

基于能值分析的西安市 3 个发展核心区生态健康评价

王智宇¹, 马俊杰¹, 陈新新¹, 赵丹², 滕腾¹, 杨煜岑¹

(1. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710127; 2. 西咸新区 能源金融贸易区, 西安 710200)

摘 要: 基于能值分析和城市复合生态系统的理论和方法, 从生态环境系统和社会经济系统两方面, 对西安市的灞桥区、雁塔区和未央区 3 个发展核心区 2014 年的基础数据进行了能值分析, 并进行了生态健康评价, 以期研究区可持续发展提供合理的建议和科学依据。通过 PSR 模型建立了研究区生态系统健康评价指标体系, 采用单因子评价模型评价了系统健康指标, 运用层次分析法对单项指标进行赋权重, 最后用多因子综合评价来衡量了 3 个发展核心区的生态健康程度。结果表明: 灞桥区、雁塔区和未央区的生态健康指数分别为 0.704、0.402、0.705, 灞桥区生态环境现状较好, 但对于不可更新资源的使用较为依赖, 不利于该地区的可持续发展, 应当有效利用本地资源; 雁塔区社会经济发展较好, 但实际人口为人口承载量的 1.99 倍, 人为因素的干扰对雁塔区的生态环境有很大影响, 该区社会经济发展主要依赖外部输入资源; 未央区新型工业园区的建设将绿化与工业生产结合起来, 但该区以第二产业为主, 依然消耗大量不可再生资源, 产生的工业“三废”污染环境, 社会经济的发展主要以消耗本地能源为主。

关键词: 能值分析; PSR 模型; 单因子评价模型; 多因子综合评价

中图分类号: F062.2; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0317-07

Assessment on Ecological Health of Three Developed Core Districts in Xi'an Based on Emergy Analysis

WANG Zhiyu¹, MA Junjie¹, CHEN Xinxin¹, ZHAO Dan², TENG Teng¹, YANG Yucen¹

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China; 2. Energy Finance Trade Zone, Xixian New Area, Xi'an 710200, China)

Abstract: Based on the theories and methods of emergy analysis and urban complex ecosystem, the basic data of three developed core districts in Xi'an, which is Baqiao District, Yanta District and Weiyang District, were calculated from two aspects of ecological environment system and social economic system, and the ecological health assessment was carried out to provide reasonable suggestions and scientific basis for the sustainable development of the study area. We used PSR model to establish the evaluation index system of ecosystem health in study area, and the single factor evaluation model was used to appraise the system health index, the individual index were weighted by analytic hierarchy process, finally, the ecological health degrees of three developed core districts were evaluated by multifactorial comprehensive evaluation. The results showed that the ecological health index of Baqiao District, Yanta District, Weiyang District were 0.704, 0.402 and 0.705, respectively, Baqiao District had a good ecological environment situation, but it relied more on the use of nonrenewable resources, which was not conducive to its development and should make effective utilization of the local resources; Yanta District had a better social and economic development, however, its actual population was 1.99 times higher than the population carrying capacity, the disturbance of human factors had a great influence on the ecological environment of Yanta District, the development of social economy in this area was more dependent on external input resources; the construction of new industrial park in Weiyang District combined greening with industrial production in a perfect way, but it was still dominated by second industries, the 'Three Waste' emission seriously influenced the ecological environment, and the development of social economy mainly consumed the local resources.

Keywords: emergy analysis; PSR model; single factor evaluation model; multi factor comprehensive evaluation

随着社会经济的发展和人口基数的增长,人类活动对自然环境的影响愈发明显,如何协调人类社会发展与生态环境健康之间的矛盾,近年已成为国内外生态环境领域的研究热点,为了评价生态经济系统的可持续发展能力,能值分析被广泛应用于各领域的科研工作中。能值理论创立于20世纪80年代,由美国生态学家Odum提出,Ulgiati等^[1]对意大利的社会经济系统和自然生态系统进行能值分析,评价了其可持续发展和资源利用情况;Nelson等^[2]基于能值分析研究出了湿地系统处理污水比传统污水处理工艺具有更好的环境效益与经济效益;Campbel^[3]认为能值分析是能够评价生态系统健康的一种方法,可以用于评价生态系统是否具有完整的结构与良好的性能;Bakshi^[4]探讨了能值分析方法与生命周期评估法(LCA)结合起来应用于化学工业中的环境效益和经济效益。

国内能值研究起始于1988年Lan等^[5]的共同研究,Lan等将能值理论与方法引入我国农业总体生产的评估,为农业生产的稳定发展提供科学依据;严茂超等^[6]运用能值理论与方法,将西藏主要自然资源的能值指标与其他国家进行了比较;陆宏芳等^[7]对国际能值分析理论现行能值评价指标体系作了归并简化,提出了评价系统可持续发展能力的新的能值指标(EISD),并将其应用于珠江三角洲基塘农业生态工程建设评价;隋春花等^[8]通过能值分析,从自然—社会—经济复合生态系统角度,对广州和上海的各种生态流进行比较研究,评价了广州城市生态系统自然环境现状和社会经济发展;刘耕源等^[9]采用能值分析的方法,构建了适合包头市的生态健康能值指标,评价了包头市5年的生态健康趋势。

能值分析能够把自然生态系统与人类经济系统进行统一的定量分析,为各种生态系统的定量分析提供共同的度量标准,有利于生态流流量综合分析^[10],因此,本文从能值分析的角度出发,对西安市3个发展核心区,即灞桥区、雁塔区和未央区的基础数据进行计算分析,并运用模型进行生态健康评价,从而分析讨论3个区的生态健康程度,对研究区的可持续发展提出合理的建议和科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

灞桥区位于西安城区东部,地理坐标为东经 $108^{\circ}59'$ — $109^{\circ}16'$,北纬 $34^{\circ}10'$ — $34^{\circ}27'$ 。全区总面积 332 km^2 ,常住人口60.82万人。2014年,全区生产总值为309.73亿元,其中第二产业占比约47%,第三产业占比约48%。雁塔区地处西安城区南部,地理坐标为东

经 $108^{\circ}10'$ — $109^{\circ}02'$,北纬 $34^{\circ}10'$ — $34^{\circ}15'$,全区总面积 151 km^2 ,常住人口120万人,2014年,全区生产总值为1114.46亿元,其中第三产业产值比重近70%。未央区坐落西安城区北部,地理坐标为东经 $108^{\circ}47'$ — $109^{\circ}02'$,北纬 $34^{\circ}14'$ — $34^{\circ}26'$,全区总面积 262 km^2 。2014年,全区生产总值703亿元,其中第二产业占比约53%,第三产业占比约46%。3个区同处市郊,近年名称也从旧的“郊三区”变为“城六区”中的区域,现阶段已成为西安市建设与发展的主要空间,政府相继在3个区内建立建成多个开发区,如浐灞生态区、国际港务区、经济技术开发区及曲江新区等,可以说这3个区是西安市目前的发展核心区。

1.2 研究方法

本文所采用的数据来自《西安市统计年鉴》、《陕西省统计年鉴》、各相关部门资料及其他实地收集的資料。应用Odum的“能量系统语言”图例,绘制研究区的能量系统图,概括总结研究区系统各层级与自然环境的关系。通过蓝盛芳等^[11]和Odum^[12]的相关理论和方法,计算3个区生态环境系统和社会经济系统中能值流的基础数据,运用PSR模型建立生态健康评价指标体系,参照李永建^[13]的逻辑斯蒂增长曲线模型进行各项指标的单因子评价,并通过层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)对各项指标赋予权重,最后采用多因子综合评价法计算出3个发展核心区生态健康综合评价值HEI。

能值分析建立在Odum创立的能量符号语言系统之上。由图1可知,部分自然可更新资源及不可更新资源产品会对生态环境系统有一定的影响,并作用于社会经济系统,同时社会经济系统会有一定的输入能值(IMP)和输出能值(出口量与废弃物排放)。本研究基于复合生态系统视角^[14],通过计算分析生态经济系统的能值指标,达到评价3个区生态系统健康程度的目的。

2 结果与分析

2.1 生态经济系统综合能值分析

城市生态经济系统中能值流互相交错影响,为了能够定量分析城市生态经济系统的健康程度,本文结合陆宏芳城市复合生态系统的理念,选取合适的城市生态经济系统综合指标,将生态环境子系统和经济社会子系统的基础数据整合,制定2014年灞桥区、雁塔区和未央区的城市生态经济系统主要能值指标比较表(表1)。

由表1可以看出,2014年西安市灞桥区、雁塔区和未央区的能值自给率(ESR)及能值密度(EPA)基本持平,能值货币比率较高,可持续发展指数(ESI)

均小于 1。能值自给率与生态经济系统自给自足的能力成正比,说明了 3 个区的社会经济发展主要依靠本地资源的开发与消耗,同时输入能值占比较少,致使本地自然资源未能高效利用,造成社会经济发展的可持续性程度较低,出现自然资源短缺及生态健康状况恶化的现象;能值货币比反映了 3 个区单位能值投入的产出价值较高,即 GDP 创造的能值价值得到了

有效体现,3 个区域在发展的过程中商业化程度较发达;能值密度(EPA)是体现区域能值集约利用强度和社会经济发展程度的重要指标^[15],3 个区数值较高,说明该地区的工业化程度较高,但对生态环境的压力和影响也较大,侧面反映了 3 个区资源的短缺,以及对资源的高强度利用,虽然 3 个区社会经济发展迅速,初步达到发达国家水平,但可持续性仍然较低。

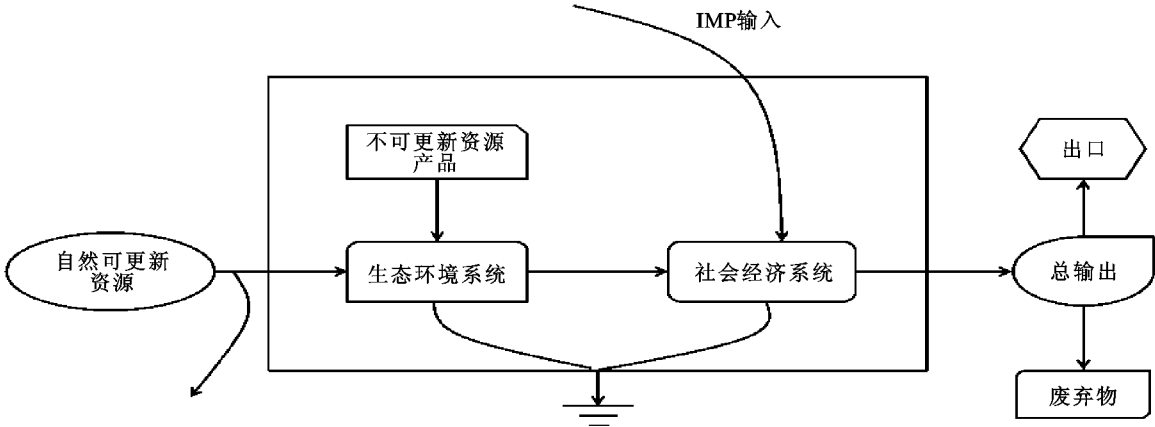


图 1 生态经济系统能值分析

表 1 2014 年城市生态经济系统主要能值指标比较

序号	指标名称	表达式	灞桥区	雁塔区	未央区
1	自然资本贮存量(sej)	C	$6.05\text{E}+20$	$3.04\text{E}+20$	$5.02\text{E}+20$
2	可更新能值投入(sej)	R	$11.63\text{E}+20$	$3.55\text{E}+20$	$4.13\text{E}+20$
3	不可更新能值投入(sej)	N	$7.58\text{E}+21$	$3.85\text{E}+21$	$7.63\text{E}+21$
4	输入能值(sej)	IMP	$7.68\text{E}+21$	$3.56\text{E}+21$	$6.24\text{E}+21$
5	输出能值(sej)	EXP	$4.34\text{E}+21$	$2.60\text{E}+21$	$5.13\text{E}+21$
6	总能值用量(sej)	$U=E+S+IMP$	$16.42\text{E}+21$	$7.77\text{E}+21$	$14.28\text{E}+21$
7	可更新资源能值比例(%)	$RER=R/U$	7.08	4.57	2.89
8	能值自给率(%)	$ESR=E/U$	53.25	54.12	56.32
9	人均能值(sej/人)	$EPP=U/POPU$	$2.70\text{E}+16$	$0.65\text{E}+16$	$1.74\text{E}+16$
10	能值货币比率(sej/\$)	U/GDP	$3.26\text{E}+12$	$0.43\text{E}+12$	$1.25\text{E}+12$
11	能值投资率	$EIR=IMP/(R+N)$	0.8784	0.8466	0.7758
12	能值受益率	$EER=EXP/U$	0.2643	0.3346	0.4370
13	电力使用占总能值比(%)	电力/ U	2.62	5.93	2.45
14	能值密度(sej/m ²)	$EPA=U/area$	$5.06\text{E}+13$	$5.13\text{E}+13$	$5.40\text{E}+13$
15	能值产出率	$NEYR=U/IMP$	2.1380	2.1826	2.2885
16	废弃物占总能值比(%)	$EWR=W/U$	5.42	12.74	16.39
17	生态负载率	$ELR=(IMP+N)/R$	13.12	20.87	33.58
18	人口承载量	$8(R/U)\times POPU$	$3.28\text{E}+05$	$6.02\text{E}+05$	$3.82\text{E}+05$
19	城市生态复合系统可持续发展指数(ESI)	$NEYR/ELR$	0.1630	0.1046	0.0682

2014 年西安市灞桥区人均能值(EPP)为 $2.70\text{E}+16$ sej,分别是雁塔区及未央区的 4.15 倍及 1.55 倍;未央区的生态负载率(ELR)为 33.58,高于灞桥区 2.56 倍、雁塔区 1.61 倍,能值受益率为 0.44,高于灞桥区 1.65 倍、雁塔区 1.31 倍。

综合比较而言,灞桥区自然资本贮存量、可更新资源消耗及人均能值为 3 个区最高,说明灞桥区现阶段有效利用了本地现有资源,这与灞桥区主要以生态

建设为主的城市化发展规划密不可分,而人均能值较高也说明灞桥区人均可支配资源较多,居民能有较好的环境舒适度,主要是由于灞桥区相对其他两个区地广人稀、自然资源丰富,使得灞桥区的可持续发展之势相对较高。但是灞桥区输入能值较高,在有效利用本地资源的同时较为依赖外界输入资源,说明该区的社会经济发展依靠外部经济的带动,仍处于可持续性较低的阶段。

雁塔区人均能值较低,一方面是由于该区作为城市南部金融、教育、商贸及住宅核心区^[16],不断的城市化发展使人口数量持续增长,2014 年已达 119.74 万人,然而人口承载量较低,实际人口为承载量的 1.99 倍,生态系统的承受人口能力已处于超负荷阶段,这对该区的生态环境压力较大。另一方面人均能值体现出该区居民生活水平的较低,虽然该区域为 3 个区中发展最好,但因为土地及自然资源有限,人口增加对环境承受能力的影响愈发明显,随着雁塔区城市规划扩张及城镇化建设,该区域资源有限而人口基数持续增长,会导致居民人均能值利用量减少,即人均可支配享受的能值较少,从而降低了人们的生活水平。

未央区生态负载率(ELR)和能值受益率(EER)较高,生态负载率较高体现城市生态经济系统的发展是建立在不可更新资源消耗的基础之上^[17],这说明未央区社会经济系统欠发达,而能值受益率能够通过进出口贸易得失来反映该地区的经济发展情况^[18],数据表明,未央区输入能值占总能值用量比重 43.70%,不可更新资源利用能值占 53.43%,可更新资源占比仅为 2.89%,可以看出,输出能值占总能值用量的比重较小,外贸过程中处于不利的环境,会对自身社会经济发展造成影响,未央区较为依赖外界输入能值及本地不可更新资源的开发与利用,未能合理高效利用本地现有资源,对生态环境造成了一定的压力,使该区生态系统恢复力和社会经济发展可持续性较低。

2.2 生态健康评价方法

采用 PSR(Pressure—State—Response)模型,以区分 3 类指标,即压力指标、状态指标和响应指标。压力指标表征人类的经济和社会活动对环境的作用;状态指标表征特定时间阶段的环境状态和环境变化情况,包括生态系统与自然环境现状,人类的生活质量和健康状况等;响应指标指社会和个人如何行动来减轻、阻止、恢复和预防人类活动对环境的负面影响,以及对已经发生的不利于人类生存发展的生态环境变化进行补救的措施^[19]。本文选择活力、组织结构、恢复力以及服务功能作为 3 个区生态系统健康状态指标评价的要素。

研究区生态系统健康评价方法分两个部分,一是将各指标进行单因子评价,二是利用层次分析法(AHP)^[20]对各指标进行权重分析,并利用多因子评价方法得出研究区生态系统健康评价综合指数(HEI)^[21]。

(1) 单因子评价模型。参照李永建^[13]的逻辑斯蒂增长曲线模型,对各单项指标进行评价。即当指标量增加与生态系统健康的增加方向相同时利用公式(1),当二者增加方向相反时用公式(2)。

$$P = \frac{1}{1 + e^{(4.595 - 9.19R)}} \quad (1)$$

$$P = 1 - \frac{1}{1 + e^{(4.595 - 9.19R)}} \quad (2)$$

式中: P 代表单项指标的生态系统状态指标评价值(无量纲); R 表示单项指标测度值(%)。

(2) 多因子综合评价。运用层次分析法(AHP)对单项因子赋予权重,进行综合多因子评价,计算公式为(3)。

$$HEI = \sum_{i=1}^n W_i \times P_i \quad (3)$$

式中: P_i 为第 i 个单项指标评价值(无量纲); W_i 为第 i 项单项指标权重(无量纲,利用层次分析法确定)

2.3 评价结果

通过对研究区数据的归纳分析与计算,以及上文中的能值指标计算方法,可以得到 2014 年灞桥区、雁塔区和未央区的单项指标测度值,即单因子评价模型中的 R 值,并由 R 值计算得到需要的单项因子评价值 P_i 。

其次,生态系统健康评价中对评价因子权重的分配直接影响到评价结果,而且在多项因子综合评价中的计算也需要对单因子指标赋权重,因此合理地对单因子赋权重,对于提高评价精度与灵敏度有着十分重要的意义^[22]。本文采用层次分析法(AHP)来对评价因子赋予权重,建立层次结构模型(图 2),通过专家评判对评价因子赋予权重,本文是通过两次赋予不同权重得出结果,基于综合考虑的情况下,取两次赋予的平均权重作为最后计算使用的数据。

得出的测度值 R 用单项评价因子公式,可以计算出各个因子的单项评价值 P_i ,同时使用多因子综合评价,利用 P_i 和 W_i 的值计算得出综合健康评价指标,以达到对西安市 3 个区生态系统健康的定量化评价,评价结果见表 2。

采用本文确定的指标体系,用单因子评价和多因子综合评价的方法对西安市灞桥区、雁塔区及未央区 3 个核心发展区的生态健康评价进行了研究,得到了 3 个区 2014 年生态健康的综合评价指数:灞桥区(HEI)为 0.704;雁塔区(HEI)为 0.402;未央区(HEI)为 0.705。由表 3 可以看出,3 个发展核心区的生态健康程度均高于北京(2008 年)、广州(1995 年)、香港(1988 年)及澳门(2003 年)。

(1) 共性分析。根据单项指标评价值的计算结果来看,3 个发展核心区的能值投资率、能值产出率、不可能新资源、生物多样性种类、经济社会可持续指数及生态系统可持续指数基本持平。3 个区的能值投资率评价值普遍较低,评价值在 0.030~0.075 区

间,而能值产出率及不可更新资源能值占比的评价价值较高。这说明 3 个区在开发利用本地现有资源的同时,也较为依赖外界输入能值,未能高效利用本地现有资源。西安市处于社会经济高速发展阶段,随之而

来的是工业化进程的加快,3 个区的第二产业占了绝大比重,城市供暖、供电及工业生产不可避免的消耗大量自然资源,以保障社会经济发展及居民生活水平,这对生态环境造成了一定压力。

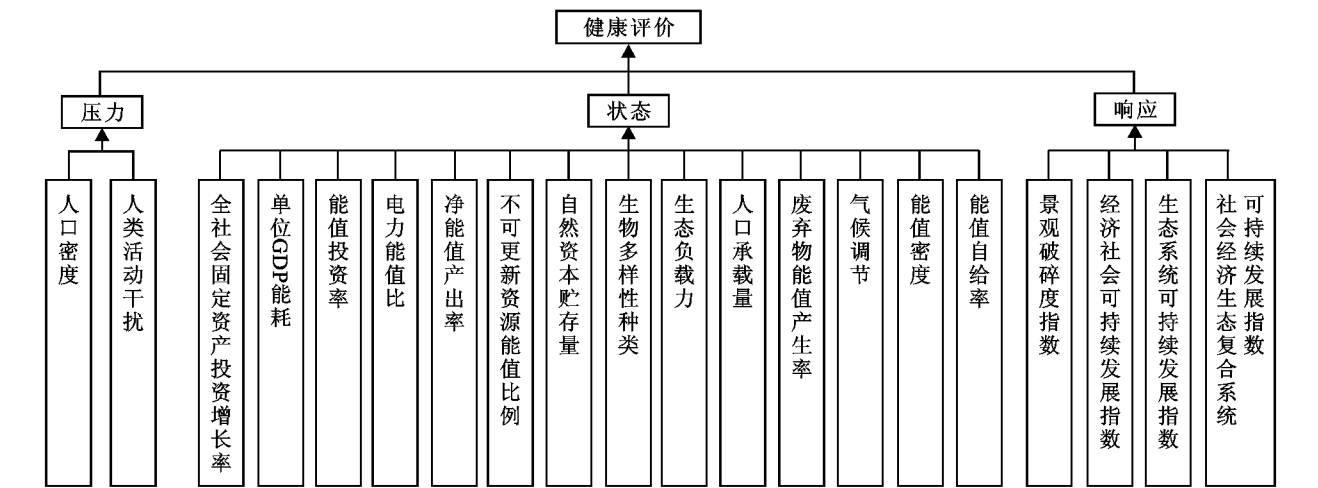


图 2 层次结构模型

表 2 城市生态经济系统健康能值评估指标汇总

单项指标	单项权重 W_i	灞桥区		雁塔区		未央区	
		测度值 R	单项评价 P_i	测度值 R	单项评价 P_i	测度值 R	单项评价 P_i
人口密度	0.1582	0.187	0.947	0.791	0.065	0.311	0.850
人类活动干扰	0.1032	0.663	0.183	0.762	0.083	0.751	0.090
全社会固定资产投资增长率	0.0252	0.310	0.851	0.579	0.326	0.266	0.896
单位 GDP 能耗	0.0051	0.182	0.949	0.209	0.935	0.795	0.062
能值投资率	0.0084	0.878	0.030	0.847	0.040	0.776	0.073
电力能值比	0.0126	0.262	0.899	0.593	0.298	0.245	0.912
能值产出率	0.0063	0.214	0.933	0.218	0.930	0.229	0.923
不可更新资源能值比	0.0171	0.462	0.586	0.500	0.500	0.534	0.423
自然资本贮存量	0.0085	0.605	0.724	0.304	0.142	0.502	0.505
生物多样性种类	0.0085	0.518	0.541	0.463	0.416	0.528	0.564
生态承载力	0.0071	0.131	0.033	0.209	0.065	0.336	0.181
人口承载力	0.0107	0.328	0.829	0.602	0.281	0.382	0.747
废弃物能值产生率	0.0214	0.542	0.404	0.127	0.969	0.164	0.956
气候调节	0.0041	0.483	0.461	0.123	0.030	0.111	0.027
能值密度	0.0123	0.506	0.486	0.513	0.470	0.540	0.409
能值自给率	0.0062	0.533	0.423	0.541	0.407	0.563	0.359
景观破碎度指数	0.1597	0.346	0.805	0.915	0.023	0.124	0.969
经济社会可持续指数	0.3192	0.131	0.967	0.165	0.956	0.157	0.959
生态系统可持续指数	0.1064	0.182	0.051	0.179	0.049	0.194	0.057
综合评价价值 HEI		0.704		0.402		0.705	

3 个区在发展的过程中,为了增加环境效益与经济效益,也不断改善生态环境,例如灞桥区增加绿化面积,雁塔区城市公园的建设,以及未央区新型工业园区的完善等,使社会经济发展和生态环境保护更加协调,一定程度上提升了生态环境质量,增加了生物多样性。可以看出,3 个区在发展的过程中考虑到了生态环境的改善,但是不可避免地开发利用不可更新资源,同时依赖外部输入能值来维持本地发展,虽然生态健康程度较为良好,然而可持续发展程度较低。

从长远角度来看,只有高效利用本地现有资源,摆脱对输入能源的依赖,才能化被动为主动,从区域内部提高生态健康程度,达到可持续发展的目的。

(2) 差异性分析。3 个发展核心区的差异体现在人口密度、人类活动干扰、电力能值占比、自然资本贮存量、生态负责率、人口承载量气候调节等方面。灞桥区为城东发展核心区,人口密度和人类活动干扰相对较少,综合评价价值较高,分别为 0.947,0.183;自然资本贮存量及气候调节评价值为 3 个区最高,分别

为 0.724 及 0.461。数据表明,灞桥区自然环境优势相对明显,有良好的生态环境基础,该区不仅持续增加城市绿地面积,同时针对湿地进行有效保护,生态环境相对优良。然而该区第二产业占比较大,为 47%,诸如灞桥热电厂之类的工业生产单位,不仅对本地不可更新资源进行消耗,同时也对生态环境造成了一定的压力。虽然自然资本贮存量较多,气候调节能力较强,但如果不针对资源进行合理开发利用,社会经济发展会愈发不可持续,生态健康程度仍然会降低。因此,该区应在现有生态环境的基础上,适当将第二产业比重向第三产业迁移,并提高资源开发利用的合理性与高效性。

雁塔区作为城南核心区域,第三产业占比 72%,随着城市化建设,社会经济较为发达,城镇及乡村居民不断涌入,人口高度集中,行政面积却为 3 个区最小,使得人口密度和人类活动干扰较大,综合评价价值较低,分别为 0.065,0.083,雁塔区比较重视社会经济发展过程中的生态环境保护,在文化旅游区、城市居民区、教育办公区及城市公园都有覆盖率较高的绿植,但是人类活动干扰对环境造成的压力依然明显。由于该区地理位置特殊,处于市中心,自然资源较为缺乏,然而大量的城市居民日常生活都需要以丰富的

自然资源作为支撑,一方面本地仅有的自然资源不断被利用,另一方面尤为依赖外界输入社会经济系统内部的资源,这成为该区生态健康评价指标较低的因素。考虑到该区社会经济发展状况优良,但自然环境状况不容乐观,建议合理配置自然资源,平衡好人口流入与自然环境现状尤为重要。

未央区是集政府、工业、住宅、商业、文化旅游为一体的城北核心区,同样存在人类活动干扰的问题,但最主要的问题是工业生产带来的环境影响,该区第二产业比重为 3 个区中最高的 53%,区内新型工业园区的建设是为了更好地将工业生产与绿化结合,起到一定的生态适应性,但是工业生产不可避免会大量消耗本地不可更新资源,由数据看出,该区不可更新资源综合评价价值为最低的 0.423,反映了该区的社会经济发展主要依靠第二产业,即建立在自然资源的消耗基础之上,这种发展模式是不可持续的。同时,该区的气候调节能力综合评价价值较低,说明生态系统的恢复力较弱,如果不能及时调整发展模式,生态系统无法承受社会经济发展带来的压力。因此,该区应当降低工业生产的比重,现有的发展模式很适合于第三产业,可以将重心向第三产业发展靠拢,提高该区的生态健康程度。

表 3 西安市 3 个区域主要能值指标与其他地区的比较

地区	人均能值/ sej	能值 自给率/%	能值 货币比/(sej/\$)	生态 负载率	能值密度 (sej·m ⁻²)	能值 受益率	HEI
灞桥区	2.70E+16	53.25	3.26E+12	13.12	5.06E+13	0.2643	0.704
雁塔区	0.65E+16	54.12	0.43E+12	20.87	5.13E+13	0.3346	0.402
未央区	1.74E+16	56.32	1.25E+12	33.58	5.40E+13	0.4370	0.705
北京市(2008) ^[23]	—	37.00	4.06E+14	3.93	—	—	0.169 ^[9]
广州市(1995) ^[24]	1.34E+16	47.00	5.83E+10	20.70	1.20E+19	0.62	0.144 ^[9]
香港(1988) ^[25]	2.25E+16	2.00	1.02E+10	—	1.19E+20	1.28	0.101 ^[9]
澳门(2003) ^[26]	4.90E+16	—	2.78E+12	—	8.05E+14	—	0.159 ^[9]

3 讨论与结论

本文将蓝盛芳等^[11]和 Odum^[12]的能值分析方法与理论、Brown 等^[27]提出的 ESI 评价标准以及陆宏芳等^[14]的城市复合生态系统能值分析研究相结合,基于对西安市灞桥区、雁塔区和未央区的能值计算分析,采用 PSR 模型建立健康评价指标体系,选择活力、组织结构、恢复力以及服务功能作为研究区生态系统健康状态指标评价的要素,运用单因子评价模型计算各个指标评价值,再使用层次分析法对指标进行赋权重处理,最后用多因子综合评价得出各个区的生态健康评价指数为灞桥区 0.704,雁塔区 0.402 及未央区 0.705。

灞桥区的人类活动干扰较少,自然资源及生态投入较多,气候调节能力较强,该区在原有良好的生态

环境基础上应加以维持,在现阶段发展社会经济的同时兼顾生态建设。但是该区第二产业占比约 47%,工业生产对于不可更新资源的使用较为依赖,不利于该地区的可持续发展,应适当降低第二产业比重,合理提高自然资源利用的高效性与合理性,平衡现阶段发展与环境的关系,提高本地生态健康程度。

雁塔区主要以第三产业为主,社会经济发展较发达,但是该区人口密度过于集中,使得实际人口为人口承载量的 1.99 倍,人为因素的干扰对雁塔区的生态环境造成了一定的压力。同时居民日常生活需要以大量的物质资源作为基础,该区原有自然资源较少,比较依赖外部输入资源,这就降低了该区对生态环境改善的主动性,该区提高资源利用效率,调整能源输入现状,在本地原有的自然资源基础上合理开发

利用,协调好人口不断涌入与环境承受能力的关系,达到社会经济效益与生态环境效益的双重提高。

未央区起初是以第二产业为主,现阶段发展以市政、文化、商业、教育等第三产业为核心,区内社会经济发展良好。但主要问题为该区目前第二产业占比仍较大,为53%,不可更新资源的使用为3个发展核心区中最多,较为依赖本地不可再生资源的利用,同时也会产生工业“三废”污染环境,该区气候调节能力较弱,说明工业生产带来的环境污染对生态系统恢复力有一定的压力,将工业发展带来的社会经济效益建立在自然资源的开发之上是不可取的。为使得其生态健康程度较为良好,应重视工业污染在社会经济发展中造成的环境问题,同时现阶段不断发展已经基本成型的第三产业。

本文将能值分析方法与城市复合生态系统相结合,定量分析3个区域的城市生态系统指标,能够较为全面地反映社会经济的可持续发展程度,并合理分析3个发展核心区的共性和差异性,提出相应的建议。同时,有效地将单因子评价和多因子综合评价结合起来,并运用层次分析法(AHP)增加多因子综合评价的准确性,使计算出来的生态健康指标更为准确合理。但能值分析的数据基本来源于统计年鉴与实地收集相关资料,在基础数据的处理上会有一定误差(可控范围内)。

参考文献:

- [1] Ulgiati S, Odum H T. Emergy use, environmental loading and sustainability: an emergy analysis of Italy[J]. *Ecological Modeling*, 1994,73(3/4):215-268.
- [2] Nelson M, Odum H T, Brown M T, et al. 'Living off the land': resource efficiency of wetland wastewater treatment[J]. *Advances in Space Research*, 2001,27(9):1547-1556.
- [3] Campbel D E. Using energy systems theory to define, measure and interpret ecological integrity ecosystem health[J]. *Ecosystem Health*, 2000,6(3):192-204.
- [4] Bakshi B. A thermodynamic framework for ecologically conscious process system engineer[J]. *Computers and Chemical Engineer*, 2002,26(2):269-282.
- [5] Lan S F, Odum H T, Liu X M. Energy flow and emergy analysis of the agroecosystems of China[J]. *Ecologic Science*, 1998,17(1):33-39.
- [6] 严茂超, Odum H T. 西藏生态经济系统能值分析与可持续发展研究[J]. *自然资源学报*, 1998,13(2):116-125.
- [7] 陆宏芳,蓝盛芳,李雷,等. 评价系统可持续发展能力的能值指标[J]. *中国环境科学*, 2002,22(4):380-384.
- [8] 隋春花,蓝盛芳. 广州与上海城市生态系统能值的分析比较[J]. *城市环境与城市生态*, 2006,19(4):1-3.
- [9] 刘耕源,杨志峰,陈彬,等. 基于能值分析的城市生态系统健康评价:以包头市为例[J]. *生态学报*, 2008,28(4):1720-1728.
- [10] 隋春花,陆宏芳,郑凤英. 基于能值分析的广东省生态经济系统综合研究[J]. *应用生态学报*, 2006,17(11):2147-2152.
- [11] 蓝胜芳,钦佩,陆宏芳. 生态系统的能值分析[J]. *应用生态学报*, 2001,12(1):129-131.
- [12] Odum H T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*[M]. New York: John Wiley and Sons, 1996.
- [13] 李永建. 拉鲁湿地生态环境质量评价的景观生态学方法应用研究[D]. 成都:四川大学,2002.
- [14] 陆宏芳,蓝盛芳,俞新华,等. 城市复合生态系统能值整合分析研究方法[J]. *城市环境与城市生态*, 2005,18(4):34-37.
- [15] 杨卓翔,高阳,赵志强,等. 基于能值分析的深圳市3个小型农业生态经济系统研究[J]. *生态学报*, 2012,32(11):3635-3644.
- [16] 吴文恒,徐泽伟,杨新军. 功能分区视角下的西安市发展空间分异[J]. *地理研究*, 2012,31(12):2173-2183.
- [17] 孙玥,程全国,李晔,等. 基于能值分析的辽宁省生态经济系统可持续发展评价[J]. *应用生态学报*, 2014,25(1):188-194.
- [18] 王楠楠,章锦河,刘泽华,等. 九寨沟自然保护区旅游生态系统能值分析[J]. *地理研究*, 2013,32(12):2346-2356.
- [19] 许文杰,曹升乐. 基于PSR—熵权综合健康指数法的城市湖泊生态系统健康评价[J]. *水文*, 2010,30(5):64-65.
- [20] 于洪良. 基于模糊AHP的湿地生态系统健康评价研究:以黄河三角洲高效生态经济区为例[J]. *宏观经济*, 2014(3):33-39.
- [21] 杨斌,隋鹏,陈源泉,等. 生态系统健康评价研究进展[J]. *中国农学通报*, 2010,26(21):291-296.
- [22] 彭建,王仰麟,吴建生,等. 区域生态系统健康评价:研究方法与进展[J]. *生态学报*, 2007,27(11):4877-4883.
- [23] 刘薇. 北京市1998—2008年生态经济系统能值分析[J]. *经济地理*, 2010,30(8):1367-1371.
- [24] 张素娟,赵先贵,马彩虹,等. 陕西省生态经济系统能值分析与可持续发展趋势预测[J]. *土壤通报*, 2009,40(5):1193-1198.
- [25] 隋春花,蓝盛芳. 广州与香港的环境经济能值分析[J]. *重庆环境科学*, 2003,25(1):47-55.
- [26] 李金平,陈鹏飞,王志石. 城市环境经济能值综合和可持续性分析[J]. *生态学报*, 2006,2(2):439-448.
- [27] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation[J]. *Ecological Engineering*, 1997,9(1/2):51-69.