

# 广东省矿山生态修复成效评价

邱慧玲

广东省地质环境监测总站, 广东 广州

收稿日期: 2023年9月15日; 录用日期: 2023年10月16日; 发布日期: 2023年10月26日

## 摘要

本文通过对广东省矿山生态修复成果分析, 构建针对矿山不同要素的生态修复成效评价指标体系, 科学确定各评价指标的权重。采用TOPSIS评价模型对2022年广东省的76个矿山生态修复成效进行评价, 实地验证其评价结果与实际修复效果基本一致。

## 关键词

TOPSIS, 矿山, 生态修复, 成效评价

# Evaluation of Ecological Restoration Effectiveness in Mines in Guangdong Province

Huiling Qiu

Guangdong Geological Environment Monitoring Station, Guangzhou Guangdong

Received: Sep. 15<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 16<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

This article analyzes the ecological restoration results of mines in Guangdong Province, constructs an evaluation index system for ecological restoration effectiveness of different elements of mines, and scientifically determines the weights of each evaluation index. The TOPSIS evaluation model was used to evaluate the ecological restoration effectiveness of 76 mines in Guangdong Province in 2022, and the on-site verification showed that the evaluation results were basically consistent with the actual restoration effects.

## Keywords

TOPSIS, Mines, Ecological Restoration, Effectiveness Evaluation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

据不完全统计,自“十三五”以来,广东省共投入近 20 亿元开展矿山生态修复与综合工作,治理面积近 2 万公顷,其修复成效有待进行评价。目前,矿山生态修复成效评价方法有很多,诸如分析比较特尔菲法(专家咨询法)、层次分析法、灰色关联度分析法、模糊综合评判法、优劣解距离法等方法,各种方法都有一定的优缺点[1] [2] [3]。其中, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)为优劣解距离法,是一种常用的综合评价方法,能充分利用原始数据的信息,其结果能准确地反映各评价方案之间的差距[4]。

## 2. TOPSIS 评价模型(优劣解距离模型) [5]

TOPSIS 利用评价对象与最大值的距离、评价对象与最小值的距离计算第  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) 个评价对象与理想解的相对接近度来确定修复成效的优劣,其中计算公式为:

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (\text{式 1-1})$$

很明显,  $0 < S_i < 1$ , 且  $S_i$  越大,越接近评价得分的最大值。

计算评价与最大、最小值的距离来。

式 1-1 中:  $D_i^+$  为评价对象与最大值的距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (Z_j^+ - Z_{ij})^2} \quad (\text{式 1-2})$$

$D_i^-$  为评价对象与最小值的距离:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (Z_j^- - Z_{ij})^2} \quad (\text{式 1-3})$$

式 1-2、式 1-3 中  $w$  为权重,  $Z^+$  为评价对象最大值,  $Z^-$  为评价对象最小值,  $Z$  为评价对象值,  $i$ 、 $j$  为序号,  $m$  为评价对象总数。

为消除不同指标间量纲和数据大小的影响,需对输入模型的原始数据进行了归一化和同趋势处理。计算出的加权平均值相对接近度保证在 0 与 1 之间。其数值越大(越接近 1),其接近最优水平程度越高。反之(越接近 0),接近最优水平的程度越低(越接近最劣水平) [6]。

## 3. 评价指标体系

### 3.1. 评价指标

按照目标性、科学性、整体性、可操作性、定量与定性相结合的原则,在综合考虑项目实施、生态修复的安全性和稳定性及生态修复效益四个方面,并结合以往相关研究成果和相关国家及行业规范,建

立三个层次(目标层、准则层和指标层)、13个具体指标的矿山生态修复评价指标体系[7](图1)。

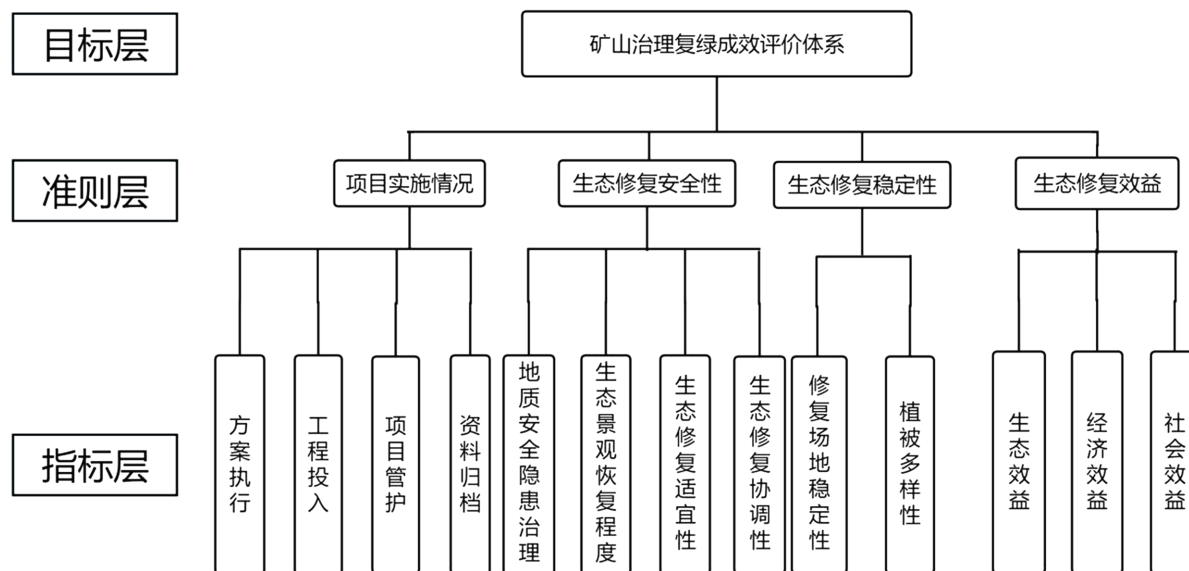


Figure 1. Evaluation system for the effectiveness of mine ecological restoration

图 1. 矿山生态修复成效评价体系

### 3.2. 评价指标的量化标准

由于评价指标体系中各指标层中评价因子间的量纲和衡量尺度存在比较在的差异, 各指标间的定量可比性相对较差。所以先对评价指标进行量化, 其中对于无法直接取得定量数值的指标, 根据定性属性(或相对程度)赋予相应的分值(表 1~10)。

Table 1. Scheme implementation level scoring table

表 1. 方案执行情况等级赋分表

类型	划分标准	分值
人工修复	严格按照设计方案施工(存在方案变更但有变更材料)	5
	基本按照设计方案施工(存在方案变更但小范围无变更材料)	3
	未按照设计方案进行施工(存在方案变更且无变更材料)	0
自然修复	有安全防护(网围栏、道路封堵)、警示标志等多项措施	3
	只实施单一措施	2
	未实施任何措施	1

Table 2. Grading of engineering investment

表 2. 工程投入情况等级赋分表

类型	划分标准	分值
人工修复	资金投入 $\geq 100$ 万元, 工程量投入多, 修复措施丰富	10
	$50$ 万元 $\leq$ 资金投入 $< 100$ 万元, 工程量投入中等, 修复措施较丰富	7
	资金投入 $< 50$ 万元, 工程量投入少, 修复措施简单	5
自然修复	没有投入资金和修复工程量的	3

**Table 3.** Grading of project management and protection**表 3.** 项目管护情况等级赋分表

类型	划分标准	分值
人工修复	管护设备齐全，管护好，植被成活率高	3
	管护设备简易、管护一般，植被成活率一般	2
	管护设备无、管护差，植被成活率低	1
自然修复	复绿率高	2
	复绿率一般	1
	复绿率差	0

**Table 4.** Grading table for data filing status**表 4.** 资料归档情况等级赋分表

类型	划分标准	分值
资料归档	完整	2
	较完整	1
	无	0

**Table 5.** Grading of geological safety hazards management**表 5.** 地质安全隐患治理情况等级赋分表

类型	划分标准	分值
地质安全隐患治理	现场无地质安全隐患	15
	现场存在潜在地质安全隐患	10
	现场无地质安全隐患	0

**Table 6.** Classification of ecological landscape restoration levels**表 6.** 生态景观恢复程度等级赋分表

类型	划分标准	分值
平面	修复面积/计划修复面积 × 15 分	
立面	全部采取工程措施，立面全部修复	15
	部分采取工程措施，立面基本修复	10
	少部分采取工程措施，立面修复差	5

**Table 7.** Classification of suitability levels for ecological restoration**表 7.** 生态修复适宜性等级赋分表

类型	划分标准	分值
修复模式适宜性	适宜	2
	不适宜	0
修复措施适宜性	适宜	3
	较适宜	2
	不适宜	0

**Table 8.** Classification of ecological restoration coordination levels  
**表 8.** 生态修复协调性等级赋分表

类型	划分标准	分值	
修复范围	无碎片化修复, 整体关联性好	3	
	部分碎片化修复, 整体关联性较好	2	
	大量碎片化修复, 整体关联性差	1	
影像表征	修复区与周边环境融入效果好	3	
	修复区与周边环境融入效果一般	2	
	修复区与周边环境融入效果差	1	
视觉 感观	“三区两线” 范围	视觉污染低	6
		视觉污染中等	3
		视觉污染严重	0
	非“三区两 线”范围	视觉污染低	8
		视觉污染中等	5
		视觉污染严重	2

**Table 9.** Classification of ecological restoration stability levels  
**表 9.** 生态修复稳定性等级赋分表

类型	划分标准	分值
水土流失(修复场地稳定性)	无	3
	一般	1
	严重	0
植被多样性(生态修复协调性)	丰富(乔、灌、草)	3
	较丰富(仅有乔、草灌、草)	2
	单一(撒播草籽)	1

**Table 10.** Classification of ecological restoration benefits  
**表 10.** 生态修复效益等级赋分表

类型	划分标准	分值
生态效益	矿区及其影响范围与周边地区的土地结构和自然生态环境得到修复和改善, 促进了当地产业的协调发展。道路、排水系统规划和布局合理, 生产条件得到有效改善, 对维护社会稳定起十分积极的作用。	3
经济效益	矿区及周围绿地面积增加, 周围景观环境得到有效改善; 地质安全隐患全部消除, 减小其造成的经济损失; 修复地块综合利用成效高, 产生较好的经济效益。	4
社会效益	矿区生态环境得到恢复, 水土流失得到有效控制, 地貌景观得到有效改善。恢复发当地的生态环境生态平衡, 防止了土地退化, 降低了洪涝灾害的发生频率。	3

#### 4. 评价指标权重

评价体系中指标的定权方法主要分为两大类: 主观定权和客观定权。为了保证指标权重的科学性, 既有层次和结构分明的特点、又能使评价指标具有一定的现实意义。本文利用层次分析法确立的指标权重。这可以使得评价结果更具有科学性和严谨性。

通过归纳总结各地主管部门及矿山企业的意见, 运用层次分析法确定出本次矿山生态修复绩效评价体系中各评价因子的权重(表 11~16)。

**Table 11.** Criterion layer judgment matrix and weights**表 11.** 准则层判断矩阵及权重

	项目实施情况	生态修复安全性	生态修复稳定性	生态修复效益	权重
项目实施情况	1	1/4	3	2	<b>0.1861</b>
生态修复安全性	4	1	9	6	<b>0.6445</b>
生态修复稳定性	1/3	1/9	1	1/2	<b>0.0620</b>
生态修复效益	1/2	1/6	2	1	<b>0.1074</b>
<b>CR = 0.0078</b>					

**Table 12.** Project implementation status indicator layer judgment matrix and weights**表 12.** 项目实施情况指标层判断矩阵及权重

	方案执行	工程投入	项目管护	资料归档	权重
方案执行	1	1/2	2	3	<b>0.2641</b>
工程投入	2	1	4	5	<b>0.5068</b>
项目管护	1/2	1/4	1	2	<b>0.1428</b>
资料归档	1/3	1/5	1/2	1	<b>0.0863</b>
<b>CR = 0.0079</b>					

**Table 13.** Judgment matrix and weights of ecological restoration safety index layer**表 13.** 生态修复安全性指标层判断矩阵及权重

	地质安全隐患治理	生态修复效果	生态修复适宜性	生态修复协调性	权重
地质安全隐患治理	1	1/2	3	2	<b>0.2657</b>
生态修复效果	2	1	6	3	<b>0.4892</b>
生态修复适宜性	1/3	1/6	1	1/3	<b>0.0745</b>
生态修复协调性	1/2	1/3	3	1	<b>0.1706</b>
<b>CR = 0.0172</b>					

**Table 14.** Judgment matrix and weights of ecological restoration stability index layer**表 14.** 生态修复稳定性指标层判断矩阵及权重

	修复场地稳定性	植被多样性	权重
修复场地稳定性	1	1	<b>0.5000</b>
植被多样性	1	1	<b>0.5000</b>
<b>CR = 0.0000</b>			

**Table 15.** Judgment matrix and weights of ecological restoration benefit indicator layer**表 15.** 生态修复效益指标层判断矩阵及权重

	生态效益	经济效益	社会效益	权重
生态效益	1	1/2	2	<b>0.2970</b>
经济效益	2	1	3	<b>0.5396</b>
社会效益	1/2	1/3	1	<b>0.1634</b>
<b>CR = 0.088</b>				

**Table 16.** Batch weights of the evaluation system for the effectiveness of mine ecological restoration  
**表 16.** 矿山生态修复成效评价体系批标权重

准则层	权重	指标层	权重
项目实施情况	0.1861	方案执行	0.0491
		工程投入	0.0943
		项目管护	0.0266
		资料归档	0.0161
生态修复安全性	0.6445	地质安全隐患治理	0.1712
		生态修复效果	0.3153
		生态修复适宜性	0.0480
		生态修复协调性	0.1100
生态修复稳定性	0.0620	修复场地稳定性	0.0310
		植被多样性	0.0310
生态修复效益	0.1074	生态效益	0.0319
		经济效益	0.0580
		社会效益	0.0175

## 5. 评价实例

根据 2022 年度的实地核查矿山生态修复成效调查成果,选择广东省 21 个市共 76 个修复矿山进行了成效评价,评价结果与理想解的相对接近度为 0.3019~0.8541。对比分析实地核查矿山修复效果,按照表 17 将 74 个修复矿山的修复成效划分为四个等级:优秀、良好、及格、较差。

**Table 17.** Grading table for evaluation of greening effect of governance  
**表 17.** 治理复绿成效评价分级表

评分	$S \geq 0.75$	$0.60 \leq S < 0.75$	$0.45 \leq S < 0.60$	$S < 0.45$
等级	优秀	良好	及格	较差

其中,修复成效“优秀”的矿山 7 个,占实地核查矿山的 9.2%。如:深圳某石场(图 2)成效评价与最大值的距离为 0.0126,与最小值的距离为 0.0736,综合评价结果为 0.8541,处于优秀级别。该矿山投入经费多,治理复绿措施丰富,管护措施得当。修复后整体呈现出“山清水秀”的良好生态,修复成效突出。



**Figure 2.** Restoration effect of a stone quarry in Shenzhen  
**图 2.** 深圳某石场修复效果



修复成效“良好”的项目 28 个，占实地核查矿山的 36.8%。如：湛江某建筑用玄武岩矿(图 3)评价项目与最大值的距离为 0.0279，与最小值的距离为 0.0675，综合评价结果为 0.7076，处于良好级别。项目整体呈现出一种“井然有序”的良好生态环境，修复工作布置得当。由于矿山修复后植被生长缓慢，局部区域复绿效果不明显，表层土壤未完全固化，存在水土流失现象。



**Figure 3.** Restoration effect of a basalt mine used in a building in Leizhou  
**图 3.** 雷州某建筑用玄武岩矿修复效果

修复成效“及格”的项目 29 个，占实地核查项目的 38.2%。如：清远某石英岩矿(图 4)评价项目与最优向量的距离为 0.0409，与最劣向量的距离为 0.0606，综合评价结果为 0.5969，处于及格级别。企业投入大量人力、物力，采用分级放坡、覆土复绿、人工管护等措施恢复生态环境，但由于岩质边坡植被生长困难，现场复绿效果一般。



**Figure 4.** Restoration effect of a quartz rock mine in Qingyuan  
**图 4.** 清远某石英岩矿修复成效

修复成效“较差”的项目 12 个，占实地核查项目的 15.8%。如。梅州某石场(图 5)评价项目与最大值的距离为 0.0544，与最小值的距离为 0.0316，综合评价结果为 0.3675，处于较差级别。矿山未按设计



开采, 采场边坡高度、台阶设置不合理, 治理复绿工作开展困难。企业投入 30 万元进行平面复绿, 措施相对单一, 管护措施缺失, 植被长势差。立面植被存活率低, 存在地质安全隐患, 现场水土流失明显。



Figure 5. Effect of greening restoration in a quarry in Meizhou City  
图 5. 梅州市某石场治理复绿成效

## 6. 结论

本文在初步构建矿山修复成效评价体系的基础上, 利用 TOPSIS 评价模型(优劣解距离模型)计算评价项目与理想解的相对接近度, 对 2022 年广东省的 76 个矿山生态修复成效进行评价, 结合实地核查工作对评价进行验证。其评价结果与实际修复效果基本一致。

## 参考文献

- [1] 吴钰茹, 吴晶晶, 毕晓丽, 等. 综合模型法评估黄河三角洲湿地景观连通性[J]. 生态学报, 2022, 42(4): 1315-1326.
- [2] 杨帆. 矿区外排土场生态修复及其环境价值评价[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 江西理工大学, 2010.
- [3] 孔令伟, 薛春晓, 苏凤, 等. 不同建植技术对露天煤矿排土场生态修复效果的影响及评价[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 187-193.
- [4] 田相俊, 李翠平, 曹志国, 等. 基于 TOPSIS 法的西部矿区水资源承载力综合评价[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(9): 170-175.
- [5] 汤光华. 对 TOPSIS 法的评价与扩展[J]. 浙江统计, 1998(2): 12-14.
- [6] 李海燕, 杜文杰, 丁宗威, 等. 综合评价模型应用研究——以塞罕坝生态环境影响评估为例[J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2022, 34(3): 93-97.
- [7] 张汉. 矿山地质环境评价指标体系与综合评价[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2020.