

# 社会—生态系统适应性治理视角下 绿地空间恢复力的演化 ——广州旧城区更新案例

付迎春<sup>1,2</sup>, 郭碧云<sup>1,3</sup>, 王 敏<sup>1</sup>, 覃小玲<sup>4</sup>

(1. 华南师范大学地理科学学院, 广州 510631; 2. 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广州 510631; 3. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 4. 华南理工大学建筑学院, 广州 510641)

**摘要:** 旧城区绿地作为关键的社会—生态系统载体, 是城市高质量发展与转型治理亟需关注的问题。构建广州旧城区绿地服务基本单元, 引入适应性循环理论的潜力—连通度—恢复力三维框架, 构建表征生态、社会与经济服务的绿地景观指标体系, 综合评估2000—2018年广州旧城区绿地的空间恢复力水平及适应性转化特征。研究结果显示: 旧城区绿地的恢复力演化具有明显的核心区与外围区的时空分异, 在拆除重建阶段呈现快速开发—快速释放—重组的转化, 在微更新阶段主要呈现开发—保护的提升, 并具有提升型、稳定型和更替型的社会—生态系统服务适应性。由此说明, 城市更新具有调节社会—生态系统服务治理的效果。其中, 绿地形状指数、5 min可达绿地率以及土地利用混合度对核心区绿地恢复力具有显著的促进作用, 为外围区治理提供参考。同时, 进一步探讨了更新政策与城市绿地空间恢复力演化的关系, 为促进旧城区绿地空间更新治理提供社会—生态系统适应性的理论与实证案例研究。

**关键词:** 城市更新转型; 社会—生态系统; 适应性治理; 绿地; 空间恢复力; 广州

十九届五中全会通过《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》, 明确提出实施城市更新行动及其重要性。同时, 城市更新也是落实《2030年可持续发展议程》中第11个目标(SDG 11)“可持续城市和社区”, 向所有人提供安全、包容、无障碍、绿色公共空间的关键。当前以经济发展为主的快速城镇化未顾及社会与人的绿地需求, 加之早期的城市改造缺乏绿色发展理念与整体统筹, 导致公园和生态带片状孤立存在, 破碎和生态效益低下的绿地空间难以发挥提升人类福祉的作用<sup>[1]</sup>。生态服务是生态系统为人类社会、经济发展提供的各种惠益, 包括净化空气、缓解内涝热岛和提升美学价值等服务功能<sup>[2]</sup>, 产生于生态系统而服务于社会系统。城市绿地作为城市生态系统的重要组成部分, 其扩张与消亡亦与城市社会系统的运作有着密切关系。旧城区具有城市最为密集的社区人口和成熟商圈, 也是成片生态带和绿地公共服务配置稀少的地方。相比新城区, 旧城区显得尤为衰败<sup>[3]</sup>, 公共绿地空间不足且维护较差。因而, 绿地作为绿色基础设施和开放空间的承载, 在旧城区更新改造中承担着营造全新的生态空间和商业环境、提升社会交往与历史文化保护等的空间服务能力<sup>[4]</sup>, 被

收稿日期: 2021-07-27; 修订日期: 2021-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871127, 42071399, 42001329); 广东省协同创新中心项目(2018B020207002)

作者简介: 付迎春(1976-), 女, 云南武定人, 博士, 教授, 主要从事城市遥感与区域可持续发展研究。

E-mail: fuyc@m.scnu.edu.cn

通讯作者: 王敏(1981-), 女, 广东澄海人, 博士, 副教授, 主要从事社会文化地理与城乡规划研究。

E-mail: wminmin@m.scnu.edu.cn

视为社会—生态系统 (Social-Ecological System, SES) 的关键服务要素<sup>[5,6]</sup>, 亦是旧城区特殊的SES承载空间。

SES在20世纪70年代被引入生态学的研究中, 目的是强化生态系统与社会系统的耦合性<sup>[7]</sup>。近年来SES的相关理论被应用于气候变化、生态系统服务、可持续性等领域<sup>[5,8]</sup>。依托Holling等<sup>[6,7]</sup>的适应性循环理论提出的SES恢复力, 描述系统受到外部扰动的适应能力和动态响应过程机制, 主要探讨SES的脆弱性、恢复力、景观恢复力的评价<sup>[9]</sup>与SES时空演变模拟<sup>[10]</sup>, 并对旅游地、传统村落和生态脆弱区开展案例研究<sup>[10-12]</sup>; SES适应性治理则从系统科学的视角重新审视人地关系, 提出有效的治理方式以提高人们的生态福祉<sup>[13]</sup>, 更加关注变化的可持续性<sup>[7]</sup>。SES适应性治理研究主要对气候、环境变化、生计系统与资源要素的适应性开展评价<sup>[12]</sup>。在城市更新转型背景下, 城市绿地作为SES适应性治理提高生态福祉的关键要素, 其恢复力过程既是新出现的典型人地耦合研究议题, 也是对城市更新优化的动态响应结果。既有的生态系统恢复力管理难以应对复杂、动态的人地系统变化。面向绿地空间的适应性治理需求, 如何测度绿地恢复力动态并分析SES适应性的演化, 对于城市发展转型阶段SES的理论探讨及实证研究具有重要意义。

绿地空间不仅能提供生态系统服务, 且能发挥文化娱乐服务, 促进人们的身心健康。社会—生态理论表明城市绿地的扩张或消亡并不完全取决于生态系统本身, 更多受到社会因素的影响<sup>[13]</sup>。公共绿地空间需要不同主体共同参与决策和管理, 社区网络关系的演化也会影响绿地的变化<sup>[14]</sup>; 另一方面, 城市绿地兼具城市与社区公共景观设施的经济服务功能<sup>[15]</sup>, 环境科学专家、规划师、房地产开发商与居民之间对绿地感知的差异亦会影响绿地空间的设计和管理<sup>[16]</sup>。因此, 尽管在大尺度的城市空间中, 绿地的空间扩张能够有效地提高生态服务能力。但置于小尺度中, 绿地成为连接生态系统和社会系统的关键因素, 并且呈现出景观格局和过程变化的复杂性、自组织性, 是人地耦合关系的典型解读案例。从适应性治理提高生态健康福祉目标来看, 近年来绿地的可达性<sup>[17]</sup>、分布差异<sup>[18]</sup>、公平正义<sup>[19]</sup>等方面研究呈现增长趋势, 但对城市转型治理过程中绿地SES适应性及影响机制分析尚不清晰。

从景观生态学视角出发, Cumming<sup>[20]</sup>将空间恢复力解读为系统内外变量在多时空尺度上对系统的影响。城市更新改变了绿地空间的结构形态与连通性, 相比绿地系统的脆弱性和风险状态研究, 绿地空间恢复力更注重描述人对地的适应性治理关系。相比于使用传统指标的恢复力评估<sup>[8]</sup>, 空间恢复力是空间格局与邻域相互作用的结果, 并首先应用于生态系统<sup>[21,22]</sup>。而SES的空间恢复力研究刚刚起步, 空间结构形态的指标变量选择尚处于探索阶段, 难于获得时空明确的空间恢复力量化指标<sup>[21]</sup>。尽管人地关系适应性研究开展了较长时间, 但较多研究集中于灾害风险、气候变化等自然环境适应性<sup>[23]</sup>, 对绿地景观承载的社会与经济恢复力响应、适应性治理等方面的研究关注不足, 并囿于适应性理论和分析框架中的空间指标获取困难, 少有从景观的扰动与适应性演化评估开展自下而上的探究。

相比传统的恢复力研究, 空间恢复力更关注位置、连通性和时空变化过程的可持续性, Holling等<sup>[7]</sup>将潜力—连通度—恢复力三维指标引入空间恢复力研究。地理学时空分析中强调的“静态格局—空间交互—动态趋势”与此框架对应。本文借以描述城市绿地空间的结构、连通性和更新转型过程的响应, 包括开发 (Growth)、保护 (Senescence)、释放 (Collapse)、重组 (Renewal) 四个阶段的适应性循环。系统在开发阶段

(r)的潜力和连通度增加,关联恢复力显著提高;稍后进入潜力累积而恢复力趋于僵化垄断的保护阶段(K),接着进入潜力与恢复力迅速下降的释放阶段( $\Omega$ ),最后依赖潜力积累的更新重组阶段( $\alpha$ )<sup>[24]</sup>进入下一次循环。SES通过城市生态、社会结构、制度和决策等层面改变系统循环转化,以避免系统发生崩溃<sup>[25]</sup>,并通过适应性治理,持续地保持人类福祉<sup>[26]</sup>。根据适应性治理目标,主要包括转型治理(Transformativ Governance)与协作治理(Collaborative Governance)<sup>[27-29]</sup>。转型治理关注SES的开发、释放和重组,强调通过构建适应性治理体系和决策,主动改变不良的复合系统状态,如旧城区的拆除重建;而协作治理则关注SES的保护阶段,通过将自组织协作制度化来维护良性的系统状态,如微改造强调的低影响开发与社区公众参与规划。

在中国城市化进程中,城市更新是针对旧城区衰落现象引入存量规划的城市发展阶段,将带来生态系统结构、过程和服务功能的变化。针对旧城更新,学者们提出了从社会、生态、经济和制度方面来解读更新进程及地理学含意<sup>[30]</sup>,进行了个案探究,尚需要从综合视角分析更新带来的整体变化。空间恢复力既是结果也是过程,有助于审视城市更新中绿地提供的生态、社会、经济系统服务的交互性、复杂性和非线性<sup>[31]</sup>。同时,城市绿地是SES耦合的关键因素与更新治理的重要抓手。随着更新手段从“自上而下”的规划设计到“自下而上”的公众参与方式转变,何种治理方式能够有效地提高城市绿地的空间恢复力,要视乎其是否能够通过适应性治理措施提高SES的适应能力。因此,揭示城市绿地对更新治理的适应性及影响因素,需要在微观尺度上构建表征生态、社会与经济服务的绿地景观指标体系,探讨城市更新背景下的绿地空间恢复力与适应性量化评估方法。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

广州作为较早开始更新改造的城市,分别经历了2009年以前的危房改造导向、2009—2014年的产业置换导向和2014年至今的集约用地导向<sup>[32]</sup>。“十三五”前采取拆除重建(拆建)为主,之后提倡整治保护为主的微改造(微改),相应治理主体由2009年之前的政府主导、之后的市场参与结合,2014年开始由政府、市场与公众达成多级更新联盟组织,进行多方利益协作治理<sup>[33]</sup>。本文选取广州新旧中轴线所在的旧城区作为研究区,空间上覆盖完整的越秀、荔湾、海珠和天河四个区及白云区南部,总面积为382.425 km<sup>2</sup>。作为早期进行轻工业发展的历史城区,这里聚集了上千家旧厂,特别是珠江滨水区的白鹅潭片区、洛溪片区以及员村和黄埔片区。近二十年来,研究区除了产业置换升级外,还进行了旧城与旧厂改造和历史街区的有机更新,更新对象全面多样,更新时长、范围广且密集分布,占旧城区总更新区域面积的比例约为62%<sup>[34]</sup>。

鉴于更新已经在城市中心、街道社区等地开展,本文基于爬取的村(居)委会兴趣点,利用泰森多边形,建立绿地最佳服务范围的同质研究单元——绿地(村居委会)服务单元。通过查阅相关资料和实地访谈梳理了研究区范围内的更新项目。参照2017年国家《城市绿地分类标准》(CJJ/T85-2017),确定旧城区更新改造涉及的城市绿地包括:公园绿地、广场绿地、防护绿地、街头绿地和口袋公园(排除不涉及更新改造的森林绿地)。通过广场和道路绿化改造,广州市人均绿地面积由2007年的12.62 m<sup>2</sup>提升到2016年的16.50 m<sup>2</sup><sup>[35]</sup>。各类绿地均对城市可持续发展的品质规划提升以及满足居民的基础服务



具有重要意义<sup>[36]</sup>。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 研究框架与指标体系

本质上, 城市旧城更新是一个包括快速开发和慢速改造循环的SES, 引入潜力、连通度空间格局及其恢复力变化趋势, 是刻画生态与社会耦合特征与空间效应的一种可行方法<sup>[37]</sup>。鉴于此, 本文通过绿地恢复力视角关注城市更新对SES服务功能的调整提升, 和旧城区生产生活空间对绿地系统变化的适应性, 描述“人”与“地”的治理关系; 实践上, 提供合理的城市绿地配置方式与适应性治理对策依据。在SES适应性循环理论的基础上进行拓展, 本文构建了城市更新过程中绿地恢复力时空演化研究的框架(图1)。

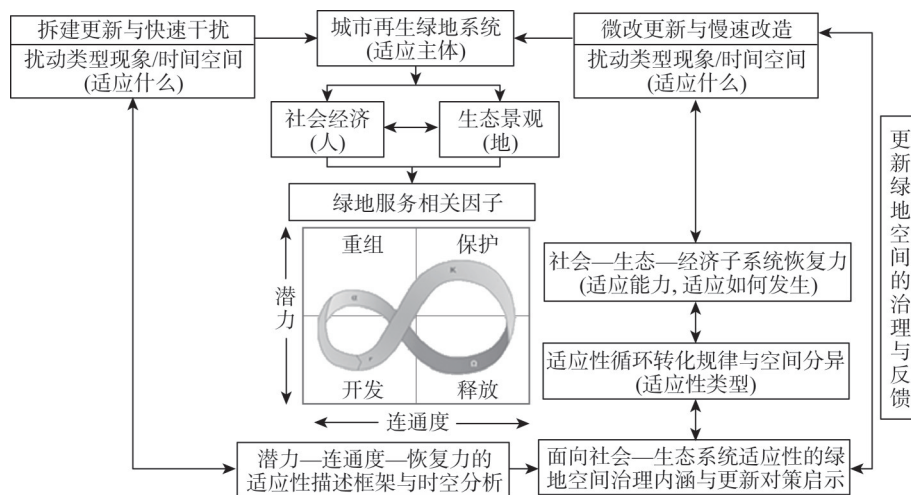


图1 城市更新绿地社会—生态系统适应性治理理论框架

Fig. 1 The theoretical framework of green space social-ecological system adaptive governance in urban renewal

针对城市更新转型, 依托绿地景观载体探究生态—社会—经济方面的恢复力动态, 在适应性循环框架中描述系统转化特征, 并梳理其与更新政策和空间治理的关系。因此, 面向安全、包容、无障碍和绿色公共空间的目标, 考虑城市绿地在促进生态安全、社区共享与可达性方面的准则, 本文结合遥感与GIS技术构建绿地景观指标体系, 在适应性循环的三维框架中表征城市绿地空间治理的变化特征。其中, 生态子系统指标包括绿地率、归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)和空气质量综合指数(Air Quality Composite Index, AQCI), 分别描述城市热岛缓解、内涝调节与空气质量改善等。绿地形状指数描述景观斑块的周长与面积比值, 指数越高, 复杂性和多样性越高。社会子系统相关指标包括绿地服务单元缓冲区的人口密度、微博签到数量与历史文化设施兴趣点(Point of Interest, POI)的核密度, 以说明绿地的休憩、娱乐、文化服务能力; 5 min可达绿地率反馈绿地景观网络的连通性, 数值越高说明连通性越好; 此外, 作为开放空间, 绿地服务单元100 m缓冲区的居住类和商业类POI核密度和建成区不透水面密度指示开发强度, 土地利用混合度说明土地利用的多样性。综合而言, 绿地形状指数、AQCI、5 min可达绿地率和土地利用混合度这四个指标, 指示城市更新的绿地结构多样性、空气质量调节响应、绿地的服务可达性与土地集约利用程度。

为了呼应近年公众参与更新的协同治理方式, 应用层次分析法(Analytic Hierarchy

Process, AHP) 确定大学教师、设计师和社区居民对绿地服务功能进行问卷调查后的指标权重, 并计算绿地服务指标的信息熵, 以 AHP 与熵的组合定权方式共同确定指标权重(表 1)。从而客观描述包含更新转型治理与利益相关者决策的时空差异与影响因素, 为恢复力模型提供有效的评估量算。

表 1 绿地服务单元的社会—生态服务指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of social-ecological services in the service unit of green space

子系统及其权重	指标层	指标权重	指标性质	要素含义	指标选取依据
生态子系统 (0.5276)	<i>NDVI</i>	0.1336	(x, +)	归一化差异植被指数, 绿量供给服务	Weng 等 <sup>[38]</sup>
	绿地率	0.1437	(x, +)	绿地占比的支持服务	Choi 等 <sup>[39]</sup>
	<i>AQCI</i>	0.1244	(x, -)	空气质量指数, 绿地调节服务	Wang 等 <sup>[40]</sup>
	绿地形状指数	0.1259	(y, +)	绿地斑块的周长面积比值, 绿地景观异质性	Wiens 等 <sup>[41]</sup>
社会子系统 (0.3412)	人口密度	0.0916	(x, +)	绿地服务单元的人口密度, 绿地的社会支持服务	洪建智等 <sup>[42]</sup>
	历史文化点密度	0.0702	(x, +)	绿地服务单元的历史文化类 <i>POI</i> 核密度, 绿地的历史文化服务	Li 等 <sup>[33]</sup>
	绿地游憩指数	0.0579	(x, +)	绿地斑块 100 m 缓冲区邻域的居住区人口数或者微博签到数, 绿地的游憩服务	Zhang 等 <sup>[43]</sup>
	5 min 可达绿地率	0.1215	(y, +)	绿地服务单元内 5 min 可达范围 200 m 的绿地覆盖率, 绿地可达与连通性	桂昆鹏等 <sup>[44]</sup>
经济子系统 (0.1312)	居住点密度	0.0344	(x, +)	绿地服务单元 100 m 缓冲区的居住类 <i>POI</i> 核密度	Hosseini 等 <sup>[45]</sup>
	商业网点密度	0.0271	(x, +)	绿地服务单元 100 m 缓冲区的商业类 <i>POI</i> 核密度	Schetke 等 <sup>[46]</sup>
	建成区密度	0.0218	(x, -)	绿地服务单元 100 m 缓冲区的建成区不透水密度	Fu 等 <sup>[47]</sup>
	土地利用混合度	0.0479	(y, +)	绿地服务单元 100 m 缓冲区的土地利用功能混合程度	浩龙飞等 <sup>[48]</sup>

注: *x* 和 *y* 分别表示潜力与连通度指标, + 和 - 分别代表正向与负向指标。

其中, 绿地形状指数计算公式如下:

$$S = \frac{P}{2A\sqrt{\pi}}$$

(1)

式中: *S* 为形状指数; *P* 为斑块周长 (m); *A* 为斑块面积 (m<sup>2</sup>)。

$$f_h(s) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k_h \left( \frac{s-s_i}{h} \right)$$

(2)

式中: *f<sub>h</sub>*(*s*) 为空间位置 *s* 处的核密度计算函数; *h* 为距离衰减阈值, 这里由 ArcGIS 软件计算所得; *n* 为与位置 *s* 的距离小于或等于 *h* 的要素点数 (个); *k* 函数则表示空间权重函数。

$$L_i = \frac{-\sum_{K=1}^K P_{K,i} \ln(P_{K,i})}{\ln(K,i)}$$

(3)

式中: *L<sub>i</sub>* 为土地利用混合度; *P<sub>K,i</sub>* 表示第 *k* 种土地利用类型在服务单元 *i* 的面积占比 (%); *K* 表示服务单元 *i* 的土地利用类型数量 (种)。

1.2.2 数据源与预处理

研究涉及数据类型多样, 遥感影像与众源地理数据、空气质量监测数据、人口密度

统计数据 and 城市更新案例点数据等。其中: (1) 对 Landsat 时序遥感影像应用连续变化检测与分类算法 (Continuous Change Detection and Classification, CCDC) 开展广州市 14 个主要地类的变化检测, 精度评估为 87.5%<sup>[49]</sup>。利用逐年新建成绿地、建设用地转化绿地的数据计算绿地的景观指标, 没有发生变化的绿地作为稳定绿地, 保证绿地服务单元的时序分析; 同时计算 *NDVI*、绿地形状指数和地表建成区密度, 提供每两年城市更新建成区与绿地转化博弈的监测数据。(2) 空气质量数据来源于广州市环境质量状况公报的年度监测数据。(3) 人口密度数据来源于第五次、第六次全国人口普查, 2015 年与 2018 年广州统计年鉴, 两类人口数据与建成区面积的比值。(4) 众源地理数据包括村居委会点、主要干道与街区路网、*POI* 和公园绿地的微博签到数据, 基于网络爬虫技术获取并清洗处理。通过估计绿地斑块 100 m 缓冲区的人口与微博签到数, 计算服务单元尺度的总和反映近邻与休憩服务能力; 统计历史文化、居住与商业的 *POI* 核密度, 以核密度总和说明绿地服务单元的社会与经济服务。同样, 土地利用混合度基于六类 *POI* (包括商业类 *POI*、居住类 *POI*、公共服务 *POI*、绿地与广场设施 *POI*、道路及相关设施 *POI*、娱乐休闲 *POI*) 计算香农指数获得信息熵, 熵值越大, 表示功能越多样。除了使用现有的 *POI* 数据计算, 其他时段使用土地利用现状和规划图、谷歌历史影像和相关文献等提取。

### 1.2.3 AHP—熵权组合的灰色关联 TOPSIS 分析

灰色关联 TOPSIS 法是一种客观全面地反映有限方案多目标决策分析的常用方法<sup>[50]</sup>。根据灰色系统理论, 通过计算关联系数来阐明绿地系统恢复力与子系统指标因子的适应演化影响, 加上考虑绿地服务单元各指标因子值与理想值之间的差距, 进一步测度绿地服务单元相对适应性稳态的恢复力, 并比较恢复力空间分异格局。因而, 本文结合 AHP 和熵权法组合权重改进灰色关联 TOPSIS 模型的权重, 以考察绿地配置规划的公众愿景和绿地实际分布对恢复力评价的综合影响, 具体计算步骤<sup>[51]</sup>见式 (4) ~ 式 (17)。

(1) 指标权重。采用极值标准化方法对原始数据进行无量纲化处理, 得到标准化值  $Y_{ij}$ , 基于 AHP 得到的权重  $W_j'$  与熵权法得到  $W_j''$  的组合确定最终各指标权重  $W_j$ <sup>[52]</sup>,  $i$  为第  $i$  个绿地服务单元,  $j$  为第  $j$  项指标。

$$W_j = \frac{W_j' W_j''}{\sum_{j=1}^n W_j' W_j''} \quad (4)$$

(2) 计算指标恢复力初始值的加权矩阵  $V$ :

$$V_{ij} = Y_{ij} \times W_j \quad (5)$$

(3) 确定各指标的最优解  $V_j^+$  与最差解  $V_j^-$ :

$$V_j^+ = \{\max V_{ij} | j = 1, 2, 3, \dots, n\} = \{V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_n^+\} \quad (6)$$

$$V_j^- = \{\min V_{ij} | j = 1, 2, 3, \dots, n\} = \{V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_n^-\} \quad (7)$$

(4) 计算各评价对象与最优解、最差解的欧式距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (9)$$

式中:  $D_i^+$  为评价向量与最优目标的接近程度, 值越小, 说明指标评价距离最优解越

近, 恢复力越高;  $D_i^-$  为评价向量与最差目标的接近程度, 值越小, 说明指标评价值距离最差解越近, 恢复力越低;  $m$  为绿地服务单元数 (个)。

### (5) 计算灰色关联度

① 以加权标准化矩阵为基础, 计算第  $i$  个绿地服务单元值与最优解关于第  $j$  个指标的灰色关联系数  $R_{ij}^+$  :

$$R_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |V_j^+ - V_{ij}| + \zeta \max_i \max_j |V_j^+ - V_{ij}|}{|V_j^+ - V_{ij}| + \zeta \max_i \max_j |V_j^+ - V_{ij}|} \quad (10)$$

式中:  $\min_i \min_j |V_j^+ - V_{ij}|$  为两级最小差;  $\max_i \max_j |V_j^+ - V_{ij}|$  为两级最大差;  $\zeta$  为分辨系数, 取值介于 0~1 之间, 一般取 0.5, 计算第  $i$  个单元值与最优解之间的关联度  $R_i^+$  :

$$R_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{ij}^+ \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (11)$$

② 计算第  $i$  个绿地服务单元值与最差解关于第  $j$  个指标的灰色关联系数  $R_{ij}^-$  :

$$R_{ij}^- = \frac{\min_i \min_j |V_j^- - V_{ij}| + \zeta \max_i \max_j |V_j^- - V_{ij}|}{|V_j^- - V_{ij}| + \zeta \max_i \max_j |V_j^- - V_{ij}|} \quad (12)$$

同以上, 计算第  $i$  个绿地服务单元值与最差解之间的关联度  $R_i^-$  :

$$R_i^- = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{ij}^- \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (13)$$

### (6) 计算相对贴近度

① 分别对欧氏距离和灰色关联度进行无量纲化处理:

$$\varphi_i = \frac{\Phi_i}{\max_{1 \leq i \leq m} \Phi_i} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (14)$$

式中:  $\Phi_i$  代表  $D_i^+$  和  $D_i^-$ 、 $R_i^+$  和  $R_i^-$ ;  $d_i^+$  和  $d_i^-$  和  $r_i^+$ 、 $r_i^-$  分别为无量纲的值。

② 综合无量纲化后的欧氏距离和灰色关联度:  $d_i^-$  和  $R_i^+$  取值越大, 则样本越接近理想值;  $d_i^+$  和  $R_i^-$  的值越大, 则样本越偏离理想值, 得到:

$$T_i^+ = e_1 d_i^- + e_2 d_i^+ \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (15)$$

$$T_i^- = e_1 d_i^+ + e_2 d_i^- \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (16)$$

式中:  $e_1$  和  $e_2$  表示决策主体对各指标的正负理想解和空间位置的偏好程度,  $e_1 + e_2 = 1$ , 一般  $e_1 = e_2 = 0.5$ ;  $T_i^+$  和  $T_i^-$  反映了样本与最优解和最差解的接近程度。

③ 根据欧氏距离与灰色关联度计算各绿地服务单元的综合指标恢复力 (综合恢复力):

$$TP_i = \frac{T_i^+}{T_i^+ + T_i^-} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (17)$$

式中:  $TP_i$  为绿地单元服务的恢复力, 值在 0~1 之间, 值越大表示样本越贴近最优解, 其应对干扰的恢复力能力越强。

## 2 结果分析

### 2.1 广州旧城区绿地恢复力的空间格局

基于改进灰色关联 TOPSIS 模型计算的绿地恢复力, 按自然断点划分为低、较低、中



等、较高、高五级。图2显示恢复力形成内外两层的空间分异,通过冷热点聚集,将覆盖越秀区与天河区南部的高水平恢复力热点区域分为核心区,将其他不显著与冷点区域视为外围区。通过叠置2000年土地利用现状图发现,核心区主要分布为商业与居住区,外围散落着早期轻工业发展而来的厂区。在经历拆建和微改两个阶段后,至“十三五”开端2016年广州旧城核心区已经呈现高水平的绿地恢复力,从新旧中轴线包围的核心区域向外辐射,向东连通天河新区,并逐渐降低。恢复力差的社区明显分布于研究区边缘,主要集中在荔湾区以及白云区南侧,并连通成带状(图2a)。总体呈现核心与边缘两层结构上的冷点(低低)与热点(高高)集聚(图2b)。热点服务单元数量80个,占总体单元数量的40%,主要聚集于越秀区和天河区;冷点服务单元数量为53个,占总体服务单元数量的26.5%。在图2c中,更新案例点数量呈递增趋势,前三个五年的更新分布较为均匀,从城市中心发展至边缘,到“十三五”基本覆盖,以微改为主的更新项目占比接近60%,生态用地范围较少发生更新。

## 2.2 广州旧城区绿地恢复力的演化过程

### 2.2.1 绿地恢复力的适应性循环转化

结合拆建与微改过程政策与更新强度差异,进一步分析热点区与冷点区的绿地恢复力适应性转化特征,解释恢复力的增加与降低、高低值转化的特征内涵。图3显示了每两年时段绿地服务单元的恢复力均值等级转化情况。

以重组作为系统跨阈值后新的适应性循环开始阶段,在拆建与微改的综合作用下,图3a显示,外围区绿地恢复力呈现两次循环,第一阶段危房改造时期呈现快速开发(r)、快速释放( $\alpha$ )转化,第二阶段聚焦拓展与内城中调战略,因而外围处于慢速的重

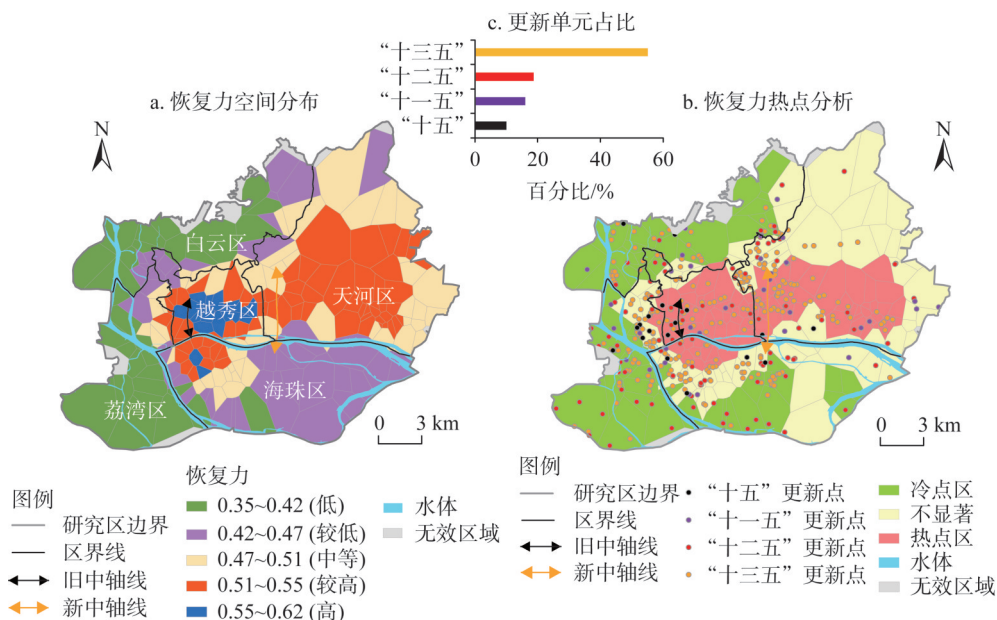
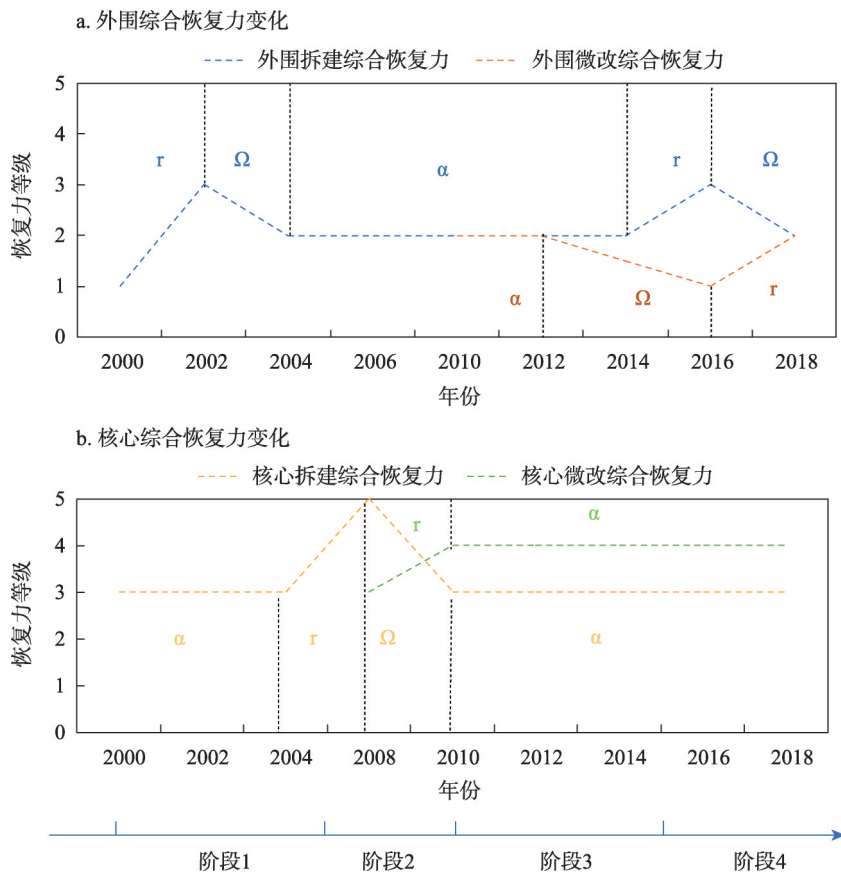


图2 研究区2016年绿地服务单元的空间恢复力格局、恢复力的核心区（热点区）及外围区（不显著与冷点区）、更新单元占比

Fig. 2 The spatial resilience pattern of green space service units, the core areas (hot spot) and the peripheral areas (insignificant and cold spot) of resilience, and renewal unit ratio in 2016





注：1~5级表示从低至高等级，阶段1~4分别为危房改造时期、拓展与中调政策时期、三旧改造时期、微改造时期。

图3 外围区与核心区综合恢复力等级折线图

Fig. 3 Curve of comprehensive resilience levels in peripheral and core areas

组积累 ( $\alpha$ ) 状态；然后，第三、四阶段开始微改更新的重组 ( $\alpha$ ) 向开发 ( $r$ ) 的转化；图3b显示，核心区绿地恢复力在拆建模式下呈现重组 ( $\alpha$ ) — 开发 ( $r$ ) — 释放 ( $\Omega$ ) — 重组 ( $\alpha$ ) 的快速变化，并在亚运会事件前绿地恢复力达到最高水平，后期在中等与较高等级恢复力水平间呈现开发 ( $r$ ) 后保护 ( $k$ ) 的小幅度转化，分别对拆建的转型治理与微改更新治理具有不同的响应。

从整体恢复力水平来看，核心区绿地恢复力一直高于外围，与该区域的绿地服务和更新强度水平较高有关；外围区绿地恢复力与初始水平相比提升了一个等级，但待提升空间还较大，且拆建和微改都明显引起外围区恢复力波动，说明外围区的绿地系统较脆弱。而微改更新方式下均获得了持续改良的积极响应，保障社会、经济、环境可持续发展。由此说明，微改更新带来了可持续的适应性治理转化。图3中，2008年正好经历危房改造向三旧改造过渡，2016年是微改更新政策实施的关键时期，绿地恢复力具有明显的转化拐点，通过对比两个时点的空间格局，有助于解读系统空间格局转化与影响因素<sup>[53]</sup>。

## 2.2.2 绿地恢复力转化的空间格局

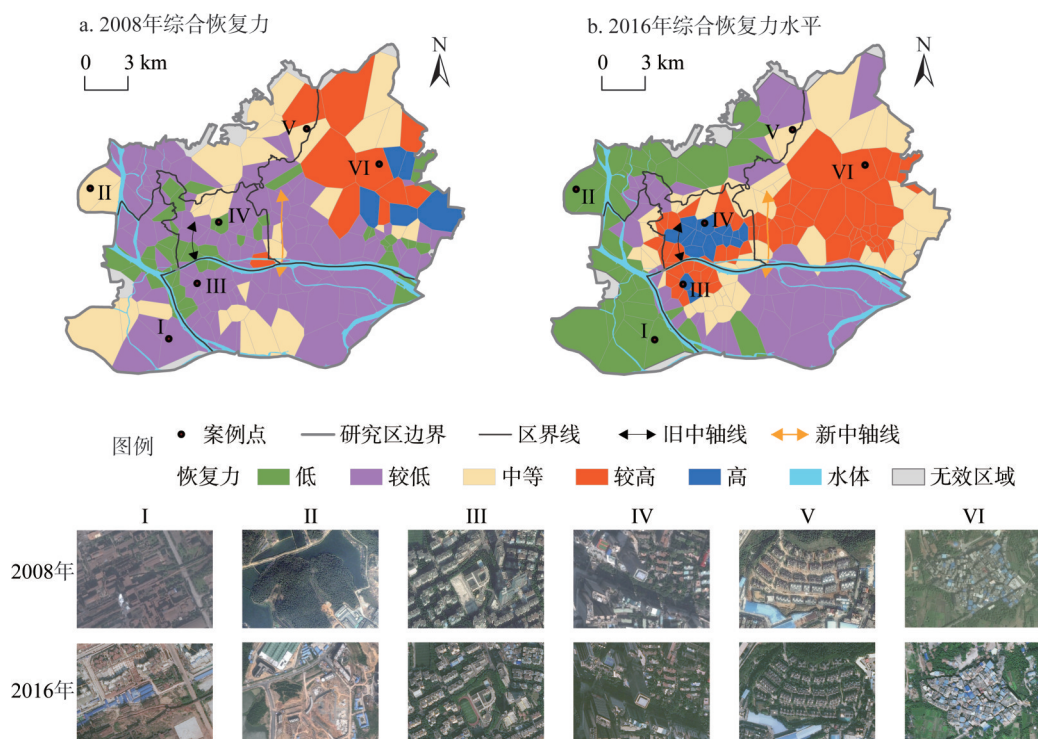
2008年与2016年两个转折时点的恢复力转化景观空间格局和典型案例对比如图4所

示。(1) 2008年大部分核心区处于较低等级, 其中天河区呈现出较高恢复力水平, 绿地恢复力的空间转化景观空间分异特征明显, 待优化治理的绿地单元主要分布在外围。(2) 至2016年, 以新中轴线为中心形成了两个较高水平的恢复力聚集区。通过2008年与2016年的转移矩阵分析转化强度(表2), 较低水平转移到其他水平的总面积较大, 约为80.75 km<sup>2</sup>。其中, 较低转中等、中等转较高水平的面积总和为37.25 km<sup>2</sup>, 大于中等转低与中等转较低水平的总面积35.88 km<sup>2</sup>; 较高和高水平转出是因为亚运会事件前期的开发整治与后期的回落有关, 但总体上维持在中等和较高水平。(3) 越秀区的绿地恢复力整体提升(表3), 海珠区和天河区少部分恢复力降低, 多数为恢复力不变, 其占比分别为65.10%和32.64%。荔湾区与白云区由于实施旧厂改建导致恢复力下降面积占比较大(图4II与图4III案例广钢新城和沙凤小学)。

## 2.3 广州旧城区绿地恢复力的影响因子探析

### 2.3.1 关联因子的统计分析

总体来说, 旧城区绿地是富有恢复力的, 核心区与外围区的恢复力空间分异随着城市更新政策不同, 表现出相异的适应性转化特征。因而, 研究综合恢复力与各指标恢复力的关联关系及其在每个五年规划期的动态, 解释恢复力转化趋势的主导因素。运用SPSS 19.0进行Spearman相关性分析, 结果如图5所示。12个指标中除NDVI、绿地游憩



注: I~VI分别表示2008—2016年的不同恢复力转换情况的6个案例地, 包括荔湾区广钢新城(恢复力下降)、白云区沙凤小学(恢复力下降)、海珠区江南家园(恢复力上升)、越秀区中环广场(恢复力上升)、白云区金湖路(恢复力稳定)、天河区凌塘新村(恢复力稳定)区域。

图4 2008年与2016年广州旧城区综合恢复力空间格局对比

Fig. 4 Comparison of spatial pattern of comprehensive resilience in old urban areas of Guangzhou in 2008 and 2016

表2 2008—2016年广州旧城区绿地服务单元的社会—生态恢复力转移矩阵

Table 2 Social-ecological resilience transfer matrix of green space service units in old urban areas of Guangzhou from 2008 to 2016 (km <sup>2</sup> )						
恢复力等级	低	较低	中等	较高	高	2008年总计
低	7.17	10.05	6.59	10.69	3.39	37.89
较低	44.83	69.46	29.29	32.31	8.48	184.37
中等	45.71	18.15	23.56	2.79	2.71	92.92
较高	—	5.96	19.10	26.59	—	51.65
高	—	—	6.17	9.41	—	15.58
2016年总计	97.71	103.62	84.71	81.79	14.58	382.41
变化面积	59.82	-80.75	-8.21	30.14	-1.00	

表3 2008—2016年广州旧城区行政区域内的社会—生态恢复力等级变化统计

Table 3 Statistics on the changes of social-ecological resilience levels within administrative regions in old urban areas of Guangzhou from 2008 to 2016						
行政区	等级降低面积/km <sup>2</sup>	等级上升面积/km <sup>2</sup>	等级不变面积/km <sup>2</sup>	等级降低面积比例/%	等级上升面积比例/%	等级不变面积比例/%
海珠区	11.91	10.18	41.21	18.82	16.08	65.1
荔湾区	32.69	3.34	4.86	79.94	8.17	11.89
越秀区	0	15.03	0	0	100	0
白云区	34.62	0	1.38	96.15	0	3.85
天河区	40.12	35.1	36.45	35.93	31.43	32.64

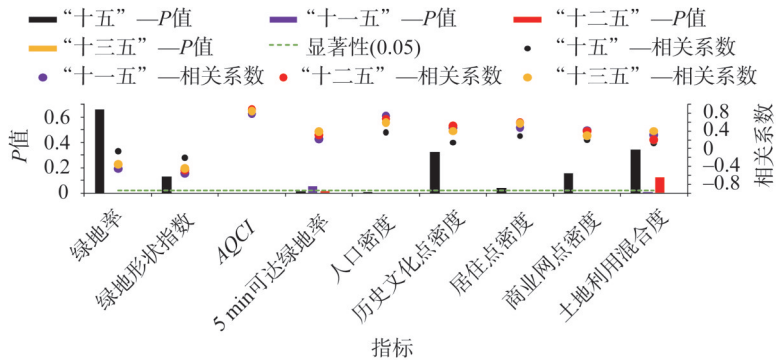


图5 社会—生态—经济子系统指标恢复力Spearman相关分析

Fig. 5 Spearman correlation analysis of metrics resilience in social-ecological-economic subsystem

指数、建成区密度三个，其他指标恢复力均与综合恢复力有显著相关性，并且不同时段相关程度不同。其中，历史文化点密度、商业网点密度和土地利用混合度这三个指标在“十五”阶段没有通过显著性检验，这与该阶段旧城区的大规模拆建有关。由于拆建损耗了绿地的潜力，导致系统处于重组积累阶段。同时，“十五”阶段拆建过程中绿地率、绿地形状指数由于先拆除再重建，呈现与综合恢复力先降后升的关系，而大部分指标在后面三个五年阶段均得到了提升，并且有单向线性相关关系，利于进一步探究转化时点的空间格局。

### 2.3.2 关联因子的空间分析

SES指标与绿地恢复力的响应关系,即关联因子的空间结构分析有助于和更新政策一起分析对空间恢复力的内外驱动作用<sup>[54,55]</sup>。通过将2008年指标恢复力划分为高于均值(高)和低于均值(低)的初始层次,对比2008—2016年三种恢复力转化类型包括等级不变、高转低和低转高及2016年的指标等级(I-低、II-中、III-高),实现基于初始—过程—结局的指标空间分析来解释恢复力转化成因(图6)。

2008年指标恢复力高于均值水平单元主要分布在天河区、海珠区与荔湾区;绿地的高水平服务单元包括人口密度、居住点密度及土地利用混合度,主要分布在天河区与海珠区,这与2010年广州亚运会前的开发投入密切相关。至2016年,越秀区部分单元绿地形状指标的恢复力提升较大,并形成空间聚集特征。主要是通过路桥绿化、社区和街头公园的“见缝插绿”“口袋公园”等措施,增加了绿地形状的多样性和连通性;同时,越秀区的绿地服务人口、居住点密度、5 min可达绿地率也有所增加。因此,天河区与越秀区总体上呈现潜力和连通度增加的开发特征,绿地的AQCI空气质量调节服务上升,这与广州市“十二五”以来缓解城区住房紧张与提升生态福祉的目标相符合<sup>[56]</sup>;外围荔湾区与海珠区的社会和经济维恢复力下降,特别是绿地单元服务的人口密度、居住点密度,与之相应AQCI下降空气质量恶化,也反映了滨江工业区在拆建搬离过程中,绿地服务潜力及连通度下降,因而呈现恢复力先释放后重组的特征。

鉴于AQCI指标主要反映绿地系统的调节结果,本文基于随机森林(Random Forest, RF)的基尼系数统计,进一步对比除AQCI以外的其他绿地指标对空间恢复力的影响(图7)。其中,2008年影响较高的指标是绿地率、绿地形状指数与5 min可达绿地率,2016年则是人口密度、居住点密度,其次是土地利用混合度与绿地形状指数。进一步说明,2008—2016年,综合恢复力的主要贡献指标由生态维转向社会—经济维。对比图6a3~图6f3,在旧城核心区中,以上指标除了绿地率与绿地形状指数以外,指标水平均提升到高水平III,而外围区由于较少更新活动,依然保持在I级水平。低水平的5 min可达绿地率和土地利用混合度是低恢复力的主要影响因素。通过Spearman相关分析(图5)与基尼系数(图7)均可以判断出,以上六个指标在相应时段中均具有统计学与空间意义的相关性,说明更新政策与绿地空间分异共同影响绿地恢复力的时空转化特征。其中,5 min可达绿地率和人口密度视为绿地潜力特征,而土地利用混合度与绿地形状指数指示绿地连通度,既可以指示外围区绿地脆弱性,也可以分析恢复力转变的成因。

总体而言,六个相关性较高的指标变量在更新过程中形成了空间分异格局,其潜力与连通性变化对综合恢复力变化特征具有可解释性。更新政策及其绿地关联指标格局充分说明了外部与内部成因的影响。

## 2.4 广州旧城更新与绿地SES适应性治理

显然,在更新转型背景下,城市绿地的SES适应性是人类主体为减少快速城市化的负面干扰,通过更新改造调整,降低不利影响并保持系统的优势状态。以旧城区绿地系统的适应性在2008年与2016年的两次显著转化说明:核心区的恢复力水平高过外围区,在城市外扩的阶段1,外围区经历了城市扩张导致的粗放式增长,被叫停后进入快速释放重组;在阶段2“中调”战略的内城危房美化运动下,核心区先是开发—释放—重组循环,微改介入并主导后期形成新的开发—保护发展。结合恢复力提升、稳定和降低的



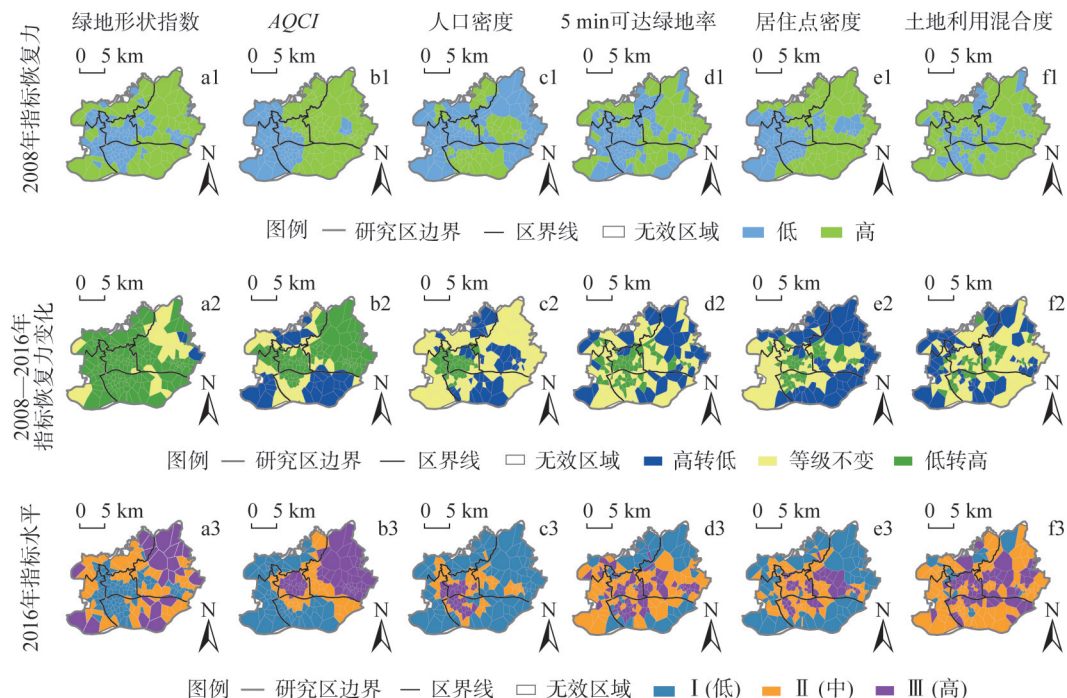


图6 广州旧城区绿地服务单元

Fig. 6 Profiles of green space service units in old urban areas of Guangzhou

面积比例, 本文将研究区划分为适应性提升、稳定和更替三种类型。其中, 越秀-天河组团为提升型适应性, 海珠区与天河区北部属于稳定型适应性, 荔湾区和白云区属于更替型适应性。同时, 恢复力由最初的生态指标贡献为主, 2016年转为以社会和经济指标贡献为主的结果; 核心区绿地恢复力提升说明通过城市更新调节SES服务, 一定程度上实现了生态福祉提升的适应性治理目标; 而外围区绿地的脆弱性与更新不足, 加剧了其核心区的恢复力差异, 呈现空气质量下降、人口密度高而绿地恢复力波动的现象。

广州在改革开放以后主要以轻工业发展为主, 旧城区居住空间少且居住密度较高, 如金花街道改造后人口致密化的报道<sup>[57]</sup>。更新模式从政府主导的危房美化、政府与市场结合的三旧改造、发展转向由政府、市场和居民多元主体共治的微改。通过梳理四个五年的规划与更新政策, 明晰广州旧城区更新过程与绿地适应性循环的关系(图8), 并说明如下: (1) 2000—2008年, 政府出资建立区域保护地和改造城市内部的绿地, 是配合内城危房美化运动及发展商务居住空间的转型适应型策略, 如琶洲与珠江新城的绿地适

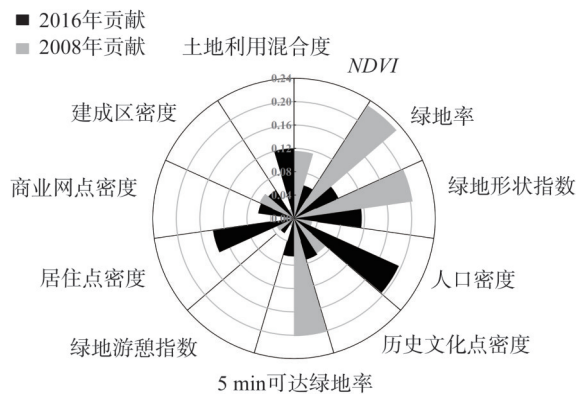


图7 广州旧城区绿地恢复力的指标贡献分析

Fig. 7 The metrics contribution analysis of green space resilience in old urban areas of Guangzhou

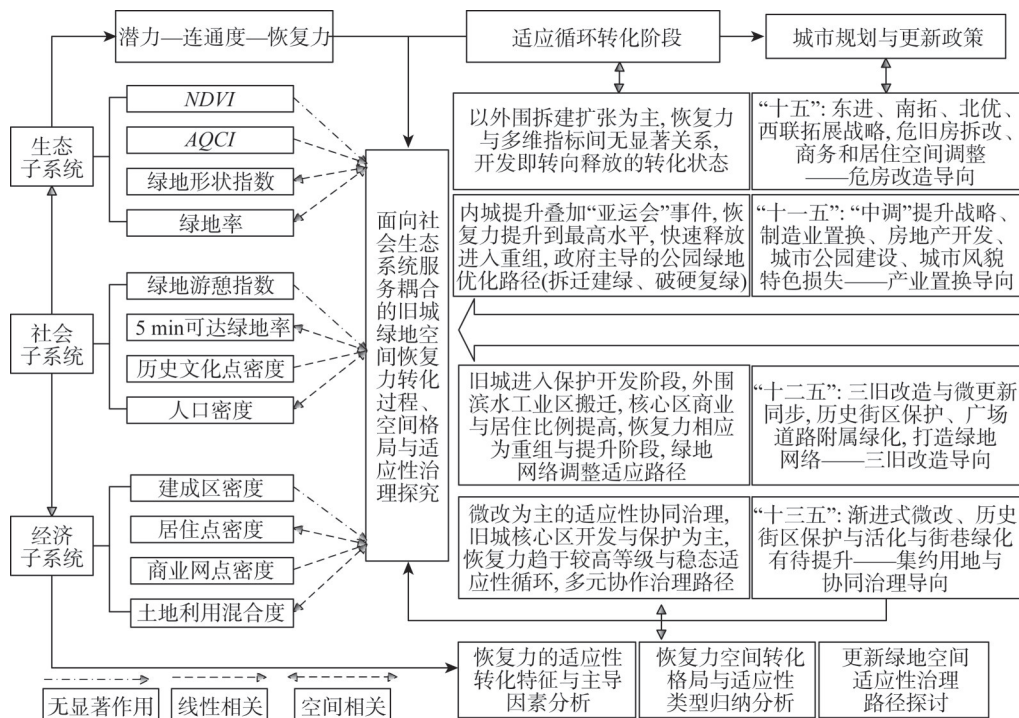


图8 广州旧城区更新治理对绿地恢复力的研究框架梳理

Fig. 8 Influence of renewal on green space resilience in old urban areas of Guangzhou

应性有一定提升,但拆建导致城市风貌较大的破坏,引发政府和民众对“大拆大建”的反思。(2) 2008年后的三旧改造与政府主导的绿地廊道网络构建,相关的珠江航道滨水工业区、居住与商业区发生巨变,主要完成滨江白鹅潭、员村和洛溪工业区的拆迁转移与升级改造,实施的是自上而下的调整适应型策略,临时绿地配置及治理未引起足够重视。(3) 2014年采取微更新政策后,利用零星用地增设街头绿地和口袋公园(面积小于 $0.3 \text{ hm}^2$ 的小型绿地),地表—地下的商务空间整体发展、居民协同参与的多元化改造等,采取自下而上的调整适应型策略,为旧城区增设绿地提供了空间<sup>[35]</sup>。例如,天河CBD治理行动中,生态景观改造与总体整治工程的比例接近50%。

通过区域公园、城市公园、社区公园与口袋公园的绿地空间系统治理策略,广州实现了由绿道网络连通的“面”——“点”绿地结构的整体空间治理。但是,从恢复力空间分异格局应该看到:一方面,更新改造仍然受“核心—边缘”理论<sup>[58]</sup>的影响,城市核心区因交通优势和区位优势,集中了城市功能的重要部分,成为城市更新和绿地配置的主要空间,而外围滨水工业区的治理适应性不足,相关研究也表明更新规划对深圳经济特区以外的区域治理不足<sup>[59]</sup>。另一方面,外围区的地段型衰败在荔湾区和白云区较明显,历史街区表现出保护有余而活力不够,并出现恩宁路“拆建”转“微改”的案例<sup>[60]</sup>。在拆建改造旧城的基础上,广州通过微更新的多元主体利益协作来解决类似的SES适应性治理问题。这与广州前期的快速城市化与后期的快速拆建改造有密切关系,也与西方城市更新衰败空间的初衷存在差异<sup>[61]</sup>。

### 3 结论与展望

#### 3.1 结论

本文以广州旧城区更新空间的绿地服务单元为研究对象,构建了绿地的潜力—连通度—恢复力三维适应性循环分析框架,从统计指标评估拓展到景观的时空变化评估,是面向复杂的城市更新SES,应用恢复力理论解读与评估的一次有益尝试。结合GIS、遥感与众源数据完善时空尺度上的指标获取,刻画了城市更新阶段的绿地恢复力转化发展、空间格局与适应性特征。关注拆建与微改方式下绿地空间的转型与协作治理,进一步探讨更新相关的影响及可持续性,该方法具有较好的迁移性,研究结论如下:

(1) 2000—2018年广州城市更新背景下,旧城区绿地的恢复力演化具有明显的时空分异,核心区与外围区分别呈现热点与冷点的空间分异格局,拆建中绿地恢复力具有快速开发即快速释放的转化特征,呈现城市风貌破坏与社会矛盾风险并存局面;微改采取开发中保护的多元主体协作治理,较好地维持和促进恢复力提升;恢复力分析由生态维指标贡献为主转向后期以社会和经济维的指标贡献为主。研究结果指出在旧城区快速扩张及拆建更新之后,尤为需要关注识别系统恢复力的可持续转化趋势,广州及时通过多元主体协作的微改更新,实现了SES服务的调节和生态福祉的提升。

(2) 城市更新绿地空间可视为一个快速开发和慢速微改干扰下的典型SES,本文构建并解读了更新转型的SES适应性治理研究框架及其内涵。广州旧城区绿地的治理采取包括政府主导的公园绿地及绿道网络的调整转型改造,多元主体的社区绿地协作治理两种类型。以绿地空间恢复力作为SES适应性治理的指示因子,揭示在更新政策与绿地空间耦合的外部与内部因素的共同影响,拆建与微改方式下绿地服务单元的治理效应呈现空间恢复力提升、稳定和更替型为主的适应性特征,核心区获得了良好的社会生态适应性,可以为外围区的更新规划和治理提供参考。

#### 3.2 展望

值得关注研究区的城市更新仍然受“核心—边缘”区位理论的影响,如广州外围滨水工业区的治理适应性不足,荔湾历史街区表现出保护有余而活力不够,并存在拆建更新不可持续的案例。需要进一步优化绿地的景观连通性和多功能性来提升调节和供给服务,增强恢复力,实现历史街区的保护与活化;从这个角度看,城市绿地恢复力动态作为一个窗口,指示了旧城区更新的SES适应性治理的时空过程,与采取不同适应性治理策略的必要性。本文中核心区的用地密度与恢复力较高,适合采取存量规划方式,微改更新有助于保护既有恢复力;外围区制造业和旧厂搬迁升级,可以考虑合适的文创产业和滨水景观绿地环境营造。研究区的适应性治理需视城市更新发展阶段,采取适应不同人地关系的绿地空间治理政策;最终面向适应性治理目标,未来的研究应进一步结合转化状态及转化阈值识别,帮助理解人与城市的反馈,提供绿地景观布局优化,更好地保障人类福祉和实现可持续发展目标。

#### 参考文献(References):

- [1] 陈康林, 龚建周, 刘彦随, 等. 近35 a来广州城市绿色空间及破碎化时空分异. 自然资源学报, 2016, 31(7): 1100-1113. [CHEN K L, GONG J Z, LIU Y S, et al. The spatial-temporal differentiation of green space and its fragmentation during the past thirty-five years in Guangzhou. Journal of Natural Resources, 2016, 31(7): 1100-1113.]
- [2] ANDERSSON-SKÖLD Y, KLINGBERG J, GUNNARSSON B, et al. A framework for assessing urban greenery's ef-



- fects and valuing its ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2018, 205: 274-285.
- [3] 阳建强. 我国旧城更新改造的主要矛盾分析. *城市规划汇刊*, 1995, (4): 9-12. [YANG J Q. Analysis on some issues of urban renewal in China. *Urban Planning Forum*, 1995, (4): 9-12.]
- [4] 柴海龙, 程艾, 余小芳. 基于城市韧性理论的旧城改造与更新研究. *城市学刊*, 2018, 39(1): 90-94. [CHAI H L, CHENG A, YU X F. Study on urban reconstruction and renewal based on urban resilience theory. *Journal of Urban Studies*, 2018, 39(1): 90-94.]
- [5] BOYD J, BANZHAF H S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2): 616-626.
- [6] HOLLING C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 2001, 4(5): 390-405.
- [7] HOLLING C S, GUNDERSON L H. *Resilience and Adaptive Cycles. Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. London: Island Press, 2002: 25-62.
- [8] 杨新军, 石育中, 王子侨. 道路建设对秦岭山区社会—生态系统的影响: 一个社区恢复力的视角. *地理学报*, 2015, 70(8): 1313-1326. [YANG X J, SHI Y Z, WANG Z Q. Exploring the impacts of road construction on a local social-ecological system in Qinling Mountainous Area: A resilience perspective. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1313-1326.]
- [9] 袁媛, 白中科. 基于文献计量分析的生态系统恢复力研究进展. *农业工程学报*, 2020, 36(3): 271-278. [YUAN Y, BAI Z K. Research progress of ecosystem resilience based on bibliometric investigation. *Transactions of the CSAE*, 2020, 36(3): 271-278.]
- [10] 张行, 梁小英, 刘迪, 等. 生态脆弱区社会—生态景观恢复力时空演变及情景模拟. *地理学报*, 2019, 74(7): 1450-1466. [ZHANG X, LIANG X Y, LIU D, et al. The resilience evolution and scenario simulation of social-ecological landscape in the fragile area. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(7): 1450-1466.]
- [11] 张禹. 传统村落空间适应性更新研究. *南方农业*, 2019, 13(5): 103-104. [ZHANG Y. Research on spatial adaptation renewal of traditional villages. *South China Agriculture*, 2019, 13(5): 103-104.]
- [12] 苏飞, 莫潇杭, 童磊, 等. 旅游地社会—生态系统适应性研究进展. *地理科学*, 2020, 40(2): 280-288. [SU F, MO X H, TONG L, et al. Progress on adaptability of tourism destination social-ecological system. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(2): 280-288.]
- [13] 黄雯雯, 林广思. 城市绿地健康影响机制的理论和实证研究综述. *西部人居环境学刊*, 2021, 36(2): 1-10. [HUANG W W, LIN G S. The mechanism of urban green space affecting public health and its emotional progress. *Journal of Human Settlements in West China*, 2021, 36(2): 1-10.]
- [14] ERNSTSON H, BARTHEL S, ANDERSSON E, et al. Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: The case of stockholm. *Ecology and Society*, 2010, 15(4): 28.
- [15] WANG Z F. Evolving landscape-urbanization relationships in contemporary China. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 171: 30-41.
- [16] COLDING J, FOLKE C, ELMQVIST T. Social institutions in ecosystem management and biodiversity conservation. *Tropical Ecology*, 2003, 44(1): 25-41.
- [17] 屠星月, 黄甘霖, 邬建国. 城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述. *生态学报*, 2019, 39(2): 421-431. [TU X Y, HUANG G L, WU J G. Review of the relationship between urban greenspace accessibility and human well-being. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(2): 421-431.]
- [18] 刘大鹏, 马斌, 王悦. 工业城市防护绿地空间布局适宜性评价: 以内蒙古包头市为例. *自然资源学报*, 2021, 36(2): 420-434. [LIU D P, MA B, WANG Y. Evaluation of the suitability of urban protective green space layout in industrial cities: A case study of Baotou city, Inner Mongolia. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(2): 420-434.]
- [19] 王敏, 朱安娜, 汪洁琼, 等. 基于社会公平正义的城市公园绿地空间配置供需关系: 以上海徐汇区为例. *生态学报*, 2019, 39(19): 7035-7046. [WANG M, ZHU A N, WANG J Q, et al. Supply and demand analysis of urban park distribution based on social equity and justice: A case study of Xuhui district, Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(19): 7035-7046.]
- [20] CUMMING G S. Spatial resilience: Integrating landscape ecology, resilience, and sustainability. *Landscape Ecology*, 2011, 26(7): 899-909.



- [21] 刘焱序, 王仰麟, 彭建, 等. 基于生态适应性循环三维框架的城市景观生态风险评价. 地理学报, 2015, 70(7): 1052-1067. [LIU Y X, WANG Y L, PENG J, et al. Urban landscape ecological risk assessment based on the 3D framework of adaptive cycle. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(7): 1052-1067.]
- [22] 修春亮, 魏冶, 王绮. 基于“规模—密度—形态”的大连市城市韧性评估. 地理学报, 2018, 73(12): 2315-2328. [XIU C L, WEI Y, WANG Q. Evaluation of urban resilience of Dalian city based on the perspective of "Size-Density-Morphology". *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(12): 2315-2328.]
- [23] 李博, 史钊源, 田闯, 等. 中国人海经济系统环境适应性演化及预警. 地理科学, 2019, 39(4): 533-540. [LI B, SHI Z Y, TIAN C, et al. Environmental adaptability evolution and early-warning of human-sea economic system in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(4): 533-540.]
- [24] 赵昕月, 董世魁, 杨明岳, 等. 基于扰沌模型的青藏高原放牧社会—生态系统分析. 自然资源学报, 2021, 36(8): 2125-2138. [ZHAO X Y, DONG S K, YANG M Y, et al. Analysis of a pastoral social-ecological system in Qinghai-Tibet Plateau based on Panarchy. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(8): 2125-2138.]
- [25] WALKER B, HOLLING C S, CARPENTER S R, et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 2004, 9(2): 5.
- [26] 尹莎, 杨新军, 陈佳. 人地系统适应性研究进展: 概念、理论框架与方法. 地理科学进展, 2021, 40(2): 330-342. [YIN S, YANG X J, CHEN J. Progress of research on adaptation of human-environment systems: Concepts, theoretical frameworks, and methods. *Progress in Geography*, 2021, 40(2): 330-342.]
- [27] CHAFFIN B C, GARMESTANI A S, GUNDERSON L H, et al. Transformative environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 2016, 41(1): 399-423.
- [28] ANSELL C, GASH A. Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 2007, 18(4): 543-571.
- [29] 陈佳, 杨新军, 温馨, 等. 旅游发展背景乡村适应性演化理论框架与实证. 自然资源学报, 2020, 35(7): 1586-1601. [CHEN J, YANG X J, WEN X, et al. The theoretical framework and demonstration of rural adaptive evolution in the context of tourism development. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(7): 1586-1601.]
- [30] 严若谷, 周素红, 闫小培. 城市更新之研究. 地理科学进展, 2011, 30(8): 947-955. [YAN R G, ZHOU S H, YAN X P. Studies of urban regeneration. *Progress in Geography*, 2011, 30(8): 947-955.]
- [31] 王群, 陆林, 杨兴柱. 国外旅游地社会—生态系统恢复力研究进展与启示. 自然资源学报, 2014, 29(5): 894-908. [WANG Q, LU L, YANG X Z. Research progress and enlightenment of tourism socio-ecological system resilience in foreign countries. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(5): 894-908.]
- [32] 姚之浩, 田莉. 21世纪以来广州城市更新模式的变迁及管治转型研究. 上海城市规划, 2017, (5): 29-34. [YAO Z H, TIAN L. Transition of pattern and modes of governance for urban renewal in Guangzhou since the 21st century. *Shanghai Urban Planning Review*, 2017, (5): 29-34.]
- [33] LI X, HUI E C M, CHEN T, et al. From Habitat III to the new urbanization agenda in China: Seeing through the practices of the "three old renewals" in Guangzhou. *Land Use Policy*, 2019, 81: 513-522.
- [34] 黄慧明. 1949年以来广州旧城的形态演变特征与机制研究. 广州: 华南理工大学, 2013. [HUANG H M. The characteristics of urban morphological transformations and development mechanisms: A case study of Guangzhou since 1949. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.]
- [35] 蓝素雯. 广州市城市改造的历史研究 (1918—2015年). 广州: 华南理工大学, 2018. [LAN S W. A historical study of urban reconstruction in Guangzhou: From 1918 to 2015. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.]
- [36] JIM C Y, CHEN W Y. Recreation-amenity use and contingent valuation of urban greenspaces in Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 75(1): 81-96.
- [37] CUMMING G S, PETERSON G D. Unifying research on social-ecological resilience and collapse. *Trends in Ecology and Evolution*, 2017, 32(9): 695-713.
- [38] WENG Q H, LU D S, SCHUBRING J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4): 467-483.
- [39] CHOI H A, LEE W K, BYUN W H. Determining the effect of green spaces on urban heat distribution using satellite imagery. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 2012, 6(2): 127-135.
- [40] WANG H H, ZHANG S C, WANG J, et al. Combined toxicity of outdoor air pollution on kidney function among adult wom-

- en in Mianyang city, Southwest China. *Chemosphere*, 2020, 238: 124603, Doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124603.
- [41] WIENS J A, STENSETH N C, VAN HORNE B, et al. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos*, 1993, 66 (3): 369-380.
- [42] 洪建智, 郭碧云, 付迎春, 等. 新型城镇化的人地耦合异速增长分析方法. *地球信息科学学报*, 2020, 22(5): 1049-1062. [HONG J Z, GUO B Y, FU Y C, et al. Analytical method for man-land coupling allometric growth under the background of new-type urbanization. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(5): 1049-1062.]
- [43] ZHANG S, ZHOU W Q. Recreational visits to urban parks and factors affecting park visits: Evidence from geotagged social media data. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 180: 27-35.
- [44] 桂昆鹏, 徐建刚, 张翔. 基于供需分析的城市绿地空间布局优化: 以南京市为例. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1215-1223. [GUI K P, XU J G, ZHANG X. Optimation of urban green spatial arrangement based on supply-demand analysis: A case study in Nanjing city, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(5): 1215-1223.]
- [45] HOSSEINI S J F, LAING R. The role of plant clinics in sustainability of urban green spaces in Tehran. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2011, 18(2): 128-133.
- [46] SCHETKE S, HAASE D, BREUSTE J. Green space functionality under conditions of uneven urban land use development. *Journal of Land Use Science*, 2010, 5(2): 143-158.
- [47] FU Y C, LI J F, WENG Q H, et al. Characterizing the spatial pattern of annual urban growth by using time series Landsat imagery. *Science of the Total Environment*, 2019, 666: 274-284.
- [48] 浩飞龙, 施响, 白雪, 等. 多样性视角下的城市复合功能特征及成因探测: 以长春市为例. *地理研究*, 2019, 38(2): 247-258. [HAO F L, SHI X, BAI X, et al. Geographic detection and multifunctional land use from the perspective of urban diversity: A case study of Changchun. *Geographical Research*, 2019, 38(2): 247-258.]
- [49] ZHU Z, FU Y C, WOODCOCK C E, et al. Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000-2014). *Remote Sensing of Environment*, 2016, 185: 243-257.
- [50] CHEN M F, TZENG G H. Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country. *Mathematical and Computer Modelling*, 2004, 40(13): 1473-1490.
- [51] 杨莹, 林琳, 钟志平, 等. 基于应对公共健康危害的广州社区恢复力评价及空间分异. *地理学报*, 2019, 74(2): 266-284. [YANG Y, LIN L, ZHONG Z P, et al. Comprehensive evaluation and spatial differentiation of community resilience in Guangzhou based on response of the city to public health hazards. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(2): 266-284.]
- [52] 左其亭, 张志卓, 吴滨滨. 基于组合权重TOPSIS模型的黄河流域九省区水资源承载力评价. *水资源保护*, 2020, 36 (2): 1-7. [ZUO Q T, ZHANG Z Z, WU B B, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of nine provinces in Yellow River Basin based on combined weight TOPSIS model. *Water Resources Protection*, 2020, 36(2): 1-7.]
- [53] 刘焱序, 傅伯杰, 王帅, 等. 空间恢复力理论支持下的人地系统动态研究进展. *地理学报*, 2020, 75(5): 891-903. [LIU Y X, FU B J, WANG S, et al. Research progress of human-earth system dynamics based on spatial resilience theory. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(5): 891-903.]
- [54] CRÉPIN A S, JON N, MÄLER K G, et al. Coupled economic-ecological systems with slow and fast dynamics: Modeling and analysis method. *Ecological Economics*, 2011, 70(8): 1448-1458.
- [55] ELISABETH H, MÓNICA R P, JOSÉ T A M, et al. Navigating challenges and opportunities of land degradation and sustainable livelihood development in dryland social-ecological systems: A case study from Mexico. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 2012, 367(1606): 3158-3177.
- [56] 阳建强, 陈月. 1949—2019年中国城市更新的发展与回顾. *城市规划*, 2020, 44(2): 9-19. [YANG J Q, CHEN Y. Review on the development of urban regeneration in China from 1949 to 2019. *City Planning Review*, 2020, 44(2): 9-19.]
- [57] 郭友良, 李卿. 转型期城市居住用地更新的空间加密化研究: 广州市金花街改造再考. *地理科学*, 2018, 38(2): 161-167. [GUO Y L, LI X. Redevelopment of residential land and the densification of inner city admist transition: Revisiting the case of Jinhua neighbourhood in Guangzhou. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(2): 161-167.]
- [58] FRIEDMAN J. *Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela*. Cambridge: The MIT Press, 1966: 20-38.
- [59] YU D, FU B J, SUN C Z. Effects of urban planning in guiding urban growth: Evidence from Shenzhen, China. *Cities*, 2018, 83: 118-128.

- [60] 谭肖红, 谢涤湘, 吕斌, 等. 微更新转型语境下我国城市更新治理困境与实施反思: 以广州市恩宁路街区更新为例. 城市发展研究, 2020, 27(1): 22-28. [TAN X H, XIE D X, LYU B, et al. Reflection on dilemma of governance and implementation of urban regeneration in China during transition of micro regeneration: A case study of enning road regeneration in Guangzhou. Urban Development Studies, 2020, 27(1): 22-28.]
- [61] 严若谷, 周素红, 闫小培. 西方城市更新研究的知识图谱演化. 人文地理, 2011, 26(6): 83-88. [YAN R G, ZHOU S H, YAN X P. Evolution of the knowledge map of western urban regeneration study. Human Geography, 2011, 26(6): 83-88.]

## Spatial resilience evolution of green space from the perspective of social-ecological system adaptive governance: A case study for urban renewal in Guangzhou, China

FU Ying-chun<sup>1,2</sup>, GUO Bi-yun<sup>1,3</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, QIN Xiao-ling<sup>4</sup>

(1. School of Geographical Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510631, China; 3. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 4. School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** As a key carrier of social-ecological systems, the green space in the old urban communities is a critical issue for urban high-quality development and transformation governance demands. This study constructs the basic units of green space service in old urban areas of Guangzhou. We introduce the three-dimensional framework of potential-connectedness-resilience of adaptive cycle theory to construct a green space landscape index system representing ecological, social, and economic services. This index system evaluates the spatial resilience level and adaptability transformation characteristics of green space in old urban areas of Guangzhou from 2000 to 2018. Results show that the spatial resilience evolution of the old urban green space has apparent spatiotemporal differentiation in the core and peripheral areas. In demolition reconstruction phase we witness the fast development-quick release-restructuring; in micro renewal stage mainly emerges the development-protection, which consists of three types of improvement, stability, and alternation in social-ecological system services adaptability. The results indicate that urban renewal can regulate the governance of social-ecological services. Among them, green space shape index, green space rate within a 5-minute range, and land use mix degree have significantly promote the resilience of core green space, which provides successful examples for the governance in the peripheral areas. Meanwhile, this paper discusses the relationship between renewal policy and the spatial resilience evolution of green space, which provides a theoretical and empirical study of social-ecological system adaptability for promoting green space renewal governance in old urban areas.

**Keywords:** urban renewal and transformation; social-ecological system; adaptive governance; green space; spatial resilience; Guangzhou