

黄土区大型露天矿排土场水力侵蚀计算与防治

胡兴定¹, 白中科^{2,3}, 张灵², 樊翔², 寇晓蓉², 陈晓辉²

(1. 中煤科工集团唐山研究院有限公司, 河北 唐山 063012;

2. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 3. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘要:以黄土区安太堡露天矿未复垦排土场为对象,研究未复垦排土场平台水力侵蚀(沟蚀)状况,通过实地外业采样和内业数据处理,结合数据统计分析平台,计算出了研究区内的沟蚀量分布情况,并分析了平台汇水面、土壤容重、坡度与沟蚀模数的关系,估算研究区水力侵蚀造成的直接经济损失,提出排土场平台复垦和水土流失防治措施。结果表明:(1)研究区水力侵蚀严重,总体沟蚀模数相当于自然地貌土壤侵蚀模数的6.8倍,其中平台汇水面对沟蚀模数的影响巨大;(2)排土场平台表层土壤压实,40 cm以内土层压实最为严重,深层土壤土质较疏松;(3)排土场平台坡度和坡长在一定程度上可以反映出土壤侵蚀的高低,在水土流失防治措施中应予考虑。在平台复垦和土壤侵蚀防治中应采用减少平台汇水面积、增大地表水入渗能力和提高植被覆盖度的措施为主,本研究成果可为排土场复垦和水土流失防治提供参考。

关键词:黄土区;大型露天矿;排土场;水力侵蚀;水土流失;土壤侵蚀;防治

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)05-0021-06

Hydraulic Erosion Calculation and Control in Dumping Site of Large Opencast Coal Mine in Loess Area

HU Xingding¹, BAI Zhongke^{2,3}, ZHANG Ling², FAN Xiang², KOU Xiaorong², CHEN Xiaohui²

(1. Tangshan Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Tangshan, Hebei 063012,

China; 2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Key Lab of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: This paper describes the hydraulic erosion of the dumping site without reclamation that estimates the soil erosion amount on the spatial distribution of catchment area, soil bulk density, slope, and slope length for Antaibao opencast coal mine in loess area. Through on-the-spot sampling and data analysis based on statistical analysis platform, the gully erosion amount was calculated, and the relationship between soil erosion modulus with platform catchment area, soil bulk density, slope, and slope length were analyzed. The direct economic losses caused by water erosion in the study area was estimated, and prevention and control measures of dumping site reclamation and soil erosion were proposed. Some conclusions can be found as follows. (1) The hydraulic erosion is serious, and the total erosion modulus in study area is 6.8 times of natural area. (2) Dumping site platform surface soil is compacted and soil compaction within 40 cm is most serious, the deeper soil is relatively loose. (3) To a certain extent, dumping site platform slope and slope length can reflect the soil erosion degree which should be considered in the prevention and control measures of water loss and soil erosion. The results show that measures for reducing catchment area of platform, increasing the vegetation coverage and surface water infiltration capacity should be adopted with respect to dumping site reclamation and soil erosion prevention.

Keywords: loess area; large opencast coal mine; dumping site; hydraulic erosion; water and soil erosion; soil erosion; control

黄土高原生态环境脆弱,是我国水土流失最为严重的地区,受露天采矿的影响,使得地表发生剧烈扰动,加剧了生态环境的破坏^[1]。黄土区大型露天矿排土场属于典型的人工堆垫地貌,其水土流失的严重性、特殊性以及进行水土流失治理的迫切性已得到诸多专家学者的关注^[2-4],并分析得到了黄土区露天排土场水土流失的8个致灾因子,认为非均匀沉降和容重是排土场水土流失的特殊致灾因子^[5]。白中科等致力于黄土区露天矿区排土场复垦20多年,对水土流失进行了详细研究,通过在安太堡排土场试验估算得出,在未复垦排土场平台和边坡,其土壤侵蚀模数分别为 $4\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 和 $32\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,是原地貌水土流失量的 $1.4\sim 2.8$ 倍^[6]。研究区位于山西省朔州市境内,属于桑干河流域,其原地貌水土流失侵蚀模数高达 $10\,120\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,是土壤侵蚀最为严重的地区^[7]。通过针孔式人工降雨模拟试验表明,在降雨强度 $0.75\sim 0.81\text{ mm}/\text{min}$ 、历时60 min的条件下,排土场平台径流系数达到68%,与原地貌农田和荒地相比,其径流系数分别是二者的2.9倍和6.1倍^[8],并探讨了硬化地面与黄土高原水土流失的关系^[9]。在排土场水土流失严重性的基础上,建立排土场水土流失的评价指标体系和评价模型,反映了植被覆盖度的提高对排土场水土流失的治理起到关键性作用^[10]。水土流失不仅会造成排土场土地资源的流失,还会引发地质灾害,例如排土场的内部滑坡、沿排土地基软弱层滑坡、沿地基接触面滑坡^[11]。此外,对排土场的研究已经从单一向整体转变,例如排土场生态风险研究^[12-13],评价排土场存在的潜在风险、排土场复垦后带来的效益,以及对复垦土壤重金属污染存在的潜在风险进行评价^[14-15]。

相关学者为探索治理排土场水土流失、减少土壤侵蚀的防治措施进行了相关研究,张丹丹等^[16]研究了露天煤矿排土场植被控制水土流失的典型模式,总结得到排土场主要的3种植被配置模式,即平台植被配置类型、边坡植被配置类型和坡脚沉积区植被配置类型,研究指出,排土场平台复垦以永久性林业、牧业和农业为复垦目标;边坡复垦采用草灌乔混交结构,并结合边坡鱼鳞坑水土保持工程措施;坡脚采用整体植被恢复,起到拦挡和防护的作用。刘瑞顺等^[17]分析了边坡防护措施减水减沙的效益;魏忠义等^[18]从排土场土壤重构工程措施出发,平台采用“堆状地面”的土壤重构方法,研究结果表明,“堆状地面”土壤重构方法可避免表层土壤压实,可最大限度地增加地表水分入渗、分散地表径流,减少平台水土流失量,同时

对排土场的稳定性起到一定作用。研究结果表明,未进行复垦前排土场平台表层土壤严重压实,土壤容重达到 $1.5\sim 1.9\text{ g}/\text{cm}^3$,地表水分的渗透系数为 $0.3\sim 0.4\text{ mm}/\text{min}$,边坡土体松软,容重只有 $0.9\sim 1.2\text{ g}/\text{cm}^3$ 。因此对排土场而言,平台更容易形成地表径流而边坡更容易发生水土流失。对黄土区排土场的研究近几年已有不少,而对于未复垦平台的土壤侵蚀量与平台汇水面、土壤容重、坡长、坡度等因素的定量关系,以及排土场平台地进行工程平整后土壤容重的垂直关系的研究鲜有报道。本文通过实地采样,计算排土场平台在沟蚀下的土壤侵蚀模数,并分析其土壤侵蚀量与土壤容重、坡度以及坡长的关系,探索排土场平台水土流失的防治措施,为排土场进行土地资源保护、减少土壤侵蚀提供参考,具有一定的现实意义。

1 研究区概况

研究区地处黄土丘陵沟壑区,位于山西省朔州市境内,属于桑干河流域水土流失最为严重的地区,矿区位于东经 $112^{\circ}17'\sim 112^{\circ}26'E$,北纬 $39^{\circ}24'\sim 39^{\circ}32'N$,南北长23 km,东西宽22 km,面积 380 km^2 ,主要包括三个大型露天矿和三个井工矿,见图1。地处温带大陆性季风气候,属于晋北温带寒冷半干旱气候区,四季分明,冬季寒冷,降雨主要集中在夏季,间有大雨、暴雨、冰雹等,多年平均降雨量为 421.2 mm 。自1986年开始采矿以来,已形成多个大型人工堆垫地貌——排土场(外排土场和内排土场),现已有部分排土场完成土地复垦工作,部分排土场仍未实施植被复垦措施,排土地表无植被覆盖,因未及时完成复垦工作,导致排土场平整后产生水土流失。为了定量反映排土场为及时完成复垦造成的水土流失程度,通过实地采样和计算,定量分析未复垦排土场水土流失的严重性。

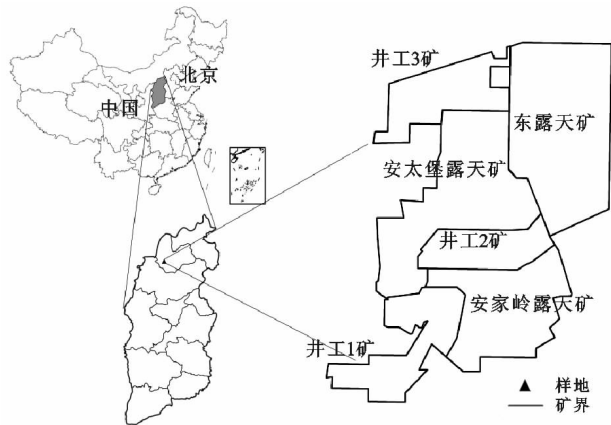


图1 研究区位置示意图

2 数据与研究方法

2.1 野外数据采集

本次研究数据通过野外数据采集和内业处理获得,采集数据包括侵蚀沟宽、沟深,土壤容重、平台坡度、上级平台边坡坡度、汇水面积、研究区面积等。数据采集区排土场位于大型露天煤矿安太堡矿区内排土场1470平台东侧,该平台于2013年5月排弃到界,已完成排土场工程平整,面积6372 m²,长约280 m,西南—东北走向,平均坡度2.3°。截至2014年8月,该平台未进行复垦,无植被覆盖,地表水土流失严重,已产生较为严重的水力侵蚀,其中以沟蚀最为严重,在其210 m左右处,上级平台的边坡于2013年9月被冲毁,同年11月重新修复。研究区排土场汇水面包括研究区平台面积、上级平台的边坡投影面积以及位于240~280 m处的另一排土场平台面积。

2.2 数据采集单元的划分

在采集数据前,将研究区沿坡长间隔10 m划分为独立的采集单元,共计28个采集区,利用百米测绳进行放样并埋木桩进行采集单元编号010—280,每个数据采集区沿坡长划分3个采样线A,B,C,依次间隔2 m,3 m,3 m,见图2。利用钢尺依次从采集单

元010至280在数据采集线(A,B,C)上测量侵蚀沟宽、沟深,共测得数据1161条;利用环刀取土,沿坡长呈“S”状在数据采集线上采取土样,土层深度分为8层,分别是0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm,100—120 cm,>120 cm层,取土深度不小于采样线上侵蚀沟的最大深度,共取土样95个;利用塔尺和罗盘沿平台坡长方向在每个采样单元按内、中、外3个位置测量坡度,共测得数据87条;利用测距仪测取外来水平平台汇流面积,记录上级边坡径流汇水位置,将采样得到的数值利用GIS软件绘制得到平台汇水面图,分类计算各单元的汇水面积和平台汇水总面积。

2.3 土壤容重测定

将新鲜的样土放在铝盒中称重并记录,在实验室的105℃烘箱内将取回的样土进行烘干,每次烘干时间8 h,重复三次。土壤容重计算公式如下:

$$r_s = \frac{(g_2 - g_1) \times 100}{v \times (100 + \omega)} \quad (1)$$

式中: r_s 表示土壤容重(g/cm³); g_2 表示铝盒和新鲜采样土总重量; g_1 表示铝盒重量(g); v 表示取土时使用的环刀的体积(cm³); ω 表示采样土的土壤含水量百分数。

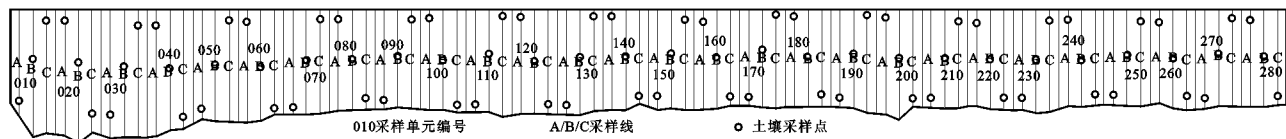


图2 研究区采样单元划分与布点

2.4 排土场沟蚀量计算

将测得的侵蚀沟的深度和宽度进行分类统计,按照土壤容重在垂直结构上的取样规律,把侵蚀沟深度分层次统计。每个采样单元的3条采样线各土层厚度下的沟宽分层求和,计算3条采样线上各土层厚度下侵蚀沟上底宽、下底宽和的平均值,即为采样单元各土层厚度下的侵蚀沟上底宽和下底宽,分别记为 l_{imu} , l_{ind} ,单位m;每个采样单元的3条采样线各土层厚度下的侵蚀沟深分层相加,计算得到各土层厚度下的侵蚀沟深总和的平均值,即为采样单元各土层厚度下的侵蚀沟深,记为 h_{im} ,单位m,则基于台体体积计算公式,得到每个采样单元的沟蚀量计算公式如下:

$$se_i = \frac{10}{3} \times \sum_{m=1}^8 \{ (l_{imu} + \sqrt{l_{imu} \times l_{ind}} + l_{ind}) \times h_{im} \times rs_m \} \quad (i=1,2,\dots,28) \quad (2)$$

式中: se_i 表示采样单元 i 的沟蚀量(t); l_{imu} 表示采样单元 i 在土层厚度 m 时的侵蚀沟上底宽(m); l_{ind} 表示采样单元 i 在土层厚度 m 时的侵蚀沟下底宽(m); h_{im} 表示采样

单元 i 在土层厚度 m 时的侵蚀沟深(m); rs_m 表示采样单元 i 在土层厚度 m 时的土壤容重(g/cm³)。

3 结果与分析

3.1 沟蚀量分析

沟蚀量在一定程度上反映了未复垦排土场水土流失的大小。通过计算得出,从2013年5月排土场排弃到2014年8月间,约1.25 a,各样地沟蚀总量和平台面积见表1。通过表1可以计算得出,排土场平台沟蚀总量468.40 t,沟蚀模数高达58906.39 t/(km²·a),约等于原地貌水土流失侵蚀模数的5.8倍,由于该平台在样地210之后区域受外来汇水的影响,增加了汇水面积,加剧了土壤侵蚀程度;在0~210 m平台范围内,排土场平台沟蚀总量98.72 t,沟蚀模数达到16443.08 t/(km²·a),约等于原地貌水土流失侵蚀模数的1.6倍,而在210~280 m范围内,受到外来汇水的影响,平台沟蚀总量369.68 t,沟蚀模数达到189796.32 t/(km²·a),约等于原地貌水土流失侵蚀模数的18.8倍。

表 1 排土场平台样地沟蚀量和面积统计

采样单元	010	020	030	040	050	060	070
侵蚀量/t	0.14	0.20	0.67	0.71	2.51	3.88	5.21
面积/m ²	256.40	278.63	279.20	266.40	244.26	240.12	227.85
采样单元	080	090	100	110	120	130	140
侵蚀量/t	15.44	6.99	10.11	6.96	5.05	5.43	5.66
面积/m ²	219.88	216.29	220.77	227.88	228.80	227.22	215.69
采样单元	150	160	170	180	190	200	210
侵蚀量/t	6.26	5.94	4.90	3.02	3.99	5.26	3.10
面积/m ²	217.96	214.57	212.68	212.31	218.53	227.35	134.92
采样单元	220	230	240	250	260	270	280
侵蚀量/t	13.51	14.85	12.61	21.10	30.32	113.78	161.78
面积/m ²	195.93	222.49	211.52	210.74	214.71	215.49	212.89

该研究区面积约为 6 372 m²,其汇水面为 15 267 m²,沿平台坡长变化见图 3。由此可知,平台汇水面在平稳增加过程中,样地的沟蚀模数呈现出较为平稳的趋势,而在 260 m 处,由于外来汇水面积的急剧增大,使得样地前后沟蚀模数显著增大,因此,沟蚀模数的大小与平台汇水面积呈正相关关系。

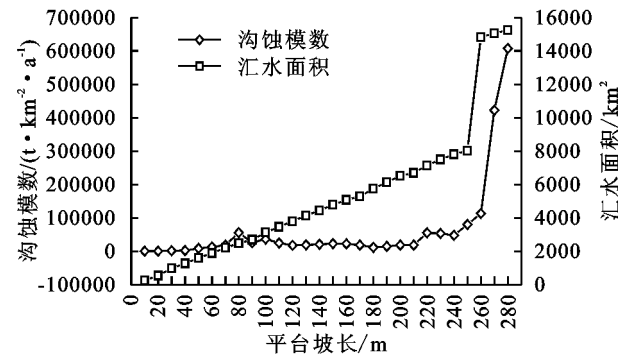
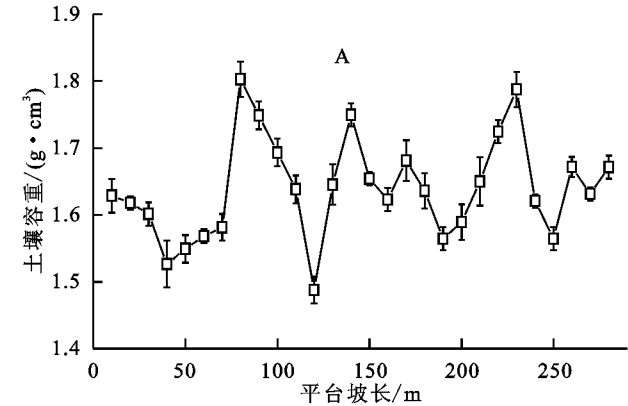


图 3 排土场沟蚀模数和汇水面趋势图

3.2 土壤容重分析

根据实验室对土样进行处理得到各采样单元各土层厚度下的土壤容重值,由统计分析可知,压实排



由此可知,排土场机械平整过程中,其表层土壤严重压实,深度大约在 40 cm 左右,而深层土壤仍较为疏松,研究区由于在自然恢复的条件下,地表土壤经过 1 a

土场平台经过 1.25 a 自然恢复后,其土壤表层 0—10 cm 的土壤容重基本维持在 1.6~1.7 g/cm³ (图 4A),由图可知,在排土场平台沿坡长 0—70 m 土壤容重出现连续较低值,而此时的沟蚀模数值也处于较低值(图 4A),在 80 m 处表层土壤容重达到最大值,与此同时沟蚀模数有较大幅度的增高。由相关研究可知,表层土壤容重越大其对应的侵蚀量相对较小,尽管容重增大导致径流增多,径流侵蚀力增强,但是面临的土壤抗侵蚀也增强,二者是相互制约的关系。而在本研究中却表现出土壤容重与沟蚀量呈正相关的关系,由于土壤侵蚀的大小受多重因子的影响,因此沟蚀模数与土壤容重在本文中表现出的异常现象表明,该研究区其他因子对沟蚀影响巨大。从排土场平台土层垂直结构可知(图 4B),排土场经过 1 a 多自然恢复后,土壤容重发生变化,从表层到土层深度 40 cm 处,土壤容重逐渐增大;当土层深度大于 40 cm 后容重逐渐减小,在 60—80 cm 深度处容重低于 1.5 g/cm³,而深度大于 100 cm 后土壤较为疏松,其容重值低于 1.4 g/cm³。

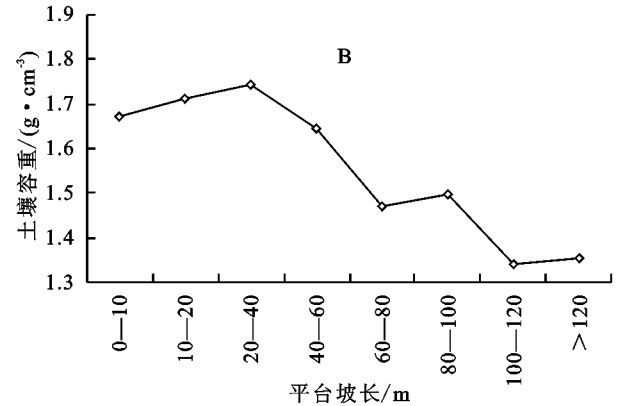


图 4 排土场样地土壤容重值

多的雨水渗透、冰雪冻融等外营力作用下,土壤容重有所下降,而深度 20—40 cm 处受外营力作用较小,土壤容重自然恢复能力较弱,故表现出从表层到深度 40 cm 处

土壤容重逐渐减小。根据排土场土壤垂直结构的土壤容重分布结果可知,当地表水形成径流沿缝隙在底层汇流,由于底层土壤疏松容易发生沟蚀,致使排土场地基松软,产生诱发地质灾害的可能性。

3.3 排土场平台坡度分析

排土场平台坡度在一定程度上可以反映沟蚀的强度。当土壤容重一定时,坡度越大其形成地表径流的可能性加大,从而增强沟蚀能力。通过对安太堡排土场试验可知,排土场平台径流模数 $13.93 \text{ 万 m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,约是边坡径流模数的3倍;径流小区试验进一步表明,虽然排土场边坡径流模数只有平台径流模数的1/3,但其沟蚀模数约是平台的11倍,达 $27\,529.97 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})^{[5]}$,进一步说明坡度对沟蚀模数的影响。研究区排土场坡度变化见图5。由图可知,该研究区平均坡度 $2^\circ \sim 3^\circ$,在排土场沿坡长80 m处坡度出现最大值,而由图3,图4A可知排土场在该点处的沟蚀模数有较大的增幅且土壤容重较大,因此在80 m处坡度加速了地表径流的形成,增强沟蚀能力。

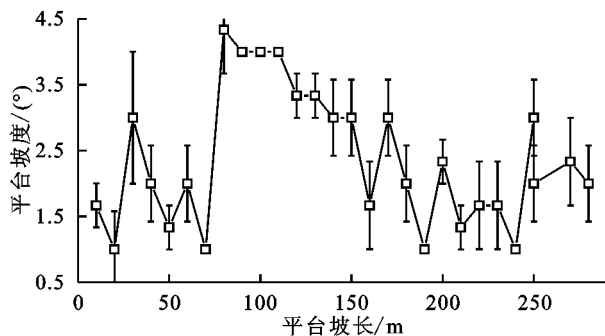


图5 排土场平台坡度

4 土壤侵蚀防治措施

4.1 减小排土场平台汇流面积

研究结果表明,排土场平台汇流面积的大小在土壤侵蚀程度上起到了关键性作用,因此,减小平台汇流面积在保护土地资源、减少水土流失过程中至关重要。主要措施有:(1)在土地平整过程中,进行畦状整地,将大面积连片的平台规划为单一独立的畦田,一方面可以减少平台汇流面积,另一方面可以留住雨水,起到保水的效果;(2)对于宽度较窄、坡长较长的平台,可以分段进行平整,减小坡长,降低汇流面积;(3)对坡度较大的平台,结合“坡改梯田”的做法,降低平台表面坡度,减小地表径流。

4.2 增大地表水分入渗能力

排土场平台的土壤侵蚀与地表径流密切相关,径流是造成水土流失的主要因素。因此,在排土场土地平整过程中,需要充分考虑土壤的入渗能力。一方面可以采用“堆状地面”^[16]进行排土场覆土,在增加土壤粗糙度的同时,由于土壤未被压实,土质松软,具有

较好的水分入渗能力;另一方面,对已经压实的排土场平台,对土壤表层进行翻耕,其翻耕深度不低于40 cm,降低土壤容重,确保土壤表层和整个土体都具有较强的水分入渗能力,降低径流系数。

4.3 增加植被覆盖度

植被覆盖对控制水土流失的效果显著,已有不少的专家和学者对此进行了研究。白中科等^[6]研究了排土场土壤容重、地表物质组成、坡位与水土流失及植被恢复的关系,其中明确指出了植被恢复有利于地表土壤容重恢复到可利用状态;同时,增加植被覆盖度,对保护土地资源,降低水土流失起到了显著作用。另一方面,土壤侵蚀的开始源自于雨水的击溅侵蚀,因此可适当增加地表物质覆盖,比如植物秸秆等,在护土保水的同时,给土壤提供有机物质增强土壤肥力。

5 结论与讨论

5.1 讨论

本研究所有数据均是实地测量所得,沟蚀模数与自然地貌相比高出很多,在相当程度上反映了排土场平台未及时进行复垦所造成的水土流失的严重性,且不包含面蚀,同时总结提出了防治平台土壤侵蚀的主要措施,研究成果可为研究排土场侵蚀程度提供数据参考,同时也为排土场平台复垦和水土流失治理措施的选择提供了依据。通过本次研究不仅让人反思,黄土高原沟壑纵横的地貌是经历了千百年演变形成的,对于大型人工堆垫地貌排土场,虽然目前没有表现出将会演变成沟壑纵横地貌的趋势,但对其不采用合理的复垦和管护措施,防止水土流失扩大化,那么排土场是否也可能演变成沟壑纵横的地形地貌。本次研究实地采样方法简单传统,但工作量大,不适用于大面积、大区域地表现出土壤侵蚀状况,因此在未来研究整个区域的排土场水土流失,使其在区域上具有代表性,应探寻其他更有利的方法。

5.2 结论

本文通过实地调查采样研究了黄土区大型排土场平台的水力侵蚀情况,得出如下结论:(1)研究区排土场平台因沟蚀造成的土地资源流失非常严重,整体沟蚀模数相当于自然地貌土壤侵蚀模数的7倍,而受外来平台汇水的影响,使平台沟蚀模数由相当于自然地貌土壤侵蚀模数的2.6倍增大到了20.3倍,汇水面的大小直接反映了土壤侵蚀的程度高低;(2)排土场平台表层土壤容重较大,在进行机械土地平整过程中,地表土层深度40 cm以内的土体压实程度较高,且不利于自然恢复;(3)排土场平台坡度和坡长在一定程度上可以反映土壤侵蚀的大小,因此在平整过程中要充分考虑平台的坡度和坡长因素;(4)通过研究表明,排土场复垦对水土流失的防治需要工程措施和生物措施相结合,前者是短期护土保水措施,后者是长治久安之计。

参考文献:

- [1] 周伟,白中科,袁春,等.东露天煤矿区采矿对土地利用和土壤侵蚀的影响预测[J].农业工程学报,2007,23(3):55-60.
- [2] Renard G R, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 1991,46(1):30-33.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[R]. U. S. Dep. Ag-ic., USDA Handbook No. 1537, Washington D C, 1978.
- [4] 蔡强国,刘纪根,刘前进.岔巴沟流域次暴雨产沙统计模型[J].地理研究,2004,23(4):433-439.
- [5] 马锐,韩武波,白中科.黄土区大型露天矿排土场水土流失致灾因子的确定:以安太堡露天煤矿南排土场为例[J].能源环境保护,2006,20(2):50-53.
- [6] 白中科,胡振华,王治国.露天矿排土场人为加速侵蚀及分类研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):34-40.
- [7] 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):96-101.
- [8] 安太堡露天煤矿土地复垦协作组.黄土高原地区露天煤矿土地复垦研究论文集(第一集)[M].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [9] 姚文波.硬化地面与黄土高原水土流失[J].地理研究,2007,26(6):1097-1108.
- [10] 韩武波,马锐,白中科,等.黄土区大型露天矿排土场水土流失评价[J].煤炭学报,2004,29(4):400-404.
- [11] 张建宇,塔娜.依兰煤矿南排土场水土流失防治分析[J].水利科技与经济,2014,20(6):91-94.
- [12] 田大平,张世雄,陈联乔,等.安太堡露天矿区生态风险分析[J].露天采矿技术,2007,(5):62-64.
- [13] 高雅,陆兆华,魏振宽,等.露天煤矿区生态风险受体分析:以内蒙古平庄西露天煤矿为例[J].生态学报,2014,34(11):2844-2854.
- [14] 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价[J].农业工程学报,2011,27(1):348-354.
- [15] 葛元英,崔旭,白中科.露天煤矿复垦土壤重金属污染及生态风险评价:以平朔安太堡露天矿区为例[J].山西农业大学学报:自然科学版,2008,28(1):85-88.
- [16] 张丹丹,潘德成.露天煤矿排土场植被控制水土流失典型模式评述[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(S2):243-244.
- [17] 刘瑞顺,王文龙,廖超英,等.露天煤矿排土场边坡防护措施减水减沙效益分析[J].西北林学院学报,2014,29(4):59-64.论文集(第一集)[C].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [18] 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.
- ~~~~~
- (上接第20页)
- [12] Paula F S, Rodrigues J L M, Zhou J, et al. Land use change alters functional gene diversity, composition and abundance in Amazon forest soil microbial communities [J]. Molecular Ecology, 2014,23(12):2988-2999.
- [13] 齐师杰,张行南,夏达忠,等.嘉陵江流域土地利用/覆被变化特征及其驱动力分析[J].长江科学院院报,2013,30(1):1-7.
- [14] 许炯心,孙季.嘉陵江流域年径流量的变化及其原因[J].山地学报,2007,25(2):153-159.
- [15] 仙巍,邵怀勇,周万村.嘉陵江中下游地区土地利用格局变化的动态监测与预测[J].水土保持研究,2005,12(2):61-64.
- [16] 刘瑞民,杨志峰,丁晓雯,等.土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究[J].环境科学,2006,27(12):2407-2414.
- [17] 王国梁,刘国彬.黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J].水土保持通报,2002,22(1):1-5.
- [18] Fierer N, Leff J W, Adams B J, et al. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012,109(52):21390-21395.
- [19] Lauber C L, Ramirez K S, Aanderud Z, et al. Temporal variability in soil microbial communities across land-use types[J]. The ISME Journal, 2013,7(8):1641-1650.
- [20] Zak D R, Holmes W E, White D C, et al. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links[J]. Ecology, 2003,84(8):2042-2050.
- [21] Yao H, Jiao X, Wu F. Effects of continuous cucumber cropping and alternative rotations under protected cultivation on soil microbial community diversity [J]. Plant and Soil, 2006,284(1/2):195-203.
- [22] Frey S D, Knorr M, Parrent J L, et al. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests [J]. Forest Ecology and Management, 2004,196(1):159-171.
- [23] Kennedy A C, Smith K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils[J]. Plant and Soil, 1995,170(1):75-86.