

文章编号: 1001-1986(2011)01-0036-05

神北矿区环境承载力评价

秦 鹏¹, 沈智慧², 白喜庆²

(1. 中国煤炭地质总局第三水文地质队, 河北 邯郸 056006;
2. 中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘查院, 河北 邯郸 056004)

摘要: 以神北矿区为例, 从区域环境承载力的概念出发, 结合3S技术, 系统分析了神北矿区环境承载力的影响因素。并以此为基础, 建立神北矿区环境承载力评价指标体系。运用环境承载力评价量化模型, 对神北矿区环境承载力进行了分析和评价。分析结果表明: 评价指标中土地沙漠化、矿山开发、水质环境容量环境承载力超载, 分别为-17.8%、-2.6%、-9.8%; 水资源量环境承载力可载, 为30.8%; 矿区综合环境承载力仅为14.1%, 说明矿区综合环境容量几达承载极限。

关键词: 神北矿区; 环境承载力; 指标体系

中图分类号: X141; X821 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2011.01.009

The analysis of regional environmental carrying capacity of Shenbei mining area

QIN Peng, SHEN Zhihui, BAI Xiqing

(1. The No.3 Hydrologic Geology Team of China National Administration of Coal Geology, Handan 056006, China;
2. Prospecting and Designing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology and Environmental
Geology of CNACG, Handan 056004, China)

Abstract: On the basis of the study of regional ECC(environmental carrying capacity), taking Shenbei mining area as an example and combined with “3S” technology, this paper systematically analyzed the influencing factors of ECC, and constructed the index system of ECC of Shenbei mining area, analyzed, calculated and evaluated the ECC of Shenbei mining area. The results showed that ECC of land desertification and mine exploitation and water resource quality have been overflowed with overflow percentum of -17.8%, -2.6% and -9.8%; ECC of water resource quantity is comparatively well, its potential percentum is 30.8%. The integrated ECC of Shenbei mining area is only 14.1%. The results showed that the integrated ECC of Shenbei mining area is approaching the limit of overloading.

Key words: Shenbei mining area; ECC; index system

环境与发展已成为当今世界的一大主题。随着国家对环境评价意识的增强以及国民经济协调发展需要, 区域环境承载力研究评价成为实现此目标的一个重要手段^[1-4]。运用环境承载力理论进行区域生态环境规划^[5-6]、生态环境空间分析^[7]、城市环境承载力评估^[8-17]成为环境规划的科学依据。

本文把区域环境承载力理论应用于煤矿区评价, 把煤炭开发、水资源、生态环境作为一项系统工程来考虑, 为矿区在合理开发利用水资源, 保护并改善生态环境的前提下开发煤炭资源, 使煤炭开发、水资源、生态环境三者协调发展提供依据。

1 神北矿区主要环境地质问题

神北矿区为首批煤炭国家规划矿区神府新民矿区的一部分, 位于陕西省北部, 鄂尔多斯高原东南部陕北斜坡上, 毛乌素沙漠与陕北黄土高原的接壤地带。地理坐标为东经110°05'—110°30', 北纬38°53'—39°28', 面积1 193.79 km²。

通过遥感解译与实地调查相结合的方法, 认为本区矿山环境地质问题主要为土地沙漠化、水环境变化、地面变形、固体废弃物占地。

1.1 土地沙漠化

矿区地处毛乌素沙漠东南缘, 西部、西北部已发生不同程度的沙漠化, 东部受沙漠化的威胁严重。

收稿日期: 2010-05-06

基金项目: 中国煤炭地质总局项目(200412300057)

作者简介: 秦 鹏(1970—), 男, 河北泊头人, 硕士, 高级工程师, 从事水文地质工程地质环境地质的研究工作。

大规模的煤炭开采对地表植被造成破坏，加剧了土地沙漠化。

1.2 水环境变化

水环境是导致其他环境问题的直接因素。需要特别指出的是本区煤系地层与萨拉乌素组合含水层(矿区主要供水水源)分布基本一致，煤层开采势必对该含水层产生影响(开采用水、矿井排水)，甚至导致含水层局部被疏干，对矿区内的生活用水、植被生长等造成很大影响；矿井排水对地表水的影响将直接影响到农田灌溉、工业用水及对土壤污染等。

1.3 地面变形

地面变形是井工开采或煤层自燃后，采空区顶板陷落引起上覆岩土体发生沉降、地裂缝、塌陷等的统称。地面变形常导致建筑物被破坏、浅层地下水水位下降，甚至疏干，影响植被发育，乃至沙漠化程度加重。

1.4 固体废弃物

工作区的固体废弃物可以概括为两类，即工业固体废弃物和生活垃圾。工业固体废弃物包括煤矸石、废渣及废弃土石等；生活垃圾主要指居民日常生活过程中产生的废弃物。固体废弃物主要对矿区附近的大气环境造成污染，使空气中悬浮物含量增加；易形成泥石流；造成地下、地表水的污染；侵占大量土地资源；影响植被生长。从1999年卫片影像来看，工作区固体废弃物占用土地9.4 km²。

2 矿区环境承载力评价指标体系构建

2.1 环境承载力

环境承载力是描述环境状态的重要参量，是由N维向量支起的N维空间，矢量形式可以表示为：

$$ECC = (E_1, E_2, \dots, E_n)$$

2.2 环境承载力相对剩余率

环境承载力相对剩余率是指在某一区域范围，某一时期区域环境承载力指标体系中，各项指标所代表的在该状态下的取值与各项指标理想状态下阈值的差值与其阈值之间的比值。

对于发展类指标，

$$P_i = (X_i - X_{i0}) / X_{i0} ; \quad (1)$$

对于限制类指标，

$$P_j = (X_{j0} - X_j) / X_{j0} . \quad (2)$$

式中 P_i 、 P_j 为区域环境承载力评价指标体系中第 i 、 j 个指标的相对剩余率； X_i 为发展类变量指标 i 的实际值； X_{i0} 为发展类变量指标 i 理想值的上限值； X_j 为限制类变量指标 j 的实际值； X_{j0} 为限制类

变量指标 j 理想值的下限值。

区域环境承载力相对剩余率用式(3)求得：

$$p = \sum_{i=1}^m p_i \cdot w_i + \sum_{j=1}^n p_j \cdot w_j , \quad (3)$$

式中 m 为指标体系中发展变量的个数； n 为指标体系中限制变量的个数； w_i 、 w_j 为各指标的权重。

区域环境承载力相对剩余率反映了区域实际的环境承载量与其理论上的环境承载力之间的量值关系。当某一环境要素的相对剩余率大于0时，说明该要素的承载量尚未超过其容量承载力的范围；反之，则说明该要素的实际承载量已超过其允许的承载力限度，有可能引发相关的环境问题。

2.3 评价指标确定

由于矿区环境承载力一方面处于动态变化中，另一方面在一定时期内又保持着相对的稳定性，这就决定了在评价因子中所选取的指标必须能较好地描述、刻画与度量未来的发展或发展趋势，必须具有动态性与相对稳定性相结合的特点。

根据矿区的矿山环境地质特征，评价指标选取矿山开发、水资源承载力、水质环境容量、土地沙漠化4项。

以上诸因子的评价为一系列可统计、可量化的支持或反映该评价因子的指标确定。

2.4 矿区环境承载力体系构建

矿区环境承载力分解为以下几个顺序层次。

a. 目标层 这是构建区域环境承载力指标体系的主要目标。它是人类社会行为和自然环境间的纽带，一种评判环境与发展是否协调的尺度。如图1所示，矿区环境承载力为目标层。

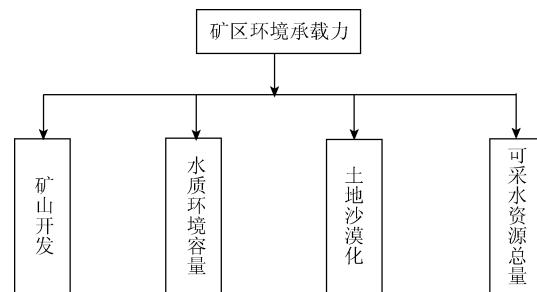


图1 矿区环境承载力评价体系图

Fig. 1 Drawing showing analysis system of ECC of mining area

b. 领域层 每个准则都应包括一系列不同的领域或称子系统，而各个子系统应由若干个指标加以支持。

c. 指标层 所谓指标层就是建立一系列可统计、可量化的指标，来支持或反映准则层的要求并评价系统是否达到了目标层的目标。每个领域都应

有一定数量的指标。这些指标应尽可能地使用量化数据来加以表达。

3 神北矿区环境承载力评价

3.1 土地沙漠化

为了客观认识了解本区近期内土地沙漠化的发展演化，利用 1987 和 1999 年两个不同时期的卫片信息解译结果，计算评价得到不同时期的土地沙漠化程度数据。

表 1 1987 与 1999 年土地沙漠化面积统计对比表
Table 1 In 1987, 1999 desertification area statistic contrast table

类别	1987 年		1999 年	
	面积/km ²	所占比例	面积/km ²	所占比例
重度沙漠区	42.27	3.54%	34.35	2.88%
中度沙漠区	293.83	24.61%	319.80	26.79%
轻度沙漠区	494.75	41.44%	476.03	39.87%
潜在沙漠区	362.94	30.41%	363.61	30.46%
合计	1 193.79		1 193.79	

对于某一区域而言，潜在沙漠化越大，生态环境承载力状况越好。为揭示矿山开发对土地沙化环境的影响程度，根据上述分析结论，目前矿区矿山开发对土地沙化环境的影响主要表现在中度和重度沙漠化，因此土地沙漠化失理想阈值以该区矿山开发初期即 1987 年中度和重度沙漠化之和作为标准来分析截止 1999 年矿区土地沙漠化环境承载力。

1987 年中度和重度土地沙漠化占全区总面积的 28.15%；1999 年中度和重度土地沙漠化占全区总面积的 29.67%。

根据式(1)计算出土地沙漠化的环境承载力相对剩余率见表 2。

表 2 土地沙漠化环境承载力分析结果
Table 2 The analysis results of desertification environmental capacity

项目	土地沙漠化
1987 年土地沙漠化指数/%	28.15
1999 年土地沙漠化指数/%	29.67
环境承载力相对剩余率(1999 年)	-0.054

土地沙漠化承载力相对剩余率 1999 年为 -0.054，说明矿山的开发同时加剧了该区土地沙漠化程度，相对 1987 年而言超载。

3.2 水资源承载力

水资源利用量阈值确定以煤炭开采规划用水量、矿井排水量、人均用水量(含公共用水)3 项之和

为标准。

从目前地表水测量和地下水勘探资料进行可采水资源总量计算。区内袭夺过境地表水总量为 $423.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ；地下水可采资源量为 $6 150.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ；全区可采水资源总量为 $6 573.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

神木矿区总需求水资源量为煤炭开采用水量、城镇用水量、农村用水及农田灌溉用水之和，合计 $4 551.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

以上数据表明，区内可采水资源总量完全可以满足该区的用水需求。但值得注意的是，矿区开发后，将会对地下水资源造成一定的破坏，大柳塔矿区，双沟泉几近干涸，由 1998 年的 $0.28 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 下降到 $0.008 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，母河沟泉也由 1998 年的 $0.16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 下降到 $0.046 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，这已经成为将来矿区开发对地下水破坏程度的有利佐证。随矿区开采规模和范围的扩大，分布于采区内的地下水最终将被疏干，矿区内的哈拉沟等中小水源地或补充水源将被破坏。虽然有一定量的矿井水可加以利用，但矿井水是由地下水转化而来，并不意味着水资源总量的增加。

根据式(2)，可得水资源环境承载力相对剩余率(表 3)。

表 3 水资源量环境承载力分析结果

Table 3 The analysis results of water environmental capacity

项目	水资源量
可采水资源总量/ $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	$6 573.65 \times 10^4$
可采水资源剩余量/ $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	$2 021.95 \times 10^4$
水资源承载力相对剩余率	0.308

3.3 矿山开发

矿山开发对环境的影响主要有固体废弃物占用土地和地面塌陷变形两个方面。从实地调查和卫星图片影像解译来看，工作区目前固体废弃物占用土地 9.4 km^2 。发生地面塌陷变形的国营大矿为瓷窑湾矿、大柳塔矿、活鸡兔矿；县办煤矿有数个个体煤矿。从塌陷规模来看，大矿显著大于小矿，目前区内地面塌陷变形区计 35.96 km^2 。

对于矿山开发而言，固体废弃物、地面塌陷变形是不可避免的，但对环境承载力影响的大小被认为是可以控制的。对固体废弃物进行综合处理和填埋造地，对环境产生的影响相对变小；对地面塌陷变形区实施土地复垦等处理方式可以大幅度提高土地利用率，且地面塌陷变形若未影响其使用功能，对环境功能的影响微小，可视为可接受地面变形。

因此对二者理想阈值确定暂作如下确定。

a. 地面塌陷变形以不影响环境功能的塌陷面积占总面积的百分比为衡量标准。其理想值取为100%。

b. 固体废弃物以无明显占地的面积占总面积的百分比为衡量标准。其理想值取为100%。

根据统计结果，计算矿山开发造成固体废弃物和地面塌陷变形区占全区总面积的百分比，见表4。

表4 矿山开发土地影响统计表

Table 4 Mining land influence table

项目	面积/km ²	百分比/%	矿区总面积/km ²
固体废弃物	9.4	0.79	1 193.79
地面塌陷	35.96	3.0	1 193.79

对于发展类指标，根据式(1)求得：固体废弃物环境承载力相对剩余率为-0.0079；土地塌陷变形环境承载力相对剩余率为-0.03。

关于矿山环境承载力评价指标固体废弃物和地面塌陷变形相对权重的确定，采取下面公式来计算：

$$W_i = \frac{y_i / x_i}{\sum_{i=1}^n y_i / x_i}, \quad (4)$$

式中 W_i 为第 i 个分量指标的权重； y_i 为第 i 个分量指标的实测值； x_i 为第 i 个分量指标的理想值； n 为分量个数。

由式(4)可计算出固体废弃物和地面塌陷变形的环境承载力相对权重分别为0.2和0.8。

根据式(3)，本区矿山环境承载力相对剩余率计算结果为：矿山开发环境承载力相对剩余率为-0.026。由此可见，本区矿山开发与矿山开发初期比较超载2.6%。

3.4 水质环境容量

3.4.1 地表水质环境容量分析

区内地表水域主要为窟野河及其分支河流乌兰木伦河和悖牛川，水质监测为窟野河及其分支河流乌兰木伦河布设石圪台、大柳塔和草垛山3个点。

地表水污染评价选用了溶解氧(DO)、5d生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)、亚硝酸盐氮(NO₂-N)、氟化物(F)、六价铬(Cr⁶⁺)、氰化物(CN)、挥发酚(Ar-OH)、硝酸盐氮(NO₃-N)、铅(Pb)、镉(Cd)、悬浮物(SS)、大肠菌群、pH值、高锰酸盐指数、石油类17项指标。

依据GB3838-2002《地表水环境质量标准》及GB8978-1996《污水综合排放标准》分析区内地表水亚硝酸盐氮(NO₂-N)、氟化物(F)、六价铬(Cr⁶⁺)、氰化物(CN)、硝酸盐氮(NO₃-N)、铅(Pb)、镉(Cd)、

大肠菌群、pH值9项指标测值全部满足地表水环境质量标准的各级标准，BOD₅、NH₃-N、DO、COD_{Cr}、Ar-OH、高锰酸盐指数、石油类、悬浮物(SS)等8个指标出现超标现象。

按榆林地区环保局对窟野河的功能区划要求，窟野河在矿区内水域应执行GB3838-2002《地表水环境质量标准》的III类水质标准。根据研究目的及资料分析情况，选用GB3838-2002《地表水环境质量标准》的III类水质标准和GB20426-2006《煤炭工业污染物排放标准》作为窟野河水环境承载力的理论阈值对水环境容量承载力相对剩余率进行计算。

3.4.2 地下水环境容量分析

根据GB/T14848-93《地下水质量标准》要求，对矿区内的店塔水井和大柳塔水井测试了20项指标。运用所测试的各项污染测试指标，对其进行水质评价。评价结果显示地下水水质处于良好状况，达到生活饮用水标准。就整体而言，区段内地下水环境承良好，完全满足生活饮用水标准。但应对NO₂-N、NO₃-N两项指标予以关注，大柳塔地段Cd指标应予以关注。

依据课题研究目的及采样资料分析，本区地下水环境良好，地表水质指标有超标现象。本次评价仅对地表水计算承载力，作为该区水环境容量结果。地表水评价指标采用Ar-OH、悬浮物(SS)2个指标进行承载力计算。

计算公式均采用式(2)，计算结果见表5。

表5 水质环境容量承载力分析结果

Table 5 The analysis results of the water environment bearing capacity

项目	Ar-OH	SS
采样点均值	0.0095	172
III类标准	0.005	100
相对剩余率	-0.9	-0.72

水质环境承载力评价指标中，各指标相对权重的确定按式(4)来计算。计算出Ar-OH、SS指标相对权重分别为0.56和0.44。

根据式(3)计算相对剩余率计算结果为-0.82。该区水质环境容量的承载力相对剩余率为-0.098，(注：分析2个指标占地表水水质化验指标的权重值为0.12，其相对剩余率计算结果乘以权重值0.12所得为该区水质环境容量的承载力相对剩余率)。

3.5 矿区综合环境承载力评价

根据区域环境承载力相对剩余率计量模型，本文已计算出了矿区各单项指标的环境承载力相对剩

余率，但是从区域环境系统整体性出发，还必须求出矿区整个区域的综合环境承载力，以便清楚地了解矿山开发与其环境整体协调程度。在综合考察各项指标后，可按区域综合环境承载力相对剩余率计算模型(式 3)求得矿区综合环境承载力相对剩余率。

前文已计算出各单项指标的环境承载力相对剩余率，因此，此处只需计算出各指标的权重，即可求出矿区综合环境承载力相对剩余率。对综合环境承载力相对剩余率的计算而言，最重要的是确定各项指标的权重。对模型中各具体指标的权重，本文主要采用层次分析法(Aalytical Hierarchy Process, AHP)来确定。

基于上述思想，利用 AHP 方法求解土地沙漠化、水资源量承载力、矿山开发、水质环境容量 4 个指标的相对权重。

构建矿区环境承载力判断矩阵及权重计算结果见表 6。

表 6 矿区环境承载力评价因子权重矩阵计算表

Table 6 The ECC calculation of weight matrix evaluation factors

评价因子	水资	土地	矿山	水质环	权重
水资源量	1	4	5	9	0.605 5
土地沙漠化	1/4	1	2	5	0.210 3
矿山开发	1/5	1/2	1	4	0.136 9
水质环境容量	1/9	1/5	1/4	1	0.047 3

$$\lambda_{\max} = 4.109 \quad ,$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = 0.0366 \quad , \quad CR = \frac{CI}{RI} = 0.0406 \quad .$$

式中 CI 为一致性指标； RI 为平均随机一致性指标； CR 为一致性比率，判别矩阵是否具有满意的一致性指标。经检验， $CR \leq 0.1$ ，判断矩阵具有可以接受的一致性。

根据表 6 矿区环境承载力各评价因子的权重和以上计算的矿区环境承载力各评价因子的相对剩余率(见表 7)，矿区综合环境承载力相对剩余率依据式(3)求得，为 0.141，说明矿区综合环境容量目前处于可载状态。

表 7 矿区环境承载力评价因子相对剩余率表

Table 7 The relative surplus rate of mining area environment capacity evaluation factors

	水资源量	土地沙漠化	矿山开发	水质环境容量
相对剩余率	0.308	-0.178	-0.026	-0.098

4 结 论

a. 从单因素分析看，神北矿区矿业开发、水质环境容量、土地沙漠化 3 个指标环境承载力已处于超载状态，是影响该区可持续发展的主要因素。

b. 从影响矿区承载力的各指标分析看，可采水资源总量在一定时期内为一定值，土地沙化受自然条件和矿业开发的影响，矿业开发引起的地表塌陷变形和煤矸石占用破坏土地随矿业开发规模增大而增加，地表水体和地下水的水质受区内工矿企业排污影响。对于土地沙化、矿业开发引起的地表塌陷变形和煤矸石占用破坏土地、水质 3 项指标属于可控指标，通过合理的治理途径可以达到所需达到的要求。而可采水资源总量为不可控指标，属限制性指标，无法使其总量增加，只能通过提高其循环利用率加以弥补区内水利用量的不足。

c. 矿区综合环境承载力为可载，但其环境容量几近极限，必须通过环境治理、保护水资源、依靠科技进步等手段对该区影响环境容量的几大因素进行调整、治理、恢复，达到环境承载量和环境承载力的匹配、社会经济活动与区域环境整体的协调，促进矿区可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 崔凤军. 论环境质量与环境承载力[J]. 山东农业大学学报, 1995, 26(1): 71-77.
- [2] 唐剑武, 郭怀成, 叶文虎. 环境承载力及其在环境规划中的初步应用[J]. 中国环境科学, 1997, 17(1): 6-9.
- [3] 王爱萍. 论区域可持续发展的环境承载力原则[J]. 东岳论坛, 2000, 21(4): 38-39.
- [4] 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, 10(3): 28-30.
- [5] 刘康, 李团胜. 生态规划：理论、方法与应用[M]. 北京：化学工业出版社, 2004.
- [6] 朱俊, 张利鸣, 马蔚纯. 辽宁营口港总体规划环境评价实践[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 618-622.
- [7] 肖杨, 毛显强. 区域景观生态风险空间分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 623-626.
- [8] 姜云, 吴立新. 煤炭城市环境承载力评估的探讨[J]. 中国矿业, 2004, 13(3): 25-28.
- [9] 唐剑武. 环境承载力的理论雏形：环境容量[J]. 北大研究生学刊(自然科学), 1995(2): 6-10.
- [10] 彭再德, 杨凯, 王云. 区域环境承载力研究初探[J]. 中国环境科学, 1996, 16(1): 6-10.
- [11] 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): 136-140.
- [12] 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, 8(3): 19-22.
- [13] 崔凤军. 城市水环境承载力及其实证研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(1): 58-62.
- [14] 李玲, 赵晓光, 高芳. 矿区环境承载力研究现状及发展趋势[J]. 山西建筑, 2008, 34(6): 346-347.
- [15] 崔凤军. 环境承载力论初探[J]. 中国人口、资源与环境, 1995, 5(5): 40-41.
- [16] 王中根, 夏军. 区域生态环境承载力的量化方法研究[J]. 长江职工大学学报, 1999(4): 96.
- [17] 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(2): 46-47.