

GIS 支持下的工矿废弃地复垦利用方案决策研究

——以湖北省黄石市阳新县七约山矿区为例

彭玉玲^{1,2}, 林爱文^{1,2}, 王珂³, 刘凤莲^{1,2}, 赵琮^{1,2}, 杨倩^{1,2}

(1. 武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079; 2. 教育部地理信息系统重点实验室, 湖北 武汉 430079; 3. 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079)

摘要: [目的] 探讨土地复垦评价及其方案决策方法。[方法] 在借鉴国内外相关研究成果和经验的基础上, 针对工矿废弃地复垦利用的特点, 将特尔斐法、层次分析法(AHP)与 GIS 技术相结合, 选择湖北省黄石市阳新县七约山矿区进行实证研究。[结果] 界定了工矿废弃地的内涵, 建立了试验区数字高程模型, 提出了评价的指标体系, 确定了宜耕、宜园、宜林、宜草的复垦方向, 较好地解决了以往土地复垦研究中较难克服的由于数据精度引起的决策偏差等问题。[结论] 该研究数据时效性和精度较高, 研究模型简单实用, 研究结果通过实际操作证实误差较小, 研究方法具有很好的应用前景。

关键词: 工矿废弃地; 复垦利用; 方案决策; 适宜性评价; GIS

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)02-0297-05

中图分类号: F301.24

GIS-based Program Decision-making in Reclamation and Utilization of Industrial and Mining Wasteland

—A Case Study at Qiyueshan Mining Area of Yangxin County, Huangshi City, Hubei Province

PENG Yuling^{1,2}, LIN Aiwen^{1,2}, WANG Ke³, LIU Fenglian^{1,2}, ZHAO Cong^{1,2}, YANG Qian^{1,2}

(1. School of Resource and Environment Science, Wuhan University, Wuhan,

Hubei 430079, China; 2. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of

Education, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China; 3. State Key Laboratory of Information

Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China)

Abstract: [Objective] This article aim to find a suitable method for the evaluation and decision-making of land reclamation. [Methods] Based on existing evaluation methods and experiences in the domestic and abroad, we used Delphi, AHP(analytic hierarchy process) and GIS tools to conduct the empirical research in the Qiyueshan mining area, Yangxin County, Huangshi City, Hubei Province. [Results] We defined the connotation of industrial and mining wasteland, established the digital elevation model for the experimental area, presented the evaluation index system, determined the direction for different land-use types(arable land, garden, woodland, and grassland) of reclaimed industrial and mining wasteland, and addressed the decision bias problem caused by data accuracy. [Conclusion] The study provided high accuracy and timeliness data, and simple and practical model. The results are proved as accurate enough, which will be useful for further application.

Keywords: industrial and mining wasteland; reclamation and utilization; program decision-making; suitability evaluation; GIS

废弃地复垦有利于我国土地资源的保护和合理利用, 有利于改善生态环境, 提升土地资源的综合承载能力。土地适宜性评价主要评定土地对于某种利用方式的适宜程度, 它是进行土地利用决策和确定土

地利用方向的基础和依据。目前, 一些学者对土地复垦评价及其方案决策进行了多方面的探讨。以土地复垦为主题的研究主要围绕基础理论研究^[1-2]、重金属污染评价^[3]、土壤质量评价^[4]、生态景观变化研

收稿日期: 2014-01-21

修回日期: 2014-03-20

资助项目: 国家自然科学基金项目“农业干旱和水文干旱对气象干旱的预警响应模拟研究”(41301586)

第一作者: 彭玉玲(1986—), 女(汉族), 河南省洛阳市人, 博士研究生, 研究方向为 GIS 在土地研究中的应用。E-mail: yulingpeng@whu.edu.cn。

通信作者: 林爱文(1963—), 男(汉族), 湖北省黄冈市人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域发展与土地利用、资源环境遥感与 GIS 应用研究。E-mail: awlin@whu.edu.cn。

究^[5]、复垦模式研究^[6]、评价方法研究^[7]等内容开展;以工矿废弃地为主题的研究主要围绕重金属污染评价^[8]、生态修复与重建研究^[9-10]、复垦利用评价^[11]等内容开展;以土地复垦适宜性评价为主题的研究主要围绕评价方法的选择^[12]、评价模型的构建^[13]等内容开展;以土地复垦方案决策为主题的研究主要围绕理论研究^[14]等内容开展;此外,还包括一些具体案例的应用等研究^[15];在研究内容上已初步形成了较完整的理论体系。研究方法上,也逐步向与 GIS 结合的动态模型化与空间决策化方向发展^[16]。但目前针对 GIS 与传统方法相结合应用于工矿废弃地复垦利用适宜性评价,并用以指导复垦方案决策的研究较少^[17],且缺乏针对工矿废弃地的特色开展的研究,基础数据的精度和时效性仍有待提高,研究方法的实用性和研究结果的精确性也有待进一步检验。

工矿废弃地的概念目前没有较统一的界定。张丽芳,濮励杰,涂小松等^[18]认为,废弃地是在各种类型土地的利用过程中,随着人类活动的停止而使得已经使用或开发的土地目前处于闲置、遗弃或未被完全使用的特殊状态,且该类土地需要经过一定的治理才能投入将来的再次使用;王笑峰,蔡体久,张思冲等^[8]认为,工矿废弃地是指在工业生产和矿产资源开发利用过程所形成的固体废弃物排放场以及废弃的采矿场;王向荣,任京燕等^[19]认为,工业废弃地指曾为工业生产用地和与工业生产相关的交通、运输、仓储用地,后来废置不用的地段,如废弃的矿山、采钉场、工厂、铁路站场、码头、工业废料倾倒地等等。本研究认为,工矿废弃地是在工业生产和矿产资源开发利用过程中由于压占、塌陷、挖损、污染等损毁形成的闲置和废弃土地,包括露天采场、排土场、废石场、矸石场、尾矿场、废渣堆、塌陷区、地面沉降变形区、重金属污染损毁地以及交通、水利等基础设施废弃地。

工矿废弃地复垦利用,是将历史遗留的工矿废弃地以及交通、水利等基础设施废弃地加以复垦,在治理改善矿山环境基础上,与新增建设用地相挂钩,盘活和合理调整建设用地,确保建设用地总量不增加,耕地面积不减少、质量有提高的措施。

在工矿废弃地复垦利用决策研究中,需要统筹考虑表土层质地、表土层厚度、有机质含量、水分条件、地形坡度、土地污染程度、损毁程度、复垦难易程度之间密切的联系。为了科学客观地进行工矿废弃地复垦利用适宜性评价和复垦方案决策,本研究将特尔斐法和层次分析法(AHP)相结合,提出一种能描述各评价因子复杂组织关系的数学模型与计算方法。GIS 方法的应用将使数据的分析和处理更方便快捷,

也使复垦方案的制定和表达更精准、更清晰。多种方法的交叉应用能同时定性、定量、定位地评估、比较和判断工矿废弃地复垦利用的适宜性,并便于准确合理地进行规划方案的决策。

1 研究区概况

七约山矿区位于湖北省黄石市阳新县金海煤炭开发管理区内,行政区划属阳新县管辖。矿区中心地理位置位于东经 $115^{\circ}11'22.5''$,北纬 $30^{\circ}05'20''$ 。研究区工矿废弃地总面积为 282.77 hm^2 ,其中主要包括由于历史原因无法确定土地复垦义务人的工矿废弃地,国有矿山企业遗留的工矿废弃地,因矿产资源开采受到严重影响的损毁地,闲置工矿用地,交通、水利设施废弃地。

2 数据来源

基础数据主要来源于阳新县国土资源局提供的 2009 年阳新县第二次全国土地调查(简称“二调”)数据,2011 年阳新县统计年鉴,2011 年阳新县土地利用变更调查数据,2012 年研究区实测地形数据,2013 年研究区补测地形数据以及阳新县土地利用总体规划(2006—2020 年),阳新县城市总体发展规划(2011—2015 年)等相关规划数据。研究区现状图测量精度为 $1:2\ 000$,制图比例尺为 $1:5\ 000$ 。对照“土地利用现状分类(过渡期)”与“土地利用现状分类(二调)”的转换关系,将研究区域土地利用类型重新划分为耕地、园地、林地、其他农用地、城镇、农村居民点、其他建设用地、水域、未利用地共 9 类,并将矢量数据转换为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的栅格数据,基于 ArcGIS 9.3, MapGIS 6.7, Surfer 10 等工作平台进行数据处理与空间分析。

3 研究方法

工矿废弃地复垦项目规划设计应在区域土地开发整理专项规划和矿区生态环境规划的指导下开展,其基本内容包括土地适宜性评价、项目规划、设计与实施后评价等。本研究运用 GIS 的方法,通过对 2009—2013 年最新研究资料的收集和整理,以及对数据的分析和标准化处理,为研究提供准确可靠的基础数据,并根据国家土地开发整理编制规程和土地复垦技术标准,结合工矿废弃地特点,运用特尔斐法与层次分析法确定评价的因子、权重和等级,建立评价模型,运用研究区数字高程模型(digital elevation model, DEM)辅助评价和决策,并将评价结果用于指导规划设计方案决策,本研究技术路线如图 1 所示。

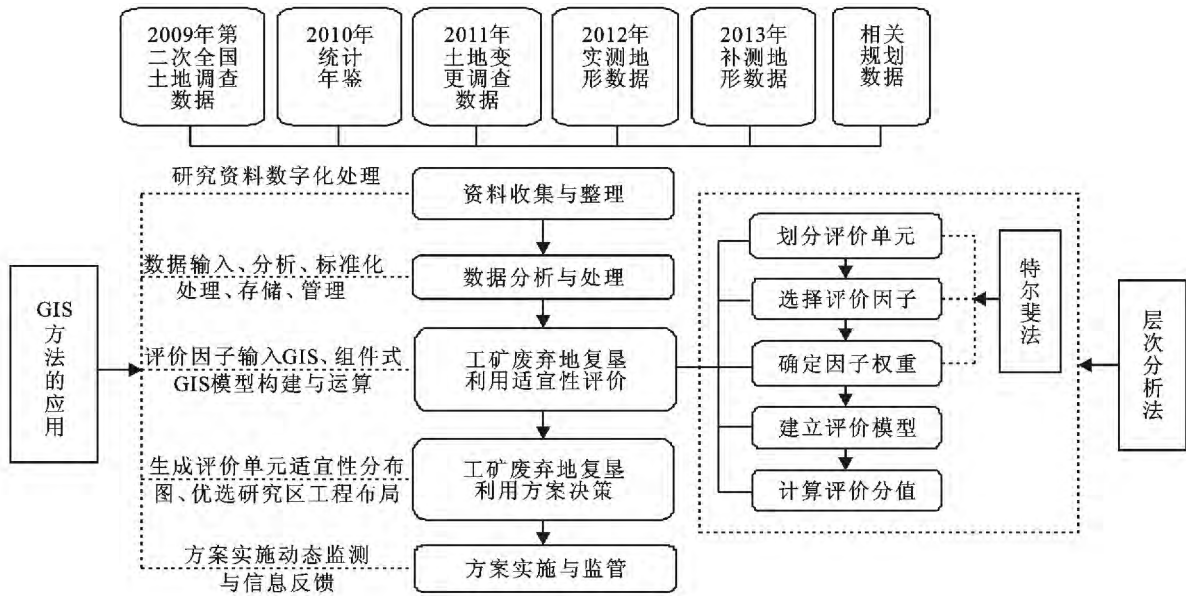


图 1 工矿废弃地复垦利用方案决策技术路线

3.1 研究区 DEM 生成

利用研究区 1 : 2 000 地形图(1980 年北京坐标系,高斯克列格投影,等高距 1 m)及最新补测高程数据,将地形图中的等高线和高程点数据进行栅格化处理(栅格单元为 5 m×5 m),生成研究区数字高程模型,并将其与研究区土地利用现状数据叠加生成土地利用现状三维效果图,为研究区工矿废弃地复垦利用适宜性评价、规划设计方案决策以及工程量计算等提供依据。

3.2 待复垦土地评价单元划分

考虑工矿废弃地现状、矿山生产进度以及土地损毁类型和程度,对矿区拟复垦土地的适宜性评价单元划分为露天采场、矸石场、废渣场、塌陷区、地面沉降变形区 5 种类型,并分别对 5 个单元的宜耕、宜园、宜林以及宜草地的等级进行定量评定。

3.3 参评因子的选择

根据我国土地复垦相关标准的各类技术指标要求,结合当地土壤质量状况,并针对工矿废弃地复垦利用的特点,确定土地复垦适宜性评价中耕地方向、园地方向、林地方向和草地方向的影响因素分别为:(1)耕地复垦方向。参评因子有:表土层质地、表土层厚度、有机质含量、水分条件、地形坡度、土地污染程度、损毁程度以及复垦难易程度。耕地复垦对土壤质地的要求是评价耕地适宜性的重要指标,土地的有害元素含量必须符合《农、林、牧生产用地污染控制标准》。(2)园地复垦方向。参评因子包括:表土层质地,有机质含量,地形坡度,土地污染程度,损毁程度以及复垦难易程度等。(3)林地复垦方向。参评因子有:表土层条件,地形坡度,土地污染程度、损毁程度以及复垦难易程度等。(4)草地复垦方向。参评因子

包括:表土层条件、有机质含量、损毁程度以及复垦难易程度等作为主要参评因子。

3.4 评价因子权重确定与评价等级划分

运用特尔斐法,通过多轮专家打分,进行各指标相对重要性比较,并对各指标权重值进行一致性检验,确定评价因子权重。根据《土地复垦质量控制标准(TD/T1036—2013)》等相关规定要求,将土地复垦适宜性评价等级数划分为 3 级,分别为:一级(比较适宜)、二级(勉强适宜)、三级(不适宜)。二级和三级两等级之间反映的是复垦土地的利用方向之间的质变过程,决定复垦土地的利用方向;一级、二级之间反映的是复垦土地的量变过程,决定复垦土地利用方向的优劣。等级划分的分值区间分别为:一级(评价分值在 80~100 分),二级(评价分值在 50~79.99 分),三级(评价分值在 0~49.99 分)。各评价因素的具体等级标准目前国内外尚无精确的划分值,由于二级和三级之间是复垦方向的质变过程,其两等级间各个评价因子的评价标准主要参考国家《农、林、牧生产用地污染控制标准》及《土地复垦质量控制标准(TD/T1036—2013)》等行业标准中的指标来确定。各复垦方向评价因子、权重及等级详见表 1—4。

3.5 评价模型建立

根据确定的各因素、因子不同级别的得分值 A 与权重 B,建立评价土地质量综合分值的数学模型:

$$C = \sum_{i=1}^n A_i B_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中:C——适宜性评价的综合得分值;A_i——某单元第 i 参评因子分值;B_i——第 i 参评因子权重;n——评价因素因子的个数。

表 1 耕地复垦方向的参评因子、权重及等级

评价因子	自然条件						复垦条件		
	表土层质地	表土层厚度	有机质含量	水分条件	地形坡度	土地污染程度	损毁程度	复垦难易程度	
因子权重	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.10	0.10	
等级	一级	中、轻壤	>30 cm	>1%	雨水充足或者距离水源近,有配套设施	<10°	无	轻	难度小
	二级	黏土、沙土	5~30 cm	1%~0.5%	季节性雨水距离水源近,但无配套设施	10°~15°	轻或中度	中	有难度
	三级	石砾	<5 cm	<0.5%	雨水很少,无直接灌溉水源	15°~25°	中度	重	难度大

表 2 园地复垦方向的参评因子、权重及等级

评价因子	自然条件				复垦条件		
	表土层质地	有机质含量	地形坡度	土地污染程度	损毁程度	复垦难易程度	
因子权重	0.21	0.17	0.15	0.19	0.14	0.14	
等级	一级	表土层厚度>30 cm,各种壤土、砂土	>1%	<10°	未污染	轻度	难度小
	二级	表土层厚度>10 cm 但<30 cm 的各种壤土、砂土	1%~0.5%	10°~15°	轻度污染	中度	有难度
	三级	砂砾质	<0.5%	15°~25°	中度污染	重度	难度大

表 3 林地复垦方向的参评因子、权重及等级

评价因子	自然条件			复垦条件		
	表土层条件	地形坡度	土地污染程度	损毁程度	复垦难易程度	
因子权重	0.18	0.19	0.25	0.20	0.20	
等级	一级	表土层厚度>30 cm,各种壤土、砂土	<10°	未污染	轻度	难度小
	二级	表土层厚度>10 cm 但<30 cm 的各种壤土、砂土	10°~25°	轻度污染	中度	有难度
	三级	砂砾质	>25°	中度污染	重度	难度大

表 4 草地复垦方向的参评因子、权重及等级

评价因子	自然条件		复垦条件		
	表土层条件	有机质含量	损毁程度	复垦难易程度	
因子权重	0.31	0.27	0.21	0.21	
等级	一级	壤土,表土层厚度>10 cm	>1%	轻度	难度小
	二级	中壤、砂壤,表土层厚度 5~10 cm	1%~0.5%	中度	有难度
	三级	砂质、砾质,表土层厚度<5 cm	<0.5%	重度	难度大

4 评价结果与方案决策

利用 ArcGIS 的重分类功能,根据《土地复垦质量控制标准(TD/T1036—2013)》和《农、林、牧生产用地污染控制标准》等有关规定要求,将土地复垦适宜性评价结果划分为 3 级,根据级别标准,选择最优者为各评价单元土地复垦适宜方向,研究区工矿废弃地复垦利用适宜方向统计结果详见表 5。由表 5 可以看出,5 个评价单元复垦方向分别为:露天采场复垦为耕地,面积为 21.07 hm²;矸石场复垦为耕地、园地、林地,面积分别为 233.47,6.25,11.55 hm²;废渣场复垦为耕地,面积为 10.23 hm²;塌陷区复垦为耕地,面积为 0.10 hm²;地面沉降变形区复垦为耕地,面积为 0.10 hm²。研究区工矿废弃地复垦方向以耕地为主,共计 264.97 hm²,主要布局在地势较平坦、水分和土壤条件较好,且损毁程度小、复垦难度较小的地

区,可通过简单的工程措施、物理措施、化学措施和生物措施等改良方法,改善土壤条件,提高研究区工矿废弃地复垦利用效果。

表 5 研究区工矿废弃地复垦利用方向

工矿废弃地评价单元	适宜方向	面积/hm ²	比例/%
露天采场	二级宜耕地	21.07	7.45
	二级宜耕地	233.47	82.57
矸石场	二级宜园地	6.25	2.21
	二级宜林地	11.55	4.08
废渣场	二级宜耕地	10.23	3.62
塌陷区	二级宜耕地	0.10	0.04
地面沉降变形区	二级宜耕地	0.10	0.04
合计		282.77	100.00

项目规划设计和方案决策就是要通过规划改善各区域的主要限制性因素,以提高整个项目区的土地复垦效益。从土地平整工程、农田水利工程、田间道

路工程、其他工程共 4 个方面考虑方案的决策,制定研究区总体规划布置最优方案。

(1) 土地平整工程。根据适宜性评价结果,结合研究区现状 DEM,选择平整方案并计算平整土方量。研究区 5 个评价单元最终复垦耕地总面积为 264.97 hm²,通过 ArcGIS 进行数据分析和计算,得出研究区水平格田内部平整土方量为 3.15×10⁵ m³。

(2) 农田水利工程。研究区共修复灌排合一渠 219.14 m,修复斗沟 3 223.86 m,新建斗沟 1 456.02 m,新建农沟 13 485.32 m,新建农渠 3 741.01 m。

(3) 田间道路工程。根据地形变化情况,部分道路适当弯曲,减缓纵向坡度,统一协调规划,保证各级道路连接通畅,使各级道路形成系统网络。研究区共规划田间道 18.54 km,生产路 12.67 km。

(4) 其他工程。为了防止道路路基水土流失,增加生态景观生态效应,沿修复、新建田间道两侧种植护路林。研究区共种植杨树 9 268 棵,种植樟树 124 棵。

5 结论

在已有研究成果的基础上,尝试对工矿废弃地的概念进行了界定,并针对工矿废弃地的特色建立了复垦利用适宜性评价的指标体系和数学模型,综合考虑了各层次各因素对评价结果的影响,并将特尔斐法、层次分析法以及 GIS 方法等交叉应用于适宜性评价的过程,使该模型与研究区现状 DEM 及土地利用现状数据库相结合,定性、定量、定位地对复垦利用适宜性进行了分析,更直观地对研究区工矿废弃地复垦利用方向进行了表达,从而为复垦利用方案决策提供了更加完善合理的理论和技术支持。决策方案的实际应用情况表明,本研究能为工矿废弃地复垦利用提供方便、快速、准确的决策依据与数据支持,研究数据时效性和精度较高,研究模型简单实用,研究结果通过实际操作证实误差较小,研究方法具有很好的应用前景。

[参 考 文 献]

[1] 卞正富. 国内外煤矿区土地复垦研究综述[J]. 中国土地科学, 2000, 14(1): 6-11.
 [2] 李新举, 胡振琪, 李晶, 等. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 276-280.
 [3] 樊文华, 白中科, 李慧峰, 等. 复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 348-354.

[4] 胡振琪, 李玲, 赵艳玲, 等. 高潜水位平原区采煤塌陷地复垦土壤形态发育评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 95-101.
 [5] 李保杰, 顾和和, 纪亚洲. 矿区土地复垦景观格局变化和生态效应[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 251-256.
 [6] 王金满, 白中科, 崔艳, 等. 干旱戈壁荒漠矿区破坏土地生态化复垦模式分析[J]. 资源与产业, 2010(2): 83-88.
 [7] 王欢, 王平, 谢立祥, 等. 土地复垦适宜性评价方法[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(4): 154-158.
 [8] 王笑峰, 蔡体久, 张思冲, 等. 不同类型工矿废弃地基质肥力与重金属污染特征及其评价[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 157-161.
 [9] 马文明. 矿区沉陷地复垦与生态重建研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 135-139.
 [10] 卞正富. 我国煤矿区土地复垦与生态重建研究[J]. 资源·产业, 2005, 7(2): 18-24.
 [11] 黄燕, 翟有龙. 基于循环经济理论的工矿废弃地复垦利用评价: 以广安市为例[J]. 阜阳师范学院学报: 自然科学版, 2013, 30(2): 58-62.
 [12] Cengiz T, Akbulak C. Application of analytical hierarchy process and geographic information systems in land-use suitability evaluation: A case study of Dümrek village(Canakkale, Turkey)[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2009, 16(4): 286-294.
 [13] 胡伟, 李满春, 符海月, 等. 土地利用适宜性评价物元模型研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(5): 126-129.
 [14] 金晓斌, 周寅康, 汤小棣, 等. 高速铁路建设临时用地土地破坏特征与复垦利用决策研究: 以京沪高速铁路常州段为例[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1070-1078.
 [15] Su Yongzhong, Zhao Wenzhi, Su Peixi, et al. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis—desert ecotone in an arid region: A case study in Hexi Corridor, Northwest China [J]. Ecological Engineering, 2007, 29(2): 117-124.
 [16] Shalaby A, Tateishi R. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt[J]. Applied Geography, 2007, 27(1): 28-41.
 [17] 王慎敏, 金晓斌, 周寅康, 等. 基于 GIS 的采煤塌陷区土地复垦项目规划设计研究[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 195-199.
 [18] 张丽芳, 濮励杰, 涂小松. 废弃地的内涵、分类及成因探析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2): 180-185.
 [19] 王向荣, 任京燕. 从工业废弃地到绿色公园: 景观设计与工业废弃地的更新[J]. 中国园林, 2003, 19(3): 11-18.