

重庆市煤矿开采区土壤侵蚀特征及水土保持模式研究

张耀方¹, 江 东², 史东梅¹, 蒋光毅², 陈正发¹

(1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市水土保持生态环境监测总站, 重庆 401147)

摘 要:煤矿开采区土壤侵蚀属典型的人为加速侵蚀类型,重庆煤矿开采区典型土壤侵蚀主要集中在矸石山和塌陷区两个侵蚀地貌单元。矸石山土壤侵蚀特征主要表现为在时间上随堆积年限的增加,土壤侵蚀程度减小;在空间上山体坡度减缓、稳定性增强。根据矸石山的立地条件和主要限制因子特点确定其治理难度,并按极难治理型、难治理型、易治理型三类建立植被恢复型水土保持模式。塌陷区土壤侵蚀特征主要表现为过程缓慢、破坏作用强及影响范围大等特点,根据塌陷区土地复垦后的利用类型可分为农业复垦区、林业复垦区、建设复垦区,分别建立煤矿矸石充填复垦型水土保持模式。植物吸附和铺设粘土层的方法可改善矿区土壤和水体的重金属污染,提高生态环境质量。

关键词:侵蚀环境;水土保持;煤矿开采区;重庆市

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0094-06

Research on Soil Erosion Characteristics and Soil and Water Conservation Pattern in Coal Mine Exploration Area of Chongqing

ZHANG Yao-fang¹, JIANG Dong², SHI Dong-mei¹, JIANG Guang-yi², CHENG Zheng-fa¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing General Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Chongqing 401147, China)

Abstract: Soil erosion in coal mining area is characterized as the typical artificially accelerated erosion type. According to the erosion landscape of elements, soil erosion in coal mining area mainly occurred in coal gangue dump and subsidence sites in Chongqing. Characteristics of soil erosion in coal gangue dump is mainly identified as reduction of soil erosion with the increase in length of accumulation time and when the slope became gentle the stability will be enhanced on the space scale. In combination with the conditions and main restriction factor of coal gangue dump, it is divided into three types to establish soil and water conservation pattern: extremely difficult to restore type, difficult to restore type, easy to restore type. Characteristics of soil erosion in subsidence area mainly displayed slow course, intensive damage and wide influence, etc. The specific soil and water conservation pattern based on gangue-filling reclamation could be established for agricultural reclamation, forestry reclamation, construction reclamation, respectively, according to the utilization type after land reclamation in subsidence area. The way of growing plants to adsorb and setting clay layer can reduce heavy metal pollution of soil and water and improve the ecoenvironmental quality in coal mining area.

Key words: erosion environment; soil and water conservation; coal mining exploration; Chongqing

目前国内外已经在煤矿开采区土壤侵蚀特征及治理方面进行了大量研究,20 世纪 80 年代以后,世界各国对环境问题的日益重视和生态学的迅速发展,矿山环境恢复治理中的生态原则及矿区“土壤—植物—动物”生态系统的重建工作已成为该领域研究的焦

点,Danie W^[1], Shrestha Raj K^[2]等针对矿区复垦和环境问题对动植物栖息地、生态恢复及土壤物理化学性质等方面进行相关研究,避免矿山复垦单项治理带来的弊端;王笑峰^[3]结合矸石废弃地自然状态背景值,优选先锋树种,对矸石废弃地进行生态恢复;孙

收稿日期:2011-03-21

修回日期:2011-05-27

资助项目:重庆水利局科技项目“生产建设项目弃土弃渣水土流失规律研究”(2011)

作者简介:张耀方(1991—),女,四川宜宾人,本科在读,主要研究方向为水土保持。E-mail:zhangyaofangno1@163.com

通信作者:史东梅(1970—),女,甘肃人,博士,教授,主要从事土壤侵蚀与流域治理、开发建设项目土壤侵蚀研究。E-mail:shidm_1970@126.com

岩^[4]对济宁煤矿塌陷区的生态恢复与治理进行研究,针对不同类型的塌陷地采取不同的复垦方式;张晋^[5]、张强^[6]等在煤矿开采区土地复垦方面进行了大量研究。一直以来对煤矿开采区土壤侵蚀特征及水土保持的研究多集中在北方平原地区,如山东、安徽、河南、河北等产煤大省,对重庆煤矿开采区的研究大多局限在安全和开采技术方面,并未深入研究其土壤侵蚀特征及治理。由于重庆市有着独特的自然地理环境,地处水力侵蚀为主的西南石质山区,山高坡陡、石多土少,地势起伏大,降水量大、水量丰富,喀斯特地貌十分发育,土壤又以易风化的紫色土、黄壤等为主,重庆市煤矿开采区土壤侵蚀十分严重,煤矿开采区土壤侵蚀具有很强的区域性特征。本文以重庆市煤矿开采区作为研究对象,在煤矿开采区侵蚀环境分析基础上,对煤矿开采区土壤侵蚀特征、水土流失重点防治地貌单元及水土保持优化模式进行综合分析研究,可为重庆市煤矿开采区植被恢复和水土保持措施布置提供理论依据。

1 重庆市煤矿区分布概况

重庆市煤矿主要分布在重庆煤炭集团所属的南桐、松藻、天府、永荣、中梁山5大国有矿区,其中南桐矿区面积566 km²,有6大煤矿,该区为四川盆地东南边缘与云贵高原衔接的过渡山区,地势东高西低,东部和南部为中低山地貌,西部和中部为海拔300~1 000 m的低山、丘陵、平坝,北部为坪状低山地貌,出露地层众多,但全为沉积岩系,地质构造主要为断裂与褶皱构造;松藻矿区面积129.85 km²,有6个煤矿,煤矿地质储量达15亿t以上,可采储量达11.5亿t,处于川东华蓼山帚状褶皱带的观音峡背斜中段西翼,以山地、丘陵为主;永荣矿区面积约1 000 km²,约占据了5大矿区总面积的1/2,拥有4个矿井,且是重庆地区唯一生产低硫煤的矿区,受地质构造的控制影响形成浅丘地貌;天府矿区面积约1 000 km²,有6个矿井,地处平行岭谷的西缘,受地质构造的控制,背斜形成狭窄低山,向斜形成宽阔丘陵谷地,呈北北东向带状平行相间排列;中梁山矿区面积约200 km²,有2个矿井,所在中梁山背斜属于川东褶皱带的重庆弧形构造的观音峡之南延部分,是弧形中缓山、丘陵地带,属褶皱山系^[7,11]。5大矿区地理分布如图1所示。

矿区降雨充沛,年平均降雨量均在1 000 mm以上,多集中在夏半年(5—10月),属亚热带季风性湿润气候区,易发生洪涝灾害及暴雨。重庆煤矿开采区地形以中缓山、丘陵地带为主,除永荣矿区地形起伏

较为平缓外,多数矿区的地形起伏变化大,其成土母岩主要是石灰岩、紫色页岩、泥灰岩等。矿区地质构造复杂,多为褶皱构造,断裂构造不发育。区内外嘉陵江、长江及其他溪河纵横环绕,水系十分发达。

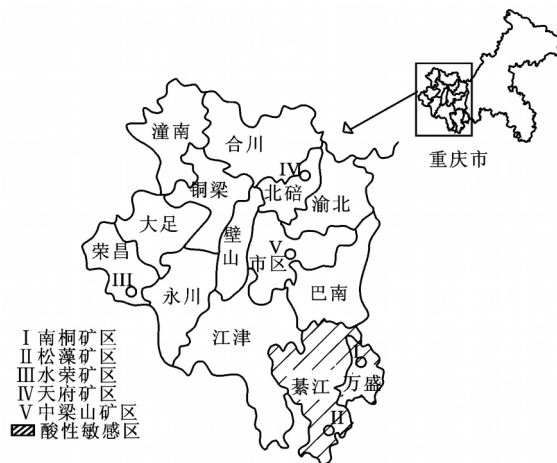


图1 重庆市主要煤矿开采区分布

2 煤矿开采区土壤侵蚀环境及侵蚀特征

2.1 土壤侵蚀环境及侵蚀作用

重庆市煤矿开采方式以井采为主,开采区土壤侵蚀环境是指在水土保持防治责任范围内,对水土流失造成一定程度影响的侵蚀系统,反映该区气候、地貌、土壤、植被等自然条件和人为活动构造的物质景观,在侵蚀动力包括重力、风力、降雨、人为再塑作用等作用下的岩土侵蚀过程。参照高速公路建设^[8]和城市建设中侵蚀环境^[9]分类,煤矿开采区侵蚀环境可分为侵蚀动力系统、侵蚀对象、侵蚀地貌单元3部分,侵蚀环境特征及作用过程如图2所示。

(1)侵蚀动力系统包括损害型人为再塑作用、重力作用、水力作用,其中又以高强度的人为再塑作用为主,重力、水力作用为附加动力条件。在矿区的生产建设活动中,由于人为的扰动、挖取、堆垫,导致短期内改变了矿区中小尺度的地形地貌,改变了区域水土流失的运行规律,破坏了岩土层的稳定,改变了原有水系在自然条件下的循环网络,改变地下水运动机制,有利于侵蚀因素的组合。同时由于重庆市煤矿开采区大多处在褶皱构造与断裂构造发育地带,降雨丰富,坡度较陡,因此矿区土壤侵蚀形式主要表现为:面蚀、沟蚀、泥石流、地表失稳沉陷、地表及地下水资源污染等。

(2)在人为再塑作用下形成了有别于原地貌的人为塑造新地貌,将形成的新地貌按再塑作用分为挖掘地貌、堆垫地貌、塌陷地貌^[10],主要的地貌单元对应是矸石山,次之是塌陷区。

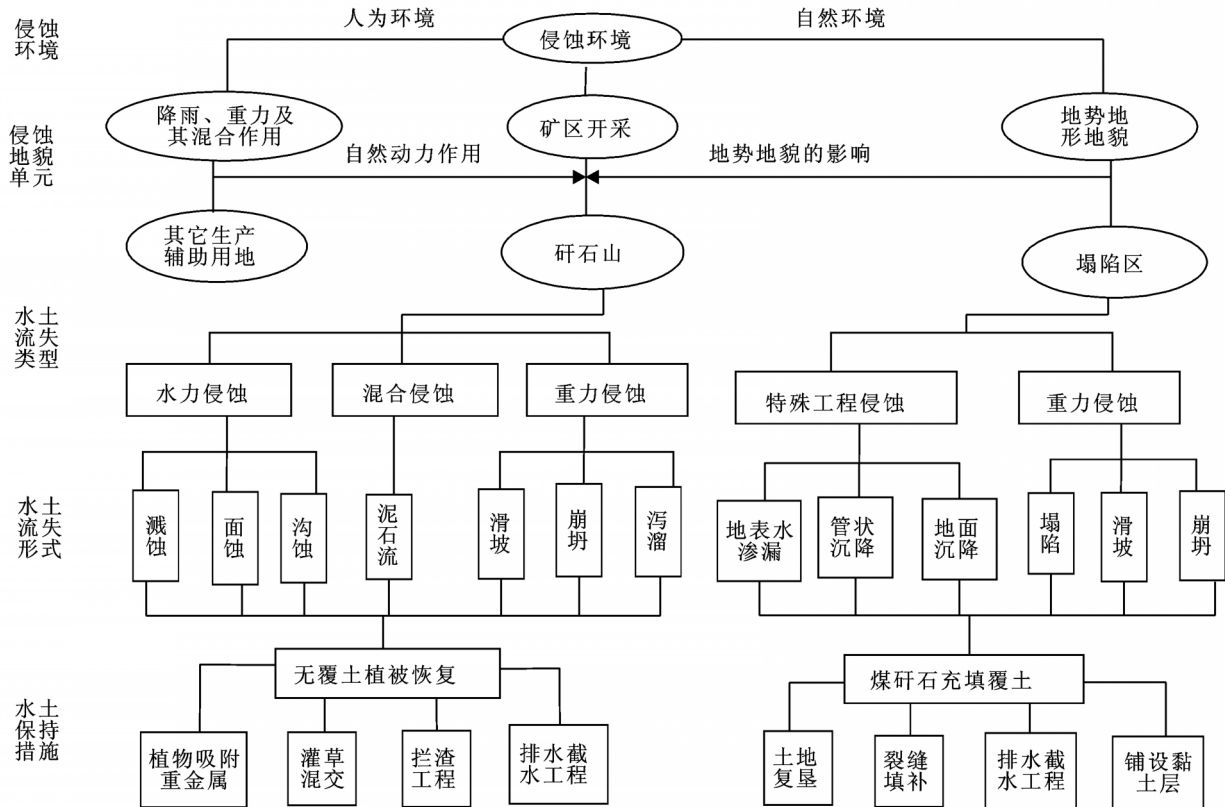


图2 煤矿开采区侵蚀环境特征及水土保持重点

2.2 矸石山的土壤侵蚀特征

矸石山是煤矿建井、煤炭开采和加工过程中排出的废弃物及在采煤与原煤洗选过程中产生的废弃岩石(即煤矸石)堆积而成。

(1) 矸石山失稳,发生滑坡、坍塌、泥石流等地质灾害。矸石山一般采用顺沟填筑的方式进行堆积,边坡角一般为自然堆积角,在 $38^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间,很容易出现滑坡^[11]。重庆矿区主要分布在紫色页岩、石灰岩发育地带,风化速度快,受岩溶地貌影响显著,加之煤矸石具备大孔隙,持水性差的特性,结构松散^[12-13]等特性,在未采取任何植被措施或者其它生物措施前,矸石山完全裸露,堆体无植物生长及其植物根系作用,呈现出一定的不稳定性。同时,除永荣矿区为低硫煤区外,其它矿区煤矸石均富含硫,易自然、爆炸,为土壤侵蚀提供动力^[14]。在重庆强降雨条件下,随着矸石堆积对原有的地表径流汇流途径的改变,在经过陡峭的矸石山坡面时,水势增加,产生泄溜、滑塌等重力侵蚀,水土流失加剧,雨季行洪时,还极有可能发生泥石流。

(2) 随着矸石山堆积年限的增加,表面风化程度逐渐增大。经搬运扰动后的母岩成土速率约 $12\ 318.9\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,是未扰动的母岩的10倍,随着土层加厚,母岩表面的水热变化就愈弱,从而母岩的风化愈慢,但由于植物能加速成土作用,土层厚度增加,堆体

表面植物覆盖度及种类随之增加,故矸石山成土速率整体呈递增趋势^[25]。据调查显示^[19],废弃2 a的矸石山植被覆盖度不足2%,废弃5 a的矸石山植被覆盖度不足15%,且分布的均为耐贫瘠的草类,废弃5 a以上的矸石山植被覆盖度逐渐增加,且开始生长一些小灌木,土壤条件得到改善,同时这些植物对侵蚀动力的缓冲作用使得矸石山土壤侵蚀程度减小。

(3) 松散堆积的矸石山占据土地,减少了大量可耕地。据资料显示^[15]:仅重庆市天府矿业有限公司磨心坡煤矿长期自然堆放煤矸石已经形成纵宽约为210 m,横长约100 m,平均厚度约为25 m,总方量约为 $52.5\ \text{万}\ \text{m}^3$ 的矸石山。重庆地貌以丘陵、山地为主,其中山地占75.8%,丘陵占18.2%,可利用耕地原本就少,中小型规模矸石山顶部直径约40~60 m,底部直径约100 m^[11],占用了大量土地资源,严重破坏了土地生产力,影响煤矿开采区生态平衡。

(4) 矸石山的土壤侵蚀特征还表现为重金属元素对土壤、水体造成不同程度的污染。王心义^[16]等通过对矸石和地下水中污染组分的检测分析,发现地下水中污染物的种类、含量与煤矸石有很好的-致性,地下水中的污染组分是由于煤矸石在降雨淋滤作用下,污染物随着淋滤液迁移到地下水中造成的。重庆市是典型的高硫煤地区,煤矸石表层风化物中含有大量的硫铁矿和重金属元素,在重庆市天府矿业有限公司

司矸石山周围土壤采样发现 Cd、Cr、Hg、Zn、Cu、Pb 共 6 种重金属的检出率均为 100%，其中 Cd、Cr、Hg 污染严重^[15]，在堆放过程中由于扬尘、自然及降雨淋滤等作用^[3,24]，通过风力及各种水力作用，借助重庆密集复杂的水文网，使周围土壤、地下水受到严重污染。

2.3 煤矿塌陷区的土壤侵蚀特征

煤炭作为一种重要的层状矿物通过井工开采出来以后，开采区域周围的岩体的原始应力平衡状态受到破坏，应力重新分布后，达到新的平衡，在此过程中，岩层和地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏(如开裂、冒落等)，导致大量土地塌陷，形成的塌陷区(地)称之为“煤矿塌陷区(地)”^[4]”。重庆市煤矿塌陷区是经历了较长时间逐步形成的^[17]，据研究资料表明重庆 5 大矿区沉降面积达 200 km²，加之地形起伏较大，切割剧烈且易产生一些较大的裂缝，严重破坏了原始地貌的完整性^[7]，影响矿区生态环境。在这种特定条件下形成的塌陷区的土壤侵蚀特征主要表现在以下几个方面：

(1)地表水渗漏，影响水文状态，使得水循环系统受损。矿山进行地下开采时，大量的水沿裂隙和透水岩层渗透到采空区，特别是当矿层上覆岩层中缺少黏土岩隔水层时，含水层的漏失将更加严重。含水层的

漏失将导致大面积区域性地下水位下降，地表水及污水入渗或经塌陷灌入地下污染水资源，大面积区域疏干漏斗、泉水干枯、河水断流，严重影响了矿山地区的生态环境^[7]。由于塌陷引起重庆很多区县面临不同程度的灌溉水源短缺，仅万盛区水改旱面积就达 600 hm²^[18]。

(2)地表塌陷缓慢发展，导致坡度较原有地貌大，从而更易引发滑坡、崩塌等地质灾害，危害矿区安全，加剧水土流失。

(3)塌陷区分布范围广，减少矿区可利用土地，影响社会经济的发展。地下矿层的开采引起地表连续变形，在垂直方向上下沉，水平方向拉伸变形。据资料^[7]调查表明，重庆塌陷区最大下沉值为 2~3 m，水平变形在 5~60 m 不等，多集中在 20 m 附近。

3 煤矿开采区水土保持模式

3.1 矸石山植被恢复型水土保持模式

重庆矸石山一般坡度较陡，堆积高度多在 30~70 m，有的高达 150 m^[11]，一般先沿等高线进行阶地化处理，再根据治理难易程度将其分为：极难治理型、难治理型、易治理型，利用植物进行分类治理。其矸石山的水土保持模式及具体措施如表 1、图 3 所示。

表 1 矸石山植物恢复型水土保持模式

水土保持分类	立地条件特征	主要限制因子	实施步骤	典型植物选择及配置
极难治理型	堆积坡度较大，一般在 35°~40°之间，局部达到 60°，堆积年限一般在 5 a 以下，土层厚度在 10 cm 以下，表面存在大量的粒径在 5~10 cm 之间的块体 ^[11] ，极不稳定，在自然动力和人为扰动作用下，易发生滑坡、泥石流	坡度大，不稳定；孔隙度大，持水能力差；风化土层薄，完全裸露	薄覆土→撒草籽→封山(5~10 a)	蒲公英、聚合草、车前草、光头稗等的草种
难治理型	堆积坡度随着堆积年限的增加，一般在 5~20 a 之间，在自然动力或人为治理下，坡度变缓，一般在 28°~35°之间，土层厚度在 10~30 cm 之间，粒径变小，山体趋于稳定	坡度变缓，但仍然较陡，土层较薄、土壤贫瘠	种植先锋草本植物	聚合草、白头翁、车前草等
易治理型	堆积年限一般在 20 a 以上，坡度较缓，一般在 25°以下，土壤较为肥沃，厚度在 30 cm 以上	重金属、pH 值、盐对植物的毒害	进行灌草混交	紫穗槐—蒲公英混交 女贞—苍耳混交 紫穗槐—狗尾巴草混交

注：其它可选的水土保持植物灌木类有：荆条、枸杞、酸枣等；草本类有：狗尾巴草、龙葵、屋根草、狗牙根、苦荬英、鬼针草、马鞭草、野牵牛等。

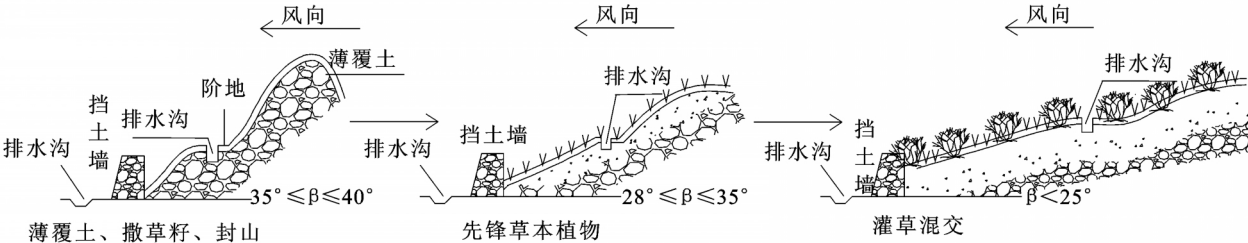


图 3 矸石山植物恢复型水土保持措施示意图

最初矸石堆积形成的矸石山为极难治理型矸石山,山体风化土层薄,作物不能直接在上面生长,因此要先通过覆盖 5~10 cm 的土壤,创造适宜作物生长的环境后再撒播草籽。因为此类矸石山坡度太陡且完全无植被覆盖,故而最好进行封山治理,同时为减缓水土流失及滑坡、泥石流等灾害,在山坡进行等高阶地化处理。随着堆积年限的增加,在自然及人为作用下,矸石山堆积当风化土层达到一定厚度(10 cm 以上),此时矸石山治理难度降低,属于难治理型矸石山,可直接进行植被恢复。植被恢复初期,矸石山表面植被覆盖率低,沟道纵横,坡面发生严重的面蚀、沟蚀,是侵蚀严重型矸石山。此时土层仍然较薄,且十分贫瘠,一般的植物难以在矸石山上存活,因此在选择植物时可先用根系发达、耐瘠薄、能对矸石山起到改良作用的矿区乡土草本植物作为先锋植物对矸石山进行覆盖。在进行植被覆盖前,针对不同酸碱性的矸石山还应视具实际情况用石灰进行酸碱调节,并施加一定的氮肥、磷肥。经过前期的治理,矸石山逐渐变缓,土层厚且较肥沃,属于易恢复型矸石山,后期植被恢复时,可选用合适的灌木优化植物恢复模式,以最大限度的发挥水土保持效益。

在矸石山治理过程中,植物的选择及配置要遵循 3 个原则:(1)要耐瘠薄、耐盐,能在矸石山存活的乡土植物。(2)根系深,能起到保水固土的良好作用。(3)能改良土壤,吸附重金属,重庆矿区植被资源较为丰富,其中聚合草、白头翁、车前草、苍耳、狗尾巴草、

蒲公英、荆条、枸杞、小叶女贞、大叶女贞等都是能在矸石山生存的乡土植物^[19],且蒲公英对 Cd 有吸附能力,紫穗槐、苍耳对 Pb 有吸附能力,狗尾巴草可吸附 Cu^[20]。进行植物配置前要先调查土壤的理化性质、矿区植被情况^[21],根据具体的情况确定混交方式和密度。(4)除以上植物配置外,还可视矿区实际情况,优选一些乔木进行乔灌木混交,如:桑树、泡桐、刺槐、刺桐、臭樟等。另外,为了防止风害,可以由背风坡或坡脚先开始植被恢复^[10]。

3.2 煤矿塌陷区煤矸石充填复垦型水土保持模式

纪万斌将采空塌陷分为三种类型即沉陷区(塌陷幅度或高度<1 m)、塌陷区(塌陷幅或高度 1 m 至几米)、严重塌陷区(塌陷幅度或高度几米至几十米)^[22]。重庆市煤矿塌陷区一般为下沉 2~3 m 的浅塌陷区^[7]。可结合不同的土地破坏形式,因地制宜,综合治理,宜农则农,宜林则林,条件允许的地方应优先复垦为农业用地。在煤矿塌陷区利用煤矸石充填复垦,既能使受到破坏的土地、水域等经过治理作为合格的自然资源再度具有生态经济价值;又能使开采活动产生的废弃矸石重新得到利用,消除了矸石山压占土地和对生态环境的污染。根据破坏土地复垦恢复后土地利用方向,塌陷区复垦可以分为煤矸石充填农业复垦、充填林业复垦、充填建设复垦,其中充填的煤矸石可以是新矸石也可以是老矸石。重庆矿区土地利用类型主要为农业和林业,约占 80%^[7],具体复垦模式及水土保持措施如表 2、图 4 所示。

表 2 塌陷区煤矸石充填复垦型水土保持模式

水土保持分区	立地条件特征	技术措施	植物选择
农业复垦区	地质结构稳定,周围地势平坦,且有较多的灌溉渠系,适耕面积较大,土壤肥沃	覆盖粘土层→细矸石充→表层覆土→种植作物	夏季有:马铃薯、洋葱、葱等 秋季有:小白菜等
林业复垦区	地形崎岖,坡度大,一般在 25° 以上,周围基本无灌溉渠道,适耕地少	细矸石充填→灌草混交	灌木类有:荆条、女贞、紫穗槐 等草本类有:聚合草、苍耳、狗尾草等
建设复垦区	地质结构不稳定,塌陷地及其周围是建筑施工用地,人为扰动影响强烈	粗矸石充填→夯实→行道树绿化	女贞、白蜡、桑树等

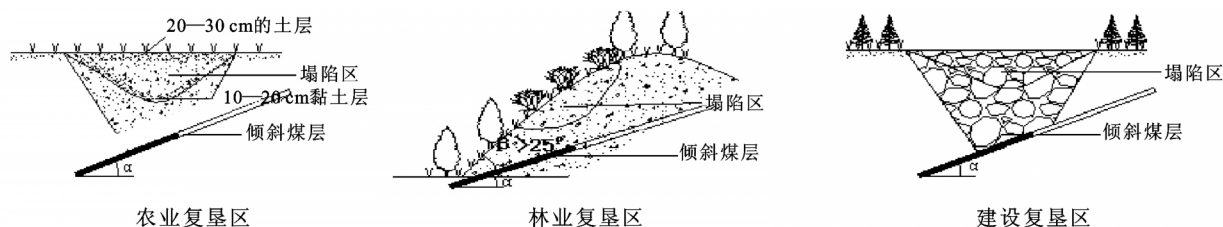


图 4 塌陷区煤矸石充填复垦型水土保持措施示意图

煤矸石中往往还有大量的金属污染物^[23],农业复垦区常常距离地下水资源较近,因此要特别注意防止煤矸石充填造成重金属对地下水的污染。可以通过在底层覆盖一层黏土,降低其渗透率,以减少含有

重金属离子的地表水下渗。由于充填的煤矸石往往较为贫瘠,因此为了适合耕作,还需在表层覆盖一层 20~30 cm 厚度的肥沃土壤。

林业复垦区地形崎岖,不适合耕作,因此往往通

过植被进行恢复,所用煤矸石为风化程度较高的老矸石,可直接种植灌木和草本植物进行植被恢复。

建设复垦区原有的地质结构受到破坏,通过粗矸石充填、夯实后,可以起到一定的恢复作用,但仍然没有原结构稳定,通常不能直接恢复为原来的建设用地,而是作为施工便道等对地质要求不高的建设用地。

4 结论与讨论

(1)煤矿开采区侵蚀环境由侵蚀力系统、侵蚀对象和侵蚀地貌单元3部分组成,在侵蚀力系统中以人为高强度的采掘、地貌再塑及强烈扰动作用为主;在侵蚀对象中以岩土混合物为重点侵蚀对象;在侵蚀地貌单元中以矸石山、塌陷区侵蚀最为严重、最为典型。

(2)矸石山土壤侵蚀与堆积角度、堆积年限、排矸强度等密切相关,天然堆积状态下新矸石山具有角度大,风化程度低等特点,极易发生面蚀、沟蚀、泥石流、滑坡等,且不易进行水土保持。在采取植被恢复型水土保持模式时,根据治理的难易程度,分为极难治理型、难治理型、易治理型3类,分别通过封山(先薄覆土和撒草籽后再封山)治理、种植先锋草本植物、灌草混交进行水土保持,同时在水土保持过程中结合重金属对土壤和水资源的污染,选用紫穗槐—蒲公英、女贞—苍耳、紫穗槐—狗尾草等混交模式进行植物修复。

(3)采空引起的地表塌陷区,土壤侵蚀严重,大范围的影响了重庆的生产建设,地表水渗漏严重,塌陷区发展形成过程缓慢,不易发现,具有潜在危险性。在采取充填复垦型水土保持模式时,结合复垦前后的土地利用方向,分为农业复垦区、林业复垦区、建设复垦区分别治理,因地制宜,同时在农业复垦区的塌陷区底部铺设一层10~20 cm的黏土层,减少塌陷区地表水渗漏及地下水的污染问题,以达到维护水资源系统的目的。

(4)煤矿开采区矸石山、塌陷区的土壤侵蚀与水的物理化学作用有关,可结合水—岩土物理化学作用定量的分析不同强度的降雨对煤矿开采区土壤侵蚀的影响,并对水土保持的限制因子进行分析与评价,更加合理的采取措施,防治土壤侵蚀。

参考资料:

- [1] Lee D W, Bell J C, Dan F. First year effects of rock type and surface treatments on mine soil properties and plant growth[C]// Symposium on Surface Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation, Lexington, Kentucky: University of Kentucky, 1983:275-282.
- [2] Shrestha R K, Lal R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation [J]. Geoderma, 2011, 161(3/4):168-176.
- [3] 王笑峰. 矸石废弃地生态恢复机制及优化模式研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2009.
- [4] 孙岩. 济宁煤矿塌陷区的生态恢复与治理研究[D]. 济南:山东大学, 2006.
- [5] 张晋. 煤矿区土地复垦研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2009.
- [6] 张强. 山西省采煤区土地复垦与生态重建战略研究[D]. 太原:山西大学, 2009.
- [7] 陈展图. 重庆市五大国有煤矿采煤沉陷区土地整治优先度评价[D]. 重庆:西南大学, 2010.
- [8] 史东梅. 高速公路建设中侵蚀环境及水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2):5-9.
- [9] 甘枝茂, 孙虎, 甘锐. 黄土高原地区城郊型侵蚀环境及其特征[J]. 水土保持学报, 1999, 5(2):39-43.
- [10] 李文银, 王治国, 蔡继清. 工矿区水土保持[M]. 北京:科学出版社, 1996.
- [11] 董倩. 重庆地区矸石山堆积形态及稳定性分析研究[D]. 重庆:重庆大学, 2006.
- [12] 魏忠义, 王萍, 王秋兵. 膨胀性阻水层对煤矸石山水分入渗的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2):188-191.
- [13] 倪含斌. 煤炭资源开发过程中矿区水土流失动态模拟研究[D]. 杭州:浙江大学, 2009.
- [14] 董倩, 刘东燕, 朱正伟, 等. 重庆万盛南桐矿区胡家沟矸石山滑坡灾害成因分析[J]. 煤炭学报, 2007, 32(6):586-591.
- [15] 王贤荣, 张维, 陈纪良, 等. 煤矸石长期堆放对周边土壤环境的影响及污染评价[J]. 广西轻工业:资源与环境版, 2010, 5(5):84-86.
- [16] 王心义, 杨建, 郭慧霞. 煤矸石山周围地下水污染状况[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2007, 37(1):326-330.
- [17] 许树锋, 石跃芳. 煤矿区开采沉陷的主要影响因素分析[J]. 中国西部科技, 2010, 8(9):46-47.
- [18] 王关平. 重庆地区矿山开采沉陷的生态环境影响及恢复研究[D]. 重庆:重庆大学, 2005.
- [19] 郭秀荣. 植被恢复在矸石山灾害治理中的作用[D]. 重庆:重庆大学, 2006.
- [20] 郑久华. 沉陷地复垦基质效应与重金属元素的植物修复研究[D]. 山东泰安:山东农业大学, 2008.
- [21] 谷金锋, 蔡体久, 肖洋, 等. 工矿区废弃地的植被恢复[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(3):19-22.
- [22] 纪万斌. 塌陷学概论[M]. 北京:中国城市出版社, 1994.
- [23] Li D Y, Ren Y F. Evaluation of heavy metal solubility in topsoils around coal gangue dumps by water-acetic acid extraction[J]. Journal of China University of Geosciences, 2007, 18(S1):120-121.
- [24] 赵燕, 李壮福. 煤矸石中有害微量元素研究现状及趋势[J]. 能源技术与管理, 2010(1):124-126.
- [25] 刘刚才, 李兰, 周忠浩, 等. 紫色土容许侵蚀量的定位试验确定[J]. 水土保持通报, 2008, 28(6):90-94.