

城郊型小流域水土保持生态环境建设 优化模式设计初探

李成杰, 许靖华, 王占臣, 李立新, 迟志强
(黑龙江省水土保持研究所 牡丹江实验站, 黑龙江 牡丹江 157009)

摘要: 通过对城郊型小流域水土保持生态环境建设优化模式的设计, 对城市水土保持的新领域进行了进一步的探讨, 为今后城市水土保持生态环境建设提供了较为科学的新方法、新途径。

关键词: 城郊型小流域; 水土保持; 生态环境建设; 优化模式; 效益分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)02-0019-05

中图分类号: S157.2

Optimum Mode Design of Soil and Water Conservation and Environment Construction in Small Watershed of Outskirts

LI Cheng-jie, XU Jing-hua, WANG Zhan-chen, LI Li-xin, CHI Zhi-qiang
(Experimental Station in Mudanjiang City, Institute of Soil and Water Conservation of Heilongjiang Province, Mudanjiang City 157009, Heilongjiang Province, China)

Abstract The new field of urban soil and water conservation-passes is studied by designing the best mode of soil and water conservation and environment construction in watershed of outskirts. New scientific ways are presented for soil and water conservation and environment of urban construction in the future.

Keywords small watershed of outskirts; soil and water conservation; environment construction; optimum mode; benefit analysis

1 小流域生态环境、社会经济特点

城郊型小流域是指分布在城市边缘的小流域, 城郊型小流域水土保持生态环境建设属于城市水土保持范畴。城市水土保持的范围包括市区与郊区, 市郊与市区密切相关, 其中市郊是城市水土保持中面积最广、对城市生态环境影响最大的领域。

一般城郊型小流域人口密度大, 受城市辐射的影响, 信息灵通, 知识密集, 交通动力较发达, 经济结构多元化, 常常是种植业(以蔬菜、瓜果为主)、养殖业、工副业兼有, 而且生产水平(包括耕作、施肥、灌溉、机械化、生产集约化程度等)、土地产出率和产品的商品率较高, 生产服务的主体是城市。

城郊型小流域的水土流失除自然流失外, 人为的伴随着为城市服务的开发建设项目(如筑路、开矿、挖沙取土、采石、烧砖制瓦等)产生的水土流失往往成为流域水土流失的主体, 严重的水土流失造成大量泥沙下泄沉积市区, 淤塞城市街道和地下排水设施; 地表

径流所带来的残肥、残药及污物垃圾, 污染水源, 给居民的生活、生产带来直接危害; 小流域植被的破坏, 造成大量土地裸露, 不仅破坏了城市环境, 影响市容市貌, 增加了城市空气的含尘量, 而且往往诱发滑坡、泥石流灾害, 给城市留下隐患。

城郊型小流域水土保持生态环境建设工程具有很强的多功能性和较高的科技含量。其主要功能有: (1) 在控制流域水土流失的基础上, 减免入市径流泥沙, 确保城市免受水土流失的危害; (2) 净化空气、水源, 改善小气候, 为市民提供旅游、休闲、锻炼场所, 美化城市形象, 提高市民生活质量; (3) 为城市经济发展及城郊产业高效治理开发区建设创造条件, 满足市民生活水平不断提高对农副产品和畜牧产品需要。

2 设计指导思想及原理方法

2.1 指导思想

目前我国城市水土保持生态环境保护建设还处于在试点阶段, 开展的范围还局限在示范城市, 尚未全

收稿日期: 2001-08-22

资助项目: 城郊型小流域水土保持生态环境建设及效益研究(黑 2001-328)

作者简介: 李成杰(1964-), 男(朝鲜族), 黑龙江省宁安市人, 工程师, 研究方向是区域水土保持与水土保持综合评价指标体系研究。电话(0453)6538428

面推开,现积累的经验还难能满足今后进一步实践和理论研究的需要;城市水土保持生态环境建设存在理论落后于实践问题,对其内涵和外延的认识尚需进一步明确和统一,技术理论体系尚未完善,有关技术标准、防治模式、工作方法都还处于探索之中,对城市水土保持生态环境建设工作的指导水平有待提高。基于上述原因,研究城郊型小流域生态环境建设优化模式设计及效益,探索城市水土保持生态环境建设的新途径,走出一条城郊型小流域水土保持生态环境建设的新路子,为加快城市水土保持生态环境建设提供科学依据和树立典型样板,提高城市水土保持生态环境建设速度和质量,促进城市水土保持工作不断向纵深发展就显得极为重要与紧迫

2.2 设计原理及方法

2.2.1 设计原理 小流域生态经济系统是由生态系统和经济系统相耦合的复合系统,是生态经济要素,即诸多的环境要素、生物要素、技术要素、经济要素遵循某种生态经济关系的集合体。生态经济结构对系统状态有决定作用,结构是功能的基础,功能是结构的表现。结构决定功能,功能度量结构。结构模型设计就是根据这一原理,进行流域总体结构优化设计的。

2.2.2 结构模式设计方法 本设计运用多目标规划方法对实验区麻花沟小流域生态环境建设进行优化结构模式设计。多目标规划是一种比较优化的规划方法,它克服了传统线性规划目标单一的缺点,也克服了目标规划方法要求每个目标函数都有期望值的局限性,从数学的角度上解决了同时满足规划中多个目标的要求。规划方案的多目标决策方法采用数值决策法,同时辅以经验决策法(专家评估权重法)相对照。数值决策法是依据运筹学不定性决策“后悔值”(Regret Value)准则,采用数学公式列表或按《优选法》一书中的相应方法,经过计算逼近各目标函数,统一计量单位后的最小累计值,它能避开经验决策法中主观因素的影响。

2.2.3 多目标规划的数学模型及其求解途径

(1) 数学模型 目标函数: $\max Cx$ 或 $\min Cx$

约束条件: $\sum a_{ij} X_j \leq b$ (或 $\geq b$)

($I = 1, 2, 3, \dots, m$)

式中: X_j ——决策变量 ($j = 1, 2, 3, \dots, n$); a_{ij} ——约束条件中的决策变量数(经济系数); b ——资源限制数; C ——决策变量的系数(利益系数)。

(2) 求解方法 采用逐步法(STEM)解多目标规划问题。逐步法是一种迭代法,由泽勒内(Zeleny)等把多目标线性规划问题转化成单目标的线性规划问题后求解。

3 多目标优化结构模型的建立

3.1 实验区麻花沟小流域概况

麻花沟小流域位于牡丹江市北郊,距市区仅 0.50 km,总面积 3.66 km²,其中水土流失面积为 46.30 hm²,占流域总面积的 12.7%,年均侵蚀强度为 6 196 t/km²,沟壑密度为 1.20 km/km²;农业用地面积为 83.30 hm²,林业用地面积为 196.50 hm²,荒山荒地 22.50 hm²,其它用地 63.30 hm²;流域总人口 448 人,其中农业人口 408 人,非农业人口 40 人。流域地貌类型属低山丘陵河谷盆地,地形起伏较大,平均海拔高度为 321 m,其地面坡度组成为: < 3° 的占 10.4%, 3°~5° 的占 14.3%, 5°~8° 的占 16.2%, 8°~15° 的占 26.7%, > 15° 的占 32.4%。流域地处温带大陆性季风气候区,多年平均气温 3.5℃,最高气温 36.5℃,最低为 -38℃;多年平均降水量 525 mm 左右,其中 70% 集中在 6—9 月份,年平均日照时数 2 500~2 600 h。小流域经济以种植业为主,农业年总收入为 1.19 × 10⁶ 元,农业人口年均收入为 1 850 元。由于自然因素和人类不合理的生产活动,森林采育失调,毁林毁草开荒,不合理地耕作,以及农牧业比例失调等原因,造成了严重的水土流失,致使耕地面积减少,耕层变薄,地力锐减,生态环境日趋恶化。流域产生地表径流下泄市区,冲毁道路,泥沙直接淤塞河道和城市地下排水设施,淹没街道,威胁市民生产生活,阻碍了城郊经济的发展。

3.2 目标函数选择

根据城郊型小流域(麻花沟小流域)的自然经济特点,考虑到城市水土保持生态环境建设的特殊性及对治理开发的要求,确定了 3 个目标函数:(1) 水土流失量最小(不超过允许流失量)。这一目标反映出了城郊型小流域生态环境建设从一开始就要立足于高起点、高标准、高效益。(2) 水土保持经济纯收入最大。这个目标实质是追求生态、经济、社会三大效益的统一。(3) 水土保持投资最小。这一目标是考虑小流域群众尚不富裕和地方、国家投资所限。各分目标的优化数学模型如下。

3.2.1 水土流失最小优化数学模型

$$E = \sum_{i=1}^u \sum_{k=0}^m e_{ik} X_{ik}$$

约束方程式 $\sum \sum L_{ik} X_{ik} \leq G$ (或 $\geq G$)

式中: E ——土壤流失量; e_{ik} ——流失系数; L_{ik} ——约束系数; G, G' ——约束上、下限。

3.2.2 经济纯收入最大优化数学模型 以经济纯

收入最大值作为目标函数,即在满足约束条件 $\sum_{i=1}^u$

$\sum_{j=1}^n b_j X_{ij} \geq r$ 或 $\leq R$ 情况下,使目标函数:

$$f_{\max}(X) = \sum_{i=1}^u \cdot \sum_{j=1}^n d_{ij} X_{ij}$$

式中: f ——经济纯收入(元); d_{ij} ——价值系数;
 b_j ——约束系数; R, r ——约束常量; X_{ij} ——决策变量, $i = 1, 2, \dots, u$; u ——土地类型; n ——各业及从属投入最小优化数学模型:

在满足约束条件 $\sum_{i=1}^u \cdot \sum_{k=0}^m d_{ik} X_{ik} \leq Q$ (或 $\geq Q$) 情

况下,使目标函数 $T_{\min} = \sum_{i=1}^u \cdot \sum_{k=0}^m C_{ik} X_{ik}$

式中: T_{\min} ——最小投资(元); C_{ik} ——经济系数(元); d_{ik} ——约束常量; X_{ik} ——决策变量; $i = 1, 2, \dots, u$; $k = 0, 1, 2, \dots, m$; u ——土地类型; m ——措施种类

3.3 目标函数参数的确定

参数合理选取关系到规划模型的可靠性和实用价值有多大。因为只有选取准确的参数,才能使静态模型接近离散时间的动态系统,真实反映系统自身规律。本项目模型参数的确定,采用模型预测与经验预测相结合的方法。预测结果值如表 1 所示。

表 1 城郊型小流域水土保持效益与投入参数

措施项目	保土率 / %	投入定额 / (元 · hm ⁻²)	经济纯收入 定额 / (元 · hm ⁻²)
退耕还林	85	1 530	1 800
退耕还果	90	2 790	11 250
护坡用材林	85	1 530	1 800
护坡经济林	90	2 790	11 250
分水岭防护林	85	1 540	1 800
种草	90	945	2 250
侵蚀沟防护林	85	7 160	1 703
护路护村林		11 360	
地埂	80	1 660	
坡式梯田	85	4 210	
水平梯田	95	11 700	
小塘坝		41 000	15 000
大棚		16 500	163 500
粮田		1 175	3 790
经济作物		5 010	11 240
蔬菜		2 700	21 300
生猪饲养		400	200元/头
养鸡			18元/只
养奶牛			6 000元/头
特种养殖(狐狸)			300元/只

3.4 模型设计

3.4.1 决策变量设计 根据麻花沟小流域土地质量分级和适宜性评价,本着对影响大的因素设置变量而影响小的变量不设置的原则,该流域设置 21 个决策变量如下:

X_1 ——退耕还林; X_2 ——退耕还果; X_3 ——护坡用材林; X_4 ——护坡经济林; X_5 ——分水岭防护林; X_6 ——种草; X_7 ——侵蚀沟防护林; X_8 ——护路护村林; X_9 ——地埂(控制面积); X_{10} ——坡式梯田; X_{11} ——水平梯田; X_{12} ——小塘坝; X_{13} ——大棚; X_{14} ——粮田; X_{15} ——经济作物面积; X_{16} ——蔬菜面积; X_{17} ——生猪饲养; X_{18} ——奶牛饲养; X_{19} ——养鸡; X_{20} ——特种养殖; X_{21} ——工副业。

3.4.2 约束方程 根据流域土地资源数量、保护和改善城市生态环境的要求和市民对农牧业产品的市场需求,构造如下约束方程

$$(X_1 + X_2) \leq 4.8$$

$$X_2 = 1. X_6 \leq 1.0$$

$$X_2 + X_4 \leq 8.0$$

$$X_3 + X_4 + X_5 = 7.1$$

$$X_7 = 1.1$$

$$X_8 = 1.7$$

$$X_9 \leq 7.8$$

$$X_{10} + X_{11} \geq 22.2$$

$$X_{11} \geq 1.5$$

$$X_{12} \leq 0.6$$

$$X_1 + X_2 + X_6 + X_9 + X_{10} + X_{11} = 35.8$$

$$X_{13} + X_{14} + X_{15} = 59.5$$

$$X_{13} + X_{16} \leq 29.5$$

$$X_{13} = 2.0$$

$$X_{14} + X_{15} \leq 30$$

$$X_{14} = 24$$

$$X_{17} = 3 000$$

$$X_{18} = 60$$

$$X_{19} = 5 000$$

$$X_{20} = 200$$

$$X_{21} = 120$$

该流域的水保措施投入约束方程为

$$(X_1 + X_3) 1 530 + (X_2 + X_4) 2 790 + 1 540 X_5 + 945 X_6 + 7 160 X_7 + 11 360 X_8 + 1 660 X_9 + 4 210 X_{10} + 11 700 X_{11} + 41 000 X_{12} + 16 500 X_{13} \leq 226 500$$

3.4.3 目标函数

(1) 经济纯收入

$$\max f_1(X) = 11 800 X_1 + 11 250 X_2 + 1 800 X_3 +$$

$$11\ 250X_4 + 1\ 800X_5 + 2\ 250X_6 + 17.3X_7 + 15\ 000X_{12} + 163\ 500X_{13} + 37\ 903X_{14} + 11\ 240X_{15} + 21\ 300X_{16} + 200X_{17} + 6\ 000X_{18} + 18X_{19} + 300X_{20} + 10\ 000X_{21}$$

(2) 土壤流失量

$$\min f_2(x) = 3.45X_1 + 2.3X_2 + 3.45X_3 + 2.3X_4 + 3.45X_5 - 2.3X_6 + 3.45X_7 + 4.6X_9 + 3.45X_{10} + 1.15X_{11}$$

(3) 水保投入

$$\min f_3(x) = 1\ 530X_1 + 2\ 790X_2 + 1\ 530X_3 + 2\ 790X_4 + 1\ 540X_5 + 945X_6 + 7\ 160X_7 + 11\ 360X_8 + 1\ 660X_9 + 4\ 210X_{10} + 11\ 700X_{11} + 41\ 000X_{12} + 16\ 500X_{13}$$

3.4.4 模型方程求解 水土保持规划多目标决策,归根结底是如何处理各单项最小优化目标函数及其变量解的归一化权重分配这一问题,本项设计采用“专家评估权重法”和“数值权重法”相结合的方法去解模型方程。所谓“专家评估权重法”就是专家确定若干个不同目标权重的规划方案,分别求出每个方案的各目标函数值,并比较若干个方案中各目标的最大值与最小值,使 $P = \text{最大值} - \text{最少值}$ 。最后,分别求出每个方案的不同目标的“后悔值”—— S ,其计算公式为: $S_1 = [\max f_1(x) - f_1(x)]/p_1$, $S_2 = [f_2(x) - \min f_2(x)]/p_2$, $S_3 = [f_3(x) - \min f_3(x)]/p_3$ 。比较不同方案的目标“后悔值” S 的大小,其值越小,说明该目标越接近理想值。因此我们采用累计“后悔值” S 最小的目标权重方案,作为理想决策方案。所谓“数值决策法”就是将不同目标“权重”作为函数变量,求解以下方程组:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1, X_1/F_1 + X_2/F_2 + X_3/F_3 = 0 \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0$$

式中: X_1, X_2, X_3 ——3个目标的权重; F_1, F_2, F_3 ——3个目标的函数值,当求目标函数最大值时, F 取正值;当求目标函数值最小时, F 取负值

模型方程求解首先分别以单目标求解。然后采用“专家评估权重法”,计算规划方案的各目标权重分别为目标(1): 0.5,目标(2): 0.3,目标(3): 0.2;再后,采用“数值法”计算的各目标权重也为 0.5, 0.3, 0.2

2种计算方法结果相同,因此采纳各目标权重为 0.5, 0.3, 0.2的规划方案为决策方案。最终根据决策方案的各目标权重,单目标求解的变量值,分别求出各单目标的决策变量值,然后将其相加,即为多目标变量决策值,再用多目标变量决策值分别求出不同目标的决策值,计算结果详见表 2

表 2 麻花沟小流域水土保持多目标规划决策方案计算

函数变量	目标函数(1)权重 0.5	目标函数(2)权重 0.3	目标函数(3)权重 0.2	合计(决策值)
X_1	1.7	0.0	0.7	2.4
X_2	0.8	0.4	0.3	1.5
X_3	0.3	2.1	1.4	3.8
X_4	3.3	0.0	0.0	3.3
X_5	0.0	0.0	0.0	0.0
X_6	0.5	0.0	0.2	0.7
X_7	0.6	0.3	0.2	1.1
X_8	0.9	0.5	0.3	1.7
X_9	3.9	0.0	1.6	5.5
X_{10}	10.3	9.8	4.1	24.2
X_{11}	0.8	0.4	0.3	1.5
X_{12}	0.3	0.2	0.1	0.6
X_{13}	1.0	0.6	0.4	2.0
X_{14}	12.0	7.2	4.8	24.0
X_{15}	3.0	1.8	1.2	6.0
X_{16}	13.8	8.2	5.5	27.5
X_{17}	1 500.0	900.0	600.0	3 000.0
X_{18}	30.0	18.0	12.0	60.0
X_{19}	2 500.0	1 500.0	1 000.0	5 000.0
X_{20}	150.0	90.0	60.0	300.0
X_{21}	60.0	36.0	24.0	120.0

注: 目标决策值中: 目标函数(1): $f_1(x) = 3\ 488\ 758$ 元; 目标函数(2): $f_2(x) = 148$ t; 目标函数(3): $f_3(x) = 236\ 890$ 元。

4 结构优化及效益分析

4.1 利用结构基本合理

小流域优化结构模式实施后,农业用地由原来的 22.8% 降至 16.3%,林业用地由原来的 53.7% 增至 57.5%。坡耕地配置了与此相适应的水土保持措施。而且单位面积施肥量明显增加,将土地的利用与保护、用地与养地有机结合,同时作物种植结构得到改善,使种植业产量不断提高,获得持续稳定发展。水保林结构也较合理,林种、树种多样,基本上做到网、带、片结合,乔、灌、草结合,防护、经济、用材结合,从根本上改善了该流域的生态环境,将对市区生态环境的保护与改善发挥重要作用。牧业用地虽然没有多大增加,但通过充分利用城郊农副产品和市区食品业副产品作饲料,可使养殖业得到较大发展。

4.2 水土流失得到有效防治

小流域各项治理开发措施实施生效后,综合保水率达到 81.2%,保土率达到 86.3%,年径流模数由原来的 $75\ 000\ \text{m}^3/\text{km}^2$ 减至 $14\ 100\ \text{m}^3/\text{km}^2$,年土壤侵蚀强度由原来的 $6\ 196\ \text{t}/\text{km}^2$ 减至 $847\ \text{t}/\text{km}^2$,小流域每年进入市区的径流由原来的 $3.47 \times 10^4\ \text{m}^3$ 减至 $6.65 \times 10^3\ \text{m}^3$,进入市区的泥沙由原来的 $2.90 \times 10^3\ \text{t}$ 减至

4.00×10^2 t, 从而对牡丹江市区生态环境的保护与改善起到重要作用。

4.3 经济效益分析

优化结构模式实施后, 每年可为市民提供较丰富的农、畜产品, 群众生活水平将得到大幅度提高。小流域年经济总收入可由原来的 1.19×10^6 元增至 3.49×10^6 元, 年人均收入可由原来的 1.85×10^7 元增至 5.1×10^7 元。由此可见, 小流域优化结构模式实施后, 经济效益十分显著。

4.4 生态效益分析

一是森林覆盖率的大幅度提高, 不仅从根本上改善了该区域生态环境, 而且对净化城市空气、水源、减轻市环境污染发挥了积极作用。二是由于土地利用结构合理调整, 加上水土保持措施得当, 充分发挥了保水、保土作用, 从而有效地提高了流域的抗灾能力, 使流域生态系统不断向良性循环转化。三是随着土地利用结构调整合理, 生产结构和作物结构的改善, 生物单元的增加, 促进了流域的生态经济结构向多元化方向发展, 不仅保护了生物多样性, 而且使资源得到了充分合理利用。

4.5 社会效益分析

流域水土保持生态环境建设一是减轻了城市的洪灾威胁, 有效地控制了泥沙下泄进入市区, 节省了城市防洪清淤费用; 二是提高了流域内群众生活水平, 丰富了市民“菜篮子”, 为市民提供了度假休闲场所; 三是增强了人们的城市水土保持生态环境建设意识, 激发了他们自觉搞好城郊型小流域水土保持建设的积极性, 从而有利于推动城市水土保持工作向纵深方向发展; 四是为各地开展城郊型小流域水土保持生态环境建设树立了样板, 积累了有益的经验。

5 优化模式设计成果应用价值分析

本研究设计是从 1992 年起至 1994 年, 在模型试验区进行实验研究成功后, 于 1994 年后在黑龙江省同一侵蚀类型区的海林市、宁安市、林口县、鸡西等市县中应用推广该项研究设计成果, 针对城郊型小流域进行了治理开发工作, 均获得了显著的生态、经济

和社会效益。从 1994 年至今, 先后在 5 个市县治理开发城郊型小流域 8 条, 累计完成治理面积 96 km^2 , 其中营造水土保持林 1864 hm^2 , 经济果林 452 hm^2 , 修筑梯田 2405 hm^2 , 修建塘坝 12 座 (水面积 15.4 hm^2)。累计增产粮食 $1.08 \times 10^6 \text{ kg}$, 果品 $4.07 \times 10^6 \text{ kg}$, 活立木 $6.30 \times 10^3 \text{ m}^3$, 鲜鱼、肉蛋 $1.35 \times 10^5 \text{ kg}$, 直接经济收入增加 1.36×10^7 元余, 流域内农民人均收入比治理前提高 30%。经治理后的小流域生态环境得到明显改善, 水土流失得到了根本控制, 小流域的土地利用结构和产业结构逐渐趋于合理, 每年可向市区提供丰富的农副产品, 重点突出了为城市服务的功能, 为大力开展城市水土保持生态环境建设开辟了新路子。

6 结 论

运用多目标规划方法设计的城郊型小流域水土保持生态环境建设优化结构模式, 经实验证明具有较强的科学性和适用性, 它是一种理论与实践相结合的研究成果, 该模式建造体现了城市水土保持的特殊性, 获得的生态效益、经济效益和社会效益显著, 因此, 它具有一定的推广应用价值。然而城市生态环境 (特别是市郊) 各异, 水土保持工作比较复杂, 技术性强, 规划难度大, 需要集多学科的知识运用于水土保持。所以, 本项研究尚需要今后进一步完善, 所提出的城郊型小流域水土保持生态环境建设模式, 可供同类型区借鉴。

[参 考 文 献]

- [1] 刘运河, 唐德富. 水土保持 [M]. 黑龙江科技出版社, 1992. 135-140.
- [2] 国务院东北经济区划办公室农林生态农业建设 [M]. 东北林业大学出版社, 1984. 82-86.
- [3] 何万云. 国土开发整治理论与实践 [M]. 黑龙江科学出版社, 1995. 132-136.
- [4] 郭志贤. 试论城市水土保持 [J]. 中国水土保持, 1998 (10): 29-30.
- [5] 丁福俊. 水土保持优化结构模型 [J]. 水土保持科技情报, 1999(4): 57-59.