

资源枯竭矿区土地复垦与生态重建技术

付梅臣¹, 曾 晖², 张宏杰³, 师丽平³

1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083
2. 中华女子学院社会与法学院, 北京 100101
3. 武安市国土资源局, 河北武安 056300

摘要 资源枯竭矿区面临生态恢复的艰巨任务。中国以煤炭为主的矿业城市主要集中于中西部, 枯竭矿区以中东部为主。在资源枯竭矿区, 不同的矿产类型、开采方式、自然条件及“采、选、冶”等不同的生产活动, 形成了压占、挖损、塌陷、污染等土地损毁类型。鉴于土地复垦途径的不同, 提出乡村生态农业、城郊湿地公园或郊野公园、矿山公园等生态恢复方案。结合国内外矿区土地复垦与生态重建经验, 分析了耕地复垦的景观重建和施工技术, 河流水系修复、水分循环小气候修复、矿井水综合利用等技术, 积水区土地处理与造景、地表植被恢复与造景、道路系统改造与景观连通、采矿遗迹的保护与改造等湿地修复技术, 沉陷积水净化、积水水面改造、动植物配置等水体修复技术, 村落特色保护与规划、建筑物基础建造等村落恢复技术, 山脊生态廊道修复、山体的自然生态植被恢复和重建等山体恢复技术, 林地选择与布局、树种规划、煤矸石山等废弃地抗旱栽植等林地重建技术等。在科学规划、及时有效治理下, 资源枯竭矿区生态环境可得到修复, 并能够促进矿区持续发展。

关键词 资源枯竭矿区; 土地复垦; 生态重建

中图分类号 C922

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)17-0038-06

Land Reclamation and Ecological Reconstruction in Resource-exhausted Mining Areas

FU Meichen¹, ZENG Hui², ZHANG Hongjie³,
SHI Liping³

1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China
2. School of Sociology and Law, China Woman's University, Beijing 100101, China
3. Land Resources Bureau of Wuan, Wuan 056300, Hebei Province, China

Abstract Resource-exhausted mining areas are faced with an arduous task of ecological restoration. The previous studies show that the coal-based mining cities in China are mainly distributed in the middle and west parts, but the resource-exhausted mining areas are mainly in the middle and east parts. The resource-exhausted mining areas are related with different types of mineral resources, mining methods, natural conditions and production activities of

"mining, dressing and smelting", which may cause various land damage types, such as, occupation, destroy, subsidence and pollution. In view of different land reclamation approaches, this paper proposes various ecological restoration programs of reclaiming damage land for the use of rural ecological agriculture, suburban wetland parks/country parks, mine parks, etc. Based on experiences both at home and abroad about land reclamation and ecological restoration in mining areas, various ecological restoration techniques are analyzed. Cropland restoration technique is to restore and construct reclaimed cropland landscape. Water resources restoration technique is to restore river system and microclimate for water cycle, and to use mine water for multi-purposes. Wetland restoration technique is to restore and create soil landscape and surface vegetation landscape, and to reconstruct road system and connect it with surrounding landscapes, and to protect and restore mining heritages. Water body restoration technique is to purify gathered water in subsidence, and to restore gathered water surface, and to allocate animals/vegetations. Village restoration technique is to protect and plan feature villages, with architecture/infrastructure. Mountain ridge restoration technique is to restore mountain ridge ecological corridors, and to restore and recover natural vegetations in mountains. And forest land restoration technique is to select and layout forest land, and to plan tree species, and to test and build

收稿日期: 2009-07-01

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAB15B06)

作者简介: 付梅臣, 教授, 研究方向为土地利用和复垦, 电子信箱: fumeichen@163.com



anti-drought vegetation in abandoned coal waste pileups. With scientific planning and timely and effective treatment, not only the ecological environment in resource-exhausted mining areas can be restored but also a new economic growth point for sustainable development can be created in mining areas.

Keywords resource-exhausted mining areas; land reclamation; ecological restoration

0 引言

任何矿山工程服务期限都有成长期、鼎盛期、衰退期、资源枯竭期 4 个阶段,矿山关闭可看作是矿山工程整个服务期限的第 4 阶段。在中国现有的矿业城市中,矿业经济发展处在成长(或青年)期的有 84 座,处在鼎盛(或壮年)期的有 291 座,处在衰退(或暮年)期的有 51 座,分别占 19.7%、68.3%和 12%^[1],意味着陆续有矿山将进入关闭行列。

目前,全国共有各类矿山企业 14.5 万家,其中大型矿山 527 座、中型矿山 1354 座、小型矿山和砂石黏土采场 14 万多处^[2];有 440 座矿山、50 座矿业城市因可供开发的后备资源不

足,面临“矿竭城衰”的严重威胁,其中有的主力矿山已经关闭或即将关闭,有的资源产业处于衰减状态^[1,3]。矿山关闭后有大量的废弃土地、遗弃厂矿等被遗留给地方政府恢复利用。若不能很好落实土地复垦与生态重建,就可能产生环境安全、人居安全隐患,甚至动摇地方经济的持续发展。

1 资源枯竭矿区现状

1.1 资源枯竭矿业城市分布

全国约 80%的资源型城市分布在中西部地区。黑龙江省有 13 个,山西省有 11 个,吉林、内蒙古、山东、河南、辽宁等省分别为 7~10 个(表 1);东北三省合计 30 个,约占全国的 1/4。60 个典型资源型城市的地区分布中,山西省有 8 个,黑龙江省、辽宁省、内蒙古自治区各 7 个,吉林省有 6 个;东北三省合计 20 个,占全国的 1/3。全国 93 个资源型矿业城市中,煤炭城市有 64 个,有色冶金城市有 12 个,石油城市有 9 个,黑色冶金城市有 8 个,分别占 68.8%、12.9%、9.7%和 8.6%。从城市行政级别构成看,地级城市 47 座,县级城市 71 座^[4]。中国公布的资源枯竭矿业城市主要以煤炭、铁矿、铜矿、石油产业为主,分别有 17 座、4 座、1 座、3 座。

表 1 资源枯竭矿业城市分布		
Table 1 Distribution of resource exhausted mining cities		
城市类型	资源城市	枯竭城市
煤炭城市	唐山,邯郸,邢台,武安,大同,阳泉,长治,晋城,朔州,古交,霍州,孝义,介休,高平,原平,乌海,赤峰,满洲里,东胜,霍林郭勒,抚顺,阜新,铁法,辽源,九台市,鸡西,鹤岗,双鸭山,七台河,淮南,淮北,永安,萍乡,丰城,乐平,高安,枣庄,新泰,龙口,滕州,邹城,肥城,平顶山,鹤壁,焦作,义马,汝州,登封,耒阳,资兴,涟源,台山,广元,华蓥,达州,绵竹,六盘水,宣威,开远,铜川,韩城,石嘴山,哈密	孝义,抚顺,阜新,北票,辽源,九台市,七台河,淮北,萍乡,枣庄,焦作,耒阳,资兴,台山,华蓥,铜川,石嘴山
有色冶金城市	葫芦岛,铜陵,德兴,冷水江,乐昌,凭祥,东川,个旧,白银,金昌,勒泰,阜康	铜陵,冷水江,个旧,白银
黑色冶金城市	迁安,本溪,马鞍山,漳平,大冶,郴州,攀枝花,临湘	大冶
石油城市	锡林浩特,大庆,盘锦,东营,濮阳,潜江,玉门,克拉玛依,库尔勒	盘锦,潜江,玉门

1.2 资源枯竭矿区土地损毁类型

矿产资源都深藏于地下,矿产资源的开发、利用不可避免要打钻井勘探、凿竖(斜)井开采或剥离上覆岩土露天开采,同时开采中不可避免产生大量矿山固体废弃物。所以,勘探-开采-选矿等矿山资源开发过程中,不可避免地需要占用和破坏大量土地,由此造成原有环境景观的严重破坏并引发一系列的生态环境问题。

1) 露天开采。露天采矿对地表景观和土壤层造成剧烈扰动,原有的土壤结构遭到完全破坏,在露天开采比重大的国家,采矿对土地的破坏是一个重大的环境问题。

2) 地下开采。随着地下矿产资源的大量采出,如果不采取及时有效的井下充填措施,采空区上覆岩层的平衡遭到破坏,产生移动变形,最终波及地表,将导致不同程度的地表沉降,形成一系列的地表塌陷形态:下沉盆地、塌陷漏斗、台阶或地

堑状场陷坑、地表裂缝等,使原有地表积水、坡地和裂缝。

矿区生态环境的破坏,主要为露天采矿场(包括内、外排土场)、开采沉陷地、矿山固体废弃物排弃场(如尾矿池、煤矸石山)、工业广场区(包括选矿、烧结厂和矿井排水),属于人为破坏。

西安地质矿产研究所完成的“西北地区不同类型矿产开发环境地质研究”项目成果表明,矿山采、选、冶矿业活动会产生和加剧多种矿山环境地质问题。一种矿业活动会诱发多种环境问题,同一环境地质问题往往是多种矿业活动叠加的结果。矿业环境地质问题表现形式多样。矿山资源破坏、地质灾害和环境污染在矿山开发时间上、空间上具有重叠性、穿插性和阶段性等,有时互为因果。矿业活动产生的地质环境问题的类型和严重程度与矿产类型、开发方式、矿区所处的环境地质背景条件有关^[5-6](表 2)。

表 2 矿区土地损毁类型
Table 2 Types of damaged land in mining areas

矿产类型和开采方式		表现形式
能源矿产	石油天然气	土地沙化,水土流失,地面沉降,水土污染
	煤炭	土地压占与破坏,地面塌陷,地裂缝,瓦斯爆炸,矿井突水,煤层自燃,煤矸石自燃,水污染,大气环境污染
金属矿产		滑坡,泥石流,尾矿库溃坝,崩塌,水土环境污染
非金属矿产	沙石黏土类	毁坏土地,改变地形地貌,大气污染
	盐类	伴生共生资源浪费较严重,环境污染
	石材类	矿产资源浪费,土地植被损坏,崩塌,滑坡,泥石流
	磷硫化工类	水土环境污染
露天开采		表土剥离改变地貌景观,疏干排水造成地下水均衡系统破坏,外排土场压占土地植被,滑坡,土地沙化,水土流失,粉尘污染
地下开采		地面塌陷,地裂缝,矿井突水,煤矿瓦斯爆炸
水力开采		河道毁损,草地破坏,水污染

2 资源枯竭矿区生态恢复方案

资源枯竭矿区大多距离城市较远,位于城郊、乡村或荒野,加之其损毁状态、自然条件、社会经济条件的差异,矿区生态复垦的途径不同。从用途看,基本分为森林、牧草地(或干草地)、农田用地、野生物栖息地、娱乐地、商业用途、水利及水产养殖、综合用途等。

2.1 乡村生态农业

资源枯竭矿区分布于不同的地域,生态模式有山地生态型、低山生态型、平原农牧区生态型、草原生态型、城郊生态型、水域生态型等,各生态类型区因条件不同,存在着不同的生态模式。例如,平原农牧区生态型有果菜瓜豆猪禽虫草模式、猪禽林草虫菌沼肥模式、奶牛林草虫菌沼肥模式等。生态农业的基本模式是“整体、协调、循环(良性)、再生”,是生态农业基本原理的运用。因此,资源枯竭矿区农田景观重建的核心是如何合理设计物流通道、物种栖息地,完善物种生态位、建立食物链,实现能量与物质良性循环。

2.2 城郊湿地公园或郊野公园

将城市外围各矿的大面积采矿损毁区进行综合治理,为城市提供广阔的生态腹地,变“黑色之金”为“绿色之肺”。矿区内许多水系与曲折蜿蜒的河流、碧波荡漾的水面相伴而居,采矿已经危及城市发展,将水系、绿带等生态用地融入城市发展空间,建设城市郊野公园、湿地公园、矿山公园,为城市发展拓展生态空间,城市居民开辟休闲场所。可以将湿地公园景观功能分区划分为:城市建设控制区、人工景观开敞区、水域景观开敞区(积水)、生态恢复区(非稳沉塌陷区)、农田景观开敞区和农家景观开敞区。依据地段的典型景观特征、游览欣赏特点、资源类型及造景需要、区位因素及发展对策与功能的确定,将景观类型划分为:密林景观、疏林浅草景观、湖面景观、田园景观、农家景观、草场景观、休闲娱乐景观和文化展示景观。按景观意义大小的不同,可将景点分为不

同等级景观景点,形成交织的、有机的景观轴线。

2.3 矿山公园

矿山旅游资源是一种特殊的旅游资源,不仅需要科学评价,明确市场目标,提出切实可行的旅游产品开发目标,更重要的是要保障矿山正常生产、旅客安全和资源环境保护。需对矿山旅游资源配置进行全面规划,进行旅游产品开发与建设,包括硬环境建设和软环境建设。通过运行、调整逐步使矿山旅游与矿区环境、社会经济相和谐。开发与矿山旅游资源规划的核心内容同样是设计生产出有地方特色、市场生命力的旅游产品^[7]。矿山旅游资源开发与规划是一个动态过程,需要不断地适应市场^[8],调整规划内容、创新旅游产品。矿山旅游资源开发与规划的核心是对旅游产品开发、游览线路、旅游设施建设进行空间布局、时间分期、设施设计。

1) 矿山旅游资源的评价与选择。选择交通便利、基础设施较好的大中型矿山及历史价值高、矿山遗迹保护好的矿山。

2) 矿山旅游产品定位与开发。现代化的大型采矿企业是现代科技应用最集中的载体之一。利用矿山基础设施,可展示采矿工作过程和安全防范过程,观摩矿体结构、地质构造、次生地质灾害,体验矿山文化景观,满足人们的猎奇心和知识探索感。

3) 矿山旅游资源保护与监测。在对矿山环境进行保护的同时,要加强对矿山生产安全隐患、地质灾害及环境的监测力度,保障游客与矿区人民生命财产的安全。

3 资源枯竭矿区土地复垦与生态重建技术

3.1 农田复垦技术

1) 农田景观内部组织协调。需要根据多样性和异质性原理优化景观结构^[9],对农田斑块和廊道进行协调。

农田斑块协调。尽可能集约化利用,田块规模尽量大;农

田斑块形状尽量以长方形、方形为主,其次为直角梯形、平行四边形;农田斑块的位置安全稳定;田块朝向应利于作物采光、机械化作业、水土保持、降低地下水位、防风和运输。

农田廊道协调。在当前的农田景观中,自然廊道基本不予干扰,遵循自然选择规律。人工廊道数目尽量减少;依据功能与性质决定廊道宽度;廊道以直线型为主。道路在满足基本功能要求下,尽量以砂石、土石为主;输水渠道采用节水基质,排水沟在满足降低地下水位与泻洪功能基础上,沟底按凹凸方式建设,适当保存少量水分,利于水生动植物生存;防护林尽量选用与农作物共生或互惠树种、草种,保持一定的水平郁闭度,形成浓郁的乡村气氛。

2) 农田景观外部组织协调。矿区内农田要与周围农田景观相协调,农田防护林与周围防护林体系衔接,特别是主林带,避免形成风洞或孤立而降低防风效果;给水系统要协调同一,合理分配水资源和衔接渠(管)网,促进区域资源持续利用;排水系统要按照已有骨干沟(管)网格局,上下衔接布设沟(管),维护区域生产与生活安全;道路服从于生产与生活需要,骨干田间道路与外围公路衔接,保障居民点与田间交通畅通。

3) 农田景观恢复施工技术。矿区开采沉陷量不大或开采下沉后土地坡度变化较小的非积水塌陷区,采用直接平整利用或自然恢复利用的方式;积水较少区利用煤矸石、粉煤灰等固体废弃物进行充填复垦;积水较深区域,采用挖深垫浅法,建立塘基式农田;未稳定沉陷区采用预复垦^[10]。

矿区土地复垦尽量使用对土壤结构危害小的机械,主要有挖掘机、推土机、拖式铲运机等^[11]。但复垦机械在使用过程中也存在着负面作用,最为常见的是复垦土壤压实问题,因此须采取相应的措施改良和培肥土壤,提高工程复垦土地的肥力^[12]。

3.2 河流水系修复技术

山得水而活,水得山而壮,区域得水而灵气。区域与水体的交融,体现了人与自然和谐的思想;人与水的亲密接触,体现了天人合一的境界。“蓝”水是在地表和地下运动的可见液态水流,“绿”水是土壤中植物生长所必须的不可见的水和植物的蒸腾量^[13],在矿区土地利用过程中,需要将蓝水、绿水和矿山水有机融合,疏通区域。

1) “蓝”水廊道修复。目前生态化的治水观念和措施越来越被人们重视^[14]。将工程措施与生态学、美学结合,从单一目标走向多目标,利用自然过程来解决人类的需求和问题,充分发挥河流的自然服务功能,保护河流的自然景观和乡土文化,实现最少的人工投入和干扰、最接近自然状态的景观和生态环境。例如恢复缓冲带,建设生态河堤、裁直变弯、恢复湿地、推行自然型的河道建设、重建植被等,在河流廊道修复的过程中,减轻河流的淤积效应,减少洪水暴发的可能性。

2) “绿”水廊道修复。“绿”水是进入大气的不可见水汽。矿区因采矿使地面植被稀疏,水流侵蚀使得矿区土地退化,因此,必须对矿区植被进行“保护+建设”,通过对微地貌地形运

用,通过保水措施,延长地表径流滞留时间,达到水的有效利用,使单纯的利用“蓝”水转变为保水,使“蓝”水、“绿”水协调。

3) 矿山水处理与利用。矿山水涉及疏干排水破坏区域水均衡和矿山污水污染水体问题。对矿山水的防治,通常采用防渗帷幕、防渗墙等工程,堵截外围地下水的补给^[15],并可将矿井水回灌补充地下水,健全水文生态系统。

3.3 湿地修复技术

通过对采矿沉陷区及矿坑积水区的综合整治,营造湿地的自然生态系统,提高湿地及其周围环境的自然生产力。通过建设湿地,恢复地段原有的自然功能,使其具备自我更新的能力,并使周围用地的土壤状况得到改善,为植被的恢复创造条件,提高其生物多样性水平,实现湿地景观的自然化^[16]。

1) 积水区土体处理与造景。在沉陷区土地复垦过程中,重现原野风光,把沉陷区的土体挖出,转移到煤矸石山等固体废弃物堆放地,用于建造假山、覆土绿化。改造后的煤矸石山等废弃地可播种野生花卉以及种植浅根性树种。

2) 地表植被恢复与造景。依坡就势栽植常绿、阔叶乔木、季相树种,以桧柏、垂柳、馒头柳、海棠、油松、毛白杨、丁香、结缕草等植物为主,增加灌木和水生、陆生植物品种,丰富植物群落,构筑纯自然、原生态绿化景观。保留农田作为田野景观,结合周围原有的植物群落、生境和水体肌理进行规划,将农田融入生态系统。

3) 道路系统改造与景观连通。矿区的景观建设是个动态发展过程,各景观类型也随着建设时序的推进逐步向游人开放,因此,主要游览路线的规划应根据不同的建设时段做出相应调整,通过动态的演变过程,最终形成较完整的贯穿主要景点、景区的环路体系^[17]。

4) 采矿遗迹的保护与改造。采矿活动对自然景观和人文景观造成了许多严重的、不可逆转的损害,但景观重建为人们重建矿区环境、重塑矿区景观提供了一个新的机会^[18]。采矿迹地为重塑矿区景观,重建矿区社会、经济和生态结构提供了难得机遇,前提条件是要因地制宜地制定合理整治和利用采矿迹地的方案和规划^[19]。

3.4 水体修复技术

1) 沉陷积水净化。根据国内矿区混水净化的经验,矿区内长年积水,形成了湿地的部分性能,具备了水质净化功能,类似于人工生物塘净化方法,对其改造后可净化矿区积水。矿区沉陷积水区根据水深可以布置好氧塘或厌氧塘,种植水生植物提升净化效果^[20-21]。生物塘中因植物根系对氧的传递释放,使其周围的环境中依次出现好氧、缺氧、厌氧状态,通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、植物吸收和微生物分解完成对矿区积水的高效净化^[21]。

2) 积水水面改造。根据矿区地面塌陷坑的特点和矿井废污水的成分,按照积水深度在浅水区布置好氧塘、深水区布置厌氧塘,并联合串联相结合,形成湿地型生物塘,向湿地景观转变。形态上应尽量模拟自然状态,以适应湿地生物系统的形态和生物分布格局。生物塘的平面形态,应尽量保持自

然弯曲的形态,达到和谐统一、自然均衡^[22]。

3) 动植物配置。动植物是生物塘生态系统的基本构成要素和景观视觉的重要因素^[23]。应以本乡土植物为主,选择耐污能力、抗病除害能力、抗寒能力能力强,根系发达,茎叶茂密的植物,如芦苇、蒲草等挺水植物。同时,注意植物种类的多样性;注意布置主次分明,高低错落;注意形态、叶色、花色等搭配协调。在生物塘内按照从深到浅,依次种植挺水植物、浮叶植物和沉水植物;同时,放养喜食水草的草鱼、喜食浮游生物的缝鱼和适应性较强的非洲鲫鱼等,以提高湿地环境中土壤与水体的质量,协调水与动植物的关系。

3.5 村落恢复技术

中国许多农村居民点有着独特的自然地理环境、风貌和人文风俗景观,形成富有特色、品味和形象的村庄,是新农村持续发展的基础。如何充分考虑和利用当地的自然景观和人文景观,创造出丰富多彩、具有地方特色的乡村景观是村落重建的关键问题。

1) 村落特色保护与规划。村落景观重建的最佳途径是科学规划,注重土地复垦规划与村落规划的超前性和可操作性。合理布置村镇体系,以中心村为鼓励发展区,行政村(基层村)则为引导或限制发展区。在村落重建中,将村落与其他景观类型协同考虑^[24],一是廊道的衔接,道路与村庄道路贯通、水系相通、防护林相连,保障物质、能量等流通和生态安全;二是边界衔接,在保障村庄预留发展空间的同时,力求边界规则,便于耕作和管理;三是节约与集约利用土地,因地制宜,充分发挥乡村特色;四是注重环境保护,建设和谐新农村。

2) 建筑物基础建造技术。根据国内外研究成果,煤矸石回填塌陷区分层振动碾压方法,是塌陷区重建村落宅基地处理最为有效的方法;经振动碾压后的煤矸石,能够提高地基的承载力。根据室内载荷试验,当煤矸石压实后的干容重达到最大干容重的95%以上时,其煤矸石压实地基承载力将达到236 kPa以上,满足一般民用建筑地基要求。因此,可利用煤矸石回填动态塌陷区迁村建筑地基,并分层振压处理,满足迁村建筑用地的要求。

3.6 山体恢复技术

山体是丘陵矿区的重要标志,蕴涵丰富的历史文化内涵及物种资源。山体地形的生态表达中,“山为骨架,水为血脉”,山水构架是区域景观环境构成的重要理念之一。山是背景、画布,是大自然之脊,将自然山景融合在环境之中,借大自然千姿百态的美塑造空间环境,依山以融势,衬山以融形,显山以融景,同时山体地形对维持维护区域生物多样性起积极作用。因此,修复破碎的山脊生态廊道是区域生态建设的重要组成部分。

1) 山脊生态廊道修复。在保护山体的轮廓的前提下,遵循山体的形态和节奏,控制建筑的总体轮廓,保持山脊线的自然连续性,尽可能留出更宽的视线通廊^[25]。矿山建筑群如果不加控制就可能会造成轮廓杂乱和破碎,山脊线的连续性和

完整性被破坏,失去了简洁和统一的节奏。

2) 恢复和重建山体的自然生态植被。按照自然式设计原则,选择喷混植生技术、三维植被网绿化技术、双容器育苗技术、节水灌溉技术,采用保水剂等节水新材料^[26],对山体进行植被恢复,裂缝通过“缝合手术针”缝合^[27]。通过山体岩质边坡治理、生物防护(植被景观再造),建设人工瀑布以及喷灌养护系统。

3.7 林地重建技术

1) 林地选择与布局。林地尽量安排在矿区的煤矸石山等废弃地及积水区边缘、鱼塘堤坝和河流、沟渠、道路两侧,作为护岸、护路林来保持水土;复垦后土壤肥力较差的地区有利于发展林业种植,可提高经济效益,调节农田气候,形成与周围不同的景观。

2) 树种规划技术。树种规划一直是矿区废弃地生态恢复研究的重要内容。树种选择和规划的优劣直接关系到景观重建工程的成败。林地重建的植物选择应以乡土树种为主,满足“适地适植物”或“适地适树”这一森林培育学的最基本原则,可以适当选用经过多年引种和驯化的外来植物品种,增加植物的多样性和景观的多样性。在树种选择上要坚持水土保持与土壤快速改良原则。

3) 煤矸石山等废弃地抗旱栽植技术。矿区煤矸石山等废弃地的抗旱栽植技术主要包括苗木的保护和保水技术。苗木保护和保水措施要满足增加栽植时的苗木含水量、增加栽植时的根系量和栽植后的吸水量、减少栽植时的叶量和栽植后的蒸腾量等方面的要求^[28]。

4 结论

随着采矿进程的推进,矿区内的矿产资源趋于枯竭,许多矿山进入关闭,将会出现大量的废弃地,加之中国土地复垦率较低及历史旧账等,使得中国矿产资源枯竭矿区的土地复垦与生态重建的任务较大。

根据资源枯竭矿区废弃地特征,分析了资源枯竭矿业城市分布、资源枯竭矿区土地损毁类型,提出乡村生态农业、城郊湿地公园或郊野公园、矿山公园等生态恢复方案,结合国内外矿区土地复垦与生态重建经验,分析了耕地复垦技术、林地重建技术、河流水系修复技术、湿地修复技术、水体修复技术、村落恢复技术、山体恢复技术等。总之,必须进行科学规划,及时有效治理,才能保障矿区生态安全,持续发展。

参考文献 (References)

- [1] 李凤明, 王儒军, 王存煜. 资源枯竭型矿区综合治理与可持续发展[J]. 煤矿开采, 2004, 9(3): 7-10.
Li Fengming, Wang Rujun, Wang Cunyu. Coal Mining Technology, 2004, 9(3): 7-10.
- [2] 中国矿山数量减半产值翻倍[N]. 科学时报, 2004-11-18(2).
Halved mines but doubled production in China[N]. Science Times, 2004-11-18(2).
- [3] 王朝明. 矿产资源枯竭城市的贫困问题及其治理 [J]. 财经科学, 2003



- (4): 61-65.
Wang Chaoming. *Finance and Economics*, 2003(4): 61-65.
- [4] 《领导决策信息》数据分析员. 中国资源枯竭型城市转型报告[J]. 领导决策信息, 2005, 4(15): 30-31.
Data analyst of "Information for Deciders Mzgazine". *Information for Deciders Magazine*, 2005, 4(15): 30-31.
- [5] 西安地质矿产研究所. "西北地区不同类型矿产开发环境地质研究"主要成果汇报[J]. 西北地调, 2002, 2(2): 1-6.
Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources. *Northwest Geological Survey*, 2002, 2(2): 1-6.
- [6] 西安地质矿产研究所. 西北地区不同类型矿产开发环境地质研究[EB/OL]. 2006-07-11, <http://www.xian.cgs.gov.cn/pages/kind/240.htm>.
Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources. Geological environment for developing various types of mineral resources in Northwest China[EB/OL]. 2006-07-11, <http://www.xian.cgs.gov.cn/pages/kind/240.htm>.
- [7] 李经龙, 郑淑婧. 旅游规划核心内容动态分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 83-87.
Li Jinglong, Zheng Shujing. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(1): 83-87.
- [8] 王春雷. 关于区域旅游规划几个基本问题的思考[J]. 地域研究与开发, 2004, 23(4): 82-84, 99.
Wang Chunlei. *Areal Research and Development*, 2004, 23(4): 82-84, 99.
- [9] 高向军, 罗明, 龙花楼. 基本农田保护区内采矿废弃地的生态重建[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 52-55.
Gao Xiangjun, Luo Ming, Long Hualou. *Journal of Agricultural Engineering*, 2005, 21(7): 52-55.
- [10] 彭建, 蒋一军, 吴健生, 等. 中国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 38-48.
Peng Jian, Jiang Yijun, Wu Jiansheng, et al. *Progress in Geography*, 2005, 24(2): 38-48.
- [11] 李新举, 胡振琪, 李晶, 等. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 276-280.
Li Xinju, Hu Zhenqi, Li Jing, et al. *Journal of Agricultural Engineering*, 2005, 21(7): 52-55.
- [12] Jiang G M, Putwain P D, Bradshaw A D. Response of *Agrostis stolonifera* limestone and nutritional factors in the reclamation of colliery spoils. *Chinese Journal of Botany*, 1994, 6(2): 155-162.
- [13] Falkenmark M, Rockstrom J. 人与自然和谐的水需求——生态水文学新途径 [M]. 任立良, 束龙仓, 等译. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
Falkenmark M, Rockstrom J. Balancing water for humans and nature: The new approach in ecohydrology [M]. Ren Liliang, Shu Longcang, et al. trans. Beijing: China WaterPower Press, 2006.
- [14] 杨凯. 平原河网地区水系结构特征及城市化响应研究[D]. 上海: 华东师范大学资源与环境科学学院, 2006.
Yang Kai. Stream structure characteristics and its urbanization response in dense river network plain: A case study of Shanghai [D]. Shanghai: School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, 2006.
- [15] 雷兆武, 孙颖, 杨高英. 有色金属矿山废水管理与资源化研究 [J]. 矿业安全与环保, 2006(8): 40-43.
Lei Zhaowu, Sun Ying, Yang Gaoying. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2006(8): 40-43.
- [16] 王胜永, 刘冬梅, 王晓艳. 山东省湿地公园发展状况与建设策略[J]. 风景园林, 2007(1): 95-97.
Wang Shengyong, Liu Dongmei, Wang Xiaoyan. *Landscape Architecture*, 2007(1): 95-97.
- [17] 朱磊, 石铁矛. 廊道在城市边缘区住区建设中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报: 社会科学版, 2006, 8(2): 108-111.
Zhu Lei, Shi Tiemao. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Social Science Edition*, 2006, 8(2): 108-111.
- [18] Rheinbraun. Landschaftsgestaltung und Ökologie im rheinischen Braunkohlenrevier[M]. Hüh: Drei-Kronen-Druck GmbH, 1999: 33-38.
- [19] 常江, Koetter T. 从采矿迹地到景观公园 [J]. 煤炭学报, 2005, 30(3): 399-402.
Chang Jiang, Koetter T. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(3): 399-402.
- [20] 刘萍萍, 尹澄清, 孙淑琴. 城市地区重建湿地的生态过程研究 [J]. 环境科学, 2007, 28(1): 59-63.
Liu Pingping, Yin Chengqing, Sun Shunqin. *Environmental Science*, 2007, 28(1): 59-63.
- [21] 傅娇艳, 丁振华. 湿地生态系统服务、功能和价值评价研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 681-686.
Fu Jiaoyan, Ding Zhenhua. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 681-686.
- [21] 康恩胜, 宋子岭, 庞文娟. 海州露天矿废水的人工湿地处理方法[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(S1): 310-312.
Kang Ensheng, Song Ziling, Pang Wenjuan. *Journal of Liaoning Technical University*, 2006, 25(S1): 310-312.
- [22] 赵晨洋. 人工湿地与生态景观建设[J]. 山西建筑, 2007, 33(7): 54-56.
Zhao Chenyang. *Shanxi Architecture*, 2007, 33(7): 54-56.
- [23] 李杰, 钟成华, 邓春光. 人工湿地研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1778-1780.
Li Jie, Zhong Chenghua, Deng Chunguang. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(6): 1778-1780.
- [24] 徐忠, 李静. 构建新农村环境景观体系的探索 [J]. 安徽农学通报, 2006, 12(7): 63-64.
Xu Zhong, Li Jing. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2006, 12(7): 63-64.
- [25] 俞孔坚, 李迪华, 刘海龙. "反规划"途径[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
Yu Kongjian, Li Dihua, Liu Hailong. Approach of negative planning. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [26] 赵永军, 刘启虎, 翟利, 等. 破坏山体植被恢复新技术的应用[J]. 山东林业科技, 2006(4): 58-60.
Zhao Yongjun, Li Qihu, Zhai Li, et al. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2006(4): 58-60.
- [27] 张涛. 残破山体政府为你"疗伤"——焦作整治缝山公园造福市民[J]. 河南国土资源, 2006(8): 26.
Zhang Tao. *Henan Land & Resources*, 2006(8): 26.
- [28] 李鹏波. 煤矸石山景观重建机理及景观评价研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 2006.
Li Pengbo. Study on mechanism of landscape rehabilitation and scenery evaluation in coal mine waste piles [D]. Beijing: School of Resources & Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing, 2006.

(责任编辑 陈广仁)

