

基于生态系统服务功能及生态敏感性与 PSR 模型的生态承载力空间分析

荣月静, 郭新亚, 杜世勋, 李霞, 宁婷, 张梦莹

(山西省生态环境研究中心, 太原 030009)

摘要:沁水区块煤层气开发区域生态环境面临的问题日益突出。基于生态系统服务功能及生态敏感性,利用 PSR 模型进行了沁水区块煤层气开发区域的生态承载力评价。结果表明:(1) 水源涵养、水土保持、生物多样性维护功能较好区域主要分布在区域西部广大山区的森林生态系统及植被覆盖良好的地区,水土流失敏感性区域分布广泛,主要分布在研究区东部;(2) 沁水区块煤层气开区域西北部以及东部地区生态承载力较高,南部地区生态承载力较低,生态承载力高、较高、中等、较低、低水平区域面积分别占 19.95%,20.07%,19.99%,20.70%和 19.29%;(3) 寺河岳城区块、成庄区块、沁城区块、胡底区块、郑庄区块生态承载力低水平与较低水平分别占区块总面积的 96.15%,74.55%,82.29%,77.17%和 73.35%,说明煤层气开发力度严重影响了生态系统自身的调节能力,使生态系统结构与功能处于不稳定状态。

关键词:生态系统服务功能;生态敏感性;PSR 模型;生态承载力

中图分类号:Q148

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)01-0323-07

Study of Ecological Carrying Capacity Using PSR Model Based on Ecosystem Services and Ecological Sensitivity

RONG Yuejing, GUO Xinya, DU Shixun, LI Xia, NING Ting, ZHANG Mengying

(Research Center for Eco-Environment Sciences in Shanxi, Taiyuan 030000, China)

Abstract: The problems of ecological environment in coalbed methane block have become more and more serious. The spatial characteristics of ecological carrying capacity in the coalbed methane area of the Qinshui block were analyzed. The results indicated that: (1) the water conservation, soil and water conservation and biodiversity conservation function of the vast mountainous areas in west were better, and soil and water loss in east of study was more sensitive; (2) the ecological carrying capacity was higher in northwest and east regions and was low in southern region; the area ratios of ecological carrying capacity of higher, high, medium, low and lower levels were 19.95%, 0.07%, 19.99%, 20.70% and 19.29%, respectively; (3) the area ratios of lower ecological carrying capacity in Sihe block, Chengzhuang block, Qincheng block, Hudi block, Zhengzhuang block were 96.15%, 74.55%, 82.29%, 77.17% and 73.35%, respectively, showing that the development of coalbed methane could make the structure and function of the ecosystem unstable.

Keywords: ecosystem services; ecological sensitivity; PSR model; ecological carrying capacity

生态承载力是指生态系统的自我维持能力、自我调节能力、资源与环境子系统的供容能力、可维持养育的社会经济活动强度以及具有一定生活水平的人口数量,是判断资源开发强度与环境承载力协调与否的重要依据。在不同社会经济状况下区域生态承载力是有差异的。承载力最初出自生态学的研究。从

20 世纪,美国生态学家 Park 和 Burgess^[1] 定义承载力为“某一特定环境条件下某种个体存在数量的最高极限”。诺贝尔经济学奖获得者 Arrow 与其他经济学家和生态学家在《Science》上发表了“经济增长、承载力和环境”^[2],美国学者 Lieth^[3],美国生态学家 Odum^[4]、加拿大生态经济学家 Willian^[5]、美国学者

Alice 和 Clarke^[6]等相继对生态承载力做出研究,21 世纪韩国学者 Oh K^[7]首先提出城市综合承载力的概念,指出城市综合承载力水平决定人居环境生态系统是否能实现可持续发展。我国在吸收借鉴国外相关研究经验的基础上,展开了对承载力的研究。1945 年,中国科学院院士任美镔^[8]研究以农业生产力为基础的土地承载力。2001 年,高吉喜等^[9]认为生态承载力概念可理解为承载媒体对承载对象的支持能力,以及在 20 世纪 90 年代之后,许多学者^[10-14]开始从系统的整体性来提出生态承载力的概念和评价方法。承载力评价方法有生态足迹法、NPP 法、供需平衡法、状态空间法、压力—状态—响应(PSR)、基于生态系统服务的生态承载力(ESECC)模型型预测法等。

本文采用定量与定性、理论与实证相结合的研究范式,通过文献分析、理论分析和实地调研,依据沁水煤层气开发区域环境承载力评估采用 PSR 模型与模糊综合评价方法,构建环境承载力评估指标体系,指标体系因子包含煤层气井场面积、植被退化率、到农田、道路的距离等生态调查的指标,以及净初级生产力、植被覆盖度等生态质量指标,以及水源涵养功能、水土保持功能、生物多样性功能评估等生态服务功能等指标。因此,构建研究区环境承载力的指标体系,需要将生态环境格局、质量调查与生态系统服务功能与敏感性评估结果作为重要的指标因子,开展研究区生态环境压力、状态、响应与环境承载力评估,作为煤层气开发区域生态系统修复的科学基础。

1 研究区概况

沁水区块煤层气开发区域位于沁水盆地南部区域,地势东南低西北高,属山地丘陵地带,四周群山环绕,沟谷切割,基岩出露,地表分割零碎,呈波状起伏,地形较为复杂。沁水煤层气区块生态系统类型以森林、草地为主,具有水源涵养、土壤保持、生物多样性等重要的生态服务功能。煤层气开发活动,在山体大肆开挖管道线路,大量破坏了地表植被和破面山体,裸露和松动的土壤、岩屑极易遭受侵蚀,造成水土流失,生态环境面临的问题日益突出,生态环境质量下降。研究区范围内主要包括的煤层气区块包含寺河区块、成庄区块、胡底区块、郑庄区块、沁城区块等区块,面积 2 336.88 km²。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与获取

沁水区块煤层气环境承载力评估,需要建立指标

体系,指标体系中包含生态环境压力指标、生态环境状态指标以及生态环境响应指标共 28 个级指标;其中:生态环境压力指标包含水土流失敏感性指数、植被退化率、煤层气井场区域面积、距离农田的距离、距离国道的距离、距离省道的距离、距离高速公路的距离、距离铁路的距离、距离工业用地的距离、距离居民用地的距离共 8 个指标。生态环境状态指标包含平均海拔和坡度,年均降雨量、年均温度、潜在蒸散量,净初级生产力、植被覆盖度、植被可利用水含量、斑块密度、斑块平均大小、景观形状指数,水源涵养功能、水土保持功能、生物多样性功能、距河流的距离、距水库的距离,共计以上 16 个指标。生态环境响应指标包含植被恢复因子和生态修复工程措施因子两个指标,其中植被恢复因子主要包含荒坡造林面积,生态修复工程措施因子包含鱼鳞坑、淤地坝、水平沟等生态工程的面积。

以上指标中,研究区土地利用类型数据来源自全国生态环境十年变化(1995—2015 年)遥感调查与评估项目数据,以及依据高分数据人工解译与山西测绘局天地图比对;植被覆盖度(NDVI 数据)使用美国地质勘探局提供的 250 m 空间分辨率为 16 d;NPP 数据使用 CASA 光能利用率模型计算得到;降雨量、气温与潜在蒸散量等气象数据来源于国家气象网站下载;DEM 数据为 SRTM 地形数据,其空间分辨率为 30 m,数据来源自中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站;气象数据来自中国气象科学数据共享服务网的中国地面气候资料年值数据集,利用 ArcGIS 中的克里金插值得到研究区多年平均气温和平均降水量栅格图。山西省道路矢量数据来源于 2015 年交通网的山西道路网络数据。

2.2 研究方法

本研究基于可持续发展理论和生态承载力理论,从生态系统格局、生态系统质量、生态系统服务功能与敏感性研究出发,采用地理信息系统技术、遥感技术等技术手段,建立煤层气开采区生态承载力评价的指标体系和评价方法,对沁水区块煤层气开发区域生态承载力进行定量化的综合分析评价,为区域生态功能定位、改善生态系统管理提供科学依据,对于区域可持续发展具有重要的指导意义。

2.2.1 环境承载力评价方法(PSR 模型) PSR 概念框架即“压力—状态—响应”模型(PSR, Pressure-State-Response),最初就是针对环境问题来建立的,是当前生态承载力评价指标体系构建最常用的一种思路。PSR 概

念框架为阐述生态承载力提供了很好的方法与思路,根据这一框架构建生态承载力指标体系,一般也可分为压力、状态、响应 3 个子系统。

根据生态环境承载力的定义,生态环境承载力大小取决于压力—状态—响应 3 个方面,所以研究生态环境承载力的指数也响应的从这 3 个方面确定,分别称为生态系统压力指数、生态系统状态指数与生态系统响应指数。

(1) 生态压力指数。根据生态压力的定义,生态压力指数的表达式为:

$$P = \sum_{i=0}^n P_i \times W_i$$

式中: P 为生态压力指数; P_i 为生态压力的特征要素,包括植被退化、人类活动等; W_i 为要素 i 所对应的权重值。

(2) 生态状态指数。根据生态状态的定义,生态状态指数的表达式为:

$$S = \sum_{i=0}^n S_i \times W_i$$

式中: S 为生态状态指数; S_i 为生态状态的特征要素,包括生态质量、生态服务功能等。

(3) 生态响应指数。根据生态响应的定义,生态响应指数的表达式为:

$$R = \sum_{i=0}^n R_i \times W_i$$

式中: R 为生态响应指数; R_i 为生态响应的特征要素,包括生态恢复,生态工程等。

(4) 生态承载力指数。根据生态承载力的内涵,生态压力、状态、响应为 3 个子项,对 3 个子项进行加权,得到生态承载力指数的表达式:

$$ECC = \sum_{i=0}^n A_i \times W_i$$

式中: ECC 为生态响应指数; A_i 为各子系统的权重。

2.2.2 生态系统服务功能与敏感性评估方法

(1) 水源涵养功能。沁水区块煤层气开发区域水源涵养功能评价方法采用水量平衡法,通过降水量、蒸发散量及土壤涵养能力等关系来开展沁水区块煤层气开发区域水源涵养服务功能的定量评价。

$$W_i = A_i \times F_i \times K_i \times P_i \times \alpha \times 0.001$$

式中: W_i 为生态系统水源涵养量(m^3); P_i 为评价区域年平均降水量(mm); A_i 为栅格面积; F_i, K_i 为该类型的覆盖率与发育度指数; α 为径流系数。

(2) 水土保持功能。采用修正自通用水土流失方程(USLE)的水土保持服务模型法来评价沁水区块煤层气开发区域水土保持功能重要性。

$$Ac = Ap - Ar = R \times K \times L \times S \times (1 - C)$$

式中: Ac 为土壤保持量; Ap 为潜在土壤侵蚀量; Ar 为实际土壤侵蚀量; R 为降水因子; K 为土壤侵蚀因子; L, S 为地形因子; C 为植被覆盖因子。

(3) 生物多样性维持功能。InVEST 模型(the integrate valuation of ecosystem services and tradeoffs tool)是由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会联合开发的土地利用服务功能评估工具。

InVEST 模型生物多样性模型用生境质量好坏代表生物多样性的持续性、恢复能力, InVEST 模型中的生物多样性评价模型需要输入基准土地覆盖图(Baseline Land CoverMap)、当前土地覆盖图(Current Land Cover Map)、威胁因子(Threats Data)、威胁因子图层(Threats Layers)、地类对于威胁因子的敏感度(Sensitivity of Land cover Types to Each Threat)以及保护程度(Accessibility to Sources of Degradation)。Biodiversity 模型得到生境质量指数和生境退化指数结果。评价模板运算以栅格数据作为评价单元,本研究所有栅格大小为 30 m。Biodiversity 模型得到生境质量指数和生境退化指数结果,其原理为:

生物生境质量主要是从区域生境质量、生境稀缺性两个方面评价区域生物多样性维持功能,采用生境质量指数评价生境质量计算方法:

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \frac{D_{xj}^z}{(D_{xj}^z + k^z)} \right)$$

式中: Q_{xj} 是土地利用与土地覆盖 j 中栅格 x 的生境质量; D_{xj} 是土地利用与土地覆盖或生境类型 j 栅格 x 的生境胁迫水平;

$$D_{xj} = \sum_{r=0}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr}$$

栅格 y 中胁迫因子 $r(r_y)$ 对栅格 x 中生境的胁迫作用为 i_{rxy} :

$$i_{rxy} = 1 - \frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \quad i_{rxy} = \exp \left(- \left(\frac{2.99}{d_{rmax}} \right) d_{xy} \right)$$

式中: d_{xy} 为栅格 x 与栅格 y 之间的直线距离; d_{rmax} 是胁迫因子 r 的最大影响距离; W_r 为胁迫因子的权重,表明某一胁迫因子对所有生境的相对破坏力; β_x 为栅格 x 的可达性水平,1 表示极容易达到; S_{jr} 为土地利用与土地覆盖(或生境类型) j 对胁迫因子 r 的敏感性,该值越接近 1 表示越敏感; K 是为半饱和常数,当 $1 - \left(\frac{D_{xj}^2}{D_{xj}^2 + k^2} \right) = 0.5$ 时, K 值等于 D 值; H_j 为

土地利用与土地覆盖 j 的生境适宜性

(4) 水土流失敏感性。根据《生态功能区划暂行技术规程》中推荐的水土流失敏感性评价方法,选取降水侵蚀力、土壤可蚀性、坡度坡长因子和地表植被覆盖等评价指标,并结合研究区的实际情况对分级评价标准作相应的调整。将反映各因素对水土流失敏感性的单因子分布图用地理信息系统进行乘积运算,公式如下:

$$SS_i = \sqrt[4]{R_i \times K_i \times D_i \times C_i}$$

式中: SS_i 为 i 空间单元水土流失敏感性指数,评价因子包括 i 区域降水侵蚀力(R_i)、土壤可蚀性(K_i)、地形起伏度(D_i)以及地表植被覆盖(C_i)的敏感性等级值。

3 结果与分析

3.1 沁水区块煤层气开发区域生态系统变化

沁水区块煤层气开发区域 1995—2015 年土地利用变化。落叶阔叶灌木林的总变化量最大,为 646.32 km²,其次为草丛(434.67 km²)、落叶阔叶林(310.44 km²)、常绿针叶林(108.87 km²),建设用地和旱地的相对较小,分别为 19.60 km²,15.07 km²。此外各地类的变化构成也不相同,其中叶阔叶灌木林主导变化为交换变化,虽具有最大的总变化量,但是其净变化量只有 41.54 km²,这表明落叶阔叶灌木林的变化主要表现为空间位置的转移。落叶阔叶林和常绿针叶林与落叶阔叶灌木林正好相反,其净变化量分别占总变化量的 96.59%和 97.24%,表明落叶阔叶林和常绿针叶林的变化主要表现为数量的增加。旱地和建设的变化一方面表现出净数量的增加,另一方面也表现出一定数量的交换变化,但是净变化量相对较大,净变化量分别各自总变化量的 89.00%和 83.32%,说明旱地和建设用地主要表现为一定数量的增加。旱地以交换变化为主,占总变化量的 61.39%。

就土地利用类型间的转换而言,落叶阔叶林和常绿针叶林面积增加最大,分别增加 297.84 km²,105.25 km²,主要由落叶阔叶灌木林转移而来,其中 226.75 km²,93.63 km² 的落叶阔叶灌木林分别转移为落叶阔叶林和常绿针叶林;旱地主要由草丛转移而来,草丛转移面积为 8.76 km²;工矿用地面积增加 4.90 km²,其中草丛和落叶阔叶灌木林分别贡献 2.99 km²,0.95 km²;居住地面积增加 7.40 km²,其中草丛和旱地分布贡献 5.25 km²,2.09 km²;草丛面积减少最大,减少 386.83 km²,其中 277.52 km² 转移为落叶阔叶灌木林。

综上所述,沁水区块煤层气开发区域 1995—2015

年期间,落叶阔叶林、常绿针叶林和建设用地有一定程度的增加,草丛面积有一定程度的减少,而工矿用地的增加主要由草丛和林地转化而来,说明煤层气的建设对林地和草地等生态用地有一定程度的破坏。

3.2 沁水区块煤层气开发区域生态系统服务功能与生态敏感性评价

根据水源涵养的水量平衡法计算公式,将已制备好的各因子在 ArcGIS 中进行相乘关系的运算,再用 Natural Breaks(自然断裂)方法将计算结果分为 4 个等级,即极重要、重要、中等重要和一般重要,得到评价结果见附图 6。由评价结果可知,水源涵养生态系统服务功能极重要级别面积为 726.95 km²,占沁水区块煤层气开发区域总面积的 31.15%,生物多样性功能极重要级别面积为 1 230.47 km²,占沁水区块煤层气开发区域总面积的 70.61%,主要分布在研究区域内广大山区,特别是森林生态系统及植被覆盖良好的地区,主要位于区域西部广大山区,涉及寨圪塔乡、樊村河乡、龙港镇;以及区域东北部柿庄镇、固县乡和胡底乡东部。

沁水区块煤层气开发区域水土保持功能重要区域主要沿山脉周边植被覆盖较好的区域分布,这一区域森林覆盖率有所降低,灌草等植被覆盖良好。水土保持功能中等重要及一般重要区域主要分布在郑庄镇、寺头乡、芹池镇、端氏镇、固县乡、胡底乡中西部、郑村镇及下村镇等天然植被覆盖较差的区域。这一区域天然植被覆盖度较低,灌丛、草地生态系统缺少林冠层对降雨的截留作用,地被覆盖也相对较低,其水土保持功能略差。

水土流失敏感性区域分布比较广泛,极敏感区约占研究区总面积的 17.41%,主要分布在研究区东部,该区域降水侵蚀力相对较大;高度敏感区、中度敏感区和轻度敏感区分别约占研究区面积的 26.57%,23.29%和 22.78%,均在 20%以上;不敏感区所占面积相对较少,仅占研究区面积的和 9.95%,主要分布在西北部地区,这一地区降水侵蚀力相对较小,加之自然植被覆盖优良,水土流失敏感性一般。

3.3 沁水区块煤层气开发区域生态承载力分析

3.3.1 沁水区块煤层气开发区域 P-S-R 以及综合生态承载力指数 沁水区块煤层气开区域中部地区生态压力较高,北部地区生态压力较低。其中,生态压力极高区域面积为 458.31 km²,占比为 19.89%,较高区域为 440.31 km²,占比为 19.11%,中等区域面积为 528.75 km²,占比为 22.95%,较低区域面积为 394.63

km²,占比为 17.13%,低水平区域面积为 482.13 km²,占比为 20.92%;从影响生态系统压力的子系统评价结果来看,沁水区块煤层气开发区域生态系统压力总体上呈现增大的区域,表明人类社会经济发展带给自然生态系统的越来越大的压力,使生态安全状况受到更大的威胁。沁水区块煤层气开发区域较强的人类活动对生态承载力状况均发生了明显的压迫,突出表现为人口的增长,土地利用的扩张和对水资源、生态资源的消耗增大,使本来脆弱的生态环境所受胁迫增大。

沁水区块煤层气开区域北部、西部以及少部分东部地区生态状态较高,南部地区生态状态较低。其中,生态状态极高区域面积为 536.56 km²,占比为 23.35%,较高区域为 554.94 km²,占比为 24.15%,中等区域面积为 488.39 km²,占比为 21.27%,较低区域面积为 438.50 km²,占比为 19.09%,低水平区域面积为 278.75 km²,占比为 12.13%;从影响生态系统状态的子系统评价结果来看,沁水区块煤层气开发区域的生态系统状态指数,自然与社会经济状态出现明显的波动趋势,其中,自然状态的组分、格局和活力指标呈现下降趋势,这更说明了人类社会经济活动对自然界产生的负面效应,导致自然生态环境质量的下降。

沁水区块煤层气开发区域西北部以及东部地区生态承载力较高,南部地区生态承载力较低。其中,生态承载力高区域面积为 458.25 km²,占比为 19.95%,较高区域为 461.13 km²,占比为 20.07%,中等区域面积为 459.25 km²,占比为 19.99%,较低区域面积为 475.63 km²,占比为 20.70%,低水平区域面积为 443.13 km²,占比为 19.29%;从沁水煤层气开发区域影响生态承载力的响应子系统调查评估结果来看,沁水区块煤层气开发区域荒坡造林面积和生态工程尚没有较好的开展,这果表明了人类社会对生态安全状况的退化所采取的防治对策与措施较少,表现为以政府为主导的对生态保护投入的较少,以及群众环保意识尚有待提高(表 1)。

表 1 沁水区块煤层气开发区域生态压力、状态等级划分

PSR	等级	低	较低	中等	较高	极高
生态系统压力	面积/km ²	482.13	394.63	528.75	440.31	458.31
	比例/%	20.92	17.13	22.95	19.11	19.89
生态系统状态	面积/km ²	278.75	438.5	488.69	554.94	536.56
	比例/%	12.13	19.09	21.27	24.15	23.35
生态承载力	面积/km ²	443.13	475.63	459.25	461.13	458.25
	比例/%	19.29	20.7	19.99	20.07	19.95

3.3.2 沁水区块煤层气开发区域各区块 P-S-R 以及综合生态承载力指数 从不同区块的生态压力指数分析看出,沁水区块煤层气开发区域中,寺河岳城区块、郑庄区块、胡底区块与沁城区块生态压力指数大部分均处于极高与高水平,成庄区块生态压力指数大部分均处于较低与中等水平,说明成庄区块煤层气开发较早,大多煤层气井场早已关闭,生态环境压力较其他区块较小,相反地,寺河岳城区块、郑庄区块、胡底区块与沁城区块煤层气开发力度较大,生态环境压力极高。其中寺河岳城区块生态压力指数极高水平与高水平占到区块总面积的 58.45%,郑庄区块生态压力指数极高水平与高水平占到区块总面积的 77.86%,胡底区块生态压力指数极高水平与高水平占到区块总面积的 65.50%,沁城区块生态压力指数低水平与较低水平占到区块总面积 99.07%,成庄区块极高水平与高水平占到区块总面积的 16.07%;

从不同区块的生态状态指数分析看出,沁水区块煤层气开发区域中,寺河岳城区块与成庄区块生态状态指数大部分均处于低与较低水平,郑庄区块、胡底区块与沁城区块生态状态指数大部分均处于较低与中等水平。其中寺河岳城区块生态状态指数低水平与较低水平占到区块总面积的 69.07%,成庄区块生态状态指数低水平与较低水平占到区块总面积的 75.82%,说明寺河岳城区块与成庄区块由于煤层气开发较为严重,生态状态严重破坏;郑庄区块生态状态指数低水平与较低水平占到区块总面积的 46.96%,胡底区块生态状态指数低水平与较低水平占到区块总面积的 56.13%,沁城区块生态状态指数低水平与较低水平占到区块总面积 45.09%;

从不同区块的生态承载力分析看出,沁水区块煤层气开发区域中寺河岳城区块、成庄区块、沁城区块、胡底区块、郑庄区块生态承载力大部分均处于低与较低水平。其中寺河岳城区块生态承载力低水平与较低水平占区块总面积的 96.15%,沁城区块生态承载力低水平与较低水平占区块总面积的 82.29%,说明寺河岳城区块与沁城区块过度关注经济效益,没有充分考虑到自身的生态系统调节能力,在煤层气开发过程中严重超过了寺河岳城区块的生态承载力。成庄区块生态承载力低水平与较低水平占区块总面积的 74.55%,郑庄区块生态承载力低水平与较低水平占区块总面积的 73.35%,胡底区块生态承载力低水平与较低水平占区块总面积的 77.17%,同样也是煤层气开发力度严重地影响到了生态系统自身的调节能力,生态系统结构与功能均处于不稳定状态(表 2)。

表 2 沁水区块煤层气开发区域生态承载力等级划分

PSR	煤层气区块		低	较低	中等	较高	高	合计
生态系统压力	寺河岳城区块	面积/km ²	1.06	5.94	14.50	11.31	18.94	51.75
		比例/%	2.05	11.47	28.02	21.86	36.59	100.00
	成庄区块	面积/km ²	0.88	9.00	4.81	2.69	0.13	17.50
		比例/%	5.00	51.43	27.50	15.36	0.71	100.00
	郑庄区块	面积/km ²	0.56	1.56	5.88	6.13	22.00	36.13
		比例/%	1.56	4.33	16.26	16.96	60.90	100.00
	胡底区块	面积/km ²	0.13	1.94	6.63	8.94	7.56	25.19
		比例/%	0.50	7.69	26.30	35.48	30.02	100.00
	沁城区块	面积/km ²	0.00	0.00	0.13	1.81	11.63	13.56
		比例/%	0.00	0.00	0.92	13.36	85.71	100.00
	寺河岳城区块	面积/km ²	25.94	19.25	6.00	0.75	0.13	52.06
		比例/%	49.82	36.97	11.52	1.44	0.24	100.00
生态系统状态	成庄区块	面积/km ²	4.13	9.00	3.56	0.63	0.00	17.31
		比例/%	23.83	51.99	20.58	3.61	0.00	100.00
	郑庄区块	面积/km ²	5.88	11.56	11.94	5.38	2.38	37.13
		比例/%	15.82	31.14	32.15	14.48	6.40	100.00
	胡底区块	面积/km ²	4.75	9.56	9.00	2.19	0.00	25.50
		比例/%	18.63	37.50	35.29	8.58	0.00	100.00
	沁城区块	面积/km ²	2.75	3.56	3.81	3.00	0.88	14.00
		比例/%	19.64	25.45	27.23	21.43	6.25	100.00
	寺河岳城区块	面积/km ²	35.94	12.38	1.75	0.19	0.00	50.25
		比例/%	71.52	24.63	3.48	0.37	0.00	100.00
	成庄区块	面积/km ²	3.75	9.06	4.00	0.38	0.00	17.19
		比例/%	21.82	52.73	23.27	2.18	0.00	100.00
生态承载力	郑庄区块	面积/km ²	15.69	10.63	6.19	2.50	0.88	35.88
		比例/%	43.73	29.62	17.25	6.97	2.44	100.00
	胡底区块	面积/km ²	7.75	11.06	5.13	0.44	0.00	24.38
		比例/%	31.79	45.38	21.03	1.79	0.00	100.00
	沁城区块	面积/km ²	7.69	3.06	1.50	0.81	0.00	13.06
		比例/%	58.85	23.44	11.48	6.22	0.00	100.00

4 结 论

(1) 煤层气的开发过程,给人类带来直接经济利益的同时,也造成了严重的生态问题,破坏区域的景观格局,生态系统质量和生态系统服务功能严重退化,生态系统呈现出由结构性破坏向功能性紊乱的方向发展,由此引起的水资源短缺、水土流失、荒漠化、生物多样性减少等生态问题持续加剧,对区域生态安全造成严重威胁,同时造成煤层气开发区域生态环境承载力的下降,生态系统结构与功能处于严重不稳定状态,严重干扰煤层气开发区域生态环境的自我调控与修复,因此对于煤层气开发区域生态环境承载力与

生态系统修复研究迫在眉睫。

(2) 本文通过分析 1995—2015 年的沁水区块煤层气开发区域生态系统格局的变化情况,在研究沁水区块煤层气区域的水源涵养、水土保持、生物多样性维护功能重要性与水土流失敏感性特征的基础上,构建了煤层气开发区域环境承载力的 PSR 综合评价指标体系及其模型,并对其生态环境承载力进行了分析,得出沁水区块煤层气开发区域 1995—2015 年期间,草丛面积有一定程度的减少,工矿用地和居住地面积增加,且主要由草丛和林地转化而来,说明煤层气的建设对林地和草地等生态用地有一定程度的破坏;水源涵养、水土保持、生物多样性维护功能主要分

布在研究区西部广大山区,特别是森林生态系统及植被覆盖良好的地区,水土流失极敏感区主要分布在研究区东部,该区域降水侵蚀力相对较大;

(3) 沁水区块煤层气开区域西北部以及东部地区生态承载力较高,南部地区生态承载力较低;煤层气区块中沁城区块生态压力巨大,在煤层气开发过程中生态状态遭到了破坏,生态系统结构与功能状态处于极不稳定状态,成庄区块生态压力较小,但是煤层气带来的生态问题仍然不容忽视;郑庄区块、胡底区块与沁城区块的生态状态较差,在煤层气开发过程中生态状态遭到了破坏;寺岳城区块、成庄区块、沁城区块、胡底区块、郑庄区块生态承载力水平较低,说明煤层气开发力度严重影响了生态系统自身的调节能力,使生态系统结构与功能均处于不稳定状态。

参考文献:

[1] 郭秀锐,毛显强,冉圣宏.国内环境承载力研究进展[J].中国人口资源与环境,2000(S):29-31.

[2] Arrow K, Bolin B, Costanza R, et al. Economic growth, carry capacity, and the environment [J]. Science, 1995(26):520-521.

[3] Lieth H, Whittlaker R H. 生物圈的第一生产力[M].北京:科学出版社,1985.

[4] Odum H T, Blisset M E C. Ecology and economy: Emergy analysis and publicly in Texas [M]. Policy Re-

search Publication, Austin, University of Texas; School of Public Affairs and Texas Dept of Agriculture, 1987.

[5] 王书华,毛汉英,王忠静.生态足迹研究的国内外近期进展[J].自然资源学报,2002,17(6):776-781.

[6] Alice L, Clarke. Assessing the Carrying Capacity of the Florida Keys [J]. Population and Environment, 2002, 23(4):405-418.

[7] Oh K. Visual threshold carrying capacity(VTCC)in urban landscape management; A case study of Seoul, Korea[J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 39(4): 283-294.

[8] 任美镠.四川省农作物生产力的地理分布[J].地理学报,1950,16(1):1-22.

[9] 高吉喜.可持续发展理论探索—生态承载力理论、方法与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2001.

[10] 毛汉英,余丹林.环渤海地区区域承载力研究[J].地理学报,2001,56(3):363-371.

[11] 王宁,刘平,黄锡欢.生态承载力研究进展[J].中国农学通报,2004,20(6):278-281.

[12] 孙顺利,杨殿.基于 PSR 模型的矿区生态经济适度开发评价[J].金属矿山,2007,370(4):66-70.

[13] 曹智,闵庆文,刘某承,等.基于生态系统服务的生态承载力:概念、内涵与评估模型及应用[J].自然资源学报,2015,30(1):1-11.

[14] 张引,杨庆媛,闵婕.重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].地理学报,2016,71(5):817-828.

(上接第 322 页)

[34] 潘竞虎.兰州市景观生态格局热环境效应研究[D].兰州:兰州大学,2011.

[35] 潘竞虎,李瑶.兰州中心城区热环境季节动态遥感分析[J].安全与环境学报,2014,14(6):280-286.

[36] 申依宁,弓弼,贾浩洋,等.杨凌区城镇景观格局动态变化分析[J].西北林学院学报,2016,31(4):319-324.

[37] 闫志鹏.基于景观生态学的周至县土地利用格局研究[D].西安:长安大学,2014.

[38] 陈荣蓉.重庆丘陵区农村土地整治工程及其景观效应[D].重庆:西南大学,2012.

[39] 徐昌瑜,陈健,孟爱农,等.基于 FRAGSTATS 的区域土地生态质量综合评价研究:以江苏省宜兴市为例[J].土壤,2013,45(2):355-360.

[40] 杨振海.基于 Fragstats 软件和 TM 影像的海南天然草地景观格局分析[J].安徽农业科学,2012,40(11): 6664-6664,6675.

[41] 周晨,冯宇东,肖匡心,等.基于多元线性回归模型的东北地区需水量分析[J].数学的实践与认识,2014,44(1):118-123.

[42] 黄金海.杭州市热岛效应与植被覆盖关系的研究[D].杭州:浙江大学,2006.