

# 基于 Yaahp 的土地复垦效益量化及应用

刘立忠<sup>1,2</sup>

(1. 华北理工大学 矿业工程学院, 河北 唐山 063009; 2. 中煤科工集团 唐山研究院有限公司, 河北 唐山 063012)

**[摘 要]** 针对土地复垦效益难以完全量化的问题, 利用一处采煤沉陷地土地复垦示范区近十年跟踪调查数据, 建立了针对东部中潜水位平原区土地复垦效益评价指标体系。基于层次分析法软件 Yaahp 计算各评价指标的权重和判断矩阵的归一化, 确定了相应评价指标的隶属度和经济效益、生态效益及社会效益的分值, 按照比例一致性原则, 实现土地复垦效益的完全量化, 并结合实例对土地复垦效益量化进行了研究, 并分析了投资成本和土地复垦效益随时间的变化关系。

**[关键词]** 土地复垦; 效益量化; 层次分析法; 指标体系; 隶属函数; 示范区

**[中图分类号]** S289 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2016) 04-0090-05

## Benefit Qualification and Application of Land Reclamation Based on Yaahp

LIU Li-zhong<sup>1,2</sup>

(1. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China;

2. CCTEG Tangshan Research Institute, Tangshan 063012, China)

**Abstract:** To the problems that benefit of land reclamation could not be qualification fully, on the basis of the investment data of recent ten years of land reclamation demonstration area of one mining subsidence area, the assessment indicator system of land reclamation located in plain area with middle phreatic level in the east was built. And the weighting value of all evaluation indexes and normalization of judgment matrice were calculated based on software Yaahp, and the scores between membership degree of corresponding evaluation index and economic benefit, and ecological benefit and social benefit were calculated, according ratio consistency principle, land reclamation benefit was qualified fully, benefit qualification of land reclamation was studied with example application, then the relationship of investment cost and benefit of land reclamation that changed with time was analyzed.

**Key words:** land reclamation; benefit qualification; analytic hierarchy processing; target system; membership function; demonstration area

通过对采煤沉陷地进行复垦, 可以取得巨大的经济效益、生态效益及社会效益<sup>[1]</sup>。近年来, 我国学者对土地复垦效益及其评价进行了大量的研究, 并取得了丰富的成果, 但现有的研究一般存在如下两个问题: 一是没有实现土地复垦效益的完全量化, 多是对其中的经济效益进行了量化, 而生态效益和社会效益只进行定性分析与描述; 二是三大效益中经济效益所占的权重往往过大, 而现在生态修复和社会环境改善越来越受到人们的重视。

通过跟踪调查唐山市古冶区的一处采煤沉陷地土地复垦示范区近十年的变化, 针对示范区的实际情况, 建立了土地复垦效益评价指标体系, 并基于层次分析法软件 Yaahp 依次进行了建立层次结构模型、矩阵一致性判断和权重计算, 尤其是对权重分布按照专家的意见进行了优化, 突出体现了生态效益和社会效益的重要性。在此基础上, 利用权重矩

阵、隶属度矩阵、评价标准分值函数矩阵可分别计算出经济效益、生态效益及社会效益的分值, 而经济效益是容易量化的, 按照比例一致性原则, 可实现生态效益及社会效益的量化, 从而实现土地复垦效益的完全量化。

### 1 土地复垦效益及指标体系的建立

#### 1.1 土地复垦效益

土地复垦效益分为经济效益、生态效益和社会效益三方面, 三者之和为土地复垦综合效益。所谓土地复垦效益, 是指对于某特定区域, 由于土地复垦工程的实施, 引起的经济、生态、社会三个方面的促进效应, 数值上相当于土地复垦工程实施后某一时间点的土地效益减去工程实施前该区域的土地效益。对于某特定区域, 土地复垦工程实施前, 该区域的土地就有一定的生产力和产出, 即土地效

**[收稿日期]** 2016-01-05

**[DOI]** 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.04.024

**[基金项目]** 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金项目 (2014MS036)

**[作者简介]** 刘立忠 (1982-), 男, 河北石家庄人, 助理研究员, 主要研究方向为开采损害防治与“三下”采煤、地表与岩层移动、矿山地质环境保护。

**[引用格式]** 刘立忠. 基于 Yaahp 的土地复垦效益量化及应用 [J]. 煤矿开采, 2016, 21 (4): 90-94.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

益，只是该土地效益一般较低；工程实施后，改善了土地的状况，该区域的土地效益将提高，而提高的这一部分效益就是土地复垦效益。土地复垦工程实施后，土地的状况将逐渐改善，因此，土地复垦效益是个逐渐显现的动态过程，随着时间的推移而逐渐增加到某一水平，因此，对于不同的时间点，土地复垦效益是不同的。

## 1.2 指标体系建立

土地复垦效益在指标选择时坚持代表性、全面性、可操作性、定性与定量相结合、系统与层次相结合等原则<sup>[1-5]</sup>。

基于以上原则，针对该示范区的特点（东部中潜水位平原区），在总结分析前人研究成果的基础上，对土地复垦经济效益、生态效益、社会效益的指标进行了筛选，并征求了专家的建议，最后汇总而成整套评价指标体系。其中经济效益的评价指标包括农林牧副渔总产量、耕地年产量、复种指数、价格水平等 4 个；生态效益的评价指标包括林草覆盖率、土壤状况、水土流失治理率、生物多样性状况、景观生态效果、防护林布置等 6 个；社会效益的评价指标包括基础设施完善程度、撂荒面积、耕地面积等 3 个，见图 1。

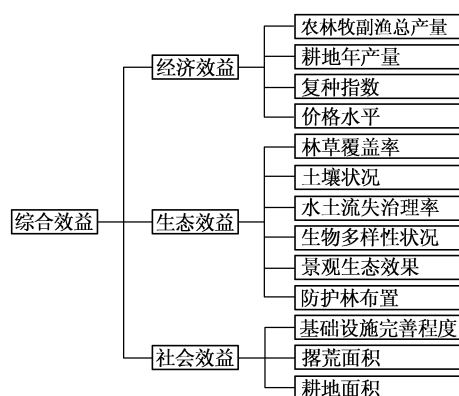


图 1 土地复垦效益评价指标体系

## 2 指标权重的确定

各评价指标的权重采用层次分析法确定。首先请专家对指标体系中每一层的因子进行相对重要性评价，建立判断矩阵，评价指标的取值按 TL Saaty 的 1~9 标度法表示。求出判断矩阵每一行元素的几何平均值，对所得的向量进行归一化处理，即得到各层次因子的权重，然后求解判断矩阵的最大特征值，检验是否具有满意的一致性。

按照评价指标体系中各指标结构关系，根据古冶区土地复垦的经验，结合参与该示范区设计、施工的土地复垦、土壤、植物等学科专家的意见，根

据 1~9 的标度确定各指标间的相对重要性，建立两两成对比较的判断矩阵，然后利用层次分析法软件 Yaahp 计算各评价指标的权重，结果见表 1，判断矩阵一致性比例为 0.0236。经济效益的判断矩阵一致性比例为 0.0191，对总目标的权重为 0.2；生态效益的判断矩阵一致性比例为 0.0493，对总目标的权重为 0.4；社会效益的判断矩阵一致性比例为 0，对总目标的权重为 0.4。

表 1 评价指标权重汇总

目标层	准则层	指标层	权重
综合效益 U	经济效益 V1	农林牧副渔年总产量 W1	0.0945
		耕地年产量 W2	0.0339
		复种指数 W3	0.0145
		价格水平 W4	0.0571
	生态效益 V2	林草覆盖率 W5	0.0920
		土壤条件情况 W6	0.0387
		水土流失治理率 W7	0.0307
		生物多样性状况 W8	0.1713
		景观生态效果 W9	0.0488
		防护林布置 W10	0.0184
	社会效益 V3	基础设施完善程度 W11	0.2286
		撂荒面积 W12	0.1143
		耕地面积 W13	0.0571

## 3 示范区概况及隶属度的确定

### 3.1 示范区概况

唐山市古冶区属于中潜水位平原区，长时间的地下开采，造成该区采煤沉陷荒废土地 2466.7hm<sup>2</sup>，其中沉陷水面 1133.3hm<sup>2</sup>，形成 6.7hm<sup>2</sup> 以上的水坑 33 个。该区耕地土壤质地以砂壤质为主，通透性强，养分分解快，受积水和季节性积水的影响，耕地养分被迅速淋失，造成目前耕地土壤养分含量较低，某些季节性积水区出现盐碱化，加大了治理难度。古冶区有一处采煤沉陷土地复垦示范区，总面积为 1100.89hm<sup>2</sup>，分为 4 个片区，2002~2003 年进行土地复垦工程分区施工，之后，2004~2009 年土地效益逐年提高，2009 年达到了一个基本稳定的水平，跟踪调查至 2014 年，土地复垦效益实现了基本稳定的输出和显现。

为评价示范区各年的土地复垦效益，需要对各评价指标进行量化计算，并和复垦前的状况（2001 年）进行对比，示范区复垦前后的地类变化见表 2。工程完成后，原有的塌陷斜坡旱地变成了水浇地，塌陷积水坑变成了养殖水面，园地、林地、沟渠、道路重新进行了规划布置。建设后的农业示范区耕地总面积 765.44hm<sup>2</sup>，新增耕地 158.06hm<sup>2</sup>，新增林果用地 97.31hm<sup>2</sup>（其中果园

50.87hm<sup>2</sup>, 经济林 46.44hm<sup>2</sup>), 建设养殖水面 213.34hm<sup>2</sup>, 土地利用情况详见表 3, 复垦后项目区的部分状况见图 2 和图 3。

通过引用、调查和计算, 各个评价指标在复垦

表 2 示范区复垦前后地类变化情况

地类	耕地	果园	林地	交通用地	沟渠	坑塘	沉陷地	荒草地	沙地	其他未利用地	合计
复垦前	607.38	36.04	1.02	8.00	11.89	204.33	178.08	13.19	4.26	36.70	1100.89
复垦后	765.44	50.87	46.44	11.43	13.37	213.34	0	0	0	0	1100.89
增减变化	158.06	14.83	45.42	3.43	1.48	9.01	-178.08	-13.19	-4.26	-36.70	0

表 3 示范区土地利用结构

项目区	耕地	果园	林地	交通用地	沟渠	养殖水面	合计
I 片区	166.81	33.33	33.31	2.15	3.27	17.33	256.20
II 片区	182.67	0	3.02	3.36	4.66	1.77	195.48
III 片区	184.07	0	4.25	2.85	3.17	22.33	216.67
IV 片区	231.89	17.54	5.86	3.07	2.27	171.91	432.54
总计	765.44	50.87	46.44	11.43	13.37	213.34	1100.89
占总面积%	69.53	4.62	4.22	1.04	1.21	19.38	100.00

前和复垦后的情况见表 4, 表中的数据通过引用、调查或计算而来, 资料来源为当地的经济统计年鉴、土壤资源和区划调查、该示范区的设计验收报告等; 农林牧副渔年总产量和耕地年产量用年产值来衡量。



图 2 复垦后示范区耕地



图 3 复垦后示范区精养鱼塘

3.2 隶属度的确定

根据评价指标隶属度的确定方法, 本次采用调查问卷的方式, 将表 4 中的数据, 整理成调查问卷反馈给各个专家 (19 位专家), 请专家对于示范区各指标复垦前后的状况分别进行 5 级评判 (优秀、良好、一般、较差、很差), 然后根据各位专家的评分, 做模糊统计分析计算, 得到各指标的隶属度, 建立各评价指标隶属度矩阵。

复垦前评价指标隶属度矩阵见表 5, 复垦后评价指标隶属度矩阵见表 6。

表 4 示范区复垦前后各效益评价指标情况

准则层	评价指标	复垦前 (2001 年)	复垦后 (2010 年)	土地复 垦效益
经济 效益	农林牧副渔年总产量/万元	173.170	776.660	603.490
	耕地年产量/万元	153.060	450.080	297.020
	复种指数/%	100.000	200.000	100.000
	价格水平	1.000	1.606	0.606
生态 效益	林草覆盖率/%	4.564	8.839	4.275
	有效土层厚度/cm	10.000	30.000	20.000
	土体结构	A, C 两层	O, A, C 三层	O 层
	有机质/%	1.562	2.036	0.474
	全 N 含量/%	0.068	0.137	0.069
	速效 P/%	0.00046	0.00535	0.00489
	速效 K/%	0.00858	0.012	0.00342
	土壤侵蚀模数/ (t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	3000.000	1000.000	-2000.000
	容重/(g · cm <sup>-3</sup> )	1.400	1.350	-0.050
	质地	壤土, 盐碱化严重	壤土, 轻微盐碱化	-
	水土流失治理率/%	39.000	64.000	25.000
	植物多样性/种	102.000	120.000	18.000
	动物多样性/种	19.000	21.000	2.000
	微生物类群数量/ (×10 <sup>5</sup> 个 · 克干土 <sup>-1</sup> )	712.550	803.710	91.160
	景观生态效果	-	-	-
	防护林布置/hm <sup>2</sup>	0.000	21.420	21.420

续表 4

准则层	评价指标	复垦前 (2001 年)	复垦后 (2010 年)	土地复 垦效益
社会效益	机井/眼·进尺/m	9/1890	68/16030	58/14140
	输水管道/km	0.000	83.460	83.460
	变压器/台	0.000	26.000	26.000
	高压线/低压线/km	0/0	7.85/22.14	7.85/22.14
	田块规整程度	不规则 21 块	规整 53 个方形	—
	精养鱼塘/粗放养殖/(个·hm <sup>-2</sup> )	0/0	57/213.34	57/213.34
	道路密度/(km·hm <sup>-2</sup> )	8.000	11.430	3.430
	沟渠密度/(km·hm <sup>-2</sup> )	23.780	26.740	2.960
	撂荒面积/hm <sup>2</sup>	232.230	0.000	232.23
	耕地面积/hm <sup>2</sup>	607.380	765.440	158.06

表 5 复垦前评价指标隶属度矩阵

准则层	优秀	良好	一般	较差	很差
$P_{v1}^{2001}$	0.000	0.000	0.263	0.684	0.053
	0.000	0.000	0.211	0.684	0.105
	0.000	0.000	0.526	0.368	0.105
	0.000	0.105	0.632	0.263	0.000
$P_{v2}^{2001}$	0.000	0.000	0.684	0.263	0.053
	0.000	0.000	0.737	0.211	0.053
	0.000	0.158	0.526	0.316	0.000
	0.211	0.526	0.263	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.158	0.842	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.105	0.895
$P_{v3}^{2001}$	0.000	0.000	0.211	0.737	0.053
	0.000	0.000	0.000	0.105	0.895
	0.263	0.737	0.000	0.000	0.000

表 6 复垦后评价指标隶属度矩阵

准则层	优秀	良好	一般	较差	很差
$P_{v1}^{2010}$	0.000	0.526	0.368	0.105	0.000
	0.000	0.474	0.474	0.053	0.000
	0.474	0.526	0.000	0.000	0.000
	0.211	0.579	0.211	0.000	0.000
$P_{v2}^{2010}$	0.632	0.263	0.105	0.000	0.000
	0.105	0.632	0.263	0.000	0.000
	0.263	0.737	0.000	0.000	0.000
	0.105	0.737	0.158	0.000	0.000
	0.632	0.368	0.000	0.000	0.000
	0.105	0.737	0.158	0.000	0.000
$P_{v3}^{2010}$	0.211	0.789	0.000	0.000	0.000
	0.684	0.263	0.053	0.000	0.000
	0.158	0.842	0.000	0.000	0.000

#### 4 评价模型及分值计算

根据前文已经计算出的各指标权重,结合上述各指标隶属度矩阵,可建立经济效益、生态效益、社会效益的模糊综合评价模型,并进行模糊运算。

为了便于对示范区复垦前后的土地效益进行比较,真实客观地反映土地复垦所产生的效益,在运用多层次模糊综合评价法对土地复垦效益从低层到高层逐层进行评价,得到各层次模糊运算结果的基础上,再引入等差法(优秀、良好、一般、较差、

很差)设定工程评价分建立评价标准分值函数<sup>[1]</sup>:  
 $F = [f_1, f_2, f_3, f_4, f_5]^T = [100, 80, 60, 40, 20]^T$

然后运用 Yaahp 软件对土地复垦前后示范区内的土地的经济效益、生态效益、社会效益进行计算,土地效益分值为权重矩阵×隶属度矩阵×评价标准分值函数矩阵,结果如下:

复垦前:

$$Q_{v1}^{2001} = [0.0945 \quad 0.0339 \quad 0.0145 \quad 0.0571] \cdot P_{v1}^{2001} \cdot F = 9.553$$

$$Q_{v2}^{2001} = [0.0920 \quad 0.0387 \quad 0.0307 \quad 0.1713 \quad 0.0488 \quad 0.0174] \cdot P_{v2}^{2001} \cdot F = 24.701$$

$$Q_{v3}^{2001} = [0.2286 \quad 0.1143 \quad 0.0571] \cdot P_{v3}^{2001} \cdot F = 17.261$$

复垦后:

$$Q_{v1}^{2010} = [0.0945 \quad 0.0339 \quad 0.0145 \quad 0.0571] \cdot P_{v1}^{2010} \cdot F = 14.651$$

$$Q_{v2}^{2010} = [0.0920 \quad 0.0387 \quad 0.0307 \quad 0.1713 \quad 0.0488 \quad 0.0174] \cdot P_{v2}^{2010} \cdot F = 33.417$$

$$Q_{v3}^{2010} = [0.2286 \quad 0.1143 \quad 0.0571] \cdot P_{v3}^{2010} \cdot F = 34.587$$

由上可知,复垦前的土地效益分值为 51.515,属“一般”级别;复垦后的土地效益分值为 82.655,属“优秀”级别。2010 年度的土地复垦效益即 2010 年的土地效益减去 2001 年的土地效益:  
 $Q = Q^{2010} - Q^{2001} = [5.098, 8.716, 17.326]$ ,  
 即 2010 年度示范区土地复垦效益分值体现为经济效益 5.098,生态效益 8.716,社会效益 17.326,综合效益 31.14。

#### 5 土地复垦效益分析

一般地,生态效益和社会效益是无形的,只可以通过定性描述的方式对其衡量。由于以上指标权重都是相对于综合效益  $U$  选取的,因此土地复垦效益的分值可以作为经济效益、生态效益、社会效益相对大小的参考,因此可以通过计算经济效益的方式来对生态效益和社会效益实现货币上的量化。

土地复垦经济效益的计算采用农林牧副渔年总产量相对于复垦前的增量来进行。通过跟踪调查数据,2004–2014 年的经济效益分别为 99.351 万元、



191.895 万元、301.552 万元、397.465 万元、504.228 万元、594.865 万元、603.490 万元、620.552 万元、615.337 万元、630.856 万元、633.428 万元,即经济效益逐年递增,在 2009 年时(即复垦工程完成后 6 年)达到 594.865 万元,之后逐渐稳定。按照比例一致性原则,估算各年度的生态效益、社会效益和综合效益,其结果见表 7 和图 4。

表 7 示范区各年度土地复垦效益 万元

年度	经济效益	生态效益	社会效益	综合效益
2004	99.351	169.86	577.31	846.52
2005	191.895	328.08	1115.07	1635.05
2006	301.552	515.56	1752.28	2569.39
2007	397.465	679.54	2309.61	3386.62
2008	504.228	862.07	2930.00	4296.30
2009	594.865	1017.03	3456.68	5068.57
2010	603.490	1031.78	3506.80	5142.06
2011	620.552	1060.95	3605.94	5287.44
2012	615.337	1052.03	3575.64	5243.01
2013	630.856	1078.57	3665.82	5375.24
2014	633.428	1082.96	3680.76	5397.15

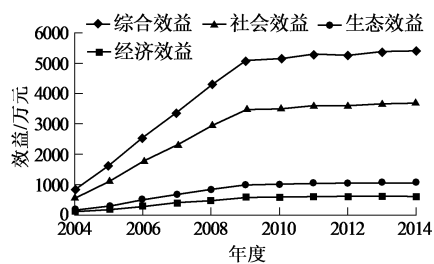


图 4 年度土地复垦效益

该示范区建设总投资 2344.21 万元(国家拨款和地方配套),其中,Ⅰ片区投资 660.86 万元,Ⅱ片区投资 451.51 万元,Ⅲ片区投资 532.79 万元,Ⅳ片区投资 699.05 万元。各年度累计的土地复垦经济效益、综合效益与总投资之间的关系见图 5。

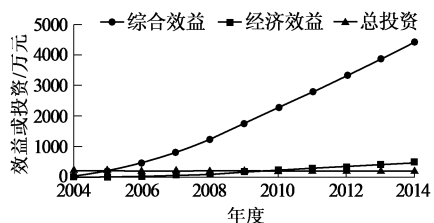


图 5 年度累计土地复垦效益

由图 5 可知,从综合效益看,该示范区复垦工程在 2005 年即收回了投资成本;从经济效益看,到 2010 年收回投资成本,资本回收期为 7a 左右。2010 年之后,土地复垦效益逐年以微弱的数值增加或减少,土地复垦效益逐年累计总和不断增加。

综上所述说明示范区土地复垦工程的实施,为当地带来了巨大的经济效益、生态效益、社会效益,该复垦工程的实施总体上是成功的,随着时间的推移,复垦工程必将为当地带来更大的效益。

## 6 结论与展望

(1) 通过建立土地复垦效益评价指标体系、确定指标权重和隶属度矩阵,并引入评价标准分值函数,可以计算经济效益、生态效益、社会效益的分值。经济效益按照跟踪调查的农林牧副渔年总产量相对于复垦前的增量来统计和计算,按照比例一致性原则可以实现土地复垦效益的完全量化。

(2) 土地复垦效益是一个逐渐显现的过程,并逐步收回投资成本,示范区内土地复垦效益 6a 达到稳定值,资本回收期为 7a。

(3) 评价指标体系的建立、指标权重的确定等针对示范区的实际情况采用专家咨询和打分的方式进行,带有一定的主观性和地域限制性;生态效益、社会效益的估算是基于三者比例基本稳定的基础上进行的,因此,这种土地复垦效益量化方法的精度和推广应用有待检验。

## [参考文献]

- [1] 邹彦岐. 矿区土地复垦效益评价研究——以平朔矿区为例 [D]. 北京:中国地质大学(北京), 2009.
- [2] 陈新生,王巧妮,张智光. 采煤沉陷地复垦模式综合效益的评价研究 [J]. 地质学刊, 2009, 33 (2): 174-178.
- [3] 白中科,等. 工矿区土地复垦与生态重建 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [4] 王媛玲,赵庚星,李占军,等. 土地整理效益模糊综合评价研究 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2008, 9 (1): 143-147.
- [5] 李敏,赵小敏,龚绍琦,等. 土地整理中土地经济效益分析 [J]. 江西农业大学学报, 2003 (4): 141-142.
- [6] 何国清. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1991.
- [7] 王巧妮,陈新生,张智光. 基于综合效益评价的采煤塌陷地复垦模式的设计 [J]. 中国煤炭, 2009, 35 (1): 89-92, 86.
- [8] 岳波. 吉林省西部土地整理重大项目综合效益评价研究 [D]. 长春:吉林大学, 2009.
- [9] 王吉祥. 矿区土地复垦模式研究 [D]. 开封:河南大学, 2013.
- [10] 邹彦岐. 矿区土地复垦效益评价研究 [D]. 北京:中国地质大学(北京), 2009.
- [11] 贾芳芳. 土地整理效益评价研究 [D]. 北京:北京林业大学, 2007.

[责任编辑:邹正立]