

# 伏牛山铜矿废弃地景观规划

郭攀<sup>1</sup>, 王彬<sup>1</sup>, 夏妍<sup>1</sup>, 王桂萍<sup>2</sup>, 沈振国<sup>1,2,3</sup>, 陈亚华<sup>1,2,3\*</sup>

(1.南京农业大学生命科学学院, 江苏 南京 210095; 2.南京农业大学农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 江苏 南京 210095; 3.江苏省有机固体废物资源化协同创新中心, 江苏 南京 210095)

**摘要:**传统的矿区废弃地治理以恢复工程技术为主,对工程的植被选择和景观设计重视不够。该研究以南京伏牛山铜矿废弃地为例,通过现场调查和查阅文献的方式掌握其工程地质条件、水文地质条件、土壤类型、气候条件、植物资源、采矿遗迹及周边经济与人口的发展情况,并通过采集的127个土壤样品对该地域土壤重金属污染情况进行分析,提出了景观规划的思路 and 具体方案,以期对铜矿废弃地的生态治理和景观规划起到示范作用。

**关键词:**铜矿废弃地;重金属污染;景观规划

中图分类号:X321 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2015)02-0144-05 doi: 10.13254/j.jare.2015.0085

## Landscape Planning of Funiushan Copper Mine Wasteland

GUO Pan<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>, XIA Yan<sup>1</sup>, WANG Gui-ping<sup>2</sup>, SHEN Zhen-guo<sup>1,2,3</sup>, CHEN Ya-hua<sup>1,2,3\*</sup>

(1.College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.National Joint Local Engineering Research Center for Rural Land Resources Use and Consolidation, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3.Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Traditional governance of mine waste land is given priority to recovery engineering, and pays the limited attention to the vegetation selection and landscape design. Taking the Nanjing Funiu copper mine as an example, the engineering geological conditions, the hydrological and geological conditions, soil type, climatic conditions, plant resources, mining sites and the surrounding economic and population development were well understood through field investigation and review of literature, and the 127 soil samples were collected and analyzed for soil heavy metal pollution of the region. The landscape planning ideas and concrete plans were proposed in this paper in order to play an exemplary role in ecological management and landscape planning of mine waste land.

**Keywords:** copper mining wasteland; heavy metal pollution; landscape planning

汤山街道是江苏省百家名镇之一,著名的温泉之乡,地处江宁区东北端,距江宁东山主城30 km,西距南京市区28 km,北距长江约25 km。辖区面积223 km<sup>2</sup>,人口8.62万。南有直通禄口国际机场的汤铜公路,北有直达新生圩港口的汤龙公路,沪宁高速公路和宁杭公路由西向东穿镇而过。镇西以南为一呈东西走向的山地,属宁镇山脉西段沿江低山丘陵地貌。这里山青水秀、温泉遍布、溶洞成群、古迹众多,并且拥有安基山铜矿、九华山铜矿、伏牛山铜矿等矿山。但长期以来,由于矿山开采、矿石运输等人为活动以及矿

山废弃地的影响,汤山土壤、空气、水等受到严重污染,周边居住环境十分恶劣。伏牛山古铜矿遗址发现于南京东郊汤山街道东北约3 km的一座名叫南山的小山下,该山海拔205 m,地下埋藏有丰富的硫化铜矿资源<sup>[1]</sup>。伏牛山从春秋、隋唐时期就开始采矿活动,如今周边大小多个矿洞仍在进行开采。矿废弃物露天堆放于半山腰,淋滤液淹没及周边地势低的农田,农田土以及蔬菜中铜含量严重超标<sup>[2]</sup>。

南京市规划局、江宁区人民政府关于《南京市汤山新城总体规划2009—2030》中初步将伏牛山铜矿区一带设置为铜矿观光区,将是南京东大门的生态绿色屏障区和城区及近郊生态环境综合整治区的缓冲区。过去对矿产资源无序的开发利用已经造成了严重的地质、生态、环境等问题,如何科学、合理解决当前汤山废弃地植被恢复、生态景观重建问题,如何深入进行优势植物群落结构的调查和研究,特别是游览景

收稿日期:2014-12-30

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金(CX(14)2095);江苏省科技计划项目(BE2014742, BE2013709);国家自然科学基金(31371545);江苏省农业三新工程(SXGC(2015)S321600-4)

作者简介:郭攀(1985—),男,山东泰安人,博士研究生,主要从事植物修复与矿山治理研究。E-mail: guopan116@163.com

\*通信作者:陈亚华 E-mail: yahuachen@njau.edu.cn

观方面的设计以及重金属相关科普知识的普及,成为研究汤山铜矿污染废弃地恢复和景观重建的关键点。根据废弃地的自然地理条件、矿种类型、开采方式、开采强度、破坏程度以及当地的历史人文环境结合本实验室生物修复技术的研究进行矿山废弃地景观的生态规划。以具备较高经济价值的重金属耐性植物为主体,集成生物修复、景观、科普教育、植物经济价值等有效结合的方式在保护的基础上进行开发利用,以期废弃矿山废弃地环境治理中的景观规划提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域的布点采样

采矿区污染物分布空间异质性强,样点的布置为随机与功能区划相结合的方法,考虑到该矿区的地理特点,以主矿区为中心由密渐疏向周围放射状布点,沿着矿区的水流和风向,对矿渣、尾矿、附近的农田、水库、池塘、村庄进行土壤样品的采集。在农田土壤处应根据具体情况适当加密布点。每个样点用GPS定位,利用ArcGIS软件标示采样点(图1)。

### 1.2 样品的采集与处理

土壤样品采集采用蛇形布点法,用竹铲取表层土壤(0~20 cm),每个样点取6~10个点,混匀后以四分法留取土样约1 kg。土壤样品经阴干后用研钵研磨过2 mm(10目)尼龙筛,去掉砂粒及植物残体,用于测定土壤pH值、有效态铜含量测定;再从过2 mm尼龙筛

的土样中取50 g,用玛瑙研钵研磨,过0.15 mm(100目)塑料筛,烘干,用于测定土壤总铜含量。

### 1.3 土壤中重金属含量测定

土壤样品中重金属含量的测定参照Zhao等<sup>[9]</sup>的方法。精确称取干燥的土壤样品0.250 0 g倒入洁净干燥的消煮管中,然后加入6~8 mL  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$  ( $V:V=4:1$ )的混合酸消煮完全,消煮后的管子内加入20 mL 2.5%的稀硝酸,涡旋,70℃下水浴30 min,取上清作为待测液。待测液中元素的含量采用Jena NovAA400原子吸收分光光度计(Analytik Jena Co. Ltd., Germany)进行测定。样品消煮过程中以消煮的混合酸为空白,同时消煮,以消除消煮和分析过程中污染带来的误差。

### 1.4 数据处理

方差分析使用SPSS 14.0(SPSS Inc., Chicago, U.S.A)数据处理软件,采用Duncan多重范围检验方法。地理信息分析采用ArcGIS软件进行,景观规划采用AutoCAD、3dsMAX、Photoshop及Vary等软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 伏牛山废弃地研究区项目概况

#### 2.1.1 地质地貌

伏牛山地处宁镇山脉西段,受岩性和地质构造影响,岩溶地貌发育形成波状起伏的小山丘。研究区域现存主峰海拔高度为241.18 m,最大高差为161.48 m,区内山体坡向多为西北-东南走向。伏牛山整体坡度较缓,大部分地区不超过9°,有利于修整为平行地、梯田等,因此基本不存在滑坡、水土流失等风险。西侧和南侧山体保存比较完好,北侧和东侧山体由于大量开采矿石,形成多个采石矿坑,造成整个山体残破不堪、山林土地受到严重破坏,环境污染严重。

整个铜矿废弃地北部为低山丘陵地貌,南部为山前倾斜平原地貌,总体地势北高南低,东高西低。在开采后矿区中部形成大面积以丘陵低山为主的采坑矿区,矿区石英砂岩和角岩中含少量碎屑岩类裂隙水,仅靠大气降水补给,为弱含水层。矿层底界大体位于环状山脊分水岭部位,而整个矿层则居于环形山脊分水岭内侧,其间的干谷成为地表水及地下水的汇集地,矿区内在低洼地段分布有多处小池塘等地表水体(图2)。

#### 2.1.2 气候气象及水文

伏牛山铜矿,地处北亚热带季风气候区,四季分明,冬季干旱寒冷,夏季炎热多雨。一月份多年平均气温1.9℃,七月份平均气温28℃,年平均气温15.4℃。

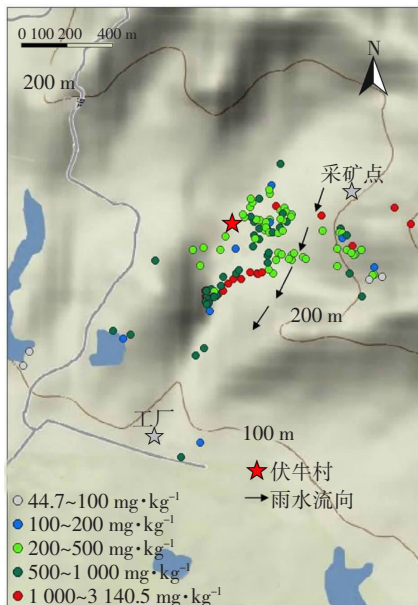


图1 采样点总铜含量分布频率图( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
Figure 1 The frequency distribution of total Cu in soil samples ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

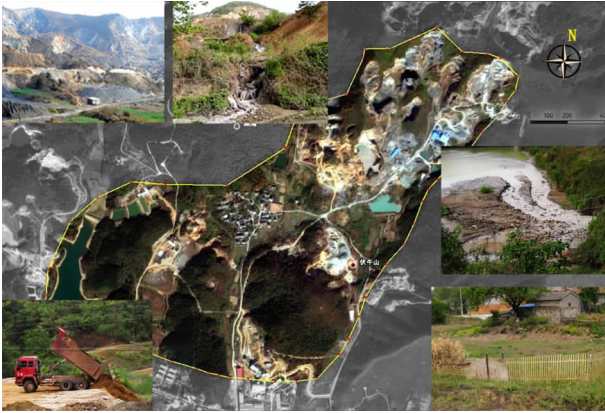


图 2 研究区卫片现状图

Figure 2 The satellite image of studied site

年降水量 1 060 mm, 年际及季节变化大(据安基山雨量站资料 1995 年为 639.3 mm, 2003 年是 1 448.3 mm), 降水日数 92~126 d, 多集中在 6—8 月, 占全年降水量 50% 左右。年蒸发量 1 400~1 500 mm, 无霜期 237 d, 日照充足, 日照率约 50%, 年日照量 2 212.8 h。区内主要的地表水源是窑湾水库, 起拦蓄降水径流, 作饮用水源及灌溉之用。

### 2.1.3 土壤植被

该地区的土壤以黄棕壤(地带性土壤)为主, 农业种植以水稻田、旱作和菜园地为主, 植物主要以禾本科、豆科为主。该铜矿主要矿物组合是: 黄铜矿、黄铜矿-黄铁矿、黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿, 目前已停止作业, 但是几十年的矿业生产所排放的废水和废气以及长期暴露在外的尾矿对矿区周围的土壤环境造成了相当严重的重金属污染。

### 2.2 伏牛山铜矿废弃地重金属污染情况调查与评价

表 1 列出了 127 个土壤样品中 Cu、Mn、Fe、Zn、As、Pb、Cd 的平均含量、变化范围以及国家标准土壤环境质量标准(GB 15618—1995)。结果显示, 该研究区土壤以 Cu 污染为主, 土壤总 Cu 含量最低值为 44

mg·kg<sup>-1</sup>, 最高含量达到 3 141 mg·kg<sup>-1</sup>, 同时土壤中存在轻微的 Zn 和 As 污染, 最高值分别达 847 mg·kg<sup>-1</sup> 和 38 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb 和 Cd 的含量低于检出限。

该研究区最高铜含量达到国家Ⅲ类土壤临界值的 7.9 倍, 说明部分采样点土壤受到较严重的 Cu 污染, 且 Cu 在该地区土壤中的分布极其不均匀。图 1 为 127 个采样点土壤 Cu 含量的分布频率图。由图 1 可以看出, 3.1% 的土壤样品中总 Cu 的含量 < 100 mg·kg<sup>-1</sup>, 6.3% 的土壤样品介于 100~400 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 未超过国家Ⅲ类土壤临界值(400 mg·kg<sup>-1</sup>)。样品 Cu 含量主要分布在 200~500 mg·kg<sup>-1</sup> (31.5%), 500~1 000 mg·kg<sup>-1</sup> (46.5%), > 1 000 mg·kg<sup>-1</sup> (20.5%) 3 个范围。越靠近污染源的样点铜污染越为严重, 此外, 水流方向与地势高低对铜的分布也有一定影响。

### 2.3 伏牛山铜矿废弃地的景观规划

矿区景观生态规划设计的理想目标是建立一个协调、稳定、效益好的景观生态系统, 理想景观生态系统的建立, 首先是其功能的完善和协调。景观生态系统的基本功能包括环境服务、生物生产及文化支持功能 3 类, 景观生态规划就是要保证这三大功能的实现<sup>[4]</sup>。结合伏牛山基本农田保护和土地整理, 根据调研的土壤铜污染情况和 pH 值等数据, 将生态恢复、重金属修复及现代农业生产经营活动结合起来, 旨在提升整个区域的生态、农业经济效益及社会影响。以“生态、科普、人文、经济”为原则, 立足于整个铜污染区域的修复和控制以改善生态环境, 以重金属污染修复技术的研究与推广为重点, 将生态劣势条件, 转变为景观建设的优势条件, 营建环境优美、生态良好的近郊山林公园, 并打造重金属污染的科普、教育、修复技术展示及推广中心。总体以景观设计的手段, 挖掘伏牛山铜矿废弃地独特的矿业人文资源以及亿万年来地质活动所形成的地质遗迹, 结合本实验室土壤修复的技术将总研究区进行整体规划, 主要分为休闲度假区、种苗繁育区、科普教育区、生态观光区、特色矿业景观区、接待服务区等, 具体设计参照图 3, 修复实景参照图 4, 主要功能区域具体规划如下:

(1) 休闲度假区: 该区域属于无污染区, 对于伏牛山铜矿现有的一些采矿设备可开展以矿业活动为主题的休闲、游览活动。游览活动区内可以规划适宜的游览方式和活动内容, 安排适度的游憩设施, 同时加强游人的安全保护工作, 防止意外发生。如设置矿业自助加工园: 以现有的生产厂房、车间, 满足游客参观、模拟生产的需要, 使游客在体验中寓教于乐; 矿山

表 1 伏牛山铜矿废弃地研究区土壤

重金属(Cu、Zn、Fe、Mn)含量

Table 1 Concentrations of heavy metals (Cu、Zn、Fe、Mn) in sampling soils from Funiushan copper mine wasteland

| 项目             | 重金属含量 Soil elements/mg·kg <sup>-1</sup> |        |           |            |    |       |
|----------------|-----------------------------------------|--------|-----------|------------|----|-------|
|                | Cu                                      | Zn     | Mn        | Fe         | Pb | As    |
| 范围值<br>(n=127) | 44~3 141                                | 93~847 | 0.48~7.71 | 1.67~42.87 | *  | 15~38 |
| 平均值            | 614                                     | 360    | 1.80      | 12.38      | *  | 21    |

注: 采样区土壤 pH 值的范围为 4.67~7.55, 平均值为 6.80; “\*”表示未检出。





图 3 伏牛山铜矿废弃地生态治理与景观规划总平面图

Figure 3 The ecological management and landscape plan planar graph of Funiushan copper mine abandoned land



图 4 伏牛山废弃地功能分区景观实景图

Figure 4 The environment of Funiushan wasteland landscape plan of ecological function zone

纪念品自助加工区：利用矿山自有的石材建立雕塑吧,举行艺术展览,让游客自己动手加工展示个性的纪念品。老伏牛村附近的水库、池塘开发为自助垂钓、烧烤、野营区,水库前的矿山可开发为人工瀑布,游客

可边泛舟边欣赏山川美景,以上休闲活动与汤山温泉可成套系列服务。

(2)种苗繁育区:该区域离采矿区较远,污染非常轻且土壤中有效态铜含量非常低,可满足多数经济作

物的生长。建议学习安徽省铜陵市凤凰山铜污染农田种植牡丹的经验,进行凤丹种苗繁育以收获优质丹皮酚中药材。

(3)科普教育区:在低、中、高污染土壤中,建成植物钝化稳定(黄花月见草)、植物提取(海州香薷)、植物-微生物(土壤细菌、外生菌根菌)联合修复科普示范园以打造学生课外科普教育基地。

(4)生态观光区:该规划区基本不存在任何污染,旨在保护原有的自然生态环境,利用原有和新开辟建设的登山步道,沿途建设休息休闲设施以满足游人攀登眺远。由于该区域离科普教育与修复区和种苗繁育区较近,特建设生物能源发酵厂,对土壤修复植物采用回收、发酵、铜肥生产等程序进行再利用。

(5)特色矿业景观区:该景观区是生态最敏感区,应遵循生态优先、生态保护的原则。在核心景观区内要以保护采矿遗迹或地质遗迹为主,对壮观的露天采场,奇峰洞壑等景观资源要作为主要的景观要素来进行保护,可建立科普教育与修复区、矿山地质研究区,对特有的地质现象和地质景观进行讲解,为地质工作者提供科学考察和研究的条件,为普通游客提供学习和科学普及。在以保护伏牛山古铜矿遗址为主的前提下建立古铜矿遗址博物馆,展示从春秋到隋唐时期我国古代采矿文化,利用出土文物、矿石标本、照片、图表、模型等并结合竖井、平巷、盲井等遗留景观,反映了遗址的地质地貌、发掘经过、年代测定、采冶结合等状况。该矿处于石英闪长岩等高硬度岩体中,不需支柱的矿洞千年不坍塌,这些都可以设置为特色参观点,同时开发自助体验古法采矿活动等。

(6)接待服务区:主要以农家餐饮、儿童娱乐为主。

### 3 讨论

南京汤山伏牛山铜矿是我国四大古铜矿之一,长期的露天开采导致山体植被破坏严重,间接造成水土流失和山体滑坡等。开采过程中使用的大量地下水会引发地面沉降,矿业废水和粉尘等对环境造成严重污染。谷金锋等<sup>[5]</sup>认为,矿业废弃地是采矿、选矿和炼矿过程中被破坏或污染的、非经治理而无法使用的土地。如今的伏牛山古铜矿遗址已经完全废弃,废渣、尾砂等对当地的生态环境和民众生活构成了严重威胁。

国内外关于矿业废弃地的景观规划的经典案例

非常多,而我们将景观规划与重金属修复手段相结合,集生态旅游与科普教育、技术推广于一体尚属首例。矿山污染土地的修复中,重金属的修复是一个漫长的过程,也是一个世界性难题,一般生态修复率不会很高<sup>[6]</sup>,因此合理利用污染废弃地将是重金属污染修复最合理的目标。根据整个研究区的地质地貌、气象水文以及土壤植被等,结合笔者关于重金属污染修复的研究基础,利用景观设计的手法,秉着合理利用铜污染土壤的原则对该区域的景观生态恢复给出了规划建议,如何在保证伏牛山铜矿废弃地生态安全的基础上,调整景观空间布局,使景观生态与产业发展双赢以期提高生活质量、改善生态环境将是景观规划的最终目的。

### 参考文献:

- [1] 陈兆善. 南京伏牛山古铜矿遗址[J]. 东南文化, 1988(6): 58-68.  
CHEN Zhao-shan. Nanjing Funiu ancient copper mine ruins[J]. *Journal of Southeast Culture*, 1988(6): 58-68. (in Chinese)
- [2] 陈亚华, 黄少华, 刘胜环, 等. 南京地区农田土壤和蔬菜重金属污染状况研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15: 356-360.  
CHEN Ya-hua, HUANG Shao-hua, LIU Sheng-huan, et al. Research on heavy metal pollution of farmland soil and vegetables in Nanjing area [J]. *Journal of Resources and Environment in Yangtze River Basin*, 2006, 15: 356-360. (in Chinese)
- [3] Zhao F, McGrath S P, Crosland A R. Comparison of 3 wet digestion methods for the determination of plant sulfur by inductively-coupled plasma-atomic emission-spectroscopy (ICP-AES)[J]. *Commun Soil Sci Plant*, 1994, 25: 407-418.
- [4] 王 滢, 赵艳红, 翟兰英. 矿区景观生态规划浅析——以河北省武安市为例[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2005, 21: 90-93.  
WANG Ying, ZHAO Yan-hong, ZHAI Lan-ying. Analysis on landscape ecology of mineral region: Take the example of Wuan City of Hebei Province[J]. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 2005, 21: 90-93. (in Chinese)
- [5] 谷金锋, 蔡体久, 肖 洋, 等. 工矿区废弃地的植被恢复[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32: 19-22.  
GU Jin-feng, CAI Ti-jiu, XIAO Yang, et al. The vegetation restoration of industrial and mining wasteland[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 32: 19-22. (in Chinese)
- [6] 郑怡斌, 周连碧, 林 海. 矿山生态修复及考核指标[J]. 金属矿山, 2008(8): 109-112.  
ZHENG Yi-bin, ZHOU Lian-bi, LIN Hai. Mining ecological restoration and evaluation indexes[J]. *Journal of Metal Mines*, 2008(8): 109-112. (in Chinese)