

# 韧性思维引导下的海绵城市规划策略研究

赵志庆 武中阳 王作为

**摘要:**近年来,全球极端天气不断出现,城市的过度开发建设使城市原有水系统发生改变,并导致城市水灾害频发及水环境日益恶化。自2014年我国大力推进海绵城市规划与建设后,城市水系统问题逐渐缓解。本文通过引入国际最新的韧性理念,将韧性思维引入海绵城市规划策略的构建中,从生态韧性、工程韧性、经济韧性、社会韧性四个维度对海绵城市规划与建设进行全面系统的顶层设计。同时,结合现有试点海绵城市规划与建设过程中所出现的缺乏系统性、整体性、碎片化等方面的问题,本文以试点的海绵城市——济南市济西推广区海绵城市概念规划为研究案例,以韧性思维为指导,系统地提出了海绵城市生态格局构建、系统规划及建设引导方面的规划策略,并探索了海绵城市延伸的产业开发及建设管控机制,试图为海绵城市规划与建设研究提供一种新思维和新路径。

**关键词:**韧性思维 海绵城市 生态格局 管控机制

## 引言

随着城市社会与经济的高速发展,城市水系统问题逐渐凸显,因此自2014年起,我国开始大力推广海绵城市建设,以解决城市水环境、水生态、水资源等相关问题,城市规划与建设相关领域专家、学者及有关行政主管部门在海绵城市规划研究方面做出了许多有益的尝试与探索。然而遗憾的是,2016年我国30个海绵城市试点中19城出现内涝,此情况导致民间及学术界的各种争论涌现。同时,经过对国内海绵城市规划与建设过程中所呈现的各类问题的梳理与检讨,发现目前试点的海绵城市研究范围有一定的局限性,海绵城市规划与建设倾向于具体的市政工程措施,重点解决城市内涝问题,往往忽视了海绵城市的顶层设计问题,尤其对于更大尺度的区域和城市的水系统规划的研究严重缺乏。本文以海绵城市规划与建设过程中出现的问题为导向,以韧性思维为理论指导,以济南市济西推广区为研究对象,提出海绵城市规划策略构建的顶层设计。

### 海绵城市规划与建设存在的问题

#### 规划建设系统性差

海绵城市建设包含的内容繁杂,涉及的专业包括城乡规划、园林景观、市政工程、水利、建筑等,需要各专业人员共同协作,使整个海绵城市体系更具系统性和整体性<sup>1</sup>。而在目前海绵城市建设过程中,由于受到建设时间等因素限制,致使部分地区的海绵城市建设体系并未形成有机整体,缺少顶层设计和统一规划,海绵城市各建设项目之间联系较弱,并没有作为一个完整的系统共同解决城市水系统存在的问题。

#### 研究尺度过于单一

在住建部2014年下发的《海绵城市建设指南》(以下简称《指

南》)中指出,海绵城市的建设应最大限度地保护城市原有生态系统、对已受到破坏的生态环境进行生态修复,表明海绵城市的建设不应仅仅局限于对街区等小尺度范围进行研究,应从城市、区域或流域等多种尺度进行研究。目前海绵城市的建设多集中于小尺度范围内,如对居住区和公园进行海绵城市改造,局部修建海绵型设施等,这些微观尺度举措并不能满足对整个城市的生态系统进行保护和修复。

#### 过于依赖设施建设

《指南》中提出,在海绵城市建设中,应对低影响开发雨水系统、城市市政排水系统及超标雨水径流排放系统进行统筹考虑。目前海绵城市建设的重点大多集中于建设低影响开发设施,如大面积建设下凹绿地、透水铺装等,海绵城市的低影响开发设施建设在一定程度上可为城市解决内涝、水体污染等问题,但低影响开发设施并不能够

解决所有城市水问题，一味追求低影响开发设施的规模与数量，忽略与其他相关城市系统的相辅相成，将造成海绵城市建设效果大幅降低。

#### 建设项目呈碎片化

海绵城市建设项目碎片化的问题，是海绵城市建设急于快速推进但缺少统筹规划的产物，在建设时未将城市或流域内存在的问题进行整体梳理和分析，将建设低影响开发设施作为推进海绵城市建设的单一方式，仅仅停留在对出现问题的某一点或某一区域进行治理。这种将海绵城市建设碎片化的推进方式，容易在后续建设中出现重复建设、运营维护难度大等问题，影响海绵城市建设与实施效果。

#### 经济支撑来源较少

2015年，财政部提出对海绵城市建设试点提供为期3年的资金支持，直辖市、省会城市及其他城市每年的资金补助分别为6亿、5亿和4亿，国务院提出地方各级政府应加大对海绵城市建设项目的资金投入，鼓励银行及其他金融机构加大对海绵城市建设项目的信贷支持力度。国务院下发的《关于推进海绵城市建设的指导意见》中提出，到2020年，各省市建成区20%以上的面积需达到海绵城市建设目标要求，而根据住建部的统计数据显示，海绵城市建设的建设费用巨大，每平方公里所需资金约为1亿至1.5亿元<sup>2</sup>，中央财政和各级地方政府的资金投入虽能够支撑建设部分试点区，但要完成2020年的建设目标，还存在极大的资金缺口。

#### 管控机制尚不健全

海绵城市的建设需要经过规划设计到建设施工、运营维护等一系列过程，在这些过程中涉及住建、规划、发改、水利、财政、国土资源等多个职能部门，同时也涉及规划、园林等多种专业相配合，各部门、各专业分别在海绵城市建设中担任不同的角色，因此海绵城

市的建设需要各部门各专业各司其职、高度协作<sup>3</sup>。但目前海绵城市建设还未能建立一套健全的管控机制以明确“什么部门在什么阶段具体管控什么内容”的问题，因此其管控机制还需进一步完善。

### 将韧性思维引入海绵城市规划与建设中

#### 韧性思维的概念及其发展

1973年，“韧性”（Resilience）一词首次被用于生态学概念当中，生态学家霍林使用韧性一词来说明生态系统在应对危机时的稳定性受到干扰后，能够维持生态系统运转并恢复其稳定性的能力<sup>4</sup>。韧性联盟（Resilience Alliance）进一步将韧性概念融入到城市系统中，将韧性在城市中的概念定义为能够使城市在应对外界干扰时，仍旧保持城市的主要特征、结构和关键功能的能力<sup>5</sup>。韧性概念被引入不同研究领域，如在灾害风险研究中，韧性与脆弱性相对，代表了应对灾害风险时的控制能力和恢复力；在区域研究当中，韧性体现在文化的包容性以及经济冲击的抵抗能力等方面；在城市研究的相关领域，韧性的内涵则包含了城市的生态、工程（城市基础设施）、经济和社会等多个领域。

#### 引入韧性思维的目的

海绵城市概念的提出是希望城市如同海绵一样，在城市降水量过多时吸收雨水，在城市缺水时提供积存雨水，使城市面对雨洪问题时能够更具弹性，这一理念与韧性思维极为相似，韧性思维强调的是在某一系统承受“压力”时恢复到稳定状态的能力。在目前的海绵城市建设中，大多侧重于设施建设的规模及种类，而忽略如何使设施的建设更有效地解决城市问题，韧性思维的引入则恰恰补足了这一问题，通过韧性思维的研究方式解决海绵城市建设存在的问题，从根本上识别城市各层面的脆弱性、分析城市潜在风险，从而使建设方案更合理、更科学、更具针对性，使城市在面对水环境、水资源、水生态等相关问题时，能够具有恢复城市水系统平衡与稳定的能力。

#### 引入韧性思维的作用

引入韧性思维能够以新的研究角度解决海绵城市建设中存在的各种问题，从宏观角度构建更具稳定性的城市生态格局，解决系统性差、研究尺度单一的问题；从中观尺度建立具有应对雨洪风险能力的海绵城市建设体系整体框架，使海绵城市建设与其他城市子系统间的专项规划高度协作，增强建设项目整体性，不再盲目依赖设施解决水系统问题；从微观尺度建设海绵城市设施，同时部署、推进海绵城市建设的实施与管理，增强海绵城市经济与管控方面的稳定性。

### 韧性思维在海绵城市规划与建设中的应用

#### 构建具有生态韧性的海绵城市

城市的高速发展不仅使城市水系统发生了改变，同时也破坏了城市整体的生态韧性，使城市在遭受极端天气干扰时难以维持城市生态系统的稳定性。以重塑城市生态韧性的角度进行海绵城市建设，可从宏观尺度将城市、区域或流域作为研究对象，加强城市绿地系统、水系统等城市子系统面对外界干扰的恢复力，对其水生态、水环境、水安全进行系统化规划，识别其斑块、基质、廊道等生态本底的潜在风险和脆弱性，构建海绵城市生态格局，优化绿地系统。

#### 建设具有工程韧性的海绵城市

海绵城市系统对城市水系统的改善不仅仅依赖于低影响开发设施的建设，从多方面加强城市工程韧性，提升城市灰色基础设施承载能力，对城市防洪排涝系统进行完善、提高市政雨水管网的重现期，加强海绵

城市建设与市政系统之间的“灰绿结合”，使低影响开发设施与市政管网系统共同保障城市功能在应对极端天气时的稳定性。同时为避免建设项目碎片化，需对海绵城市的建设指标进行再分解，针对用地性质及用地状态，设计可推广、可复制的海绵城市指标方案，以此对海绵城市建设工程起到引导和管控作用。

### 开发具有经济韧性的海绵城市

海绵城市建设投资高昂，中央财政拨款与地方政府财政补贴无法填补海绵城市建设的巨大资金缺口，财政部下发的通知中提出对海绵城市建设试点采用PPP模式达到一定比例的，按照中央财政对试点的专项补助奖励10%。这种奖励制度对海绵城市建设选用PPP模式有一定促进作用，使部分试点利用PPP模式筹集海绵城市建设资金，但目前的合作规模与资金投入仍无法满足全国2020年建设目标的资金需求。若想吸引更多社会资本参与到海绵城市建设中，则需保障投资商能够获得稳定收益回报，提高海绵城市建设的经济韧性，使其不仅仅依靠政府购买服务而获利，因地制宜地制订海绵城市相关产业策划方案，吸引更多资金投入，为海绵城市建设提供更稳定的投资资金来源。

### 建立具有社会韧性的海绵城市

海绵城市提升社会韧性的方式体现在对管控机制的完善方面，通过定义不同阶段的管控主体、技术控制及管理实施三方面内容，来确保海绵城市体系建设过程有明确的部门负责、有完善的技术保障、有健全的制度管控，保障各职能部门间共同运作及对突发情况迅速响应，以此提升海绵城市建设的社会韧性。建立健全的海绵城市规划管控体系是海绵城市建设能够顺利推进的重要保障，在规划阶段需要重点进行技术控制，将规划设计成果转化为城市管理语言；在运营阶段加强管理实施管控，建立海绵城市信息管控平台，建设海绵城市信息化管控平台，实现监控、评估、模拟、决策全程管控。

### 韧性思维引导下的济西推广区海绵城市规划构建

#### 项目背景及现状

济南市于2015年入选国家首批海绵试点城市，在中部选定面积为39平方公里的老城区作为海绵城市建设试点区，此次规划范围则是在济南市西部选定了济西湿地、峨眉片区及西客站片区作为海绵城市建设推广的示范区域。本次概念规划是海绵城市顶层设计，是济西推广区海绵

城市规划建设实施过程中的统领性规划，为后续的控制性详细规划、修建性详细规划、施工管理、验收与维护等工作提供顶层定位与技术支撑。

推广区地势呈南高北低(图1)，整体地势较平坦(图2)，主要土壤以褐土、潮土为主，推广区内气候四季分明、降水集中，径流量年际变化幅度大。推广区内的河湖水系较多，少数河道岸线生态性不佳，部分水体及地面雨水径流污染较为严重。推广区属城市新区，因此推广区整体绿地和水体的下垫面(图3)比例超过40%，整体温度较老城区低8℃-10℃(图4)，生态基底良好，但整体的径流控制率较低，雨水源头控制设施较为缺乏，同时非常规水资源的利用率较低。规划范围内的峨眉片区管网则尚未建设，西客站片区管网建设情况相对较好，但其管网设计重现期不足2年，部分管网存在不连贯、断头的问题，因此推广区存在一定的内涝隐患。

### 海绵城市概念规划方案的生成 构建海绵城市规划体系

本次规划为了避免出现方案系统性差、研究尺度单一、建设项目碎片化等一系列问题，将海绵城市规划体系的构建分成了三个层面，分别为海绵城市生态格局规划、海绵城市系统规划、海绵城市建设引导(图5)。在这三个层面加入韧性思维的引导，解决传统海绵城市规划与建设过程中的问题，使海绵城市建设体系更具韧性。

#### 海绵城市生态格局规划

传统的海绵城市规划仅关注建成区内的海绵城市建设，但是城市周围山、水、林、田、湖等环境是海绵城市建设的重要生态保障。因此规划方案提出海绵城市生态格局概念，将城市周边流域与生态本底纳入本次规划范围，运用景观生态学的“基质-斑块-廊道”的结构分析法，构建济西推广区

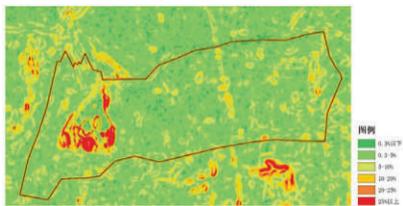


图1 坡度分析

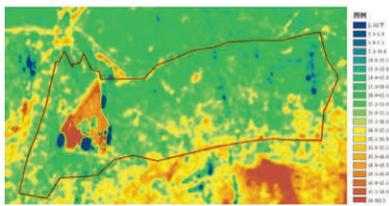


图2 高程分析



图3 植被覆盖率分析

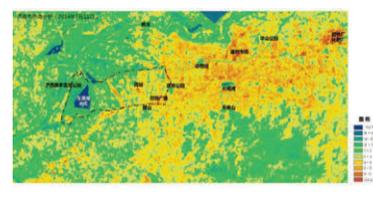


图4 济南市热岛分析

“清河玉水—田·园·城”的海绵城市生态结构。其中，清河玉水指由小清河和玉符河组成的海绵城市生态廊道。田、园指由农田和济西湿地公园组成的海绵城市生态基质。城指由城市绿地组成的海绵城市生态斑块。

方案从宏观角度探索针对海绵城市生态廊道、基质等的保护策略，提出加强济西湿地公园和玉清湖水库的生态保护，加大对污水排放的监管力度，保障卧虎山水库、腊山河分洪道的调蓄能力；合理利用农药化肥、提高农民的环保意识、完善农村基础建设等。

同时，规划方案将整个济西推广区看作一个整体系统，从宏观尺度构建海绵城市生态格局，提高城市的生态韧性，加强推广区内各生态要素之间的联系及其保护措施，并为后续方案设计确定海绵城市建设体系的宏观空间格局。

#### 海绵城市系统规划

海绵城市系统规划着重关注在海绵城市概念规划与城市各系统规划之间的协同作用，包括对城市绿地系统、城市水系统及城市市政雨水水系统的优化及各系统间的灰绿结合。

#### 其一，城市绿地。

济南市的总规、控规对城市绿地规模不断作出调整。目前，济西推广区范围内城市绿地面积占城市建设用地比例从总规的4.34%调整至西客站片区控规中的11.7%。城市绿地规模的这种动态调整成为一种提升城市生态韧性的过程，使城市生态更具有稳定性。在本次规划中，使用ARCGIS的DEM数据对济西推广区的洼地情况进行了分析（图6）。城市低洼处通常为雨水径流易汇聚区，属于城市内涝风险性大的区域。因此，方案在识别出的城市地势低洼处增设5处海绵型绿地，总面积为4.5公顷，同时建议调整绿地位置1处，并建议在处于低洼处的中建锦绣城和兴福佳苑

重点进行海绵改造（图7）。方案对整个推广区的新增绿地及总规规划绿地的海绵型绿地种类进行优化和布局，使整个推广区的海绵型绿地设置更具整体性，减少建设项目碎片化的问题，同时对不同绿地内的植物选用进行分类研究，提升绿地在应对洪涝、干旱、径流污染等突发情况时的恢复能力。

#### 其二，城市水系。

由于对济南市总规、控规和海绵城市专项规划中水域规划的解读结果以及现场调研的内容存在诸多冲突与问题，本次规划对水域进行重新梳理，控制水域面积率为22%。

推广区内部分河岸采用生态加固护坡，但护坡底部则使用了硬质形式，硬质底坡将影响水系的自净能力，破坏水系应对水体污染时的恢复能力，影响水系内部生物多样性，降低其生态韧性，因此此次规划使用生态底坡代替石砌硬质底坡，有利于改善下游水质。同时规划提出点源污染和面源污染控制措施、排污口截留措施；规划水体生态处理措施，通过生态护岸、表流湿地系统、跌水曝气系统和水下生态系统改善河流水质；规划污水厂尾水湿地净化措施，在玉符河下游段南岸规划25公顷人工湿地公园，处理污水厂尾水，改善河道水质，提高水体自净能力和恢复水系生态平衡能力。

#### 其三，市政给排水系统。

分析、识别推广区内市政系统的现状情况与问题，对雨水管网系统进行更新，重新梳理污水管网断头问题并提出解决方案，提升中水管网的中水回用率，使市政管网与海绵城市建设体系相辅相成，提升城市在面临内涝风险、水体污染及水资源匮乏时的应对能力。

#### 海绵城市建设引导

在规划海绵城市建设引导时，对《济南市海绵城市专项规划》进行了进一步解读与分析，可发现其中的径流控制分项指标不适用于本次规划，因此本次规划提出了一套全新的径流控制指标计算方法（图8），对设计目标和指标进行合理分解，计算推广区的4个流域中各类建设用地的

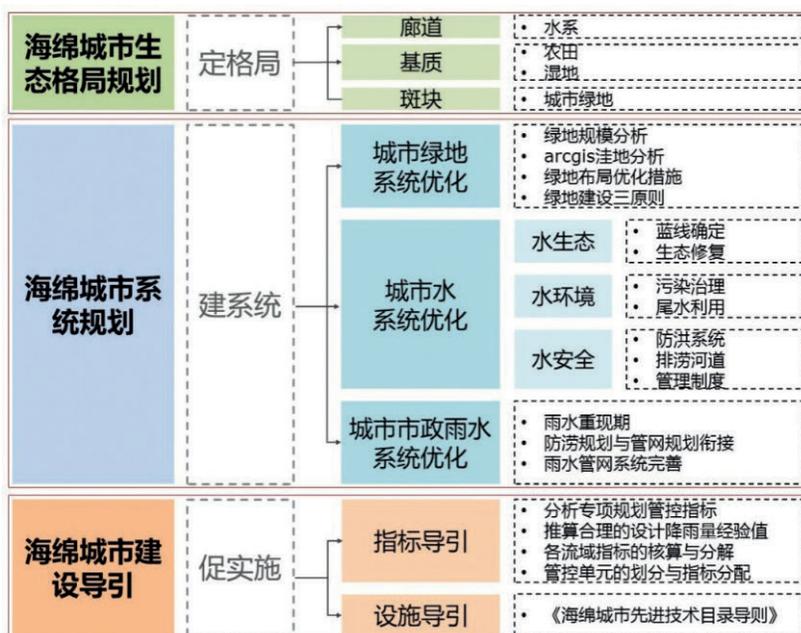


图5 海绵城市规划体系构建思路

流总量控制率，依据多种规划将推广区范围划分为多个管控单元，分别计算各个管控单元的年径流总量控制率，以此将指标落实到控规层次。这一计算方法使海绵城市建设的指标从宏观层面分解至中观和微观的层次，使每一管控单元的控制指标相对独立，避免在进行海绵城市规划时项目建设的碎片化。可将其单元内的海绵城市建设项目进行统一设计及管理，充分考虑整个单元内各项目间的联系与指标分配，提高指标落位的科学性及各单元内部的工程韧性。同时该方法也更便于衔接推广区海绵城市后续实施方案，可进一步深化各管控单元建设用地的径流控制指标，实现各单元的独立径流监控。

### 发展海绵城市延伸产业

发展海绵城市延伸产业能够为海绵城市建设带来一定的经济效益，带动推广区内多元化的产业发展。此次规划利用济西推广区内的自然资源及海绵城市建设项目的景观化设计，同时结合规划业主所主营的六大集团业务（包括生态旅游产业、文化产业、健康产业等），提出发展济西海绵城市文化旅游和文化会展两大产业。

### 海绵城市文化旅游

济西推广区海绵城市旅游资源主要分为自然资源和人文资源两大类。人文资源包括大剧院、科技馆、印象济南等，将现有旅游资源与海绵

城市建设项目相结合，共同打造三条独具特色的海绵城市文化旅游线路（图9）。

自然生态线路全长48.6公里，主要串联海绵城市生态格局中的河流、湿地、湖泊、山体等生态资源，整合济西国家湿地公园、沿黄河休闲度假区、小清河自然景观带、玉符河自然景观带、兴济河自然景观带、腊山森林公园、济南森林公园，提供多样化的山水景观，开展大型城市运动休闲活动。

都市景观线路全长34.1公里，主要将城市公园、街旁绿地等绿地资源和河流、沟渠等水系资源与海绵技术相结合，既起到沟通自然生态线路与会展乐活线路的作用，又能全面展示城市绿廊景观与海绵系统，形成支撑济西推广区都市空间的旅游线路。

休闲乐活线路全长8.8公里，主要整合推广区核心发展区域，将海绵城市理念与技术都市商务活动、休闲文化、会展文化等内容中应用展现，使得城市更具都市休闲吸引力。

### 海绵城市文化会展

规划选择了三个相连的独立管控单元作为海绵城市文化会展区域，其用地性质包括商业用地、居住用地、文化用地等，部分用地为未建用地，该区域包括了印象济南、中央公园、腊山河等用地。区域内采用多种海绵先进技术进行建设改造，生动地展示海绵城市建设方法和成果，同时结合会展项目，提升海绵技术的推广力度。

### 建立海绵城市管控机制

济西推广区海绵城市建设的规划管控体系包括组织保障、技术控制、管理实施三个方面。主要管控阶段包括从规划到建设实施的全周期过程，以此保障在海绵城市建设过程中的任何阶段遇到问题时，有明确的部门负责、有牢靠的技术保障、有对应的法规，迅速应对和解决问题，保障海绵城市建设体系的

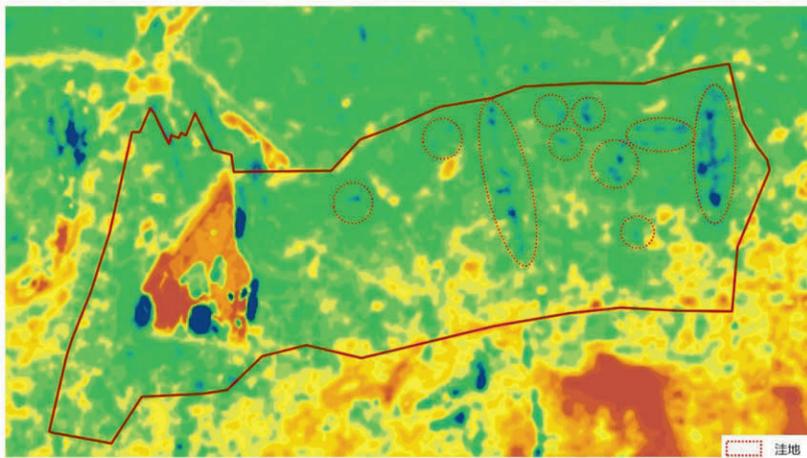


图6 洼地分析



图7 绿地布局优化

