

钱翰飞. 基于相关—灰色关联分析的矸石山复垦适宜性评价指标体系构建[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(6): 103-107.
文章编号: 1008-4495(2018)06-0103-05

基于相关—灰色关联分析的矸石山复垦 适宜性评价指标体系构建

钱翰飞

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 为建立科学、合理的矸石山复垦适宜性评价指标体系, 提出相关分析与灰色关联分析相结合的方法, 用于优化矸石山复垦适宜性评价指标体系。用相关分析法筛除了相关程度高的重复指标, 用灰色关联分析法筛除了对系统影响程度低的次要指标, 最终筛选出 11 项指标, 并运用模糊综合评价法检验优化后的指标体系。结果表明, 基于相关分析与灰色关联分析相结合的指标体系优化方法是可靠的, 不仅极大地简化了初始指标体系, 而且使评价结果更加科学、合理。

关键词: 矸石山; 绿色矿山; 复垦适宜性; 评价指标体系; 相关分析; 灰色关联分析; 模糊综合评价
中图分类号: TD88 **文献标志码:** A

The Establishment of Evaluation Index System for Reclamation Suitability of Coal Gangue Hill based on Correlation-grey Relational Analysis

QIAN Hanfei

(School of Mines, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to establish a scientific and reasonable evaluation index system of coal gangue hill reclamation suitability, this article put forward the method of combining correlation analysis with gray correlation analysis to optimize the evaluation index system of reclamation suitability for gangue hills. The correlation analysis excluded the repeated indicators with high correlation degree, the gray relational analysis screened the insignificant indicators with low impact on the system, eleven indicators were finally screened out, and the fuzzy comprehensive evaluation method was used to test the optimized index system. The results show that the optimized index system based on correlation analysis and grey relational analysis is reliable. It not only simplifies the initial index system greatly, but also makes the evaluation results more scientific and reasonable.

Keywords: coal gangue hill; green coal mine; reclamation suitability; evaluation index system; correlation analysis; grey relational analysis; fuzzy comprehensive evaluation

矸石山绿化复垦是绿色矿山建设的重要内容, 符合可持续发展的思想。对矸石山复垦适宜性进行评价可以有效优化复垦工作, 但目前关于矸石山复垦适宜性评价的研究还不够充分, 特别是缺乏一套科学、合理的矸石山复垦适宜性评价指标体系。现有的矸石山复垦适宜性评价研究很少涉及指标体系的构建, 如张紫昭等^[1]对新疆矿区土地复垦适宜性的评价研究, 崔艳等^[2]对露天矿排土场复垦适宜性

评价的研究, 均没有就构建评价指标体系的过程、方法进行讨论。

为此, 笔者在参考前人研究^[3]的基础上, 将矸石山复垦适宜性评价指标体系的构建分为初始、优化、检验指标体系 3 个阶段进行, 并且首次采用相关分析结合灰色关联分析筛选指标, 其中相关分析筛除重复指标, 灰色关联分析筛除次要指标, 再通过模糊综合评价检验指标体系, 最终得到科学、合理的矸石山复垦适宜性评价指标体系。

1 矸石山复垦适宜性评价指标体系构建的方法

1.1 初始指标体系

建立初始矸石山复垦适宜性评价指标体系主要

收稿日期: 2017-09-22; 2018-01-26 修订

基金项目: 山西省科技重大专项(20121101009-03)

作者简介: 钱翰飞(1991—), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事矿山压力与岩层控制方面的研究工作。
E-mail: 245873644@qq.com。

涉及设计体系结构、初选指标和界定指标内涵3方面内容。设计体系结构即设计矸石山复垦适宜性评价指标体系的结构框架,主要包括体系的层次和准则;初选指标即选取合适的底层指标;界定指标内涵即明确各项指标所表征的实际意义。

1.2 优化指标体系

凭借经验建立的初始指标体系存在信息重复度高或对系统影响程度低的指标,这些冗余指标会对评价的实际操作甚至评价结果造成干扰,因此需要对指标进行适当的筛选。笔者应用相关分析揭示指标间的相关关系密切程度,从而删除信息重复度高的指标^[4-5];应用灰色关联分析揭示指标的重要性^[6-8],从而筛选对系统影响程度低的次要指标。结合相关分析与灰色关联分析的结果,即可筛选初始指标体系中的重复和次要信息。

1.2.1 相关分析

相关分析法是通过计算2个指标的相关系数来反映其相关程度,相关系数绝对值越大则相关程度越高。设 $x_i(k)$ 为第 k 个评价对象的第 i 项指标观测值,则第 i 项与第 j 项指标的相关系数为:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m [x_i(k) - \bar{x}_i][x_j(k) - \bar{x}_j]}{\sum_{k=1}^m \sqrt{[x_i(k) - \bar{x}_i]^2 [x_j(k) - \bar{x}_j]^2}} \quad (1)$$

通过比较 $|R_{ij}|$ 和显著性临界值 $r(\alpha, n-2)$ 的大小判定线性关系的显著性^[5],其中 n 为样本个数, α 为显著性水平。当 $|R_{ij}| > r(\alpha, n-2)$ 时,可以判定第 i 项与第 j 项指标数据高度线性相关。若 $R_{ij} > 0$,则 i, j 项指标正相关,此时两项指标“正负向”相同时为真相关;若 $R_{ij} < 0$,则 i, j 项指标负相关,此时两项指标“正负向”不同时为真相关。高度线性真相关的两指标输出重复信息^[6]。

1.2.2 灰色关联分析

灰色关联分析法的基本思想是,比较序列曲线几何形状的相似程度,以此来反映各曲线的关联程度^[9]。若各比较序列曲线的几何形状越相似,则相应序列间的关联也越密切。一般而言,关联度和重要度具有正相关性,因此可以采用灰色关联分析通过比较指标特征序列曲线同系统特征序列曲线的几何形状相似程度,来反映各指标在系统中的重要性。灰色关联分析步骤如下:

1) 确定系统特征序列 $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(m))$ 为参考序列,指标特征序列 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(m)), i = 1, 2, \dots, n$,为比较序列。

2) 数据无量纲化处理后得到序列初始像 $X'_i =$

$(x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(m)), i = 1, 2, \dots, n$ 。

3) 求比较序列与参考序列灰色关联度,对于所有的 $i = 1, 2, \dots, n, X_i$ 和 X_0 的灰色关联系数记作:

$$\xi(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |\Delta_i(k)| + \rho \max_i \max_k |\Delta_i(k)|}{|\Delta_i(k)| + \rho \max_i \max_k |\Delta_i(k)|} \quad (2)$$

式中: $\Delta_i(k) = x_0(k) - x'_i(k), i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, m; \rho$ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$,通常取 $\rho = 0.5$ 。

因此得到 X_i 和 X_0 的灰色关联度为:

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi[x_0(k), x_i(k)] \quad (3)$$

1.2.3 基于相关分析与灰色关联分析的指标体系优化步骤

1) 数据无量纲化处理。采用极差无量纲化法^[10]处理初始数据。

2) 利用相关分析筛选高度线性相关指标。根据公式(1)得到每项底层指标之间的相关系数,再依据与临界值比较结果,结合理论分析筛选重复指标。

3) 根据屯兰矿矸石山实际复垦效果,邀请专家对8个评价单元进行打分,对应的分值标准分别是4(非常好)、3(好)、2(一般)、1(差),对统计结果进行标准化处理后得到系统特征序列 $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(8))$ 。

4) 利用灰色关联分析法筛选对系统影响程度低的指标。计算经过相关分析筛选后剩余指标的特征序列与系统特征序列的关联度,将关联度相对较低的指标删除,最终得到优化后的矸石山复垦适宜性评价指标体系。

1.3 检验指标体系

为了验证优化指标体系的科学性、合理性,采用AHP结合模糊综合评价法对初始和优化后的矸石山复垦适宜性评价指标体系进行评价检验,以确认指标优化方法的合理性。其中应用AHP确定指标权重^[11],再结合模糊综合评价法中隶属度计算原则^[12-13]确定系统的等级和评分的方法是比较常用的评价法,所以这里就不再细述。

2 矸石山复垦适宜性评价指标体系构建

2.1 数据来源

屯兰矿矸石山由屯兰矿多年排矸形成,2012年完成山体表面覆土工作,经过2年的自然恢复,2014年开始对屯兰矿矸石山进行绿化复垦。复垦土地南北走向的平均长度约为790 m,东西走向平均长度约为226 m,占地面积约为0.16 km²。将屯兰矿矸石山按

照排矸时间及位置的不同,划分为8个评价单元来研究,各单元划分情况见图1,并通过现场测量及实验室实验获得所需的数据。

2.2 初始指标体系

遵循科学性、可操作性、可比性等构建评价指标的基本原则^[14],将矸石山复垦适宜性评价指标体系分为目标层、准则层、指标层3层。准则层包括地形因子、土壤因子、灾害因子、基础设施4项,其下再细分为25项指标,见表1。



图1 屯兰矿矸石山评价单元划分

表1 初始矸石山复垦适宜性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标含义
矸石山复垦适宜性评价指标体系 (A)	地形因子(B_1)	坡向(C_1)	复垦土地所在山坡的朝向(正向)
		坡度(C_2)	复垦土地的倾斜程度(负向)
		坡高(C_3)	复垦土地平均高度(负向)
	土壤因子(B_2)	土壤厚度(C_4)	复垦土地表面未固结而植物根系可深入部分的厚度(正向)
		土体密度(C_5)	单位体积土体的质量(负向)
		砾石含量(C_6)	粒径大于2 mm的砂砾所占的百分比(负向)
		有机质含量(C_7)	单位质量土体含有生命机能的有机物质质量(正向)
		水解N(C_8)	单位质量土体中含有水解N的质量(正向)
		速效K(C_9)	单位质量土体中含有速效K的质量(正向)
		速效P(C_{10})	单位质量土体中含有速效P的质量(正向)
		土壤酸碱性(C_{11})	测量的pH值与7的绝对差值(负向)
		电导率(C_{12})	电导率的测量通常是溶液的电导率测量, $\sigma=1/\rho$ (负向)
		田间持水(C_{13})	土壤剖面所能维持的较稳定的土壤含水量(正向)
		饱和含水量(C_{14})	土体孔隙全部充满水时的最大含水量占土体总质量百分比(正向)
		总孔隙度(C_{15})	岩石样品中所有孔隙空间体积与该岩样总体积的比值(正向)
		毛细管孔隙度(C_{16})	毛细管孔隙与土壤体积的比值(正向)
		初渗率(C_{17})	开始阶段单位时间内通过某段岩石孔隙的流量(负向)
		稳渗率(C_{18})	稳定阶段单位时间内通过某段岩石孔隙的流量(负向)
	灾害因子(B_3)	滑坡(C_{19})	矸石山发生滑坡的可能性(负向)
		发火(C_{20})	矸石山自燃起火的趋向性(负向)
		地震(C_{21})	地区发生过最大地震级数(负向)
	基础设施(B_4)	灌溉条件(C_{22})	土地灌溉条件保障程度(正向)
		排水条件(C_{23})	土地排水条件保障程度(正向)
		交通条件(C_{24})	复垦土地与公路的距离(负向)
		电力设施(C_{25})	电力设施覆盖面积(正向)

注:“正向”表示指标观测值越大系统越合理;“负向”表示指标观测值越小系统越合理。

2.3 优化指标体系

运用SPSS软件对指标层的25项指标进行相关分析,得出每个指标间的相关系数。为了在避免指标误删的前提下发掘高度线性相关的指标,确定显

著性水平 $\alpha=0.001$,且本次研究的样本个数 $n=8$,计算显著性临界值 $r(0.001,6)=0.905$,极差数据无量纲化处理后的指标正负向归一,所以当 $R_{ij}>0.905$ 时就表明第 i 项与第 j 项指标具有较强的真相关性;再

结合指标数据获取的难易程度及指标的代表性,筛选重复指标。相关性分析筛选结果如表2所示。

表2 相关性分析筛选结果

序号	指标 <i>i</i>	指标 <i>j</i>	相关系数 R_{ij}	剔除指标
1	C_5	C_6	0.974	C_6
2	C_7	C_8, C_9, C_{10}	0.956, 0.911, 0.907	C_8, C_9, C_{10}
3	C_8	C_9	0.923	C_8, C_9, C_{10}
4	C_{13}	C_{16}, C_{17}, C_{18}	0.989, 0.967, 0.982	C_{16}, C_{17}, C_{18}
5	C_{16}	C_{17}, C_{18}	0.977, 0.961	C_{16}, C_{17}, C_{18}
6	C_{17}	C_{18}	0.951	C_{16}, C_{17}, C_{18}
7	C_{14}	C_{15}	0.975	C_{15}

在相关分析剔除了8项重复指标的基础上,对剩余的17项指标进行灰色关联分析,以筛选对系统影响程度低的次要指标。且通过专家评分得到系统特征序列 $X_0 = (1.00, 0.95, 0.59, 0.13, 0.65, 0.46, 0.16, 0.00)$,依据灰色关联度的计算方法计算各指标与系统关联度,按大小排序为($C_7, C_{13}, C_5, C_{14}, C_{11}, C_4, C_2, C_{23}, C_{22}, C_{19}, C_{20}, C_{25}, C_{12}, C_{21}, C_3, C_1, C_{24}$)。显然 $C_{25}, C_{12}, C_{21}, C_3, C_1, C_{24}$ 这6项指标与系统的联系相对不够紧密,灰色关联度均小于0.60,说明这些指标对系统行为的影响比较小,属于次要指标。灰色关联分析筛选结果见表3。

表3 灰色关联分析筛选结果

准则层	指标层	关联度	删除指标
地形因子(B_1)	坡向(C_1)	0.460	C_1, C_3
	坡度(C_2)	0.731	
	坡高(C_3)	0.514	
土壤因子(B_2)	土壤厚度(C_4)	0.746	C_{12}
	土体密度(C_5)	0.889	
	有机质(C_7)	0.897	
	土壤酸碱性(C_{11})	0.801	
灾害因子(B_3)	电导率(C_{12})	0.549	C_{21}
	田间持水(C_{13})	0.892	
	饱和含水量(C_{14})	0.818	
	滑坡(C_{19})	0.615	
基础设施(B_4)	发火(C_{20})	0.604	C_{24}, C_{25}
	地震(C_{21})	0.527	
	灌溉条件(C_{22})	0.617	
	排水条件(C_{23})	0.647	
	交通条件(C_{24})	0.407	
	电力设施(C_{25})	0.595	

2.4 检验指标体系

应用模糊综合评价法,对8个评价单元分别运用初始矸石山复垦适宜性评价指标体系和优化后的矸石山复垦适宜性评价指标体系进行评价,以检验该指标优化结果的科学合理性,评价结果见表4和图2。

表4 模糊综合评价结果

评价单元	初始指标体系评价结果	优化指标体系评价结果
1	3.24	3.49
2	3.24	3.41
3	2.82	2.78
4	2.63	1.98
5	2.84	2.98
6	2.67	2.81
7	2.42	2.15
8	2.30	1.81

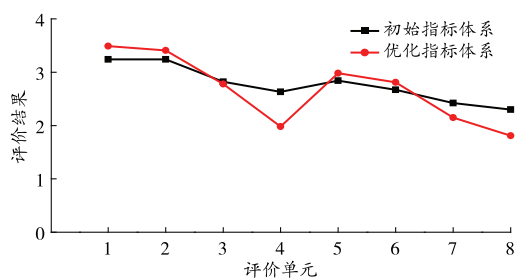


图2 屯兰矿矸石山8个评价单元的模糊综合评价结果

2.5 结果分析

由评价结果可知,2套指标体系评价结果的总体变化趋势一致,即1~4号评价单元的复垦适宜性评价结果分值依次减小,4~5号评价单元复垦适宜性分值增大,5~8号评价单元复垦适宜性分值又依次减小,且复垦适宜性最好的都是1号,最差的均是8号,这样的趋势与实际复垦效果相符。如图1所示,横向比较发现1~4号评价单元,5~8号评价单元的排矸年限依次减小,且根据现有研究经验可知排矸年限越长,矸石风化程度越高,土壤越适宜植物生长^[15];纵向比较发现1号与5号、2号与6号、3号与7号、4号与8号排矸年限接近,但排矸地点与周围山体距离不同,导致复垦的效果有差异,这是由于复垦效果不仅仅受排矸年限的影响,还受到周围环境的影响。所以这2套指标体系都在一定程度上适用于矸石山土地复垦适宜程度的比较评价。

由图2可以看出,初始指标体系曲线变化比较平缓,除了1、2号评价单元的得分较高外,其他评价单元得分差距不大,若进行适宜性等级划分很难体

现差距,这与实际复垦效果不符。优化指标体系曲线变化幅度相对较大,将1~4号、5~6号,以及两者之间差异体现的比较明显,也符合实际。所以优化后指标体系的评价结果更科学、合理。

3 结论

1)采用相关分析与灰色关联分析相结合的方法优化了矸石山复垦适宜性评价指标体系。其中,运用相关分析筛选了相关关系密切程度高的的重复指标,通过灰色关联分析进一步筛选对系统影响低的次要指标,确保指标体系中没有重复和干扰信息。

2)通过对初始矸石山复垦适宜性指标体系进行优化处理,得到最终的优化指标体系,包括4项准则层,及其以下的11项底层指标。

3)通过对屯兰矿矸石山8个评价单元的模糊综合评价结果分析表明,基于相关分析与灰色关联分析相结合的指标体系优化方案是可靠的,不仅极大地简化了初始指标体系,而且使评价结果更加科学、合理。

参考文献:

- [1] 张紫昭,郭瑞清,周天生,等.新疆煤矿土地复垦为草地的适宜性评价方法与应用[J].农业工程学报,2015(11):278-286.
- [2] 崔艳,白中科,张继栋,等.露天矿区农用地复垦适宜性评价的方法与应用[J].农业工程学报,2008(S1):181-184.
- [3] 王壬,陈莹,陈兴伟,等.区域水资源可持续利用评价指标体系构建[J].自然资源学报,2014,29(8):1441-1452.
- [4] 迟国泰,曹婷婷,张昆.基于相关—主成分分析的人的全面发展评价指标体系构建[J].系统工程理论与实践,

2012(1):111-119.

- [5] 张昆,迟国泰.基于相关分析—粗糙集理论的生态评价指标体系构建[J].系统工程学报,2012,27(1):119-127.
- [6] 张恒巍,韩继红,张健,等.基于灰关联分析的指标约简与权重分配算法[J].计算机工程与设计,2015(4):1027-1031.
- [7] 龙萍,许立坤,李庆芬,等.均匀设计RuIrSnLa/Ti氧化物涂层的回归与灰色关联分析[J].化学学报,2009,67(12):1325-1330.
- [8] 黄友兰,余颜.基于灰色关联度分析的电子信息产业集群综合竞争力提升研究——以重庆为例[J].科技管理研究,2014,34(3):180-183.
- [9] 刘思峰,蔡华,杨英杰,等.灰色关联分析模型研究进展[J].系统工程理论与实践,2013(8):2041-2046.
- [10] 宋明顺,黄佳,张士朋,等.多指标正交试验设计去量纲准则及方法研究[J].工业工程与管理,2014,19(1):41-46.
- [11] 李宁,王李管,贾明涛.基于层次分析法的矿井六大系统模糊综合评价[J].中南大学学报(自然科学版),2015,46(2):631-637.
- [12] 吴德建,周福宝,钱新明.煤矿火区安全启封的模糊数学综合评价方法[J].采矿与安全工程学报,2011(1):56-60.
- [13] 张明磊,张益东,季明,等.基于模糊可拓综合评价方法的巷道支护参数优化[J].采矿与安全工程学报,2016,33(6):972-978.
- [14] 曹利军,王华东.可持续发展评价指标体系建立原理与方法研究[J].环境科学学报,1998,18(5):526-532.
- [15] 严家平,陈孝杨,蔡毅,等.不同风化年限的淮南矿区煤矸石理化性质变化规律[J].农业工程学报,2017(3):168-174.

(责任编辑:陈玉涛)

(上接第102页)

- [10] 杨春燕,蔡文.可拓工程[M].北京:科学出版社,2007:38-43.
- [11] 蔡文.物元模型及应用[M].北京:科学技术文献出版社,1998:21-25.
- [12] 牛晓旭,陈沅江.山区高等级公路路侧安全物元可拓评价研究[J].安全与环境学报,2012,12(6):232-236.
- [13] 杨立兵,程运材,杨海洋,等.企业应急管理脆弱性分

析[J].中国安全科学学报,2008,18(4):76-81.

- [14] 刘睿,余建星,孙宏才,等.基于ANP的超级决策软件介绍及其应用[J].系统工程理论与实践,2003,8(8):141-143.
- [15] 苏飞,张平宇.阜新市社会系统脆弱性评价[J].资源与产业,2008,10(4):1-5.

(责任编辑:逢锦伦)