

海绵城市： 打造绿色、宜居、资源化的 前瞻水环境

国际最佳管理实践与中国特色的碰撞与融合

本白皮书由Global Water Intelligence
(GWI国际水务智库)与格兰富联合出版



作者

Ana Budimir, Malin Hedlund, 钱颖佳, 沈雨佳博士

鸣谢

吕永鹏博士, Jes Clauson-Kaas, Darla Nickel, Kai Yun Tay, Geok Suat Ong, Dawn Phua, and Geok Ling Cheng

制作

BrandBox A/S

S1, Birkevænget 2
DK-8850 Bjerringbro

kan@agency-spring.com
+45 2423 0689

SPRING Production A/S

Studsgade 22
DK-8000 Aarhus

pab@agency-spring.com
+84 90 2687 014

出版商

Media Analytics Ltd.,
Suite C, Kingsmead House,
Oxpens Road,
Oxford OX1 1XX, United Kingdom
Tel: +44 1865 204 208 / +86 (0)21 53681239
Fax: +44 1865 204 209
Email: shanghai@globalwaterintel.com

目录

4 内容摘要

6 第一章 海绵城市：水生态环境综合管理的一揽子解决方案？

10 第二章 海绵城市的概念与本质

15 第三章 中国海绵城市：特定问题，定制化解决

26 第四章 他山之石：国际最佳管理实践

32 第五章 海绵城市转型思路

34 参考文献

GWI不担保本出版物中所含数据的准确性，而且对使用这些数据所产生的后果不承担任何责任。

未经出版商许可不允许任何形式的内容引用和发布

内容摘要

海绵城市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”，其本质是传统城镇化建设方式的转型升级，实现城镇化与资源环境的协调发展，以解决城市内涝、水资源短缺、水污染等城市发展面临的挑战。

海绵城市起源于国外低影响开发（LID）的雨水管理理念，但由于中国独特的城市发展历程，海绵城市的内涵已远远超出了这一范围，是一项涵盖了与水环境相关的各个方面的跨领域跨专业的综合型建设理念。中国的海绵城市建设更加被视为城市发展规划的倡议，旨在将绿色基础设施（如透水铺装，人工湿地和生物滞留设施等）与灰色雨洪基础设施（如污水处理厂、地下管网、深层隧道等）相结合，并融入城市设计，将城市从钢筋混凝土丛林转变为宜居、绿色和健康的生态环境。

在中国，海绵城市的建设尚处于动态发展与验证的过程。在国家政策和实际需求的双重推动下，中国于2015年启动了海绵城市试点项目计划，以“到2020年，建成区20%以上的面积达到海绵城市建设要求；到2030年，建成区80%

以上的面积达到海绵城市建设总体要求”为目标，为30个试点城市在三年内提供总额高达60亿美元的中央政府财政补助。本白皮书共选择了五个具有代表性的中国城市作为案例，旨在解析这些城市在面临其独特城市水环境挑战时所制定的针对性解决方案，为创建可在全国范围内实施的海绵城市模型提供参考。

其中，**上海**在土地可利用率低的挑战下，通过将“绿色”和“灰色”基础设施统筹建设，解决城市内涝和水质保护的难题；**福州**内河水系较多、污染严重，以创新的PPP融资模式将项目打包，系统治理城市的黑臭水体；**天津**面临水资源严重短缺的困境，通过建设中新生态城试点，对雨水进行综合利用；**广州**在老城区多、排水能力不足的挑战下，通过建造地下深层隧道，解决雨污溢流污染和内涝的难题；**萍乡**城乡发展差距较大，通过积极寻求多途径的融资渠道，如获得亚行提供的基础设施贷款等，为城市生态环境修复提供经济支持。这些城市在近几年的建设和运营过程中，均取得不小的进展，却也同时在实践中发现了一些问题。为此，本白皮书同样选择五个国外海绵城市成功实施案例作为类比，旨在将世界各地水资源适应型城市

海绵城市建设框架

“绿色”与“灰色”基础设施相结合

组织保障

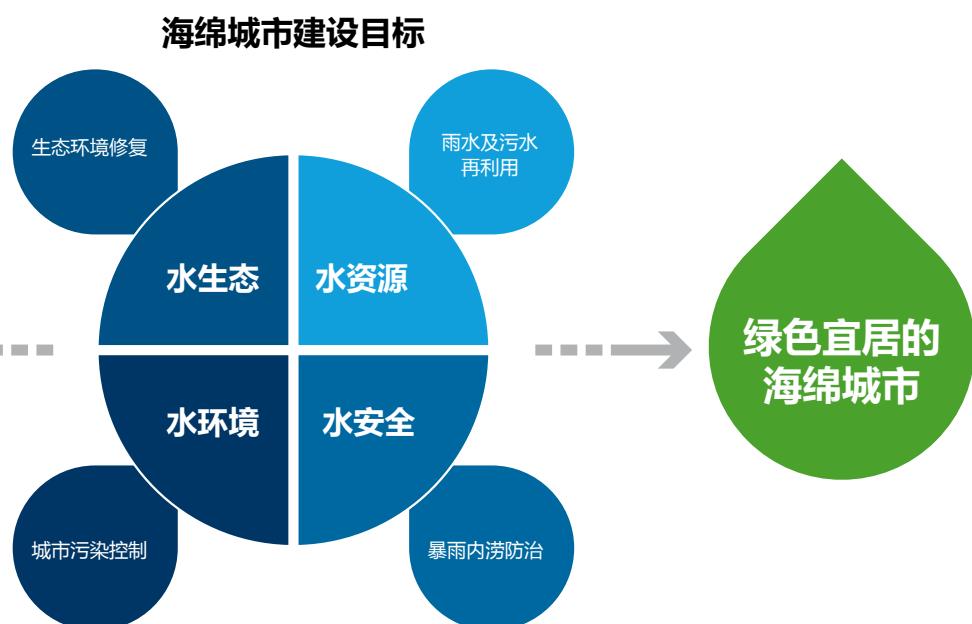


的创新建设与中国海绵城市的初步探索实践相融合，相互借鉴、各取所长。同时，也针对中国海绵城市在摸索过程中所发现的问题提供如下的转型思路与亮点借鉴：

- 海绵城市资金需求大、融资模式单一**：需探索新型的融资模式。如日本名古屋所设立的“绿化设施评价认定制度”，根据不同的绿化水平认定获得优惠的银行贷款。德国柏林政府则通过实施“雨水费制度”，借助公共收入，为海绵城市建设项目寻求更多的资金来源；
- 海绵城市涉及专业多、覆盖领域综合**：需制定综合性顶层设计方案。新加坡通过设立“ABC水源计划”，对城市生态环境进行系统化的管理和修复；
- 海绵城市项目流程长、参与机构繁杂**：需从全生命周期的角度对项目进行统一规划。如丹麦哥本哈根商学院所签订的泵站服务运营合同，通过对雨洪基础设施进行定期的检查和保养，降低设施的全生命周期成本；

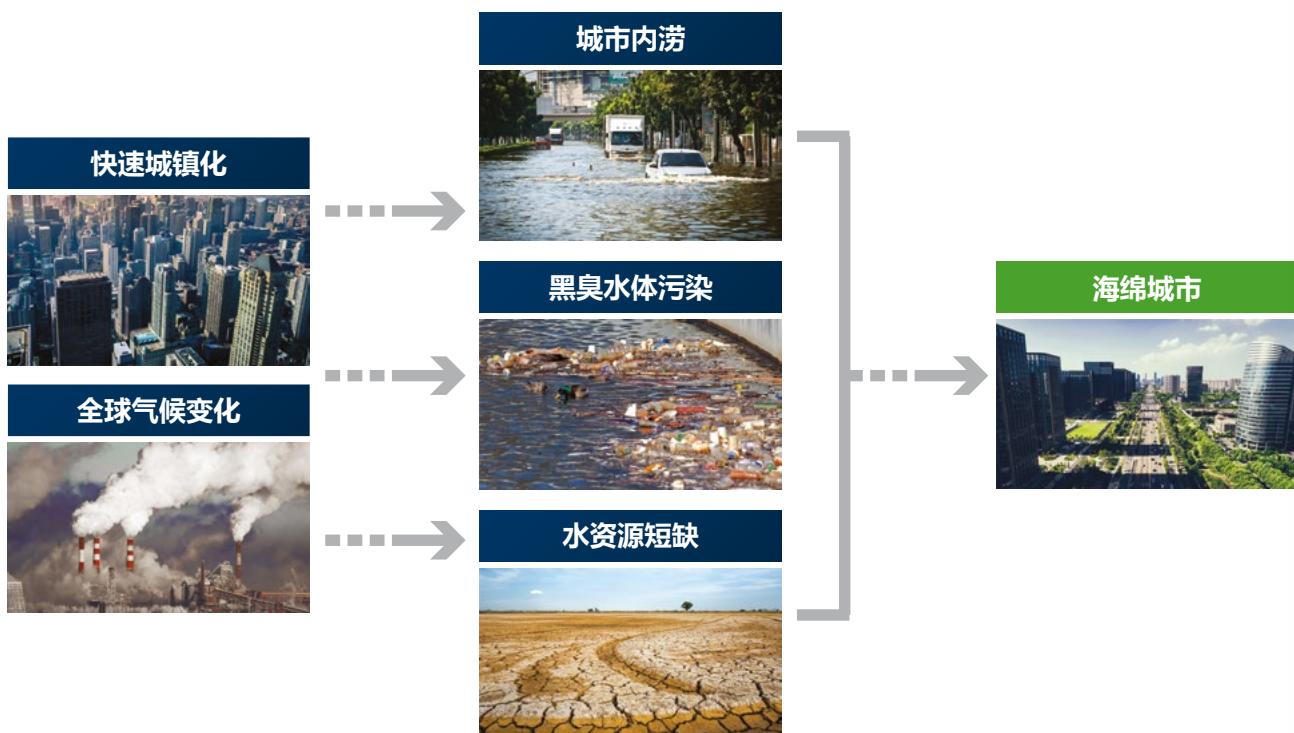
- 海绵城市建设面积广、区域问题分散**：需将集中的排水设施分散为多个绿色和灰色基础设施，对雨水就地净化和再利用。美国华盛顿特区通过启动的绿色屋顶补贴计划，给予社区安装分散式绿色处理设施一定的资金补助。

因此，在将理论建设方案落实到初步实际应用的基础上，为了更好地评估海绵城市的生态环境效益，本白皮书结合国内外海绵城市实施案例，探索如何将国际先进经验和中国实际应用情况相融合，使中国的海绵城市建设过程向更具适应性、包容性和创新性的方向转变，也为全球海绵城市建设添上具有中国特色的浓墨重彩的一笔。



1. 第一章 海绵城市：水生态环境综合管理的一揽子解决方案？

中国正在经历着人类历史上最大规模、最快速的城镇化进程，城镇化率由2001年的38%上升到2015年的56%。在享受着城镇化红利的同时，城市的水生态环境也暴露出日益严重的三大核心挑战：水污染、水资源短缺、以及城市内涝灾害。传统的城市建设方式已很难满足与资源环境协调发展的要求。为了系统性地解决这些水生态问题，海绵城市的理念应运而生。

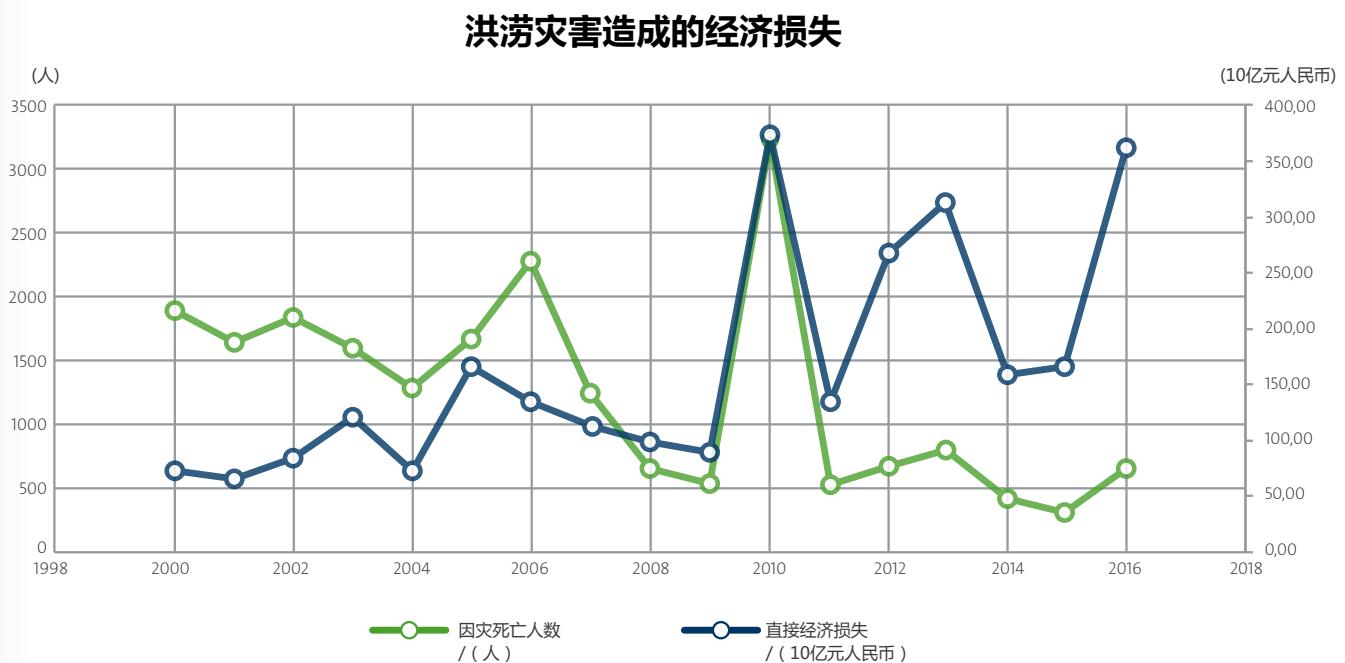


挑战一：洪涝灾害造成巨大的经济和社会损失

据统计，中国有62%的城市正遭受内涝问题的侵害，一到雨季就易陷入暴雨频发、内涝横行的窘境。这一问题不仅影响了人们的日常生活和出行，同时也严重威胁了生命财产和安全。

随着气候变化导致的极端天气增多，地球正面临着日趋严重的干旱和洪涝威胁。据中国国家统计局资料显示，由洪涝灾害造成的经济和社会损失逐年增加，2016年由于洪涝所带来的经济损失高达3640亿人民币，相当于全国GDP的0.5%。城镇化的快速发展，不仅造成了土地硬化面积增加、植被覆盖率减少、不透水面积增大以及排水能力不足等问题，也从另一方面增加了暴雨流量和汇流速度，从而进一步加大城市的内涝灾害风险。

图1.1：洪涝灾害造成经济损失增加



图片来源：中国国家统计局

挑战二：水资源短缺形势日益严峻

2016年的相关数据统计表明，中国的人均水资源量为2354.9立方米，仅为世界平均水平的三分之一，且分布不均，比如天津的人均水资源量仅为中国平均的5%，为121.58立方米，水资源短缺危机已经迫在眉睫。

图1.2：2020年中国缺水压力预示图

**48% 的
中国地区面临着
中度到高度缺水的压力**



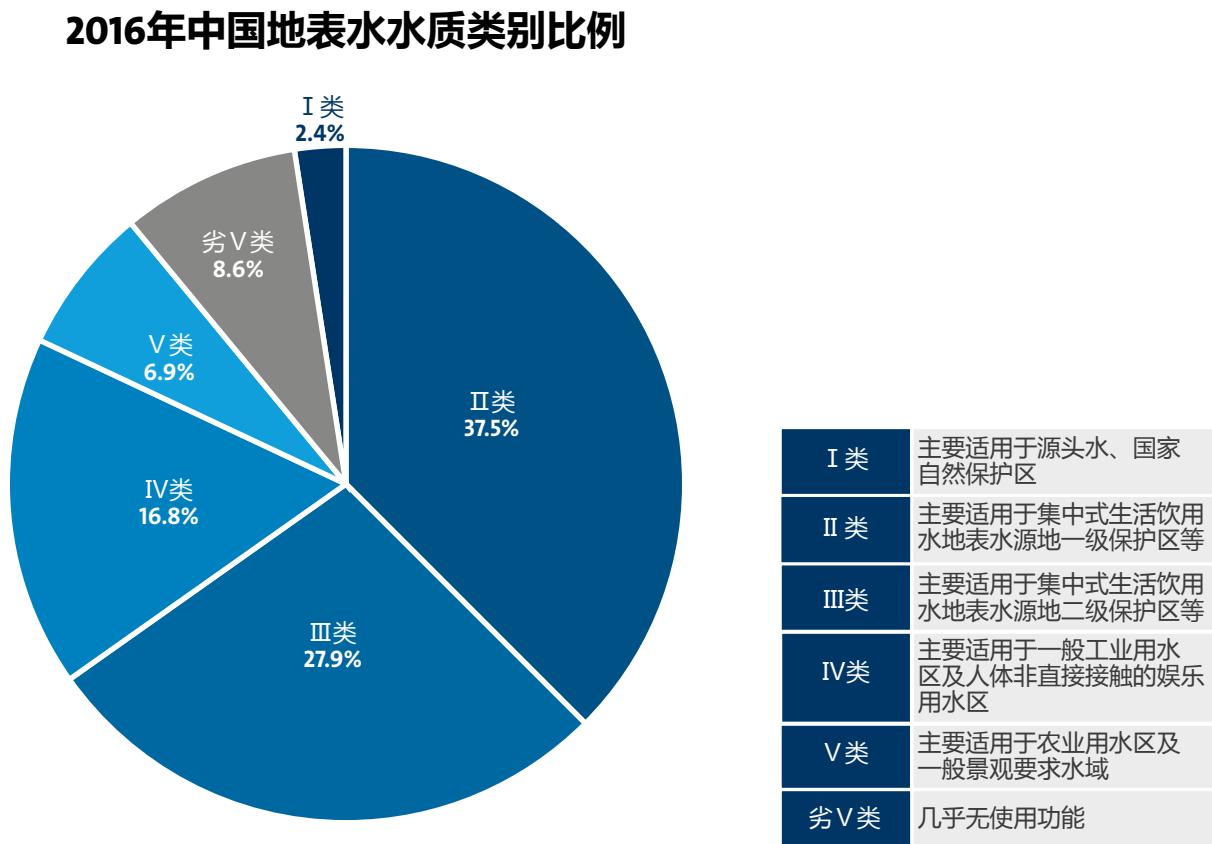
图片来源：GWI、世界资源研究所 (2015b)

挑战三：水污染问题突出

2016年环境状况公报称，在1940个参与全国地表水评价、考核、排名的断面（点位）中，有166个被评定为劣V类水体（即无使用功能的水体），占比高达8.6%。

在2016年的黑臭水体排查情况中，全国295座地级及以上城市，除79座城市未发现黑臭水体外，其余216座城市共排查出2100个黑臭水体。农业面源污染、工业点源排放、以及暴雨带来的雨污混合溢流污染等都是造成水体污染的原因。其中，合流制排水系统造成的溢流污染会与来自街道和农田的营养物质、沉积物、以及农药和重金属等其他污染物一起流入水体，对城市水体造成严重的破坏，同时危害到周围居民的居住环境和用水安全。

图1.3：2016年中国地表水水质类别比例



图片来源：环保部数据（2016）

“海绵城市”建设启动

为了有效解决城市内涝、水资源短缺与水污染严重的三大水生态环境挑战，并实现城镇与资源环境和谐发展，海绵城市作为一种新型的城镇化理念被纳入城市规划中所规定的城市发展理念和方法论。2017年，中国住房和城乡建设部在城市建设司下专门成立海绵城市办公室，进行海绵城市的指导建设工作。

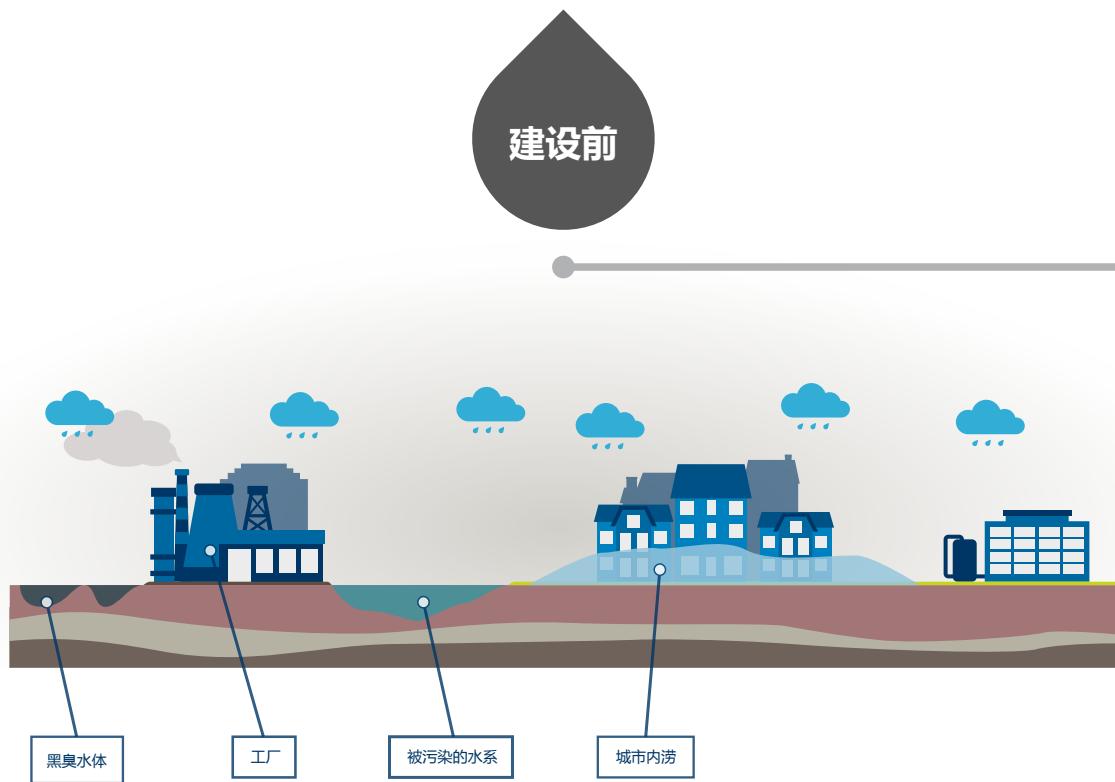
2. 第二章 海绵城市的概念与本质

中国海绵城市理念的进步和发展

在国际上，海绵城市的概念通常指的是绿色基础设施 (Green Infrastructure , GI) , 也被称作低影响开发 (Low Impact Development , LID) 、可持续城市排水系统 (Sustainable Urban Drainage Systems , SUDS) , 水敏感城市设计 (Water Sensitive Urban Design, WUSD) 等。简单来说，GI的理念就是在城市建设过程中，通过修建能够涵养水源的绿色空间网络（包含绿色屋顶、植草沟、下凹式绿地、透水铺装、人工湿地、雨水花园等），尽可能地模仿原有的自然生态水循环模式，以调蓄雨水、增大地面渗透能力、减少暴雨径流及污染，对雨水进行资源化利用。

与国外的GI理念相比，中国的海绵城市理念更加系统化，它不仅仅包括绿色基础设施，同时也包含了内涝防治、污染控制、雨水资源化、和城市生态修复等综合建设内容，旨在通过加强城市规划建设管理，将“山水林田湖”视为一个完整的生命共同体。

图2.1：海绵城市建设示意图



海绵城市的建设目标

“海绵城市的两大核心目标是：提升水质并解决洪涝灾害的问题，因为这与人们的日常生活息息相关。”

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司研究院 院长助理
吕永鹏博士。

为了更好地实现保障水安全、治理水环境、涵养水资源、改善水生态的建设目标，住建部于2015年出台《海绵城市建设绩效评价与考核办法》对海绵城市建设绩效评价与考核指标进行规定，分为水生态、水环境、水资源、水安全、制度建设及执行情况、显示度六个方面，共计18项具体指标（见图）。

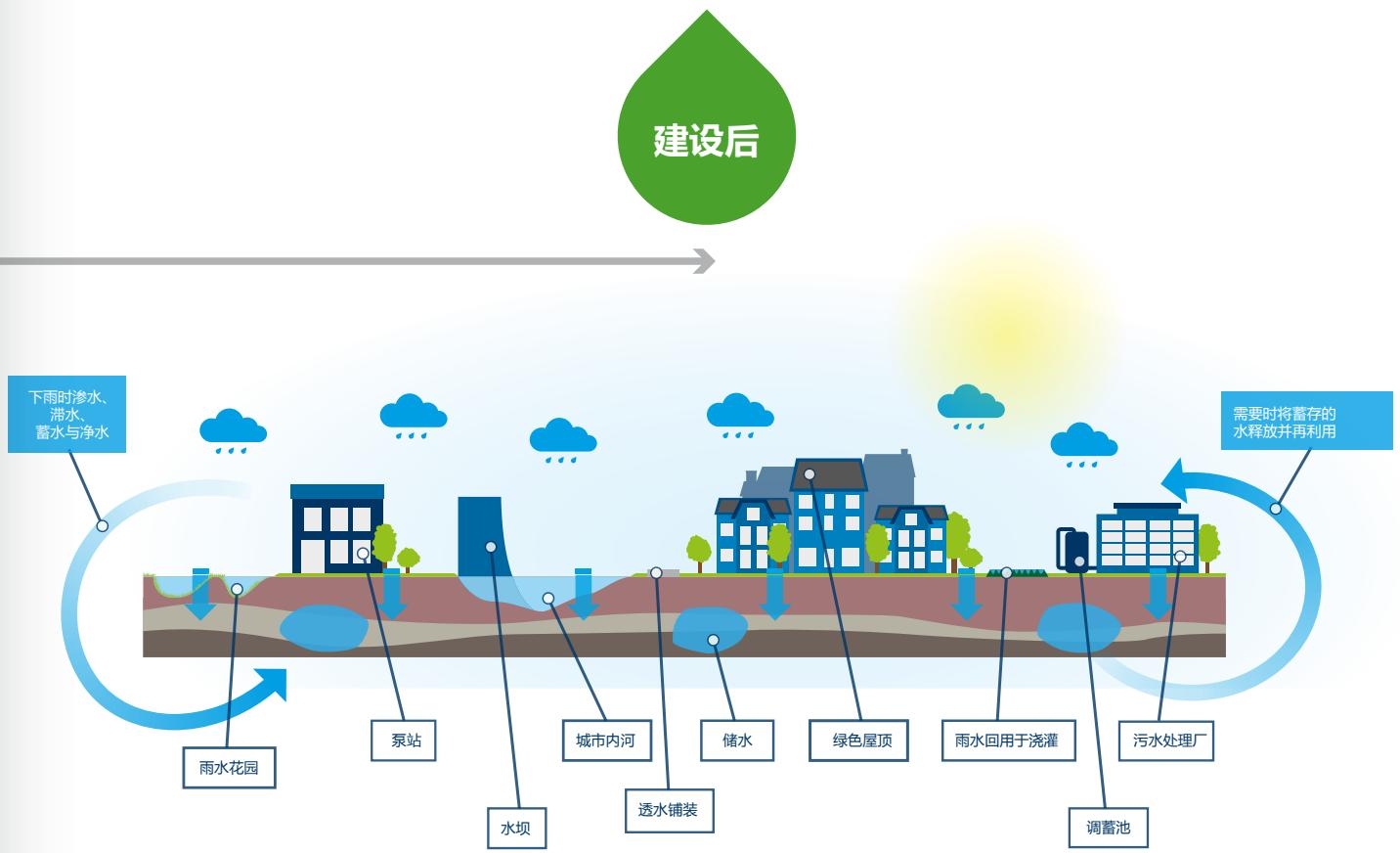


图2.2：海绵城市绩效评价与考核指标

	水资源 	水安全 	水环境 	水生态 	水文化 
目标	解决水资源短缺难题	降低洪水与内涝灾害威胁	落实《水污染防治行动计划》	推进河湖生态修复和保护	提升城市生活环境质量
指标	<ul style="list-style-type: none"> • 供水覆盖率 • 管网漏损控制 • 雨水资源利用率 • 污水再生利用率 	<ul style="list-style-type: none"> • 城市暴雨内涝灾害防治 • 饮用水安全 • 城市排水能力 	<ul style="list-style-type: none"> • 污水处理率 • 黑臭水体数量 • 地表水水质 • 地下水水质 	<ul style="list-style-type: none"> • 年径流总量控制率 • 生态岸线恢复 • 绿化覆盖率 	

图片来源：中国住房和城乡建设部

海绵城市的技术路径

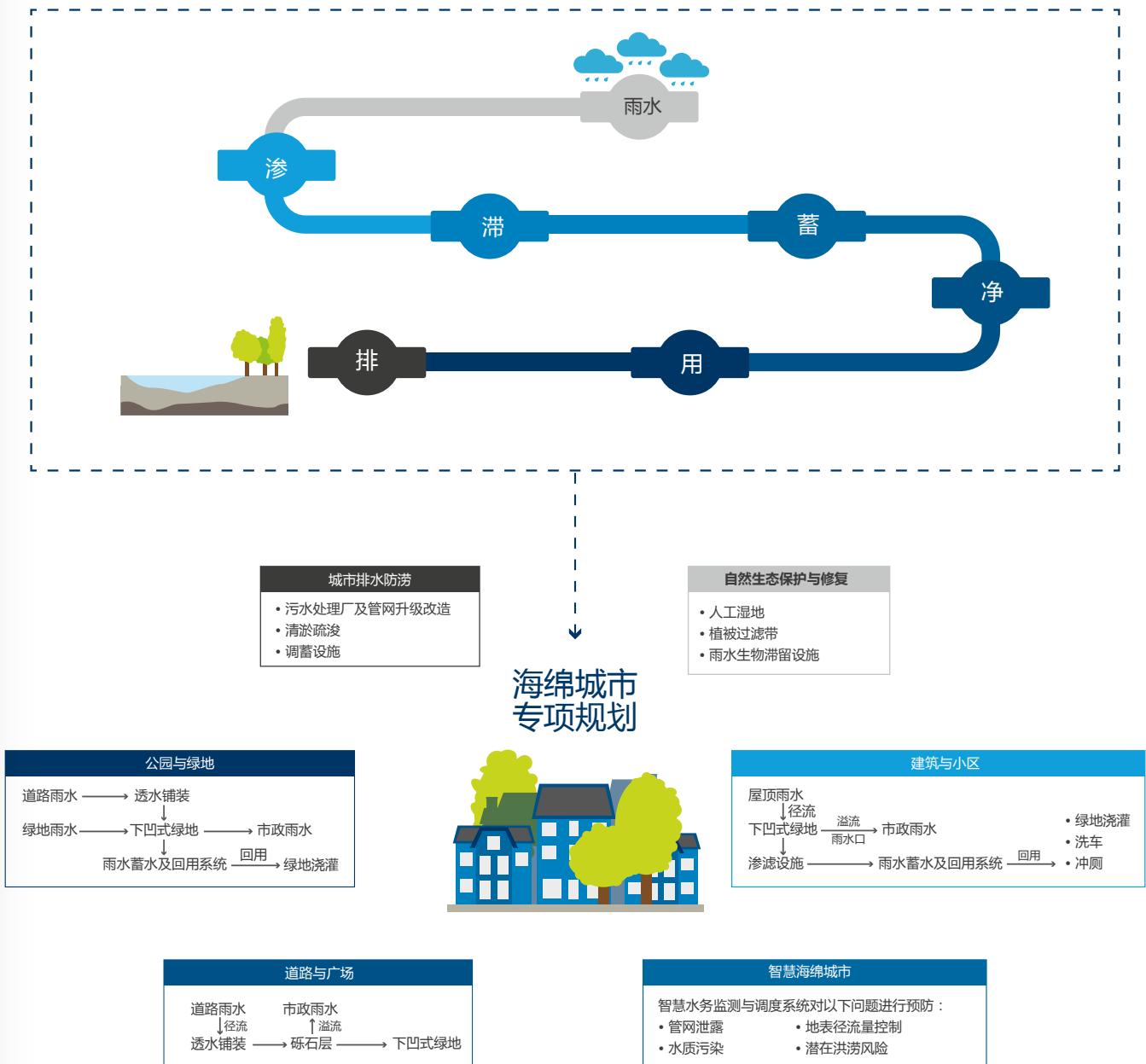
从技术层面来说，中国的海绵城市遵循生态优先的原则，通过采用“源头削减、过程控制、末端处理”的方法，在“渗、滞、蓄、净、用、排”六个方面分别采取措施（见图），将自然途径和人工措施相结合，最终实现“小雨不积水、大雨不内涝、水体不黑臭、热岛有缓解”。其中：

- “源头削减”：着重强调LID的理念，通过修建绿色基础设施加强地面径流的渗透性，有效地吸收和滞留雨水；
- “过程控制”：将LID和灰色基础设施（Grey

Infrastructure）建设相结合，在修建植草沟、植被缓冲带的基础上，对传统水处理基础设施，如污水处理厂、地下管网、排水泵站等，同样进行新建和改造，主要包含雨水调蓄设施扩容、深层调蓄隧道技术应用、雨水地下净化和再利用系统设计、以及排水管网优化等；

- “末端处理”：通过渗透塘、蓄水池、雨水罐、雨水湿地等手段构建多功能末端调蓄系统，对自然水系进行保护和利用。

图2.3：海绵城市的技术路径



图片来源：中国住房和城乡建设部

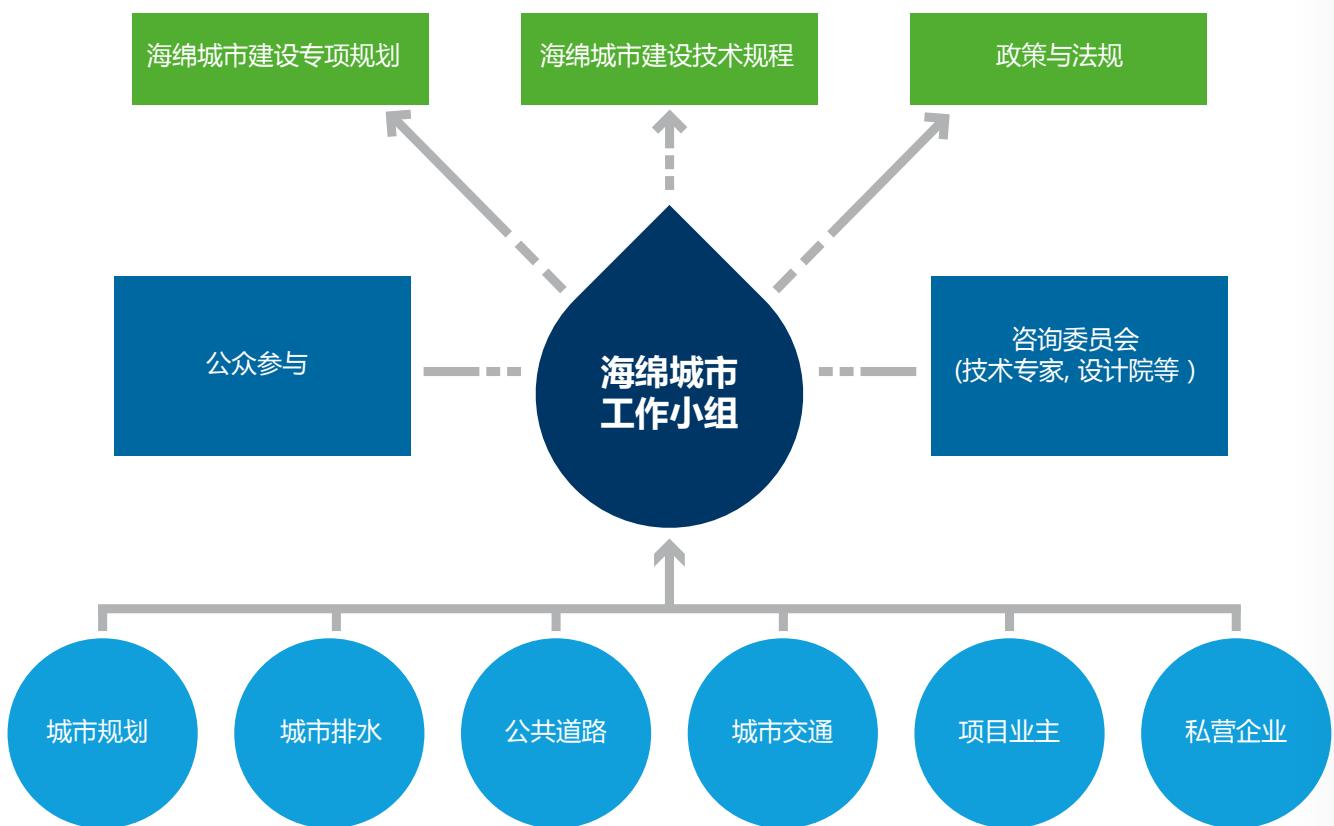
海绵城市的组织保障体系

海绵城市的建设是一项规模庞大的基础设施项目，需要建立完善的组织保障体系。其中包含明确的规划、设计、管理、运营和融资机制，并在此基础上保持一定的技术和模式创新空间。因此，关键的利益相关方和组织之间的成功协调是一个非常重要的因素。

在中国的海绵城市建设规划方案中，政府在每个城市都设立一个直属的市长工作小组，由不同的政府机构负责。在

建设技术规程方面，则统筹排水、建筑、景观、道路、城市设计与规划、社会学、生态与经济等相关领域进行跨专业合作，由市海绵城市建设指挥部办公室制定并发布所在城市的海绵城市专项规划和技术指导方针。各省的住房和城乡建设局将负责监督城市的进展情况，无论是通过该局本身还是雇用第三方，同时鼓励社会资本以PPP的形式参与到项目的建设中。

图2.4：海绵城市的组织保障体系



3. 第三章 中国海绵城市： 特定问题，定制化解决

“中国的海绵城市是绿色基础设施与灰色基础设施统筹规划的结果。国外灰色基础这块搞得差不多了，后来发现单靠灰色基础设施不够，于是就进入了下一个阶段。而中国则是两个阶段一起搞，更有利于统筹规划。”

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司研究院 院长助理 吕永鹏博士

中国幅员辽阔，气候、地理环境、城市发展都存在着极大的差异。虽然每个城市都面临着城市内涝、水质污染和水资源短缺的三大难题，但又各不相同，各有重点，需根据城市的具体情况具体分析。比如，地势较低的盆地城市以治理内涝为核心目标、水资源匮乏的干旱地区以雨水综合利用为发展目标、老城区较多的城市则以提高排水能力治理内河污染为发展目标等。不同的治理目标指引着不同的建设思路和解决方案。

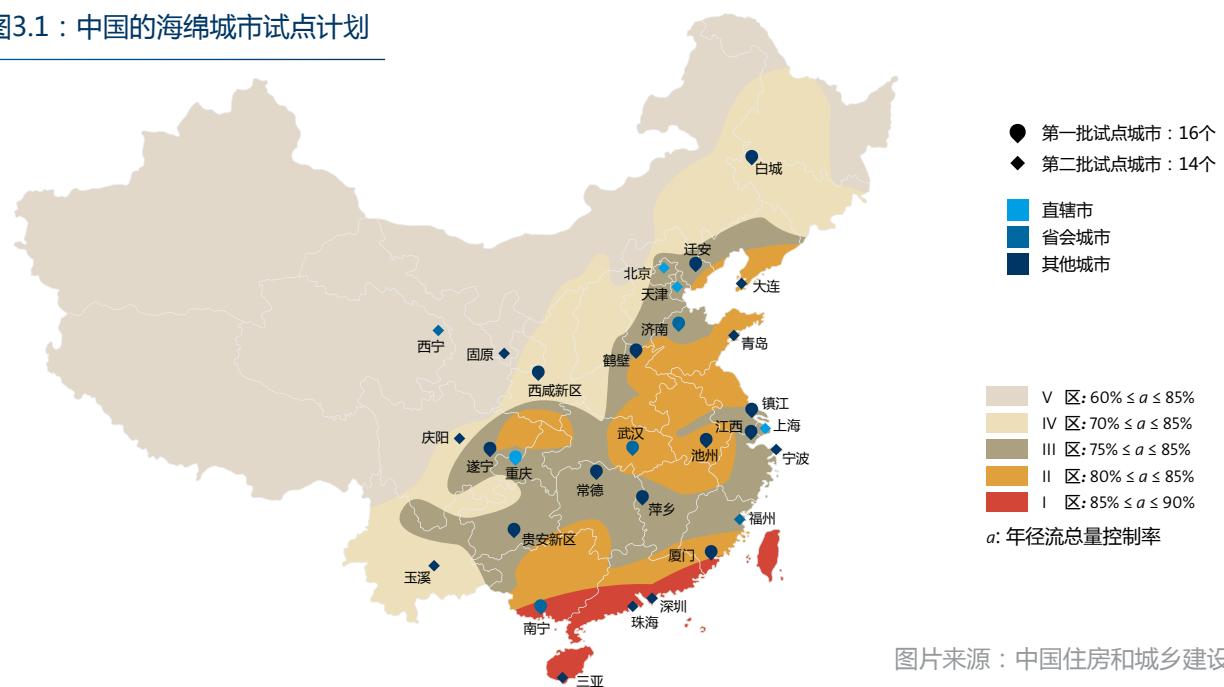
因此，如何将新的概念与城市的实践经验相结合，并确定建设结果显著的良好实践参考，对于中国的海绵城市建设而言至关重要，这将为未来海绵城市建设的探索与发展提供一定的借鉴意义。本节展示了五个不同的城市所面临的水生态环境挑战、以及每个城市因地制宜的特定解决方案，如新建绿色基础设施积聚雨水以应对水资源短缺的难题、以及升级改造污水处理厂及相关灰色基础设施以提升城市排水能力并缓解内涝灾害等。

中国的海绵城市试点计划

中国自2015年起正式开始以试点的形式部署海绵城市建设。截止至2017年底，中国已经分两批将30座城市列为国家级海绵试点城市，其中涉及4个直辖市、23个地级市、2个国家级新区及1个县级市，旨在参考国家级试点城市的建设成果，以建立可在全国范围内实施的海绵城市模式。根据国家海绵城市建设的指导意见：到2020年，城市建成区20%以上的面积须达到吸收和再利用70%雨水的目标要求；到2030年，城市建成区80%以上的面积达到该目标要求。

国家级试点城市在财政政策上享有中央财政一定三年的专项资金补助，直辖市每年6亿元，省会城市每年5亿元，其他城市每年4亿元。同时对于采用PPP模式达到一定比例的城市，将按上述补助基础奖励10%。除了国家级海绵城市试点项目以外，各省也逐渐设立了省级海绵城市建设试点。如2016年，河南省财政拟每年安排2亿元支持8个试点城市海绵城市建设，滚动支持3年。

图3.1：中国的海绵城市试点计划



图片来源：中国住房和城乡建设部

3.2 上海市

缓解城市内涝和污染问题是上海的主要挑战。

3.2.1 上海市所面临的挑战



上海市规划到2020年海绵城市建设建成区面积达到200平方公里，试点区域年径流总量控制率将不低于80%，新增市政雨水泵排能力850立方米/秒，并新建地下深邃及污水管网2,020千米。

上海是中国最发达的城市之一，2016年人口已超过2,400万，其中城市人口占87.6%。快速的城市开发建设与所处的地理环境条件导致了上海“三高一低”的显著区域特征：地下水位高、土地利用率高、不透水面积比例高、土壤渗透性低，这些特征都阻碍了城市水生态循环的自然流动。此外，有限的排水能力与较高的河流水位，也同时增大了暴雨时期的内涝风险。加之频频发生的雨污混合溢流污染问题，都严重威胁着城市的水生态环境。

3.2.2 上海市海绵城市建设重点

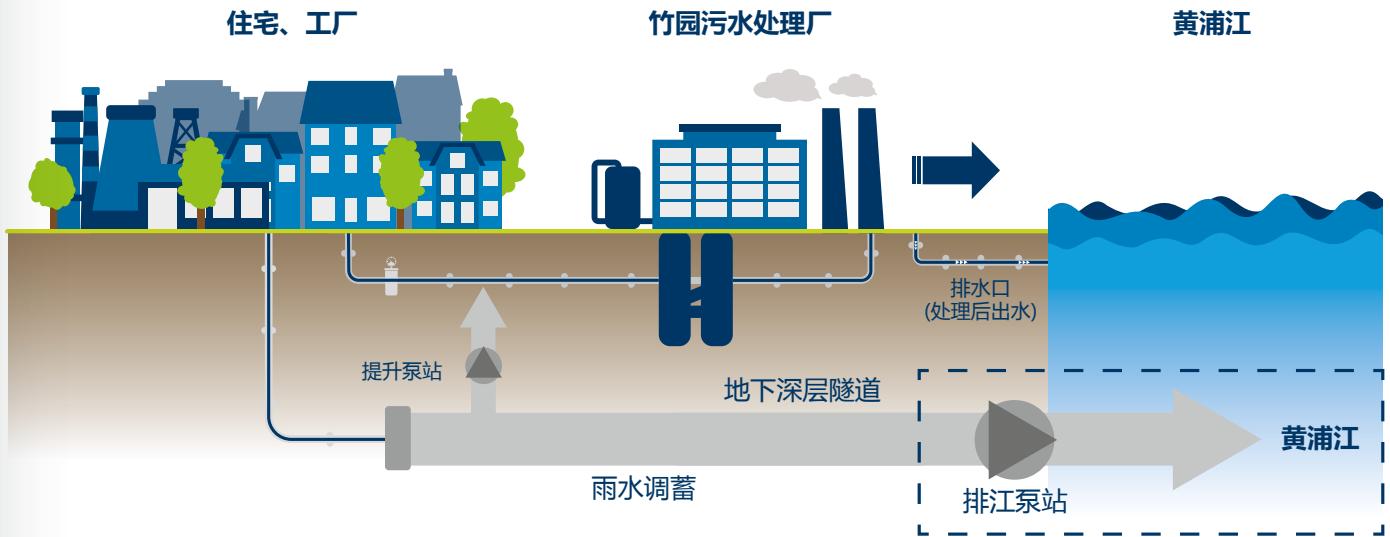
上海老城区改造以灰色基础设施为主，通过修建地下深邃系统和下立交预制化一体式泵站解决积水和内涝的问题；新城区开发则以绿色基础设施为主，通过选取临港地区、松江南部新城和桃浦智慧城作为首批3个试点区域，按照不同的汇水特点划分示范片区，对综合水体生态环境进行治理。

上海市的“灰色”布局：深邃调蓄系统充分利用地下空间

由于上海老城区的排水管网系统多为合流制的设计，即将雨水和污水合并排放，暴雨时随着雨水量的增大极易产生雨污合流管道溢流污染（Combined Sewer Overflow，简称CSO）。为了解决这一问题，并为高峰期雨水提供足够的蓄容，上海于2016年沿苏州河建造国内规模最大的深层排水调蓄管道系统，也称作苏州河深邃工程，用于收集超过截留管道截留能力而产生的合流制溢流污水和分流制初期雨水。整条深邃长约15.3公里，深度为57至70米，可新增74万立方米左右的有效雨水调蓄库容，目标将苏州河沿线排水系统能力进行以下几方面的提升：

- 苏州河沿线排水系统设计标准从目前的一年一遇（每小时排水36毫米）提高至五年一遇（每小时排水55毫米）；
- 有效应对100年一遇的降雨（不发生区域性城市运行瘫痪，路中积水深度不超过15厘米）；
- 实现降雨泵站不溢流，基本消除工程沿线初期雨水污染。该隧道据悉可减少初期雨水以及河流污水的放江量以及污染物负荷约85-90%左右。

图3.2：上海地下深层隧道系统



图片来源：上海市政府

特色案例：“一体式”泵站解决下立交内涝难题

城市下立交逢雨积水问题一直是城市内涝的治理难题。一方面周边地区建设用地非常紧张，另一方面下立交区域交通繁忙，难以封闭施工。为了解决这两大挑战并有效消除积水隐患，上海于嘉松中路沪宁下立交首次安装使用预制化的“一体式”无人值守泵站。基于“一体式”泵站设计理念，整个泵站被建于地下，完全隐藏在周围绿化环境中，这样不仅使占地面积达到最小、有效提高排水效率，其智能化监控系统还能实现远程自动化控制，使后台管理人员能够通过PC端和手机端，对泵站设备运行数据进行监控，节约运维成本。该泵站自建成试运行以来，在几场大暴雨的考验下，没有发生积水现象，治理效果明显。



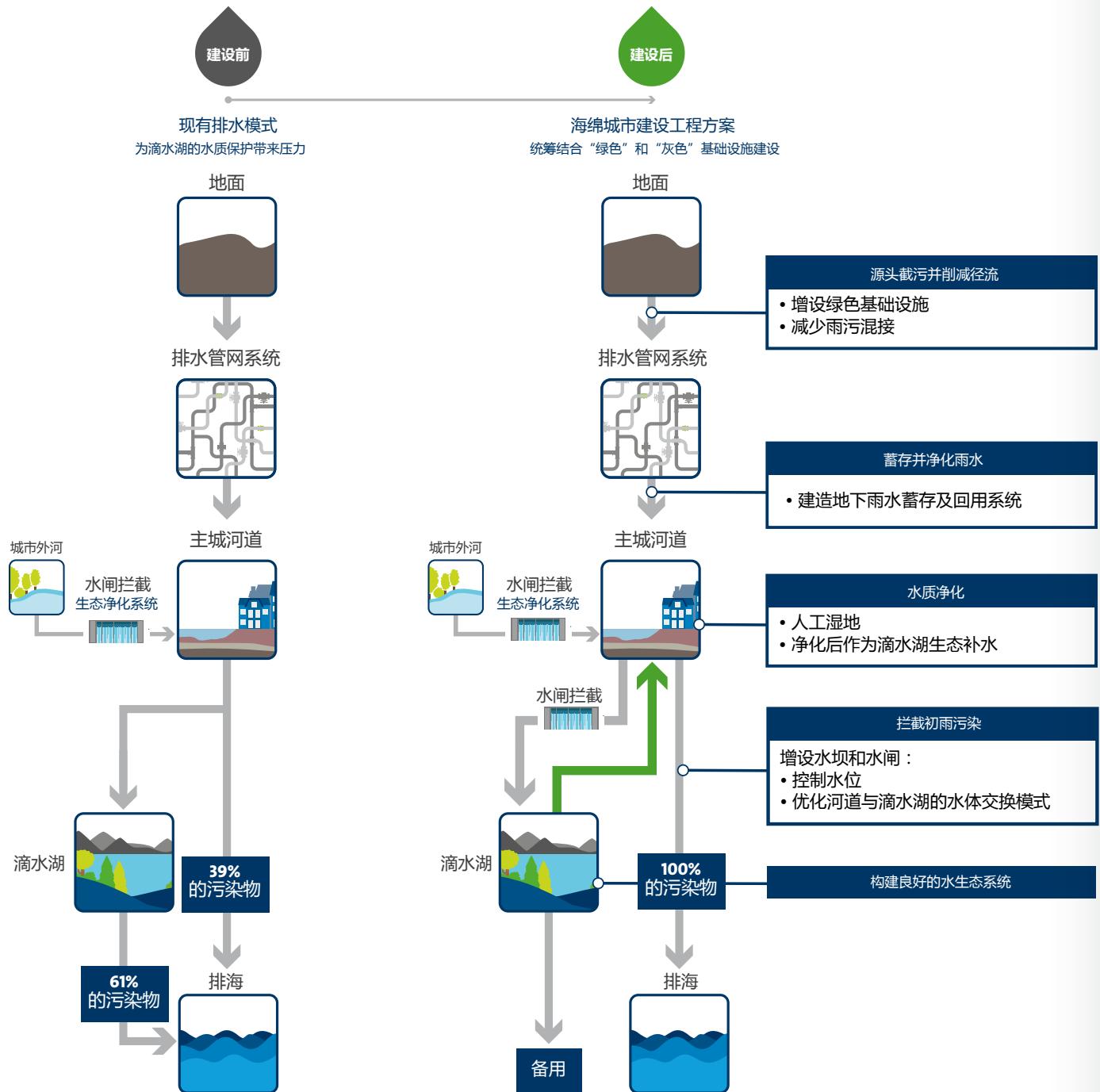
上海市的“绿色”布局：新城区重点落实低影响开发(LID)措施

临港新城位于上海的南大门，作为上海首个国家级海绵城市建设试点地区，其海绵城市建设规划主要包含低影响开发、生态保护和生态修复三个途径，以滴水湖作为水生态敏感核心，向外围布置汇水片区。

为了解决现有模式对滴水湖水质保护带来的较大压力，上海分别采取了以下几方面的措施（见图）：

- 在地面增设包含透水铺装在内的LID设施，并减少地下管网中的雨污混接，从源头进行削减；
- 在主城河道通过营造人工湿地对河道水质进行净化，作为滴水湖的生态补水；
- 在主城河道和滴水湖间增设闸坝，以优化河道和滴水湖水体的交换模式。完工后，流入滴水湖的初雨污染能够被有效拦截，主城河道的排水模式将由原先61%经由滴水湖排入海中而改为100%不经过滴水湖而直接排入海中。

图3.3：上海临港新区海绵城市建设及滴水湖水质保护方案



图片来源：上海临港发展建设委员会

3.3 福州市

“福州最大的问题就是河道的黑臭问题。” 吕永鹏博士表示。福州市地处闽江下游入海口，内部水系纵横交错。城区内有100多条城市内河，河网密布，黑臭水体是城市水环境综合治理的最大挑战。

3.3.1 福州市所面临的挑战



城市总人口	7.57 万 (2016)	平均年降雨量	2,263.4 mm (2016)
% 城镇人口比重	68.5% (2016)	人均水资源量	2,435 m ³ (2016)
GDP	7,128 亿元 (2017)	黑臭水体治理情况 (已治理数/总数)	28/43 (2016)
城市总面积	12,177 km ²		

福州市规划到2020年海绵城市建设建成区面积达到58平方公里，城市黑臭水体占比低于10%。

3.3.2 福州市海绵城市建设重点

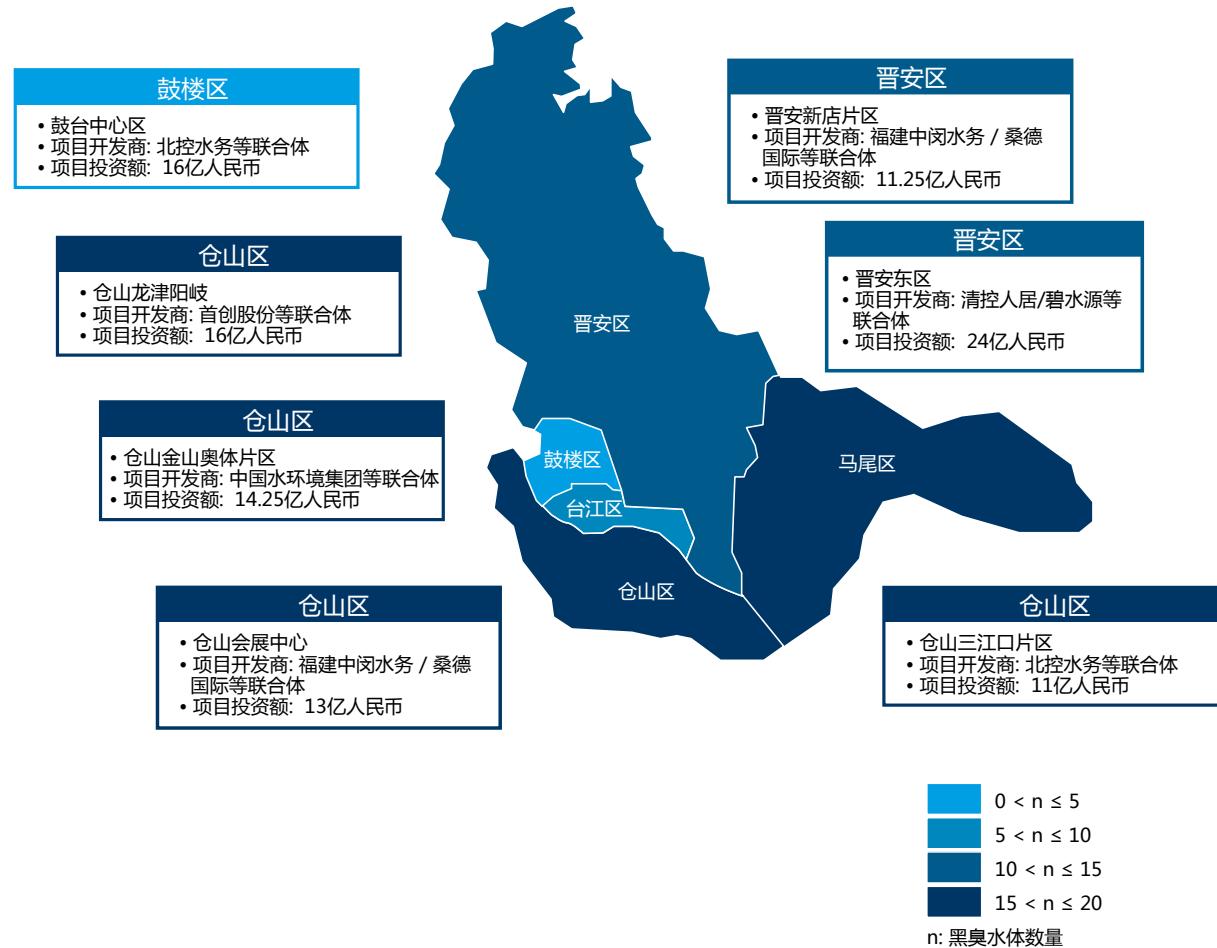
针对城市内河环境黑臭的问题，福州市于2016年11月下发《福州市城区水系综合治理工作方案》，确定了“截污、清淤、清疏、把水引进来、让水多起来、让水动起来、让水清起来”的黑臭水体治理策略，并创新地采用PPP的项目模式引入社会资本投资，同时借助项目公司的专业技术及治理经验。

融资创新：PPP模式打包项目

为了系统整治中心城区的43条黑臭水体，福州按不同水系打包成7个互相独立的PPP项目，投资额在11亿至24亿之间，分别签约给国内几家领先的水务公司，其中包括：北控水务、首创股份、中国水环境集团、清控人居、碧水源和桑德国际等。每一个项目都由水务公司领头，和市政院以及建筑公司一起组成联合体，对项目实施调研、设计、投融资和运营，运营期限为15年。项目的工程建设内容包括：水系整治工程、截污收集工程（含配套管网）、生态修复工程、水系连通与景观工程、智慧信息监控系统及其他配套设施等几部分。通过这一创新的PPP项目模式，福州市政府将每一个分区交给专业的水务公司进行治理，最后根据绩效进行付费。这样不仅借助了社会资本的力量，同时引入更多的专业技术经验和运营管理经验，对于未来海绵城市的项目融资方式而言具有很大的借鉴价值。

图3.4：福州市黑臭水体综合整治PPP项目分区

图片来源：中国财政部政府和社会资本合作中心



技术创新：黑臭水体综合整治

外源减排、内源清淤、水质净化、清水补给、生态修复”是黑臭水体治理应遵循的技术路线。其中，源头截污是治理过程中最为关键的一环。吕博士表示：“黑臭水体分很多技术，最重要的还是控源截污。污染物不要往里面排放，包括雨污分流、源头的减量、雨水的减量。另外一个更重要的是沿河的截污口要做好，河道很多口是直排的，一般用截流井截住，然后排放至污水处理厂。其中也会造一些分流制、合流制的调蓄池（类似于深邃）调蓄之后，再集中输送至污水处理厂去处理。”

清水补给是黑臭水体治理技术路线中的长效保障措施。对于污染负荷高、水动力不足、环境容量低的城市黑臭水体，活水循环和清水补给的技术效果明显。该技术路线通过泵站提升，将外部的清洁水源引入，对黑臭水体中的污染物浓度进行稀释，并增加水体流动性，促进污染物的扩散和输出，改善水动力和水循环。



源头截污		清淤疏浚	水质净化	清水补给	生态修复
点源污染	面源污染				
<ul style="list-style-type: none"> 新建及改造污水处理厂 完善排水管网系统 新建地下综合管廊 	<ul style="list-style-type: none"> 修建人工湿地 修建植被过滤带 修建雨水生物滞留设施 	<ul style="list-style-type: none"> 机械清淤 人工清淤 	<ul style="list-style-type: none"> 人工曝气充氧 絮凝沉淀 	<ul style="list-style-type: none"> 泵站提升 	<ul style="list-style-type: none"> 河道富营养化控制 水生态修复

特色案例：泵闸结合增强水系流动性

福州市在其鼓台中心区水系综合治理PPP项目中采用了泵闸相组合的解决方案。该泵闸工程项目包括5个子项目，共计16套泵闸。项目将主要用于福州水系的连通补水、增强基础水动力和流动性，进而完成老旧城区黑臭水体整治的目标。

3.4 天津市

天津市是中国最干旱的城市之一，其人均水资源量仅为121.58立方米。南水北调虽然为天津的水资源短缺问题提供了一定的解决方案，但是，如何更为高效地循环利用现有水资源（雨水循环利用和污水回用）一直是天津市建立长期有效的水源保障机制的关键战略。

3.4.1 天津市所面临的挑战



城市总人口	15.62 万 (2016)	平均年降雨量	608.6 mm (2016)
城镇人口比重	82.93% (2016)	人均水资源量	121.58 m³ (2016)
GDP	1,860 亿元 (2017)	黑臭水体治理情况 (已治理数/总数)	4/25 (2016)
城市总面积	11,760 km²		

3.4.2 天津市海绵城市建设重点

天津市计划用3年时间建成2个海绵城市试点区域和15个示范片区。根据其“十三五”生态环境保护规划，到2020年，天津计划完成新建再生水供水管网443公里，再生水利用率达到30%以上，使全市总用水量控制在38亿立方米以内。

天津市的“绿色”布局：中新天津生态城雨水循环利用

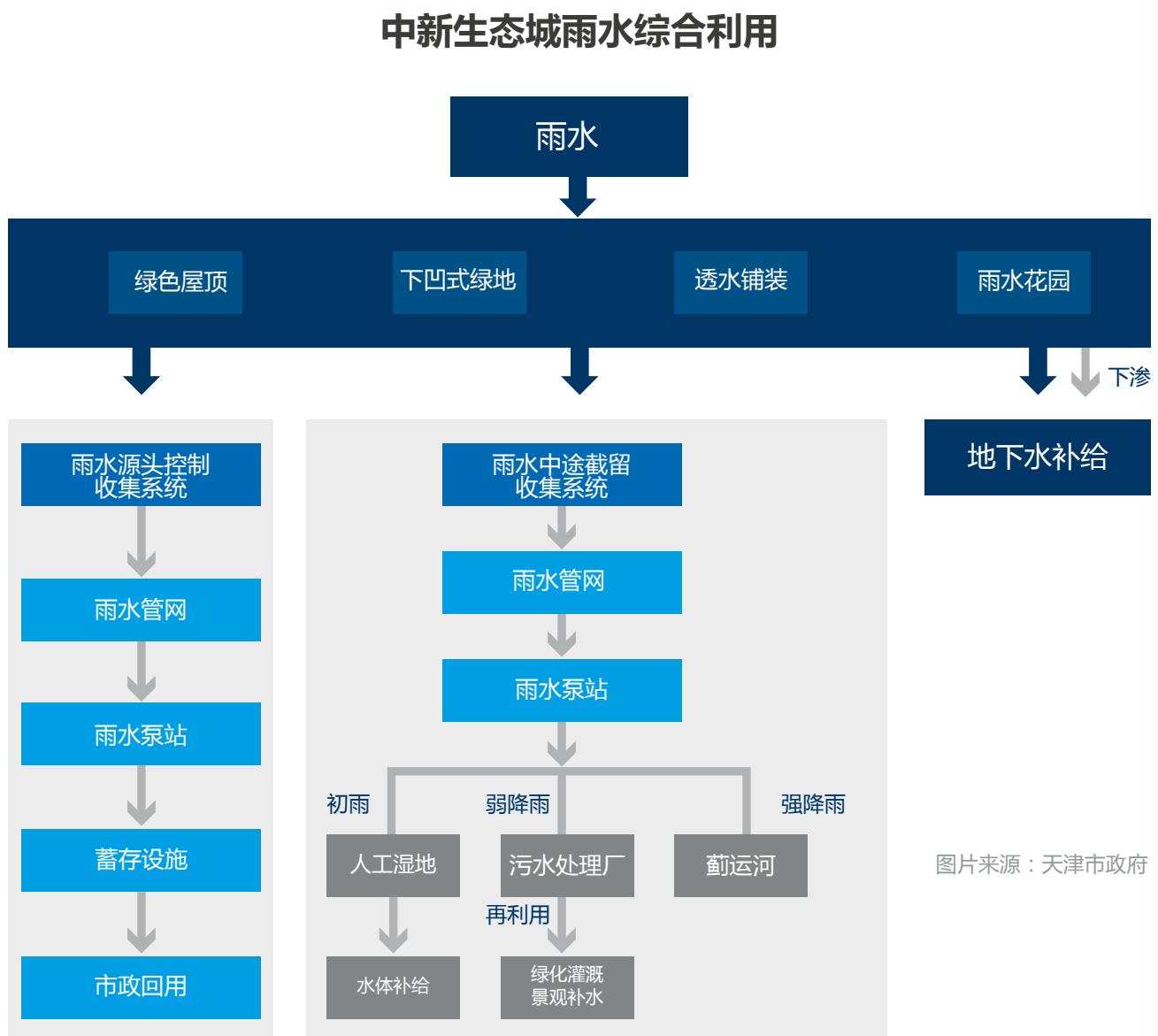
中新天津生态城（SSTEC）是国家海绵城市的大型PPP示范项目，占地面积约为30平方公里，由中国政府与新加坡政府合作共建。项目于2007年启动，旨在借助新加坡在综合城市规划和水资源管理方面的丰富知识和经验，以低影响开发的途径对城市水系统进行规划，促进水、能源、土地和交通等各个领域的水资源循环利用，应对城市缺水的难题。

雨水的收集与循环利用是中新天津生态城建设的一大亮点。雨水通过透水铺装、低洼绿地、调蓄设施、人工湿地

等绿色基础设施进行收集、净化和综合利用，每年的雨水再利用量达到570万立方米。和新加坡一样，再生水和雨水对生态城的供水起着重要作用，占总需水量的52%。生态城设有一台专用泵站，根据降雨量大小的不同对所收集的雨水进行泵送处理。

- 当降雨量较大时，初期雨水被泵送至对应的湿地，经过湿地处理补充自然水体；
- 当降雨量较小时，雨水被泵站提升至污水处理系统，处理后用于园艺、街道清扫、园林绿化、灌溉等；
- 只有在强降雨时，雨水才直接由泵站提升排入河道。

图3.5：中新天津生态城雨水循环利用示意图



天津市的“灰色”布局：综合预制泵站缓解城市内涝难题

排水设施能力不足与排水出路不畅是天津市除水资源短缺之外所面临的另一个紧迫挑战，据分析表明，天津市中心城区因未建设泵站而造成的易涝区共计14片，影响范围达43.54平方公里。为了缓解由于排水能力不足所造成的严重内涝灾害，同时尽可能地减少土地的占用面积，天津市于2014年在滨海旅游区建成了世界上最大的地理式综合预制泵站（prefabricated pumping stations，简称PPS）。集成化的PPS泵站可作为由泵、管道、阀门、控制器和服务设施组成的一体化设备交付。与传统泵站相比，PPS泵站可节省高达30%的建筑成本和2/3的占地空间。除此之外，泵站全自动化运行，采用无人值守的智能化管理模式，可以高效地将所收集的雨水用于该地区的水魔方水上乐园及其周边环境的生态浇灌。



3.5 广州市

城市内涝问题是广州市面临的主要挑战

3.5.1 广州市所面临的挑战



城市总人口	14.04 万 (2016)	平均年降雨量	2,449 mm (2016)
城镇人口比重	86.06% (2016)	人均水资源量	732.83 m³ (2016)
GDP	2,150 亿元 (2017)	黑臭水体治理情况 (已治理数/总数)	7/35 (2016)
城市总面积	7,433 km²		

3.5.2 广州市海绵城市的建设重点

广州市地处亚热带，拥有夏季长、降水多且强度大的气候特征。1990年至2010年期间，伴随着城市化进程的加速，广州市的城乡建设用地所占比例大幅提高24.46%，可透水面积急剧下降，城市生态环境容量承受着巨大的压力。另一方面，广州的排水系统设施老旧、管网标准低，约90%的管网设计重现期仅为一年一遇，排水能力远远落后于城市经济发展水平。这些因素均使广州面临着严重的内涝问题。

广州市政府计划2017-2018年投资23亿元用于72个城市内涝点的治理。到2020年，广州市规划海绵城市建成区面积达到250平方公里，计划新建9座污水处理厂，总处理能力为155万立方米/日，新建和改建泵站规模2.132立方米/秒、雨水干管6.119公里，并新建雨水调蓄池容积130万立方米，用于实现雨污分流、并保障水安全。

根据新城区和老城区的不同区域特点，广州分别制定了针对性的解决方案。其中，对于已有设施改造困难的老城区，广州通过建设深层隧道解决内涝的问题。而对于生态容量较大的新城区，则优先考虑采用低影响开发的措施对绿色生态环境进行保护和修复。

广州市的“灰色”布局：老城区新建深邃系统应对合流制溢流污染

由于城市老城区的排水管网建设年代久远，且多以雨污合流制为主，因此存在管线排布复杂、过水能力不足、以及汛期时易产生污水溢流等种种问题，改造工作不仅耗资巨大且难以实施。为了在保持现有管网系统不变的基础上对城市排水能力进行提升，广州市政府推出中国第一条深度隧道排水系统建设计划，共计修建8条总长约86公里的隧道，建于地下40米深处，建成后将提供165万立方米的调蓄容积。

其中，地处老城区的东濠涌深邃最先开始试点，并于2013年开始实验段工程，成功实现系统排水标准提高至5至10年，雨污合流年溢流次数减少70%以上。除了这两个优点之外，深层隧道系统的投建相对于实施雨污分流制排水管网改造更具成本效益。根据广州东濠涌“深邃”专家座谈会上所公布的测算结果，在该地区实施雨污分流改造需投资16.13亿元，而新建深层隧道仅需投入约7亿元，在实现相同效果的情况下，仅需前者不到一半的投资额。

广州市的“绿色”布局：新城区优先保护生态本底，建设自然蓄水系统

与上海的规划相类似，广州市的新城区海绵城市建设同样以低影响开发概念为核心，优先考虑自然生态系统保护，同时建设各种绿色基础设施，包括73个海绵公园、128个植被缓冲带、25个人工湿地和共含138条生态廊道的水系网络。其中，各绿色基础设施的功能主要为：

- 海绵公园：通过建设透水路面、雨水花园、生物滞留设施和地下蓄水池，模拟自然生态水循环，从而降低洪水风险。
- 植被缓冲带：多用于雨水的滞留和净化，可有效降低地表径流流速和污染负荷。
- 人工湿地：主要用于城市建成区黑臭水体的集中自然净化。
- 生态廊道：规划总面积占全市面积的22.7%，这一生态廊道骨架将打通森林、植被和湿地等绿色基础设施与天然水系之间的屏障，更好地保护生物多样性和生态系统。

3.6.2 萍乡市的海绵城市建设重点 获得亚洲开发银行资金支持用于基础设施建设

亚洲开发银行（简称亚行）在2016年至2021年间为萍乡市提供了1.5亿美元的贷款。除亚行贷款外，萍乡市、县和地方政府还将提供超过2.11亿美元的联合援助。这笔资金将用于帮助城市保护洪泛平原、恢复湿地、新建沿河绿地及相关河道治理等。

该项目主要包含以下工作：

- 河道治理：完成沿河70多公里的河流疏浚、堤岸升级、滨河景观和湿地恢复以及沿河绿色空间建设等工作，以更好地滞留和净化地表雨水径流；

3.6 萍乡市

山城萍乡的经济发展程度与其他的四个案例城市相比仍处于上升阶段，由于20世纪90年代初当地对煤炭资源的过度开发，给生态环境造成了严重的破坏，一度饱受持续性暴雨、严重内涝、环境污染和城乡发展不平衡等问题的困扰。在内涝和资源型缺水的双重压力下，防洪减灾已成为该市的首要任务。由于萍乡的大部分河岸都没有充足的防洪措施，河堤侵蚀而产生的泥沙沉积下来，使河床逐渐抬高，进一步降低了河流的排洪能力。

3.6.1 萍乡市所面临的挑战



城市总人口	1,93 万 (2016)	平均年降雨量	1,600 mm (2016)
城镇人口比重	67.03% (2016)	人均水资源量	732.83 m³ (2016)
GDP	112 亿元 (2017)	黑臭水体治理情况 (已治理数/总数)	7/35 (2016)
城市总面积	1.476 km²		

- 防洪堤岸：为当地农民提供最前沿的有机作物种植培训，以将农作物种植为可用于抵御洪灾的农业防护带，对堤岸进行保护；
- 污水处理：完成包含芦溪县宣风镇和上栗县桐木镇在内的四个村镇污水处理项目，新建污水处理厂和泵站并铺设配套管网。

按照排水分区对项目进行打包

与按照行政区划分项目的福州市不同，萍乡市按照排水对项目进行打包并划分片区，每个片区均设有一个行政机构负责管理，共分为三个新城区片区和四个老城区片区。其中，新城区片区的建设目标以防止洪涝灾害和保障水安全为主，老城区片区则以解决溢流污染和城市内涝为首要目标。

特色案例：大流量预制泵站用于城市内涝的项目实践

在采用传统预制泵站作为内涝解决方案获得成功的同时，随着中国高标准内涝防治体系的构建以及城市排水建设要求的不断提高，对大流量预制泵站的需求已成为近年来行业的热点话题。

作为萍乡市2017年的重点项目，萍乡一号雨水泵站采用2台大流量预制泵站（HPS），设计流量达到 $4.6\text{m}^3/\text{s}$ 。该项目在设计时，采用了先进的CFD计算机流体力学分析，量体裁衣般的进行了泵站的选址、平面布局、设计流量及扬程的计算，全面保障了汛期排水的安全性以及设备的运行可靠性，同时还保留了传统预制泵站占地小、与周边环境相协调等优势，将泵站对景观影响降到了最小。

图3.6：萍乡市海绵城市建设分区



4. 国际最佳管理实践



为了借鉴国际上海绵城市建设的优秀经验和方法，本白皮书选择包含哥本哈根、新加坡、华盛顿特区、柏林和名古屋在内的五个国际城市作为案例，以分析和探索可以在海绵城市建设中予以借鉴的国际最佳实践参考。

4.1 丹麦·哥本哈根

4.1.1 挑战与计划

哥本哈根近年来多次遭遇高强度的暴雨袭击，尤其是2011年经历的400年一遇的特大暴雨，造成了巨大的社会经济损失。另一方面，哥本哈根作为港口城市，时刻受到海平面上升的威胁。为了应对这些风险，哥本哈根于2012年通过了《哥本哈根市大暴雨管理规划》，作为该市于2011年出台的《哥本哈根气候适应规划》中专门针对洪涝灾害的部分，为城市未来的排水防涝设立具体的解决方案。

“我们已经为整个城市都制定了一个全面的计划，每一项实施的措施，包括这个城市里的每一条绿色街道和隧道，都会在整个城市的水力调节中发挥作用。”目前，哥本哈根规定所有新建平顶房屋必须强制实施绿色屋顶。与此同时，绿色廊道、绿色街道等也在逐渐修建。除此之外，该规划同时要求城市排水系统进行优化，包括排水管网雨污分流、以及街道改造等，以形成道路两边均设有植草沟的用于净化和输送雨水的“暴雨街道”。

除了上述措施之外，金融模式创新是哥本哈根雨洪管理的另一大特色。设施的投资主要分为两部分。其中，地面上的部分由市政府拨款建设，而地下的部分则由HOFOR负责投资运营，通过向市民收取水资源税实现收入来源。同时，HOFOR还会在私人拥有的土地上共同投资建造有助于雨洪管理的项目。通过在城市的每个区域举行公开会议，增加公众对项目的参与。

4.1.2 解决方案

《哥本哈根市大暴雨管理规划》的一个显著特征在于其系统性。为哥本哈根110万人口提供市政公用服务的哥本哈根大区公用服务事业局HOFOR是该规划的重要制定与执行部门之一，HOFOR首席顾问 Jes Clauson-Kaas 评论道：

4.1.3 建设成果

- 该计划的全面实施有望帮助城市在暴雨情况下避免重大的社会和环境损失。Jes Clauson-Kaas表示：“暴雨和洪水带来的潜在损失将超过20亿欧元，而该项目的整体投资大概在12至13亿欧元左右。一旦方案实施，则可避免城市遭受20亿欧元的潜在损失。”
- 这一规划的实施，使哥本哈根成功应对了2014年大暴雨的考验。在不到几小时的时间之内，降雨量高达119毫米，但是在已经安装了暴雨措施的地区，却并未受到暴雨的影响，有效地防止了洪水灾害。“所实施的措施效果非常显著，暴雨时水不会从街上涌进周围的建筑物或设施了。” Jes Clauson-Kaas说。

案例研究：哥本哈根商学院-关注泵站运营维护，降低全生命周期成本

在2011年7月所发生的大暴雨期间，哥本哈根商学院（Copenhagen Business School，简称CBS）因几个排水泵无法正常工作而遭受了巨大的损失。为了解决泵站在使用过程中的运营问题，CBS与格兰富水泵公司（Grundfos）签订了污水和排水泵站的运营服务合同，以确保专业人员能够持续跟踪并关注泵的使用状况。对排水设施运营的重视，不仅帮助学校保护设施免受极端天气和其他原因所造成的进一步损害，同时有效降低了设备全生命周期的运营成本。

奥雷斯塔德新城(ØRESTAD)-创新采用双重空隙过滤技术

奥雷斯塔德是哥本哈根的一个新城区，城区中所建的长约10公里的开放式运河水系网络，不仅增加了奥雷斯塔德地区的观赏和休闲价值，同时也构成了一个可以蓄存17.8万立方米的雨水管理系统。屋顶的雨水径流直接进入运河作为水源，而路面径流则通过双重孔隙过滤技术（Dual Porosity Filtration，简称DPF技术，一种水流水平流动经过多层过滤材料的新技术）进行分离和净化。在Ørestad成功开发和测试之后，DPF技术已经应用于净化城市北部Allerød地区的另一个全面雨水径流管理项目。

4.2 新加坡

4.2.1 挑战与计划

新加坡由于国土面积小、人口密度高、雨水储存空间有限，必须在暴雨灾害期间高效地处理大量的雨水径流。同时，新加坡也面临着暴雨所带来的径流污染风险。为了应对这些挑战，新加坡公共事业局（PUB）在2006年启动了一个名为“活跃、美丽、干净水源”的计划（Active, Beautiful, Clean Waters，简称为ABC水源计划），旨在改善水质、保护水源，并将雨洪管理纳入城市景观规划中，为市民创造绿色宜居的休闲娱乐空间。

4.2.2 解决方案

新加坡ABC水源计划主要由PUB负责实施，政府提供资金支持。除了PUB为主体实施项目外，PUB同时与其他政府机构和私营企业密切合作，致力于将ABC水源计划的设计理念融入到城市规划的所有版块中，所合作开发的项目同样可以获得ABC水源计划的认证，以推广更多的项目予以实施。

新加坡是世界上少数几个大规模收集雨水作为饮用水源的国家之一。因此，与其他国家相类似的水生态治理方案相比，ABC水源计划更专注于水质净化。这一水源计划在采用传统的排水解决方案（如调蓄池）的基础上，加入了大量的绿色基础设施元素，如雨水花园、植草沟、下凹式绿地、生态树池、人工湿地和沉淀池等，对雨水的源头、路径及末端进行全过程的综合管理。

目前，新加坡将整个国家2/3的面积作为集水功能区，用于收集和过滤雨水，将城市规划与雨水综合利用高度集成和关联。其中，新加坡的碧山-宏茂桥公园便很好地展示了这新型城市水生态景观的设计方式。为了响应ABC水源计划，公园根据洪水泛滥平原的概念进行设计和升级，将公园内最初的一条混凝土运河通过土壤生物工程而改造成天然河流，并与城市整体排水管网相连。改造后的公园不仅可以作为雨水输送，也可作为居民沿河的公共休闲场所。

图4.1：新加坡碧山-宏茂桥公园



图片来源：ABC水源计划

4.2.3 建设成果

- ABC水源计划开展至今，由PUB负责实施的项目共计36个，与其他机构合作实施并获得ABC水源计划认证的项目共计67个，且有多个项目在绿色设施建设的基础上增设了排水系统改善的工程内容。
- 在已经实施的项目中，新加坡已成功将长约99公里的水道和面积为9.74平方公里的水体打造为开放式的休闲空间，大大改善了游客的娱乐活动和体验，使游客数量得到明显增加。不仅如此，这一计划也促进了当地生物多样性的增加，使碧山公园的生物多样性显著提升48%。
- 根据一项对实施ABC水源计划的试点区域所进行的调查研究表明，当所建的绿色基础设施与其他措施（如地下砾石层和限制溢流的孔口）相结合时，雨水花园和下凹式绿地能够满足新加坡于2014年所发布的城市径流控制法案对新设施的要求。

案例研究：MARINA BARRAGE 滨海堤坝

Marina Barrage滨海堤坝是建于新加坡市中心地区的第一座调蓄池，供水量占总需求量的10%。大坝横跨350米宽的滨海水道口 (Marina Channel)，起着阻挡海水的作用。不仅如此，它也是新加坡防洪计划和居民休闲生活的一部分。为了缓解城市低洼地区的内涝问题，当潮汐低潮时，滨海堤坝启动大坝的九道闸门将蓄水池内积水排入海中；而当潮汐较高时，滨海堤坝则启动7个巨型排水水泵系统将多余的雨水进行排放。灵活的调蓄功能使滨海堤坝的水位常年保持稳定，并成为新加坡划船、皮划艇等水上活动的休闲活动中心。

4.3 美国·华盛顿特区

4.3.1 挑战和计划

由于华盛顿特区的大部分地面都是硬质地面，雨水的渗入率很低，导致了大量雨水径流对城市内河以及附近的切萨皮克湾（美国面积最大的河口湾）造成严重污染。针对这一问题，华盛顿供水和污水管理局 (DC Water) 启动了

“清洁河流项目”计划 (Clean Rivers Project)，共计投资26亿美元，旨在解决合流制管道溢流污染以及水体富营养化的问题。

4.3.2 解决方案

“清洁河流项目”计划共包含灰色和绿色基础设施两方面的建设内容。其中，在灰色基础设施建设方面，华盛顿特区实施有针对性的雨污分流工程和地面引流设施，建

设下降井和泵站。此外，城市还修建地下深邃工程，将雨污混合污水输送至城市污水处理厂（Blue Plains Advanced Wastewater Treatment Plant）进行集中处理。与此同时，华盛顿特区还增设了包含植草沟、生物滞蓄设施、雨水花园以及透水路面在内的多项绿色基础设施。

创新的绿色融资模式是华盛顿地区雨洪管理的另一大亮点。DC Water在2016年发行了美国首支“环境影响力债券”（Environmental Impact Bonds）。在这一模

式下，建设绿色基础设施的成本将由DC Water进行支付，而运营管理的绩效风险则由DC Water与投资者共同分担（见图）。此外，华盛顿特区还开创了雨洪信用额度交易市场，与碳排放交易市场相类似，允许开发商通过购买全市范围内绿色基础设施项目，将实地滞留超出指标的雨水量转化为雨洪滞留信用额度，从而在雨洪市场上进行交易并获得收入。不仅如此，华盛顿特区的环境部门还启动了一个绿色屋顶补贴计划，为每平方英尺安装的绿色屋顶提供5美元的补贴，大力推动城市建筑屋顶的绿色基础设施建设。

图4.2：DC Water环境影响力债券融资模型

华盛顿特区通过发行环境影响力债券支持绿色基础设施建设的融资模型



图片来源：Goldman Sachs、DC Water、GWI

4.3.3 建设成果

- 在绿色基础设施建设方面，自绿色屋顶补贴计划出台之后，已有共计超过5万平方英尺的绿色屋顶项目正在建设中，未来将滞留约75%的总降雨量，有效缓解暴雨对城市排水系统造成巨大压力。
- 在灰色基础设施建设方面，Blue Plains污水处理厂和Anacostia河隧道工程的完工，标志着华盛顿特区地下深层隧道建设的第一阶段已经圆满完成。预计到2018年3月，这一设施可以帮助降低81%的雨污合流所产生的溢流污染。

4.4 德国·柏林

4.4.1 挑战与计划

相较于其他城市的严重暴雨和内涝问题，水质污染是柏林更为紧迫的挑战，其中包括雨污合流导致的溢流污染以及城市河流、湖泊的水质污染等。为此，绿色基础设施解决方案自上世纪90年代后再一次跃上舞台，成为柏林计划重点实施的水质保护方案。来自柏林公共事业公司Berliner Wasserbetriebe（BWB）战略团队的Darla Nickel博士解释说：“绿色基础设施会带来多重优势，他的意义远远不止于雨水管理或者说如何降低雨水灾害这么简单，他更加是一种改善城市微气候与优化城市水域栖息地的设计理念，也是一种保护我们的地表水和保护我们的基础设施免受洪水影响的绝佳方式。”

4.4.2 解决方案

为了有效地应对雨污合流制溢流污染，柏林参议院在2017年批准了一项新的倡议，规定未来所有的新建筑项目必须100%安装顶层植被以及雨水收集系统，减少直接流入城市排水系统的雨水量，有效降低雨水下渗比率。尽管柏林同时也计划扩大的城市的下水道集水区容量来增加地下雨水蓄存能力，但治理重点依然为绿色基础设施的建设。

“集中处理系统正在达到其临界能力，我们需要找到其他方法对雨水进行就地收集、处理与利用。” Darla Nickel博士表示。

4.4.3 建设成果

- 到目前为止，柏林已经成功安装四个将雨水管理和质量控制相结合的土壤渗透净化设施。如在Halensee地区一处曾经遭受严重污染的湖泊，通过采用这一设施对排入湖中的雨水进行滞蓄、渗透和净化，成功使超过70%的雨水被这一系统所收集，大大降低湖泊水质中的磷和细菌含量，使该湖泊重新作为功能性休闲水体开放给公众游泳。

- 柏林在通过制定法规来促进雨水管理方面非常有经验。作为德国较早开始实行“雨水费”制度的城市，柏林于2000年开始采用这一方案激励建筑雨水收集系统和绿色基础设施的建设。不仅如此，根据柏林环境管理局最新发布的一项规定，新的房屋必须减少雨水进入城市综合排水设施的水量，而这一标准比以往都更为严格。

图4.3：柏林Halensee地区土地渗透系统



图片来源：柏林公共事业公司

案例研究：柏林波茨坦广场

位于德国柏林市中心的波茨坦广场，是上世纪90年代柏林绿色基础设施建设热潮中的项目之一。除了总面积约为30,000平方米的绿色屋顶外，该地区还有一个雨水蓄存系统，用于将雨水储存在地下蓄水池设施中。除了这一集水功能外，开放的水域还能提供亲水及视觉美化效果。雨水通过天然渗漏系统和绿色植被净化后排入地表水体，多余的水则用于灌溉、冲厕和该地区的消防用水等。同时，通过降低温度和加湿空气，还可以在夏季改善城市气候。

4.5 日本·名古屋

4.5.1 挑战和计划

名古屋作为日本的第四大城市，经常遭受局部性暴雨事件的威胁，存在严重的城市内涝和雨污溢流污染的问题。为了应对这两大挑战，名古屋出台了“2050年水循环恢复战略”（Water Cycle Recovery Strategy 2050），旨在恢复因过度城市化而遭到破坏的自然水循环，并最终将雨水径流量从62%降至36%。该战略已于2012年完成第一阶段的建设工作。

4.5.2 解决方案

名古屋计划改善和扩大的雨水水库，开发水库网络并引入绿色基础设施设计理念，如透水路面和透水铺装停车场等，以实现“水循环复活2050年战略”中50%人行道和70%停车位实现可渗透化的建设目标，并将植被覆盖率从25%增加至40%。同时，名古屋还建立“水和绿色生态廊道”用以河流防洪并实现降温，通过绿色基础设施的自然渗透作用将净化后的雨水用以地下水补给。另一方面，该市还建立绿化设施评价认定制度（“Nice Green”），根据绿化水平对设施进行认证，达到良好的评级后可以获得一定程度的银行贷款优惠。

4.5.3 建设成果

- 在项目实施的第一阶段，名古屋已成功在全市不同地区实施安装了包含透水路面、透水沟渠和地下储水库在内的多项设施，并将地下雨水储存设施的容量从2008年的217万立方米/年提升至2012年的236万立方米/年。
- 此外，项目第一阶段已完成超过1万平方米/年的绿化建设，并通过实行《绿化地域制度》，对新增和改建建筑物的绿化面积进行要求，大大提高了城市的绿化覆盖率。

5. 海绵城市转型思路

随着中国城镇化进程的发展与加速，全国城镇建成区面积在2000年至2010年间迅速扩张60%。土地利用率提升、可透水面积下降、排水设施老旧等多个问题使传统的城市建设理念难以继续满足城市发展与资源环境相协调的要求。为了应对气候变化所带来的极端性气候灾害，使城市在暴雨中避免内涝和水体污染的威胁，海绵城市的建设理念应运而生，通过“渗透、滞留、蓄存、净化、利用、排放”等多项措施和手段，对雨水进行生态蓄积及综合利用，缓解城市水资源紧张的局面。

中国海绵城市的建设，在借鉴国外发达国家经验的基础上，将绿色基础措施与传统的灰色雨洪基础设施相结合，目标提升城市整体的水生态环境品质。这一建设理念在推进新型城镇化与生态文明构建的大背景下，有较大的发展空间。随着国家级海绵城市建设工作的逐步推进，试点城市在实际操作和运营过程中均取得了初步的进展，也同时发现了以下几方面的问题：

- **海绵城市建设项目具有规模大、子项目多等特点**，资金需求量大。仅仅依靠政府补贴已远远不够，需要探索新型的融资模式，并鼓励更多的社会资本参与。
- **海绵城市建设设计具有多领域、跨专业和综合性高等特点**，需要统筹和协调排水、建筑、交通、道路、生态、园林设计等多专业的知识与经验，从而制定综合且专业的顶层设计方案。
- **海绵城市建设工程具有参与机构多、覆盖市场杂等特点**，需要从包含规划设计、项目开发、园林施工、污水厂及管网工程建设、设备及解决方案提供、后期运营等在内的全生命周期的角度对项目工程进行统一规划与协调。
- **海绵城市建设项目运营存在水体信息数据复杂、排水设施数量多等特点**，需要以更为智能化、数字化的创新技术进行系统管理和分析，以盘查老旧故障，保障运营稳定，并预测暴雨信息，提前制定应对雨洪灾害的解决方案。

针对以上问题，本白皮书在类比和分析中国和国际城市案例的基础上，建议海绵城市的建设从单纯侧重于技术层面而转向更具适应性、更具包容性和更具创新性的综合方案。为此，提出以下五个未来海绵城市建设的转型思路：

- 从公共财政独立支持向新型融资模式转型
- 从碎片化解决问题向系统化顶层设计转型
- 从单一集中式方案向集中式、分散式多元化方案转型
- 从重工程向兼顾运维转型
- 从传统型海绵城市向智慧型海绵城市转型

转型思路1：从公共财政独立支持向新型融资模式转型

海绵城市项目资金需求量大，投资回报期长，据估算，每平方公里的海绵城市建设需投资超过1亿元人民币。因此，探索适合海绵城市发展的长期融资机制至关重要。目前中国海绵城市建设除了政府补助外，缺乏相应的资金来源。国外在这一方面则探索了不少创新的方式。如哥本哈根施行的“水资源税”以及柏林所征收的“雨水费”制度，均通过获得更多的公共收入为海绵城市建设提供了更多的资金支持。

在融资手段方面，虽然PPP模式在中国大力实施，但是由于很多项目包含无收益性质的环境类服务项目，如河流整治、景观美化等，导致这些项目除了政府提供的补贴支持之外，并没有明确的收入回报机制。目前，只有在将经营类项目如新建和改造污水处理厂包括在内时，PPP模式才能吸引更多社会资金参与，并有效地予以实行。除PPP模式之外，未来也可借鉴国外的创新融资手段。例如，华盛顿特区所发行的“环境影响力债券”，可以帮助地方水司与投资者共同平摊风险。

转型思路2：从碎片化解决问题向系统化顶层设计转型

“头痛医头，脚痛医脚”是中国城市发展中的普遍治理手段。虽然这一方式可以针对性地解决某一特定问题，如在污染严重地区通过建造大型污水处理厂提高当地水质。但对于海绵城市建设而言，由于城市的水环境体系是由多个水系、排水系统、绿色生态设施所组成，采用针对性的解决方案较难对整体环境进行长远规划。在这一背景下，向系统化的顶层设计转型能有助于全面控制水质、并预防潜在风险。在这一方面，可以借鉴新加坡的“ABC水源计划”和哥本哈根的“大暴雨管理规划”的实施经验，设立总体规划，以问题区域的水体保护和治理为核心，与其他区域计划建造的基础设施相协同，使布点的每一个措施物尽其用，对城市生态环境进行系统化的管理和修复。

转型思路3：从单一集中式方案向集中式、分散式多元化方案转型

在过去，大多数城市为了防止洪涝灾害常常倾向于采用传统的集中式雨洪基础设施以完成快速排水。然而，随着城市化进程的加速，传统的排水设施处理能力已达到极限。如何巧妙地采用“化整为零”的思路，将集中的大规模排水设施分散为多个绿色和灰色基础设施对雨水进行就地收集和净化非常重要。虽然中国在海绵城市建设规划中，分别设立了绿色屋顶覆盖率和透水铺装覆盖率等多个指标，

但美中不足的是，尚未设立用以促进社区对这类绿色基础设施进行安装的激励机制。在这一方面，可以借鉴华盛顿特区环境部门所启动的绿色屋顶补贴计划，给予社区一定的资金补助，推动分散式绿色处理设施的安装和普及。

转型思路4：从重工程向兼顾运维转型

在海绵城市的建设过程中，设计和建设阶段将整体规划从概念落实到实际应用，但后期的运营和维护（O&M）也非常重要，因为它保证了所建基础设施的长期实施效果。若不重视设备的运行维护，不仅会增加折旧率，使所建工厂、泵站等灰色基础设施需要频繁地修理和更换，同时也会大幅提高设施的全生命周期成本，导致未来需要更多的投资。在这一方面，可以借鉴哥本哈根商学院所签订的泵站服务运营合同的案例经验，对雨洪基础设施进行定期的检查和保养，延长设备的使用寿命，并对潜在的风险进行有效的预防。

转型思路5：从传统型海绵城市向智慧型海绵城市转型

如今，随着物联网、大数据、云计算等高新技术的普及，水务领域的资产管理也逐渐向智能化和信息化的方向转型。国内外已有许多先驱城市创新地采用数字化技术对水务资产的相关数据进行收集、管理和分析。例如，美国Opti公司通过搭建智能化雨水管理云平台，对所收集的数据进行分析，并运用算法计算出雨水储存设施需要释放的水量，以在降雨高峰期更好地存储雨水；美国印第安纳州南本德市通过采用智能化污水管网管理系统，共节省5亿美元，同时减少劳动力并提高了设施管理的可靠性和效率。在中国，作为信息技术发达的代表性城市，深圳计划在其海绵城市建设中引入“互联网+海绵城市”的概念，并在其试点区域光明新区启动智慧海绵城市信息化建设项目。可以预见，未来将有更多的城市尝试采用传感设备、自动化操作、数据采集与监视控制系统等技术，向更具成本效益和高效的智慧型海绵城市逐步转型。

参考文献

- 中国国务院办公厅，2015.10，国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见
http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-10/16/content_10228.htm
- 中国国务院办公厅，2013.03，国务院办公厅关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知
http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-04/01/content_5066.htm
- 中国住房和城乡建设部，2016.03，住房城乡建设部关于印发海绵城市专项规划编制暂行规定的通知
http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201603/t20160317_226932.html
- 中国环境保护部，环境保护部公报
http://www.mep.gov.cn/xxgk/xxgk_1/hbbgb/
- 世界资源研究所，全球各国水环境压力
<http://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country>
- 中国国家统计局，中国2017年国家统计年鉴
<http://www.stats.gov.cn/>
- 环境保护部，住房和城乡建设部，全国城市黑臭水体整治监管平台
<http://gz.hcstzz.com/>
- 上海市规划国土资源管理局，2016.11，上海市海绵城市专项规划
http://www.shgtj.gov.cn/hdpt/gzcy/sj/201611/t20161104_698481.html
- 上海市发展和改革委员会，上海市水资源保护利用和防汛“十三五”规划
<http://www.shdrc.gov.cn/wcm.files/upload/CMSshfgw/201706/201706050327041.pdf>
- 上海临港发展建设委员会，2016.12，上海市临港地区海绵城市专项规划
<http://www.lgxc.gov.cn/UploadFile/20161212034435844.docx>
- 上海市人民政府，2015.12，关于贯彻落实《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见》的实施意见
<http://www.shanghai.gov.cn/nw2/nw2314/nw2319/nw12344/u26aw45622.html>
- 福州市城乡规划管理局，2017.06，福州新区总体规划（2015-2030年）
http://ghj.fuzhou.gov.cn/zz/cxgh/ztgh_9041/201706/t20170619_950070.htm
- 福州市城乡规划管理局，2017.11，福州市海绵城市试点区域（三江口片区）控制性详细规划
http://ghj.fuzhou.gov.cn/zz/ghdt/tzgg/201711/t20171114_1831954.htm
http://ghj.fuzhou.gov.cn/zz/ghdt/tzgg/201711/t20171114_1831953.htm
- 中新天津生态城，
<https://www.eco-city.gov.cn/yxstc/>
- 中国财政部政府和社会资本合作中心，
<http://www.cpppc.org:8082/efmisweb/ppp/projectLibrary/toPPPMap.do>
- 亚洲开发银行，中国萍乡市城乡基础设施综合发展项目
<https://www.adb.org/projects/47030-002/main#project-pds>
- 广州市住房和城乡建设委员会，广州市海绵城市规划建设管理办法
www.gzcc.gov.cn/UploadFiles/hdjl/2016/12/201612301530462368.doc
- 新加坡公共事业局（PUB），2014年，新加坡“ABC水源计划”技术设计指南
https://www.pub.gov.sg/abcwaters/Documents/ABC_DG_2014.pdf
- 名古屋市政府，2050年水循环恢复战略
[http://www.city.nagoya.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000076/76890/sesakuhen\(1-36\).pdf](http://www.city.nagoya.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000076/76890/sesakuhen(1-36).pdf)
- 华盛顿供水和污水管理局（DC Water），清洁河流项目计划
<https://www.dewater.com/clean-rivers-project>
- 哥本哈根大区公用服务事业局HOFOR，2016年，气候恢复规划之暴雨和排水服务

http://www.hofor.dk/wp-content/uploads/2016/09/climate_resilience_programme_faktaark_2016.pdf

- 哥本哈根市，2012年，哥本哈根市大暴雨管理规划
http://en.klimatilpasning.dk/media/665626/cph_-_cloudburst_management_plan.pdf
- 哥本哈根市，2011年，哥本哈根气候适应规划
http://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen_adaption_plan.pdf
- 高盛，关于华盛顿供水和污水管理发行“环境影响力债券”的报告
<http://www.goldmansachs.com/media-relations/press-releases/current/dc-water-environmental-impact-bond-fact-sheet.pdf>
- 欧盟委员会，德国绿色基础设施建设
http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/pdf/Green%20Infrastructure/GI_DK.pdf
- 柏林参议院，环境、运输和气候保护部，柏林2006年雨水排放限制项目
<https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/wasser/regenwasser/de/Hinweisblatt-BReWa-BE.pdf>
- 柏林参议院，城市发展与住房建设部，Halensee可持续雨水管理规划
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/modellvorhaben/kuras/download/halensee.pdf
- 丹麦环境部，丹麦生态技术推进行动计划-- Ørestad奥雷斯塔德新城“蓝色”和“绿色”技术驱动
http://eng.ecoinnovation.dk/media/mst/8051431/CASE_oerestad_artikel.pdf
- 柏林绿色与可持续发展城市建设，柏林波茨坦广场网址：<http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/potsdamer-platz-berlin-germany/>
- 柏林公共事业公司，柏林市的雨水管理
<http://www.bwb.de/content/language1/html/1052.php>

• 华盛顿供水和污水管理局 (DC Water) , Rock Creek
绿色基础设施项目计划

<https://www.dewater.com/projects/rock-creek-green-infrastructure-project>

• 柏林参议院，城市发展与环境部，城市发展与气候变化
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf

• 新加坡宜居城市中心 (Centre for Liveable Cities)
, 2017, 关于ABC水源计划：水作为环境资产的研究
https://www.clc.gov.sg/documents/publications/urban-system-studies/rb172978_mnd_abc_water.pdf

• 美国华盛顿特区Adaptation Clearinghouse , 2007
年，绿色屋顶补贴计划
<http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/washington-d-c-green-roof-program.html>

• 环境保护部，2017年
http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/gwy/201611/t20161124_368169.htm

be think innovate

xxx/xxxxxx/xxxxxx/xx-xx-xxxx

The name Grundfos, the Grundfos logo, and be think innovate are registered trademarks owned by Grundfos Holding A/S or Grundfos A/S, Denmark. All rights reserved worldwide.

GRUNDFOS Holding A/S
Poul Due Jensens Vej 7
DK-8850 Bjerringbro
Tel: +45 87 50 14 00
www.grundfos.com

