

煤田开采诱发环境地质问题及防治对策

周书东¹, 王小霞², 李廷芥³

(1. 中国地质大学(北京) 工程技术学院, 北京 100083;

2. 成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059; 3. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉 430071)

摘 要: 煤田开采沉陷引发了各种地质灾害和环境效应, 包括地面塌陷、地裂缝、滑坡崩塌、泥石流等, 对土地资源、水资源和大气环境、地表设施造成严重破坏和污染, 也对人类生命财产安全造成重大损失。介绍了我国煤炭开采沉陷灾害的现状, 论述了各种灾害和环境效应的形成机理, 系统地总结了我国现阶段对各种灾害和环境效应的防治对策。主要的防治对策包括管理措施、控制沉陷的开采技术、沉陷预测、采空区的工程治理、地表建筑物防护、土地复垦等。实施综合防治措施和绿色开采是矿业发展的必由之路。

关键词: 开采沉陷; 地质灾害; 生态环境; 防治对策

中图分类号: S157; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007) 03-0351-04

Geological Environmental Problems Induced by Coalfield Exploitation and Control Countermeasures

ZHOU Shu-dong¹, WANG Xiao-xia², LI Ting-jie³

(1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

2. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Various geological hazards and environmental effects induced by coal underground mining are presented, including ground subsidence, crack, landslides, collapse, debris flow, loss of water and soil, destruction of building and cropland, atmosphere pollution etc. They lead to ecological degradation and environmental pollution in mining area and restrict regional sustainable development. The form mechanism and current status of these hazards and effects are analysed and described. In the end the prevention and control countermeasures were brought forward to prevent and control hazards and effects. The main countermeasures includes government measures, subsidence prediction, engineering treatment techniques, land reclamation, protection of surface buildings, land reclamation, water and soil conservation etc. Green mining and systemic prevention and control measures are necessary.

Key words: mining subsidence; geological hazards; ecological environment; control countermeasures

1 前言

煤炭资源是我国主要的一次性能源, 丰富的煤炭资源为我国经济发展作出了重要贡献。随着煤炭资源的大量开采, 开采诱发的灾害问题也越来越严重。煤炭采出后在原位形成不同形态的采空区, 采空区围岩应力状态破坏后应力重新分布, 在达到新的平衡状态的过程中, 上覆岩层及地表产生连续的移动、变形和非连续的开裂、冒落等破坏^[1, 2]; 会诱发各种地表灾害及衍生灾害。主要有地表塌陷、地裂缝、山体滑坡、崩塌、泥石流等, 对耕地、水资源、建筑物和基础设施造成破坏。近年来, 煤炭资源的大量开采诱发的地质灾害及矿山地质环境恶化, 已严重影响了我国经济的可持续发展。几十年来, 对煤矿开采沉陷的研究已取得众多成果, 形成了新兴的矿山开采沉陷学, 而对各种灾害及环境效应的防治研究还不完善, 有待深入。

2 矿山灾害及破坏现状^[3, 4]

我国矿山地质环境持续恶化, 矿区地质灾害危害严重, 已引起了各有关部门的重视。近年来我国启动了矿山地质环境的调查和评估工作, 2006 年已全部完成了全国 31 个省(区、市)的矿山地质环境调查工作。截止 2005 年, 矿山开采占用或破坏土地约 100.1 万 hm^2 , 尾矿及固体废物积存总量约 136.8 亿 t, 每年废水废液排放量约 28.9 亿 m^3 ; 全国发生采矿塌陷灾害的城市近 40 个, 造成严重破坏的 25 个。矿山灾害中煤炭开采造成的灾害和破坏最为严重, 煤田开采沉陷引起地面塌陷、地裂缝、山体滑坡、泥石流等灾害, 引发的耕地减产绝产、建筑物的裂缝倒塌、市政设施的损坏以及水资源的污染流失等破坏。以煤炭大省山西省为例, 煤炭开采对山西省造成的破坏如表 1。

* 收稿日期: 2006-10-10

作者简介: 周书东(1979-), 男, 中国地质大学(北京)在读研究生, 专业方向为地质工程。

表 1 山西省开采沉陷灾害现状

破坏类型	耕地破坏	建筑物破坏	水资源破坏	塌陷、滑坡和泥石流
破坏程度	总采动面积已达 1.6 万 km ² 以上,累计破坏压占土地达 6.8 万 hm ² , 每年新增破坏土地地 5 000 hm ² , 其中 40% 为耕地	145 个村庄搬迁, 250 个自然村房屋遭到不同程度的破坏	造成 1 900 多个自然村, 950 万人和 9 万头大牲畜饮水困难, 2 万 hm ² 耕地变旱地, 每年矿坑排水达 2.2 亿 m ³	生态环境损害 24.4 万 hm ² , 地面塌陷 5.3 万 hm ² , 滑坡、泥石流损害 1.5 万 hm ²

2.1 地表塌陷及地裂缝^[2,5]

采空区形成后上覆岩层发生变形、移动和破坏, 充填采空区, 向上发展达到地表形成塌陷。地表塌陷可分为连续性的塌陷和非连续性的塌陷, 这主要取决于煤层开采深度和开采厚度。采深和采厚比值较大时, 表现为连续性塌陷, 具有明显规律性; 采深和采厚比值较小, 或有较大地质构造时, 则表现为非连续性塌陷。塌陷的同时地表可能还会出现裂缝、台阶和塌陷坑。裂缝一般出现在地表塌陷的外缘, 深度与宽度与地表岩土性质及变形值有关; 采深与采厚比值较小, 裂缝规模较大时, 裂缝两侧产生落差。台阶和塌陷坑多出现在急倾斜煤层开采条件下。地表塌陷的范围、形状及特征取决于开采深度、厚度、采空区尺寸、重复采动、采煤方法、顶板管理方式、煤层及上覆岩层产状、岩性、地质构造、地形、地下水等多种因素。

2.2 山体滑坡及崩塌^[6,7]

煤炭开采引起的滑坡有两种情况, 一种是露天开采时由于边坡角、地质条件和开采条件等因素引起的滑坡; 另一种是由于地下开采沉陷引起的滑坡。采空区地表斜坡岩体运动受坡面和采空区形态的控制, 并受覆岩性质、降雨和其它人类活动的影响; 斜坡岩体会出现塌落、倾倒、拱屈、弯曲和滑动等运动。斜坡会发生下沉、鼓胀、崩塌、开裂及滑坡等连续性和非连续性等破坏。采空区地表地形较陡 ($> 30^\circ$) 时, 由于地下开采, 地表坡体的应力平衡状态短时间内被破坏, 就可能会引起突发性的滑坡或崩塌, 滑体的后缘伴生阶梯状弧形地裂缝。尤其是煤层顺层开采时可能引发大规模的滑坡, 湖北秭归的链子崖滑坡便是典型例子。在山西矿区地质灾害调查中发现, 开采沉陷诱发山体滑坡可分两种情况: 一种是开采沉陷主导的滑坡; 另一种是与降雨、其它人类活动等共同作用诱发的滑坡。在雨期, 雨水沿开采沉陷形成的贯通性很强的裂缝, 构造节理及软弱层面下渗, 降低了滑动面的抗剪强度引发滑坡; 所以在雨期应加强对开采沉陷区斜坡的监测。

2.3 泥石流

泥石流的形成一般需要三个条件, 物源、水源及地形条件。矿区开采形成的矸石山、废石、土及沉陷引发的滑坡、崩塌为泥石流提供了物源条件, 地形陡峭的矿区在暴雨季节易发生泥石流灾害。泥石流对矿区厂房、村庄及基础设施造成严重威胁和破坏, 泥石流的面状侵蚀, 使土地瘠薄、农田被毁, 破坏了两岸坡体的稳定, 促进了滑坡、崩塌的发育, 使地质生态环境恶化。

除以上几种常见灾害外, 矿区还经常发生矿震、煤层及矸石的自燃等灾害, 亦会造成重大损失。

3 开采沉陷灾害的环境效应

矿区的地质生态环境是一个复杂的系统, 由生物系统、土地资源、水资源及大气等共同组成。煤田开采沉陷会引发诸多环境效应, 大量破坏耕地、地表建筑物, 污染破坏水资源, 造成水土流失沙漠化等。矿区地质生态环境的扰动和破坏有愈演愈烈的趋势, 开展对这些环境效应的机理研究进而

减轻造成的破坏十分必要。

3.1 破坏大量耕地^[8]

开采沉陷对土地资源的破坏最为严重, 造成的破坏在东部和西部有所不同。西部地区比较干旱, 开采沉陷作用破坏包气带岩土结构, 从而导致降水入渗机制、包气带释水机制和岩土持水性的变异, 进而影响到地表生态环境。沉陷区地表坡度、裂缝、台阶及塌陷坑改变了地表的径流条件, 降水通过裂缝汇集到采空区, 地表土体含水量大幅减少, 导致地表含水率降低农作物失水枯萎。在东部地区地下水位较高, 开此沉陷使地表积水甚至形成小型湖泊, 影响耕地耕种及居民区的居民生活。徐州市 1.67 万 hm² 塌陷地中, 下沉较深且地势低洼, 造成长年积水或季节性积水的面积约 0.45 万 hm², 积水最深达 7 m, 致使农作物无法耕种。另外, 煤矸石的大量堆放也侵占和污染大量土地, 降水对矸石淋虑形成的酸性水渗入地下污染了周围土地。近年来我国耕地面积日益减少, 已引起高度重视, 煤田开采对耕地的破坏是其中一个重要方面。

3.2 水资源流失及污染^[9,10,11]

煤田地下开采对水资源的破坏主要表现为水资源的流失和污染两个方面。在开采过程中为防止矿坑涌水, 而进行的顶、底板疏水, 使顶、底板含水层水量减少, 地下水位下降, 在较大范围内形成降落漏斗。开采沉陷活化的古断层和形成的新断层及裂隙破坏了隔水层, 改变了地表水和地下水系的补给、径流和排泄条件; 使水资源流失。水资源的流失使泉井枯竭、农作物减产、人蓄饮水困难, 给工农业生产造成重大影响。水资源的污染主要是由污水排放、矸石山和地下岩体、煤体风化使有害物质渗入水系造成的。矿区水资源的流失和污染对地表地下水系统造成的破坏很难得到恢复。陕西黄陵沮水河沿岸因煤炭开采造成地下水位抬升, 地表形成沼泽淹没了大量农田, 同时也严重污染了地下水及河水。

3.3 破坏地表建筑物及基础设施^[2]

开采沉陷对矿区地表建筑物及道路、管线、桥涵、堤坝等基础设施造成严重破坏。开采沉陷造成的地表下沉、倾斜及曲率、水平、剪切、扭曲等变形, 使墙体产生各种形态的裂缝、倾斜、错动和外鼓等破坏。滑坡、崩塌掩埋道路, 道路管线裂缝、错动, 电力、通信线路中断等基础设施的破坏在开采沉陷区屡见不鲜。矿区地表破坏严重的村庄不得不整体搬迁, 引起了诸多纠纷。山西某地因开采造成的地表裂缝及错动使村民集资建设的深水井遭到严重破坏, 屡次修缮无效后被迫依靠煤矿供水。

3.4 煤矸石污染^[1,2]

大量堆积的矸石山对矿区的土地资源、大气和水资源均遭受了严重污染。矸石经降水淋虑作用产生的含有酸性物质、重金属离子、盐类及未溶解颗粒状污染物渗入地下水系和地表水系, 对水资源和土地造成严重污染。使矿区土壤及水资源酸化日益严重, 矿区植物枯萎死亡。矸石自然及风化产生的有害气体 (CO, CO₂, NO_x, SO₂ 等) 释放到大气中, 污染了矿区的大气环境, 使矿区降水呈酸性, 影响了植物生长和矿区居民的健康。矸石山对矿区的生态环境破坏是多方面的, 矸石污染不容忽视。

以上几个方面的环境效应是紧密联系的, 水资源的流失和污染是耕地破坏的主要原因; 耕地和水利设施的破坏会加剧水资源的流失。矿区地质环境和生态系统是十分复杂的, 水资源的流失、土地的破坏使地表植被枯萎、覆盖率降低, 进而使地表抗侵蚀能力降低。在风蚀、水蚀和重力侵蚀等作用下发生水土流失, 甚至沙漠化, 破坏了原本脆弱地生态系统,

恶化了矿区地质环境。矿区的水土流失和沙漠化也是开采沉陷灾害引发环境效应。

4 开采沉陷灾害的防治对策

矿山地质环境恶化已引起社会广泛关注,为了实现矿产资源开发与生态环境保护协调发展,提高矿产资源开发利用率,避免和减少矿区生态环境破坏和污染,2005 年 9 月我国发布了《矿山生态环境保护与污染防治技术政策》。近年来各级政府投入大量资金治理矿山地质环境,2005 年各级政府共投入 35.58 亿元安排了 194 个项目对矿山环境进行治理。在 194 个项目中有 55 个属于煤炭矿山环境治理项目^[15]。开采沉陷灾害的防治是一项系统工程,包括诸多方面,应多管齐下进行全方位系统化治理。

4.1 管理措施^[1, 3]

加强矿山地质环境的保护与管理,首先应完善相关的政策和法规,现有的政策法规还不系统和完善。各地应因地制宜地制定适合本地区的矿山环境保护规划,建立矿山灾害信息系统,加强对矿山环境的监督,完善矿山环境恢复治理的资金来源,增强企业的绿色矿业理念及群众的防灾减灾意识,及时对矿区地质环境进行调查和评价。

4.2 控制灾害的开采技术^[2, 14]

减少开采沉陷是控制沉陷灾害的根本途径,采取合理的开采技术可有效地控制地表沉陷。目前控制地表沉陷的开采技术主要有部分开采技术、充填开采技术、分层开采技术、全柱式开采技术和覆岩离层注浆技术。有学者吸收条带开采和充填开采岩层控制技术的优点提出了三步法开采技术,可有效控制岩层移动和地表沉降。综合考虑地质条件、开采条件和地表情况采取合适的开采技术控制开采沉陷,减轻沉陷灾害,实现最大的经济效益和环境效益。

4.3 开采沉陷预测^[2, 15]

开采沉陷的预测是防治灾害的重要一环,开采沉陷的预测评价有多种方法,从建立方法的途径可分为基于实测资料的经验公式法、影响函数法和理论模型法。由于影响沉陷的因素的复杂性、多样性,及模型、参数取值的不合理性,应用各种方法进行预测均存在一定误差。许多学者应用非线性理论对开采沉陷进行了预测,取得了较好的效果;灰色理论、模糊方法、人工神经网络等方法都已成功运用于沉陷预测。数值模拟方法在采空区地表稳定性评价和预测中应用也越来越广。综合非线性理论方法、数值方法和传统方法对开采沉陷进行预测是有效的预测方法。

4.4 采空区的工程治理措施^[16, 17]

在采空区地表修筑铁路、公路、建筑物等是不可避免的,为保障地表设施的稳定性和安全性,经常需要对采空区进行治理。采空区的研究和治理主要包括三个方面,即采空区的探测,采空区地表稳定性评价和采空区的治理。采空区的探测一般以物探为主,辅以钻探、水文试验和变形监测,使用较多的有重力法、直流电法、瞬变电磁法、地震勘探法等。一般采用采空区沉陷预测的方法对地表稳定性进行评价,对老采空区的情况,有学者提出根据建筑物荷载的影响深度、采空区冒落裂缝带发育高度及安全保护层厚度确定采空区地表的稳定性和安全性。采空区的治理一般采用绕避法、注浆充填法、支撑法、桥跨—板跨法及提前释放沉降的方法,最常用的为注浆法。通常用强夯、爆破、预压等方法提前释放地表的沉陷。在工程施工过程中应注意质量监测和检测工作,确保治理的效果。目前采空区治理技术还不完善,方法比较单一,有待进一步发展完善。

4.5 地表建筑物的防护^[2, 22]

建筑物下采煤产生的沉陷可严重破坏地表建筑物,已有相关方面的规范对此作出了规定,并提出了对地表建筑物保护措施。地表建筑物可根据所处沉陷区的相对位置和造成的破坏情况采取以下措施进行保护,设置变形缝、钢拉杆、混凝土圈梁、基础联系梁及开挖变形补偿沟和堵砌门窗洞等。在老采空区地表修建建筑物可能会引起采空区“活化”,发生二次变形,采空区地表建设应综合考虑采空区上覆破碎岩体自身稳定性、残余变形及建筑物荷载影响深度等因素。老采空区新建建筑物应从结构设计上采用上述措施进行预防。

4.6 土地复垦^[18, 19, 20, 21, 22]

开采沉陷造成地表土地裂缝、塌陷、积水等破坏,使土地减产、绝产、弃耕,历史开采积累的弃耕土地越来越多。截止 1998 年,我国土地复垦面积仅占开采沉陷面积的 10%,在土地日益紧张的情况下,开展对沉陷区土地的大规模复垦已刻不容缓。土地复垦没有固定的模式,应因地制宜,根据沉陷区的地质条件、水文条件、土壤物理特性及可利用的物源条件等进行整体规划,采取农业复垦、林业复垦、渔业复垦、娱乐与建筑用地复垦等模式。复垦方法根据具体的途径可分为充填式复垦和非充填式复垦,根据物源条件,充填式复垦分为煤矸石充填、粉煤灰充填、河湖淤泥充填等充填类型,也有学者研究采用宜于作物生长的复合材料进行充填。非充填式复垦主要有土地平整式、梯田式、挖深垫浅式、疏排法复垦等形式。土地复垦可采用一种方法进行,也可采用几种方法联合使用,并注意与当地规划、地形地貌、废弃物利用等结合,以实现最大经济和环境效益。

4.7 水土流失的防治^[23, 24]

矿区的水土流失及沙漠化多发生在西部地区,主要分为风蚀和水蚀两种情况。影响水土流失的主要因素有降雨、地形、土壤、植被等,矿区沉陷对地形土壤、植被的破坏和气候环境的共同作用,使矿区发生水土流失;矿区大量剥离的土石及排除的矸石也加剧的水土流失。对水土流失的治理可采取生物措施和工程措施。生物措施主要是利用植树种草的方式改善地表植被情况,利用植被防风固沙、涵养水源。工程措施主要是修建地面防排水系统、坝体工程、透水石堤、沉沙池和坡面防护等工程,疏导和拦截地表径流。另外要妥善堆放和利用矸石和废弃土石,减少因此造成的水土流失。

开采沉陷灾害的防治还包括对滑坡、泥石流、矸石山灾害、水资源破坏等的防治。对矿区遭开采沉陷破坏的斜坡要加强监测,采取“填、截、排、挡、减”等措施进行综合治理。对煤矸石的利用和研究已取得诸多成果,煤矸石直接或经过加工已成功用于各种充填材料,生产建筑材料、有机肥料和燃料等。对矿区堆放的矸石要采取削平、掩埋、浇灌石灰乳、填沟造地等措施来杜绝或减少水土流失、污染和滑动灾害。矿区沉陷灾害的防治是一项系统工程,各种防治措施是相互联系的,应完善政策法规体系和防治资金来源,加强防灾减灾的宣传管理,加强对各种治理的技术的研究和应用,只有采取系统、全面和全过程的措施才能从根本上扭转矿山生态环境恶化的趋势。

5 小 结

在今后很长一段时间煤炭作为我国主要的能源是不会改变的,煤炭的大量开采还将继续。长期的煤炭开采造成的各种灾害和环境效应已对很多矿区地质生态环境造成了不可恢复性的破坏。采取综合措施进行对土地、水资源破坏和大气污染防治已刻不容缓,目前我国各种政策法律措施及治

理技术还不完善。这已引起政府的重视,各级政府已投入大量资金进行研究和防治,今后还会进一步加大力度进行防治。在人类、资源和环境关系日益紧张的情况下,绿色矿业和可持续发展是我国煤炭事业发展的必由之路。

参考文献:

[1] 纪玉杰. 北京西山石炭—二叠纪煤系变形变质特征与地质灾害[J]. 北京地质, 2004, 16(2): 1— 17.

[2] 何国清, 杨伦, 凌赓娣. 等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994. 1— 300.

[3] 李军, 贺秀权, 徐洪飞. 山西煤矿开采形成的地质灾害概述[J]. 煤, 2000, 9(4): 12— 14.

[4] 中华人民共和国国土资源部. 中国地质环境公报[R]. 北京: 中华人民共和国国土资源部, 2006. 1— 40.

[5] 董兆祥, 王彦祺, 张明义. 矿区环境地质问题的预测与防治[M]. 北京: 地质出版社, 1997, 1— 140.

[6] 孔宪立, 胡德富. 采空区地表斜坡变形破坏类型及其运动机制[J]. 同济大学学报, 1995, 23(3): 247— 251.

[7] 吕义清. 煤矿开采沉陷诱发的地质灾害特征分析—以太原西山矿区为例[J]. 地球科学进展, 2004, 19(增): 254— 257.

[8] 黄敬军. 江苏矿山生态地质环境问题及防治对策[J]. 江苏地质, 2002, 26(4): 216— 220.

[9] 王新, 王晓明, 王冬辉. 鲁寺村地下水位抬升灾害成因分析[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(2): 40— 42.

[10] 李凤明. 采矿引发的地质灾害及工程治理实践[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(3): 16— 18.

[11] 虎维岳, 李忠明, 王成绪. 废弃矿山引起的环境地质灾害[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(4): 33— 35.

[12] 杨本志, 卞正富. 我国东部矿区生态系统退化机理初探[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(4): 44— 47.

[13] 韦京莲, 董桂芝. 北京地质灾害的危害及防治对策[J]. 水文地质工程地质, 2001, (3): 33— 34.

[14] 郭广礼, 王悦汉, 马占国. 煤矿开采沉陷有效控制的新途径[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 150— 153.

[15] 慎乃齐, 杨建伟, 郑惜平. 基于神经网络的采空塌陷预测[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(3): 42— 44.

[16] 滕永海, 张俊英. 老采空区地极稳定性评价[J]. 煤炭学报, 1997, 22(5): 504— 508.

[17] 童立元, 刘松玉, 邱钰, 等. 高速公路下伏采空区问题国内外研究现状及进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1198— 1202.

[18] 卞正富. 矿区开采沉陷农用地质量空间变化研究[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 213— 218.

[19] 卞正富, 张国良, 胡喜宽. 矿区水土流失及其控制研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 31— 36.

[20] 司双印, 张运备, 马敬杰, 等. 采煤塌陷区生态地质环境恢复治理与可持续发展问题的探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(3): 11— 16.

[21] 肖兴田, 王志宏. 煤炭资源开发对土地破坏及土地复垦之研究[J]. 露天开采技术, 2001, (4): 31— 34.

[22] 郭广礼, 张国信, 刘丙方. 地面荷载对地下采空区的临界扰动深度及其影响[J]. 矿山压力与顶板管理, 2004, (1): 72— 74.

[23] 郭广礼, 邓喀中, 张连贵, 等. 综采放顶煤地表移动规律特殊性[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(4): 375— 378.

[24] 曹建军, 郭广礼, 刘永娟. 干旱和半干旱荒漠矿区环境问题与治理对策[J]. 能源环境保护, 2003, 17(4): 6— 9.

(上接第 350 页)

2.2 水流形态

坡面开始形成薄层水流, 当有细沟产生的时候, 此时股流与薄层水流共生, 逐渐发展为上半部坡面以薄层水流为主, 下半部汇入细沟中形成股流, 当细沟发育明显时, 径流全部汇入细沟, 此时流速加大, 产生径流的时间减少。不同覆盖条件下径流产生时间见表 2。

表 2 不同流量级和不同覆盖度下径流产生时间			
放水流量/ (L·min ⁻¹)	覆盖度 / %	径流达到 沟口时间	放结束后延时
3	空白	2 5″	1 10′
	空白	1 48″	1′
5	30~ 40	1 57″	25″
	70~ 80	1 40″	55″
8	30~ 40	45″	49″
	70~ 80	1 22″	56″

由表可以看出, 光面易产生细沟侵蚀, 而有草被覆盖则

不易产生细沟侵蚀, 有草被覆盖的坡面, 产生径流的时间明显大于空白坡面。由细沟形态分析中可知, 空白坡面产生细沟无论从数量、深度、宽度上来讲, 明显大于有草被覆盖的坡面, 使得流量集中, 流速加大, 产流时间小。放水结束后, 有草被覆盖的坡面径流延时短, 说明草被覆盖能增加入渗, 使地表径流转化为壤中流。这也是坡面草被减水作用的机理之一。

3 小 结

(1) 放水冲刷试验中, 一般是覆盖度越高, 细沟的数量、深度、宽度越小, 且小流量情况下, 细沟的深度和宽度多分布在 0~ 5 cm。

(2) 随着流量的加大, 有草被覆盖的坡面上细沟的深度和宽度迅速加大, 说明草被的抗蚀作用是有一定条件的。

因此在坡面治理过程中, 完全依靠坡面种草来防治水土流失是不够的, 应配合工程措施进行综合治理。

参考文献:

[1] 罗伟祥, 白立强, 宋西德, 等. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 20— 34.

[2] 侯喜禄, 曹清玉. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 33— 40.

[3] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报, 1992, 37(4): 366— 369.

[4] 李勇, 朱显谟, 田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报, 1991, 36(12): 935— 938.

[5] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲下机制初步研究[J]. 中国科学(B 辑), 1992, 35(3): 254— 259.

[6] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 93— 96.

[7] 唐克丽, 等. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.