

# 煤矿区井采土地复垦成本评价指标体系构建

郭成久, 朱淼淼, 苏芳莉

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:**以煤矿区井采为研究对象,建立了以自然环境条件、采矿条件、煤矿赋存条件3项为约束层,地形坡度、土地利用规划、煤层厚度等11个影响因子构成指标层的土地复垦成本评价指标体系,采用德尔菲法、层次分析法及YAAHP(V6.0)软件确定了各项指标因子的权重。通过权重比较得出约束层的影响程度:煤矿赋存条件>采矿条件>自然环境条件,煤矿赋存条件中影响程度依次是:煤层厚度>煤层倾角>深厚比;采矿条件中各因子影响程度依次为:顶板管理方法>采煤工艺>采动程度;在自然环境条件下,土地利用规划>有效土层厚度>年降水量=土壤质地>地形坡度。该评价指标体系的完善,为煤矿井采复垦成本修正系数的确定奠定基础。

**关键词:**土地复垦成本;评价指标体系;煤矿区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)01-0279-05

中图分类号: TD88

## Evaluation Index System Construction of Reclamation Cost for Coal Mine Land Destroyed by Underground Mining

GUO Cheng-jiu, ZHU Miao-miao, SU Fang-li

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

**Abstract:** In the improved index system, underground coal mining is chosen as the research object. Such conditions as natural environment, mining and coal mine occurrence constitute the constrained layer and eleven impact factors, such as terrain slope, land exploitation planning and coal seam thickness, constitute the index layer. Delphi and analytic hierarchy process (AHP) methods and YAAHP(V6.0) software are employed to determine the weight of each index. The weight comparison shows that in order of decreasing weight, the three compared conditions are the coal mine occurrence, mining and natural environment; the coal mine occurrence conditions are the coal seam thickness, dip angle of coal seam and ratio of crack depth; the mining conditions are the roof management method, coal mining technology and mining degree; and the natural environment conditions are the land exploitation planning, effective thickness of soil layer, precipitation, soil texture and slope of the terrain. The improved index system lays a foundation for determining the modified coefficient of the reclamation cost for the land destroyed by underground coal mining.

**Keywords:** land reclamation cost; evaluation index system; coal mine land

煤炭开采过程中不可避免地造成矿井水外排、地表沉陷、废弃物矸石排放堆积等生态环境问题,因此,对煤炭区进行土地复垦是使煤矿区生态环境得到可持续发展的关键。对土地复垦成本进行评价可以准确了解影响复垦成本因素,针对重要的影响因素可以通过技术等方面进行改善,有针对性地进行复垦,实现复垦资金的优化配置。

关于评价指标体系的研究多倾向于环境质量等方面,中国目前关于煤矿区土地复垦成本的相关评价指标体系研究极少,加之其研究涉及到多个学科的不

同领域,因此,对于复垦成本的评价体系和计算方法均没有明确的标准可以参照。卞正富等<sup>[1]</sup>根据复垦经济评价指标的不同,将复垦成本分为I类和II类,II类成本又进一步划分成面积成本和产量成本,在对影响复垦成本的因素详细分析的基础上,介绍了各类成本计算的方法,此研究对复垦成本影响指标的确定具有一定的指导意义。然而文中没有涉及矿山复垦项目经济评价中效益测算、经济评价的方法及参数选取等问题,同时计算过程过于繁琐,不便于使用。程琳琳<sup>[2]</sup>结合不同地区经验值测算工程复垦费用、生物

收稿日期:2013-10-20

修回日期:2013-12-03

资助项目:辽宁省自然科学基金项目“辽宁省典型水土流失区坡耕地土壤养分之流失规律研究”(20102197)

作者简介:郭成久(1964—),男(满族),辽宁省朝阳市人,硕士,教授,主要从事土壤侵蚀规律研究。E-mail:chengjiuguo11@163.com。

复垦费用和其他费用以确定总复垦成本,并以开采煤矿为例确定了不同类不同地区复垦成本每 1 t 矿 4.5~8.5 元,为保证金征收标准提供新的参考,但是仅以复垦成基本农田为前提,煤矿区土地复垦往往是农田、园地、林地等多种模式相结合以达到优化治理的目的,并非单一复垦模式,因而,只研究复垦成基本农田为前提的复垦成本计算方法较为片面,不能作为整个煤矿区开采的复垦成本参照依据。万红梅等<sup>[3]</sup>人根据工程费用、其他费用占治理总费用的百分比建立复垦成本模型,百分比的取值是计算的关键,然而其百分比的取值会随技术改进、社会经济发展等情况变化,如何根据实际情况调整这一标准还有待研究。

肖武等<sup>[4]</sup>建立了土地复垦评价指标体系及成本计算模型,根据煤矿区影响土地复垦成本评价因子的不同确定其相应的土地复垦成本修正系数,再结合复垦面积及单位面积复垦成本,使得计算结果更加准确,也具有实际指导作用。肖武等<sup>[4]</sup>的研究方法为土地复垦成本计算提供了新的思路,但评价指标选取可进一步完善,本文在此研究基础上,采用定性分析和定量研究相结合的方法,拟针对中国井采建立科学合理的土地复垦成本评价指标体系,为煤矿区土地复垦成本计算模型研究提供理论依据。

## 1 土地复垦成本评价指标体系分析

### 1.1 评价对象

煤炭开采包括井工开采和露天开采,这两种开采方式对环境的影响明显不同。中国煤矿区 95% 采用井工开采<sup>[5]</sup>,井工开采会引起地表变形,在高潜水位地区可能形成地表积水区,而在地下水位较深的低潜水位地区,土地破坏形式以地表塌陷为主<sup>[6]</sup>。本文重点研究井工开采的土地复垦成本。

### 1.2 评价指标构建原则

矿区土地复垦成本评价指标体系是科学度量复垦成本必不可少的依据。研究应根据区域的环境特征,以国家或地方的法律、法规为准绳<sup>[7]</sup>。评价指标的选取需达到两个目标:指标体系能准确地反映复垦成本;能为政府管理部门和科研人员把握复垦成本提供依据。所以,评价指标的选取应遵循的原则为:

(1) 科学性和系统性原则。煤矿区土地复垦是一项较为复杂的系统工程,评价指标体系应比较全面地反映煤矿区复垦所需成本,并能充分阐述各个指标间的相互联系,具有涵盖广、系统性强的特点。同时,所选指标能够反映事物的主要特征,数据来源要准确,计算方法要科学,具体指标能够真实反映出煤矿区土地复垦成本。

(2) 不可重复性。每一个评价指标应表示对煤矿区土地复垦成本一个方面的影响程度,各个指标之间应避免反映问题的重复性。

(3) 可得性和适用性。评价指标的选择要考虑中国目前矿业的发展水平,从人力、物力和方法上都要符合中国现有的生产力水平。

(4) 代表性和适用性。井采对土地的破坏形式主要是地表塌陷,因而,在选取指标时应分析导致地表沉陷的关键因素。同时,在制定评价指标体系时,不可能面面俱到,应遵循简洁方便、有效实用的原则,既要保证评价指标的完整性和准确性,又要综合权衡其获取的难易程度,使所取得的数据便于统计。

### 1.3 评价方法

1.3.1 德尔菲法(Delphi) 德尔菲法又称专家打分法<sup>[8]</sup>,是指通过匿名的方式,对所研究的问题以书面的形式征询有关专家的意见,之后对专家意见进行统计、处理、分析和归纳,对一些难以定量分析的因素提出合理估算的方法。德尔菲法特别适用于缺乏历史数据和相关资料,而受人为、社会等因素影响为主的预测研究。经实践证明,采用德菲尔法进行信息的分析及预测,可以很好地揭示研究对象自身规律。本研究主要针对评价标准集及各层次的指标权重的判断采用德尔菲法。

1.3.2 层次分析法 层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)是一种定性定量相结合的决策分析方法,由美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的,它是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程,此方法多应用于多准则、多目标、多层次的非结构化的复杂问题,如地区经济发展方案比较、科学技术成果评比、资源规划和企业人员素质测评等方面。

层次分析法的基本原理是首先将问题层次化,按问题性质和总目标将此问题分解成不同层次,构成一个多层次的的分析结构模型,然后利用较少的定量信息,通过最低层(供决策的方案措施等)相对于最高层(总目标)的相对重要性权值的确定,为解决复杂决策问题提供依据。层次分析法的步骤大致分为明确问题、建立层次结构、建立两两比较的判断矩阵、确定权重及一致性检验。

1.3.3 YAAHP 软件 YAAHP(Yet Another AHP)是一个层次分析法(AHP)软件,提供方便的层次模型构造,判断矩阵数据录入,排序权重计算以及计算数据导出等功能。德尔菲法会在一定程度受主观因素的影响,本文结合 YAAHP 软件能够降低主观因素产生的偏差,得出科学的数据。

本研究利用层次分析法将煤矿区土地复垦成本评价体系按照目标层、约束层和指标层的顺序分成不同的层次结构,使用 YAAHP 软件计算出每一层各元素相对于上一层某元素的权重。

## 2 评价指标体系建立

### 2.1 评价指标系分层

(1) 目标层。评价对象即为土地复垦成本。开采前目标层的评价是计算煤矿区土地复垦成本的基础。

(2) 约束层。约束层是目标层的主要构件,本文将自然环境条件、采矿条件、煤矿赋存条件这 3 个方面作为约束层的 3 个指数。

(3) 指标层。指标层是约束层的组成构件,是煤矿区土地复垦成本评价体系的基本组成单位,是其所属指标系特征的表征。

### 2.2 评价指标的选取及确定

评价指标的各层元素均有其各自的代表意义,且能够全面地反映土地复垦成本这一目标层各方面的基本性质。肖武等<sup>[1]</sup>选取的复垦成本指标尚不够全面,卞正富等<sup>[2]</sup>指出复垦费用受到很多因素的影响如开采矿区的地形地貌、煤层深浅、开采造成的斜坡度、表层土厚度、复垦地的基塘比例等。本文采用德尔菲法得出土地利用规划等几个因素对土地复垦成本影响较大,而在肖武等<sup>[1]</sup>建立的体系中均未体现。本文旨在细化评价指标的选取及确定,完善评价指标体系,参照《土地复垦技术标准》(整理)、《耕地地力调查与质量评价技术规程》(NY/T1634—2008)等相关文件<sup>[9]</sup>,参考各相关学科的实际经验数据,搜集能够影响土地复垦成本的相关指标,定性分析与定量研究相结合确定最终的评价因子。

2.2.1 自然环境条件下影响因子选取与分析 自然环境条件一般包括地质地貌、气候条件、水文条件、土壤等。选取易收集且具代表性的因子如下。

(1) 地形坡度。坡度越大,挖方量越多,工程量越大,直接影响复垦成本。

(2) 土地利用规划。对于不同的土地利用方向,所采取的复垦措施也相应不同,因此,复垦的成本也有所不同。

(3) 年降水量。充足的水源,能够满足当地的植物生长需求,提高成活率;水源不足会导致植物成活率低,如若不符合要求,则需进行补植以达到要求,无疑增加复垦成本。

(4) 土壤质地。土壤质地与土壤通气、保肥、保水状况及耕作的难易有密切关系;土壤质地状况是拟定土壤利用、管理和改良措施的重要依据。

(5) 有效土层厚度。在《土地复垦技术标准》等多个相关技术文件中,都是影响地力的重要评价指标。

(6) 土壤有机质。土壤有机质是土壤固相部分的重要组成部分,尽管土壤有机质的含量只占土壤总量的很小一部分,但它对土壤形成、土壤肥力、环境保护及农林业可持续发展等方面都有着极其重要作用的意义。

(7) 覆土厚度。冯全洲等<sup>[10]</sup>在研究如何提高土地复垦植物成活率的过程中发现通过确定不同生活型植物土地复垦的覆土厚度,能够保证植物成活率。目前相关的实践验证较少,有待增强。

(8) 土壤污染。土壤污染严重的情况下,复垦过程中需要采用生物、化学等方法消除土壤污染后,才能将土壤留作他用。

(9) 土地破坏程度。复垦区土地破坏的主要类型为塌陷,其次为压占,最后为挖损<sup>[11]</sup>,而不同的破坏程度,复垦的难易程度自然不同。

#### 2.2.2 采矿条件下影响因子选取与分析

(1) 顶板管理方法。根据顶板的性质和煤层的厚度等条件来处理采空区的办法。开采过程中对采空区处理方式的不同将直接影响土地塌陷的程度。

(2) 采煤工艺。由于煤层的自然条件和采用的机械不同,完成回采工作各工序的方法也就不同,目前主要的采煤工艺包括炮采、普采、综采等。方法不同,造成地表塌陷的程度自然不同。

(3) 采动程度。取倾向长与采深之比来衡量煤矿区采矿程度,并将其分为极不充分采动、不充分采动、充分采动和超充分采动,采煤工艺和采动程度均从不同方面对土地复垦产生影响。

2.2.3 煤矿赋存条件下影响因子选取 不少学者在研究煤矿开采规模的过程中,都将煤层赋存条件作为关键的分析因素<sup>[12]</sup>。开采规模直接影响土地塌陷程度,因此,根据宋子岭等<sup>[13]</sup>对煤田赋存情况的分析,列出如下影响因子。

(1) 煤层厚度。为便于勘探和开采工作,根据厚度不同可依次分为薄煤层、中厚煤层、厚煤层和巨厚煤层,煤层厚度直接影响挖方量。

(2) 煤层倾角。井下开采按煤层倾角不同分为近水平煤层、缓斜煤层、倾斜煤层和急倾斜煤层,煤层的倾角和厚度是确定煤矿开发方案的重要依据,并且直接关系到工作区煤层可采厚度的确定。

(3) 深厚比。当采深和采厚的比值较大时,地表的移动和变形在空间和时间上是连续的、渐变的,具有明显的规律性,当采深和采厚的比值较小或具有较

大的地质构造时,地表的移动和变形在空间和时间上将是不连续的,移动和变形的分布没有严格的规律性,地表可能出现较大的裂缝或塌陷坑。因此,比值越高,开采的安全性越好。

(4) 下沉系数。深厚比和下沉系数在研究开采对地表沉陷规律及机理过程中均作为主要影响因素<sup>[14]</sup>。由以上得知,充分采动仅是煤炭开采程度之一,鉴于下沉系数在充分采动条件下范围有限,本文更倾向选取深厚比作为赋存条件因子之一。

2.3 评价指标确定

遵循指标选取的原则,结合德尔菲法,选取最具代表性的影响因子,最终确定地形坡度、土地利用规划、年降水量、土壤质地、有效土层厚度、顶板管理方法、采煤工艺、采动程度、煤层厚度、煤层倾角、深厚比这 11 个准则层指标,结合 YAAHP 软件,建立复垦成本评价指标体系模型(图 1)。

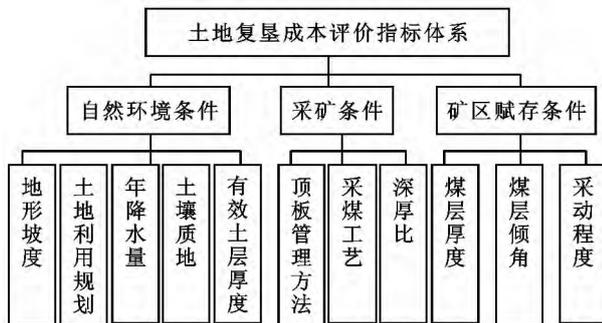


图 1 土地复垦成本评价指标体系

2.4 权重计算与分析

根据层次分析法的基本原理,按照 1—9 标度(表 1),由专家对各层次中的指标权重做出判断,应用 YAAHP 软件构建判断矩阵,计算结果并验证一致性。

表 1 1—9 比例标度

标度值	含义
1	表示两个元素相比,对上一层因素的重要性相同
3	表示两个元素相比,元素 <i>i</i> 比元素 <i>j</i> 稍微重要
5	表示两个元素相比,元素 <i>i</i> 比元素 <i>j</i> 明显重要
7	表示两个元素相比,元素 <i>i</i> 比元素 <i>j</i> 强烈重要
9	表示两个元素相比,元素 <i>i</i> 比元素 <i>j</i> 极端重要
2,4,6,8	表示两个元素相比,元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 的重要性介于两相邻判断中值

2.4.1 构造判断矩阵 本研究采用的是常规的 1—9 标度(表 1)。

专家以上一层次的某元素作为准则,将下一层次与该准则相关的元素两两比较,根据表 1 所示赋值,构造判断矩阵即  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , $n$  为参与的比较元素。专家只需给出矩阵中所有满足  $i < j$  的  $a_{ij}$ ,同时判断的矩阵需满足以下条件:(1)  $a_{ij} > 0$ ; (2)  $a_{ij} = 1$ ; (3)  $a_{ij} = 1$ (当  $i = j$  时)。具体内容见表 2—3。

表 2 土地复垦成本判断矩阵

土地复垦成本	自然环境条件	采矿条件	煤矿赋存条件
自然环境条件	1	1/2	1/2
采矿条件	2	1	1/2
煤矿赋存条件	2	2	1

表 3 约束层判断矩阵

约束层因子	指标层因子					
	地形坡度	土地利用规划	年降水量	土壤质地	有效土层厚度	
自然条件	地形坡度	1	1/5	1/2	1/2	1/4
	土地利用规划	5	1	3	3	2
	年降水量	2	1/3	1	1	1/3
	土壤质地	2	1/3	1	1	1/3
	有效土层厚度	4	1/2	3	3	1
采矿条件	顶板管理方法	1	3	5		
	采煤工艺	1/3	1	2		
	采动程度	1/5	1/2	1		
煤矿赋存条件	煤层厚度	1	2	5		
	煤层倾角	1/2	1	3		
	深厚比	1/5	1/3	1		

2.4.2 计算结果 将得到的值输入 YAAHP 软件,得出各层指标权重和一致性检验的结果(表 4)。

通过 YAAHP 软件分析,得出自然环境条件判断矩阵一致性比例为 0.014 2,对总目标的权重为

0.195 8;采矿条件判断矩阵一致性比例为 0.003 6,对总目标的权重为 0.310 8;煤矿赋存条件判断矩阵一致性比例为 0.003 6,对总目标的权重为 0.493 4。判断矩阵一致性比例均小于 0.1,说明一致性良好。

研究结果表明,约束层中对土地复垦成本影响程度最大的是煤矿赋存条件(0.493 4),其次是采矿条件(0.310 8)和自然环境条件(0.195 8)。煤矿赋存条件中影响程度依次是:煤层厚度(0.582)>煤层倾角(0.309)>深厚比(0.109);采矿条件中各因子影响程度依次为:顶板管理方法(0.648)>采煤工艺(0.230)>采动程度(0.122);自然环境条件影响程度依次是:土地利用规划(0.400)>有效土层厚度(0.290)>年降水量(0.121)=土壤质地(0.121)>地形坡度(0.068)。

表 4 各指标权重

目标层	约束层(权重)	指标层(权重)
土地复垦 成本评价 指标体系	自然环境条件 (0.195 8)	地形坡度(0.068)
		土地利用规划(0.400)
		年降水量(0.121)
		土壤质地(0.121)
		有效土层厚度(0.290)
	采矿条件 (0.310 8)	顶板管理方法(0.648)
		采煤工艺(0.230)
		采动程度(0.122)
	煤矿赋存条件 (0.493 4)	煤层厚度(0.582)
		煤层倾角(0.309)
		深厚比(0.109)

### 3 结论

本文以原始的地质采矿、自然环境等为基础进行评价,得出的结果相对土地复垦报告书等材料而言简单客观,能真实反映日后开采对土地造成的影响程度。通过权重比较得知,约束层中煤矿赋存条件对复垦成本影响较大,指标层中顶板管理方法、采煤工艺和土地利用规划等对土地复垦成本有较大影响。对影响复垦成本较大的因子,如顶板管理办法、采煤工艺等,在开采过程中采取一定的优化措施,能够降低

复垦成本。如何将此评价指标体系应用到土地复垦成本计算中,是下一步研究的重点。

#### [参 考 文 献]

- [1] 卞正富,张国良. 矿山土地复垦费用构成与成本核算[J]. 有色金属,1996,48(1):10-15.
- [2] 程琳琳. 我国矿区土地复垦保证金制度模式研究[D]. 北京:中国矿业大学,2009.
- [3] 万红梅,许晨,叶霞,等. 矿山地质环境恢复治理保证金测算方法与模型研究[J]. 合作经济与科技,2011(16):58-59.
- [4] 肖武,胡振琪,许献磊,等. 煤矿区土地复垦成本确定方法[J]. 煤炭学报,2010,35(S):175-179.
- [5] 焦晓燕,王立革,卢朝东,等. 采煤塌陷地复垦方式对土壤理化特性影响研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):123-125.
- [6] 童洁,刘立忠,吴新恒. 低潜水位煤矿区土地复垦工程技术措施研究[J]. 矿山测量,2008(4):66-68.
- [7] 赵世亮. 鞍山铁矿山土地复垦评价体系研究[D]. 北京,中国地质大学,2011:25-29.
- [8] 牛魁斌,刘金铜,李志祥,等. 河北省矿区生态工程与土地复垦研究[M]. 北京:气象出版社,2009:171-173.
- [9] 白中科,左寻,郭青霞,等. 大型露天煤矿土地复垦规划案例研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):118-121.
- [10] Feng Quanzhou, Xu Hengli. Determination of the thickness and medium of covering soil for land reclamation[J]. Agricultural Science & Technology, 2009, 10(4):183-187.
- [11] 李发斌,李何超,周家云. 矿山土地破坏程度评价方法研究[J]. 采矿技术,2006,6(2):25-28.
- [12] 占文锋,曹代勇,刘天绩. 柴达木盆地北缘控煤构造样式与赋煤规律[J]. 煤炭学报,2008,33(5):500-504.
- [13] 宋子岭,马云东. 我国露天煤田分类研究(I):分类指标体系的建立[J]. 煤炭学报,2008,33(9):1002-1005.
- [14] 滕永海,王金庄. 综采放顶煤地表沉降规律及机理[J]. 煤炭学报,2008,33(3):264-267.