

煤炭资源型城市生态系统 服务与居民福祉多情景预测

——以新泰市为例

霍冉¹, 陈国栋^{2*}, 丛海涛¹, 王峰¹, 李娜³, 李青梅¹

(1.山东省土地发展集团, 山东 济南 250014; 2.山东省地质科学研究所, 山东 济南 250013; 3.山东省城镇规划建筑设计院有限公司, 山东 济南 250014)

摘要: 预测当前的人类活动会对未来产生何种影响是制定以“防止生态系统服务退化、维护居民福祉”为目标的可持续发展政策最为关心的问题,也是每个煤炭资源型城市迫切需要解决的现实问题。本文以典型煤炭资源城市——新泰市为例,基于灰色马尔科夫模型对2035年土地复垦利用情况进行模拟预测。根据预测结果构建自然恢复情景、生态保护情景和经济增长情景,并测算出未来不同发展情景下生态系统服务价值分别为911 713.66万元、935 391.88万元、862 868.41万元,居民福祉指数分别为0.539、0.543、0.528,同时明确二者的关系。结果表明,不同发展情景下生态系统服务价值和居民福祉存在差异,其中生态保护情景是实现二者协调发展的优选模式。研究结果有望从生态系统服务与居民福祉可持续协调发展角度为煤炭资源型城市生态系统管理和土地利用规划决策提供科学参考。

关键词: 生态系统服务; 居民福祉; 煤炭资源型城市; 多情景预测

中图分类号: F323.211 **文献标识码:** A **doi:** 10.12128/j.issn.1672-6979.2024.11.011

引文格式: 霍冉, 陈国栋, 丛海涛, 等. 煤炭资源型城市生态系统服务与居民福祉多情景预测——以新泰市为例[J]. 山东国土资源, 2024, 40(11): 73-78. HUO Ran, CHEN Guodong, CONG Haitao, et al. Multi-scenario Simulation of Ecosystem Service and Residents Well-being in Coal Resource City——Taking Xintai City as an Example[J]. Shandong Land and Resources, 2024, 40(11): 73-78.

0 引言

生态系统提供的各项服务功能是实现可持续发展的基础^[1],可作为表征区域可持续发展水平的一项综合指标^[2]。居民福祉是建立在从生态系统获得的各种收益之上,与赖以生存的自然环境息息相关^[3]。因此,居民福祉在生态系统服务研究中受到越来越多的重视^[4]。国内外学者对二者之间的关系进行了一系列探索,从宏观大尺度如流域、森林、自然保护区到市级、县级、乡镇、村级甚至社区^[5-14]局地小尺度的研究均有涉及,但总体而言以煤炭资源型城市为研究对象的仍较少^[15]。

煤炭开采会极大地改变当地土地利用格局和自然生态景观,进而影响生态系统服务供给能力;而土地复垦和生态恢复也可以通过改变退化生态系统格局和过程,使得生态系统服务的产生和提供发生变化^[16],二者均可以对煤炭资源型城市居民福祉产生重要影响。新泰市是一座典型的煤炭资源枯竭型城市,长期以来的煤炭开采以及近年来实施的采煤沉陷区治理与生态恢复工程,使得当地的土地利用类型和生态系统均发生较明显变化,进而影响到居民福祉。预测当前的人类活动会对未来产生何种影响是制定以“防止生态系统服务退化、维护居民福祉”为目标的可持续发展政策最为关心的问题,也是每

收稿日期: 2024-08-30; 修订日期: 2024-09-29; 编辑: 王敏

基金项目: 煤炭资源与安全开采国家重点实验室一般开放课题, 矿区土地复垦与生态服务关键问题研究, 课题编号: SKLCRSM17KFB02

作者简介: 霍冉(1978—), 女, 北京人, 博士, 主要从事资源与环境政策研究; E-mail: huoranluck@163.com

* 通讯作者: 陈国栋(1983—), 男, 山东曹县人, 硕士, 主要从事矿产资源勘查与评价研究; E-mail: chenguodongdky@shandong.cn

个煤炭资源型城市迫切需要解决的现实问题。

基于上述背景,本文基于改进的灰色马尔科夫模型和情景分析等方法,将两者之间的指标量化与综合化,对新泰市中长期(2035 年)生态系统服务与居民福祉变化趋势以及二者的关系进行多情景模拟预测,并从生态系统服务与居民福祉可持续协调发展角度对煤炭资源型城市生态系统管理和土地利用规划决策提供科学参考。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

新泰市位于山东省中部,地处泰沂山脉中段,总面积 1 946 km²,人口 123.46 万,是一个典型的煤炭资源枯竭型城市。由于长期高强度开采,出现了资源濒临枯竭、地表沉陷等一系列问题。近年来,新泰市统筹推进山水林田湖草沙系统治理、矿山地质环境恢复治理与“绿色矿山”建设,全面落实林长制、田长制、河湖长制,全市建成区绿化覆盖率 44.88%,建成国家级生态乡镇 4 个、省级生态乡镇 15 个,先后被评为山东省生态城市以及国家园林城市和中国优秀旅游城。

1.2 数据来源

本研究中采用的遥感影像数据主要为 NDVI 数据,下载自中国科学院资源环境科学数据中心;土地利用统计数据来自于新泰市国土资源局地面调查数据;各类社会经济数据来自新泰市、国家粮食和物资储备局相关统计年鉴,国家林业局公布的《森林生态系统服务功能评估规范》以及其他学者相关研究成果。

2 研究方法

2.1 基于改进的灰色马尔科夫模型土地利用预测

改进的灰色马尔科夫模型既具备灰色系统对时间序列模型所需数据量较少、预测结果精度较高的优势,又利用了马尔科夫模型对波动性较大的数据预测精确的特点,因此,目前被广泛应用于土地利用面积的中长期预测^[17-20]。通过灰色 GM(1,1)模型预测和马尔科夫的改进,可测算得出 2035 年新泰市各类型土地面积,见表 1。

表 1 2035 年新泰市土地利用面积 单位:km²

林地	园地	草地	耕地	水域	建设用地	未利用地
272.971	74.531	69.685	1015.612	100.206	368.050	33.248

2.2 情景分析

情景(Scenario)是一种对未来可能实现的情形过程的描述,反映现有趋势以及新因素如何产生影响的不同假设^[21]。鉴于未来的不确定性与现实决策的需要,情景分析成为近年来国内外学者进行土地利用和生态系统服务模拟分析的常用方法之一^[22]。采煤沉陷地是煤矿区生态环境遭受破坏的主要表现形式之一,是煤炭资源型城市生态系统最主要的扰动因素。因此,将采煤沉陷区综合治理与土地复垦活动引起的土地利用变化作为影响煤炭资源型城市未来生态系统服务的关键因素,将复垦利用方向作为未来情景设置的依据。根据《新泰市采煤沉陷区综合治理规划》,其沉陷区总面积为 79.87 km²(表 2),并明确要求到 2025 年要基本完成采煤塌陷地治理任务。由于自 2011 年起,新泰市煤矿逐步闭坑,故本文视为后续不再发生土地塌陷,且到 2035 年全部完成复垦与治理工作。

表 2 新泰市采煤沉陷区分类及土地类型 单位:km²

土地类型	轻度沉陷区	重度沉陷区
林地	3.91	6.88
园林	1.49	2.63
草地	0.065	0.115
耕地	15.71	27.7
水域	0.00	0.69
建设用地	7.44	13.1
未利用地	0.05	0.09

对于以上 3 种类型沉陷土地,新泰市实行农业复垦、生态复垦、产业复垦三类模式进行分类治理。其中,轻度沉陷区主要复垦为耕地;重度沉陷区,因其地表形态破坏严重,故复垦治理方向也比较多样化,既可复垦为耕地、林地和园地,也可以作为建设用地使用;对于沉积水区,其原有的陆地生态系统已转变为以水域生态系统为主。据此,本文设定以下 3 种情景:①自然恢复情景:该情景设定生态系统具有自我恢复功能,主要基于历史的土地利用变化的特征,即按照当前的经济发展速度和城市化进程的未来自土地利用变化,计算得到生态系统服务价值。②生态保护情景:该种情景旨在使新泰市粮食安全

得到充分保障,生态环境质量得到显著改善,实现采煤沉陷区逐步向生态用地(耕地、林地、草地、园地)转变。据此原则,轻度沉陷区建设用地全部复垦为耕地;重度沉陷区的建设用地依据各类生态用地所占比例,分别复垦为林地、园地、草地、耕地,由此耕地可增加 16.726 km²,林地增加 2.496 km²,草地增加 0.637 km²,园地面积增加 0.681 km²。设定未利用地和水域面积均与“自然恢复”下的数量保持一致。③经济增长情景:优先满足建设用地需求量,因此重度沉陷区均复垦为建设用地,面积可增加 37.325 km²。考虑到粮食安全的重要性以及新泰市是重要的粮食生产基地,因此轻度沉陷区依然复垦为耕地。设定未利用地和水域面积均与“自然恢复”下的数量保持一致。根据上述情景构建方案,得出不同情景下新泰市 2035 年的土地利用数据(表 3)。

表 3 三种情景下新泰市 2035 年土地利用面积 单位:km²

土地类型	自然增长情景(S1)	生态保护情景(S2)	经济增长情景(S3)
林地	272.971	275.467	262.181
园地	74.531	75.212	70.411
草地	69.685	70.322	69.505
耕地	1015.612	1032.337	993.377
建设用地	368.050	347.510	405.375
水域	100.206	100.206	100.206
未利用地	33.248	33.248	33.248

2.3 生态系统服务与居民福祉测算

2.3.1 生态系统服务价值测算

为了对生态系统服务价值进行评估,国内外学者已经进行了很多研究^[23-25]。本文采用谢高地的价值当量因子法^[24],结合其他学者^[26-27]提出的方法对价值量因子法模型进行拓展改进,具体如下公式(1)(2):

$$ESV_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_i P_{ij} \quad (1)$$

$$P_{ij} = E_{ij} \times E_i \times Q_i \times R_i \quad (2)$$

式中:ESV_t为第 t 年生态系统服务价值(万元);S_i为 i 类土地利用类型的面积(hm²);P_{ij}为修正后的生态系统服务价值系数(第 i 类土地利用类型的第 j 类生态系统服务价值系数);E_{ij}为经过修订后的生态系统服务价值当量因子;Q_i为第 t 年生态系统的功能性系数;E_i为第 t 年单位面积粮食产出的经济价值(万元/hm²);R_i为第 t 年生态系统服务价值经济性系数。由于建设用地虽然不属于自然生态系

统,但是它会对生态系统服务价值产生负面影响,因此本文纳入建设用地生态系统服务价值,计算方法见参考文献^[28]。

2.3.2 居民福祉计量指标的选择及计算

目前,国内外学术界对于居民福祉的计量指标有很多研究,其中千年生态系统评估(MA)具有一定的权威性^[29]。本文基于 MA 居民福祉构成要素,结合马斯洛需求理论,在参考其他学者对居民福祉指标体系界定的基础上^[30-32],充分考虑当地的自然资源、社会 and 经济发展状况以及数据可获取性,选取适当的表征指标,构建了新泰市居民福祉度量指标体系,分为物质福祉、安全与健康福祉和社会文化福祉。为了避免主观赋权法所带来的随机性、臆断性问题,本文通过熵值法确定权重,采用多指标综合评价法来评价新泰居民福祉状况,见公式(3)。

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

式中:G 为居民福祉综合指数;i 为居民福祉单项指标;n 为指标 i 的数目;g_i 为 i 指标的标准化分值;W_i 为 i 指标的权重值,∑_{i=1}ⁿW_i=1。G 越大,表示居民福祉水平越高。

2.3.3 生态系统服务与居民福祉耦合协调分析

为了充分说明生态系统服务与居民福祉之间的关系,本文采用耦合度模型和耦合协调度模型来度量居民福祉与生态系统服务之间关系。前者反映二者之间的相互影响程度,后者可反映居民福祉与生态系统服务之间的协调发展水平。

(1)耦合度模型,见公式(4):

$$C = \left\{ \frac{4f(x) \times g(y)}{[f(x) \times g(y)]^2} \right\}^k \quad (4)$$

式中:f(x)生态系统服务综合指数与 g(y)居民福祉综合指数,参考已有研究^[24]。C 为耦合度,它的值在 0 到 1 之间;k 为调节系数,参考已有研究^[33],本文 k 取 2。C 接近 1,表示居民福祉与生态系统服务之间的耦合程度较好,系统处于健康有序状态;C 接近 0,表示居民福祉与生态系统服务之间的耦合程度较差,系统处于无序发展状态。

(2)耦合协调度模型,见公式(5)(6):

$$S = \sqrt{C \times P} \quad (5)$$

$$P = \frac{[f(x) \times g(y)]^2}{2} \quad (6)$$

式中:S 为耦合协调度;P 为居民福祉与生态系统服

务的综合调和指数。S 在 0~1 之间,S 值越高,表明居民福祉与生态系统服务均处于较高水平,且二者的耦合协调程度越高。

3 研究结果

3.1 不同情景下新泰市生态系统服务价值模拟

(1)根据 1987—2017 年粮食价格平均增长率对 2035 年进行估算,得到 2035 年的粮食修正系数为 4 232.219 8。

(2)生态系统服务功能的价值既与各类生态系统类型的数量或面积相关,也与其质量或品质相关^[34]。因此,有必要考虑生态系统品质性和稀缺性对其进行功能性修正,即以二者的乘积表征。其中,品质因子用绿地系数表示^[28]。根据表 3 中对 2035 年林地、园地、草地、农田的预测面积,得出品质因子的值(表 4)。根据已有研究^[35]中对 2035 年全国平均人口密度和新泰市平均人口密度的数据,计算得出稀缺因子 1.338。

表 4 三种情景下生态系统品质因子的计算结果

经济增长情景(S1)	自然增长情景(S2)	生态保护情景(S3)
0.721	0.741	0.751

(3)利用 1987—2017 年全国和全市恩格尔指数以及城镇化率平均增长率,对 2035 年的支付意愿系数进行估算,计算结果为 1.005。

(4)利用 1987—2017 年 GDP 平均增长率,对 2035 年的支付能力系数进行估算,计算结果为 1.009。

根据公式(1)得出 2035 年不同情景下新泰市的生态系统服务价值,结果见表 5。

表 5 三种情景下新泰市生态系统服务价值模拟结果 单位:万元

自然恢复情景(S1)	生态保护情景(S2)	经济增长情景(S3)
911713.66	935391.88	862868.41

由上述结果可知,在生态保护情景下,生态服务价值高于其他两种情景;而经济增长情景下的生态服务价值最低。这说明生态保护情景更有利于当地居民从生态系统服务中获得收益。

3.2 不同情景下新泰市居民福祉模拟

根据已有社会经济历史数据,对新泰市 2035 年的居民福祉指标进行预测。其中,居民可支配收入

以《新泰市十四五规划》中规定:“人均可支配收入年均增长 7%”为依据;除卫生技术人员、敬老院和中学生在校人数取平均值外,其他均按增长率计算。人均耕地面积和森林覆盖率与土地利用面积息息相关,对其进行相应情景划分,从而可以得到不同情景下的居民福祉指数。根据公式(3),计算得到 2035 年不同情景下新泰市居民福祉模拟结果(表 6)。

表 6 三种情景下新泰市居民福祉模拟结果

自然恢复情景(S1)	生态保护情景(S2)	经济增长情景(S3)
0.539	0.543	0.528

由上述结果可知,生态保护情景下的居民福祉水平最高,经济增长情景则最低。这也说明居民福祉作为反映人们生活状态的概念,既受制于个体特征,又受外部环境影响,这一过程既非纯粹的个人心理因素作用的结果,又非外部经济、社会文化、生态环境单一因素作用的结果。因此,需要构建包含经济、社会、教育、文化、生态环境以及主观满意度等指标在内的综合测度模型,开展居民福祉综合化研究。

3.3 不同情景下新泰市生态系统服务与居民福祉关系模拟

根据估算得出的居民福祉和生态系统服务价值,运用综合调和指数和耦合度公式分别得出生态系统服务与居民福祉的综合调和指数和耦合度,再根据耦合协调度的公式分别计算出三种情景下的耦合协调度(表 7)。

表 7 三种情景下新泰市耦合度与耦合协调度模拟结果

指标	自然恢复情景(S1)	生态保护情景(S2)	经济增长情景(S3)
耦合度	0.958	0.955	0.962
耦合协调度	0.851	0.859	0.836

由表 7 可知,在经济增长情景下,生态系统服务与居民福祉耦合度最大,而二者的耦合协调度最小,说明此情景下当地居民福祉更多需要依靠生态系统服务的供给,经济的快速发展是以牺牲生态系统可持续利用为代价的,会出现生态系统服务与居民福祉冲突的不协调发展情况。在生态保护情景下,生态系统服务与居民福祉耦合度最小而耦合协调度最大,说明该情景下能更好实现生态系统服务和居民福祉协调发展,同时也说明在物质和安全得到保障的情况下,其他因素如个人社会特征、主观感受差异等亦会对当地居民福祉有重要影响。

4 结论与讨论

(1)根据灰色马尔科夫模型对新泰市2035年土地利用情况的预测结果,以采煤沉陷区土地复垦利用方向为依据,构建基于自然理念的自然恢复情景;强调生态环境保护,将沉陷区复垦为生态用地的生态保护情景和强调经济高速增长,将沉陷区复垦为建设用地的经济增长情景。

(2)不同发展情景下生态系统服务价值和居民福祉存在差异。在生态保护情景下,生态系统服务价值和居民福祉都最大,表明复垦为生态用地不仅能为该区域提供更多的生态系统服务,同时居民福祉也相对提高更多;而在经济增长情景下,二者均最小,表明复垦为建设用地对生态环境带来较多胁迫,生态系统服务的供给能力降低,因此居民获得的收益和福祉也相应减少。

(3)在生态保护情景下,生态系统服务价值与居民福祉的耦合协调度最大。由此可见,该情景既有利于新泰市生态环境的保护,也有利于居民福祉水平提升,可以实现二者协调发展的“双赢”局面,因此是新泰市未来优先选择的发展模式。

本文通过情景模拟的方法,对典型煤炭资源型城市生态系统服务与居民福祉关系进行中长期预测,拓展和丰富了国内相关领域的研究案例。但由于不同的生态系统服务之间能够相互转换,并且是一个动态的过程,受到各种间接因素的影响,特别是煤炭资源型城市是一类特殊的城市类型,采矿活动给生态系统造成的影响往往具有复杂性、空间性、时滞性和不确定性等特点^[36],因此下一步研究可以从煤炭资源型城市生态系统的结构与服务变化机理入手,对区域人类活动与生态系统之间协调机制进行更全面分析研究。同时,由于生态系统服务与居民福祉关系问题的综合性与复杂性,居民福祉水平的评价方法还需要深入研究,有些指标还有待进一步完善,进而得出更有针对性的结论。此外,囿于数据的可获得性和有限性,本文仅以新泰市为例进行研究,没有与国内其他煤炭资源型城市进行对比分析,后续研究中可扩大研究的时间跨度和空间范围,对煤炭资源型城市生态系统服务与居民福祉开展综合研究。

参考文献:

- [1] 余新晓,鲁绍伟,靳芳,等.中国森林生态系统服务功能价值评估[J].生态学报,2005(8):2096-2102.
- [2] 史培军,张淑英,潘耀忠,等.生态资产与区域可持续发展[J].北京师范大学学报(社会科学版),2005(2):131-137.
- [3] WANG B J, TANG H P, XU Y. Integrating ecosystem services and human well-being into management practices: insights from a mountain-basin area, China[J]. Ecosystem Services, 2017(27):58-69.
- [4] 高玉娟,石娇.基于CiteSpace的生态系统服务与人类福祉的关系研究[J].中国农业资源与区划,2024(1):45.
- [5] 杨永菊,尹学威.河南省淮河流域居民福祉指标体系构建及空间特征分析[J].经济研究导刊,2018(31):57-59.
- [6] 李文青,赵雪雁,杜昱璇,等.秦巴山区生态系统服务与居民福祉耦合关系的时空变化[J].自然资源学报,2021,36(10):19.
- [7] 常虹.荒漠草原区牧户生计、生态系统服务与福祉及其关联机制[D].呼和浩特:内蒙古大学,2023.
- [8] 邹佳敏,吴芝花,廖文梅,等.我国森林碳汇与居民福祉耦合关系的时空演变研究[J].林业经济,2023,45(2):62-75.
- [9] 朱杰,卢春天,石金莲,等.自然保护区居民福祉的历时性研究:以陕西佛坪国家级自然保护区为例[J].生态学报,2019(18):1-11.
- [10] 邱坚坚,刘毅华,陈澄静,等.生态系统服务与人类福祉耦合的空间格局及其驱动方式:以广州市为例[J].自然资源学报,2023,38(3):760-778.
- [11] 李雪敏,李同宁,李道政,等.内蒙古县域生态系统服务与居民福祉耦合协调关系时空特征及影响因素研究[J].干旱区资源与环境,2023,37(7):27-37.
- [12] 柳长青,张金茜,巩杰,等.陇中黄土丘陵区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉时空关系研究:以安定区为例[J].生态学报,2019,39(2):637-648.
- [13] 刘迪,陈海,王麒非,等.黄土丘陵沟壑区村庄生态系统服务对人类福祉的影响机理:以陕西省米脂县为例[J].水土保持研究,2024,31(3):69-78.
- [14] 贺娟.基于社区的鄱阳湖区湿地生态系统服务与生态补偿研究[D].南昌:江西师范大学,2009.
- [15] 王志亮,李传夏,尹亚军,等.城中采煤塌陷地土地利用和生态系统服务价值演变研究:以山东济宁太白湖新区为例[J].山东国土资源,2024(6):57-67.
- [16] 张琨,吕一河,傅伯杰.生态恢复中生态系统服务的演变:趋势、过程与评估[J].生态学报,2016,36(20):6337-6344.
- [17] 邹艺,张文秀.重庆市耕地利用变化趋势预测[J].合作经济与科技,2014(9):12-14.
- [18] 赵素霞,牛海鹏.基于灰色马尔科夫模型的河南省耕地压力状况研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(8):46-51.
- [19] 吴金华,戴森.基于改进算法的灰色马尔科夫模型的建设用地预测[J].安徽农业科学,2010,38(8):3867-3868.
- [20] 孙仪阳,李贻学,姜怀龙,等.基于Markov和GM(1,1)模型的土地利用变化预测[J].农业资源与环境学报,2016,33(3):

289 - 296.

- [21] Alcamo J, Henrichs T. Chapter Two Towards Guidelines for Environmental Scenario Analysis[C]//Developments in Integrated Environmental Assessment. Elsevier Science & Technology, 2008.
- [22] 刘岩, 李晶, 秦克玉, 等. 基于情景的关中平原土地利用和生态系统服务预测及变化分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 95 - 103.
- [23] 贾军梅, 罗维, 杜婷婷, 等. 近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2255 - 2264.
- [24] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004(4): 480 - 491.
- [25] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635 - 640.
- [26] 万伦来, 杨峻, 周紫凡, 等. 煤炭资源型城市生态系统服务功能的时空变化特征分析: 来自 2006—2015 年安徽省淮南市的经验证据[J]. 环境科学学报, 2018, 38(8): 3322 - 3328.
- [27] 周妍. 基于土地利用变化的生态系统服务价值研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [28] 霍冉. 煤炭资源型城市生态系统服务与人类福祉关系研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2020.
- [29] 张永民. 生态系统与居民福祉: 评估框架[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [30] 蔡国英, 尹小娟, 赵继荣. 青海湖流域居民福祉认知及综合评价[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 469 - 478.
- [31] 代光烁, 娜日苏, 董孝斌, 等. 内蒙古草原居民福祉与生态系统服务及其动态变化: 以锡林郭勒草原为例[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2422 - 2430.
- [32] 杨莉, 甄霖, 李芬, 等. 黄土高原生态系统服务变化对居民福祉的影响初探[J]. 资源科学, 2010, 32(5): 849 - 855.
- [33] 徐纳, 杨海娟, 罗佳丽. 陕西省城市人居环境质量的时空差异[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 341 - 347.
- [34] 石焱, 王如松, 黄锦楼, 等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. 科学通报, 2012, 57(9): 720 - 731.
- [35] 孙明哲. 使用六普数据对中国未来人口规模趋势的预测: 兼论未来 50 年中国人口规模衰减的程度[J]. 北京社会科学, 2014(5): 85 - 92.
- [36] 卢育红, 田桂娥, 谷峰. 矿业城市生态系统健康综合评价[J]. 中国矿业, 2009, 18(4): 38 - 42.

Multi—scenario Simulation of Ecosystem Service and Residents Well—being in Coal Resource City

——Taking Xintai City as an Example

HUO Ran¹, CHEN Guodong², CONG Haitao¹, WANG Feng¹, LI Na³, LI Qingmei¹

(1. Shandong Land Development Group Limited Corporation, Shandong Jīnan 250014, China; 2. Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Jīnan 250013, China; 3. Shandong Urban Planning and Architectural Design Institute Limited Corporation, Shandong Jīnan 250014, China)

Abstract: Predicting how current human activities will impact the future is a key concern in formulating sustainable development policies aimed at "preventing the degradation of ecosystem services and maintaining residents' well—being." This issue is especially urgent for coal resource—based cities. In this paper, taking Xintai city, a typical coal resource city as an example, by using a gray Markov model, land reclamation and utilization have been simulated and predicted by 2035. Based on the predictions, three scenarios are constructed: natural restoration, ecological protection, and economic growth. The estimated values of ecosystem services under these different scenarios are 9117136.6 ten thousand yuan, 935391.88 ten thousand yuan, and 862868.41 ten thousand yuan, while the residents well—being indices are 0.539, 0.543, and 0.528 respectively. The relationship between the two has been clarified. It is indicated that there are differences in ecosystem service values and residents well—being under different development scenarios, with the ecological protection scenario being the optimal model for achieving coordinated development of both. The findings are expected to provide scientific references for ecosystem management and land use planning decisions in coal resource—based cities from the perspective of sustainable and coordinated development of ecosystem services and residents well—being.

Key words: Ecosystem services; human well—being; coal resource city; multi—scenario simulation