

# 韩城市西山废弃采石矿山环境恢复治理的途径

黄齐<sup>1</sup>, 高德彬<sup>1</sup>, 杨永辉<sup>2,3</sup>, 杨川<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地测学院, 陕西 西安 710054; 2. 信息产业部电子综合勘察研究院, 陕西 西安 710054; 3. 陕西省土体工程技术研究中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:** [目的] 探索废弃采石矿山生态环境恢复治理模式及治理成本, 为陕西省韩城市西山一带其余废弃采石矿山和煤矿山的生态环境恢复治理提供借鉴。[方法] 通过现场调查、勘探及室内试验, 分析韩城市西塬废弃采石矿山的环境地质问题, 即采石不稳定边坡地质结构及变形破坏特征与废弃渣石占用耕地及泥流等问题。[结果] 提出采石不稳定边坡与废渣的工程治理及生态恢复治理方案。采石不稳定边坡选用削方压脚与坡面植被混凝土技术, 植面的植被类型应耐旱、耐寒和耐贫瘠; 废弃渣石以挖高填低与分级填筑压实, 坡脚修筑挡墙, 坡面覆盖土壤并栽植乔灌木花草等进行环境恢复治理。[结论] 研究区的采石不稳定边坡和矿区堆积废渣应采用“削高填低”的工程治理方案, 坡面采用植被技术的生态环境恢复治理方案。

**关键词:** 采石矿山; 不稳定边坡; 废渣; 环境恢复; 韩城市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)04-0215-05

中图分类号: U416.1<sup>+</sup>3

**文献参数:** 黄齐, 高德彬, 杨永辉, 等. 韩城市西山废弃采石矿山环境恢复治理的途径[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 215-219. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.035. Huang Qi, Gao Debin, Yang Yonghui, et al. Environmental restoration of Xishan abandoned quarry mine in Hancheng City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 215-219.

## Environmental Restoration of Xishan Abandoned Quarry Mine in Hancheng City

HUANG Qi<sup>1</sup>, GAO Debin<sup>1</sup>, YANG Yonghui<sup>2,3</sup>, YANG Chuan<sup>1</sup>

(1. College of Geodesy, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Research Institute of Electronic Integrated Survey, Ministry of Information Industry, Xi'an, Shaanxi

710054, China; 3. Shaanxi Province Soil Engineering Technology Research Center, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** [Objective] Exploring the restoration control model and control cost of ecological environment in abandoned quarryes, which can provide references for the environmental restoration and management of the remaining quarrying mines in Xishan, Hancheng City of Shaanxi Province. [Methods] Through the investigation, exploration and indoor experiment, the geological environment of the abandoned rock quarrying in the west of Hancheng City was analyzed, which is exposed rock slope deformation characteristics, waste slag occupation of arable land and mud and other issues. [Results] The paper put forward engineering treatment and ecological restoration treatment of slope and waste slag. Ways of skiving the top and heaving foot, vegetating the concrete into the slope were adopted. Wasted slag was used to dig the high place, fill the low place, and fill compaction by grades, to bulid retaining walls on the slope foot, cover the slide with soil and planting flowers. Trees had a advance for environmental governance. [Conclusion] The engineering treatment with “dig the high place and fill the low place” for the unstable slope and the accumulated waste slag, and covering the slide surface with the vegetation technology have a advance for ecological environmental governance.

**Keywords:** quarrying mines; unstable slope; wasted slag; environment restoration; Hancheng City

收稿日期: 2017-12-26

修回日期: 2018-03-28

资助项目: 韩城市采煤深陷区生态修复与农业重建项目(韩发改 2015-33)

第一作者: 黄齐(1991—), 男(汉族), 湖北省仙桃市人, 硕士研究生, 研究方向为岩土工程与地质灾害治理。E-mail: a920136508@126.com。

通讯作者: 高德彬(1974—), 男(汉族), 陕西省渭南市人, 博士, 副教授, 主要从事环境地质及灾害防治方面的教学与科研工作。E-mail: 920136508@126.com。

我国早期以大量消耗资源支撑经济发展的粗放型经济建设模式造成了严重的环境问题,如环境污染、土壤污染、水污染、空气质量恶化等。因此,必须加大环境治理以改变早期经济社会发展造成的生态环境欠账。其中废弃采石矿山是造成上述环境问题的重要方面之一,也是人为营力作用造成的一种极度退化的生态系统,其原有植被因生态环境的剧变而减少、退化乃至消失,严重影响着社会与经济的可持续发展。生态文明的新理念“绿水青山就是金山银山”被提出后,对废弃采石矿山进行人为加快生态环境修复治理,已成为目前研究的热点问题。为了加快废弃矿山环境恢复进度,有效规避废弃矿山遗留的崩塌、滑坡等地质灾害危险,及时开展对废弃采石矿山进行生态环境恢复治理研究,具有显著的经济、环境和社会意义。在《陕西省矿产资源总体规划(2016—2020年)》中,韩城矿区既为渭北煤炭国家规划矿区,又属陕西省渭北重点矿区。在《韩城市矿产资源规划(2016—2020)年》中也提及,截止2015年底,韩城市内已探明储量的矿产有4大类10余种。煤炭预测总量达 $1.00 \times 10^{10}$  t以上,占渭北煤田的35.5%,其中已探明储量达 $2.09 \times 10^9$  t;预测煤层气储量 $1.91 \times 10^{11}$  m<sup>3</sup>,是渭北最大的气田,其中已探明储量达 $1.20 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>。因此韩城市的煤炭、煤层气开发潜力在陕西省占有重要地位,除了煤气,还有矿石资源。韩城市西山区的灰岩、白云岩矿石资源丰富,30 km范围内分布规模不等的采石矿山21座<sup>[1]</sup>,其开发利用为韩城市早期经济社会建设做出了巨大贡献。然而长期大范围的掠夺式、无序露天开采使得矿区及周围空气质量恶化、土壤污染、地质灾害等问题极为突出<sup>[2]</sup>,尤其新建G108国道西侧山体景观破坏极为严重,给当地人居环境以及旅游、农业等带来了严重损失。因此,近年来不断加大对其关停、重组及其后期环境恢复治理力度。2016年开始实行“韩城市采煤沉陷区生态修复与农业重建项目”,其中包含了西部沿山生态环境恢复治理。为了探索韩城西山废弃采石矿山生态环境恢复治理模式及治理成本、施工经验,本研究选取龙门镇西塬村西废弃采石矿山环境地质工程治理及生态恢复进行试点,通过地质调查、钻探及室内试验对该矿山的地质环境问题进行分析,并提出环境生态恢复治理方案,旨在为韩城西山一带其余废弃采石矿山和煤矿山的生态环境恢复治理提供借鉴。

## 1 采石矿山环境地质分析

### 1.1 气象、水文

韩城市属暖温带半干旱大陆性季风气候,四季分

明,气候温和,雨量较多,光照充足。年平均气温13.5℃以上,极端最高气温42.6℃,最低气温-14.8℃,年降雨量为266.0~709.2 mm,平均为529.3 mm<sup>[3]</sup>。

### 1.2 地形地貌

研究区属低山侵蚀构造地貌,整体呈现出西高东低。基岩斜坡地形复杂,山势陡峭,沟谷深切,由南西至北东向发育5条大小不一的冲沟,冲沟纵坡降100‰~150‰,冲沟两侧山坡坡度35°~60°,局部甚至直立。同时,由于人为营力改造,即采掘矿石及堆填废弃渣石,造成坡体前缘与山前洪积扇裙地形复杂多变,采石断面与坡体后缘形成了以高陡岩石边坡直接接触的地貌景观。

### 1.3 地层岩性

通过现场工程调绘与勘探,采石矿区范围内的岩土层主要由第四系全系统人工堆积废弃渣石、冲洪积与残坡积的碎石土,下古生代上寒武系白云岩等组成。

### 1.4 地质构造及地震

研究区最大断裂是韩城断裂(F<sub>1</sub>),为一右行走滑断层,局部最大错动速率达3.57~0.17 cm/a,其它断裂基本上平行于F<sub>1</sub>,且多为其伴生断裂<sup>[3]</sup>。区内新构造活动强烈,地壳形变幅度较大,小震活动十分密集,存在着发生中强以上地震的构造条件和历史背景。地震设防烈度Ⅶ度,设计地震分组为第2组,基本地震加速度值0.15 g,地震动反应谱特征周期0.40 s<sup>[4]</sup>。

## 2 废弃采石边坡地质环境问题

该采石矿山位于西塬村西约500.0 m处基岩斜坡前缘,天然坡度约33°。由于露天采石向山体内部推进约500.0 m,横向宽度达840.0 m,形成了连片的高陡岩石创伤面,面积达 $6.40 \times 10^4$  m<sup>2</sup>。由南至北可分为2个采坑4个采掘断面(图1)。断面不稳定边坡高度64.0~138.0 m,坡度约60°,局部呈直立或反倾状。



图1 废弃采石矿山远景

## 2.1 边坡地质结构特征

根据地质调绘表明,边坡中上段为寒武系上统( $\epsilon_3$ )常山—凤山组,岩性组合为中厚层细晶泥质白云岩与纹层状泥粉晶泥质白云岩互层产出,灰白—褐灰色,泥质条带发育,夹黄灰色竹叶状细晶泥质白云岩,产状  $325^\circ \angle 25^\circ$ 。出露厚度约 60.0 m(编号为①)。边坡下段为寒武系上统( $\epsilon_3$ )崮山组鲕粒白云岩夹薄层泥质白云岩,深灰色,中厚层,可见斜层理。鲕粒白云岩中泥质含量较少,抗风化能力较强。出露厚度 45.0~50.0 m(编号②)。上、下两段岩体节理裂隙均发育,包括 X 型剪节理和不规则状张节理,其中剪节理面上发育擦痕,部分裂隙和孔洞被亮晶方解石所充填。同时,坡脚附近发育一高角度正断层( $F_X$ ),倾向北西,断层宽 10.0~15.0 m。断层带内岩体呈碎块状,角砾 0.5~3.0 cm 不等。

## 2.2 边坡变形特征分析

由于开山采石严重削弱了前部的支撑力,坡体应力矿山发生显著变化,向下、向后形成了不同程度的松弛区<sup>[5]</sup>。尽管边坡岩体产状与坡面呈反向,但岩体节理裂隙发育,加之采石爆破振动已使岩体不同程度的松动甚至已不能自稳,致使断面后缘出现 3~5 条弧形拉张裂缝,以及各断面两侧出现数量众多的卸荷裂缝。各断面边坡后缘发育的裂缝距离开采断面 10.0~63.0 m,宽度 5.0~40.0 cm,长度 15.0~40.0 m,个别切穿整个山脊。同时,拉裂缝呈现出明显的外移和下错趋势,最大下错距离达 70.0 cm。这些拉张裂缝、卸荷裂缝切割破坏了岩体的完整性,降低了岩体强度,构成边坡侧向滑坡(塌)的边界条件,其变形破坏模式表现为卸荷—拉裂—剪断—滑移<sup>[6]</sup>。同时,现场多次调查发现,在降雨、刮风、振动等作用下,各断面边坡不时出现崩塌、落石,危及人身财产安全。

## 3 废弃渣石环境地质问题

矿区大量废弃渣石主要由矿石开采爆破、机械搬运及破碎分选等过程中留存下的小粒径废渣组成。其在矿区内分上、下两层堆放,其中第一层堆积在矿区前缘,面积约  $7.90 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,方量约  $1.58 \times 10^6 \text{ m}^3$ ;第二层堆放于中后缘且距开采断面 10.0~25.0 m,面积约  $1.32 \times 10^5 \text{ m}^2$ ,方量约  $1.08 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。矿区内废渣的无序堆放不仅占用了山前部分耕地,且其表面未采取任何防护措施,在风力作用下粉尘颗粒物随风卷入空气,引起区域空气质量恶化。同时,在暴雨、连阴雨等形成的地表水流的冲刷下废渣逐步向坡

地蔓延,使农田里形成一层板结贫瘠土壤,严重影响农业减产(图 2)。同时,降雨入渗及冲刷常引起堆渣坡顶出现拉裂缝,渣堆坡面冲蚀严重引起坡面局部发生浅表层的泥流、崩塌等(3)。

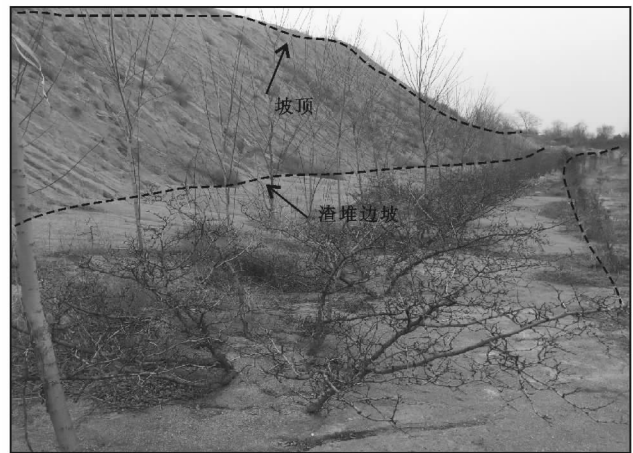


图 2 矿区渣堆泥流侵蚀坡地



图 3 矿区渣堆边坡拉裂缝及局部崩塌

### 3.1 废渣物质组成及粒度分析

废弃矿渣来源于开采白云岩及其加工处理等过程中形成的细渣颗粒,表现为砂性废渣,其矿物成分与白云岩组成相同,主要以方解石为主,其次含有少量白云石和黏土矿物。为了分析废弃矿渣的粒径组成及颗粒级配,室内对 8 组试样分别采用 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.075 mm 的圆孔摇筛机进行了筛分试验,粒径大于 10.0 mm 的粒径质量均值 6.5%; 5.0~10.0 mm 均值 10.9%; 2.0~5.0 mm 均值 29.3%; 1.0~2.0 mm 均值 19.1%; 1.0~0.5 mm 均值 19.6%; 0.075~0.5 mm 均值 21.2%(表 1)。同时,筛分试验曲线连续,表明废渣粒径组成不均匀,级配良好,且显示出粗砂、砾砂性质。

表1 废渣颗粒组成质量平均百分比

粒径/mm	>10	10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.075
质量百分比/%	6.5	10.9	29.3	19.1	19.6	21.2

### 3.2 废渣堆天然休止角分析

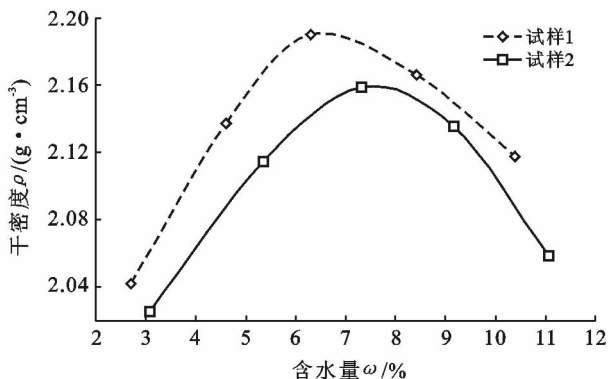
矿区废渣黏聚力接近于0,内摩擦角接近于其休止角。因此,现场对矿区渣堆在天然湿度及降雨冲刷形成冲沟内进行了大量测试,以确定其天然湿度与饱和(水下)状态下的休止角,结果详见表2。由表2可以看出,天然湿度下渣堆休止角进行了68次测定,其值范围 $31^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ,均值 $35.4^{\circ}$ ;饱和(水下)状态下进行了39次测试,其值范围 $16^{\circ}\sim 34^{\circ}$ ,均值 $28.6^{\circ}$ 。由此可以看出,废渣天然湿度状态下的休止角变化较小,差值仅为 $8^{\circ}$ 。而饱和状态下的变异系数较大,最小值 $16^{\circ}$ ,最大值 $34^{\circ}$ ,差值达 $18^{\circ}$ ,这与水流冲刷下渣堆斜坡废渣细颗粒含量变化、地表水流的流速差异引起冲刷力大小不同等有关。

表2 废渣休止角现场测试结果统计

废渣所处状态	频数	范围值	平均值	方差	变异系数
天然状态 $\varphi/(^{\circ})$	68	31~42	35.4	2.62	0.07
饱水状态 $\varphi/(^{\circ})$	39	16~34	28.6	4.47	0.16

### 3.3 废渣击实试验分析

由筛分试验结果可知,废渣粒径大于5.0 mm的粒径平均质量占其总量约17.4%,最大达33.7%,因此,应选用重型击实设备进行击实试验以确定废渣的压实特性,获取废渣分层压实的控制参数。图4为两组废渣的最大干密度与最优含水率( $\rho_{dmax}-\omega_{op}$ )关系曲线。由图4可以看出,矿区废渣的试验结果:最大干密度2.159和2.186  $g/cm^3$ ,均值2.173  $g/cm^3$ ;最优含水量7.6%和6.7%,均值7.15%。

图4 废渣重型击实  $\rho_{dmax}-\omega_{op}$  试验曲线

## 4 矿山环境恢复治理

### 4.1 采石边坡环境恢复治理

4.1.1 工程治理 根据规范<sup>[7]</sup>中边坡安全等级划分可知,该采石边坡工程安全等级Ⅲ级,加之该矿山已处于关停废弃状态,工程治理仅需保证其不发生较大规模的崩(滑)塌,即不影响植被生长的“地基条件”。经多方案比较<sup>[1]</sup>,选用安全可靠、经济合理的削方压脚方案。边坡上部采取 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 削方减载,中部 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 清方处理,并将其削清方部分分层压实堆积于边坡前缘,以减小断面边坡有效高度,增加其稳定性及安全余度。同时,削方不能全部将裂缝区域不稳定坡体完全清除。因此,对断面后缘远距离裂缝(隙)进行灌注浆封堵处理,防止地表径沿其入渗至坡体内部,而且可增强拉裂分离岩体的完整性<sup>[8]</sup>。值得指出的是,封堵灌浆时应注意分散、间断性灌浆,防止全面、高压灌浆使裂缝增大甚至恶化前部坡体的稳定性,甚至诱发崩(滑)塌等事故。

4.1.2 坡面生态恢复 已有研究<sup>[9-12]</sup>资料表明,岩石边坡是废弃采石矿山生态恢复难度很大。由于采石边坡陡峭,无植被生长的土壤条件,且无法固土保水,植被生长极为困难,仅靠天然恢复至少需100 a甚至更长<sup>[13]</sup>。岩体边坡的生态恢复核心是在边坡表层上构建适宜植被生长的“地基条件”。根据韩城市前期选用的植被混凝土技术进行矿山岩石边坡生态恢复的效果调查表明,该技术适宜进行岩石高陡边坡的植被恢复,其核心技术为绿化添加剂。施工时首先在稳定坡面上铺设铁丝网并用锚杆固定,并将植被混凝土原料经搅拌均匀后喷射到其坡面上,形成厚8.0~10.0 cm的植被混凝土基层,并洒水养护<sup>[1]</sup>,基层内植被即可发芽生长,达到边坡生态环境恢复的效果。

### 4.2 废弃渣石环境恢复治理

4.2.1 工程治理 由于矿区废渣基本上分上、下两层,且属无序堆放,堆放高度及坡度均较大。因此,应尽可能在矿区范围内将其消化处理,以免其在挖除、搬运、二次堆填等过程造成空气污染。根据矿区废渣堆填位置、方量,进行削高填低并坡率法进行分级放坡,减缓堆渣坡度<sup>[13]</sup>,并应分级设置挡墙拦挡废渣,形成由废弃渣石压实填筑的台阶型人工边坡,以便与上部边坡形成统一协调的地貌景观。同时,为了增大其边坡设计坡比,可添加一定数量的水泥或布设土工布以增加废渣的粘聚力,防止废渣边坡的侧向溜滑。

4.2.2 生态恢复治理 通过工程治理形成了由废弃渣石压实填筑的台阶型人工边坡地形,在边坡单级平台与单级坡面铺筑了厚约 1.0 m 的人工壤土以适宜植被生长。根据韩城西山一带的气候条件,选择适宜的植被类型与栽植方式等。根据现场调查和工程实践,植被选择应选取耐旱寒、耐瘠薄的植物种类,且应遵循“乔、灌、草、藤相结合”原则,同时注意景观效果和经济效益相结合。因此,根据上述标准,乔木选择当地经济林花椒树、洋槐等,草类宜矮冬麦、高羊茅、紫花苜蓿、狗牙根等<sup>[14]</sup>。栽植方式选择坑穴法与沟渠法<sup>[15]</sup>,其中乔灌木采用坑穴法,花草选用沟渠法。栽种植间距不宜过密,否则气候干旱时植被易出现枯萎、“小老树”甚至死亡。

## 5 结论

(1) 西塬废弃采石矿山的岩石创伤面达  $6.40 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,断面边坡高陡,局部呈直立或反坡状。同时,断面后缘及周边发育 3~5 条拉张裂缝和数量众多的卸荷裂隙,其中拉裂缝宽度达 40.0 cm,距离断面最远约 63.0 m。各断面边坡在降雨、风力作用、振动等作用下,极易发生崩(滑)塌、落石等地质灾害。矿区废渣面积约  $2.11 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,方量约  $2.66 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,其无序堆放不仅侵占山前部分耕地,而且在降雨冲刷、入渗作用下渣堆边坡场常发生浅表层的泥流、崩塌等地质灾害。

(2) 根据边坡地质结构及变形破坏特征,建议采用削清方与压脚进行边坡工程治理,在此基础上,选用植被混凝土防护技术进行边坡环境恢复治理。植被类型应选取耐旱、耐寒、耐贫瘠的草本植被,如矮冬麦、高羊茅等,不宜选择灌木甚至乔木。

(3) 根据矿区废渣组成及工程特征,建议采用挖高填低,修筑挡墙与分层压实填埋并采用壤土进行坡面及平台封面。在此基础上,选用坑穴法及沟渠法栽植乔灌木,且栽种植间距不宜过密,否则气候干旱时植被易出现干枯或“小老树”现象。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李辉,李永红,康金栓,等. 陕西省韩城市西山灰岩群采区矿山地质环境问题及恢复治理探讨[J]. 灾害学, 2014,29(3):139-143.
- [2] 林斌,赵法锁,石碧波. 陕西韩城市地质灾害空间分布规律与防治[J]. 灾害学,2004,19(4):35-39.
- [3] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [4] 中华人民共和国国家标准编写组. GB50011-2010 建筑抗震设计规范(2016年版)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [5] 栾婷婷,谢振华,张雪冬. 露天矿山高陡边坡稳定性分析及滑坡预警技术[J]. 中国安全生产科学技术,2013,9(4):11-16.
- [6] 杨天鸿,张锋春,于庆磊,等. 露天矿高陡边坡稳定性研究现状及发展趋势[J]. 岩土力学,2011,32(5):1437-1451.
- [7] 中国冶金建设协会. GB51016-2014 非煤矿山边坡工程技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [8] 王维理,陈昌彦. 废弃矿山植被恢复工程中弃渣边坡地质灾害危险性评估[J]. 地质灾害与环境保护,2013,24(3):17-20.
- [9] 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.
- [10] 郑涛,车伟光. 废弃采石场生态恢复以及景观再生研究:以北京市门头沟区废弃采石场为例[J]. 草原与草坪,2009(3):65-68.
- [11] 李长洪,任涛,蔡美峰,等. 矿山地质生态环境问题及其防治对策与方法[J]. 中国矿业,2005,14(1):29-33.
- [12] 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.
- [13] 章振国,洪尚群,陇猷,等. 采石场、挖沙场环境问题与防治对策[J]. 中国环境管理,2000(6):24-26.
- [14] 李成. 陕西韩城煤矿群采区矿山地质环境恢复治理对策分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(1):40-45.
- [15] 李伟. 露天煤矿排土场边坡稳定性分析与治理技术[J]. 煤炭科学技术,2014,42(10):37-40.