

生态韧性视角下的城市水环境导向的城市设计策略

陈天^{1,2}, 李阳力¹

1. 天津大学建筑学院, 天津 300072

2. 天津大学建筑学院城市空间与城市设计研究所, 天津 300072

摘要 暴雨后城市中出现了大量积水导致其系统功能瘫痪, 提高城市水系统的生态韧性对巩固城市系统的稳定性具有重要作用。采用文献研究、综合分析等方法, 总结了国内外城市韧性的研究进展以及在水生态管理上的实践经验, 提出了现有韧性研究的不足; 在生态韧性的视角下, 构建了城市水生态韧性评价体系和城市水环境导向的城市设计技术体系; 提出了韧性城市设计策略, 探索了生态韧性视角下城市水环境导向的城市设计实现途径。

关键词 气候变化; 水系统; 生态韧性; 评价指标体系; 城市设计

城市存在于自然与人共生的环境中, 城市系统时刻面临着自然或人为活动的影响, 这些影响可视为对城市生态系统的扰动。目前, 气候变化成为全球关注的问题, 气候变化意味着城市需要具备可应对未来发生的不可抗灾害的能力, 例如城市在暴雨过后出现大量积水现象, 造成城市系统功能瘫痪。洪涝灾害表象上是因为人类活动造成的气候变化引起降雨量增多, 致使暴雨频发; 然而其产生的根本原因是由于作为承载体的城市环境的生态韧性较低。

城市设计是在宏观背景分析的基础上进行综合的三维控制与引导, 包括区域、城市、街区等多个层面的内容。生态城市设计是应对全球气候变化的主要策略, 其中水资源与水循环的有效保护是缓解气候变化

的重要环节之一。

中国作为处于发展转型期的国家, 城市发展导致生态环境压力进一步增大^[1]。城市河流湖泊系统是城市环境的重要“生态本底”, 随着区域与城市的不断发展, 水系统受到人类城市建设的影响越来越大^[2]。城市群进入新的发展高峰, 以水生态环境为代表的城市与经济增长的矛盾也逐渐凸显。不同层次的城市规划策略对不同的区域、街区的水系统规划有着不同的指导作用。

本文立足于提高城市水生态韧性, 对水生态韧性评价体系进行研究, 构建水环境导向的城市设计技术体系, 提出城市设计策略, 探索生态韧性视角下城市水系统规划的实现途径。

收稿日期: 2018-10-31; 修回日期: 2019-02-22

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFC0704603); 国家自然科学基金项目(51608357); 天津市科技计划项目(17ZLZXZF00940); 天津市哲学社会科学规划年度项目(TJYY17-006)

作者简介: 陈天, 教授, 研究方向为城市设计及其理论、城市形态学、居住区规划, 电子信箱: chentian5561@vip.sina.com

引用格式: 陈天, 李阳力. 生态韧性视角下的城市水环境导向的城市设计策略[J]. 科技导报, 2019, 37(8): 26-39; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.08.004

1 目前城市设计的发展趋势

随着城市设计理论与实践的不断发展,城市设计的研究发展不断深化,研究方向也逐渐清晰。童明^[9]对国内外城市设计的概念及内涵进行继续总结,提出当代城市设计更多指向的是一种系统导向的城市设计观念。崔愷^[4]提出应该在不同的维度、层级和视角下对城市设计进行研究。城市设计的研究也逐渐扩展到了各个方面,目前国内外对城市设计的研究可以总结出以下主要研究方向:城市设计制度精细化研究^[5]、以人为本的城市设计^[6]、交通视角下的城市设计^[7-8]、低影响开发下的城市设计^[9]、存量更新的城市设计^[10-11]、应对气候变化的城市设计^[12]、绿色城市设计^[13-14]、新技术辅助下的城市设计^[15-16]等。

新技术下的生态城市设计是目前城市设计的主要研究方向。定量分析对城市设计方案的制定提供了科学的依据,定性研究的深入为新技术下城市设计定量分析提供理论依据。虽有部分研究者以绿色生态作为切入点,在宏观的尺度下对生态城市进行了概括性的研究,但以生态系统中的水系统作为研究切入点的还较少,因此尝试从水环境导向的城市设计进行研究,为城市设计提供新的视角。

2 国内外水生态系统管理经验

由于城市形态、水文条件、气候条件及经济水平等存在差异,不同国家、地区均有因地制宜的水生态系统管理的理论成果。目前,全球范围内较为先进的水生态系统管理理论主要有美国的低影响开发(low impact development, LID)、英国的可持续城市排水系统(sustainable drainage systems, SuDS)、澳大利亚的水敏性城市设计(water sensitive urban design, WSUD)、新加坡的“活跃、美丽、洁净水源”(active beautiful clean waters, ABC Waters)及中国的海绵城市。

LID最初被运用在美国马里兰州,采用的针对微观尺度控制、分散式设施污染源头控制的城市规划设计方法^[17],旨在缓解日益增加的不透水表面带来的影响。LID的应用减轻了城市雨洪基础设施的压力;增强了其适应气候变化的韧性。与传统的城市雨洪管理模式相比,LID促进水循环可回到开发前的状态^[18]。SuDS是英国为城市可持续发展探索出的一种新方法,对水质量、

环境舒适性和生物多样性进行统筹考虑^[19],形成“可持续城市排水系统”,从而解决地表水排水问题。WSUD一词最先出现于Mouritz发表的可持续城市水系统学术论文中,1994年,在西澳大利亚州的《水敏性城市(住区)设计规划管理准则》(《Planning and management guidelines for water sensitive urban design》)政府报告中被提出^[20]。WSUD是面源污染控制结合土地利用、雨洪汇集源头控制、径流量控制的综合方案,同时发挥出景观美学、水生态系统、休闲娱乐等综合价值^[21]。“活跃、美丽、洁净水源”(ABC Waters)是新加坡公共事业局借鉴WSUD的思路,于2006年提出的热带地区的水生态系统管理项目。研究者从供水、水质量管理和城市设计、基础设施的角度^[22]研究新加坡的水资源管理策略,不同于LID、SuDS和WSUD,ABC Waters增强了市民、政府部门和公司之间的协作,鼓励市民参与和监督,建立了良好的培训体系和专业技术认证体系^[23]。

城市发展离不开水生态系统的支撑,中国古代就注重城市与水的和谐关系^[24],1990年,钱学森提出山水城市^[25],延续了中国传统的山水自然观、天人合一的哲学观,由此产生了现代城市山水环境理念下的城市设计^[26]和基于水环境保护的城市设计^[27]。海绵城市是当前中国城市发展中最常用的城市雨洪管理概念^[28],研究者利用多种LID措施进行海绵城市规划,模拟均显示出较好的海绵城市建设效果^[29-30]。

国际上对既有水生态系统管理研究及实践(如LID、SuDS、WSUD、海绵城市)大多侧重于雨洪管理以及对污染的控制,而水生态系统管理更加侧重于抵抗气候变化带来的影响。

目前,在韧性的视角下研究较为单一,实证研究较为微观,缺乏从宏观的城市群流域层面、中观的城市面对水生态韧性进行考虑。因此,可从韧性的“抵抗-恢复-适应”3个环节进行综合研究。

3 韧性概念及发展演变

3.1 韧性概念及理论演变

1973年,加拿大生态学家Holling^[31]首次提出“生态韧性”的概念。在韧性研究中影响最大的是Folke总结的3种韧性观点(表1),包括工程韧性、生态系统韧性及社会-生态韧性^[32]。由于中国学者早期将“resilient city”翻译为“弹性”^[33],随着韧性研究的进展,逐渐发现翻译

为“弹性”不能很好地囊括“resilience”的研究内容,学者开始了对“Resilience”的具体翻译的辨析^[34-36],并且在后

续的研究中,越来越多的学者在韧性研究中选择了“韧性”作为“resilience”的中文翻译^[37-38]。

表1 韧性概念的3种观点对比
Table 1 Comparison of perspectives on the concept of resilience

韧性观点	工程韧性	生态系统韧性 ^[39]	社会-生态韧性
理论框架	韧性=抵抗力+恢复	韧性=容忍力+重组	韧性=吸收+恢复+发展
平衡状态	单一平衡状态(可预知)	多重平衡状态(不可预测和不确定)	适应性循环的平衡状态(不确定)
关注点	恢复与保持稳定	坚持与鲁棒性	适应能力、可变换性、学习、创新以及预测能力
评价标准	恢复到以前稳定状态的速度	从一个平衡转换到另一种平衡状态前可承受的扰动	在保持平衡状态不变的情况下,系统能吸收的扰动量;系统能够进行自我重组的能力;系统建立和提高学习和适应能力的程度 ^[40]

3.2 韧性的研究发展

韧性概念提出后被广泛用于环境^[32]、灾害研究与实践中^[41-42]。有学者对零售业的空间进行了韧性研究,如Kärholm等^[43]提出了针对零售区域的韧性空间规划;Fernandes等^[44]研究了规划政策的制定对零售业的韧性恢复的影响。

韧性规划与可持续规划的有着明显的不同^[45],在可持续发展的过程中,政府会进行干涉或者调整,而韧性是作为城市系统的一部分,更注重韧性规划本身的自我调节^[46]。Jabareen^[47]提出了由脆弱性分析、防灾、城市管理、不确定导向的规划4个主要部分构成的韧性城市规划框架(图1)。Saunders等^[48]、Alessandro^[49]以防灾作为切入点,对韧性成熟时进行了研究。刘堃等^[50]指出韧性是当今城市规划的发展大势所趋。吴浩田等^[51]总结了城市韧性提升的总体策略和相关经验。黄晓军等^[52]初步建立中国韧性城市规划的概念框架。

Foster^[53]建立了包含准备韧性和表现韧性的框架,准备韧性包含韧性的评估和准备阶段,表现韧性包括响应和恢复阶段,国内外也有不少学者对韧性评价进行了研究。Frazier等^[54]、Sharifi等^[55]对城市韧性评价指标及体系进行了研究。Razafindrabe等^[56]、Prawiranegara^[58]、Lu等^[59]对城市社区的承受灾害自然韧性进行研究。国内学者吴波鸿等^[60]从强度、刚度和稳定性3方面对韧性城市恢复力进行模型构建并评价;刘江艳等^[61]提出涉及城市生态、经济、工程和社会韧性层面的韧性评价指标体系;郭小东等^[62]提出了提高韧性城市建设的主要措施;石婷婷^[63]提出了构建了新常态下上海建设韧性城市的战略构想与策略。

城市韧性的研究已不限于最初的生态系统研究,扩展至气候变化适应性、自然灾害及风险管理、工程、能源系统、经济、管理及其他方面。目前,城市韧性研究的焦点仍然是解决气候变化和灾害引起的扰动问题,研究的具体内容主要涉及韧性理论框架、评价指标系统、提升策略3个方面。中国对城市韧性的研究起步较晚,目前的研究基本处于韧性理念的引入阶段,尚未完全明晰与现有城市规划的关系,研究的深度和广度均有待拓展。已有研究关于城市韧性的框架包含经济、社会、空间、物质要素多方面内容,此类框架为城市韧性研究中的多学科协作指明了方向;同时部分研究对扰动作用于城市的基本过程和影响进行了系统化的梳理,为提出操作性较强的规划框架奠定了一定基础,体现了城市韧性由理论研究向实践应用转化的趋势。但当前研究多为城市韧性理论层面的宏观指导,缺乏对城市韧性中核心生态维度的深入研究。因此,尝试从生态韧性视角下入手,研究城市水环境导向的城市设计。

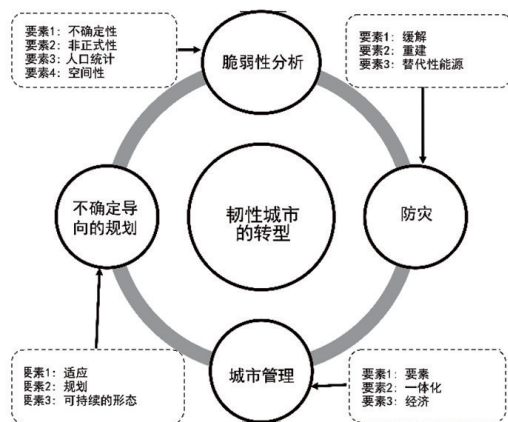


图1 韧性城市规划框架

Fig. 1 Framework of resilience city

4 韧性视角下的城市设计技术体系

韧性评价主要集中在宏观的城市韧性及微观的城市防灾韧性两个方面。目前,研究采用的较多的韧性概念是“社会-生态韧性”,从表1可以看出,“社会-生态韧性”包含吸收(抵抗)、恢复、发展(自我学习)3个环节。

4.1 基于PSR模型构建生态韧性评价体系

1993年,经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)提出了压力-状态-响应(pressure-state-response, PSR)模型以应对经济发展下的环境问题^[64]。PSR模型中的“压力”指人类活动对环境造成的影响,“状态”指环境的现状以及资源的质量和数量及资源随时间的变化情况,“响应”指从政府组织到个人对环境变化的反应速度^[65-67](图2)。PSR模型的逻辑可以总结为“发生了什么,是什么原因导致的,如何应对恢复并且加强以避免受到同样的损失”,PSR模型的逻辑多用于生态安全评价、环境评价等研究^[68-69]。结合“社会-生态韧性”的时间维度、PSR模型的研究逻辑与经济合作与发展组织提出的环境指标^[67],借助PSR模型构建水生态韧性评价体系(表2)。其中,P代表人类活动所引起的水生态系统的变化,如人类对自然资源的过度开发和温室气体的过度排放,城市扩张对水生态系统的压力增加等;S代表人类活动影响后的水生态系统的现状,如水域面积减少、水质降低、灰色基础设施的修建引起的水循环的改

变、人类活动造成的水污染加重等;R代表政府机构指定政策(包括制度建设、城市发展转型等)、企业改进技术以降低对水生态系统的影响、环保意识增强等。

通过建立水生态韧性评价指标体系能够提供良好的水生态韧性的分析框架,为城市设计策略的提出提供参考依据。

4.2 生态韧性视角下的城市设计技术体系构建

如何实现韧性生态城市设计,需构建一个可实施的城市设计技术体系(图3)。通过整理影响水生态韧性的因子,建立了水生态韧性评价指标体系,为后期基地调研定量分析提供评价体系理论支持。为提高韧性城市设计编制水平,结合水生态韧性评价体系中的影响因子,提出城市设计策略,作为指导韧性城市设计的发展目标及方向。在编制城市设计前的调研阶段,需收集区域、城市或街区的水生态韧性因子基础数据,借助数字模拟等城市规划新技术对调研区域进行定量分析。在城市设计编制过程中,依托分析结果,根据存在问题的程度,针对性地对城市设计进行量的调整,如在城市设计策略提出的基础上,确定具体的道路网密度、水网密度、绿廊密度等。

从韧性视角下的城市设计技术体系可以看出,其包含韧性视角下水环境导向的城市设计策略。为了使策略契合韧性视角的观点覆盖城市设计的宏观-中观-微观3个层面,需要结合影响韧性的吸收-恢复-发展能力的因子特征,从城市设计宏观-中观-微观3个层面提出针对性的策略。

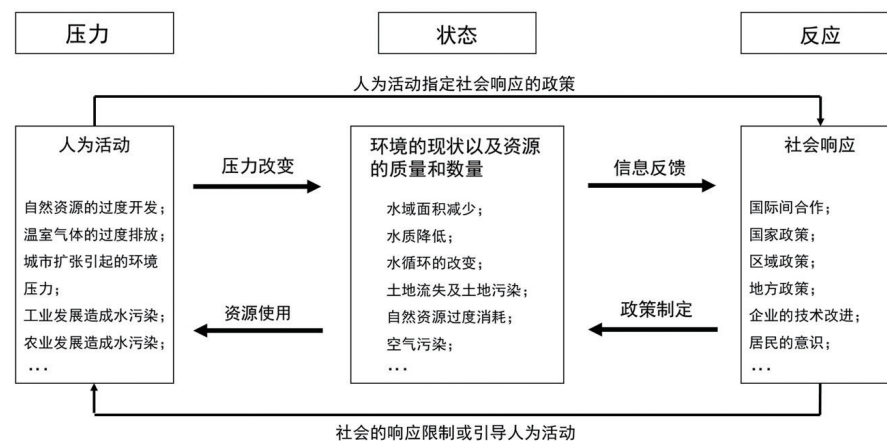


图2 PSR模型框架

Fig. 2 Framework of Pressure-State-Response

表2 水生态韧性评价指标体系
Table 2 Evaluation index system of water ecology resilience

目标层	准则层	要素层	指标层	与水生态系统关联性
水生态韧性评价指标体系	压力:造成水生态环境压力的指标	自然环境压力	年降水量/($\text{mm}\cdot\text{m}^{-2}$)	一定范围内正相关
			年度极端降水事件变化率/%	负相关
			年气象灾害次数/ a^{-1}	负相关
			地形坡度/($^{\circ}$)	一定范围内正相关
			植被覆盖率/%	正相关
		自然资源开发及利用	石油需求量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关
			年煤炭需求量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关
			年天然气需求量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	正相关
			年木材需求量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关
			年水电需求量/($\text{kW}\cdot\text{h}$)	正相关
			年核能需求量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	正相关
			年可再生能源使用率/%	正相关
			年常年地下水超采区面积率/%	负相关
		温室气体排放	年用水量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关
			温室气体总排放量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关
			私家车保有量	负相关
			公交车数量	正相关
			公交车线路长度/km	正相关
			地铁线路长度/km	正相关
		城市发展	公共公交覆盖率/%	正相关
			建成区面积/ km^2	一定范围内正相关,超过后负相关
			城市建筑密度/%	一定范围内正相关,超过后负相关
			开放空间率/%	正相关
			不透水地面占城市地表面积率/%	负相关
			人口数量	负相关
			人口密度/ km^{-2}	负相关
			城市地下空间开发率/%	负相关
			容积率超过2.0的地块占建成区面积比例/%	负相关
			硬质岸线占城市区段河道(湖、海)岸线比例/%	负相关
			滨水区绿地占总滨水区面积比/%	正相关
			绿道面积强度/($\text{km}^2\cdot\text{km}^{-2}$)	正相关
			绿道长度强度/($\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$)	正相关
绿化率/%	正相关			
工业发展	城市工业用水量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)		负相关	
	工业用水利用率/%	负相关		
农业发展	农业灌溉用水量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关		
	农业用水利用率/%	负相关		
其他	城市生活用水量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	负相关		
	生活用水利用率/%	负相关		
	环境保护投入占GDP的比例/%	正相关		
状态:生态环境现状的指标	水	河流流域表面积/ km^2	正相关	
		地表水质/类	负相关	
		地下水水质/类	负相关	
		地表水与地下水总流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	一定范围内正相关	
		水生态系统中污染物含量/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	负相关	

表2 水生态韧性评价指标体系(续)
Table 2 Evaluation index system of water ecology resilience (continued)

目标层	准则层	要素层	指标层	与水生态系统关联性
水生态韧性评价指标体系	状态:生态环境现状的指标	水	水生态系统中污染物含量/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	负相关
			海水倒灌和海水入侵后水中氯化物含量/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	负相关
			近10年发生5年、20年、50年、100年一遇洪水频率	负相关
			洪水淹没范围/ km^2	负相关
			近10年水域面积变化率/%	变化为正时正相关
			近10年湿地面积变化率/%	变化为正时正相关
		空气	空气质量优良天数百分比/%	正相关
			年平均空气污染指数/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	负相关
			近10年空气污染指数变化率/%	一定范围内正相关
			空气中温室气体含量/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	负相关
	土地	近10年土地退化面积/ km^2	面积为负时正相关	
		近10年内植被面积变化率/%	变化为正时正相关	
		土壤污染物含量/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	负相关	
	其他	近50年全球/地方年均气温异常增长值/%	负相关	
		城市-郊区日均温差/ $^{\circ}\text{C}$	负相关	
		大于等于 35°C 高温天数/d	负相关	
		极端暴雨天数/d	负相关	
		小于等于 18°C 低温天数/d	负相关	
		水系结冰天数/d	负相关	
	反应:社会对已发生状况的响应	制度建设	全球的环境保护多边协议	正相关
国家层面的环境保护法律法规			正相关	
管理职能部门数量			负相关	
流域水环境保护法律法规			正相关	
流域水环境保护规划			正相关	
地方性水环境保护法律法规			正相关	
地方性水环境保护规划			正相关	
鼓励企业进行低污染技术创新的政策及奖励条例			正相关	
生态补偿占GDP百分比/%			正相关	
水生态系统保护投资在GDP占比变化/%			正相关	
技术改进	生态城市设计的水专项研究	正相关		
	水生态系统研发重点研发项目	正相关		
	水生态系统研发重点研发基金/元人民币	正相关		
	企业投入环境保护的资金量/元人民币	正相关		
	城市污水处理率/%	正相关		
	水资源回收利用率/%	正相关		
	雨水利用率/%	正相关		
	绿色建筑占总建筑数量百分比/%	正相关		
	屋顶绿化占总建筑屋顶面积比/%	正相关		
	透水铺装占总铺装面积比/%	正相关		
调蓄湖面积/ km^2	正相关			
环保意识	市民文盲率/%	负相关		
	环保知识普及率/%	正相关		
	垃圾分类处理率/%	正相关		

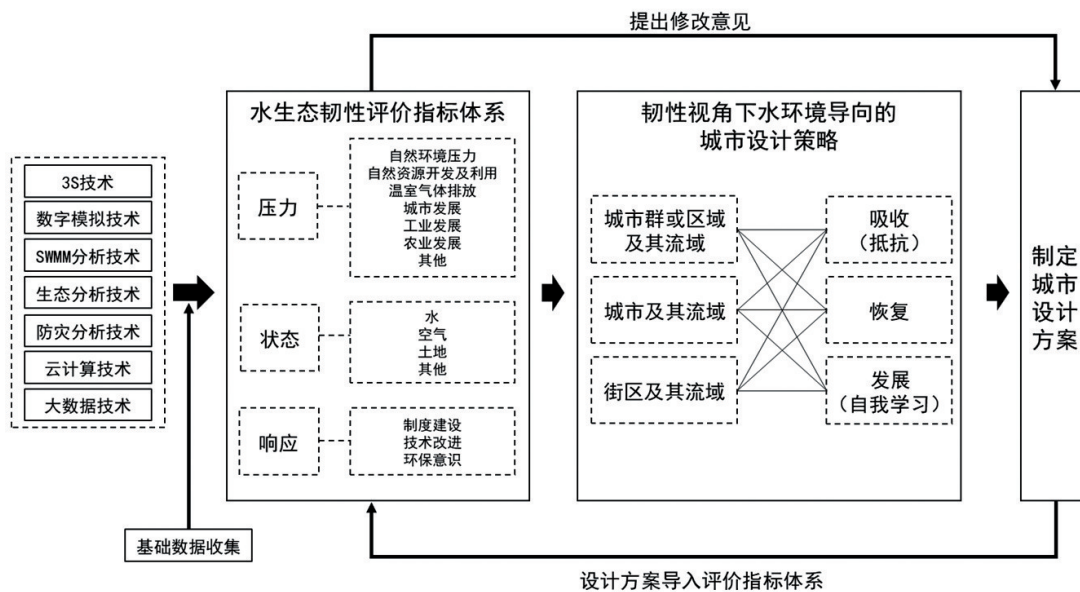


图3 韧性视角下的城市设计技术体系

Fig. 3 System of urban design from the perspective of resilience

5 城市水环境导向下的城市设计策略

虽然韧性的内涵具有过程性,但吸收-恢复-发展的影响因子也同时存在着互通性,例如通过规划设计调蓄湖增加城市抗内涝的能力;提升了调蓄湖旁的生物多样性,增强了城市水生态系统的恢复能力;平时能够作为市民休闲的场所,达到平灾两用的功能。因此,在进行城市设计时不能把吸收-恢复-发展的3个阶段分开,应该是通过城市设计的手法促进韧性的3个环节的能力统一提升,提高区域、城市、街区的综合水生态韧性。从城市设计的角度看,城市设计包括了区域、城市、街区等多个层面的内容,区域生态条件是城市发展的基础,而城市是区域发展的核心,街区是居民最直观感受城市品质的元素,区域、城市、街区相互依存,缺一不可。提高区域生态环境,为城市发展提供了良好的基础,进而提高街区人居环境品质。因此从区域-城市-街区3个层面分别提出提高水生态韧性的城市设计策略。

5.1 生态韧性视角下的区域及其流域的城市设计策略

从城市设计的宏观层面来看:一方面,需要把视点放在区域的流域上,区域的流域是城市发展的主要生态载体,为城市提供可使用的水资源及水生态景观;另一方面,城市的发展也对区域流域水生态系统制造压力,例如海河流域是京津冀地区的重要水资源,管理

权条块分隔^[70]、缺少制度的约束及保护规划的指导、地区经济发展不平衡、部分企业违法排污等海河流域水污染的主要成因。因此,从流域保护、城市群规模、新城选址3个方面提出策略。

1) 流域保护。上游城市对流域的过度污染会影响下游地区的水质与水量。保护流域的整体水生态系统对区域的可持续发展起着至关重要的作用。减少职能部门数量,集合管理资源,避免管理条块分割。在国家组建自然资源部和生态环境部的背景下,制定更详尽的流域水环境保护法律法规与流域水环境保护规划,约束和控制流域周边的城市开发建设;对流域内城市按照排污总量收取生态补偿金额,用以水生态修复资金投入;在主要河流域周围规划多圈层保护生物多样性^[71](如伊利湖西侧),对进入河流水系的水进行过滤,避免城市活动所产生的污染物直接排入(图4);对区域生态承载力进行研究,确定区域内的城市群规模。

2) 城市群规模控制。流域内建成区通常是连绵成片,城市建成区面积过大会占用原有植被、污染地下水系、减少生物多样性,对水生态系统造成很大压力。城市设计应根据实际情况控制城市群发展规模,引导城市群空间结构发展。紧凑城市理论中的高密度开发、混合土地利用和优先发展公共交通可以引导城市规模的发展,例如美国五大湖之一伊利湖畔的辛辛那提,根据对人口进行预测,结合区域流域、野生动物活动区

域、国有土地等情况,利用紧凑城市发展理论,划定了2050年的城市增长边界(图5)^[72]。从全球范围看,中国城市的土地利用模式属于高密度开发模式,对土地利用模式也可采用将城市商业、住宅与公共交通相结合的公共交通为导向的开发(transit-oriented development, TOD)发展模式。

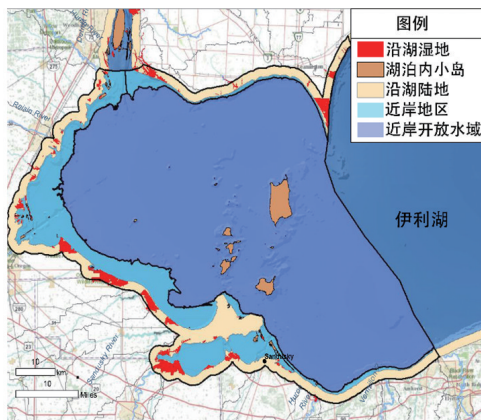


图4 伊利湖西侧生物多样性保护
Fig. 4 Biodiversity conservation of Lake Erie

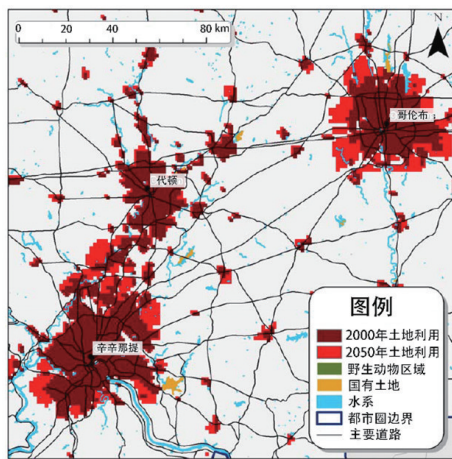


图5 辛辛那提紧凑城市发展边界
Fig. 5 Urban growth boundary of Cincinnati

3) 新城区选址。新城、新区的选址需要考虑地势、地质及流域的洪水淹没区。应尽量选取地势较高、水文条件较好^[73]且不会过度影响原有水生态系统的地方(与原有湖泊、湿地等水生态系统保持一定距离),避开容易遭受洪水的区域,降低受洪水淹没的危害,提高新区的城市水生态韧性。

5.2 生态韧性视角下的城市及其流域的城市设计策略

城市是人类生活的主要聚集地,中国的快速城镇化对水生态系统造成一定程度的破坏,城市出现了生

态网络不完整、城市交通堵塞、汽车尾气导致的空气污染严重、区段河道硬化化导致的生物多样性降低等问题。

1) 城市生态网络构建。从空间来说,城市生态网络是不同节点通过廊道进行连接而形成的网络。城市生态网络应包括绿网与蓝网,在城市设计中,利用绿色廊道连接绿色斑块、蓝色廊道连接蓝色斑块,构成完整连通的蓝绿交织的城市生态网络(图6),为动物迁徙、生物多样性增加、城市微气候调节、能量转移提供廊道。同时规划调蓄湖系统,夏季暴雨时,在春秋季节常水位的基础上集聚雨水,降低城市内涝风险的同时生态涵养效益;冬季水位降至枯水位,结合冬季雪景布置滑冰、捉鱼、赏雪等游玩功能,为游客提供丰富的冬日活动,达到平灾两用(图7)。



图6 蓝绿交织的城市生态网络
Fig. 6 Urban ecological network

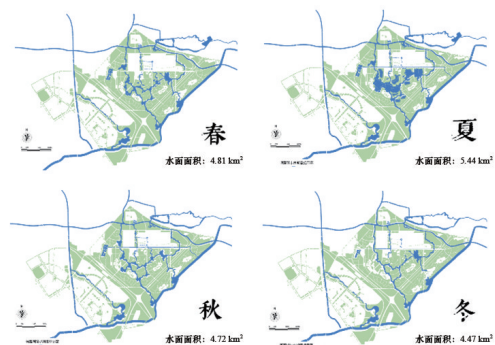


图7 平灾两用的调蓄湖
Fig. 7 Storage lake

2) 城市公共交通。城市人口和规模的增长对城市交通的需求也越来越大,私家车的数量也在急剧上升。据天津市统计局数据显示,截至2017年,全市民用

汽车保有量 287.75 万辆,其中私人汽车 242.56 万辆。私家车的快速增长也造成了交通拥堵、空气污染、运输成本高、能源消耗高、水生态系统污染、经济增长受阻等问题。以德国为代表的发达国家开始重点发展以公共交通为主、私家车与自行车作为辅助的交通出行方式。中国也应该鼓励低碳的公共交通,综合地铁、轻轨、电车、普通公交巴士等交通方式,提高公共交通的覆盖范围。构建快捷高效的绿色交通体系,采取低能耗的交通模式和绿色化的交通能源。

3) 城市区段河道滨水区。在韧性视角下的滨水景观设计策略中,恢复和打造水系的软质岸线,从而保持和增强水系的收容性。在城市内滨水景观设计时,应取消硬质垂直人工岸线,恢复水体原有的生态岸线,并种植潮间带植物,以增强城市水系吸纳雨水的能力(图 8)。低水位时潮间带植物可裸露出水,有效防止落水等滨水安全事故的发生;平时水位低于亲水平台并局部覆盖潮间带植物,雨洪来临时达到高水位,水系淹没亲水平台,并在高于亲水平台的生态植被地带得到缓冲。

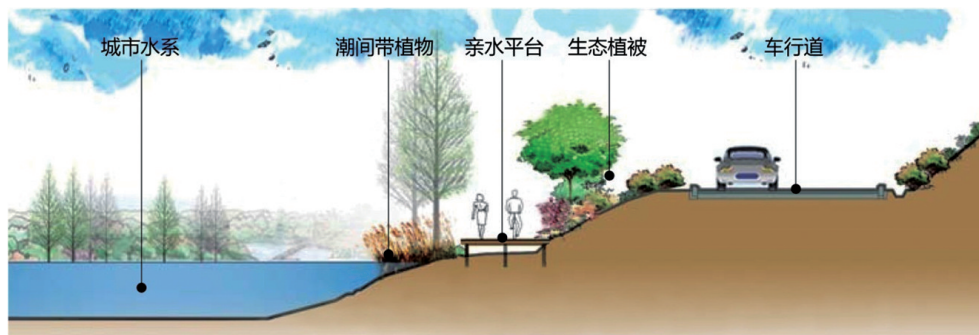


图 8 滨水景观设计断面示意

Fig. 8 Schematic of waterfront planning

5.3 生态韧性视角下的街区及其流域的城市设计策略

街区作为城市中的组成单元,为韧性城市的空间设计提供了具体的空间载体。在街道和街区层面中,街区内部水资源储存、绿色建筑设计及新能源利用是提高水生态韧性的重要手段。滨水景观是塑造城市景观特色的重要组成元素,街区水体是城市生态网络的重要细胞,道路交通体系是城市下垫面中雨洪径流的主要场所,也是产生水体污染的主要原因之一,这些空间元素都与城市水环境的建设紧密相关。

1) 街区内部水资源储存。街区中的现状水体应发

挥其尽可能大的自然调蓄能力,适当建设一些非改造性的亲水平台,尽量减少人为因素干预,但在保护范围内的水系应减少其附近的人类活动,采取一些措施进行保护,并定时监测水系的水质及其他一些指标,保证城市现状保护水系的良好状况。对于水质较为恶化的水系,应采取清理河道、在水体中种植具有净化作用的水生植物等措施。例如澳大利亚布里斯班植物园以塑造城市的景观特色,设置了大量蓄水单元(图 9),提升生物多样性的同时,增加了观赏性。

新规划水体应该有固定的水源和流向,在具体规



图 9 布里斯班城市植物园蓄水单元及生物多样性

Fig. 9 Biodiversity in Brisbane City botanic gardens

划设计中,应保证规划水体与自然河流的连接,形成活水^[74]。在城市公园或城市绿地中,规划水系可被适当放大,形成蓄水单元,既能为人们的休闲活动提供动态的景观,又能为城市小气候的改善作出贡献。

城市发展造成了不透水表面面积增加,一定程度上增加了城市受到洪涝灾害的风险,在进行水环境导向的城市设计时应提高透水表面面积,将原有的不透水人行步道升级为透水的人行步道,提高就地保水固水的能力,因透水步道具有过滤效果,能将污染物进行过滤,使渗入土壤的水不对地下水造成污染^[75](图10)。

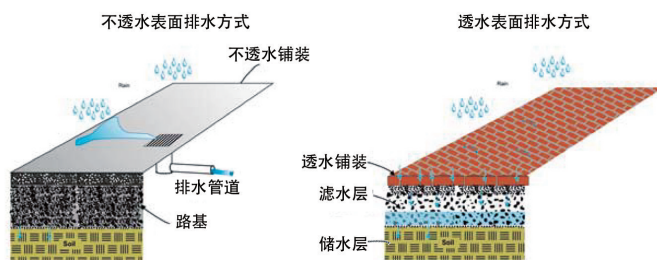


图10 不透水表面与透水表面的区别

Fig. 10 Difference between old style impermeable pathway and permeable surface

2) 街区绿地空间。由于街区的绿地空间分布广泛、数量大,在城市生态系统中起着至关重要的作用。街角公园是街区绿地空间的主要形式之一,为提高水生态韧性,在对城市进行更新或者新区设计时,需根据街区内部自然水系和雨水汇集区,在街角公园设置蓄水单元能够有效收集雨水,为绿地公园提供足够的景观用水的同时维护与复育街区水生态系统,提高水体生态涵养能力。选择街角公园植被时,应考虑不同气候条件下的绿色植被的养护与管理。如寒冷地区四季气候条件鲜明,绿色植物的生长条件极为苛刻,需要根据当地气候特点选取耐寒、耐旱、抗污染的植物。

3) 建筑空间组合形态与绿色建筑。风环境是常见的建筑室外物理环境之一,同时风环境与水气候关系密切。进行建筑空间组合形态规划设计时,尽量保证建筑与盛行风向保持一定的角度,避免建筑对风环境的影响。如以寒冷地区为例,按照风环境舒适度由高到低的排序,建议的建筑空间组合形态的围合方式依次为:平行式 > 不规则围合式 > 规则周边式 > 山墙错落式 > 斜列式^[76]。

传统建筑行业消耗了大量的自然资源和能源,为降低建筑行业对碳排放、环境污染、全球变暖的负面影

响,鼓励业主单位大规模建设绿色建筑,推广城市屋顶绿化及垂直绿化技术。绿色屋顶和建筑垂直绿化能收集雨水作为灌溉用水,降低植物生长所需市政用水量,提高雨水使用效率;减少二氧化碳含量,过滤空气、消除空气污染物,提供野生动物栖息地,增加农产品种植空间。屋顶绿化还可增加供市民活动的绿地空间,美化城市环境。在条件允许的情况下采用分布式能源(图11),达到在环境保护方面降低环境污染,实现降低排放的目标,也减少了能源长距离运输的损耗^[77],提高能源使用率。

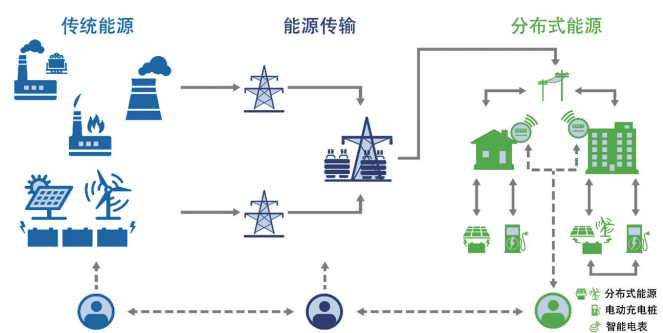


图11 分布式能源示意

Fig. 11 Distributed energy resources

6 结论

气候变化成为全球关注的问题,城市需要具备可应对未来发生的不可抗灾害的能力。水生态系统作为人类生存必不可少的生态本底,在水生态系统受到了人为活动的强烈干扰后,研究重点是如何提高水生态系统的韧性,使水生态系统具有较强的抗破坏的能力以及能够通过自我恢复到一个动态平衡。通过从韧性视角下的城市水环境导向的城市设计进行分析,构建水生态韧性评价指标体系和韧性视角下的城市设计技术体系,提出城市设计策略,拟通过对城市设计的研究提高城市水生态韧性。后续的研究将会以京津冀作为实证研究,收集现状数据,对京津冀地区的水生态韧性进行定量分析,为其生态城市设计编制提供建议。

韧性视角下城市水环境导向的城市设计有效实施需要各部门和专业间的高度协作。2018年,自然资源部的组建加大了对生态系统的保护力度,减少了不同职能部门之间的沟通不畅通。但是现阶段城市设计编制过程中,不同专业间的合作还不够紧密。在未来的生态城市设计编制过程中,也应尽量汇集城市规划、建

筑、风景园林、地理学、生态学、水利学等不同学科背景的专业人才,通过跨学科、跨专业的交流,共同完成科学性强的生态城市设计方案。

参考文献(References)

- [1] 周建军. 转型期中国城市发展转型特征与方向[J]. 规划师, 2011, 27(8): 75-81.
Zhou Jianjun. Chinese city development character and orientation in transitional period[J]. Planners, 2011, 27(8): 75-81.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 2016 中国环境状况公报[EB/OL]. (2017-06-05)[2018-10-28]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/>.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China environmental situation bulletin 2016[EB/OL]. (2017-06-05)[2018-10-28]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/>.
- [3] 童明. 项目导向还是系统导向:关于城市设计内涵的解析[J]. 城市规划学刊, 2017(1): 93-102.
Tong Ming. Project or system-orientation? The connotation of urban vs. city design [J]. Urban Planning Forum, 2017(1): 93-102.
- [4] 崔愷. 城市设计的维度和视角[J]. 建筑学报, 2018(4): 4-7.
Cui Kai. Dimensions and perspectives for urban design[J]. Architectural Journal, 2018(4): 4-7.
- [5] 侯鑫, 王绚, 丁国胜. 精明准则对我国城市设计导则编制的启示[J]. 国际城市规划, 2018, 33(4): 35-41.
Hou Xin, Wang Xuan, Ding Guosheng. The enlightenment of smart code for urban design guidelines in China[J]. Urban Planning International, 2018, 33(4): 35-41.
- [6] 王祝根, 昆廷·史蒂文森, 李晓蕾. 墨尔本人性化城市设计 30 年发展历程解读[J]. 国际城市规划, 2018, 33(2): 111-119.
Wang Zhugen, Quentin Stevens, Li Xiaolei. A review of Melbourne's urban design for people in the last 30 years[J]. Urban Planning International, 2018, 33(2): 111-119.
- [7] 吴亮, 陆伟, 于辉, 等. 轨交枢纽站域步行系统发展的模式、逻辑与机制——基于三个亚洲案例的比较研究[J/OL]. [2019-01-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5583.TU.20181029.0932.004.html>.
Wu Liang, Lu Wei, Yu Hui, et al. Modes, logic and mechanism of pedestrian system development in rail transit hub areas: Based on a comparative study on three asian cases[J/OL]. [2019-01-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5583.TU.20181029.0932.004.html>.
- [8] Blecic I, Cecchini A, Trunfio G A. Towards a design support system for urban walkability[J]. Procedia Computer Science, 2015, 51(1): 2157-2167.
- [9] 周林. 低影响开发理念下的生态城市设计——评《海绵城市设计:理念、技术、案例》[J]. 新闻与写作, 2016(11): 117.
Zhou Lin. Ecological urban design under the concept of low impact development[J]. News and Writing, 2016(11): 117.
- [10] 胡斌, 王思成, 吕元, 等. 基于城市设计视角的老旧火车站城更新设计策略[J]. 建筑学报, 2018(增刊 1): 140-143.
Hu Bin, Wang Sicheng, Lü Yuan, et al. Renewal design strategy of old railway station area based on urban design perspective[J]. Architectural Journal, 2018(Suppl 1): 140-143.
- [11] 杨震, 于丹阳, 蒋笛. 精细化城市设计与公共空间更新: 伦敦案例及其镜鉴[J]. 规划师, 2017, 33(10): 37-43.
Yang Zhen, Yu Danyang, Jiang Di. London detailed urban design and public space renewal[J]. Planners, 2017, 33(10): 37-43.
- [12] Gallinelli P, Camponovo R, Guillot V. City feel-micro climate monitoring for climate mitigation and urban design[J]. Energy Procedia, 2017, 122: 391-396.
- [13] 王建国, 王兴平. 绿色城市设计与低碳城市规划——新型城市化下的趋势[J]. 城市规划, 2011, 35(2): 20-21.
Wang Jianguo, Wang Xingping. Green urban design and low-carbon urban planning: Under the trend of new-type urbanization[J]. City Planning Review, 2011, 35(2): 20-21.
- [14] Bentley I. Urban design part. 3: Ecological urban design[J]. Architects' Journal, 1990, 192: 69-71.
- [15] 王建国. 基于人机互动的数字化城市设计——城市设计第四代范型刍议[J]. 国际城市规划, 2018, 33(1): 1-6.
Wang Jianguo. Digital urban design based on human-computer interaction: Discussion on the fourth generation of urban design[J]. Urban Planning International, 2018, 33(1): 1-6.
- [16] 曹哲静, 龙瀛. 数据自适应城市设计的方法与实践——以上海衡复历史街区慢行系统设计为例[J]. 城市规划学刊, 2017(4): 47-55.
Cao Zhejing, Long Ying. Methodology and practice of data adaptive urban design: Case study of slow traffic system design in Shanghai Hengfu historical district[J]. Urban Planning Forum, 2017(4): 47-55.
- [17] Ahiablame L M, Engel B A, Chaubey I. Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research[J]. Water Air & Soil Pollution, 2012, 223(7): 4253-4273.
- [18] Eckart K, Mcphee Z, Bolisetti T. Performance and implementation of low impact development: A review[J]. Science of the Total Environment, 2017, 607-608: 413.
- [19] Statutory standards for sustainable drainage systems—designing, constructing, operating and maintaining surface water drainage systems[EB/OL]. [2018-10-28]. <https://www.npt.gov.uk/media/10492/statutory-national-standards-for-sustainable-drainage-systems-suds.pdf>.

- [20] Fletcher T D, Shuster W, Hunt W F, et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage[J]. *Urban Water Journal*, 2014, 12(7): 525-542.
- [21] 王晓锋, 刘红, 袁兴中, 等. 基于水敏性城市设计的城市水环境污染控制体系研究[J]. *生态学报*, 2016, 36(1): 30-43.
Wang Xiaofeng, Liu Hong, Yuan Xingzhong, et al. Construction of the urban water environmental pollution control system based on the ecological ideas of water sensitive urban design [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(1): 30-43.
- [22] Lim H S, Lu X X. Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of singapore's ABC waters program[J]. *Journal of Hydrology*, 2016, 538: 842-862.
- [23] Wong T H F. Framework for stormwater quality management in Singapore[C]//The 12th International Conference on Urban Drainage. Porto Alegre: International Water Association, 2011.
- [24] 谢凝高. 中国山水文化源流初探[J]. *中国园林*, 1991(4): 15-19.
Xie Ninggao. A preliminary study on the origin of Chinese landscape culture[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 1991 (4): 15-19.
- [25] 鲍世行, 顾孟潮. 杰出科学家钱学森论山水城市与建筑科学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
Bao Shihang, Gu Mengchao. On Qian Xuesen and city with hills and waters and architectural science[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.
- [26] 陈烨, 章彬. 基于水环境的城市设计——以南京淳化镇梅龙湖地区为例[J]. *中国园林*, 2014(4): 16-19.
Chen Ye, Zhang Bin. Urban Design based on the water environment: Case study of Meilong lake district of Chunhua town in Nanjing[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2014(4): 16-19.
- [27] 程世丹. 水环境保护为导向的滨湖地带城市设计[J]. *建筑学报*, 2015(增刊1): 35-39.
Cheng Shidan. Urban design in lakefront areas based on water environment protection[J]. *Architectural Journal*, 2015(Suppl 1): 35-39.
- [28] 俞孔坚. 海绵城市——理论与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
Yu Kongjian. Sponge city—theory and practice[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [29] 施萍, 郭羽. 基于“生动、生态、生机”理念的海绵城市规划实践——以上海张家浜楔形绿地规划设计为例[J]. *给水排水*, 2017(2): 59-62.
Shi Ping, Guo Yu. Sponge city planning based on the concept of "liveness, ecology and vitality": A case study at a wedge-type greenbelt of Zhangjiangbang in Shanghai[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2017(2): 59-62.
- [30] 睢晋玲, 刘淼, 李春林, 等. 海绵城市规划及景观生态学启示——以盘锦市辽东湾新区为例[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(3): 975-982.
Sui Jingling, Liu Miao, Li Chunlin, et al. Design of sponge city and its inspiration to landscape ecology: A case of Liaodong bay area of Panjin city, Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(3): 975-982.
- [31] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1-23.
- [32] Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 253-267.
- [33] 翟国方, 崔功豪, 谢映霞, 等. 风险社会与弹性城市[J]. *城市规划*, 2015, 39(12): 107-112.
Zhai Guofang, Cui Gonghao, Xie Yingxia, et al. Risk society and resilient city[J]. *City Planning Review*, 2015, 39(12): 107-112.
- [34] 蔡建明, 郭华, 汪德根. 国外弹性城市研究述评[J]. *地理科学进展*, 2012, 10: 1245-1255.
Cai Jianming, Guo Hua, Wang Degen. Review on the resilient city research overseas[J]. *Progress in Geography*, 2012, 10: 1245-1255.
- [35] 汪辉, 徐蕴雪, 卢思琪, 等. 恢复力、弹性或韧性? 社会、生态系统及其相关研究领域“Resilience”一词翻译之辨析[J]. *国际城市规划*, 2017, 32(4): 29-39.
Wang Hui, Xu Yunxue, Lu Siqi, et al. A comparative study of Chinese translation of resilience terminology in socio-ecological system and its related research fields[J]. *Urban Planning International*, 2017, 32(4): 29-39.
- [36] 翟国方, 邹亮, 马东辉, 等. 城市如何韧性[J]. *城市规划*, 2018, 42(2): 42-46, 77.
Zhai Guofang, Zou Liang, Ma Donghui, et al. How can cities become resilient[J]. *City Planning Review*, 2018, 42(2): 42-46, 77.
- [37] 陈宣先, 王培茗. 韧性城市研究进展[J]. *世界地震工程*, 2018 (3): 78-84.
Chen Xuanxian, Wang Peiming. Research progress on resilient cities[J]. *World Earthquake Engineering*, 2018(3): 78-84.
- [38] 李彤玥. 韧性城市研究新进展[J]. *国际城市规划*, 2017, 32 (5): 15-25.
Li Tongyue. New progress in study on resilient cities[J]. *Urban Planning International*, 2017, 32(5): 15-25.
- [39] Liao K H. A theory on urban resilience to floods: A basis for alternative planning practices[J]. *Ecology & Society*, 2012, 17 (4): 388-395.
- [40] Carpenter S, Walker B, Anderies J M, et al. From metaphor to measurement: Resilience of what to what?[J]. *Ecosystems*,

- 2001, 4(8): 765–781.
- [41] Campanella T J. Urban resilience and the recovery of New Orleans[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2008, 72(2): 141–146.
- [42] Riolli L, Savicki V. Information system organizational resilience[J]. *Omega*, 2003, 31(3): 227–233.
- [43] Kärholm M, Nylund K, Fuente P P D L. Spatial resilience and urban planning: Addressing the interdependence of urban retail areas[J]. *Cities*, 2014, 36(3): 121–130.
- [44] Fernandes J R, Chamusca P. Urban policies, planning and retail resilience[J]. *Cities*, 2014, 36(3): 170–177.
- [45] Pizzo B. Problematizing resilience: Implications for planning theory and practice[J]. *Cities*, 2015, 43: 133–140.
- [46] Redman C L. Should sustainability and resilience be combined or remain distinct pursuits?[J]. *Ecology & Society*, 2014, 19(2): 190–202.
- [47] Jabareen Y. Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk [J]. *Cities*, 2013, 31(2): 220–229.
- [48] Saunders W S A, Becker J S. A discussion of resilience and sustainability: Land use planning recovery from the Canterbury earthquake sequence, New Zealand[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2015, 9: 73–81.
- [49] Attolico A. Building resilience through territorial planning: The experience of province of Potenza[J]. *Procedia Economics & Finance*, 2014, 18: 528–535.
- [50] 刘堃, 李贵才, 尹小玲, 等. 走向多维弹性: 深圳市弹性规划演进脉络研究[J]. *城市规划学刊*, 2012(1): 63–70.
Liu Kun, Li Guicai, Yin Xiaoling, et al. Towards multi-dimensional flexibility: The evolution of shenzhen flexible planning[J]. *Urban Planning Forum*, 2012(1): 63–70.
- [51] 吴浩田, 翟国方. 韧性城市规划理论与方法及其在我国的应用——以合肥市市政设施韧性提升规划为例[J]. *上海城市规划*, 2016(1): 19–25.
Wu Haotian, Zhai Guofang. Resilient city planning theory and method and its practice in China: A case study of the improvement planning of Hefei infrastructure's resilience[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2016(1): 19–25.
- [52] 黄晓军, 黄馨. 弹性城市及其规划框架初探[J]. *城市规划*, 2015, 2: 50–56.
Huang Xiaojun, Huang Xin. Resilient city and its planning framework[J]. *City Planning Review*, 2015, 2: 50–56.
- [53] Foster K A. A Case study approach to understanding regional resilience[J]. *University of California*, 2007.
- [54] Frazier T G, Thompson C M, Dezzani R J, et al. Spatial and temporal quantification of resilience at the community scale [J]. *Applied Geography*, 2013, 42(8): 95–107.
- [55] Sharifi A, Yamagata Y. Resilient urban planning: Major principles and criteria[J]. *Energy Procedia*, 2014, 61: 1491–1495.
- [56] Razafindrabe B H N, Parvin G A, Surjan A, et al. Climate disaster resilience: Focus on coastal urban cities in Asia[J]. *Asian Journal of Environment And Disaster Management*, 2009, 1: 101–116.
- [57] Cutter S L, Ash K D, Emrich C T. The geographies of community disaster resilience[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 29(29): 65–77.
- [58] Prawiranegara M. Spatial multi-criteria analysis (SMCA) for basin-wide flood risk assessment as a tool in improving spatial planning and urban resilience policy making: A case study of marikina river basin, metro manila Philippines[J]. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 2014, 135: 18–24.
- [59] Lu P, Stead D. Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands[J]. *Cities*, 2013, 35(4): 200–212.
- [60] 吴波鸿, 陈安. 韧性城市恢复力评价模型构建[J]. *科技导报*, 2018, 36(16): 94–99.
Wu Hongbo, Chen An. Framework of the evaluation model resilient cities[J]. *Science & Technology Review*, 2018, 36(16): 94–99.
- [61] 刘江艳, 曾忠平. 弹性城市评价指标体系构建及其实证研究[J]. *电子政务*, 2014(3): 82–88.
Liu Jiangyan, Zeng Zhongping. Construction of resilient city evaluation index system and its empirical research[J]. *E-Government*, 2014(3): 82–88.
- [62] 郭小东, 苏经宇, 王志涛. 韧性理论视角下的城市安全减灾[J]. *上海城市规划*, 2016(1): 41–44.
Guo Xiaodong, Su Jingyu, Wang Zhitao. Urban safety and disaster prevention under the perspective of resilience theory[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2016(1): 41–44.
- [63] 石婷婷. 从综合防灾到韧性城市: 新常态下上海城市安全的战略构想[J]. *上海城市规划*, 2016(1): 13–18.
Shi Tingting. From comprehensive defense to resilient cities: Strategic conception of Shanghai's city security in the new normal[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2016(1): 13–18.
- [64] Organization for Economic Co-operation and development. Core set of indicators for environmental performance[R]. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 1993.
- [65] Wolfslehner B, Vacik H. Evaluating sustainable forest management strategies with the analytic network process in a pressure-state-response framework[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(1): 1–10.
- [66] Dumansk J, Pieri C. Application of the pressure-state-response framework for the Land Quality Indicators (LQI) programme[J/OL]. [2019-01-15]. *Fao Land & Water Bulletin*, 1997, www.fao.org/docrep/w4745e/w4745e08.htm.

- [67] Organization for Economic Co-operation and Development. Environmental indicators—development, measurement and use [R]. Paris: OECD, 2003.
- [68] 杨志, 赵冬至, 林元烧. 基于 PSR 模型的河口生态安全评价指标体系研究[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(1): 139–142.
Yang Zhi, Zhao Dongzhi, Lin Yuanshao. The evaluating index system for estuary ecosystem safety based on PSR model[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(1): 139–142.
- [69] Neri A C, Dupin P. A pressure state response approach to cumulative impact assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 126: 288–298.
- [70] 徐志伟. 海河流域水污染成因与多层次治理结构的制度选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(增刊1): 431–434.
Xu Zhiwei. Causes of water pollution in Haihe river basin and choice of multi-level governance structure[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(Suppl 1): 431–434.
- [71] Pearsall D R, Khoury M L, John P, et al. Environmental reviews and case studies: "make no little plans": Developing biodiversity conservation strategies for the great lakes[J]. Environmental Practice, 2013, 15(4): 462–480.
- [72] Delgado E, Epstein D, Joo Y, et al. Methods for planning the great lakes megaregion: Urban and regional planning program, University of Michigan[J]. Ann Arbor, 2006, doi: 10.1177/0885412207306615.
- [73] 周艺南, 李保炜. 循水造形——雨洪韧性城市设计研究[J]. 规划师, 2017, 33(2): 90–97.
Zhou Yinan, Li Baowei. Resilient urban design for flood control[J]. Planners, 2017, 33(2): 90–97.
- [74] 臧鑫宇. 绿色街区城市设计策略与方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
Zang Xinyu. Strategy and methods studies of green blocks urban design[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.
- [75] Guidance on the permeable surfacing of front gardens[EB/OL]. [2018- 10- 28]. <https://www.gov.uk/government/publications/permeable-surfacing-of-front-gardens-guidance>.
- [76] 刘君男. 寒地高层住区对多层住区环境影响特征与优化策略研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.
Liu Junnan. Study on the characteristics and optimization strategies of the wind environment of the high-rise residential area affect multi-rise residential area in the cold region[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.
- [77] ASHRAE Organization. Building our new energy future[R]. Geneva: ASHRAE, 2018.

Urban design strategies of urban water environment orientation based on perspective of ecological resilience

CHEN Tian^{1,2}, LI Yangli¹

1. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. Research Institute of Urban Space and Urban Design, School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract The global climate change is a global concern. With the climate change, cities face with future irresistible disasters. Many cities have a large amount of water accumulation after a heavy rain, resulting in the damage of the urban system functions. Improving the ecological resilience of the urban water system is an effective method to consolidate the stability of the urban system. This paper reviews the research progress of the water management and resilience at home and abroad. From the perspective of the ecological resilience, an evaluation index system is built for the water ecology resilience and system of the urban design from the perspective of resilience. Strategies are proposed from the macro perspective (the region and its river basin), the medium perspective (the city and its river basin) and the micro perspective (blocks and their river basins). The realization approach is explored for the urban design under the perspective of the ecological resilience.

Keywords climate change; water system; eco-resilience; evaluation index system; urban design ●



(责任编辑 卫夏雯)