

合肥市平均气温动态变化的非平稳时序分析

罗 好, 吴 坚*, 徐鑫晶

(安徽农业大学信息与计算机学院, 合肥 230036)

摘 要: 近 100 多年来, 全球平均气温经历了冷—暖—冷—暖 2 次波动, 总体上为上升趋势。进入 20 世纪 80 年代后, 全球气温明显上升。1981~1990 年全球平均气温比 100 年前上升了 0.48℃, 近年来气候变化也有越来越恶劣的趋势。利用时间序列分析建立非平稳时序模型, 研究自 1985~2009 年合肥市平均气温动态变化数据, 对合肥市近 25 年来的气候变化进行分析, 通过数据的分析处理, 建立拟合函数进行预测, 希望对未来合肥市气温变化提供参考。

关键词: 非平稳时序; 趋势变化项 $r(t)$; 周期变化项 $v(t)$; 随机处理项 $x(t)$

中图分类号: P468.021

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)06-1059-04

Application of non-stationary time series analysis in dynamic change of average temperature in Hefei city

LUO Yu, WU Jian, XU Xin-jing

(School of Information and Computer Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Nearly 100 years, the global mean temperature experienced two waves as cold-warm-cold-warm, in a rising trend on the whole. In the late 1980's, global temperature rose significantly. The average global temperature during the period of 1981-1990 was 0.48℃ higher than that 100 years before. In recent years, the climate has a trend of getting worse. In this paper, a time series analysis was used to set up a non-stationary time series model for studying the dynamic change of average temperature in Hefei city during the period of 1985-2009. As a result, through the analysis the climatic change of the past 25 years in Hefei city, a fitting function was established to forecast the climate of Hefei city in the future

Key words: non-stationary time series analysis; trend change item $r(t)$; periodic change $v(t)$; random processing item $x(t)$

近 100 多年来, 全球平均气温经历了: 冷→暖→冷→暖 2 次波动, 总体看来气温呈上升趋势。尤其进入 20 世纪 80 年代后, 全球气温上升明显。人类活动的影响是导致这一现象主要原因。某一区域的气温变化既受到全球气候变暖的影响, 又具有强烈的地域性特点。因此, 研究区域性的气温变化, 对于加深对本区域气候变化的理解、分析气候变化的成因、以及对本区气候进行较为正确且具有理论基础的预测都有非常重要的意义。

本研究选用了 1985~2009 年合肥市月平均气温数据, 经初步研究发现, 月平均气温具有季节性

变化规律的同时, 也具有一定的随机性。在温室效应、全球变暖的总体趋势下, 合肥市平均气温的变化具有了周期性上升的趋势。又由于历年气候变化不同, 年与年之间并不重合, 因此作者采用非平稳时间序列分析方法对合肥市平均气温动态变化的数据进行分析处理、曲线拟合预测, 希望对未来合肥市气温变化提供参考。

所建立的数学模型为:

$$W(t)=r(t)+v(t)+x(t), t=1,2,3,\dots,n$$

其中, $w(t)$ 为合肥市平均气温(℃); $r(t)$ 为趋势性变化项(全球变暖引起)(℃); $v(t)$ 为周期性变化

收稿日期: 2012-04-20

作者简介: 罗 好, 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 吴 坚, 男, 教授。E-mail: wujian@ahau.edu.cn

项 (°C); $x(t)$ 为随机性干扰项 (°C)。

1 材料与方 法

本研究收集整理了中国气象年鉴 1985 年至 2009 年主要城市各月平均气温中合肥市历年的平均气温数据,整理成表 1。依据表 1,绘制出合肥市平均气温动态变化曲线(图 1)。

2 趋势变化分析

在显著水平 $\alpha=0.05$ 的情况下,得出的趋势项模型为: $r(t)=0.0061t+15.395$ 。

提取的趋势项曲线如图 2 所示。

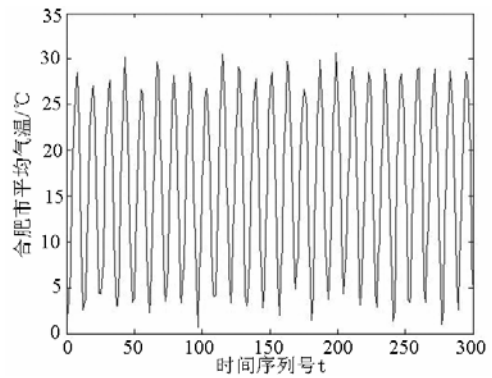


图 1 合肥市平均气温动态变化曲线
Figure 1 Dynamic change curve of the average temperature in Hefei city

表 1 合肥市 1985~2009 年平均气温动态变化数据
Table 1 Dynamic change of average temperature from 1985 to 2009 in Hefei city

年份 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均 Average
1985	2.2	4.2	6.8	16.5	21.5	24.0	27.8	28.5	22.7	16.7	10.2	2.6	15.3
1986	3.1	3.7	9.6	15.7	22.2	25.0	26.6	27.1	22.7	16.2	9.8	4.5	15.5
1987	4.4	5.5	7.9	15.3	21.3	23.1	26.6	27.7	23.2	18.3	10.5	4.9	15.7
1988	3.0	3.0	7.1	16.5	21.1	25.4	30.2	26.7	22.0	17.1	11.1	5.9	15.8
1989	3.4	3.9	9.6	15.8	20.1	24.4	26.7	26.2	22.3	17.7	9.7	6.2	15.5
1990	2.3	3.8	11.1	15.3	21.0	26.5	29.6	28.6	22.4	17.9	12.6	5.0	16.4
1991	3.5	5.6	7.6	14.4	20.1	24.7	28.2	26.7	22.9	17.2	10.9	4.6	15.5
1992	3.3	6.7	7.3	17.0	22.1	24.6	28.5	27.1	22.2	15.6	10.3	6.1	15.9
1993	0.7	6.5	9.7	16.4	19.8	25.6	26.8	25.6	23.2	17.4	9.7	4.3	15.5
1994	4.0	4.2	9.4	17.1	23.9	25.3	30.5	29.0	23.5	16.9	13.0	6.7	17.0
1995	3.3	5.8	10.9	15.2	21.8	24.6	29.1	28.6	24.1	17.9	10.6	4.4	16.4
1996	3.0	3.8	8.1	15.2	21.3	24.9	27.3	27.9	23.9	17.7	9.9	6.4	15.8
1997	2.8	5.4	11.2	16.4	24.0	26.5	28.0	28.5	22.5	19.0	10.6	5.9	16.7
1998	2.0	6.8	9.5	18.5	20.9	25.1	29.7	28.5	24.5	19.1	14.2	6.2	17.1
1999	4.9	7.4	8.4	16.4	22.2	24.1	26.7	26.2	24.8	17.3	10.7	6.1	16.3
2000	1.5	4.4	12	17.9	23.4	26.2	29.9	27.8	23.6	17.4	9.4	7.2	16.7
2001	3.7	5.8	11.7	16.1	23.8	25.4	30.6	26.7	24.1	18.3	11.2	4.4	16.8
2002	6.0	8.7	13.0	17.0	19.9	27.4	29.1	27.4	24.1	18.9	11.7	4.8	17.3
2003	3.1	6.1	10.3	15.8	21.8	26.5	28.5	27.6	24.5	16.7	10.9	4.5	16.4
2004	2.9	8.5	10.1	17.5	21.0	24.6	28.9	27.3	23.1	17.3	12.2	5.8	16.6
2005	1.4	2.6	9.2	18.8	21.7	27.5	28.4	26.1	24.3	17.3	13.3	3.6	16.2
2006	3.4	4.5	11.7	17.2	21.7	26.7	28.8	29.0	22.2	20.4	12.8	5.0	17.0
2007	3.4	9.1	11.8	16.8	24.1	25.3	28.1	28.9	24.0	18.5	11.3	6.5	17.3
2008	1.0	2.7	12.5	16.8	23.5	24.2	28.7	27.3	24.5	18.9	11.3	5.9	16.4
2009	2.6	7.7	10.5	17.6	21.9	27.1	28.6	27.5	24.0	20.3	7.8	4.6	16.7

3 周期性变化分析

提取周期性变化项 $r(t)$ 常用的方法有方差分析、相关分析、谐波分析(主要用于提取基本周期长度为已知的振动项)和周期图分析方法(用于周期长度未知的隐含周期分析)^[1-9]。

由于平均气温动态变化呈现较明显的年或月周期性,故主要采用谐波分析法。而傅里叶级数可拟合具有周期性的物理现象,又可以把合肥市平均气温中的周期性变化项与随机项分离,故平均气温周期性变化项采用傅里叶级数频谱分析确定。

优化识别法的思路是将非线性函数在初值附近

作泰勒展开, 通过迭代来改善初值, 达到识别参数的优化。我们可以将频响函数作泰勒展开, 或是将误差函数作泰勒展开, 或是将目标函数作泰勒展开。

经计算, 序列 $v(t)$ 的总方差 $S_y^2=78.4809$ 计算各谐波的方差贡献, 在 $\alpha=0.05$ 显著水平下, $F=3.84$ 对各个谐波方差检验, F_0 大多在 1.0 左右, 各谐波方差贡献在 0.007 左右, 数值较稳定, 均未达到显著水平。

参考周期项分析结果, 选用函数式:

$$v(t)=a_0+a_1\cos(\omega_1t)+b_1\sin(\omega_1t)+a_2\cos(\omega_2t)+b_2\sin(\omega_2t)+\dots+a_6\cos(\omega_6t)+b_6\sin(\omega_6t)$$

来对周期项数据进行优化识别法的曲线拟合。

麦夸特法优化识别迭代 0 次的结果如图 3。

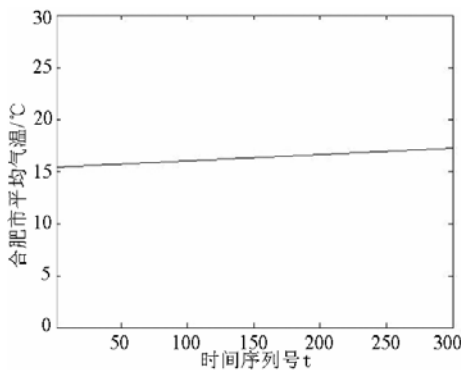


图 2 趋势项曲线

Figure 2 Curve of trend item

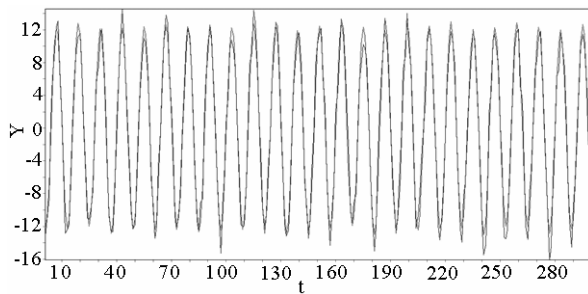


图 3 周期项曲线拟合图

Figure 3 Fitting curve of periodic item

均方差(RMSE): 1.30 残差平方和(SSE): 514.7248 相关系数(R): 0.9890 相关系数之平方(R^2): 0.9781 决定系数(DC): 0.97 卡方系数(Chi-Square): 66.4070 F 统计(F-Statistic): 13 332.9957。

从拟合结果图形可以看出, 拟合情况较为良好, 周期项序列为:

$$v(t)=-0.0040-10.1561\cos(0.5238t)-7.0814\sin(0.5238t)-0.0642\cos(0.0452t)+0.1590\sin(0.0452t)+0.2207\cos(0.1635t)+0.1081\sin(0.1634t)-0.0374\cos(0.9016t)+0.1160\sin(0.9016t)+0.0745\cos(0.9232t)+0.0413\sin$$

$$(0.9232t)-0.2438\cos(0.1303t)+0.2418\sin(0.1303t)$$

4 随机项处理

从原序列 $w(t)$ 扣除趋势项 $r(t)$ 和周期项 $v(t)$ 后, 剩余部分为随机项 $x(t)$, 即

$$x(t)=W(t)-r(t)-v(t)$$

$x(t)$ 是随机性非常强的平稳序列, 绘制出的时序图如图 4。

拟合的最终结果为:

$$x(t)=1.00159x(t-1)-x(t-2)+\varepsilon(t)-0.99295\varepsilon(t-1)+0.95975\varepsilon(t-2)$$

$$\varepsilon(t)\sim(0, 1.3110)$$

5 模型组合

将趋势性变化项 $r(t)$, 周期性变化项 $v(t)$ 以及随机性干扰项 $x(t)$ 模型叠加起来, 则得到合肥市平均气温动态变化的非平稳时序随机模型:

$$r(t)=-.0061t+15.395$$

$$v(t)=-0.0040-10.1561\cos(0.5238t)-7.0814\sin(0.5238t)-0.0642\cos(0.0452t)+0.1590\sin(0.0452t)+0.2207\cos(0.1635t)+0.1081\sin(0.1634t)-0.0374\cos(0.9016t)+0.1160\sin(0.9016t)+0.0745\cos(0.9232t)+0.0413\sin(0.9232t)-0.2438\cos(0.1303t)+0.2418\sin(0.1303t)$$

$$x(t)=1.00159x(t-1)-x(t-2)+\varepsilon(t)-0.99295\varepsilon(t-1)+0.95975\varepsilon(t-2)$$

$$\varepsilon(t)\sim(0, 1.3110)$$

$$W(t)=r(t)+v(t)+x(t), t=1,2,3,\dots,n$$

$W(t)$ 拟合结果输出时序图如图 5。

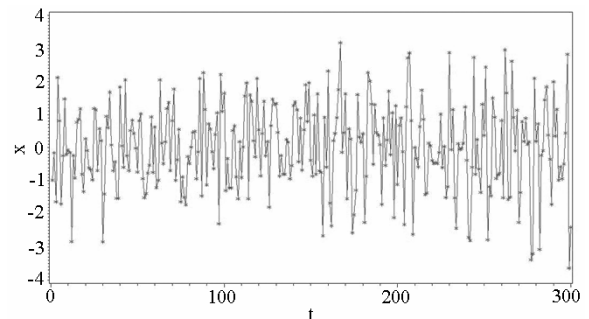


图 4 $x(t)$ 序列时序图

Figure 4 $x(t)$ sequence of time series analysis

应用该模型与合肥市 1985~2009 年的逐月平均气温进行拟合, 效果良好。由图 6 拟合比较图可见本文建立的非平稳随机模型拟合合肥市平均气温动态变化序列效果较好。计算模型相对误差为 30.6870, 经计算, 平均相对误差为 0.1023。

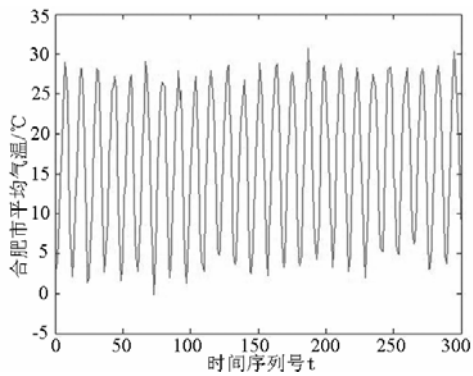


图 5 $W(t)$ 序列时序图

Figure 5 $W(t)$ sequence time-series analysis

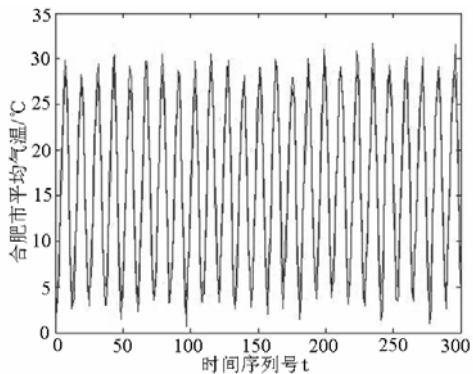


图 6 拟合比较

Figure 6 Comparison of fitting

由此可见, 该非平稳时间序列模型在合肥市气温动态变化中的拟合效果良好。不仅如此, 该模型还具有一定的推广性, 仍有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 廖铨. 生. 概率与统计[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2007.
- [3] 王燕. 应用时间序列分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2002.
- [4] 王振龙. 时间序列分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.
- [5] 杨叔子, 吴雅. 时间序列分析的工程应用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
- [6] 刘卫国. MATLAB 程序设计教程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [7] 付强, 门宝辉, 王立坤. 非平稳时序分析模型在三江平原井灌水稻区地下水动态变化中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(1): 132-138.
- [8] Fu Q, Zu W. Applying non-stable time series model to forecast the groundwater dynamic variation in the well-irrigated rice area in Sanjiang Plain[J]. Journal of American Science, 2004, 1(1): 34-40.
- [9] Fu Q, Fu H. Applying the season time series model to forecast the rainfall in the area of well irrigation rice in Saniiang Plain[J]. The Journal of System Science & Information, 2004, 2(2): 72-78.