

时序分析在排种轴转速检测数据处理中的应用

安爱琴, 逢明华, 聂永芳, 宁欣

(河南科技学院机电学院, 河南 新乡 453003)

摘 要: 利用 CCD 摄像机获取气吹式精密排种器排种轴视觉检测样本, 通过图像处理获得转速序列, 在分析转速序列特点的基础上, 采用时序分析方法研究排种轴转速。利用转速序列数据计算各种转速下的自协方差函数、自相关函数和偏自相关函数, 选用 AR 模型进行转速序列的分析。将实测数据代入 AR 模型求得模型参数, 应用模型进行转速序列数据拟合(以 45 r/min 为例), 获得模型拟合值、残差序列。残差序列和模型拟合优度分析结果表明, 模型预测的残差最大值为 19.920 6, 并且有 83.83% 的残差在允许值 $\pm 6.912\ 312$ r/min 范围内; 模型拟合度为 74.631 2%, 标准方差为 0.050 136, 模型系数 t 检验结果为 16.805 28, 显著性水平 0.000 通过 t 检验。

关 键 词: 气吹式精密排种器; 排种轴; 视觉检测; 转速序列; 时序分析

中图分类号: TP391.76 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)04-0435-05

The application of timing analysis in processing of test data of rotational speed of seeding shaft

AN Ai-qin, PANG Ming-hua, NIE Yong-fang, NING Xin

(Electrical and Mechanical College, Henan Institute of Science and Technology, Xinxian, Henan 453003, China)

Abstract: Visual inspection samples of seeding shaft of air blowing precision seeder were got by CCD camera, rotational speed serials were obtained by image processing, whose characteristic was analyzed based on which rotational speed of seeding shaft was investigated through timing analysis. Based on the speed serial data, the auto-covariance function, autocorrelation function and partial autocorrelation function were calculated, and the AR model was selected for analysis of speed serial. The fitted and residual serials were obtained using the actual serials and the AR model (under 45 r/min for example). Through fitting analysis of the residuals and the model, the calculated maximum of residuals is 19.920 6, and 83.83% of the residuals were within $\pm 6.912\ 312$ r/min, which is the allowed value range; the fit of the model was 74.631 2% with standard deviation of 0.050 136. The model's coefficients were 16.805 28 at the significance level of 0.000 by t -test.

Key words: air blowing precision seeder; seeding shaft; visual inspection; speed serial; timing analysis

精密播种机排种轴的运转特性直接影响播种质量。播种质量依据排种器排种质量指标来衡量。排种轴的转动多数通过链条传递, 在链传动过程中因链条的细微变形(如拉长)、链轮和链条的相对磨损等因素, 会导致排种轴转速的波动, 因而影响排种质量。通过排种轴的转速分析, 寻找排种轴转速波动规律, 在排种质量识别过程中对排种轴转速进

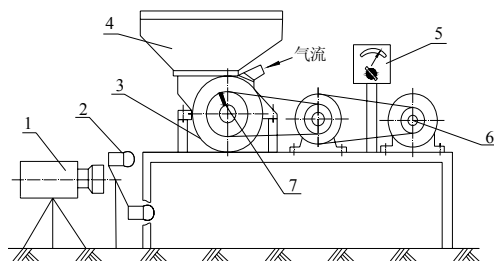
行实时修正, 可提高排种质量识别精度。

笔者采用视觉检测方法, 针对气吹式精密排种器排种过程进行图像采集, 借助图像处理和特征量提取, 获取排种轴的转速序列, 并对这些数据进行分析处理, 找出数据变化的规律与特征, 以期对排种质量检测打下基础。

1 排种轴转速检测装置及数据获取

1.1 排种轴转速检测装置

排种轴转速检测装置包括排种器播种系统和图像采集系统,其主要组成如图 1 所示。



1 CCD 摄像机; 2 照明装置; 3 排种器; 4 种子箱; 5 调速控制器; 6 调速电机; 7 转速检测标志物。

图 1 转速视觉检测装置

Fig. 1 Equipment diagram for detection of speed based on machine vision

在排种轴上黏贴 1 个白色检测标志物,借助调速控制器和调速电机调节排种轴的转速,利用 CCD 摄像机采集排种轴在某一调定转速下样本的图像,通过图像处理获取检测标志物的位置序列,应用位置序列的差分运算实现排种轴转速的检测。

1.2 排种轴转速检测数据获取

参照 GB6973—86,单粒(精播)播种机试验方法,气吹式精密排种器排种轴转速一般在 40~110 r/min^[2]。为了实现排种器在不同工况下的排种性能识别,排种轴转速试验所选转速范围覆盖国内外精密播种机使用的低速、常速和高速,分别取转速 45、65、85、105 r/min,完成排种轴在不同转速下的图像样本获取。图 2-a 为样本图像中某一帧原始图像。

采用 VC++ 编程或 MATLAB 软件图像处理工具箱,对获得的排种轴转速检测样本图像进行处理。通过对原始图像进行差分、增强、二值化、中值滤波、腐蚀膨胀和平滑等处理^[3-4],可得到清晰的转速图像样本,如图 2-b 所示。

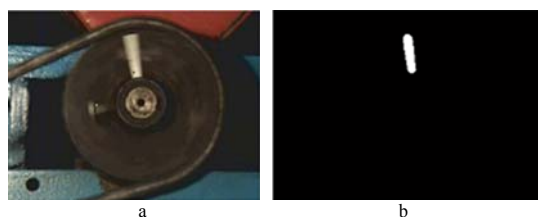


图 2 样本图像

Fig. 2 Sample image

图 2-b 中白色物体为排种轴上黏贴的转速检测标志物,利用最小二乘法拟合出检测标志物的回归直线。图 3 中, L_i, L_{i+1}, L_{i+2} 分别表示第 $i, i+1, i+2$ 帧图像中检测标志物的回归直线。若以第 i 帧图像为基准, L_{i+1} 与 L_i 的斜率进行差分,即可得到第 $i+1$ 帧图像中检测标志物转过的角度 ϕ_i 。同理利用 L_{i+2} 与 L_i 的斜率进行差分,即可得到第 $i+2$ 帧图像中检测标志物转过的角度和 ϕ_{i+1} 。利用公式(1)计算出检测标志物从第 i 帧转到第 $i+2$ 帧的过程中的转速序列 n_i (r/min)。

$$n_i = \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{T} \times \frac{60}{2\pi} \quad (1)$$

式中: T 为摄像机的拍摄频率, $T = \frac{1}{30}$ 帧/s。

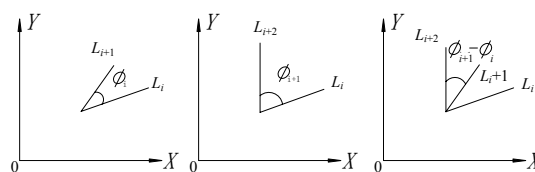


图 3 转速序列采集

Fig. 3 Acquisition schematic diagram of speed serial

利用本数据获取原理获得的转速序列如图 4 所示(以 45 r/min 为例)。

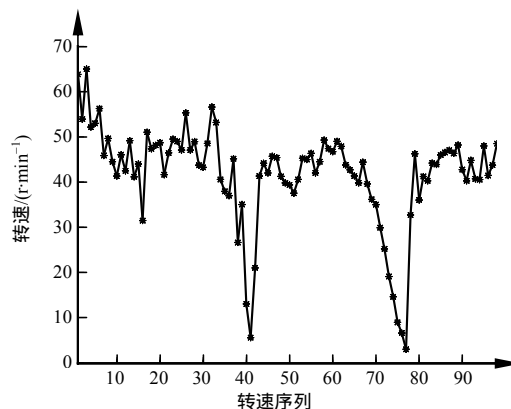


图 4 转速序列 $\{n_i\}$

Fig. 4 Speed serial $\{n_i\}$

转速序列反映了排种轴在实际工作过程中转速随时间的波动情况,绝大多数转速测试数据在真实值附近,但也有个别点处转速出现突变。

依照图 4 反映的转速序列特点,将时序分析方法引入排种轴转速检测中,并通过具体分析和计算证明其可行性和精确性^[6-7]。

2 时序分析

2.1 方法

时序分析方法是一种动态的分析方法,其目的在于通过对一组按照时间顺序排列的随机数据进行分析、处理,找出数据间的变化特征、变化趋势,用某种迭代算法去描述随机变量序列前后之间的数学关系,进而利用这一数学关系对未来某一时刻随机变量观测值进行预测^[6-8]。

通过分析排种轴转动过程,可知图4中转速序列数据具有4个特征。

第一,排种轴转速序列是一个随机波动的时间序列,且具有明显的周期性。

第二,转速序列除在某些特殊点出现周期性的突变外,基本是一个连续平稳时间序列。

第三,转速出现突变,主要是因为链条的细微变形(如拉长)、链轮和链条的相对磨损而导致的瞬时传动比的变化。

第四,转速出现突变还与排种轴图像采集效果以及图像处理算法参数设置等因素有关。

转速序列具有的这些特征符合时序分析的数据特点,因此采用时序分析方法对转速序列数据进行研究。

2.2 模型

对于任意时间序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ 为平稳随机信号的一组观测值,对应的白噪声序列为 $\{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i\}$ 。因不同的时间序列数据间表现出来的结构和关系各不相同,因此可用不同的模型来描述^[10-11]。

常用时序分析模型有AR(p)、MA(q)和ARMA(p, q)^[7]。针对图4转速序列特征,采用AR(p)模型进行转速序列分析。AR(p)模型为:

$$x_i = \varphi_{i-1}x_{i-1} + \varphi_{i-2}x_{i-2} + \dots + \varphi_{i-p}x_{i-p} + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中: $x_i, x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-p}$ 为零值化观测变量序列; $\varphi_{i-1}, \varphi_{i-2}, \dots, \varphi_{i-p}$ 为模型参数; ε_i 为白噪声; p 为模型阶数。

2.3 时序分析软件

Eviews(econometric views)软件的功能优势是时间序列分析、回归分析与预测,鉴于Eviews软件的功能和特点——操作简便、结果可视化^[7],选用Eviews 6软件进行转速序列的时序分析。

3 排种轴转速时序数据处理

3.1 转速时序数据分析

对于某一时间序列,进行时序分析前首先需要选择分析模型。通过对转速序列进行分析,选择AR(p)模型进行时序分析。所选模型是否可行,需要利用试验获取时序数据进行分析验证。通过计算时序数据的均值、方差、自协方差函数、自相关函数、偏自相关函数,从而利用偏自相关函数来证明模型的可行性^[7]。

设某一随机序列样本很长,将该样本平均分为 m 段序列 $\{x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}\}$,每一子序列长度为 n ,则有 $i=n \times m$,第 j 段子序列为 $\{x_{jk}\} = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn}\}$ 。

其中: $j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n$ 。

$$\mu_j = E(x_{jk}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{jk} \quad (2)$$

$$\sigma_j^2 = E(x_{jk} - \mu_j)^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{jk} - \mu_j)^2 \quad (3)$$

$$R_{j,h} = E\{[x_{jk} - \mu_j][x_{hk} - \mu_h]\} \quad (4)$$

$$\rho_{j,h} = \frac{R_{j,h}}{\sqrt{R_{j,j}} \sqrt{R_{h,h}}} \quad (\text{当 } i=h \text{ 时}, \rho_j=1) \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_{n1} \\ \varphi_{n2} \\ \vdots \\ \varphi_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \cdots & \rho_{n-1} \\ \rho_1 & 1 & \cdots & \rho_{n-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n-1} & \rho_{n-2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(2)~(6)分别为计算各子序列的均值、方差、自协方差函数、自相关函数和偏自相关函数的公式。

利用Eviews 6软件,完成排种轴4种转速下转速序列的创建,调用相关性分析(correlogram)操作,完成排种轴转速序列对应的自相关函数序列 $\{\rho_i\}$ 和偏自相关函数序列 $\{\varphi_i\}$ ^[8]的计算,计算结果如图5所示(截取部分)。

由图5可知,排种轴4种不同转速序列计算所得偏自相关函数(PAC)序列 $\{\varphi_i\}$ 在一步后均出现明显的截尾,即其值绝大部分均在临界水平范围内,而自相关函数(AC)序列 $\{\rho_i\}$ 出现明显的摆尾,即其值部分在临界水平范围外,这将为后续的模型选择奠定基础。

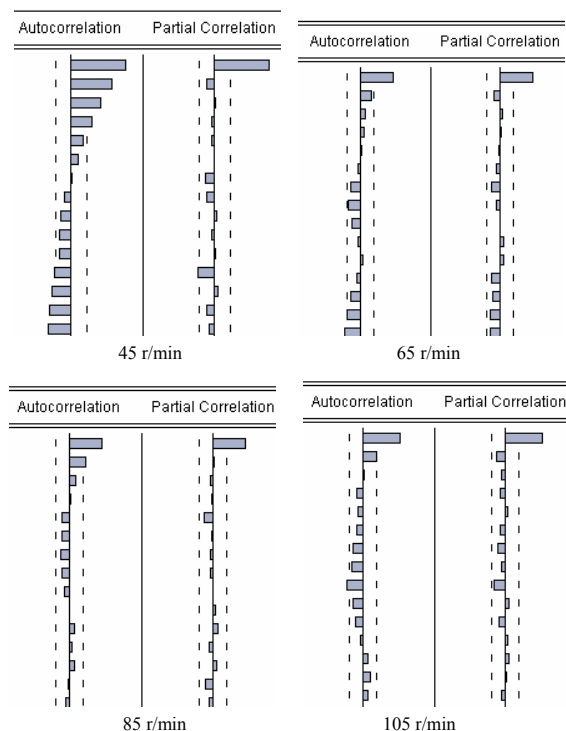


图 5 自相关函数序列和偏自相关函数序列

Fig. 5 Autocorrelation and Partial Autocorrelation

3.2 模型可行性分析

利用自相关函数序列 $\{\rho_i\}$ 和偏自相关函数序列 $\{\varphi_i\}$ 来分析模型可行性, 分析依据参照表 1。

表 1 模型选择依据

	Table 1 Model selection		
	AR(p)	MA(q)	ARMA(p, q)
$\{\rho_i\}$	拖尾	q 步截尾	拖尾
$\{\varphi_i\}$	p 步截尾	拖尾	拖尾

拖尾指自相关函数或偏自相关函数值是缓慢减少的; 截尾指自相关函数或偏自相关函数值突然收敛到临界值水平范围内, 即其值突然变得很小。

截尾即自相关函数或偏自相关函数值为 0, 但在实际应用中, 由于存在误差, 其值不会绝对为 0。通常认为当样本充分大时, $\{\rho_i\}$ 和 $\{\varphi_i\}$ 服从 $z(0, 1/N)$ 分布, 即 $\{\rho_i\}$ 值和 $\{\varphi_i\}$ 值落在 $(-\frac{2}{\sqrt{N}}, \frac{2}{\sqrt{N}})$ 范围内的概率为 95% 表示截尾, 因此, 可以用 $\frac{2}{\sqrt{N}}$ 为阈值来判断是否截尾。若取转速序列样本 $N=100$, 可知阈值 $\frac{2}{\sqrt{100}}=0.2$, 则截尾判断临界水平为 $(-0.2, 0.2)$, 即图 6 中虚线区域。由图 5 中自相关函数值序列和偏自相关函数值序列可知, 转速序列 $\{\varphi_i\}$ 为 1 步截尾、 $\{\rho_i\}$ 拖尾, 参照表 1, 确定时序分析模型为 AR(1),

这与最初转速序列特征分析相吻合, 证明应用该模型进行转速序列预测可行。

模型方程为 $x_i = \varphi_1 x_{i-1} + \varepsilon_i$ 。

将转速序列观测值(以 45 r/min 为例)代入模型方程, 解得 $\varphi_1=0.796 495$ 。

3.3 模型拟合优度分析

模型拟合优度通过实测序列和模型拟合序列的残差来进行衡量。利用 Eviews 6 软件中残差分析(residual tests), 可求得模型拟合残差序列, 并获得转速实测序列 $\{A_i\}$ 、模型拟合序列 $\{F_i\}$ 、模型残差序列 $\{R_i\}$ 之间的关系曲线(图 6)。

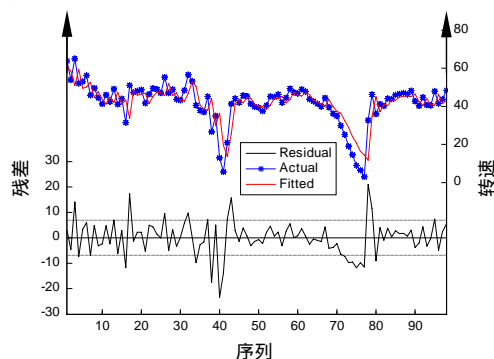


图 6 转速实际值和预测值及残差

Fig. 6 Residual, Actual and fitted values

从图 6 可以看出, 实测序列和模型预测序列十分接近, 残差序列绝大多数都在允许值范围内, 表明模型拟合良好。模型预测残差最大值为 19.920 6, 并且有 83.83% 的残差在允许值 $\pm 6.912 312$ r/min 范围内。

利用模型残差序列 $\{R_i\}$ 、转速实测序列 $\{A_i\}$ 和模型拟合序列 $\{F_i\}$ 计算出模型的拟合优度、拟合标准差和相关检验, 评价模型的拟合优度。利用 Eviews 6 软件进行模型拟合优度分析, 计算可得模型拟合度为 74.631 2%, 标准方差为 0.050 136, 模型系数 t 检验结果为 16.805 28, 显著性水平 0.000 通过 t 检验, 从而实现模型拟合精确性论证。

4 结 论

将时序分析方法引入排种轴转速检测数据分析过程中, 主要完成以下工作。

1) 利用排种轴不同转速下的样本数据计算出 $\{\rho_i\}$ 和 $\{\varphi_i\}$ 序列, 证明时序分析模型 AR(1) 进行转速

序列分析的可行性,并计算出模型相关参数。

2) 应用 AR(1)模型对转速序列进行预测,利用转速实测序列、模型拟合序列和残差序列计算模型的拟合优度、拟合标准差和进行 t 检验,结果表明,应用 AR(1)模型对转速序列进行分析、预测可靠、精确。

通过排种轴转速序列分析,反映了排种轴转动中出现周期性的波动,这一波动直接影响到排种盘的充种率,进而影响排种器的排种质量指标,因此,在精密排种器性能识别中,可以对排种轴转速检测数据进行周期性平滑,使排种器性能计算中排种轴转速数据更接近排种轴的实际工作过程,以减少排种过程中随机变量对排种轴转速的干扰,提高排种质量指标的检测精度。

参考文献:

- [1] 安爱琴,杨志帮,王玉顺,等.基于机器视觉的种子间距识别及其应用[J].湖北农业科学,2012,51(23):5491-5493.
- [2] GB6973—86,单粒(精播)播种机试验方法[S].
- [3] 杨淑莹.VC++图像处理程序设计[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [4] 理查德·E·伍兹.数字图像处理(MATLAB 版)[M].冈撒雷斯,阮秋琦,阮宇智,等译.北京:电子工业出版社,2005.
- [5] 安爱琴,王宏强.基于机器视觉的转速过程检测方法[J].吉林农业大学学报,2008,30(1):114-118.
- [6] 陈宇,陈怀海,李赞澄,等.基于时变 AR 模型和小波变换的时变参数识别[J].国外电子测量技术学报,2011,30(7):20-23.
- [7] 杨叔子,吴雅,轩建平,等.时间序列分析的工程应用[M].2版.武汉:华中科技大学出版社,2007.
- [8] 程浩,刘国庆,成孝刚.一种分段平稳随机过程自相关函数逼近模型[J].计算机应用,2012,32(2):589-591.
- [9] 张龙,熊国良,柳和生,等.时变参数模型及其在非平稳振动分析中的应用[J].振动与冲击,2006,25(6):49-53.
- [10] 石双忠,岳东杰,梅红.时序分析在变形监测数据处理中的应用[J].工程勘察,2004(3):59-61.
- [11] 潘红宇.时间序列分析[M].北京:对外经济贸易大学出版社,2006.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:罗维