

## 黄土高原矿业城区生态环境的退化与修复 ——以甘肃省白银市区为例

陈彩虹<sup>1</sup>, 吴锦奎<sup>2</sup>

(1. 甘肃省白银市白银区水利局, 甘肃 白银 730900; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:**黄土高原是我国水土流失最为严重、生态环境极为脆弱的地区之一, 生态环境建设对区域的发展极为重要。白银市区位于甘肃省中部, 属典型的黄土高原矿农交错区。恶劣的自然环境和以工业为主体的强烈的人类经济社会活动共同作用, 使白银市区产生了诸如水土流失日趋严重、土地退化面积不断扩大、水资源进一步短缺和天然植被遭到人为破坏等生态环境问题。通过对白银市区生态退化的现状及原因的分析, 根据恢复生态学、可持续发展原理和生态经济学理论, 根据白银市区实际情况, 提出了白银市区生态恢复的原则和对策。

**关键词:**生态退化; 生态恢复; 对策; 白银市

**中图分类号:** X171.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2007)02-0129-04

## The Degradation and Restoration of Environment in Mining City in Loess Plateau ——A Case Study of Baiyin District

CHEN Cai-hong<sup>1</sup>, WU Jin-kui<sup>2</sup>

(1. Water Resource Bureau of Baiyin District, Gansu Province, Baiyin, Gansu 730900;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** Loess Plateau is one of the most serious water and soil loss areas in China. The environment is very fragile. Located in middle of Gansu Province, Baiyin City is a typical joint area of mining and agriculture in Loess Plateau. Owing to fragile environment and strong human activities, many kinds of environmental problems summarized as land degradation, water and soil erosion, shortage of water resource and vegetation degeneracy occur in recent years. The causes and current conditions of environmental degradation in Baiyin area are analyzed. Based on the principles of restoration ecology, sustainable development and ecological economics, the authors give out some measurements for environmental restoration in this area.

**Key words** environmental degradation; environmental restoration; measurements; Baiyin District

黄土高原是我国西部水土流失最为严重、生态环境极为脆弱的地区之一<sup>[1]</sup>。严重的水土流失导致土地退化严重, 生态环境恶化, 制约了区域经济发展, 还给下游地区人民群众生命财产安全及社会经济可持续发展带来威胁<sup>[2]</sup>。黄土高原的环境治理是西部生态环境建设中的重要环节<sup>[3]</sup>。近年来, 随着国家治理力度的加大, 黄土高原区的生态环境得到了一定程度的改善<sup>[4,5]</sup>。

在黄土高原地区, 有一些城市是因矿产资源的开发而发展起来的, 矿产资源的兴衰与城市的兴衰有极为紧密的关系。在黄土高原这个脆弱生态环境大背景下, 随着资源的开发和生态环境的破坏, 如何实现矿业城市生态环境的可持续发展是一个必须面对的问题。本文以甘肃省白银市区为例, 从市区生态环境退化的现状入手, 结合环境退化的原因, 探讨了以有色金属开发为主的矿业城市的生态环境修复与可持续发展对策。

### 1 研究区概况

为了数据完整性和研究的方便, 本文的研究范围在行政

区域上为白银市白银区。白银区为白银市政府所在地, 地处甘肃省中部, 其地理坐标位于 103°53'24" ~ 104°24'55" E, 36°14'38" ~ 36°47'29" N 之间, 区域地处大陆腹地, 为中温带大陆性干旱、半荒漠气候区。土地总面积 1 372 km<sup>2</sup>, 其中城市区和工矿区面积 76.5 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 5.7%; 耕地面积为 97.5 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 7.1%; 近 80% 的土地为产草量和载畜量很低的荒漠草地。

该区矿产资源富集, 以白银有色金属公司为龙头的、以铜等有色金属生产为主体的矿产资源开发已有近 50 年的历史, 并在社会经济发展中起着主导作用。随着矿产资源开发和工业建设的兴起, 白银市也曾一度走向辉煌。伴随矿产资源的日趋枯竭, 白银市的社会经济和发展面临着严重困难。白银市是我国 18 座资源枯竭性城市之一, 依靠矿业开发的社会经济急待转型。

白银市区生态环境脆弱, 大强度的资源开发和农业等方面的发展, 使得区域人地关系矛盾更加突出, 面临着一系列的生态破坏和退化问题, 并严重阻碍了社会经济的发展。因此, 生态环境保护和生态修复已成为实现白银市区区域可持

\* 收稿日期: 2006-06-20

基金项目: 中国科学院知识创新重大项目 (KZCX-10-06) 资助

作者简介: 陈彩虹 (1968 - ), 女, 甘肃会宁人, 本科, 工程师, 现主要从事水土保持工作; 通讯作者: 吴锦奎。

续发展的基础和前提<sup>[6]</sup>。

## 2 白银市区生态环境退化现状

生态退化是自然因素和人类活动共同作用的结果<sup>[7]</sup>。白银市区气候干燥,降水稀少,植被生长困难,自然环境极为脆弱。矿产开采、不合理的垦殖、过度放牧、水资源的不合理利用等人类活动对自然生态系统也带来了负面影响。

近年来,通过生态环境建设,在部分地区取得了一定的成绩,局部生态环境有所改善,但随着人口增加和不合理的开发利用,生态环境综合整治的速度远不及退化的速度,生态环境在整体上仍有恶化的趋势<sup>[8]</sup>。具体表现在:水土流失日趋严重,土地退化面积不断扩大,水资源进一步短缺,天然植被遭到人为破坏,生态环境的退化在很大程度上与资源的开发有关。

### 2.1 水土流失

白银市区的水土流失严重(表 1、表 2)。造成水土流失的主要因素可分为自然因素和人为因素两个方面。自然原因主要是降水少,蒸发大,土壤先天脆弱,植被稀疏。白银区年平均降水量 198 mm,蒸发量 1 997.1 mm,强烈的蒸发和稀少的降水使土壤长期处于干燥状态,土壤风化严重,在地面形成较多的松散砂砾和土屑,灰钙土、胶土、沙土等主要土壤结构松散,持水能力差,养分含量低,植被生长困难,覆盖度低,为水力侵蚀和风力侵蚀创造了条件<sup>[6]</sup>。

表 1 白银区土壤侵蚀分级表

侵蚀强度分级	微度	轻度	中度	强度	极强度	合计
面积/km <sup>2</sup>	5.50	85.71	195.47	950.78	15.54	1253.00
占水土流失面积的比例/%	0.44	6.84	15.6	75.88	1.24	100.00

表 2 白银区与甘肃省、甘肃黄河流域土壤侵蚀状况对比表

区域	面积/km <sup>2</sup>	水土流失面积/km <sup>2</sup>	水土流失面积占总面积/%
甘肃省	454391.90	389232.10	85.66
黄河流域甘肃片	145131.68	111286.97	76.68
白银区	1372.00	1253.00	91.32

人为因素主要包括工程建设和农业生产。白银区是依靠矿产资源的开发而发展起来的。1954 年白银公司露天矿的运营标志着白银地区现代化开采的开始,随着国家建设的不断发展,工矿、交通、水利、建筑、通讯等部门在建设生产也不断展开。由于地表物质的剥离、扰动、搬运和堆积,大量破坏了植被和山坡土体,产生的废石、废渣等松散物质缺乏必要的处理措施,任意倾倒,引起了严重的水土流失。另外,随着人口膨胀,大量坡耕地被垦种,过牧等现象的存在也加剧了水土流失。统计资料显示,除自然因素产生的水土流失外,近些年来矿区的开发、道路的拓建、城市的扩容及耕地面积的扩大和过度放牧等人为活动的加剧,使人为水土流失面积迅速增长,全区人为水土流失面积达 70 多 km<sup>2</sup>。

### 2.2 土地退化

白银市区土地资源中难利用土地比重大,土地承载力低。由于对土地的不合理利用,导致了部分土地的退化。退化主要体现在土壤污染和土壤次生盐渍化两个方面。

(1) 土壤污染。白银市区是我国重要的有色金属冶炼与加工工业基地之一,城区工厂多且分布集中,废水废气排放量大。一方面,废气中含重金属的颗粒通过降尘降落到土壤表层,对市郊农田土壤产生一定的污染。更重要的是,白银有色金属公司等厂矿将大量含有 Cd、Pb、Cu、Zn 等重金属物质的污水排放在市区的东大沟和西大沟中,由于干旱缺水,郊区农业生产中有不同程度地利用排水沟污水灌溉的情况,引起了大面积的土壤污染,给粮食和蔬菜的生产带来严重影响<sup>[9]</sup>。据白银市环保监测站的测定,白银冶炼厂日排废酸水

6 000 多 t,废碱水 4 000 多 t,还有废渣、废气,使当地 426 hm<sup>2</sup> 农田遭受污染,严重危害农业生产和人民的健康。另外,农业生产过程中施用过量的农药及化肥也使土壤、水源、作物和畜产品遭到不同程度的污染。

(2) 土壤次生盐渍化。由于受地形、气候、土壤、水文地质等自然条件及灌溉等因素的影响,白银区沿黄灌区土壤出现了不同程度的次生盐渍化<sup>[10]</sup>,造成部分耕地弃耕或大面积减产,这其中以水川镇最为严重,仅金锋、张庄和桦皮川三地由于盐渍化弃耕 146.7 hm<sup>2</sup>,减产 60% 以上的土地 92.9 hm<sup>2</sup>。

### 2.3 水资源短缺

白银市区属黄河上游西北黄土高原中部丘陵地带,从整体上讲,水资源严重短缺,主要体现在:降水稀少,蒸发量大,自产径流少,径流进入东、西大沟后与废污水混合,失去利用价值;地下水资源贫乏,地下水资源总量 2 081 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,可开发量 180.8 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,多潜流于地下,因受工业废水和生活污水的入渗污染,一般水质较差,基本无利用价值;过境的黄河水基本是区域工农业生产和生活用水的惟一来源,按分水方案,白银区可利用地表水资源量为 1.11 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,2001 用水量基本与此持平,据预测,2010 年用水量为 1.56 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,缺水 0.45 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,缺水 28.8%。

1955 年以来,由于黄河两岸众多的工矿企业和生活污水的排放,河水遭到污染,部分指标超过国家标准。市区境内黄河河水的污染源主要来自上游的兰州市及市区内的东、西大沟排放的工业污水和生活污水,这些废水污水中含有铅、铬、锌、铜、酸、碱、氮化物等,对水质造成一定污染。近些年来由于沿黄工业的高速发展,未经处理或处理不完全的工业废水和生活污水向黄河排放量大大增加,重金属污染构成了黄河白银段特征性污染。水体污染加剧了水资源的短缺,加大了水处理的成本,给区域生态环境带来了一定影响。

### 2.4 天然植被破坏

白银市区地处干旱草原向荒漠的过渡带,天然植被稀疏低矮,覆盖度在 10% ~ 15%<sup>[11]</sup>。植被以旱生和超旱生的半灌木为主要建群种,随降水的丰缺变化而变化。20 世纪 50 年代以来,随着人口增长、矿业和农牧业的发展,矿渣压埋、过度垦殖樵采、过度放牧等不合理的开发利用导致了较大的天然植被的破坏。以矿渣压埋为例:在白银有色金属公司矿山生产早期,部分氧化矿被有计划地集中堆放,加上矿山生产过程中正常损失的矿石以及一些低品位表外矿和含矿围岩,据估算,露天矿采场现存废石约 9 300 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,2.5 × 10<sup>8</sup> t。此外,三个尾矿占地约 13 km<sup>2</sup>。矿渣不仅直接造成对天然植被的压埋,经水分淋滤后还对周边植被的生长造成影响。

## 3 白银市区生态恢复的原则

生态恢复是对自然和人为因素引起的生态系统退化的逆转和重建过程<sup>[7]</sup>。白银市区是一个矿业与农业交错区,自然条件差,人为扰动大,以水土流失、矿山环境治理和土壤退化治理为主的生态恢复需要一个长期的过程,生态恢复应坚持以下原则:

### 3.1 因地制宜原则

白银市区矿区和农区自然条件差异较明显,因此生态恢复工作必须建立在对退化生态系统评估或区划的基础上,结合区域内小环境的差异,以小流域为单元,进行生态恢复的统一规划、综合治理,宜林草则林草,宜农则农,宜牧则牧。这是生态恢复的首要原则。

### 3.2 可持续性原则

可持续发展是保护和加强环境系统的生产更新能力,即

可持续发展是不超越环境系统再生能力的发展<sup>[12]</sup>。可持续发展的标志是资源的永续利用和良好的生态环境。白银市区经济发展中以自然资源开发为主的工矿业占有较大比重,这就要求在生态恢复中结合实际,坚持可持续性发展的原则,从自然资源的开发利用和生态环境的保护间寻求平衡。

### 3.3 防治并重原则

生态恢复的目标是建立适合人类生存和发展的良好环境,必须防止生态进一步退化和恢复已退化生态系统两个目标,以建立稳定的生态系统<sup>[7]</sup>。生态恢复通常坚持工程治理、生物治理和农艺措施相结合的方针。工程治理是生物治理的前提和条件,而植被恢复是生态恢复的主要任务。生物治理必须在分析立地条件的基础上,实行乔、灌、草相结合,才能保证生态系统的稳定。

## 4 白银市区生态恢复的对策

考虑到白银市区生态退化的现状、成因和目前的基础条件和技术,该区域生态恢复和重建应以水土流失区小流域以及城区和矿区的生态环境修复为核心,配合以必要的管理措施。

### 4.1 水土流失区小流域的生态恢复

生态恢复就是要采取各种措施,减少和消除生态环境中不利于人类生存和发展的因素和过程。根据生态经济学理论,生态环境也可以理解为以植被为代表的自然综合体<sup>[13]</sup>。山地生态系统的稳定必须依赖于植被的保护,只有恢复好植被,才能使生态环境各个方面协调起来,进入良性循环<sup>[14]</sup>。白银市区处于年降水量 200 mm 以下的干旱地区,自然植被为荒漠或荒漠草原,仅有稀疏的灌木与草被。生态环境建设要做好防护林的建设和沙漠化的防治工作,生物措施应以种草和灌木为主<sup>[15,16]</sup>。

生态恢复是水土保持的一项重要措施,其核心就是封禁<sup>[17]</sup>。随着林草覆盖率提高,水土流失强度将减轻。白银市区 80% 的土地为天然草场,南部地区地广人稀、水土流失相对较轻,应实施以封育保护为主的生态自我修复工程。据资料,到 2004 年底,全区封禁面积达 42.1 km<sup>2</sup>,在调查中可明显看出封禁区植被状况好于对比区,但林草覆盖率和水土流失强度缺乏具体数据。

在靠近城区有条件的小流域,依据自然规律,实行综合治理,优先建设坡面径流聚集工程、鱼鳞坑整地及沟道拦蓄工程,为林草提供生长环境,达到以工程保生物,以生物护工程,通过工程与生物措施的结合,实现退耕还林和生态环境的改善。在有灌溉或水分条件稍好的沟谷,根据适树适草的原则,用乡土树种或引进的适宜乔木树种稀疏地混交于灌草丛中,形成稀树灌草丛结构模式,提高水土保持效益和水分、养分循环水平,为乔木生长创造较好条件。楼房沟流域是白银市综合治理的典型流域,治理中实现了林、灌、草相结合的原则,取得了较好成效。在对区域气候特性和林地特征进行分析和评价的基础上,根据“适地适树”的原则,典型治理区生态林建设选择以抗旱性、抗碱性、抗冻性都比较好的刺槐为主,辅助以臭椿、杜梨、沙棘、紫穗槐、柠条等。流域在 2001~2004 年的实践也充分证明,生态林栽植成活率都在 90% 以上。灌、草措施的实施,使植被覆盖率有了大的提高。

### 4.2 城区和矿区的生态环境修复

城市是生态环境的重要组成部分。白银市是一个由工矿基地发展起来的新兴工业城市,自然条件十分恶劣、工业污染严重,目前又面临资源枯竭、经济转型的特殊阶段,因此建设一个具有高原荒漠特色的生态园林城市是改善人民生活质量、提升城市和企业形象、改善投资环境的迫切需要。

人工种草种树是城区环境修复的手段。市区的绿化已有较好的基础,到 2004 年底城市绿化面积近 230 hm<sup>2</sup>,绿化覆盖率达 24.64%。由于土质差和水资源短缺,白银城区的绿化目前主要以增加绿化面积为目的,不能也不可能一步到达高品位、高档次。在土壤得到改良后,可逐步增大景观树种和花草的栽植量,以达到城市园林化建设的精与美的要求。

矿山开发从资源勘探、开采、加工处理到闭坑,都对周围环境造成巨大影响。发达国家在 19 世纪 70 年代已着手矿山环境的治理和防治工作。我国自国土资源部成立后,针对矿产资源开发利用所造成的矿山环境破坏问题,开展矿山环境治理和生态恢复。白银区的矿区位于城区四周,距离城区较近,对城区的影响较大。矿区的环境治理和生态修复应主要集中在露天矿采区、堆积区和尾矿库区的管护上。露天矿闭坑后,由于地质条件的改变和矿坑积水的影响,矿坑周围出现裂缝,边坡的稳定性受到影响。为防止滑坡等地质灾害的发生,需对矿坑进行回填和边坡进行加固。白银区矿渣堆积主要来自于已闭坑的露天矿,三个采场现存废石约  $9\ 300 \times 10^4\text{ m}^3$ ,  $2.5 \times 10^8\text{ t}$ 。尽管已有人<sup>[18]</sup>提出二次利用的设想,但由于技术和资金的因素,目前还处于探讨阶段。矿渣堆积区目前的环境治理应集中在渣堆的稳定性上,其生态修复以植被的自然修复为主。白银矿区有三个尾矿库,其中一尾矿库已停用。尾矿库要保证库坝的稳定性,防止尾砂泄露。闭库的尾矿库还要进行一定的覆盖,防止细尾砂的风蚀。

### 4.3 管理措施的实现

(1) 加强水资源的合理开发利用,为生态恢复创造良好条件。水资源的安全保障是西部生态环境建设的关键<sup>[19]</sup>。干旱半干旱区生态用水和经济生产用水经常是相矛盾的,生产、生活用水挤占生态用水的现象比较突出。白银市区降水在 200 mm 以下,地表水和地下水资源量也很低,且分布不均。另一方面,水资源利用也不合理,水资源浪费现象存在。传统的粗放型灌溉模式导致每公顷实际灌水量达 7 500 m<sup>3</sup> 以上<sup>[20]</sup>。工业废水和生活污水又使有限的水资源变得更加紧张。在实施生态修复时,必须切实管好、用好有限的水资源。主要包括:

第一,大力做好工业节水、生活节水。白银市区企业众多,工业节水潜力大。另外,每年约  $1\ 300 \times 10^4\text{ t}$  的废水也未作任何处理进入黄河。工业和生活节水不仅减少水体污染,处理后的中水还可作生态用水,提高水资源的利用水平。

第二,大力节约农业用水。采用滴灌等先进、节水的灌溉方式,土层表面采用地膜覆盖,减少无效蒸发;水渠采取防渗等节水技术,提高水的有效利用<sup>[21]</sup>。调整农业(农、林、牧)结构,着力发展节水农业、生态农业,积极发展畜牧业,减少农业用水对生态用水的占用。

第三,充分合理利用大气降水。直接利用大气降水和土壤水,加强水土保持,以小流域为单元,以保护、改良和合理利用水土资源为目标,工程、生物、农业耕作措施三管齐下,因地制宜大力推广集雨工程。

(2) 加强生态环境的动态监测和评估,加强对生态环境的动态监测和科学评估,为白银市区环境保护和建设提供连续、立体、动态的监测信息。

(3) 依靠科技进步,科学规划,促进和加快生态环境建设。白银市区生态环境建设应建立在对该地区生态环境的科学分析和合理利用的基础上。利用最新的资料和先进的技术手段,开展适合白银市区大开发需要的生态气候区划和农业气候区划,并根据当地具体情况,结合产业结构调整的目标,提出合理开发利用当地资源的最佳方案,为生态环境建设提供科学依据。

(4) 实施生态教育, 加大执法力度, 加强综合治理。生态环境建设是一项复杂的系统工程, 需要诸多行政部门的协调和配合、多门学科的参与和支持<sup>[22]</sup>。同时生态环境保护又是一项长期而艰巨的任务。要大力加强生态宣传教育, 提高公众的生态意识, 动员全社会的力量抓生态环境建设, 把保护生态环境变成人民群众的自觉行动; 同时, 加强法制建设, 完善森林法、草原法、水土保持法、环境保护法等相关的法律法规, 加大加强法律的普及工作, 加大执法力度, 做到有法必依, 执法必严, 违法必究。严格控制人口增长, 减缓人口对生态环境的压力。

## 5 结论与建议

(1) 白银市区属典型的黄土高原矿农交错区。恶劣的自

然环境和以工业为主体的强烈的人类经济社会活动共同作用, 使白银市区产生了诸如水土流失日趋严重、土地退化面积不断扩大、水资源进一步短缺和天然植被遭到人为破坏等生态环境问题。

(2) 白银市区的生态恢复应坚持因地制宜、可持续性和防治并重的原则, 从区域实际条件出发, 在矿产资源的开发利用和生态环境的保护间寻求平衡, 防止生态进一步退化和恢复已退化的生态系统, 实现生态环境的可持续发展。

(3) 区域生态恢复和重建应以水土流失区小流域的生态环境修复为核心, 合理退耕还林还草, 恢复植被。加强城区和矿山的生态环境建设, 提升城市形象, 保障城区安全。强化相关的管理措施, 为生态恢复创造良好条件。

### 参考文献:

- [1] 查小春, 唐克丽. 黄土丘陵区开垦地抗冲性的时间变化研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 8 - 11.
- [2] 董世魁, 康慕谊, 熊敏, 等. 黄土高原地区退耕还林(草)政策的持续性分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 41 - 44.
- [3] 成克武, 吴丽娟, 王清春, 等. 陇东地区生态环境建设问题的探讨[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 23 - 28.
- [4] 苗光忠, 陈谦. 退耕还林还草是实现山川秀美的关键[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 1 - 5.
- [5] 锯彤军, 刘普灵, 郑世清, 等. 黄土丘陵区生态恢复重建过程中流域降雨及其水沙变化特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 57 - 60.
- [6] 吴锦奎, 丁永建, 陈彩虹. 白银市区生态环境的退化及修复[J]. 人民黄河, 2005, 27(6): 42 - 44.
- [7] 赵晓英, 陈怀顺, 孙成权. 恢复生态学[M]. 北京: 气象出版社, 2001. 6 - 8.
- [8] 陈彩虹. 白银市区生态环境问题及分析[J]. 甘肃环境研究与监测, 2003(增刊): 16 - 18.
- [9] 南忠仁, 李吉均, 张建明, 等. 白银市区土壤作物系重金属污染分析与防治对策研究[J]. 环境污染与防治, 2002, 24(3): 34 - 38.
- [10] 吴国振. 白银区沿黄灌区盐碱土的现状调查及改良措施[J]. 农村生态环境, 2000, 16(2): 62 - 64.
- [11] 白银市地方志编纂委员会. 白银市志[M]. 北京: 中华书局, 1999. 86 - 87.
- [12] 钱易, 唐孝炎. 环境保护与可持续发展[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 90 - 112.
- [13] 徐树建. 我国西北地区生态恢复研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(2): 80 - 84.
- [14] 吴锦奎, 丁永建, 张明泉. 长江流域甘肃片生态环境特征及对生态环境建设的效应[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 24 - 28.
- [15] 张景光, 王新平. 甘宁蒙陕退耕还林(草)中的适地适树问题[J]. 中国沙漠, 2002, 22(5): 489 - 494.
- [16] 陈生合, 李国标. 白银地区生态林业建设的思路[J]. 甘肃农业, 2001, (3): 18 - 20.
- [17] 李凤, 陈法扬. 生态恢复与可持续发展[J]. 水土保持学报, 2005, 18(6): 187 - 189.
- [18] 蒋雅林, 张军英. 白银有色金属公司采选二次资源开发利用设想[J]. 中国有色冶金, 2004(4): 61 - 65.
- [19] 邓楠. 依靠科技进步推动西部地区可持续发展[J]. 中国人口资源与环境, 2001, 11(1): 1 - 2.
- [20] 林文. 白银市水资源可持续利用探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 2002, 38(1): 34 - 35.
- [21] 王龙昌, 王立祥, 王庚龙, 等. 白银市生态农业建设研究[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(3): 229 - 236.
- [22] 吴绍洪, 郑度, 杨勤业. 我国西部地区生态地理区域系统与生态建设战略初步研究[J]. 地理科学进展, 2001, 20(1): 10 - 20.

(上接第 128 页)

产生的径流, 那么在达到遇 20 年一遇的暴雨强度时才产生径流, 并且当达到百年一遇暴雨强度时径流系数仅为 0.31。由此可见, 下凹式绿地对于滞蓄暴雨径流具有巨大的潜力。

## 5 结 语

在新建城区或旧城改造规划中将城市绿化建设同绿地

滞蓄雨水相结合, 在技术条件是可行的, 但是在利用绿地滞蓄雨水时应依据不同的土壤条件, 科学确定绿地面积和不透水汇流面的比例和绿地低于路面的高程, 以免绿地淹水时间过长而影响其正常生长。对于雨水径流的水质对绿地入渗是否污染地下水目前还没有比较直接和明显的数据显示, 所以还需要科学论证。

### 参考文献:

- [1] 王沛永. 地区园林绿地的雨水利用探析[J]. 中国园林, 2004, 20(11): 71 - 74.
- [2] 杨建锋. 城市化和雨水利用[J]. 北京水利, 2001, (1): 22 - 23.
- [3] 杨瑞平, 李玉珏. 雨水资源在城市中的利用[J]. 山西水土保持科技, 2002, (2): 23 - 24.
- [4] 钱易, 刘昌明, 邵益生. 中国城市水资源可持续开发利用[J]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [5] 陈娟, 叶闽, 杨国胜. 绿色生态小区雨水利用研究[J]. 住宅科技, 2004, (10): 44 - 46.
- [6] 王娟, 蔺银鼎. 城市绿地生态效应[J]. 草原与草坪, 2004, (4): 24 - 27.
- [7] 刘国茂. 城市道路与路面雨水利用的探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2005, (4): 63 - 65.
- [8] 史卫东, 谢志伟. 雨水利用系统的降水优化设计[J]. 甘肃水利水电技术, 2002, (3): 180 - 185.
- [9] 陈梦樵, 窦从容. 雨水流量的简化算法研究[J]. 上海冶金设计, 1997, (2): 32 - 35.
- [10] 林性粹, 冯耀龙, 刘全仁, 等. 雨水径流集蓄利用系统中次降水模式的研究[J]. 水土保持学报, 1995, (1): 48 - 54.