

系统工程理论在矿区生态建设规划中的应用

贾泽祥,田杏芳,喻权刚
(黄委会黄河上中游管理局,陕西 西安 710043)

摘 要: 以系统工程原理、数学模拟方法,对神府东胜矿区大柳塔矿水土保持型农业生态经济结构与土地利用规划做出优化决策,以期促进区域生态环境和煤矿生产条件的极大改善,达到最大生态经济输出功能,最终建立一个合理、高效和稳定的区域人工生态经济系统。
关键词: 系统工程;生态建设;规划应用
中图分类号:S 274.1 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2003)02-0093-03

Application of the Systematical Project Theory in the Planning
of Mine Region's Ecological Construction

JIA Ze-xiang, TIAN Xing-fang, YU Quan-gang
(Upper and Middle Yellow River Bureau, YRCC, Xi'an 710043, Shaanxi, China)

Abstract: The systematic project theory and mathematical simulation are used to optimize the soiland water conservation, agricultural, ecological and economic structure and the land utilization of the Daliuta mine which lies in the Dongsheng, Shenfu mine. Great improvements of the regional ecological environment and the living conditions to achieve the maximum of ecological economy are get. So a regional, artificial, ecological and economic system which is reliable efficient and stable can be finally founded.
Key words: systematic project; ecological construction; planning and application

水土保持生态建设规划是一项复杂的环境系统工程,尤其在神府、东胜矿区,由于煤炭生产、城市化过程和严重的水土流失,使得系统庞杂,边界大,其高阶次反直观性的特点更为突出,因此,传统的定性方法很难对系统进行科学合理的规划。

系统工程理论,是一种基于系统学、运筹学、信息论的综合学科,研究由若干相互关联、相互制约的单元所组成的复杂系统的科学。近年来,系统工程的分支——线性规划理论,在各种复杂系统的规划中得到了运用,并取得了显著的生产效果。为了使矿区水土保持生态建设规划更加科学合理,在神府、东胜煤田大柳塔矿生态建设规划中,采用了带灵敏度分析的动态线性规划,建立“最佳生态经济模型”,对井田区的土地利用模式进行模拟,分别求解出工程建设和生产运行两时段末的最优解,作为水土保持生态建设规划的基础,收到良好效果。

1 区域自然背景

大柳塔矿位于神府东胜矿区中心,井田面积 131.54 km²。海拔在 1 060 ~ 1 332 m 之间。地表组成物质主要为风

沙土和黄土。由于土壤质地较粗,结构松散,抗冲抗蚀性差,极易遭受风蚀、水蚀和重力侵蚀;受风沙和干旱影响,草原植被逐渐退缩,沙生植被群落生长不良,覆盖度低。最高气温达 38.9℃,最低气温 - 28.1℃,最大冻土深达 1.71 m,时间长达 116 d。无霜期 180 d,年均日照时数 2 876 h。多年平均降水量 400 mm 左右,主要集中在 7、8、9 三个月。出现 7.4 m/s 的起沙风年均 41 次,瞬时 > 17 m/s(八级风)的大风日数多达 36 ~ 42 d/a,多年平均为 13 ~ 25 d。大风与下垫面共同作用,形成沙尘暴,遮天蔽日,吞没粮田,风沙危害严重。

2 数据调查及有关论证预测

2.1 收集已有资料成果

包括:区域水文、气象要素;土壤侵蚀的成因、方式、强度及空间分布、水土状况及危害、水土保持措施现状及治理经验教训;煤矿开采规模、引起的新增水土流失、风蚀沙化及环境污染等资料。

2.2 资料分析方法

采用同比例尺地形图与航片相结合、室内判读与野外调绘相结合的方法,进行调查研究与资料分析,包括:矿区地

¹ 收稿日期:2002-11-15
作者简介:贾泽祥(1966-),男,山西省万荣县人,工程师,学士学位,多年来一直从事水土保持技术管理和科学研究工作。

层、地表物质组成及其分布;水系与沟壑密度;地貌类型、坡度组成及其分布;土壤类型、理化性状、肥力状况、生成发育与空间分布规律;植被类型与植物资源分布;矿区土地利用、农业经济构成等。

2.3 人口增长预测

人口增长的规模是土地利用结构调整方向与规划目标确定的前提性指标之一。大柳塔井田区农业人口密度为16.9人/km²,由于矿区开发,非农业人口剧增;总人口密度将达到46.7人/km²,对环境造成巨大压力。

人口增长的预测模型采用指数平滑公式:

$$P = P_o e^{kn} \pm Q$$

式中: *P*——时段末预测达到数; *P_o*——人口基数; *n*——预测时段的年数(第一时段6年,第二时段8年,以下同); *Q*——人口机械变化数; *k*——人口自然增长率,农业人口:第一时段取17‰,第二时段取15‰;城镇人口:第一时段取12.5‰,第二时段取9.5‰。预测结果见表1。

表 1 大柳塔矿井田区人口增长预测表					
年 度	总人口	农业	煤矿在籍人口及眷属		城镇非农业
		人口	总数	其中: 农转非	人口
基 准 年	3899	2219	1245	140	435
第一时段末	7345	2284	4351	175	329
第二时段末	10066	2614	6746		358

2.4 牲畜发展预测

畜牧业是井田区的支柱产业之一,在农林牧收入结构中占26.7%。随着矿区人口的迅速增长,畜产品的需求量越来

越大。牲畜发展的规模,受诸多因素的制约,因而,很难确知各种因素与牲畜发展的关联状态。因此,用灰色系统理论,对井田区的牲畜发展趋势进行动态模拟,建立系统模型。建模的时间序列为1949~1990年,预测模型分别为:

大畜: $X_{(t)}^{(1)} = 119.139e^{0.033\ 264\ 1\ t} - 115.928\ 6$

羊: $X = 9\ 627\ 291e^{0.01\ 952\ 327\ t} - 9\ 575\ 878$

猪: $X = 271.294\ 8e^{0.01\ 850\ 348\ t} - 266.234\ 8$

运用计算,预测结果见表2。

表 2 大柳塔矿井田区牲畜发展预测结果表				
年 度	大畜(羊单位)	猪(羊单位)	羊	合计(羊单位)
基准年	2750	1732	3991	8473
第一时段末	3749	2284	4943	10976
第二时段末	5061	2614	6036	13711

3 土地适宜性评价

土地的适宜性是指土地在一定条件下对发展农、林、牧的适宜程度。土地适宜性评价,就是分析论证土地对某种利用方式,能否长期有效的发挥土地生产潜力,并使土地生产力不致下降或枯竭。评价因子见表3,评价结果见表4,井田区各等级土地面积见表5。

表 3 土地适宜性评价因子表					
评价因子	土壤侵蚀	土 壤	地 形	植 被	灌溉条件
评价指标	风蚀强度、 水蚀强度	质地、有机 质含量、土 壤水分	地面坡度	覆盖度	是否有灌溉 水源保证

表 4 土地等级特征表				
等级	包含的评价单元	土 地 特 征	适 宜 性	利 用 方 向
I	川台水地、沟坝地	对农业利用基本无限制或极少限制。地形平坦,土层深厚,土壤肥力较好,有机质含量高,风蚀、水蚀均不明显	最宜农、林、牧	发展菜地、果园、基本农田
	川台地、沟台地、缓坡地、沙滩地、耕种沙地	土地利用有某些限制、质量中等。对农作物有选择性,土层较厚,土壤肥力较高,有轻微侵蚀	宜农亦宜林宜牧	发展基本农田、农副基地或林牧业
III	陡坡地、固定沙地	土地利用受到一定限制,质量较差。土层较薄,坡度一般在15左右,排灌设施不完善。有机质含量较低,有中度侵蚀	稍宜农、适宜林牧	发展林牧业
IV	半固定沙地、极陡坡地	对农业利用有极大的限制,质量很差。土层浅薄,坡度较大,有中强度侵蚀	稍宜林宜牧	发展耐寒耐旱耐涝作物及林牧业
V	流动沙地、河床等	质量最差,限制因素多。土层浅薄,坡度大,有机质含量低,风沙危害严重,土壤侵蚀强烈	稍宜牧或为不宜地	¹ 沟道内打坝淤地 ^④ 坡面种耐瘠薄类牧草或灌木

表 5 井田区各级土地面积表					hm ²
项 目	I	II	III	IV	V
适宜性评价	最宜地	宜农地	双宜地	单宜地	难宜地
面积	208.3	563.7	9649.6	1555.5	794.4

4 利用线性规划理论进行矿区土地利用规划

一个井田区既是一个水土流失的基本自然单元,又是一

个开放的生态经济系统,其系统开发具有人口、资源、能源、经济等多种目标,系统内部诸因素之间多属非线性制约关系;矿区生态经济系统时变性又很强,故建立矿区水土保持型农业经济优化结构,属于多目标、非线性、动态的仿真模型

求解问题。而规划阶段往往缺乏能够反映这些关系的表达式和参数,尚不具备建立动态仿真模型的条件,故通过一系列的概化处理,如根据矿区环境治理目标以生物生长量最大作为系统模型的目标函数而其余目标均作为约束条件,尽量将非线性关系改化作近似的线性关系,对主要决策变量系数进行不同规划时段的预测,以及用人—机对话方式作不同水平的调试等等,以便建立线性模型,进行优化决策。其数学模型为:

$$S_{max} = \sum_{j=1}^n C_j X_j (j = 1, 2, n)$$
$$a_{ij} X_{ij} \leq r \quad (\text{或} \quad R)$$

式中: S ——生物生长量; C_j ——生物生长量系数; X_{ij} ——

决策变量; a_{ij} ——约束系数; $R、r$ ——约束常量。

4. 1 决策变量

水土保持生态建设规划中土地利用的决策变量主要是各类土地面积与社会经济指标。

主要有: X_1 : 灌木林; X_2 : 乔木林; X_3 : 环境绿地; X_4 : 天然草地; X_5 : 人工草地; X_6 : 改良草地; X_7 : 果树; X_8 : 蔬菜; X_9 : 基本农田; X_{10} : 旱农地; X_{11} : 流动沙地; X_{12} : 半固定沙地; X_{13} : 不变面积; X_{14} : 农业人口; X_{15} : 非农业人口; X_{16} : 牲畜; X_{17} : 奶畜。

4. 2 生物生长量系数的确定

对该地区生物生长量的调查并参考有关资料,各种地类生物生长量系数见表 6。

表 6 各种地类生物生长量系统表											kg/hm ²
土地类型	灌木林	乔木林	环境绿地	天然草地	人工草地	改良草地	果树	蔬菜	基本农田	坡旱地	半固定沙地
生物生长量	6375	9990	11250	6319.5	18750	8812.5	27555	75000	10003.5	1860	3075

规划中,把最大生物量作为目标函数,即各地类面积乘以单位面积年生物量的效益系数。即:

$$S_{max} = 425 X_1 + 666 X_2 + 750 X_3 + 421.3 X_4 + 1250 X_5 + 587.5 X_6 + 1837 X_7 + 5000 X_8 + 666.9 X_9 + 124 X_{10} + 0 \times X_{11} + 205 X_{12} + 0 \times X_{13}$$

4. 3 约束方程的建立

4. 3. 1 面积约束方程

面积约束主要依据井田区土地适宜性评价结果及其它面积控制方案,对各类用地面积进行约束。

- (1) 总面积约束: $X_i = 13\,154\text{ hm}^2$
其中: X_i 为各类用地面积 ($i = 1, 2, 3, \dots, 13$)
- (2) 环境绿地约束: $X_3 = A_2$

其中: $A_{\text{第一时段}} = \text{临河岸坡分水岭以下面积} = 336\text{ hm}^2$
 $A_{\text{第二时段}} = \text{沿河视线可及范围} + \text{防风沙流蔓延灌木带} = 602.7\text{ hm}^2$

- (3) 草地约束: $X_4 + X_5 + X_6 = A_3$
 A_3 : 现状天然草地、半固定沙地、荒草地、部分退耕农地之和。一期为: $6\,794.7\text{ hm}^2$, 二期为: $5\,461.4\text{ hm}^2$

4. 3. 2 生态建设需求约束方程

- (1) 林地措施约束: $X_1 + X_2 + X_5 + X_6 \leq A_1$
其中: $A_{\text{第一时段}} = \text{冒落塌陷区} + \text{部分防护林网} + \text{风井防护林} + \text{严重水土流失沟坡} = 6\,231.4\text{ hm}^2$
 $A_{\text{第二时段}} = \text{宜林地} + \text{宜草地} + \text{双宜地} = 10\,750.4\text{ hm}^2$

- (2) 园地、基本农田约束: $X_7 + X_8 + X_9 \leq A_4$
其中: $A_{\text{第一时段}} = \text{最宜地} + \text{部分宜农地} (\text{要求靠近水源}) = 543.8\text{ hm}^2$
 $A_{\text{第二时段}} = 810.5\text{ hm}^2$

- (3) 坡旱地、不变面积、流沙面积约束
¹ 坡旱地 $X_{10} < 591.3\text{ hm}^2$

- ④不变面积 $X_{13} = 683.4\text{ hm}^2$
- ⑤流动沙地 $X_{11} < 560.4\text{ hm}^2$
- (4) 乔灌比、人工草与改良草的比例约束
¹ $2X_1 - 8X_2 = 0$, 乔灌比取 $2 \sim 8$ 。
(2) $2X_5 - 3X_6 = 0$, 人工草与改良草的比例取 $3 \sim 2$

4. 3. 3 社会经济约束方程:

- (1) 农业人口约束: $X_{14} = A_5$
 A_5 为农业人口预测数,一期为 $2\,284$ 人,二期为 $2\,614$ 人。
- (2) 非农业人口约束: $X_{15} = A_6$
 A_6 一期: 为 $4\,351$ 人,二期为 $6\,746$ 人。
- (3) 牲畜约束: $X_{16} = A_7$
 A_7 为预测数,一期为 $10\,976$,二期为 $13\,711$ 。
- (4) 奶畜约束: $-12X_{15} + 108X_{17} = 0$

4. 3. 4 平衡约束

- (1) 粮食平衡约束: 要求满足农业人口粮合平年自给和牲畜对精饲料的需求。
即: $250X_9 + 60X_{10} - 270X_{14} - 13X_{16} = 0$

- (2) 草场—牲畜平衡约束: 约束系数为饲料单位,要求饲草供应量与牲畜食用量达到平衡。即: $-19.6X_1 - 19.4X_2 - 25.9X_4 - 100X_5 - 47X_6 - 107.6X_8 - 24.6X_9 - 16.4X_{11} + 328.5X_{16} = 0$

4. 3. 5 改善环境约束

- (1) 滞尘约束: 规定两时段降解吸滞大气飘尘的指标。约束系数为百分比。 A_7 为约束指标: 一期为 $2\,074\,189\text{ kg}$; 二期 $2\,627\,925\text{ kg}$ 。
 $14.25X_1 + 29.19X_2 + 42.1X_3 + 2.1X_4 + 6.55X_5 + 4.35X_6 + 24.14X_7 + 5.6X_8 + 5.6X_9 + 2.75X_{10} \leq A_8$

- (2) 降解 SO_2 约束: 煤田生产产生的主要大气污染物为 SO_2 , 各种植物均有不同程度地降解 SO_2 的能力。约束方程的约束系数为每亩降解 SO_2 的量(kg), 右端常系数为环境
(下转第 122 页)

[5] 刘康祥, 潘高潮. 论岩溶含水层地下水资源评价的概念模型[J]. 贵州师范大学学报 (自然科学版), 1998, 16(2): 29– 36.

[6] 王海鹰, 施顺生. 云南公路建设中的水土流失及其防治[J]. 云南环境科学, 2001, 20(1): 44– 54.

[7] 李韧. 皖南山岭重丘区高速公路水土保持方案设计[J]. 2001, 129(2): 73– 74.

[8] 张福存. 能源基地地下水污染及防治措施[J]. 1998, 28(2): 191– 194.

[9] Stephenson J B, Zhou W F, Beck B F, et al. Highway stormwater runoff in karst areas– preliminary results of baseline monitoring and design of a treatment system for a sinkhole in Knoxville, Tennessee[J]. Engineering Geology, 1999, 52: 51– 59

[10] White W B. , Karst hydrology: recent developments and open questions[J]. Engineering Geology, 2002, 65: 85– 105.

[11] Hose L D, Palmer A N, Palmer M V, et al. Microbiology and geochemistry in a hydrogen–sulphide–rich karst environment[J]. Chemical Geology, 2000 , 169: 399– 423.

[12] Dufresne D P, Drake C W. Regional groundwater flow model construction and wellfield site selection in a karst area, Lake City, Florida[J]. Engineering Geology, 1999, 52: 129– 139.

(上接第 95 页)

约束指标。第一时段末二级达标, 第二时段末一级达标。即:

$$5.7X_1+6X_2+32X_3+0.97X_4+1.55X_5+1.09X_6>A_9$$

$$A_9 \text{ 一期为 } 627\ 842\ \text{kg}, \text{ 二期为 } 878\ 213\ \text{kg}_0$$

(3) 允许最大水土流失量约束: 约束变量系数为与治理前相比的产沙率, 右端常系数为井田区产沙率的约束指标。即:

$$0.55X_1+0.5X_2+0.7X_4+0.54X_5+0.6X_6+0.02X_7+$$

$$0.02X_9+0.8X_{10}+X_{11}+0.8X_{12}+0.3X_{13}<A_{10}$$

$$A_{10} \text{ 值一期为 } 110\ 915.7, \text{ 二期为 } 95\ 710.0_0$$

4.3.6 资金约束

约束变量系数为单位面积治理投资定额, 右端常系数 A_{11} 为两时段可能提供的资金数, 一期为 7.99×106 元, 二期为 1.26×107 元。方程为:

$$38X_1+79.2X_2+281X_3+27X_5+16X_6+200X_7+800X_8$$

$$+400X_9<A_{11}$$

4.4 决策结果及灵敏度分析

4.4.1 决策结果分析(见表 7)

把做出的水土保持建设规划结果与现状相比较, 规划方

案的预期效果主要表现在: 土地利用结构和布局更加合理, 农、林、牧、园地、非生产用地比例由原来的 1 4.8 8.1 0.1 1.8 调整为 1 18.4 15.5 1.4 2.9, 形成坡旱地水保耕作化, 川台滩地水利化, 荒沙荒坡绿化美化, 休息场所公园化, 农、林、牧、粮、果、菜综合发展的土地利用新格局。土地利用率先显著提高, 由原来的 41% 提高到 85%; 林草覆盖率将由 32% 增加到 55%; 饲草达到平衡; 人均产粮超过 500 kg, 人均纯收入由原来的 285 元提高到 2 560 元, 达小康标准; 由于开矿加剧的水土流失和风蚀沙漠化得到有效控制; 环境状况明显好转。目标的实现为矿区提供了优美舒适的生活和生产环境。

4.4.2 灵敏分析 灵敏度分析是线性规划技术的新发展。土地利用规划所涉及的有关自然环境和社会经济条件等参数是系列变化中的量, 因此线性规划模型应是动态的模型, 当参数发生变化时, 应了解系统的稳定程度、各种资源在系统中的利用情况及各约束条件对系统的影响能力, 即在决策最优的情况下, 各种系数的变化范围。灵敏度分析中进行了影子价格和常系数与效益系数允许变化范围的计算。

表 7 线性规划结果表

hm²·人·羊

项 目	灌木林 X_1	乔木林 X_2	环境绿地 X_3	天然绿地 X_4	人工草地 X_5	改良草地 X_6	果树 X_7	蔬菜 X_8	基本农田 X_9
第一时段	478050	470490	75600	1075290	244200	209325	83235	2400	36705
第二时段	719595	530880	135600	60435	467340	701025	96615	10425	75300
项目	坡旱地 X_{10}	流沙地 X_{11}	半固定沙 X_{12}	不变面积 X_{13}	农业人口 X_{14}	非农业人口 X_{15}	牲畜 X_{16}	奶畜 X_{17}	目标函数值(万)
第一时段	130485	0	0	153780	34260	65265	164640	7245	110671300
第二时段	8580	0	0	153780	39210	101190	205665	18735	13756400

5 结 语

在矿区复杂系统中, 利用系统工程理论进行水土保持和生态环境建设规划, 已经取得了实际效果, 可向同类规划中

推广。今后应在系统模型和约束条件的合理化方面做更深入的研究, 同时, 利用 “3S” 技术提高基础资料的准确性, 利用计算机技术提高模型解算的自动化水平, 使这一技术方法具有更高的科学性、实用性和可操作性。