

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

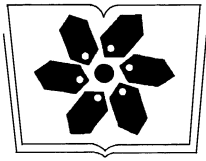
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁,刘世荣,史作民,等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋,苏建荣,刘万德,等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷,孔繁翔,谭 啸,等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲,黄小平,张大文,等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文,张春华,叶祖超,等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野,王 烨,贾黎明,等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬,罗承德,张 健,等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林,杨丙贤,宗学凤,等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华,李德文,庞海河,等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯,江 洪,由美娜,等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵,毛志泉,朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉,李吉跃,张方秋,等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民,魏 虹,孙晓灿,等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章,石福习,董小刚,等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵,王国安,李嘉竹,等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽,李守剑,李贤伟,等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春,张明海,孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波,王梦君,李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香,张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进,武予清,郁振兴,等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之,杜海峰,王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰,王 涛,宗世祥,等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平,李贵全,郭数进,等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮,谢英荷,任苗苗,等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠,成自勇,郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林,李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千,金晓斌,周寅康,等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进,魏朝富,李 渝,等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇,吕一河,傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁, B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰,胡 诚,李双来,等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化:探寻恢复之路 ——第三届国际荒漠化会议述评	吕一河,傅伯杰 (293)

美国煤矿废弃地的生态修复

张成梁^{1,2,3}, B. Larry Li^{3,*}

(1. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089; 2. 山西省林业科学研究院, 太原 030012;
3. University of California, Riverside, CA 92521-0124, U. S. A.)

摘要:在对美国煤矿废弃地生态修复项目实地考察的基础上,结合相关文献资料,介绍了其煤矿废弃地生态修复的管理体系、资金来源及使用\技术路线及保障措施。结合实例介绍了美国煤矿废弃地生态修复的工程措施,并重点介绍了“师法自然生态修复法”的新理念及其指导下的生态修复设计和生态修复工程建设。“师法自然生态修复法”是基于地形、地貌、水文、气象、气候等条件,模拟自然的生态修复过程。“师法自然生态修复法”将会对我国的生态修复产生积极而深远的影响。

关键词:“师法自然生态修复法”;废弃地;煤矸石

Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States

ZHANG Chengliang^{1,2,3}, B. Larry Li^{3,*}

1 Environmental Protection Research Institute of Light Industry, Beijing 100089, China

2 Shanxi Forestry Academy, Taiyuan 030012, China

3 University of California, Riverside CA 92521-0124, USA

Abstract: On the basis of field visits of the ecological reclamation projects in the United States abandoned coal mine, along with the relevant literature, we reviewed the current practices in the United States on their management, funding usage, and the technical route of the ecological reclamation and restoration of mine waste. Engineering measures of ecological restoration for abandoned coal mine were described with several examples. A new idea named "Geomorphic Reclamation" was introduced as a fundamental shift in the current theory and practice of ecological restoration of mining sites, which is an integrated approach, learning from Nature, along with the combination of geomorphic, topological, soil, ecological, hydrologic and climate/weather conditions, for the planning, design and implication of ecological reclamation and restoration. We address the potential of Geomorphic Reclamation in China and outline how such positive and potentially far-reaching impact approach can be used in Chinese mining restoration and management.

Key Words: Geomorphic Reclamation; abandoned coal mine; gangue

美国及其他发达国家很早就注意到了煤矿开采对环境造成的危害及其引发的其他社会矛盾^[1-4]。二次世界大战前,美国就已开展矿区采矿后的土地修复,并制定相关的法令和法规强制执行。现代3S技术和其他新技术、新理念在生态修复中得到广泛应用^[5]。生态恢复的目标也不仅仅是种树种草,而是建立一个能够自我维护、运行良好的完整生态服务系统^[6-7]。相对而言,我国的研究和立法都很滞后。20世纪80年代开始,研究工作才有了长足发展^[8],并逐步开始建立法规^[9-10]。本世纪初,各地开展了大规模的生态修复项目,但法规执行力度和生态修复效果都很不理想^[11]。无论是管理体制,还是技术措施都远不能满足矿区损毁地生态

基金项目:林业公益性行业科研专项-建设工程损毁林地植被修复关键技术与示范(200904030);科技部国际科技合作项目-矿区生态修复关键技术与示范(2009DFA930103);山西省国际科技合作项目-中美合作煤矿区损毁林地植被恢复关键技术研究(2009081045)

收稿日期:2010-08-13; **修订日期:**2010-11-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bai-lian. li@ucr. edu

修复的要求^[12],无法使其恢复到采矿前的状态或亚健康状态^[13]。借鉴和学习美国等发达国家的经验,对于改进完善我国的生态修复技术,提高管理水平很有必要。

笔者 2009 年 8 月至 2010 年 2 月,通过考察美国煤矿的生态修复项目,并与政府工作人员、工程技术人员广泛交流,对美国目前的生态修复现状、设计理念及主要技术有了深入了解。本文拟将所见所感介绍给国内的相关人员,希望对我国煤矿区废弃地的生态修复工作有所启发和触动。

1 基本类型

美国煤矿废弃地主要包括历史遗留下的废弃煤矿和目前仍在开采毁损的土地。主要类型包括废弃物堆(煤矸石、垃圾、弃渣)、塌陷区、旧建筑物占压区、井口、通道等。

2 相关术语

在美国,与煤矿区生态恢复相关的名词术语表述多种多样,相对应于目前国内常用的术语大致为^[14-15]:

- (1)生态恢复、土地整理、土壤修复、生态重建、土地复垦
- (2)植被恢复
- (3)煤矸石山
- (4)煤矸石
- (5)燃烧后的煤矸石

3 煤矿废弃地生态恢复的管理

3.1 基本法规

美国的采煤始于 18 世纪 40 年代,20 世纪 30 年代才开始进行大规模的露天开采。20 世纪 30 年代末期,各州开始建立各自管理煤矿的法规(西佛吉尼亚 West Virginia,1939 年;印第安纳 Indiana,1941;伊利诺斯 Illinois,1943;宾夕法尼亚 Pennsylvania,1945)。当时尽管建立了法规,但由于第二次世界大战期间对煤炭的巨大需求,各州很少关注采矿引发的环境问题。二战结束后,各州又继续制定法规,并扩展了工作范围。一些州颁发采矿许可证或者预交保证金,以确保采矿以后土地得以完全恢复,但是这些法规对于减轻采矿对环境的影响方面效果不明显。问题之一是由于州与州之间的法规互不相同,采矿企业会转移到要求不严格的州去开采。与此同时,煤矿露天开采变得越来越普遍,露天开采在煤矿开采中所占比例 1963 年只占 33%,1973 年达到 60%。1974 和 1975 年,议会向 Gerald Ford 总统提交采矿管理议案,但因该议案会损害煤炭工业、增加通货膨胀、限制能源供应而被否决。Jimmy Carter 为兑现其在 1976 年阿巴拉契亚竞选中的承诺,才于 1977 年 8 月 3 日签署了议会提交的更为严格的法规——《露天矿管理及生态修复法》(SMCRA)。

美国目前强制实施的生态恢复就是依据 1977 年由美国联邦政府颁布实施的关于露天开采煤矿的法规——《露天矿管理及生态恢复法》《Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977 (SMCRA)》^[16]。SMCRA 的出台缘于露天开采引发的诸多环境问题,以及由此导致的许多社会问题。在社会各阶层强烈要求下,国会多次向政府提交议案后,该法规才得到签署,并被颁布实施。SMCRA 是目前美国联邦政府和各州遵循的一个最基本和最主要的法规。

该法规包括两部分的内容:一部分是关于在采煤矿的环境保护问题,另一部分是关于废弃煤矿的生态恢复问题。历史遗留矿区的恢复由政府负责;在采煤矿区的生态修复由采矿企业负责。依据该法规,内务部(Department of the Interior)设立了露天开采管理办公室(Office of Surface Mining(OSM)),负责颁布法规、管理生态修复基金,保证国家项目实施的连续性;各州政府也设置不同的管理部门。以新墨西哥为例,州政府的能源矿产局下设矿产处(the Mining and Minerals Division)。矿产处将生态恢复分为废弃地生态修复管理办公室(Abandoned Mine Land Program)和采矿区生态修复执法办公室(Mining Act Reclamation Program),分别负责历史遗留的废弃矿山(1977 年以前)的生态修复,和各种在采或新开矿的生态修复。

3.2 工作职能

依据 SMCRA,露天开采执法管理办公室、各州以及其他组织开展相关工作。

3.2.1 制定标准

制定煤矿开采和采后恢复的相关环境标准。联邦政府制定了详细的生态修复标准,各州在联邦政府标准的基础上,根据实际情况编制更为详细和更为确实可行的生态修复标准。标准涵盖土壤、植物种类、植被盖度、动物栖息环境等。

3.2.2 颁发许可证

采矿实行许可证制度。煤矿企业在开采前要获得许可证,而后方能开采。许可证申请者必须按照联邦政府和州政府的规定编制生态修复计划,详细说明开采前的环境条件和土地利用方式,采矿过程及采后恢复的效果,以及如何达到 SMCRA 要求的标准,恢复后的土地利用方式等等。生态修复计划通过后,政府才会颁发采矿许可证。

3.2.3 管理保证金

SMCRA 要求煤矿企业预先缴纳足够数额的生态修复保证金,以确保采矿后的生态环境得到恢复。即便该煤矿企业倒闭或由于其他任何原因导致采煤后没有恢复,也有足够的资金保证用于生态修复。

3.2.4 建立基金

依据 SMCRA 建立废弃地恢复基金,用于 1977 年颁布法规之前的废弃地恢复。1990 年法规做了调整,也允许基金用于 1977 以后的矿区废弃地恢复。基金的来源是采煤税。征收采煤税标准为:露天开采每吨煤 35 美分,地下开采每吨煤 15 美分,开采褐煤每吨 10 美分。80% 的恢复基金用在各州核准了的废弃地恢复项目上,20% 由 OSM 用于一些突发紧急事项,诸如坍塌、火灾,以及各州未经核准的一些紧急项目上。

3.2.5 监督法规的执行

SMCRA 授权政府执法人员检查各地的煤炭开采,处罚违犯 SMCRA 和类似法规的企业。检查人员可以对违规企业发出“违反通知书”,要求企业限期整改,也可对企业进行罚款,甚至下达关停命令等。

3.2.6 土地管制

SMCRA 限制在某些地方进行露天采矿,如国家公园、原始地区。允许公民对在建露天开采项目引发的环境危害提出质疑。

3.3 联邦政府与各州之间的协作关系

SMCRA 与 20 世纪 60、70 年代颁布的其他环境方面的法规一样,也是在联邦政府监督下由各州具体执行。依据 SMCRA,如果一个州制定了与 SMCRA 一样或更严格的法令,并且拥有管理机构和必要的资金,联邦政府就可以授权该州政府管理生态恢复项目。目前,大多数开采煤炭的州都有联邦政府的核准项目。这些州颁发自己的采煤许可证,监督煤矿生产,必要时执行自己的法令。只有田纳西州、华盛顿州以及印第安人保护区由联邦政府直接管理。

4 废弃矿山的生态恢复

4.1 生态恢复资金来源

废弃矿山(Abandoned Mine Land)(AML)指煤矿关闭、废弃后留下的对人类和环境都构成严重威胁的煤矸石堆、矿井、塌陷地等。目前所谓的矿山废弃地生态修复一般指 1977 年 SMCRA 颁布实施以前关闭煤矿遗留下的废弃地的生态修复。按照该法规,各州和有关单位均可向 OSM 申请使用矿山废弃地的生态恢复基金。联邦政府批准、发放生态恢复基金,优先考虑的 3 个条件:

- (1) 采矿导致公共健康、安全、福利、财产受到严重威胁的地区;
- (2) 采矿、加工给公共健康、安全、福利、财产带来负面影响的地区;
- (3) 采矿、加工引起土地、水质和环境明显退化区域的修复,包括土壤、水、林地、渔业、野生动物、旅游、农业资源的保护和利用。

4.2 生态恢复基金的使用

OSM 每年给各州的废弃地生态恢复项目提供一定经费,用于管理工程。如果使用联邦政府的生态恢复

资金,就必须严格执行《美国联邦政府环保法》(National Environmental Policy Act)(NEPA)。从开始申请、资格认定、项目评估到获得资助以至废弃矿区生态恢复所有工作完成,整个过程往往需要几年或更长的时间。

4.3 生态修复的过程及内容

第一步,明晰土地所有权 煤矿废弃地的土地一部分属于政府所有(联邦政府或州政府),一部分属于私有。项目开始前负责生态修复的企业首先要就生态恢复事宜与土地所有者达成一致意见,土地所有者填写准许进入表后方可实施。

第二步,请有关专家鉴定项目区是否有稀有濒危植物和濒危野生动物。

第三步,环境影响评价或者其他许可 由政府有关部门,包括文物、鱼和野生动物保护机构对生态恢复项目及其恢复过程进行评估。

第四步,生态恢复设计 工程技术人员汇总各项规章制度和审批文件制定生态修复计划及施工设计,编写《生态恢复项目手册》。《生态恢复项目手册》包括说明书、图纸、投标文本等。

第五步,公众讨论 项目计划通过媒体和会议的方式广泛征求各界人士的意见,并不断改进完善项目计划。

第六步,投标 生态修复项目管理部门向报名参加投标的建设公司发放通知,并通过政府网站、政府采购部门向社会发放招标信息。投标单位可以免费向生态修复项目管理部门索取《生态恢复项目手册》。项目管理部门根据投标人的陈述、设备和完成项目必需的其他资质决定候选人,然后低价中标。政府采购部门公布中标承包人,项目管理部门负责实施。

第七步,施工 确定承包人后就进入施工阶段。工程结束,完全验收合格后方可付款。

工程内容通常包括:(1)清理废物;(2)加固或清除危险建筑物和浮石;(3)填充、堵塞危险洞穴;(4)用门和石墩封堵坑口、矿井;(5)覆盖表土;(6)植被恢复。

第八步,养护 工程完结后的几年,项目管理部门会经常监测生态恢复的效果以及毁损情况,必要时进行补修。

废弃地生态恢复后,目前多作为森林公园或其他景观用地用于休闲、观光,由政府或一些社团组织管理。一些地区的老矿井、旧机器经安全处置后作为旅游观光景点,供游人参观。

5 典型废弃地生态恢复案例

5.1 煤矸石堆的生态恢复

5.1.1 项目概况

美国的煤炭开采目前大多为露天开采,煤矸石多数与其他废弃物混堆,煤矸石自燃现象不是十分严重。在新墨西哥曾经有过发生自燃的区域,采用推散冷却的办法灭火。目前新墨西哥有一个煤矸石山生态恢复项目-The Sugarite Gob Pile Reclamation Projects(1999—2006)。

项目区位于新墨西哥州府圣达菲东北部 Raton 镇的 Gugarite Canyon Coal Camp。该煤矿最早在 1880 年由荷兰人开采,1912 年开始大规模开采,1941 年基本停产。煤矿的大部分设施保留下来,进行必要的安全加固后,目前作为新墨西哥州的一个森林公园供游人休闲观光。区内有 3 个大型煤矸石堆。1999 年开始对其中的 2 个进行生态恢复,目前初见成效,现着手对第 3 个进行生态恢复^[17]。

该煤矸石山恢复前煤矸石风化物的 pH 值为 5.8,可溶性盐(EC)4.54 mmhos/cm,钠吸附比(SAR)24,沙砾含量 33%、粉砂 27%、粘粒 40%,土壤质地粘重。坍塌、滑坡时有发生,侵蚀沟深达 4m,地形破碎。

该煤矸石山生态恢复的目标是:改善河流水质和水环境;保护采矿遗迹和煤矸石山;降低煤矸石山深沟和陡坡的危害。

5.1.2 生态修复主要技术措施

在煤矸石山的生态修复过程中,对地形不做太大的整理,依据不同坡度和其他条件采取不同的技术措施。图 1—图 10 是采取的主要技术措施。

将草捆(图1)水平放置在坡面上,对于压条起到覆盖的作用,同时拦截上游的泥沙,为植物生长创造有利条件,逐步形成坡面控制水土的生物篱(图2)。



图1 草捆拦蓄坡面

Fig. 1 Straw bale terrace test installation

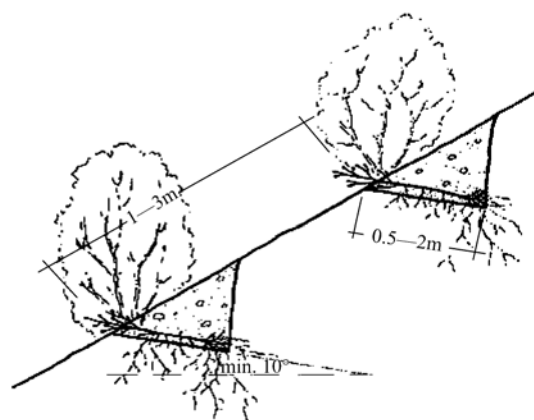


图2 生物篱篱笆

Fig. 2 Hedge layer construction

将椰棕丝装入网桶内,形成长圆柱(图3),然后放置在沿坡面等高线开挖的水平条上(图4),并用木桩固定,起到拦蓄泥沙的作用。相对于土埂石埂,可以透水,不容易冲垮可以较长时间起到拦蓄的作用。



图3 椰棕丝卷护坡

Fig. 3 Coconut coir roll for Slope protection



图4 水平条

Fig. 4 Horizontal bar of coconut coir roll

在侵蚀沟内填充树枝(图5)和木棍(图6),可以阻止侵蚀进一步下切,逐步拦蓄泥沙,为植物的定居创造条件,最终实现植物固坡,生态恢复的目的。

将粉碎的枯枝落叶或稻草装入麻质筒袋,放置在侵蚀沟内,拦蓄泥沙,逐渐抬高侵蚀基准点,阻止下切,植物随后定居。粉碎的枯枝落叶(图8)是很好的土壤改良材料,也是较好的覆盖材料。

土壤流失严重的地方喷播(图9)可以有效控制土壤流失。排水系统不用水泥,而是用石块堆砌或是用石笼修砌(图10),不至因地形变化而受损。

5.1.3 目前存在的问题

该煤矸石山经过几年的治理,基本达到预期目标,但也存在一些问题。问题之一,喷播后,在煤矸石表面形成了2—3cm的人造覆盖层,此覆盖层对于减少坡面表土流失有很大作用;但也很大程度上妨碍了植物生长,首先,喷播后不利于自然种子的落地生根,其次也限制了幼苗的生长。目前试用白萝卜作为先锋植物,希望白萝卜死亡后留下的空隙为其他植物提供生存空间。另一个制约问题是工程费用昂贵,此项目的实际费

用为每公顷 37.5 万美元。因此,积极探讨低价高效的治理模式也迫在眉睫。



图 5 树枝填堵侵蚀沟

Fig. 5 Branch packing of gullies



图 6 树枝填充侵蚀沟,阻止进一步下切

Fig. 6 Preventing further sapping



图 7 拦蓄泥沙的草条

Fig. 7 Sediment Control Logs



图 8 用粉碎的枯枝落叶改良土壤

Fig. 8 Amendment of Gob Soils



图 9 坡面高压喷播

Fig. 9 High pressure spraying in slope



图 10 柔性排水系统

Fig. 10 Flexible drainage system

图 11—图 13 展示煤矸山生态修复的效果。



图 11 1999 年治理前地貌

Fig. 11 The effect of ecological restoration on 1999



图 12 2001 年治理效果

Fig. 12 The effect of ecological restoration on 2001

5.2 在采露天煤矿的生态恢复

在采露天煤矿的生态修复行政管理归“采矿业生态恢复管理办公室”,资金一般由企业自行筹集。待生态恢复项目完成及政府验收后,企业方可收回其保证金。

5.2.1 项目概况

项目区位于新墨西哥州西北部 Farminton 的 La Plata mine 煤矿。La Plata 煤矿由全球最大的采矿业公司必和必拓(BHP Billiton)经营。2001 年矿区的生态修复首次采用“师法自然生态修复法”^[18]理念和技术。

项目的预期目标为:排水渠道满足径流标准,长期稳定;降低长期养护费用;为野生动植物提供多样性的

栖息生存环境;及时收回保证金。项目经过 3a 的建设,构建成了一个景观相互协调、物种多样、高效持久的生态环境,取得了明显的社会效益、经济效益和生态效益。2004 年美国内政部(U. S. Department of Interior National)向其颁发了 2 个生态修复大奖“2004 Excellence in Surface Coal Mining & Reclamation National Award”和“2004 The Best of the Best Award”^[19]。

5.2.2 师法自然生态修复法的概念

美国生态修复的方式主要包括“传统概念上的生态修复”和一种在新理念下的生态修复模式——“师法自然生态修复法”^[20]。

传统的生态修复模式(图 14)一般是“水平梯形坡面,直渠排水”的地形设计,其人工迹象很多,修复后景观与周边不协调,水土保持效果也不好,需要长期的人工养护,费用较高。

目前美国采用一种“师法自然生态修复法”的生态修复理念及技术。Geomorphic 按照一般的中英文翻译为“地形法”或“地貌法”,但根据其实际工作范围及其所涉及的学科,更接近于中文的“自然模拟法”或者“自然地理模拟法”。其中 Reclamation 中文一般翻译为“复垦”,而复垦在中文中意思也显局限,不足以包括其全部内容或与部分内容有所不符。综合中英文的字面意思及其实际工作内容及学科概念,将其译为“师法自然生态修复法”。其基本内涵是:应用现代 3S 技术,在对扰动区或周边地形、地貌、水文、气象、气候等条件进行详细了解和调查的基础上,利用计算机模拟技术,设计出一种近似自然地理形态的人工修复模型,并按照设计模型施工的一种生态恢复方法(图 15)。修复后的景观与周边相协调,坡面保持长期稳定^[21],最大限度保蓄水土^[22],为乡土微生物、植被和动物提供一个原生态环境^[23-24]。坡面不增加额外水土保持措施不会产生坡面



图 13 2006 年恢复效果

Fig. 13 The effect of ecological restoration on 2006

径流,蜿蜒曲折的排水渠道和连续的集水坑使流域内所有的雨水入渗和蓄积^[25]。整个修复后的生态系统能够自我维护,自我保持,功能逐渐增强^[26-28]。



图 14 传统的模式(Nicholas Bugosh 摄)

Fig. 14 The traditional mode of ecological restoration
(Photo from Nicholas Bugosh)



图 15 新的模式(Nicholas Bugosh 摄)

Fig. 15 The new mode of ecological restoration (Photo from
Nicholas Bugosh)

5.2.3 “师法自然生态修复法”的过程和内容

“师法自然生态修复法”最重要的一个理念是:模拟自然,尤其是地形、地貌、水文、生态等,构建人与自然和谐,依靠自然、人工促进的生态修复过程(图 16)。

“师法自然生态修复法”过程包括:

(1)首先依据复杂系统理论、应用数学,应用计算机模拟等先进技术对整个生态修复区进行整体设计,尤其是流域内的径流路径的模拟自然设计;

(2)由一辆在 GPS 控制下的推土机按照整体设计、整理地形,对修复区进行填垫、平整、土体搬运,基本达到填方和挖方平衡;

(3)地形整理完成后,修砌排水渠道。径流路径由许多锯齿状的集水坑和蜿蜒的渠道组成,径流会因石块拦蓄或在蜿蜒曲折路径的流动过程中全部入渗,不再需要其它拦蓄设施;

(4)地表重塑工作完成后,就形成了一个与上下游及周边地形相互衔接的完整流域。然后将表土铺覆在整理好的地面上;

(5)将地形整理过程拣出的石块填充在排水渠道容易冲刷的地段;

(6)在一些有利于野生动物栖息的区域用石块堆砌洞穴(图 17);

(7)疏松表土、蓄水增墒,改善植物根系分布区的土壤水分,满足植物生长需要;

(8)播种,进行植被恢复;

(9)播种后用当地的干草覆盖(图 18);

(10)养护,根据实际情况进行灌溉。

项目实施后,土壤水分含量有很大提高。表土覆盖在 2005 年经受住了 100a 一遇的降雨,达到 NPDES 要求标准;蓄水池也在 2006 年 7 月经受住了 200 年一遇暴雨的径流考验。其侵蚀强度与周边未经扰动区域相近。



图 16 “师法自然生态修复法”效果(Mickey Ginn, SJCC 摄)

Fig. 16 The effect of Geomorphic Reclamation (Photo by Mickey
Ginn, SJCC)



图 17 石块堆砌的洞穴

Fig. 17 Cave piled by stones



图 18 干草覆盖

Fig. 18 Hay covering

5.2.4 “师法自然生态修复法”的应用评价

使用该方法可比传统生态修复方法节约投资 10% 以上。地形整理过程中,80%—90% 的费用花在土体的运移上,最后的地形塑造只占修复费用的一小部分。本方法的优点是施工过程能充分利用斜坡,可以节省土方回填费用。

(1) 采用本法施工后一般不需要返工,也不需要长时间的人工养护,大大降低了养护成本。

(2) 该方法会增加排水渠道修建的难度,渠道修建费用略有增加,但充分利用土体中的石砾,又可以降低开沟和渠道铺装的费用。

(3) 径流路径如果要与周边自然径流路径相衔接,往往需要详细的测量,精确的设计。

(4) 推土机等大型重型机械使用过多,造成土壤压实严重。

(5) 工人的技能、彼此的沟通和信息反馈以及机械操作都直接影响施工质量和生态效果,个人差异比较大。

(6) 如何搬动土体,如何使搬运量最小化,砾石在渠道和坡面的堆放是否会引发其它问题以及基于“师法自然生态修复法”的行政管理、规章制度建立、技术标准的确定等都是未来面临的挑战,需要慎重对待和给予关注。

6 “师法自然生态修复法”的启示

经过考察学习,对美国现行的煤矿区生态修复有了一个比较深入的了解。对比我国的相关工作,也有一些个人的粗浅体会,希望与我国同仁交流。

从管理体制看,我国也已建立起了相对完善的管理体系,可能要从执行的力度和方法上下功夫,使矿区的生态修复真正在法规的监督下执行。美国生态修复实行保证金制度后,大大调动了企业生态修复的主观能动性。为了及时收回巨额保证金,企业不惜重金研发生态回复的新技术新工艺。有的企业从采矿开始就为日后的生态修复做准备,如表土储存待用,创面开挖设计等等。由于生态修复验收时间较长,避免了企业的短期行为,确实做到自我养护,回归自然的效果。我国也实行了生态修复保证金制度,山西省作为试点省 2008 年开始按照吨煤也征收生态恢复基金,如何用好、管好这些资金是我们必须关注的问题。借鉴美国的经验,生态修复验收的时间应为 5—10a,避免“人一走,树就死”的人工暂时维系的生态修复工程。生态修复的理念决定标准制定、设计思路、施工方案、材料选择、养护时间、工程验收和保证金发放等一系列工作的方式和方法。

美国目前推广应用的“师法自然生态修复法”对人们应该有很大启示,对生态修复理念的影响也许将是深远而深刻的。如何借鉴和应用这一理念,是我国决策、管理、研究、技术、实施诸多领域和方面需要深入领会并改进的。希望与我国相关学者、工程技术人员就“师法自然生态修复法”加强合作、共同提高。

References:

- [1] Giles A W. The geology and coal resources of the coal-bearing portion of Lee County, Virginia. Virginia Geological Survey Bulletin, 1925, 26: 1-20.
- [2] Cherry D S, Currie R J, Soucek D J, Latimer H A, Trent G C. An integrative assessment of a watershed impacted by abandoned mined land discharges. Environmental Pollution, 2001, 3: 377-388.
- [3] Hu Z Q, Zhao Y L, Bi Y L. Restoration of Coal Mine in the United States. China Land, 2001, (6): 43-44.
- [4] Yi D T, Nan Z R, Jin C Z. Current Status of Study of Ecology in Mining Areas and Its Perspectives. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(2): 238-244.
- [5] Suding K N, Hobbs R J. Threshold models in restoration and conservation: a developing framework. Trends in Ecology and Evolution, 2009, 24(5): 271-279.
- [6] Jackson S T, Hobbs R J. Ecological restoration in the light of ecological history. Science, 2009, 325: 567-568.
- [7] Palmer M A, Filoso S. Restoration of ecosystem services for environmental markets. Science, 2009, 325: 575-576. Hu Z Q, Zhao Y L, Cheng L L. China Land Science, 2004, 18(3): 3-8.
- [8] Li J C, Bai Z K. Land reclamation and ecological reconstruction of opencast coal mine - Research and practice of Pingshuo opencast coal mine. Beijing: Science Press, 2000: 142.
- [9] Hang M h, Luo Y M. Mining land restoration and ecological restoration. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(2): 161-169.
- [10] Li Y G, Jiang G M. Research progress of ecological reconstruction of mining wasteland. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 95-100.
- [11] Hu Z Q, Wei Z Y, Qin P. Concepts and methods of the soil reconstruction of mine reclamation. Soils, 2005, 37(1): 8-12.
- [12] Zhou L B. Mine reclamation and ecological restoration. China Nonferrous Metals Industry, 2004, (6): 19-21.
- [13] Wang J, Zhou Y. Discussion of mine land reclamation. Mining Engineering, 2005, 3(2): 47-49.
- [14] Hu Z Q, Bi Y Li. Relationship between the concept of rehabilitation and ecological reconstruction. Coal Mining Environmental Protection, 2000, 14(5): 13-16.
- [15] Hu Z Q, Zhao Y L, Cheng L L. Objectives and content expansion of land reclamation in China. China Land Science, 2004, 18(3): 3-8.
- [16] Tomain J P. Surface mining control and reclamation Act(1977) [2010-04-15]. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-3407400278.html>.
- [17] Edward G. State and Federal Roles under the Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977, 21 S. Ill. U. L. J. spring 1997: 531.
- [18] Bugosh N. Can Appalachian mine reclamation be called sustainable using current practices // OSM Technical Interactive Forum Geomorphic Reclamation and Natural Stream Design at Coal Mines. Charleston: Office of Surface Mining, 2009: 28-30.
- [19] Place D, Brown C, Cooper C. Geomorphic reclamation at BHP Billiton's New Mexico // Coal-successes, challenges & future, natural stream & design at coal mine-a interactive forum. Waterflow: New Mexico Mining and Minerals Division, 2009: 28-30.
- [20] Bugosh N. Computerizing the fluvial geomorphic approach to land reclamation // The 2004 National Meeting of the American society of mining and reclamation and the 25th west Virginia surface mine drainage Task Force. Lexington: American Society of Mining and Reclamation, 2004: 18-24.
- [21] Hancock G R, Willgoose G R. An experimental and computer simulation study of erosion on a mine tailings dam wall. Earth Surface Processes and Landforms, 2004, 29: 457-475.
- [22] Toy T J, Chuse W R. Topographic reconstruction: a geomorphic approach. Ecological Engineering, 2005, 24: 29-35.
- [23] Harris J. Soil microbial communities and restoration ecology: facilitators or followers. Science, 2009, 325: 573-574.
- [24] Huxel G R, Hastings A. Habitat loss, fragmentation, and restoration. Restoration Ecology, 1999, 7(3): 309-315.
- [25] Toy T J, Hadley R F. Geomorphic design and management of disturbed lands. Sediment and the Environment, 1989: 145-153.
- [26] Eviner V T, Hawkes C V. Embracing variability in the application of plant-Soil interactions to the restoration of communities and ecosystems. Restoration Ecology, 2008, 16(4): 713-729.
- [27] Callahan M A Jr, Rhoades C C, Heneghan L. A striking profile: Soil ecological knowledge in restoration management and science. Restoration Ecology, 2008, 16(4): 604-607.
- [28] Nicolau J M. Trends in relief design and construction in opencast mining reclamation. Land Degrade & Development, 2003, 14: 215-226.

参考文献:

- [3] 胡振琪, 赵艳玲, 毕银丽. 美国矿区土地复垦. 中国土地, 2001, (6): 43-44.
- [4] 尹德涛, 南忠仁, 金成洙. 矿区生态研究的现状及发展趋势. 地理科学, 2004, 24(2): 238-244.
- [8] 李晋川, 白中科. 露天煤矿土地复垦与生态重建——平朔露天矿的研究与实践. 北京: 科学出版社, 2000: 142.
- [9] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复. 土壤学报, 2003, 40(2): 161-169.
- [10] 李永庚, 蒋高明. 矿山废弃地生态重建研究进展. 生态学报, 2004, 24(1): 95-100.
- [11] 胡振琪, 魏忠义, 秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法. 土壤, 2005, 37(1): 8-12.
- [12] 周连碧. 矿山复垦与生态恢复. 有色金属工业, 2004, (6): 19-21.
- [13] 王剑, 周跃. 矿山土地复垦的探讨. 矿业工程, 2005, 3(2): 47-49.
- [14] 胡振琪, 毕银丽. 试论复垦的概念及其与生态重建的关系. 煤矿环境保护, 2000, 14(5): 13-16.
- [15] 胡振琪, 赵艳玲, 程玲玲. 中国土地复垦目标与内涵扩展. 中国土地科学, 2004, 18(3): 3-8.

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China	MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest	LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)
Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake	GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China	FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi	LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme	XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River	LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty	YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf	SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods	WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium	JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China	ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China	LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands	RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
Prey biomass of the Amur tiger (<i>Panthera tigris altaica</i>) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China	ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
The impact of conservation projects on giant Panda Habitat	ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment	GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG)	MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities	NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population	PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi	WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland	LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years	LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county	XIE Hualin, LI Xiubin (230)
Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China	YANG Zhen (239)
Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area	LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
Review and Monograph	
Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion	LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States	ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
Managing farmland soil food web: principles and methods	CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

