

寇晓蓉, 白中科, 杜振州, 等. 黄土区大型露天煤矿企业土地复垦质量控制研究[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(5): 957-965.

KOU Xiao-rong, BAI Zhong-ke, DU Zhen-zhou, et al. Land reclamation quality completion standards for large opencast coal mine enterprises in Loess areas [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(5): 957-965.

黄土区大型露天煤矿企业土地复垦质量控制研究

寇晓蓉¹, 白中科^{1,2*}, 杜振州^{1,3}, 张耿杰^{1,4}

(1.中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2.国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035; 3.北京市顺义区木林镇人民政府, 北京 101314; 4.云南农业大学水利学院, 昆明 650201)

摘要:根据《中华人民共和国土地管理法》《土地复垦条例》《土地复垦质量控制标准》的要求,采用遥感影像解译、实地监测与室内分析相结合的方法,以及中国地质大学(北京)土地复垦团队1986—2016年在平朔矿区长期试验示范、跟踪监测评价的成果,旨在建立符合地域特色、具有可操作性的煤矿企业土地复垦质量控制标准。分析矿区1986、1996、2000、2004、2009、2013年的土地利用变化,以及18个典型耕地、林地、草地土壤剖面的土壤环境质量和土壤肥力指标。结果表明,地貌重塑是复垦土地质量的基础,土壤重构是复垦土地质量的核心,植被重建是复垦土地质量的保障。土地复垦质量控制的基本要求是:地貌稳定系数 ≥ 1.3 ,土壤侵蚀模数 $\leq 1000 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,控制在黄土区允许的土壤侵蚀量范围内,耕地面积比例占60%左右、林草用地面积占30%左右,海拔高程不超过1500 m;土壤污染物含量达到《绿色食品产地环境质量标准》($\text{pH}>7.5$),耕地和林草地的有效土层厚度不小于120 cm和60 cm,容重 $1.2\sim 1.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,pH值7.0~8.5,有机质含量不低于 $10.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;选择先锋植物与适生植物,进行草、灌、乔不同复垦模式的合理配置,形成有效控制地表径流的乔木层、灌木层、草本层、枯落物层和土壤层。

关键词:黄土区;露天煤矿;土地复垦;质量控制;企业标准

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)05-0957-09 doi:10.11654/jaes.2017-0368

Land reclamation quality completion standards for large opencast coal mine enterprises in Loess areas

KOU Xiao-rong¹, BAI Zhong-ke^{1,2*}, DU Zhen-zhou^{1,3}, ZHANG Geng-jie^{1,4}

(1.School of Land Science and Technology, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China; 2.Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China; 3.Lumber Town Government, Shunyi District, Beijing 101314, China; 4.College of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract:On the basis of the requirements of the Land Administration Law of the People's Republic of China, the Land Reclamation Regulations and the Completion Standards on Land Reclamation Quality, the objective of this study was to establish completion standards for the land reclamation quality of coal mine enterprises with the features of regional characteristics and operability. The methods of remote sensing image interpretation and a combination of field monitoring and indoor analysis were used in this study, and we adopted the accumulated experimental, demonstration, monitoring, and evaluation results for the period 1986 to 2016 in the Pingshuo mining area, obtained by the land reclamation team of the China University of Geosciences(Beijing). Land-use changes in the mining area for the years 1986, 1996, 2000, 2004, 2009, and 2013 were analyzed, as were soil environmental quality and fertility indices derived from 18 soil profiles, including those from arable land, forest land, and grassland. Landform reshaping is the basis of reclaimed land quality, whereas soil reconstruction is the core, and vegetation restoration is the guarantee. The basic requirements of land reclamation quality completion are as follows: the geomorphic stability coefficient should not be less than 1.3; the soil erosion modulus should not be greater than $1000 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, which is within the permitted range of soil erosion amount in loess areas; the proportion of cultivated land area should be approximately 60%, and forest and

收稿日期:2017-03-14

作者简介:寇晓蓉(1988—),女,山西朔州人,博士研究生,从事土地复垦与生态重建研究。E-mail:417786770@qq.com

*通信作者:白中科 E-mail:baizk@cugb.edu.cn

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(201411017)

Project supported: Special Scientific Research Fund of Public Welfare Profession of the Ministry of Land and Resources of China(201411017)

grassland should comprise approximately 30%; the elevation should be less than 1500 m; soil contaminant contents should comply with the Green Food Origin Environmental Quality Standards (pH>7.5), namely, an effective soil thickness of arable and grasslands greater than 120 cm and 60 cm, respectively, a bulk density between 1.2 and 1.4 g·cm⁻³, a pH value between 7.0 and 8.5, and an organic matter content greater than 10.0 g·kg⁻¹; pioneer and adaptable vegetation should be selected to configure different reclamation modes of grass, shrub, and tree; moreover, the tree, shrub, herbaceous, litter, and soil layers should be established to effectively control surface runoff.

Keywords: loess area; opencast coal mine; land reclamation, quality completion; enterprise standard

从国际层面考虑,我国矿区土地复垦技术研究在黄土区大型露天开采引发的损毁土地复垦以及黄淮海平原井工开采引发的损毁土地复垦领域,处于世界领跑水平,但土地复垦标准体系很不健全,标准研制明显落后于美国、澳大利亚、加拿大、英国、德国等先进国家,处于跟跑水平^[1-2]。2011年3月国务院颁布《土地复垦条例》指出:生产建设活动损毁的土地,按照“谁损毁,谁复垦”的原则,由生产建设单位或者个人(以下称土地复垦义务人)负责复垦^[3]。目前,我国土地行业已经颁布了《土地复垦方案编制规程》(TD/T 1031.1—2011)、《土地复垦质量控制标准》(TD/T 1036—2013)、《生产项目土地复垦验收规程》(TD/T 1044—2014)等10项标准,对于我国东北山丘平原区、黄淮海平原区、长江中下游平原区、西南山地丘陵区、中部山地丘陵区、东南沿海山地丘陵区、西北干旱区、黄土高原区、北方草原区、青藏高原区10个不同地区的矿山土地复垦做出了质量控制标准^[4-6]。但就目前的情况而言,鲜有煤矿企业投入精力、物力、财力,来因地制宜地制定更加详尽、具有可操作性、符合自身区域、企业特点的土地复垦质量标准,难以针对不同生物气候带、不同矿山类型、不同采矿工艺、不同复垦目标的土地复垦做出指标约束与质量控制。

土地复垦与生态修复的关键环节包括地貌重塑、土壤重构、植被重建等,其中,地貌重塑是复垦土地质量的基础,土壤重构是复垦土地质量的核心,植被重建是复垦土地质量的保障^[7]。因此,选择排土场稳定系数、梯田化率、土地利用结构、土壤环境质量、土壤肥力、植被覆盖度等核心指标,是复垦生态系统能否持续稳定的关键。

平朔露天矿区生态系统是一个人工生态系统,其建设初期完全是按社会需求和人为意愿来规划设计的,有诸多不利因素影响系统的稳定性。平朔矿区(以露天开采为主)超过160 km²的原地形地貌、植被、土壤将在100年内消失^[8-9],如何因地制宜地控制土地复垦质量、提高土地复垦功能就显得尤为紧迫。基于以上目的,本文从矿山企业作为土地复垦义务人的角度

出发,根据黄土区露天煤矿30年的土地复垦与生态重建的理论与实践,进行适合于我国黄土区露天煤矿土地复垦质量的控制研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省西北部,朔州市平鲁区,矿区总面积380 km²,由安太堡、安家岭和东露天3座大型露天煤矿和13座井工煤矿组成。该区地处大陆性季风区,全年平均降水量450 mm,年均蒸发量1786.7~2598 mm,无霜期120 d,全年平均气温4.5℃。该区地表水系属于海河流域,永定河水系,地带性土壤为黄绵土、栗钙土,自然植被属于干草原类型^[10]。截至2016年,矿区土地复垦与生态修复面积达3000 hm²,土地复垦率和排土场植被覆盖率分别超过了50%和90%^[11-13]。

1.2 研究方法

1.2.1 遥感影像目视解译

以1986、1996、2000、2004、2009、2013年这6期遥感影像作为主要数据来源,在ENVI 4.8中对各期影像进行数据处理,主要包括大气辐射校正、几何校正、影像裁剪,得到研究区的影像数据。参考《土地利用现状分类标准》(GB/T 21010—2007),考虑矿区实际情况,将研究区的土地利用类型分为耕地、林地、草地、农村居民点、城镇用地、交通运输用地、露天采坑、剥离区、排土场、工业场地等10类,其中,露天采坑、剥离区、排土场、工业场地等是采矿过程中新形成的特殊用地。采用神经网络分类与目视解译相结合的方法进行监督分类,获得研究区的6个不同时期的土地利用信息,各期影像分类结果的Kappa系数均在0.85以上,满足本研究对数据精度的要求。

1.2.2 土壤采样与监测

根据实地调查情况,设计了18个土壤剖面样点(图1),分层采样深度0~65(120)cm。类型包括刚排土未复垦的排土场,不同复垦年限的耕地、复垦林地、复垦草地,以及原地貌耕地、林地、草地等作为对照。

采样时间为2012年7月上旬,土壤环境质量与土壤肥力相关指标按照NY/T 1123.1-11规定的土壤样品采集、处理和监测的方法进行^[14]。

1.3 土地复垦质量控制的原则与依据

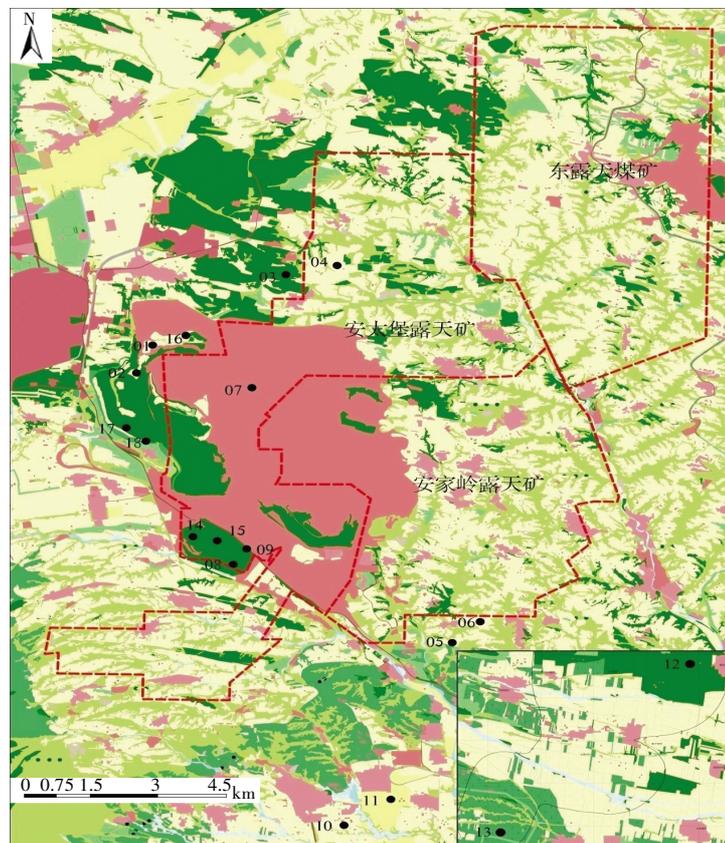
1.3.1 土地复垦质量控制原则

(1)阶段控制原则。根据黄土区大型露天煤矿土地损毁类型,通过土地复垦工程、生物措施,从地貌重塑阶段、土壤重构阶段、植被重建阶段严格控制^[3]。

(2)因地制宜原则。黄土区大型露天煤矿企业土地复垦标准必须具有分类指导性,根据黄土区经济发展水平、土地复垦技术的成熟状况,充分考虑原地貌土地利用类型、地区自然条件,确定土地复垦方向,综合治理。在因地制宜的基础上,优先选择的复垦方向为耕地^[4]。

(3)环境保护原则。该原则体现在环境质量保证、土地资源保护、水资源保护三个方面,要求保护与恢复生态,防止水土流失,防止次生地质灾害,防止二次污染^[5]。

(4)科学合理原则。根据《中华人民共和国土地管理法》《土地复垦条例》《土地复垦质量控制标准》《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)、《中国土壤环境质量标准》《绿色食品产地环境质量标准》、史崇文主编的《山西省土壤环境背景值》中的雁北地区土壤环境背景值、《全国耕地类型区、耕地地力等级划分》《全国农业土地分等定级规程》,以及中国地质大学(北京)土地复垦团队在平朔矿30多年跟踪监测结果与复垦实践^[6]。



01-复垦耕地(1997年复垦);02-复垦草地(1994年复垦);03-原地貌林地(黄土丘陵区);04-原地貌耕地(黄土丘陵区);05-原地貌耕地(黄土丘陵区);06-原地貌耕地(黄土丘陵区);07-排土场(刚堆垫平整完);08-复垦林地(1990年复垦);09-复垦草地(边坡处,1998年复垦);10-原耕地(山前缓坡平原区);11-原耕地(山前缓坡平原区);12-原地貌林地(山前缓坡平原区);13-原地貌草地(山前缓坡平原区);14-复垦林地(1994年复垦);15-复垦林地(1994年复垦);16-复垦耕地(2010年复垦);17-复垦林地(2000年复垦);18-复垦耕地(1994年复垦)

01.reclaimed farmland(reclaimed in 1997);02.reclaimed grassland(reclaimed in 1994);03.original landform forestland(loess hilly region);04.original landform arable land(loess hilly region);05.original landform arable land(loess hilly region);06.original landform arable land(loess hilly region);07.dump(no reclamation after dumping);08.reclaimed forestland(reclaimed in 1990);09.reclaimed grassland(side slope, reclaimed in 1998);10.original farmland(piedmont plain with gentle slope);11.original farmland(piedmont plain with gentle slope);12.original landform forestland(piedmont plain with gentle slope);13.original landform grassland(piedmont plain with gentle slope);14.reclaimed forestland(reclaimed in 1994);15.reclaimed forestland(reclaimed in 1994);16.reclaimed farmland(reclaimed in 2010);17.reclaimed forestland(reclaimed in 2000);18.reclaimed farmland(reclaimed in 1994)

图1 平朔矿区土壤剖面采样地分布示意图

Figure 1 Distribution of sampling sites of soil profiles in Pingshuo mining area

1.3.2 土地复垦质量控制依据

(1)地貌重塑。针对我国黄土区梁、峁、沟、壑发育强烈等地貌特点,利用采矿大型设备的便利条件,依托采矿设计、岩土比例、剥采比等重要指标,选择合适的排弃场所,将岩性不同的物料有序排弃,消除和缓解对植被恢复和土地生产力提高有影响的、靠后期工程复垦无法解决的生存性限制因子,如非均匀沉降、崩塌、滑坡、泥石流、矸石自燃等^[7]。

(2)土壤重构。针对我国黄土区大型露天矿地貌形态损毁极其严重、排土场岩土侵蚀剧烈、土壤肥力贫瘠等特殊问题,采用“采矿-剥离-排弃-造地-复垦”等一体化工艺,集成土体再造与人工熟化技术,人工再造复垦土地种植层^[8]。

(3)植被重建。针对我国黄土区大型露天矿原有植被完全损毁、排土场边坡高陡、土石排弃混杂、立地条件差等特殊问题,综合气候、海拔、坡向、坡度、坡型、地表物质性状等环境因素,常绿与落叶、阳性与阴性、深根与浅根、固氮与非固氮等植物生态习性等,进行不同立地类型植物配置、栽植及管护^[10]。

2 结果与讨论

2.1 黄土区大型露天煤矿土地损毁与土地利用的变化分析

利用 1986、1996、2000 年的 TM 数据和 2004、2009、2013 年的 SPOT 数据,通过 ENVI 解译、ArcGIS

数据处理和地类统计,得到平朔矿六期土地利用类型的时空变化,如图 2 所示^[1]。

结果表明,1986 年,平朔矿区建设之初,土地利用类型以耕地为主,还有林地、草地,在西北部有少量的城镇用地。1996 年伴随安太堡露天煤矿的开采,呈现出露天采场、剥离区、排土场、工业场地增加的土地利用变化。安家岭露天煤矿和东露天煤矿分别于 1998 年和 2010 年开始投产,露天采场、剥离区、排土场、工业场地进一步增加。

1986—2013 年的 27 年间,土地损毁主要体现在矿业用地上,露天采坑、剥离区、排土场、工业场地的利用面积整体呈现上升趋势(图 3)^[1]。

2.2 黄土区大型露天煤矿土壤环境质量与土壤肥力比较分析

2.2.1 土壤环境质量

煤矸石中往往含有有害的重金属元素,将这些岩土堆垫到地表,从而造成土壤污染,影响植物的生存,如果随径流扩散,还将污染更大范围的土壤。毒性较大的 Cd、Pb、Hg、As 大量富集,沿食物链最后进入人体,引起急性、慢性中毒,甚至能够致癌、致畸、致死^[15]。煤矿区土壤环境质量主要以煤矸石与粉煤灰为主要的污染源,主要污染元素包括 Pb、Cr、Hg、Cu、As、Cd 等重金属^[16]。土壤污染是导致复垦土地无法利用的关键原因,只有严控土壤重金属含量,达到相关土地利用类型的环境标准值后,才能考虑后续的土地利

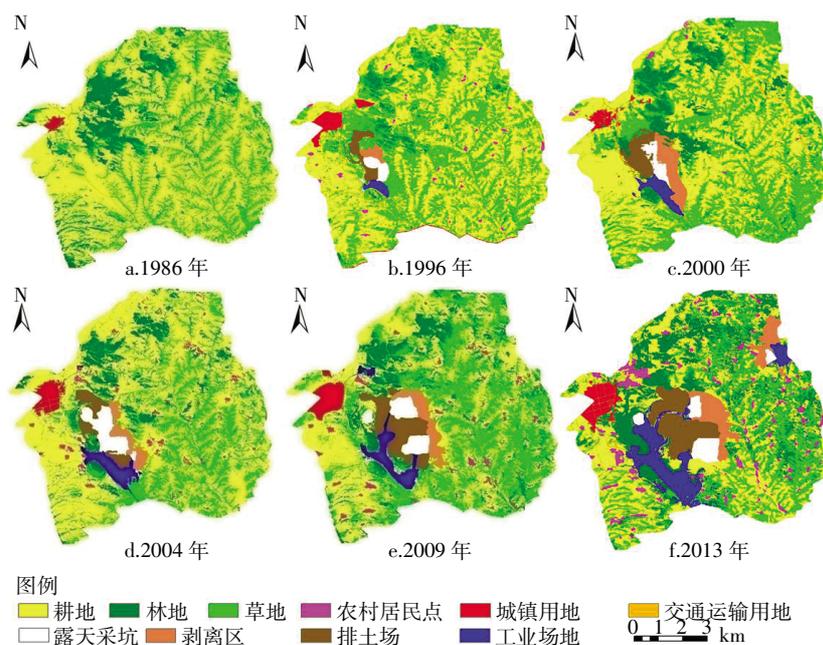


图 2 平朔矿区 1986—2013 年土地利用类型

Figure 2 Land use types from 1986 to 2013 in Pingshuo mining area

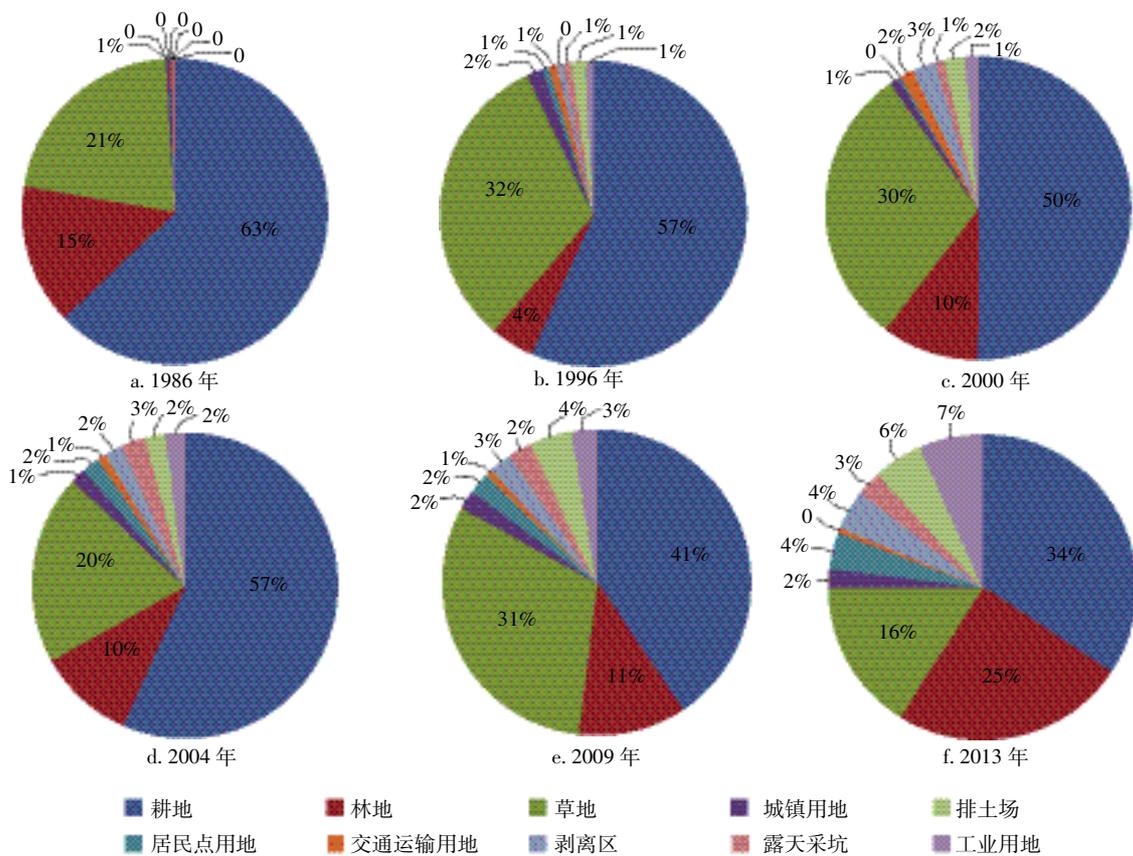


图3 平朔矿区1986—2013年土地利用类型面积百分比变化趋势

Figure 3 Change trend of area percentage of land use types from 1986 to 2013 in Pingshuo mining area

用问题^[17]。

分别在平朔安太堡露天煤矿的内排土场、南排土场、西排土场、西排土场扩大区以及原地貌等18个样地上进行土壤剖面样品的采集,并结合前期课题组在样地内采用五点采样法或S形采集的混合土样分析结果。土样送往中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所分析测试中心,用原子荧光光谱法(Atomic fluorescence spectrometry, AFS)测定As、Hg含量,用

等离子体质谱法(Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)测定Cu、Pb、Cr、Cd含量。根据《土壤环境质量标准》二级标准值(pH>7.5)、《绿色食品产地环境标准值》(pH>7.5)、史崇文主编的《山西省土壤环境背景值》中的雁北地区土壤环境背景值进行对比分析,得到矿区复垦土地质量对比图(图4)^[1,18]。

2.2.2 土壤物理性状

(1)有效土层厚度。根据2013年平朔安太堡露天

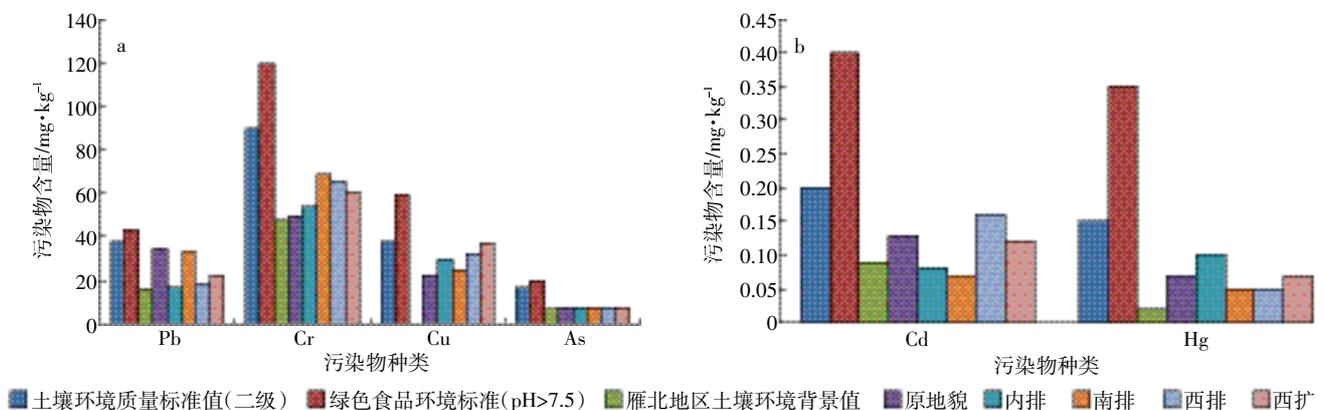


图4 平朔矿区土壤环境质量图

Figure 4 Soil environmental quality in Pingshuo mining area

煤矿采样,18个样地有效土层厚度不完全统计对比得到如表1的结果,从原地貌耕地、林地、草地来看,有效土层厚度大于120 cm;复垦的耕地、林地、草地,有效土层厚度也大于120 cm^[1]。

(2)土壤容重。根据2013年平朔安太堡露天煤矿采样,18个样地耕地、林地、草地的原地貌与复垦地的土壤容重最低值统计结果如图5。

结果表明,原地貌耕地的土壤容重整体变化范围在1.2~1.6 g·cm⁻³之间,复垦样地在1.2~2.0 g·cm⁻³之间。原地貌林地的土壤容重在1.3~1.6 g·cm⁻³范围内变化,复垦样地在1.2~1.8 g·cm⁻³之间。原地貌草地土壤容重在1.3~1.7 g·cm⁻³范围内,复垦草地的土壤容重恢复得较好,在1.0~1.5 g·cm⁻³范围内^[14-20]。可见,复垦耕地的容重偏大,要通过改变排土工艺调整^[4]。

(3)土壤质地。平朔矿区地处黄土丘陵区,当地土

表1 平朔矿区有效土层厚度统计

Table 1 Effective thickness of soil layer in Pingshuo mining area

样地编号	样地情况	有效土层厚度/cm
04#	原地貌耕地(黄土丘陵区)	>120
05#	原地貌耕地(黄土丘陵区)	>120
06#	原地貌耕地(黄土丘陵区)	>120
10#	原地貌耕地(山前缓坡平原区)	>120
11#	原地貌耕地(山前缓坡平原区)	>120
01#	复垦耕地(1997年复垦)	>120
16#	复垦耕地(2010年复垦)	65
18#	复垦耕地(1994年复垦)	90
03#	原地貌林地(黄土丘陵区)	>120
08#	复垦林地(1990年复垦)	>120
14#	复垦林地(1994年复垦)	>120
15#	复垦林地(1994年复垦)	>120
17#	复垦林地(2000年复垦)	>120
02#	复垦草地(1994年复垦)	>120
09#	复垦草地(边坡处,1998年复垦)	>120
13#	原地貌草地(山前缓坡平原区)	>120

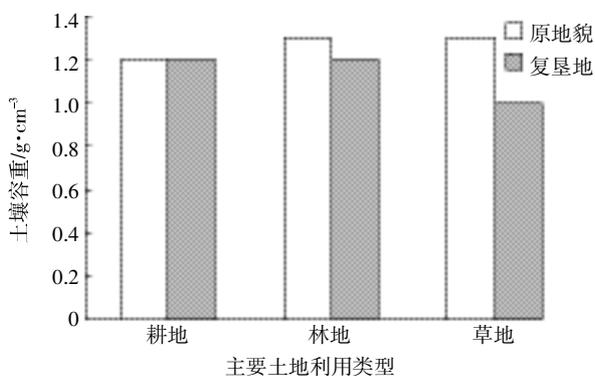


图5 平朔矿区土壤容重最低值统计

Figure 5 Soil bulk density in Pingshuo mining area

壤类型主要以黄绵土、栗钙土为主,其中黄绵土偏粉质壤土,栗钙土偏砂壤质。根据18个样地实地调查和现场记录统计,除第15号样地为土石混排外,其他样地的土壤质地主要以沙壤、轻壤为主,粘土次之^[18]。

(4)pH值。根据2013年平朔安太堡露天煤矿采样,18个样地耕地、林地、草地的原地貌与复垦地的土壤pH值统计:研究区域内耕地的土壤pH均高于7.5,整体呈弱碱或碱性,其中原地貌耕地pH值集中在7.9~8.2之间,已复垦土地的pH值大于7.5;林地的土壤pH值均高于8,整体呈弱碱性或碱性;草地整体的pH值呈弱碱性,范围在7.95~8.30之间。其中排土场边坡处的草地pH值恢复较好^[19]。

2.2.3 土壤化学性状

(1)有机质。根据2013年平朔安太堡露天煤矿采样,18个样地耕地、林地、草地的原地貌与复垦地的土壤有机质统计:研究区的原地貌平原区土壤有机质含量高于其他土地,平均值为6.5 g·kg⁻¹,复垦耕地土壤有机质含量在2~6.5 g·kg⁻¹之间;从整体来看,原地貌丘陵区林地的平均有机质含量较高于原地貌平原区林地,复垦林地土壤中有机质含量在表层最高,在1~9 g·kg⁻¹之间浮动;原地貌草地中有机质平均含量为7.82 g·kg⁻¹,整体高于复垦草地的5~12 g·kg⁻¹^[20]。

(2)全N含量。根据2013年平朔安太堡露天煤矿采样,18个样地耕地、林地、草地的原地貌与复垦地的土壤全N含量统计:原地貌耕地全N含量在0.2~0.65 g·kg⁻¹之间,复垦耕地低于原地貌耕地水平,在0.1~0.4 g·kg⁻¹之间;原地貌林地全N含量在0.2~0.6 g·kg⁻¹之间,复垦林地较低于原地貌林地水平,在0.1~0.5 g·kg⁻¹之间;原地貌草地全N含量在0.3~0.9 g·kg⁻¹之间,复垦草地远差于原地貌草地水平,在0.1~0.5 g·kg⁻¹之间^[21]。

(3)有效P含量。根据2013年平朔安太堡露天煤矿采样,18个样地耕地、林地、草地的原地貌与复垦地的土壤有效P含量统计:原地貌耕地的有效P较低,在1~3 mg·kg⁻¹之间,复垦耕地远高于原地貌,控制在7~20 mg·kg⁻¹;原地貌平原区林地的全磷含量最低,在0.4~4 mg·kg⁻¹,复垦林地中全磷含量均高于原地貌林地,在2~15 mg·kg⁻¹之间;原地貌平原区的有效P含量低,在1~3 mg·kg⁻¹,复垦草地较原地貌土地高,在5~13 mg·kg⁻¹之间^[22]。

(4)速效K含量。根据2013年平朔安太堡露天煤矿采样,18个样地耕地、林地、草地的原地貌与复垦地的土壤速效K含量统计:原地貌耕地速效K含

量在 $40\sim 110\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,复垦耕地速效 K 含量范围在 $15\sim 19\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间;原地貌平原区林地速效 K 含量在 $30\sim 90\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,复垦林地速效 K 含量高于原地貌,在 $30\sim 180\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间;原地貌平原区草地速效 K 含量分布比较均匀,在 $20\sim 80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,复垦草地土壤中速效 K 含量高于原地貌土壤,在 $60\sim 220\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间^[23]。

2.3 黄土区大型露天煤矿土地复垦质量过程控制

2.3.1 地貌重塑阶段的土地复垦质量控制

根据中华人民共和国国土资源部土地行业标准《土地复垦质量控制标准》(TD/T 1036—2013)中所确定的黄土高原区土地质量标准的基本要求^[9],结合平朔矿露天开采损毁土地复垦与生态修复 30 多年的效果,得到地貌重塑阶段土地复垦质量控制指标体系见表 2^[3-6,24]。

通过表 2 中所列举的地貌重塑核心指标,达到如下效果:(1)排土场整体稳定系数在 1.3 以上,控制崩塌、滑坡等地质灾害发生;(2)外排土场和内排土场有效对接,有效控制大气降水的无效蒸发和深层渗漏;(3)最终形成排土边坡面积控制在 30%以下,土地利用效率由原地貌的 70%提高到 90%;(4)农业综合机械化作业:新造的排土场平台面积 $20\sim 66.7\text{ hm}^2$,比原地貌单块地块大 10~30 倍,适宜农业机械化操作,彻底改变原地貌传统农业耕作方式。

2.3.2 土壤重构阶段的土地复垦质量控制

土壤重构阶段土地复垦质量管理指标体系见表 3^[3-6,14,24]。

通过表 3 中所列举的土壤重构核心指标,达到如下效果:(1)新造的排土场平台沉降后的土体厚度在

表 2 地貌重塑阶段土地复垦质量管理指标体系
Table 2 Index system of landform reshaping for land reclamation quality management

指标类型	基本指标	控制标准
稳定性	排土场稳定系数	≥ 1.3
地形	排土场单块面积/ hm^2	20~60
	排土场边坡面积比/%	≤ 30
	耕地地面坡度/ $^\circ$	≤ 5
	林地地面坡度/ $^\circ$	≤ 15
	草地地面坡度/ $^\circ$	≤ 35
土地利用	耕地地面高程/m	≤ 1500
	梯田化率/%	≥ 90
	土地利用效率/%	≥ 90
	耕地面积/%	≥ 60
配套设施	耕林草面积/%	≥ 80
	排水	符合《水土保持综合治理技术规范》(GB/T 16453—2008)的要求

60 cm 以上,耕地无障碍层次,土质适中,砾石含量少于 5%,土壤容重小于 $1.2\sim 1.4\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,可耕性好;(2)土壤侵蚀模数控制在黄土区微度侵蚀的 $1000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以下,小于原地貌的土壤侵蚀模数 $5000\sim 8000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;(3)复垦土壤污染元素含量低于无公害食品产地环境质量要求;(4)复垦土地具有协调供给植物正常生长所需要的水、肥、气、热的能力,土地生产力 3~5 年高于原地貌土地生产力。

2.3.3 植被重建阶段土地复垦质量控制

植被重建阶段土地复垦质量管理指标体系见表 4^[3-6,24-25]。

通过表 4 中所列举的植被重建核心指标,达到如下效果:(1)3~5 年提高到 40%~60%,6~8 年提高到

表 3 土壤重构阶段土地复垦质量管理指标体系
Table 3 Index system of soil reconstruction in land reclamation quality management

指标类型	基本指标	控制标准		
土体再造	矸石埋深/m	≥ 30		
	土体构形	严禁矸石、煤泥、含有料浆的黄红土母质排在地表(包括平台和边坡);严禁石块排在平台地表		
	表层黄土	尽量排在地表		
土壤质量	有效土层厚度/cm	耕地 ≥ 120	林地 ≥ 60	草地 ≥ 60
	土壤容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.2~1.40	≤ 1.5	≤ 1.5
	土壤质地	壤土至粘壤土	砂土至砂质粘土	壤土至粘壤土
	砾石含量/%	≤ 5	≤ 25	≤ 10
	pH 值	7.5~8	7.5~8	7.5~8
	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	≥ 10.0	≥ 15.0	≥ 15.0
	土壤环境质量	符合《土壤环境质量标准》(GB 15618)规定的 II 类土壤环境质量标准和《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2013)要求		
土壤侵蚀	土壤侵蚀模数/ $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	≤ 1000		

注:其中土壤全 N、速效 P、速效 K 尚未列入核心指标。

Note: Soil total N, available P, available K are not considered as the core indicators.

表4 植被重建阶段土地复垦质量管理指标体系

Table 4 Index system of vegetation reconstruction for land reclamation quality management

指标类型	基本指标	控制标准
植被配置模式	永久性林牧用地	刺槐、杨树、沙棘、旱柳、榆树、刺槐×合作杨、刺槐×沙柳、沙枣×榆树、油松×刺槐、油松×沙棘、刺槐×旱柳、杨树×沙棘
	过渡性林牧用地	林网 2 m×4 m 新疆杨×网间豆科牧草、3 m×4 m 林网刺槐×网间药用植物、3 m×4 m 林网合作杨×网间柠条林、3 m×4 m 林网小黑杨×网间沙棘林
	边坡	刺槐×禾本科、豆科牧草;沙棘×禾本科、豆科牧草;柠条×豆科、禾本科牧草;油松×柠条;杜松×沙棘
生产力水平	种植密度	符合《生态公益林建设技术规程》(GB/T 18337.3—2001)的要求
	郁闭度/%	≥0.40
	盖度/%	≥80
	产量/kg·hm ⁻²	5年后达到周边地区同等土地利用类型水平

60%~100%;(2)复垦区乡土植物侵入种类是人工种植植物种类的8~10倍;(3)复垦区野生动物、昆虫及土壤动物明显高于原地貌;(4)形成有效控制地表径流的乔木层、灌木层、草本层、枯落物层和土壤层五层结构;(5)植物第一性生产力以及重建生态系统抗旱灾、涝灾、火灾、虫灾明显强于原生态。

3 结论与应用价值

(1)黄土区露天煤矿企业土地复垦质量控制应考虑土地挖损、塌陷(非均匀沉降)、压占、占用、污染等五种类型,土地复垦质量控制应从原地貌-损毁地-复垦地三阶段来考虑,实现从源头把关、进程约束、标准控制的方式。

(2)黄土区露天煤矿企业土地复垦质量控制主要从地貌重塑、土壤重构、植被重建三方面约束。对要求最高的耕地来说,地貌重塑阶段要求面积比例不低于60%、地面坡度不超过5°,高程不超过1500 m;土壤重构阶段要求污染物含量不超过《绿色食品产地环境标准》(pH>7.5),有效土层厚度不小于120 cm,容重控制在1.2~1.4 g·cm⁻³,pH值控制在7.0~8.5,有机质含量不低于10.0 g·kg⁻¹;植被重建阶段要求选择先锋植物与适生植物,进行草灌乔不同复垦模式配置。

(3)通过地貌重塑、土壤重构、植被重建技术,平朔矿区1986—2016年已经重建的超过3000 hm²土地生态系统,其抵御旱灾、涝灾、火灾和虫灾等自然灾害的能力明显强于原生态,为我国黄土区正在开发和将要开发的类似矿山,运用现代农业先进技术,重构“生产、生活、生态”三生空间,提供了一条可借鉴的成功模式。

参考文献:

[1] 杜振州. 中煤平朔集团企业土地复垦质量管理体系研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015: 4-70.

DU Zhen-zhou. Study on the quality management system of land reclamation in Pingshuo group enterprise[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2015: 4-70.

[2] 周妍, 张继栋, 白中科, 等. 土地复垦管理方法与途径[M]. 北京: 中国大地出版社, 2016: 15-30.

ZHOU Yan, ZHANG Ji-dong, BAI Zhong-ke, et al. Methods and ways of land reclamation management[M]. Beijing: China Land Press, 2016: 15-30.

[3] 中华人民共和国国土资源部. 土地复垦条例[EB/OL]. [2016-03-20]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/flfg/tdglflfg/201112/t20111208_1042843.htm.

Ministry of Land and Resources of PRC. Land reclamation regulations [EB/OL]. [2016-03-20]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/flfg/tdglflfg/201112/t20111208_1042843.htm.

[4] 中华人民共和国国土资源部. TD/T 1031. 1—2011 土地复垦方案编制规程第一部分: 通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

Ministry of Land and Resources of PRC. TD/T 1031. 1—2011 Regulation on compiling land reclamation plan Part 1: General rules[S]. Beijing: China Standards Press, 2011.

[5] 中华人民共和国国土资源部. TD/T 1036—2013 土地复垦质量控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

Ministry of Land and Resources of PRC. TD/T 1036—2013 Completion standards on land reclamation quality[S]. Beijing: China Standards Press, 2013.

[6] 中华人民共和国国土资源部. TD/T 1044—2014 生产项目土地复垦验收规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

Ministry of Land and Resources of PRC. TD/T 1044—2014 Acceptance specification for land reclamation of production project[S]. Beijing: China Standards Press, 2014.

[7] 白中科, 郇文聚. 矿区土地复垦与复垦土地的再利用: 以平朔矿区为例[J]. 资源与产业, 2008, 10(5): 32-37.

BAI Zhong-ke, YUN Wen-ju. Reuse of land reclamation and reclamation land in mining area: Taking Pingshuo mining area as an example[J]. *Resources & Industries*, 2008, 10(5): 32-37.

[8] 白中科, 王文英, 李晋川, 等. 矿区生态重建基础理论与方法研究[J]. 煤矿环境保护, 1999, 13(1): 49-52.

BAI Zhong-ke, WANG Wen-ying, LI Jin-chuan, et al. Study on basic theory and method of ecological reconstruction in mining area[J]. *Coal Mine Environmental Protection*, 1999, 13(1): 49-52.

[9] 曹银贵, 白中科. 安太堡露天矿区土地利用变化及驱动力分析[J]. 资源与产业, 2006, 8(4): 102-106.

- CAO Yin-gui, BAI Zhong-ke. Analysis of land use change and driving force in Antaibao opencast mine[J]. *Resources & Industries*, 2006, 8(4):102-106.
- [10] 白中科,李晋川,王文英,等.中国山西平朔安太堡露天煤矿退化土地生态重建研究[J].*中国土地科学*,2000,14(4):1-4.
BAI Zhong-ke, LI Jin-chuan, WANG Wen-ying, et al. Ecological restoration of degraded land in Antaibao Opencast Coal Mine in Shanxi, China[J]. *China Land Science*, 2000, 14(4):1-4.
- [11] 曹银贵,白中科.典型矿农城复合区土地利用格局演化与管理对策[M].北京:地质出版社,2015:25-27.
CAO Yin-gui, BAI Zhong-ke. Pattern evolution and management countermeasures on land use in typical compound area of mine agriculture urban[M]. Beijing:China Land Press, 2015:25-27.
- [12] 贺振伟.矿区复垦土地可持续利用与产业转型机制研究:以平朔矿区为例[D].北京:中国地质大学(北京),2012:43-48.
HE Zhen-wei. Mechanism of reclaimed land sustainable use and industrial reformation: A case study of Pingshuo mining area[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2012:43-48.
- [13] 朔州煤炭工业网.金山银山画卷美:中煤平朔集团公司生态文明建设纪事之三[EB/OL].[2016-03-20].http://www.szmtgy.gov.cn/Wygkcn_ShowArticle.asp?Wygkcn_ArticleID=5753.
Shuozhou Coal Industry Net. Beauty picture of gold and silver picture: The third chronicle of ecological civilization construction of China Coal Pingshuo Group Co. Ltd.[EB/OL].[2016-03-20].http://www.szmtgy.gov.cn/Wygkcn_ShowArticle.asp?Wygkcn_ArticleID=5753.
- [14] 曹银贵,白中科,张耿杰,等.山西平朔露天矿区复垦农用地表层土壤质量差异对比[J].*农业环境科学学报*,2013,32(12):2422-2428.
CAO Yin-gui, BAI Zhong-ke, ZHANG Geng-jie, et al. Comparison of soil quality of reclaimed agricultural land in Pingshuo opencast mine of Shanxi Province[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(12):2422-2428.
- [15] 胡振琪,魏忠义.煤矿区采动与复垦土壤存在的问题与对策[J].*能源环境保护*,2003,17(3):3-7,10.
HU Zhen-qi, WEI Zhong-yi. Problems and countermeasures of mining and reclamation soil in coal mining area[J]. *Energy Environmental Protection*, 2003, 17(3):3-7, 10.
- [16] 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估[J].*农业工程学报*,2011,27(1):348-354.
FAN Wen-hua, BAI Zhong-ke, LI Hui-feng, et al. Potential ecological risk assessment of heavy metals in reclaimed soil[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(1):348-354.
- [17] 白中科,付梅臣,赵中秋.论矿区土壤环境问题[J].*生态环境*,2006,15(5):1122-1125.
BAI Zhong-ke, FU Mei-chen, ZHAO Zhong-qiu. Discussion on soil environmental problems in mining area[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(5):1122-1125.
- [18] 张耿杰.矿区复垦土地质量监测与评价研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013:42-58.
ZHANG Geng-jie. Study on monitoring and evaluation of the quality of reclaimed land in mining area[D]. Beijing:China University of Geosciences(Beijing), 2013:42-58.
- [19] 白中科,赵景逵,段永红,等.工矿区土地复垦与生态重建[M].北京:中国农业科技出版社,2000:1-275.
BAI Zhong-ke, ZHAO Jing-kui, DUAN Yong-hong, et al. Land reclamation and ecological reconstruction in mining area[M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press, 2000:1-275.
- [20] 白中科,赵景逵,王治国,等.黄土高原大型露天采煤废弃地复垦与生态重建:以平朔露天矿区为例(1986—2001)[J].*能源环境保护*,2003,17(1):13-16.
BAI Zhong-ke, ZHAO Jing-kui, WANG Zhi-guo, et al. Reclamation and ecological reconstruction of large opencast coal mining wasteland in the loess plateau; Taking Pingshuo opencast mining area as an example (1986—2001)[J]. *Energy Environmental Protection*, 2003, 17(1):13-16.
- [21] 张耿杰,白中科,王金满.矿区土地质量概念探讨[J].*中国矿业*,2014,23(2):59-62.
ZHANG Geng-jie, BAI Zhong-ke, WANG Jin-man. Discussion on the concept of land quality in mining area[J]. *China Mining Magazine*, 2014, 23(2):59-62.
- [22] 王金满,白中科,罗明,等.基于专业序列的中国多层次土地复垦标准体系[J].*农业工程学报*,2010,26(5):312-315.
WANG Jin-man, BAI Zhong-ke, LUO Ming, et al. Chinese multi-level land reclamation standard system based on professional sequence[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(5):312-315.
- [23] 周伟,曹银贵,白中科,等.煤炭矿区土地复垦监测指标探讨[J].*中国土地科学*,2012,26(11):68-73.
ZHOU Wei, CAO Yin-gui, BAI Zhong-ke, et al. Discussion on monitoring indexes of land reclamation in coal mining area[J]. *China Land Sciences*, 2012, 26(11):68-73.
- [24] 李晋川,白中科,张立城,等.露天煤矿土地复垦与生态重建:平朔露天矿的研究与实践[M].北京:科学出版社,2000:28-98.
LI Jin-chuan, BAI Zhong-ke, ZHANG Li-cheng, et al. Land reclamation and ecology reconstruction in opencast coal mine: Study and practice on Pingshuo opencast[M]. Beijing:Science Press, 2000:28-98.
- [25] 原野,赵中秋,白中科,等.安太堡露天煤矿不同复垦模式下草本植物优势种生态位[J].*生态学杂志*,2016,35(12):3215-3222.
YUAN Ye, ZHAO Zhong-qiu, BAI Zhong-ke, et al. Niche characteristics of dominant herbaceous species under different land reclamation patterns in Antaibao Opencast Coal Mine[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(12):3215-3222.