

基于 ARIMA 乘积季节模型的矿井涌水量预测研究

王 猛,殷博超,张凯歌,兰天伟,邱占伟,孙尚旭

(辽宁工程技术大学 矿业学院,辽宁 阜新 123000)

摘 要:为提高煤矿对矿井涌水量预测的准确性,基于 ARIMA 季节乘积模型,提出一种新的矿井涌水量的预测方法,通过普通差分和季节差分保证矿井涌水量时间序列的平稳化,以模型定阶、参数估计和假设检验等过程建立合适的乘积季节模型 $ARIMA(2,1,1)(1,1,1)_{12}$ 。利用该模型对某煤矿 2015 年各月的涌水量进行预测,得出预测结果,并与实测数据进行了对比分析。研究结果表明:预测结果与实际数据最大误差为 3.43%,最小误差仅为 0.77%,与实测数据有较好的拟合,预测效果较好,能够很好地满足煤矿实际需求,验证了乘积季节模型可以对矿井涌水量的能做出准确预测,为煤矿生产中涌水量预报和水害防治工作提供了新的思路。

关键词:乘积季节模型;矿井涌水量;时间序列;预测方法

中图分类号:TD742

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2017)11-0199-06

Study on prediction of mine water inflow volume based on ARIMA product seasonal model

WANG Meng, YIN Bochao, ZHANG Kaige, LAN Tianwei, QIU Zhanwei, SUN Shangxu

(School of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to improve a prediction accuracy of the mine water inflow volume in a coal mine, based on the ARIMA seasonal product model, a new prediction method of the mine water inflow volume was provided. The ordinary difference and the seasonal difference were applied to ensure the mine water inflow volume of the time series stabilized method. A suitable product seasonal model $ARIMA(2,1,1)(1,1,1)_{12}$ was established with the model order, parameter estimation, hypothesis test and other process. The model was applied to predict each month water inflow volume in the year of 2015 in a mine and the predicted results obtained were compared and analyzed with the actual measured data. The study results showed that there a max error of 3.43% between the predicted results and the actual data. The min error was only 0.77%. The predicted results could be well fitted with actual measured data. The predicted effect was good and could well meet the actual requirements of the mine. The product seasonal model verified could make the accurate prediction of the mine water inflow volume and could provide a new idea to predict the mine water inflow volume from the coal mine production and to prevent and control of the water disaster.

Key words: product seasonal model; mine water inflow volume; time series; prediction method

0 引 言

矿井涌水量是指在矿山建设和生产过程中,地表水和地下水通过各种途径和方式,在单位时间内涌入井巷中的水量,是制定合理开采方案的重要指标^[1-2]。如果不能及时构建合理的排水设施,制定

及时的排水方案,当矿井涌水超过其自身排水能力时,将导致矿井水灾,即煤矿透水事故的发生,这也是矿山生产中常见的主要灾害之一^[3]。近年来,随着我国煤矿开采深度的增加,矿井突水问题日益严重,矿井对涌水量的预测成为一项比较困难且复杂的工作。因此,通过对矿井涌水量进行准确预测是

收稿日期:2017-04-12;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.est.2017.11.033

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51604139)

作者简介:王 猛(1978—),男,内蒙古通辽人,副教授,硕士生导师,博士。Tel:18342837170,E-mail:wangmeng_fx@163.com

引用格式:王 猛,殷博超,张凯歌,等.基于 ARIMA 乘积季节模型的矿井涌水量预测研究[J].煤炭科学技术,2017,45(11):199-204.

WANG Meng, YIN Bochao, ZHANG Kaige, et al. Study on prediction of mine water inflow volume based on ARIMA product seasonal model[J].

Coal Science and Technology, 2017, 45(11): 199-204.

保障煤矿安全生产具有重要意义^[4-5]。

目前,矿井涌水量预测方法主要有水均衡法、时间序列分析法、相关分析法、BP神经网络等、数值模拟法,但由于矿井涌水的形成受到采动情况、地下水动态等多种因素影响,准确预测具有较大难度^[6-10]。也有学者利用时间序列方法对矿井涌水量进行了预测研究^[11-12],其中结合 ARIMA 经典模型的矿井涌水量预测取得了不错的效果,对矿井涌水量预测方法的完善做出了一定贡献^[13-14],但其并没有着重考虑季节因素的影响,而具有明显季节性的大气降水是间接影响某些矿井涌水量的一个重要因素^[15-16]。近年来,乘积季节模型广泛应用于医疗、经济、生态等领域的预测研究当中,并取得了较好的效果^[17-18]。基于此,笔者研究分析山西某煤矿近 10 年的月度涌水量数据,建立合适的乘积季节模型进行预测研究。

1 理论基础简介

1.1 乘积季节模型

季节模型^[19]是随处可见的反映具有季节变动规律的时间序列模型,季节变动是指以一年为一个周期的变化,利用季节差分可有效地消除这种周期性变化。ARIMA 模型^[20]全称为自回归积分滑动平均模型,其中 ARIMA(p, d, q)称为差分自回归移动平均模型,AR 是自回归;MA 为移动平均; p 为自回归项; q 为移动平均项数; d 为时间序列成为平稳时所做的差分次数。ARIMA 模型可适用于的简单的具有季节性变化的时间序列。

乘积季节模型 ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)^[21]从形式上看是随机季节模型与 ARIMA 模型的结合, P 为季节自回归阶数; D 为季节性差分阶数; Q 为季节滑动平均阶数,其适用于时间序列既包含趋势性又包含明显季节性的复杂情况,实际应用时为防止季节性被趋势性掩盖,应先消除趋势性,再识别季节性,季节差分步长与季节周期一致^[22]。

1.2 乘积季节模型的建模步骤

季节性时间序列模型^[23]的建立包含这样几个过程:判别序列周期性、平稳性;模型的识别、定阶和参数估计、诊断检验。

1)数据的平稳化。时间序列的平稳性可通过其折线图和自相关、偏自相关分析图来判断,若自相关函数在若干个值之后变为 0,则序列是平稳的,反之则为不平稳序列,折线图如果呈现出某种线性或

非线性趋势,则为不平稳序列,一般对非平稳序列通过差分方式将其平稳化。

2)模型的识别、定阶和参数估计。自相关和偏自相关函数是辨别乘积季节模型的主要工具^[24],在 EViews 中同样主要根据样本的自相关和偏自相关分析图来识别模型的类型和阶数,识别时主要依据自相关和偏自相关函数有无拖尾或截尾性,并结合信息准则来进行判定,若函数既不拖尾也不截尾,在周期的整数倍点上出现很大的峰值,且振荡变化,则可判定序列适合于该模型。

普通差分和季节差分的阶数 d 和 D 可采取由低到高逐步差分的方法确定,一般进行一阶差分即可使数据平稳,若一阶差分后数据仍不平稳,增加差分阶数直至数据平稳为止。模型阶数确定后的参数估计在 EViews 中主要采用非线性方法, p 、 q 、 P 和 Q 的估计根据序列自相关图(Auto-Correlation)和偏自相关图(Partial Correlation)进行分析。

3)诊断检验。模型建立后,需要对其进行检验以确定所选模型对信息的提取是否充分,进而确定模型是否合理。一般采取残差序列白噪声检验的方法,若模型不合理,则需要对模型进一步改进,直至模型符合要求。

2 实证分析

2.1 样本选取

笔者选取的数据为山西某煤矿 2007 年 1 月到 2015 年 12 月的月度矿井涌水量数据,处理的数据为 2007 年 1 月到 2014 年 12 月,2015 年的数据作为预测对比数据,检验预测效果。

2.2 数据处理

将矿井月度涌水量数据绘成折线图(图 1)。对涌水量时间序列进行特征分析发现其具有明显的以年为周期的周期性,是非平稳序列,而且涌水量高峰期在夏季。

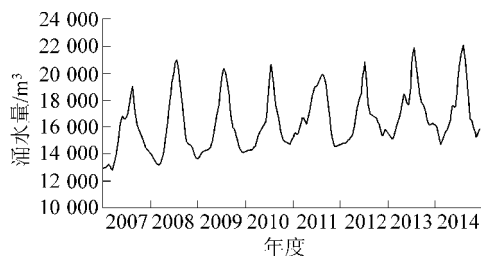


图 1 原始数据序列

Fig. 1 Sequence diagram of original data

为实现涌水量序列的平稳化,对原序列取一阶自然对数并进行差分,得到新序列记为 Sily。由 Sily 的折线图(图 2)可以看到,序列已无明显趋势性,但仍存在以年为周期的季节性。

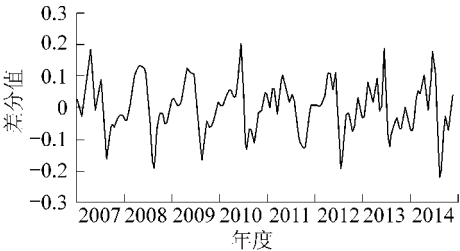


图 2 Sily 序列折线

Fig. 2 Diagram of Sily sequence

另外,从 Sily 序列的自相关和偏自相关分析图(图 3)可以看到在 12 的整数倍点上,样本的自相关系数(AC)和偏自相关系数(PAC)都比较大,同样表明存在季节性。

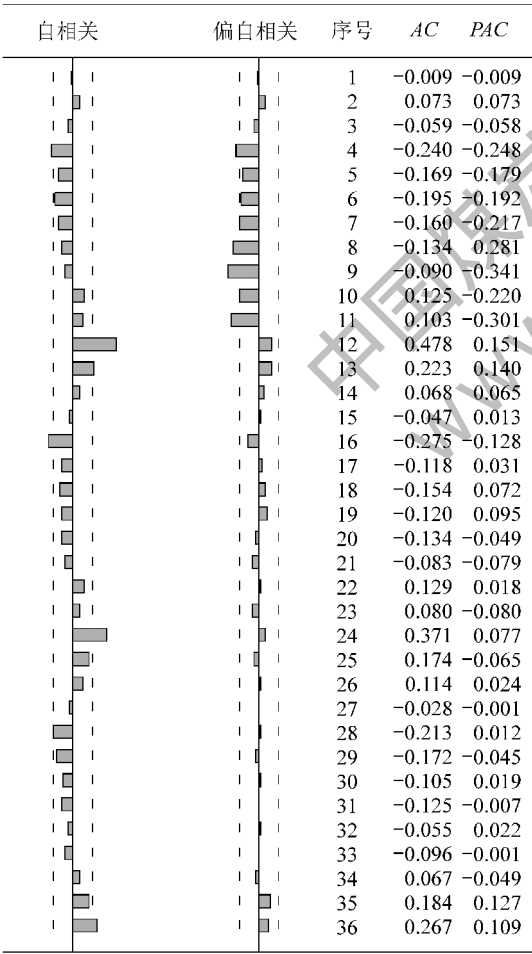


图 3 Sily 序列的自相关和偏自相关

Fig. 3 Self-correlation and partial self-correlation of Sily sequences

可进一步做差分步长为 12 的季节差分,并求得季节差分后新序列 Sily 的置信区间,由序列 Sily 的自相关与偏自相关分析图(图 4)可知,在 12 的整数倍点上,样本的自相关系数显然在随机区间内,表明已消除季节性。

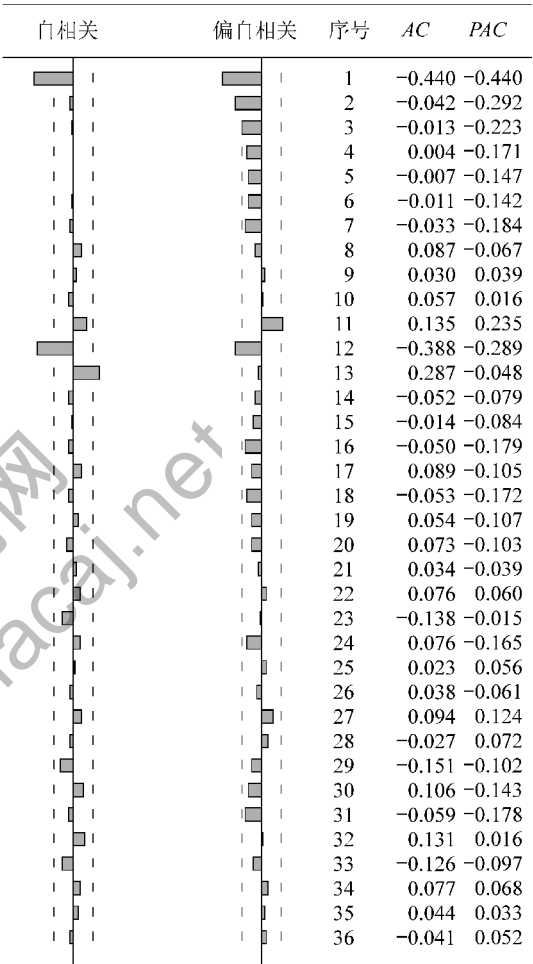


图 4 差分值 Sily 的自相关和偏自相关

Fig. 4 Self-correlation and partial self-correlation of Series sily

对 Sily 序列进行单位根检验,检验其平稳性(检验结果见表 1)。t 检验统计量值-10.91132 小于 EViews 给出的 1%水平的临界值,表明 Sily 序列是平稳序列。

表 1 Sily 序列的单位根检验

Table 1 Unit root test of Sily sequence

检验水平	t 检验统计临界值
t 统计量	-10.911 32
1%水平	-3.510 259
5%水平	-2.896 346
10%水平	-2.585 396

2.3 模型识别与选取

原序列经过一阶差分后即基本消除趋势性,因

此 $d=1$,进行一次以步长 k 为 12 的季节差分后,即消除序列的季节性,故 $D=1$ 。结合 Sily 序列的自相关和偏自相关图分析图可知在 $k=1$ 处自相关系数显著不为 0,可考虑取 $q=1$,偏自相关系数在 $k>2$ 之后很快趋近于 0,因此,可取 $p=1$ 或 2。MA 模型的参数估计相对困难,所以综合考虑,笔者实际建模时用高阶的 AR 模型代替相应的 MA 或 ARMA 模型。可供选择的 (p,q) 组合有: $(2,1)$ 、 $(1,1)$ 、 $(2,0)$ 和 $(3,0)$ 。由于 $k=12$ 时,样本自相关和偏自相关系数都明显不为 0,所以, $P=Q=1$ 。

为建立最优模型,利用 EViews6.0 对不同的 (p,q) 组合进行检验,检验结果见表 2。对结果进行比较分析,并用 AIC (Akaike InforMAtion Criterion) 信息准则对模型的阶数进行判定。综合考虑,选择第 2 个模型即 $ARIMA(2,1,1)(1,1,1)_{12}$ 模型作为预测模型。

表 2 各模型的检验结果
Table 2 Test results for each model

(p,q)	相关系数	赤池信息量	舒瓦茨信息量	相伴概率	平均绝对百分比误差/%
(2,1)	0.640	-2.828	-2.666	0.838	3.970
(1,1)	0.637	-2.849	-2.721	0.824	5.770
(2,0)	0.562	-2.646	-2.516	0.751	4.540
(3,0)	0.577	-2.657	-2.494	0.762	6.400

2.4 模型的建立

根据以上模型的识别选择,建立预测模型 $ARIMA(2,1,1)(1,1,1)_{12}$,模型参数检验结果见表 3。

表 3 模型参数估计与相关检验结果

Table 3 Model parameter estimation and related test results

变量	系数	标准误差	统计量
一阶自回归	0.216	0.102	2.107
二阶自回归	0.180	0.097	1.851
季节自回归	-0.031	0.140	-0.222
一阶移动平均	-0.997	0.055	-17.851
季节移动平均	-0.853	0.045	-20.849
样本决定系数	0.661	因变量的均值	-0.001
调整后样本决定系数	0.640	因变量标准差	0.095
标准误差	0.057	赤池信息量	-2.828
残差平方和	0.207	施瓦兹信息量	-2.666
对数似然比	102.549	D·W 统计量	2.230

所得结果显示模型具有较高的预测精度。预测模型的表达式为

$$(1 - 0.031 B^{12})(1 + 0.216B + 0.180 B^2) \times$$
$$(1 - B)(1 - B^{12}) \ln(IP_t) = (1 - 0.853 B^{12}) \varepsilon_t$$

(1)

式中: B 为后移算子; ε_t 为 t 时刻的随机误差,是相互独立的白噪声序列; IP_t 为涌水量的时间序列。

2.5 模型的诊断检验

对模型进行诊断检验,由残差序列的自相关和偏相关分析图(图 5)可知, P 值都大于 5% 的显著性水平,表明残差序列是白噪声序列。

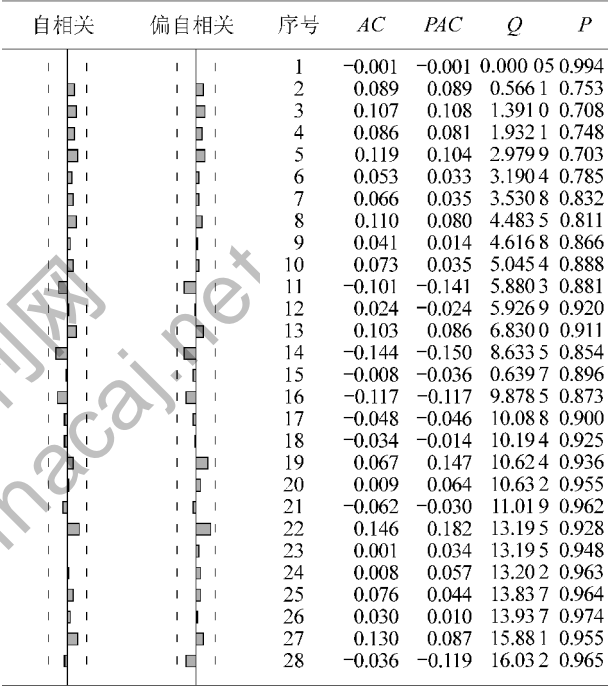


图 5 残差时间序列的自相关和偏自相关
Fig. 5 Self-correlation and partial self-correlation of residual time series

接着对 $ARIMA(2,1,1)(1,1,1)_{12}$ 模型进行残差分析,残差序列的单位根 (ADF) 检验结果见表 4。

表 4 残差时间序列的单位根检验

Table 4 Unit root test of residual time series

检验水平	t 检验统计临界值
t 统计量	-7.528 361
1%水平	-3.531 529
5%水平	-2.905 519
10%水平	-2.590 262

单位根统计量 ADF 为 -7.528361 小于 EViews 给出的显著性水平 1% 的 ADF 临界值,进一步表明残差序列是白噪声序列,这与自相关和偏自相关分析图分析结果一致。这一现象充分证明笔者所建立

的模型可以用来预测时间序列的变化趋势。

2.6 模型预测

通过建立的乘积季节模型对该矿 2015 年 1 月到 12 月的月度涌水量进行预测,其结果见表 5 和图 6。预测值与实际值的绝对误差和相对误差都很小。预测结果表明,通过乘积季节模型对涌水量的预测是合理有效的。

表 5 乘积季节模型预测结果

Table 5 Product seasonal model prediction results				
月份	实际涌水量/m ³	模型预测值/m ³	绝对误差	相对误差/%
1	15 050.00	15 542.72	492.72	3.27
2	15 530.00	15 117.59	412.41	2.66
3	15 205.80	15 528.20	322.40	2.12
4	16 423.00	16 220.44	202.56	1.23
5	17 656.50	18 221.80	565.30	3.20
6	18 200.00	18 825.07	625.07	3.43
7	22 352.60	22 179.80	172.74	0.77
8	20 689.40	20 994.97	305.57	1.48
9	16 925.30	17 322.05	396.75	2.34
10	16 200.70	16 681.50	480.80	2.97
11	15 920.60	15 664.61	744.01	1.60
12	15 863.40	15 656.10	207.30	1.30

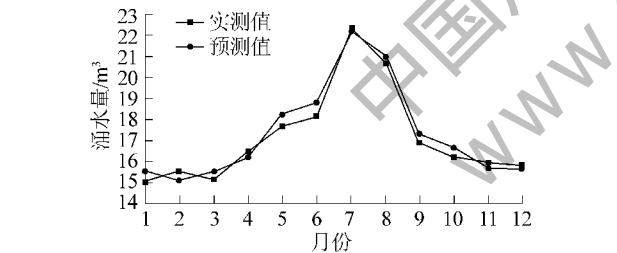


图 6 涌水量观测值与预测值

Fig. 6 Observed and predicted values of water inflow

3 结 论

- 1)利用乘积季节模型对带有明显季节性的矿井涌水量进行预测,预测值与实际值相比较,最大误差为 3.43%,最小误差仅为 0.77%,预测效果较好。
- 2)乘积季节模型充分利用矿井涌水量的历史信息,对矿井涌水量的未来趋势作出准确预测,为煤矿生产中涌水量预报和水害防治工作提供了新的思路。
- 3)乘积季节模型是假定未来依然延续现有趋势的基础上对序列做出的预测。煤矿开采是一个动

态过程,矿井涌水量受到许多突发因素的影响,需考虑如何将这些随机的、突发的因素引入模型,进一步完善模型。

参考文献 (References) :

[1] 王长申,武 强,马国平,等.复杂条件下矿井水文地质类型划分方法[J].煤炭学报, 2016,41(3):696-702.
WANG Changshen, WU Qiang, MA Guoqiang, et al. Arising issue and approaches to classify the hydro geological types and complexity ranks of a complicated coal mine in China[J].Journal of China Coal Society, 2016, 41(3):696-702.

[2] 范立民,王双明,刘社虎,等.榆神矿区矿井涌水量特征及影响因素[J].西安科技大学学报, 2009,29(1):7-11.
FAN Limin, WANG Shuangming, LIU Shehu, et al. Mine of Yushen Mining Area water inflow characteristics and influence[J].Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2009, 29(1):7-11.

[3] 黄 欢.矿井涌水量预测方法及发展趋势[J].煤炭科学技术, 2016, 44(S1):127-130.
HUANG Huan. Prediction method and development trend of mine water inflow[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(S1):127-130.

[4] 崔 杰.矿井涌水量计算方法评述[J].水力采煤与管道运输, 2009(4):1-4.
CUI Jie. Review on calculation method of mine water inflow[J]. Hydraulic Coal Mining and Pipeline Transportation, 2009(4):1-4.

[5] 虎维岳,闫 丽.对矿井涌水量预测问题的分析与思考[J].煤炭科学技术, 2016, 44(1):13-18.
HU Weiyue, YAN Li. Analysis and thinking on the prediction of mine water inflow[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1):13-18.

[6] 段俭君,徐会军,王子河.相关分析法在矿井涌水量预测中的应用[J].煤炭科学技术, 2013, 41(6):114-116.
DUAN Jianjun, XU Huijun, WANG Zihe. Application of correlation analysis in prediction of mine water inflow[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6):114-116.

[7] 黄存捍,冯 涛,王卫军,等.基于分形和支持向量机矿井涌水量的预测[J].煤炭学报, 2010, 35(5):806-810.
HUANG Cunhan, Feng Tao, WANG Weijun, et al. Mine water inrush prediction based on fractal and support vector MACHine[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(5):806-810.

[8] 骆祖江,李 兆,任虎俊.矿井涌水量预测数值模拟研究[J].煤炭科学技术, 2015, 43(1):33-36.
LUO Zujiang, Li Zhao, REN Hujun. Numerical Simulation research on predication of mine inflow[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1):33-36.

[9] 马青山,骆祖江.解析法和数值法在矿井涌水量预测中的比较[J].矿业安全与环保, 2015, 42(4):63-66.
MA Qingshan, LUO Zujiang. Comparison of analytical method and

- numerical method in mine water inflow prediction[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2015, 42(4): 63-66.
- [10] 谢道文, 施式亮. 基于云理论与加权马尔可夫模型的矿井涌水量预测[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(6): 2308-2315.
- XIE Daowen, SHI Shiliang. Mine water inrush prediction based on cloud model theory and Markov Model[J]. Journal of Central South University: Natural Science Edition, 2012, 43(6): 2308-2315.
- [11] 陈酩知, 刘树才, 杨国勇. 矿井涌水量预测方法的发展[J]. 工程地球物理学报, 2009, 6(1): 68-72.
- CHEN Mingzhi, LIU Shucui, Yang Guoyong. The development of prediction method of mine water inflow[J]. Journal of Engineering Geophysics, 2009, 6(1): 68-72.
- [12] 安欣, 贾进章. 矿井涌水量时间序列 ARIMA 预测模型[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2015, 34(7): 785-790.
- AN Xin, JIA Jinzhang. Time series prediction of mine water inflow of ARIMA model[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2015, 34(7): 785-790.
- [13] 刘北战, 梁冰. 基于 SVM 降雨充水矿井涌水量预测[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2010, 29(S1): 72-74.
- LIU Beizhan, LIANG Bing. Prediction of water inflow of mine with rainfall yield based on SVM[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2010, 29(S1): 72-74.
- [14] 陈江峰, 崔金良, 杜明清. 矿井涌水量时间序列的 R/S 分析[J]. 煤矿安全, 2003, 34(5): 38-40.
- CHEN Jiangfeng, CUI Jinliang, DU Mingqing. R/S analysis of time series of mine water inflow[J]. Safety in Coal Mines, 2003, 34(5): 38-40.
- [15] 连会青, 张莹, 王世东, 等. 开采过程中矿井涌水量动态预测研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(10): 188-191.
- LIAN Huiqing, ZHANG Ying, WANG Shidong, et al. Research on dynamic prediction of mine water inrush value in mining process[J]. Coal Engineering, 2014, 46(10): 188-191.
- [16] 谭立云. 基于 ARIMA 乘积季节模型的煤矿事故总数预测[J]. 华北科技学院学报, 2013, 10(4): 25-28.
- TAN Liyun. Prediction of coal mine accidents based on ARIMA product seasonal model[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2013, 10(4): 25-28.
- [17] 赵凌, 张健, 陈涛. 基于 ARIMA 的乘积季节模型在城市供水量预测中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(1): 58-62.
- ZHAO Ling, ZHANG Jian, CHEN Tao. Application of product seasonal ARIMA model to the forecast of urban water supply[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22(1): 58-62.
- [18] 侯璐. 基于 ARIMA 模型的石油价格短期分析预测[D]. 广州: 暨南大学, 2009.
- [19] 王燕. 应用时间序列分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.
- [20] 王红瑞, 康健, 林欣, 等. 水文序列 ARIMA 模型应用中存在的问题与改进方式[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(10): 166-176.
- WANG Hongrui, KANG Jian, LIN Xin, et al. Problems and improvement methods in application of ARIMA model of hydrological series[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2008, 28(10): 166-176.
- [21] 彭志行, 鲍昌俊, 赵杨, 等. ARIMA 乘积季节模型及其在传染病发病预测中的应用[J]. 数理统计与管理, 2008, 27(2): 362-368.
- PENG Zhixing, BAO Changjun, ZHAO Yang, et al. ARIMA product season model and its application on forecasting in incidence of infectious disease[J]. Journal of Applied Statistics and Management, 2008, 27(2): 362-368.
- [22] 熊志斌. ARIMA 融合神经网络的人民币汇率预测模型研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, 28(6): 64-76.
- XIONG Zhibin. Research on RMB exchange rate forecasting model based on combining ARIMA with neural networks[J]. Journal of Quantitative and Technical Economics, 2011, 28(6): 64-76.
- [23] 熊斌, 夏克勤. 鱼田堡煤矿矿井涌水量时间序列分析[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(11): 95-98.
- XIONG Bin, XIA Keqin. Time series analysis of mine water inflow in Yutianpu Coal Mine[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(11): 95-98.
- [24] 易丹辉. 数据分析与 EViews 应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.