

doi: 10.12029/gc20191130001

陈振宇, 赵元艺, 李小赛, 刘冠男, 张佳文, 李瑞敏. 2023. 云南省威信县煤矿资源承载能力评价[J]. 中国地质, 50(2): 442–458.
Chen Zhenyu, Zhao Yuanyi, Li Xiaosai, Liu Guannan, Zhang Jiawen, Li Ruimin. 2023. Evaluation of coal mine resources carrying capacity in Weixin County, Yunnan Province [J]. *Geology in China*, 50(2): 442–458(in Chinese with English abstract).

云南省威信县煤矿资源承载能力评价

陈振宇^{1,2}, 赵元艺³, 李小赛³, 刘冠男³, 张佳文³, 李瑞敏⁴

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710119; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 4. 中国地质调查局地质环境
监测院, 北京 100081)

摘要:【研究目的】矿产资源是经济社会发展的重要支撑,其承载能力大小是决定区域经济结构及发展模式的根本依据,开展区域矿产资源承载能力评价对促进地区矿产资源可持续开发利用具有十分重要的意义。【研究方法】以云南省威信县煤矿资源为研究对象,借助承载本底(资源可利用量占比,PRO)和承载状态(矿业开发指数,MDI)两个评价因子来构建评价指标体系。在此基础上对威信县煤矿资源的承载能力进行评价,并以威信县为评价试点对矿产资源评价体系及各分指标权重分配的合理性进行了相关探讨。【研究结果】威信县 10 个乡镇中,没有煤矿资源承载能力“大”的乡镇,承载能力“较大”的乡镇仅有 2 个,承载能力“中”的乡镇有 2 个,承载能力“小”的乡镇则达到了 6 个。【结论】在矿产资源承载能力评价体系中,正向指标与负向指标也应并重考虑,各占 50%左右为宜。此外各分指标权重的分配也应与该地区当时在经济、社会、环境方面的政策紧密呼应。

关键词: 煤矿资源; 承载能力; 评价体系; 指标权重; 矿产勘查工程; 云南威信县

创 新 点: (1) 选取云南省威信县为试点,借助资源环境承载能力评价模型,对县域煤矿资源承载能力进行了综合评价; (2) 从评价指标选取及其权重分配两个方面对评价模型的合理性进行了探讨分析。

中图分类号: P964; F426.21 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2023)02–0442–17

Evaluation of coal mine resources carrying capacity in Weixin County, Yunnan Province

CHEN Zhenyu^{1,2}, ZHAO Yuanyi³, LI Xiaosai³, LIU Guannan³, ZHANG Jiawen³, LI Ruimin⁴

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710019, Shaanxi, China; 2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. China Institute of Geo-Environment Monitoring, China Geological Survey, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

收稿日期: 2019–11–30; 改回日期: 2020–05–31

基金项目: 中国地质调查局项目 (DD20160330) 和中国地质科学院基本科研业务费 (YK1710–0) 联合资助。

作者简介: 陈振宇, 男, 1993 年生, 硕士, 助理工程师, 主要从事矿产资源与环境研究; E-mail: 1263811812@qq.com。

通讯作者: 赵元艺, 男, 1966 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床学与地球化学研究; E-mail: yuanyizhao2@sina.com。

[Objective] Mineral resources are an important support for economic and social development, and their carrying capacity is the fundamental basis for determining the regional economic structure and development model. It is of great significance to carry out the evaluation of the carrying capacity of regional mineral resources to promote the sustainable development and utilization of regional mineral resources. **[Methods]** In this paper, the coal mine resources of Weixin County of Yunnan Province are taken as the research object, and the evaluation index system is constructed by two evaluation factors of carrying background (proportion of resources available, PRO) and carrying state (mining development index, MDI). On this basis, the carrying capacity of coal mine resources in Weixin County is evaluated, and the rationality of the evaluation system of mineral resources and the weight distribution of each sub index is discussed with Weixin County as the evaluation pilot. **[Results]** Among the ten townships in Weixin County, there are no townships with "large" coal mine resources carrying capacity, only two with "relative large" carrying capacity, two with "medium" carrying capacity, and six with "small" carrying capacity. **[Conclusions]** In the evaluation system of bearing capacity of mineral resources, both positive and negative indicators should be considered equally, accounting for about 50% respectively. In addition, the distribution of the weight of each sub indicator should also closely correspond with the economic, social and environmental policies of the region at that time.

Key words: coal mine resources; carrying capacity; evaluation system; index weight; mineral exploration engineering; Weixin County; Yunnan Province

Highlights: (1) Taking Weixin County of Yunnan Province as a pilot, the carrying capacity of coal mine resources in the County was comprehensively evaluated with the help of the evaluation model of the carrying capacity of resources and environment; (2) The rationality of the evaluation model is discussed and analyzed from the selection of evaluation indicators and their weight distribution.

About the first author: CHEN Zhenyu, male, born in 1993, master, assistant engineer, mainly engaged in mineral resources and environment research; E-mail: 1263811812@qq.com.

About the corresponding author: ZHAO Yuanyi, male, born in 1966, doctor, researcher, mainly engaged in ore deposit and geochemical research; E-mail: yuanyizhao2@sina.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20160330) and Basic Scientific Research Business Fee of Chinese Academy of Geological Sciences (No.YK1710-0).

1 引言

矿产资源为国家社会经济发展提供了强有力的支撑,中国作为世界上最大的发展中国家之一,其工业化进程目前正处于重大的转型时期,不断增长的矿产资源消费总量给未来国家矿产资源的开发与供应保障带来了巨大压力(张雷,2002;都沁军和牛建广,2010)。而矿产资源承载力是权衡一个国家或地区所储备的矿产资源能否保持可持续供给,进而满足当地社会经济发展需求的一个重要量化指标,要求社会经济发展速度不能超过资源与环境的承受能力(徐强,1996;穆东和任一鑫,2001;许智迅和陈华超,2009;殷志强等,2018)。威信县是云南省重要的15个采煤县之一,煤矿业已成为全县工业体系中最主要的支柱产业,其工业资产、资本金总额、从业人员和工业总产值等均列全县各大工业之首,为威信县的经济的发展作出了巨大贡献。由于中国矿产资源人均量不足且矿产资源不可再生,

在当今可持续发展理念指引之下,使得矿产资源承载力评价研究受到了学界和政府部门的广泛关注(闫军印和赵国杰,2009;陈丹和王然,2015;李稳等,2021)。但目前人们对承载力的研究大多集中在水、土资源承载力等方面,对矿产资源的承载力研究较少,尤其是煤矿资源承载力。因此对威信县煤矿资源进行承载力评价对了解该区矿产资源禀赋和促进矿产资源的可持续开发利用具有十分重要的意义。本文以威信县煤矿资源为研究对象,通过实地调研和区域矿产资源相关数据资料的收集整理,采用承载本底和承载状态2个评价因子对威信县煤矿资源的承载能力进行了评价。在此基础上对评价体系及各分指标权重分配的合理性进行了相关探讨,以期为该区煤矿资源的可持续开发利用和相关政策制定提供一定的理论依据。

2 承载力研究现状

虽然有关承载力的研究在很早之前就已经开

始,但“承载力”(Carrying Capacity)这一概念的确切提出是在19世纪初期,当时主要是指某种生物个体在特定生态环境条件下能够存在的最大数量(Park, 1921)。随后经过近一个世纪的发展,学者们开始把承载力的概念延伸并应用到土地资源承载力当中,研究一定范围的土地可以养活多少人口(景跃军和陈英姿,2006)。到了20世纪中期,承载力概念被普遍用于探讨人类活动所造成的环境影响,研究领域扩展至整个生态和经济系统(程国栋,2002)。研究核心开始以人为主体的,重点关注人口的高速增长及自然资源的快速消耗造成整个生态系统正常物质循环的干扰和对社会经济发展的制约。

自20世纪90年代起,学者们开始将水、土地和矿产等与人类生存发展息息相关的自然资源纳入到承载力的研究范畴(高向军和马仁会,2002;杜国银等,2003),衡量承载能力大小的不再是单一的生态环境因子,更重要的是社会技术经济发展水平等社会经济因子(Wang et al., 2016)。围绕以人类和社会发展为核心形成了不同类型的承载力,主要有土地资源承载力(Shi et al., 2019)、矿产资源承载力(王奎峰等,2016;李敏和吕义清,2018)、水资源承载力(张宁宁等,2019; Wang et al., 2019; 宋博等, 2021; 孙超等, 2022)、环境承载力(张茂省和王尧, 2018; 张茂省等, 2019; 秦先燕等, 2020)、生态承载力(齐亚彬, 2005)等。近年来,承载力的研究已经从同一系统内的单要素评价上升到多要素综合评价,并向不同系统间联合评价发展。

目前人们对矿产资源承载力的研究较少,且概念尚不统一。在整合前人承载力概念的基础上(徐强,1996;王玉平和卜善祥,1998),有学者最新认为矿产资源承载力是在将来可预见的一定时期内,在当时的科学技术、自然环境和社会经济条件下,矿产资源探明储量是以直接或间接的方式能够持续供养的最大人口数量和经济规模总量(严也舟和成金华,2014)。在矿产资源学中(彭渤,2014),将矿产资源承载力定义为可利用保有探明储量与年消耗资源最大量和矿种开发年限乘积之比。即矿产资源承载力=可利用保有探明储量/(年矿产资源消耗最大量×合理开发年限)。

中国自首次提出矿产资源承载力以来,国内学者研究重点主要聚焦于矿产资源对人口和经济的

承载量方面,近年来已有学者开始关注受环境约束的矿产资源承载能力评价(许明军和杨子生,2016; Li et al., 2018)。目前矿产资源承载能力研究的主要思路是:在系统分析研究区域矿产资源禀赋、勘探开发和消费现状的基础上,选取研究指标,构建矿产资源评价体系,进一步选择或构建研究模型,再通过实证分析,提出政策和建议(宋岭和张磊, 2009; 薛黎明等, 2017)。

3 研究方法 with 数据来源

3.1 研究区概况

3.1.1 煤矿资源分布特征及开发利用情况

威信县(104°41'59"~105°18'32"E, 27°43'06"~28°06'10"N)地处云南省东北隅,国土总面积达1400 km²,下辖3乡7镇(高田乡、三桃乡、双河苗族彝族乡、罗布镇、麟凤镇、庙沟镇、扎西镇、水田镇、旧城镇和长安镇)。县域内煤矿资源丰富,2003年,西安卫星遥感测控中心通过卫星遥感测控计算全县煤矿资源探明储量达40余亿t,其中无烟煤探明储量1.52亿t,分布在除旧城镇外的其他9个乡镇(图1)。截止2015年底,全县开发利用的矿产主体是煤,共有煤矿山36个,均为小型矿,辖区内还蕴藏有煤层气、页岩气、硫铁矿、石灰石等其他资源。

3.1.2 存在问题

(1)地质矿产勘查工作有待加强。全县矿产资源勘查相对滞后,不少大中型煤矿,地质勘查程度仅详查及以下,难以适应规模开发的要求。威信县多数矿山的保有资源探明储量多年来一直呈负增长,资源保障程度较低,有的矿山已出现资源危机,面临资源枯竭。

(2)矿产资源开发利用水平总体较低。表现为:一是矿山规模偏小,大矿小开的现象普遍存在,尤以煤矿较突出;二是以生产原矿为主,进行选矿加工,矿石深加工能力较薄弱;三是资源的综合开发与综合利用尚有待加强;四是有的优质矿产尚未得到优用,如有的优质无烟煤也往往用作燃料。

(3)资源破坏和浪费的行为时有发生。因资源开发引起的矿山生态环境恶化十分严峻,矿山生态环境的恢复治理任重道远。

3.2 研究方法

目前,多数学者针对不同资源的自然属性及赋

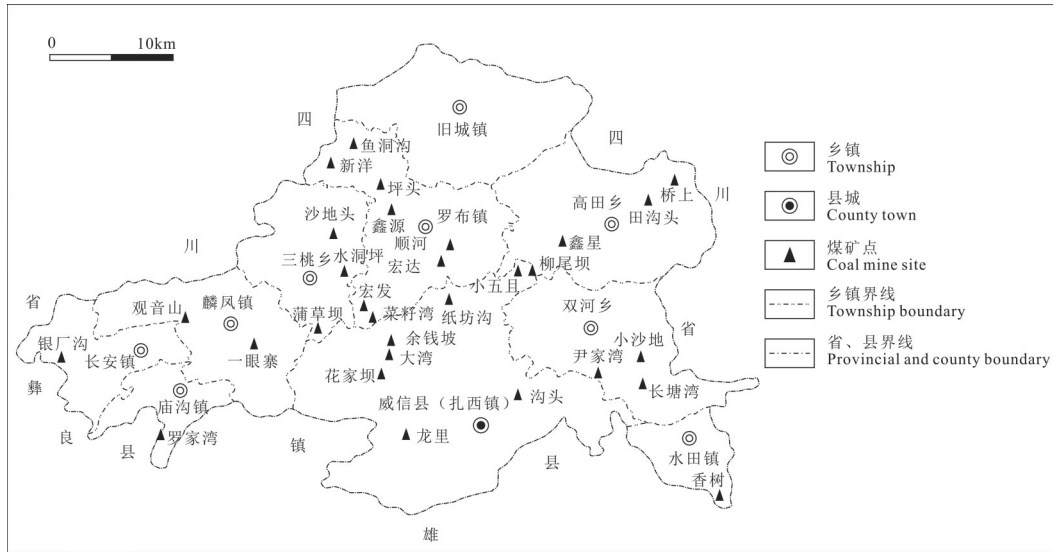


图1 云南省威信县煤矿资源分布图

Fig.1 Distribution map of coal mine resources in Weixin County, Yunnan Province

存特点提出了不同的承载力评价方法体系。如基于DPSIR-TOPSIS模型的土地承载力评价方法(何刚等, 2018)、基于地质环境、矿产和地下水等不同资源环境要素所建立的评价指标体系(李瑞敏等, 2020)和改进的PCA法在水资源承载力评价中的应用(望开发, 2019)等, 但有关矿产资源承载力评价方法的研究却很少。国内有学者最早开始对矿产资源的经济和人口承载力展开研究, 并借助现有和预测矿产资源、人口承载力评价指标来构建评价模型, 分别对矿产资源人口和经济承载力进行了定量评价计算(王玉平, 1998)。后来有学者借助“S”型预测模型对中国的金属矿产资源进行了评价预测(王安建和王高尚, 2002)。也有学者基于DEA模型构建的评价体系对湖南省多个资源型县市进行了矿产资源承载力评价(项广鑫等, 2020)。本文在前人所构建的资源环境承载力评价模型(郑权, 2019)的基础上对云南省威信县的煤矿资源承载能力进行了评价, 并对评价体系的合理性进行了相关探讨。

3.2.1 评价指标体系构建

根据威信县煤矿资源的特点, 遵循简单、可行、易操作的原则, 以承载本底和承载状态2个层次为评价基础来构建煤矿资源承载能力评价指标体系(表1)。威信县煤矿资源承载本底评价主要侧重于对威信县评价单元内煤矿资源自然禀赋的优劣进行探讨, 很大程度上取决于当前经济、技术、环境等

表1 威信县煤矿资源承载能力评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of coal mine resources carrying capacity in Weixin County

评价因子	评价指标	
煤	承载本底 资源可利用量占比	承载状态 矿业开发指数

条件下县域内可开采利用的资源探明储量在威信县的优劣程度, 用资源可利用量占比来表示。威信县煤矿资源承载状态评价重在研究威信县评价单元内可利用煤矿资源量在当前经济、技术、环保等条件下适宜开发的程度。此次煤矿资源的承载状态评价采用一个综合指标矿业开发指数MDI来表示。鉴于上述评价指标体系分为2个层次, 先分别进行煤矿资源承载本底评价、承载状态评价, 在此基础上, 开展本底状态联合评价, 即进行煤矿资源承载能力评价。

3.2.2 煤矿资源承载本底评价

选用煤矿资源可利用量占比作为威信县煤矿资源承载本底的评价指标。考虑煤矿资源本身的特点, 用剩余可采探明储量来表示可开采利用的资源量。具体公式为:

$$PRO = R_i / R_r \times 100\%$$

式中: PRO—威信县煤矿资源可利用量占比;
R_i—威信县某一乡镇煤矿总的剩余可采探明储量;
R_r—威信县煤矿资源总的剩余可采探明储量; 其中

剩余可采探明储量是指一个矿床自被开发利用开始,当达到一定开发阶段,矿床已探明的储量减去矿石开发量和损失量,矿床目前的实际资源探明储量。反映的是已探明储量在当前科技和经济发展水平及环保要求条件下还可开发利用的资源储备量。

本研究根据实际情况,以威信县为评价试点,为降低研究对象的复杂性和增强评价结果的指导意义,选取其直属的相邻次级行政单位(乡镇)为评价单元。以“全国矿产资源利用现状调查”^①、“全国矿产资源潜力评价”^②、威信县矿产资源总体规划(2016—2020)(云南省威信县国土资源局,2016)等最新资料为基础,更新威信县现有煤矿资源的剩余可采探明储量。根据可利用资源量评价结果,按照上述公式计算威信县煤矿资源可利用量占比,根据占比情况划分承载本底等级(表2)。

3.2.3 煤矿资源承载状态评价

煤矿资源承载状态评价主要通过矿业开发指数MDI这一综合性指标来衡量威信县可利用的煤矿资源适合开发的综合程度。这一综合性指标主要包括矿业经济占比指数、矿业就业指数、采矿破坏指数和废物排放强度四个分指数和一个开发限制指数。矿业开发指数主要反映威信县的煤矿资源在兼顾环保和经济发展的双重条件下,矿床适合开发的程度和规模,数值范围为0~100。归一化系数是对数据进行无量纲化处理的系数,取一系列数据中最大值倒数的100倍,即:归一化系数=100/ A_{max} (A_{max} 表示某指数归一化处理前的最大值)。各评价指标权重如表3所示。

矿业开发指数计算公式为:矿业开发指数MDI=0.2× E_m +0.3× J_m +0.25×(100- D_m)+0.25×(100-

I_{pe})+开发限制指数,其中各分指数计算方法如下:

(1) 矿业经济占比指数

$$\text{计算公式: } E_m = A_{ke} \cdot \frac{M_{iav}}{GDP}$$

式中: E_m —威信县煤矿经济占比指数; A_{ke} —威信县煤矿经济占比指数的归一化系数; M_{iav} —威信县某一乡镇煤矿开发工业增加值; GDP —威信县工业生产总产值。

(2) 矿业就业指数

$$\text{计算公式: } J_m = A_{kj} \cdot \frac{N_c}{N}$$

式中: J_m —威信县煤矿就业指数; A_{kj} —威信县煤矿就业指数的归一化系数; N_c —威信县煤矿从业人员总数; N —威信县人口总数。

(3) 采矿破坏指数

$$\text{计算公式: } D_m = A_{md} \cdot \frac{S_d}{S_T}$$

式中: D_m —威信县煤矿采矿破坏指数; A_{md} —威信县煤矿采矿破坏指数的归一化系数; S_d —威信县某一乡镇煤矿破坏面积; S_T —威信县总面积。

(4) 废物排放强度

$$\text{计算公式: } I_{pe} = \frac{M}{S_T} \times \sum A_i W_i C_i$$

式中: I_{pe} —威信县主要污染物排放强度; M —威信县煤矿资源年开采量(或产能); S_T —威信县煤矿开发区区域总面积(各乡镇矿权面积之和); A_i —威信县第*i*类污染排放物的归一化系数; W_i —第*i*类污染排放物在威信县总排放物中的权重; C_i —威信县第*i*类污染排放物的排污系数。

其中,当污染物不需要经过末端治理直接排放时,污染排放系数不存在,此时用产污系数代替。本文采用威信县各乡镇2013年度煤矿年产量或设计产能, S_T 采用威信县国土面积。在工业生产中主要会产生工业废气、工业废水和工业固体废弃物这3种污染物,3种污染物计算后的权重分别为0.39、0.35和0.26(杨林和高宏霞,2012)。实地调查结果显示,当地煤矿采矿主要污染物为工业废水和固体废物,工业废气经处理后基本无排放,故工业废

表2 煤矿资源承载本底分级标准

Table 2 Carrying background classification standard of coal mine resources

承载本底	高I	较高II	中III	较低IV	低V
资源可利用量占比 PRO	≥4%	[3%,4%)	[0.4%,3%)	[0.1%,0.4%)	<0.1%

注:该标准仅适用于相邻行政区划评价单元之间。

表3 各项评价指标权重

Table 3 Weights of each evaluation index

评价指标	矿业经济占比指数(E_m)	矿业就业指数(J_m)	采矿破坏指数(D_m)	废物排放强度(I_{pe})	开发限制指数
权重	0.2	0.3	0.25	0.25	约束性指标

表4 矿产开发限制指数约束内容
Table 4 Restriction contents of mineral development restriction index

状况分类	判断依据	约束内容
重、特、大矿山环境突发事件	评价区域内发生重大、特大、大型突发矿山环境事件,若发生1次以上的,以最严重等级为准	停业整顿或禁止开采
普通矿山环境事件	评价区域内发生普通矿山环境事件	承载状态降1级
重、特、大环境污染、生态破坏	评价区域内存在被相关部门曝光或通报的典型事件	停业整顿或禁止开采
普通环境污染、生态破坏	评价区域在被调查认定为超标区域内	承载状态降1级
绿色矿山达标数量	评价区域内绿色矿山比例未达到区域规划标准	承载状态降1级
矿业开发违法案件	存在相关部门挂牌督办的矿业开发违法案件	承载状态降1级
政策限制性开发区域	评价区域已被相关部门列入限制性开发区域	承载状态降1级

水和固体废弃物的污染权重可折算为0.57:0.43。排污系数参照《第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册(第一分册)》中“0610 烟煤和无烟煤的开采洗选业”之“井工开采炮采”“≤30万/年”的排污系数:工业废水为0.12,工业固体废物为0.08。

(5)开发限制指数

开发限制指数是威信县煤矿矿业开发指数的约束性指标,根据威信县内因煤矿开发出现的严重影响人居生活可持续发展的事项,如重特大事故等,对矿产开发进行限制或调节,见表4。通过资料收集与实地调研,参与评价的30个煤矿均不在威信县矿产资源禁止开采区或限制开采区范围内。因此,开发限制指数不影响威信县煤矿资源承载能力评价等级。

在完成上述评价的基础上,对煤矿资源承载状态进行综合评价,承载状态等级划分为盈余、均衡、超载3个等级,划分具体标准如表5所示。

3.2.4 煤矿资源承载能力评价

在完成煤矿资源承载本底与承载状态的基础上,开展煤矿资源本底状态联合评价,即进行煤矿承载能力评价,表6为煤矿资源承载能力等级划分标准。

3.3 数据来源

研究数据来源主要为《威信县煤炭工业局关于威信县煤矿2013年度相关信息报表》^⑥、威信县2013年国民经济和社会发展统计公报^⑦等。采用威信县的10个乡镇为基本评价单元,对威信县煤矿资源承载能力进行评价。通过对收集的原始数据资料进行整理,最终得到了威信县30个煤矿的评价信息,这些煤矿分布在威信县9个乡镇中,可以达到评价的代表性。

3.3.1 承载本底评价数据

威信县各乡镇煤矿资源承载本底评价数据详见表7。

3.3.2 承载状态评价数据

威信县煤矿资源承载状态各评价指标所需数据及来源详见表8、表9。

4 结果分析

4.1 承载本底评价结果

前面评价指标体系与方法中,已知煤矿资源承载本底评价指标选用煤矿资源可利用量占比来表示,用此方法,进行威信县煤矿资源承载本底评价。根据威信县煤矿剩余可采探明储量、各乡镇煤矿资源可利用量占比情况以及煤矿资源承载本底分级标准,得到威信县煤矿资源承载本底评价结果(表10),进而得到云南省威信县煤矿资源承载本底评价图(图2)。

表5 煤矿资源承载状态评价分级标准
Table 5 Grading criteria for assessment of coal mine resources carrying state

评价指标	评价因子	承载状态分级		
		盈余	均衡	超载
矿业开发指数	煤	MDI≥80	60≤MDI<80	MDI<60

表6 矿产资源承载能力等级
Table 6 Classification of carrying capacity of mineral resources

承载能力等级	承载本底等级				
	高	较高	中	较低	低
盈余	大	较大	中	较小	小
均衡	较大	中	较小	小	小
超载	中	较小	小	小	小

表7 威信县煤矿探明储量信息及各乡镇资源可利用量占比情况

Table 7 Proven reserves information of coal mines in Weixin County and the proportion of resources available in each township

乡镇	煤矿名称	剩余可采探明储量/万t	合计/万t	煤矿资源可利用占比PRO/%
高田乡	鑫星	20.76	35.66	1.03
	田沟头	5.90		
	桥上	9.00		
双河乡	尹家湾	31.90	89.93	2.59
	小沙地	34.60		
	长塘湾	23.43		
水田镇	香树	19.70	19.70	0.57
	坪头	50.80		
罗布镇	鱼洞沟	19.40	331.73	9.55
	鑫源	29.90		
	宏发	174.20		
	顺河	17.20		
	新洋	5.93		
	宏达	28.60		
	菜籽湾	5.70		
	大湾	17.10		
扎西镇	花家坝	6.60	157.47	4.53
	柳尾坝	24.20		
	小五且	23.00		
	纸坊沟	6.99		
	余钱坡	39.20		
	龙里	17.23		
	沟头	23.15		
三桃乡	沙地头	281.70	373.50	10.75
	水洞坪	67.70		
	蒲草坝	24.10		
麟凤镇	一眼寨	10.10	2443.70	70.32
	观音山	2 433.60		
长安镇	银厂沟	7.70	7.70	0.22
庙沟镇	罗家湾	15.90	15.90	0.46

注:威信县煤矿资源区的剩余可采探明储量 R_r 为3475.29万t。

总体来看,威信县煤矿资源承载本底较高,煤矿资源自然禀赋较好。10个乡镇中有9个乡镇分布有煤矿资源,但煤矿资源量分布相对不平衡。由表10和图2所示,承载本底“高”的乡镇占据了4个,按煤矿资源可利用量占比由高到低分别为麟凤镇、三桃乡、罗布镇、扎西镇,共占威信县煤矿剩余可采探明储量的95.15%,其中仅麟凤镇一个乡镇的煤矿资源剩余可采探明储量占比就达到了70.32%,远远高于其他乡镇,可见麟凤镇蕴含着丰富煤矿资源,目前尚具有很大的开发潜力。承载本底为“中”的乡

镇有4个,按煤矿资源可利用量占比由高到低分别为双河乡、高田乡、水田镇、庙沟镇,共占威信县煤矿剩余可采探明储量的4.65%。承载本底“较低”的乡镇为1个(长安镇),占威信县煤矿剩余可采探明储量的0.22%。鉴于旧城镇没有煤矿资源分布,其承载本底即为“低”。

4.2 承载状态评价结果

针对承载状态评价相关指数,对所需收集的评价资料进行解析,并将收集的资料进行整理。进而按照上述评价方法,分别得到威信县煤矿经济占比指数、煤矿就业指数、煤矿采矿破坏指数、主要污染物排放强度4个指标,以及威信县煤矿矿业开发指数(表11)。依据煤矿资源承载状态评价分级标准,对威信县各乡镇煤矿资源承载状态进行分级,得到云南省威信县煤矿资源承载状态评价图(图5)。

从单个指数角度分析(图3),威信县9个乡镇中麟凤镇的矿业经济占比指数最大,达到了100,远远高于其他乡镇,表明麟凤镇的煤矿产业是其经济发展的支柱产业,对威信县矿业经济贡献很大。但其采矿破坏指数和主要污染物排放强度也位于9个乡镇之首,二者均达到了100,且其矿业开发指数仅为24.36,为威信县9个乡镇最低(图4)。可见麟凤镇的煤矿产业在给当地的经济增长带来广阔发展空间的同时,其煤矿开采及加工等各种矿业活动给当地的生态环境也带来了巨大压力。其次为罗布镇和扎西镇,其矿业经济占比指数分别为20.21和20.42,这两个乡镇对威信县的矿业经济发展也有一定程度的贡献,其他5个乡镇的矿业经济占比指数均在10以下,对威信县的矿业经济贡献较小。

煤矿就业指数前五的乡镇分别为罗布镇、扎西镇、双河乡、高田乡和三桃乡,其就业指数分别为100、72.32、41.20、28.58和23.05。表明这5个乡镇对威信县煤矿就业形势起到积极的推动作用,解决了县城内大多劳动力的就业问题,其中以罗布镇的就业贡献率最大。9个乡镇中麟凤镇的采矿破坏指数最高,达到了100;其次为罗布镇和扎西镇,其采矿破坏指数也分别达到了22.45和19.09。表明这3个乡镇的采矿破坏程度较高,对威信县生态环境等造成了一定程度的不利影响。其他乡镇的采矿破坏指数均在10以下,其矿业活动对环境造成的影响相对较小。此外,麟凤镇的煤矿主要污染物排放强度也达

表8 威信县煤矿资源承载状态评价资料解析表

Table 8 Analytical table of coal mine resources carrying state evaluation data in Weixin County					
评价项目	指数名称	指数所需指标名称	数值	资料来源	
威信县煤矿资源 承载状态	矿业经济占比指数	各乡镇煤矿产值	详见表9		
		威信县GDP	360709万元		
	矿业就业指数	各乡镇煤矿从业人员	详见表9		
		威信县总人口数	422838人	威信县煤炭工业局关 于威信县煤矿2013年 度相关信息报表 ^⑥	
	采矿破坏指数	各乡镇煤矿矿权面积	详见表9		
		威信县国土面积	1393.08 km ²		
	废物排放强度指数	各煤矿年开采量(产能)	详见表9		
		威信县煤矿开发区 区域总面积	74.94 km ²		

到了100,均高于其他乡镇,其次为扎西镇、罗布镇、双河乡和三桃乡,其污染物排放强度指数分别为23.87、30.50、13.04和11.85,表明这5个乡镇排放的主要污染物较多,对威信县的环境治理任务带来了较大压力。其他乡镇的污染物排放强度指数均在10以下,其对当地生态环境造成的压力较小。

总体来看,威信县煤矿资源承载状态堪忧(图5)。10个乡镇中有9个乡镇分布有煤矿资源,但其承载状态仅有“均衡”、“超载”2个级别,没有“盈余”级别。其中,威信县承载状态“均衡”的乡镇仅有2个,按矿业开发指数由高到低分别是罗布镇和扎西镇,其煤矿矿业开发指数分别为72.46和63.38。多数乡镇煤矿资源承载状态为“超载”,按矿业开发指数,由高到低分别是双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇和麟凤镇,其煤矿矿业开发指数分别为59.06、56.92、54.02、53.86、51.89、51.79和24.36(图4)。

4.3 承载能力评价结果

在承载本底与承载状态评价结果的基础上,根据矿产资源承载能力等级划分标准,分别得到了威信县10个乡镇的煤矿资源承载能力等级(表12),进而得到威信县煤矿资源承载能力评价图(图6)。虽然威信县多数乡镇的煤矿资源自然禀赋良好,其承载本底多数为“高”和“中”级别,但承载能力评价结果显示威信县煤矿资源承载能力总体不太乐观。10个乡镇中,没有煤矿资源承载能力“大”的乡镇,承载能力“较大”的乡镇仅有2个,分别为罗布镇和扎西镇。承载能力“中”的乡镇有2个分别为三桃乡和麟凤镇。威信县大多数乡镇的煤矿资源承载能力为“小”级别,数量达到了6个,分别为双河乡、水

田镇、庙沟镇、高田乡、长安镇和旧城镇。

5 讨论

5.1 评价体系的合理性

本文以威信县为研究试点,进行县域煤矿资源承载能力评价,评价体系的构建基于承载本底和承载状态2个层次。其中,威信县煤矿资源承载本底评价主要衡量威信县评价单元内煤矿资源自然禀赋的优劣,用资源可利用量占比来表示是合理的,该指数反映的是在当前经济、技术、环保等条件下,威信县可开采利用的煤炭探明储量在县域内的优劣程度。

而威信县煤矿资源承载状态评价重在研究威信县评价单元内可利用煤矿资源量在当前经济、技术、环保等条件下适宜开发的程度。此次煤矿资源的承载状态评价采用一个综合指标矿业开发指数MDI来表示。很明显,组成该综合指数的各分指数的选取,以及各分指数权重的分配至关重要。因此,本文对评价体系的研究主要是对矿产资源承载状态评价的研究,亦即对组成矿业开发指数的各分指数选取及各分指数权重分配的研究。

5.1.1 评价指数的选择

经济、社会和生态环境共同组成了一个相互制约又相互影响的系统,三者的和谐匹配程度,很大程度上决定了一个地区煤矿资源可开发利用的综合程度。矿业经济占比指数、矿业就业指数、采矿破坏指数和废物排放强度4个分指数分别反映威信县煤矿开发过程中,煤矿业经济增加值对威信县GDP的贡献程度、对县域人口就业的影响程度、开采煤矿对县域环境的破坏程度以及县域环境所能

表9 威信县煤矿资源承载状态评价指标数据
Table 9 Data table of evaluation index for coal mine resources carrying state in Weixin County

乡镇	矿业经济占比指数(E_m)			采矿破坏指数(D_m)			矿业就业指数(J_m)			废物排放强度指数(I_p)					
	年产值/万元	合计/万元	E_m (无量纲化前)/ 10^{-2}	矿权面积/ km^2	合计	D_m (无量纲化前)/ 10^{-2}	从业人员/人	合计	J_m (无量纲化前)/ 10^{-2}	年产量/万吨	合计	工业废水(无量纲化前)/ 10^{-2}	工业固体废物(无量纲化前)/ 10^{-2}	合计/ 10^{-2}	
田沟头	724.3		0.34	0.34		0.11	123		0.07	1.84		0.295	0.196		
高田乡	61.4	1 770.8	0.49	0.83	1.51	0.11	62	315	0.07	0.26	4.40	0.041	0.027	0.604	
鑫星	985.1		0.34				130			2.30		0.369	0.246		
尹家湾	672.1		1.26				89			2.62		0.420	0.280		
双河镇	1193.7	2 340.9	0.65	0.66	3.04	0.22	150	454	0.11	3.02	6.99	0.483	0.322	0.959	
长塘湾	475.1		1.12				215			1.36		0.217	0.145		
水田镇	355.3	355.3	0.10	0.80	0.80	0.06	180	180	0.04	1.49	1.49	0.239	0.159	0.205	
坪头	325.4		1.38				170			1.10		0.176	0.117		
鱼洞沟	639.5		0.45				184			1.55		0.249	0.166		
鑫源	1864.7		3.01				165			2.93		0.470	0.313		
宏发	2 422.0	5 911.7	1.64	3.18	10.41	0.75	241	1 102	0.26	4.89	12.80	0.782	0.522	1.756	
顺河	136.1		0.76				92			0.56		0.089	0.060		
新洋	157.8		0.21				78			0.56		0.089	0.059		
宏达	18.0		1.15				96			0.06		0.009	0.006		
菜籽湾	348.3		0.28				76			1.16		0.186	0.124		
大湾	1411.1		0.46				162			3.66		0.585	0.390		
花家坝	432.4		0.49				146			1.72		0.275	0.183		
柳尾坝	954.0		1.00				95			2.44		0.390	0.260		
小五且	1024.6	5 972.7	1.66	0.87	8.85	0.64	152	882	0.19	3.01	16.36	0.482	0.321	2.244	
纸坊沟	229.2		0.34				80			0.56		0.089	0.060		
余钱坡	713.0		0.90				85			1.08		0.172	0.115		
龙里	230.1		0.50				82			0.82		0.131	0.087		
沟头	978.2		4.30				80			3.09		0.494	0.329		
沙地头	353.6		0.46				79			0.91		0.145	0.097		
水洞坪	575.8	2 229.4	0.62	1.28	3.00	0.22	110	364	0.06	2.39	6.36	0.383	0.255	0.872	
蒲草坝	1300.0		1.26				175			3.06		0.490	0.327		
麟凤镇	680.0	29 245.2	8.11	0.38	46.37	3.33	160	253	0.04	2.10	53.63	0.336	0.224	7.357	
观音山	28 565.2		46.00				93			51.53		8.252	5.501		
长安镇	150.0	150.0	0.04	0.23	0.23	0.02	82	82	0.02	0.90	0.90	0.144	0.096	0.124	
庙沟镇	33.0	33.0	0.01	0.71	0.71	0.05	85	85	0.02	0.13	0.13	0.021	0.014	0.018	
A_{4e} 矿业经济占比指数的归一化系数				A_{4e} 矿业就业指数的归一化系数			A_{4m} 采矿破坏指数的归一化系数			A_{4p} 污染排放物的归一化系数					
	1233.4			38370.05			3003.95			1359.22					

表 10 威信县煤矿资源承载本底评价结果
Table 10 Evaluation results of coal mine resources carrying background in Weixin County

乡镇	煤矿资源 可利用占比 PRO/%	承载本底 等级	该等级乡镇 数量占比/%	该等级煤矿 资源占比/%
麟凤镇	70.32	高	40.0	95.15
三桃乡	10.75			
罗布镇	9.55			
扎西镇	4.53			
双河乡	2.59	中	40.0	4.65
高田乡	1.03			
水田镇	0.57			
庙沟镇	0.46			
长安镇	0.22			
旧城镇	0.00	较低	10.0	0.22
		低	10.0	0.00

承受的废物排放压力。威信县煤矿资源承载状态评价充分考虑了正向因素和负向因素,因此,用以上指数表示是客观且合理的。

5.1.2 各评价指数系数的权重分配

评价结果能否真实反映现实情况,关键在于正向指标(矿业经济占比指数、矿业就业指数)和负向指标(采矿破坏指数、废物排放强度)的权重分配。依据4个分指数不同权重分配的原则(实施方案设计值、只受某一分指数影响、权重平均分配、只受正向指标影响、只受负向指标影响、正向指标权重高、负向指标权重高),统计了10种不同权重分配情况下,威信县煤矿资源承载状态评价结果(表13)。并依据统计结果,得出评价结果直方图(图7)。

结果表明,各分指数权重分配不同,得出的评价结果也不同。不同权重分配,表示矿业开发指数侧重点不同,或侧重正向指标,或侧重负向指标,体现在对经济、社会、环境的侧重点不同,这与当时当地的政策法规息息相关。譬如,在对某一地区进行评价时,如果当时政策强调经济发展,则矿业经济占比指数所占权重应该较大。如果强调社会稳定等,则矿业就业指数所占权重应该较大。如果强调保护生态环境,则采矿破坏指数与废物排放强度所占权重就该较小。总之,对某一地区进行矿产资源承载能力评价时,应与该地区当时在经济、社会、环境方面的政策相呼应。

目前,国家大环境是以保证生态环境为前提,因此应充分考虑负向指标带来的影响,不能仅仅考虑正向指标带来的效益。破坏生态环境一定不可

表 11 威信县煤矿矿业开发指数表
Table 11 Coal mine development index table in Weixin County

乡镇	矿业经济占比 指数 E_m	矿业就业 指数 J_m	采矿破坏 指数 D_m	主要污染物 排放强度 I_p	矿业开发 指数 MDI	承载 状态
罗布镇	20.21	100.00	22.45	23.87	72.46	均衡
扎西镇	20.42	72.32	19.09	30.50	63.38	
双河乡	8.00	41.20	6.56	13.04	59.06	
高田乡	6.06	28.58	3.26	8.20	56.92	
水田镇	1.22	16.33	1.72	2.78	54.02	超载
三桃乡	7.62	23.05	6.48	11.85	53.86	
庙沟镇	0.11	7.71	1.53	0.24	51.89	
长安镇	0.51	7.44	0.50	1.68	51.79	
麟凤镇	100.00	14.52	100.00	100.00	24.36	

行,但保护了生态环境,但同时制约了经济与社会的发展也不可行。现阶段只有在保护生态环境的前提下,同时保持经济与社会的发展才是可行的。威信县响应国家“既要金山银山,又要绿水青山”的号召,经济、社会、生态环境等发展并重,因此本文对威信县煤矿资源承载能力评价,正向指标与负向指标也应并重考虑,各占50%左右为宜。即正向指标、(100-负向指标)各占50%,正向指标、(100-负向指标)中各分指数对应权重均在平均分配数值左右为宜。具体为:矿业开发指数=0.25×矿业经济占比指数+0.25×矿业就业指数+0.25×(100-采矿破坏指数)+0.25×(100-废物排放强度)+开发限制指数。当然,各指标进行权重分配时应结合当地政策对相应指标需求的侧重点。

5.2 对策与建议

5.2.1 产业发展

威信县煤矿资源承载本底较高,煤矿资源自然禀赋较好。10个乡镇中,承载本底等级为“高”的乡镇占比40%,分别为麟凤镇、三桃乡、罗布镇、扎西镇。承载本底等级为“中”的乡镇占比40%,分别为双河乡、高田乡、水田镇、庙沟镇。但承载能力评价结果显示,威信县10个乡镇中没有煤矿资源承载能力“大”的乡镇,承载能力“较大”的乡镇仅有2个,分别为罗布镇和扎西镇,承载能力“中”的乡镇有2个,分别为三桃乡和麟凤镇,这4个乡镇可着重发展煤矿业及其相关产业。其余6个乡镇的承载能力均为“小”级别,不适合煤矿产业的发展,可重点发展农业、旅游业等其他产业。

5.2.2 产业调整

威信县煤矿分布零散,多数为小型煤矿,开发

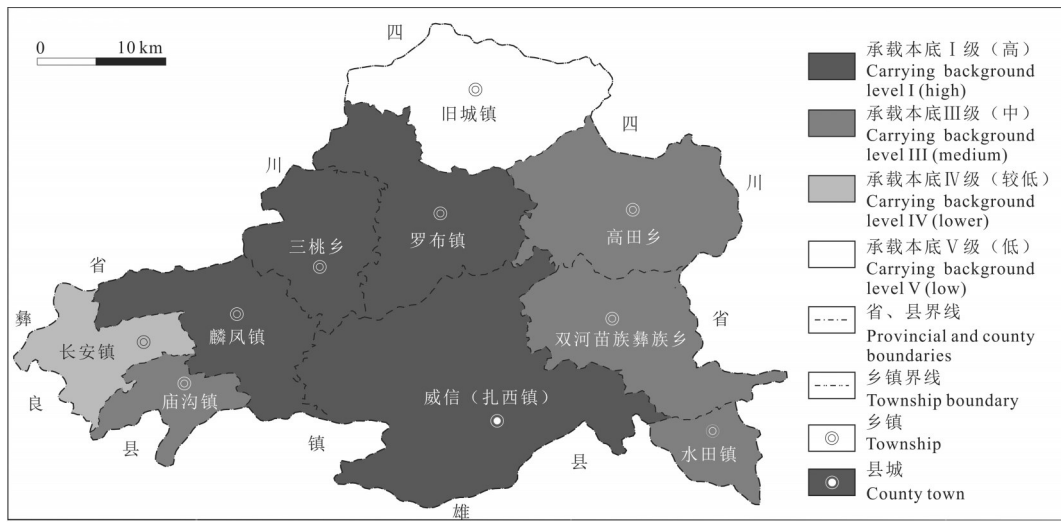


图2 威信县煤矿资源承载本底评价图

Fig.2 Evaluation chart of coal mine resources carrying background in Weixin County

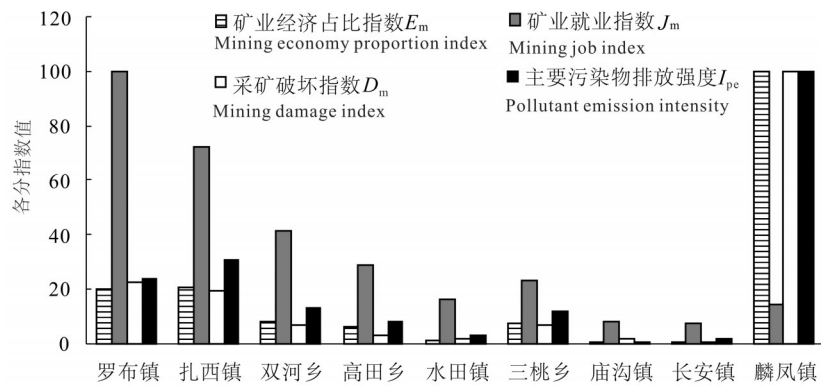


图3 威信县煤矿矿业开发指数各分指标分布图

Fig.3 Distribution of sub indexes of mining development index in Weixin County

技术相对落后,资源浪费较为严重,且该县域内煤矿资源承载能力评价结果整体堪忧。建议对小型煤矿、技术相对落后的煤矿进行资源整合,适当进行区域性的回采工作,最大程度地提高煤矿回采率,从而加大煤矿资源的利用效率。通过引进先进的开采-选冶技术、高层次技术型和管理型人才,提高煤矿石产量、提升公司管理水平、降低生产运营成本,从而实现企业能盈利、人员可就业、环境破坏和污染排放减少的目标。此外,需加大政府的监管力度,建立煤矿企业循环经济产业链条。以煤炭为核心产业,同时加大以煤为基础的高端产业发展力度,进行产业经济结构调整,形成以煤炭-化工、煤炭-电力-建材等为核心的经济产业链。同时

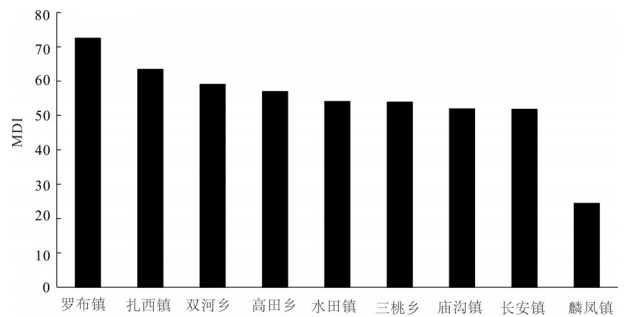


图4 威信县煤矿矿业开发指数分布图

Fig.4 Distribution of mining development index in Weixin County

加大对尾矿石的回收利用率,加强对废水、废渣的提纯处理,实现对固体废弃物和废水的循环利用。

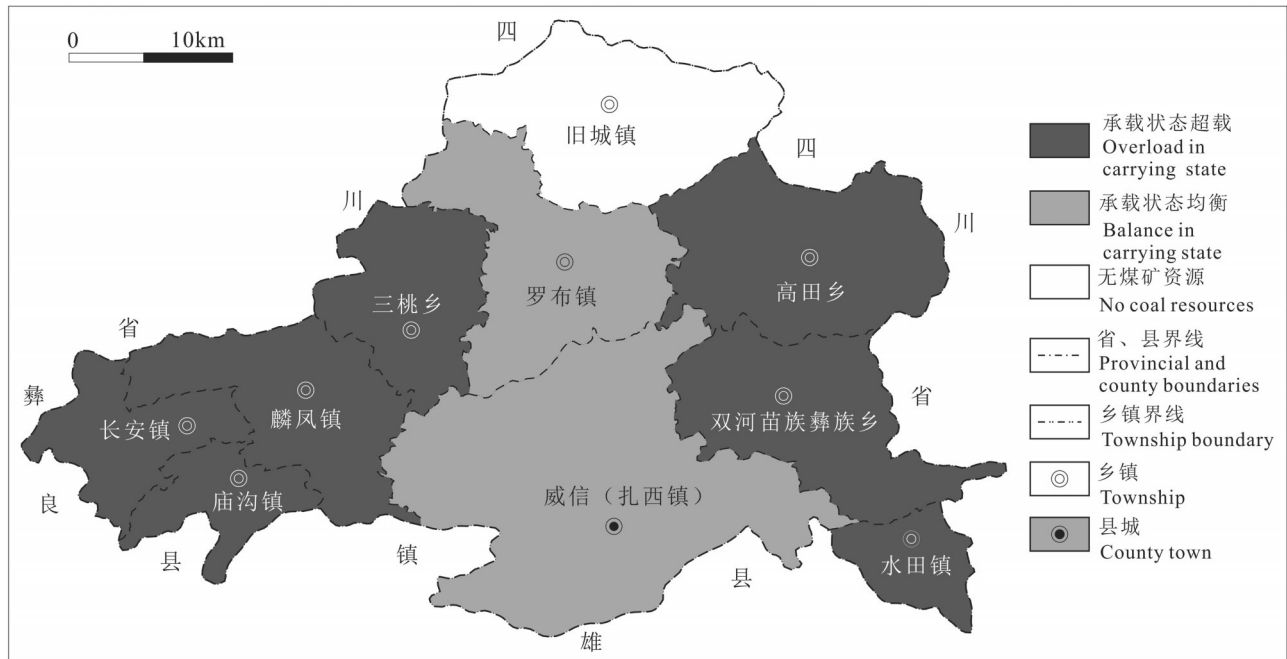


图5 威信县煤矿资源承载状态评价图
Fig.5 Evaluation chart of coal mine resources carrying state in Weixin County

这样既减小了煤矿开采受市场价格波动的影响,又降低了煤矿企业的资金风险,同时也能提供更多的就业岗位,增加就业人员,还能减少固废的排放和促进废水循环利用。因此,构建循环经济产业链条能够增大煤矿资源承载能力评价的正向指标,同时减小负向指标,从而达到改善威信县煤矿资源承载能力的目的。

6 结论

(1)威信县含有煤矿资源的9个乡镇中罗布镇对威信县煤矿就业形势起到了积极的推动作用,解

决了县域内大多数劳动力的就业问题。麟凤镇的煤矿产业在给当地经济增长带来广阔发展空间的同时,其各种矿业活动对当地的生态环境也造成了很大的破坏,煤矿开采及加工等排放的废弃物给威信县政府的环境治理任务带来了较大压力。建议对该区内的煤矿资源进行整合归一化管理,通过引进先进的开采-选冶技术、高层次技术型人才等,提高企业的生产水平,实现废弃物和废水的循环利用,从而在实现企业盈利的同时又能达到减少环境破坏和污染排放的目的。

(2)虽然威信县各乡镇煤矿资源自然禀赋较好,承载本底普遍为“中”和“高”级别,但承载状态堪忧。威信县10个乡镇中没有承载状态为“盈余”的乡镇,大多数乡镇煤矿资源承载状态为“超载”,超载率占据了70%,仅有2个乡镇的承载状态为“均衡”(罗布镇、扎西镇)。威信县煤矿资源承载能力同样不太乐观,10个乡镇中,没有煤矿资源承载能力“大”的乡镇,承载能力“较大”的乡镇仅有2个(罗布镇和扎西镇),承载能力“中”的乡镇有2个(三桃乡和麟凤镇),承载能力“小”的乡镇则达到了6个(双河乡、水田镇、庙沟镇、长安镇、高田乡、旧城镇)。

(3)在评价体系中,正向指标与负向指标应并

表12 威信县煤矿资源承载能力评价情况
Table 12 Evaluation of coal mine resources carrying capacity in Weixin County

乡镇	承载本底等级	承载状态等级	承载能力等级
罗布镇	高	均衡	较大
扎西镇	高	均衡	较大
麟凤镇	高	超载	中
三桃乡	高	超载	中
双河乡	中	超载	小
水田镇	中	超载	小
庙沟镇	中	超载	小
高田乡	中	超载	小
长安镇	较低	超载	小
旧城镇	低	其他	小

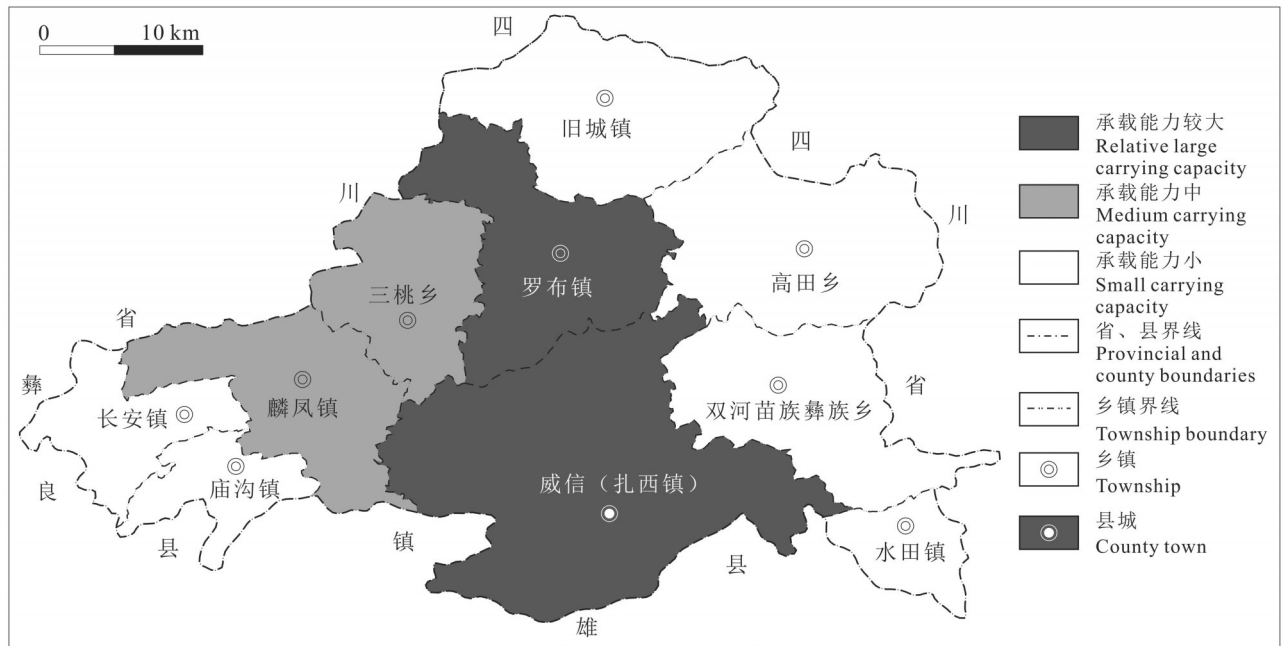


图6 威信县煤矿资源承载能力评价图
 Fig.6 Assessment chart of coal mine resources carrying capacity in Weixin County

重考虑,各占50%左右为宜。即正向指标、(100-负向指标)各占50%,此外正向指标、(100-负向指标)中各分指数对应权重均在平均分配数值左右为宜。不同的权重分配表示矿业开发指数侧重点不

同,这与当时当地的政策法规息息相关。在对某一地区进行矿产资源承载能力评价时,应与该地区当时在经济、社会、环境方面的政策相呼应。

注释

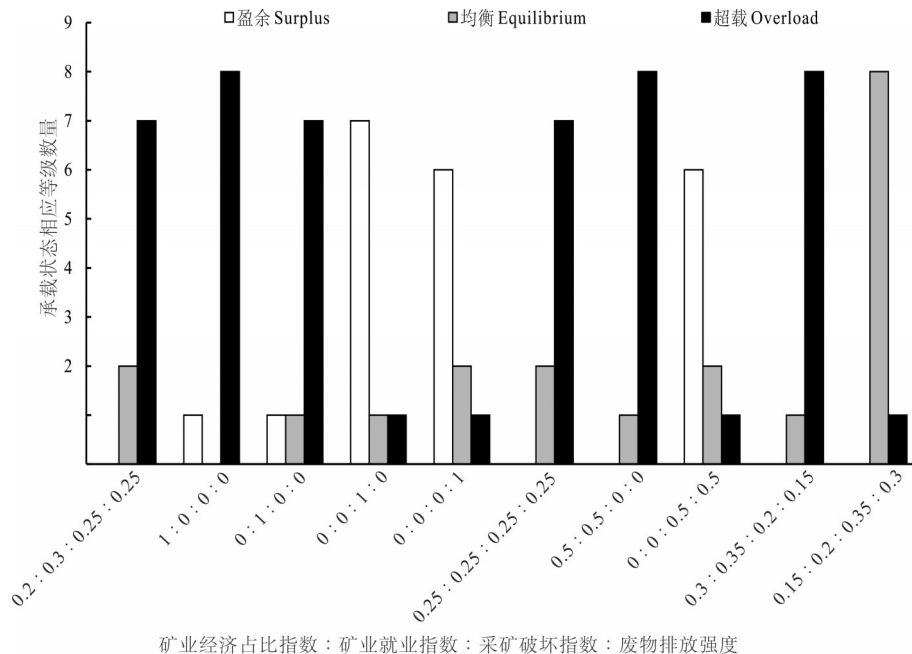


图7 不同权重分配的威信县煤矿资源承载状态评价结果
 Fig.7 Assessment of coal mine resources carrying state in Weixin County with different weight distribution

表 13 由不同权重分配的各分指数得出的威信县煤矿资源承载状态评价结果

Table 13 Coal mine resources carrying state evaluation results of Weixin County based on different weight distribution of index

权重分配依据	4个分指数 权重分配	承载状态 评价结果	明细	承载能力大或较大的乡镇 (建议优先发展煤矿的乡镇)
实施方案设计值	0.2:0.3:0.25:0.25	盈余0	-	
		均衡2	罗布镇、扎西镇	罗布镇、扎西镇
		超载7	水田镇、双河乡、三桃乡、麟凤镇、庙沟镇、长安镇、高田乡	
矿业经济占比指数	1:0:0:0	盈余1	麟凤镇	
		均衡0	-	麟凤镇
		超载8	罗布镇、水田镇、双河乡、三桃乡、扎西镇、庙沟镇、长安镇、高田乡	
矿业就业指数	0:1:0:0	盈余1	罗布镇	
		均衡1	扎西镇	罗布镇、扎西镇
		超载7	水田镇、双河乡、三桃乡、庙沟镇、长安镇、高田乡、麟凤镇	
采矿破坏指数	0:0:1:0	盈余7	扎西镇、双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇	罗布镇、扎西镇、三桃乡
		均衡1	罗布镇	
		超载1	麟凤镇	
废物排放强度	0:0:0:1	盈余6	双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇	罗布镇、扎西镇、三桃乡
		均衡2	罗布镇、扎西镇	
		超载1	麟凤镇	
权重平均分配	0.25:0.25:0.25:0.25	盈余0	-	
		均衡2	罗布镇、扎西镇	罗布镇、扎西镇
		超载7	双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇、麟凤镇	
只受正向指标影响	0.5:0.5:0:0	盈余0	-	
		均衡1	罗布镇	罗布镇
		超载8	扎西镇、双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇、麟凤镇	
只受负向指标影响	0:0:0.5:0.5	盈余6	双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇	罗布镇、扎西镇、三桃乡
		均衡2	罗布镇、扎西镇	
		超载1	麟凤镇	
正向指标权重高	0.3:0.35:0.2:0.15	盈余0	-	
		均衡1	罗布镇	罗布镇
		超载8	扎西镇、双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇、麟凤镇	
负向指标权重高	0.15:0.2:0.35:0.3	盈余0	-	
		均衡8	罗布镇、扎西镇、双河乡、高田乡、水田镇、三桃乡、庙沟镇、长安镇	罗布镇、扎西镇、三桃乡
		超载1	麟凤镇	

注:4个权重分配所对应的分指数依次为矿业经济占比指数:矿业就业指数:采矿破坏指数:废物排放强度。

①王安建,王高尚,李厚民. 2015. 全国矿产资源利用现状调查成果汇总报告[R]. 北京: 全国地质资料馆.

②叶天竺,陈毓川,王瑞江. 2015. 全国矿产资源潜力评价总体成果报告[R]. 北京: 全国地质资料馆.

③威信县国土资源局. 2013. 威信县煤炭工业局关于威信县煤矿 2013 年度相关信息报表[R].

④威信县统计局. 2013. 威信县 2013 年国民经济和社会发展统计公报[R].

致谢: 在资料收集过程中,得到了威信县人民政府,威信县煤炭工业局以及中国地质大学(北京)涂显刚、易明筱、权晓莹和侯晓宇提供的大力帮助。在此,对上述单位与有关同志一并表示衷心的感谢!

References

- Chen Dan, Wang Ran. 2015. Research on resource environmental carrying capacity of mining cities[J]. *Natural Resource Economics of China*, 28 (9): 57–61(in Chinese with English abstract).
- Cheng Guodong. 2002. Evolution of the concept of carrying capacity and the analysis framework of water resources carrying capacity in northwest of China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 24 (4): 361–367(in Chinese with English abstract).
- Du Guoyin, Zhao Pengda. 2003. Discussion on the combined mineral resources evaluation[J]. *Geology and Prospecting*, 39(2):77–80(in Chinese with English abstract).
- Du Qinjun, Niu Jianguang. 2010. Analysis of effect of mineral resources exploitation on ecologic environment based on ecological footprints[J]. *Geology and Prospecting*, 46 (5):953–959 (in Chinese with English abstract).
- Gao Xiangjun, Ma Renhui. 2002. Research advances of gradation and evaluation of agricultural land in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 18(1): 165–168 (in Chinese with English abstract).
- He Gang, Xia Yeling, Zhu Yanna, Wang Wenwen. 2018. Evaluation and prediction of land carrying capacity in Anhui Province based on DPSIR–TOPSIS model[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 38(2): 127–134(in Chinese with English abstract).
- Jing Yuejun, Chen Yingzi. 2006. Review and thinking on the research of the resources carrying capacity[J]. *China Population, Resources and Environment*, 16(5):11–14(in Chinese with English abstract).
- Land and Resources Bureau of Weixin County, Yunnan Province. 2016. Overall Planning of Mineral Resources in Weixin County, Yunnan Province (2016—2020)[R] (in Chinese).
- Li Min, Lü Yiqing. 2018. Evaluation of the bearing capacity of the coal resources in Taiyuan city[J]. *China Mining Magazine*, 27 (S1): 62–65(in Chinese with English abstract).
- Li Ruimin, Yin Zhiqiang, Li Xiaolei, Liu Qiong, Meng Hui, Huang Daomao, Wang Yi, Wang Longping, Wang Xinbao, Liu Jiankui, Sun Chao, Zhao Degang. 2020. A study of the coordination theory and evaluation method of resource environment carrying capacity[J]. *Geological Bulletin of China*, 39(1): 80–87(in Chinese with English abstract).
- Li Ruimin, Yin Zhiqiang, Wang Yi, Li Xiaolei, Liu Qiong, Gao Mengmeng. 2018. Geological resources and environmental carrying capacity evaluation review, theory, and practice in China[J]. *China Geology*, 1(4): 556–565.
- Li Wen, Gong Shaojun, Liang Hao, Wang Guohuai, Wang Peipei. 2021. Establishment of the evaluation index system for resources and environment carrying capacity in resource regeneration areas: A case study of Luoning County, Henan Province[J]. *Geological Survey of China*, 8(3): 81–89(in Chinese with English abstract).
- Mu Dong, Ren Yixin. 2001. Countermeasure research on the sustainable development of mineral resources[J]. *Geology and Prospecting*, 37(2): 6–8(in Chinese with English abstract).
- Park R E. 1921. Human geography[J]. *American Journal of Sociology*, 26(6): 785–786.
- Peng Bo. 2014. *Mineral Resources Science*[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Qi Yabin. 2005. The Present situation of resource environmental beating– capacity research and analysis of its main problems[J]. *Natural Resource Economics of China*, 18(5): 7–11, 46(in Chinese with English abstract).
- Qin Xianyan, Peng Miaozi, Jiao Tuanli, Li Yuming, Li Yunhuai. 2020. Assessment of gis–based geological environment carrying capacity in circum–Chao hu lake area, Anhui, China[J]. *Geology and Resources*, 29(2): 180–186(in Chinese with English abstract).
- Shi Yishao, Shi Shouzheng, Wang Hefeng. 2019. Reconsideration of the methodology for estimation of land population carrying capacity in Shanghai metropolis[J]. *Science of the Total Environment*, 652(47): 367–381.
- Song Bo, Zhang Fawang, Yang Huifeng, Liu Chunlei, Meng Ruifang, Nan Tian. 2021. Ecological priority–based source–division evaluation and application on water resources carrying capacity: Take Baoding plain of Hebei Province as a case study [J]. *Geology in China*, 48(4): 1156–1165(in Chinese with English abstract).
- Song Ling, Zhang Lei. 2009. On the integrated exploitation capacity of mineral resources in Xinjiang[J]. *Journal of Xinjiang University*, 37 (4):11–17(in Chinese with English abstract).
- Sun Chao, Wang Xinzhou, Ye Yingying, Liu Qiong, Cao Yi, Han Chong, Wang Yi. 2022. Research on evaluation and early warning of groundwater resources carrying capacity in Hebei Province[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 49(6): 55–63(in Chinese with English abstract).
- Wang Anjian, Wang Gaoxin. 2002. *Mineral Resources and National Economic Development*[M]. Beijing: Earthquake Press(in Chinese).
- Wang Kaifa. 2019. Application of improved PCA method in the carrying capacity of water resources[J]. *Water Sciences and*

- Engineering Technology, 26(4): 40–44(in Chinese with English abstract).
- Wang Kuifeng, Han Xiangyin, Wang Yuelin, Liu Yang. 2016. Study on the mineral resource carrying capacity and protection degree in Shandong Peninsula[J]. Geological Survey and Research, 39(1): 47–55(in Chinese with English abstract).
- Wang Ran, Cheng Jinhua, Zhu Yali, Xiong Weiwei. 2016. Research on diversity of mineral resources carrying capacity in Chinese mining cities[J]. Resources Policy, 47(45): 108–114.
- Wang Yuping, Bu Shanxiang. 1998. Study on the economic carrying capacity of mineral resources in China[J]. Coal Economic Research, 18(12): 15–18(in Chinese).
- Wang Yuping. 1998. Population carrying capacity of mineral resources[J]. China Population, Resources and Environment, 8(3): 22–25(in Chinese).
- Wang Yuxi, Wang Yong, Su Xuelian, Qi Lin, Liu Min. 2019. Evaluation of the comprehensive carrying capacity of interprovincial water resources in China and the spatial effect[J]. Journal of Hydrology, 575(5): 794–809.
- Xiang Guangxin, Zeng Yi, Jiang Xingxiang, Li Shenpeng, Zhang Jianxin. 2020. Carrying capacity of mineral resources of counties based on DEA: A case study of resource-based counties in Hu'nan Province[J]. Geological Bulletin of China, 39(1): 108–113(in Chinese with English abstract).
- Xu Mingjun, Yang Zisheng. 2016. The evaluation and analysis of coordinated development on resources and environment carrying capacity in southwestern mountainous area of China: A case in Dehong Dai-jingpo autonomous prefecture, Yunnan province[J]. Journal of Natural Resources, 31(10): 1726–1738(in Chinese with English abstract).
- Xu Qiang. 1996. An exploration of several problems about the analysis of regional mineral resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 11(2): 135–141(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhixun, Chen Huachao. 2009. Countermeasure research on relieving the bottleneck of mineral resources in China[J]. Geology and Prospecting, 45(1): 82–88(in Chinese with English abstract).
- Xue Liming, Cui Chaoqun, Li Changming, Zhu Linlong, Huang Yu, Liu Baokang. 2017. Normal cloud model-based approach for regional sustainable power assessment of mineral resources[J]. Population, Resources and Environment, 27(6): 67–74(in Chinese with English abstract).
- Yan Junyin, Zhao Guojie. 2009. Simulating on ecological & economic system of regional mineral resources exploitation[J]. Journal of Natural Resources, 24(8): 1334–1342(in Chinese with English abstract).
- Yan Yezhou, Cheng Jinhua. 2014. Evaluation of carrying capacity of mineral resources in key mining economic regions[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 31(4): 29–33(in Chinese with English abstract).
- Yang Lin, Gao Hongxia. 2012. Between the economic growth and environmental pollution mechanism research—based on the empirical analysis of comprehensive pollution index[J]. Soft Science, 26(11): 74–79(in Chinese with English abstract).
- Yin Zhiqiang, Li Ruimin, Li Xiaolei, Meng Hui, Liu Qiong, Yang Nan, Wang Yi, Tong Xiaoxia, Li Chunyan, Gao Mengmeng. 2018. Research progress and future development directions of geo-resources and environment carrying capacity[J]. Geology in China, 45(6): 1103–1115(in Chinese with English abstract).
- Zhang Lei. 2002. Mineral sustainable supply and its spatial reorganization in China[J]. Journal of Natural Resources, 17(2): 162–167(in Chinese with English abstract).
- Zhang Maosheng, Wang Yao, Xue Qiang. 2019. Evaluation of resource environment carrying capacity: Theoretical method and practice[J]. Northwestern Geology, 52(2): 1–11(in Chinese with English abstract).
- Zhang Maosheng, Wang Yao. 2018. Research on the evaluation of the carrying capacity of geological environment based on its risk level[J]. Geological Bulletin of China, 37(Z1): 467–475(in Chinese with English abstract).
- Zhang Ningning, Su Xiaoling, Zhou Yunzhe, Niu Jiping. 2019. Water resources carrying capacity evaluation of the Yellow River Basin based on EFAST weight algorithm[J]. Journal of Natural Resources, 34(8): 1759–1770(in Chinese with English abstract).
- Zheng Quan. 2019. Research on Coal Mine Development and Management Based on Evaluation of Resources and Environment Carrying Capacity—A Case Study of Zhenxiang[D]. Chengdu: Chengdu University of technology, 23–30(in Chinese).

附中文参考文献

- 陈丹, 王然. 2015. 矿业城市资源环境承载力评价研究—以黄石市为例[J]. 中国国土资源经济, 28(9): 57–61.
- 程国栋. 2002. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J]. 冰川冻土, 24(4): 361–367.
- 杜国银, 赵鹏大. 2003. 论矿产资源联合评价[J]. 地质与勘探, 39(2): 77–80.
- 都沁军, 牛建广. 2010. 基于生态足迹的矿产资源开发生态环境影响分析[J]. 地质与勘探, 46(5): 953–959.
- 高向军, 马仁会. 2002. 中国农用地等级评价研究进展[J]. 农业工程学报, 18(1): 165–168.
- 何刚, 夏业领, 朱艳娜, 王雯雯. 2018. 基于DPSIR-TOPSIS模型的安徽省土地承载力评价及预测[J]. 水土保持通报, 38(2): 127–134.
- 景跃军, 陈英姿. 2006. 关于资源承载力的研究综述及思考[J]. 中国人口·资源与环境, 16(5): 11–14.
- 李敏, 吕义清. 2018. 太原市煤炭资源承载力评价[J]. 中国矿业, 27(S1): 62–65.
- 李瑞敏, 殷志强, 李小磊, 刘琼, 孟晖, 黄道裘, 王轶, 王龙平, 王欣宝, 刘建奎, 孙超, 赵德刚. 2020. 资源环境承载协调理论与评价方

- 法[J]. 地质通报, 39(1): 80-87.
- 李稳, 宫少军, 梁昊, 王国槐, 王培培. 2021. 资源再生型地区资源环境承载力评价指标体系构建——以河南省洛宁县为例[J]. 中国地质调查, 8(3): 81-89.
- 穆东, 任一鑫. 2001. 矿产资源行业可持续发展的科技对策研究[J]. 地质与勘探, 37(2): 6-8.
- 彭渤. 2014. 矿产资源学[M]. 北京: 地质出版社.
- 齐亚彬. 2005. 资源环境承载力研究进展及其主要问题剖析[J]. 中国国土资源经济, 18(5): 7-11, 46.
- 秦先燕, 彭苗枝, 焦团理, 李玉明, 李运怀. 2020. 基于GIS的环巢湖地区地质环境承载力评价[J]. 地质与资源, 29(2): 180-186.
- 宋博, 张发旺, 杨会峰, 刘春雷, 孟瑞芳, 南天. 2021. 基于生态优先的水资源承载力分源评价及应用——以河北保定平原为例[J]. 中国地质, 48(4): 1156-1165.
- 宋岭, 张磊. 2009. 新疆矿产资源开发利用的综合承载力研究[J]. 新疆大学学报(哲学人文社会科学版), 37(4): 11-17.
- 孙超, 王昕洲, 叶莹莹, 刘琼, 曹颀, 韩冲, 王轶. 2022. 河北省地下水资源承载力评价及预警方法研究[J]. 水文地质工程地质, 49(6): 55-63.
- 王安建, 王高尚. 2002. 矿产资源与国家经济发展[M]. 北京: 地震出版社.
- 王奎峰, 韩祥银, 王岳林, 刘洋. 2016. 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, 39(1): 47-55.
- 王玉平, 卜善祥. 1998. 中国矿产资源经济承载力研究[J]. 煤炭经济研究, 18(12): 15-18.
- 王玉平. 1998. 矿产资源人口承载力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 8(3): 22-25.
- 望开发. 2019. 基于改进PCA法在水资源承载力中的应用[J]. 水科学与工程技术, 26(4): 40-44.
- 项广鑫, 曾毅, 蒋星祥, 李慎鹏, 张建新. 2020. 基于DEA模型的矿产资源承载力评价——以湖南省资源型县为例[J]. 地质通报, 39(1): 108-113.
- 徐强. 1996. 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, 11(2): 135-141.
- 许明军, 杨子生. 2016. 西南山区资源环境承载力评价及协调发展分析——以云南省德宏州为例[J]. 自然资源学报, 31(10): 1726-1738.
- 许智迅, 陈华超. 2009. 缓解我国矿产资源瓶颈约束对策研究[J]. 地质与勘探, 45(1): 82-88.
- 薛黎明, 崔超群, 李长明, 朱琳龙, 黄瑜, 刘保康. 2017. 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, 27(6): 67-74.
- 闫军印, 赵国杰. 2009. 区域矿产资源开发生态经济系统及其模拟分析[J]. 自然资源学报, 24(8): 1334-1342.
- 严也舟, 成金华. 2014. 重点矿业经济区矿产资源承载力评价[J]. 国土资源科技管理, 31(4): 29-33.
- 杨林, 高宏霞. 2012. 环境污染与经济增长关系的内在机理研究——基于综合污染指数的实证分析[J]. 软科学, 26(11): 74-79.
- 殷志强, 李瑞敏, 李小磊, 孟晖, 刘琼, 杨楠, 王轶, 仝晓霞, 李春燕, 高萌萌. 2018. 地质资源环境承载力研究进展与发展方向[J]. 中国地质, 45(6): 1103-1115.
- 云南省威信县国土资源局. 2016. 云南省威信县矿产资源总体规划(2016-2020)[R].
- 张雷. 2002. 中国矿产资源持续开发与区域开发战略调整[J]. 自然资源学报, 17(2): 162-167.
- 张茂省, 王尧, 薛强. 2019. 资源环境承载力评价理论方法与实践[J]. 西北地质, 52(2): 1-11.
- 张茂省, 王尧. 2018. 基于风险的地质环境承载力评价[J]. 地质通报, 37(Z1): 467-475.
- 张宁宁, 粟晓玲, 周云哲, 牛纪莘. 2019. 黄河流域水资源承载力评价[J]. 自然资源学报, 34(8): 1759-1770.
- 郑权. 2019. 基于资源环境承载力评价的煤矿开发与管理研究——以镇雄县为例[D]. 成都: 成都理工大学, 23-30.