

870-875

第19卷第6期
1999年11月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 6
Nov., 1999

大型露天煤矿生态系统受损研究——以平朔露天煤矿为例

白中科¹, 赵景逵¹, 李晋川², 王文英², 卢崇恩², 丁新启³, 柴书杰³, 陈建军³

(1. 山西农业大学土化系, 太谷 030801; 2. 山西省生物研究所, 太原 030006; 3. 平朔安太堡露天煤矿, 朔州 038506)

摘要: 矿区受损生态系统的恢复与重建是脆弱生态环境综合整治的重点和难点。13a 的平朔露天煤矿受损生态系统定点研究表明, 大型露天煤矿生态系统演变过程为 3 个阶段、4 个类型。生态受损引发因子包括挖掘、压占、占用和污染。生态受损特征表现为原生境在 100a 左右的时间尺度下, 以每年 7800 万 m³ 左右的岩土搬运速度, 累计消失 160km² 左右。而新形成的生境与原生境相比, 虽沟壑消失使地貌形态趋于简单, 但重新组合堆置的固相岩土结构松散、地层层序紊乱、地表物质更趋复杂、土壤性质更趋恶化, 加之区域性气候干旱, 天然植被恢复无法使受损生态系统发生顺向演替, 新的侵蚀地貌会加速形成。

关键词: 大型露天煤矿; 生态系统; 受损 生态失衡 平朔

Ecosystem damage in a large opencast coal mine —— A case study on Pingshuo Surface Coal Mine, China

BAI Zhong-Ke¹, ZHAO Jing-Kui¹, LI Jin-Chuan², WANG Wen-Ying², LU Chong-En², DING Xin-Qi², CHAI Shu-Jie³, CHEN Jian-Jun³ (1. Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801, China; 2. Shanxi Biological Institute, Taiyuan Shanxi 030006, China; 3. Pingshuo Antaibao Surface Coal Mine, Shuozhou Shanxi 038506, China)

Abstract: The restoration and rehabilitation for damaged ecosystems in mined areas is regarded as a key project. A study on the degraded ecosystem in the Pingshuo Surface Coal Mine for 13 years shows that development of this degradation can be divided into 3 stages and 4 types. The factors causing ecosystem damage include improper excavation, cover occupation and pollution of the land. As a result an area of 160 km² has been destroyed, at a stripped rate of about $7800 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ to rock and loess during the past 100 years. In comparison of habitats, between the original and post mining activities, the site is found under an extreme degradation, with looser pile to particle of rock and loess, disorder to geological strata, more complex surface material composition, exceptional infertile of soils, more serious erosion and irreversible natural vegetation restoration owing to arid climate except trending in simple topograph appearance for original gully filled. As the result, a new erosion landforms could be developed quickly if there was no effective artificial vegetation.

Key words: large opencast mine; ecosystem; damage

文章编号: 1000-0933(1999)06-0870-06

中图分类号: TD 98 S/28

文献标识码: A

露天开采同井工开采相比, 劳动生产率高 5~10 倍, 回采率高 30%~40%, 在安全上, 更有井工开采不

基金项目: “九五”国家重点科技攻关子专题(96-920-13-03-02)部分内容

参加研究的还有中国科学院地理所张立诚研究员、吴家燕研究员等。

收稿日期: 1998-09-10; 修订日期: 1999-01-28

可比拟的效果。因此,全世界目前 2/3 矿产原料是用露天开采,其中露天采煤最多的国家是德国、美国和前苏联,德国露天采煤为 75%,美国一半以上,前苏联为 1/3。我国煤炭资源总探明可采储量约 9760 亿 t,其中露天可采储量约 4600 亿 t,占总储量的 4.8%,虽其比例不高,但其建设速度和规模却会远远高出煤炭工业发展的平均值。另外,在同样条件下,规模大的露天矿其经济效益优于规模小的露天矿。因此,我国已把优先发展露天开采作为煤炭工业建设的基本技术政策,而且,在未来的 20a 中,我国露天开采以大型露天矿占主导地位,并有足够的条件,在未来 20a 内,把露天采煤比例由目前的 4% 提高到 15%^[1~3]。

然而,我国的大型露天煤矿大多处于干旱、半干旱的生态脆弱区,如平朔矿区、准格尔矿区位于黄土高原水土流失严重区,霍林河矿区、伊敏河矿区位于草原风沙区,神府东胜矿区位于毛乌素沙漠和西北黄土高原过渡地带的沙化区。故我国大型露天采煤区的生态环境问题更应引起高度重视。

本文以我国最先开发的大型露天煤矿,即平朔露天煤矿为研究对象,旨在探讨大型露天煤矿生态系统演变过程及受损特征,为生态恢复与重建提供基础理论依据。

1 研究区概况

1.1 地理位置和自然概况 平朔矿区地处黄土高原晋陕蒙接壤的黑三角地带,山西省的北部,地理坐标为东经 112°45'58"至 110°53',北纬 39°3'45"至 39°58'29"。

地质历史时期,本区为森林草原景观。近 2000a 来,由于破坏了面积广大的原有植被,促使了侵蚀地貌的形成。目前,本区地貌为黄土低山丘陵,海拔高度 1300~1400m。年均降雨量 450mm,且 65% 集中在 6~9 月,年均蒸发量 2160mm,年均温 6.2℃,年均风速 2.3~4.7m/s,最大风速 20m/s。地带性植被属干草原类型。地带性土壤为栗钙土,土壤有机质含量低、结构差,水蚀模数为 10000t/km²·a。风蚀模数为 2000t/km²·a。因此,本区生态系统抗逆能力很差,属黄土高原典型的生态脆弱区。

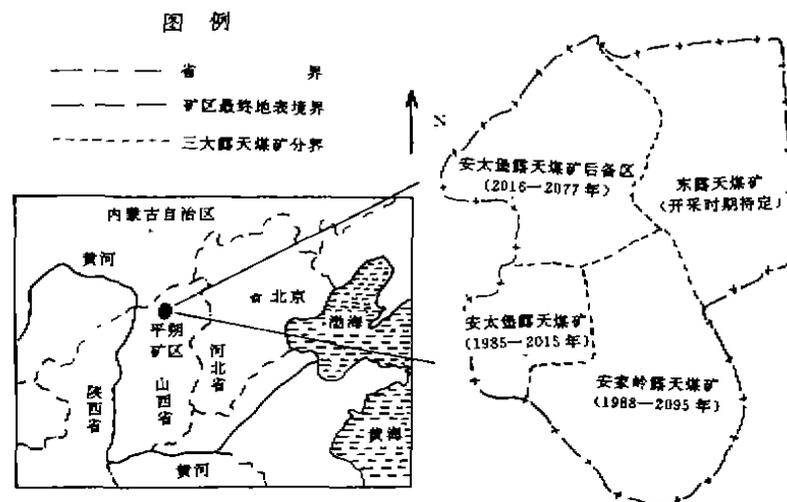


图 1 平朔矿区地理位置及三大露天煤矿示意图

Fig. 1 A sketch map showing geographical position of Pingshuo Mine and its three large Surface Coal Mines

1.2 工程概况 平朔矿区位于山西省朔州市境内,属宁武煤田北部区域,面积 380km²,地质储量 127.5 亿 t。

平朔矿区建设规模为 6500 万 t,其中,国家大型露天煤矿 4500 万 t,地方煤矿 2000 万 t。国家大型露天煤矿划分为 3 个矿田,即安太堡露天煤矿(以下简称 ATB 矿)、安家岭露天煤矿(以下简称 AJL 矿)和东露天煤矿(以下简称 D 矿),每个矿田的规模均为 1500 万 t。ATB 矿是平朔矿区第 1 个开发建设的大型露天

煤矿,面积 60km² 左右,服务年限 92a(1985~2077年),A、J、L 煤矿是平朔矿区第 2 个开发投产的大型露天煤矿,面积 53km² 左右,服务年限 97a(1998~2095年)。正在筹建中的 D 矿是平朔矿区第 3 个开发投产的大型露天煤矿,面积 46km² 左右,服务年限待定。平朔矿区地理位置及其三大露天煤矿总体布局如图 1 所示。

2 研究方法

在大量调查、分析的基础上,采用类比方法,对新形成的 400 余公顷的生境(排土场)和原生境(黄土低山丘陵)进行了系统全面地对比分析,内容包括时空扰动、挖损堆垫状况、岩土结构持状况、地层层序、地面形态、地表物质组成、土壤性状和植被恢复等方面。

主要参数测试方法 ①:水分测定 烘干法;②:容重测定 一般土层用环刀法,紧实土层用特殊容重取土器,石砾土层用充水法(平地)和填砂法(坡地);③:穿透阻力测定 土壤坚实度计;④:渗透系数测定 田间双环渗透法;⑤:径流系数测定 针孔式小型人工降雨器;⑥:径流模数和侵蚀模数测定 径流小区法;⑦:细沟侵蚀和浅沟侵蚀测定 体积测算法;⑧:溯源侵蚀速度测定 野外调查法;⑨:岩土成分测定 采用 L. R. Hossner(美)博士主编“露天矿土地复垦(Reclamation of Surface Mined Land)”中的“剥离物化学成分分析方法”^[4-5]。

3 结果与分析

3.1 矿区生态系统演变过程

矿区生态系统是以矿山生产作业区为核心的一个独特的人工、半人工生态系统,其辐射范围包括矿山职工及矿区农民所在地,甚至包括依托矿业演替而形成的乡镇、县市及工业小区。由于我国大多矿区处于生态脆弱区,故该系统在受损前的资源特点是地上光温资源较充足、地表水土资源较贫瘠、地下矿产资源较丰富;该系统在受损后,光温不变、水土废弃、矿产耗竭^[6]。该系统结构和功能的变化极大地受着矿山生产的性质、规模及服务年限的影响。

研究表明,大型露天矿生态系统演变分为 3 个阶段、4 个类型,如图 2 所示。由原脆弱生态演变为极度退化生态为第 1 阶段,即矿区生态系统破损阶段;由极度退化生态演变为生态重建雏形为第 2 阶段,即矿区生态系统雏形建立阶段;由重建生态雏形演变为重建生态相对稳定型为第 3 阶段,即矿区生态系统动态平衡阶段。第 1 阶段为结构、功能完全丧失过程,并产生较大的负效益(不考虑从系统中摄取的采矿利润)。第 2 阶段为结构与功能骨架恢复与调整过程,其主要目的是重塑地貌、再造土体、改善生境,所采取的措施主要是起水土保持、防风固沙等防护性功能,故产生的效益只能是以生态效益为主。同时,此阶段的社会效益也仅仅体现在减轻自然灾害方面,如保护新造土地不遭沟蚀破坏与石化、沙化,减轻矿区下游洪涝灾害与泥沙危害等,此阶段也可能获得少量的经济效益。第 3 阶段为结构合理、功能高效的持续过程,此阶段因保水、保土效益及生态效益较好,矿区生态系统已具有生产性功能的基本条件,即可考虑以经济效益为主

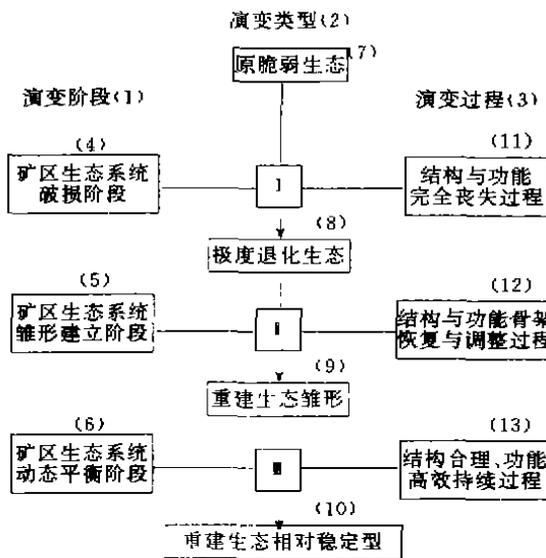


图 2 矿区生态系统演变的阶段和类型

Fig. 2 Stages of development of ecosystem in mined area and it's types

- (1) Develop stages (2) Develop types (3) Develop process
- (4) Damage stage of the mined ecosystem
- (5) Rudimentary formation stage of the mined ecosystem
- (6) Dynamic equilibrium stage of the mined ecosystem
- (7) Original fragile ecosystem
- (8) Extremely degraded ecosystem
- (9) Rudimentary of rehabilitated ecosystem
- (10) Ralative stable rehabilitated ecosystem
- (11) Loss process of structure and function
- (12) Regulation process of struction and function
- (13) Sustainable develop process of struction and function

导。同时,此阶段的社会效益不仅体现在减轻自然灾害上,而且已上升到促进社会进步,如改善农业基础设施,提高土地生产率,使失去土地的矿区农民重返家园,调整土地利用结构和农村生产结构,适应市场经济,提高环境质量,缓解人地矛盾,促进脱贫致富奔小康等。此阶段,才可能是矿区经济效益、生态效益和社会效益高度统一阶段。同时,由图3可知采取合理的生态恢复重建方案可减少破坏阶段的效益损失、缩短重建生态锥型和重建生态相对稳定型的形成时间。

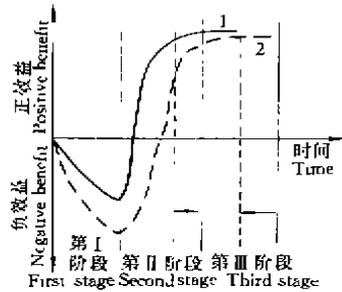


图3 矿区生态重建效益演变示意图

Fig. 3 A sketch map of benefit from ecological rehabilitation in mined area

— 不合理的重建方案 Irrational rehabilitated plan;
—— 合理的重建方案 Rational rehabilitated plan

因矿区生态系统演变的第2阶段和第3阶段必须建立在第1阶段的基础上,故本文将第1阶段的研究作为重点。此阶段,其生态受损引发因子包括:①挖损,对原地表形态、地层层序、生物种群的直接破坏,原生态系统不复存在;②压占,挖损产生的废弃岩土直接堆置于原地貌上,造成原生态系统的丧失。③占用,原有的土地利用类型变为容纳厂房、选煤场、运煤铁路、排土道路、供电通讯线路以及给排水管道的工业广场,这部分土地的占用仍然发挥着土地的使用价值,但占用过程会造成水污染和粉尘污染等。④污染,挖损、压占和占用过程中的粉尘污染、水土流失以及酸性、碱性、毒性物质通过径流对周围土地、水系和大气造成的污染,其影响面积超过矿区生产作业区。4个因子中,挖损和压占是直接的引发因子。

3.2 矿区生态系统受损特征

3.2.1 受损生态系统的时空扰动 表1比较了当代大型露天开采和以往小型露天开采的不同,可以看出,采矿使用的机械铲斗容由3~4m³发展为24m³,大6~8倍;运输卡车载重由27t、60t发展为154t、190t,载重增长3~7倍;年产原煤由50万t、100万t发展为1000万t、1200万t和1500万t,增长10~30倍,即目前一个大型露天矿的采煤量相当于80年代10~15个统配露天矿的产煤量、20~30个地方露天煤矿的产煤量,据统计,21世纪露天采煤规模和设备更趋大型化^[1]。因此,原生态系统的破坏程度将随着采矿规模和设备的大型化发生明显的变化,以ATB矿为例说明。

ATB矿服务年限92a,开采期内将至少触及4代人的生存空间;水平直接扰动面积60km²,垂直挖损深度100~150m,垂直堆垫高度30~150m,故大气圈、土壤圈、岩土圈、水圈、生物圈在矿区的那部分几乎全被扰动。另外,截至1996年,因采矿需搬迁6村,518户,2157人,搬迁2个煤厂(年产原煤29万t)、1个砖厂(年产1800万块)、1个瓷厂(年产180万套),征地2481.4hm²,加之文物探挖、附着物赔偿等,共需费用约1.5亿元,故大型露天开采不仅严重扰动自然环境,而且严重扰动了社会与经济环境。如果连同A1L矿和D矿再相继动工,在未来的100a左右,160km²左右的原生态系统将全部消失。

表1 当代大型露天开采与以往小型露天开采比较

Table 1 A comparison between modern large open-pit mining and traditional small open-pit mining

项目 Item	本世纪50年代至80年代小型露天矿 Small open-pit mine during 1950's~1980's	本世纪90年代大型露天矿 Large open-pit mine in 1990's	21世纪发展趋势 Trend in 21 century
机械铲斗容(m ³) ¹	3~4	24	40~53
运输车载重(t) ²	27,60	154,190	218~318
产煤量(·10 ⁴ t/a) ³	100(21个统配矿平均值) ⁴ 30(32个地方矿平均值) ⁵	1000,1200,1500	

¹Capacity of shovel; ²Load of truck; ³Output of coal; ⁴mean value from 21 coal Mine under the unified-allocation system; ⁵Mean value from 32 coal mine under the local-allocation system.

3.2.2 受损生态系统重组岩土结持状况 大约在中更新世,矿区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。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,很不稳定。

表 2 大型露天矿与小型露天矿排土场比较

Table 2 A comparison between dumping sites in large open-pit mine and ones in small open-pit mine

项目 Item	小型露天矿排土场 Dumping in small open-pit mine	大型露天矿排土场 Dumping in large open-pit mine	后者~前者 The latter to the former
岩土容量($\times 10^4\text{m}^3/\text{hm}^2$) ^①	33.0	69.2~45.2	1.4~2
排弃速度($\times 10^4\text{m}^3/\text{a}$) ^②	35.7	2520.0~2603.6	71~73
占地速率(hm^2/a) ^③	1.4	80.5~113.0	57~81
基底面积(hm^2) ^④	3.2	202~250	71~78
基底下垫面 ^⑤	单一 Simple	复杂 Complex	—

① Capacity of rock and loess; ② Rate of dumping; ③ Rate of covered land; ④ Base area; ⑤ Underlying surface of base.
* 山西阳泉露天铝矿排土场 1966~1990 年统计资料 Information from Yangquan Surface Bauxite Mine during 1966~1990; ** ATB 矿 1985~1992 年统计资料及 AJL 矿 1988~2019 年统计资料 Information from ATB Mine during 1985~1992 and AJL Mine during 1988~2019

由表 2 可知,大型露天矿排土场单位面积的岩土容量为小型露天矿排土场单位面积岩土容量的 1.4~2 倍,但前者的排弃速率和占地速率却是后者的数十倍,即填充同样的空间,大型露天矿要比小型露天矿快数十倍。同时由表 2 还可看出,大型露天矿排土场的基底面积一般也要比小型露天矿排土场的基底面积大数十倍,这就必然造成基底下垫面多样化,加之排弃物空间分布很不均一,故对上覆排弃层承载力不同,造成不同部位压缩沉降速率不一,即所谓的“非均匀沉降”^[65]。据资料,一般排土场的沉降率波动在 10%~20%(沉降系数为 1.1~1.2)之间,沉降过程延续数年,但在前 3 年沉降量可达到总沉降量的 80%,且夏季>春秋>冬季^[7],故排土场重组岩土颗粒间结持松散、容易变形。

3.2.3 受损生态系统地面形态及地层层序 由图 4 可知,ATB 矿原地貌是低山丘陵地貌,其地面形态多样,有平地、缓坡、陡坡、沟壑、河漫滩等。而堆垫形成的排土场呈平台、边坡相间分布的阶梯式地形,相对高度 100~150m,台阶坡面高度 20~40m,台阶坡面角>30°。故排土场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。同时,由图 5 中的地层柱状图可看出,原地貌地层层序为 C₂-C₃-P₁-N₂-Q₁-Q₁,而堆垫形成的外排土场是在原地层层序上增加了一个高 100~150m 的岩土混合排弃层,内排土场是在缺损原地层层序 C₂-P₁-N₂-Q₁-Q₁ 的情况下,在 C₂ 上添加了一个 300~350m 左右的岩土混合排弃层。故排土场地层层序缺损或紊乱。

3.2.4 受损生态系统地表物质组成及其性状 原地貌地表被第四纪黄土广泛覆盖。但由于采矿对原地层不同岩土层的彻底扰动,使排土场地表物质组成,绝大部分为赋存于表土下的数十米厚的土状物质和石状

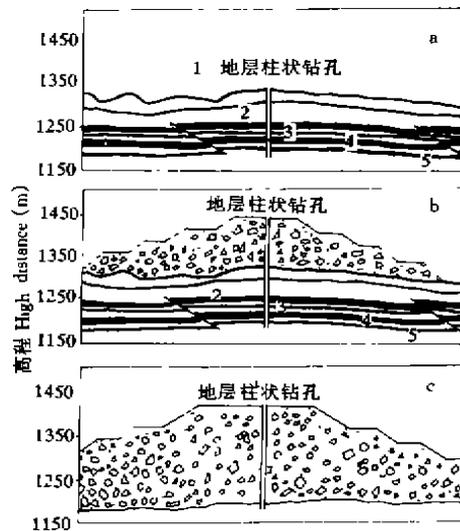


图 4 ATB 矿地形断面示意图

Fig. 4 A sketch map showing landform section of ATB Mine

a 原地貌 Original landform. b 外排土场 Occupied dumping. c 内排土场 Filled dumping, (1)地层柱状钻孔。(2)煤层

物质,即有黄土、红土、红黄土、土石混堆物、易风化的炭质页岩、泥岩和难风化的砂岩、砾石及少量废煤等。

对赋存 43.0m 范围内的黄土母质及易风化的砾石分段采样后进行分析化验,结果表明,有机质 1.4~3.8g/kg($n=9$),全氮 0.12~0.24g/kg($n=9$),全磷 0.29~0.55g/kg($n=9$),全钾 14.0~21.1g/kg($n=9$),速氮 11.0~18.0mg/kg($n=5$),速磷 2.2~6.7mg/kg($n=9$)^[5],故除钾外植物所需养分更趋贫乏。同时,由于洗煤砾石含硫 1.07%~3.19%,如果集中堆放、暴露地表,将会引起自燃及土壤酸化。另外,由于本矿岩土堆垫采用载重 154~190t 的重型卡车,此类车载重和规格已超过国家公路运输网络标准,所以称为“非公路卡车”(off high-way dump trucks)。因此,虽然排土场整体岩土结持松散,但其平台地表却严重压实,容重 1.6~1.9g/cm³,比原生境大 0.2~0.5g/cm³;稳渗率为 0.16~0.28mm/min,比原生境小 0.12~0.84mm/min;根系穿透阻力为 30~60kg/cm³,比原生境大 23.88~57.87kg/cm³;径流系数高达 68.8%,是原生境的 2.9~6.1 倍。故排土场地表物质更趋复杂、土壤理化性状更加恶化。

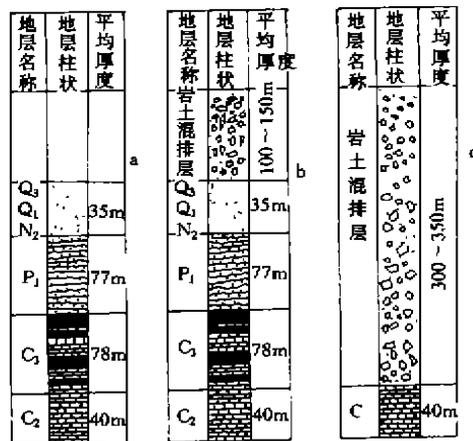


图5 ATB矿地层柱状示意图

Fig. 5 A sketch map showing geologic column of ATB mine.

a 原地貌 Original landform, b 外排土场 Occupied dumping, c 内排土场 Filled dumping, (1) 地层名称, (2) 地层柱状, (3) 平均厚度, (4) 岩土混排层

3.2.5 受损生态系统的稳定性及抗逆能力 研究表明,矿区受损生态系统的稳定性及抗逆能力决定于该系统的生境稳定性和植被恢复状况,尤其是排土场边坡稳定性更为重要。由于排土场边坡较陡,表层覆土松散,养分缺乏,加之降水量少且暴雨集中,天然植被侵入极少,盖度不到 10%,极易侵蚀。如 1994 年 6~8 月期间,共降雨 10 次,累计 331mm,边坡水蚀模数累计高达 27530t/km²(按土壤侵蚀强度分级指标, >15000t/km² 为剧烈侵蚀),其中 23000t/km² 是在百年不遇的一次暴雨中发生,为人工植被边坡水蚀模数的 6.9 倍。同时,由于平台严重压实,径流汇集边坡,平均切沟溯源侵蚀速度为 5.7m/a,是原地貌的 7.4 倍,加之排土场初期压缩沉降剧烈,如果工程措施不宜,导致径流紊乱,极易发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。故受损生态系统生境极差,对自然灾害抵抗能力更弱,天然植被恢复无法使系统发生顺向演替。如果人工植被速度赶不上,将会加剧新的侵蚀地貌形成。此种极度受损的生态系统,必须借助人工支持和诱导,首先进行以控制水土流失、改善生境为核心的植被重建工程,才能遏止其再度恶化。故其生态系统受损控制对策不仅需要引进与矿

区生态恢复重建有关的传统技术,更需要针对出现的新问题,研究新技术。

参考文献

- [1] 张敏媛. 当代露天开采与发展. 露天采煤技术, 1994, (4): 1~7.
- [2] 罗德权. 未来二十年中国露天煤矿的开发设想. 能源基地建设, 1992, (4): 3~5.
- [3] 罗德权. 中国露天煤矿的可持续资源估计. 露天采煤技术, 1995, (2): 2~6.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
- [5] 安太堡露天煤矿土地复垦协作组编. 黄土高原地区露天煤矿土地复垦研究论文集(第一集). 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [6] 白中科, 赵景遥, 朱荫湘. 试论矿区生态重建. 自然资源学报, 1999, 14(1): 35~41.
- [7] 苏文贤. 高台阶排土场的稳定性. 矿山技术, 1986, (3): 11~16.