

# 露天排土场的岩土侵蚀特征及水保效应分析

吕春娟<sup>1,2</sup>, 白中科<sup>3</sup>

(1. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 3. 中国地质大学 土地科学技术学院 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**该文以平朔露天煤矿复垦 10 a 排土场为试验平台, 采用时空互代法, 在 50 年一遇暴雨后对不同复垦阶段排土场的岩土侵蚀情况进行调查分析。结果表明: 对于新造地, 堆状地面是解决排土场“地表严重压实”和“非均匀沉降”最好方法; 复垦初期(1~3 a)植被的水土保持作用不是很明显, 主要是草本植物在发挥作用, 各种侵蚀形式还普遍存在, 复垦中后期(4~10 a)随着生物多样性的增加, 植被覆盖率的提高, 枯枝落叶层逐渐累积, 各种侵蚀都逐渐减弱, 局部边坡还会发生浅沟侵蚀; 但与复垦初期相比, 灌乔的保水保土效果逐渐凸显, 甚至乔灌草混交的 10# 样地不产生径流和土壤侵蚀。人工堆积的排土场, 岩土侵蚀是一种潜在的危险, 但乔灌草的合理配置, 是一种经济有效的水保措施, 同时在实施过程中需要复垦法制的不断完善。

**关键词:**露天煤矿; 暴雨; 复垦植被; 岩土侵蚀; 水保效应

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0014-06

## Soil and Rock Erosion and Soil and Water Conservation Effects of Opencast Mine Dump

Lǚ Chun-juan<sup>1,2</sup>, BAI Zhong-ke<sup>3</sup>

(1. College of Resources & Environmental Science, Shanxi Agriculture University, Taigu, Shanxi 030801, China; 2. College of Water and Soil Conservation Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Key Laboratory of Land Reclamation of Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Taking the dump reclaimed for 10 years as experiment platform in Pingshuo opencast coal mine, after rainstorm( $p = 2\%$ ), the characteristics of soil and rock erosion of different reclamation stages were surveyed and analyzed by time-space alternative methods. The results showed that: the pile-surface was the best solution for the dump ‘serious surface compaction’ and ‘inhomogeneous settlement’ for the newly-built land; at reclaiming initial stage(1~3 years), the effects of water and soil conservation of vegetation was not significant because the herbaceous plants had function on soil and water losses alone and various forms of erosion were widespread; at reclaiming later stage(4~10 years), erosions were wholly weakened with the increase of biodiversity, the improvement of vegetation coverage rates and accumulating gradually of dry branches and leaves, but there still was gully erosion in margin of slope; compared with reclaiming initial land, the effects of water and soil conservation of shrubs and trees were highlighted gradually; even there were no runoff and soil erosion in the sample plot planting arbor, shrub and herb. For artificial dump, soil erosion is the potential danger. But the rational allocation of planting is an economic and efficient measure for soil and water conservation with the legal system improvement of reclamation.

**Key words:** opencast coal mine; rainstorm; reclaimed vegetation; soil and rock erosion; soil and water conservation effect

山西是矿业大省, 矿业是全省经济发展的主要支柱, 但是矿业开发也造成了严重水土资源破坏, 尤其

是堆积在排土场的矸石、尾渣, 在大雨和暴雨条件下, 将会造成大面积的水土流失, 危害十分严重。目前对

收稿日期: 2010-04-10

资助项目: 科技部、国土资源部公益性行业专项课题“典型矿区破坏土地生态复垦技术开发与示范”(200911015)

作者简介: 吕春娟(1978-), 女, 博士生, 讲师, 主要从事土壤侵蚀与生态重建研究。E-mail: lcjw@126.com

于矿区水土流失的研究, 已经对矿区基本的侵蚀形式和类型有了进一步的深入<sup>[1-2]</sup>, 表现为: 基于 RS 和 GIS 的较大尺度侵蚀强度的分级和预测评价<sup>[3-5]</sup>、较小尺度下的模拟降雨条件下的侵蚀分析<sup>[6-7]</sup>, 但对矿区实地不同复垦阶段的侵蚀情况和复垦的效果角度来进行分析, 还比较少见。因此本文在复垦 10 a 的平朔露天矿遭遇 50 年一遇的大暴雨后, 对不同复垦阶段不同复垦模式下的岩土侵蚀特征和植被的水土保持效应进行调查, 在生态系统演替过程进一步分析植被的水保效应, 为今后矿区排土场的水土保持和土地复垦及生态重建提供有效的依据。

1 研究区概况

1.1 矿区自然概况

平朔露天煤矿是目前我国最大的露天煤炭生产基地之一, 地处黄土高原晋陕蒙接壤的黑三角地带, 山西省北部的朔州市境内。平朔矿区属典型的温带半干旱大陆性季风气候区, 年平均降雨量为 428.2~449.0 mm, 年蒸发量 1 786.6~2 598.0 mm; 原地形地貌为丘陵缓坡区, 区内黄土广布, 植被类型属干草原, 呈零星分布, 水蚀风蚀严重, 冲刷剧烈。

1.2 排土场概况

平朔露天煤矿矿坑剥离物用 PH2800 型 25 m<sup>3</sup>

电铲配以 170C154 后卸式重型“非公路卡车”(装载量 154~190 t), 运输到排土场指定地点倾斜后, 用 D9L 推土机或 16G 平路机推平。排土场中心部位 30~100 m 范围排弃一定厚度的岩石, 其余部位岩土混排, 排土成台阶式排土场(图 1)。由于大型机械碾压, 平台和路面容重达 1.5~1.9 t/m<sup>3</sup>, 渗透系数很小, 仅为 0.16~0.28 mm/min, 易产流汇流; 而边坡为岩土的自然安息角(36°左右), 坡面多覆土, 陡而松散<sup>[1,2,8]</sup>。因此, 平台地表严重压实与排土场整体的非均匀沉降是排土场水土保持两大制约因子。

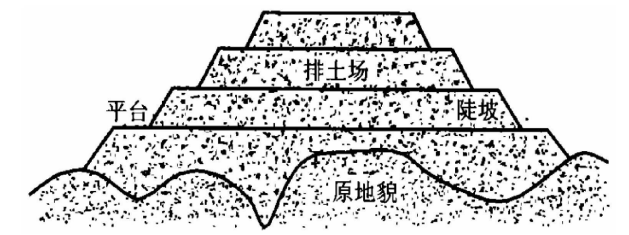


图 1 大型露天煤矿外排土场<sup>[8]</sup>

1.3 侵蚀调查前后降雨情况

平朔煤矿于 2003 年 7 月 23 日, 经历了 50 年一遇的大暴雨的考验, 降雨历时 40 min, 降雨量 55.7 mm, 平均降雨强度 1.39 mm/min。为此统计了 7 月的降雨情况, 见表 1, 本文调查时间为 2003 年 7 月 28~29 日。

表 1 2003 年 7 月矿区降雨情况

时间(月·日)	07-02	07-07	07-17	07-18	07-20	07-22	07-23	07-26	07-30	07-31
降雨量/mm	14.3	9.8	13.1	15.0	3.2	2.8	55.7	32.4	28.0	2.3

2 研究方法

2.1 时空互代法

该排土场从 1987 年至今, 坚持边破坏, 边复垦的原则, 通过复垦时间的不同而形成植被恢复演替的时空序列来比较不同复垦阶段的植被的水保效应。

2.2 径流小区定位观测法

径流量、土壤侵蚀量均采用径流小区定位观测法。具体如下:

(1) 次土壤侵蚀模数(t/km<sup>2</sup>)。将蓄水池内泥水充分搅匀、采样、过滤、烘干, 根据集水面积计算单位面积的泥沙含量, 即土壤侵蚀模数。

(2) 次径流模数(m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>)。测定蓄水池内水体体积, 根据集水面积换算成单位面积的径流量, 即径流模数。

(3) 减水效益(%)=(新造地的径流模数-不同复垦阶段的径流模数)×100/新造地的径流模数

(4) 减沙效益(%)=(新造地的侵蚀模数-不同

复垦阶段的侵蚀模数)×100/新造地的侵蚀模数

3 结果与分析

3.1 岩土侵蚀特征

排土场高出原地面几十米至一百余米, 为平台和边坡相间的台阶式构造, 整体以岩石和黄土类物质混排为主, 平台多覆黄土, 表层严重压实, 下部松散堆积物颗粒大小不等, 自然压缩固结速率不等; 受排土机械限制, 边坡多为岩石的自然滚落角(30°~42°), 故覆盖层疏松。由于排土场组成物质地面坡度及组成物质等发生变化, 岩土侵蚀形式与原始地貌的相比有显著变化。除传统的溅蚀、层状面蚀、鳞片状面蚀、沟蚀、重力侵蚀和风蚀外, 还出现了黄土区少见的非均匀沉降、沙砾化面蚀、土砂泻溜、坡面泥石流等诱发性侵蚀形式。

3.2 新造地的岩土侵蚀特征

新造地是指新排弃的岩土混合物, 在没有采取任何生物措施之前, 地表完全裸露的平台或边坡。

3.2.1 堆状地面 堆状地面是指大型运输车在平台

上排土后,不碾压,人工轻度推堆顶尖,使覆土层呈蜂窝状起伏,表面凹凸不平<sup>[2]</sup>。堆状地面形状实质是多个锥体的排列组合,可以有多种形式,如图 2 所示的正方形排列(a)、三角形排列(b)、多边形排列(c)、优化排列(d,e)等。多个锥体间的凹形区域构成了堆状地面的基本微集水单元,可视为一个个微小流域<sup>[9]</sup>。

根据魏忠义对堆状地面暴雨的产流量和最大容水量的计算公式<sup>[9]</sup>,以正方形堆排土形式为例,得出 50 年一遇暴雨的产流量  $Q_{40,2\%} = K(i_{40,2\%} - f)ST = 0.1344c^2 = 3.04 \text{ m}^3$ 。式中:  $Q_{40,2\%}$  ——50 年一遇 40 min 暴雨产流量( $\text{m}^3$ );  $i_{40,2\%}$  ——50 年一遇 40 min 暴

雨强度( $\text{mm/min}$ );  $f$  ——计算时段内的平均入渗率( $\text{mm/min}$ );  $S$  ——产流面积( $\text{m}^2$ );  $T$  ——暴雨历时( $\text{min}$ );  $K$  ——单位转换系数,  $K = 10^{-3}$ ;  $c$  ——微集水区域的容水体积最大时两锥体间距的一半,取 4.76 m。  $Q_{40,2\%} > 0.98 \text{ m}^3$ , 微集水区域内的产流量大于微集水区域的最大容水体积,因此会产生一定的集中股流。但在实际调查中发现堆状地面除溅蚀外,无其它的侵蚀现象,主要是由于堆状地面通体疏松,入渗性好,可将集水面积控制在  $100 \text{ m}^2$  之内,不会形成大面积汇水,且在一定程度上能够自动填补非均匀沉降引起的裂缝、陷坑,化整为零。

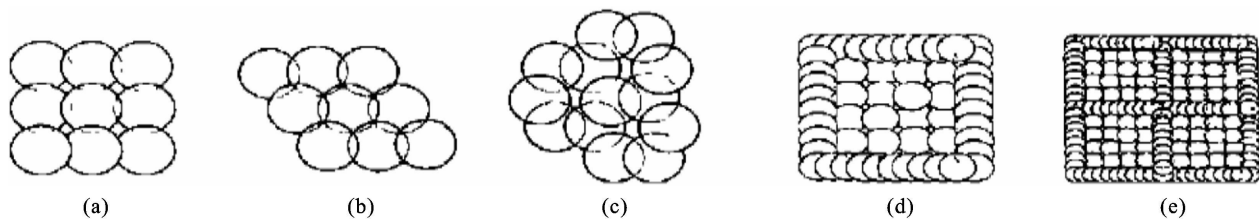


图 2 排土场平台堆状地面示意图

3.2.2 地表严重压实的平台 容重一般为  $1.5 \sim 1.79 \text{ g/cm}^3$ , 都是生土,缺乏有机质,很容易产生超渗径流,大面积的径流汇集低凹处,发生沉陷侵蚀,或沿着机械辙痕流动,形成小侵蚀沟,沟沿呈锯齿状,切沟呈扇形分布,规格平均深度为 80 cm,宽度 60 cm。

3.2.3 松散的边坡 在无挡水墙的平台边,大量汇集的径流向边坡倾泻,极易使松散边坡发生大的冲刷侵蚀。在调查中发现,新造地红土边坡的切沟侵蚀尤为严重,因为红土遇水易饱和,粘聚力减弱,整个坡面除均匀的细沟侵蚀外,在约 1000 m 之内出现了 6 条大的侵蚀沟,平均宽度为 3 m,深度为 5 m。而黄土边坡相对来说,侵蚀较轻,坡面上的细沟侵蚀发生的频率和规模较之红土边坡都少,这与黄土的入渗性较紧密不可分。

### 3.3 复垦初期的岩土侵蚀特征研究

3.3.1 不同基质的平台 复垦前整个平台都经过疏松土约 30 cm,采用畦状整地,分散径流。但由于植被的覆盖度尚小于有效覆盖度,击溅侵蚀普遍存在。在复垦一年的黄土覆盖平台上,局部出现板结现象,地势稍微偏高的地方发生轻微的砂砾化面蚀,偏低的地方,由于径流的汇集出现少量细沟、浅沟,尤其在有工程建设的平台,由于二次扰动,发生沉陷侵蚀的规模增大,表现为陷穴、裂缝,紧靠工程扰动的周围裂缝为环状分布,向外为放射状分布,裂缝最长可达 50 m。

在土石混排的平台,击溅侵蚀相对较弱,但非均匀沉降对它的影响特别大,一定要防止大面积径流汇集于边坡。因为土石混排的大颗粒间的粘接力较之

土粒间的粘接力小得多,自身的大孔隙发达,入渗强,在下部遇到相对红黏土隔水层时,极易诱发滑坡、泥石流等的发生。但在长势良好的覆土平台的牧草地,并没有明显的侵蚀现象,只是在低凹处汇集了大量的积水。

3.3.2 不同基质的边坡 在对斜坡调查中发现,土少石多的斜坡上,由于大孔隙多,入渗强,侵蚀轻微;土多石少的斜坡上,呈现出均匀的细沟侵蚀,但频度比未复垦的斜坡低;完全为大砾石的斜坡上(无任何水土保持措施),在复垦的各个阶段,都处于稳定状态。同样的复垦年限,由于复垦下地面的介质不同,造成植被的显著差异,从而侵蚀情况也明显不同。在红黏土的斜坡上,植被的覆盖度极低,杂草也很难侵入,所以整个坡面细沟侵蚀交织成网,在下坡处频度高达 200 条/100 m,平均宽为 20.2 cm,平均深为 9.8 cm,细沟侵蚀量由公式(1)求得。

$$V_E = \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{100}\right) \times \left(\frac{b}{100}\right) \times n \times 10^4 \times 2.65 \quad (1)$$

式中:  $a$  ——细沟侵蚀平均宽(cm);  $b$  ——细沟侵蚀平均深(cm);  $n$  ——细沟侵蚀频数(条/100 m); 2.65 ——土粒密度( $\text{g/cm}^3$ );  $V_E$  ——细沟侵蚀量( $\text{t/km}^2$ )。

折算细沟侵蚀量  $52459.4 \text{ t/km}^2$ ,且坡脚处有大量积水,说明红土侵蚀特别严重,因此复垦时工程措施和植物措施相结合来减缓侵蚀。这是因为红土入渗差,与坡长长的缘故。与之相对应的黄土边坡,由于植被长势良好,覆盖度大,且有杂草侵入,只在中下坡出现轻微的细沟侵蚀。

3.4 复垦中后期的岩土侵蚀特征研究

随着植被各向的不断生长, 外来种的入侵, 物种的多样性增加, 植被的覆盖度也随之增大, 多样性导致稳定性。从生态学中的生态位原理分析, 植被在极度退化的生态系统恢复与重建中的水土保持效应: ①利用多层次多物种的人工植物群的整体结构, 通过林冠层的截留, 凋落物增厚产生的地面下垫面的改变, 以减缓雨滴溅蚀力和地表径流量, 控制水土流失; ②利用植物的有机残体和根系穿透力以及分泌的物理化学作用, 促进生态系统土壤的发育形成和熟化, 改善局部环境, 并在水平和垂直空间上形成多格局和多层次, 造成生境的多样性, 促使生态系统生物多样性的形成; ③利用植物群落根系错落交叉的整体网络结构, 增加固土防冲能力, 为其它生物提供稳定的生境,

逐步恢复退化的生态系统。

整体看来, 平台的植被覆盖度大都在 60% 以上, 甚至在某些刺槐林下形成腐殖层, 出现台藓、蘑菇等湿生植物, 但在某些特殊的基质上的植被长势稍微减弱。因此没有明显的面蚀和细沟侵蚀现象。但在少量坡长大于 50 m, 坡度接近 40° 的情况下, 坡面下部由于矸石自燃, 植被稀少的上坡处发生轻微的崩塌、泻溜等重力侵蚀。

虽然植被长势良好, 但非均匀沉降是一个长期的过程, 10 a 以上尚未有停止的迹象。由于多年的非均匀沉降, 使平台上靠边坡处沿水平方向形成波浪状的缓坡地貌, 上方向的集水面达到一定程度时, 水流便会沿着波浪的低槽向边坡倾泻, 发生大的冲沟侵蚀。具体见表 3。

表 3 非均匀沉降引发斜坡侵蚀沟侵蚀情况

侵蚀沟	汇水面积/m <sup>2</sup>	规模	植被护坡
1 号侵蚀沟	270	平均深 3.5 m, 宽 2 m, 起于坡肩, 止于坡脚	侵蚀沟头由于沙棘、刺槐根系交错牵拉, 大块的土体虽已错位, 但仍留在沟头
2 号侵蚀沟	1440	平均深 5 m 左右, 宽 3 m	侵蚀下部的土体在刺槐根系的牵拉下, 虽与整体分裂, 但未被冲走

从这两个侵蚀沟的实例中可以看出, 由于没有及时地对非均匀沉降进行工程处理, 在 50 年一遇的暴雨下, 引发了大量的径流汇集, 产生了规模较大的沟蚀。但从局部来看, 植被庞大的根系起了强大的固土防冲作用, 极大地削弱了水流的冲刷, 阻止了切沟横向、纵向、溯源侵蚀的进一步扩展。

3.5 排土场植被的水保效应

从以上不同复垦阶段的调查中, 发现植被在土壤的抗蚀抗冲性方面发挥着重要的作用, 植被强大的根

系可以阻碍大块土体的冲刷, 在宏观上表现为植被的减沙减水效应<sup>[10-12]</sup>。

所谓植被的减沙减水效应是指有植被的土壤相对于没有植被的新造地的冲刷量与径流量减少的百分数, 它是定量反映植被水土保持效应的重要指标。

本文选取径流场进行定位观测, 为了纵向比较不同复垦年限和横向比较不同复垦模式的侵蚀情况, 在本次实测的基础上, 借鉴课题组 2002 年以前的测定结果<sup>[13]</sup>, 目的是对植被的复垦效果有一个全面的认识。

表 4 径流小区的基本情况

样地号	地形坡度	立地条件	植被类型	树龄/a	覆盖度/%	降雨测定年份
1#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	无	—	—	1994
2#	3°~5° 平台	厚层覆土表层疏松	无	—	—	1994
3#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	刺槐	2	30	1994
4#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	无芒雀麦	2	70	1994
5#	36°~40° 边坡	厚层覆土表层疏松	无芒雀麦	2	75	1994
6#	36°~40° 边坡	厚层覆土表层疏松	无	—	—	1994
7#	36°~40° 边坡	厚层覆土表层疏松	刺槐	2	30	1994
8#	36°~40° 边坡	厚层覆土表层疏松	无	—	—	1994
9#	36°~40° 边坡	厚层覆土表层塌实	杨树× 无芒雀麦	10	20	2002
10#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	刺槐× 沙棘× 无芒雀麦	10	90	2002
11#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	柠条(零星)× 无芒雀麦	10	50	2002
12#	36°~40° 边坡	土石混排表层塌实	刺槐× 沙棘× 无芒雀麦, 沙棘已退化死亡	10	90	2002
9#	36°~40° 边坡	厚层覆土表层塌实	杨树(零星)× 无芒雀麦	11	50	2003
11#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	柠条(零星)× 无芒雀麦	11	70	2003
12#	3°~5° 平台	厚层覆土表层压实	刺槐林× 沙棘× 无芒雀麦, 沙棘已退化死亡	11	90	2003

1# 样地类型是大型排土场未复垦时常见的一种土地类型,暴雨时容易产生超渗产流,如果土地不平整则易形成股流产生沟蚀(表 4-5)。从不同复垦模式和不同复垦年限的侵蚀模数和径流模数可以看出(表 5),在降雨量、降雨强度和复垦年限一致情况下,复垦初期由于边坡自身比较疏松,因此边坡的减水减沙效果比平台明显,而且牧草的复垦模式比灌木的减水减沙效果好,所以复垦初期应草本先行,或者灌草结合水土保持效果比较好。随着复垦年限的延长,在降雨量和降雨强度相差不多的情况下,与复垦初期相比,灌乔的保

水土效果逐渐凸显,甚至在 10# 样地,不产生径流和土壤侵蚀;在 2003 年降雨量和降雨强度剧增的情况下,如 2003 年所测定的降雨强度是 2002 年所测降雨强度的 6.95 倍,径流量也随之剧增,如 11# 径流量最高为 1# 样地的 9.24 倍;土壤侵蚀模数也相应增加,但增加的幅度没有径流模数增加的大,9# 样地最高约为 1# 样地的 4 倍。说明降雨强度与径流模数的关系比较密切,在降雨强度较大的情况下,虽然产生较大的径流,但植被还是具有一定的保土功能,因此在复垦的后期,应考虑对排土场降水的资源化利用问题。

表 5 不同种植模式不同复垦年限水土保持效益

样地号	样地属性	降雨量/ mm	降雨强度/ (mm·min <sup>-1</sup> )	次径流模数/ (m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup> )	减水效益/ %	次土壤侵蚀模数/ (t·km <sup>-2</sup> )	减沙效益/ %
1#	压实覆土平台	20	0.24	1204.23	0	31.04	0
2#	表层疏松覆土平台	20	0.24	1138.62	5.45	34.42	-10.89
3#	2 年刺槐覆土平台	20	0.24	872.54	27.54	37.37	-20.39
4#	2 年牧草覆土平台	20	0.24	322.94	73.18	25.73	17.11
5#	2 年牧草覆土边坡	20	0.24	85.24	92.92	29.98	3.41
6#	覆土边坡	20	0.24	765.41	36.44	84.04	-170.75
7#	2 年刺槐覆土边坡	20	0.24	422.63	64.90	53.44	-72.16
8#	土石边坡	20	0.24	549.79	54.35	64.56	-107.99
9#	10 年乔草覆土边坡	26.3	0.20	288.79	76.02	35.81	-15.37
10#	10 年草灌乔覆土平台	26.3	0.20	0	100	0	100
11#	10 年灌草覆土平台	26.3	0.20	405.15	66.36	45.00	-44.97
12#	10 年乔草覆土边坡	26.3	0.20	3.01	99.75	0.51	98.36
9#	11 年乔草覆土边坡	55.7	1.39	8203.78	-581.25	125.73	-305.05
11#	11 年草灌覆土平台	55.7	1.39	11128.27	-824.10	12.67	59.18
12#	11 年乔草覆土平台	55.7	1.39	9783.36	-712.42	44.73	-44.10

注:表中径流模数和侵蚀模数均为次降雨所测定,且减水效益和减沙效益均以 1# 样地所测数据为参比对象。

4 结论与讨论

4.1 结论

通过采取植物措施为主、工程措施为辅综合治理的水土保持措施,坚持“边开采、边复垦”的原则,对复垦 10 a 平朔煤矿排土场的水土流失及治理情况分阶段分析,结论如下:

(1)新造地的岩土侵蚀形式主要有面蚀、溅蚀、沟蚀、重力侵蚀、非均匀沉降等,但发生频率最高的为细沟侵蚀,最严重的为浅沟侵蚀,堆状地面是解决排土场“地表严重压实”和“非均匀沉降”最好方法;复垦初期(1~3 a),由于植被的覆盖率远小于有效植被覆盖率,还会发生不同程度的岩土侵蚀,各种侵蚀形式还普遍存在;复垦中后期(4~10 a),随着复垦年限的增长,生物多样性的增加,植被覆盖率的提高,枯枝落叶层逐渐累积,面蚀、溅蚀、沟蚀等各种侵蚀都逐渐减弱,但由于非均匀沉降仍然存在,形成一定的集水面,使平台边缘的挡水墙遭到破坏,发生浅沟侵蚀。

(2)径流场观测资料表明,植被恢复后,与未复垦地相比,无论是径流模数,还是侵蚀模数,都有所减小,在复垦初期,草本复垦的效果比单独的灌木或乔木要好,随着复垦年限的延长,乔灌的水土保持效果越来越明显;但土壤侵蚀模数和径流模数受降雨强度影响较大,因此复垦过程中植物措施结合工程措施对控制暴雨有着很重要的作用。

4.2 讨论

(1)平朔矿区采取“开采-排弃-复垦”一条龙的作业技术,最早复垦的植被已 17 a,根据复垦课题组近几年的调查,随着植被的恢复,地表枯落物的增加,部分地块土壤微生物已经接近甚至超过了原地貌土壤<sup>[4]</sup>,侵蚀已基本控制。但在其它矿区,还有许多未及时复垦的土地,带来巨大的水土流失和安全隐患,因此应加快土地复垦法颁布之前的破坏土地复垦机制的研究,和现在复垦的可操作性研究,避免理论与实际脱节。

(2)我国的露天矿大多在北部和西部干旱半干旱

区,生态环境脆弱,因此剥离物排弃过程中,严格执行排弃方案,考虑排土场的土壤重构,杜绝排弃的随机性,特别是把养分含量极低的泥岩<sup>[15]</sup>、第四纪红土排弃在表层,给复垦带来很大的困难,引发严重的侵蚀。

(3) 无论对于井工矿还是露天矿,在开采过程中,必须具有可执行的水土保持方案,如对于井工矿,考虑闭坑后煤矸石的回填,增加支柱,放顶等措施来减少后期的沉陷侵蚀等,对于露天矿在剥离物排弃过程中就要考虑土壤剖面的重构,利于植被的恢复,这些与复垦相关的应该加入采矿程序中,严格执行,避免末端治理。

(4) 矿区植物措施是最经济有效的,但对于矿区特殊基质中植被的抗蚀抗冲性研究很少,特别是根系的力学机制,因为根系的形态建成受环境的影响,作为对风、雨、摩擦接触,以及土壤阻抗的响应,根系的形态会发生变化,可能会对提高植物的锚固作用<sup>[16-17]</sup>,而矿区的复垦基质复杂多变,与原地貌有很大的差别,因此应加强矿区复垦植被的固土力学机制研究。

参考文献:

[ 1 ] 王治国,白中科.黄土区大型露天矿排土场岩土侵蚀及其控制技术的研究[J].水土保持学报,1994,8(2):10-17.

[ 2 ] 白中科,王治国,赵景逵,等.安太堡露天煤矿水土流失特征与控制[J].煤炭学报,1997,22(5):542-546.

[ 3 ] 李珍存,张峰,罗进选,等.ETM+ SPOT 5 融合卫星影像在矿区水土流失调查中的应用[J].中国水土保持,2006(12):50-51.

[ 4 ] 尤扬,刘钦甫,蔡将军.基于GIS和遥感的山西保德矿区土壤侵蚀研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2009,26(1):81-84.

[ 5 ] 王宁涛,陈植华,黄承忠.基于RS和GIS的矿区水土流

失定量监测方法研究[J].中国水土保持,2008(7):37-40.

[ 6 ] 倪含斌,张丽萍,张登荣.模拟降雨试验研究神东矿区不同阶段堆积弃土的水土流失[J].环境科学学报,2006,26(12):2065-2071.

[ 7 ] 周跃,王洁,付玉宾,等.矿区废石场覆土层垂直侵蚀特征的初步分析[J].昆明理工大学学报:理工版,2007,32(1):97-101.

[ 8 ] 魏忠义,白中科.露天矿大型排土场水蚀控制的径流分散概念及其分散措施[J].煤炭学报,2003,28(5):486-490.

[ 9 ] 魏忠义,胡振琪,白中科.露天煤矿排土场平台堆状地面土壤重构方法[J].煤炭学报,2001,26(1):18-21.

[ 10 ] 吕春娟,矿区排土场岩土侵蚀特征及植被恢复的水保效应[D].太谷:山西农业大学,2004:23-28.

[ 11 ] 董铁狮,党宏忠,赵雨森,等.黑龙江省东部水源区植被土壤水源涵养功能分析[J].水土保持通报,2005,25(5):28-36.

[ 12 ] 孙艳红,张洪江,程金花,等.缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2006,20(2):106-109.

[ 13 ] 韩武波,黄土区大型露天矿排土场水独特征及水土安全评价[D].山西太谷:山西农业大学,2003.

[ 14 ] 李慧峰,黄土区大型露天煤矿复垦过程中土壤肥力质量演变研究[D].山西太谷:山西农业大学,200:36-37.

[ 15 ] 张伟敏,李秀峰,王熠青,等.浅谈霍林河露天煤矿土地复垦[J].内蒙古林业科技,2009,35(3):60-62.

[ 16 ] Jaffe M J, Forbes S. Thigmomorphogenesis, the effect of mechanical perturbation on plants[J]. Plant Growth Regulation, 1993, 12: 313-324.

[ 17 ] Telewski F W. Wind-induced physiological and developmental response in trees[M] // Coutts M, Grace J . Wind and wind related damaged to trees. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 237-263.

(上接第13页)

[ 12 ] 李斌,张金屯.基于GIS的黄土高原不同植被区土壤侵蚀研究[J].农业环境科学学报,2010,29(1):134-138.

[ 13 ] 齐晓君,王恩德,贾三石.基于GIS和RS的抚顺市土壤侵蚀动态研究[J].东北大学学报:自然科学版,2008,29(9):1342-1345.

[ 14 ] 秦伟,朱清科,张岩.基于GIS和RUSLE的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J].农业工程学报,2009,25(8):157-163.

[ 15 ] 耿豪鹏,潘保田,王超,等.基于GIS与USLE的榆中县土壤侵蚀[J].兰州大学学报:自然科学版,2009,45(6):8-13.

[ 16 ] 毕小刚,段淑怀,李永贵,等.北京山区土壤流失方程探讨[J].中国水土保持科学,2006,4(4):6-13.

[ 17 ] 毕小刚.北京山区坡面土壤流失方程研究[D].北京:北京林业大学,2007.

[ 18 ] 赵文武,傅伯杰,郭旭东.多尺度土壤侵蚀评价指数的技术与方法[J].地理科学进展,2008,27(2):47-52.

[ 19 ] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains [S]. USDA Agricultural Handbook, No. 282. 1965.

[ 20 ] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses[ S]. USDA Agricultural Handbook No. 537. 1978.

[ 21 ] Huang Yanhe, Lu Chenglong. Advances in the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in China[J]. Journal of Fujian Agricultural College : Natural Science Edition, 1993, 22(1):73-77.