

常州市太湖湾地区采石场景观污染 评价与生态恢复研究

王向华, 朱晓东, 李杨帆, 蔡邦成, 陈克亮

(南京大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘 要: 江苏省常州市太湖湾地区的废弃采石场已经造成严重的景观污染。使用遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 技术, 获取采石场的特征数据, 进而使用景观污染指数对常州太湖湾沿岸废弃采石场的景观污染现象进行定量的景观污染评价, 筛选出已造成严重景观污染的废弃采石场, 为决策管理部门合理安排整个废弃采石区的生态恢复工作提供了科学依据。通过对该区废弃采石场的现场实地调查, 制定出该区生态恢复工程的系统集成技术; 根据生态恢复植物品种筛选原则和本地采石场废弃采石壁出现的先锋植被情况, 选择了用于生态恢复的植物品种并分别对该区 27 个废弃采石场提出 5 种不同的生态恢复方案。

关键词: 采石场; 景观污染指数; 生态恢复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)05-0089-05

中图分类号: P58, X24

Landscape Pollution Assessment and Ecological Restoration Technology on Quarries in the Tai Lake District of Changzhou City

WANG Xiang-hua, ZHU Xiao-dong, LI Yang-fan, CAI Bang-cheng, CHEN Ke-liang

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse,

School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangxi Province, China)

Abstract: The serious landscape pollution in the Tai Lake district of Changzhou City is caused by abandoned quarries. The characteristic data of abandoned quarries were obtained using the GIS and RS technology. Landscape pollution was analyzed quantitatively by the landscape pollution index. The quarries which caused the serious landscape pollution were screened out. It is very important for the administrators to arrange the schedule for ecological restoration. The integrated procedure of ecological restoration engineering is established. Plants for ecological restoration in the district are chosen by field investigation. Five different ecological restoration measures are determined for the twenty-seven quarries in the district.

Keywords: quarry; landscape pollution index; ecological restoration

景观污染指不适当的人为干扰导致的景观退化现象。主要表现为景观的生态整体性和生物多样性遭受破坏, 景观结构破碎化, 景观功能受损、生态风险增大和审美价值降低等^[1]。

Groves 在研究地中海地区景观退化时, 提出了 4 条景观退化的标志^[2]: (1) 土壤颗粒的移动, 即由人类活动引起的土壤扰动和地表侵蚀增大的现象; (2) 生物气候条件的改变; (3) 水文特性的变化; (4) 景观破碎化。

采石场就是人为强烈干扰条件下形成的一种典型的景观退化现象, 符合上述景观退化现象的 4 条标志, 属于严重的人为景观污染。

由于长期以来缺乏对其生态景观后果的正确认识, 采后即弃的传统处置方式常常在其身后形成大量的人为生态荒漠, 并由此引发了一系列严峻的环境和社会问题, 如造成水土流失, 诱发山体滑坡、占用土地资源、破坏自然景观等, 已经对社会经济的可持续发展构成了严重威胁^[3]。正因为上述原因, 目前采石场的生态恢复是当前的研究热点, 主要集中在采石场土壤、植被特征研究及边坡生态恢复工程技术等方面^[4-8]。

景观污染的概念虽已提出, 但仅停留在概念分析和定性描述阶段, 对于景观污染的定量评价以及基于评价结果进行相关生态修复的研究还鲜见报道。本

收稿日期: 2005-09-12

修稿日期: 2006-03-13

资助项目: 科技部 863 重大科技专项资助项目子课题 (2002AA6012-7); 中德生态城市规划与管理合作项目 (GTZ); 江苏省研究生创新计划项目 (2005-067)

作者简介: 王向华 (1977—), 男 (汉族), 山东德州人, 博士生, 研究方向为环境规划与管理。E-mail: wxhmail@sdu.edu.cn。

文以苏南快速城市化板块的常州市太湖湾地区为例,用景观污染指数作为景观污染的定量化指标,建立相应的评价指标体系,对其景观污染现象进行定量化的研究,并针对不同景观污染程度的采石场案例提出具有针对性的生态恢复措施,对于该地区构建和谐性旅游度假区具有重要的现实意义。

1 研究区域概况

江苏省常州市太湖地区的废弃采石场是一种典型的人为侵蚀景观。该区面积约 30 km²,是常州市低山丘陵面积最大、分布最集中的地区,是惟一拥有山水景观资源的地方,对常州中心城区具有重要的环境支撑功能,具有独特的自然生态地位。由于该区在地质上主要由花岗岩、石英、沙岩和沉积岩构成,可用作建筑材料,因此近年来随着常州城市建设对建筑材料的大量需求,该区开山采石的速度大大增加,目前该区的采石活动面积超过 150 hm²。根据《常州市城市总体规划》对该区的发展定位,该区目前已被划为常州市重点开发的城市旅游度假区,所有的开山采石活动已经被禁止,但是废弃的采石场多位于该区主干公路的可视范围内,造成了严重的景观污染,极大地限制了该区作为旅游地的潜力,因此对废弃采石场进行生态景观恢复是该区开发旅游业必需解决的首要问题。

在 RS 和 GIS 技术支持下,对位于常州太湖地区内的采石场进行了统计,其分布如附图 10 所示。据统计,目前常州太湖地区的采石场有 27 家,大小从 1~30 hm² 不等(平均为 5.8 hm²),采石活动面积超过 150 hm²。以 2004 年 TM 为数据源,经数字图像处理,提取开山采石形成的人为侵蚀景观斑块,绘制出采石场分布现状图;实地调查校验遥感分析与 GIS 制图结果,并获取采石场的属性特征数据,如采石场面积、距离主干公路的距离等,进而运用景观污染指数进行景观污染评价。

由附图 10 可以看出,该区废弃采石场在空间上可以分为 3 部分:

(1) 1[#]—13[#] 采石场位于该区西侧,靠近常州市的城市排洪河道——太滪运河,该区采石场的水土流失已经影响到太滪运河的泄洪能力。

(2) 14[#]—23[#] 采石场位于该区东南侧,靠近常州市的另外一条城市排洪河道——雅浦河,也已经对雅浦河的泄洪能力造成了影响。

(3) 24[#]—27[#] 采石场位于该区东北侧,开采面积较大,距离交通干道相对较远。

2 景观污染评价

2.1 废弃采石场景观污染现状

该区废弃采石场的危害主要有以下几个方面:(1) 废弃采石场多位于进入该区的交通干道附近,采石场距离交通干道最远不超过 300 m,均位于可视距离范围内,直接影响来往人流对该区的直观印象,造成了严重的景观污染现象。(2) 该区部分采石场靠近常州市的排洪河道——太滪运河、雅浦河,多年的开山采石造成了严重的水土流失,大量泥沙抬高河床,降低了泄洪能力而危及城市防洪安全。(3) 该区大部分采石场坡面稳定性较差,岩体崩塌或碎石滑落现象时有发生,因而对游客安全构成潜在威胁。

2.2 评价方法与结果

废弃采石场对其周边地区的景观产生了严重影响,特别是在该区已经被定位为旅游度假区后,景观污染的问题尤为突出。但每个采石场对景观的污染随着其空间位置、规模大小及其它属性特征的不同而有所差异,决策管理部门需要定量了解这种差异的具体情况而制定近、中、远期的生态恢复计划。景观指数是定量评价景观生态特征的重要途径^[9]。本文以景观污染指数(Landscape Pollution Index or LPI)作为一个综合指标来反映废弃采石场对城市景观的影响程度(表 1),其数学表达式如下:

$$I_{LP} = \alpha^3 \sqrt{TAD}$$

式中: I_{LP} ——景观污染指数; α ——景观污染系数,由采石场与周边环境的对比度决定,包括形体、线条、色彩、质地的对比,采石场与环境对比度越高,采石场就越敏感,其景观污染系数也越大,其取值为 0.8~1.2; T ——交通因子,根据交通线路等级将其划分为 3 类:1 类路包括高速公路、快速干道等,2 类路指一般干线或公路,本项目主要为锡宜路,3 类路指次要公路或乡村道路,主要为环太湖公路和雪马路; A ——面积因子,指采石场的可视面积; D ——视距因子,指采石场至交通干道的距离。

表 1 采石场景观污染评价因子评分标准

因子	标准与评分		
	1 类路	2 类路	3 类路
T	8 分	4 分	2 分
A	>10 hm ² 3 分	5 hm ² < A ≤ 10 hm ² 2 分	A ≤ 5 hm ² 1 分
D	≤100 m 3 分	200 m < D ≤ 100 m 2 分	D > 200 m 1 分

由上述景观污染评价因子评分标准计算得出的采石场景观污染指数见表 2。

景观污染指数分级标准为: $I_{LP} > 2.8$ 属于景观污染严重; $1.2 < I_{LP} \leq 2.8$ 属于景观污染一般; $I_{LP} \leq 1.2$ 景观污染较轻。根据此分级标准, 9#, 13#, 14# 采石场属于轻微景观污染, 3#, 6#, 11#, 12#, 27# 采石场属于严重景观污染, 其它采石场属于一般景观污染, 结果与实际情况相符。

表2 常州太湖地区采石场景观污染指数一览表

采石场编号	临近公路	公路类型	石场面面积/hm ²	视距/m	景观污染系数	景观污染指数
1	锡宜路	2.0	4.0	220	1.0	2.0
2	锡宜路	2.0	4.7	80	1.1	2.5
3	锡宜路	2.0	12.2	110	1.1	3.2
4	锡宜路	2.0	1.0	190	0.9	1.8
5	锡宜路	2.0	7.7	90	1.0	2.5
6	锡宜路	2.0	15.4	80	1.2	4.0
7	锡宜路	2.0	1.1	250	0.8	1.7
8	环太湖公路	3.0	0.3	270	0.8	1.4
9	环太湖公路	3.0	2.9	300	1.0	1.2
10	环太湖公路	3.0	3.4	80	1.1	2.0
11	环太湖公路	3.0	14.3	60	1.2	3.2
12	环太湖公路	3.0	5.3	70	1.1	2.8
13	环太湖公路	3.0	2.1	250	0.9	1.1
14	环太湖公路	3.0	1.0	110	0.8	1.2
15	雪马路	3.0	2.0	50	0.9	2.0
16	雪马路	3.0	5.6	200	1.0	1.3
17	雪马路	3.0	1.1	260	1.0	1.3
18	雪马路	3.0	2.0	240	1.0	1.3
19	雪马路	3.0	1.2	200	1.0	1.4
20	雪马路	3.0	1.0	30	1.1	2.0
21	雪马路	3.0	2.0	200	1.1	2.0
22	雪马路	3.0	1.4	180	1.0	1.6
23	雪马路	3.0	1.7	220	1.0	1.3
24	雪马路	3.0	1.2	200	1.1	1.7
25	雪马路	3.0	10.4	270	1.2	2.2
26	锡宜路	2.0	21.7	300	1.2	2.2
27	锡宜路	2.0	30.8	100	1.2	2.8

据当地政府估算, 每 1 hm² 废弃采石场的生态恢复费用约为 5.00×10^6 元, 复原所有采石场(约 150 hm²)的总费用大约为 7.79×10^{10} 元。根据这个评价结果, 可以结合实际情况, 分期分批对常州市太湖地区的采石场进行治理, 近期应首先对造成严重景观污染的 3#, 6#, 11#, 12#, 27# 这 5 个采石场采取治理措施, 进行生态恢复。

3 采石场生态恢复系统技术

该区废弃采石壁坡度都 $> 45^\circ$, 坡面性质为土石混合坡, 上面有少量的先锋植被, 覆盖率 $< 10\%$ 。为了便于对不同坡度的采石场采取不同的整治措施, 将主坡壁分为 $45^\circ \sim 70^\circ$, $> 70^\circ$ 的 2 种类型^[10]。根据以上现场实地调查, 制定了该区废弃采石场的生态恢复工程系统集成技术流程, 筛选了用于生态恢复的植物品种并选择技术经济上可行的 5 种生态恢复工程。

3.1 生态恢复工程系统集成技术流程

生态恢复工程系统集成技术流程包括废弃采石场调查与诊断, 生态恢复的可行性分析、生态恢复集成规划与设计、生态恢复工程的集成实施、生态恢复工程后评估、废弃采石场恢复集成管理体系。

3.1.1 废弃采石场调查与诊断 废弃采石场调查与诊断包括: 采石场空间分布特征; 景观污染评价采石场的属性特征(面积、视距、景观污染系数、土壤侵蚀等); 采石场主坡面坡度、植被覆盖度、先锋植被、岩层稳定情况。

3.1.2 生态恢复的可行性分析 生态恢复的可行性分析包括: 自然、社会、文化、经济、技术可行性论证; 确定恢复目标、恢复标准、指标与评价方法; 恢复生态条件(基质、水、养分、物种、温度、湿度); 恢复成本、效益与效率核算。

3.1.3 生态恢复的集成规划设计 生态恢复的集成规划设计包括: 确定近、中、远期生态恢复重点; 生态恢复技术筛选; 生物物种选择配置。

3.1.4 生态恢复工程实施 生态恢复工程实施包括: 投入人力、智力、财力、物力进行生态恢复工程; 生态恢复成功; 采石场的审核与验收。

3.1.5 生态恢复工程后评估 生态恢复工程后评估包括: 恢复后成本/效益分析; 恢复后社会、文化、心理影响或效果; 恢复后的环境、景观及生态效应; 恢复后的集成管理模式建立。

3.2 生态恢复的植物品种筛选

3.2.1 筛选原则 生态恢复植物品种筛选应遵守以下的基本原则: (1) 选择适合当地气候条件的植物。(2) 选择根系发达, 分生能力强的植物。(3) 选择抗性强、耐瘠薄的植物。同时由于养护强度低, 还要求植物具有较好的抗病性^[11]。

3.2.2 先锋植物的选取 根据以上的植物品种筛选原则和当地采石场废弃采石壁出现的先锋植被情况, 可供选择的生态恢复草本植物有 荩草 (*A. hispidus*)、一枝黄花 (*Solidago canadensis*)、野菊花 (*Wildcelery Herb*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)

Brongn)、麦冬 (*Ophiopogon japonicus*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、假俭草 (*Eremochloa ophiuroides*)、高羊茅 (*Festuca elata*)、黑麦草 (*Lolium perenne*) 等;藤本植物有木防己 (*Cocculus trilobus*)、鸡矢藤 (*Paederia scandens*)、海金沙 (*Curly grass*)、白蔹 (*Herba Ardisiae Japonicae*)。

3.3 生态恢复技术

目前坡壁绿化工程技术较多^[6-8],本研究考虑该区废弃采石场的具体情况及经济技术的可行性,选择了 5 种生态恢复方法。

(1) 网袋工程。将植物种子、肥料、土壤混装在纤维网或金属网袋中,然后固定在边坡表面上进行绿化的方法,适合于土石边坡和稳定岩质边坡。

(2) 框格工程。一种工程防护措施与生态防护措施相结合的方法,它采取在边坡上砌筑或装配一定形状的混凝土(或其它具有一定强度的工程材料)框格,然后在框格内堆填土体来进行绿化,适合于坡度较陡的土质和易风化的岩质边坡。

(3) 喷播复绿法。喷播复绿法利用特制喷混机械将土壤、有机质、保水剂、黏合剂和种子等混合后喷射到岩面上,在岩壁表面形成喷播层,营造一个既能让植物生长发育而种植基质又不被冲刷的稳定结构,保证草种迅速萌芽和生长。具有施工时间短,效率高,成活率高的特点,适合于各类稳定岩质边坡,并且适合于各类土壤条件较差的土质边坡、土石边坡和稳定岩质边坡。

(4) 垒砌阶梯复绿法。将开采面设计成阶梯形,在每一阶梯平台上覆土并植树,当树木长大,枝繁叶茂时,整个开采面将全部被遮盖,这不仅可治理水土流失,同时也改善了自然景观和生态小气候,以利后期种植其它植物。

(5) 景观再造法。可结合该区旅游规划建设需要,将采石场开辟成公园、游乐园、别墅区、生态廊道、雕塑等观光游览景点,以全新理念和生态景观美学为标准进行不同形式的选择。在施工之前需经过反复论证和精心设计,坡壁的绿化和美化应根据不同开发目的做整体的和长远的规划。坡壁应进行必要的加固处理,如挂网、打桩,绿化苗木宜选用四季常青、生长旺盛的种类。充分利用资源价值,将废弃石场变为休闲、娱乐、动植物栖息的场所,适用于开采面积大,绿化措施难于达到建设需要的采石场。

据各采石场边坡坡度、稳定情况等因素,对 27 个采石场分别采取不同的生态恢复方案(见表 3)。

由表 3 可以看出,根据各废弃采石场的具体情况,采用喷播复绿法的废弃采石场有 1[#], 8[#], 14[#]采

石场;采用框格工程的有 2[#], 3[#], 5[#], 11[#], 12[#], 16[#], 21[#], 22[#]采石场;采用景观再造法的有 6[#], 9[#], 24[#], 25[#], 26[#], 27[#]采石场;采用网袋工程的有 7[#], 9[#], 23[#]采石场;采用垒砌阶梯复绿法的采石场有 10[#], 13[#], 15[#], 17[#], 20[#]采石场;采用挖沟(钻孔)工程的有 4[#], 18[#]采石场。

4 结 论

根据景观污染指数算法及其评价指标体系,以常州市太湖湾地区废弃采石场为例,对其景观污染现象进行了定量化评价。根据评价结果筛选出已造成严重景观污染的废弃采石场,为决策管理部门合理安排整个废弃采石区的生态恢复工作提供了科学依据。同时根据对该区废弃采石场的现场实地调查,制定出该区废弃采石场的生态恢复工程系统集成技术并筛选出适合该区特征的 6 种生态恢复技术分别应用于不同情况的废弃采石场,因地制宜地开展生态景观恢复工作。

表 3 废弃采石场生态恢复方案选择

采石场分类	采石场号码	特征	边坡恢复方法
I	1 [#] , 8 [#] , 14 [#]	边坡垂直墙状, >70°, 相对稳定	喷播复绿法
II	2 [#] , 3 [#] , 5 [#] , 11 [#] , 12 [#] , 16 [#] , 21 [#] , 22 [#]	墙状, >70°, 岩床暴露, 断裂松散	框格工程
III	6 [#] , 9 [#] , 24 [#] , 25 [#] , 26 [#] , 27 [#]	岩床暴露, 壁面稳定, >70°, 面积较大, 相连的碗状区域	景观再造法
IV	7 [#] , 9 [#] , 23 [#] , 4 [#] , 18 [#]	壁面稳定, >70°, 墙状	网袋工程
V	10 [#] , 13 [#] , 15 [#] , 17 [#] , 20 [#]	45°~70°, 倾斜的墙状	垒砌阶梯复绿法

由于本研究提出的生态恢复方案正在全面实施阶段,有关景观生态环境改善的等方面的工作还需要进一步的深入调研,获取最新第一手的数据,我们将做进一步的研究和报道。

[参 考 文 献]

- [1] 崔海亭. 景观污染: 一个亟待解决的问题[J]. 生态学杂志, 2001, 20(3): 60-62.
- [2] Groves R H. Ecological indicators of landscape degradation [A]. In Rundel, P. W. (eds). Landscape Disturbance

- and Biodiversity in Mediterranean Type Ecosystems [C]. Springer, 1998. 55—61.
- [3] Cullen W R, Wheat C P, Dunleavy P J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire [J]. U K. Biological Conservation, 1998, 84:25—33.
- [4] 袁剑刚,等.采石厂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(6):1518—1522.
- [5] 束文圣,蓝崇钰,黄铭洪,等.采石场废弃地的早期植被与土壤种子库[J].生态学报,2003,23(7):1305—1312.
- [6] 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.
- [7] 夏汉平,蔡锡安.采矿地的生态恢复技术[J].应用生态学报,2002,13(11):1471—1477.
- [8] 陈波,包志毅.国外采石场的生态和景观恢复[J].水土保持学报,2003,17(5):72—74.
- [9] 陈文波,肖笃宁,李秀珍.景观空间分析的特征和主要内容[J].生态学报,2002,22(7):1135—1142.
- [10] 安保昭,周庆桐.坡面绿化施工法[M].北京:人民交通出版社,1988.134—142.
- [11] 潘树林,王丽.论边坡的生态恢复[J].生态学杂志,2005,24(2):217—221.

(上接第85页)

- [7] 王春裕,武志杰,石元亮.中国东北地区的盐渍土资源[J].土壤通报,2004,35(5):643—647.
- [8] 宋国利,陈文,臧淑英.黑龙江省生态环境中存在的主要问题及对策[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2004,20(5):100—105.
- [9] 秦秀忱,范国儒,金志刚,等.辽宁省沙漠化土地现状及治理对策[J].辽宁林业科技.2004(3):22—24.
- [10] 谢安,孙永罡,白人海.中国东北区近50年干旱的发展及对全球气候变暖的响应[J].地理学报,2003,58(增刊):75—82.
- [11] 汤惟.软件工程基础[M].西安:西安交通大学出版社,2001.21—132.
- [12] 陆惠恩,陆培恩.软件工程(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2002.23—105.
- [13] 陈建春.Visual C++开发GIS系统——开发实例剖析[M].北京:电子工业出版社,2000.158—251.
- [14] Taruna Goel Rachna Chaudhary.王晓娟,陈代川译.VBA专业项目实例开发[M].北京:中国水利水电出版社,2003.25—165.
- [15] Ryan K. Stephens, Ronald R. Plew.何玉洁,武欣,邓一凡等译.数据库设计[M].北京:机械工业出版社,2001.53—116.
- [16] Microsoft Corporation. Microsoft SQL Server 2000 构架解析[M].北京:科学出版社,2001.69—165.
- [17] 隆华软件工作室. Microsoft SQL Server 2000 程序设计[M].北京:清华大学出版社,2001.11—300.

(上接第87页)

(1) 15°~25°坡度等级单元占流域面积较大,为了确保该区生态经济协调发展,可考虑将坡地全部退耕,改为梯田或经济林,改变坡度、坡长因子(*LS*)和管理因子(*C*),从而减少该区的土壤流失量。该区的荒地应合理利用,如作为经济林或牧草地。

(2) 25°~35°坡度等级单元占流域面积最大,又是强侵蚀区,不宜耕作扰动,应全部退耕还林(乔木、经济、混交林)还草(考虑到经济价值,可种植牧草)。荒地也应纳入治理规划范围内,种草造林。梯田应逐渐退耕还林还草。

(3) >35°坡度等级单元坡度大,属极强侵蚀区,该区应全部恢复灌木林及牧草地,长期采取生物工程措施相结合的综合治理方针,增加植被覆盖度,使水土流失逐步得以控制。

[参 考 文 献]

- [1] Wisckmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains [M]. Agric Handbook, Washington, D C, USDA, 1965. 282.
- [2] Wisckmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses - a guide to conservation planning [M]. Agricultural Handbook, Science and Education Administration, U S Department of Agriculture, Washington, D C, USDA, 1978. 537.
- [3] 王晓燕.非点源污染及其管理[M].北京:海洋出版社,2003.69—70.
- [4] 黄金良,洪华生,张珞平,等.基于GIS和USLE的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J].水土保持学报,2004,18(5):75—79.
- [5] 蔡崇法,丁树文,史志华,等.应用USLE模型与地理信息系统IDRISI预测小流域土壤侵蚀量的研究[J].水土保持学报,2000,14(2):19—22.