

黄土区露天矿排土场水分调控技术研究

吕春娟¹, 白中科², 陈卫国³, 王瑛⁴

(1. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801; 2. 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 100035; 3. 山西农业大学 生命科学学院, 山西 太谷 030801; 4. 山西水利职业技术学院, 山西 运城 044000)

摘 要: 干旱半干旱的黄土丘陵区, 水分既是致灾因子, 也是生存因子。为了确保人工堆积的排土场的安全稳定及复垦植被生长对水分的需求, 以山西省平朔安太堡露天煤矿复垦地为例, 采用实地调查、资料分析和室内实验相结合, 初步总结出 20 a 复垦过程中不同阶段的水分调控技术可分为地貌重塑、新造地、生态系统重建 3 个阶段。其水分调控技术主要为基底疏导, 逐层压实, 紧密接触; 构建水系, 化整为零, 径流调控; 以蓄为主, 排蓄结合, 资源利用。水分调控伴随着排土场复垦的整个过程, 径流资源化利用是排土场复垦中后期水分调控的发展趋势。另外, 还有许多具体的问题需要进一步的研究。

关键词: 露天煤矿; 复垦地; 不同阶段; 水分调控

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)01-0160-05

中图分类号: X171.4

Water Regulating Technologies for Dump Sites of Opencast Mine in Loess Area

LÜ Chun-juan¹, BAI Zhong-ke², CHEN wei-guo³, WANG Ying⁴

(1. College of Resource & Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China;

2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, and Key Laboratory of Land

Reclamation of Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China; 3. College of Life Science, Shanxi Agricultural

University, Taigu, Shanxi 030801, China; 4. Shanxi Technical College of Water Resources, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

Abstract: In the arid and semi-arid loess hilly region, water is not only a survival factor, but can also be a hazardous element sometimes. Aiming at ensuring the security and stability of artificial dumps and the water demand of vegetation growth, this study took the reclaimed lands of opencast mines in Pingshuo County of Shanxi Province as the study sites, conducting field survey and data analysis. The preliminarily water-control technologies of the last 20 years were divided into three reclamation stages, i. e., landform reshaping, new land creation, and ecology system rehabilitation. The key technologies of water-controlling included conducting water in dump bases along with layer-by-layer compaction of the dumping materials, controlling runoff by water network construction and sub-basin fragmentation, and conserving water resources with considerations of both storage and drainage. Water regulating should be paid attention during the whole course of dump reclamation. Runoff utilization would be the major part of water conditioning in the middle or late stages of dump reclamation. Further studies are required for many other specific issues regarding water regulating in this area.

Keywords: opencast coal mine; reclaimed land; different stages; water adjusting and controlling

我国露天煤矿多集中在中西部地区, 以山西、内蒙古、陕西、新疆等地为主。这些地区生态系统比较脆弱, 大规模露天开采对地表环境造成很大破坏, 因此水分调控技术是露天矿安全生产、土地复垦与生态重建中核心研究内容之一^[1-2]。目前对于原地貌的水分已有很多研究, 但对于矿区水分的研究大多集中在塌陷地水分的变化^[3-4], 而对于露天矿此方面的研究

大都是与矿区水土保持, 污染水体处理利用等相关来进行研究^[5-7], 或者是从排土场的稳定角度去考虑水分的调控较多^[8-12]。本文结合平朔露天矿 20 a 的土地复垦工作经验, 从稳定、水土保持和资源化利用多角度, 以排土场的形成到生态恢复为主线, 阐述了排土场复垦过程中不同阶段的水分调控技术, 对排土场生态重建具有重要作用。

收稿日期: 2010-07-22

修回日期: 2010-08-19

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(汉族), 山西省运城市人, 博士生, 讲师, 研究方向为土壤侵蚀与生态重建。E-mail: lcjcw@126.com。

1 研究区概况

平朔安太堡露天煤矿地处黄土高原东部,位于山西省北部的朔州市境内,年产原煤 1.50×10^6 t,是我国规模最大,现代化程度最高的煤炭生产基地之一。属于典型的温带半干旱大陆性季风气候区,冬季干旱少雨,寒冷,多风,夏季降水集中,温凉少风。年平均降雨量为 428.2~449.0 mm,年蒸发量 1 786.6~2 598.0 mm,年平均风速为 2.5~4.2 m/s。矿区所在地黄土广布,植被稀少,水蚀风蚀严重,冲刷剧烈,冲沟大致成南北向树枝状分布,切割深度一般 30~50 m,以 V 字型沟道居多,形成典型的黄土高原地貌景观,是一个对环境反应敏感,维持自身稳定的可塑性较小的脆弱生态环境系统,属黄土丘陵强烈侵蚀生态脆弱系统。

大型排土场分层堆置由碾压平台和松散陡坡间隔排列组成,平台和边坡相间分布,逐级向上,其相对高度为 100~140 m,平台平均宽度 47.1 m,台阶平均高度 30 m,边坡初始坡度大都在 35°左右,除少部分排弃运输路面为 5°~15°的缓坡外,再很少有过渡坡面。

2 排土场形成过程与水分调控分析

平朔矿区原地貌是一个以堆积作用为主的地质环境,黄土类物质经过沉积、胶结、固结形成厚度几十米至上百米较稳定的黄土地貌,属于黄土丘陵沟壑地貌。而新造的排土场属典型的人工堆垫地貌,为松散介质体,在数年内就堆垫形成台阶状的塔状地貌,很不稳定。排土场形成过程大概包括排土场基底构筑,排土场主体构筑,排土场平台构筑,排土场边坡构筑,排土场土壤重构及水土保持与水系的构建等。二者的形成过程和最终地貌形态存在很大差异,原地貌的水分调控是在现有地貌与水系基础上的完善与改进,而排土场的水分调控是从基底构筑到最终生态系统的演替,不断调整与探索的过程。水分在半干旱区的生态重建过程中,可能诱发滑坡、崩塌等地质灾害,影响排土场的安全与稳定,成为致灾因子,但同时半干旱区,水分也是植被生存的竞争因子。排土场的水分调控伴随着土地复垦的整个过程,根据排土场重塑过程中水分调控的技术不同可将其分为 3 个阶段(见图 1)。

3 排土场水分调控技术

3.1 地貌重塑阶段

3.1.1 排土场基底水分疏导调控技术 根据矿山剥离岩土排弃的地点不同,可分为采场境内的排土场和

采场境外的排土场,简称内排土场和外排土场。排土场的排弃物料结构松散,渗透、蓄水能力较强,排土场形成后,降雨被排土场松散排弃物料滞留、吸收并充分深入基底土体,排土场内黄土基底在荷载和浸水的共同作用下,土体抗剪强度急剧减小,结构遭受破坏而产生变形,形成弱层,诱发基底滑坡,安太堡矿南排土场 1991 年突发的大型座落式滑坡正是如此^[8]。

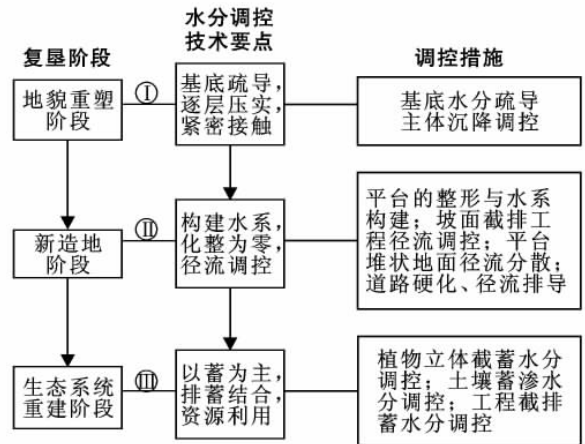


图 1 不同复垦阶段的水分调控技术要点

平朔矿区外排土场基底地表下的地质层从上至下为黄土状粉土、黄土状黏土、红黏土和基岩,其土体承载能力决定着排土场的稳定性,决定于土体的含水量。土体含水量低,则土体强度高,稳定承载力强。故基底构筑的核心就是形成“疏水型”的基底,确保基底地面排水通畅。

(1) 外排土场基底大都为黄土状粉土覆盖,其厚度大约为 40~80 m,不利于基底排水,但大面积清除又不可能,故建议在一些重要区段适当清除。

(2) 外排土场基底原有的地表水和地下水,可疏而不可堵,在排弃压占后仍要基本保持排水通畅,这就要求在排土场基底,尤其是沟壑充填高钙、低钠难风化的大石块,利用排水系统加强排土场形成后的基底疏水、导水和排泄。

(3) 内排土场基底不存在松软土层问题,但局部光滑的基底,应进行爆破处理,增加其粗糙度,提高基底与排弃物料之间的摩擦力。必要时设置临时挡墙及抗滑桩等,如果有条件,可在基底沿倾斜方向用挖掘或爆破方法做一些沟,并在沟中填入大块砂岩,使水顺沟流入坑底,提高边坡的稳定性。因此,内排土场重点在排弃物料内部的滑坡破坏,以及降雨对边坡稳定性的影响,必须严格控制边坡角。

3.1.2 排土场主体逐层压实、多点混排、沉降调控技术 排土场主体构筑指从排土场基底构筑完毕后至排土场表层覆土前的空间体的形成。即使是在采掘与运输均较灵活的现代化露天矿,一个排土场的运营也需要 3~5 a 时间,其形成过程对于地基而言,是一个不均匀且局部非规则间隔循环加载过程^[13]。这种时间上不规则间歇与非稳定排弃强度的状况,很难把握地基土体中超孔隙压力随时间与加载的消长,在排土场达到一定高度后地基土体的高应力区易产生“演化弱层”。故往往造成在排土场尚未形成前就发生整体失稳,甚至无法继续排弃。故在排土场主体构筑时,除按照初步设计说明书上要求的扇形推进,多点同时排弃以及对台阶高度与边坡角的要求外,根据安太堡矿的经验还可以在主体构筑过程中进行水分调控来减少失稳。

(1) 排土场周围的截排水系统。在正式排土前,应修建排土场周围的截排水系统,采用“上截下排”将地表水及时排出去,防止在主体构筑过程中内部就已浸入过多水分,对排土场冲刷和浸泡。对于大型排土场,由于排土场的面积较大,因此在排土场运行的过程中也是不断构筑排水沟的过程。对于内排土场,在矿坑外缘建立环坑截水沟,在坑底修建蓄水仓。

(2) 混排方式。在满足平台地表厚层覆土的前提下,尽量采取岩土混排和不同岩种混排工艺。在排弃过程中,软硬岩石要混合排弃,严禁黄土、红黏土或任何含水量高的黏质排弃物单独排放,避免形成软弱夹层,边坡底部排弃硬度较大的砂岩,确保排土场良好的渗流环境;细颗粒的黄土可部分充填到岩块缝裂中,增加单位空间的岩土容量,并逐层堆垫、逐层压实,增加排弃岩土间的接触面,减轻后期的非均匀沉降;严格控制在主汛期进行高强度排弃。

(3) 排土场自身截排水设施。降雨后排土场排弃物料的质量密度会增加,自重力加大,沉降速度相应会加快;由于孔隙水的作用,松散物料的有效应力会大大降低;水的渗入不仅产生动、静水压力,而且软化岩土,会使岩土的力学强度指标明显降低,极有可能导致排土场单台阶产生蠕动和溃爬,从而引起下部边坡应力重新分布,进而产生连锁反应。所以,应在混排的基础上,加强排土场上部及自身的截排水设施的建设。

(4) 运输道路的疏水处理。排弃台阶与运输道路交接处为严重压实地面,入渗率低,属不透水层,且有一定的向外倾斜坡度,若于其上排弃黄、红土,再往上堆置岩土,雨水下渗到此处时,水分集聚,该黄土层就会成为软弱层,因而引发局部滑动、裂缝,故排土场

主体构筑过程中,在废弃的运输路面上排弃岩土时,应选择难风化、粗粒级的岩石,构建疏水通道。

(5) 打排水钻孔和修筑疏干涵洞。当排土场的岩石物料含有孔隙水和排土场基底内存在承压水时,在适当部位打排水钻孔将水排出或开挖涵洞进行疏干。

3.2 新造地阶段

新造地阶段为排土场主体构筑完毕到未复垦之前,这个阶段是排土场水土流失最严重的阶段,也是水分调控的关键阶段,主要思路为化整为零,完善水系,合理调控。

3.2.1 平台的整形与水系构建 把排土场平台修成 2%~3% 左右的反坡,在排土场平台内侧布设排水渠,外侧修建梯形挡水墙,防止径流对边坡的冲刷,并在平台内利用土埂分区划畦成网格状,保持畦内的平整,以便使超过小畦蓄水能力后多余径流自然流向排土场坡角处,通过排水沟将水引导出界外。根据安太堡矿的田间工程试验结果,排土场初期存在着严重的非均匀性沉降,故短期内不宜修筑硬化渠系。可以设置临时性非硬化排水渠系,主要采用易修复的非刚性材料修筑土渠、石砾沟、宽浅干砌渠、土袋、铁丝石筐等或夯实、碾压等措施,排泄大暴雨时的地表径流,以确保排土场的稳定和安全。

3.2.2 坡面截排工程径流调控 排土场边坡一般为倾倒形成的自然边坡,比较疏松,加之表层排弃物大都为黄土及其母质,结构疏松,大孔隙发育,粘结力差,遇水后易发生沟蚀、泥石流、崩塌和滑坡等,所以坡面是水土流失的高发地段。

按常规的排土场设计要求,排土场表层覆土厚度应在 50~150 cm 之间。但根据安太堡矿经验,如果排土场边坡也按此要求就有不妥,因为在雨季,特别是暴雨期发生“剥皮”的几率最大。故在排土场边坡构筑时,建议采取以下措施:(1) 平台边缘修筑挡水墙,阻止平台径流汇入边坡,防止切沟和冲沟的发生。(2) 坡脚堆放大石块,拦截坡面下移泥沙,保护坡脚排水渠系。(3) 坡面不宜覆厚层黄土,而是土石混堆后立即种植;或者薄层覆土作为备用土,种植时覆土沿坡逐坑下移覆土立即种植;遇到局部砂、页岩的坡,可客土种植。(4) 植树前进行整地,坡度较缓的采取水平阶和反坡梯田整地,坡度较大的坡面采用水平沟整地。(5) 当坡长超过 60 m 时,在边坡上每隔 15~20 m,挖一条截水沟,利用截水沟、排水渠将地表径流汇集后,排放至排土场外。

3.2.3 平台堆状地面径流分散 排土场面临的两大国际通病就是“表层严重压实”和“非均匀沉降”,而要

解决这两个问题的关键就是如何增加入渗和填补裂缝。根据安太堡矿试验,土壤压实造成植物扎根困难和大量地表径流;裂缝存在,径流汇集钻入裂缝,集中下渗,其渗水或从下伏边坡间出露,诱发崩塌、滑坡和坡面泥石流,或钻入基底,降低基底承载力,整体失稳。

堆状地面^[1]土壤重构方法是指在排土场形成过程中,对排弃于平台顶部的黄土物料采用一定的排列方式松散堆弃而不碾压的一种土壤重构方法。利用松散黄土吸纳雨水,最大限度地增加水分入渗,并借助堆与堆之间的众多凹坑分散暴雨径流,同时兼具提供填缝填土源和在一定程度上自动弥补沉降裂缝和陷穴的作用。根据对南排土场堆状地面实地调查,5 a 内未发生平台径流汇入斜坡的明显侵蚀和大量径流集中灌缝现象。安太堡露天矿排土场堆状地面可接纳当地 10 年一遇暴雨条件下的侵蚀径流。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,如正方形排列、三角形排列、多边形排列、优化排列等。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^[7]。

对于不可避免的局部压实地表,应采取矿山高马力深耕犁,耕深应大于 80 cm。另外,对于作为永久性林业用地的地块,其堆状地面可保持;其它地块,可根据要求,待地面沉降基本稳定后,逐渐平整,恢复成耕地。

3.2.4 道路硬化、径流排导 到位的排土场,道路盘旋而上,其路径涉及许多径流分散单元。排土场道路多经过平台,是平台的一部分,平台部分的道路坡度平缓,但连接两平台之间的道路坡度一般在 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 以上,而且受到两侧边坡集水区的影响。可在平台道路一侧靠近坡脚处设置集流沟兼排洪渠。布设永久性硬化骨干排水渠系。主要采用夯实、碾压,稳定不变的路面和区段修筑浆砌渠等,排泄大暴雨时局部的地面径流,并在陡坡段做缓坡处理,待排土场逐渐稳定后,这部分水量是排土场集水节灌的首选。同时,道路在设计时应兼作泄洪渠道处理,路面宜采用石质,特大暴雨时作为排水主渠使用。

2003 年复垦区调查显示,在 50 年一遇的暴雨下,由煤矸石铺成的运煤干道在路坡的中上部形成砂砾化(鳞片状)面蚀,下部则发展为沟蚀,道路的两侧(偏低)则冲刷成固定的水槽,平均深 40 cm,宽 1 m 的 U 型水槽。斜坡土质道路下方则形成切沟。因此,必须重视道路的硬化疏导功能。

3.3 生态系统重建阶段

在半干旱的黄土区,水是排土场生态恢复的限制

性因子,在年平均降雨量为 428.2~449.0 mm 的水蚀风蚀交错区,干旱缺水与水土流失并存是排土场的生态恢复与重建重要限制性因素。因此如何合理利用有限的水资源,化害为利,是复垦后水分调控的主要任务。

3.3.1 植物立体截蓄水分调控 对于新造地,减少水土流失的最有效经济措施是迅速建立植被,创造生物生存的环境,促进生物的迅速发展。复垦初期建立乔灌草,灌草或草地先行的立体配置模式,复垦 10 a 的植被与新造地相比,减水效益为 77.08%^[14]。根据安太堡露天排土场的复垦经验,目前已有比较成熟的先锋植被配置模式,主要为刺槐×油松×苜蓿,沙棘×柠条×苜蓿,杨树×无芒雀麦,刺槐×沙棘等配置模式。由于初期水土流失比较严重,所以栽植的密度较大,但随着植被的演替,对水分的竞争,某些模式会出现退化的迹象,因此,复垦后必需辅助必要人工管理措施,如间伐、修枝、病虫害的防治等来保证生态系统的正向演替,发挥树冠层、下地被层、枯落物层对降水层层拦截与径流调控作用。

3.3.2 土壤蓄渗水分调控 复垦地土壤由于植被根系和枯落物层的作用,可以增加土壤的疏松性,改善土壤的结构、孔隙度等。对于复垦 10 a 左右的林地,平台上不同林分的土壤蓄水量为^[14]:混交林>纯林>草地;斜坡上土壤的饱和蓄水量大于平台,斜坡上草地 0—40 cm 土层的饱和蓄水量最大为 2 133.7 t/hm²。虽然对于排土场这种松散人工堆积体,植被对土壤的改善作用是一个缓慢的过程,但土壤对水分的蓄集与调节,对于复垦地生态重建及生态系统的演替起着重要作用。研究表明^[15],枯枝落叶层和土壤所截持的水量约占降水量的 90%左右,这表明降水通过林下枯落物和土壤蓄水功能,使森林土壤成为涵养水源的主体。

3.3.3 工程截排蓄水分调控 随着排土场的逐渐稳定,工程蓄水措施可以和截排水结合利用。因为道路是主要的集水面,易产流,而且坡面截流沟和坡脚排水渠的径流最终都会进入道路内侧设置的排水渠,所以在道路的不同地段布设蓄水池或水窖进行径流资源化利用,便于解决矿区植被的水分竞争问题,同时也利于排土场的稳定。

4 结论

露天排土场复垦过程中会涉及很多方面的问题,但在半干旱区的黄土高原,水分调控技术是生态重建的关键技术。本文依据课题组多年实践经验,将水分调控技术分为 3 个阶段:第 1 阶段主要为地貌重塑阶

段,其水分调控的技术要点为基底疏导,逐层压实,紧密接触;第 2 阶段为新造地阶段,要点为构建水系,化整为零,径流调控;第 3 阶段为生态重建阶段,要点为以蓄为主,排蓄结合,资源利用。

当然这 3 个阶段是人为划分的,在具体实施过程中水分的调控需要排土场的排土工艺、植被重建以及安全管理等方面的密切配合。而且由于我国矿区的复垦起步较晚,复垦利用的方式也不同于美国、德国复垦较早的国家,因此在不断地实践和生态系统演替过程中,可能会出现许多新的问题,水分调控技术也需要不断的探索,不断的创新,不断的完善。

[参 考 文 献]

- [1] 李晋川,白中科. 露天煤矿土地复垦与生态重建[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [2] 韩武波,马锐,白中科,等. 黄土区露天矿排土场生态建设中水分调控技术的研究[J]. 煤矿环境保护,2002,16(5):14-16.
- [3] 胡振琪,张学礼. 基于 ANN 的复垦土壤水分特征曲线的预测研究[J]. 农业工程学报,2008,24(10):15-19.
- [4] 赵陟峰,郭建斌,郭汉清,等. 山西葛铺煤矿矿区土壤水分和结构变化浅析[J]. 水土保持研究,2008,15(3):214-214.
- [5] Vaclav K. Soil properties and water regime of reclaimed surface dumps in the North Bohemian brown-coal region [J]. Waste Management, 2001,21:147-151.
- [6] Annandale J G, Jovanovic N Z, Pretorius J J B. Gypsiferous mine water use in irrigation on rehabilitated open-cast mine land: Crop production, soil water and salt balance[J]. Ecological Engineering, 2001,17:153-164.
- [7] 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):486-489.
- [8] 王建国. 荷载黄土体的工程性质与露天矿排土场稳定控制技术[J]. 煤矿安全,2003,34(S):116-121.
- [9] 刘志翔. 德兴铜矿铜厂露天矿排水系统[J]. 露天采矿技术,2006(6):13-14.
- [10] 周勇,任占营,王喜富. 露天矿持水边坡综合治理措施初探[J]. 露天采矿技术,2005(5):20-23.
- [11] 项元和,李国萍. 内蒙古锡林郭勒草原区胜利一号露天煤矿外排土场水土流失防治方案[J]. 中国水土保持科学,2006,4(S):71-77.
- [12] 王振伟,王建国,于永江. 露井联采条件下黄土基底排土场变形演化规律[J]. 辽宁工程技术大学学报,2008,27(2):165-167.
- [13] 胡振琪,魏忠义,秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法[J]. 土壤,2005,37(1):8-12.
- [14] 吕春娟,路琼. 矿区复垦植被土壤涵养水源功能的研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3):184-188.
- [15] 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.
- [12] 严昌荣,居辉,彭世琪,等. 中国北方旱农地区农田水分动态变化特征[J]. 农业工程学报,2002,18(3):11-14.
- [13] 曾杰. NaCl 对三种荒漠植物幼苗生长及生理特性影响的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2008.
- [14] 曾凡江. 塔克拉玛干沙漠南缘四种多年生植物的生态生理学特性研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2001.
- [15] Zeng F J, Bleby T M, Landman P A, et al. Water and nutrient dynamics in surface roots and soils are not modified by short-term flooding of phreatophytic plants in a hyper-arid desert[J]. Plant and Soil, 2006, 279: 129-139.
- [16] Thomas F M, Foetzki A, Arndt S K, et al. Water use by perennial plants in the transition zone between river oasis and desert in NW China[J]. Basic and Applied Ecology, 2006,7:253-267.
- [17] 李修仓,胡顺军,李岳坦,等. 干旱区旱生芦苇根系分布及土壤水分动态[J]. 草业学报,2008,17(2):97-101.
- [18] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 阿拉木萨,蒋德明,骆永明. 半干旱区人工固沙灌丛发育过程土壤水分及水量平衡研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):107-110.
- [20] 阿拉木萨,蒋德明,范士香,等. 人工小叶锦鸡儿灌丛土壤水分动态研究[J]. 应用生态学报,2002,13(12):1537-1540.
- [21] 黄志刚,李锋瑞,曹云,等. 南方红壤丘陵区杜仲人工林土壤水分动态[J]. 应用生态学,2007,18(9):1937-1944.
- [22] 熊伟,王彦辉,程积民,等. 三种草本植物蒸散量的对比试验研究[J]. 水土保持学报,2003,17(1):170-172.

(上接第 67 页)