

Analysis of Polynomial Trend Curve and Its Application in Chinese Pig Price Index

Ling Lan, Kai Zuo*

School of Mathematics, Chengdu Normal University, Chengdu Sichuan
Email: zuokaihelen@163.com

Received: Sep. 9th, 2019; accepted: Sep. 22nd, 2019; published: Sep. 29th, 2019

Abstract

The polynomial trend curve is a very important model to describe the trend of time series, which is widely used in agricultural and industry, environmental and energy, and other fields. In this paper, the mathematical expressions of polynomial model parameters are given by using local summation method, and the time series analysis theory is used to analyze whether the model residual errors are white noise series to establish the corresponding autoregressive moving average model. On the basis of these discussions and with the help of MATLAB 2013b software and EViews 8.0 software, taking the Chinese pig price index as an example, the steps of determining the parameters of the polynomial trend model, establishing the model, solving the model and error analysis are all shown in details.

Keywords

Polynomial Trend Curve, Local Summation Method, White Noise Test, Chinese Pig Price Index

多项式趋势曲线分析及其在白条猪价格指数中的应用

兰玲, 左凯*

成都师范学院数学学院, 四川 成都
Email: zuokaihelen@163.com

收稿日期: 2019年9月9日; 录用日期: 2019年9月22日; 发布日期: 2019年9月29日

摘要

多项式趋势曲线是描述时间序列趋势性的一类非常重要的模型, 被广泛应用在农业工业、环境能源等领域
*通讯作者。

域。本文从理论上采用局部求和方法给出了多项式模型参数的数学表达式, 并借助时间序列分析理论分析模型残差是否为白噪声序列以建立相应的自回归滑动平均模型。在这些讨论的基础上, 借助 Matlab2013b和EViews8.0软件以白条猪价格指数为应用实例, 详细地展示了多项式趋势模型参数的确定、模型的建立、模型的求解和误差分析等步骤。

关键词

多项式趋势曲线, 局部求和方法, 白噪声检验, 白条猪价格指数

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在统计学教材[1] [2]以及时间序列分析教材[3]中提到, 当研究现象的趋势随着时间的推移呈现出稳定的增长或下降的线性变化, 则可用线性趋势方程来对现象进行刻画和分析。当研究现象的趋势随着时间的推移呈现出某种非线性变化趋势, 则需要拟合适当的趋势曲线。特别地, 如果现象的趋势变化中只有一个拐点, 则可以拟合抛物线曲线; 如果现象的趋势变化中有两个拐点, 则可以拟合三阶趋势曲线; 如果现象的趋势变化中有多个拐点, 则需要拟合多项式趋势曲线。

刘田和谈进[4]从理论上利用局部多项式回归来去除任意序列的确定性趋势, 然后利用残差差分序列的方差比进行单位根检验, 通过计算结果说明了方法的有效性。沈松英等人[5]根据广东省 1995 年至 2009 年梅毒发病率的变化特点, 选用了多项式趋势曲线和指数曲线对发病率进行拟合, 并得到了未来 3 年的发病率数值。根据计算的结果, 作者给政府部门和相关防治机构提供了可量化的参考结果。段树乔和段方婕[6]提出了带有电源供给能力约束条件的回归函数筛选及其综合方法, 并建立了电网公司售电量的多项式回归预测模型及其检验方法, 并通过一个具体实例详细说明了该方法的应用。高峰和余志豪[7]利用二次多项式趋势曲线, 即抛物线曲线, 对浙西地区的农业生产用电市场进行了研究, 并基于研究结果提出了今后浙西地区农业生产用电的一些建议。左凯等人[8]提出了一种新的确定 k 阶趋势曲线参数的新方法, 并通过我国国内生产总值和金属切削机床产量两个具体的实例分析了新方法的有效性和可行性。

受上述文献以及文献[9] [10]的启发, 本文将多项式趋势曲线模型引入到白条猪价格指数中, 以误差最下为准则确定最优的多项式趋势曲线模型。本文相比于以往的研究文献, 主要工作体现在如下两个方面: 1) 在确定多项式系数方面, 我们采用了局部求和的思想方法而不是传统的最小二乘法方法。这种方法的求解思路简单、计算量小且很容易 Matlab 编程实现。2) 在模型求解的基础上, 进一步讨论了残差的性质。利用时间序列分析理论和统计软件 EViews 8.0 检验残差是否为白噪声。如果残差为白噪声且模型的精度在要求的范围内, 则建模结束。如果残差不是白噪声序列, 则需要进一步对白噪声中的有用信息进行提取以建立恰当的时间序列模型。这样可以保证模型在满足精度的要求下, 信息量是充分提出利用了的。

本文的结构具体安排如下: 第 2 节给出局部求和方法在多项式趋势曲线模型参数求解中的具体应用, 以及残差序列的白噪声检验。第 3 节以白条猪价格指数为例, 以说明多项式趋势曲线在食品领域中的具体应用。第 4 节给出了本文的结论。

2. 多项式趋势曲线

本小节将具体讨论多项式趋势曲线模型参数的局部求和方法, 并给出相应的形式表达式。进一步, 利用时间序列分析方法对残差序列进行白噪声检验, 以确定所建立的模型是充分提出了数据的信息。

2.1. 模型参数的确定

由文献[1]可知, 多项式趋势曲线模型的一般形式可表示为

$$x(k) = a_0 + a_1k + a_2k^2 + \dots + a_{p-1}k^{p-1} + a_pk^p \tag{1}$$

其中 $a_p \neq 0$ 。关于参数 a_0, a_1, \dots, a_p 的估计方法目前有最小平方方法, 三点法和折扣最小平方方法等待, 有兴趣的读者可参看相关资料。在这里, 我们将采用局部求和的思想方法给出模型参数 a_0, a_1, \dots, a_p 的矩阵表达式。

设原始数据是长度为 h 的非负序列 $X = (X(1), X(2), \dots, X(h))$, 其中用于建模的数据为 $(X(1), X(2), \dots, X(n))$, 用于检验的数据为 $(X(n+1), X(n+2), \dots, X(h))$ 。首先, 将用于建模的时间序列分成相等的 $(p+1)$ 个数组, 每个组的数据有 $m = n/(p+1)$ 项。根据趋势值 $x(k)$ 的 $(p+1)$ 个局部总和来确定参数 a_0, a_1, \dots, a_p 。具体为: 设原始观察值 $(p+1)$ 个局部总和分别为 S_1, S_2, \dots, S_{p+1} , 则有如下关系式

$$S_i = \sum_{k=(i-1)m+1}^{im} x(k), i = 1, 2, \dots, p+1. \tag{2}$$

在(2)式中分别令 i 的取值为 $1, 2, \dots, p+1$, 于是得到如下方程组

$$\begin{cases} S_1 = \sum_{k=1}^m x(k) = a_0m + a_1 \sum_{k=1}^m k + \dots + a_{p-1} \sum_{k=1}^m k^{p-1} + a_p \sum_{k=1}^m k^p, \\ S_2 = \sum_{k=m+1}^{2m} x(k) = a_0m + a_1 \sum_{k=m+1}^{2m} k + \dots + a_{p-1} \sum_{k=m+1}^{2m} k^{p-1} + a_p \sum_{k=m+1}^{2m} k^p, \\ \vdots \\ S_{p+1} = \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} x(k) = a_0m + a_1 \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k + \dots + a_{p-1} \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k^{p-1} + a_p \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k^p. \end{cases} \tag{3}$$

在方程组(3)中, $\sum_{k=(i-1)m+1}^{im} k^p$ 的表达式很难给出显示表达式。这里, 我们将表达式(3)写成矩阵的形式

为

$$\begin{pmatrix} m & \sum_{k=1}^m k & \sum_{k=1}^m k^2 & \dots & \sum_{k=1}^m k^{p-2} & \sum_{k=1}^m k^{p-1} & \sum_{k=1}^m k^p \\ m & \sum_{k=m+1}^{2m} k & \sum_{k=m+1}^{2m} k^2 & \dots & \sum_{k=m+1}^{2m} k^{p-2} & \sum_{k=m+1}^{2m} k^{p-1} & \sum_{k=m+1}^{2m} k^p \\ m & \sum_{k=2m+1}^{3m} k & \sum_{k=2m+1}^{3m} k^2 & \dots & \sum_{k=2m+1}^{3m} k^{p-2} & \sum_{k=2m+1}^{3m} k^{p-1} & \sum_{k=2m+1}^{3m} k^p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m & \sum_{k=(p-2)m+1}^{(p-1)m} k & \sum_{k=(p-2)m+1}^{(p-1)m} k^2 & \dots & \sum_{k=(p-2)m+1}^{(p-1)m} k^{p-2} & \sum_{k=(p-2)m+1}^{(p-1)m} k^{p-1} & \sum_{k=(p-2)m+1}^{(p-1)m} k^p \\ m & \sum_{k=(p-1)m+1}^{pm} k & \sum_{k=(p-1)m+1}^{pm} k^2 & \dots & \sum_{k=(p-1)m+1}^{pm} k^{p-2} & \sum_{k=(p-1)m+1}^{pm} k^{p-1} & \sum_{k=(p-1)m+1}^{pm} k^p \\ m & \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k & \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k^2 & \dots & \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k^{p-2} & \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k^{p-1} & \sum_{k=pm+1}^{(p+1)m} k^p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_{p-2} \\ a_{p-1} \\ a_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_{p-1} \\ S_p \\ S_{p+1} \end{pmatrix}. \tag{4}$$

通过求解矩阵方程组(4), 即可得到参数 a_0, a_1, \dots, a_p 的值, 然后代入多项式趋势曲线模型中即得到相应的函数表达式, 进而可以计算 $\hat{x}(k), k=1, 2, \dots, h$ 的值。

2.2. 计算精度的评估

在选择某种特定的多项式趋势曲线进行计算时, 需要评价该模型的计算效果或准确性。评价的方法就是找出计算值与实际值的差距。最优的模型就是计算的误差达到最小的模型, 下面给出常见的衡量模型精度的指标。

- 百分比误差(APE)

$$APE(k) = \frac{x(k) - \hat{x}(k)}{x(k)} \times 100\%, k=1, 2, \dots, h. \tag{5}$$

- 平均绝对百分比误差(MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{r-l+1} \sum_{k=l}^r \frac{|x(k) - \hat{x}(k)|}{x(k)} \times 100\%, \tag{6}$$

这里 $l=1, r=n$ 表示的是建模误差, $l=n+1, r=h$ 表示的是拟合误差, $l=1, r=h$ 表示的是总的误差。

- 均方根误差(RMSPE)

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{r-l+1} \sum_{k=l}^r \left(\frac{x(k) - \hat{x}(k)}{x(k)} \right)^2} \times 100\%. \tag{7}$$

2.3. 残差的白噪声检验及建模

由文献[3]可知, 白噪声序列是平稳序列, 且没有进一步提取信息的必要。因为白噪声序列前后观测值不存在相关关系, 即使有历史观察数据对预测也毫无意义。本小节的目的是继续检验残差序列是否为白噪声, 以确定是否有必要进一步研究的必要。

白噪声检验也称纯随机性检验, 即检验序列的自相关系数 ρ_k 是否满足 $\rho_k = 0, \forall k \neq 0$ 。但是这只是理论上才会出现的理想状况。在实际应用中, 由于观察序列的长度总是有限的, 导致序列的自相关系数不可能完全为零。为此, 我们通过下面的一些准则来判断序列是否为白噪声序列。

时序图判断法: 对 2.1 节的残差序列 $APE = (APE(1), APE(2), \dots, APE(h))$ 作出相应的时序图, 如果时序图的值始终在一个常数值上下随机波动, 但是波动强度随时间变化不大且没有明显的趋势性和周期性, 则可定性的判断出残差序列为平稳序列, 或白噪声序列。

自相关系数判断法: 如果残差的自相关系数随延迟期数的增加突然或者迅速衰减为在零的周围小幅波动, 也可定性的判断出残差序列为平稳序列, 或白噪声序列。

P 值法: 对于残差序列 APE, 其样本自相关系数记为 $\hat{\rho}_k, k=1, 2, \dots, r$, r 为指定的延迟期数。构造 LB 统计量

$$LB(h, r) = h(h+2) \sum_{k=1}^r \frac{\hat{\rho}_k^2}{h-k} \sim \chi^2(r), \tag{8}$$

以及原假设 H_0 和备折假设 H_1

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_r = 0, \forall r \geq 1; H_1 : 1 \leq k \leq r, \rho_k \neq 0, \forall r \geq 1. \tag{9}$$

在原假设 H_0 下, 给定检验水平为 α (本文取 $\alpha = 0.05$), 计算 $P\{LB(h, r) > \chi_\alpha^2(r)\}$ 的值, 如果 $P\{LB(h, r) > \chi_\alpha^2(r)\} > \alpha$ 则接受 H_0 , 认为 APE 序列为白噪声序列, 则建模结束; 如果 $P\{LB(h, r) > \chi_\alpha^2(r)\}$

$\leq \alpha$ 则拒绝 H_1 , 认为 APE 序列为非白噪声序列, 需要进一步对残差序列进行建模分析, 并将计算的结果反馈到多项式趋势曲线模型的计算值上, 从而得到最终的计算值。

3. 多项式趋势曲线在白条猪价格指数中的应用

在本节中, 我们将以白条猪价格指数为例来说明多项式趋势曲线的应用, 其数据来源于全国农产品商务信息公共服务平台(<http://nc.mofcom.gov.cn/zhuanti/ap88/jgzs.shtml>)的最新数据(星期六和星期日的数据系统没有统计), 具体见下面的表 1:

Table 1. White pig price index data (2019)

表 1. 白条猪价格指数数据(2019 年)

日期	数据	日期	数据	日期	数据	日期	数据
7月29日	130.1427	8月6日	136.4426	8月14日	152.2939	8月22日	165.8016
7月30日	131.9156	8月7日	138.327	8月15日	152.943	8月23日	167.3721
7月31日	135.4068	8月8日	139.9601	8月16日	155.0518	8月26日	175.1701
8月1日	135.8287	8月9日	144.0913	8月19日	161.606	8月27日	175.8024
8月2日	137.0636	8月12日	143.721	8月20日	163.5428	8月28日	181.1142
8月5日	138.0497	8月13日	147.8427	8月21日	162.9741		

对表 1 的数据, 我们分别考虑 $p=2$ ($n=21$), $p=3$ ($n=20$), $p=4$ ($n=20$) 三种类型的多项式曲线进行建模, 通过 Matlab 2013b 编程计算得到他们的数学表达式分别为

- $p=2$ 时的表达式

$$\hat{x}(k) = 132.2933 + 0.2485k + 0.0846k^2. \quad (10)$$

- $p=3$ 时的表达式

$$\hat{x}(k) = 134.3811 - 0.7934k + 0.2035k^2 - 0.0037k^3. \quad (11)$$

- $p=4$ 时的表达式

$$\hat{x}(k) = 127.4445 + 3.9015k - 0.7084k^2 + 0.0634k^3 - 0.0016k^4. \quad (12)$$

通过计算得到相应的数值结果见表 2。

从表 2 可以看出, 四阶多项式趋势曲线在建模误差方面是最好的, 无论是 MAPE 还是 RMSPE 都是最好的, 但是拟合误差的值很大, 均大于 10%。另一方面, 二阶多项式趋势曲线和三阶多项式趋势曲线从整体上来看都是很好的, 无论是建模误差还是拟合误差都在 1.5% 一下, 并且两个模型基本上精度都是一样的。不过从苛刻的角度来看, 三阶还是比二阶有一点点的优势。因此, 对于白条猪价格指数我们选择三阶趋势曲线来建模、拟合和预测。

但是, 由上面的理论分析我们会问三阶趋势曲线是否完全将历史数据的信息提取出来了呢? 针对这一问题, 我们将继续对其残差序列进行分析, 下面的分析工作是基于统计数学软件 EViews 8.0 计算出来的, 具体见图 1 和图 2。

下面的图 1 给出了残差 APE 的时序图, 从中可以定性的看出, 序列值基本上是在 0 值附近随机波动, 但是波动强度随时间变化并不大, 一直在 $[-2, 3]$ 之间波动。进一步, 序列值也没有明显的趋势性和周期性。因此, 由时序图判断法可以判断残差序列 APE 为平稳时间序列, 或白噪声序列。

Table 2. Computation results of three polynomial trend curves (2019)
表 2. 三种多项式趋势曲线的计算结果(2019 年)

		二阶	APE (%)	三阶	APE (%)	四阶	APE (%)
7 月 29 日	130.1427	132.6264	1.9084	133.7875	2.8006	130.6993	0.4276
7 月 30 日	131.9156	133.1286	0.9195	133.5785	1.2606	132.8943	0.7419
7 月 31 日	135.4068	133.7999	-1.1868	133.7317	-1.2371	134.3506	-0.7800
8 月 1 日	135.8287	134.6403	-0.8749	134.2247	-1.1809	135.3496	-0.3527
8 月 2 日	137.0636	135.6498	-1.0315	135.0351	-1.4800	136.1333	-0.6787
8 月 5 日	138.0497	136.8285	-0.8846	136.1404	-1.3831	136.9042	-0.8298
8 月 6 日	136.4426	138.1763	1.2706	137.5183	0.7884	137.8253	1.0134
8 月 7 日	138.3270	139.6932	0.9877	139.1464	0.5924	139.0201	0.5011
8 月 8 日	139.9601	141.3793	1.0140	141.0022	0.7446	140.5727	0.4377
8 月 9 日	144.0913	143.2344	-0.5947	143.0634	-0.7134	142.5276	-1.0852
8 月 12 日	143.7210	145.2587	1.0700	145.3075	1.1038	144.8898	0.8133
8 月 13 日	147.8427	147.4522	-0.2641	147.7121	-0.0884	147.6250	-0.1472
8 月 14 日	152.2939	149.8147	-1.6279	150.2548	-1.3389	150.6593	-1.0733
8 月 15 日	152.9430	152.3464	-0.3901	152.9132	-0.0195	153.8791	0.6121
8 月 16 日	155.0518	155.0472	-0.0030	155.6649	0.3954	157.1317	1.3414
8 月 19 日	161.6060	157.9171	-2.2826	158.4875	-1.9297	160.2246	-0.8548
8 月 20 日	163.5428	160.9562	-1.5816	161.3585	-1.3356	162.9261	-0.3771
8 月 21 日	162.9741	164.1644	0.7304	164.2557	0.7864	164.9646	1.2214
8 月 22 日	165.8016	167.5417	1.0495	167.1564	0.8171	166.0295	0.1375
8 月 23 日	167.3721	171.0881	2.2202	170.0385	1.5931	165.7704	-0.9570
8 月 26 日	175.1701	174.8037	-0.2092	172.8793	-1.3078	163.7973	-6.4924
8 月 27 日	175.8024	178.6884	1.6416	175.6566	-0.0829	159.6812	-9.1701
8 月 28 日	181.1142	182.7422	0.8989	178.3479	-1.5274	152.9531	-15.5488
MAPE (%)			1.0524		1.0794		0.7192
			1.2702		0.9727		10.4038
			1.0714		1.0655		1.9824
RMSPE (%)			1.2114		1.2451		0.7928
			1.3234		1.1619		11.0756
			1.2215		1.2345		4.0678

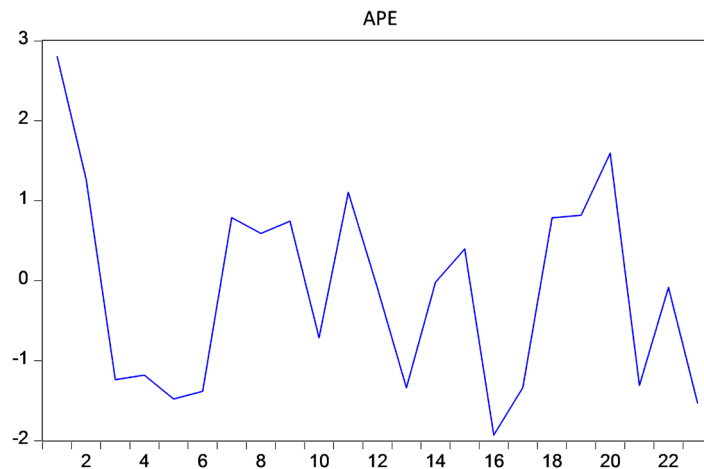


Figure 1. Sequence diagram of residual APE
图 1. 残差 APE 的时序图

Sample: 123
Included observations: 23

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.177	0.177	0.8149	0.367
		2	-0.176	-0.214	1.6678	0.434
		3	-0.289	-0.231	4.0741	0.254
		4	-0.236	-0.202	5.7628	0.218
		5	-0.216	-0.291	7.2515	0.203
		6	0.020	-0.104	7.2645	0.297
		7	0.151	-0.083	8.0852	0.325
		8	0.039	-0.221	8.1434	0.420
		9	0.000	-0.158	8.1434	0.520
		10	0.174	0.088	9.4886	0.486
		11	0.156	0.094	10.658	0.472
		12	-0.065	-0.040	10.881	0.539

Figure 2. APE correlation coefficient diagram
图 2. APE 的相关系数图

图 2 左边显示残差的自相关系数和偏自相关系数都在 2 倍标准差范围内, 且变化范围不大, 即两种的值都是非常小的。因此, 结合自相关系数判断法可以知道序列值为平稳序列或在白噪声序列。

图 2 的右边给出的是相应的 P 值, 从计算的结果可知, 所有的 P 值都是大于 0.05 的。因此, 结合 P 值判断法可明确知道 APE 序列是一个白噪声序列。即三阶趋势曲线已经将白条猪价格指数的信息提取完全, 没有进一步对其残差进行分析建模的必要。基于此, 本文的白条猪价格指数的函数表达式为

$$\hat{x}(k) = 134.3811 - 0.7934k + 0.2035k^2 - 0.0037k^3. \quad (13)$$

有了方程(13), 我们可以预测接下来的几天时间里白条猪价格指数的走势, 从而为政府和相关部门制定决策提供可量化的依据, 其预测计算结果见表 3。

Table 3. Prediction results of trend curves of third-order polynomials

表 3. 三阶多项式趋势曲线的预测结果

8 月 29 日	8 月 30 日	9 月 2 日	9 月 3 日
180.9308	183.3829	185.6817	187.8050
9 月 4 日	9 月 5 日	9 月 6 日	
189.7302	191.4350	192.8969	

4. 结束语

本文首先讨论了多项式趋势曲线的参数求解和残差序列的白噪声检验, 并通过白条猪价格指数具体展示了如何实现相应的步骤。在传统的预测模型研究中, 往往都是以误差最小选择最优的模型, 然后对实际问题进行预测, 而没有继续讨论模型残差序列的性质。本文与之前的工作相比较, 利用时间序列分析方法讨论了模型残差是否为白噪声。只有在残差序列为白噪声的基础上, 才可以进一步对所讨论的进行预测分析。在今后的研究中, 可将此思想应用在其他类似的统计预测模型中。

基金项目

成都师范学院大学生创新创业训练计划项目(201814389100)。

参考文献

- [1] 贾俊平, 何晓群, 金勇进. 统计学(第7版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2019.
- [2] 宋廷山, 王坚, 刁艳华, 郭思亮. 应用统计学——以 EXCEL 为分析工具(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018.
- [3] 周永道, 王会琦, 吕王勇. 时间序列分析及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [4] 刘田, 谈进. 基于局部多项式回归去势的非线性趋势序列的单位根检验[J]. 数量经济技术经济研究, 2012(8): 137-149.
- [5] 沈松英, 杨立刚, 杨斌. 广东省梅毒报告发病率曲线拟合及发病率趋势预测[J]. 中国艾滋病性病, 2011(3): 341-343.
- [6] 段树乔, 段方婕. 基于多项式回归函数的电网公司售电量预测方法[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(18): 76-81.
- [7] 高峰, 余志豪. 基于二次多项式趋势曲线预测模型的农业生产用电市场研究——以浙西地区进行实证分析[J]. 南京工程学院学报(社会科学版), 2015, 15(4): 25-29.
- [8] 左凯, 李虎, 张玉林, 吴文青. 一种确定 k 阶趋势曲线参数的新方法[J]. 应用数学进展, 2019(8): 1384-1391.
- [9] Wu, L.F., Liu, S.F. and Yang, Y.J. (2016) Grey Double Exponential Smoothing Model and Its Application on Pig Forecasting in China. *Applied Soft Computing*, **39**, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.054>
- [10] Zhou, W.J. and Pei, L.L. (2019) The Grey Generalized Verhulst Model and Its Application for Forecasting Chinese Pig Price Index. *Soft Computing*, 1-14.