

能值分析方法在社区环境可持续发展评估中的应用

Application of Emergy Analysis Method in Evaluating the Sustainable Development of Community Environment

赵凯茜 李翅
Zhao Kaixi, Li Chi

摘要：双碳目标下，城市更新不仅要重视绿色低碳，更要注重可持续发展。可持续的社区建设是推动城市绿色更新的重要支撑，也是探索低碳城镇化的必由之路。能值分析作为国际社会普遍认可的评估方法，可以对研究系统的行为进行全面评估。本文将能值分析理念与方法引入社区更新中，以北京市学院路街道30个社区单元为研究对象，绘制能值系统图，构建指标体系，直观量化社区人居环境可持续发展水平。结果表明，该街道各社区均处在不可再生资源消耗阶段，固碳释氧能力有限，环境压力较大，可持续水平不容乐观，不利于社区更新的有效开展。通过对社区能值计算结果进行深入分析，可为后续开展绿色更新提供理论基础和发展思路。

Abstract: Under the targets of carbon peak and carbon neutrality, urban regeneration should not only pay attention to green and low-carbon, but also pay attention to sustainable development. Sustainable community construction is not only an important support to promote green urban renewal, but also the way to explore low-carbon urbanization. Emergy analysis, as an internationally recognized evaluation method, can comprehensively evaluate the behavior of research systems. This paper introduces the concept and method of emergy analysis into community regeneration, and takes 30 community units in Xueyuanlu Sub-district of Beijing as the research object. Firstly, we draw emergy system diagram, construct index system, and then intuitively quantify the sustainable development level of community living environment. The results show that all communities are in the consumption stage of non renewable resources, and the capacity of carbon sequestration and oxygen release is limited. In addition, the environmental pressure of the community is large, and the sustainable level is not optimistic, which is not conducive to the effective development of community renewal. Through the in-depth analysis of the community emergy calculation results, it provides a theoretical basis and development ideas for the follow-up green regeneration.

关键词：能值分析；社区更新；人居环境；资源环境；城市更新；
学院路街道

Keywords: Emergy Analysis; Community Regeneration; Living Environment; Resources and Environment; Urban Regeneration; Xueyuanlu Sub-district

国家自然科学基金面上项目 (51978050)

作者：赵凯茜，北京林业大学园林学院，博士研究生。510892743@qq.com
李翅（通信作者），博士，北京林业大学园林学院，教授，博士生导师。
lich@bjfu.edu.cn

引言

在全球迈向可持续发展的进程中，世界各国都高度重视城市更新，将其视为应对城市资源环境约束、推进现代化、融入全球化和推进经济社会结构转型的重要途径。2015年，联合国会员国通过了《改变我们的世界：2030年可持续发展议程》(Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development)，其中第11项目标——可持续城市和社区，着眼于建设包容、安全、有韧性和可持续的城市^[1]。由于目前世界上半以上的人口生活在城市环境中，社区成为推动城市可持续发展的重要载体以及居民生活和城市治理的基本单元^[2]，其可持续发展建设是当今国际社会关注的一个重要议题。英国政府制定推出了“社区更新一人与地方”(Neighbourhood Renewal-People and Place)计划，有效促进了其城市的可持续发展^[3-4]；加拿大温哥华践行小地块、高密度、步行友好、公交服务的社区发展模式，多年来在全球城市宜居指数计算排名中位于前列^[5]。我国上海市政府提出推动城市更新，打造更加宜居宜人的城乡环境，提倡绿色低碳生产生活方式^[6-7]；同样作为国际一线城市的北京，在2019年引入责任规划师制度，开始为城市更新提供明确的制度路径^[8]。然而不得不说，当前一定程度上忽略了对城市（社区）的可持续发展评估相关方面的研究，未来亟须开展城市更新技术方法创新，促使城市更新工作走向科学化。

2017年，十九大报告重新定义了中国社会的主要矛盾——“美好生活需要”意味着更多的物质享受、能源消耗和碳排放；2020年9月，中国政府提出将在2030年使碳排放达到峰值以及在2060年前努力实现碳中和。城市是绿色低碳发展的核心场所，如何更新建设是“十四五”阶段乃至中长期经济社会高质量发展的一项战略要务。社

区作为城市的基本单元,是人们工作、生活、居住的主要场所,是城市践行低碳理念的重要空间载体。可持续的社区建设不仅是推动城市绿色更新的重要支撑,也是探索新型低碳城镇化的必由之路^[9]。本文尝试引入能值分析的概念,从人居环境学领域量化社区环境的可持续发展水平,为后续开展社区绿色更新提供思路和方向。

1 能值分析

1.1 能值分析的概念界定与研究动态

1990年代,奥德姆(Odum)教授在综合系统生态、能量生态和生态经济原理的基础上发展出新的科学概念和度量标准——能值,并创立了能值分析(EMA: Emergy Analysis)方法^[10]。该方法被视为生态学与经济学之间的桥梁,弥补了传统货币标准无法衡量自然界对经济发展贡献的劣势,实现了对可持续性的定量测度。任何流动或贮存状态的能量所包含的太阳能的量,即为该能量的太阳能值,以太阳能值焦耳为单位进行表示。能值转换率为单位物质包含的太阳能值数量,将生态经济系统内流动和储存的各种不同类别的能量和物质转换为同一标准的能值。

目前,国内外学者已将能值分析方法应用于生态、经济、建筑等领域,并将其概括总结为两个尺度。(1)区域尺度,测度生态系统可持续发展水平^[11-13]和自然资源利用的可持续性^[14]。(2)城市尺度,聚焦城市特定专项开展可持续性评估,例如对城市低影响开发开展能值分析,探讨不同技术的可持续性^[15];考虑系统的经济效益和对环境的压力,基于能值理论对旧工业建筑改造开展分析^[16]。此外,通过梳理文献发现,有不少学者对我国老旧小区更新开展了可持续发展水平分析^[17,18],但多聚焦建筑层面,缺乏从人居环境视角开展社区相关资源供需和效益衡量的定量研究。因此,本文聚焦社区环境可持续发展,弥补现阶段人居环境建设评估方面的缺漏,也为能值理论应用于人居环境科学体系提供新的思路。

1.2 应用能值分析开展社区环境可持续发展评估的意义

城市的“绿色更新”是以人居环境生态优化为前提,以绿色低碳社区建设为主要单元,以基础设施的绿色化改造为重要环节,推进资源环境、经济社会、居民生活协调发展的城市更新模式^[19]。社区作为开展绿色更新最务实、最直接的应用场景,小型的社区试点和生活实验室已经出现在世界各地的领先城市,成为各类绿色低碳技术在应用推广前期的成熟测试工具和手段^[20]。从国际经验来看,居民生活品质的提高普遍会推高人均碳排放,而社区更新改造的本质就是要改善居民生活品质,如果不提前采取绿色技术进行干预,社区更新很可能为中国实现绿色可持续发展目标造成巨大阻碍。

能值分析可以对环境的可持续性展开定量测度,从而实现目标系统的客观评估。利用能值分析可将系统(本文指社区)中由于量纲不同而不能进行统计或比较的能量转换成统一标准的能值,评估系统人居环境的可持续发展水平,从而支持社区绿色更新的有效开展。

2 研究步骤与方法

2.1 研究步骤

能值分析的具体步骤依据研究对象和研究视角而定,本文基于绿色更新的社区环境可持续发展评估可分为三个步骤(图1):(1)绘制社区能值系统图,确定主要能量和能量流动方向,分为输入能量和输出能量两大类;(2)依据能值系统图,从社会效益、经济效益、生态效益三个方面出发构建社区能值指标体系,评估社区的环境可持续发展水平;(3)计算每类资源的能值,得出的计算结果可以反映每个社区的环境可持续发展水平现状,为后续社区绿色更新优化途径研究提供数据支撑。

2.2 研究方法

能值分析将各种资源、产品或劳务转化为其形成所需的太阳能,本研究采用的地球生物圈能值基线为 $1.20E+24sej/\text{年}$ ^[21],依据社区能值系统图的能量流动方向,将计算公式分为输入资源能值计算和输出资源能值计算两类(表1)。此外,汇总社区能值指标体系的计算方法于表2(本文的相关研究术语请见附表1)。

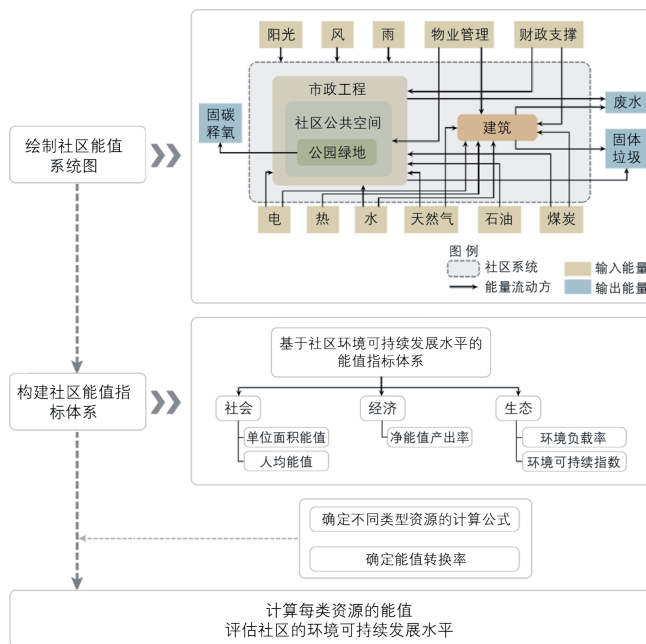


图1 研究步骤

2.3 研究区域与数据处理

学院路街道属于北京中心城区的海淀区。辖区东至京藏高速公路；西至原京包线铁路和地铁 13 号线，与中关村街道、东升街道为邻；南至北四环中路，与花园路街道相邻；

北至学院路科技园，与清河街道接界。地铁 15 号线横贯东西，小月河连接南北，总用地面积 8.45 km²，目前有 30 个社区^①（图 2）。结合数据的可获得性和精确性，选择 2018 年作为本研究的时间节点。

表 1 输入资源、输出资源能值计算方法

类型	编号	类别	计算公式	公式描述	参考文献
输入能值	可再生资源能值				
	1	日照	$S=A \times Sa \times \tau_1$	S 为日照能值，单位：sej/ 年； A 为研究系统所在地区平均辐射值，单位：J/（m ² ·年）； Sa 为研究系统的占地面积（本文指社区面积），单位：m ² ； τ_1 为日照能值转换率	[17]
	2	风	$W=Sa \times \rho \times C_x \times t \times \tau_2$	W 为风的能值，单位：sej/ 年； Sa 为研究系统的占地面积（本文指社区面积），单位：m ² ； ρ 为空气密度，单位：kg/m ³ ； C_x 为阻力系数； t 为一年总秒数，单位：s； τ_2 为风的能值转换率	[22]
	3	雨	$R=Sa \times Rf \times E \times G \times \tau_3$	R 为雨的能值，单位：sej/ 年； Sa 为研究系统的占地面积（本文指社区面积），单位：m ² ； Rf 为年降雨量，单位：mm； E 为蒸发量，单位：%； G 为吉布斯降雨能量，单位 J/kg； τ_3 为降雨的能值转换率	
	不可再生资源能值				
	4	电	$N=P_1 \times P \times \tau_4$	N 为不可再生资源的能值，单位：sej/ 年； P_1 为人均年用电 / 自来水 / 天然气 / 石油 / 煤炭量； P 为研究系统的人口数量（本文指社区人口），单位：人； τ_4 为电 / 自来水 / 天然气 / 石油 / 煤炭的能值转换率	[17]
	5	自来水			
	6	天然气			
	7	石油			
	8	煤炭			
	服务资源能值				
	9	物业管理	$P_m=P_2 \times S \times M \times \tau_5$	P_m 为物业管理的能值，单位：sej/ 年； P_2 为人均每月物业费，单位：元； S 为研究系统的建筑面积（本文指社区的建筑面积），单位：m ² ； M 为全年的月份； τ_5 为物业管理的能值转换率	[18]
	10	财政支撑	$F=P_3 \times P \times \tau_6$	F 为财政支撑的能值，单位：sej/ 年； P_3 为政府人均财政投入，单位：元； P 为研究系统的人口数量（本文指社区人口），单位：人； τ_6 为财政支撑的能值转换率	
输出能值	11	废水	$W_{\text{water}}=P_4 \times P \times \tau_7$	W_{water} 为废水的能值，单位：sej/ 年； P_4 为人均年废水排放量，单位：m ³ ； P 为研究系统的人口数量（本文指社区人口），单位：人； τ_7 为财政支撑的能值转换率	[17]
	12	固体垃圾	$W_{\text{solid}}=P_5 \times P \times \tau_8$	W_{solid} 为固体垃圾的能值，单位：sej/ 年； P_5 为人均年垃圾产出量，单位：t； P 为研究系统的人口数量（本文指社区人口），单位：人； τ_8 为财政支撑的能值转换率	
	13	固碳	$P_{\text{fixation}}=1.63 \times R_C \times S_G \times A_C \times B \times \tau_9$	P_{fixation} 为城市绿地的植物年固碳能值，单位：t/a； R_C 为 CO ₂ 中碳的含量，单位：%； S_G 为城市绿地面积，单位：hm ² ； A_C 为该类城市绿地面积的绿化面积转换系数（其中公园绿地转换系数为 87%，其他绿地转换系数为 96%），单位：%； B 为植物年净生产力，单位：t/(hm ² ·a)， τ_9 为绿地固碳的能值转换率	[23]
	14	释氧	$P_{\text{release}}=1.19 \times S_G \times A_c \times B \times C \times \tau_{10}$	P_{release} 为城市绿地年释氧能值，单位：元/a； S_G 为城市绿地面积，单位：hm ² ； A_c 为该类城市绿地面积的绿化面积转换系数，单位：%； B 为植物年净生产力，单位：t/(hm ² ·a)； C 为氧气价格，单位：元/t； τ_{10} 为绿地释氧的能值转换率	

表 2 社会、经济、生态效益计算方式

	指标	计算方式	单位	释义
社会效益指标	单位面积能值（EPA）	$EPA=U/\text{社区面积}$	sej/（ $m^2 \cdot \text{年}$ ）	社区对其环境施加的能值代谢密度，值越高意味着该体系未来的经济增长可能受到该体系所在地区的制约
	人均能值（EPP）	$EPP=U/\text{社区人口}$	sej/人	表示社区人均能值利用率，反映了改造项目的能值利用强度
经济效益指标	净能值产出率（EYR）	$EYR=EMO/EMI$	sej/年	系统产出能值与外界输入能值之比，评估系统经济活动能值利用效率，指标越大表明其利用效率越高，反之则利用效率越低
生态效益指标	环境负载率（ELR）	$ELR=(EMI-N)/R$	—	公共系统的环境压力，值越大表明对环境的影响越大
	环境可持续指数（ESI）	$ESI=EYR/ELR$	—	如果一个系统能值产出率高而环境负载率较低，即这一系统是可持续的，反之则是不可持续的

注：U 为总输入能值，R 为可再生资源。

资料来源：表中公式源自参考文献 [18]

① 社区基本信息请通过扫描文后的二维码查阅。

本研究中使用的基本数据来自政府发布的统计数据。依据表 1 中的公式，笔者以西王庄社区为例从输入和输出两大角度总结了数据来源、转换率以及能值核算结果（表 3）。

3 结果分析

3.1 社区能值核算结果分析

通过建立社区能值系统图，对社区输入能量、输出能量的计算可以得出学院路街道 30 个社区在研究期间的总输入能值为 $1.08\text{E}+20\text{sej/年}$ ，总输出能值为 $2.07\text{E}+15\text{sej/年}$ 。由表 4 可以看出，在可再生资源中，日照为社区可再生资源带来的能值最多，为 $2.97\text{E}+17\text{sej/年}$ ，这可能与北京的地理位置和暖温带半湿润半干旱季风气候有关。可再生资源的比例越大，人居环境的可持续发展潜力就越大。然而，学院路街道目前对可再生资源的利用率低，严重依赖外部资源，对不可再生资源消耗较大，尤其是对电和自来水的的需求分别达到 $1.01\text{E}+20\text{sej/年}$ 和 $4.48\text{E}+16\text{sej/年}$ ；就服务资源而言，社区的运营、更新、维护主要依靠各小区缴纳的物业费，对整个街道的公共空间更新维护则主要以政府投资为主，这样的资金比例给社区数量多、人居环境亟须改善的学院路街道带来一定的财政压力和工作负担；另外，街道缺乏对废水和固体垃圾的循环再利用，需探索更加生态的方式以实现社区相应基础设施的绿色发展；街道整体的固碳能值也远低于对不可再生资源的能值消耗，释氧能力极为有限，因此亟须将绿色更新理念贯穿社区改造、治理和服务等活动的全过程，针对学院路街道社会经济发展水平和当前资源消费阶段，形成推动绿色更新发展的有效途径，从而实现社区人居环境的可持续发展。



图 2 学院路街道社区分布图

此外，横向对比学院路街道各社区的输入、输出能值后有如下发现（图 3）。（1）可再生资源能值平均值为 $3.35\text{E}+15\text{sej/年}$ ，其中，建清园社区、石油大院社区、逸成社区对可再生资源的利用率较高，但有 18 个社区的可再生资源能值核算结果低于平均水平，表明街道对可再生资源的利用率普遍偏低。（2）不可再生资源能值平均值为 $3.38\text{E}+18\text{sej/年}$ ，研究期间有 11 个社区能值核算结果高于平均值，其中 8 个社区远超平均水平，表明街道对不可再生资源的依赖性

表 3 学院路街道能值核算（以西王庄社区为例）

类型	编号	类别	能值核算 (sej/ 年)	转换率 (sej/ 单位)	数据来源	转换率参 考文献
输入能值	可再生资源能值					
	1	日照	5.58E+14	1	《北京统计年鉴2019》	[17,22]
	2	风	1.82E+13	8.00E+02		
	3	雨	1.33E+15	7.00E+03		
	不可再生资源能值					
	4	电	1.83E+18	1.88E+05	《北京统计年鉴2019》	[24]
	5	自来水	8.08E+14	1.55E+09	《中国统计年鉴2020》	[25]
	6	天然气	9.55E+09	4.70E+04	《北京统计年鉴2019》	[10]
	7	石油	3.09E+07	5.54E+04		[26]
	8	煤炭	1.91E+10	8.50E+04		[10]
	服务资源能值					
	9	物业管理	8.71E+16	6.20E+11	—	[18]
	10	财政支撑	4.09E+16	6.20E+11	北京市海淀区人民政府学院路街道办事处2020年预算情况说明	
输出能值	11	废水	2.04E+11	6.66E+05	《北京区域统计年鉴2019》	[27]
	12	固体垃圾	1.46E+09	1.80E+06		
	13	固碳	3.04E+12	7.49E+09	—	[23,28-29]
	14	释氧	2.52E+13	7.49E+09	—	

表 4 学院路街道能值核算汇总

类别		能值核算结果 (sej/年)	总能值核算 (sej/年)
输入能值	可再生资源	日照 $2.97\text{E}+17$	$1.00\text{E}+17$
		风 $9.60\text{E}+14$	
		雨 $6.98\text{E}+16$	
	不可再生资源	电 $1.01\text{E}+20$	$1.01\text{E}+20$
		自来水 $4.48\text{E}+16$	
		天然气 $5.30\text{E}+11$	
		石油 $1.67\text{E}+09$	
		煤炭 $1.06\text{E}+12$	
	服务资源	物业管理 $4.21\text{E}+18$	$6.47\text{E}+18$
		财政支撑 $2.27\text{E}+18$	
输出能值	污水	$1.13\text{E}+13$	$2.07\text{E}+15$
	固体垃圾	$8.10\text{E}+10$	
	固碳	$2.21\text{E}+14$	
	释氧	$1.84\text{E}+15$	

较强。(3) 服务资源能值整体偏低, 物业费用和政府投资难以满足街道开展社区更新的资金需求。(4) 废水与固体垃圾的能值平均值为 $3.80\text{E}+11\text{sej/年}$, 目前有 11 个社区高于整体水平, 表明其未来发展还需加强对废水和固体垃圾的回收再利用。(5) 固碳释氧的能值平均值为 $6.85\text{E}+13\text{sej/年}$, 目前 30 个社区的固碳释氧能值的差异性较强, 不利于街道未来均衡发展。

3.2 社区环境可持续发展效益评估结果分析

量化方法有助于效益评估,依据构建的能值指标体系,对每个社区的社会效益、经济效益和生态效益开展分析,本研究参考相关文献选取了少数在社区环境可持续发展评估中广泛应用且对社区更新有重要参考价值的指标。由表5可以看出,学院路街道的单位面积能值和人均能值计算结果分别为 $9.56\text{E}+14\text{sej/年}$ 和 $2.04\text{E}+16\text{sej/年}$,单位面积能值越高意味着街道未来经济增长越可能受区域面积限制,较高的人均能值表明街道在更新过程中对能源的利用率较高。同时,学院路街道的净能值产出率和环境可持续指数较低,分别为

5.65E-04、1.33E-05，表明街道现状人居环境处于不可持续发展的状态，不利于社区更新相关活动的开展。此外，较高的环境负载率（2.92E+03）意味着社区更新将会对街道的生态系统产生更大压力。各社区详细的分析结果如表 6—表 8 所示。

3.3 社区人居环境问题总结

通过对社区能值核算的横向对比和纵向分析以及对各社区三大效益的评估结果分析,可以将学院路街道社区人居环境可持续发展面临的问题总结为三点。

表 5 学院路街道社会、经济、生态效益能值核算汇总

类别		单位	能值核算结果
社会效益指标	单位面积能值 (EPA)	sej/m ²	9.56E+14
	人均能值 (EPP)	sej/ 人	2.04E+16
经济效益指标	净能值产出率 (EYR)	1	5.65E-04
生态效益指标	环境负载率 (ELR)	1	2.92E+03
	环境可持续指数 (ESI)	1	1.33E-05

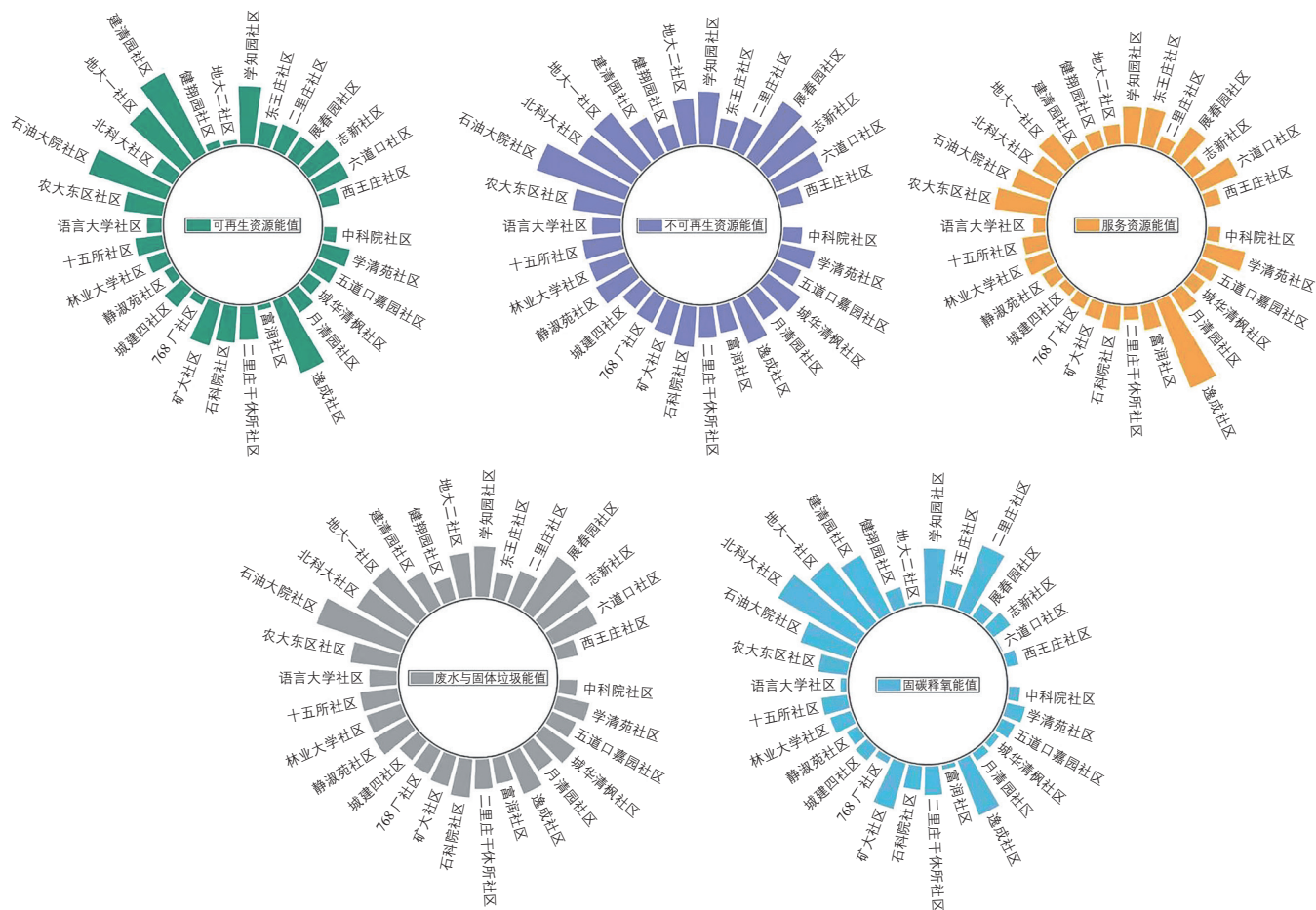
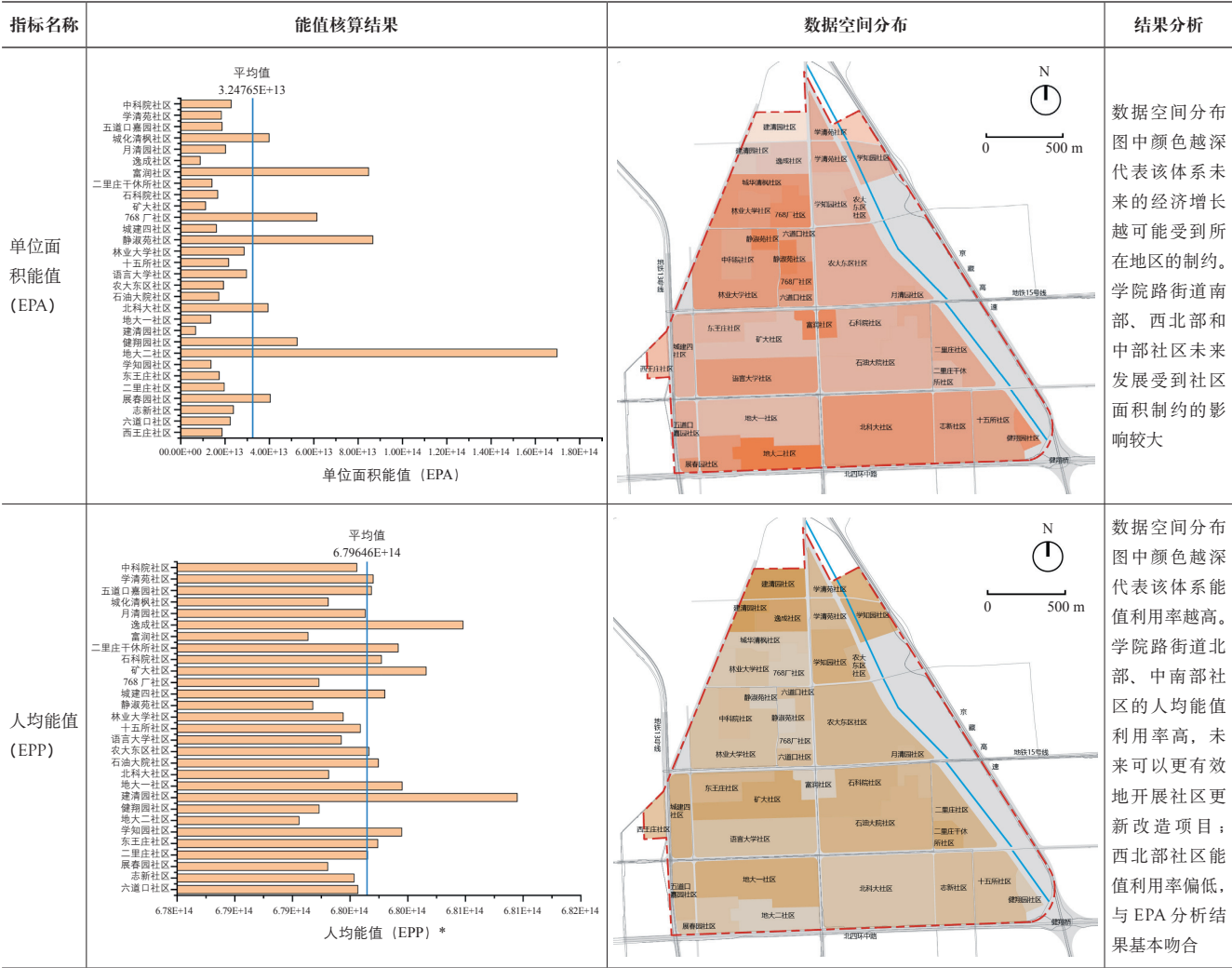


图 3 学院路街道各社区输入、输出能值核算结果分析

表 6 学院路街道社会效益能值核算结果分析



注：* 因能值仅保留至小数点后两位，部分坐标出现相同情况。

表 7 学院路街道经济效益能值核算结果分析

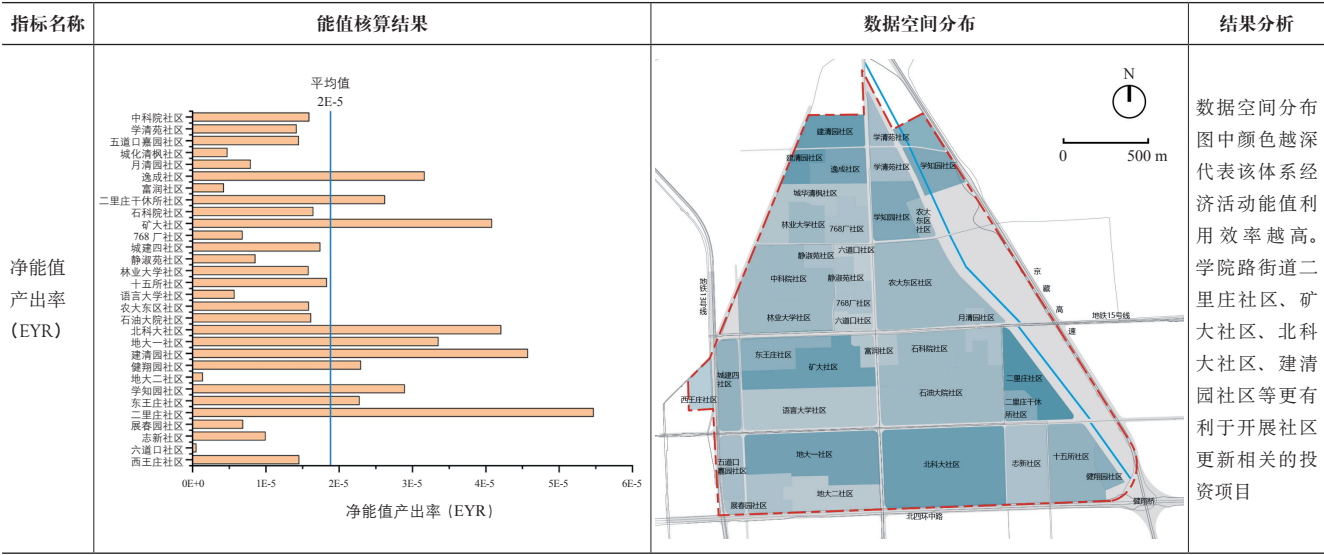
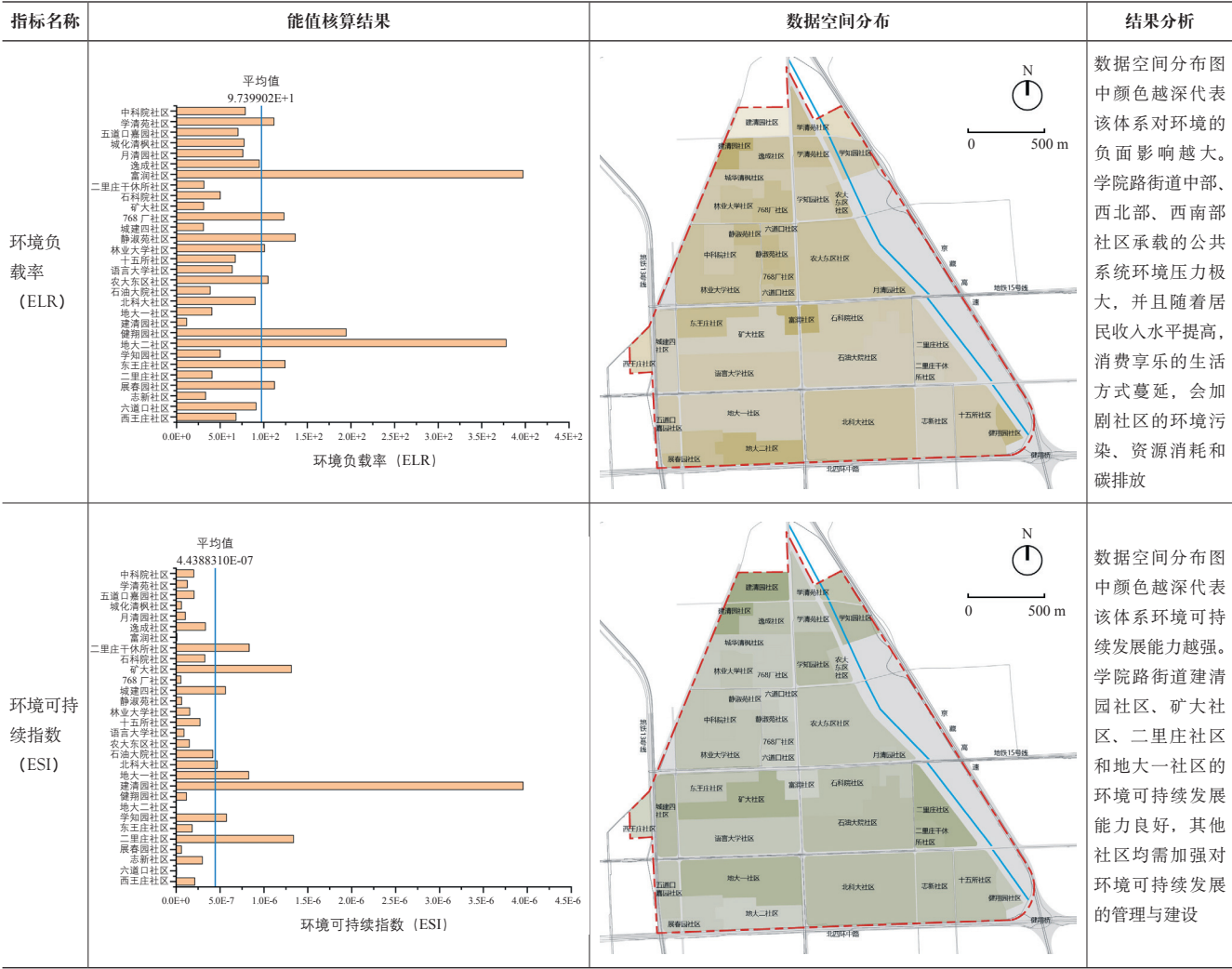


表 8 学院路街道生态效益能值核算结果分析



(1) 资源利用方面,学院路街道整体对可再生资源的利用率低,但过度依赖不可再生资源,对废水、固体垃圾等资源的回收再利用方面的项目开展也收效甚微。各社区缺乏对绿色技术的应用,不能有效提高能源利用效率;此外,对于有大量老旧小区且迫切需要改善人居环境的学院路街道,政府的财政压力和工作量非常大,开发商等社区有关更新活动的参与者也难以获得较大的价值,社区更新项目的投资和运营模式还有很大的改进空间。

(2) 物理空间方面,学院路街道作为已建成街道,其净能值产出率表明街道对输入资源的利用率较低。这主要是由于建设用地类型分布不均衡,社区用地功能混合度较低,居民在一个社区单元内难以满足休闲购物、医疗教育、社交游憩等多方面的需求,从而增加了对不可再生资源的消耗;另外,对单位面积能值的核算也反映出各个社区的未来发展均

不同程度地受到空间的制约,不利于后续社区更新项目的开展。

(3) 自然环境方面,各个社区绿地面积有限,根据固碳、释氧的能值核算结果可以看出街道整体的绿色空间数量和品质均有待提升,生态可持续发展水平不容乐观。未来应重视居住区绿地、街旁绿地等小面积附属绿地的建设,通过见缝插绿、边角植绿等方法增加绿地率,提高社区整体绿色空间比例,从风景园林学领域积极探寻社区绿色空间的更新途径,实现社区环境的可持续发展。

4 结论与讨论

新冠疫情暴发以来,国际社会开始加速和深化绿色转型,如欧盟、德国、瑞典、日本等地区和国家正在制定绿色转型的愿景和路径^[30]。2021年8月习近平总书记指出建设宜居、

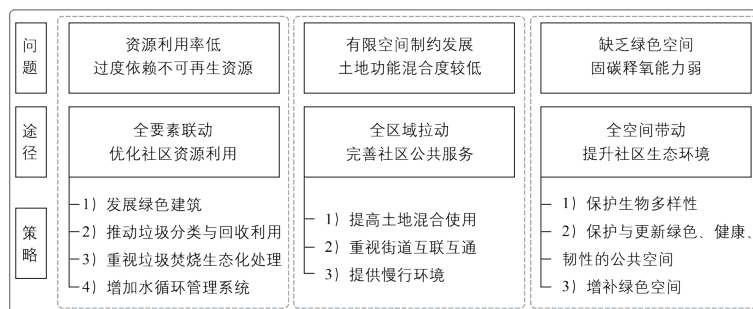


图4 问题导向的社区环境可持续发展途径与策略

绿色、韧性、智慧、人文城市。为了将能值分析得出的社区环境可持续发展评估结果与社区更新联系起来，笔者从绿色低碳的角度提出了社区尺度的更新途径与策略（图4），以期在降低消耗、改善环境、实现绿色低碳的基础上，满足人民对城市宜居生活的新期待。

“十四五”规划纲要中明确提出实施城市更新行动，解决城市发展中环境、设施、居住等众多问题，这需要各领域协调商讨。能值分析作为国际社会普遍认可的评估方法，可以对研究系统的行为进行全面的评估，本文依据此方法提供了一种评估社区环境可持续发展能力的新思路，相对客观地量化了社区的各项指标，较为科学地拓展了能值分析方法的应用场景。

本研究中存在的一些不足还有待未来进一步完善。首先，目前的社区能值系统图仅根据数据的可获得性聚焦居民日常生活诱发的能值流动，并未考虑正在进行的社区更新活动的相关能值（如建筑施工活动等），未来应该更全面地绘制社区尺度的能值系统图，详细计算社区各类资源的能值。其次，研究周期只有一年，而社区开展更新活动往往需要几年时间，短时间周期也是本研究的局限性之一。最后，本文能值分析的计算范围边界选择与街道行政边界吻合，后续研究可聚焦社区与周边环境的生态格局，以生态单元为计算边界，进一步掌握社区环境的可持续发展情况，为社区绿色更新提供更为切实有效的政策建议。UPI

注：文中图表均为作者绘制。

参考文献

- [1] The United Nation, Department of Economic and Social Affairs. Global sustainable development report, 2015 edition[EB/OL]. (2015-06-30)[2021-12-18]. <https://www.un.org/en/development/desa/publications/global-sustainable-development-report-2015-edition.html>.
- [2] 东昆鹏, 刘鸿琳, 徐建刚, 等. 社区营造视域下的内城街区活力再生途径——以西安回坊为例[J]. 城市规划, 2021, 45(2): 99-108.
- [3] The UK Government. A strategy for neighbourhood renewal[EB/OL]. (2003-06-01) [2021-12-10]. <https://www.communities-ni.gov.uk/publications/neighbourhood-renewal-people-and-place>.
- [4] The UK Government. A new commitment to neighbourhood renewal[EB/OL]. (2001-01-01)[2021-12-10]. <https://www.gov.uk/government/organisations/cabinet-office>.
- [5] 梅格·霍尔登, 安迪·塞里, 刘倩倩. 意味深长: 当宜居墨尔本遇上宜居温哥华[J]. 国际城市规划, 2016, 31(5): 26-34. DOI: 10.22217/upi.2016.320.
- [6] 钱凡. 存量背景下上海城市绿地更新改造设计探究[J]. 中国园林, 2021, 37(增刊2): 41-45.
- [7] 王丹宁, 钱成裕, 吴小兰. 再看街心花园与美丽街区——上海街区景观更新发展研究与实践[J]. 中国园林, 2021, 37(增刊2): 46-49.
- [8] 阳建强, 陈月. 1949-2019年中国城市更新的发展与回顾[J]. 城市规划, 2020, 44(2): 9-19, 31.
- [9] 杨贵庆, 房佳琳, 何江夏. 改革开放40年社区规划的兴起和发展[J]. 城市规划学刊, 2018(6): 29-36.
- [10] ODUM H T. Environmental accounting: emery and environ: mental decision making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [11] 黄显峰, 周伟, 阎玮, 等. 基于能值分析的生态供水效益量化方法[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(2): 12-15, 36.
- [12] 马文静, 刘娟. 基于能值分析的中国生态经济系统可持续发展评估[J]. 应用生态学报, 2020, 31(6): 2029-2038.
- [13] CHEN W, ZHONG S, GENG Y, et al. Emery based sustainability evaluation for Yunnan Province, China[J]. Journal of cleaner production, 2017, 162: 1388-1397.
- [14] YU X, GENG Y, DONG H, et al. Emery-based sustainability assessment on natural resource utilization in 30 Chinese provinces[J]. Journal of cleaner production, 2016, 133: 18-27.
- [15] 付恒阳, 李榜要. 基于能值分析的LID可持续性评价[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2017, 47(5): 761-768.
- [16] 张勇, 陈曦虎, 李慧民, 等. 基于能值分析的旧工业建筑改造评价[J]. 工业建筑, 2013, 43(10): 24-27.
- [17] TANG M, HONG J, WANG X, et al. Sustainability accounting of neighborhood metabolism and its applications for urban renewal based on emery analysis and SBM-DEA[J]. Journal of environmental management, 2020, 275: 1-12.
- [18] LI D, DU B, ZHU J. Evaluating old community renewal based on emery analysis: a case study of Nanjing[J]. Ecological modelling, 2021, 449: 1-13.
- [19] 林坚, 叶子君. 绿色城市更新: 新时代城市发展的重要方向[J]. 城市规划, 2019, 43(11): 9-12.
- [20] ZHENG H W, SHEN G Q, WANG H. A review of recent studies on sustainable urban renewal[J]. Habitat international, 2017, 41(1): 272-279.
- [21] 黄显峰, 周伟, 阎玮, 等. 基于能值分析的生态供水效益量化方法[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(2): 12-15, 36.
- [22] BROWN M T, ULGIATI S. Assessing the global environmental sources driving the geobiosphere: a revised emery baseline[J]. Ecological modelling, 2016, 339: 126-132.
- [23] 武文婷, 夏国元, 包志毅. 杭州市城市绿地固碳释氧价值量评估[J]. 中

国园林, 2016, 32(3): 117-121.

[24] MEILLAUD F, GAY J B, BROWN M T. Evaluation of a building using the emergy method[J]. Solar energy, 2005, 79(2): 204-212.

[25] LEE J M, BRAHAM W W. Building emergy analysis of Manhattan: density parameters for high-density and high-rise developments[J]. Ecological modelling, 2017, 363: 157-171.

[26] BASTIANONI S, CAMPBELL D, SUSANI L, et al. The solar transformity of oil and petroleum natural gas[J]. Ecological modelling, 2005, 186(2): 212-220.

[27] HUANG S L, CHEN C W. Theory of urban energetics and mechanisms of urban development[J]. Ecological modelling, 2005, 189(1/2): 49-71.

[28] LIU C, LIU G, YANG Q. An emergy-based assessment of the impact of dam construction on river ecosystem service values: a case study of the Three Gorges Dam[J]. Journal of environmental accounting and management, 2019, 7(3): 337-361.

[29] 王金杰, 赵安周, 胡小枫. 京津冀植被净初级生产力时空分布及自然驱动因子分析 [J]. 生态环境学报, 2021, 30(6): 1158-1167.

[30] 中国环境与发展国际合作委员会. 绿色转型与可持续社会治理 [EB/OL]. (2021-09-17)[2021-11-25]. <http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/>.

附表 1 研究术语

简称	全称	简称	全称	简称	全称
sej	solar emergy joule, 太阳能能值焦耳	S	solid wastes, 固体垃圾	EPP	energy per capita, 人均能值
R	renewable resources, 可再生资源	U	total emergy used, 总输入能值	EYR	emergy yield ratio, 净能值产出率
N	non-renewable resources, 不可再生资源	EMI	emergy input, 输入能值	ELR	environmental load ratio, 环境负载率
C	carbon fixation and oxygen release, 固碳释氧	EMO	emergy output, 输出能值	ESI	environmental sustainability index, 环境可持续指数
W	waste water, 废水	EPA	emergy used per area, 单位面积能值		

(本文编辑：王枫)

(上接 73 页)

[60] 刘玉博, 周萍. 中国城市收缩空间尺度探析与典型收缩形态识别 [J]. 北京规划建设, 2019(3): 42-47.

[61] 张明斗. 东北地区城市收缩的空间结构与体系协同研究 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2020.

[62] KIM G. The public value of urban vacant land: social responses and ecological value[J]. Sustainability, 2016, 8(5): 486.

[63] 周恺, 钱芳芳, 严妍. 湖南省多地理尺度下的人口“收缩地图” [J]. 地理研究, 2017, 36(2): 267-280.

[64] 龙瀛, 刘伦. 新数据环境下定量城市研究的四个变革 [J]. 国际城市规划, 2017, 32(1): 64-73. DOI: 10.22217/upi.2015.299.

[65] 刘凤豹, 朱喜钢, 陈蛟, 等. 城市收缩多维度、多尺度量化识别及成因研究——以转型期中国东北地区为例 [J]. 现代城市研究, 2018(7): 37-46.

[66] 邓楚雄, 梁鹏, 刘唱唱. 长江中游城市群收缩城市时空变化特征及影响因素 [J]. 城市学科, 2020, 41(2): 80-88.

[67] DENG J S, WANG K, HONG Y, et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization[J]. Landscape and urban planning, 2009, 92(3/4): 187-198.

[68] PHAM H M, YAMAGUCHI Y, BUI T Q. A case study on the relation between city planning and urban growth using remote sensing and spatial metrics[J]. Landscape and urban planning, 2011, 100(3): 223-230.

[69] SCHUPPE S, HAASE D. Multi-criteria assessment of socio-environmental aspects in shrinking cities. experiences from Eastern Germany[J]. Environmental impact assessment review, 2008, 28(7): 483-503.

[70] Yu X, Ng C N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China[J]. Landscape and urban planning, 2007, 79(1): 96-109.

[71] 刘合林. 收缩城市量化计算方法进展 [J]. 现代城市研究, 2016(2): 17-22.

[72] FRIEDRICHS J. A theory of urban decline: economy, demography and political elites[J]. Urban studies, 1993, 30(6): 907-917.

[73] 徐博. 国际城市收缩问题研究 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018.

(本文编辑：王枫)



本文更多增强内容扫码进入