

学校编码：10384
学号：30420151152456

密级_____

廈門大學

硕士学位论文

海岸带城市水-土地利用系统弹性评估及
景观格局设计应用

Resilience Assessment of Coastal Urban Land-Water System
and Landscape Pattern Design

林静玉

指导教师姓名：李杨帆副教授
专业名称：海洋事务
论文提交日期：2017年5月
论文答辩时间：2017年5月

2017年5月

海岸带城市水-土地利用系统弹性评估及景观格局设计

林静玉

指导教师

李杨帆

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要	I
Abstract	III
第 1 章 引言	1
1.1 研究背景	1
1.2 城市水问题的解决途径综述	3
1.3 水弹性的研究进展以及应用	5
1.4 城市景观格局研究综述	6
1.4.1 景观格局构建方法文献综述	7
1.4.2 不透水面与水资源问题研究进展	9
1.5 科学问题与本研究目的	10
第 2 章 数据与材料	11
2.1 研究区域	11
2.2 数据与指标体系	13
第 3 章 研究方法	15
3.1 技术路线	15
3.2 不透水面提取	16
3.2 城市水-土地利用系统弹性的评估方法	17
3.2.1 城市水-土地利用系统弹性评估框架	18
3.2.2 弹性时空量化	19
3.3 景观格局设计	21
第 4 章 城市水-土地利用系统的弹性评估	23
4.1 系统关键功能的时空动态演化	23
4.1.1 水质关键功能	24

4.1.2 水量关键功能.....	25
4.1.3 不透水面关键功能.....	26
4.2 系统弹性转变	27
4.2.1 水质弹性.....	27
4.2.2 水量弹性.....	28
4.2.3 不透水面弹性.....	29
4.3 城市水-土地利用系统弹性	30
4.4 基于关键功能的弹性自适应管理	31
第 5 章 景观格局优化设计	33
5.1 城市水-土地系统弹性与景观格局响应	33
5.2 关键景观格局要素的识别	34
5.2.1 潜在关键源点.....	34
5.2.2 潜在生态廊道.....	36
5.3.3 空间联系.....	37
5.3.4 潜在景观格局.....	38
5.3 景观格局优化设计及海绵城市的应用.....	40
第 6 章 结论与展望	42
6.1 主要结论与创新点.....	42
6.2 不确定性分析	43
6.3 未来展望.....	44
参考文献	45
攻读硕士学位期间发表论文.....	53
致谢.....	54

Table of Contents

Abstract (In Chinese)	I
Abstract (In English).....	III
Chapter 1. Introduction	1
1.1 Backgrounds.....	1
1.2 The solutions of water issues	2
1.3 Urban landscape patterns	5
1.3.1 How to built landscape pattern	6
1.3.2 Impervious surface area and water resources	6
1.4 Water resilience and its applications.....	9
1.5 Scientific questions and objectives	10
Chapter 2. Data	11
2.1 Study area.....	11
2.2 Data and indicators.....	13
Chapter 3. Methodology	15
3.1 Framework.....	15
3.1 Impervious surface surface.....	16
3.2 Resilience assessment on urban land-wanter system	17
3.2.1 Resilience assessment framework.....	18
3.2.2 Hooke's law and critical functionality	19
3.3 Landscape pattern designing	21
Chapter 4. Resilience assessment on Urban Land-Water Systems.....	23
4.1 Temporal and spatial dynamics of critical functionality (2005-2015).....	23
4.1.1 Critical functionality of water quality.....	24
4.1.2 Critical functionality of water quantity.....	25

4.1.3 ISA critical functionality.....	26
4.2 Resilience transformation.....	27
4.2.1 Resilience of water quality.....	27
4.2.2 Resilience of water quantity.....	28
4.2.3 Resilience of ISA	29
4.3 Resilience of Urban Land-Water Systems and key indicators	30
4.4 Critical functionality in resilience management of ULWSs	31
Chapter 5. Landscape pattern adjustment.....	33
5.1 Relationships between landscape pattern and ULWSs	33
5.2 Identifying critical elements on landscape pattern.....	34
5.2.1 Potential patch: Sources and key nodes.....	34
5.2.2 Potential Corridor.....	36
5.3.3 Spatial relationships	37
5.3.4 Potential landscape patterns.....	38
5.3 Strategies of landscape patterns adjustments and sponge city implications	40
Chapter 6. Conclusion.....	42
6.1 Achievements	42
6.2 Limitations	43
6.3 Future directions.....	44
References.....	45
Publications.....	53
Acknowledgements.....	54

摘要

在过去的十年间，我国海岸带地区尤其是东部沿海地区，经历了快速城市化的过程，不断加剧的土地利用变化，尤其是不透水面景观的增加引发了一定程度的环境退化。不可逆的景观变化可能会引发城市系统功能的损失以及不良的弹性转变，其中最重要的影响便是水质的退化以及水资源短缺，严重干扰城市水景观安全格局，对该区域水环境与水资源系统造成严重影响。

本研究基于弹性量化框架，利用改进的方法来量化、评估 2005-2015 年间连云港城市水-土地利用系统的弹性，指标体系中除传统的常用的水质、水量指标外，特别增加了不透水面的相关指标。评估结果发现 2005-2015 年间连云港水量以及不透水面的弹性变化对叠加的城市水-土地利用系统弹性数值影响最大，且连云港中心城区以及海岸带区域正处于弹性吸收的转变阶段，经历着动态的关键功能损失，直接导致了该区域系统弹性的退化。

基于此弹性评估结果，结合景观格局的源-汇理论以及连云港生态红线分布状况，优化设计出包括怀仁山生态公益林、通榆河、赣榆港口航运通道在内的 12 个关键源、11 个关键节点以及 12 条人工航运-河流混合廊道的城市水景观安全格局，且提出相应的调控措施。

本研究的创新点在于将不透水面引入到城市水-土地利用系统中，并且利用关键功能将生态弹性与工程弹性相结合，量化系统的弹性。航运通道与河流廊道的混合廊道是陆海统筹新方法的尝试。

研究最终结果表明：(1) 城市水-土地利用耦合系统的关键功能损失评估以及弹性变化阶段的识别为可操作性的系统弹性评估提供了有效的操作途径；(2) 人工航运通道与河流廊道的结合这一混合型廊道的陆海统筹的新方法能有效加强生态斑块的连通，为沿海生物提供新的栖息地，缓解围填海活动导致的滨海湿地破坏带来的环境影响；(3) 弹性评估结果以及水景观格局的优化设计为城市各部门在水系统以及水资源的管理方面提供了适应性管理建议。本研究结合生态弹性与工程弹性、弹性评估与景观格局重建、水与土地利用、陆地与海洋，为提升区域的水-土地利用耦合系统弹性以及水景观安全格局建构提供新的视角与方向，能有效地运用到“海绵城市”的规划建设实践。

关键词：弹性评估；不透水面；城市水-土地利用系统；海绵城市；水景观格局；生态廊道

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Coastal areas have experienced rapid urbanization and reclamation (land development) with increasing of impervious surface area, while experiencing considerable environmental degradation. The irreversible changes of landscape pattern may lead to a system's critical function loss and undesirable resilience transformation. The most significant affects were water quality deterioration and water shortage, which have adverse health impacts.

With the purpose of understanding systematic resilience change of Urban Land-Water System, we used a quantitative approach to contextualize critical functionality of a complex system (impervious surface area, water quantity, and water quality) in terms of spatial-temporal resilience transformation across 15 years. The area had critical functionality loss of water quantity and increasing impervious surface area had significant influences on the nested and overlapping resilience change from 2005 to 2015. Especially, the central urban area and coastal zones experienced dramatic functionality loss in absorption phase of transformation, which caused degradation of the resilience of the interconnected systems. Based on the resilience assessment, we designed landscape patterns including key nodes such as Huairen ecological forest, critical sources and "hybrid corridor" such as Tongyu River and Ganyu shipping channel based on "Sink-Source" theory.

This work revealed three key findings: (1) the integration of critical functionality loss and changing phases of resilience state provided a practical framework for resilience assessment; (2) hybrid corridors contributed to land-marine nexus and enhanced the connectivity of different ecological patches; (3) urban landscape pattern including critical elements like nodes, corridors and sources in Lianyungang were designed to solve the Urban Land-Water System related problems. Ultimately, adaptive management was conducted by integrating management of key variables and synergic multi-departments. This research provides a new perspective for specific resilience quantification combining with ecological resilience and engineering resilience as well as land-marine nexus, and provides an operational way for

ecological planning.

Key Words: Resilience Assessment; Impervious Surface Area (ISA); Urban Land-Water System; Sponge City; Landscape Pattern; Corridors

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第1章 引言

1.1 研究背景

在过去的十几年里,中国,尤其是沿海发达地区,经历了快速的城市化过程。在1978年到2012年间,我国城市人口的比重由17.9%增加到52.6%,中国东部沿海地区36%的地域面积承担着全国96%的人口,尤其是东部海岸带地区,呈现出极高的人口密度 (Bai et al., 2014)。如果继续保持当前的人口增长速率,到2020年,中国的总人口将超过14.2亿人,海岸带地区人口密度将继续增大。

快速的城市化使得中国跃居世界第二大经济体,经历着飞速的经济发展,特别是东部海岸带地区,其占全国13%的土地面积贡献了全国60%的GDP总量 (Neumann et al., 2015)。由于经济迅速发展与城市快速扩张的需要,沿海城市通过围填海活动得到更多的土地空间支撑。然而围填海活动过程中侵占了大量的滨海湿地,已然在海岸带地区建起了成千上万公里的海上“新长城”,比如建起的人工岸线占海岸线总长度的60% (Ma et al., 2014)。人工岸线使得岸线地区地表硬化,其生态系统服务功能下降,生态多样性大大受到影响,足以威胁区域生态安全以及地区的可持续发展,同时也给人类的健康带来不利的影响。而本文的研究区域连云港市正处于此快速发展地区。连云港位于江苏省的东部,位于中国最大经济体长三角经济圈的北翼。该地区实行多种经济政策以及土地利用发展规划以促进地区的发展,比如一体两翼等政策,而这些政策导致的填海造地也对环境造成了巨大的影响。

海上“新长城”(人工岸线)等人工基础设施不仅仅在海陆交界的岸线地区快速发展,在城市内部也不断增加,如不透水面。由于城市建设与人类活动的增加,全球的城市地区不透水面的总面积接近66万平方公里,相当于40个北京市 (Schneider et al., 2009)。不透水面的增加使得城市当中的自然绿色空间被人工空间占据,改变了城市的景观格局(例如基质、形状、空间构成以及斑块等)。城市景观格局的人工化对地区环境与生态安全会带来不利的影响。

城市不透水面是由城市建设产生的一种地表水不能直接下渗到土壤的人工地貌,包括公路、水泥道路、广场、停车场、建筑屋顶等。不透水面的不可渗透

性加剧了城市当中与水环境相关的危机，比如水质污染、洪涝灾害、以及生物生境面积如湿地等的减少 (Vorosmarty et al., 2000; Oki and Kanae, 2006; Blackmore and Plant, 2008; Seto et al., 2012)。另外，快速增长的人口以及城市的扩张需要更多的资源、能源与原料，例如人类对水等自然资源的需求超过了城市资源供给能力。不透水面的增加以及自然资源的匮乏使得城市中水的相关问题加剧，城市化背景下水问题已经成为全球的巨大挑战 (Pahl-Wostl et al., 2013)。如何解决水危机以及水问题带来的挑战得到空前的关注，并且成为研究热点，尤其是亚洲快速发展的城市地区 (Larsen et al., 2016)。针对此，中国学术界提出一种新型的基础设施，即“海绵城市”来应对水危机以及水挑战。“海绵城市”指的是城市能够像海绵一样，在降水时，可以实现吸水、蓄水、净水等功能，当需要时，又可以将水释放并加以利用，从而有效缓解城市水资源时空分布不均的矛盾，并有助于修复城市水生态环境。在旱季时，可以保证有较为充裕的水资源，缓解水资源短缺问题；在暴雨突降或雨季连续降雨时，减少城市洪涝灾害的发生频率，并起到净水功效，保持河流清澈洁净 (俞孔坚等, 2015)。“海绵城市”是一种绿色的基础设施，其基本概念与国际上提出的“弹性城市”类似。“弹性城市”强调城市在面对大型自然灾害事件时本身所能承受不被破坏的能力。无论是“海绵城市”或者“弹性城市”概念的提出，均是为了加强城市的可持续性，尤其是水资源方面的可持续性。

国际上对城市水资源可持续性的优先关注点主要包括安全饮用水的供给、废水的处理以及洪水的适应。为了保护脆弱的水生态系统，确保城市水安全，促进可持续性政策的形成，有必要探讨城市水-土地利用系统的生态安全阈值以及其弹性状况 (Piao et al., 2010)。结合国际上对城市水资源的优先关注点，在本研究中，我们将研究对象城市水-土地利用系统定义为城市当中水 (质量、数量) 与不透水面构成的综合耦合系统。研究主要关注城市当中的水质 (安全饮用水、废水)、水量、以及不透水面 (与洪水直接相关) 三个方面的阈值评估与弹性评价 (Craine et al., 2013; Vicente-Serrano et al., 2013)，并且结合景观格局分析，为当地政策与利益相关人员总结并提供城市水管理的相关政策建议。

1.2 城市水问题的解决途径综述

中国古代在治水方面有着非常成功的案例，为现代城市水系统的治理提供了经验与借鉴，从古代的都江堰工程到近现代的南水北调工程等，充分利用河流、湖泊与湿地的调水、蓄水能力来达到水问题的治理。然而，随着河流、湖泊以及绿地被建设用地、大坝以及人工岸线等不透水面进一步取代，依靠自然生态系统治理水问题受到挑战。中国每年超过1000万的人口进入城市，加上城市面积的迅速扩张，城市地表硬化加剧。城市化带来的变化改变了城市水文状况，水资源稀缺、洪涝以及水质的恶化成为现今中国水资源的关键问题。在过去的3年里，中国超过360个城市（例如上海、北京）发生了洪涝灾害并导致人员死亡，超过60个城市水深0.5米时间持续超过半天 (Ke, 2015)。因此，中国学术界提出一种新型的绿色基础设施——“海绵城市”，以求解决城市中水相关问题。

“海绵城市”是一种利用自然生态的方式去贮存、吸收、净化和分流水资源的新型城市基础设施模式 (仇保兴, 2015)，运用自然生态的方式使其成为一种相对特别的方式。它将有利于解决例如水资源分配不均、水资源短缺等一系列问题，同时有利于地表水环境的循环系统。如在秋季以及春季等降水较少的季节，建设这样的城市体系有助于保障水资源的供给 (俞孔坚等, 2015)；而当遭受暴雨天气或是连续降雨时，“海绵城市”有助于城市内部排水，避免内涝并清洁水质，降低灾害风险。“海绵城市”借鉴了发达国家水资源管理的经验，不同于传统钢筋混凝土建设下的现代城市，它尽力去遵循自然发展的规律，从而促进人与自然的和谐共存。

在过去的20年间，澳大利亚、美国以及日本等发达国家提出了一系列的保护与维持水环境治理的可持续策略与政策，为我国“海绵城市”的开展提供了众多宝贵的经验。美国政府提出“Best Management Practice (BMP)”以期减少点源污染物与完善水资源管理政策系统。该政策重点关注自然生态规划设计与非工程设施 (National Research Council, 2009)。日本在20世纪70年代颁布了《环境法》，2014年将其完善为《水循环环境法》，重点关注城市水系统功能的维持与恢复。澳大利亚在20世纪90年代的时候提出“Water Sensitivity Urban Design (WSUD)”，自2000以来，该策略取得了巨大的发展，其创新点在于融合城市水管理与城市规划 (Nunes et al., 2012)。

2015年,中国积极推进“海绵城市”的建设,并且选择了镇江、嘉兴、厦门、济南、武汉、常德和南宁等作为试点城市。由于池塘、河流和湿地等几类用地类型可以积极应对气候极端事件,并为生态系统提供庇护,因此通常选择这几类用地进行保护,且强调使用自然的方法进行环境修复。更重要的是,在学习国外管理经验之下,中国已有涉及低强度开发(LID)的海绵相关城市设计与雨洪管理(Brack et al., 2015)。人类应当建设具备弹性以及较强恢复力的城市,以帮助人类更好的应对极端天气,而不是单方面去责怪风暴的规模和逃避自然灾害(俞孔坚, 2015)。

已有的“海绵城市”工程主要结合相关理论方法与水生态工程进行规划设计,推动其工程设计与规划方面的应用。正如我们前面所提的,景观格局与城市规划必须与城市水环境系统相结合。一些发达国家已经意识到水在塑造城市景观方面的重要性,为我国“海绵城市”的实践提供了经验教训。在美国费城,在城市水域管理部门的指导下,新建的学校利用透水的材料修建篮球场,修建生物过滤的公园以期培养青少年对环境价值的了解(Pickett, 2013)。德国的“洼地—渗渠系统”,将洼地、渗渠等就地设置的设施与带有孔洞的排水管道相连,形成了分散的雨水处理系统。低洼的草地短期储存下渗的雨水,渗渠则长期储存雨水,从而减轻城市排水管道的负担。目前主要的城市雨水利用方式有3种:屋面雨水集蓄系统;雨水截污与渗透系统;生态小区雨水利用系统。20世纪末开始,瑞士在全国大力推行“雨水工程”,提高雨水的利用率,并采用雨污分流管道系统。在我国,俞孔坚等(2015)提出了综合解决城乡水问题的生态基础设施途径,并应用于台州、威海、菏泽、东营、北京等城市的生态规划中;通过哈尔滨群力湿地公园、六盘水明湖湿地及金华燕尾洲的实验工程检验了“海绵城市”建设的三大关键策略——消纳、减速与适应的有效性,并提出“源头消纳滞蓄,过程减速消能,末端弹性适应”的组合模式(俞孔坚, 2015),强调从生态系统服务的角度建设生态基础设施来进行水治理。此生态基础设施的建设有利于最大化城市吸收暴雨不利影响的能力,加强社区之间的修复与交通能力。这些工程都显示了城市地区规划与设计理念的转变。通过水资源这一中介者,将城市景观尺度与社区以及城市尺度相结合,从而打通不同系统使其相连。

虽然我国政府与规划学术界的专家不断推动“海绵城市”的实践,这些工程

仍然存在一定的局限性，有些工程甚至试点失败。大部分“海绵城市”试点工程主要集中在低影响开发技术的应用 (LID)，单一考虑水循环、水管理以及河流并不能全面地理解“海绵城市”的概念。目标导向的工程建设仅仅强调人类的主导地位，并不能充分反映人水共存的理念。

综上所述，城市规划者与设计者对城市水系统以及这个系统对城市环境的重要性了解甚微，且传统的评估方法以及设点工程较为单一，缺乏系统性的评估。如何利用系统性的耦合方法来评估城市水环境现状，推动城市规划者对城市水系统的理解应当成为研究重点，也是弥补土地发展规划与专项规划的必经途径 (全贺等, 2015)。

1.3 水弹性的研究进展以及应用

“海绵城市”所描述的城市是有弹性力、生命力的系统综合体，其为将弹性概念引入“海绵城市”的建设提供了可能性 (程慧等, 2015)。弹性思维的概念起源于20世纪70年代生态学 (Holling, 1973)，其适应性循环的4个阶段：快速开发、维持、释放以及重组，充分体现了系统的状况 (Holling and Gunderson, 2002; Walker and Salt, 2012)。因此弹性相关理论的发展对于促进城市水-土地利用系统弹性评估与管理的发展具有基础性的意义 (Berkes et al., 2002)。随着城市的发展，城市弹性在学术界以及政府决策中得到广泛的关注以及应用，如前面提及的“海绵城市”以及低影响开发等实例 (Campos et al., 2013; Birkmann, 2016)。但由于城市弹性概念的定义依然很模糊，因此限制了弹性理念本身功能的发展与正确推广。关于城市弹性较为广泛认可的定义有以下几种，如Alberiti (2003) 提出城市弹性是指城市在结构重组之前忍受外界干扰的能力；而Godschalk (2003) 则将其定义为物理系统与人类社会的可持续发展网络；Pickett (2004) 将弹性描述为系统面对环境变化的调整能力。关于城市弹性较新、较为综合性的定义来自Meerow等 (2016) 提出的：城市弹性是指在时间与空间尺度上，在面对外界的干扰的情况下，城市系统以及相关组分维持以及快速恢复到原始功能的能力。这一具有综合性、创新性的概念为本研究的弹性评估提供理论基础。

在弹性的相关研究当中，经常会涉及到生态弹性与工程弹性的辨别与区分。弹性概念起源于生态科学的范畴，从生态学的角度看，Grimm and Wissel (1997)

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库