

## 石灰岩矿山生态恢复方法和实践\*

杨涛<sup>1</sup>, 彭立君<sup>2</sup>, 武富强<sup>1</sup>, 罗雪贵<sup>1</sup>

(1. 河南省地球物理工程勘察院, 郑州, 450000; 2. 河南省正大环境科技咨询工程有限公司, 郑州, 450000)

**摘要:**就矿山生态恢复的研究历史 and 实践、重建的理论基础等问题进行了调查研究, 对生态重建的技术方法和复绿植物的选择等核心问题进行了探讨, 并通过新乡市西山治理工程实践, 介绍了石灰岩矿山生态恢复的方法。

**关键词:**生态恢复; 方法; 石灰岩矿山; 新乡市西山

**中图分类号:**TD8 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0076(2009)02-0037-06

### The Research on Ecological Restoration Methods and Practice of Limestone Mine

YANG Tao, PENG Li-jun, WU Fu-qiang, et al.

(Henan Academy of Geophysical and Engineering Exploration, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** In this paper, some problems of the mine ecological restoration were investigated, including its studying history, practice and the theoretical basis of reconstruction. And the key problems about ecological reconstruction of limestone mine were discussed, such as the technology method reconstructing and the choice of restoring green plants. By the regulation project practice with Xishan limestone in Xinxiang city, the ecological restoration methods of limestone mine were introduced.

**Key words:** ecological restoration; method; limestone mine; Xishan in Xinxiang city

我国是石灰岩矿产资源丰富的国家, 全国石灰岩分布面积达 130 万 km<sup>2</sup>, 约占国土面积的 13.5%。石灰岩广泛应用在建筑、冶金、化工、轻工、食品、石油、农业等国民经济的诸多领域中, 带来了巨大的经济效益。但是多年来的采矿活动产生了一系列的环境地质问题: 露天开采产生了大量的陡坎、陡壁和陡崖; 采矿废弃地上残留了大量的废弃渣石堆, 容易形成崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害; 地表形态的破坏导致了水土的大量流失, 土壤变得日益贫瘠, 破坏了的生态环境难以恢复。

石灰岩矿山的生态恢复问题引起了人们的重视, 对其研究也越来越多。新乡市西山石灰岩矿 40 余年的开采曾造成严重的生态破坏, 在河南省两权

价款专项资金的支持下, 经边坡整治、废石渣清理和复绿等, 获得了良好效果。

### 1 生态恢复研究历史和实践

早在 20 世纪 70 年代, 宫协昭教授就提出了世界公认的“Miyawaki method”。1973 年 3 月, “受害生态系统的恢复”国际会议在美国召开, 第一次专门讨论了受害生态系统的恢复和重建等生态学问题<sup>[1]</sup>。1980 年, Cairns 主编了《受损生态系统的恢复过程》一书, 从不同角度探讨了受损生态系统恢复过程中重要生态学理论和应用问题<sup>[2]</sup>。20 世纪 80 年代以来, 全球环境问题的加剧进一步推动了恢复生态学的发展, 世界上很多国家针对退化的采矿

\* 收稿日期: 2008-09-25; 修回日期: 2008-10-15

基金项目: 河南省两权价款专项资金(2007-394)

作者简介: 杨涛(1981-), 男, 湖北荆门人, 助理工程师, 本科, 主要从事矿山环境治理和环境地质、旅游地质调查研究。

地<sup>[3]</sup>、湿地、湖泊、森林、河岸生态系统等不同生态系统展开了不同形式的生态恢复与重建,使生态恢复与重建逐渐成为现代生态领域中引人注目的主题<sup>[4]</sup>。1991年,在香港举行了华南退化坡地恢复与利用国际研讨会,系统探讨了中国华南地区退化坡地的形成与恢复问题。同年,《Restoration Ecology》杂志创刊,恢复生态学走向成熟。1996年在美国召开的国际恢复生态学会议专门探讨了矿山废弃地的生态恢复问题<sup>[1]</sup>。

世界各国,特别是主要的采矿工业国家都十分重视恢复被采矿破坏了的土地,并取得了十分可观的成绩<sup>[5]</sup>。1918年,美国印地安那州首先进行了复垦试验工作,至今已形成了系统的复垦工程:从1930年至1971年的42年中,美国已恢复了 $6.0 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的采矿工业用地,复垦率达40%,1971年采矿工业用地 $8.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,其中 $6.6 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 已恢复,复垦率已达80%。西班牙1983年就有了强制性的规定,要求采石场开采的申请必须同时有重建计划<sup>[6]</sup>。近20多年来,我国生态恢复取得了大量科研成果<sup>[7]</sup>,例如矿区废弃地稳定化技术、矿区废弃地绿化技术、矿区废弃地功能化技术等。但由于我国矿山恢复工作起步较晚,欠账较多,历史废弃地的恢复任务相当艰巨。

## 2 生态恢复的基本理论

生态系统是经过成百上千年的长期进化而形成的由生物体及其生存环境所构成的相互作用的动态复合体<sup>[8]</sup>,其中生存的动植物不仅适应了当地的自然地理气候条件,而且更重要的是物种之间形成了很复杂的相互作用关系,也正是这些关系使得这个生态系统成为一个稳定的、能够自我维持的体系。矿山开采活动对生态系统的干扰使之偏离了自然的状态。生态恢复就是要使受损的生态系统恢复到被破坏前的理想状态或者是与之相近的状态<sup>[9]</sup>。

矿山生态恢复是一项综合性多学科课题,它包括地貌再开发、生产能力的恢复、生态综合性、经济和美学价值等问题<sup>[4]</sup>。其中要注意以下几个方面的基础理论研究:

### 2.1 可持续发展理论

可持续发展是指既能满足现代人的需求,又不以损害后代人满足需求的能力为代价的发展。在可

持续发展理论的指导下,各国对矿区生态恢复提出了更高要求,不仅要加强对采矿前后生态资源的调查和研究,还要运用景观生态学的原理,使新建景观和周边景观和谐地融合在一起,并有较高的经济、生态和美学价值。

### 2.2 恢复生态学理论

恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术和方法及其生态学过程和机理的学科。目前,恢复一般泛指改良和重建退化的自然生态系统,使其重新有益于利用,并恢复其生物学潜力,也称为生态恢复。因此,恢复生态学在加强生态系统建设和优化管理以及生物多样性的保护等方面具有重要的理论和实践意义。

### 2.3 景观生态学理论

景观生态学是上世纪70年代以后蓬勃发展起来的一门新兴的交叉学科。矿山开采破坏了土地和地表景观,但景观生态重建为人们合理规划土地用途、建立新景观提供了机会。因此,景观学和景观建筑学的思想被引入到矿山景观生态恢复中。通过景观生态建设,对原有景观要素的优化组合或引入新的成分,调整或构造新的景观格局,以增加景观的异质性和稳定性,从而创造出优于原有景观生态系统的经济和生态效益,形成新的高效、和谐的人工—自然景观。

## 3 石灰岩矿山生态恢复

### 3.1 石灰岩矿山采矿活动对环境的破坏

矿山的开采在很大程度上改变了矿山原有的环境,带来了一系列环境问题,这些问题可归纳如下:

#### 3.1.1 对矿区地貌和生态的破坏

石灰岩矿山大多分布在丘陵或低矮山丘区,采用露天开采的方式进行开采。矿山开采首先要砍伐地表的林木、丛棘和杂草,剥离地表的覆盖层,然后由上而下分段开采,从而改变了矿区的原始景观,破坏了地表的植被和原有动植物的生存环境,使原生态景观和物种的生存环境发生了巨大的变化。

#### 3.1.2 对地质环境的影响

矿山的开采改变和破坏了地表的结构和地面应力,如果矿山开采设计不合理或开采不规范,随意乱采乱挖,不但破坏了资源的合理利用,还产生了大量

的陡坎、陡壁和边坡,容易引发山体滑坡、崩塌等地质灾害。

矿山开采产生的废弃渣石一般选定在矿体外围的沟谷中或低洼地处堆放,不仅占用土地,长年累月的堆积还会形成新的不稳定荒丘。如果堆场选址不适宜或弃石堆放不合理,可影响地表大气降水的排泄和原地表径流的流向,堆场受到暴雨的冲刷或地表水的浸泡还可能引发水土流失和泥石流,成为地质灾害隐患点。此外,在地下水富存的地区,矿山开采还可能出现涌水或矿业活动中的污染物通过下渗对地下水系统造成污染。

### 3.1.3 对环境的影响

采矿活动产生的粉尘和废气对大气造成污染,采矿活动产生的噪声也对附近的声环境造成破坏。

粉尘主要来源于矿山爆破时爆堆的起尘、矿石破碎加工、矿石运输装卸、矿区运输车辆行驶扬尘、废土石堆场在风力作用下的二次扬尘等。

废气来源于矿山爆破时使用炸药释放出的气体,主要有CO、CO<sub>2</sub>、NO、氮氧化物和水蒸气等。

噪声来自两部分,一是矿山爆破时产生的爆炸噪声,另一类是矿山机械作业时产生的噪声,如钻孔机、凿岩机、挖掘机和运矿车等。

## 3.2 石灰岩矿山生态恢复方法

根据不同区域的微地貌特点和治理的难易程度,往往将石灰岩矿山生态恢复分为边坡复绿和采矿废弃地恢复两种不同类型,并分别采取不同的技术方法进行生态恢复工作。

边坡生态恢复,即对采矿残留矿柱、陡壁和陡坎边坡采取必要的措施进行整治,在减轻地质灾害的危险性、排除安全隐患后,采用特殊的方法进行生态恢复。

采矿废弃地生态恢复,即对采矿后废弃地进行生态恢复。

对于距离交通干线或者旅游点较近且可视面积较大的矿山,可以结合城市规划或旅游区建设,考虑进行景观再造<sup>[10]</sup>,建设成为运动用或观赏用的景点,如攀岩区、水景区等<sup>[11]</sup>。矿山生态恢复在实际应用时,往往要因地制宜,不同特点的矿山采取不同的方法,可能以一种方法为主兼用其它的方法,也可能是多种方法并举。

### 3.2.1 边坡生态恢复方法

边坡生态恢复应根据矿区的地质岩性、坡度和坡面松散程度等采取相应的措施,最终实现生态系统的良性循环。但是矿区边坡裸露,坡度大,无土壤,难以保水保肥,对植物生存生长极为不利,生态恢复非常困难。目前国内外采取的边坡植被恢复方式主要有以下几种:

#### 3.2.1.1 喷播绿化护坡

喷播技术是近年来发展的新技术。在矿山生态恢复中,应用较多的有两种方法:液压喷播植草护坡<sup>[12]</sup>和厚层基材植物护坡<sup>[13]</sup>。

液压喷播草籽植草护坡是利用水力机械进行大面积喷播草籽而快速建立草坪的一种方法<sup>[14]</sup>,主要特点是:适应性强、建植速度快、草被生长均匀及成本低廉。近年来已逐步应用于水利、公路、铁路等基础工程建设的边坡防护与绿化。厚层基材植物护坡是使用经改进的混凝土喷射机将拌和均匀的厚层基材与植被种子的混合物按照设计厚度均匀喷射到需防护的工程坡面的绿色护坡技术。厚层基材植被防护功能通过锚杆、复合材料网、植物根系的力学加固和坡面植物的水文效应实现。

#### 3.2.1.2 客土植生植物护坡<sup>[15]</sup>

客土植生护坡绿化技术是采用特定的混合料基材和种子配方,对岩质边坡进行防护和绿化的新技术。

客土植生根据边坡位置、坡度、岩石性质、酸碱度及绿化要求等确定土、腐殖质、长效肥、粘合剂、保水剂、杀菌剂及种子的组成比例,植绿种子由冷季型草种和暖季型草种根据生物生长特性优选混合而成。客土植生法适用于整体稳定和有一定坡度的岩石边坡。

#### 3.2.1.3 土工网垫植草护坡<sup>[16]</sup>

土工网垫是由聚乙烯、聚丙烯制成的一种具有三维结构的塑料网。这种似丝瓜网络样的网垫,质地疏松、柔韧,有合适的高度和空间,可充填并储存泥土和沙粒及草籽植物的根系可以穿过网孔,舒适、整齐、均衡地生长,长成后草皮与网垫、泥土表层牢固地结合在一起,由于植物根系伸入地表以下,形成坚固的绿色复合护层。

#### 3.2.1.4 框格护坡

框格护坡主要有两种形式:土工格室植草护坡<sup>[17]</sup>和框格内填土植草护坡<sup>[18]</sup>。土工格室植草护

坡是针对岩石边坡进行防护和绿化的新技术。土工格室材料自身的高强度、低延伸性能,可以很好地对表面破碎边坡进行有效防护,对较陡边坡上的种植土有良好的固土作用,并使土壤厚度达到一定的种植成长要求。使用该项技术护坡绿化,可以截留降雨、保墒保湿、相应减低养护费用,同时可以有效防止植物在成长初期季节性雨水充足(如夏季暴雨)造成的过量冲刷,有效地控制含有草种土粒的流失。

框格内填土植草护坡是用毛石、卵石或预制的空心砖在人工开挖的软质边坡面上,按正方形或菱形干砌或浆砌形成骨架,框格中间种草,以减少地表水对坡面的冲刷,减少水土流失,从而达到护坡和保护环境的目的。该方法在铁路、公路的边坡和路堤防护中已经得到广泛应用。

### 3.2.1.5 生态石笼护坡<sup>[19]</sup>

由于相当部分石壁坡度过于陡峭,无法进行爆破或筑植生盆,可采用安装钢筋笼挂于石壁上的方法。该笼可制作成行李箱般大小,笼内装载土壤、有机质等植物生长物质,以确保笼内植物在石壁上的有效支撑。

### 3.2.1.6 植生带(袋)护坡

植生带常被用于光秃岩石边坡、堤坝、水库、河道等的植被景观恢复。植生带的立体网状纤维结构吸收了雨水冲击所产生的能量,能起到防止土壤侵蚀的功效,并且有效阻止土壤颗粒的移动;雨水在纤维层内的流动,减小了雨水形成径流对土壤地表的冲刷力,植生带使植物种子分布更加均匀,且不受人为因素和水流冲刷的扰动,保持稳定状态,改善了绿化效果。

### 3.2.1.7 香根草技术(VGT)植被护坡

香根草属于禾本科香根草属,具有极强生态适应性的抗逆(旱、湿、寒、热、酸、碱等)能力。它生长迅速,根系发达(可纵深生长达3 m多),即使在非常贫瘠、紧实、强酸碱甚至具有铝毒的土壤上都能生长,因此,成为知名的水土保持和斜坡固定植物。

香根草根系抗拉强度达到了75 MPa,相当于一般钢材的极限拉力强度的1/6,因而“穿孔力量”特别强大,能够穿透岩石,同时根系形成网状深扎,与土壤大面积“亲密接触”,通过张力、摩擦力和粘附作用等对土壤发挥钢筋一样的增强作用,从而有效地固坡绿化。

### 3.2.1.8 人工植生盆法护坡

利用坡面凹凸地形,在微凹出口开拓平台,用砖或碎石砌筑植物盆,回填营养土种植藤本、灌木或小乔木。该法不适用于坡度较大、坡面平整的石壁<sup>[20]</sup>。

### 3.2.1.9 平台法护坡

平台法护坡是在边上建立平台,然后绿化护坡。这种方法可以是在开采的过程中采取一定的方法,使开采后的边坡呈梯形台阶,也可以按等高线以一定的角度安装水泥预制板,板与石壁之间形成种植槽以建立平台。然后在平台上回填土,采取一定的工程措施保持土壤,并在其上种植乔木、灌木或攀援藤本的方式<sup>[20]</sup>。一般要求台阶有5 m以上的宽度,土层厚度达1 m以上,台阶高度10 m以下。

## 3.2.2 采矿废弃地绿化技术

在大部分采矿废弃地上,废弃石渣、石粉占据地表上层并具有一定的厚度,植物不能生长,常对石渣进行换土处理,或裸露地表压覆客土,并辅以其它栽培措施的办法。栽培时采用大穴、大苗和带营养钵移栽。品种选择时,要根据各地条件和景观要求而定,一般选择耐贫瘠、耐干旱、速生乔木树种<sup>[21]</sup>。

在采矿废弃地绿化过程中,要注意土壤物理性质和化学性质的恢复。

### 3.2.2.1 土壤物理性质的恢复

换土或客土土壤一般干燥疏松,土壤中水稳性团聚体含量低,土壤保水保墒能力差。可以通过覆盖、培育与维持表土,改善土壤结构,控制土壤侵蚀<sup>[22]</sup>。此外,除了可以采用粉碎、压实、剥离、分级、排放等技术改善矿区客土土壤的物理性质外,还可以采用梯田种植,开挖排、流水道和设定稳定塘,盖覆盖物和有机施肥等手段。植物残余物可作为覆盖物将土壤表层与极端温度变化隔开,增加土壤的持水量和减少地表径流对土壤造成的侵蚀。施用有机肥或接种菌根可显著改善土壤的结构性。

### 3.2.2.2 土壤化学性质的恢复

土壤中氮、磷、钾、有机质是评价土壤肥沃性的重要指标,酸碱度也影响土壤的肥沃性。矿区土壤氮、磷、钾、有机质含量相当低,而土壤又有极端的酸碱性,使土壤中超标存在的重金属毒性加剧。在矿区土壤改良过程中,针对不同矿区土壤性质差异以及当地可用资源现状,可以有选择性地土壤中添加有机物或无机物。有机废弃物可作为土壤添加

剂,并在某种程度上充当一种缓慢释放的营养源。

### 3.3 生态恢复的植物选择

植物种类的选择及其配置是矿山生态恢复的重要问题。植物种类选择时应遵循如下原则:(1)选择适应性强、抗逆性好、生长快的植物;(2)选择具有改良土壤能力的固氮植物;(3)尽量选择当地优良的乡土植物和先锋植物;(4)选择植物种类时不仅要考虑短期效应,更应注重中长期发展前景。

#### 3.3.1 固氮植物

种植固氮植物是经济效益与生态效益俱佳的土壤基质改良方法。有研究表明,固氮植物每年每1 hm<sup>2</sup>可以固氮50~150 kg。固氮植物可以是豆科的,也可以是非豆科的,主要包括与根瘤菌共生的植物、与弗兰克氏菌共生的植物和与蓝藻类共生的植物等<sup>[23]</sup>。

#### 3.3.2 先锋植物

原生裸地上植物群落的形成与演替是一种由先锋植物种类入侵、定居、群聚、竞争的过程。先锋植物种类凭其种群优势,影响后入侵者的定居与生长发育,它往往决定裸地最初形成的群落类型。因此石灰岩矿山的植被恢复可采用人工方法,利用当地先锋植物来建立早期植物群落。一般来说,先锋植物是阳性植物,抗逆性强,易于存活与生长,能不断地改善土地的质量与周边的微环境,为其它物种的入侵创造条件,促进矿区植物群落的演替<sup>[24]</sup>。

#### 3.3.3 乡土植物与外来植物

植被恢复中是否引入外来物种是一个颇具争议的问题<sup>[25]</sup>。无论从恢复生态学还是生物安全的角度来讲,在矿山恢复过程中应该首先考虑的是适生的乡土物种,尽量避免引入外来物种。在实践中有时为了见效快,选择一些外来植物用于石灰岩矿山的植被恢复也是目前常见的方法;但最终应当恢复和重建的植物应该是乡土物种<sup>[23]</sup>。

#### 3.3.4 植物品种组合配置

矿区植被恢复,不仅要求选择适当的植物种类,不同种类植物之间的合理配置也同样重要。要根据不同的地形、气候、光照、水、温度、土质、边坡特点和植物特性等因素<sup>[26]</sup>,根据生态系统演替的理论,注意植物品种的选择及其配置,采用不同的植物组合。如在华南地区采石场植被恢复的实践中,往往在石

壁的下部选择草灌相结合,在石壁部分,如果土壤条件不够好,则多种藤、草<sup>[21]</sup>。梁启英等提出品种的配搭要注意“结合”,即固氮植物与非固氮植物结合,浅根植物与深根植物结合,上繁植物与下繁植物(贴地生)结合等。在岩石坡上,藤本着生攀援;在岩石坡切沟,草与树混种;在岩石坡底部,多树种混交,取得了采石取土场植被恢复的成功。

## 4 应用实例

### 4.1 西山项目概况

西山位于新乡市东北部,面积4.5 km<sup>2</sup>,长期以来一直是河南重要的水泥原料基地。该区石灰岩矿山开采历史长达40余年,山体千疮百孔,陡岸陡壁林立,废石废渣凌乱分布在沟谷、山坡和采矿废弃地上,有发生崩塌、滑坡、泥石流地质灾害的危险性;植被和表土遭到破坏,地表生态环境受到了极大的重创,是新乡市主要沙尘的来源。河南省财政厅和河南省国土资源厅批准西山项目立项实施,并拨付省级财政专项资金开展了试验和研究工作。

### 4.2 治理方法

西山矿区治理工程的总体方案是,采用边坡整治、废石渣清理和复绿工程等手段,达到改善矿区地质环境和生态环境的目的。

#### 4.2.1 边坡整治

由于矿山的开采留下了大量的陡坎、陡岸和陡壁,分别采用削坡和清坡的手段,将危岩和不规则岩块清除,以达到消除地质灾害隐患的目的。为了便于复绿工作中营造立地环境,通过削坡的手段将边坡坡度降到57°以内。

#### 4.2.2 废石废渣的清理

对于边坡整治产生的废弃石渣,在爆破过程中通过爆破手段控制其粒径,与工作区内原有的废弃渣石堆结合,铺设在矿区范围内较低洼的地方,粒径较大的铺在最下面。在碎砾石上再覆土绿化。这样既减少了泥石流灾害的物源,同时也便于植被复绿,以达到美观的效果。采矿废弃地也采用客土压覆的办法进行绿化。

#### 4.2.3 复绿工程

复绿工程分两个部分进行:采矿废弃地和边坡。对于采矿废弃地,采用客土压覆的办法。客土采

用附近某电厂工程建设坡地挖掘的黄土,较松散,含钙质结核,养分较少。因此,在绿化前施用有机肥改善土壤的结构性,并采用有机废弃物作为营养源。工程首先采用苜蓿和豆科植物进行了试验工作,将种子和较肥沃的土混在一起后,撒在压覆客土后的采矿废弃地上,然后隔天浇水一次。苜蓿种子种下后一般6天左右发芽长出,但在阳光的强射下成活率不到50%,效果不理想。后采用当地的草种进行试验,在同等条件下,成活率达到了85%。最后治理区全面采用当地草种与豆科植物的结合对采矿废弃地进行绿化。同时根据区内地形条件,结合景观生态学原理,在采矿废弃地上进行植树造景。植树采用了鱼鳞坑、围堰和容器苗种植等方法,树种选用了柠条、荆条、槐树等灌木。由于该区地层产状较陡(16°),采用10 m间距设置挡土墙的办法,防止水土流失。

对于边坡,采用了喷播、容器苗和植生带建植等多种方法,但以喷播为主,移植为辅。为满足生态绿化的景观效果,在边坡的马道、平台处,栽植具有景观效果的小乔木、灌木、花灌木(包括观赏木)和藤本植物。乔、灌木的间距为5 m。马道上沿口种植悬挂植物。陡坎边缘未喷播的地段,采用在坡脚种植爬山虎的方法进行绿化。

针对坡面植物不同的生长发育阶段和不同的类型(木本、草本)实施不同的养护管理,有意识地促进或抑制某些植物的生长。如复绿早期以草为主;中期草、灌结合;后期以灌为主,以乔(小乔)为辅,以草为次,适当点缀花卉,营造植被景观。

### 4.3 治理工程效果

治理工程的实施,使矿区地质灾害隐患基本消除,地质环境得到有效治理,植被得到恢复,生态环境得到改善,并使矿区成为生态、环境优良,并适宜全民登山健身休闲娱乐的场所。

#### 参考文献:

- [1] 李永庚,蒋高明. 矿山废弃地生态重建研究进展[J]. 生态学报,2004,24(1):95-100.
- [2] 周进生,石森. 矿区生态恢复理论综述[J]. 中国矿业,2004,13(3):10-12.
- [3] Mohan K W. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems[J]. Plant and Soil,1999,213:195-220.
- [4] Peng S L. Restoration ecology and restoration of tropics rain forests[J]. Research and development of world science and technology,1997,19(3):58-61.
- [5] 高国雄,等. 国外工矿区土地复垦动态研究[A]. 国外林业技术考察报告选编[C].1996.41-45.
- [6] MOTA J F. SOLA, et al. Gypsi colous flora conservation and restoration of quarries in the southeast of the Iberian Peninsula[J]. Biodiversity and conservation,2004,13:1797-1808.
- [7] 霍明远. 矿产生态学[J]. 资源科学,2000,22(5):23-28.
- [8] Harper J L. Population Biology of Plants[M]. London: Academic Press,1977.289.
- [9] Daily G C. Restoring value to the world degraded lands[J]. Science,1995,269:350-354.
- [10] 王永喜,石丽坤. 石质边坡生态修复技术[J]. 中国城市林业,2004,2(4):42-44.
- [11] 周利民. 运用液压喷播技术进行植草护坡的研究[J]. 水土保持通报,2003,23(3):45-46.
- [12] 丁利红,龚士良. 上海佘山国家旅游度假区废弃采石坑综合利用[J]. 西部探矿工程,2003,(1):156-158.
- [13] 杨启维. 厚层基材植被边坡防护技术[J]. 铁路标准设计,2007,(1):32-33.
- [14] 吴长文,章梦涛,付奇峰. 斜坡喷播绿化技术的研究[J]. 中国水土保持. 2000,19(4):60-62.
- [15] 黄三强. 客土植生法防护绿化岩质边坡的应用实践[J]. 路基工程,2003,4:65-66.
- [16] 王志强. 三维土工网垫结合植被防护在边坡中的应用[J]. 山西建筑,2008,34(8):279-281.
- [17] 李晋,唐勇,朱霞,等. 土工格室植被护坡应用研究[J]. 山东交通学院学报,2008,16(1):56-58.
- [18] 胡时友. 框格护坡技术的新进展[J]. 西部探矿工程,1999,11(4):111-114.
- [19] 程胜衣,黄建华. 罗泾基地护厂河工程的生态石笼护坡施工质量控制[J]. 上海水务,2006,22(2):42-44.
- [20] 罗松,郑天媛. 采石场遗留石质开采面阶梯整形覆土绿化方法研究[J]. 中国水土保持,2001,(2):36-37.
- [21] 方华,欧阳育林,林建平,等. 采石场生态整治的技术与行政措施[J]. 水土保持研究,2004,11(1):171-173.
- [22] 黄铭洪,骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报,2003,40(2):161-169.
- [23] 包志毅,陈波. 工业废弃地生态恢复中的植被重建技术[J]. 水土保持学报,2004,18(3):160-164.
- [24] 戈峰. 现代生态学[M]. 北京:科学出版社,2002.235-243.
- [25] KETTUNENA, et al. Predicting variations in methane emissions from boreal peat lands through regression models[J]. Boreal Environment Research,2000,5:115-131.
- [26] 宁丰收,游霞,等. 重庆市主城区废弃采石场生态与景观恢复对策[J]. 水土保持通报,2005,25(3):77-80.