

# 抚仙湖流域磷矿开采废弃地恢复滇油杉群落的物种配置研究

赵敏慧<sup>1</sup>, 杨礼攀<sup>2</sup>, 杨中宝<sup>1</sup>, 王跃<sup>1</sup>

(1. 玉溪师范学院 资源环境学院, 云南 玉溪 653100; 2. 云南省中医学院, 昆明 650500)

**摘要:**运用法瑞学派野外群落样方调查方法,对抚仙湖流域磷矿开采区物种较丰富的滇油杉群落的结构特征及各物种在群落内的地位进行了分析,制定出用滇油杉群落乔灌层优势种滇油杉、高山栲、滇石栎、厚皮香、常绿蔷薇,及当地抗逆性强的乡土物种地石榴、葛根、滇蔗茅、狗牙根做磷矿开采废弃地恢复的物种配置方案,以使恢复后的滇油杉群落结构合理、物种丰富、系统稳定,尽快恢复矿区的生态服务功能。

**关键词:**植被恢复; 滇油杉群落; 物种配置; 磷矿开采废弃地; 抚仙湖流域

中图分类号: X171.4; S791.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)06-0260-04

## A Study on Species Disposition of Restoring *Keteleeria evelyniana* Community on the Phosphorus Mining Abandoned Land in Fuxianhu Basin

ZHAO Min-hui<sup>1</sup>, YANG Li-pan<sup>2</sup>, YANG Zhong-bao<sup>1</sup>, WANG Yue<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China;

2. Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Based on a field sample survey on vegetation community by using the method of France-Sweden school, this paper analyzed the structural characteristics and species status in the *Keteleeria evelyniana* community with abundant species in the phosphorus mineral region in Fuxianhu basin. A reasonable species disposition plan was proposed for the abandoned phosphate mining area based on the dominance species in *Keteleeria evelyniana* community, such as *Keteleeria evelyniana*, *Castanopsis delavayi*, *Lithocarpus dealbatus* of arborous layer, *Ternstroemia gymnanthera*, *Rosa longicuspis* of shrub layer besides *Ficus ticoua*, *Pueraria lobata*, *Erianthus rockii* Keng, *Cynodon dactylon* which are local species with strong resistance. It is expected that the restored *Keteleeria evelyniana* community should be an abundant species with a rational community structure and a stable ecological system as well as restoring the ecological service function of the mining as soon as possible.

**Key words:** vegetation rehabilitation; *Keteleeria evelyniana* community; species disposition; phosphorus-mined wasted-land; Fuxianhu basin

抚仙湖流域磷矿的露天开采在澄江县已有 20 余年的历史。磷矿开采所引发的水土流失除对本区域产生影响外,还会对更大范围内的土地利用、水文条件产生影响<sup>[1]</sup>。同时矿山废弃地对土地的侵占和环境污染已成为区域经济社会发展的制约因素<sup>[2-4]</sup>。植被所表现出的固持土壤、保持水土、净化环境的功能是生态建设的重要目标,同时也产生较好的生态、经

济和社会效益,成为矿山生态恢复和重建的核心。滇油杉林是滇中地区生态适应幅较宽的一类次生林,在研究区生长良好,并具有较强的水土保持效能,可作为磷矿开采废弃地的恢复林种选用<sup>[5]</sup>。而恢复林种内如果物种配置不当,将使林木不易成活或树木长期生长不良,起不到森林的防护作用,使经济受到巨大损失<sup>[6]</sup>。为恢复和改善抚仙湖磷矿开采区生态环境,

收稿日期: 2011-04-14

修回日期: 2011-05-30

资助项目: 云南省科技厅“抚仙湖流域磷矿开采区植被恢复的林种配置与空间布局研究”(2006B0088M); 云南省教育厅“抚仙湖流域磷矿开采区植被恢复的林种配置研究”(0621248)

作者简介: 赵敏慧(1974-),女,云南通海人,硕士,副教授,主要从事景观生态与恢复生态研究。E-mail: zmh@yxnu.net

通信作者: 杨礼攀(1974-),男,云南会泽人,博士,副教授,主要从事资源植物和植物生态研究。E-mail: lipany@xtbg.ac.cn

遏制磷矿开采对抚仙湖造成的污染,本文通过野外调查,对研究区物种多样性较丰富的滇油杉群落特征及群落内各物种地位进行分析,制定出磷矿开采废弃地恢复滇油杉群落的物种配置方案,以使滇油杉林在恢复中通过合理的树种配置,在短期内发挥最大的生态效益和经济效益。

## 1 研究区概况

仙湖流域磷矿开采区位于抚仙湖东北角,玉溪市澄江县城东,东经  $102^{\circ}56' - 103^{\circ}01'$ ,北纬  $24^{\circ}37' - 24^{\circ}46'$ 。开采区面积  $7\,244.27\text{ hm}^2$ ,占流域总面积的  $10.28\%$ ,总储量 4 亿 t,品位高,易开采。本区属亚热带高原季风气候,干湿季节分明,雨热同季,年平均气温  $16.5^{\circ}\text{C}$ ,最冷月 1 月平均气温  $8.3^{\circ}\text{C}$ ,最热月 7 月平均气温  $20.5^{\circ}\text{C}$ ,年降水量  $900 \sim 1\,200\text{ mm}$ ,年日照时数为  $2\,141.8\text{ h}$ 。土壤有红壤、黄棕壤、水稻土,以红壤为主。地带性植被是以壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、茶科(Theaceae)、木兰科(Magnoliaceae)植物为优势种的半湿润常绿阔叶林。磷矿开采废弃地面积  $119.70\text{ hm}^2$ ,虽只占开采区面积的  $1.65\%$ ,但因常年深度剥离式的无序开采,开采区除小面积用单一树种(主要是桉树)做了植被恢复外,大面积或者未采取任何恢复措施,或只用尾矿石做了简单的开采坑回填,仍然残留了大面积的开采坑和开采塌陷坡面。表土堆积区则程度不同的自然恢复为结构简单的灌草丛群落,系统稳定差。因此,磷矿的开采不仅清除了地表原有的多种植被、破坏了土壤结构,也影响到区域景观的完整性,而且雨季表土随径流流失,增加了抚仙湖的污染负荷。

## 2 研究方法

野外调查依分散典型取样原则,在研究区滇油杉群落成片分布地段选取样地进行群落调查。样地形状依地形而定,共设置样地 3 个,单个面积  $100\text{ m}^2$  ( $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ )。每木调查乔木、灌木,在每个样地内分别设面积为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的小样方,调查草本植物。在设置的样地内,用法瑞学派方法调查每个样方的植物种类、每种植物的存在度、多优度、群集度、高度及群落盖度。存在度为某种植物在某一个群落类型的各个群丛个体样地中的出现率(存在度 = 某种植物在同一群落类型各群丛个体样地的出现数/样地数  $\times 100$ ),用 I、II、III、IV、V 五级表示,各级存在度分别对应着  $1\% \sim 20\%$ 、 $21\% \sim 40\%$ 、 $41\% \sim 60\%$ 、 $61\% \sim 80\%$ 、 $81\% \sim 100\%$ 。多优度采用 +~5 六级制,即盖度一多度级,以盖度为主结合多度,各等级表示样地

内某种植物的种盖度大小值。群集度级采用 5 级制,以聚生状况与盖度相结合,各等级含义见表 1。

表 1 多优度、群集度各等级含义表

多优度、群集度等级	盖度/%	聚生状况
5	75~100	集成大片,背景化
4	50~75	小群或大块
3	25~50	小片或小块
2	5~25	小丛或小簇
1	0~5	个别散生或单生
+	数量少或单株	

然后计算每物种综合优势比,综合优势比 = (盖度比 + 高度比) / 2  $\times 100\%$ ,其中盖度比 = 某一物种的盖度/样地中盖度最大的物种盖度  $\times 100\%$ ,高度比 = 某一物种的高度/样地中高度最大的物种高度  $\times 100\%$ 。

## 3 滇油杉林群落特征及各植物种在群落中的地位分析

### 3.1 滇油杉群落特征

滇油杉(*Keteleeria evelyniana*)除了作为云南松(*Pinus yunnanensis*)林的一个重要成分外,在大多数情况下常与其他常绿的乔灌木物种共同构成混交林。滇油杉林在研究区主要分布于的茶叶箐和小团坡面山,仅一块成片保存,长势良好,面积约  $8.01\text{ hm}^2$ ,分布远不如云南松和华山松广泛,但却是研究区典型的物种多样性较丰富的群落。

滇油杉群落乔木层高  $8 \sim 16\text{ m}$ ,层盖度  $60\% \sim 75\%$ ,以滇油杉为优势,混交少数高山栲(*Castanopsis delavayi*)、滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)等常绿树种,混交树种的总株数或盖度一般不及滇油杉的  $1/3$ 。因此,本群落的林冠以滇油杉为主体,呈现常绿针叶林的外貌,翠绿色而比较整齐。下层乔木比较稀疏,高矮不一,主要为滇油杉、高山栲的幼树。整个林内透光明亮,仅在数目密集处的林下稍隐蔽而湿润。灌木层比较发达,多见喜阳耐旱种类,小铁仔(*Myrsine africana*)、炮仗花杜鹃(*Rhododendron spinuliferum*)、常绿蔷薇(*Rosa longicuspis*)、水红木(*Viburnum coreacens*)、臭荚迷(*Viburnum foetidum*)、厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera*)等占优势。由于人为活动频繁,草本层以附近荒坡草丛的种类为主,其中紫茎泽兰(*Eupatorium coelestrium*)的入侵也为显著特征。滇油杉林物种丰富,调查样地里共有 42 种植物,每个样地  $16 \sim 28$  种。

### 3.2 滇油杉群落样地存在度 4 级及 4 级以上物种在群落中的地位

调查的 3 个滇油杉群落样地乔灌草层分层明显,

种类丰富,存在度 4 级及 4 级以上的物种也相对丰富,特别是灌木层。滇油杉在 3 个群落中多优度一群聚度大于 3.3,树冠处于乔木层上层,综合优势比为最大值 1,以建群种的身份出现,起着构建群落的作用。高山栲和滇石栎位于乔木层下层,属于乔木层的亚优势种(表 2,表 3)。

样地 1 共有物种 22 种,其中灌木层 13 种物种中,存在度 4 级及 4 级以上的就占了 10 种,但它们的多优度一群聚度都只处于+.1 和 1.1 之间。水红木因盖度、高度最大,其综合优势比为最大值 1,炮仗花杜鹃、厚皮香分别为 0.9,0.87,成为该层的优势种。臭荚迷、常绿蔷薇综合优势比 0.65 和 0.62 成为该层

的亚优势种,而小铁仔、金银花等物种在群落中呈个别散生或单生状态,综合优势比依次降低,为该层的伴生种。草本层 6 个物种,存在度 4 级及以上的占 3 种,以紫茎泽兰占主导地位,毛甘青蒿和刚莠竹半生其间。

表 2 滇油杉群落样地基本情况

项目	样地 1	样地 2	样地 3
地点	茶叶箐	茶叶箐	小团坡
坡向	正北	北偏东 35°	北偏东 35°
坡度/(°)	36	35	36
总盖度/%	80	90	85
物种数/种	22	16	28

表 3 滇油杉群落样地存在度四级及以上物种综合优势比

植物名称	样地 1			样地 2			样地 3		
	盖度比	高度比	综合优势比	盖度比	高度比	综合优势比	盖度比	高度比	综合优势比
乔木层									
滇油杉	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
高山栲	0.29	0.50	0.39				0.07	0.57	0.30
滇石栎	0.07	0.32	0.19	0.11	0.56	0.33			
水红木	1.00	1.00	1.00				0.20	0.71	0.05
炮仗花杜鹃	1.00	0.81	0.90	0.40	0.44	0.42	0.20	0.74	0.50
厚皮香	1.00	0.75	0.87	1.00	0.60	0.80			
臭荚迷	0.75	0.56	0.65	0.80	0.32	0.56			
常绿蔷薇	0.50	0.75	0.62				1.00	0.88	0.90
灌木层									
小铁仔	0.50	0.53	0.51	0.80	0.52	0.66	0.20	0.59	0.40
金银花( <i>Lonicera japonica</i> )	0.50	0.56	0.50				0.15	0.47	0.30
金丝梅( <i>Hypericum patulum</i> )	0.50	0.56	0.50				0.05	0.35	0.20
华灰木( <i>Symplocos chinensis</i> )	0.25	0.38	0.31	1.00	0.60	0.80			
白牛胆( <i>Inula cappa</i> )	0.25	0.25	0.25	0.80	0.24	0.52			
云南松				1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	0.60
蜜桶花( <i>Brandisia hancei</i> )				0.20	0.33	0.26	0.05	0.35	0.20
沙针( <i>Osyris wightiana</i> )				0.20	0.24	0.22	0.05	0.41	0.20
草本层									
紫茎泽兰	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
毛杆青蒿( <i>A. tangutica</i> var. <i>tomentosa</i> )	0.03	0.75	0.39				0.20	0.35	0.30
刚莠竹( <i>Microstegium ciliatum</i> )	0.03	0.50	0.26	0.05	0.67	0.36	0.80	0.59	0.70
红果苔草( <i>Carex baccans</i> )				0.03	1.00	0.50	0.40	0.65	0.50

注:为比较的方便,以样地 1 作为标准进行排序。

样地 2 相对其它两个样地物种数较少,只有 16 种,其中灌木层 11 类物种中存在度 4 级及以上的占到 9 种,但它们的多优度一群聚度也都只处于+.1 和 1.1 之间。云南松因高度达 2 m 以上,综合优势比为 1,华灰木、厚皮香盖度和云南松盖度相等,而高度仅次于云南松,综合优势比 0.8,成为灌木层的优势种;小铁仔、臭荚迷、白牛胆综合优势比分别为 0.66,0.56,0.52,成为灌木层的亚优势种;蜜桶花和沙针综合优势比最低,属于伴生种。草本层中紫茎泽兰多优度一群聚度 5.5,几乎密布了整个草本层,最占优势,而红果苔草和刚莠竹伴生其间。

样地 3 共有物种 28 中,其中灌木层 16 种,存在度 4 级及 4 级及以上的有 9 种,多优度一群聚度除常绿蔷薇 2.2 外,其它物种均处于+.1 和 1.1 之间。灌木层中常绿蔷薇因盖度最大,综合优势比 0.94,为该层的优势种;云南松盖度、高度仅次于常绿蔷薇,综合优势比 0.62,炮仗花杜鹃、水红木、小铁仔和金银花散生于样地内,综合优势比仅次于常绿蔷薇,为该层的亚优势种;而金丝梅、蜜桶花和沙针以单株出现,为该层的伴生种。草本层除紫茎泽兰外,刚莠竹、红果苔草因盖度和高度相对较大而综合优势比占优势,毛甘青蒿见单株。

综合 3 个样地的情况可看出,调查的滇油杉群落物种丰富,除紫茎泽兰外均由地带性乡土物种组成。且除滇油杉和紫茎泽兰外各物种间的竞争较剧烈,只是所处的演替时段不同,各物种的地位不同而已。说明只要给予这些植物群落适当的抚育措施,再施行足够时间的封山育林,它们有进一步向针阔混交林或常绿阔叶林发展的趋势。因此在选用该群落做磷矿开采废弃地的恢复时,各层可选用的物种为:乔木层选用滇油杉、高山栲、滇石栎;灌木层选用水红木、炮仗花杜鹃、厚皮香、臭荚迷、常绿蔷薇、华灰木、小铁仔、白牛胆、金银花;草本层选用刚莠竹、红果苔草和毛甘青蒿。

## 4 滇油杉群落内的物种配置

### 4.1 物种选择原则

为使恢复后的滇油杉群落结构合理、功能完善,物种多样性丰富,群落内物种的配置应依待恢复地段的立地条件,按乔灌草藤结合的原则,选择既具有固坡、防止水土流失等生态防护作用,又利于景观美化的物种。具体选择的物种要具有以下特点:(1)根系发达、生长快;(2)适应性强、抗逆性好;(3)具固氮能力;(4)当地优良的乡土树种和先锋树种;(5)种源易于人工繁殖,易栽易管;(6)物种不仅经济价值高,还具有多功能效益。

### 4.2 物种配置方案

用滇油杉群落做磷矿开采废弃地的恢复时,理论上可选用各样地中存在度 4 级及以上物种做恢复,但在实际人工恢复中,考虑到某些物种因不易人工繁殖或难以购置,如臭荚迷;或属于自然演替中会自动进入人工恢复群落中的本地杂草,如刚莠竹、毛甘青蒿,在物种配置中就不再考虑。而应选用在半湿润常绿阔叶林森林气候条件下易栽易管的其它适应范围广的乡土物种来替代。

具体物种配置在开采废弃地土地复垦后分 4 个小地段来施行。在开采陡坎区沿等高线带状整地,选用抚仙湖流域广泛采用的耐贫瘠、干旱、萌生性强、护坡、护土效果良好、生长迅速的藤、草植物做恢复,如地石榴(*Ficus ticoua*)、葛藤(*Pueraria lobata*),这样既达到对边坡裸岩的快速覆绿,也可起到降低坡高,加强边坡岩体稳定性的作用。在开采斜坡区沿等高线带状整地,用滇油杉群落内的优势灌木和研究区适应性强、覆地蔓延迅速、生物量高的多年生草本滇蔗茅(*Erianthus rockii* Keng)和狗牙根(*Cynodon dactylon*)做恢复。在开采平台区、削坡平台区和表土堆积区,由于土壤基质条件相对较好,按“品”字型整地,用滇油杉群落内的优势乔、灌物种做恢复,草本植物

则让其自然恢复进入,不需要人工栽种。同时在待恢复地段附近找出小片水肥条件较好的区域做补植区,栽种滇油杉群落乔木优势种,和成活率高、具经济价值、美化效果的 2~3 类灌木做死苗的后备补充。这样,通过营造针阔混交林和乔灌草藤复层林,来改善和恢复矿区退化的生态环境。具体物种配置方案见表 4。

表 4 滇油杉群落物种配置

位置	乔木	灌木	藤草
开采陡坎区			地石榴 葛根
开采斜坡区		厚皮香 常绿蔷薇	滇蔗茅 狗牙根
采矿平台区	滇油杉 高山栲	厚皮香	自然恢复
表土堆积区	滇石栎	常绿蔷薇	
补植区	滇油杉	常绿蔷薇 火棘	

## 5 结语

滇油杉群落属于生态适应幅较宽的植被类型,在抚仙湖流域生长良好,群落内物种丰富,除紫荆泽兰外均是和当地气候长期协同进化的乡土物种。同时滇油杉群落外貌翠绿而比较整齐,属于具有园林美化效果的生态林。因此,在矿山生态恢复中考虑到景观的连续性和完整性,可在周边残留有滇油杉群落的矿山废弃地上选用滇油杉群落做人工恢复。恢复过程中依待恢复开采废弃地的小生境差异,在土地复垦基础上分 4 个小地段来做恢复。具体恢复地段及物种配置方案为:开采陡坎区选用抚仙湖流域抗逆性、萌生性强、护坡、护土效果良好的地石榴和葛藤做恢复;开采斜坡区用滇油杉群落内的优势灌木厚皮香和常绿蔷薇,及研究区蔓延迅速、生物量高的多年生草本滇蔗茅和狗牙根做恢复;在开采平台区、削坡平台区和表土堆积区用滇油杉群落内的优势乔木滇油杉、高山栲、滇石栎,优势灌木厚皮香、常绿蔷薇种做恢复,草本植物则让其自然恢复;补植区选用滇油杉、常绿蔷薇和火棘做死苗的后备补充。这样通过分地段的物种配置,将缩短群落从废弃地到生态林的恢复和演替时间,使恢复后的滇油杉群落结构合理、物种多样性丰富、生态系统稳定,以尽快发挥磷矿开采区的生态服务功能。

### 参考文献:

- [1] 卞正富,张国良,胡喜宽. 矿区水土流失及其控制研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 31-36.

林培育学科高新科技的应用主要集中在林木育种和良种繁育、育苗技术、造林技术等领域,通过基因工程(如基因重组、转基因等)、克隆(如体细胞培养等)、倍体育种(如优良多倍体的培育)、辐射育种等高新技术与常规育种(杂交育种)相结合实现森林的多目标培育(速生、丰产、优质、抗性);栽培生理基础研究(细胞及分子水平)及应用基础研究将为良种繁育技术、育苗技术、森林培育的定向及集约技术的发展和新兴的森林培育技术的产生提供坚实的科学基础,也将成为提高森林培育质量的强大动力。

### 3.3 加强林业有害生物防治技术的研究,应用保障林地水土保持功能的持续提高

对制约西北地区林业生产可持续发展的有害生物问题开展基础理论及防治关键技术的创新。在西北地区林业重大有害生物成灾规律、重大有害生物可持续控制技术创新、植保资源生物多样性及其利用、生物源新农药创制方面有所突破,为林地水土保持功能的持续提高提供保障。

### 3.4 加强林业科技推广体制创新,促进林业新技术新成果推广与转化

近年来,林业科技工作者通过研究攻关,在森林

培育方面取得了一系列新的技术和成果,但由于推广体制、机制等原因,新技术、新成果没有很快地推广普及到广大林区,没有被林农真正掌握。加快林业科技推广体制改革和创新,建立适宜不同地区林业科技入户的新机制、新模式是当前加快林业科技成果转化为实现生产力的重要途径。根据我国林业科技的发展现状和推广体制存在的问题,应发挥政府、科教单位、企业等多方面的优势,建立多轮驱动、相互协作的多元化林业科技推广新机制、新模式,促进成果转化,将会对林地水土保持功能的持续提高发挥重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 高志义. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 孙玉军. 可持续发展机制及相应林业对策的研究[J]. 东北林业大学学报,1995,23(4):15-20.
- [3] 张华嵩. 植被恢复过程与防止土壤流失效果的研究[J]. 林业科学,1989,25(1):40-49.
- [4] 姜凤岐. 现有林地合理经营与改造技术研究[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [5] 胡贵泉. 水源林、水保林林分结构与密度管理[C]//长江中上游林地建设论文集. 北京:中国林业出版社,1991.
- [6] 姜凤岐,朱教君,曾德慧,等. 防护林经营学[M]. 北京:中国林业出版社,2002.

(上接第263页)

- [2] 蓝崇钰,束文圣,孙庆业. 采矿地的复垦[M]//陈昌笃. 持续发展与生态学. 北京:中国科技出版社,1993:132-138.
- [3] Dudka S, Adriano D C. Environmental impacts of metal ore mining and processing; a review[J]. Journal of Environmental Quality,1997,26:590-602.
- [4] Wong M H. Environmental impacts of iron ore tailings;

the case of Tolo Harbour, HongKong[J]. Environmental Management,1981,5:135-145.

- [5] 赵敏慧,杨礼攀. 基于现状植物群落特征的东大河磷矿开采区植被恢复研究[J]. 玉溪师范学院学报,2007,23(8):46-51.
- [6] 吕福军,王晓辉. 通辽市科尔沁区适宜林种结构和树种配置的探讨[J]. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2003,18(1):50-52.

(上接第267页)

- [4] 肖文发,雷静品. 三峡库区森林植被恢复与可持续经营研究[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(2):138-144.
- [5] 王莹,李道亮. 煤矿废弃地植被恢复潜力评价模型[J]. 中国农业大学学报,2005,10(2):88-92.
- [6] 焦志芳,高建钰,白中科. 露天煤矿待复垦土地适宜性评价单元类型的划分[J]. 山西农业大学学报,1999,19(1):49-51.
- [7] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. 数学的实践与认

识,2003,33(8):32-35.

- [8] 孙文爽,陈兰祥. 多元统计分析[M]. 北京:高等教育出版社,1994:404-415.
- [9] 冯长春,侯玉亭. 城镇土地评价中主成分分析法的应用[J]. 技术经济研究,2007(7):27-31.
- [10] 庞智强. 主成分分析能客观赋权吗[J]. 统计教育,2006,79(4):9-11.
- [11] 刘宏伟,马传明,张洪升. 平顶山矿区煤矸石现状分析与利用研究[J]. 山东煤炭科技,2008,31(2):44-46.