没有专门针对内涝防治的设计标准，2014年版修订增加了控制地面积水方面的内容，并规定了内涝防治系统设计重现期和积水深度标准，用以规范和指导城市内涝防治工程的设计。

发达国家和地区均建有城市内涝防治系统，北美和澳大利亚等国称为大排水系统（major drainage system），包括城市内涝防治工程和排涝工程。主要包含大雨水明渠、洼地、道路、河道和调蓄设施等。

由于我国行政管理和专业分工与国外的差异，排涝工程由水利部门负责，城市排水由城市建设部门负责，城市规划区范围内的城市内涝防治工程也由建设部门负责。城市内涝防治工程部分包括行泄通道和调蓄设施，其中行泄通道由道路和大排水通道组成，将超过排水管网排水能力的地表径流排入下游水体。

城市区域内规划设计的道路除了保障交通运输的任务以外，还应承担排除雨水的任务，即：排除自身产生的暴雨径流、排除上游和周边区域产生的暴雨径流以及作为输送超标雨水排除的行泄通道。雨水口和检查井都设置在道路之上，源头区域产生的地表径流只能通过道路才能进入雨水管网，超标的暴雨径流一般都聚集在道路之上，只能通过科学合理地设计道路的坡度和断面能及时排除。因此，道路设计方法的改进和创新是构建城市内涝防治工程体系的关键。

4) 排涝工程

城市排涝工程是保证城市运行安全的工程设施，是城市雨水管网和城市内涝防治工程的下游排水通道，由河道和排涝泵站等工程设施组成，是保证城市雨水排水工程和城市内涝防治工程正常工作的重要工程设施。

城市排涝工程采用与设计暴雨强度相关的排涝模数进行设计，设计标准一般为设计重现期20年，设计依据一般为城市或区域的水文手册，主要由水利工程师负责设计。

排涝工程的设计水位超过城市雨水管网和城市内涝防治工程的下游设计水位标高，就会对城市雨水管网和城市内涝防治工程的造成顶托，影响排水能力。如果水位过高就会通过城市雨水管网和城市内涝防治工程设

施倒灌进城市规划区范围以内，形成严重内涝灾害。

目前城市排涝工程的设计方法是农田排涝发展而来，排水时间等设计参数还应该从城市的需求来考虑，模型技术的推广应用也应当予以重视。

5) 防洪工程

城市防洪工程是保障城市安全的工程设施，是保证城市免受洪水灾害的工程设施。它是城市排水、防涝和排涝工程的下游排水通道，对城市内涝防治的作用非常重要。

城市防洪工程一般采用设计流量作为设计参数，设计标准一般50年以上，设计流量通过对观测河流的洪峰流量进行数理统计的方法确定，设计水位是城市排水、防涝和排涝工程的重要设计参数。城市防洪工程超过设计洪水位以后，所有的排水设施，包括城市排水、防涝和排涝工程都会失效，将产生严重洪涝灾害。

3. 城市排水（雨水）防涝工程系统各组成部分的相互关系

由源头控制工程、雨水排水管网工程（小排水系统）、内涝防治工程（大排水系统上游）、排涝工程（大排水系统下游）和防洪工程等5个单项工程共同分担防止内涝灾害发生的责任，5个单项工程缺一不可，目前我国内涝灾害频发和认识混乱的根本原因是由于内涝防治工程缺失造成的。

城市排水（雨水）防涝系统的规划建设涉及城市防洪排涝、内涝防治、城市排水、低影响开发、雨水利用和合流制改造等多个研究领域，与水利工程、市政工程和工程密切相关。目前由于各个领域的交叉和衔

接等问题混杂不清，造成很多概念混淆，为保证我国排水（雨水）防涝系统的规划建设领域工程实践沿着正确的方向发展，通过学习国外发达国家的先进经验，结合我国的实际技术经济条件，提出建设5个单元工程体系，结合中国国情推荐构建城市排水（雨水）防涝系统的规划建设的体系架构。

城市排水（雨水）防涝系统包括城市洪水灾害的安全处置、城市内涝灾害的安全处置和城市排水安全。城市化发展过程中片面追求发展速度和地上、地下不和谐的发展倾向，导致了近年来中国城市区域内涝灾害频发，不仅严重影响城市居民的正常生活，对城市的安全运行和良性可持续发展提出了挑战。在我国，城市防洪由水利部门负责，经过几十年的建设已经形成比较完善的体系。城市内涝灾害防治和城市排水由城建部门负责，已经建设的城市排水管网只能排除低重现期条件下的降雨径流，能够应对高重现期条件下内涝灾害防御体系几乎是空白。城市雨水排水标准普遍偏低，虽然已经制定了城市内涝防灾标准，但是缺乏相应的工程体系建设经验，同时预警机制不够健全，部门之间缺乏协调联动等，暴露出了城市内涝风险管理体系的不完善。

由源头控制工程、城市排水工程、城市内涝防治工程、排涝工程和城市防洪工程共同组成应对城市水灾的工程体系，应明确它们之间的边界条件，以便分清责任。

城市防洪工程的边界条件是保证城市的过境河流和水系不泛滥成灾，即：防止外洪威胁城市的安全，从流域层面应保证河流行洪通道通畅，蓄滞洪区工作正常；从城市层



城市排涝

面应保证城市安全，防止外部洪水泛滥进城。主要由水利部和地方政府的水利部门负责。国家和地方的防汛抗旱指挥部负责协调防汛、抢险和救灾事项。

城市排涝工程是城市防洪工程的重要组成部分，城市排涝工程的设计标准是保证排除城市涝水的设计水平，是城市区域降雨径流可能排入受纳水体的限制性条件。

城市河流水系等能够接纳城市区域的降雨径流量是城市内涝防治工程的下游边界条件。

城市排水工程的边界条件是保证在低重现期暴雨（一般地区 2~5 年）的条件下，城市区域不产生严重积水，不影响城市的正常运行。主要由地方政府的城建部门（或水务局）和住房与城乡建设部负责规划、建设、运营和管理。

超过城市排水管网排水能力降雨产生的地表径流进入城市内涝防治工程，所以城市排水管网排水的设计标准是城市内涝防治工程的上游边界条件。

城市内涝防治工程的边界条件是保证在高重现期暴雨（一般 20~100 年）的条件下（与城市内涝防治工程设计标准有关），城市区域不产生内涝灾害，不影响城市的正常运行。城市内涝防治工程的上游边界条件是城市排水工程，下游边界条件是城市防洪工程（排涝工程），建设排除或蓄存城市区域超过城市排水工程排水能力、小于内涝防治工程建设标准的暴雨径流的工程设施，保证城市在发生城市内涝防治工程建设标准以下的暴雨事件时不发生内涝灾害。建议由地方政府的城建部门（或水务局）和住房与城乡建设部负责规划、建设、运营和管理。

源头控制工程、城市排水工程、城市内涝防治工程、排涝工程和城市防洪工程 5 个单元工程体系构成一个完整的应对城市区域

洪、涝灾害的工程系统，它们相互联系、互相影响，是一个有机的整体，缺一不可。由于我们没有经济实力，不能学习香港将排水、防涝、防洪 3 套工程合为一套，按照防洪工程标准建设一套具有防洪、排水和城市内涝防治功能的排水工程。我们现有的排水工程建设标准太低，也学不了英、美等国建设比较高标准的城市排水工程和城市防洪工程，辅助建设部分城市内涝防治工程设施的方式。我们可以参照澳大利亚建设三套工程体系的经验，结合我国的具体实践，创新性构架中国的防治城市区域洪、涝灾害的工程系统，科学规划建设城市排水工程、城市内涝防治工程和城市防洪工程三套工程体系，即 5 个单元工程。

4. 规范标准的衔接问题

在源头控制工程、城市排水工程、城市内涝防治工程、排涝工程和城市防洪工程 5 个单元工程体系的设计标准表述方式不同，可以分为 3 类：源头控制工程采用降雨量；城市排水工程、城市内涝防治工程、排涝工程采用降雨强度，用重现期表示设计标准；城市防洪工程采用观测洪峰流量的重现期。源头控制工程只能计算出总调蓄水量，没有数理统计的重现期设计标准概念，也无法计算出设计流量，因此对于高重现期极端暴雨事件的应对能力应慎重对待。城市排水工程、城市内涝防治工程、排涝工程都采用降雨的重现期来确定设计标准，2014 年版《室外排水设计规范》已经推荐采用年最大值法采集暴雨样本资料，为协调 3 个工程的设计标准奠定了基础。如果采用相同的基础暴雨资料，应采用相同的资料整理方法，则相同设计标准条件下的设计暴雨强度值应该是相同的。城市防洪工程的设计标准与其他工程的标准不同，没有对应关系。

根据年最大值法采集暴雨样本资料的方

法，设计工况条件下假设有充沛的前期降雨，所以源头控制工程设计调蓄水量对城市排水工程、城市内涝防治工程和排涝工程的影响有限。

城市防洪工程和排涝工程与城市排水工程和城市内涝防治工程的设计标准衔接可以简单地处理成设计工况的水位衔接。将来可以采用流量演算的方法进行流量通行能力的衔接。

5. 结论

为了科学构架城市排水防涝工程体系，根据现行的规范标准体系，提出了 5 个单元工程体系架构的设想，并探讨了 5 个单元工程的组成、应分担的任务、相互关系和设计标准衔接问题。

源头控制工程以调蓄降雨量为设计参数，无法与排水工程的设计暴雨强度相衔接。

城市排水工程、城市内涝防治工程和排涝工程都采用设计暴雨强度和设计暴雨作为设计参数，并且采用相同的年最大值采样分析方法，设计标准和设计计算方法应进行协调，以便保证系统的安全性和可靠性。

在总体框架下，应科学划分 5 个单项工程的任务和上下游边界条件，各个单项工程应完善其设计计算方法，并建立完善的监管体制，明确产生城市内涝的工程原因。

在 5 个单项工程中，除城市内涝防治工程是新的工程以外，其余 4 个单项工程都有比较完善的设计规范标准和技术方法，所以建立排除或蓄存超过排水管网排水能力的暴雨径流的城市内涝防治工程的规范标准和技术方法体系是当前的重点和难点。

城市内涝灾害防治工程的规划建设是一项新的任务，应多专业合作协调，在技术经济评价的基础上，合理利用资源和资金，共同构建具有中国特色的城市排水防涝工程体系。□

澳大利亚水敏性城市设计理论与海绵城市建设实践

佟磊 / 沈阳市规划设计研究院城市与景观设计所

摘要：“以水定城”提上国家战略层面后，海绵城市建设成为我国城市发展的重点。早在 1984 年，澳大利亚开始水资源可持续管理研究，并建立水敏性城市设计（WSUD）体系，通过梳理水敏性城市设计的主要特征、工作路径、工作内容和研究进展，着重强调水敏性城市设计具有系统性和前瞻性，以及能够给城市带来更多的环境效益，为我国海绵城市建设提供参考。

一、水敏性城市设计的主要特征

1. 理念解析——实现“水 - 环境 - 社会”和谐的理念

诞生在澳大利亚的水敏性城市设计（Water Sensitive Urban Design，简称 WSUD），是注重水资源可持续管理和环境保护的一种城市设计新范式。2004 年，澳大利亚政府（the Council of Australian Governments，简称 COAG）明确定义 WSUD 是将城市规划设计与城市水循环的管理、保护相结合的可持续策略，确保城市水管理对于自然水文环境的可持续，在水管理目标与城市设计目标之间探寻最佳解决方式，是令“水 - 环境 - 社会”通往更和谐之路的途径。参考资深专家托尼·汪教授（WONG T.H.F.）与艾希莉教授（ASHLEY R.）的观点，WSUD 是社会科学与自然科学相结合的综合方法，从水资源保护节约、城市安全、生存与健康的角度切入，为可持

续水管理和城市设计的整合提供一个链接，将城市整体水文循环和城市的发展与建设同步考虑（见图 1）。

2. 目标理解——以水为核心的多目标实现

WSUD 旨在将城市发展对水文环境的负面影响减到最小，首要任务是雨洪水量控

制、水质控制以及雨水再利用三方面，通过将地表水管理和城市空间的结合来减少洪峰流量，改善水质，将废水再利用，从而持久供应干净的水，抵御与缓解自然带来的灾害威胁。不同于传统的工程，它的目标还涵盖改善微气候、美化城市以及带来更多环境效益。具体目标包括如下方面。

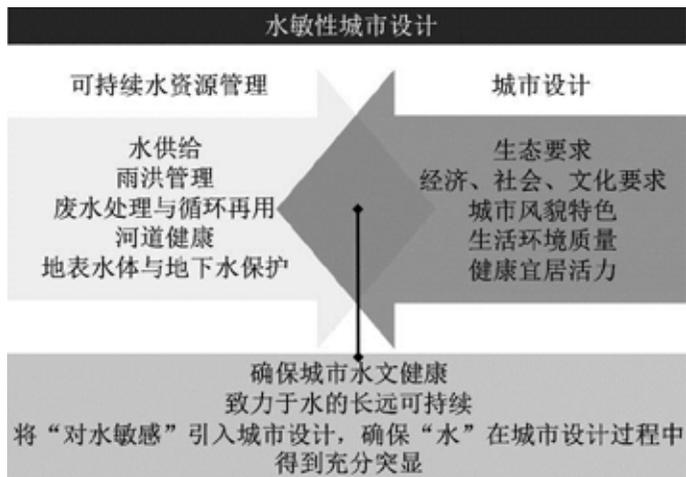


图 1 WSUD、可持续水管理、城市设计的关系示意图

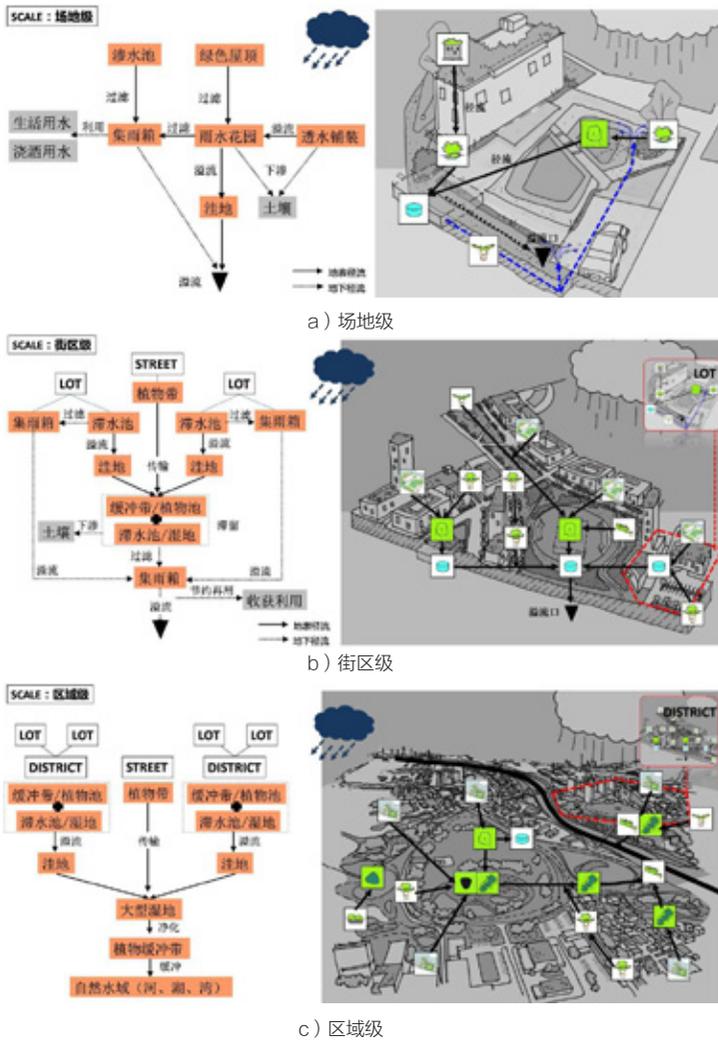


图2 WSUD的系统性和层次性示意图

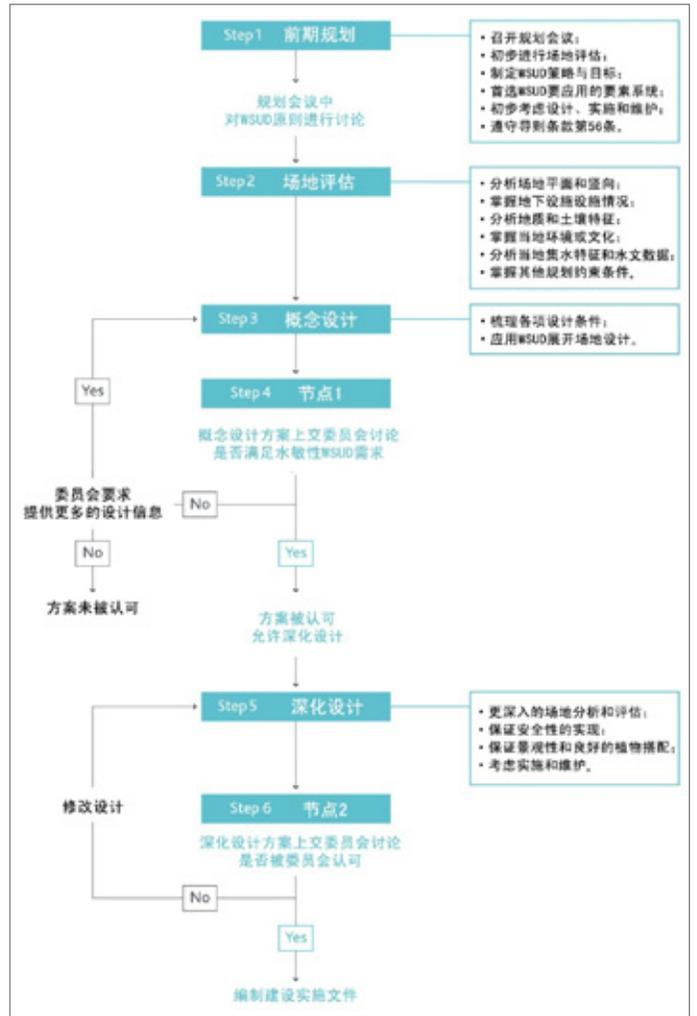


图3 水敏性城市设计项目工作路径图

(1) 城市建设对水文环境影响最小，恢复城市水平衡。

(2) 保障安全，降低干旱、洪涝、公共健康的风险。

(3) 提升水质，保护河道和水体健康。

(4) 增进雨水、废水的再利用。

(5) 减少工程建设成本。

(6) 改善热舒适环境，降低城市温度。

(7) 增强城市美观性，带来环境效益。

3. 工作路径——系统性、层次性、规范性

经历长时间的探索，在澳大利亚形成较为成熟的设计思路和工作流程。

首先，WSUD 从城市整体建立大系统、大结构以关注城市水文的全过程，从区域到

街区再到场地尺度有层次地对集水型公共空间、廊道、节点进行安排，实现源头——过程——末端 3 个控制阶段对汇水区的可持续管理（见图 2）。

其次，制定清晰严格的工作流程，涵盖设计标准、审批过程、设计评估、成果要求等（见图 3）。在设计评估过程中，一要按照《WSUD 工程技术规程》对每一项水敏性措施的设计图进行标准评定，二要应用 SWMM（Storm Water Management Model，暴雨洪水管理模型，由美国环境保护署开发，是一个动态的降水—径流模拟模型，主要用于模拟城市某一单一降水事件或长期的水量和水质模拟）MUSIC（Model for Urban Stormwater Improvement

Conceptualization，由澳大利亚政府水务机构为水敏感城市开发，主要用于模拟各种水敏性措施的除污效率，还提供水敏感城市建设导则和计算经济效益）对水量控制、水质、雨水收集量等情况进行模拟测试，评定通过后允许实施。

再者，建立当地的公共网站，网站负责讲解宣传和信息发布，包括当地的实时水文信息、实时存水量、水质监测数据、示范项目、技术标准以及研究进展等。

二、水敏性城市设计的工作内容

1. 保证城市安全和水安全

应对水风险和水质问题，首要工作是面对水风险，将人身伤害和城市损失降到最低。WSUD 建立“多层次水安全防护”的理念，



图4 多层次的水安全防护示意图

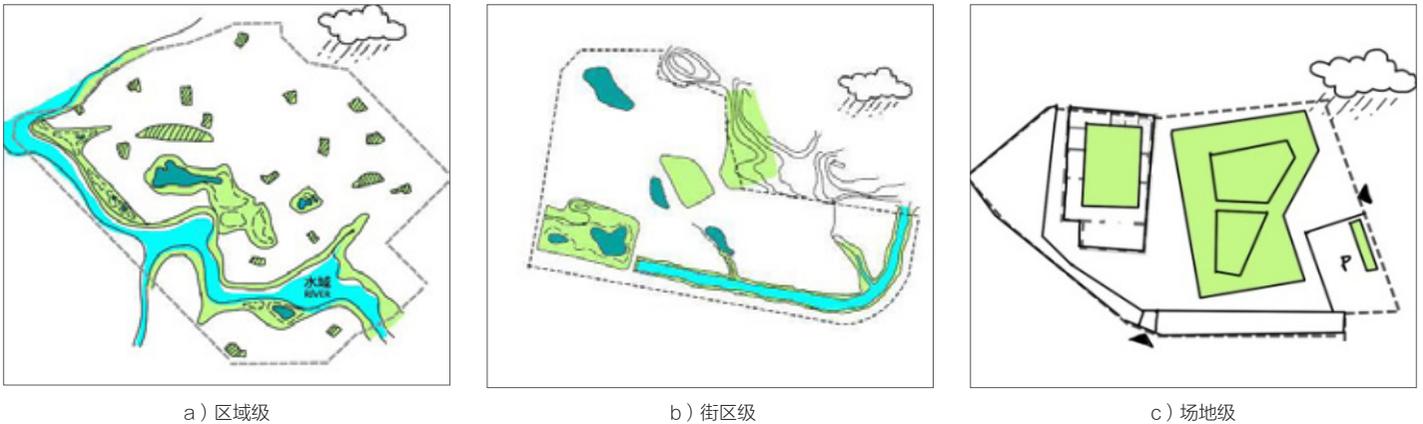


图5 雨水收集的公共中心示意图

实是应对极端气候，根据生命财产安全相关要素的重要等级设计一个保护秩序，提前计划、设计竖向（见图4）。对于改善水质，WSUD中除集水箱外的所有水敏性措施都具备净化功能，对改善水质、去除水中污染物均有效果，植草带的设置长度、滞留池的深度等均需要计算，确保径流在进入水体前去除污染物。

2. 建立雨水收集的公共中心

布局各汇水区的集水节点是WSUD的重要环节，像收获庄稼一样收集雨水。一般优先选择现有洼地、空地、水塘，选择地表径流方向的公共场地，设置抵御雨涝、收集雨水的水敏性设备，平时则作为邻里中心、广场或公园的公共中心，收集的雨水被用作造景、灌溉、冲洗等用途。不同层次雨水收集中心的规模和服务等级不同，如区域级的汇水中心为规模较大的公园、湿地、中央绿地，具备较大的承载能力，而街区级的收集中心为居住小区的街心花园或办公区的休闲广场，按照汇水面积计算承载量（见图5）。

3. 设计输送雨水的绿色廊道

“脱离管道（Disconnect from Sewage）”

是WSUD提出的重要主题，倡导雨水以地表径流的方式通过预先设计的路径进入水体中。利用延长径流路线、减缓流速、增加下渗和蒸发，减少排水量、推迟洪峰时间，此外还增加水与城的接触互动。优先保护现状水系、恢复原有水文，再根据竖向连接临近的集水节点流入水系，如利用现有带状草坪、绿廊、高压线走廊、林荫大道等带状公共用地。实现，雨水收集中心与输水绿廊在城市空间中连接、水绿叠加，形成蓝绿相容的结构网（见图6）。



图6 雨水收获中心与输水绿廊叠加示意图

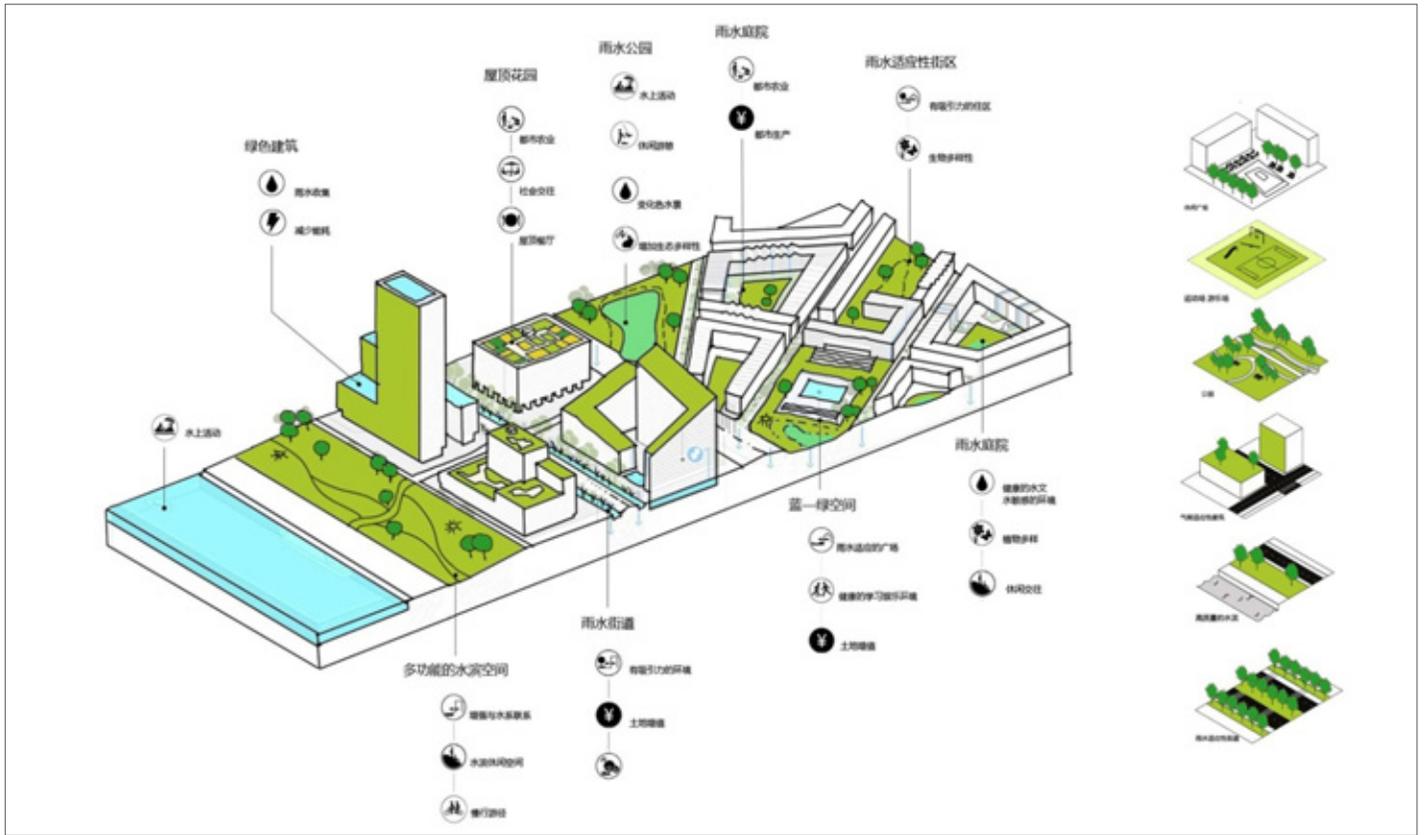


图7 融入多种用途的水敏性空间示意图

4. 营造多用途的水敏感空间

WSUD 致力于水敏感空间的场所设计，赋予丰富的功能、多样的场地、趣味优质的细节、美观的植物搭配等，营造好的场所。雨水收集的公共中心，多结合设置于篮球场、滑板场、小广场、开放草坪，或者湿地公园，供市民锻炼休憩、交往纳凉。对于输送雨水的绿色廊道，墨尔本建立雨水循环的漫游游径，成为步行、慢跑以及自行车骑行路线。它由水系、公园、线性绿地、绿色街道组成，串联了优秀的实践案例，又增强开放空间之间的联系，营造了充满趣味性的、学习可持续雨洪管理的环境（见图7）。

三、水敏性城市设计的研究进展

澳大利亚学术界共识 WSUD 能够降低洪涝风险，净化水体，提供绿色空间，给城市降温，创建住宅花园，带来创意空间，利于公共健康和幸福，降低水管理成本。2012年提出“水敏性城市（Water Sensitive City）”概念，被视为未来城市的雏形，同时建立水敏性城市研究中心（CRCWSC），

中心指出城市人口将继续增长，但城市应更加宜居，2016年发布让“水敏感遍布城市（Water Sensitive Urbanism）”的计划，聚焦于转变城市结构，应用水敏性设施和气候适应型设计实现水安全、雨洪防护、生态健康、活力场所的建设，并提出5项任务：气候变化背景下为水敏性城市建设雨水捕捉景观；做保护和收集水的规划、设计和管理；做水敏性城市设计和城市微气候；建立社会型方法和技术型措施兼容的雨洪海绵；编制水敏性城市设计法制规划。

从2014~2016年间澳大利亚相关学术研究来看，在绿色基础设施对于城市气候影响及相关测试模拟、水质管理与再利用、水再生的创新型技术、营造有活力的城市市场所等方面，澳大利亚 WSUD 已经进入更广泛的探索阶段。

四、澳大利亚海绵城市建设经验带来的启示

我国当前处在海绵城市建设初期，现阶段的核心目标是解决洪涝风险和修复水文循

环，即城市的安全和生态问题。澳大利亚的经验，现阶段重要借鉴在以下5点。

（1）应该从城市整体或区域整体建立全局性的海绵结构，而不是随意选址，也不是盲目改造公园和绿地。

（2）在洪涝安全方面，加强城市生命线系统的防护，增加水安全时序设计。

（3）海绵城市建设应重视多学科合作，叠加更丰富的设计，拓展研究内容。

（4）建立公共平台，公开相关数据和信息，促进更多人群参与。

（5）建立海绵城市发展与研究中心，促进研究、发起实践、举办会议、组织培训等。

我国当前正迫切地开展海绵城市建设，与任何新领域一样，海绵城市建设需要长期地、脚踏实地研究和探索。澳大利亚的经验可以使更好地认识海绵城市发展方向，推进和完善海绵城市相关研究内容。□

Some Knowledge of the Special Planning about Sponge City:Preparation of Technical Points, Planning Results and Implementation Suggestions

《对海绵城市专项规划的若干认识》 ——编制技术要点、规划成果与实施建议

任心欣 / 深圳市城市规划设计研究院有限公司副总工程师

编者按：《对海绵城市专项规划的若干认识》由中国城市规划设计研究院、深圳市城市规划设计研究院有限公司、北京清控人居环境研究院有限公司、中国城市建设研究院、中国建筑设计院有限公司联合编制（排名不分先后），深圳市城市规划设计研究院负责统稿，如引用成果请注明。主要包括三部分内容：对规划编制的认知、编制技术要点、规划成果与实施建议。本篇重点介绍后两部分内容：编制技术要点、规划成果与实施建议。

一、编制技术要点

1. 调研与基础分析技术要求

1) 基础资料

基础资料
(必备资料)

地形图、近30年日降雨数据、内垫面资料、土壤、排水体制、内涝情况、机关专项规划、用地分类、蓝线、绿线、重要生态空间分布图等

辅助性资料
(丰富规划内容和成果表达)

水土保持规划、规划区工程地质分布、规划区已有和海绵城市相关项目、老旧小区改造、初期雨水污染特征、给排水现状、水资源综合规划等等

2) 基础分析的深度

明确城市现状硬质下垫面比率、生态保育水平、不良地质的分布、工程建设方面地方传统特色做法

明确设计雨型、降雨强度公式、典型场降雨状况

明确土壤渗透性、地下水位分布，盐碱土的分布状况和盐碱化程度

明确城市开发前多年平均降雨、蒸发、下渗和产流之间的比例关系

明晰给排水基础设施水平、明确现状存在问题区域和成因

明确目前产流特征与径流控制水平

梳理出法定规划中海绵相关内容

提炼土地利用、竖向、绿地等相关专项规划中海绵相关安排

明确地方经济承受能力和规划未来发展方向等

2. 规划范围划定的方法

专项规划暂行办法规定海绵城市专项规划的规划范围原则上应与城市规划区一致，同时兼顾雨水汇水区 and 山、水、林、田、湖等自然生态要素的完整性。

在实际操作中，一般可考虑两个范围：

一个是需要划定海绵管控分区的规划范围，该范围应以城市建设用地增长边界为核心，包括城市总体规划确定的规划城市建设用地范围、城市远景发展用地、进行降雨汇水计算和模拟必需的自然基底、必须进行综合管控的区域等；一个是在此基础上适当外延放大的研究范围，可根据大区域的地形图进行流域分析，同时结合外围生态屏障来确定，研究范围的主要规划内容是确定自然生态格局。

3. 排水分区和管控单元划分的方法

1) 排水分区划分

排水分区一般分为流域排水分区、支流排水分区、城市排水分区和雨水管段排水分区，其划分应遵循“自大至小，逐步递进”的原则。

流域排水分区为第一级排水分区，主要根据城市地形地貌和河流水系，以分水线为界限划分，其雨水通常排入区域河流或海洋，反映雨水总体流向，对应不同内涝防治系统

设计标准。

支流排水分区为第二级排水分区，主要根据流域排水分区和流域支流，以分水线界限划分，其雨水排入流域干流，对应不同内涝防治系统设计标准，某些城市可能不存在该类排水分区。

城市排水分区为第三级排水分区，是海绵城市建设重点关注的排水分区，主要以雨水出水口为终点提取雨水管网系统，并结合地形坡度进行划分，对应不同雨水管渠设计标准。各排水分区内排水系统相对独立的网络系统，且互不重叠，其面积通常不超过 2 平方公里。值得注意的是，当降雨径流超过管网排水能力时，形成地表漫流，原有的汇水分区将会发生变化，雨水径流将从一个汇水分区漫流至另一个汇水分区。

雨水管段排水分区为每段管段所服务的汇水范围，其划分相对简单，主要是在第三级排水分区基础上，根据就近排放原则和地形坡度进行划分，其面积通常不超过 2 公顷，对应不同雨水径流控制标准。

在划分方法上，流域排水分区和支流排水分区的划分主要基于 DEM（数字高程地形图），采用 GIS 水文分析工具来提取分水线和汇水路径，实现自然地形的自动分割。城市排水分区的划分主要以雨水管网系统和地形坡度为基础，地势平坦的地区，按就近排放原则采用等分角线法或梯形法进行划分，地形坡度较大的地区，按地面雨水径流水流方向进行划分。雨水管段排水分区主要采用 Thiessen（泰森）多边形工具自动划分管段或检查井的服务范围，再对地形坡度较大的位置进行人工修正。

2) 管控单元划分

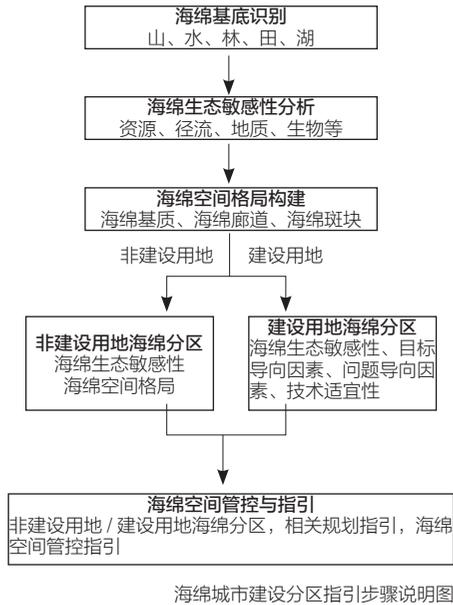
根据城市总体海绵城市控制指标与要求，应针对每个管控单元提出相应的强制性指标和引导性指标，并提出管控策略，建立区域雨水管理排放制度，实现各分区之间指标衔接平衡。

管控单元划分应考虑城市排水分区和城市控规的规划用地管理单元等要素划分，应以便于管理、便于考核、便于指导下位规划编制为划分原则。各管控单元的平均面积宜在 2-3 平方公里，规划面积超过 100 平方公里的城市可采取两个层次的管控

单元划分方式（一级管控单元与总规对接、二级管控单元与分规或区域规划对接），以更好与现有规划体系对接。

4. 海绵空间管控格局的研究方法

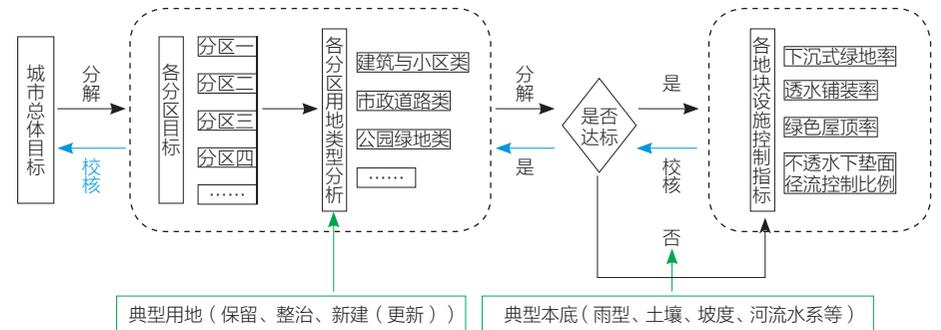
海绵空间管控格局重点关注水敏感和风险地区的保护，是城市大生态格局的一种。参考生态规划研究方法，可应用以下思路：



5. 竖向规划与海绵城市建设的衔接

竖向规划是实现城市雨水径流控制和塑造生态优美景观等建设目标的重要规划技术。海绵城市竖向规划应结合地形、地质、水文条件、年均降雨量及地面排水方式等因素合理确定，并与防洪、排涝规划相协调。海绵城市竖向规划优化工作主要包括：

- ①现状分析。
- ②明确排水分区的主要坡向、坡度范围。



深圳市海绵城市目标分解与复核思路图

③识别城市的低洼区、潜在湿地区域。
④利用模型对现状和规划道路的控制高程进行模拟评价。

⑤在编制跨越溢洪道、排涝河道、沟渠等过水设施的道路竖向设计时，其高程控制点应与满足过水设施防洪排涝标准的净空高度相协调。

6. 年径流总量控制率目标值的确定与分解方法

1) 目标确定方法与思路

各城市应针对本地一个或多个气象站点，通过统计方法得到的年径流总量控制率 ~ 设计降雨量曲线。通过曲线可以得知，不同的年径流总量控制率对应的不同设计降雨量。

但各城市采用什么样的值作为目标，应结合本底条件、经济水平合理确定年径流总量控制率目标，主要从三个方面进行定量或定性的分析后，综合确定。

- ①本地水文评价。与城市所在区域的降雨特征、地质特性、地形地貌、气候特点有关。
- ②本地问题分析。与城市亟待通过海绵城市建设解决的问题有关。
- ③本地城市建设特色与经济承受能力分析。

有条件的地区，除年径流总量控制率 ~ 设计降雨量曲线外，建议加强研究设计雨型方面分析，以明晰典型降雨过程对产汇流过程的影响。

2) 目标分解的方法与思路

一般情况下，应从目标和问题出发，建立各种类型地块的海绵模型，结合源头设施的经济性、可行性，明晰年径流总量控制率的目标值，并做反复试算分解，利用模型辅助评估。

《深圳市海绵城市专项规划》采用了如下思路：根据不同雨型分区和土壤，对不同用地类型进行措施初定，得到各类地块的控制体积，然后对片区、流域及整个城市进行控制量的加权复核，不断优化调整措施（指标）与目标，使之衔接，具备可操作性。

在上述方法中，忽视了河网水系、水库、湿地的调蓄和滞留能力，是偏源头的核算与分解思路，适合深圳这种基础设施较为完善、雨源型河流（河网密度低、水面率低、河道蓄滞能力弱）的城市；其他城市在应用时，可以适度考虑城市水系特点，适度考虑水系在片区、流域、城市不同尺度的滞、蓄贡献。

7. 海绵措施的规划与落实方法

海绵城市规划主要是为了解决问题，明确目标，因此措施规划可以按照水生态、水安全、水资源、水环境等方面深入细化，再汇总优化。

1) 水资源利用系统规划

结合城市水资源分布、供水工程，围绕城市水资源目标，严格水源保护，制定再生水、雨水资源综合利用的技术方案和实施路径，提高本地水资源开发利用水平，增强供水安全保障度。

明确水源保护区、再生水厂、小水库山塘雨水综合利用设施等可能独立占地的市政重大设施布局、用地、功能、规模。复核水资源利用目标的可行性。

2) 水环境综合整治规划

对城市水环境现状进行综合分析评估，确认属于黑臭水体的，要根据《国务院水污染防治行动计划》中的要求，结合住房城乡建设部颁发的《黑臭水体整治工作指南》，明确治理的时序。黑臭水体治理以控源截污为本，统筹考虑近期与远期，治标与治本，生态与安全，景观与功能等多重关系，因地制宜的提出黑臭水体的治理措施。

结合城市水环境现状、容量与功能分区，围绕城市水环境总量控制目标，明确达标路径，制定包括点源监管与控制，面源污染控制（源头、中间、末端），水自净能力提升的水环境治理系统技术方案，并明确各类技术设施实施路径。要坚决反对以恢复水动力为理由的各类调水冲污、河湖连通等措施。

对城市现状排水体制进行梳理，在充分分析论证的基础上，识别出近期需要改造的合流制系统。对于具备雨污分流改造条件的，要加大改造力度。对于近期不具备改造条件的，要做好截污，并结合海绵城市建设和调蓄设施建设，辅以管网修复等措施，综合控制合流制年均溢流污染次数和溢流污水总量。

明确并优化污水处理厂、污水（截污）调节、湿地等独立占地的重大设施布局、用地、功能、规模，充分考虑污水处理再生水用于生态补水，恢复河流水动力，并复核水环境目标的可达性。

有条件的城市和水环境问题较为突出的城市综合采用数学模型、监测、信息化等手段提高规划的科学性，加强实施管理。

3) 水生态修复规划

结合城市产汇流特征和水系现状，围绕城市水生态目标，明确达标路径，制定年径流总量控制率的管控分解方案、生态岸线恢复和保护的布局方案，并兼顾水文化的需求。明确重要水系岸线的功能、形态和总体控制要求。

根据《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见》中的要求，加强对城市坑塘、河湖、湿地等水体自然形态的保护和恢复，对全市裁弯取直、河道硬化等过去遭到破坏的水生态环境进行识别和分析，具备改造条件的，要提出生态修复的技术措施、进度安排，改造渠化河道，重塑健康自然的弯曲河岸线，恢复自然深潭浅滩和泛洪漫滩，实施生态修复，营造多样生境。通过重塑自然岸线，恢复水动力和生物多样，发挥河流的自然净化和修复功能。

4) 水安全保障规划

充分分析现状，评估城市现状排水能力和内涝风险。

结合城市易涝区治理、排水防涝工程现状及规划，围绕城市水安全目标，制定综合考虑渗、滞、蓄、净、用、排等多种措施组合的城市排水防涝系统技术方案，明确源头径流控制系统、管渠系统、内涝防治系统各自承担的径流控制目标、实施路径、标准、建设要求。

对于现状建成区，要以优先解决易涝点

的治理为突破口，合理优化排水分区，逐步改造城市排水主干系统，提高建设标准，系统提升城市排水防涝能力。

明确调蓄池、滞洪区、泵站、超标径流通道等可能独立占地的市政重大设施布局、用地、功能、规模。明确对竖向、易涝区用地性质等的管控要求。复核水安全目标的可达性。

有条件的城市和水安全问题较为突出的城市综合采用数学模型、监测、信息化等手段提高规划的科学性，加强实施管理。

8. 纳入法定规划体系要点

需要明确如何将海绵城市建设要求的规划内容分层级、分步骤地纳入到城市总体规划、控制性详细规划中的相关要求，特别是突出“总规定目标、控规定指标”的原则，将海绵城市相关目标要求变成各层级规划的有机组成部分。

1) 在总规层面

①将海绵城市生态空间格局纳入总规分区划定中，落实保护优先的原则，科学分析城市规划区内的山、水、林、田、湖等生态资源，尤其是要注意识别河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等生态敏感区，并纳入城市非建设用地（禁建区、限建区）范围。

②规划指标体系构建。将包括年径流总量控制率等与海绵城市相关的指标，纳入到城市总体规划的指标体系中；并根据城市发展目标，分别提出各类指标近、中、远期的目标值。

③用地空间布局。合理规避城市内涝高风险区，确需安排用地的，应避开学校、医院、政府办公、交通主干道等重要用地类型；因地制宜的布局泵站、城市雨水调蓄设施和合流制溢流污染控制设施，并注意落实相关用地需求。

④竖向规划。尊重自然本底，结合地形、地质、水文条件、年均降雨量及地面排水方式等因素合理确定城市竖向，并与防洪、排涝规划相协调。应预留和保护重要的雨水径流通道。

⑤蓝线、绿线划定。综合考虑自然山水生态格局，分析城市规划区内的河湖、坑塘、沟渠、湿地等水面线位置以及水体消落带的分布，提出蓝线控制的宽度，科学划定城市

蓝线和绿线，保护城市河湖水系及其周边对于生物多样性保护和生态环境保障有重要作用绿地。

2) 在控规层面

①明确各地块的海绵城市控制指标。将总体规划中的控制指标细化，根据城市用地分类的比例和特点，分类分解细化各地块的海绵城市控制指标。

②合理组织地表径流，不得人为破坏汇水分区。统筹协调开发场地内建筑、道路、绿地、水系等布局和竖向，使地块及道路径流有组织地汇入周边绿地系统和城市水系，并完善城市雨水管渠系统和超标雨水径流排放系统，充分发挥海绵城市设施的作用。

③统筹落实和衔接各类海绵城市设施。合理确定地块内的海绵城市设施类型及其规模，做好不同地块之间设施之间的衔接，合理布局规划区内占地面积较大的海绵设施。

④落实海绵城市相关基础设施的用地，包括城市基础设施和城市生态设施规划。综合水环境、水生态、水安全、水资源等控制要求，确定重大工程设施布局、规模，如污水处理厂、集中式调蓄池的规模布局及水处理标准，确定截污干管等工程设施的布局。综合水环境、水生态、水安全、水资源等控制要求，确定生态设施，如大型公园绿地、湿地的规模及布局，并提出建设要求。

9. 评估与监测方法

海绵城市建设需要按照“一套评估指标体系、一套标准化软件、一套硬件支撑体系和一套规范的规划管控制度”的要求，明确监测评估考核的体系。在海绵城市专项规划编制过程中，需要明确具体的评估监测方案，需要明确区域总体和不同对象的监测要求和设备需求，明确监测设备选点和监测数据要求。同时，明确一体化管控平台建设的要求，提出便于海绵城市管理的一体化管控平台建设方案，应包括软件平台建设方案、监测方案、后期数据发布和管理等方面的要求，为后期进行一体化管理平台建设提供技术基础。

在监测方案制定时，可按照城市、水系、管网、小区等层次布置设备，同时，在监测指标选择时，也要对在线监测和离线检测进行具体要求。

海绵城市专项规划图纸名称及内容要求

序号	图纸名称	内容要求
1	城市区位图	明确城市在不同区域的位置
2	城市现状图	包括高度、坡度、下垫面、地质、土壤、地下水、绿地、水系、排水系统等要素，可以分为多张图纸表达
3	用地现状和规划图	参考城市总体规划，标明用地性质、路网、市政设施等要素
4	海绵城市自然生态空间格局图	明确本地还蛮城市生态格局，山水林田湖的位置和结构，以及需要保护的边界
5	海绵城市建设分区图	根据场地适宜性评估以及片区差异，明确城市海绵城市建设分区划分结果
6	海绵城市建设目标分解图	分为多张图纸表达，在流域尺度和管控单元尺度，明确雨水年径流总量控制率和径流污染控制率的空间分布
7	海绵城市基础设施规划分布图	根据说明书中确定的方案，分为多张图纸表达，明确海绵型道路、海绵型建筑与小区、海绵型公园与广场、调蓄设施，雨水湿地等海绵设施的空间布局。
8	海绵城市相关基础设施规划图	分为多张图纸表达，明确防洪及排水防涝系统规划图、水环境治理系统规划图、雨水及合流制改造系统规划图等
9	海绵城市分期建设规划图	标明本地海绵城市建设时序在空间上的分布
10	其他相关图纸	其他相关内容的表达

二、规划成果与实施建议

1. 成果组成

海绵城市专项规划成果应包括规划文本、说明书、图集以及相关必要的专题研究报告等。成果的表达应当清晰、准确、规范。

为保障海绵城市专项规划的质量，应保障编制经费。根据几家单位的规划编制经验，综合考虑海绵城市专项规划编制要求的深度，应达到的质量、投入的人员、模型及服务评估等要求，在相关专项规划基本完善的前提下，海绵城市专项规划（不包括海绵城市详细规划）编制收费单价应该为 2-3 万元/万人或万元/平方公里。规划取费可根据城市规模、工作基础、难度、规划编制单位资质和业绩以及规划编制团队的综合能力进行浮动。规划人口规模不足 100 万人的城市应适当提高单价。海绵城市详细层面的专项规划建议参照控制性详细规划标准收费。

倡议投入足够的人力、物力保质保量完成海绵城市专项规划编制，反对恶意低价承

揽规划编制。

2. 规划实施

(1) 纳入现有城市规划编制体系。

编制或修编城市总体规划时，将年径流总量控制率、径流污染控制率、排水防涝等相关指标和内容纳入总体规划，将海绵城市专项规划中明确需要保护的生态空间格局作为城市总体规划空间开发管制的要素之一。

编制或修编控制性详细规划时，参考海绵城市专项规划中确定的年径流总量控制率和径流污染控制率等内容，并根据控规建设用地情况，确定各地块的年径流总量控制率和径流污染控制率等指标，确定市政设施的综合功能。海绵城市专项规划确定的管控分区应作为指标调整的刚性边界，即应在管控分区指标不调整的情况下，建立控制性详细规划中地块指标的动态调整机制。

(2) 通过其他专项规划落地。

在各层级新编的水系规划、绿地系统、竖向系统、排水防涝、道路建设等规划中，应优先将海绵城市相关指标纳入编制方案；

在对已编制规划进行整合或修编时，需增加海绵城市内容。

①城市水系规划。

城市水系规划应在水系保护、水系利用、水系新建、涉水工程协调等方面落实海绵城市规划建设的相关要求。

②城市绿地系统规划。

城市绿地应明确海绵城市开发的控制目标，在满足生态、景观、游憩、安全等功能的基础上，通过合理的竖向设计，优化布局海绵设施，实现复合生态功能。

在城市绿地系统规划的指导下，规划设计城市绿地类建设项目时，应注意：

a. 提出不同类型绿地的海绵建设控制目标和指标

b. 合理确定城市绿地系统海绵设施的规模和布局

c. 城市绿地应与周边汇水区域有效衔接

③城市竖向规划。

城市竖向规划应结合地形、地质、水文条件、年均降雨量及地面排水方式等因素合理确定，并与防洪、排涝规划相协调。

a. 发挥雨洪调蓄作用绿地中植物的选择应关注植物内在的生态习惯以及场地条件（光照、土壤、水分）的契合度。符合园林植物种植及园林绿养护管理技术要求

b. 合理设置预处理设施

c. 充分利用多功能调蓄设施调控雨水径流

④城市排水防涝规划。

城市排水防涝是海绵城市的重要组成部分。城市排水防涝综合规划在满足《城市排水工程规划规范》（GB50318）、《室外排水设计规范》（GB50014）等相关要求的前提下，应明确海绵城市的建设目标与建设内容。

明确排水分区的主要坡向、坡度范围；

通过竖向分析确定各个排水分区主要控制点高程、场地高程、坡向和坡度范围，并明确地面排水方式和路径；

识别出城市的低洼区，潜在湿地区域；

提出竖向规划优化设计策略：以减少土方量和保护生态环境为原则，宜优先锁定为水生态敏感区，列入禁建区或限建区进行管控；

识别出易涝节点，对道路控制点高程进行优化设计，衔接超标雨水街道系统的规划设计。

统筹城市涉水设施的竖向

⑤城市道路交通规划。

城市道路是海绵城市规划建设的重要组成部分和载体，在城市道路交通专项规划中要保障交通安全和通行能力的前提下，尽可能通过合理的横、纵断面设计，结合道路绿化分隔带，充分蓄滞和净化雨水径流。

a. 明确年径流总量控制目标与指标。

b. 确定径流污染控制目标及防治方式。

c. 明确雨水资源化利用目标及方式。

d. 源头海绵设施应与城市雨水管渠系统或超标雨水径流排放系统相衔接，共同发挥作用。

e. 优化海绵设施的平面布局与竖向控制。

f. 结合易涝点分析，排水管网竖向规划和雨水回用，进行雨水调蓄规划布点寄规模设置，并协调好各市政设施的地下空间使用。

（3）融入现有规划管理体系。

应将海绵城市专项规划中的雨水年径流总量控制率等指标嵌入法定图则等关键管理层次中，进而将海绵城市建设要求依法纳入土地出让和“一书两证”的审查审批过程中。

a. 确定各等级道路源头径流控制目标。

b. 协调道路与周边场地竖向关系，充分考虑道路红线内外雨水汇入的要求，通过建设下沉式绿地，透水铺装等海绵设施，提高道路径流污染及总量等控制能力。

c. 提出各等级污染道路源头海绵设施类别、基本选型及布局等内容。合理确定源头控制减排雨水系统与城市道路设施空间衔接关系。

（4）细化规划审查方法。

方案设计技术审查时，应增加海绵城市相关内容的技术审查。海绵城市建设相关内容的审查，应由城乡规划主管部门牵头，并由建设、市政、园林、水务、环保、交通等相关部门配合完成。

规划审查方法要量化和模型化，推荐通过建立准确的、易操作的计算机模型对年

径流总量控制率等指标进行核算，审查指标测算结果是否达到规划设计条件中给定的目标要求。

（5）强化施工及验收管理要求。

3. 区域雨水排放制度试点构建

区域雨水排放管理以地块为对象，以年径流总量控制率等指标（可能涉及径流污染控制率、峰值流量等）为核心控制要求。

施工图审查中，应将海绵城市建设要求作为重要的审查内容。委托第三方完成施工图审查，应明确要求第三方审查专家中有设计海绵城市建设的相关专家：规划、建设、市政、园林、水务、环保、交通等相关部门应参与审查工作。施工图审查合格和招投标工作按要求完成后可按规定核发施工许可证。

施工许可证发证机关应当建立颁发施工许可证后的监督检查制度，对取得施工许可证后未按海绵城市的建设要求进行精细化施工的，应及时予以纠正。参与的相关责任应按规定履行各自职责。全过程监督施工过程，确保工程施工完全按照设计图纸实施。

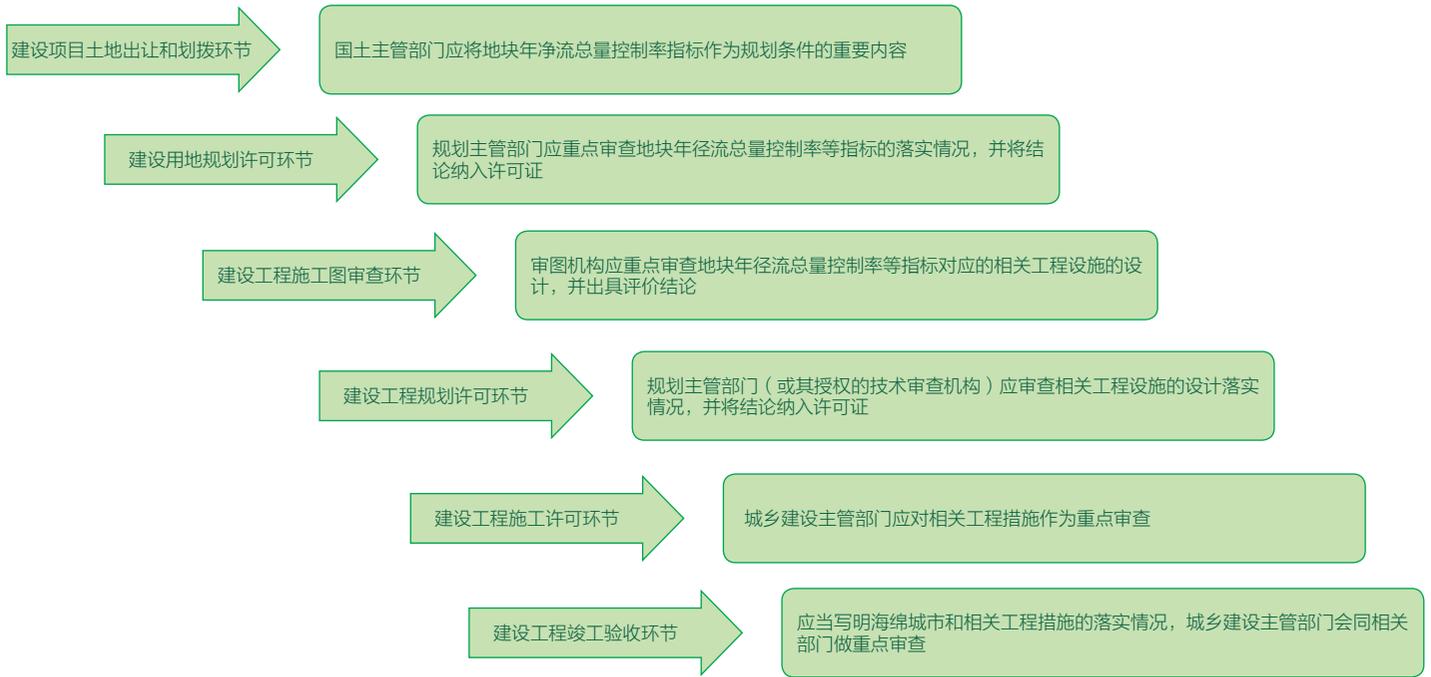
海绵城市建设各项隐蔽工程施工前，相关责任主体必须组织验收检查，并针对工程具体施工情况组织阶段性验收。形成书面验收意见。工程完工后，由建设单位组织各方面责任主体进行竣工验收。对工程实体质量和施工技术资料进行检查验收。验收合格后竣工验收报告中指明海绵工程的相关情况。

工程运行后，可进行实施效果验收。选择典型降雨场次。对海绵设施的降雨径流传输过程进行监督。结合实测的降雨数据，构建雨水系统模型，对设施运行的年径流总量控制率等指标进行校核。

根据海绵城市规划建设的阶段性，在工程规划建设的不同阶段可采用不同的验收方案；①在规划设计阶段，主要采用模型方法复核。②在施工阶段，主要采用抽查等方式复查，并付诸以模型进行辅助优化。③在竣工验收阶段，可以分为两次验收，一次为竣工后随主体工程验收，主要验收设施质量；然后在竣工后一个雨季通过监测进行验收，并与计算模型相复，以确定项目是否满足管控目标要求。

管控单元的年径流总量控制率等指标应在城市总体规划阶段研究确定，在控制性详细规划阶段分解落实到地块，并作为前置条件纳入城市规划许可严格实施。

应在编制城市总体规划时，确定各管控单元的年径流总量控制率等控制目标（径流



总量和水质的控制要求等)。应在编制控制性详细规划时，将所在区域的径流总量控制目标分解为建筑与小区、道路与广场、公园绿地的径流总量控制指标，并纳入地块规划控制指标。

控制性详细规划确定的地块年径流总量率等控制指标，原则上不得降低。确需降低的，必须进行专项论证补偿原指标的技术措施，经规划主管部门审批才可以调整。补偿原指标的技术措施费用由项目业主承担。

业主单位或运营管理单位应加强对海绵城市相关设施的运行维护，保障设施的正常运行；排水主管部门应加强对相关工程措施的检查 and 绩效评估。

各地方政府可根据建设工程年径流控制率等指标的超额实现程度，试点采取资金奖励、荣誉授予、容积率或绿化率奖励、排放权交易等多种方式激励社会资本参与海绵城市建设、鼓励建设项目业主提升海绵城市工程措施规划建设水平。

《海绵城市专项规划》的编制工作既要补短板，又要落实新理念，还要指导实施，对我们的工作思路、方法、成果落实都提出了全面的挑战，我们倡议全国的城市规划设计单位行动起来，不断通过实践丰富、提升、完善规划编制方案和理念，全面落实“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，积极推进海绵城市建设，系统解决城市水问题，实现城市规划建设方式的转型，促进城市可持续发展。□

英国海绵城市建设基本思路

【英】张剑荣 / 英国城乡规划协会

编者按：中国城市正在大力推进战略和技术层面的创新，与此同时，英国也推出了一系列国家项目，其中包括建设新型花园城市和乡村项目。两国在相关领域面临着相似的问题和挑战，为此，自2016年11月起，英国城乡规划协会（TCPA）和英国驻华大使馆举办了一系列城市建设经验交流活动。本刊获得该活动主办方的授权，摘录其中关于英国海绵城市建设的基本思路部分，供读者参考。

英国各城市都在不同程度的对水资源进行着管理，这是海绵城市概念的基础。洪水风险管理，绿色蓝色基础设施和可持续排水系统(SUDS)是英国实施水资源管理的几个关键要素。水资源管理的主要目标是通过管理流量和地表径流的体积来降低洪水和水污染的风险，同时提高舒适性和生物多样性。地表水的管理分别由环境局，地方政府，水务公司和其他相关机构共同分担。

一、英国海绵城市定义

海绵城市应优先考虑在城市环境中的水资源管理，在早期发展规划阶段就已经开始考虑与水务相关的问题。即所有在城市范围内的降雨都会被收集，储存，经过简单处理后进行再利用从而满足该城市对水资源的需求。

二、相关资料

1. 洪水与水资源管理法案

环境局必须针对洪水和海岸侵蚀风险管理“发展、维护、应用和监控”相应策略。英格兰各地洪水管理局必须发展、维护、应用和监控相应方案对该地区进行洪水风险管理。

2. 英格兰洪水与海岸侵蚀风险管理战略

这一战略从国家层面制定了洪水与海岸侵蚀风险管理的框架，有助于风险管理机构和社区理解他们在其中所扮演的不同角色和承担的责任。

3. 国家规划政策框架

这一政策框架对地方规划部门起草政策和制定发展决策起到至关重要的作用。它要求当局在考虑气候变化影响的前提下，在开发的地区采用一系列以风险控制为基础的方法，以避免洪水可能对居民和财产造成的伤害并管理其他可能存在的风险。

4. 可持续排水系统技术标准

地方规划部门要参考的14个标准，其内容主要围绕：开发区域内部和外部的洪水风险控制，洪峰控制，容量控制，结构完整性，考虑到后期维护的设计，建设施工等。

5. 可持续建筑标准

BREEAM(英国建筑研究院环境评估方法)是一套权威的标准，用于对可持续建筑进行评估和鉴定。这套方法适用于英国所有

的新建建筑，并已被全球其他50个国家所采用。其内容涵盖了若干可持续发展的类别，包括水资源和能源类别。

三、海绵城市的特征

1. 社区和城市规模

在城市里为洪水管理和水文分配空间。

大规模开发应该从社区和所处区域角度出发，为水和能源提供充足空间。这意味着在城市规划初期就应预留出弹性空间，从而避免后期再改造而造成的经济和环境损失。

实施水敏感设计(WSUD)，除了径流管理外，将水循环管理也融合到城市设计中，同时也要考虑到水质和水源等方面。

为了避免，控制和减轻洪水风险，应尽可能对其进行考虑和评估。连续性测试是避免不当开发的一个重要方法。

在不同空间维度对洪水风险进行评估和测定，分配土地资源并对评估方法和进展进行通告。

地面高度应高于1%概率洪水位(即百年一遇频率)

防洪设施和地表水管理可以有效的控制洪水风险，包括可持续排水系统和超负荷排水管理（特大暴雨）。

当遇到无法合理开发来避免洪水，或存在部分洪水暴发的可能性时，可通过对建筑预留弹性空间以抵抗洪水的方法进行缓解。防洪建筑（防水）通过材料（防洪物，人工或自动屏障）阻止洪水进入建筑物中，建筑弹性空间用来减轻已发生的洪水带来的损失，使其可以继续投入使用。

2. 区域开发

开发区域的洪水风险一般由该地点开发商（委托）执行评估。评估内容需和一份规划申请一起提交给当地规划局。英国国家规划实践指导制定了以下清单供开发商参考。

1) 开发的位置及描述

将在什么位置进行何种类型的土地开发？开发计划是否符合该地区的规划？

是否会增加该建筑 / 土地的居民 / 用户数量，或改变居民居住性质 / 使用方式，从而对当地居民遇到洪水风险的程度产生影响？

2) 洪水灾害定义

该区域可能遇到洪水的来源是哪里？

描述洪水可能发生的方式，并结合当地历史记录举例说明该区域现有的地表排水系统是如何布置的？

3) 遇洪概率

该区域属于哪个洪水区？

该区域是否已有洪水风险评估策略？

该区域洪水暴发的可能性如何？

该区域当前的地表水径流率和容积是多少？

4) 气候变化

气候变化对该区域洪水风险有什么样的影响？

5) 具体开发计划

详细说明土地的使用计划，演示如何将该区域内易受洪水灾害的地方的风险降至最低。

6) 洪水风险管理措施

开发过程中会采取什么方法保护该区域和建筑免受洪水灾害及气候变化可能带来的影响？

7) 区域外影响

如何确保当前区域的开发计划和洪水管理措施不会增加其他区域的洪水风险？

如何预防开发完成后的径流分布对其他

区域产生影响？

对该区域的开发是否有机会降低其他区域的洪水风险？

8) 其他风险

该区域实施了计划中的防洪措施后，还有可能遇到哪些与洪水相关的风险？

这些风险在开发过程中将由谁，以何种方式进行管理？

3. 可持续排水系统 (SUDS)

SUDS 有益于环境，对其影响可以维持在最小程度且不会造成长期伤害。SUDS 的应用非常灵活，尽早的合理有效应用可以为开发区域提供经济实惠且美观的排水系统。规划和设计过程中需要考虑的主要原则如下：

(1) 利用衰减原理储存并缓慢释放径流（例如渗透性路面）。

(2) 就近收集并使用雨水。

(3) 让水渗入或浸透地面（例如渗透性路面，渗滤系统）。

(4) 缓慢传输转移地表水（例如洼地排水）。

(5) 过滤污染物（例如生物滞留，湿地）。

(6) 通过控制水流使沉淀物析出。□



低影响开发原则与案例

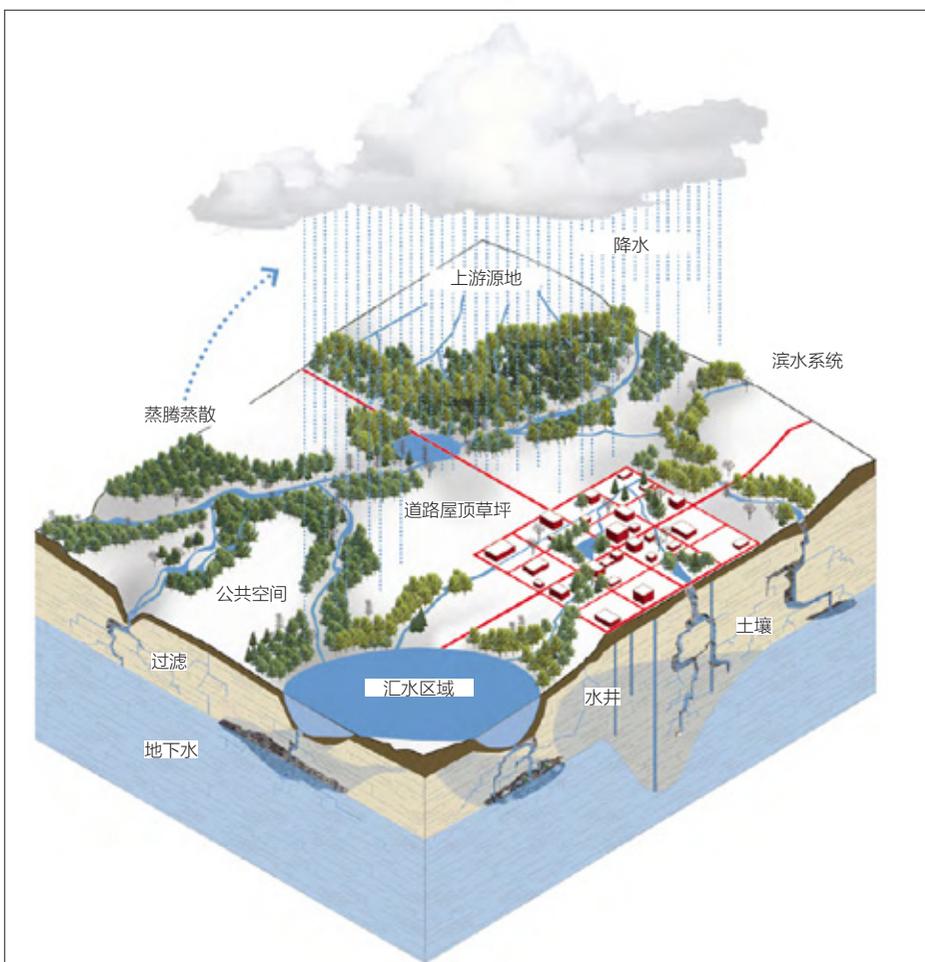
[美] 阿肯色大学社区设计中心文，卢涛译

编者按：面对水体污染、城市内涝、生态恶化等问题，一些国家分别提出了自己发展理念和解决方案。我国结合自身特点，提出了海绵城市的发展理念，英国提出了可持续排水系统的概念，澳大利亚提出了水敏城市理念，美国在上世纪 90 年代提出了低影响开发理念。这些城市建设发展理念既有共同的点，又有各自的特点。本文借鉴了美国阿肯色大学社区设计中心的最新研究成果，介绍了低影响开发的基本理念、开发原则和实施方案。

1. 什么是低影响开发

低影响开发（LID）是一种基于生态的雨洪管理方法，倾向于利用植被网络等软质工程来管控、处理区域内雨水径流。低影响开发的是利用渗透、过滤、储存、蒸发、蒸腾等生态过程来维持场开发前后的水文平衡。常见的“管道——水池”排水基础设施主要利用集雨口、管道、路缘石以及沟将雨水径流排往别处，而低影响开发则利用分散布局式的景观设施来处理、修复雨污径流。

水和石油都是自然资源，科学家们坚信“水将成为未来的石油”。对水资源持续增长的需求与有限供给之间的矛盾，必将造成资源配置时经济、社会和环境方面的冲突。水资源问题虽然具有地区差异性，但获取安全饮用水已成为全球性挑战。全世界每天有 8000 名儿童死于饮用水污染所造成的疾病。在发展中国家，饮用水的供应是有限的，尤其是在缺少自然水源的干旱地区，输水的能源成本和随之而来的短缺导致了水的限额供给。人类活动比如，像工业化农耕，它大尺



低影响开发示意图

度地改变了自然水补给过程，导致了地下含水层的枯竭。它主要通过阻断地下水补给、改变河水基流、侵蚀地质稳定等过程发挥作用，例如，墨西哥城与新奥尔良地下水位下降造成了地面的沉降与下陷。流域内相邻的国家常因水资源所有权、流域管理权矛盾发生争夺水资源的冲突。与石油类似，水可以作为一种商品被私有化或者进行买卖。快速的都市化对地下水质的影响使生活用水问题日趋严重，尤其是在雨量充沛的地区。与城市化的关系如何？“绿色”发展对保障水质的作用如何？美国环保署流域性指标指数显示，美国仅有 16% 的流域水质良好。除工业和农业排放外，污染大多来自城市雨水冲刷所造成的面源污染。在降雨初期，雨水将不透水表面上的污染物统统冲入下水道。

2. LID 实施及设计原则

生态学第一法则指出，生态系统中所有的事物都是相互联系的，所有动物、植物、微生物都是协调共生关系，所有有机体作为生物组分，与所处的非生物环境之间是作

用与反作用相互影响的关系。生态学思想为我们提供了全面理解低影响开发协同过程的依据。

低影响开发所采用的“流域法”是将汇水区作为单独的规划单位，而不是依据行政边界或产权边界来划分；该方法在开发过程中可依据流域环境兼顾经济、生态与社会效益。低影响开发依靠流域水文循环等相关的自然过程起作用，其常用技术和最佳管理实践一样。从根本上讲，它是一种依赖于当地土壤植物群落和流域水文特性的“场地——边界”开发方法。我们都知道自己生活在哪个国家、哪个城市，我们也应知道自己生活在哪个流域，更应了解个人活动、集体活动对关系到我们福祉的关键性自然资源产生了哪些影响。

流域法三原则：

1) 提高景观生物多样性

大量的草坪和沥青改变了地表地貌，代替了自然水文循环所必需的原生土壤植物群落。低影响开发是依靠地球生物化学过程来

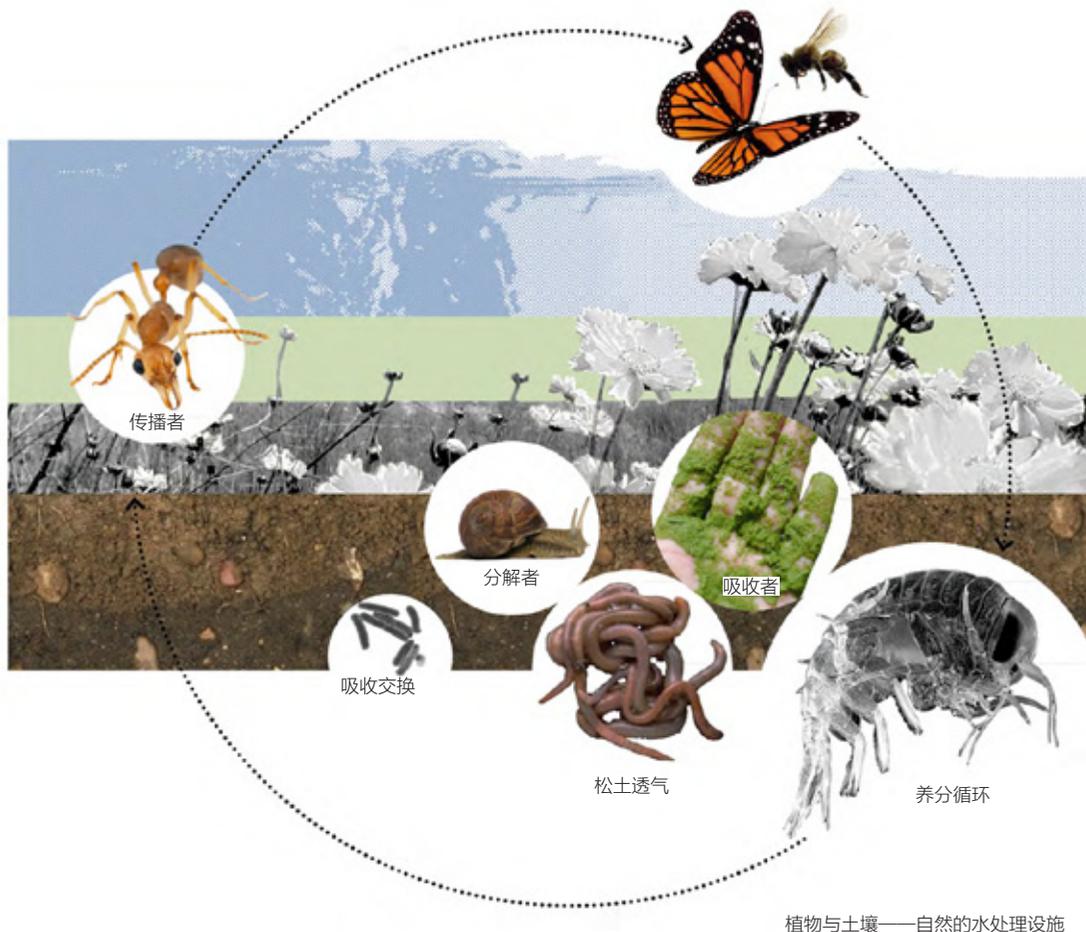
管控、处理雨水径流的，而不是低质机械过程。低影响开发提倡节水园艺，采用抗旱植物构建节水景观，实现生态服务功能的最大化。标准化草坪靠化肥和除草剂来维持单种栽培模式，扼杀了景观生物多样性。

2) 增加渗透、减少径流

城市化造成了湿地、森林、植被覆盖的减少和土壤腐殖质的流失。然而这些自然生境要素却是构成环境承载能力的基础，它们以减缓、分散、渗透雨水径流，保持流域水文功能的稳定。低影响开发就是利用渗透性地表和网络化植物群落来调节雨水径流、缓解雨污面源污染的。

3) 设计分布式水文循环网络

常规的硬质基础设施先聚集、滞留雨水，然后导流、排放到别处，径流中的污染物只是被转移到了其他地方。对照低影响开发，雨水径流在流经分散的、高连通性、高容纳能力的基础设施网络时，得到了有效处理。





像海绵一样的土壤



生机盎然的植物群落



城市滨水区保护



均衡发展



大量不透水地面



生物学功能缺失



城市河流综合症



城市蔓延

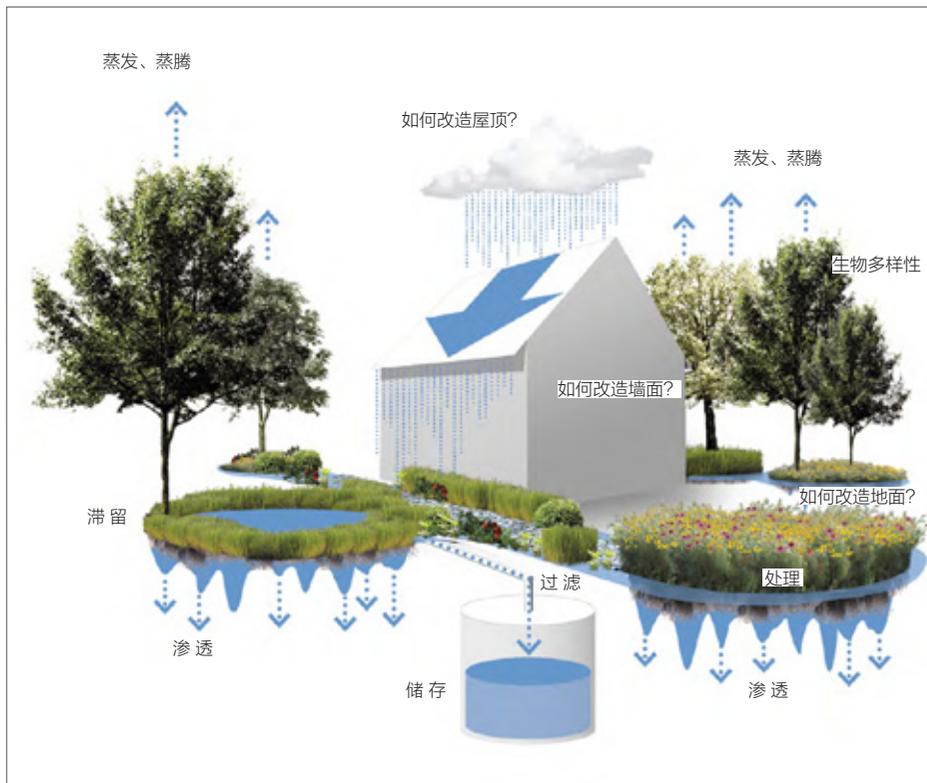
3. 如何实施低影响开发

1) 建筑

目前，小尺度屋顶植入技术的应用为雨水收集提供了机会。“智慧建筑”通过优化环境与建筑之间的反馈达到能源消耗负支出，低影响开发设施只是它的一个方面，可根据生态服务水平进行选择。最简单的生态服务是用屋顶雨水补给地下水，通常选用有利于减缓、分散或渗透雨水的设施，应避免集中排放雨水。高水平的生态服务是利用“植物——土壤”群落来吸收和蒸发雨水。绿色屋顶是最佳的建筑隔热设施，可使采暖和制冷需求最小化；墙面绿化可使夏季阳光直射和冬季风荷负载最小化。

根据所造蓄水池的不同，雨水收集可提供三种基本的生态服务：最简单的是收集雨水灌溉户外景观；中等水平的是结合建筑灰水供应，满足冲厕、景观灌溉等非饮用水需求；最高水平的是将收集到的雨水处理后当作饮用水。

雨水渗透和处理设施应设置在建筑的附近。但渗透设施距离建筑物应不少于 3m，



“智慧建筑”示意图



植草砖



渗水地面



节水草坪



节水景观



雨水花园



中央洼地

因为雨水渗透可能引起土壤的收缩与膨胀可能影响建筑物的基础。

2) 地产

在中、低密度的城市地区，地产（地块）是实施低影响开发的基本单元。实施低影响开发则需要减缓过滤或渗透场地内的地表径流。“植物——土壤”群落对维持场地内的自然水文循环至关重要，但在开发过程中，草坪和沥青却成了消灭它们的罪魁祸首。在城市低影响开发实施过程中，地产的业主是成功的关键。本部分主要关注草坪与停车场的低影响开发解决方案，阐述减小不透水平面、整合低影响开发设施以及加强径流管理的策略。

①草坪：如果使用本地植物，不仅可减轻地表径流污染，还可以节省景观灌溉用水；除了可以渗透雨水径流外，还可以变成种植

果蔬的多产景观。

LID 不仅可以从地块扩展到街区，也可以扩展到相邻的区域。它们的植物网络处理功能相似，但在街区与邻域尺度上植物网络的组合配置需要业主间合作共同解决。

这些遍布于个人地产上的附属低影响开发设施对保障城市基础设施整体运转正常十分重要。正如加州戴维斯的乡村家园社区所展现的那样，共享的低影响开发景观能增加地产的附加值。乡村家园社区低影响开发项目主要以建设闭环的水处理与水文循环系统为着力点，增加对自然资源类公用基础设施的开发建设。

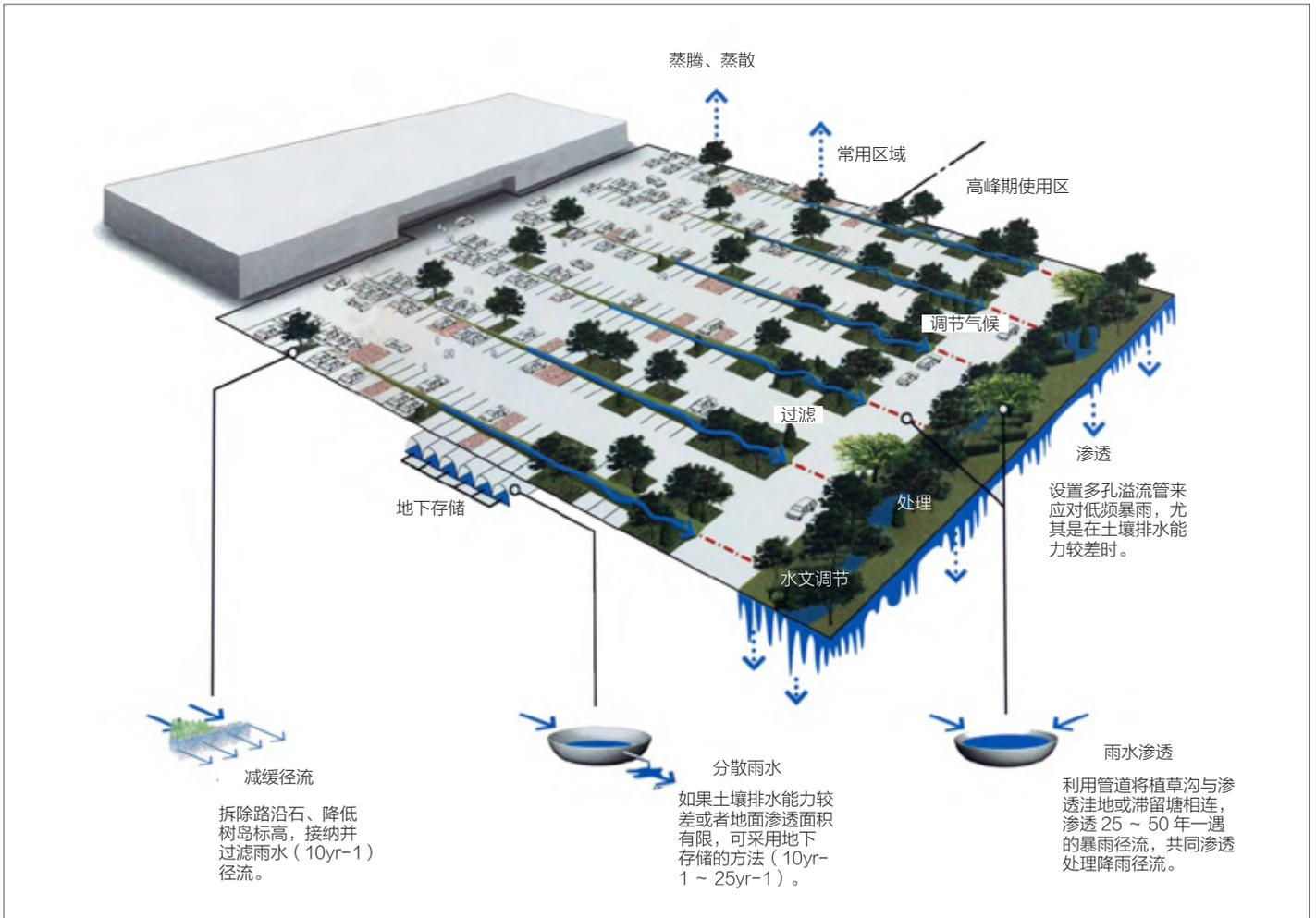
②停车场：大多市政开发规范规定，每 100 m²零售空间配 150 m² 停车场。因而，商业区的附属停车场一般都面积过大。停车场可以设计带路沿的雨水处理花园，既满足停

车需求，又能提升生态服务功能。

提高树木覆盖度应该成为新建或改建停车场的首要原则。树木可提供宜人的尺度、减少雨水径流量，如果位置得当还可起到指引道路的作用。在选择树木时应确保成熟时的树冠至少覆盖 50% 的铺装地面，以减轻热岛效应。树岛的最小面积应该与一个停车位相当，通常为 3m × 6m，以保证有足够的雨水渗透到根系。

3) 街道

街道占城市景观的四分之一，是实施低影响开发的关键。1920 年代以来，土木工程师所主导的街道规划主要侧重两个方面：单位时间最大车流量与单位时间最大排水量。城市的街道和公共空间曾为市民提供集会、商业、娱乐休闲等场所，低影响开发期望这些城市服务功能的回归。

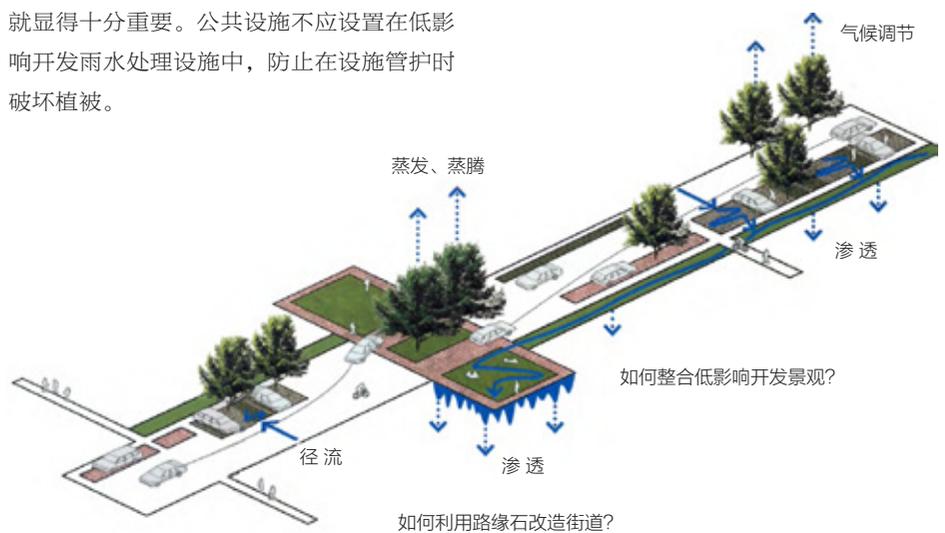


停车场实施低影响开发示意图

低影响开发街道将全方位地引入具有生态服务功能的基础设施。街道公共空间不仅包括人行道、自行车道, 还包括其他景观绿化、排水管以及其他公共设施。通过设计加强自然资源的有效利用街道可以提供更多的生态服务。低影响开发街道具有环境敏感性, 既要容纳多种交通类型, 又要确保通行安全、增强社交功能、提供生态的雨水管理措施。这就要求不透水铺装最小化以和景观空间最大化。低影响开发街道的几何设计有些像荷兰人设计的“共享街道”。从本质上讲, 这种街道是一系列具有公共花园功能的公共空间, 而不是简单的交通廊道。

“共享街道”。从根本上讲, 这种街道是具有花园功能的线性公共空间组合, 而不是简单的交通廊道。在设计绿色街道时, 为

方便管理和提升可达性, 整合公共基础设施就显得十分重要。公共设施不应设置在低影响开发雨水处理设施中, 防止在设施管护时破坏植被。



“共享街道”示意图



低影响开发街道的构成：

①路缘石解决方案。常规的城市街道利用路缘石将雨水径流直接导入集雨口，未经处理的雨污径流经地下管网被转移到别处。低影响开发路缘石设计方案中，径流被均匀地分散到相邻的雨水处理设施中，雨水被尽可能多的滞留下来。这可以通过路缘石开口或降低标高来实现，具体选择取决于土地利用与最大径流量。在交通流量大的区域，路缘石还可以用作人行道和车行道之间的安全分隔。

②软质基础设施。铺装渗透性路面，在雨污径流到达低影响开发处理网络之前减慢径流速率、减少径流量以及过滤掉径流中的泥沙等沉淀物。改造与路缘扩展区相邻的街边空间，将其建设成雨水公园，也可以减慢径流速率，增加雨水渗透。

③是植物，而非管道。低影响开发设施利用兼生植物或湿地植物群落就地处理雨污径流，而不是简单地将污染物转移到别处。它不仅保护了水质，而且还能减轻热岛效应，节省雨污处理成本。

4) 开放空间

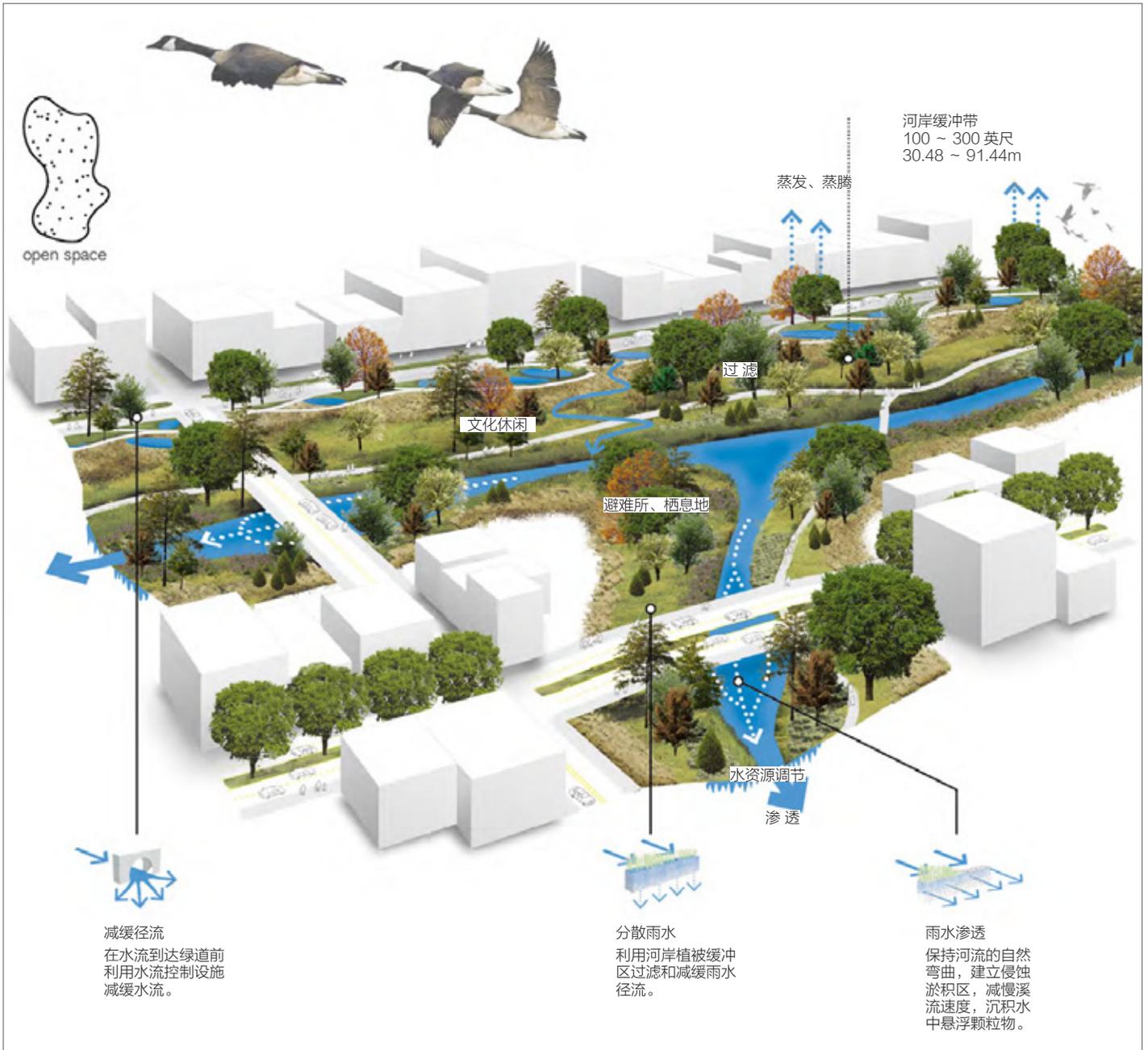
①常规城镇化与低影响开发城镇化的比较：在以市场为导向的框架内，开放空间是作为未来开发预留空地而存在的，规划设计又需要在市场框架下进行，因而，许多机构都不做区域的或者局部的开放空间规划。此类规划应统筹保护公共利益，包括滨水系统、河漫滩、生态敏感区、林地、遗址、公共通

行权以及公园路径系统。低影响开发城市化利用多种激励措施与保护信托基金，增强城市 and 区域的连通性，平衡开放空间与城市化之间的用地冲突。

低影响开发为人们提供了回归自然的机会，城市开放空间帮助人们克服“大自然缺失症”。Richard Louv 在《Last Child in the Woods》书中详细记载了年轻一代由于缺少与自然接触、缺少自然知识所导致的一系列失序行为。

②城市与区域尺度上的生态学：城市环境与开放空间的融合对利用流域法进行城市开发至关重要。在城市尺度上，开放空间除具有过滤与处理雨水的作用外，还具有调节蓄水层、补给地下水、维持河道基流的功能。开放空间的连通性对维持野生动物生境与迁移廊道具有重要作用，为城市生物多样性与生态系统恢复提供支撑。一些熟悉城市环境的顶级哺乳动物，每个成年个体需要 130 平方公里的领地空间。更为重要的是，健康的开放空间网络保存着丰富的本地物种基因资源，维持着生态系统的发展与成熟。

③保护性规划：城市无序扩张四处蔓延，这是目前生态功能失调的最大成因。城市扩张造成了生境的破碎与消失，以及无法估量的生物多样性损失。或许城市和区域可以设定的最高目标就是，停止破坏现有栖息地、规划设计互相连通的绿道系统、恢复受损的生态系统结构。生态系统范围经常超出行政



开放空间实施低影响开发示意图

边界或产权边界，各个行政区土地利用决策累加在一起就可能会对整个流域造成不利影响。每一次小尺度的污染输入都会对城市径流产生复杂的影响，最终损害河流健康，表现为瞬时洪水泛滥、改变溪流形态、营养物质与污染物积聚、河岸侵蚀、污泥淤积以及物种多样性降低。地方性决策可能会对生物多样性保护产生显著的影响，因此，局部开发需要利用低影响开发流域法，综合考虑流域影响。

4. 低影响开发设施

LID 设施列表是按照处理水平（质量）的提高与径流量的减少（数量）进行编排的。因此，排在第一位的水流控制装置提供最少的处理服务，排在第 21 位的人工湿地提供最多的处理服务。大多数的城市都要求城市排水系统能应对百年一遇的降雨。单一的处理设施不太可能满足实际需求，但由于处于不同水平的处理设施组成的网络却能提供更高水平的处理，最大限度的减少径流量。

1) LID 实施选择

在单个项目或区块开发时，低影响开发设施的选择取决于对建成后水文格局的预期。虽然场地规划技术可以大幅降低开发对水文的影响，但仍需要额外的措施来模拟场地开发前的水文特征，末期达到低影响开发的总目标。在对场地开发前后的水文状况进行分析模拟后，可以规划设计雨水处理网络重塑场地。LID 设施选择步骤如下：

第一步，评估场地的机会与约束。机会



与约束包括场地的土壤特性、地下水水位、岩层深度、气候条件、排水面积、降水格局、地形坡度、土地可用性等自然状况，这些因素影响着低影响开发设施类型的选择。因此，对项目场地基本情况的全面把握是选择低影响开发设施的关键。当涉及到设施管控区域的大小时，一定要从小处着手。场地内众多分散的小设施相互互通组成网络，形成一个大的低影响开发处理单元。

第二步，确定场地开发所需的水文管理类型。水文管理包括流量控制、滞留、存蓄、过滤、渗透以及生物处理。基于径流总量、洪峰流量、洪峰次数与泄洪时间等不同参数，场地开发前水文状况是可以量化的。与常规径流管控设施一样，低影响开发网络必须满足场地开发后关于暴雨出现频率、降水总量、水质要求等相关规定。

其他可行性因素还包括管理与维护条例、社区认可度以及成本开支等。选择低影响开发设施是规划设计的一个重要组成部分，不只是从实践偏好列表中挑选项这么简单；设施本身并不足以恢复开发场地的水文功能，只有在与其他设施结合起来共同发挥作用时才是最有效的。

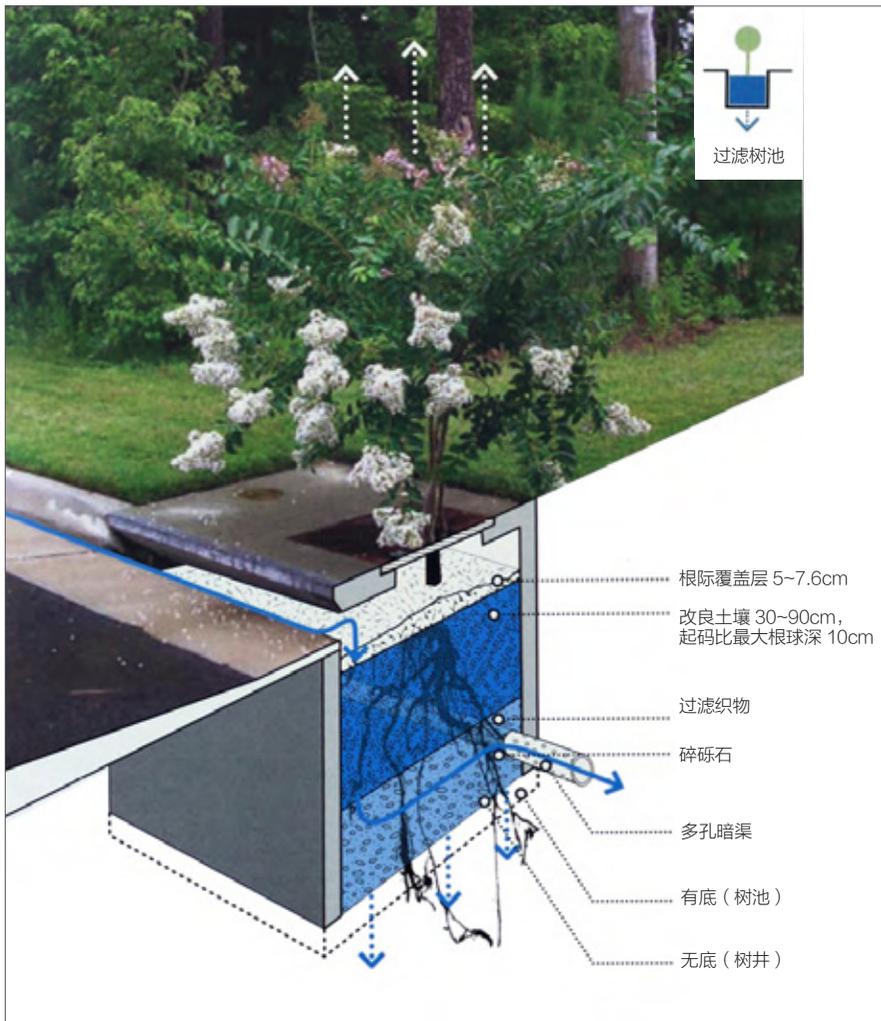
第三步，用水文模型模拟场地内低影响开发设施不同布局时的水文循环，同时满足场地约束与地方法规。

由于存在多个变量，需要不断地优化水文控制目标，确定 LID 设施的布局与处理单元大小。在这种交互过程中，通常会确定几个都能满足开发目标的设计方案，然后根据空间需求、美学价值与成本投入来最终确定 LID 设施配置格局。

如果只利用 LID 设施不能满足水文控制目标时，就需要结合传统的硬质工程来制定复合的解决方案。严峻的场地约束，如土壤渗透率低、地下水水位线高、开发密度大，都可能导致 LID 设施不足以满足实际需求。尽管如此，仍应尽可能多地利用 LID 设施，结合硬质处理设施来满足水文设计目标。

2) 设施应用

限于篇幅，本文只选择以下四种应用设施。



低影响开发设施：过滤树池

(1) 过滤树池：

树池或者树井就是一个填满改良土壤的容器，底部铺有碎石垫层，在改良土壤中种植木苗。

雨水径流从街道流入树池，树木的根系可吸收、处理富含污染物的雨水。暗渠将处理过的雨水输送到地表排水口，或者导入更大的滞留系统，进行二次处理。苗木每五到十年就要更换一次，因而生命周期比较短。树池内也可种植耐水淹的灌木和草本植物。

过滤树池或树井可以与城市改造结合，改善水质减缓城市热岛效应。与其他过滤设施一样，也需要不定期维护，清除淤积的大块碎屑和泥沙垃圾。

(2) 雨水花园：

雨水花园是一个设计用来过滤雨水径流但不贮存雨水的种植洼地。

雨水花园通常被认为是一种生物滞留设施，在雨水经过“土壤—植物”群落时植物的修复作用可减轻径流污染。雨水花园包含多层根除覆盖物和有机砂质土壤，这种结构，可增强微生物活动和雨水渗透。考虑到当地气候、土壤与湿度条件，推荐多种植乡土植物，尽量少使用化肥、杀虫剂等化学制剂。雨水花园最适合在相对较小的尺度上应用，在门前通道和房产周围低洼区域表现都很出色。

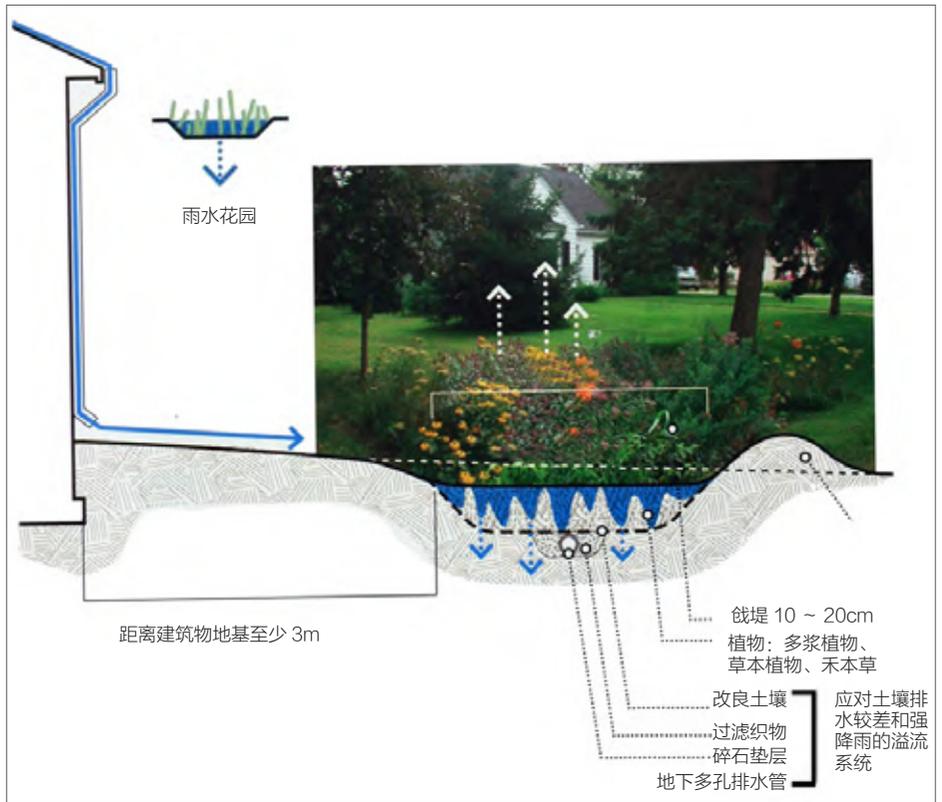
雨水花园要离建筑至少 3m，避免渗水返潮、滋生霉菌等问题。雨水花园还应远离大树，避免遮荫，充足的光照可以对排干雨水有促进作用。

(3) 河岸缓冲带：

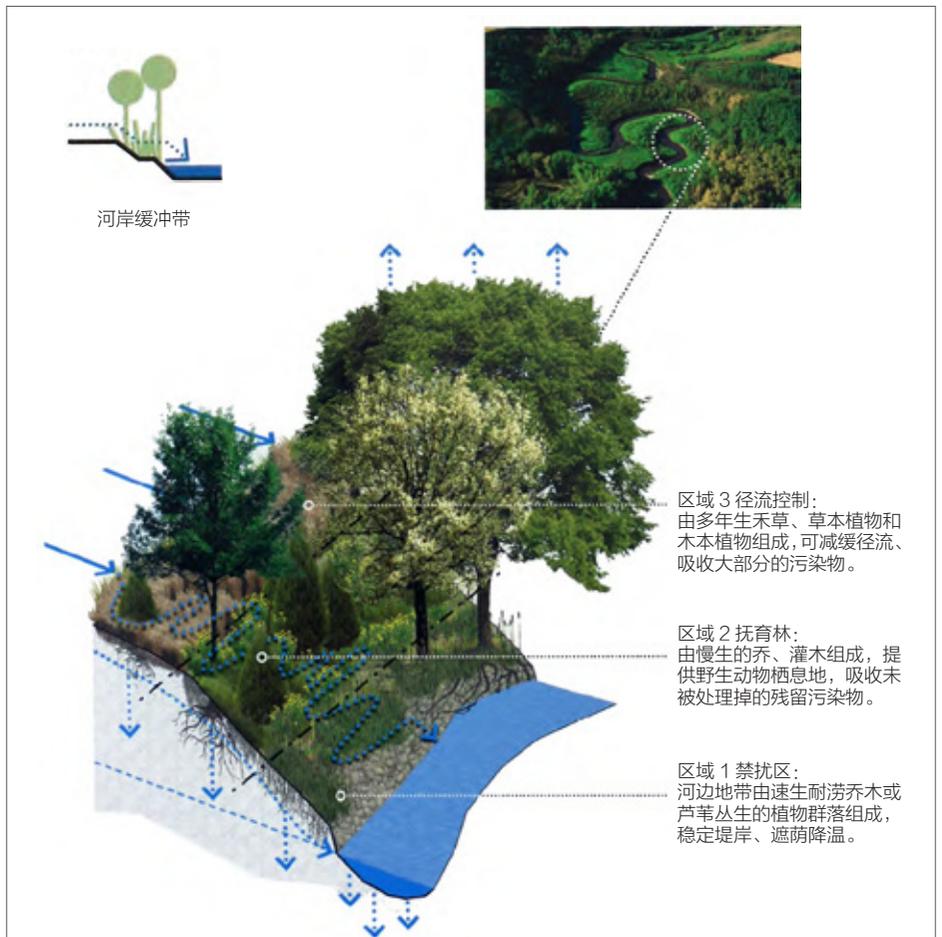
河岸缓冲带是一个在河（溪）流沿岸被兼生植物覆盖的水成土带，能提供多样化的生小境。

设置河岸缓冲带是一种利用本地植物群落来改善水质保护水体的既简便又经济的方法。植被缓冲区通常宽 30m ~ 90m，可过滤掉 50% ~ 80% 的径流污染物，并且在结构上能稳固堤岸、防止侵蚀与滑塌。大树与灌丛遮荫能维持河流中一些水生生物生存所需的恒温环境。缓冲带宽度取决于周围环境、土壤类型、汇水区域大小、地形坡度以及植被覆盖类型。

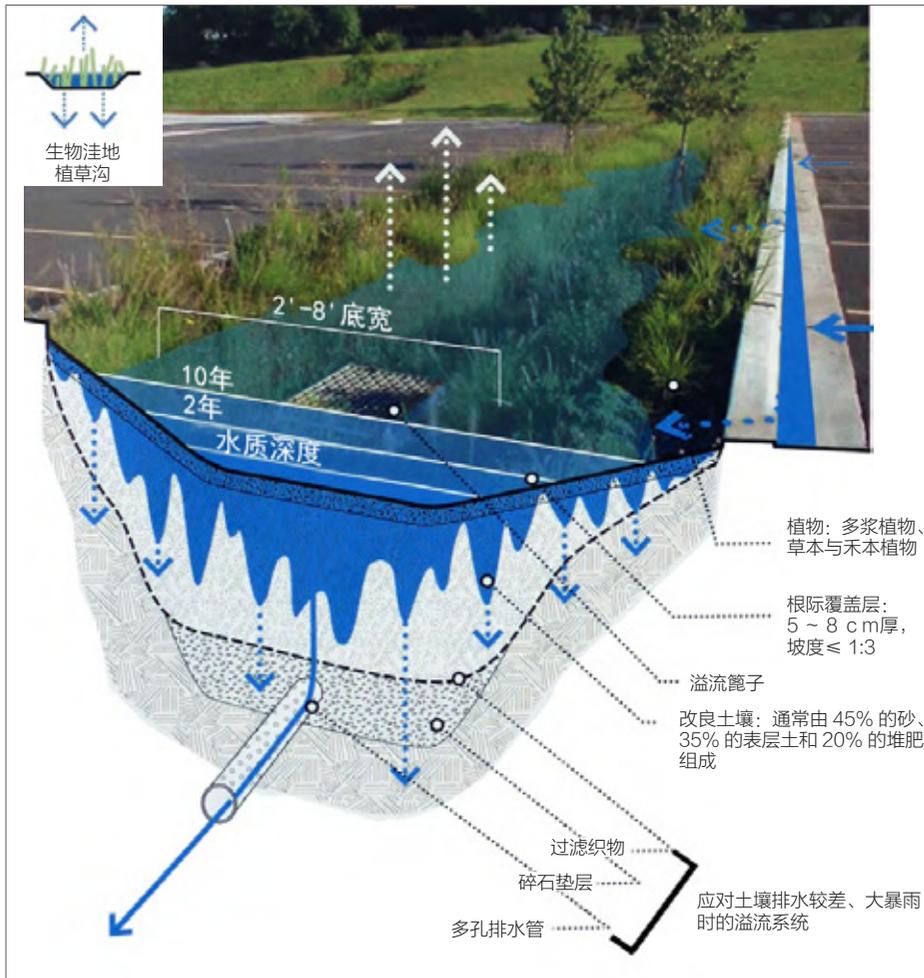
河岸缓冲带与水流控制装置结合时是最



低影响开发设施：雨水花园



低影响开发设施：河岸缓冲带



低影响开发设施: 生物洼地

有效的, 能阻止高速的水流对河道造成的冲刷与侵蚀。缓冲带在中心城区时, 恰当有效地管理是必需的。避免干扰“区域1”, 有利于发挥其对水流的减缓与过滤作用。

(4) 生物洼地 / 植草沟:

生物洼地是一个开放式的由植被缓坡组成的用来处理和传输雨水径流的沟渠。

生物洼地是一种生物滞留设施, 利用沟内兼生性植物的修复作用来减轻污染。生物洼地作为一种具有雨水处理功能的明渠, 降低地下雨水管网的建设需求, 从而可降低单位面积土地开发的成本。植草沟的主要功能是在雨水径流传输过程中对其进行处理, 而雨水公园是在雨水下渗的过程中对雨污进行处理。植草沟通常位于道路沿线或停车场周边, 汇水面积一般小于五英亩 (2 公顷)。

雨水径流需要利用开口路缘石、排水沟或其它装置将其引流到植草沟中。在土壤渗透较差的地方可能需要地下排水管和溢流格栅来应对强降雨。□

城市滨水区绿道规划

王劲韬 / 深圳北林苑景观及建筑规划设计院

城市滨水区的重要性在于其丰富的环境景观资源。比如水岸能提供最大的城市景观视域，对于城市尺度的空间，河流往往能提供最为恰当的视距和景深，提供最为丰富的景观边界（edge）和水岸天际线（skyline），由此提供完整的城市天际线和整体城市意象（city image）。对于城市景观而言，地处水岸边际的城市区域提供了城市高密度人工环境伸向自然区域的通道和窗口，按通常的话说，是一个地区景观信息量最大，特色最集中，景观层次最丰富，同时也是人工与自然风景相交融的区域。

滨水区域的绿色基础设施建设决定了一座城市的基本环境风貌和环境质量，在工业化以后，滨水区域功能由廉价航运转向提供舒适环境的过程中，滨水区域规划在空间上的适宜性（尺度），功能上的亲水性（交通，人车分流）和环境上的舒适性（景观风貌）等方面提出了极高的要求，同时，大量的现代城市功能的加入，使滨水地区亦成为城市功能最为集中的区域，城市的标志性街区建



图1 深圳湾设计鸟瞰效果图

筑，大众娱乐休闲和文化建筑，城市的传统风貌区往往都沿着水岸线布局，使之成为环境资源矛盾最为突出的地区。在满足着现代城市生活的同时，在空间上也会造成功能叠加，面貌杂乱，人车混流等诸多问题。

因此，滨水区域的规划难度远远不止于

水岸风貌的塑造和功能的便捷舒适性，更应包括水利的安全性，生态的可持续性，市民使用方面的连续性，开放性，和整体城市风貌的一致性，独特性等方面。下面以深圳湾滨海绿道的设计为例。

深圳湾滨海绿道是距离深圳城区最近的



图2 珠三角



图3 美国东海岸城市群



图4 美国西海岸城市群



图5 长三角



图6 波士顿



图7 芝加哥



图8 纽约

冲，承担了种种经济、文化、政治的交流与传播的重要职能，往往都是人类城市聚集发展的选择（图2、3、4、5）选择聚居的地方，很多成功的城市——芝加哥、波士顿、温哥华、纽约、悉尼等都是拥有长长的海岸线的港口城市（图6、7、8）深圳位于珠江三角洲东岸与香港仅一水之隔，是中国最早列为“经济特区”的城市，具有得天独厚的地理、政治、经济条件。2007年，《深圳市城市总体规划（2007-2020）》确立了“三轴两带多中心”的空间格局，而深圳湾就处在“深圳双核”、“前海中心”的重要组成部分。深圳湾用了不到七年的时间，由几近一无所有、堪称人迹罕至的滩涂填海之地，发展为今天拥有金融、商业、体育、人居等多种产业聚合作用，全面超越了深圳其他湾区的产业繁荣、商旅兼备的国际化人居胜地。

二、湾区文化

生态文化和城市文化是深圳湾滨海绿道精神文化选择的标准和焦点。

深圳湾作为珠江三角洲一个特殊的自然“湾区”，在深港两地的经济、文化和城市空间的建设方面都具有重要的意义。国家级自然保护区——福田红树林鸟类自然保护区和香港米埔自然保护区（加入拉萨姆湿地国际公约），是我国最主要的湿地之一，具有明显的原生景观优势，大面积的红树林和滩涂构成了湿地生态系统。在深圳湾两岸，一直以来人们隔岸相望，以渔船或渡船作为两岸往来的工具，如今，深圳湾成了深港两地相望对景最直接、最美丽的展示地区。

历史上，从宋末二王流亡到这里，“景

海岸前，也是深圳滨海城市特色的精华所在。而深圳湾的腹地点缀高新科技园、华侨城片区、欢乐海岸、大沙河创新走廊、深圳湾体育中心“春茧”、F1世界摩托艇大赛湖等深圳最值得骄傲的地区，还连接着蛇口——深圳建设的起点，以及前海深港现代服务业合作区——深圳发展的未来，由于良好的交通条件（地铁、滨海大道、西部通道）和规划的完整性，使其具备了“城市名片”的品质——在保护红树林生态岸线的基础上，把深圳湾一带建设成世界级滨海区，形成深圳

国际化都市的一条优美的、舒适的海滨风景长廊。

深圳湾滨海绿道是体现深圳滨海城市特色的亮点工程，也是满足了市民对高品质滨海休闲生活需要的民心工程。建成后的深圳湾滨海休闲带不仅为市民游客提供了休闲娱乐、健身运动、观光旅游、体验自然等多功能活动的区域，更是展现深圳现代滨海城市魅力和形象的标志。（图1）

一、湾区时代

滨海的地区作为每个国家水运交通的要



图9 深圳湾西段良好的景观基础

炎二年二月，帝舟次梅蔚，四月次官富场，九月次浅湾”（《南宋书》），到历史上著名的《过零丁洋》的肝胆正气；从赤湾林则徐炮台的威严，到西部通道开通前撤离的最后一批蚝排，深圳湾千百年来就是中华儿女辛勤耕耘、采收成果的宝地。从昔日蚝乡到今日侨乡，从年轻、活力、创新的城市走向理性成熟，深圳——一个梦想成真的城市，“面向大海，春暖花开”，深圳湾滨海绿道真正让人们感受到了海洋文化和红树精神。

三、湾区景观

深圳湾具有良好的景观基础，既有优美的滨海城市天际线，又有背景山体、陆城、海水、动植物、城市公共空间等多种景观形象要素。比如突出的海滨特色，为景观空间提供了趣味的对比和形象的认同，提升海滨城市总体的形象，形成一个自然生态景观与城市人文景观合一的城市之湾是本次景观设计的重点。这里近观有红树林景观——红树林精神的体现、潮汐景观、湿地景观——海



图10 1979年的深圳湾岸线



图11 2014年改造后的深圳湾海岸线

滩与内城河湖的对接：中观有海湾景观——风平浪静的半闭合湾、海岸景观——30里海岸线的壮观、绿地景观——生态环境的保护与提升；远观有西部通道深圳大桥的对景景观及香港对岸鳞次栉比的建筑天际线等等，充分体现了景观的多样性。

多年的填海造地的大规模改造深圳的岸线的位置和形态，亦使原先的山、海、城关系发生重大变化（图10、11）：生态的自然岸线和丰富多变的湾景被生产性的僵直岸

线和单一的空间使用方法逐步取代，城市中人的活动难以被直接、通达地到达滨水，因而在滨水绿道的设计中，重塑水岸线，将其引入与蛇口连绵山脉天际线呼应的景观微丘——绿色软景的景观形态软化僵直的岸线，并以有机轻盈的微坡地形丰富空间的感受，组织步道、广场体系，形成多元、人性化的使用空间，提供不同高度的景观、休闲场所。

加强城市与滨水的连接是很多世界级滨



图 12 总平面

水开发成功的经验: 包括将水引入岸线内部, 以及将城市开发和活动引入水中。如果海上世界是城市肌理环抱的“海湾”, 那么作为呼应, “活力码头地标”是将来吸引人气娱乐、休闲项目放置在一个水中的码头公园 (类似 Santa Monica Pier 主题公园), 与渔港码头未来形成规模性的旅游、休闲、商业节点。位于城市通廊“康乐路轴线”的水上延伸线, 蛇口码头公园将有效地将城市主街引向滨水。丰富的主题公园项目; 商业娱乐, 广场步道、林荫草坪、餐厅酒吧、大转轮、景观塔等将打造蛇口海湾水上新地标。

深圳湾西段的滨海步道与城市视觉以及物理通达性是塑造真正公共水岸空间的关键。现有的到达途径和岸线连续性都没有提供足够的城市与滨海的联系。未来真正吸引人气到滨水, 需要在节点打开直接、明晰、震撼的塑海门户。北侧望海路沿线将通过三个重点区域来实现城市与滨海的“景窗”连接——蛇口山段眺望生态滨水休闲运动区; 渔港码头眺望特色渔港海湾区; 海上世界段眺望南海酒店游艇码头区。



图 13



图 14

四、湾区生活

深圳湾的区位优势决定了它会成为影响深圳人民生活方式的城市公共空间，为市民提供异化的景观空间和活动场地。只有将城市的休闲、文化活动引入公园规划建设中，才能将深圳湾滨海地区的城市功能活力化、资源长效化。

深圳湾滨海绿道的设计力图通过创造高品质的滨海休闲公共空间，引导市民的公共活动，创造城市文化，引导市民进行各类休闲体验和健康生活，如观海远眺、涉水捕捞、科普教育、水上运动、骑行、轮滑、赏花等多种多样的生活。滨海绿道将潮汐花园（图16）、生态艺术岛（图17）、渔港城市运动公园（图18）等活动场地串联起来。植物种类多样性的宜人景观、舒适的环境很大程度上鼓励人们走出户外，享受美好的休闲时光，对于生疏僵硬的现代邻里关系将通过绿道得以改善，即便是从小生活在都市里的孩子也可以和大自然亲密的接触，享受泥土的芬芳，人们的生活方式向着更加积极健康的生活方式转变，同时也将反作用于公园的成长与发展。

五、湾区生态

深圳湾咸淡水汇合，是淡水生物和海洋生物混杂的水域，是一个脆弱的生态系统。深圳湾的淡水来源于东部的梧桐山和西部的羊台山，深圳市的河流以海岸山脉和羊台山为主要分水岭，南部诸河注入深圳湾，主要有深圳河、大沙河、西乡河、新洲河等。其中大沙河全长13.56千米，是深圳河流域的主要河流之一，由北至南贯穿南山区，既是连接塘朗山郊野公园生态系统与深圳湾生态系统的生态廊道；昔日的西乡河水网交错纵横，田园连片不断，渔业养殖旺盛。他们一同构成以河道为背景，从山林到陆地的生态系统，动植物非常丰富。在淡水、海水交汇的深圳湾，形成得天独厚的陆地与海洋生态系统一体的景观，东北岸的红树林湿地，每年有10万只以上的候鸟来此停歇，是东半球国际候鸟通道上重要的“中转站”、“停歇站”和“加油站”。深圳湾填海造园，重塑现代平直僵硬的岸线，通过建设湿地浮岛、水下森林、恢复红树林生境等技术手段、营

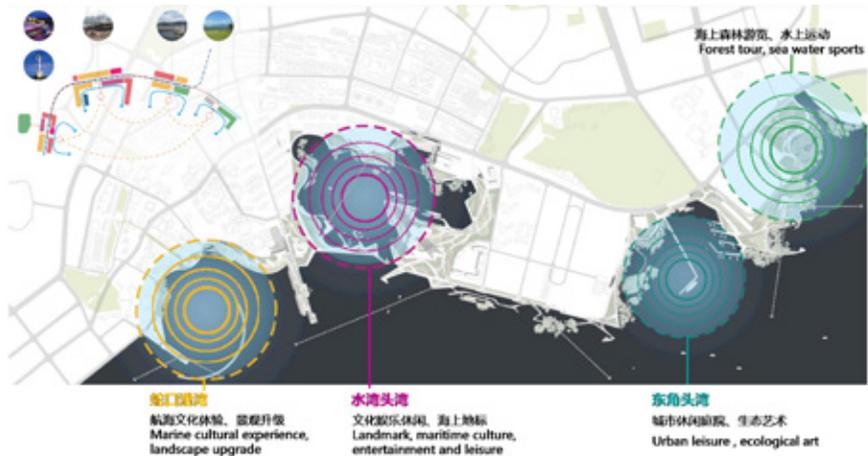


图 15 总平面



图 16 潮汐花园



图 17 生态艺术岛



图 18 渔港城市运动公园



图 19 鸟类迁徙路径分析图

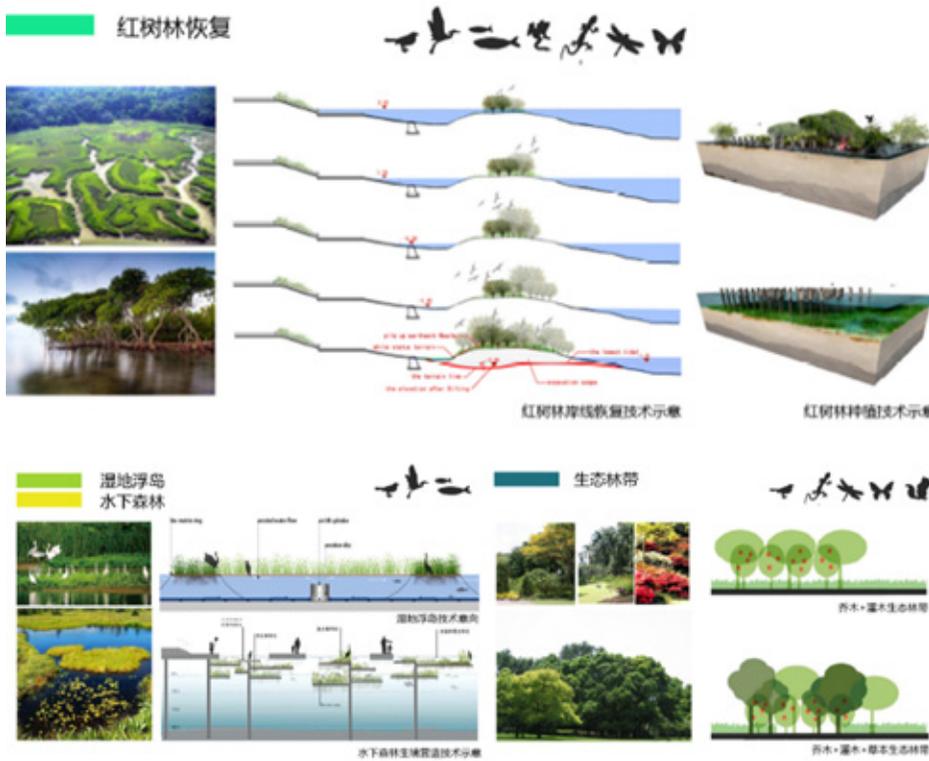


图 20 生境恢复手段分析图



图 21 水生态改善分析图

造多样化生境、为林鸟、水鸟、涉禽等生物新增栖息地并提供安全的迁徙路径，通过纵向廊道，连接生态网络。（图 19、20）

深圳湾滨海绿道的建成及周边的可持续城市规划将重建沿海建成区的生态系统，平衡环境和与人类使用海岸线之间的关系，为滨海城市提供宜人的生态环境；滨海绿岛沿海滨形成的宽阔而连续的绿林带，大量种植深圳地带型植物，为城市抵制自然灾害提供了良好的缓冲地带，是海岸防护的重要屏障，有力保障了城市的生态安全，形成城市生态良好格局的一个重要组成部分。

为改善和提升内部湾区与海域水体交换能力，在湾海间建立海闸，利用潮汐动力解决水体流动问题，在涨潮时打开闸门，开始落潮时关闭闸门，待最低潮位放闸，促进水体交换。

通过对海绵城市理念的贯彻和应用，采用低冲击开发模式，解决面源污染治理问题，科学合理应用雨水生态设施以减少地表径流和减轻雨水面源污染，可分为源头分散控制措施、输送措施和末端集中控制措施。（图 21）

在景观植物规划的设计中，结合场地布局 and 空间形态，形成一条种植廊道，在东西向上，延续深圳湾公园东段植物生态配置手法，形成连续的“林荫绿廊”，为市民提供舒适的遮荫空间；在南北向上，结合绿带厚度，形成由“生态林带、公园林带、大树草坪、红树景观带”组成的“生态绿廊”，体现了城市植物景观和自然植物景观的交织演

变，营造富有生态功能及具有自然休闲气息的植物景观。行道树种选用抗风强度大，耐盐碱，林荫效果佳的树种，同时能与四个湾的主题相融合。

在深圳湾绿道的设计中，还注重生态节能新材料和技术的应用，例如使用可渗透的铺装材料、中水回用浇灌、绿色照明、复合式生态种植技术等，尤其铺装路面全部采用环保再生资源砖，这种砖是通过建筑垃圾再生制成。整个“绿岛”全部采用环保生态型的透水混凝土材料，使地下水资源得到及时补充，体现了循环经济，生态环保理念。□



图 22 植物景观规划分析图



图 23 种植规划设计图



图 24 滨海绿道种植空间分析

沈阳市海绵城市建设实践经验探讨

姜月 / 沈阳市规划设计研究院市政管网研究所

编者按：沈阳市是一个典型的地势平坦、水资源相对短缺的东北城市。建设具有自然积存、自然渗透、自然净化功能的海绵城市是生态文明建设的重要内容，是实现水资源利用与保护、水生态修复、水灾害防治的重要途径与手段。沈阳市在进行生态文明城市建设的过程中，积累了许多宝贵的经验，建设形成蒲河生态廊道、沈阳建筑大学、浑河城市段生态景观带、迎宾路高架桥雨水调蓄系统、沈阳市图书馆、白塔公园等海绵城市成熟片区和示范工程。城市水环境质量逐年改善，浑河、蒲河等河流水质已基本恢复四类水体，地下水漏斗面积逐渐减小，为进一步全面建设海绵城市奠定了良好的基础。

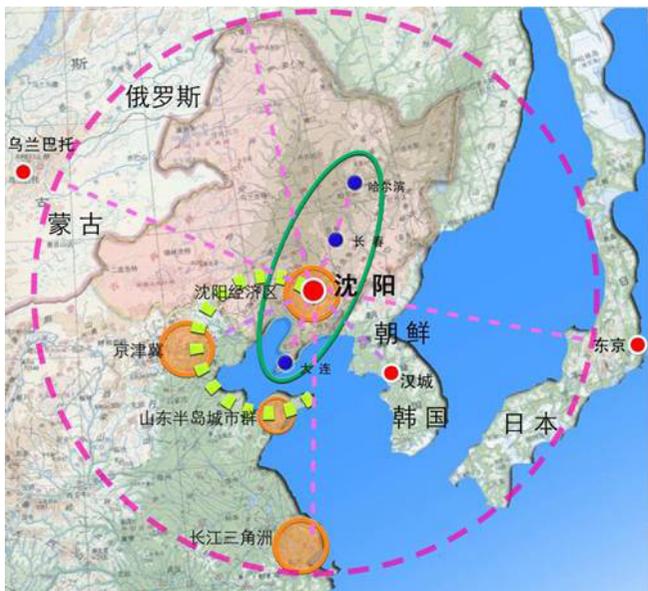


图1 沈阳市地理位置图

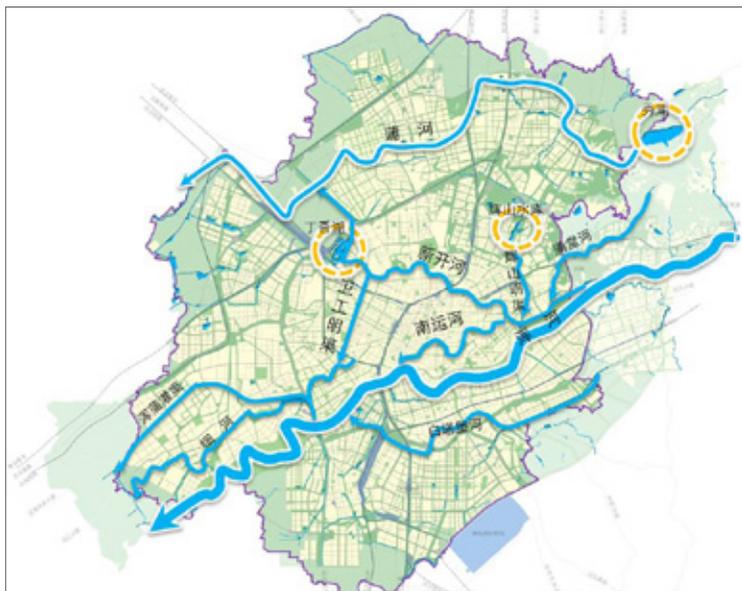


图2 沈阳市中心城区现状水系分布图

海绵建设的核心是构建“低影响开发雨水系统”，通过对雨水径流的源头控制，维持和保护场地自然水文功能，有效缓解城市内涝、削减城市径流污染负荷、节约水资源

源、保护和改善城市生态环境。近年来，沈阳市的建设项目在规划设计建设中融入低影响开发理念，城市水环境质量逐年改善，地下水漏斗面积逐渐减小，城区积水点逐步

减少，海绵城市建设初见成效。

一、沈阳市概况

沈阳市位于中国东北地区的南部，辽宁省的中部，处于东经122°25'9"—



图3 沈阳市图书馆

123°48'24"，北纬41°11'51"—43°2'13"间。沈阳地区属于温带季风气候区湿润和半湿润大陆性气候，1986—2015年年平均降水量为683.7mm，年均降雨日数为92天，年均降雪日数为27天，降雨主要集中在7、8月份，为沈阳市的主汛期。沈阳市水系并不丰富，主要有浑河、蒲河、南运河、新开河、卫工明渠、辉山明渠、满堂河等河流，其中仅浑河和蒲河为大型河流。

沈阳市地貌以平原为主，地势平坦，全市平均海拔约50m，中心城区平均坡度为0.5‰。大部分土质渗透条件好，横贯市区及近郊区存在两条主要砂性土带，浑河两岸漫滩基本由砂砾组成，为地下水强烈下渗地区，为雨水的渗透奠定了良好的天然基础，有利于减缓和消除因地下水过度开采造成的地下水漏斗问题。

随着沈阳城市化进程的推进，硬质路面、建筑等不透水硬覆盖率的增加，改变了自然状态的雨水下渗，导致城市建成区地表综合径流系数的提高、单位地表面积雨水径流量的增加。海绵城市建设，加强采用城市径流雨水源头减排的措施，有效降低了地表径流系数、减缓径流峰值、削减径流污染负荷，同时节约水资源，保护和改善了城市的生态环境。

二、建设实践案例

1. 海绵型建筑与小区建设

1) 沈阳市图书馆

沈阳市图书馆新馆位于沈阳市“金廊”南部、青年大街东侧，建成于2005年，占地3.97hm²。图书馆原用地为沈阳市苗圃，绿化植被非常丰富，是保护较为优良的一块城市绿地。为保留原来苗圃地区的自然风貌，营造优雅的环境氛围，图书馆外部采用生态

建筑的设计理念、斜坡绿化屋顶的建筑形式。

图书馆绿色屋顶面积9500m²，东西长156m，南北最宽处为100m，最高点30.8m，最低点0m，屋面倾斜度为10°。考虑到图书馆的特殊功能和屋面经济性及施工进度等多种因素，屋顶的植物考虑种植草坪，选用经过处理的腐殖土为植载介质。此外，采用300mm的种植土和增设固土网，加强屋顶的水土保持，保障屋顶绿植的生长环境。

沈阳市图书馆绿色屋顶是北方地区大面积屋顶绿化的一次工程尝试。屋顶绿化节能环保，有效渗滞、利用雨水资源，形成良性的水循环系统，既增加了城市绿化面积，又缓解城市热岛效应，形成别具特色的城市景观。

2) 沈阳建筑大学

沈阳建筑大学位于沈阳市浑河南岸，占地1km²，建筑面积48万m²，于2003年建成。校园位于浑河水系冲积而成的浑河平原上，地形平缓，整体地势东高西低、南高北低。整个校园的建设体现了以人为本、与自然和谐共生的理念，通过建设下凹式绿地、人工湿地及保留原生态稻田等多种方式打造海绵校园。

校园内建设大量下凹绿地及透水性广

场，收集周边道路及广场的雨水并下渗，一方面保证广场路面在雨量增加时不积水，另一方面将雨水资源收集后再利用，从而实现建筑与绿地雨水不外排。

大型人工景观湿地，位于校园西南角，地势比较低洼。湿地主要分为四大功能区：生活污水前期处理区域、湿地植物处理区域、泽地植被雨污处理区域和湿地景观区。湿地通过收集地表径流、调蓄雨水流量，净化雨水水质的同时修复生态环境，改善了园区的景观环境。

校园生态稻田位于校园西南角，原稻田区以种植稻禾为主，土地肥沃，地下水位较高，生态本底条件优渥，生态稻田保留原始稻田，建成以水稻、野草及农田林网等乡土景观的生产性开放空间园区。生态稻田的储水深度约700mm，最大储水量约7200m³。生态稻田周边场地雨水经收集后通过植物根系净化，最后蒸发和下渗补给地下水。当雨水不能满足稻田灌溉时，水泵将校园中央水系水抽到稻田西北侧的水渠中。当田间水量超过水稻需求时，多余的水由稻田区地势较低的东南侧排水口排出，进入校园排水系统。

校园通过低影响开发建设，大学建校至今从未发生内涝积水问题。校园环境建设项目获得了国家2008年中国人居环境范例奖。



图4 沈阳建筑大学——透水广场



图5 沈阳建筑大学——人工湿地



图6 沈阳建筑大学——生态稻田



图7 中德（沈阳）高端装备制造产业园——华晨宝马铁西厂区鸟瞰图



图8 中德（沈阳）高端装备制造产业园——华晨宝马铁西厂区生态停车场



图9 中德（沈阳）高端装备制造产业园——华晨宝马铁西厂区渗水沟



图10 迎宾路高架桥雨水蓄水池现场施工图



图11 白塔公园生态池

3) 中德（沈阳）高端装备制造产业园——华晨宝马铁西厂区

中德（沈阳）高端装备制造产业园——华晨宝马铁西工厂位于沈阳市西部，厂区建于2012年，占地89.6hm²，排水系统设计重现期为100年。厂区海绵城市建设主要采用下凹式绿地、生态停车场及雨水调蓄水池等低影响开发措施。

厂区绿地率为15%，其中下凹式绿地比例达到95%，下凹深度为8cm。生态停车场全部采用植草砖铺筑，面积约0.7hm²；人行道全部采用透水砖等铺设，面积约0.3hm²。厂区基地全部采取砂石换填，极大提高了地表的渗透性能，形成以渗透为主、管道排放为辅的排水体系。在排水系统末端建设雨水调蓄池，容积为2.5万m³，雨水

经收集后用于厂区绿地浇洒及道路清洗等。

2. 海绵型道路建设

迎宾路高架桥雨水调蓄系统建设于2014年，与迎宾路高架桥快速路同步施工。考虑到高架桥雨水收集及利用，在勘测高架桥区地质条件后，于高架桥桥下设置10座雨水蓄集池，其中，1座为雨水收集池、其余9座为渗透池。

雨水池为模块式蓄水池，采用地埋式设置，水池容积30m³，尺寸6.4m×2.7m×1.77m。高架桥桥面雨水经蓄水池蓄集，通过过滤装置进行简单处理后，主要用于道路和绿化浇洒，节约市政用水；超出设计标准的雨水经分流井汇入市政雨水管网，减轻雨水管网的排水压力，避免发生内涝积水问题。

3. 海绵型公园建设

白塔公园位于沈阳市浑南区，占地面积32.5hm²，其中：绿地面积20hm²，铺装面积7.5hm²，水面面积5hm²，绿地率62%。园区地势北高南低，天然水系白塔河顺势流经公园。

公园按照节约能源、激发生物多样性的设计原则，建设了密林、折线河道、桃花谷及白塔寺庙等多处景观。园区通过建设梯形草坡和网格状公园路，降低地表径流系数，提高场地的下渗能力。公园中建设生态池作为生物滞留设施，通过池内植物、土壤和微生物系统渗透、蓄存、净化径流雨水。公园于2013年建成，现已成为沈阳浑南区的天然氧吧。



图 12 浑河改造前



图 13 浑河改造后



图 14 浑河支流——辉山明渠河口湿地



图 15 蒲河生态廊道——珍珠湖



图 16 蒲河生态廊道——滩地及景观路

4. 海绵型城市水系建设

1) 浑河城市段景观带

浑河是沈阳市“银带”景观带，是沈阳的“母亲河”。改造前的浑河存在沿岸污水乱排、底泥污染及硬质堤岸等诸多问题，浑河城市段水生态系统处于不健康状态，极大影响河流两岸居民的生活。浑河城市段综合改造提升工程于 2003 年开始，通过河岸恢复、河床生态建设和支流河口污染控制等一系列水生态改善和可持续发展的措施，对浑河进行生态恢复及景观改造。到 2012 年，浑河城市段打造成自然的、自我调节的水生态系统。

通过建设生态河堤、河岸植被缓冲带及沿岸垃圾治理等手段，恢复河岸的生态功能；通过对河床进行底泥清淤和生态建设等手段，改善浑河水质、提升浑河的整体景观；通过建设河口人工湿地，解决支流对浑河干流的水体污染问题。

项目在保留原有树木的基础上，增植地被花卉及草坪约 46hm²，绿地局部下凹 100 ~ 200mm，改建现状护岸为生态景观护岸，新建河边及林下木栈道 1.5hm²，新建透水性塑胶健身跑道 7.5km，提升改造广

场透水铺装 10hm²，增设道路植草沟，新建生态停车场等，渗蓄、净化雨水。建设支流——辉山明渠河口湿地污水处理厂，处理生活污水、净化入浑河的支流水体，浑河沿岸的生物多样性得到恢复、生态系统稳定性增强，并形成独具特色的河口湿地景观。浑河沿岸改造后，满足军民休闲、健身、亲近自然需要，是沈阳市生态良好的绿色长廊。

2) 蒲河生态廊道

蒲河发源于辽宁省铁岭县横道河子乡想儿山，全长 205km，沈阳段长 179.7km。蒲河是沈阳市北部重要水系和排涝灌溉主要渠道，2010 年 4 月启动蒲河生态廊道建设，历时三年，总投资 31.97 亿元，通过重点实施水利、环保、绿化、道路、村庄环境治理、景观节点等六大工程，完成蒲河全流域的综合治理改造。

经过生态改造，蒲河全线近 180 公里的水面相连，水面面积增加约 13km²，蓄水量增加 3000 万 m³，增强了河流调蓄能力。两岸新增绿地 65km²，建设多处湿地景观，有效减少地表径流、削减河道洪峰流量；减少硬质护岸，采取自然亲水的大缓坡种草的生态护岸方式，提高了蒲河沿岸雨水下渗能

力，补给地下水。河流污染基本得到了控制，全线干线已消除劣 V 类水质。蒲河生态廊道建设获得 2012 年中国人居环境范例奖，为沈阳市海绵城市建设奠定良好的基础。

三、结语

沈阳市在海绵城市建设工程实践方面已经积累了大量经验，在水系统、公园绿地系统、道路系统及建筑与小区中，海绵型设施以“渗、滞、蓄、净”为主，“用”为辅，基本形成了沈阳市海绵城市建设的雏形，仍需进一步实践及完善。海绵城市的建设并非一劳永逸，市政基础设施“重建轻管”、后续投入不足、管理维护不利的现象普遍存在。为保证海绵城市建成后能够持续良好的发挥功效，需要配备相应的监测手段对建设效果进行监测和评估，并做好设施的维护管理；加快出台海绵城市标准规范、图集和技术导则以及相关配套政策等，为海绵城市建设提供技术支持和政策保障。

海绵城市的建设任重而道远，应结合各地的资源与地域特点，进行科学的规划和设计，因地制宜的布设低影响开发设施，建设真正具有自然积存、自然渗透、自然净化功能的海绵城市。□

基于海绵城市理念的沈阳市居住用地低影响开发规划研究

冯爽 / 沈阳市规划设计研究院市政管网研究所

编者按：本文以住宅小区为研究对象进行低影响开发规划设计研究。分析不同低影响开发设施的特点，并通过排水模型模拟蓄水池、透水铺装、下沉式绿地、绿色屋顶等不同低影响开发设施的对径流总量及峰值的控制效果。总结居住区低影响开发的主要模式及居住区低影响开发规划的编制思路，并以工程实例说明规划编制的重点工作，为今后类似研究提供经验借鉴，以期对沈阳市海绵城市的建设落地实施提供参考。

一、研究背景

近年来，城市“水安全、水资源、水环境”问题日益突出，旱涝交错、水源短缺、面源污染等现象严重困扰着城市发展；而海绵城市建设是解决城市内涝积水、水系污染问题、补充地下水资源的有效途径，对雨水源头减排、初期净化，提高排水系统综合防洪排涝能力，意义重大。

海绵城市的建设主要依托于城市水体、园林绿地、道路交通、建筑小区四大系统，其中建筑与小区系统在城市用地中所占面积比例最大，对于城市径流的贡献量也最为突出。而住宅小区作为建筑与小区系统中的一类最主要用地，可选取的海绵性措施较为多样，规划控制灵活度较高，本文以住宅小区为研究对象进行低影响开发规划设计研究，为今后类似研究提供经验借鉴，以期对沈阳市海绵城市的建设落地实施提供参考。

二、居住区传统开发模式

传统的居住区开发模式，是以“快速排出”和“末端集中控制”为主要设计理念设计雨水排水系统，建设混凝土的雨水管道收集小区内部的雨水，接入市政排水管网。而小区的地表覆盖也多为不透水的硬质铺装，新建高档小区绿化面积有所提高，但是绿地景观竖向上通常高于道路，导致下雨时绿地的部分雨水流入道路排水管道，雨大时还会将绿地中的沙土冲到路面上，不仅加重道路排水管道的负担，还加重了雨后道路清扫的工作。居住区的传统开发模式导致开发过后，地块径流量增加，市政排水压力加大。

三、居住区低影响开发模式

居住区低影响开发是从源头进行降雨径流量及径流污染的控制和管理，综合采用入渗、过滤、蓄存等多种方式来减少径流外排

量，使小区开发后的水文功能尽可能接近开发之前的状况。常用的低影响开发措施主要有下沉式绿地、透水铺装、植被浅沟、雨水调蓄池、绿色屋顶等。

1. 下沉式绿地

具有狭义和广义之分，狭义的下沉式绿地指低于周边铺砌地面或道路在 200mm 以内的绿地；广义的泛指具有一定的调蓄容积，且可用于调蓄和净化径流雨水的绿地，包括生物滞留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地、调节塘等。下沉式绿地通常结合原有的绿化布局，对土壤应进行改造，通过填加石英砂、煤灰等提高土壤的渗透性，同时在地下增设排水管，穿孔管周围用石子或其他多孔隙材料填充，形成较大的蓄水空间，将屋面、道路等各种铺装表面形成的雨水径流汇集入绿地中进行蓄渗，多余的径流雨水从设在绿地中的雨水溢流口或道路排走。

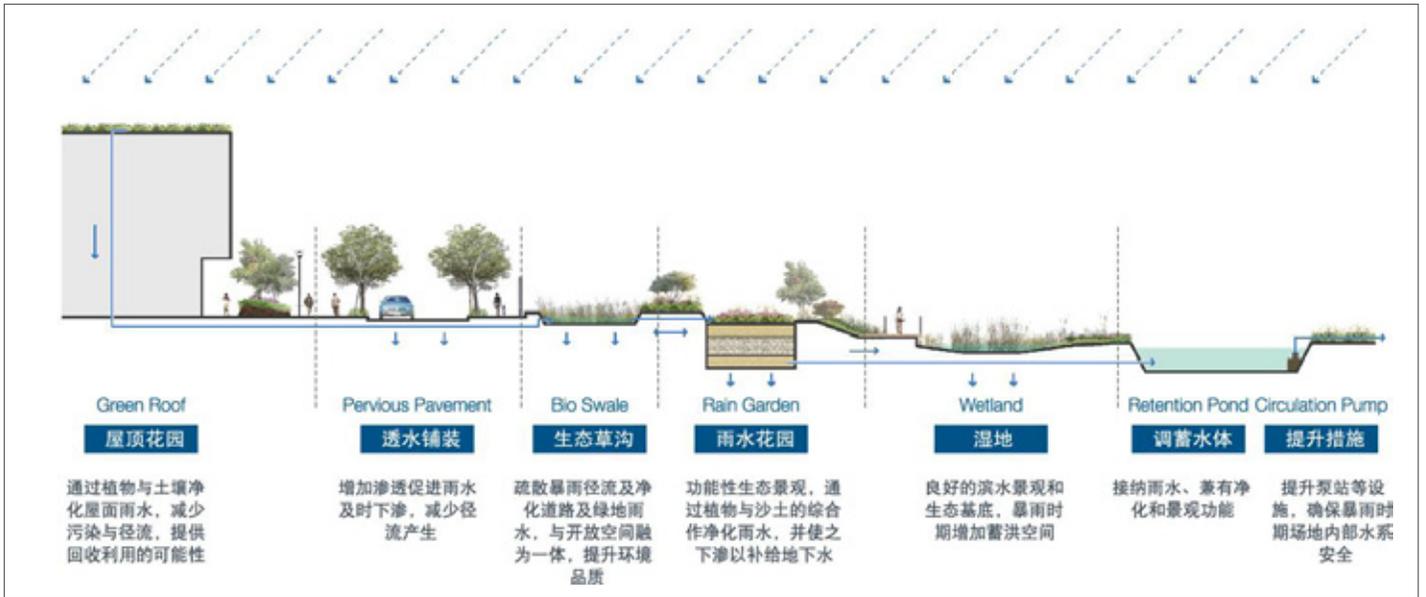


图1 小区低影响开发雨水径流过程图

2. 透水铺装

采用透水性路面是降低雨水径流量的重要措施之一。因地制宜地设置透水性路面，具有一定的削峰减排作用，主要应用在小区的行车道、人行道、广场、停车场等人工地面。一些发达国家从上世纪70年代开始研究开发透水性路面材料，并将其应用于庭院、人行道、自行车道、公共广场、露天停车场、公园内道路等，增加城市透水透气空间的同时，还可以调节城市小气候、保持生态平衡。

3. 植被浅沟

植被浅沟指种有植被的地表沟渠，是具有转输功能的低影响开发设施，可用来连接其他低影响开发设施。可以同雨水灌渠联合应用，在场地竖向条件允许的建筑小区中，在不影响安全的前提下，可以替代雨水灌渠。

4. 雨水调蓄设施

雨水调蓄设施包括雨水调蓄池及雨水桶等。雨水调蓄设施通过设计容积的不同可以起到控制初期降雨污染或调蓄雨水的作用。设计容积较大时，可以对地表径流起到有效的调节作用，大量雨水蓄积于水池中，待降雨过后排出，减轻降雨时排水系统的排水压力。建筑小区内可只收集受污染较小的屋面雨水，收集后的雨水可用作园区杂用水，如绿地浇洒、洗车、冲厕等。

5. 绿色屋顶

屋顶是城市的“第五立面”，占居住用

地面积的20%以上，绿色屋顶可以有效减少屋面径流和径流污染负荷。但沈阳作为典型的北方城市，存在气候较为干燥，冬季气温寒冷且风大等不利于绿色屋顶建设的客观条件，因此在沈阳应用绿色屋顶时需具体问题具体分析。一般来讲，高层建筑不建议采取绿色屋顶，底层建筑，如沿街商铺的屋顶可以应用绿色屋顶。

四、低影响开发措施效能比较

为方便进行低影响开发设施的选用，分别对设施的径流总量控制率、径流峰值控制效果、径流污染控制效果进行比较。

1. 对径流总量控制的影响

径流总量控制率是海绵城市的重要考核指标。利用排水模型，分别选取重现期为0.5

年-50年、历时为2小时的7场降雨，分析各设施对雨量径流系数的影响。其中下沉式绿地（下沉深度按照150mm计），在应对这些降雨时均未产生径流。其余四种低影响开发设施对雨量径流系数的影响如下图所示。可以看到低影响开发设施在应对中小雨时径流总量控制效果很好，在应对大到暴雨时，径流总量控制率普遍降低，其中蓄水池及绿色屋顶降低的尤为明显。总体来看，下沉式绿地、植被浅沟及透水铺装对径流总量的控制效果更好。

2. 对径流峰值控制的影响

径流峰值控制也是低影响开发的目标之一。通过模拟发现，低影响开发设施对于中小雨的径流峰值消减、延迟效果较好，对

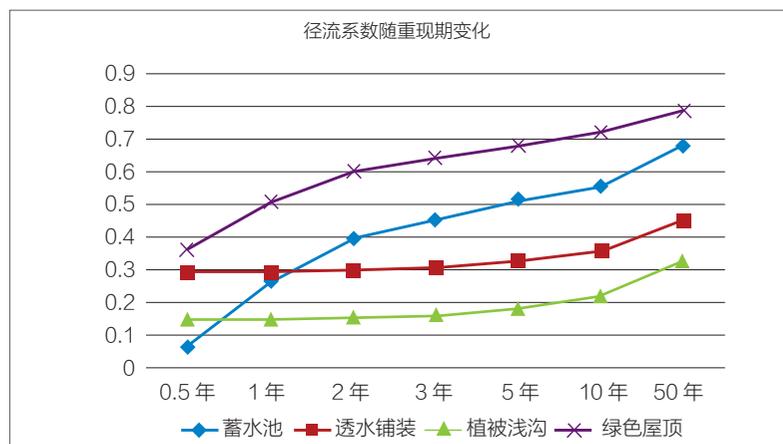


图2 不同低影响开发设施对雨量径流系数的影响
注：蓄水池容积按照每1000m²硬化面积，配备25m³蓄水池，下同。

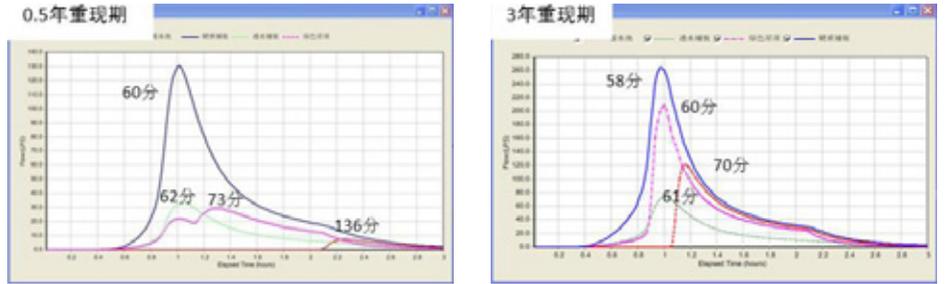


图3 低影响开发设施对降雨径流峰值影响

表 1 低影响开发设施污染物去除率

污染物	生物滞留 / 雨水花园	植被浅沟	绿色屋顶	透水铺装	调蓄设施
总悬浮物 (SS)	59-90	65-81	86	85-89	80-90
重金属	80-90	20-50	—	35-90	—
总磷	5-65	25	59	55-85	—
总氮	46-50	15-56	32	35-42	—
细菌	—	—	37	40-80	—

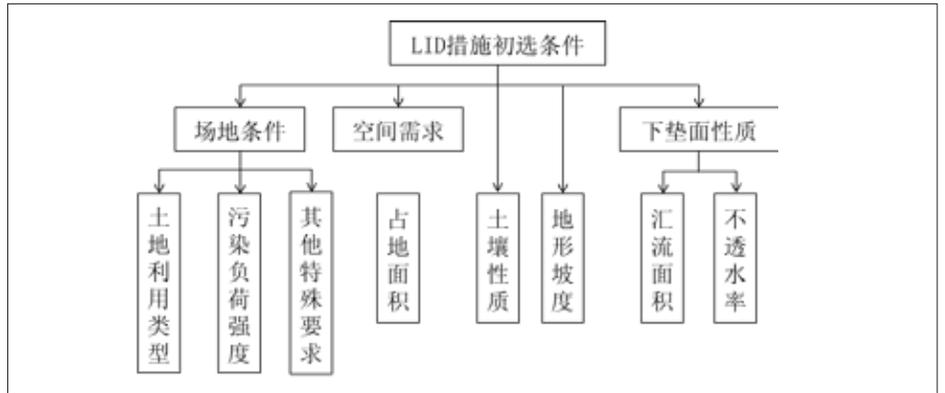


图4 LID措施初选条件

于大暴雨也有一定的削减效果。同样，效果最好的当属广义下沉式绿地，应对不同的降雨类型，几乎不产生径流。其他的几种方式中，蓄水池及绿色屋顶对中小雨的控制效果很好，但对大暴雨的径流峰值控制效果明显减弱。而透水铺装对径流峰值的延迟作用有限，但对峰值的削减作用比较稳定。

3. 对径流污染控制的影响

径流污染控制是低影响开发的重要控制指标。有学者认为，海绵城市对解决城市内涝积水效果有限，但能够有效的控制城市面源污染问题。但由于不同工程面对的污染本底值不同，低影响开发设施的污染物去除率难以通过计算得到，具体去除效果需要通过实际测量获得。国内外文献中总结了一些低影响开发设施对污染物去除率的经验值，设施选取时可供参考。

五、低影响开发规划思路

1. 分析建设条件

对小区的低影响开发项目，首先要分析项目的建设条件。包括项目所在地的自然条件，如气候特点、降雨径流情况、地质情况等，分析是否适合进行低影响开发。同时还要分析场地高程竖向条件、现状雨水径流组织、是否有外来雨水流入，以及场地内是否存在天然坑塘等情况，以便因地制宜的进行后续设计。

2. 明确规划目标

小区的低影响开发设计旨在改变单纯雨水排放方式，提升雨水管理能力，充分考虑雨水的蓄存、滞纳、利用，削减雨峰对管网的冲击，同时增加雨水利用率，减少景观用水的市政补给量，节约水资源。

具体制定控制目标时应遵循上位规划的

要求，一般对于新建小区，径流总量控制率不低于85%，同时还要兼顾水环境、水资源、水安全等方面的要求。水环境方面应充分考虑面源污染问题，径流污染控制率（以SS计）不低于40%，回用的雨水主要水质指标达到景观用水要求；水资源方面，应设置雨水回用系统，充分利用雨水资源，减少市政用水量；水安全方面，考虑超标排放问题，及时将小区超出设计雨量的雨水排出。

3. 初选开发类型

LID措施的初选是决定LID措施是否适用于研究区域的首要限制条件，一般包括场地条件、土壤性质、地形地势、下垫面性质及空间需求等，详见图4。

各设施适用的条件各不相同，应根据场地情况及需求，选用可用的低影响开发设施。参考国外雨水管理导则及国内建设

表 2 LID 措施的特征指标

LID 措施	污染负荷	其他要求	空间需求	坡度	服务面积 ha
简易下沉绿地	高	不透水下垫面周围绿地深度 < 0.2m	中	< 0.05	—
雨水花园	低	距离道路 < 30m 距离建筑 > 6m	中	< 0.12	0.5-2.
植被浅沟	中	不透水下垫面周围距离建筑 > 3m	中	< 0.03	< 2
绿色屋顶	低	平屋顶, 坡度小	—	< 0.04	—
雨水桶	低	距离建筑 < 10m	小	—	—

表 3 按照传统开发模式径流系数计算表

地表类型		面积 (m ²)	径流系数
屋顶	高层屋顶	2000	0.95
	低层屋顶	3700	0.95
路面及广场		5220	0.9
绿地		4680	0.15
汇总 (综合径流系数)		15600	0.7

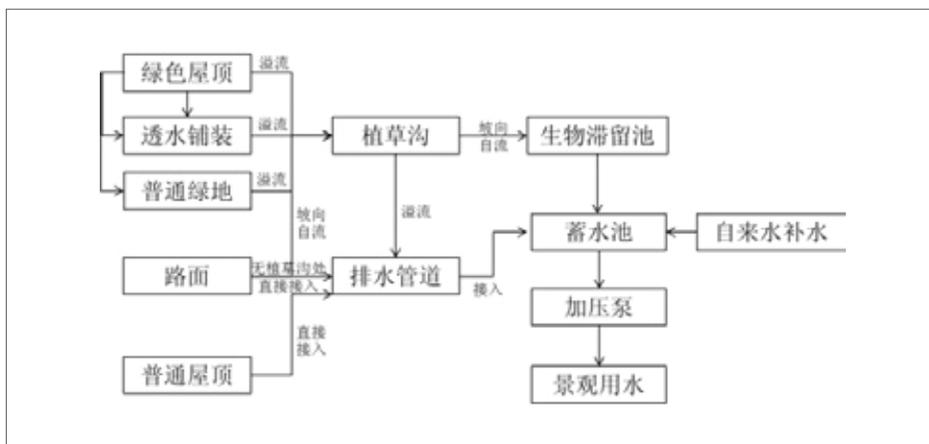


图 5 规划小区雨水径流流程

表 4 按照低影响开发模式径流系数计算表

地表类型		面积 (m ²)	径流系数
屋顶	高层屋顶	2000	0.95
	低层屋顶 (绿色屋顶)	3700	0.36
路面及广场	透水铺装	2720	0.3
	不透水铺装	2500	0.9
绿地		4680	0.15
汇总 (综合径流系数)		15600	0.45

经验, 结合各项低影响开发措施的应用特点, 将部分常用于居住用地的 LID 措施特征指标总结如下 (见表 2), 在进行初选时可进行参考。

4. 具体设施设计

因地制宜, 根据场地布局特点选定的低影响开发设施, 按照设计目标计算总径流控制量, 根据景观用水的需水量设计雨水净化储存设施的规模, 剩余需要控制的雨水量由渗透和滞留设施分担, 得到初步设计结果。对于规模较大的小区, 可根据规划区域特点、建筑组团情况及雨水径流组织等对规划区进行分区, 对每个小区域进行水力系统及景观节点的深化设计。

5. 模拟建设效果

通过建立计算机排水模型对低影响开发设计的效果进行模拟。虽然径流总量控制率对应的是 24 小时降雨量, 但沈阳地区多为短历时降雨, 为保证模拟的降雨强度接近真实情况, 因此选用 2 小时的短历时降雨进行校核。主要校核出口节点的外排量和储存单元的蓄存量, 如满足海绵城市建设的目标需求, 则认为设计合理, 反之则需要对设计进行相应调整。

六、工程实例

沈阳某小区占地面积 1.56 公顷, 容积率 2.97, 为满铺地下室, 地下室顶板覆土 1.8 米, 小区规划绿地率 30%, 建筑密度 37%。因是新建地块, 径流总量控制率要求 85% 以上。

地块为独立地块, 周边均为市政路, 没有外水流入, 周边道路上均有市政雨水管线, 管道排水条件良好。小区内表层土壤主要为人工填土, 厚度 1—3 米, 其渗透性介于砂土与粉细砂之间, 渗透系数 $1.16 \times 10^{-5} \text{m/s}$ — $2.32 \times 10^{-5} \text{m/s}$, 采用渗透方式进行雨水利用是可行的。

规划区内用地分为三类, 分别为建筑基底、路面及广场、绿地, 如按照传统开发模式, 综合径流系数为 0.69 左右。

结合小区实际情况, 综合比较之后, 选择简易生物滞留、植草沟、绿色屋顶、雨水调蓄池、透水铺装作为小区的低影响开发设施。通过增加绿色屋顶和透水铺装, 减少不

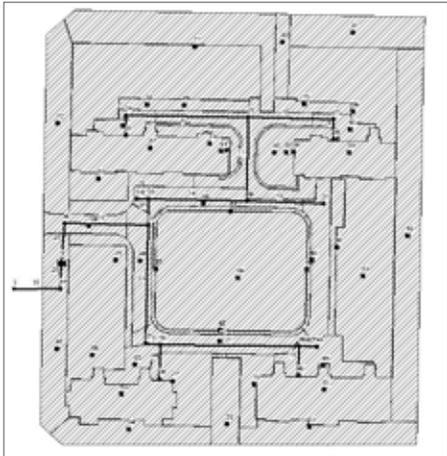


图6 规划区低影响开发 SWMM 概化模型

透水的径流表面，雨水通过地表的植草沟收集进入生物滞留池，溢流的雨水流入排水管道，进入雨水调蓄池，调蓄容积充满后，溢流进入周边道路的市政排水管网。经低影响开发设计之后，规划小区的综合径流系数降低至 0.45，径流量大大减少。

为达到径流总量控制目标，还需控制雨水调蓄容积 222m³。根据小区的实际情况，设置雨水收集池 1 座，规模 100m³，其余雨水调蓄容积通过分散在园区中的生物滞留设施实现。

通过 SWMM 排水模型对低影响开发规

表 5 传统开发模式与低影响开发模式雨水控制效果对比

	传统开发			低影响开发		
	0.5 年	3 年	10 年	0.5 年	3 年	10 年
径流系数	0.69	0.71	0.74	0.45	0.53	0.57
外排总量	307 m ³	581m ³	785m ³	0	150 m ³	189m ³
峰值出现时间	56 分	56 分	56 分	-	73 分	62 分
峰值外排量	207L/s	384/s	490L/s	-	108 L/s	173L/s
年径流总量控制率	31%			85%		

划效果进行校核。建立模型后，分别应用重现期为 0.5 年、3 年及 10 年、历时为 2 小时的降雨进行模拟，经验证规划小区的低影响开发规划可以满足。利用排水模型，对规划小区传统开发模式和低影响开发模式的雨水控制效果进行了对比，可以看到低影响开发模式能够明显的达到削减径流外排量、延缓峰值出现时间的效果。

七、结语

我国目前正在推进海绵城市建设，住宅小区的低影响开发乃是海绵城市建设的重要环节。居住小区在城市用地中所占比例很大，

对于城市径流的贡献量突出；而且住宅小区可选取的海绵性措施也较为多样，非常适合按照低影响开发进行设计建设。

住宅小区由开发公司负责开发建设，更需要一套完整的规划设计文件对其开发方式进行引导。建议尽快完善小区低影响开发规划的审批环节，督促开发商进行低影响开发，保证海绵城市建设顺利落实。□

浑河两岸是故乡

本刊编辑部

跟着我，我带你去看，每一个其貌不扬的普通人，都是一座深不可测的深渊。

——李安

题记：

无论是“共和国长子”这样的美誉，还是以往的“重工业城市”的特质，或是今天的“装备制造基地”称谓，这些都是贴在沈阳这座城市的标签。外地人，往往容易以简单的标签来标识沈阳和她的市民，甚至置身这标签之下的我们也安之若素。标签之下的这座城市，隐藏着怎样的古老，隐藏着怎样的细腻？她还隐藏着雅致，隐藏着风情，甚至，隐藏着一份北方特有的闲适和惬意……

“文化沈阳”栏目旨在揭开加诸于沈阳这座城市身上的标签，与读者一道去探寻这座城市的古老与细腻，领略她的典雅与风情，融入她的闲适和惬意。



刘双楠《记忆之河》No.1



刘双楠《记忆之河》No.2



王仁祥《雁过留声》

还是要从水说起——

水，是我们这颗奇妙星球运行的重要介质：风云变幻、沧海桑田、生命繁衍、生物代谢，直至历史演变，不胜枚举。无论如何，人类这种由水和碳质构成的智慧生物，既须臾离不开水，又对水怀有畏惧。

在幼稚期，人类逐水草而居，靠洞穴茅屋栖身；后来，我们用硅酸盐制品和其他人造的刚性材料构筑了密闭的、坚固的、舒适的、适于交往的城市，它为我们这种奇特的社会动物带来了安全感，使我们的社会化程度达到了空前的高度。进而，人类俨然以大自然主人的身份自居。但是，我们的城市逐渐变成了地球生态系统中的孤岛，我们一次又一次遭到了大自然的无情报复。

也许，中国古代圣贤“客居”的心态值得我们深思。

所幸的是，醒悟来得尚不迟，我们开始重新与大自然和谐相处，我们开始与整个地球生态系统融合，我们开始学习低影响开发……

海绵城市，形象地表达了我们对待大自然的态度，描绘了未来城市的形态——尊重、和谐、弹性、通透、融合、系统……

浑河两岸是故乡——

沈阳，因地处古沈水之北而得名，随着城市的不断发展，如今的浑河穿城而过。以浑河两岸为主线，其规划、建设与发展是沈阳城市建设与现代文明的最新标志。当浑河

这条城市内河，以其粼粼的波光折射出色彩斑斓的沈阳市民文化时；当栖居浑河两岸的沈阳市民展开生活画卷，传承和创造其独特的文化时，新的态度，让我们摒弃了主人的骄傲，让我们学会尊重自然，让我们面向未来。

成长、生活于沈阳这座北方滨水都市的画家们，徜徉在浑河两岸，以艺术家独有的敏锐和视角，注视着、感受着故乡在时间长轴上的光影变幻；画家们调度油彩，表达着他们独有的态度，抒发着内心缱绻的情怀，勾画着美好的憧憬。

这里，我们将透过几位画家的视角来领略沈阳的风情，也许他们的视角本身也是一种文化线索。□



李剑波《留住美好时光》



刘丹《河景房》



沈阳·规划视野

201609 / 第2期 / 总第2期

主管单位:沈阳市规划和国土资源局
主办单位:沈阳市规划设计研究院

下期预告 / 多规合一

封面摄影:管祖北



 沈阳市规划设计研究院
SHENYANG URBAN PLANNING & DESIGN INSTITUTE

地址:沈阳市和平区南三好街1号 新世界商务大厦13-19F
邮编:110004
电话:024-23931269 / 传真:024-23931197
网址:www.syup1960.com
邮箱:syghy@163.com

Address:13-19F, New world business building.1
South Sanhao Street,Heping District,Shenyang,PRC
P.C:110004 / Tel:86-24-23931269 / Fax:86-24-23931197
www.syup1960.com
E-mail:syghy@163.com