

基于 DEA 模型的矿产资源承载能力评价 ——以湖南省资源型县为例

项广鑫^{1,2}, 曾 毅^{1,2}, 蒋星祥^{1,2}, 李慎鹏³, 张建新^{1,2}

XIANG Guangxin^{1,2}, ZENG Yi^{1,2}, JIANG Xingxiang^{1,2}, LI Shenpeng³, ZHANG Jianxin^{1,2}

1. 国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410007;

2. 湖南省国土资源规划院, 湖南 长沙 410007;

3. 湖南工程职业技术学院, 湖南 长沙 410151

1. Hu'nan Key Lab of Land & Resource Evaluation & Utilization, Changsha 410007, Hu'nan, China;

2. Hu'nan Land and Resources Planning Institute, Changsha 410007, Hu'nan, China;

3. Hu'nan Vocational College of Engineering, Changsha 410151, Hu'nan, China

摘要:在分析矿产资源支撑社会经济发展特征的基础上,定义矿产资源承载能力为一定时期内,在尽可能减少资源和生态环境损耗的前提下,区域矿产资源维持经济社会发展的能力。根据定义和数据可获取原则,选取开采矿石量、破坏土地面积、排污量为投入的资源环境指标,矿业经济、矿业就业为产出的经济社会效益指标,以湖南省 20 个资源型县(市、区)为例,采用 DEA 模型开展了实证研究。研究结果显示,苏仙区、安化县矿产资源承载能力高,北湖区、临武县、新化县、涟源市、攸县矿产资源承载能力较高,衡南县、祁东县、江华县、双峰县、新邵县矿产资源承载能力中等,宜章县、冷水江市、浏阳市矿产资源承载能力较低,桃江县、桂阳县、花垣县、平江县、常宁市矿产资源承载能力低。影响矿产资源承载能力的短板要素主要是“三废”污染较重且治理率较低,采矿占用、破坏土地资源严重,矿业经济疲软、结构亟需优化。实证研究显示,DEA 模型可以定量评价矿产资源承载能力情况,较客观地反映了矿产资源承载能力短板要素。

关键词:矿产资源;承载能力;DEA 模型;湖南

中图分类号:X24;P628 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)01-0108-06

Xiang G X, Zeng Y, Jiang X X, Li S P, Zhang J X. Carrying capacity of mineral resources of counties based on DEA: A case study of resource-based counties in Hu'nan Province. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(1): 108–113

Abstract: Based on an analysis of the characteristics of mineral resources supporting social and economic development, the carrying capacity of mineral resources is defined as the capability of regional mineral resources to maintain economic and social development in a certain period of time, on the premise of minimizing the loss of resources and ecological environment. Taking 20 resource-based counties (cities and districts) in Hu'nan Province as an example on the basis of DEA, the authors selected the area of destroyed land, the amount of ore mined and the amount of sewage discharged as input indicators, and mining employment and mining economy as output indicators. The research shows that the carrying capacity of mineral resources can be divided into five levels, and the main factors affecting the carrying capacity of mineral resources are the strong pollution of "three wastes" and the low treatment rate, the serious situation of occupying and destroying land resources in mineral resources exploitation, the weak mining economy and the mining structure which should be optimized. The empirical research shows that DEA model can quantitatively evaluate the carrying capacity of mineral resources and objectively reflect the short plate elements of carrying capacity of mineral resources.

Key words: mineral resources; carrying capacity; DEA; Hu'nan Province

收稿日期:2019-04-01;修订日期:2019-10-05

资助项目:湖南创新型省份建设专项(编号:2019SK2101)

作者简介:项广鑫(1988-),男,硕士,工程师,从事资源与环境研究。E-mail:csuxiang@qq.com

矿产资源是经济社会发展的重要物质基础^[1]。中国工业制成品原料的80%和能源的95%来自矿产资源^[2]。湖南省矿产资源丰富,据《湖南省矿产资源总体规划(2016—2020年)》^①,截至2015年底,已发现矿产143种(含亚种),探明储量的101种,大型及以上矿床138处、中型矿床272处、小型矿床1357处。矿业在湖南省经济社会发展中有重要地位,2015年,全省固体矿石开采总量 $2.32 \times 10^8 \text{ t}$,矿山从业人员23.75万人,矿山采选业产值833.8亿元。随着资源安全、生态环境形势越来越严峻,矿产资源的承载能力研究成为重要研究内容^[3]。

矿产资源承载能力是资源环境承载能力的重要组成部分^[3-4]。资源环境承载能力重点研究人和自然之间、生产和生活活动之间及自然生态系统内部关系的协调性问题^[4-5],目前的研究重点集中在资源环境“最大负荷”^[3-5],对资源环境承载能力的定义和评价方法上“百家争鸣”,逐步由单要素的土地资源、水资源、生态环境承载能力研究走向人口-资源-环境-经济-社会-发展(P-R-E-E-S-D)的综合承载能力研究^[6-8],实现了由分类到综合、由静态到动态、由定性到定量、由基础到应用的转变^[3-5, 9-13]。然而,经过百年的发展,资源环境承载能力评价仍未形成一套完整的理论^[3, 5]。

矿产资源承载能力评价方面,仅有少数学者开展了研究工作^[3]。徐强^[14]、王玉平^[15]认为,矿产资源承载力指在可预见的时期内,在保证正常社会文化准则的物质生活条件下,矿产资源以直接或间接的方式持续供养的人口数量。王奎峰等^[16]认为,矿产资源承载力指在可预见的时期内,在当时的科学技术、自然环境和社会经济条件下,矿产资源的经济可采储量(或其生产能力)对社会经济发展的承载能力。李瑞敏等^②认为,矿产资源承载能力指在现有科学技术、社会经济及生态环境条件下,在一定空间范围内既能够支撑区域经济发展又不破坏其生态环境的情况下,矿产资源可开发的规模和强度。综合而言,目前对矿产资源承载能力的定义仍然限定在矿产资源对人口、经济社会的承载能力。在评价方法上,有主成分分析法、层次分析法、正态云模型等^[3, 5, 17]。

本文在分析矿产资源承载能力内涵的基础上,利用DEA(数据包络分析, Data Envelopment Analysis)模型对湖南省资源县的矿产资源承载能力

进行评价,以期为区域矿产资源承载能力研究提供新的思路。

1 新时期矿产资源承载能力的内涵

目前,人们已经深刻认识到以大量消耗资源、破坏生态环境为代价的发展模式不可取^[18]。在社会发展中,必须维护自然生态系统对人类活动的长期供养能力,推进绿色发展,淘汰严重耗费资源和污染环境的落后生产力^[18]。因此,当前资源承载能力应该重点聚焦经济社会发展-资源消耗-环境保护三者之间的协调,既要保障发展,又要维护生态系统健康^②。从这个角度看,资源环境承载能力与可持续发展^[17-20]在内涵上是相通的。

资源环境承载能力包括土地、水、矿产等自然资源 and 生态环境、地质环境等的承载能力^[3-4]。在资源要素中,矿产资源与土地资源、水资源等有明显的区别。①承载对象不同。土地资源、水资源承载的是人类建设开发、农业生产活动,而矿产资源更多的是为满足工业生产等生产资料的需求^[14],没有显性的承载对象。②区域不可替代性上的区别。土地资源、水资源的区域(市域、县域等)不可替代性更强,矿产资源的区域不可替代性则较弱;换言之,区域(市域、县域等)发展必须开发利用本地的土地资源、水资源,却可以不开发利用本地的矿产资源。随着物流网建设和资源交易机制的成熟,矿产资源的区域不可替代性会越来越弱。③承载时效上的不同。土地资源、水资源的承载能力具有持续性,矿产资源的承载能力有时间性^[14]。④土地资源、水资源是可再生资源(土地资源的可再生性体现在土地的功能转换等,且不因使用而消失),矿产资源则是不可再生资源^[14]。⑤对环境的影响不同。土地资源、水资源的开发利用并不必然伴随着环境污染,而矿产资源的开发则必然伴随着环境污染,且矿产资源开发的污染程度远大于土地资源、水资源开发利用的污染程度。

综合而言,矿产资源的承载体、承载对象和承载率都是隐形的。不妨把视角转换为矿产资源开发活动,思考其在经济社会发展-资源消耗-环境保护系统中的作用。

矿产资源开发行为是把矿产开采出来,通过选、冶加工,提炼有用物质的过程。矿产资源开发对区域的正向作用有带动区域经济、就业等经济社

会效益,与之伴随的则是破坏土地、废物废气废水排放等对生态环境的损害^[21]。因此,矿产资源开发活动可以看作是投入矿产资源、生态环境成本,产出经济社会效益的过程。如果矿产资源开发活动产出的经济社会效益大于投入的资源、生态环境成本,表示矿产资源开发活动是健康的、可持续的。

因此,定义矿产资源承载能力为一定时期内,在尽可能减少资源和生态环境损耗的前提下,区域矿产资源维持经济社会发展的能力。矿产资源开发过程中,投入的资源 and 环境成本越低,产出的经济社会效益越大,表示区域矿产资源承载能力越强。

2 研究方法和数据来源

2.1 DEA 模型

据前文给出的矿产资源承载能力定义,矿产资源承载能力评价可转化为资源和环境成本投入、经济社会效益产出的效率问题,可用 DEA (Data Envelopment Analysis) 求解。

DEA 在经济学、管理学中已得到广泛应用,该方法可以用于评价一组决策单元 (Decision Making Unit, DMU) 的相对效率^[22-24]。

考虑 k 个区域内的矿产资源开发过程 (DMU), 每个区域的矿产资源开发活动有 m 项投入, n 项产出。设 x_{ij} 为第 j 个区域的第 i 项投入量, y_{rj} 为第 j 个区域的第 r 种产出量,则可以得到基于规模报酬不变的 (Constant Return to Scale, CRS) 的 DEA 模型:

$$\begin{aligned} \min & [\theta - \varepsilon(e_1^T s^- + e_2^T s^+)] \\ & \begin{cases} \sum_{j=1}^k x_{ij} \lambda_j + s^- = \theta x_{i0} \\ \sum_{j=1}^k y_{rj} \lambda_j - s^+ = y_{r0} \\ \lambda \geq 0 \\ i=1, 2, \dots, m \\ r=1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

式中, θ ($0 < \theta \leq 1$) 为综合效率指数, λ 为权重变量, s^- ($s^- \geq 0$) 为松弛变量, s^+ ($s^+ \geq 0$) 为剩余变量, ε 为非阿基米德无穷小量, e_1^T 和 e_2^T 分别为 n 维和 k 维单位向量空间。此模型反映的是矿产资源配置、利用的效率, θ 越大, 表示区域矿产资源承载能力越高。

2.2 指标选取与计算

前文已述及, 矿产资源开发活动投入的是资源和环境成本, 其中, 资源成本选取开采矿石量作为指标, 环境成本选取破坏土地面积、排污量作为指标; 产出的是经济社会效益, 主要体现在对经济和就业的贡献, 故选取矿业经济、矿业就业作为指标。

(1) 开采矿石量: 为县域内各矿山年度开采的金矿、煤炭、锰矿、铅矿、锑矿、铁矿、铜矿、钨钼矿、锡矿、锌矿矿石量之和。

(2) 破坏土地面积: 由于难以获取准确的破坏土地面积, 采用矿山占用土地面积代替。

(3) 排污量: 主要考虑矿山开采排出的废水量、固体废物、重金属、二氧化硫、氮氧化物。根据各矿山、各矿种不同的开采方式按《第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》^③ 计算得出。

(4) 矿业经济: 矿业产值占地区生产总值的百分比。

(5) 矿业就业: 矿业从业人员占县域总就业人口的百分比。

2.3 数据来源

矿业经济数据、就业人员数据来自各县的统计年鉴 (2015 年), 矿山占用土地面积、开采矿石量、开采方式、矿业从业人员来自湖南省矿业数据库 (2015 年)。

3 实例研究

3.1 矿产资源承载能力

以湖南省浏阳市等 20 个县 (市、区) 为例, 采用上述 DEA 模型, 计算得到 θ 值 (表 1)。

根据计算结果, 苏仙区的 θ 值为 1, 说明苏仙区的矿产资源承载能力在研究的 20 个县 (市、区) 中最高, 其次为安化县 (θ 值为 0.859)。矿产资源承载能力最低的为常宁市 (θ 值为 0.027)。据 θ 值大小, 将 20 个县 (市、区) 矿产资源承载能力分为 5 个级别: ① 矿产资源承载能力高, 为苏仙区、安化县, 其 θ 值在 0.85 以上; ② 矿产资源承载能力较高, 为北湖区、临武县、新化县、涟源市、攸县, 其 θ 值集中分布在 0.57~0.62 之间; ③ 矿产资源承载能力中等, 为衡南县、祁东县、江华县、双峰县、新邵县, 其 θ 值集中分布在 0.408~0.513 之间; ④ 矿产资源承载能力较低, 为宜章县、冷水江市、浏阳市, 其 θ 值集中分布在

表 1 20 个县(市、区)指标数据及 θ 值
Table 1 Data and θ of 20 counties

县(市、区)	占用土地面积/km ²	工业废水量/t	工业固体废物/t	重金属/g	二氧化硫/kg	氮氧化物/kg	开采矿石量/ $\times 10^4$ t	矿业经济	矿业就业	θ 值
浏阳市	17.20	93338.06	41768.82	1880716.13	4.65	136.09	16427.00	0.12	2.20	0.243
攸县	9.34	15050.00	1341.60	0.00	1.29	37.75	2656.60	2.44	10.48	0.574
衡南县	0.01	8175.82	2637.36	1107.69	0.00	0.00	2664.00	0.53	1.78	0.513
祁东县	2.83	2564.34	787.70	710279.27	0.00	0.00	1082.00	0.52	4.32	0.476
常宁市	10.62	281892.61	382647.81	25944226.29	0.00	0.00	29616.00	3.05	4.41	0.027
新邵县	1.62	180012.27	292098.04	8090.69	0.00	0.00	7904.00	2.20	6.00	0.408
平江县	15.06	364087.50	613747.50	9119.53	0.00	0.00	1387.00	2.63	3.65	0.056
桃江县	20.00	4066.77	2541.04	1463.24	0.00	0.00	3559.80	0.68	2.51	0.119
安化县	0.60	7395.86	3850.26	2088.92	0.00	0.00	4118.26	4.87	8.04	0.859
北湖区	0.90	9872.70	4070.46	20302.05	0.00	0.00	4289.90	2.74	2.68	0.618
苏仙区	1.08	49636.49	9353.77	6437565.22	2.39	70.02	9853.49	8.74	7.63	1.000
桂阳县	11.29	164077.76	51815.93	61008319.00	0.00	0.00	70200.89	3.01	11.81	0.111
宜章县	26.20	3898.83	1427.83	719911.33	0.00	0.00	1904.70	2.89	20.10	0.333
临武县	1.54	10998.67	3736.87	198884.88	0.05	1.54	4902.15	0.49	16.46	0.616
江华县	0.20	2569.60	1100.50	1067380.31	0.00	0.00	1505.70	0.00	0.68	0.464
双峰县	14.57	1462.13	2464.73	36.62	0.00	0.00	5588.57	4.39	4.44	0.435
新化县	41.75	5853.75	9867.75	146.62	0.00	0.00	1308.10	7.82	11.29	0.597
冷水江市	9.52	37747.22	23585.61	13581.57	0.00	0.00	28106.70	7.84	25.68	0.280
涟源市	0.38	8750.00	780.00	0.00	0.75	21.95	841.00	1.03	6.94	0.592
花垣县	7.05	49886.07	13112.01	4679893.50	2574000.00	2699460.00	18101.00	2.57	15.40	0.101

注:表中指标数据为 0 的,表示按《第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》^③计算得出的结果为 0,如攸县的矿山主要开采煤、铁矿;按该手册^③,煤矿、铁矿采选涉及的污染物中不包括重金属,故攸县的矿产资源开采排放重金属量为 0

0.243~0.333 之间;⑤矿产资源承载能力低,为桃江县、桂阳县、花垣县、平江县、常宁市,其 θ 值集中分布在 0.119 以下。

3.2 短板要素分析

将 20 个县(市、区)破坏土地面积、开采矿石量、废水量、固体废物、重金属、二氧化硫、氮氧化物、矿业就业、矿业经济指标分别进行 0~1 标准化后绘制雷达图(图 1)。

图 1 显示,安化县、北湖区、苏仙区、双峰县、新化县投入了较少的资源和环境成本,产出了较高的经济效益,但对就业的拉动稍显不足。祁东县、临武县、涟源市、宜章县投入了较少的资源和环境成本,满足了较多人的就业需求,但矿业经济稍显疲软。攸县、衡南县、冷水江市产出的社会效益高于投入的资源和环境成本。常宁市、新邵县、平江县、桂阳县、花垣县、江华县主要是矿产开采对环境造成了较大的影响。浏阳市、桃江县主要是矿产

开采破坏了较多的土地。

综合而言,影响矿产资源承载能力的短板要素有:①“三废”污染较强,治理率较低。据《常宁市矿山地质环境调查与评价》报告,常宁市矿业废水年综合利用率为 38%,废渣年综合利用率为 28%。②矿产资源开采占用、破坏土地资源情况严重。据《桃江县矿产资源总体规划(2016—2020 年)》,桃江县露天采场占用、破坏土地占总破坏土地的 37.5%。③矿业经济疲软,矿业结构亟需优化。2015 年以来,世界经济持续处于深度转型调整期,全球主要矿产品需求疲软,主要矿产品的产能过剩,价格不断回落。如浏阳市采矿业历史悠久,开采的矿种较多,由于矿产勘查投入减少,存在大矿小开、小矿乱开的现象。

3.3 矿产资源承载能力提升建议

针对影响矿产资源承载能力的短板要素,提出以下矿产资源承载能力提升建议。

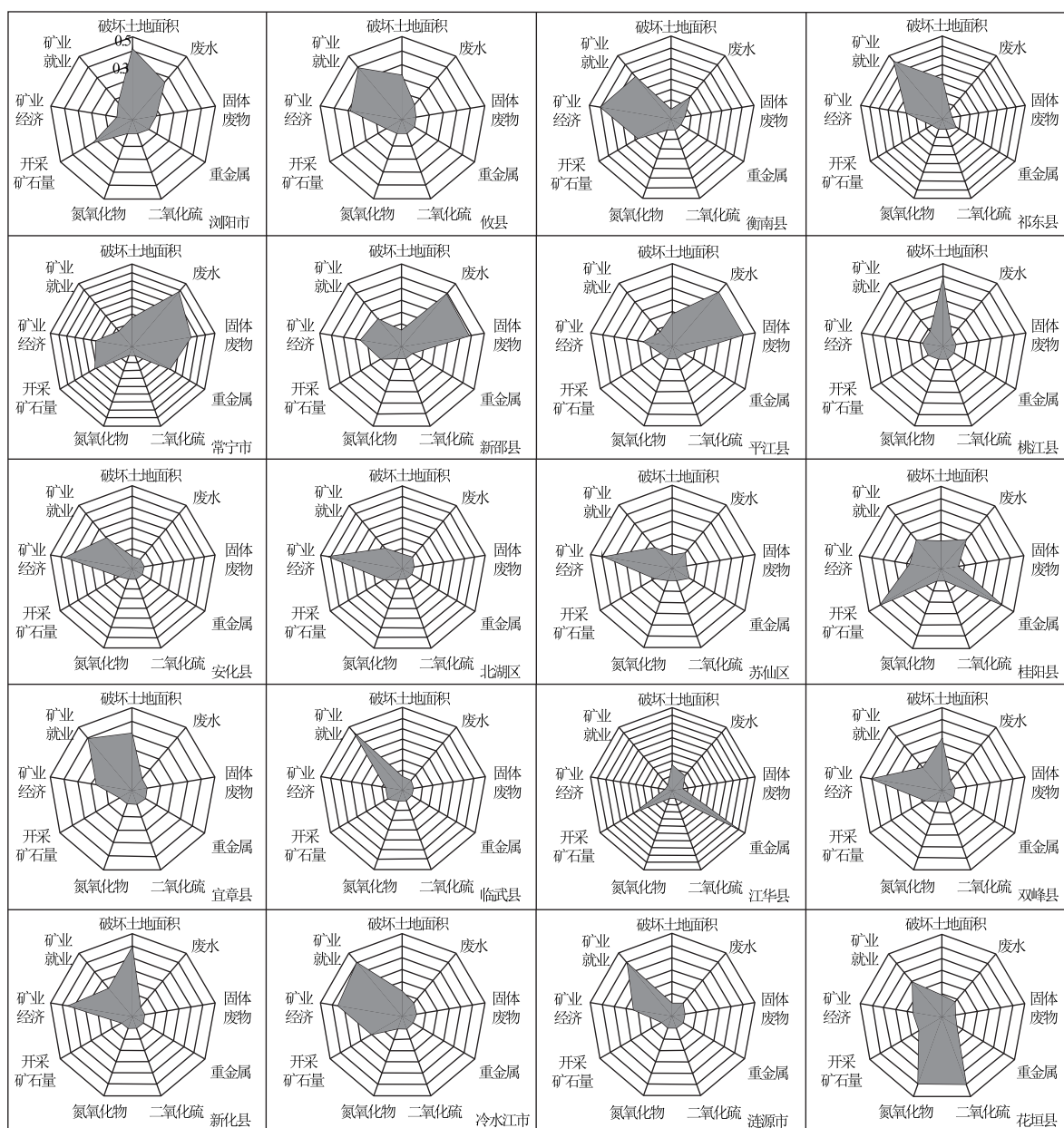


图 1 20 个县(市、区)短板要素识别

Fig. 1 Identification of negative influencing factors of 20 counties

(1) 提升矿业经济发展水平。矿业经济回归理性,煤炭、金、铜、铅、锌、水泥用灰岩、高岭土等大宗固体矿产需求将保持较高水平但增速趋缓,矿泉水、地热水等非金属矿产是矿业经济发展的新动力。提升优势资源地位,积极发展新型矿产,是各县市区矿业经济发展的重要方向。

(2) 发展绿色矿业。加大矿产资源综合勘查评价力度,提高资源集约利用效率,推进矿产资源节约与综合利用,大力发展矿业循环经济,构建绿色

矿业发展长效机制。

(3) 借鉴国外矿山环境管理制度和技术。可参照澳大利亚的矿山环境保护和恢复治理制度和技术^[25],将矿山环境治理贯穿整个矿产资源开发过程。

4 结 论

矿产资源承载能力为一定时期内,在尽可能减少资源和生态环境损耗前提下,区域矿产资源维持

经济社会发展的能力。对县级尺度而言,矿产安全的意义体现的不明显。在生态文明建设的背景下,矿产资源承载能力评价应该重点关注矿产资源开发活动对经济社会-资源环境的影响。矿产资源开发对经济社会的影响主要是拉动县域的经济发展,促进就业,对资源环境的影响主要表现为消耗矿产资源、占用破坏土地资源、污染环境。矿产资源承载能力可以用矿产资源开发过程的效益来表征。

DEA模型可以描述矿产资源开发过程中资源和环境成本投入、经济社会效益产出的效率,从而评价出矿产资源承载能力。湖南省20个县(市、区)的实例研究显示,DEA模型可以量化地评价不同县(市、区)的矿产资源承载能力情况,较客观地反映了各县(市、区)的矿产资源承载能力短板要素,能够很好地满足矿产资源承载能力评价的要求。同时,关于DEA模型的数学研究已较成熟,相关技术人员可以快速掌握,推广性较好。

受到数据可获得性影响,实例研究中按《第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》计算得到的三废排出量与实际存在差距,未考虑矿产资源开发过程中的水资源消耗、能源(电力等)消耗及对生态系统功能(生物多样性等)的影响,尚需在后续研究中改进。

致谢:论文撰写过程中得到中国地质环境监测院殷志强博士的指导和帮助,审稿专家对论文提出了建设性意见,在此一并致谢。

参考文献

- [1] 黄寰,尹斯斯,雷佑新.我国矿产资源可持续发展水平分析与预测——基于层次分析法的探索[J].西南民族大学学报(人文社科版),2015,36(7): 146-150.
- [2] 刘自力.改变:余杭矿政管理的绿色实践[J].浙江国土资源,2018,181(5): 28-30.
- [3] 殷志强,李瑞敏,李小磊,等.地质资源环境承载能力研究进展与发展方向[J].中国地质,2018,45(6): 1103-1115.
- [4] 樊杰,王亚飞,汤青,等.全国资源环境承载能力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程[J].地理科学,2015,35(1): 1-10.
- [5] 封志明,杨艳昭,闫慧敏,等.百年来的资源环境承载力研究:从理论到实践[J].资源科学,39(3): 379-395.
- [6] 张茂省,王尧.基于风险的地质环境承载力评价[J].地质通报,2011,37(2/3): 307-315.
- [7] 高洁,刘玉洁,封志明,等.西藏自治区水土资源承载力监测预警研究[J].资源科学,2018,40(6): 1209-1221.
- [8] 封志明,李鹏.承载力概念的源起与发展:基于资源环境视角的讨论[J].自然资源学报,2018,33(9): 3-17.
- [9] 席晶,袁国华.中国资源环境承载力水平的空间差异性分析[J].资源与产业,2017, (1): 78-84.
- [10] 方创琳,贾克敬,李广东,等.市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析[J].生态学报,2017,37(15): 5198-5209.
- [11] 贾克敬,张辉,徐小黎,等.面向空间开发利用的土地资源承载力评价技术[J].地理科学进展,2017,36(3): 335-341.
- [12] 李瑞敏,鞠建华,王铁,等.地质环境问题的地质指标体系框架及其构建方法[J].地质通报,2011,30(11): 1738-1743.
- [13] 李亚民,杨楠,李瑞敏,等.基于复合系统协调度的地质环境承载力定量评价方法研究[J].水文地质工程地质,2018,45(2): 96-101.
- [14] 徐强.区域矿产资源承载能力分析几个问题的探讨[J].自然资源学报,1996,11(2): 135-141.
- [15] 王玉平.矿产资源人口承载力研究[J].中国人口·资源与环境,1998, (3): 22-25.
- [16] 王奎峰,韩祥银,王岳林,等.山东半岛矿产资源承载力及保障程度研究[J].地质调查与研究,2016,39(1): 47-55.
- [17] 薛黎明,崔超群,李长明,等.基于正态云模型的区域矿产资源可持续力评价[J].中国人口·资源与环境,2017,27(6): 67-74.
- [18] 周宏春,江晓军.习近平生态文明思想的主要来源、组成部分与实践指引[J].中国人口·资源与环境,2019,29(1): 1-10.
- [19] 梅艳,刘友兆,梁流涛.基于相对承载力的区域可持续发展研究——以江苏省为例[J].长江流域资源与环境,2008, (3): 341-345.
- [20] 魏景明.黑龙江矿产资源承载力竞争力及可持续力分析[J].中国矿业,2006,15(11): 102-106.
- [21] 曹石榴.中国矿产资源利用的环境问题分析[J].中国矿业,2018, 27(S2): 50-52.
- [22] 孙威,董冠鹏.基于DEA模型的中国资源型城市效率及其变化[J].地理研究,2010,29(12): 2155-2165.
- [23] 袁群.数据包络分析法应用研究综述[J].经济研究导刊,2009, (19): 201-203.
- [24] 郑立群.中国各省区碳减排责任分摊——基于零和收益DEA模型的研究[J].资源科学,2012,34(11): 2087-2096.
- [25] 郑娟尔,余振国,冯春涛.澳大利亚矿产资源开发的环境代价及矿山环境管理制度研究[J].中国矿业,2010,19(11): 66-69,84.
- ① 湖南省人民政府.湖南省矿产资源总体规划(2016—2020年).2017.
- ② 李瑞敏,孟晖,李小磊,等.国土资源环境承载力评价技术要求(试行)(地质部分).国土资源部,2016.
- ③ 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室.第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册.2008.