

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201606055

矿业棕地公园生态安全格局建构与评价分析

冯莹雪^{1,2}, 史 芳¹, 曹 颖¹

(1.中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院,北京 100083; 2.城市水资源与水环境国家重点实验室
(哈尔滨工业大学),哈尔滨 150090)

摘 要: 针对生态环境严重恶化的矿业棕地,提出生态化建构的矿业棕地公园为修复对策,以保证棕地景观生态安全.矿业棕地公园景观生态安全格局,依 MCR 模型建构,将矿业棕地公园内的人工自然生态斑块在景观尺度内作为生态安全格局中的“源”整体考虑,即人工自然的源.人工自然斑块源之间进行联结,依据岛屿理论模型,各“源”间的阻力等值线相切形成鞍状.在生态能流扩散过程中,这个鞍状区就成为不同“源”间的“战略点”.组分经确定即设计为矿业城市的生态基础设施.通过选取的景观指数评价分析,与传统规划设计模式对比,矿业棕地公园的生态安全格局与国家倡导的矿山公园相比较,景观破碎化程度明显下降,景观分离度显著变小.景观多样性降低、景观优势程度加大、景观的蔓延度增高.

关键词: 矿业棕地; 矿业棕地公园; MCR 模型; 生态安全格局; 评价分析

中图分类号: TU986 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2017)10-0177-05

Ecological security pattern tectonics and evaluation analysis of mining brownfield parks

FENG Yingxue^{1,2}, SHI Fang¹, CAO Ying¹

(1.Institute of Mechanics and Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;
2.State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment (Harbin Institute of Technology), Harbin 150090, China)

Abstract: Aiming at the mining brownfield of which the ecological environment is badly worsening, a mining brownfield park based on ecological tectonic is presented to keep ecological safety on brownfield landscape. The landscape ecological security patterns of mining brownfield park constructed by MCR model take the artificial natural ecological patches in brownfield parks as “origins” in ecological security pattern at landscape scale, which means the origin of artificial nature. The origins of artificial natural patches bind each other, and according to island theory model, the resistance contours between every origin forms saddle tangentially. This saddle area would become “strategic points” between different “origins” in ecological energy flow spreading process. By analyzing the selected landscape indexes and comparing with traditional planing design pattern, the ecological security pattern of mining brownfield park and the degree of landscaped fragmentation decline obviously, the landscape isolation diminishes obviously, while the landscape diversity reduces. The degree of landscape dominance and landscape spread increases.

Keywords: mining brownfield; mining brownfield park; MCR model; ecological security pattern; evaluation analysis

矿业棕地是指“采矿、选矿和炼矿过程中被破坏或污染的非经治理而无法利用的土地”^[1].是因人类干扰造成的地球表面的“伤疤”.矿业棕地的环境污染严重,自然生态被无情地破坏,生态环境严重退化.干扰一般指人类行为(如采矿)显著改变系统自然格局的事件^[2].人类干扰或人类干扰诱发的自然灾害成为矿业城市区域内生态环境恶化和生态脆弱性的主要原因.

针对这种生态干扰,上世纪 80 年代以来直至目前,建设“矿山公园”是中国矿业棕地治理的主要模

式.它主要是用来培养新的经济增长点,作为矿业城市的一种新的自然资源利用模式^[3].此模式下矿业棕地被认为具有二次开发利用的价值,可以通过开展工业旅游等第三产业,创造经济效益,因而生态修复并未得到应有的重视^[4].

矿业棕地生态修复,旨在恢复因采矿干扰而退化的生态系统.若任由矿业棕地依靠自然演替(natural succession)进行生态恢复,可能需要 100 ~ 10 000 年^[3].勇于创新,加速生态恢复进程,“为引导这种变化,需要知识和做出根本决策的勇气”^[5].为此在以往基础研究中提出了矿业棕地公园的概念,将其定义为:立于矿业棕地,以矿业棕地的自然生态修复为主旨,以人工自然景观生态建构为过程,改善生态自然环境为目的,使其具有景观基础设施功能,并且自然

收稿日期: 2016-06-16
基金项目: 城市水资源与水环境国家重点实验室 2017 年度开放基金(QAK201713)
作者简介: 冯莹雪(1982—),女,博士,副教授
通信作者: 冯莹雪, zisemao88@163.com

生态是可持续的、格局开放的一种生态景观^[6].

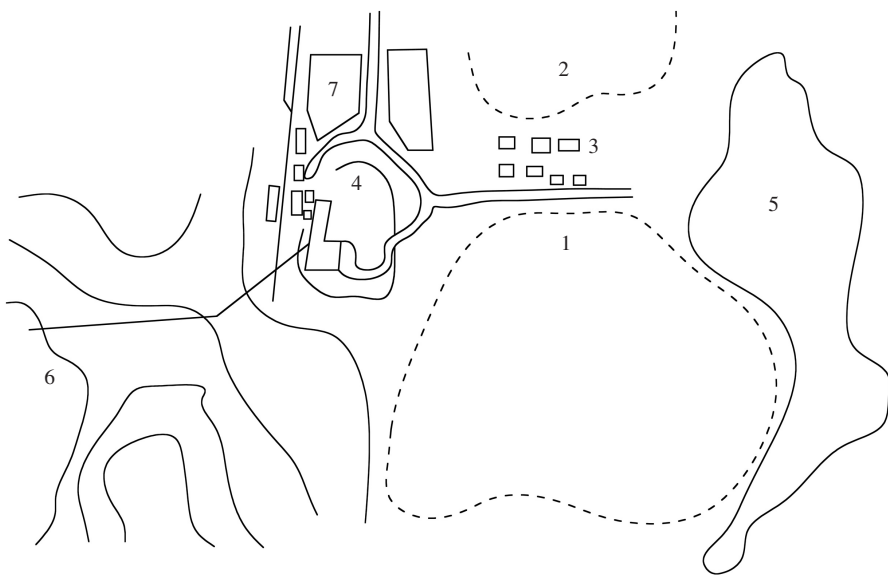
矿业棕地公园是一个以景观为载体的,可以提供生态服务的、跨尺度的生态基础设施,能在不同尺度上解决矿业棕地的生态修复和环境治理.由于矿业棕地人为干扰的复杂性和造成的景观破碎化,关键性生态过程均遭破坏,自然基底碎片化.这样场地的生态修复,首要问题是生态安全.生态安全是指在一定区域内,生态环境条件以及所面临生态环境,不对人类生存和持续发展形成威胁,进而使因干扰造成的生态脆弱性能够不断得到改善的状态^[7].生态安全的本质有两个方面,一个是生态风险,另一个是生态脆弱性^[8].解决方案是依据景观生态学理论,建构景观生态安全格局.在此生态安全格局中,关键性

的斑块、廊道对物种的繁衍和生态流的传播过程意义重大.设计时要以它们为核心构建景观生态格局,以确保场地中各种生态过程的健康和安全.矿业棕地生态修复不是单一的工程,而是要建构一个系统的、可持续为矿业城市提供生态服务的生态基础设施,即构建一个景观生态安全格局.

1 生态安全格局建构

1.1 基本公式

矿业棕地公园的场地主要是矿业开采活动用地.本文以露天矿开采棕地为模型样本,经整合后作为矿业棕地公园的景观格局构成,如图 1 所示.



1—露天采矿场;2—采矿工业场地;3—选矿场;4—碎石场;5—尾矿场;6—辅助设施场地;7—生活区

图 1 露天矿棕地景观格局平面^[9]

Fig.1 The brown landscape pattern plan of the open mining field^[9]

矿业棕地上的自然基质遭到严重破坏,表现出明显的生态脆弱性,属于不健康、不安全的景观格局.依据景观生态学理论,矿业棕地景观系人类干扰形成的地表景观,“它恰好处在自然生态过程与人类文化活动的界面上”^[10].作为一种生态严重破坏的后工业景观,适合采用一种新的研究范式,即采用“设计生态”、“人工自然”的进攻性策略.这种研究范式强调空间格局、过程与尺度的关系,是有效的处理后工业棕地景观生态修复的创新模式.它摒弃了传统的“保护”生态的景观规划设计方法,为棕地的生态修复提供了最佳方案.

中国学者以 Forman 所倡导的景观生态规划方法为理论基础,提出了“景观安全格局理论”,认为景观中存在着某些关键点(或称战略点)以及某些特定格局,构成了控制景观的安全格局.指“由景观

中的某些关键的局部、其所处方位和空间联系共同构成存在某种潜在的生态系统空间格局”^[11].此研究基于最小累积阻力模型(minimum cumulative resistance, MCR)公式^[12].该公式模型考虑 3 个方面的因素,即源、距离和景观介面特征,系景观生态学家结合地理信息系统中常用的费用距离模型(costdistance)修改而来^[13].

$$MCR = f \min \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i).$$

式中: D_{ij} 为物种从源 j 穿越空间的距离, i 为景观基面;景观 i 为对特定物种运动的阻力即 R_i ; f 为未知项; $(D_{ij} \times R_i)$ 的值可以被作为衡量特定物种从 j 到空间某点的路径的相对容易达到性.

依 MCR 建构的生态安全格局是一个多层次的、连续完整的生态网络,其中 f 反映空间任一点的最

小阻力与其到所有源的距离,以保证生态安全格局得以实现.

1.2 设计方法

1.2.1 组分确定

MCR 建构的生态安全景观格局包含“源”,“源间联结”,和“战略点”几个组分.

1)“源”的确定.“源”可以是自然栖息地生态斑块、不同物种、族群还可以是自然生境也可以是人工自然,能反映区域的多种生境特点.将矿业棕地公园作为生态安全格局中的“源”整体考虑,进而选择矿业棕地公园内的人工自然生态斑块作为景观尺度的保护“源”.

2)源间联结.相邻两源之间的低阻力通道.根据 MCR“最小距离”公式,确定生态信息廊道起关键作用的局部、点和空间关系.

3)战略点的判别.MCR 中战略点的得出是依“源”间阻力线的交汇处判定.本文研究依据岛屿理论模型,低阻力的“源”位于高阻的基质环形包围中,各“源”间的阻力等值线相切部分,形成鞍状.在生态能流扩散过程中,当超过某一阈值时,这个鞍状区就成为不同“源”间的“战略点”.

1.2.2 安全格局建构

1.2.2.1 核心“源”的建构

1)“源”即为整体的矿业棕地公园.依 MCR 的斑块形状计算公式为

$$LSI = \frac{P_i}{2\sqrt{\pi A_i}}.$$

式中: P_i 为斑块周长, A_i 为斑块面积.这里 $LSI_{min} = 1$,此时斑块为圆或正方形.LSI 的值越大越有利于生物多样性的发展.但建筑行业习惯上对于场地的“三通一平”,都是使 LSI 值趋于最小.从生态恢复的角度,LSI 值越大即形状越复杂,才是生态安全格局.同时不能以方便管理为由砌筑围墙,造成人为阻断景观的连通性.

2)“源”为荒野、尾矿、排土场等,设计策略是唯一的——强势造林.乔木、灌木、自然原生草地三管齐下,在原始自然生态已不复存在的矿业棕地基底上造出“人工自然”的生态“源”^[14].

1.2.2.2 建立生态廊道

生态廊道是源向周边提供生态服务的联系廊道和辐射道.因此它必须是源间生态信息传递的阻力最低的地表类型.根据大量计算的数值表明,江河湖泊、林地、草原的生态信息流动阻力最低,道路交通设施、城市建筑、工矿场地阻力最高^[15].对高阻力地表类型(道路、广场等)要进行生态化的覆被改造,从而实现生态安全的景观格局.

由于道路交通设施对生态流阻力最大,因此不能允许其穿越矿业棕地公园的核心生态区,在公园生态辐射区内也应将其设计为生态廊道.

1.2.2.3 确定景观战略点

矿业棕地公园的景观战略点是生态修复的关键斑块,即对人为干扰敏感的较大单元.是生态网络建构中的关键节点及对生态安全格局具有战略意义的景观,生态修复后成为提供生态服务功能的关键性部位.

矿业城市区域景观战略点有,矿业棕地区域内的水体及滨水区(面状、线状)、生态廊道网络节点,以及公园入口、停车场.

1)公园入口、停车场.硬质铺地停车场,是传统的“灰色”基础设施,是生态化建构战略点.

2)水体及滨水区.采矿过程中未被破坏的原有自然水体,是矿业棕地的宝贵生态资源,在去除硬质堤岸,恢复自然滨水区后即可作为“战略点”.

3)生态廊道网络节点.为保证生态廊道的可达性和网络的连通性,网络节点特别是生态廊道与交通道路的交汇处均为“战略点”.

2 对生态安全格局的评价分析

2.1 景观指数的选取

景观生态安全格局的评价分析,需要引入相应的景观指数.在众多景观指数中,选取标准是:基本涵盖中国全部重要矿业城市,对研究中国矿业棕地具有代表性,相关研究成果丰富,数据可信度高.本文从大量矿山公园研究文献资料中筛选数据作为评价分析的参照,这样分析出的结论对中国全部矿业棕地的生态修复具有普遍意义.依据矿山公园与矿业棕地公园景观生态安全格局的比较特征,选取景观指数如下.

2.1.1 斑块量(NP)

斑块量(NP)即景观中斑块的数目.计算公式为

$$NP = N,$$

式中 N 为场地范围内,全部景观斑块数.该指数揭示场地的景观破碎化程度,即人工破坏的强度.

2.1.2 景观分离度指数(DIVISION)

景观分离度指数指场地中某种地表景观被分割的程度.指数建模公式为

$$DIVISION = \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{N}{A}} \right) / \frac{CA}{A}.$$

式中:CA 为某景观类型的总面积;DIVISION 为景观类型 j 的分离度; A 为景观的总面积.划分结果显示的数值越大,显示场地内该类景观被分割的程度越高,景观碎片化越严重.

2.1.3 景观异质性(SHDI)

景观异质性是指场地内景观在时间、结构、功能等方面变化的多样性,景观的复杂性亦体现于此.计算公式为

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i) \ln(p_i).$$

式中: m 为景观类型数; p_i 为第 i 类类型景观面积占景观总面积的比.当指数最大时,表明场地内各类景观面积比例接近,呈现破碎化.而当只有一种景观类型时,如大片林地、大面积水域则指数为 0.

2.1.4 景观优势指数(D)

景观优势指数是测量场地景观结构中,某种景

$$CONTAG = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(p_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right)^n \left(p_i \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right) \right]}{1 + \frac{2 \ln m}{(100)}} \right]. \tag{100}$$

式中: m 为景观类型数; g_{ik} 为景观类型 i 和 k 两参数相互关联邻接的类型景观聚集量.这个指标是表示景观安全格局的生态服务功能的指数之一.

当景观类型呈随机分布时,蔓延度为 50;当核心景观类型分散时,蔓延度则为 0;当核心景观类型高度聚集,如场地内景观类型是一个时,这种景观类型的蔓延度最高,公式计算的值是 100.

2.2 景观安全格局评价分析

2.2.1 与矿山公园相比,矿业棕地公园的景观破碎化程度明显下降

矿业棕地景观破碎化严重,建成矿山公园后,由于旅游观光的需要,难以大规模生态化整合,景观类型数目(NP)并无明显减少,而矿业棕地公园因实施生态化建构,强势造林,恢复自然生态,景观类型数目(NP)大幅减少,修复了矿业棕地的生态,景观破碎化程度大幅减少.

2.2.2 矿业棕地公园的景观分离度显著变小.

以矿业棕地上的自然残遗斑块(林地、水体)为所选景观类型代入指数公式,发现矿山公园的 N 值一般是两位数的量级,而 CA/A 则小于 1/10;分离度一般在0.85以上,有的矿山公园测试样本甚至达到 0.95.而在矿业棕地公园建构中,原有的自然残遗斑块将和人工自然斑块连成一片使景观分离度明显减小.

2.2.3 景观多样性降低.

矿业棕地景观多样性指数很高,景观结构复杂.在矿山公园的规划设计中,一般把景观的类型简化为旅游服务类和生态服务类两大类,其面积比例相当,多样性指数趋近最大值;而矿业棕地公园则因突出生态修复和生态服务功能而“强势造林”,此类景观面积占主导地位,指数值最小化,生态功能最

观类型所表现出的支配程度,即居主导地位的景观,其建模计算公式为

$$D = H_{\max} + SHDI = \ln(m) - \sum_{i=1}^m (p_i) \ln(p_i),$$

式中 D 为显示景观主导性指数,当 D 越大时,则占主导地位的景观对应于一个或少数几个景观类型.

2.1.5 蔓延度指数(CONTAG)

蔓延度指数是研究景观扩张趋势的景观格局的重要指数.若地表因自然地势或人类活动(如采矿)分割而形成若干小斑块,形成破碎化则蔓延度指数低,计算公式为

大化.

2.2.4 景观优势程度加大.

在矿山公园场地中因无主导类型景观,所以其 D 值较小;而在矿业棕地公园场地中,因林地或水体为主导类型景观,所以其对应较大的 D 值.也就是优势景观斑块类型(林地、水体)在景观中的面积比例大幅增加,则景观结构变得相对简单.因此对景观的控制作用加强,从而可将矿业棕地建构成生态安全的景观格局.

2.2.5 景观的蔓延度增高.

矿业棕地由于人类的采矿活动导致景观破碎化程度较高,以它为基质的矿山公园,由于热衷于兴建旅游景点和各种服务设施,以及修建大型硬质铺装的广场、公路等城市化建设,致使场地生态景观破碎化的状态改善并不明显,蔓延度较低.矿业棕地公园则是通过强势造林和景观基础设施建设,使景观蔓延度得到极大提高.典型数值是矿山公园景观的蔓延度一般在 46.0~49.5,而矿业棕地公园景观的蔓延度一般都在 85.0 以上.

3 结 论

1)通过 MCR 模型建构的景观生态安全格局,可以有效控制灾害性生态过程的发生.把矿业棕地上的石漠化矿床、尾矿堆、矸石山、排土场及工业污染地段,全部生态化建构为人工自然的生态“源”,实现棕地的生态修复.

2)矿业棕地公园场地上的源间联结,通过生态廊道实现生态网络化格局,保证了对生态战略点的沟通,既保证了生态系统安全,同时完成生态服务功能.

3)通过选取的一组景观指数的计算和分析看出,基于 MCR 的景观生态安全格局,成为棕地修复的生态基础;网络化的生态廊道降低了景观分离度,同时降低了景观多样性;由于林地成为主导类型景观,控制作用大大加强,使生态安全得到有效保证;同时提高了生态修复后的景观蔓延度,使矿业城市区域生态安全得到根本的保障。

参考文献

[1] [英]格默尔 R P. 工业废弃地上的植物定居[M]. 倪彭年,李玲英,译. 北京:科学出版社,1987.
GEMMELL R P. Colonization of industrial wasteland [M]. NI Pengnian, LI Lingying. Beijing: Science Press, 1987.

[2] 陈利顶,傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 851-856. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2000.04.008.
CHEN Liding, FU Bojie. Ecological significance, characteristics and types of disturbance [J]. ACTA Ecologica Sinica, 2000, 20(4): 851-856. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2000.04.008.

[3] 国土资源部地质环境司. 中国国家矿山公园建设工作指南[M]. 北京:中国大地出版社,2007.

[4] 张俊玲,任昭. 国家矿山公园旅游资源可持续发展探析——以大同晋华宫国家矿山公园为例[J]. 中华民居, 2014(2): 164-165.DOI:10.3969/j.issn:1674-3954.2014.06.142.

[5] DOXIADIS C A. Ecology and Ekistics [M]. Boulder, Colorado: Westview Press, 1977: 3.

[6]冯莹雪. 矿业棕地公园景观生态化建构对策研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
FENG Yingxue. On ecological landscaping tectonics of mining brownfield parks [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.

[7] WONG M H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils[J]. Chemosphere, 2003,

50(6): 775-780. DOI: 10.1016/S0045-6535(02)00232-1.

[8] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 861-868. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.04.031.
CUI Shenghui, HONG Huasheng, HUANG Yunfeng, et al. Progress of the ecological security research [J]. ACTA Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 861-868. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.04.031.

[9] 冯莹雪.矿业棕地公园景观生态化建构对策研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
FENG Yingxue. On ecological landscaping tectonics of mining brownfield parks [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.

[10] NAVEH Z. 景观与恢复生态学—跨学科的挑战[M].李秀珍,冷文芳,解伏菊,等译. 北京:高等教育出版社,2010.

[11] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999(1): 9-14. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.1999.01.002.
YU Kongjian. Landscape ecological security patterns in biological conservation[J]. ACTA Ecologica Sinica, 1999(1): 9-14. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.1999.01.002.

[12] KNAAPEN J P, SCHEFFER M, HARMS B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. Landscape and UrbanPlann, 1992, 23(1): 1-16. DOI: 10.1016/0169-2046(92)90060-D.

[13] ESRI (Environmental Systems Research Institute). Cell-based Modeling with GRID[M]. 2d ed. Relands, California: ESRI Inc., 1991.

[14]冯莹雪,李桂文. 基于矿业棕地的矿山公园工程设计研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(8): 90-93.
FENG Yingxue, LI Guiwen. The research on the mine parks engineering design based on mining brownfields [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013,45(8):90-93.

[15]刘海龙,黄刚. 景观破碎化条件下风景区生态安全格局的建立——以北京石花洞风景名胜区的为例[C]//首届北京生态建设国际论坛. 北京:首届北京生态建设国际论坛文集,2005.

(编辑 张 红)