

# 采石场生态重建的有关问题

方 华<sup>1,2,3</sup>, 林建平<sup>2</sup>, 莫江明<sup>1\*</sup>

1. 中国科学院华南植物园鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东 肇庆 526070;

2. 广州地理研究所, 广州 510070; 3 中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘要:** 综述了采石场生态重建的相关问题, 包括采石场生态重建的重要性, 生态重建研究的历史, 生态重建的基础理论, 采石场的水土流失治理, 采石场植被恢复及植物品种的选择与配置等。无论是国内还是国外, 采石场的生态重建只是到了最近二十多年才受到相当的重视。我国特别是东南沿海地区采石场已经引起了严重的生态问题, 其重建也取得了很大进展, 但仍然存在着许多需要改进的地方, 如植被恢复效果不理想, 植物品种选择的任意性, 复绿方式的单一性等。文章提出了目前采石场生态重建存在问题及改进方法。

**关键词:** 采石场; 生态重建; 植被恢复

**中图分类号:** S154.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-2175 (2006) 03-0654-05

采石场生态重建是指采石场在完成或被终止其采石功能之后的生态恢复, 包括植被重建和生态系统功能恢复等。采石工业随着社会经济的发展和城市化进程的加快而发展, 为经济发展做出了巨大贡献, 同时也带来了一系列严重的生态环境问题, 如植被破坏、水土流失、粉尘与噪声污染、景观破坏、生境破碎化等, 因此采石场的生态重建是退化土地生态恢复的重要组成部分, 也是其中的难点。作为一种重要的生态退化类型, 采石场在剧烈的人为干扰下, 生态系统结构与功能退化严重, 生境极端特殊。世界各国均对其整治给予了高度重视<sup>[1-2]</sup>。本文对采石场生态重建理论与实践方面的相关问题作了探讨, 以期对未来采石场生态重建提供借鉴。

## 1 采石场生态重建研究与实践的历史

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>[3]</sup>; 但恢复生态学真正的发展动力来源于20世纪80年代以来全球各类生态系统的退化及其引发的环境问题的加剧。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>[4]</sup>。1983年, “干扰与生态系统”国际研讨会在美国召开, 探讨了干扰对生态系统各个层次的影响。1985年, 国际恢复生态学学会成立。1993年, 《Restoration Ecology》杂志创刊, 标志着恢复生态学走向成熟。1995年, 美国生态恢复学会指出恢复是一个概括性的术语, 包含改建(rehabilitation)、重建(reconstruction)、改造(reclamation)、再植(revegetation)等含义。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>[3]</sup>。

即使在发达国家, 采石场恢复的实践工作也才只是到了最近20多年以来才受到重视, 如西班牙到了1982年才有强制性的规定, 要求采石场开采的申请必须同时有重建计划<sup>[2]</sup>。我国于1988年出台了《土地复垦规定》, 使矿区废弃地的生态恢复工作步入了法制轨道, 矿区废弃地恢复的速度和质量都有较大的提高。随着对环境问题重视程度的提高, 一些地区, 特别是经济发达地区, 已经实施了采石场的生态重建计划并取得了很大进展。如2003年以来, 广东省采取措施, 对区内的采石场进行整治复绿。从2003年至2005年, 仅广州市就投入资金5.12亿元, 复绿采石场面积1 268.1万m<sup>2</sup>(广州日报, 2006年1月5日, A6版)。

## 2 采石场生态重建的基本理论

生态重建(reconstruction)并不意味着在所有场合下恢复原有的生态系统; 生态恢复的关键是恢复生态系统必要的结构和功能, 并使系统能够自我维持。美国生态重建学会定义的生态恢复的概念为: 将人类所破坏的生态系统恢复成具有生物多样性和动态平衡的本地生态系统(indigenous ecosystem), 其实质是将人为破坏的区域环境恢复或重建成一个与当地自然界相和谐的生态系统。采石场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>。采石场生态重建的基本理论主要有以下几个方面。

### 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

**基金项目:** 广东省科技攻关项目(2003B40401; 2004B20501004)

**作者简介:** 方 华(1967-), 男, 副研究员, 博士生, 主要从事恢复生态学和环境生态学研究。E-mail: fanghua@gdas.ac.cn

\*通讯作者, E-mail: mojm@srbg.ac.cn

**收稿日期:** 2006-04-11

以损害后代人满足需求的能力为代价的发展。1987年世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》报告中第一次完整阐述了可持续发展的概念，得到了国际社会的广泛共识。1992年里约热内卢环境与发展大会正式承认了可持续发展理念。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，包括加强对采矿前后生态资源的调查和研究；采取积极的采前保护措施和采后挽救措施，加强对野生动植物资源的保护；运用景观生态学原理和美学理论，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、生态和美学价值等。

## 2.2 矿区土地复垦理论

土地复垦作为采石场生态重建的目的，体现了其实用主义哲学。澳大利亚矿山复垦界采用 Rehabilitation 一词，其内涵是“使被扰动的土地恢复到预先设定的地表形式和生产力，创建条件，使场地有一个新的可持续的不同用途的工艺过程”。我国将土地复垦定义为：“对生产建设过程中因挖损、塌陷、压占等造成破坏的土地，采取整治措施，使其恢复到可供利用状态的活动”<sup>[4]</sup>。

## 2.3 生态演替理论

生态演替理论是采石场和其它受损生态系统生态恢复理论的基础。植被恢复是退化生态系统中恢复生态学的首要工作，因为所有的自然生态系统的恢复和重建，总是以植被的恢复为前提<sup>[6]</sup>。生态演替理论以为，只要不是在极端的条件下，经过一定的时间，没有人造的破坏，植被总会按照自然的演替规律而恢复，但通常这个过程太漫长，有时会比人们所预期的时间要长的多。自然演替一般大约需要 50~100a 时间来在采矿废弃地上恢复一个满意的植被覆盖<sup>[7]</sup>。因此根据采石场恢复的目标，以生态演替理论为指导，利用人工手段促进植被在短期内恢复，是十分必要的。

## 2.4 废弃矿区景观构造理论

采石场的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采石场景观生态重建中。其与采石场生态重建的相关理论研究重点为：娱乐休闲场地和自然保护区的协调统一、人为景观与周边环境的融合和协调等。

## 3 采石场的水土流失治理

采石之前，首先要剥离植被层和表层土壤；雨水冲蚀地表，极易造成水土流失。石壁和采石迹地表面没有植被覆盖，下垫面性质特殊，不具备一般土壤所具有的下渗功能。采石过程中不断产生碎石和粉尘等，也成为水土流失源。通常情况下，受采石影响而被破坏的植被面积比采石口的面积大许多，常常是采石口面积的 5 倍<sup>[8]</sup>，造成的水土流失后果相当严重。

采石场水土流失的治理是生态恢复与重建的基础。它具有改善环境的意义，也是采石场重建的前期工作。现有的采石场水土保持措施主要包括两个方面，一是将碎石集中堆放，修筑拦渣坝、建立多级沉淀池等，使碎渣、石粉沉淀在一个局部的可控制的范围内，如深圳市铁岗采石场在采石的同时建立了三级沉淀池，减少了土壤和石粉等的外排。二是在开采范围外侧设截水沟，防止地表径流冲刷开挖面；开采范围内根据不同的作业区设排水沟，截水沟与排水沟相连，将地表水流排走，以利于植被重建等。

## 4 采石场生态恢复的主要技术

采石场治理的思路可以概括为三个方面，一是稳定边坡，即对采石陡壁及其它受影响的边坡采取必要的措施予以稳定，排除安全隐患；二是理顺水系，即对采石场周围的排水系统作好疏导<sup>[9]</sup>，防止水土流失；三是绿化裸岩裸地，即对石壁和迹地进行绿化。

根据采石场不同区域的地貌特点和治理难易程度，往往将采石场分为石壁和迹地两种不同类型区，分别采取不同的技术方法进行生态重建工作。

### 4.1 迹地绿化技术

迹地绿化技术相对于石壁而言要容易得多，但仍须重视栽培技术和栽后管理。大部分区域，石渣、石粉占据地表上层并具有一定的厚度，植物不能生长，一般的方法是对石渣进行换土处理，并辅以其它的栽培措施。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>[10]</sup>。

### 4.2 石壁治理方法

石壁治理应根据采石场的岩性、石壁坡度和石壁表面粗糙程度等采取相应的措施，其核心是植被恢复，并在此基础上达到系统的自我维持，实现生态系统的良性循环与健康。石壁裸露，表面温差大，陡峭无土壤，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，是整治的难点。目前国内采取的石壁植被恢复方式主要有以下几种。

#### 4.2.1 直接挂网喷草技术

具体的做法是，首先将石壁表面整平，然后将各种织物的网（如土工网、麻网、铁丝网等）固定到石壁上（可以按一定的间距，在石壁上锚钉或用砼固定），再向网内喷一定厚度的植物生长基，生长基包括可分解的胶结物、有机和无机肥料、保水剂等<sup>[11]</sup>。最后将草籽与一定浓度的黏土液混合后，喷射到生长基上。这种方法较适用于坡度在 40℃ 以下的石壁的治理。

#### 4.2.2 喷混植生技术

坡度在 40℃ 以上的石壁，直接挂网喷草的方法已难以实施，而采用喷混植生技术<sup>[12]</sup>。具体做法

是:首先将草籽与一定抗拉强度的钢丝网用锚钉固定到石壁上,然后在网下喷一层厚度为5-10cm厚的砂作为填层,再将草籽、肥料、粘合剂等的混合物均匀地喷射到填层上。

#### 4.2.3 人工植生盆法

利用坡面凹凸地形,在微凹外口开拓平台,用砖或碎石砌筑植生盆,回填营养土种植藤本、灌木或小乔木。这种方法不适用于坡度较大、坡面平整的石壁<sup>[13]</sup>。

#### 4.2.4 石壁挂笼法

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,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。

#### 4.2.5 板槽法

具体的操作方法是,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;在种植槽内装填具有一定土壤肥力的种植土,在种植土内种植灌、藤、草等植物。

#### 4.2.6 平台法

指在开山采石的过程中,采取一定的方法,使开采后的石壁呈梯形台阶,然后在台阶上回填土,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>[14]</sup>。一般要求台阶有5m以上的宽度,土层厚度达1m以上,台阶高度10m以下。严格意义上说,这不是一种石场复绿技术,而是一种石场开采与植被恢复的综合措施。

#### 4.2.7 景观再造法

对于距离交通干线或者旅游点较近,且可视面积较大的石壁,可以结合城市规划或旅游区建设,考虑对石壁进行景观再造<sup>[13]</sup>,建设成为运动用或观赏用的景点,如攀岩区,水景区等<sup>[15]</sup>。

采石场生态重建在实际应用时,往往要因地制宜,不同特点的采石场采取不同的方法: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。关键要看如何才能快速经济地达到采石场生态重建的目的。

### 5 采石场生态重建的植物选择

植物种类选择及其配置是采石场植被重建的重要问题。主要根据气象、土壤、水文条件及预期恢复目标来确定。如深圳市根据地处亚热带,旱季和雨季分明的特点,选择耐炎热、耐干旱、耐瘠薄、耐侵蚀的植物品种来进行采石场的植被恢复<sup>[16]</sup>。一般而言,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。

#### 5.1 选用固氮植物

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1hm<sup>2</sup>可以固氮50~150kg<sup>[17]</sup>。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>[6]</sup>。

#### 5.2 选用先锋植物

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<sup>[16,18]</sup>。因此采石场的植被恢复可以采用人工方法,利用当地先锋植物来建立采石场早期植物群落。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,促进采石场植物群落的演替<sup>[19]</sup>。

#### 5.3 选用乡土植物与外来植物问题

植被重建中是否引入外来物种是一个颇具争议的问题<sup>[20]</sup>。一般来说,无论从恢复生态学还是生物安全的角度来讲,在采石场的植被重建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采石场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,毕竟从长远的角度来看,乡土物种是有优势的,这也符合保护生物学原理<sup>[6,21]</sup>。

#### 5.4 植物品种组合配置

采石场的植被重建,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>[22]</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>[10]</sup>。梁启英等提出品种的配搭要注意“三结合”,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;在岩土坡切沟,草与树混种;在岩土坡底部,多树种混交,取得了采石取土场植被恢复的成功<sup>[23]</sup>。

### 6 采石场生态恢复的重要性

#### 6.1 采石场环境问题的严重性

全球各地几乎都存在采石场引起的环境问题。统计数据表明,1998年英国受石灰石开采影响的土地面积是14000hm<sup>2</sup><sup>[24]</sup>。目前我国采石场主要分布在东部沿海经济发达的地区。据统计,目前在广东省

总计约有13 000个采石场,涉及土地面积超过30 000  $\text{hm}^2$ ,其中深圳市2 020  $\text{km}^2$ 的土地中,就有大大小小的废弃采石场611个<sup>[9]</sup>。重庆市主城区600  $\text{km}^2$ 范围内到2003年底有采石场567家<sup>[22]</sup>。在重庆乌江沿线约3 km长的公路边有采石场17家,而在碧筱溪不到1  $\text{km}^2$ 范围内有采石场40多家<sup>[25]</sup>。浙江省有采石场5 000多个<sup>[26]</sup>。我国目前的采石场具有数量过多、规模过小、分布较零散和布局不合理等特点,且为了追求效益的最大化,大部分石场分布在交通线路边、风景区附近和城乡结合部、临江第一重山的城镇规划区的禁采区内等。众多石场虽然满足了经济发展的需要,但也引发了一系列严峻的环境和社会问题,对社会经济的可持续发展构成了威胁<sup>[27]</sup>。

## 6.2 采石场生态恢复的必要性

采石场的生态恢复是实现经济社会可持续发展的必然选择,对改善我国生态环境具有重要的实践意义。人类社会经济的发展既需要开发利用资源,也需要良好的自然生存环境。只有人类、资源、环境相协调,才能有利于经济社会可持续发展。因此,实现社会经济可持续发展的必然选择就是在合理开发、有效利用石材资源的同时加强开发中的环境保护和废弃采石场的生态恢复。

## 7 问题与讨论

### 7.1 加强适宜我国采石场生态恢复的植物品种选育

植物品种的选育方面,我国长期以来重视产量性状方面的研究,对生态适宜性和抗逆性研究甚少<sup>[28]</sup>。而退化生态系统恢复所需要的是生态适宜性和抗逆性强的种或品种。大力进行适合我国不同地区采石场植被恢复的种或品种的选育工作,建立不同地区采石场植被恢复的种质库,使采石场的恢复更加科学化,规范化,对于加快和完善采石场及其它退化生态系统的恢复具有重要的意义。

### 7.2 加强采石场生态恢复的效应研究

最近的若干年,我国特别是东南沿海发达地区的采石场生态恢复取得了很大进展。如广东省自2003年7月明确了采石场关闭和复绿工作的指导原则以来,至2005年5月已共筹措采石场复绿资金7.74亿元,关闭采石场909个,复绿采石场844个,复绿面积1 960万  $\text{m}^2$ (<http://www.southcn.com/news/gdnews/gdzw/zxbd/200505130698.htm>)。但这些工作都以工程的方式进行作业,对其科学内容关注较少。采石场复绿之后的生态环境效应如何,包括植物生长状况,植物自然入侵,动物和微生物的种类和数量变化,温湿效应等微环境变化如何等还几乎是空白,不能对未来的采石场复绿提供有益的指引,因此加强这些方面的跟踪研究是必要的。

### 7.3 注意生态恢复过程中外来种的环境危害研究

某些外来种具有适应性强和生长快等特点,因此往往被运用于目前的采石场恢复过程。但很多外

来种对原生生态环境具有较强的入侵性和破坏性,如众所周知的水葫芦(*Eichhornia crassipes*)、微甘菊(*Mikania micrantha*)事例<sup>[16]</sup>。外来种入侵后排挤当地乡土种,与其竞争资源,导致植物群落物种组成单一,土壤退化加速等生态学问题,大面积入侵常导致无法控制的局面。另一方面,一些外来种初期生长快,但同时也存在着退化快等缺点。要认真加以研究,慎重选取外来种。

### 7.4 进行采石场生态恢复的技术研究

虽然采石场生态恢复的理论与实践工作已经取得了很大进展,但技术上很多问题仍有待解决,由于立面太高、坡度过陡、植物生长环境极度恶劣,采石场生态恢复,特别是石壁恢复方面还存在成本过高、工艺复杂、效果欠佳等问题。未来的工作,应该在采石场的生态恢复技术方面有所突破,探索经济、高效、稳定的采石场生态恢复方法。

### 7.5 规划先行,因地制宜,与当地社会经济发展相适应

如果在采石场开采之前就进行合理规划,并收取充足的复绿保证金,很多目前采石场复绿中遇到的问题就可以避免,保证复绿工作的正常开展。同时,采石场的生态重建也应与当地的社会经济发展相适应,毕竟现在我国的大部分地区经济还不发达,很多地区还很贫穷,采石场的复绿要经济可行,因地制宜,不能一刀切。

### 7.6 关闭采石场与扩大就业相结合;保护与复绿相结合

一些地区,采石工业是当地的支柱产业,采石收入是当地人民群众的主要收入,因此,要认真评估采石场关闭给这些地区的经济与就业带来的影响,应结合社会经济的发展,引进资金与项目,充分考虑废弃采石场的合理利用,解决突出的矛盾。对于采石场众多坑口迹地,可结合城镇总体规划变更为旅游、休闲、商业、居住以及生态农业和工业用地,向社会出让,走开发性治理的路子。可以对一些具有典型地貌与地质特征的采石场进行科学考察、评价与保护<sup>[29]</sup>,作为历史、地理、地质、地貌学习与教育的场地,从另一角度看,采石场的现状本身也代表着一段历史。

## 参考文献:

- [1] JIM CY. Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hongkong[J]. Restoration Ecology, 2001, 9(1): 85-94.
- [2] MOTA J F, SOLA, A J, JIMENEZ-SANCHEZ M L. et al. Gypsicolous flora conservation and restoration of quarries in the southeast of the Iberian Peninsula[J]. Biodiversity and conservation, 2004, 13:1797-1808.
- [3] 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.  
LI Yonggen, JIANG Gaoming. Ecological restoration of mining waste land in both China and abroad: an over re-view[J]. Acta Ecologica Sinica. 2004, 24(1): 95-100.
- [4] 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.  
ZHOU Jinsheng, SHI Sen. The ecosystem recover theories of mining

- area [J]. *China Mining Industry*, 2004, 13(3): 10-12.
- [5] MARTIN DUQUE J F, PEDRAZA J, DIEZ A, *et al.* A geomorphological design for the rehabilitation of an abandoned sand quarry in central Spain [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 42: 1-14.
- [6] 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.  
BAO Zhiyi Y, CHEN Bo. Study on revegetation during ecological restoration of industrial Wasteland [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3):160-164.
- [7] ANTHONY BRADSHAW. Restoration of mined lands: using natural processes [J]. *Ecological Engineering*, 1997, (8): 255-269.
- [8] 陈涛. 采石场水土流失防治方法研究[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2001, 40(增刊2):89-90.  
CHEN Tao. Measures on water and soil conservation of quarries [J]. *Acta scientiarum naturalium universitatis sunyatseni*, 2001, 40(suppl.2): 89-90.
- [9] 陈法扬. 城市化过程中的废弃采石场治理技术探讨[J]. *中国水土保持*, 2002, 5: 39-40.  
CHEN Fayang. Restoration technology of abandoned quarries [J]. *China Water and Soil conservation*, 2002,5: 39-40.
- [10] 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.  
FANG Hua, OUYANG Yulin, LIN Jianping, *et al.* Technical and administrative measures on quarry ecological renovation [J]. *Research of soil and water conservation*, 2004, 11(1): 171-173.
- [11] 蔡高堂, 杨少俊, 赵冬莲. 深圳市废弃采石场水土保持生态环境建设[J]. *南昌水专学报*, 2000, 19(4): 60-62.  
CAI Gaotang, YANG Shaqun, ZHAO Donglian. Soil and water conservation of abandoned quarries [J]. *Journal of Nanchang water conservancy college*, 2000, 19(4): 60-62.
- [12] 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.  
WU Changwen, ZHANG Mengtao, FU Qifeng. Study on the technology of slope revegetation by the method of spraying [J]. *China water and soil conservancy*, 2000, 19(4): 60-62.
- [13] 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.  
WANG Yongxi, SHI Likun. Ecological restoration technology on stony slope [J]. *China Urban Forest*, 2004, 2(4): 42-44.
- [14] 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.  
LOU Song, ZHNEG Tianyuan. Afforestation technology on quarry stony slopes [J]. *China Water and Soil conservation*. 2001,2: 36-37.
- [15] 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, 80: 156-158.  
DING Lihong, GONG Shiliang. Comprehensive utilization of Abandoned Quarries in Shanghai National Holiday Resort [J]. *West-China Exploitation Engineering*. 2003, 80: 156-158.
- [16] 杨海军, 毕琪, 赵亚楠, 等. 深圳市高速公路边坡和采石场植被恢复技术[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 120-124.  
YANG Haijun, BI Qi, ZHAO Yaonan, *et al.* Vegetation restoration technology in freeway slope and quarry of Shenzhen [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 120-124.
- [17] BRADSHAW A. Restoration of minedlands—using natural processes [J]. *Ecological Engineering*, 1997, 8: 255-269.
- [18] 陈芳清, 卢斌, 王祥荣. 樟村坪磷矿废弃地植物群落的形成与演替[J]. *生态学报*, 2001, 21(8): 1347-1353.  
CHEN Fangqing, LU Bin, WANG Xiangrong. Formation and succession of plant community on phosphate mining wasteland in Zhangcunping [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1347-1353.
- [19] 戈峰. 现代生态学[M]. 北京, 科学出版社, 2002: 235-243.  
GE Feng. *Modern Ecology* [M]. Beijing, science Press, 2002: 235-243.
- [20] KETTUNEN A, KAITALA V, ALM J, *et al.* Predicting variations in methane emissions from boreal peat lands through regression models [J]. *Boreal Environment Research*, 2000, 5: 115-131.
- [21] WHITING G J, CHANTON J P. Plant-dependent CH<sub>4</sub> emission in a subarctic Canadian fen [J]. *Global Biogeochemistry Cycles*, 1992, 6: 225-231.
- [22] 宁丰收, 游霞, 杨海林. 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.  
NING Fengshou, YOU Xia, YANG Hailin. Countermeasures for ecological landscape restoration of abandoned quarries in urban district of Chongqing City [J]. *Bulletin of soil and water conservation*, 2005, 25(3): 77-80.
- [23] 梁启英, 林建平, 梁杰明. 采石、取土场植被恢复技术[J]. *林业实用技术*, 2004, 3: 11-12.  
LIANG Qiyang, LIN Jianping, LIANG Jieming. Revegetation technology of sites for stone and soil extraction [J]. *Forest Practical Technology*, 2004, 3: 11-12.
- [24] CULLEN W R, WHEATER P, DUNLEAVY P J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK [J]. *Biological Conservation*, 1998, 84: 25-33.
- [25] 尹洪权. 涪陵区石灰岩采石场水土流失原因及防治对策[J]. *中国水土保持*, 2005, 5: 21-22.  
YIN Hongquan. The reasons and prevention methods for water and soil erosion on limestone quarries [J]. *China Water and Soil conservation*, 2005, 5: 21-22.
- [26] 汤惠君, 胡振琪. 试论采石场的生态恢复[J]. *中国矿业*, 2004, 13(7): 38-42.  
TANG Huijun, HU Zhenqi. On the ecological restoration of quarry [J]. *China Mining Magazine*, 2004, 13(7): 38-42.
- [27] 袁剑刚, 周先叶, 陈彦, 等. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 11517-1522.  
YUAN Jiangang, ZHOU Xianye, CHEN Yan, *et al.* Natural vegetation and edaphic conditions on the cliff of abandoned quarries in early restoration [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1517-1522.
- [28] 师尚礼. 生态恢复理论与技术研究现状及浅评[J]. *草业科学*, 2004, 21(5): 1-5.  
SHI Shangli. The present research situation and surface evaluation of theory and technology in ecological restoration [J]. *Pratacultural science*, 2004, 21(5): 1-5.
- [29] BENNETT M R, DOYLE P.NEIL F, *et al.* An assessment of the "conservation void" as a management technique for geological conservation in disused quarries [J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 50: 223-233.

## On quarry ecological reconstruction

FANG Hua<sup>1,2,3</sup>, LIN Jianping<sup>2</sup>, MO Jiangming<sup>1</sup>

1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China; 3. The Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract:** Quarry ecological restoration, including the importance of the reconstruction, the research and practice history of restoration ecology, the basic theories, etc., are summarized. It is in the recent several decades, attention has been paid to the importance of reconstruction of quarries. The ecological problems induced by quarry exploitation is serious and great success has been achieved in the reconstruction of these quarries. However, much remained to be improved, such as, the restoration effect is not so satisfied, with no standard in choosing the plants to use in the reconstruction of quarries, the reconstruction pattern remains monotonous, etc. The problems of quarry reconstruction are discussed and the modified ways are put forward.

**Key words:** quarry; reconstruction; revegetation