

# 煤矸石山坡面不同覆盖的水土保持效益分析

宋楠<sup>1</sup>, 张成梁<sup>2</sup>, 张洪江<sup>1</sup>, 耿胜慧<sup>1</sup>, 张静雯<sup>1</sup>, 王贤<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089)

**摘要:** 根据山西省阳泉市煤业集团三矿 280 自燃煤矸石山坡面的观测资料, 对采用不同坡面覆盖方式的样地的水土保持效益和植被生长情况进行了分析研究。结果表明, 采用煤矸石和黄土混合覆盖的煤矸石山坡面蓄水保土效果显著, 植被恢复状况良好。在同一时期内, 随着矸石覆盖率的增加, 煤矸石样地的土壤含水量也随之增加。在煤矸石和黄土混合覆盖的样地中, 矸石覆盖间隔 0.15~0.25 m, 覆盖率 35%~45% 的样地, 保土效益最好, 植被恢复最佳。

**关键词:** 煤矸石山; 水土保持; 坡面覆盖

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0074-03

中图分类号: S151.9

## Soil and Water Conservation Benefits on Coal Gangue Dump Slope with Different Covers

SONG Nan<sup>1</sup>, ZHANG Cheng-liang<sup>2</sup>, ZHANG Hong-jiang<sup>1</sup>,  
GENG Sheng-hui<sup>1</sup>, ZHANG Jing-wen<sup>1</sup>, WANG Xian<sup>1</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Environmental Protection Research Institute of Light Industry, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Soil and water conservation benefits and vegetation growth in selected plots with different covers were analyzed based on the observed data on the No 280 spontaneous combustion gangue slope in the Coal Mine III, Yangquan Coal Industry Group, Shanxi Province. Results indicate that the plots covered by mixed material of gangue with loess have significant soil and water conservation benefits, accompanying favorable vegetation recovery. Meanwhile, soil moisture content in the coal gangue plots is accumulated with the increased gangue cover. Among the selected plots covered by the mixed gangue with loess, the one with the gangue cover intervals of 0.15~0.25 m and gangue cover degrees of 35%~45% is the optimal cover measure for soil and water conservation and vegetation restoration.

**Keywords:** coal gangue dump; soil and water conservation; cover

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一, 其中矿区水土流失又是最严重的一种类型<sup>[1]</sup>。煤矸石是煤矿生产过程中所形成的必然产物, 是矿区的主要污染源之一, 它既占地又污染环境。煤矸石的产量约占煤炭开采量的 10%~25%, 全国每年约新增矸石  $4.00 \times 10^8$  t, 综合利用约为  $6.00 \times 10^7$  t, 其余部分就近混杂堆积储存形成煤矸石山<sup>[2]</sup>。自然堆放的煤矸石山, 表层形成的风化物不断受到风吹雨淋的作用, 细小颗粒几乎全部流失。没有细小的风化物, 植物就难以定居; 没有植被, 风化物就容易遭受风蚀和水蚀, 这样的恶性循环使得煤矸石山的植被长期不能自然恢复, 水土流失严重<sup>[3]</sup>。传统对煤矸石山治理主要采用直接

覆土的方式, 即煤矸石填充后根据用地的需求采取不同厚度的覆土, 但是直接覆土这种治理模式投资大, 尤其在土源缺乏的地方无法进行, 且异地取土有可能造成更大范围的水土流失, 故直接覆土的模式水土保持效益并不理想<sup>[4]</sup>。目前煤矿区环境整治与生态恢复日益受到重视, 矿区水土保持逐渐成为热点研究领域, 尤其是煤矸石山治理模式的研究, 但迄今为止的所有研究多是针对裸露矸石山或纯黄土覆盖的治理模式。

本文通过在山西省阳泉煤业集团三矿 280 自燃煤矸石山铺设不同覆盖方式煤矸石样地, 研究不同的煤矸石覆盖对煤矸石山坡面水土保持及植物生长的影响, 为寻求更理想的煤矸石山治理模式提供理论支持。

收稿日期: 2011-10-08

修回日期: 2012-01-05

资助项目: 北京市科学技术研究院科技创新工程项目“环境修复中微生物资源和渣土改良技术研究”(2011A-4-Z)

作者简介: 宋楠(1987—), 男(汉族), 河南省郑州市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与矿区植被恢复。E-mail: songnan198711@163.com。

通信作者: 张成梁(1964—), 男(汉族), 山西省太原市人, 研究员, 研究方向为水土保持。E-mail: zhang64@126.com。

# 1 材料与方 法

## 1.1 试验区概况

试验区位于山西省阳泉市阳泉矿区,地理坐标为东经 112°54′—114°04′,北纬 37°40′—38°31′。矿区沟谷纵横,为低山丘陵区,地势西北高东南低,海拔 660~1 373 m。研究区属暖温带半湿润大陆性季风气候区,四季分明。夏季日照时间长,辐射强度大,气温较高,多年平均降水量为 564.2 mm,降水比较集中,6—9 月降水量约占年降水量的 70%;冬季冷空气活动频繁,气候寒冷干燥,多晴天,降水稀少。多年平均气温为 11.3 ℃,全年以西,北偏西风为主,年均风速 2 m/s。280 煤矸石山由三矿开采时产生的煤矸石堆积而成,为小型煤矸石山,排矸结束 20 a 余,整平并覆盖黄土。2005 年 6 月开始采用自然恢复和人工引种相结合的方法进行植被恢复,引进的植物主要有臭蒿(*Artemisia annua*)、荆条(*Vitex xnegundo*)和狗尾草(*Setaria viridis*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)、百脉根(*Lotus corniculatus*)和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、山皂角(*Gleditsia microphylla*)等抗逆性较强的植物<sup>[5]</sup>。

## 1.2 试验设计

在 280 煤矸石山阳坡的上部,铺设 11 块 3 m×5 m 混合覆盖的试验样地,其水平投影面积为 15 m<sup>2</sup>,坡度均为 33°,试验样地铺设方式见图 1。每块样地采用不同的覆盖间距和覆盖率,并在其上均匀播撒植物种子,同时设置纯黄土覆盖和裸露矸石山 2 块对照样地,各样地具体铺设情况见表 1。每块试验样地同时设有 2 块同种覆盖的对照样地。

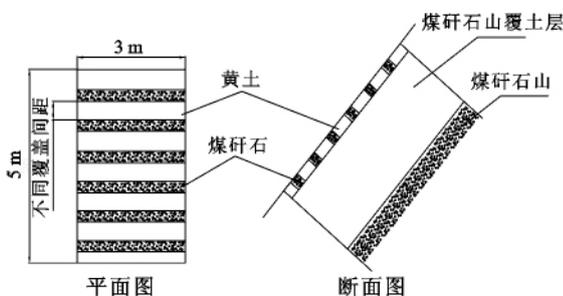


图 1 煤矸石的覆盖方式

在试验样地铺设 1 a 后,采用侵蚀沟测量法测算每块样地的沟蚀量,并用测针法测定 1 a 的面蚀量。采用 TDR 便携式土壤水分测定仪对试验样地进行水分监测,监测时间为 2009 年 9 月—2010 年 9 月,测量深度为 20 cm。在播撒种子 1 a 后用数码相机照法对样地植被盖度进行测定,即用数码相机对样地进行

垂直拍摄,并用 ArcGIS 10.0 和 Erdas 9.2 软件对照片进行分析,得出各块样地的植被盖度<sup>[6]</sup>。

表 1 煤矸石样地具体铺设情况

样地种类	样地号	覆盖间距/m	覆盖率/%	覆盖厚度/cm
混合覆盖	1	1	10	5
	2	0.50	20	5
	3	0.40	25	5
	4	0.30	30	5
	8	0.25	35	5
	7	0.20	40	5
	5	0.15	45	5
	9	0.10	50	5
	10	0.05	55	5
	11	0.03	75	5
	6	0	100	5
纯黄土覆盖	12	—	—	—
裸露矸石山	13	—	—	—

# 2 结果与讨论

## 2.1 保水效益分析

对 13 种样地土壤浅层含水率全年的监测数据进行分析,结果见图 2 和表 2。

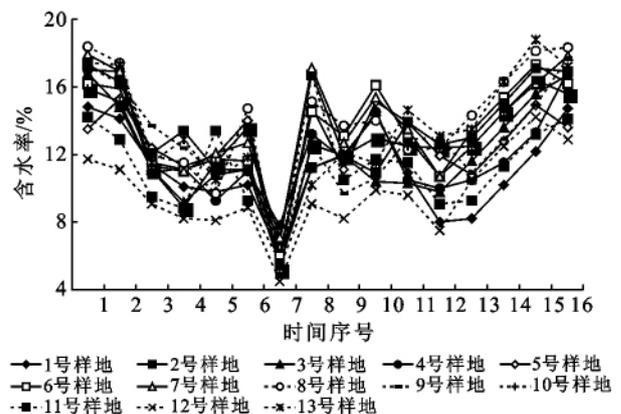


图 2 不同样地土壤表层水分季节变化

注:横坐标标值 1—16 分别代表 20090905, 20090920, 20090927, 20091009, 20091101, 20091122, 20091220, 20100311, 20100414, 20100424, 20100508, 20100524, 20100605, 20100605, 20100705, 20100816, 20100912。

表 2 不同样地土壤表层年平均含水率

样地号	年平均含水率/%	样地号	年平均含水率/%
1	11.14	8	13.96
2	11.33	9	12.66
3	12.34	10	12.67
4	12.26	11	13.08
5	12.71	12	9.81
6	13.36	13	13.38
7	13.71		

从土壤水分的季节变化可以看出,按不同方式覆盖的煤矸石样地的水分含量呈现相似的季节动态变化规律,与降水季节变化规律一致,主要受降水量和季节分配的影响。9—12月,样地土壤水分含量逐渐降低,主要原因是降水量逐渐减少,而植物的蒸腾作用和土壤的蒸发作用加强,到12月,水分含量达到最低点;从12月份到翌年3月,样地土壤水分含量急剧增加,主要原因是冰雪融水的补给;3—6月,样地土壤水分含量缓慢降低,主要原因是随着温度的上升,植物的生长速度加快,吸收了大量的水分,虽然降水量有所增加,但是土壤水分的消耗大于供给;6—9月,样地土壤水分含量逐渐达到峰值,此时正值当地的雨季,土壤水分得到充分的补充,虽然土壤蒸发较强,而且植物的耗水也加大,但土壤水分的供给大于消耗。不同样地的土壤水分含量变化趋势基本上一致,土壤水分的总体变化为高一低一高。

虽然不同煤矸石样地土壤水分动态变化的规律一致,但由于煤矸石铺盖方式的不同,不同煤矸石样地在同一时期内土壤水分状况表现出明显的差异,1,2,3,4,12号样地的土壤含水率明显低于5,6,7,8,9,10,11,13号样地的含水率。这是由于表层矸石风化失水后,一般形成5~10cm的干层,由于其颗粒较粗,与下层的毛细管联系较弱,下层的大部分水分须通过扩散作用方可被蒸发,故表层失水后反而对下层水分的保存有利,致使下层尤其在旱季可能含有较多的水分,这个干层具有一定的保水性能<sup>[7]</sup>。由于1,2,3,4号样地的煤矸石铺设间距远大于5,6,7,8,9,10,11号样地,形成的干层不如后者完整,还有黄土的裸露,保水性能不好,因此其土壤含水率也不如后者。

可见,随着煤矸石覆盖率的增加土壤浅层含水率也在不断增加,矸石的覆盖能够减少蒸发,大大提高蓄水效益。

## 2.2 保土效益分析

对13种样地的侵蚀量采用下面公式进行计算,其结果如表3所示:

$$M_{\text{沟}} = (\sum S_1 + \sum S_2 + \dots + \sum S_n) \cdot L \cdot r$$

$$M_{\text{面}} = S \cdot h \cdot r$$

式中: $M_{\text{沟}}$ ——沟蚀量; $\sum S_1, \sum S_2, \dots, \sum S_n$ —— $n$ 断面量测沟谷面积求和; $L$ ——调查范围沟长; $r$ ——泥沙体积质量; $M_{\text{面}}$ ——面蚀量; $S$ ——样地面积; $h$ ——面蚀深度。

分析表3可知,1—11号样地的单位面积侵蚀量明显低于12,13号样地,相对于裸露和纯黄土覆盖的矸石山,采用混合覆盖的矸石山的保土效益显著提高。采用不同措施的煤矸石山的保土效益的总体趋势为:混合覆盖的矸石山保土效益>纯黄土覆盖的矸

石山保土效益>裸露矸石山保土效益。在1—11号样地中,随着煤矸石覆盖率的增加,样地单位面积的侵蚀量先减后增,5,7,8号样地的保土效益最好。

表3 不同样地的侵蚀模数

样地号	侵蚀模数/ ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )	样地号	侵蚀模数/ ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )
1	3 280	8	3 136
2	5 264	9	3 216
3	8 976	10	4 336
4	6 032	11	4 512
5	1 952	12	20 032
6	5 408	13	46 288
7	2 592		

可见,采用煤矸石和黄土的混合覆盖的煤矸石山具有良好的保土效益,并且煤矸石覆盖率在35%~45%时,保土效益达到最优。

## 2.3 植被盖度分析

植被的覆盖度能很好地反映植被的生长状况。通过对13种样地植被盖度的调查,来反映其植被恢复状况。13种样地的植被盖度如表4所示。

表4 不同样地的植被盖度

样地号	植被盖度/%	样地号	植被盖度/%
1	21	8	53
2	22	9	25
3	7	11	15
4	15	10	20
5	62	12	7
6	18	13	10
7	60		

分析表4可知,1—11号样地的植被盖度明显高于12,13号样地,相对于裸露和纯黄土覆盖的矸石山,采用混合覆盖的矸石山有利于植被的恢复。在1—11号样地中,5,7,8号植被覆盖度最高,植被生长良好。1,2,3,4号样地相对5,7,8号样地植被生长状况不好,这是由于矸石的覆盖率低,表层的矸石风化层不完整,保水性能差,不能为植被的生长提供充足的水分。6,9,10,11号样地相对5,7,8号样地植被生长状况也不好,这是由于6,9,10,11号样地虽然矸石覆盖率高,能够形成完整的矸石风化层,具有良好的保水性能,但是由于6,9,10,11号样地含土量过低,大面积的深色矸石易吸热升温(可高达39℃以上)灼伤幼苗<sup>[7]</sup>,难保证出苗率。

可见,煤矸石和黄土的混合覆盖的煤矸石山有利于植被的生长,并且煤矸石覆盖率在35%~45%时,植被生长最好。

(下转第80页)

(2) 通过对干沟泥石流物源补给过程中启动型物源和维持型物源的分类和估算,该沟泥石流的维持型物源量约占启动型物源量的 1/2。这表明,在一次泥石流过程中,只有当启动型物源量达到泥石流启动所需的临界值后,才会形成泥石流;但泥石流的冲出距离、规模及持续时间则主要取决于维持型物源的多寡。启动型和维持型物源的分类对基于物源的泥石流预测预报具有重要意义:启动型物源的分布和规模可作为泥石流预警的重要指标;维持型物源的规模可以作为泥石流冲出规模估算和风险评估的重要依据。

(3) 目前对泥石流的前期预测预报多是基于降雨的二次预报,这种预报虽然对多数泥石流而言具有一定的可操作性,但对于一些特殊物源补给的泥石流而言,就存在很大的局限性。如以丰富冰碛作为物源的冰碛补给型泥石流,虽然这类泥石流的物源稳定性相对较好,松散物源的汇集速度也相对较为缓慢,但泥石流发生的频率和规模大小则取决于其松散物源量的多寡。为此,今后对这类特殊物源补给类型的泥石流开展预测预报,可考虑从基于降雨的预报向基于物源汇集速度或汇集量的预报方向转变。

(上接第 76 页)

### 3 结论

(1) 按不同方式覆盖的煤矸石样地的土壤水分含量呈现相似的季节动态变化规律,与降水季节变化规律一致,主要受降水量和季节分配的影响。但在同一时期内,随着矸石覆盖率的增加,煤矸石样地的土壤含水量也随之增加。

(2) 采用不同措施的煤矸石山的保土效益的总体趋势为:混合覆盖的矸石山保土效益 > 纯黄土覆盖的矸石山保土效益 > 裸露矸石山保土效益;在混合覆盖的煤矸石样地中,随着煤矸石覆盖率的增加,样地单位面积的侵蚀量先减后增,覆盖率在 35%~45% 时,煤矸石山的保土效益达到最优。

(3) 采用煤矸石和黄土的混合覆盖的煤矸石山有利于植被的生长,并且煤矸石覆盖率在 35%~45% 时,植被恢复的最好。

(4) 煤矸石与黄土混合覆盖模式蓄水保土效果

### [参 考 文 献]

- [1] 田连权,吴积善,康志成,等. 泥石流侵蚀搬运与堆积[M]. 成都:成都地图出版社,1993:20-35.
- [2] 崔鹏,韦方强,谢洪,等. 中国西部泥石流及其减灾对策[J]. 第四纪研究,2003,23(2):142-151.
- [3] 吴光明. 泥石流物源区基岩岩性特征探讨[J]. 水文地质工程地质,2008,23(5):110-112.
- [4] 王裕宜,李昌志,洪勇. 暴雨泥石流输沙年际变率的旋回性研究[J]. 自然灾害学报,2000,9(4):99-104.
- [5] 陈晓清,崔鹏,韦方强. 良好植被区泥石流防治初探[J]. 山地学报,2006,24(3):333-339.
- [6] 陈宁生,陈清波. 有限物源流域不同规模的泥石流频率分析:以川西黑水河罗家坝泥石流沟为例[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2003,30(6):612-616.
- [7] 铁永波,李宗亮. 磨西河流域冰碛补给:暴雨型泥石流形成机制研究[J]. 水土保持通报,2011,31(4):195-199.
- [8] 费莱施曼 C M. 姚德基译. 泥石流[M]. 北京:科学出版社,1985:44-50.
- [9] Sassa K. Mechanism starting liquefied landslides and debris flows[J]. Symp Landslide, 1984,2(4):349-354.
- [10] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社,1991:68-75.
- [11] 何文社,曹叔尤,袁杰,等. 不同坡底的均匀沙起动条件[J]. 水利水运工程学报,2003,9(3):23-26.

显著,植被恢复良好,工程投资小,对土源依赖度低,是一项廉价、高效、保水、保土、保苗的矸石山复垦新技术。

### [参 考 文 献]

- [1] 李文银,王治国. 工矿区水土保持[M]. 北京:科学出版社,1996:117-134.
- [2] 王栋民,左彦峰,李俏,等. 煤矸石的矿物学特征及建材资源化利用[J]. 砖瓦,2006(6):17-23.
- [3] 胡振琪,李鹏波. 煤矸石山复垦[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005:49-78.
- [4] 胡振琪. 半干旱地区煤矸石山绿化技术研究[J]. 煤炭学报,1995,20(3):322-327.
- [5] 王伟,张洪江,张成梁,等. 煤矸石山植被恢复影响因子初探[J]. 水土保持通报,2008,28(4):147-152.
- [6] 张学霞,朱清科,吴根梅,等. 数码照相法估算植被盖度[J]. 北京林业大学学报,2008,30(1):164-169.
- [7] 段永红,白中科. 阳泉煤矸石山浅层矸石风化物水分特性初探[J]. 煤炭学报,1999,24(5):533-537.