

试用灰色系统理论 对小流域综合治理经济效益的定量分析

余新晓 陈利华

(北京林业大学水土保持系)

一、前言

十一届三中全会以来,在党的富民政策鼓舞下,水土流失的治理已由过去统一治理、集体经营,逐步转向以户或联户承包治理为主;在治理措施上,由过去单一、分散治理转向按小流域为单元集中治理;在治理方式上,由过去单纯治理逐步转向经营开发性治理,使治理和开发利用结合起来,由过去边治理边破坏的情况,逐步转向防治和治管相结合。随着小流域综合治理形势的发展,就为水土保持科技工作者提出了一个亟待解决的问题,即:怎样定量的评价和分析小流域综合治理的经济效益,如何对小流域综合治理后未来的经济效益进行预测预报。

本文以月塘小流域为例,试用灰色系统控制理论来进行小流域综合治理经济效益的定量分析。

二、基本情况

月塘小流域位于江西省修水县白岭区月塘乡,流域面积8.65平方公里,其中耕地面积147公顷,水田面积143公顷,山地面积466.4公顷。流域内有403户、2,881人。该流域位于我国北亚热带,雨量大而且集中,山高坡陡,水流湍急。当地成土母质属于花岗岩类,抗蚀能力很弱,岩层风化强烈,风化壳堆积层很厚,加之这里植被稀少,沙石裸露,坡面切割破碎,水土流失十分严重。根据统计,全流域有水土流失面积430.4公顷,占山地总面积的92%。长期以来,月塘小流域的落后面貌始终未能得到明显好转,耕地地力很弱,农业产量低而不稳,农业生态环境十分恶劣。

1980年以后,在区乡党组织的领导下,在科技人员的帮助下,月塘人民从当地实际情况出发,从增加植被覆盖入手,将农林牧副业结合起来,实行山水田林路综合治理。根据月塘小流域的综合治理规划,对小流域坚持集中治理、连续治理、综合治理。几年来,先后栽植马尾松、油茶、杉木、刺槐、苦楝和林果类苗木1,170余万株,种植胡枝子、木兰等灌木种籽2.8吨,栽冬茅100吨。在进行造林种草等生物措施治理的同时,重视工程措施的作用,近几年完成开挖水平沟74公顷多,修建谷坊110处,修筑拦砂坝1座。据调查计算,这些工程措施可拦蓄泥沙11.26万立方米。近年还新建17千瓦电灌站1处,维修和扩建支渠3条,新修河堤2处,长800多米,改河造地3公顷。在几年治理中,先后新建茶园33公顷,葡萄园1.3公顷,桑园3公顷,苗圃1.3公顷,新增加煤炭供应站1个。一些乡镇企业,从无到有,相继发展了起来。

经过几年的综合治理，月塘小流域的自然景观发生了很大的变化，生态环境已开始向良性循环发展，水土流失危害也明显地减小了。据调查统计，全流域已基本控制水土流失的土地面积已达100公顷，占农田总面积的71%，其中能做到旱涝保收的农田有56公顷，占农田总面积的40%。在表1中列出了月塘小流域综合治理以来的主要经济指标。从表中可以看出，月塘小流域综合治理的效益十分显著。

三、经济效益的分析

通过对众多小流域综合治理经济效益指标的对比、评价和分析，我们选择了流域内年总收入作为控制指标进行分析。月塘小流域年总收入的情况见表2。

对小流域综合治理经济效益的分析，实质上就是对一个农业经济系统的分析。往往由于经济系统结构不易明确，系统状态不易判断，作用原理难以阐述清楚，在进行定量化、模型化、实体化研究时，能作为依据的信息和数据很少。这也就是说，农业经济系统属于一个抽象系统。近年来发展起来的灰色系统控制理论，是解决抽象系统问题的一个有力工具。本文试用灰色系统理论中的灰色模型（Grey Model），较为系统地分析小流域综合治理的经济效益，使其做到定量化、模型化。

将表2中给出的月塘小流域年总收入的时间序列，按照灰色系统理论的构造模块，使用微分拟合，建立预测的数学模型。这种方法的优点，一是可以减少时间序列的随机性，二是可以提高精度。

由年收入的统计资料，得原始数据数列 $\{x^{(0)}(i)\}$

$$x^{(0)}(i) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4)\} = \{28.30, 32.20, 47.99, 64.53\}$$

对数列 $\{x^{(0)}(i)\}$ 作一次AGO (Accumulated Generating Operation)，将 i 换成 k ，作为累加生成数列序号，得 $\{x^{(1)}(k)\}$ 。

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad i=1, 2, 3, 4;$$

$$x^{(1)}(1) = \sum_{i=1}^1 x^{(0)}(i) = x^{(0)}(1) = 28.30;$$

$$x^{(1)}(2) = \sum_{i=1}^2 x^{(0)}(i) = x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2) = 60.50;$$

$$x^{(1)}(3) = \sum_{i=1}^3 x^{(0)}(i) = x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2) + x^{(0)}(3) = 108.49;$$

表1 月塘小流域综合治理效益统计表

年度	粮食总产量 (吨)	牲畜存栏数 (头)	茶叶 (担)	植被覆盖率 (%)
1980	839.1	777	120	8
1981	942.8	877	150	15
1982	1,055.6	1,200	180	20
1983	1,136.8	1,270	220	30

表2 月塘小流域年总收入统计表

年度	1980	1981	1982	1983
序号	1	2	3	4
总收入(万元)	28.30	32.20	47.99	64.53

$$\begin{aligned} x^{(1)}(4) &= \sum_{i=1}^4 x^{(0)}(i) = x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2) + x^{(0)}(3) + x^{(0)}(4) \\ &= 173.02 \end{aligned}$$

即:

$$\begin{aligned} x^{(1)}(k) &= \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), x^{(1)}(4)\} \\ &= \{28.30, 60.50, 108.49, 173.02\} \end{aligned}$$

构造矩阵B:

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} [x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2} [x^{(1)}(1) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ -\frac{1}{2} [x^{(1)}(3) + x^{(1)}(4)] & 1 \end{pmatrix}$$

于是有

$$B = \begin{pmatrix} -44.4 & 1 \\ -84.495 & 1 \\ -140.755 & 1 \end{pmatrix}$$

构造向量 Y_N :

$$Y_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4)]^T$$

于是有

$$Y_N = [32.20 \quad 47.99 \quad 64.53]^T$$

采用GM(1, 1)模型, 形式如下:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (1)$$

其时间响应函数为

$$\hat{x}^{(1)}(t) = (x^{(1)}(0) - \frac{u}{a}) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (2)$$

根据最小二乘法辨识参数向量为

$$\hat{a} = [a, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (3)$$

经计算得

$$(B^T B)^{-1} = \begin{pmatrix} 2.1342 \times 10^{-4} & 0.0192 \\ 0.0192 & 2.0575 \end{pmatrix}$$

代入(3)式得

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.3304 \\ 18.0651 \end{pmatrix}$$

故: $a = -0.3304$

$$u = 18.0651$$

$$\frac{u}{a} = \frac{18.0651}{-0.3304} = -54.676$$

令 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1) = 28.30$

则(2)式为

$$\hat{x}^{(1)}(t) = (28.30 + 54.676) e^{0.3304t} - 55.674$$

$$\text{或 } \hat{x}^{(1)}(k+1) = 82.976e^{0.3304k} - 55.674 \quad (4)$$

此式即为预测模型。

由式(4)得 $\hat{x}^{(1)}(i)$, 如下

	模型计算值	实际累加值
k = 1	$\hat{x}^{(1)}(2) = 60.78$	$x^{(1)}(2) = 60.50$
k = 2	$\hat{x}^{(1)}(3) = 105.99$	$x^{(1)}(3) = 108.49$
k = 3	$\hat{x}^{(1)}(4) = 169.90$	$x^{(1)}(4) = 173.02$

还原数列检验

根据

$$x^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1)$$

得

模型计算法	实际值	误差 (%)
$\hat{x}^{(0)}(2) = 32.48$	$x^{(0)}(2) = 32.20$	$\epsilon_2 = 0.87$
$\hat{x}^{(0)}(3) = 45.21$	$x^{(0)}(3) = 47.99$	$\epsilon_3 = -5.79$
$\hat{x}^{(0)}(4) = 63.91$	$x^{(0)}(4) = 65.53$	$\epsilon_4 = -2.47$

后验差检验

观测数列均值 \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = 43.255$$

观测数列方差

$$S_1^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = 205.228$$

小误差频率

$$P = P\{|\epsilon_i - \bar{\epsilon}| < 0.6745S_1\} = P\{|\epsilon_i - \bar{\epsilon}| < 9.6622\} = P\{|\epsilon_i - \bar{\epsilon}|\} = 1$$

根据后验差检验, $C = 0.1898 \ll 0.35$, $P = 1 > 0.95$, 可见预测精度的等级属于“好(good)”, 预测模型是可信的, 预测值是实用的。

通过以上分析计算, 证明利用灰色系统控制理论所建立的模型具有很高的精度(最大误差不超过 -5.79%), 利用这个模型进行月塘小流域综合治理经济效益的定量分析和预测预报, 是切实可行的。

小流域综合治理是一项长期艰苦的工作, 不是一朝一夕能够完成的, 治理后显著的生态效益的发挥也是一个长期的过程, 所以不仅要进现有治理效益进行分析研究, 而且也要对较长时期的综合治理经济效益进行预测预报。考虑到月塘小流域的实际情况, 按照预测模型〔式(4)〕1984—1990年这一时间序列进行了预测, 结果见表3。

预测误差均值 $\bar{\epsilon}$

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon_i = -2.463$$

预测误差方差

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\epsilon_i - \bar{\epsilon})^2 = 7.393$$

后验差比值

$$C = \frac{S_2}{S_1} = \frac{\sqrt{7.393}}{\sqrt{205.228}} = 0.1898$$

表3

月塘小流域1984—1990年年总收入预测值表

年 份	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
序 号	1	2	3	4	5	6	7
k	4	5	6	7	8	9	10
总收入 (万元)	86.536	256.034	291.708	491.896	619.915	948.604	1,255.435

四、结果与讨论

1、利用灰色系统理论的GM (1, 1) 模型, 分析了小流域综合治理的经济效益, 进行了流域年总收入的拟合, 结果是令人满意的;

2、利用预测数学模型对1984—1990年的流域年总收入情况进行了预测;

3、本文只是我们将灰色系统理论初步运用到水土保持经济分析中, 另外实验流域1980—1983年这一时期内, 无特殊的天气变化和其它大的自然灾害, 资料规律性较强, 对于资料变幅较大或其它一些比较复杂的情况, 还有待于进一步研究探讨。

(上接第83页)

3、对采矿边坡做好各种处理措施, 防止垮落现象。办法是把陡坡剥成台阶地后用灌木进行绿化。在造林季节突击绿化, 种树种草, 美化厂旁、宅旁、路旁, 既净化了环境, 又减少了采矿区的水土流失。

(三) **大型工矿基本建设单位应设水土保持专业机构和人员。** 鉴于以往基本建设单位多以开发为主, 以经济收入为主, 而忽视水土保持工作的现象, 因此, 应借鉴国外经验, 在大型基本建设部门设水土保持机构和人员, 受基建和水土保持部门的双重领导。其任务: 一是根据有关法规做出可行性的水土保持治理和更新规划, 并负责具体实施; 二是监督基建部门严格按照水土保持规范进行治理, 起到执法中的制约作用。有些发达的资本主义国家, 私人开采经营的煤矿, 内部都设有这方面的业务技术人员, 矿区的更新治理做得很好, 不管采矿面积多大, 到最后矿采完了, 矿渣土石回填了, 以土盖面随即种上了树和草。

(四) **水土保持科研工作要走在生产建设的前面。** 科研的目的是为生产建设服务, 其成果应向应用领域开拓。在这方面, 作为水土保持部门来说, 当前确实是个极薄弱的环节。我们不能老是光喊工矿基建部门造成了水土流失, 多方限制, 只堵不疏不行, 而应紧紧围绕基本建设中的问题, 放开视野, 研究探讨对基本建设部门有用的成果, 使之在指导工矿建设设计和生产中发挥作用。如废渣弃土的堆放方式和综合利用途径, 尾矿坝、顺河坝的设计标准规范, 矿区更新治理的方法, 矿区污水的处理、利用以及开采区造林种草绿化, 还有一些预测、预报、监测的先进测试手段和方法等新技术的应用, 象利用人造卫星技术对矿区土地破坏的监测, 等等。所有这些, 都是向水土保持部门提出的重大科研课题。这些课题的不断深化和提高, 将会使工矿、交通基本建设中的水土流失问题逐步得到解决。