

# 露天采石场土地复垦适宜性评价及应用

王锐<sup>1,2</sup>, 秦娅青<sup>1,2</sup>, 孙丹丹<sup>3</sup>, 马守臣<sup>1,2</sup>

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 国土资源部土地资源综合监测与持续利用野外科学观测研究基地, 河南 焦作 454000; 3. 北京佰信蓝图科技股份有限公司, 北京 100085)

**摘要:** [目的] 构建合理可行的适宜性评价指标体系及评价标准, 为不同条件下露天采石场选择最佳复垦模式提供一定的决策依据。[方法] 采用层次分析法计算 3 种土地复垦模式中适宜性评价因子的权重。[结果] ① 选择地形条件、自然条件和社会经济条件 3 个层面中采场边坡坡度、采场岩壁粗糙度、植被覆盖度、有效土层平均厚度、年均降水量、社会经济水平、距城市距离、采石场集中连片度这 8 个因素作为适宜性评价因子, 构建了适宜性评价指标体系及其评价标准; ② 以焦作市北山露天采石场复垦为缝山针国家矿山公园为例进行验证, 评价体系分析结果与现有采石场土地复垦模式相一致。[结论] 本研究提出的土地复垦适宜性评价指标体系及评价标准可以较好地指导露天采石场的土地复垦工作。

**关键词:** 土地复垦; 露天采石场; 适宜性评价; 层次分析法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)03-0187-06

中图分类号: TD88, TD804

**文献参数:** 王锐, 秦娅青, 孙丹丹, 等. 露天采石场土地复垦适宜性评价及应用[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3):187-192. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.030. Wang Rui, Qin Yaqing, Sun Dandan, et al. Evaluation and application of land reclamation suitability in open-pit quarry[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3):187-192.

## Evaluation and Application of Land Reclamation Suitability in Open-pit Quarry

WANG Rui<sup>1,2</sup>, QIN Yaqing<sup>1,2</sup>, SUN Dandan<sup>3</sup>, MA Shouchen<sup>1,2</sup>

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, He'nan Polytechnic University, Jiaozuo, He'nan 454000, China; 2. Land Research Integrated Monitoring and Sustainable Utilization in Central China, Field Science Observation & Research Base of the Ministry of Land and Resources of China, Jiaozuo, He'nan 454000, China; 3. Beijing Bai.xin Blueprint GIS Science & Tech Co., Ltd, Beijing 100085, China)

**Abstract:** [Objective] To construct a reasonable and feasible evaluating indicator system in order to improve decision-making for open-pit quarry reclamation modes under different conditions. [Methods] Analytic hierarchy process(AHP) was used to calculate the weights of evaluation factors under three different land reclamation modes. [Results] ① With the consideration of topographical, natural and socio-economic conditions, eight evaluation factors including slope gradient, slope roughness, vegetation coverage, average effective soil thickness, average annual precipitation, socio-economic level, distance to city center and degree of quarry aggregation were selected to establish the evaluating indicator system and criteria. ② Beishan open-pit quarry reclaimed as the Fengshanzhen National Mine Park in Jiaozuo City was analyzed as a typical example. The results verified suitability of the evaluating indicator system. [Conclusion] The evaluating indicator system and criteria can provide references for land reclamation mode of open-pit quarry of related areas.

**Keywords:** land reclamation; open-pit quarry; suitability evaluation; AHP

矿产资源是发展之基, 生产之要, 矿产资源保护与合理开发利用事关国家现代化建设全局。随着中

国国民经济的发展以及新型城镇化进程的加快, 基础设施建设对矿产资源蕴藏着巨大的需求空间。而大

收稿日期: 2017-11-09

修回日期: 2017-12-07

资助项目: 国家自然科学基金项目“矿粮复合区耕地生态安全时空演变规律研究”(41541014); 国土资源部中原地区土地资源综合监测与持续利用野外科学观测研究基地开放资助项目(FOB201503); 河南省高校科技创新团队项目(18 IRTSTHN008)

第一作者: 王锐(1978—), 男(汉族), 山西省平鲁区人, 博士, 副教授, 主要从事土地整治、水文生态研究。E-mail: wangrui-phd@163.com。

通讯作者: 马守臣(1972—) 男(汉族), 河南省辉县市人, 博士, 副教授, 主要从事土地整治与修复方面教学科研工作。E-mail: mashouchen@126.com。

规模露天开山取石的同时,采石场生态环境的严重恶化也不容忽视。山体破损、岩石裸露、植被破坏、土壤污染等造成地貌景观支离破碎和极端的环境条件,限制了植物的生长<sup>[1]</sup>,而且含水层破坏、水土环境污染、露天边坡失稳、滑坡、泥石流等地质环境灾害均直接威胁着区域居民正常的生产生活和社会经济的可持续发展。改善矿山生态环境强有力的手段是进行土地复垦和生态重建<sup>[2]</sup>。近年来,随着中国生态文明建设的加强,倡导绿水青山就是金山银山,对废弃采石场土地综合整治也越来越受到重视。

对露天采石场土地进行复垦大多数是从生态复绿或景观重建方面开展。国外露天采石场修复治理研究较早,如瑞士穆西塔(Musital)采石场、法国比维尔(Biville)采石场等都是从生态复绿和景观重建着手修复治理<sup>[3-4]</sup>。国内研究相对较晚,袁剑刚等<sup>[5]</sup>、张艳等<sup>[6]</sup>、张起风等<sup>[7]</sup>对生态复绿模式下采石场边坡植被恢复物种选择和恢复治理措施等进行了研究;刘青松等<sup>[8]</sup>、王琼等<sup>[9]</sup>将生态复绿与景观重建二者结合,运用生态恢复学、景观生态学和生态系统服务功能等基础理论进行研究,使采石场恢复后具备生物生产、环境服务和文化支持等基本功能。

随着露天采石场复垦和生态治理的研究的深入,采石场复垦模式也不仅仅局限于生态复绿或景观重建。国内对露天采石场土地最适宜复垦模式的研究也在不断发展。《全国矿产资源规划》(2016—2020)提出探索矿山地质环境恢复和综合治理与地产开发、旅游、养老疗养、养殖、种植等产业的融合发展。李春娟等<sup>[10]</sup>在对重庆市采石场生态恢复治理研究中,根据距城市距离远近将修复区进行最适宜功能规划;马东丹等<sup>[11]</sup>考虑到露天采石场现状与周边环境,提出将生态农业园区与露天采石场相融合的规划理念;阳春花等<sup>[12]</sup>对国内几种土地复垦模式进行优劣势对比分析,认为没有哪一种模式能兼顾地区资源环境和社会经济价值,须因地制宜制定投入相对较低、回报相对较高的复垦模式;邹自力等<sup>[13]</sup>采用最小限制因素法对采石场进行适宜性评价,认为进行多宜性评价可以保证最佳土地开发利用方向。

因此,构建科学合理的露天采石场土地复垦适宜性评价指标体系,提出有效可行的评价办法,对指导采石场复垦模式的选择有重要的理论和实践意义。本文拟在前人研究的基础上,运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)构建适宜性评价指标体系和评价标准,综合评价不同土地复垦模式的适宜性,并以焦作北山采石场复垦为例进行实证,以期为其他不同现状条件下露天采石场确定最适宜利用模式提供参考。

## 1 露天采石场土地复垦适宜性评价

### 1.1 土地复垦适宜性评价方法的选择

土地复垦适宜性评价是土地复垦利用方向决策和改良途径选择的基础,按照适宜性评价的结果来决定采石场复垦的土地开发利用方向。

由于不同的评价方法会对适宜性评价结果的准确性和科学性产生影响,考虑到露天采石场土地复垦的影响因子较多,本研究中土地复垦的适宜性评价选用层析分析法。该方法简洁实用、结果明确,其关键是将与决策有关的影响因素两两之间进行相对重要性比较,多目标综合进行评价,更为直接的根据主导因素或重要影响因素确定土地最适宜利用方向。

### 1.2 土地复垦适宜性评价指标体系构建

当前中国矿区土地复垦大多侧重于生态复垦与复绿,土地利用相对单一,同时在实际复垦过程中也需要大量的资金投入以及长期的管理维护,故采石场土地复垦完成后所能带来的社会、经济价值也应该包含在土地复垦模式的考虑之中。目前,露天采石场土地复垦主要有生态复绿和景观重建 2 种模式。景观重建复垦模式包括自然景观和人文景观的重建,自然景观重建要素主要是指自然风景,如山川、树木、湖泊等;人文景观重建要素主要有古迹遗址、园林、商业建筑等<sup>[8]</sup>。但一些新兴模式也在不断发展完善,如生态农业模式。生态农业模式则包括农业、林业和渔业等主要利用方式。

1.2.1 评价因子选取 评价因子选取依据主导性原则、综合性原则、稳定性原则和可获取性原则确定,选择地形条件、自然条件、社会经济条件 3 类因子作为适宜性评价因子。

(1) 地形条件。由于采石场土地破坏的特殊性,地形条件是采石场土地复垦的必要考虑因素。露天采石场边坡由于其裸露岩石陡峭、光滑以及坡度不一致,缺少足够的土壤基质等植物生长的基本物质条件,致使其在采石场土地复垦中难度相对最大。在生态复绿工程中坡度一般以  $40^\circ$  和  $70^\circ$  为标准。 $40^\circ$  以下坡度的复绿技术可以采用传统的挂网喷草等经验充足的技术,实施相对简单; $40^\circ \sim 70^\circ$  的生态复绿有相应的难度,可以采用喷混植生技术;大于  $70^\circ$  则只能选择攀援植物,施工难度大,是采石场边坡复垦中难度之最<sup>[14]</sup>。同时在这个过程中,采石场岩壁的粗糙程度也会影响到植被的恢复与重建。故地形因素选取采场边坡坡度及岩壁粗糙度 2 个指标。

(2) 自然条件。露天采石场复垦前土壤条件以及气候条件极大的影响植被的生长发育、景观重建,

良好的养育条件更能保证植被、作物的良好生长以及节约复垦成本。因此自然条件选择植被覆盖度、有效土层平均厚度以及年均降水量 3 个指标。

(3) 社会经济条件。对于露天采石场土地复垦模式的选择,除地形和自然条件之外,社会经济条件也是非常重要的影响因素。其中地理位置的远近、交通情况的优劣、区域多个采石场分布情况都会影响到土地利用方向及其复垦之后带来的社会、经济效益。故社会经济条件选取社会经济水平、距城市距离以及采石场集中连片度 3 个指标。

1.2.2 评价标准 主要依据以下原则:将评价因子适宜性等级分为 1 等、2 等、3 等和 4 等,取值分别为 100, 80, 60, 40, 分值高低根据评价因子优劣程度来划分<sup>[15]</sup>。

各个评价因子评价标准的选取依据为:①采场边坡坡度:根据陈法扬等<sup>[14]</sup>研究成果,在对采石场边

坡进行工程设计时,一般选用 40°和 70°作为标准;同时参考水土保持研究成果对边坡坡度适宜性等级进行选取划分;②采场岩壁粗糙度:根据巴顿表征节理面粗糙程度的参数 JRC 剖面图进行划分,该方法虽有较强的主观性,但可快捷方便判断石壁粗糙程度,能满足对边坡复绿等工程的指导<sup>[16]</sup>;③自然条件:参考《土地复垦质量控制标准(TD/T 1036-2013)》<sup>[17]</sup>,降水量参考植被自然生长需要的水量,结合自然资源区划,分为 4 个划分标准;④社会经济条件:参考研究结果结合实际情况确定。其中,距城市距离借鉴李春娟等<sup>[10]</sup>的研究结果,按距离大型居民点距离划分为: <10 km, 10~20 km, 20~50 km, >50 km。

1.2.3 评价指标体系构建 通过评价因子选取以及评价标准的确定,露天采石场土地复垦适宜性评价指标体系构建如表 1 所示。

表 1 露天采石场土地适宜性评价指标体系及评价因子标准

评价因子	评价指标	适宜性等级及其对应分值			
		1 等(100)	2 等(80)	3 等(60)	4 等(40)
地形条件	采场边坡坡度/(°)	[0,15)	[15,40)	[40,70)	>70
	采场岩壁粗糙度	[15,20)	[10,15)	[5,10)	[0,5)
自然条件	植被覆盖度/%	>60	[40,60)	[20,40)	<20
	有效土层平均厚度/cm	>60	[30,60)	[10,30)	<10
	年均降水量/mm	>800	[400,800)	[200,400)	<200
社会经济条件	社会经济水平	发达	富裕	较富裕	贫困
	距城市距离/km	<10	[10,20)	[20,50)	>50
	采石场集中连片度	非常集中	比较集中	分散	极分散

## 2 露天采石场土地复垦适宜性评价分析

### 2.1 层次分析法计算

采用层次分析法来确定各评价因子对各个复垦模式的权重。其主要计算步骤如下:

(1) 构建判断矩阵。判断矩阵表示针对上一层次某因素,本层次与之有关因子之间相对重要性的比较。同时它的值反映了人们对各因素相对重要性(或优劣、偏好、强度等)的认识,一般采用 1—9 及其倒数的标度方法。当相互比较因素的重要性能够用具有实际意义的比值说明时,判断矩阵相应元素的值则可以取这个比值。判断矩阵的元素标度及其含义见表 2。

(2) 层次单排序及其一致性检验。建立判断矩阵  $\mathbf{B}=(b_{ij})_{n \times n}$  后,就可以求出各个因素的权值。采用和积法计算出各矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$  及其对应的特征向量  $\mathbf{W}$ ,并用一致性比率 CR 进行一致性检验。其具体计算方法如下:

表 2 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示 2 个因素相比,具有同样重要性
3	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述 2 相邻判断的中值
倒数	因素 $i$ 与 $j$ 比较得判断 $b_{ij}$ ,则因素 $j$ 与 $i$ 比较的判断 $b_{ji}=1/b_{ij}$

①将比较矩阵每一列  $b_{ij}$  正规化为  $\hat{b}_{ij}$ ,并将比较矩阵按行相加,得出特征向量  $\overline{W}_i$

$$\hat{b}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}, \quad \overline{W}_i = \sum_{j=1}^n \hat{b}_{ij} \quad (1)$$

②对特征向量  $\overline{W}_i$  正规化为  $W_i$ ,得出各个因素权重值

$$W_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{i=1}^n \overline{W}_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (2)$$

③ 计算比较矩阵最大特征根  $\lambda_{max}$

分别计算一致性指标 CI 和一致性比率 CR

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nW_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (3)$$

$$C_I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad (4)$$

式中:  $B$ ——由  $b_{ij}$  组成的判断矩阵;  $(BW)_i$ ——向量  $BW$  的第  $i$  个元素。

式中: 随机一致性指标  $RI$  值见表 3。当  $C_R < 0.1$  认为判断矩阵的不一致程度在容许范围内; 否则必须重新调整矩。

④ 一致性检验:

表 3 随机一致性指标 RI 的值

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

### 2.2 各复垦模式中评价因子的权重确定

4 所示。利用层次分析法计算得:  $\lambda_{max} = 8.2602$ ; 一致性比率  $CR = 0.0264 < 0.1$ , 满足一致性(表 5)。

#### 2.2.1 生态复绿复垦模式 首先构建判断矩阵如表

表 4 生态复绿模式下各评价因子判断矩阵

评价因子	采场边坡坡度	采场岩壁粗糙度	植被覆盖度	有效土层平均厚度	年均降水量	社会经济水平	距城市距离	采石场集中连片度
采场边坡坡度	1	2	3	2	3	4	4	5
采场岩壁粗糙度	1/2	1	2	1	2	3	3	4
植被覆盖度	1/3	1/2	1	1/2	1	2	2	3
有效土层平均厚度	1/2	1	2	1	2	3	3	4
年均降水量	1/3	1/2	1	1/2	1	3	2	1
社会经济水平	1/4	1/3	1/2	1/3	1/3	1	1	1/2
距城市距离	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	2
采石场集中连片度	1/5	1/4	1/3	1/4	1	2	1/2	1

表 5 生态复绿模式下各评价因子的权重值

评价因子	采场边坡坡度	采场岩壁粗糙度	植被覆盖度	有效土层平均厚度	年均降水量	社会经济水平	距城市距离	采石场集中连片度
权重	0.2799	0.1758	0.1042	0.1758	0.0967	0.0498	0.0619	0.0559

#### 2.2.2 景观重建模式和生态农业模式 同理如生态复绿复垦模式, 通过层次分析法对景观重建模式和生

态农业模式进行权重计算, 两模式判断矩阵及评价因子权重如表 6—7 所示。

表 6 景观重建模式下各评价因子判断矩阵及其权重值

评价因子	采场边坡坡度	采场岩壁粗糙度	植被覆盖度	有效土层平均厚度	年均降水量	社会经济水平	距城市距离	采石场集中连片度
采场边坡坡度	1	1/4	1	1	1	1/3	1/4	4
采场岩壁粗糙度	4	1	3	2	2	1/2	1/3	4
植被覆盖度	1	1/3	1	1/4	1/2	1/2	1/4	3
有效土层平均厚度	1	1/2	4	1	1	1/2	1/3	2
年均降水量	1	1/2	2	1	1	1/2	1/3	4
社会经济水平	3	2	2	2	2	1	1/3	5
距城市距离	4	3	4	3	3	3	1	6
采石场集中连片度	1/4	1/4	1/3	1/2	1/4	1/5	1/6	1
权重	0.0742	0.1579	0.0612	0.0995	0.0925	0.1746	0.3083	0.0318

注: 计算得:  $\lambda_{max} = 8.4802$ ; 一致性比率 = 0.0487 < 0.1, 满足一致性。

表7 生态农业模式下各评价因子判断矩阵及其权重值

评价因子	采场边坡 坡度	采场岩壁 粗糙度	植被覆 盖度	有效土层 平均厚度	年均降 水量	社会经济 水平	距城市 距离	采石场集中 连片度
采场边坡坡度	1	4	2	1/3	1/2	1/2	1/2	2
采场岩壁粗糙度	1/4	1	1/3	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2
植被覆盖度	1/2	3	1	1/2	1/2	1	2	2
有效土层平均厚度	3	4	2	1	2	3	3	4
年均降水量	2	4	2	1/2	1	2	3	3
社会经济水平	2	3	1	1/3	1/2	1	2	2
距城市距离	2	3	1/2	1/3	1/3	1/2	1	1
采石场集中连片度	2	2	1/2	1/4	1/3	1/2	1	1
权重	0.107 7	0.038 2	0.112 2	0.268 3	0.194 0	0.126 1	0.089 9	0.063 5

注:计算得: $\lambda_{\max}=8.418 7$ ;一致性比率 $=0.042 4 < 0.1$ ,满足一致性。

### 3 实例分析

#### 3.1 缝山针复垦区概况

焦作市位于河南省西北部,地理坐标为 $35^{\circ}10'—35^{\circ}21'N, 113^{\circ}4'—113^{\circ}26'E$ 。焦作市属温带季风气候,市区北部为山地、丘岗,南部为平原。2016年,全市地区生产总值2 082亿元,人均生产总值达到58 800元。焦作市北山露天采石场始建于20世纪70年代,是焦作城市基础设施建设石材用料主要生产地。

20世纪80—90年代,该区有12处采石场,大量

的采石场在采掘矿石的同时,地貌景观和生态环境也受到显著影响。开采之后的采石场坡高数米至近百米,除部分坡顶有工程造林措施进行景观改造外,大部分边坡岩壁基石裸露。坡面形态受结构面控制变化较大,坡度较陡,多在 $60^{\circ}—90^{\circ}$ 之间,个别地段较缓,局部有反倾石壁,有数个深3~20 m不等的残坑或废弃凹地<sup>[18]</sup>。

#### 3.2 缝山针复垦区适宜性评价

根据实地调研与测定,缝山针复垦区现状数据如表8所示。计算3种模式综合评价得分见表9。

表8 缝山针复垦区评价因子现状数值

采场边坡 坡度/ $^{\circ}$	采场岩壁 粗糙度	植被覆 盖度/ $\%$	有效土层 平均厚度/cm	年均降水量/ mm	社会经济 水平	距城市 距离/km	采石场集 中连片度
68	13	25	8	610	富裕	4.9	比较集中

表9 复垦区三种复垦模式综合评分

评价因子	评价因子 评分	生态复绿模式		景观重建模式		生态农业模式	
		权重	评分	权重	评分	权重	评分
采场边坡坡度	60	0.279 9	16.79	0.074 2	4.45	0.107 7	6.46
采场岩壁粗糙度	80	0.175 8	14.06	0.157 9	12.63	0.038 2	3.06
植被覆盖度	60	0.104 2	6.25	0.061 2	3.67	0.112 2	6.73
有效土层平均厚度	40	0.175 8	7.03	0.099 5	3.98	0.268 3	10.73
年均降水量	80	0.096 7	7.74	0.092 5	7.40	0.194 0	15.52
社会经济水平	80	0.049 8	3.98	0.174 6	13.97	0.126 1	10.09
距城市距离	100	0.061 9	6.19	0.308 3	30.83	0.089 9	8.99
采石场集中连片度	80	0.055 9	4.47	0.031 8	2.54	0.063 5	5.08
评分合计			66.51		79.47		66.66

根据表9可知,适宜度综合评分最高的是景观重建模式,而且此复垦区也是进行景观重建。北山露天采石场现建成缝山针国家矿山公园,该公园长约1.5 km,宽约0.6 km,总面积0.9 km<sup>2</sup>。目前建有缝山公园大门、主题雕塑、广场、飞瀑(陡峭边坡改造而成)、观光湖(采石坑改建)、儿童乐园(矿山排土排渣

场改建)等一系列自然人文景观。除此之外,生态复绿模式和生态农业模式综合评分相差不大,究其原因相对于北山采石场复垦前立地条件,2种模式没有能够兼顾地区资源环境和社会经济价值,故因地制宜制定的北山采石场的最佳土地复垦模式为景观重建模式。

## 4 讨论与结论

一般地,采石场土地复垦的目标具有多宜性,也即恢复后的采石场可作为多种用途的土地。而采石场土地复垦的适宜性评价是对其废弃土地利用的优化配置以及科学合理的复垦方案制定的基础。但是在实践中缺乏简单易行的、科学有效的适宜性评价办法。因此,在采石场土地复垦适宜性评价中,因地制宜,考虑复垦区具体破坏特征、开采规模、地形地貌、气候条件、地方社会经济以及相关规划等因素,构建评价指标体系以及确定评价标准最为关键。指标太少,虽然简单易于分析,但不能全面代表影响因素;而指标太多则又往往构成庞杂的指标体系,指标数据获取也增加难度。本研究选择地形条件、自然条件和社会经济条件 3 方面共 8 个指标构建评价指标体系,运用层次分析法对不同复垦模式下指标因子权重进行计算,根据不同因子的分级标准,得出不同模式的适宜性评价分值。通过焦作北山采石场复垦经验进行验证,二者具有很好的一致性,表明该适宜性评价指标体系具有较好的科学性和可行性,可为其他露天采石场最佳复垦模式的选择提供借鉴和参考。

当然,对于指标体系的构建,所选指标可能在不同具体实践中仍需要优化完善。如采石场规模对复垦模式的选择也有一定的影响,由于石料种类多样,其生产建设规模划分标准不一,用破坏土地面积来衡量需要进一步研究其分级标准。同时,露天采石场复垦模式方面,如上海松江“深坑酒店”等,在社会经济方面选择社会经济水平和距城市距离 2 个评价因子可能代表性不足,对于具体土地复垦利用方向的选择,需要进一步结合当地实际情况因地制宜优化。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 杨振意,薛立,许建新. 采石场废弃地的生态重建研究进展[J]. 生态学报,2012,32(16):5264-5274.  
[2] 杨延君,白中科. 露天采石场密集区复垦模式研究[J]. 中国土地科学,2010,24(7):36-39.

[3] 陈波,包志毅. 国外采石场的生态和景观恢复[J]. 水土保持学报,2003,17(5):71-73.  
[4] 陈波,包志毅. 生态恢复设计在城市景观规划中的应用[J]. 中国园林,2003,19(7):44-47.  
[5] 袁剑刚,周先叶,陈彦,等. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J]. 生态学报,2005,25(6):1517-1522.  
[6] 张艳,赵廷宁,史常青,等. 北京山区采石场边坡植被恢复动态研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(6):61-66.  
[7] 张起凤,石章胜,祝劲,等. 资源枯竭型城市废弃采石场植被恢复与再利用探讨:以黄石市黄荆山北麓废弃采石场复绿工程为例[J]. 林业资源管理,2015,4(2):145-149.  
[8] 刘青松,左平,邹欣庆,等. 吴县市露采矿区生态重建与环太湖地区生态旅游模式的契合[J]. 生态学杂志,2003,22(1):73-78.  
[9] 王琼,辜再元,周连碧. 废弃采石场景观设计与植被恢复研究[J]. 中国矿业,2010,19(6):57-59.  
[10] 李春娟,陈国建,李春利,等. 重庆市采石场生态修复新思路[J]. 中国水土保持,2017(6):60-62.  
[11] 马东丹,武楠楠. 长葛市崆山农业园融合废弃采石场的规划探讨[J]. 浙江农业科学,2015,56(3):404-407.  
[12] 阳春花,谢艾伶,向娟. 工矿废弃地复垦—赛场投建复垦方向探讨[J]. 国土资源科技管理,2014,31(6):110-114.  
[13] 邹自力,李德胜. 寻乌县菖蒲平顺采石场矿区土地复垦可行性研究[J]. 湖北农业科学,2012,51(11):2204-2206.  
[14] 陈法扬. 城市化过程中的废弃采石场治理技术探讨[J]. 中国水土保持,2002(5):39-40.  
[15] 张秋玲. 基于层次分析法的矿区待复垦土地适宜性评价[J]. 贵州农业科学,2009,37(5):102-104.  
[16] 张永兴. 岩石力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.  
[17] 中华人民共和国国土资源部. TD/T1036-2013 中华人民共和国土地管理行业标准:土地复垦质量控制标准[S]. 北京:2013.  
[18] 郭二旺. 焦作市北山采石场生态修复实践[J]. 中国水土保持,2008(6):26,46.

(上接第 186 页)

[22] Asis A M D, Omasa K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data [J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2007, 62(4):309-324.  
[23] 李娟. 兰州市南北两山植被覆盖度动态变化遥感监测[J]. 矿山测量,2010,36(1):34-37.

[24] 李天宏,郑丽娜. 基于 RUSLE 模型的延河流域 2001—2010 年土壤侵蚀动态变化[J]. 自然资源学报,2012,27(7):1164-1175.  
[25] 王娟,卓静. 基于 RS 和 GIS 的陕北黄土高原退耕还林区土壤侵蚀定量评价[J]. 水土保持通报,2015,35(1):220-223.  
[26] 林惠花. 典型区域土壤侵蚀的地理学分析[D]. 福州:福建师范大学,2009.