

矿区土地复垦工程可垦性分析

胡振琪¹, 赵艳玲¹, 赵 珊¹, 徐雪林², 巴特尔²

(1. 中国矿业大学北京校区土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083; 2 国土资源部土地整理中心, 北京 100035)

摘 要: 该文论述了土地复垦规划中可垦性分析的重要性, 阐述了可垦性分析的含义和内容, 提出可垦性分析的一般程序和多因素综合评价法, 即在选定评价单元的基础上, 选择可垦性分析的主导因素, 采用层次分析法给主导因素打分, 采用乘法模型计算评价单元的可垦性综合分值, 从而得到待复垦区域的可垦性分析值, 通过量化的综合分值可以确定待复垦区域的可垦性。并以山东某矿采煤塌陷地为例进行分析, 经验证该方法得出的评价结果能够反应待复垦区的实际情况, 为土地复垦规划设计提供参考。

关键词: 土地复垦; 可垦性; 采煤塌陷; 土地复垦规划

中图分类号: F311

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)04-0264-04

0 引 言

土地复垦是对因采矿等人为和自然因素毁坏或退化的土地采取因地制宜的整治措施, 使其恢复到所期望状态的行动和过程, 它相对破坏土地而言。土地的破坏必将引起土壤条件的破坏并引发许多环境问题, 因此, 破坏土地的复垦已日益引起世界各国的重视。

破坏土地的复垦存在可垦或不可垦以及复垦工程难易程度不同的问题, 我们将对破坏土地所采取复垦工程措施的风险性与可行性进行的分析称之为可垦性分析^[1]。

在我国土地复垦工作中, 由于许多工程未进行可垦性分析或可垦性分析不足, 使土地复垦规划设计带有强烈主观性, 造成复垦工程失败或效益低下的例子屡见不鲜。在某些地方, 由于缺乏沉陷预计, 出现了复垦后二次塌陷, 复垦的土地再次沉入水中。如此不仅浪费了大量人力物力, 也严重影响了政府形象。所以, 在复垦规划前, 开展系统的可垦性分析是非常有必要的。

目前我国关于可垦性分析的研究较少^[1-6], 缺乏系统性研究; 国外对这一方面的相关研究报道也鲜见。

本文根据当前土地复垦相关研究成果, 结合山东省兴隆庄矿采煤塌陷地土地复垦实例, 提出土地复垦可垦性分析的研究内容与方法。

1 可垦性分析的作用与研究方法

可垦性分析是基于待复垦区土地破坏现状、区域地质采矿条件和采取复垦措施的风险性分析进行复垦工程的可行性评价, 是土地复垦规划中特有的环节^[1]。

可垦性分析的主要作用在于:

科学地确定复垦区域的先后顺序和复垦后土地的利用方向, 为科学合理地制定区域或专项土地复垦规划服务; 可垦性分析结果是确立复垦项目立项与否的依据; 可垦性分析结果是选择复垦技术工艺的基础; 例如, 对未稳定的区域可安排在复垦的最后工期内, 也可设定特殊的工序和工程措施进行复垦。所以, 依据可垦性分析可有效地选择适宜的复垦技术。

可垦性分析的研究方法:

(1) 选定评价单元: 利用破坏现状图图斑作为评价单元, 其优点在于评价单元的界限在地面上与地块分部完全一致, 便于评价成果的运用;

(2) 选定评价单元可垦性分析的主导因素集 A , 并对因素赋权重 P 。由于土地复垦区土地破坏程度不均一, 采煤作业对土地的影响具有不确定性, 而任何一种复垦工程措施都具有特定的应用范围, 同时考虑土地复垦工程对环境的影响, 选定可垦性分析的主导因素集为: $A = \{\text{破坏程度, 土地稳定性分析, 工程手段适宜性评价, 环境影响评价}\}$, 主导因素的权重采用专家打分法确定;

(3) 根据实地调查, 对每一评价单元的主导因素进行评价;

(4) 对每一评价单元进行可垦性综合分析;

(5) 基于每一评价单元的可垦性评价结果, 确定待复垦区的综合可垦性分析结果 (S) 。

2 复垦区可垦性分析

2.1 土地破坏程度的调查与评价

土地破坏程度的调查是进行可垦性分析的基础, 本文提出评价方法采用多因素综合评价法。

2.1.1 土地破坏机制分析

采煤土地破坏由多种地质采矿因素引起, 其形式和程度受两方面影响, 一是煤炭资源的赋存条件, 二是煤炭开采的人为条件。

井工开采中, 煤炭的埋深与可采层厚度, 可采煤层的顶底板性质, 开采区水文地质条件和开采规模的不同将导致呈现不同的破坏特征。井工开采造成的各种土地

收稿日期: 2003-09-20 修订日期: 2004-06-15

基金项目: 国家自然科学基金(40071045, 49701010); 教育部跨世纪优秀人才计划资助

作者简介: 胡振琪, 教授, 博士生导师。美国露天采矿与土地复垦学会“终身会员”, 国际土地复垦家联合会协调委员会委员, 英国 Exeter 大学荣誉研究员。主要从事土地复垦与生态重建教学及研究。北京 中国矿业大学北京校区土地复垦与生态重建研究所, 100083。huzq@cumt.edu.cn

破坏见表 1。

表 1 井工开采土地破坏原因、特征和危害
Table 1 Reason, characteristics and ham of land damage due to underground m ining

破坏形式	物理特征	产生原因	发生范围	生态危害
下沉盆地	沉降区域、坡地、季节或常年性积水	地下物采空, 地表连续变形	采空区上方	降低甚至丧失土地生产
裂缝及台阶	堑沟、裂缝	地表下沉时引起的拉伸变形	下沉盆地的外边缘, 平行于采空边界	力, 水土资源流失, 农田
塌陷坑	漏斗状	地下物采空, 地表断裂变形	急倾斜煤层开采区	绝产, 建筑物或道路破坏

由表 1 可见, 采煤土地破坏机制分析主要有 3 方面^[5]: ①开采沉降区的岩石、土壤特性分析, 塌陷区的土壤理化特性及生物特性, 矿区煤矸石的地球化学特性, 潜在的含肥量, 土壤及煤矸石的腐殖质含量(活性有机质); ②沉降盆地积水及附近水源的水质分析; ③沉降地充填复垦的承载力分析。通过承载力试验和充填物料的特性分析, 决定相应充填措施。

露天采煤的破坏是使原有的土体和岩层经过剧烈的扰动混合后, 被松散堆置在内外排土场, 形成 30~35 以上的陡坡, 很容易受到集中的暴雨径流和侵蚀, 产生剧烈的水土流失。边坡不仅受本身产生的径流影响, 也受平盘汇流倾斜的影响, 产生面蚀和沟蚀, 更严重的发生坡面泥石流, 崩塌或滑坡现象, 此外, 由于我国露天

矿大部分处于生态脆弱带干旱的气候环境中, 植被稀少, 地表岩土颗粒极易受风力侵蚀搬运, 产生风蚀, 对植被生长危害极大。对露天矿破坏机制的分析应调查堆积物组成结构、堆积形状、边坡角度、坡向、降水量和强度、侵蚀模数、土壤盐分含量, 岩土污染程度, 为评价提供理论依据。露天开采主要破坏的原因、特征和危害见表 2。

对土地破坏机制的分析涉及多学科的综合内容, 除了上面提到的主要内容外, 还应包括对复垦区其它自然环境、社会经济环境、破坏土地利用现状、煤炭开采状况等分析, 从而摸清待复垦土地的数量、分布、复垦潜力等, 为规划提供依据。土地破坏机制的综合调查内容见表 3。在文字叙述的同时, 汇成表格, 并形成图件。

表 2 露天开采土地破坏原因、特征和危害
Table 2 The reason, characteristics and ham of land damage due to open m ining

破坏形式	物理特征	产生原因	发生范围	生态危害
土壤沙化	浅层表土表面化、颗粒粘性降低	气候条件、大面积扰动	排土场	水分无效损失, 土壤贫瘠, 大
土壤盐渍化	垂面自下而上、盐分逐渐增加	盐分汇集、抬高地下水位	以排土场为中心, 辐射向外扩展	气、周围的水系、土壤、村庄、
水土流失	地表径流、蒸发、排土平盘表层运移	剥离物疏松、易受风蚀、水蚀	排土平盘表层, 边坡, 台阶坡面	植被都受到一定程度的污染

表 3 塌陷区土地破坏机制的综合调查内容
Table 3 Investigation contents of land damage factors of m ining subsidence

土地破坏调查项目		具 体 内 容
自然 环境	气候	温度、风速、风向、降水量、自然灾害
	水文和水文地质	地下水和地表水位、水质污染
	地质地貌	岩石组成、抗压、抗拉、抗剪强度、岩层与地表移动、坡度、坡向
	土壤	土壤理化特性、生物特性、潜在含肥量、腐殖质含量
	生物	植被、动物的种群结构和分布
社会 经济	社会	人口数量及构成、教育水平、劳动力比例
	经济	产业结构、科技水平
	政策	土地所有制、地方土地管理政策、土地利用总体规划
破坏土地利用现状		待复垦土地面积、地表破坏形式、常年积水和季节性积水面积、低产田、绝产田面积、区位交通、给排水与供电条件
煤炭开采状况		埋深与可采层厚度、可采煤层顶地板性质、开采规模、万吨煤塌陷率、开采沉降参数、企业服务年限

2.1.2 土地破坏程度的分类评价

1) 土地破坏程度评价因素的确定及分类标准

由于采矿破坏的土地多为农业用地, 且复垦方向多是农业用途, 因此选择评价因素应以农业限制因子为主。包括地表积水状况、坡度、地下水埋深、排灌设施破

坏状况、土壤理化性质、土壤养分含量等。由于水平地域之间无法进行横向比较, 因此应以采矿前相应地段作为对照。郑南山(1998)等依据徐淮矿区开采破坏特点, 选取高潜水位矿区开采沉降对耕地破坏程度指标并进行程度分级^[7], 见表 4。

表 4 高潜水位矿区开采沉降对耕地破坏程度分类指标
Table 4 Classification of subsidence damage degree in high underground water-table area

破坏程度	坡度/(°)	地下水埋深/m	土壤盐分/%	积水状况	灌排条件	土壤退化系数
无明显影响	< 1	≥ 2.5	< 0.1	无	良好	1.0~0.9
轻度	1~3	2.0~2.5	0.1~0.3	临时积水	有保证	0.9~0.7
中等	3~7	1.0~2.0	0.3~0.5	季节性积水	不良	0.7~0.5
严重	> 7	< 1.0	> 0.5	常年积水	极差	< 0.5

其中土壤退化系数是反映开采沉陷前后耕地土壤理化特性退化程度的指标。根据胡振琪提出的土壤生产力模糊指数模型^[7],可建立土壤退化系数模型为

$$S_d = \frac{FPI_{Post}}{FPI_{Pre}}$$

(1)

式中 S_d ——土壤退化系数; FPI_{Post} ——采前土壤生产力水平; FPI_{Pre} 采后土壤生产力水平。当 $FPI_{Post} \geq FPI_{Pre}$ 时 $S_d = 1_0$

2) 破坏程度的评价方法

由于有关指标的模糊性,评价开采沉陷破坏程度可采用模糊综合评判法,步骤如下^[7]:首先,建立因素集、权重集和评价集;其次,建立隶属函数,求模糊关系矩阵;第三,进行模糊综合评判;第四,用最大隶属度法处理评价指标。

2.2 土地稳定性分析

土地稳定性分析是对待复垦区域的安全性进行科学论证,是可垦性分析的关键。鉴于土地复垦对象破坏原因和形态的多样性、破坏过程的动态性,因此,土地稳定性分析的要求也不同。对于井工开采地区,主要对采煤塌陷地进行稳沉性分析,即在开采情况调查的基础上,运用开采沉陷理论和预计方法进行稳沉性评价,其主要方法步骤是:

- 1) 调查采煤情况:确定正在开采和将开采的区域和开采工作面,收集有关地质采矿资料和开采计划;
- 2) 采煤塌陷预计模型及参数的选取:依据当地岩移观测资料和国内相似矿区岩移观测资料分析,选用概率积分法进行沉陷预计^[8]。地表沉陷的预计内容包括:预计地表特定位置的下沉、倾斜、曲率、水平移动和水平变形的最大值;预计沿地表下沉盆地的走向和倾向主断面上的移动和变形分布;预计地表下沉盆地内任意点的下沉值及该点沿指定方向的倾斜、曲率、水平移动、水平变形、扭曲和剪应变值;预计多工作面煤层开采时,对地表移动变形的综合影响^[9]。

对采石场复垦、煤矸石山复垦和露天矿排土场复垦,土地稳定性分析就是评价各种边坡的稳定性。依据边坡的稳定性确定复垦工程采取的边坡整治措施。

2.3 环境影响评价

复垦工程对环境的影响范围广,涉及到自然社会经济系统的各方面。由于各种复垦手段和复垦方案对环境产生的影响不尽相同,因此应分别对其进行环境影响评价。根据复垦工程对各环境因子的影响性质,和不同环境因子之间的相互关系,建立复垦环境影响评价系统,从而对项目有可能造成的生态风险做出预测。

评价内容包括大气、地表水、地下水、固体废弃物、污染物排放等。评价方法可以采用二级因子权重综合评价^[10]。一级评价体系:因子集,主要影响因子有大气质量、地表水质量、地下水质量、土壤质量、农作物质量、景观质量;对应有权重集 $Q = \{q_1, q_2, \Lambda, q_n\}$; 因子 b_i 的受影响程度为 $f_i = \{\text{严重有害, 中度有害, 轻度有害, 微弱有害}\}$, 则一级环境影响评价值 w_i 为

$$W_i = \sum_{i=1}^n q_i \cdot f_i$$

(2)

二级评价体系:是针对因子集 B 中的各个元素逐一进行量化评价得到 f_i 值,方法与一级评价基本相同。在实施时,应首先进行二级评价,分别对大气、水体、土壤的受影响程度进行分别计算后,再进行综合,得到环境影响综合评价值。

2.4 工程适宜性评价

由于复垦需要工程手段的介入,进行各种复垦手段的适宜性评价是可垦性分析的一项特色内容。根据我国复垦实践,常用的几种采煤沉陷地复垦方法^[11]:

- 1) 疏排法:常用于潜水位不太高的沉陷区,通过建立排水系统,降低潜水位和疏排积水;
- 2) 充填法:用某种材料充填沉陷区复田,如露天矿剥离物、煤矸石、粉煤灰、城市垃圾和江河湖泥。要求塌陷区附近有充足的充填材料,且经过无害化处理;
- 3) 挖深垫浅法:挖掘沉陷深部的土方充填到沉陷浅部,使沉陷部加深以后足以形成鱼塘,沉陷浅部土地达到期望的高程,用于农业种植。

2.5 评价单元可垦性分析

根据上述对评价单元土地破坏程度、土地稳定性、工程适宜性和环境影响的评价结果,参照表 5 给出的评价因子赋值标准,利用式(3)对评价单元的可垦性进行综合分析。

$$S_{cell} = \sum_{i=1}^4 A_i \cdot p_i$$

(3)

式中 S_{cell} ——评价单元可垦性分析值; A_i ——第 i 主导因素的分值; p_i ——第 i 主导因素的权重。

表 5 可垦性评价参评因子赋值表

Table 5 Values of reclamation feasibility analysis index

参评因子	参评因子赋值			
	100- 75	75- 50	50- 25	25- 0
破坏程度	无明显破坏	轻度破坏, 稍加改良可以利用	中度破坏	重度破坏
稳定性预测	已全部稳定	未稳沉, 但沉陷预计 < 1.5 m	沉陷预计 1.5 ~ 3.0 m	沉陷预计 > 3m
环境影响	有利影响或无有害影响	轻度有害	中度有害	严重有害
工程适宜性	完全满足某项或多项工程实施条件	经过前期准备, 可以满足施工条件	可以采用某项施工措施, 但成本高	无法采用任何工程措施

2.6 待复垦区可垦性的综合分析

根据评价单元的可垦性综合分析结果,利用式(4)计算待复垦区的可垦性。

$$S = (\sum_{i=1}^n S_{cell(i)})/n$$

(4)

式中 S ——复垦区可垦性综合分析值; $S_{cell(i)}$ ——评价单元 i 的可垦性分析值; n ——评价单元数。

3 山东省兴隆庄矿采煤塌陷区可垦性分析实例

山东省兴隆庄矿采煤塌陷区共划分 14 个评价单

元, 根据可垦性评价体系, 由专家确定的权重集为 $P = \{\text{破坏程度, 稳定性预测, 环境影响, 工程适宜性}\} = \{0.25, 0.3, 0.25, 0.2\}$ 。通过对塌陷区的土地破坏程度调查与评价, 该区域土地破坏较严重。目前, 开采工作面上方的土地未稳沉, 根据矿山提供的资料, 对该开采工作面上方的土地进行开采沉陷影响预计, 结果为: 地面最大下沉达 2.73 m, 将有 12.33 hm² 土地继续沉陷 2.5 m, 有 12.40 hm² 土地继续沉陷 1.5 m, 有 11.60 hm² 土地继续沉陷 0.5 m。因此, 该区土地稳定性分析结果为中等。塌陷区继续沉陷后将出现常年性积水区域, 对本区有限的土地资源形成新的危害; 其他区域塌陷后地表标高仍高于地下潜水位, 不会出现积水, 但由平坦的耕地变为坡地, 尚未发现有污染性问题, 工程措施适宜。具体可垦性分析值见表 6。

表 6 采煤塌陷地可垦性分析因子赋值表

Table 6 Values of reclamation feasibility analysis for subsidence land

评价单元	评价因子赋值				综合分析值
单元编号	破坏程度	稳定性预测	环境影响	工程适宜性	$S_{cell(i)}$
1	50	50	90	90	70.50
2	60	65	95	80	57.00
3	40	50	60	85	54.75
4	45	50	50	80	57.25
5	50	55	45	85	78.00
6	70	75	80	90	79.50
7	70	80	80	90	56.50
8	40	35	80	80	52.50
9	30	35	70	85	74.75
10	75	60	80	90	71.00
11	60	65	70	95	43.75
12	25	20	50	95	40.50
13	30	20	60	60	64.50
14	90	90	20	50	68.00

根据式 (4) 计算得到, 该地区可垦性综合分值为 62, 综合分析其可垦性为中等, 要求合理规划, 特别是未稳定区域复垦的规划设计需认真研究。根据上述评价方法, 可以求得小区域内或整个项目区的可垦性分析值。经研究, 对未稳定区主要作为耕地和鱼塘, 基于塌陷预

计, 提前将预计塌陷区的土壤取出, 地面标高设计也充分考虑塌陷深度, 对塌陷最深区先设计为鱼苗塘, 待稳定后再合并为精养鱼塘。

4 结 论

土地复垦可垦性分析是进行土地复垦工程成败的关键。复垦工程必须在可垦性评价结论为可行的前提下进行, 否则, 出现二次破坏情况, 造成不必要的损失。可垦性分析是一项系统工程, 涉及到待复垦区域社会、经济、环境等多方面因素的影响, 本文在充分分析破坏土地特性的基础上, 利用多因素综合评价法给出了可垦性分析的量化分析方法, 经过实例验证, 该方法能够反映待复垦区的实际情况, 可以为复垦规划设计提供依据。

[参 考 文 献]

[1] 陈胜华, 胡振琪 试论土地复垦可行性研究的含义和方法[J] 煤矿环境保护, 2000, 14(3): 11- 14

[2] 胡振琪 关于土地复垦若干基本问题的探讨[A] 煤矿环保优秀论文集[C] 北京: 煤炭工业出版社, 1999

[3] 胡振琪 关于土地复垦一般程式的研究[A] 第四次全国采矿学术会议论文集[C] 1993, 817- 820

[4] 胡振琪, 刘海滨, 刘 祁, 等 试论开采沉陷地土地复垦规划设计[J] 矿山测量, 1994(2): 32- 34

[5] 胡振琪, 刘海滨 采煤沉陷地土地复垦规划设计的内容深度[J] 煤矿环境保护, 1994, 8(4): 45- 47.

[6] 陈胜华, 李海珍 煤矿区破坏土地资源的调查与评价初探[J] 煤炭技术, 2002, 19(4): 49- 51

[7] 郑南山, 胡振琪, 顾和和 煤矿开采沉陷对耕地永续利用的影响分析[J] 煤矿环境保护, 1998, 12(1): 18- 21.

[8] 何国清, 杨 伦, 等 矿山开采沉陷学[M] 北京: 中国矿业大学出版社, 1991.

[9] 张 瑜, 吴立新 论地表塌陷预测在矿区土地复垦中的应用[J] 煤, 1997, 6(3): 50- 52

[10] 郭广礼, 何国清, 等 煤矿开采沉陷对环境影响的预测与评价[J] 矿山测量, 1995, (1): 27- 29

[11] 胡振琪 采煤沉陷地的土地资源管理与复垦[M] 北京: 煤炭工业出版社, 1996

Analysis of reclamation feasibility in land reclamation planning

Hu Zhenqi¹, Zhao Yanling¹, Zhao Shan¹, Xu Xuelin², Bate'er²

(1. The Institute of Land Reclamation and Ecological Reconstruction of China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. Land Consolidation and Rehabilitation Center of Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: This paper introduced the necessity of reclamation feasibility analysis (RFA) in land reclamation planning and presented the concept and contents of RFA. The general model and comprehensive evaluation method of RFA with many indexes were developed. The major procedures are as follows: selecting master indexes based on evaluation cells; giving every index a value by AHP method; comprehensively evaluating every assess cells by multiplicative model and producing the value of RFA. A case study in Yanzhou city was also presented based on the developed RFA method. The result was satisfied to meet the requirements of land reclamation planning.

Key words: land reclamation; reclamation feasibility analysis; mining subsidence; land reclamation planning