

# 陕北府谷新田煤矿开发建设项目生态修复效益动态评价

陈梓玄, 李占斌, 李鹏

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:**采用层次分析法(Antalytic Hierarchy Process AHP),在分析府谷县新田煤矿生态系统演替与配置基础上,提取了开发建设项目生态修复效益评价指标,建立了开发建设项目生态修复效益时间、空间的动态评价模型,并对该煤矿的生态修复效益进行了评价。评价结果较好地反映了项目的实际情况,评价体系的建立以及这种方法的运用为开发建设项目生态修复动态评价工作提供了科学依据。

**关键词:**开发建设项目;生态修复;动态评价;评价指标

中图分类号:S157.2;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)02-0021-05

## The Dynamic Benefit Evaluation of Ecological Restoration on Construction Project of Xintian Coal Mine in Northern Shaanxi Province

CHEN Zi-xuan, LI Zhan-bin, LI Peng

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE at XAUT, Xi'an 710048, China)

**Abstract:**Based on the analysis of its ecosystem succession and configuration, extraction of the evaluation indexes for ecological restoration of construction projects, dynamic evaluation model of ecological restoration for construction project is established from time and space, it is application of AHP (Analytic Hierarchy Process) in the analysis and evaluation of benefit of ecological restoration in Xintian coal mine. The result of evaluation reflects the actual situation. The evaluation system and the application of this kind of methods can provide reliable basis for scientific evaluation of ecological restoration on construction project.

**Key words:** construction project; ecological restoration; dynamic evaluation; evaluation index

随着社会经济的快速发展,开发建设项目迅速增加。开发建设活动造成的环境影响是多方面的。在陕北地区,资源开发对水土流失环境的影响是人们关注的重点领域之一。不合理的资源开发建设活动使得生态系统结构和功能破损,导致生态系统极度退化,加剧水土流失。所以要通过各种生态修复措施,恢复重建一个结构合理、功能高效的生态系统。然而生态系统演替不光是生态系统在时间序列上的替代过程,而且也是生态系统在空间上的动态演变<sup>[1]</sup>。

本文在分析了开发建设项目的生态修复是一个动态过程,在生态修复的不同阶段,所达到的效果不同,产生的效益亦不同,提出开发建设项目生态修复的效益评价也相应的是一个分阶段的、动态的过程,建立相关动态评价的模型,以期开发建设项目生态修复动态评价提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

新田煤矿位于陕北侏罗纪煤田神府矿区新民普查区的南部,东距府谷县城约 70 km,南距神木县城约 20 km,行政区划隶属陕西省府谷县田家寨乡管辖。工程总占地 21.29 hm<sup>2</sup>,其中永久占地 15.71 hm<sup>2</sup>,临时占地 5.58 hm<sup>2</sup>。截至 2008 年 9 月 31 日,新田煤矿保有地质资源量 19.92 Mt,设计可采储量 11.82 Mt,设计生产能力为 0.45 Mt/a,矿井服务年限为 20.2 a。

项目区地处陕北黄土高原北部,毛乌素沙漠南缘,其地貌单元属黄土丘陵沟壑区。该区为典型的中温带半干旱大陆性气候,干旱少雨,蒸发量大。该地区多年平均年降水量为 410.1 mm,多年平均年蒸发量为 1 907.2 mm。多年平均气温 9.1℃,无霜期 170 d,常刮西北风。区域的土壤主要为黄绵土、红土和风

沙土,土质疏松、土层深厚。区域植被主要包括毛白杨、油松、刺槐、侧柏等乔木;紫穗槐、沙棘、柽柳等灌木;梨树、苹果、枣等经济树种。

### 1.2 研究方法

本文在分析了开发建设项目生态系统演替原理、生态重建过程中效益演变与配置的基础上,提取了开发建设项目生态修复效益动态评价指标,建立了开发建设项目生态修复效益时间、空间的动态评价模型,以陕北府谷新田煤矿为例,并运用层次分析法对其生态修复效益进行了动态评价。

层次分析法(Analytic Hierarchy Process AHP)是在定性方法基础上发展起来的定量地确定多因素权重的一种科学方法,它是系统工程中的一种有效分析手段<sup>[1-6]</sup>。

由于选用各个指标的量纲和数量级不同,为了使评价结果具有可比性并减少随机因素的干扰,必须对评价指标数据进行标准化处理<sup>[7-8]</sup>。为此本研究采用指数化处理方法对定量指标进行处理和定性描述分类确定定性指标。

## 2 评价指标体系与评价模型

### 2.1 开发建设项目生态修复效益评价指标体系

本文以水土保持工程和研究部门多年使用的生态、经济、社会评价指标体系《水土保持综合治理效益计算方法》(GB/T15774-008)为基础,结合开发建设项目特点以及陕北地区社会、经济、生态特点,通过对大量已有的统计数据和资料的适当分析、筛选、整理和再加工,从中抽取与开发建设项目生态修复效益评价相关的信息,最终选用具有一定层次结构、具有不同量纲的多个评价因子来建立效益综合评价系统。

如图 1 所示,本文评价指标体系由 3 个一级指标,即生态效益、经济效益、社会效益构成。每个一级指标

又各自包含几个最能反映其内涵的二级指标<sup>[9-11]</sup>。

通过构造判断矩阵,确定准则层中  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  的权重分别为 0.673 8,0.100 7,0.225 5,再进行排序与一致性检验,排序结果满足一致性检验要求。

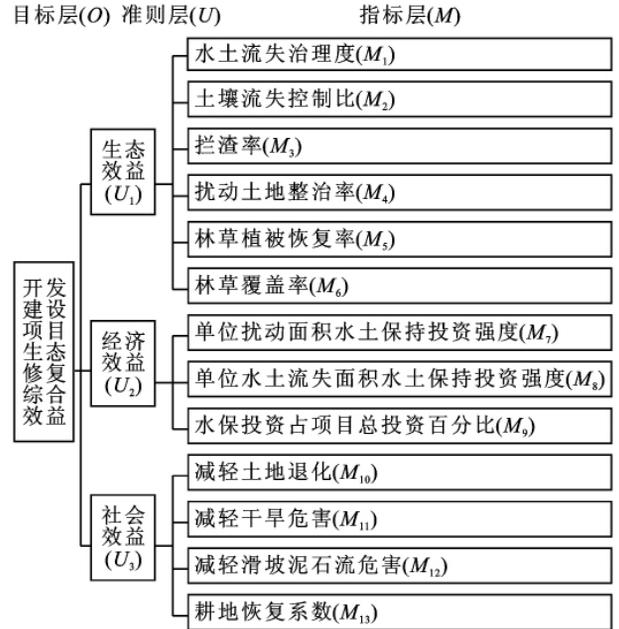


图 1 开发建设项目生态修复效益评价的层次分析模型

(1) 层次单排序和一致性检验。当随机一致性比率  $CR < 0.10$  时,认为层次单排序的结果有满意的一致性,否则需要调整判断矩阵的元素,直至具有满意的一致性。对于本评价,指标体系判断矩阵具有满意的一致性,其判断矩阵及运算结果如表 1-4 所示。

表 1 O-U 矩阵与运算结果

A	$U_1$	$U_2$	$U_3$	权重 W	排名
$U_1$	1	5	4	0.6738	1
$U_2$	0.2000	1	0.3333	0.1007	3
$U_3$	0.2500	3.0003	1	0.2255	2

$\lambda_{max} = 3.0858, CI = 0.0429, RI = 0.5180, CR = 0.0828 < 0.1$ 。

表 2  $U_1 - M$  矩阵与运算结果

$U_1$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	权重 W	排名
$M_1$	1	1	1	1	3	2	0.2064	3
$M_2$	1	1	1	1	3	2	0.2064	4
$M_3$	1	1	1	1	3	2	0.2064	1
$M_4$	1	1	1	1	3	2	0.2064	2
$M_5$	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	1	0.5000	0.0658	6
$M_6$	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	2	1	0.1087	5

$\lambda_{max} = 6.0092, CI = 0.0018, RI = 1.2482, CR = 0.0015 < 0.1$ 。

(2) 层次总排序和一致性检验。采用层次分析法对上述分析指标进行评价计算,层次总排序满足一致性检验要求,其排序结果见表 5,从计算结果可以看出,在所涉及的评价指标中,水土流失治理度、土壤流失控制比、拦渣率、扰动土地整治率、耕地恢复系数等是开发建设项目生态恢复效益评价的主要影响因子。

### 2.2 开发建设项目生态修复效益动态评价模型

2.2.1 生态重建效益演变与配置原理 生态重建过程中的生态系统演变分 3 个阶段 4 个类型<sup>[12]</sup>。由原脆弱生态演变为极度退化生态为第 I 阶段,即生态系统破损阶段;由极度退化生态演变为生态重建雏形为第 II 阶段,即生态系统雏形建立阶段;由重建生态雏形演变为

重建生态相对稳定型为第Ⅲ阶段,即生态系统动态平衡阶段。“三大效益”配置在不同阶段迥然不同。

表 3  $U_2-M$  矩阵与运算结果

$U_2$	$M_7$	$M_8$	$M_9$	权重 $W$	排名
$M_7$	1	1	5	0.4545	2
$M_8$	1	1	5	0.4545	1
$M_9$	0.2000	0.2000	1	0.0909	3

$\lambda_{max}=3, CI=0, RI=0.5180, CR=0 < 0.1$ 。

表 4  $U_3-M$  矩阵与运算结果

$U_3$	$M_{10}$	$M_{11}$	$M_{12}$	$M_{13}$	权重 $W$	排名
$M_{10}$	1	1	1	0.3333	0.1667	3
$M_{11}$	1	1	1	0.3333	0.1667	4
$M_{12}$	1	1	1	0.3333	0.1667	2
$M_{13}$	3.0003	3.0003	3.0003	1	0.5000	1

$\lambda_{max}=4, CI=0, RI=0.8862, CR=0 < 0.1$ 。

表 5 开发建设项目生态恢复效益评价系统的层次总排序及其计算结果

评价指标	$U_1$	$U_2$	$U_3$	权重 $W$	排名
	0.6738	0.1007	0.2255		
水土流失治理度 $M_1$	0.2064	0	0	0.1391	1
土壤流失控制比 $M_2$	0.2064	0	0	0.1391	2
拦渣率 $M_3$	0.2064	0	0	0.1391	3
扰动土地整治率 $M_4$	0.2064	0	0	0.1391	4
林草植被恢复率 $M_5$	0.0658	0	0	0.0443	9
林草覆盖率 $M_6$	0.1087	0	0	0.0732	6
单位扰动面积水土保持投资强度 $M_7$	0	0.4545	0	0.0458	7
单位水土流失面积水土保持投资强度 $M_8$	0	0.4545	0	0.0458	8
水保投资占项目总投资百分比 $M_9$	0	0.0909	0	0.0092	13
减轻土地退化 $M_{10}$	0	0	0.1667	0.0376	11
减轻干旱危害 $M_{11}$	0	0	0.1667	0.0376	12
减轻滑坡、泥石流危害 $M_{12}$	0	0	0.1667	0.0376	10
耕地恢复系数 $M_{13}$	0	0	0.5000	0.1128	5

层次总排序一致性  $CI=0, RI=1.0931, CR=0.0828 < 0.1$ 。

第 I 阶段为效益完全丧失阶段,并会产生较大的负效益。第 II 阶段的主要目的是保水、保土、防风固沙、提高肥力、改善生境,所采取的措施主要起防护性功能,故产生的效益只能是以生态效益为主。进入第 III 阶段后,因保水、保土效益和生态效益较好,生态系统已具备生产性功能的基本条件,即可考虑以经济效益为主导,生态效益和社会效益高度统一<sup>[12-13]</sup>。

2.2.2 开发建设项目生态修复效益动态评价模型

基于生态重建过程中效益的演变与配置的原理,本文建立了开发建设项目生态修复效益时间、空间的动态评价模型,其效益评价内容如图 2。

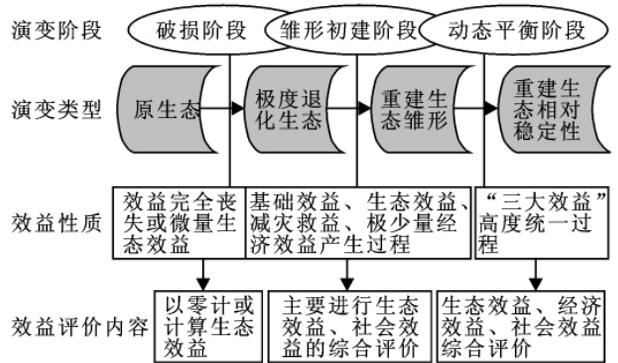


图 2 生态系统演变与效益配置下的效益评价内容

表 6 开发建设项目生态修复效益动态评价模式

评价阶段	应用范围	目的	要求
I	同一项目生态修复各阶段效益比较	精确研究同一项目各阶段修复效果,同	基础资料要求高,需长系列的指标资料
	不同项目生态修复各阶段效益比较	一类型、不同类型项目相应阶段修复效果	
II	同一项目生态修复前、后效益比较	研究同一项目修复前、后的效果,同一	需要修复前、后的相关指标资料
	不同项目生态修复前、后效益比较	类型、不同类型项目相应阶段修复效果	
III	不同项目生态修复后效益比较	研究不同项目生态修复的效果	资料要求相对较低,只需要修复后的相关资料

对于因开发建设活动而极度破坏的生态环境,人们采取了各种修复措施,投入大量的人力、财力、物力,而修复效果究竟如何,在整个生态系统恢复过程中效益变化是升还是降了,抑或有升有降;相同类型

建设项目生态修复的效益是否相近,如果不同,效益大的生态修复措施是否更可取;不同开发建设项目类型,生态修复的效益相比又如何;现在所采取的措施是否有继续下去的价值,是否有更好的措施等等问

题。这些问题的解答才是效益研究的价值所在,因此针对这些问题,在此建立表 6 基于时间和空间上的开发建设项目生态修复效益的动态评价模式。

效益评价是基于评价指标的基础资料,而许多建设项目资料匮乏,尤其是长系列资料不全,导致某些指标难以获取;再者所做效益评价的目的,要求不同,所以评价模式可以根据具体情况采用 3 种评价模式的某一种或综合采用 2 种或 3 种。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生态修复效益动态评价

本文研究的开发建设项目生态修复效益评价所采用的综合评价数学模型如式(1)所示:

$$N = \sum_{i=1}^n W_i \times R_i \quad (1)$$

式中:  $N$ ——综合效益指数;  $W_i$ ——第  $i$  项指标的权重;  $R_i$ ——第  $i$  项指标的隶属度值。

在此,以无量纲数——综合效益指数,来衡量开发建设项目的生态修复所带来效益,并比较不同类型开发建设项目以及同一开发建设项目在生态修复不同阶段的效益变化情况。

而综合效益评价指数确定的关键就是指标权重和其隶属度值的确定,前面已经根据具体情况,采用层次分析法求出指标权重;隶属度值采用指数法确定定量指标和定性描述分类确定定性指标,定性指标分类如表 7 所示。

表 7 定性指标无量纲化

指标	0~	0.25~	0.50~	0.75~
	0.25	0.50	0.75	1.00
土地退化	剧增	微增	不变	减少
干旱	剧增	微增	不变	减少
滑坡、泥石流危害	剧增	微增	不变	减少

经过对该项目考察,取得了所建立开发建设项目生态恢复效益评价的十个定量指标具体数值,明确了定性指标的影响程度,包括施工期、试运行期、生产运行期生态修复采用的标准,设计水平年防治目标及设计水平年预测设计实现值。现利用建立的评价模型如表 8 所示采用评价模式 I 进行生态修复效益动态评价。

计算新田煤炭工程生态修复各阶段的效益,其中权重  $W_i$  在前面已求得,由此即可求得各阶段综合效益指数  $N$ 。具体计算结果如表 9 所示。

表 8 新田煤矿工程动态效益评价模型

工程阶段	采用标准		设计水平年(2012)		
	施工期	试运行期	生产运行期	目标值	预测设计实现值
生态演变阶段	破损阶段	雏形初建阶段	动态平衡阶段		
效益性质	效益丧失阶段,进行拦渣,生态效益微	生态效益恢复显著 社会效益逐渐凸显	生态效益、社会效益、经济效益		
评价内容	生态效益	生态效益、社会效益	“三大”效益综合评价		

表 9 新田煤矿工程生态修复各阶段的效益指数计算

生态修复标准 评价指标	采用标准			设计水平年(2012)		指标 权重 $W_i$
	施工期	试运行期	生产运行期	目标值	预测设计实现值	
水土流失治理度	0	0.1607	0.1607	0.1607	0.3393	0.1391
土壤流失控制比	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1391
拦渣率	0.2754	0.4928	0.4928	0.6377	0.6377	0.1391
扰动土地整治率	0	0.4969	>0.4969	0.4969	0.6004	0.1391
林草覆盖率	0	0.4294	>0.4294	0.4294	0.4861	0.0443
林草植被恢复率	0	0.9518	>0.9518	0.9518	0.9518	0.0732
单位扰动面积水土保持投资强度	*	*	0.2644	0.2644	0.2644	0.0458
单位水土流失面积水土保持投资强度	*	*	0.2562	0.2562	0.2562	0.0458
水保投资占项目总投资百分比	*	*	0.7495	0.7495	0.7495	0.0092
减轻土地退化	*	0.3	0.5	0.7	0.7	0.0376
减轻干旱危害	*	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0376
减轻滑坡、泥石流危害	*	0.5	0.7	0.7	0.7	0.0376
耕地恢复系数	*	1	1	1	1	0.1128
效益指数 $N$	0.0383	0.4281	>0.4598	0.5015	0.5433	

注: \* 为不计算的效益指标。

由上表,随着水土保持的工程措施、临时措施、植物措施的实施,新田煤炭工程的生态修复效益指数随阶段变化如图 3 所示。

#### 3.2 结论

本文以府谷新田煤矿为例,对开发建设项目生态修复效益进行了动态评价。

(1) 根据层次分析法的理论、原则与方法,建立了由1个目标层、3个准则层、13个指标构成的开发建设项目生态修复效益研究指标体系,指标体系基本涵盖了生态效益、经济效益、社会效益的多个方面,评价的指标和变量大多数是量化的、可测度的,有相对可靠的来源,使效益分析具有客观性、可行性。按照这一指标体系可以较为全面、系统地分析、评价开发建设项目的生态修复效益。

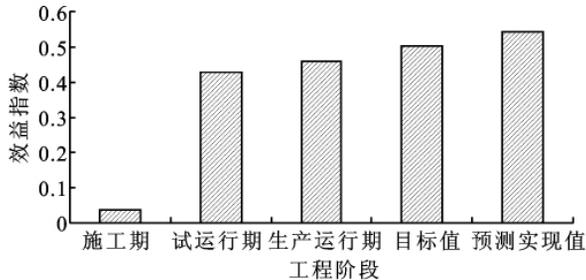


图3 新田煤炭工程的生态修复效益指数随阶段变化

(2) 建立了一套涵概生态效益、经济效益和社会效益的综合评价动态评价模型,该模型可以针对不同开发建设项目类型的多个项目一起进行评价,有利于强化和对比,揭示生态修复过程中效益动态变化过程,有利于指导开发建设项目生态修复进一步完善。

(3) 运用层次分析法(AHP)确定评价指标权重,并对其权重的确定和参数的标准化计算进行了分析,采用综合定量评价方法,评价结果与实际情况一致性较高,具有一定的区域适宜性。通过开发建设项目的实例计算、分析和验证,结果与实际情况相符,本项研究成果的理论、方法是可行的。

#### 参考文献:

- Jacob W E, Rattan L. Tillage effects on physical properties of agricultural organic soils of north central Ohio[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 98(2): 208-210.
- Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Sci Soc of Am, J, 2000, 64(5): 1759-1763.
- Nearing M A, Norton L D, Bulgakov D A, et al. Hydraulics and erosion in eroding rills[J]. Water Resources Research, 1997, 33(4): 865-876.
- 刘纪根, 张平仓, 喻惠花. 水土流失治理率综合评价指标体系框架研究[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(3): 82-85.
- 王辉文, 彭冬水, 彭源水. 层次分析法在开发建设项目水土保持管理中的应用[J]. 亚热带水土保持, 2008, 20(1): 44-47.
- 吴柏清, 何政伟, 仇文峡, 等. 层次分析法在土地利用战略研究中的应用: 以四川省泸定县为例[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(9): 3814-3816.
- 赵先贵, 马彩虹. 基于科学发展观的区域发展评价系统研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 193-197.
- 王国梁, 党小虎, 刘国彬. 黄土丘陵区县南沟流域生态恢复的生态经济耦合评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(2): 187-198.
- 曲衍波, 齐伟, 赵胜亭, 等. 胶东山区县域优质苹果生态适宜性评价及潜力分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 109-114.
- Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction [J]. Geo. Technique, 1999, 49(6): 835-840.
- Zhang X, Quine T A, Walling D E. Soil erosion rates on sloping cultivated land on the Loess Plateau near Ansai, Shaanxi Province, China: An investigation using <sup>137</sup>Cs and rill measurements [J]. Hydrology Processes, 1998, 12(1): 171-189.
- 白中科, 郭青霞, 王改玲, 等. 矿区土地复垦与生态重建效益演变与配置研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(6): 525-530.
- 江洪, 张艳丽, James R Strittholt. 干扰与生态系统演替的空间分析[J]. 生态学报, 2009, 23(9): 1861-1876.
- 王睿坚, 张志丹. 东北黑土水土流失研究概述[J]. 农业与技术, 2006(12): 106-109.
- 魏永霞, 张忠学, 赵雨森. 坡耕地水土保持理论与技术研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 2-3.
- 杨文文, 张学培, 王洪英. 东北黑土区坡耕地水土流失及防治技术研究进展[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 231-234.
- 张忠学, 曾赛星. 东北半干旱抗旱灌溉区节水农业理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 16-17.
- 尹喜霖, 单广杰, 柏钰春, 等. 试论黑龙江省的水土流失[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 113-115.
- 王贵作. 黑龙江省西部半干旱区坡耕地水分入渗、径流和土壤侵蚀量试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006.
- 林超文, 庞良玉, 陈一兵, 等. 不同耕作方式和雨强对紫色土坡耕地降雨有效性的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1258-1261.
- 苗慧英. 耕作技术措施[J]. 河北农业技术, 2001(7): 37.
- 石可鸣, 石长金. 水土保持耕作方法的研究[J]. 中国水土保持, 1995(5): 49-51.
- 郑子成, 吴启发. 耕作措施对产流作用的研究[J]. 土壤, 2004, 36(3): 327-333.

(上接第16页)