

# 煤矿废弃地复垦区生态绩效评价技术研究进展

王建强<sup>1</sup>, 张沛沛<sup>1</sup>, 上官铁梁<sup>2,3</sup>, 郭东罡<sup>2</sup>, 郝婧<sup>2</sup>, 刘卫华<sup>3</sup>, 张婕<sup>4</sup>

(1.山西潞安集团 司马煤业有限公司, 山西 长治 047105; 2.山西大学 环境与资源学院, 山西 太原 030006;  
3.山西大学 黄土高原研究所, 山西 太原 030006; 4.山西大学 生命科学学院, 山西 太原 030006)

**摘要:**基于国内外关于煤矿废弃地复垦区生态绩效评价技术的论著分析,对煤矿废弃地复垦区生态绩效评价的指标选取、指标体系的建立、评价标准的构建及评价方法的应用等进行了综述,指出当前尚未提出通用于煤矿废弃地生态恢复绩效的评价体系,由于缺乏对植物-环境关系的长期、系统的动态监测和作用机理研究,造成了评价指标选取的不系统性和评价目标选取的盲目性。建立植物-环境系统的长期、动态监测网络,探索生态绩效评价新方法,构建科学、系统、实用的煤矿废弃地生态恢复绩效评价指标及评价标准,将是今后煤矿废弃地复垦区生态绩效评价研究领域的发展趋势。

**关键词:**煤矿废弃地;生态绩效;评价技术;动态监测;植物-环境系统

中图分类号:TD98 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)01-0107-05

## Study progress on evaluation technology of ecological performance on coal mining abandoned land

WANG Jianqiang<sup>1</sup>, ZHANG Peipei<sup>1</sup>, SHANGGUAN Tieliang<sup>2,3</sup>, GUO Donggang<sup>2</sup>,  
HAO Jing<sup>2</sup>, LIU Weihua<sup>3</sup>, ZHANG Jie<sup>4</sup>

(1. *Sima Coal Mining Co., Ltd., Shanxi Lu'an Mining Group, Changzhi 047105, China;*

2. *College of Environmental and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;*

3. *Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;* 4. *College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China*)

**Abstract:** Based on the academic papers about the evaluation technologies of ecological performance on coal mining abandoned land at home and abroad, the selection of evaluation index, the establishment of the index system, the construction of evaluation criteria and the application of evaluation method of evaluation of ecological performance were summarized. Then the paper pointed out that, at present, the general evaluation system of ecological performance had not been brought on domestic and overseas coal mining abandoned land. The main reason was that the long-term, systemic dynamic monitoring and mechanism research of the relationship between plant and environment was less. Given this, the selection of evaluation index was not systematic and the choosing of evaluation objects were blind. Building long-term and dynamic monitoring network of plant-environment system, exploring new evaluation methods of ecological performance, selecting scientific, systemic and practical evaluation indexes and standards would be the development tendency for the future evaluation technology of ecological performance on coal mining abandoned land.

**Key words:** coal mining abandoned land; ecological performance; evaluation technology; dynamic monitoring; plant-environment system

## 0 引 言

煤炭在我国能源结构中居首要地位,今后仍

将是能源供给的主要来源,煤炭开采产生的生态影响已成为制约区域可持续发展亟待解决的问题之一,其重要性和紧迫性受到了社会的广泛关

收稿日期:2014-10-13;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.025

基金项目:山西潞安集团科研开发项目(1103100301)

作者简介:王建强(1962—),男,河北秦皇岛人,高级工程师,硕士,现任山西潞安集团司马煤业有限公司总经理。E-mail:448379174@qq.com。通讯作者:郭东罡,E-mail:gdghjx@126.com;郝婧,E-mail:haojing1987.happy@163.com

引用格式:王建强,张沛沛,上官铁梁,等.煤矿废弃地复垦区生态绩效评价技术研究进展[J].洁净煤技术,2015,21(1):107-111,124.

WANG Jianqiang, ZHANG Peipei, SHANGGUAN Tieliang, et al. Study progress on evaluation technology of ecological performance on coal mining abandoned land[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 107-111, 124.

注<sup>[1-3]</sup>。当前,全社会对煤矿废弃地生态恢复的热情日渐高涨,国家对废弃地生态恢复工程建设的投资力度也大幅度提升,但是生态工程实施后究竟其生态绩效如何,是否能达到预期的目标,在这些问题上则缺乏对植物-环境关系的长期、系统的动态监测和作用机理研究,尚未形成科学、系统、实用的矿山生态恢复绩效评价指标体系及评价标准。

## 1 国外煤矿废弃地生态绩效评价研究

1) 在国外,早在18世纪90年代,英国的萨默赛特煤矿租约中就提出“煤矿关闭后,需对采区进行土地回填、平整”<sup>[4]</sup>,直到19世纪末期,煤矿开采所造成的生态破坏问题仍主要处于小规模初步恢复阶段<sup>[5]</sup>,关于生态恢复目标尚无明确规定。

2) 20世纪初,美国和德国最先开始矿区废弃地生态重建研究<sup>[6]</sup>。1939年,美国西弗吉尼亚州颁布了第一个采矿管理法——复垦法<sup>[7]</sup>;德国作为开采褐煤最多的国家,逐步对废弃地植被的筛选到最终复垦模式的确定展开了研究<sup>[8]</sup>,并提出为确保复垦后地力的迅速恢复,应将露天开采过程中排出的表土层和深土层进行分类堆放。该时期矿区废弃地生态恢复主要以林地恢复为目标<sup>[4]</sup>。

3) 到20世纪中期至中后期,较大规模的生态恢复工程逐渐展开<sup>[4]</sup>,Down和Stocks在《矿业与环境保护》一书中专门论述了煤炭开采过程中所造成的土地破坏问题<sup>[9]</sup>;1954年,苏联开始设立土地生态恢复的相关法律,于1968年将其具体化,并将土地生态恢复过程划分为生物生态恢复和工程技术生态恢复2部分,提出矿山生态恢复应采取恢复土地肥力、植物群落以及适宜景观的综合恢复措施。该时期主要将成为农业、林业用地作为评判恢复的目标<sup>[7]</sup>。

4) 20世纪末期,生态恢复重建技术进入成熟阶段,恢复到破坏前的原地貌成为主要恢复目标,而且更加关注恢复后的综合绩效。该时期美国的土地复垦进入了法制化阶段,1977年8月3日,美国国会通过并颁布了《露天采矿管理与土地复垦法》,这是美国第一部全国性的土地复垦法规<sup>[7]</sup>。1980年,Bradshaw等<sup>[10]</sup>全面阐述了剥离露天矿、采石场、深井矿等矿区废弃地的植被恢复与重建的技术和方法,强调将受损区恢复到破坏前的地

形地貌,把环境保护看作是唯一的生态恢复与重建目标。1985年,美国学者Aber和Jordan首次提出恢复生态学一词<sup>[11-12]</sup>,将恢复生态学初步确定为生态学中的一门新的应用性分支<sup>[13-14]</sup>,并提出生态恢复应从生态系统层次上解决问题<sup>[15]</sup>。而且国际生态学会同年成立,并定期召开恢复生态学大会<sup>[11]</sup>。以矿业为主的澳大利亚亦对生态重建进行了深入研究,并成为了世界上较为先进且成功处理受损土地的国家<sup>[7]</sup>。在该时期,国外矿山生态恢复与重建的主要特点为:关注恢复的土地、环境、生态等综合恢复绩效<sup>[4,7]</sup>。Dimitris Damigos等<sup>[16]</sup>对废弃地复垦的土地、环境、生态绩效进行了综合研究;注重物理、化学、地质、测量、环境、生态、经济、社会心理学、美学等多学科多领域的关联性。Jochimsen<sup>[17]</sup>对废弃地复垦后土壤环境与植物生长的相互作用进行了研究, Lee等<sup>[18]</sup>结合环境、经济等方面,对黏土回填后复垦土地上的红树再生情况进行了研究。以3S技术(遥感技术、地理信息系统和全球定位系统)等高科技为支撑, Yuri Gorokhovich等<sup>[19]</sup>就将地理信息系统(GIS)用于矿区废弃地复垦工程。矿区生态重建在该时期得到了快速发展,并在1993年,以《Restoration Ecology》的创刊为标志,恢复生态学从此走向了成熟<sup>[11]</sup>。

5) 进入21世纪,国外恢复生态学在研究领域逐步扩展,研究内容综合性增强。2000年,在Nagano召开的“International Association of Vegetation Science”中,将第一主题确定为恢复生态学<sup>[20]</sup>。此外,生态恢复还涉及土壤、景观、大气、水等的人工恢复与自然恢复<sup>[21-24]</sup>。随着恢复工作的日益规模化,生态恢复的绩效也愈来愈受到重视<sup>[25]</sup>。很多国家和地区由于技术和条件限制,要求在较短的时间对恢复成功与否进行判断,致使其在人工植被恢复中往往采用不恰当的生态恢复手段,而忽视了生态系统功能与结构的完整性<sup>[26]</sup>。例如,雅典废弃地的植被恢复过程中,不恰当的美学设计和不充分的土地利用导致生态恢复景观与周边自然景观难以融合<sup>[27]</sup>。迄今,国外尚未提出适用于矿区废弃地生态恢复绩效的评价体系<sup>[28]</sup>,但存在某些公认的评价指标,如生物物种数以及生物量的增加速度、土壤理化性质、小气候以及地下水位变化等<sup>[29-34]</sup>。Berger就基于这些指标建立了包括矿山、森林、草原在内的受损生态系统恢复绩效

评价模型,但由于其涵盖生态、经济、社会绩效,而且理论化较强,缺乏实用性,故在实际工作中难以操作<sup>[35]</sup>。而对于评价方法,国外通常采用主成分分析、聚类分析、灰色关联度评价、模糊综合评价等方法,将处于生态恢复过程中的群落与当地天然群落进行对比,来评价生态恢复的目标是否实现<sup>[36-37]</sup>。例如, Krabbenhoft 等提出了地形土壤单元评价方法,该方法首先是选取一个废弃地附近未被破坏的参照区,调查恢复区和参照区的植被(植物种类及数量、植物组合类型等)和环境因子(土壤理化性质、地形因子等),对参照区各因子做主成分分析、聚类分析等,找出致使植被因子具有显著差异性的环境因子,然后,相应于恢复区,这些环境因子是否也导致了其植被因子间的显著差异。如果是,则表明此复垦区已成功恢复<sup>[38]</sup>。该方法以未被破坏的自然植被及其环境为对照,分析过程较为严谨,但是由于生态因子选取的人为性大,有遗漏某些重要因子的可能性,而且所选取的自然对照区是否属于最优生态系统还有待进一步探究。

## 2 国内煤矿废弃地生态绩效评价研究

1)在我国,有关生态恢复的研究最早起始于1959年,当时,中国科学院华南植物研究所余作岳等对广东的热带沿海侵蚀台地上退化生态系统进行了植被恢复技术与机理的探究<sup>[39]</sup>,该时期生态恢复的目标主要是将废弃地恢复成耕地。

2)20世纪60年代至80年代末,我国生态恢复以矿山土地资源稳定与可持续利用为目标<sup>[7,12]</sup>,并进入了法制化的轨道。该时期我国通过广泛翻译国外相关资料,如马恩霖编译的《露天矿地复垦》,林家聪翻译的《矿区造地复田中的矿山测量工作》等,积极汲取国外经验<sup>[8]</sup>,并开发了修复采煤塌陷区以及建立塌陷预警系统等技术<sup>[40]</sup>,恢复工程逐步展开,但所涉及的项目规模小、技术水平低,还没有大规模、高水平工程项目的实践经验<sup>[8]</sup>。至20世纪80年代末,《土地复垦规定》以及《中华人民共和国环境保护法》的颁布,成为我国生态恢复发展史上重要的里程碑。

3)进入20世纪90年代,我国在废弃地生态恢复工作中更加注重了生态学理论的运用,如研究先锋植物根系生长特征,如何选择合适的植被复垦模式<sup>[41-42]</sup>、重金属污染与植被修复研究<sup>[43-44]</sup>

等。生态恢复以植被复原与植物多样性保护为目标<sup>[12,45]</sup>。此外,国家土地管理局在1995年7月颁布的《中华人民共和国行业标准“土地复垦技术标准”(试行)》等一系列相关法规和标准使人们进一步意识到了生态恢复的重要性。

4)至21世纪,我国进入了废弃地生态恢复工作的快速发展阶段<sup>[8]</sup>,以矿区生态系统健康与环境安全为目标的生态恢复工作在我国日益受到重视。生态恢复的研究内容也逐渐向国际靠拢,如基于GIS,分析煤矿塌陷对土地利用的影响<sup>[46]</sup>、沉陷土地生态恢复综合治理研究<sup>[47]</sup>、研发矿区生物协同修复新技术<sup>[12]</sup>等,生态恢复的速度和质量均有了较大的提高。随着生态恢复技术的日益提升,生态恢复后是否能达到预期目标、是否能实现生态系统的真正恢复便成了社会重点关注的问题<sup>[7]</sup>。

### 2.1 恢复绩效的现状评价较多

1)集中于某类生态因子恢复绩效的现状评价。例如,李江峰<sup>[48]</sup>对北京首钢废弃地生态复垦区的植物多样性、水土流失情况、风景质量分别进行了评价;闫德民<sup>[49]</sup>对北京首云铁矿废弃地生态评价时,仅涉及植被特征、土壤性质的单一分析;李涛<sup>[50]</sup>对赤泥土壤的生态恢复技术进行了评价;马建军<sup>[51]</sup>对黄土高原丘陵沟壑区露天煤矿复垦区进行评价,评价内容较广泛,包括植物群落、土壤理化性质以及土壤微生物群落,但未进行综合绩效评价;范亚辉<sup>[52]</sup>仅对山西长治常村矿煤矸石废弃地不同植被恢复模式下的土壤理化性质进行了评价;许明祥<sup>[53]</sup>建立了黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价指标体系,并拟定了侵蚀土壤质量分级评价标准;闫晗<sup>[54]</sup>对海州露天煤矿排土场土壤微生物以及土壤理化性质分别进行了阐述。这些研究均是对单一生态因子恢复绩效的现状分析。

2)集中于定性与少量定量指标相结合的现状评价。余地<sup>[55]</sup>、周富春等<sup>[56]</sup>、王巧妮<sup>[57]</sup>基于GIS技术和层次分析法,对煤矿复垦区的生态绩效进行了定性与定量结合分析,所选取的定性指标包括生物多样性状况、土地资源节约利用状况、矿区生态环境状况,而定量指标仅包括土地复垦率和植被覆盖率<sup>[58]</sup>;李武斌<sup>[7]</sup>采用系统分析与综合类比分析法,对九寨沟沟脑壳金矿露天矿山复垦区的土壤理化性质、先锋物种的选择等方面进行了恢复绩效研究;钟爽<sup>[25]</sup>认为基于定量的植被动态、景观功能以及定性

的生境复杂性3个方面的生态功能分析可以评价废弃地是否被成功恢复;周富春等<sup>[56]</sup>进行矿山生态恢复绩效评价时选用了自然资源综合利用状况、水资源节约利用情况2个定性指标和土地复垦率、植被覆盖率、林草覆盖率、水土流失面积指数、土地退化面积比率、旱涝灾害6个定量指标相结合的方式。以上研究评价指标的选取均以定性和定量相结合,而且也未进行指标的动态分析。

3)注重于综合绩效,却简化了生态绩效的现状评价。石健<sup>[8]</sup>基于层次分析—模糊综合评价模型,对门头沟龙凤岭废弃矿生态、经济、基础绩效进行了综合评价,但生态绩效中只涉及植被高度、植被覆盖度、各种植物株数三个指标;王巧妮<sup>[57]</sup>也采用层次分析—模糊综合评价方法,对徐州九里区采煤塌陷复垦区恢复的经济、社会、生态绩效进行综合评价,生态绩效仅包含空气质量改善程度、土壤条件的改良程度、对水土流失的减轻、地表生物状态4类指标;史江涛等<sup>[58]</sup>对山西省汾阳市龙山煤矿的土地复垦绩效进行了经济、社会、生态3方面评价,但均是以定性分析为主。以上研究虽注重了恢复的综合绩效,却简化了生态绩效的评价,导致生态绩效评价的不全面性。

## 2.2 恢复绩效的动态评价不足

虽建立了动态综合评价标准,但群落特征指标尚不系统。李江峰<sup>[39]</sup>运用主成分分析法、层次分析法、模糊综合评价法、心理物理学法、感性工学法,对北京矿山废弃地不同植被恢复年限下群落基本特征、土壤理化性质、景观要素进行了综合评价;刘永光<sup>[59]</sup>采用基于层次分析法的灰色关联度评价和模糊综合评价,对北京山区关停废弃矿山未被破坏区、被破坏区、修复区的植物群落性状、土壤理化性质、土壤种子库性状进行了综合评价,两者均提出了综合评价标准,但是群落特征指标中均缺乏,如物种相似性、群落物种消长、群落稳定性等能详细描述群落整体特征的指标。

## 3 结 语

当前,国内外尚未提出通用于煤矿废弃地生态恢复绩效的评价体系,而且在现有的评价过程中,选取的评价指标尚不全面,且往往以天然次生群落或人为干扰较小的群落作为恢复目标,但由于缺乏对植物—环境关系的长期、系统的动态监测和作用机理研究,造成了评价指标选取的不系统性和评价目

标选取的盲目性。为此,探索生态绩效评价新方法、新思路势在必行,构建科学、系统、实用的煤矿废弃地生态恢复绩效评价指标及评价标准尤为迫切。

在煤矿废弃地复垦区建立固定监测样地,对复垦区植被—环境系统进行长期、系统的动态监测和作用机理研究,建立植被—环境系统数据库,按照科学性、目标性、独立性、全面性和可操作性的原则,科学选取指标并建立系统的生态绩效评价指标体系,对恢复前后的绩效变化进行了时空尺度监测、对比和判识,以探索生态绩效评价新方法、新思路,构建系统、可操作性的生态绩效评价实用技术,对持续推进煤矿废弃地生态恢复的科学实施、管理和评估发挥积极的示范和辐射带动作用,这将是今后煤矿废弃地复垦区生态绩效评价研究领域的发展趋势。

## 参考文献:

- [1] 李永庚,蒋高明.矿山废弃地生态重建研究进展[J].生态学报,2004,24(1):95-100.
- [2] 郝婧,张婕,张沛沛,等.煤矸石场植被自然恢复初期草本植物生物量研究[J].草业学报,2013,22(4):51-60.
- [3] 祁和刚,辛耀旭,张忠温.大型煤炭矿区绿色开发的实践与思考[J].煤炭科学技术,2014,42(1):5-8.
- [4] 冷菁.吉林省梅河矿区废弃地生态恢复评价研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [5] 范军富.露天煤矿土地复垦理论与方法研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2002.
- [6] 胡振琪.土地复垦与矿区生态重建[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [7] 李武斌.九寨沟马脑壳金矿露天矿山生态恢复研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [8] 石健.门头沟龙凤岭废弃矿生态修复效益评价研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [9] 肖兴田.煤炭资源开发环境影响评价理论与方法[D].阜新:辽宁工程技术大学,2001.
- [10] Bradshaw A D, Chadwick M J. The restoration of land[M]. Berraley: University of California Press, 1980.
- [11] 白中科.美国土地复垦的法制化之路[J].资源导刊,2010(8):44-45.
- [12] 张文岚.平朔矿区采矿废弃地生态恢复评价研究[D].济南:山东师范大学,2011.
- [13] 章家恩,徐琪.恢复生态学研究的一些基本问题探讨[J].应用生态学报,1999,10(1):2-7.
- [14] 赵晓英,孙成权.恢复生态学及其发展[J].地球科学进展,1998,13(5):474-480.
- [15] Jordan W, Gilpin M E, Aber J D. Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research[M]. Cambridge: Cambridge university Press, 1987.
- [16] Dimitris Damigos, Dimitris Kaliampakos. Environmental economics

- and the mining industry; monetary benefits of an abandoned quarry rehabilitation in Greece [J]. *Environmental Geology*, 2003, 44 (3): 356-362.
- [17] Jochims M E A. Reclamation of colliery mine spoil founded on natural succession [J]. *Water, Air, Soil pollution*, 1996, 91 (1/2): 99-108.
- [18] Lee S K, Tan W H, Havanond S. Regeneration and colonization of mangrove on clay-filled reclaimed land in Singapore [J]. *Hydrobiologia*, 1996, 319 (1): 23-35.
- [19] Yuri Gorokhovich, Andrew Voros. Matthew reid and erica mignone: prioritizing abandoned coal mine reclamation projects within the contiguous united states using geographic [J]. *Information System Extrapolation Environmental Management*, 2003, 32 (4): 527-534.
- [20] 马建军. 黄土高原丘陵沟壑区露天煤矿生态修复及其生态效应研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [21] Zeng hui, Wu yanbin, Fu meichen. Mining land reclamation in neiqiu county based on matter element model: nongye gongcheng xuebao [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23 (8): 107-112.
- [22] Wu Yanbin, Zhang kai, Cui fan. Land reclamation in mining subsidence based on matter element model [C]//The 2<sup>nd</sup> International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Shanghai: [s.n.], 2008: 4149-4153
- [23] Pan Mingcai. Landreclamation in China: review. Trend and Strategy [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2000: 1-6.
- [24] 朱宗泽. 潞安矿区生态恢复模式研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [25] 钟 爽. 矿山废弃地生态恢复理论体系及其评价方法研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2006.
- [26] Holl K D. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39 (6): 960-970.
- [27] Damigos D, Kalam Pakos D. Assessing the benefits of reclaiming urban quarries; a CVM analysis [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 64: 249-258.
- [28] Mark Tibbett. Recent advances in restoration ecology: examining the modern australian agro-ecological and post-mining landscapes [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 163 (1): 1-2.
- [29] Ott T, van Aarde R J. Coastal dune topography as a determinant of abiotic conditions and biological community restoration in northern kwa zulu-natal, south africa [J]. *Landscape and Ecological Engineering*, 2014, 10 (1): 17-28.
- [30] Licina V, Aksic M F, Colic S, et al. A bioassessment of soil nickel genotoxic effect in orchard planted on rehabilitated coalmine overburden [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 98: 374-382.
- [31] Wang X M, Chu L, Chu Z X, et al. Vegetation development on coal waste pile in panyi coal mine [J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2013, 25 (10): 5778-5780.
- [32] Xie Kai, Zhang Yanqiu, Yi Qitao, et al. Optimal resource utilization and ecological restoration of aquatic zones in the coal mining subsidence areas of the Huaibei plain in anhui province, China [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2013, 51 (19/21): 4019-4027.
- [33] Parraga-Aguado I, Gonzalez-Alcaraz MN, Alvarez-Rogel J, et al. The importance of edaphic niches and pioneer plant species succession for the phytomanagement of mine tailings [J]. *Environmental Pollution*, 2013, 176: 134-143.
- [34] Anawar H M, Canha N, Santa-Regina I, et al. Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2013, 13 (4): 730-741.
- [35] 高彦华, 汪宏清. 生态恢复评价研究进展 [J]. *江西科学*, 2003, 21 (3): 186-174.
- [36] Gomez-Ros J M, Garcia G, Penas J M. Assessment of restoration success of former metal mining areas after 30 years in a highly polluted mediterranean mining area: cartagena-la union [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 57: 393-402.
- [37] Vickers H, Gillespie M, Gravina A. Assessing the development of rehabilitated grasslands on post-mined landforms in North West Queensland, Australia [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2012, 163: 72-84.
- [38] 凌海明. 浅述复垦土地经济评价 [J]. *煤矿环境保护*, 2000, 14 (6): 67-70.
- [39] 李江峰. 北京矿山废弃地生态恢复质量评价研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [40] 阎允庭, 陆建华, 陈德存, 等. 唐山市采煤塌陷区土地复垦与生态重建模式研究 [J]. *资源·产业*, 2000, 7 (15): 15-19.
- [41] 汤万金, 高 琳. 矿区可持续生态重建 [C]//面向 21 世纪的矿区土地复垦与生态重建—北京国际土地复垦学术研讨会论文集. 北京: 中国土地学会, 2000: 112-117.
- [42] 彭德福. 我国土地复垦与生态重建的回顾与展望 [C]//面向 21 世纪的矿区土地复垦与生态重建—北京国际土地复垦学术研讨会论文集 [C]. 北京: 中国土地学会, 2000: 33-37.
- [43] 戈 峰, 刘向辉, 潘卫东, 等. 蚯蚓在德兴铜矿废弃地生态恢复中的作用 [J]. *生态学报*, 2001, 21 (11): 1790-1795.
- [44] 杨 修, 高 林. 德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究 [J]. *生态学报*, 2001, 21 (11): 1932-1941.
- [45] Bradshaw A D, Urbanska K M, Webb N R, et al. What dose mean by restoration [C]//Restoration ecology and sustainable development. Edwards. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 8-16.
- [46] 傅文学. 矿井开采沉陷影响土地利用系统的 GIS 分析方法 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004.
- [47] 殷作如, 邓智毅. 开滦矿区采煤塌陷地生态环境综合治理途径 [J]. *西安科技学院学报*, 2000, 20 (S1): 71-76.
- [48] 李江峰. 北京首钢铁矿生态恢复及效果评价 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007.

要求进行各项鉴别后,可以看出飞灰、灰渣不具备危险废物定义中的易燃性、反应性、腐蚀性、感染性特征,不含有机物质,残留物为无机物,主要污染物是微量的重金属元素。通过检测数据表明,其浸出毒性物质含量均低于国家标准值。对胜利油田含油污泥焚烧产生的飞灰、灰渣的危险特性鉴别分析研究,为含油污泥流化焚烧后的灰渣作为一般固废进行管理提供了理论依据。

#### 4 焚烧灰渣再利用

焚烧法处理污泥速度快,不需长期储存和远距离运输,可就地焚烧,长期被国外大多数油田、炼油厂采用。目前法国、德国、日本的石化企业焚烧灰渣用于修路、填埋及制成砌砖,辽河油田兴建了一座焚烧法处理含油污泥处理站,处理后固体废物用于制造砌块砖及铺路<sup>[15]</sup>。胜利油田含油污泥流化焚烧产生的残渣主要是油泥本身和煤燃烧后产生的灰渣,其中有机物质全部燃尽,剩余为原油和煤燃烧后的无机盐分等。经测试,焚烧后灰渣按照小于6%的掺加量掺入水泥生产原料中进行水泥生产,制成的水泥各项性能符合国家标准。同时灰渣可作为粉煤灰混合材料用于制砖、建筑原材料及铺路等。

#### 5 结 论

1)胜利油田产含油污泥是一种石油与砂土的混合物,其物性单一。含油污泥流化焚烧处理技术在无害化处理含油污泥的同时,回收含油污泥中的石油类物质热量,实现含油污泥综合利用,符合国家对危险废物的污染防治技术政策。

2)采用流化焚烧技术处理含油污泥产生的污染物较少,含油污泥焚烧后的灰渣特性与燃煤锅炉的灰渣特性相当,可进行铺路、造砖、制水泥等,实现了含油污泥的快速、高效、低成本、规模化、环保处置。含油污泥流化焚烧处理系统实现了环保与资源综合利用的双重效果,项目建成后大大减少了含油污泥对胜利油田的环保治理压力,累计处理含油污泥26万t,产生了良好的环保效益与社会效益。

#### 参考文献:

[1] 赵东风,赵朝成,路 帅.焦化法处理含油污泥工艺流程研究[J].环境科学研究,2000,13(2):55-57.  
 [2] 刘晓娟,刘 静,张宁生.油气田污泥无害化处理途径探讨[J].油气田环境保护,2004,14(2):32-35.  
 [3] 任德贻,赵峰华,代世峰,等.煤的微量元素地球化学[M].北

京:北京科学技术出版社,2006:268-279.

[4] 刘玉丽.油田含油污泥焚烧处理技术及设备研究[J].石油与天然气化工,2005,34(5):426-428.  
 [5] 刘子龙,王蓉莎,姚日远.含油污泥资源化技术的研究及应用[J].石油天然气学报,2006,28(4):136-138.  
 [6] 廖广志,石 梅,李 蔚,等.以部分水解聚丙烯酰胺和原油为营养源的微生物筛选及性能评价[J].石油学报,2003,24(6):59-63.  
 [7] 李彦超,李爱芬,陈 勇,等.含油污泥无害资源化处理技术研究[J].油气田环境保护,2008,18(2):25-28.  
 [8] 姜秀民,马玉峰,崔志刚,等.水煤浆流化悬浮高效洁净燃烧技术研究与应用[J].化学工程,2006,34(1):62-65.  
 [9] 李晓东,黄国权,李爱民,等.异重流化床垃圾焚烧技术的试验研究[J].动力工程,1998,18(6):21-25.  
 [10] 刘建国.油污泥的流化床焚烧处理方法及其燃烧机理[D].上海:上海交通大学,2008.  
 [11] 周莉莉,冯家满,赵由才.固体废物焚烧过程中二噁英控制技术研究进展[J].能源与环境,2006(5):54-57.  
 [12] 王涵宇,杨天宇.原油热解成气模拟实验[J].天然气工业,1982(3):28-33.  
 [13] 姜秀民.油污泥的异密度循环流化床燃烧处理方法:中国,CN200410089304.6[P].2005-06-08.  
 [14] 姜秀民.组合式高温旋风分离器:中国,CN96121228.4[P].1998-05-20.  
 [15] 陈忠习,魏 利.油田含油污泥处理技术及工艺应用研究[M].北京:北京科学技术出版社,2012.

(上接第111页)

[49] 闫德民.北京首云铁矿尾矿库生态恢复的植被特征分析[D].北京:北京林业大学,2013.  
 [50] 李 涛.赤泥堆场生态修复技术评价体系的研究[D].南昌:南昌大学,2013.  
 [51] 马建军.黄土高原丘陵沟壑区露天煤矿生态修复及其生态效应研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.  
 [52] 范亚辉.煤矸石废弃地植被恢复效应研究[D].兰州:西北农林科技大学,2012.  
 [53] 许明祥.黄土丘陵区生态恢复过程中土壤质量演变及调控[D].兰州:西北农林科技大学,2003.  
 [54] 闫 晗.露天煤矿排土场土壤微生物生态特征及土壤质量评价[D].阜新:辽宁工程技术大学,2011.  
 [55] 余 地.基于GIS技术和AHP法的煤矿区土地复垦综合效益评价[D].太原:山西农业大学,2013.  
 [56] 周富春,金 旺,孙 阳.矿山环境治理效益评价方法及实证分析[J].环境工程,2013,31(1):85-86.  
 [57] 王巧妮.采煤塌陷地复垦模式综合效益评价与对策研究[D].南京:南京林业大学,2008.  
 [58] 史江涛,张爱国.山西省汾阳市龙山煤矿土地复垦效益分析[J].太原师范学院学报:自然科学版,2013,12(3):138-141.  
 [59] 刘永光.北京山区关停废弃矿山人工恢复效果及评价研究[D].北京:北京林业大学,2011.