

农机化发展的灰色系统预测模型研究

任文辉

邹仿涛

(西北农业大学农业工程系)

(湖北省农机化研究所)

摘 要 采用灰色系统预测模型对农机化发展问题进行了探讨,通过分析认为,灰色系统预测模型具有某些独到的优点。将定性分析及灰色关联分析的结果作为选择进入模型的数据数及修正模型的依据。采用了“线性化处理”及“分段建模”的方法,初步解决了在建立模型时所遇到的GM(1, N)模型的系数不符合定性分析及许多自主因子的较长时期发展过程不能用同一个GM(1, 1)模型描述的问题。

主题词 农机化/灰色系统, 预测模型

对农机化发展进行定量研究,是农机化发展研究中的一个重要内容。研究方法主要是系统分析的量化方法和定量预测模型。目前预测模型多采用回归预测模型、平滑预测模型等常规模型。由于农机化发展的历史较短以及影响农机化发展因素的复杂性、多变性等原因,使得应用常规的预测模型来定量研究农机化发展问题受到限制^[1]。因此有必要探索新的模型。本文采用了灰色系统理论所提出的GM(1, 1)模型(及其修正模型)^[2,3],对农机化发展问题进行了初步的研究。

本文的目的就在于进行这种新的预测模型的探索。

1 农机化发展的GM(1, 1)预测模型

GM(1, 1)预测模型的微分方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad \text{系数} a, b \text{辨识见文} [2, 4].$$

微分方程的解

$$x^{(1)}(t) = (x^{(1)}(0) - b/a)e^{-at} + b/a$$

(1)若根据定性分析及影响因素的灰色关联分析,GM(1, 1)模型所反映的农机化发展过程大致可以延续到未来(在一定时间),则直接采用下列方程进行预测。

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = (X^{(1)}(0) - b/a)e^{-ak} + b/a \quad (1)$$

(2)若根据定性分析及影响因素的灰色关联分析,GM(1, 1)模型所反映的农机化发展速度过快(相对于正常发展而言),不能直接向未来延续,则将方程(1)展开成下式:

$$\begin{aligned} \hat{X}^{(1)}(k+1) = & (X^{(1)}(0) - b/a) [1 + (-ak) + \\ & \frac{(-ak)^2}{2!} + \dots + \frac{(-ak)^n}{n!} + \dots] + b/a \end{aligned} \quad (2)$$

文稿收到日期:1989-02-22.

然后, 基于对未来发展的大致估计, 舍去(2)式中增长过快的含 k 高次项, 即得实际用于预测的方程。

(3) 若根据定性分析及影响因素的灰色关联分析, GM(1, 1)模型所反映的农机化发展速度偏低(相当于正常发展而言), 不能直接向未来延续时, 可采用激励模型加以修正, 其方程为:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = (X^{(1)}(0) - \frac{b+\delta}{a}e^{-ax}) + \frac{b+\delta}{a} \quad (3)$$

其中 δ 是由 k 时刻的外控制量(激励)等参数决定的。

本文采用GM(1, 1)模型, 根据上述原则, 对反映农机装备水平、作业程度及效果等三大类指标进行了预测, 经实际检验, 预测效果较好。

2 农机化发展的GM(1, 1)模型与其它模型比较

2.1 比较的预测模型

(1) 对时间的回归模型

$$\textcircled{1} Y = a + bt \quad (\text{直线型})$$

$$\textcircled{2} Y = at^b \quad (\text{幂函数型})$$

$$\textcircled{3} Y = ae^{bt} \quad (\text{指数曲线型—1})$$

$$\textcircled{4} Y = acb \cdot t \quad (\text{指数曲线型—2})$$

$$\textcircled{5} 1/Y = a + b/t \quad (\text{双曲线型})$$

$$\textcircled{6} Y = a + b \ln t \quad (\text{对数曲线型})$$

$$\textcircled{7} Y = 1/(a + be^{-t}) \quad (\text{S曲线型})$$

$$\textcircled{8} Y = a + b_1 t + b_2 t^2 \quad (\text{二次曲线型})$$

$$\textcircled{9} Y = a + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 \quad (\text{三次曲线型})$$

$$\textcircled{10} Y = a + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 \quad (\text{四次曲线型})$$

(2) 平滑预测模型

① 二次移动平均: 预测模型

$$Y_{t+T} = a_t + b_t T$$

② 二次指数平滑: 预测模型

$$Y_{t+T} = a_t + b_t T$$

③ 三次指数平滑: 预测模型

$$Y_{t+T} = a_t + b_t T + c_t T^2$$

(3) “Verhulst”模型

微分方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} = b(x^{(1)})^2 - ax^{(1)}$$

其解为:

$$x^{(1)}(t) = \frac{ax^{(1)}(t_0)}{bx^{(1)}(t_0) + (a - bx^{(1)}(t_0))e^{a(t-t_0)}}$$

(4) GM(2, 1) 模型

微分方程为:

$$\frac{d^2 x^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dx^{(1)}}{dt} + a_2 x^{(1)} = b$$

其解有三种形式:

$$\textcircled{1} \hat{X}^{(1)}(k+1) = c_2 e^{r_2 k} + c_1 e^{r_1 k} + c^*$$

$$\textcircled{2} \hat{X}^{(1)}(k+1) = e^{r_1 k} (c_1 + c_2 k) + c^*$$

$$\textcircled{3} \hat{X}^{(1)}(k+1) = e^{-\alpha k} (A_1 \cos \beta k + A_2 \sin \beta k) + c^*$$

2.2 比较结果

通过用上述不同预测模型对农机装备水平(农机总动力、拖拉机排灌动力、农付产品加工动力和其它动力)的计算分析,从模型所需数据个数、模拟精度、近期预测精度、长期预测值可信程度等5个方面,将农机化发展的GM(1, 1)模型与上述四大类型(见表1~3)进行了比较,得出如下结论。

(1) GM(1, 1)模型在模型所需数据个数、模拟精度、近期预测精度等三方面优于对时间的回归模型和平滑模型,在长期预测值的可信程度方面二者相当,但对定性分析的依赖程度比对时间的回归模型和平滑模型大。

(2) GM(1, 1)模型在模型对比的五个方面指标都明显优于“Verhulst”模型。

(3) GM(1, 1)模型在模型对比的五个方面指标不同程度地优于GM(2, 1)模型。

表1 农机动力的GM(1, 1)模型

模 型	方 程	检 验 结 果	1986年 预测精度 (%)	模拟精度 (%)
农机总动力	$\frac{dx^{(1)}}{dt} - 0.03530x^{(1)} = 104.263$	$c = 0.3497$ (GOOD) $p = 1$ (GOOD) $s = 0.7751 > 0.6$	96.16	97.13
拖拉机 排灌动力	$\frac{dx^{(1)}}{dt} - 0.0182x^{(1)} = 80.335$	$c = 0.3101$ (GOOD) $p = 1$ (GOOD) $s = 0.7833 > 0.6$	96.44	96.41
其它动力	$\frac{dx^{(1)}}{dt} - 0.0667x^{(1)} = 25.223$	$c = 0.1428$ (GOOD) $p = 1$ (GOOD) $s = 0.7485 > 0.6$	91.22	97.95
农副产品 加工动力	$\frac{dx^{(1)}}{dt} - 0.6100x^{(1)} = 21.142$	$c = 0.0462$ (GOOD) $p = 1$ (GOOD) $s = 0.6998 > 0.6$	87.41	99.33

注: 采用1971~1985年数据。

2.3 农机化发展的GM(1, 1)预测模型的特点

从以上比较可以看出, GM(1, 1)模型具有所需数据少、模拟精度高、近期预测精度高、长期预测精度较高的优点, 但也存在定性分析依赖性大的缺点。具体分析如下:

(1) 此模型可根据对农机化发展过程的分析, 充分利用其所需数据少的特点, 尽量采用农机化发展比较正常的近期数据进入模型, 在定性分析的指导下, 可直接采用此模型对未来进行预测。这个特点既符合我国农机统计工作的现状, 也更适应我国农机化正常发展历史短的特征。这是在农机化发展预测中采用GM(1, 1)模型优于其它模型的最重要之处。

(2) 此模型也可采用较多的数据建立, 根据对农机化发展过程的分析和对未来发展趋势的大致估计, 充分利用GM(1, 1)模型含信息量丰富的特点, 将GM(1, 1)的解展开成无穷级数的形式, 舍去其中含时间 k 的高次幂的项, 得修正预测模型, 获得

表2 农机总动力的回归预测模型

模 型	方 程	模拟精度 (%)	1986年 预测精度 (%)
直线型	$Y = 24.1362 + 6.9444t$	92.25	96.83
幂函数型	$Y = 22.8542t^{0.6199}$	94.68	97.22
指数曲线型-1	$Y = 31.8708e^{0.1025t}$	86.20	不能用于预测
指数曲线型-2	$Y = 107.9752e^{1.8075/t}$	81.69	不能用于预测
双曲线型	$1/Y = 7.2915 + 0.0379/t$	89.48	不能用于预测
对数曲线型	$Y = 7.5379 + 38.7938 \ln t$	89.48	不能用于预测
S曲线型	$Y = 1 / (0.01217 + 0.09052e^{-t})$	78.14	不能用于预测
二次曲线型	$Y = 14.2397 + 10.4374t - 0.2183t^2$	94.93	不能用于预测
三次曲线型	$Y = 16.4717 + 8.9914t + 5.1923t^2 - 9.1170t^3$	94.57	不能用于预测
四次曲线型	$Y = 12.3282 + 13.0180t + 1.0493t^2 + 0.0907t^3 - 3.1180t^4$	95.01	不能用于预测

注: 采用1971~1985年数据。

表3 农机总动力的平滑预测模型

模 型	方 程	模拟精度 (%)	1986年 预测精度 (%)	采用数据 起止年份
两次移动平均 ($N=3$)	$124.887 + 5.976T$	88.17	99.82	1966~1985
两次移动平均 ($N=4$)	$124.774 + 5.486T$	77.42	98.57	1966~1985
两次移动平均 ($N=5$)	$120.033 + 4.519T$	83.13	95.01	1966~1985
二次指数平滑 ($\alpha=0.5$)	$120.434 + 4.037T$	89.02	94.94	1971~1985
二次指数平滑 ($\alpha=0.4$)	$121.578 + 4.970T$	88.17	96.53	1971~1985
二次指数平滑 ($\alpha=0.3$)	$123.133 + 5.803T$	85.89	98.35	1971~1985
三次指数平滑 ($\alpha=0.5$)	$122.405 + 7.686T + 0.162T^2$	82.10	99.35	1970~1985
三次指数平滑 ($\alpha=0.4$)	$121.970 + 6.833T + 0.016T^2$	81.27	98.26	1970~1985
三次指数平滑 ($\alpha=0.3$)	$121.888 + 6.679T - 0.007T^2$	79.80	98.06	1970~1985

可供参考的预测结果。

(3) 此模型可随时根据新的信息(如新的统计数据)进行修正。它可同回归分析那样遇上新的信息后,重新辨认参数,建立模型。此时它优于回归分析之处是边引入新信息,边去掉“陈旧”信息,充分利用最新信息的作用。它可以象平滑预测模型那样,遇上新的信息后,只需将预测模型进行稍加修正即可用于预测,如“激励模型”。采用激励模型后,得到一个新的数据点,就不需重新估计参数。

(4) 此模型明显优于一般的对时间 t 的指数曲线模型 $Y = Ae^{bt}$,由于指数曲线模型是直接采用原始数据建模,而GM(1, 1)模型是采用累加数据建模,因此GM(1, 1)模型的实际指数增长特征远远低于 $Y = Ae^{bt}$ 的指数增长特征,它更适合于描述农机化发展的一般过程。

(5) 此模型和平滑预测模型一样,能直接处理序列相关的数据,而回归方程却不能。

(6) 此模型模拟及预测精度高,可靠性较强。

(7) 此模型对定性分析的依赖性大,这也是我们首次把定性分析的结果及灰色关联分析的结果作为建模依据的重要原因,在一定程度上解决了GM(1, 1)模型没有确定建模数列资料的多少、选取不同样本的标准的问题。

(8) 此模型检验方法和平滑预测模型一样,没有象回归分析那样全面的检验方法从上面分析可以看出,农机化发展的GM(1, 1)预测模型具有较强的预测功能,是一种具有较多优越性的农机化发展定量预测工具。

3 农机化与其关联因素协调发展的系统预测模型

系统预测是将系统中包含的若干因素一起预测,预测因素之间发展变化的关系,预测系统中主导因素的作用。本文采用GM(1, 1)和GM(1, N)相结合的方式对系统中众多变量的相互协调关系的发展变化进行预测。

3.1 系统预测的建模步骤

(1) 建立关联因子(状态向量)的GM(1, N)模型

关联因子 X_1 ,与过去基数有关,也与因子 $X_2, X_3, \dots, X_n$ 有关。其它因子的影响则视为灰色的,因此建立GM(1, N)模型,其微分方程为:

$$\frac{dX_1^{(1)}}{dt} + a_1 X_1^{(1)} = b_1 X_2^{(1)} + b_2 X_3^{(1)} + \dots + b_{n-1} X_n^{(1)}$$

(2) 建立自主因子(控制变量)的GM(1, 1)模型

自主因子的微分方程为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + a X^{(1)} = b$$

(3) 将前面求出的两种模型的微分方程组成状态方程,并用尤格-库塔法求状态方程的解,用对其解作累减即得各关联因子、自主因子协调发展的趋势值。

3.2 系统预测建模方法

3.2.1 线性化处理

关联因子GM(1, N)模型微分方程

$$\frac{dX_1^{(1)}}{dt} + a_1 X_1^{(1)} = b_1 X_2^{(1)} + b_2 X_3^{(1)} + \dots + b_{n-1} X_n^{(1)}$$

中系数 $b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ 实际上代表 $X_2, X_3, \dots, X_n$ 状态对 X_1 状态的影响, 在建立模型过程中, 常常出现某些系数的正负不符合定性分析的情况, 本文采用了如下解决方法:

第一, 当某一因素前面的系数不符合定性分析时, 经过分析确认此关联因素不是关联因素 X_1 的主要因素时, 就舍去此因素, 重新建立GM(1, N)模型, 直到所有系数都符合定性分析为止。在选择进入GM(1, N)模型中的因素时, 可采用关联分析的结果, 找出与 X_1 关联度较大的一些因素进行计算。

第二, 当某些因素前面的系数不符合定性分析, 而此因素又是影响 X_1 的重要因素时, 就从原始数据中分析各因素与 X_1 的关系, 如果某一因素与 X_1 呈明显的非线性关系, 就将此因素进行线性化处理。例如农机总动力(X_1)与粮食产量(X_2)、林牧副渔产值(X_3)、第二产业产值(X_4)、第三产业产值(X_5)建立的GM(1, 5)模型为

$$\begin{aligned} \frac{dX^{(1)}}{dt} + 1.0405X_1^{(1)} &= 3.2773X_2^{(1)} - 1.9835X_3^{(1)} + 0.029X_4^{(1)} \\ &\quad - 20.3770X_5^{(1)} \end{aligned}$$

显然, X_3, X_5 前的系数不符合定性分析, 将 X_3, X_5 换成 $\ln X_3, \ln X_5$ 后, 其模型为

$$\begin{aligned} \frac{dX^{(1)}}{dt} + 0.9634X_1^{(1)} &= 2.8262X_2^{(1)} + 1.9826(\ln X_3)^{(1)} + 0.0543X_4^{(1)} \\ &\quad + 14.2771(\ln X_5)^{(1)} \end{aligned}$$

经过线性化处理后, 解决了模型中符号正负不符合定性分析的问题, 同时还具有如下优点: 可以提高模型的精度; 可以在模型中有意识地反映一些不可量化的控制思想或者反映未能引入模型的控制变量的作用。

3.2.2 分段建模方法

系统预测中, 自主因子是采用GM(1, 1)模型描述的, 但是许多自主因子的增长过程是很难用一个GM(1, 1)模型描述的, 使得系统预测在用于农机化发展较长时期的预测受到了限制。我们采用如下的解决办法:

(1) 首先采用GM(1, 1)模型的修正模型或其它方法预测出自主因子在各个年份的预测值, 然后用GM(1, 1)模型对其进行模拟。此方法能解决问题, 但较复杂。

(2) 对采用GM(1, 1)模型的修正模型或其它预测方法预测出来的自主因子的趋势值, 直接以离散数据的形式输入解决状态方程的尤格-库塔法的专用程序, 可根据要求自动实现累加、累减及其它变换, 这样既解决了问题, 又使系统预测具有一般动态仿真的人-机对话的灵活性。

本文按照上面的建模步骤和方法, 选用了30个自主序列和关联序列, 建立了农机化与其关联因素协调发展的关联模型, 并用此模型进行了预测和控制分析, 取得了满意的

结果。

3.4 系统预测模型的特点

(1) 能准确地反映农机化与其主要关联因素协调发展的动态关系。在此功能方面, 该模型优于单方程多元回归模型, 和联立方程模型近似。

(2) 在农机化装备水平的预测上既优于单方程多元回归模型, 也优于联立方程模型。因为农机化装备水平和农机动力保有量显然与过去一年、几年、十几年甚至二十几年的基数都有密切关系, 且过去基数越大, 其增长速度越慢。从理论上讲, $GM(1, 1)$ 模型可以反映这种关系, 而后两种模型却不能。

(3) 对数据的要求比单方程回归模型和联立方程模型低, 但比系统动力学模型要求严格。

(4) 模型可进行控制分析, 优于单方程回归模型和联立方程模型。

(5) 模型的建模不如单方程回归模型和联立方程模型那样方便灵活(尽管首次采用了线性化处理 and 分段建模的方法), 但建模的难度不大。

(6) 预测的效果比单方程回归模型好。

(7) 系数检验手段没有单方程回归模型和联立方程模型那样完备, 还无法对参数的大小加以检验。

(8) 短期预测功能比系统动力学模型强, 但长期预测, 特别是超长期预测的功能不及系统动力学模型。

从上述特点可以看出, 农机化发展的系统预测模型就其预测功能来说, 有不少独到之处, 是一种可用于农机化发展预测的具有一定优越性的预测方法。

4 结 论

1) 农机化发展的灰色系统预测模型是一种新的预测方法。它对农机化发展的预测在某些方面优于回归模型等其它常规预测模型。

2) 灰色系统预测模型与其它模型相比具有自己的优点(这是主要的), 也有本身的不足。根据实际问题的需要, 如果能在农机化发展研究中, 按照各种方法和模型的特点分别加以采用, 就能达到取长补短的目的。

3) 灰色系统预测模型是一种新的预测方法, 无疑有许多值得深入研究、探讨的问题。本文用灰色系统预测模型对农机化发展的一些问题进行了探讨。将定性分析及灰色关联分析结果作为选择进入模型的数据数及修正模型的依据。采用了“线性化处理”及“分段建模”的方法, 在一定程度上解决了建立模型时所遇到的 $GM(1, N)$ 模型的系数不符合定性分析, 以及许多自主因子的较长时期的发展过程不能用同一个 $GM(1, 1)$ 模型描述等问题。

参 考 文 献

- 1 邹仿涛, 任文辉, 用灰色关联分析种植业机械化增产作用的探讨. 陕西农机化, 1987 (1) : 5~8
- 2 邓聚龙. 灰色系统 (社会经济). 北京: 国防工业出版社, 1985. 18~46
- 3 邓聚龙. 灰色预测与决策. 武汉: 华中工学院出版社, 1986. 101~133
- 4 王学明, 罗建军. 灰色系统预测决策建模程序集. 北京: 科学普及出版社, 1986. 34~45

A Study on the Grey System Predicting Models in Agricultural Mechanization Development

Ren Wenhui

(Department of Agricultural Engineering)

Zhou Fangtao

(Research Institute of Agricultural Mechanization of Hubei Province)

Abstract In this paper, the grey system predicting models were used in the preliminary analysis and study of some developing problems in agricultural mechanization. Based on the comparative analysis, the models are considered to have some characteristic advantages. The results of qualitative analysis and grey relevant analysis were taken as one of the bases to select the data to be fed into the GM (1,1) models and to verify GM (1,1) models. In addition, two problems occurred in the process of establishing system predicting models were preliminarily solved by means of 'linearization handling' and 'establishing models in different periods'.

Subject words Agricultural mechanization / grey system, predicting models