www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

山西省规下工业煤炭消费量现状与趋势

邓天陆[1],袁 进[1],杨美艳[2],冯 琳[1],石 万[1],黎潇锴[1]
(1.太原理工大学,山西 太原 030024;2.山西科城能源环境创新研究院,山西 太原 030032)

摘 要:依据山西省典型地市“十三五”期间全社会口径煤炭消费统计结果,梳理分析山西省规下工业煤炭消费现状特征,总结现存规下工业煤炭消费的重点行业、用煤原因及环节,并基于 ARIMA 模型预测分析至 2030 年山西省规下工业煤炭消费量,提出规下工业企业煤炭消费减量工作建议,助力双碳目标进程的实现。研究表明,“十三五”期间山西省规下工业企业煤炭消费量呈现明显下降趋势,符合规定的工业企业煤炭消费量占第二产业煤炭消费总量比重目前已不足 10%。根据规定,工业燃煤治理政策实施成效显著,耗煤行业数量趋减并以电力热力行业为主导。ARIMA(0,1,0)模型预测效果良好,2012—2019 年平均相对误差仅为 2.27%,预测结果表明 2021—2030 年山西省规下工业煤炭消费量将以平缓速度下降,至 2030 年将降至 72 万 t。

关键词:山西省;煤炭消费量;规下工业;ARIMA 模型;平稳时间序列;预测
中图分类号:X2 **文献标志码**:A **文章编号**:1006-6772(2024)S2-0076-06

Status quo and trend of industrial coal consumption in Shanxi Province

DENG Tianlu[1], YUAN Jin[1], YAG Meiyan[2], FENG Lin[1], SHI Wan[1], LI Xiaokai[1]
(1.*Taiyuan University of Technology*, *Taiyuan* 030024, *China*; 2.*Shanxi Kecheng Energy and Environment Innovation Research Institute*, *Taiyuan* 030032, *China*)

Abstract: According to the survey results of coal consumption in the whole society during the "13th Five-Year Plan" period of typical cities in Shanxi Province, this paper sorts out and analyzes the current characteristics of industrial coal consumption under the regulations in Shanxi Province, summarizes the key industries, causes and links of coal consumption under the existing regulations, and predicts and analyzes the industrial coal consumption under the regulations in Shanxi Province by 2030 based on the ARIMA model, and puts forward suggestions for reducing the coal consumption of industrial enterprises under the regulations to help the realization of the dual carbon goal process. The results show that during the "13th Five-Year Plan" period, the coal consumption of industrial enterprises in Shanxi Province showed a significant downward trend, and the proportion of coal consumption of industrial enterprises under the regulations to the total coal consumption of the secondary industry is now less than 10%. The implementation of industrial coal-fired treatment policies under the regulations has achieved remarkable results, and the number of coal-consuming industries has been reduced, dominated by the power and heat industry. The ARIMA (0,1,0) model predicts well, with an average relative error of only 2.27% from 2012 to 2019.The prediction results show that industrial coal consumption will decline at a flat rate under the regulations in Shanxi Province from 2021 to 2030, and will drop to 720 000 tons by 2030.

Key words: Shanxi Province, coal consumption, under regulation industry, ARIMA model, stationary time series, forecast

0 引 言

2020 年 9 月,我国明确提出了 2030 年实现碳达峰,2060 年实现碳中和的目标。“双碳”背景下,作为二氧化碳排放大国,合理控制煤炭消费总量成为我国推进能源转型、改善生态环境质量和实现碳达峰碳中和的关键举措[1]。

山西作为煤炭消费大省,煤炭丰富的资源特点和长期以第二产业为主的产业结构,决定了煤炭在能源结构中的主体地位。而第二产业中规下工业燃

收稿日期:2023-08-03;**责任编辑**:常明然 **DOI**:10.13226/j.issn.1006-6772.23080302
作者简介:邓天陆(1997—),男,河北省人,硕士,研究生。E-mail:dtl0626@163.com
通讯作者:袁 进(1967—),男,河北省人,研究员,硕士。E-mail:yuanjin@tyut.edu.cn
引用格式:邓天陆,袁进,杨美艳,等.山西省规下工业煤炭消费量现状与趋势[J].洁净煤技术,2024,31(S2):76-81.
DENG Tianlu, YUAN Jin, YAG Meiyan, et al.Status quo and trend of industrial coal consumption in Shanxi Province[J].Clean Coal Technology, 2024,31(S2):76-81.

www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

煤效率低、环境污染重等特征问题,逐步暴露明显。山西省“十三五”期间不断完善散煤治理政策体系,累计完成综合整治 7 276 台工业炉窑、排查整治 2.4 万家“散乱污”企业,但该部分煤炭消费减量情况未能进行统计及成效研究。规下工业整体煤炭消费现状、行业煤炭消费特征和未来规下煤炭消费量预测缺少相关研究分析[2-4]。

在统计山西省 3 市全社会口径“十三五”期间煤炭消费情况的基础上,研判规下工业企业煤炭消费趋势以及重点耗煤行业分布特征,明晰规下工业煤炭消费基本现状。将其结合山西省统计年鉴数据,通过 ARIMA 模型预测山西省规下工业煤炭消费量变化趋势。汇总梳理规下行业内部散煤治理情况和现存规下耗煤行业原因,讨论未来规下减煤可行性,为“双碳”目标推进提供理论依据,为合理控制煤炭消费工作提供扎实的数据基础。

1 研究内容及方法

1.1 山西省 3 市规下工业煤炭消费量统计

研究对象选取山西省优先开展散煤治理的 3 市为代表,统计其全社会口径煤炭消费数据,包括第一产业、第二产业、第三产业和居民生活煤炭消费情况,将统计数据汇总 3 市 2016~2021 年规模以上工业煤炭消费统计官方数据[5],最终得到 3 市全社会口径煤炭消费总量数据与规下工业煤炭消费数据。

由于规下工业企业不同行业煤炭消费量差异较大,因此将不同企业按行业进行分层,采用分层抽样法抽样。统计抽样精度参考国家统计局《“四下”单位抽样调查统计报表制度》[6],在 95%的置信度下,最大相对误差控制在 10%以内,经核算各行业抽样比例为 10%即可达到该抽样精度,最终抽样获取的样本情况见表 1。

表 1 统计抽样情况

地区	抽样框总数/家	样本数量/家	抽样比例/%
A 市	3 959	628	16
B 市	3 695	865	23
C 市	4 240	1 191	28
合计	11 894	2 684	23

1.2 山西省规下工业煤炭消费量预测

在煤炭消费量预测中常采用自回归求积移动平均(ARIMA)模型,该方法用数学模型近似描述预测对象随时间推移而形成的时间序列,模型被识别后可通过时间序列的过去值及现在值预测未来值[7-11]。对于含有一定变化趋势的非平稳时间序列进行 d 阶差分后可建立 ARIMA(p,d,q)模型。p 为自回归(AR)的阶数,表示当前时间序列值与前 p 个时间序列值的线性组合;d 为非平稳时间序列转换为平稳时间序列时对其差分的阶数,表示将非平稳时间序列差分 d 次后得到的平稳时间序列;q 为移动平均(MA)的阶数,表示当前时间序列值与前 q 个时间序列值的移动平均值的线性组合[12-14]。采用山西省统计年鉴中 2011—2020 年工业煤炭消费量数据,以及统计数据结果综合考虑分析。

2 研究结果

2.1 山西省规下工业煤炭消费整体情况

“十三五”期间山西省煤炭消费减量措施主要包括压减过剩产能和淘汰落后产能、淘汰燃煤小锅炉和炉窑等举措,整体散煤治理行动成效集中体现于规模以下工业散煤用量削减。2015—2020 年 3 市的规下工业煤炭消费量均呈现不同幅度下降,2020 年规下工业煤炭消费量占全社会比重均低于 6%;其中 A 市规下煤炭消费减量达到 66%,为 3 市最高,样本情况见表 2。

结合全社会统计结果分析,2015—2020 年 3 市全社会口径煤炭消费总量均有所上涨,煤炭消费结构均向第二产业集中。且第二产业煤炭消费量占全社会总量比重均已超过 95%,其中规上工业煤炭消费增长是该现状的主要成因,样本情况见表 3。

表 2 2015 年-2020 年不同地市规下工业煤炭消费减量

指标	地区	2020 年较 2015 年下降率/%
规下煤炭消费减量情况	A 市	66
	B 市	25
	C 市	8

表 3 2015 年、2020 年不同地市煤炭消费调查情况对比

指标	地区	2015 年/%	2020 年/%	变化情况/%
规下工业占第二产业煤炭消费比重	A 市	9.8	2.7	-7.1
	B 市	8.0	3.2	-4.8
	C 市	8.5	5.9	-2.6
规下工业占全社会煤炭消费比重	A 市	8.7	2.6	-6.1
	B 市	7.3	3.1	-4.2
	C 市	7.7	5.7	-2.0
第二产业占全社会煤炭消费比重	A 市	89.0	96.4	+7.3
	B 市	90.7	97.3	+6.5
	C 市	90.8	96.5	+5.7

2.2 规下重点耗煤行业结构变化

图 1 为 2015 年、2020 年山西规下重点耗煤行业对比,2015 年,规下重点耗煤行业主要集中在建材、电力热力、煤炭行业,重点行业煤炭消费量合计

www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

占全部规下工业煤炭消费总量的 64%。其中电力热力、建材、煤炭分别占 28%、24%、13%。2020 年，规下耗煤行业数量大幅减少，现存重点耗煤企业向电力热力、建材等行业集中，两大行业煤炭消费达 95%。由耗煤行业集中度变化情况明显反映出，煤炭行业退出规下重点耗煤行业。此外其他行业中的食品、酒水、金属制品、造纸、橡胶、设备制造、有色金属等行业全面退出耗煤行业序列。

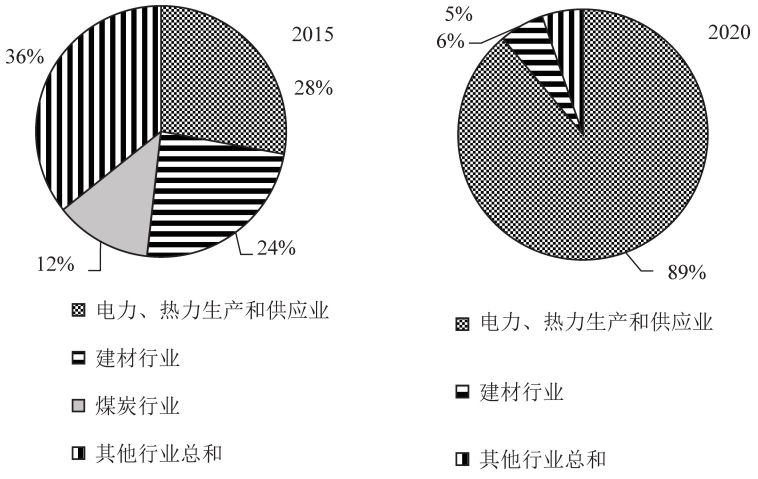

图 1　2015 年、2020 年山西规下重点耗煤行业对比

从行业内部增减变化情况分析，除电力、热力煤炭消费量有所增长外，其余耗煤行业煤炭消费量均有不同程度减少，电力、热力生产和供应业煤炭消费量与 2015 年相比增幅超过 100%，占据现存规下重点耗煤行业主导地位，比重高达 89%。

2.3　山西省规下工业煤炭消费量预测

将山西省统计年鉴工业煤炭消费量，结合上文中规下工业煤炭消费占比结构变化，构建 ARIMA 模型预测山西省未来规下工业煤炭消费量。通过 IBM SPSS Statistics26 软件构建山西省规下工业煤炭消费量年度时间序列数据图[15-16]，判断数据序列是否平稳。由图 2 可看出，序列随时间推移存在显著下降趋势，进行一阶逐期差分后，序列趋势基本消除，故可确定 $d=1$，可选用 ARIMA(p,1,q)模型。

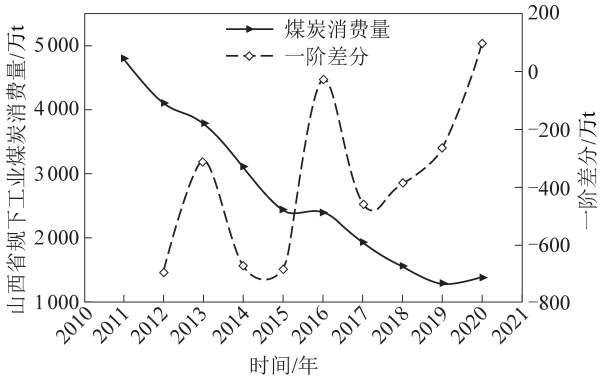

图 2　2011—2020 年山西规下工业煤炭消费时序及一阶差分图

对于 p 和 q 的识别，则通过观察差分后序列的 ACF(自相关)图和 PACF(偏自相关)图。从图 3 可知，序列自相关系数均未超出 2 倍估计标准差，在显著水平为 5%的情形下显著不为 0，即自相关函数自 0 阶拖尾；同理可知序列偏自相关系数均未超出 2 倍估计标准差，且显著水平为 5%的情形显著不为 0，即偏自相关函数自 0 阶拖尾，故结合 ACF 图和 PACF 图可确定：$p=0$，$q=0$。由此，ARIMA(p,d,q)模型可确定为 ARIMA(0,1,0)。

模型确定后需要对残差是否为白噪声过程进行进一步检验，如果残差序列不是白噪声序列，则需改进模型，如为白噪声过程，则可接受估计所得模型。由表 4 可知，ACF 图与 PACF 图中系数均落在置信区间内，据此认为残差序列为白噪声，说明模型已提取有规律的信息，所选模型恰当。

利用 ARIMA(0,1,0)模型对 2030 年规下工业煤炭消费量以及 95%可信区间预测，与实际数据比较，采用平均绝对百分误差 MAPE 做预测误差的精度分析显示：平均误差为 8.76%，预测值均在 95%可信区间内，且 R^2 达到 0.946，证明模型属于高精度预测模型，其预测效果良好。

从表 5 中可看出，模型拟合值与实际值差异不大，预测相对误差较小，相对差异范围在 0.26%～14.47%之间，说明 ARIMA 对山西省规下工业煤炭消费量预测效果较好。如图 4 所示，应用 ARIMA(0,1,0)模型对 2021—2030 年山西省规下工业煤炭消费量进行预测，具体预测结果见表 6。预测结果表明山西省规下工业煤炭消费量 2021 年—2030 年将以平缓速度下降，至 2030 年将降至 72 万 t。

www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

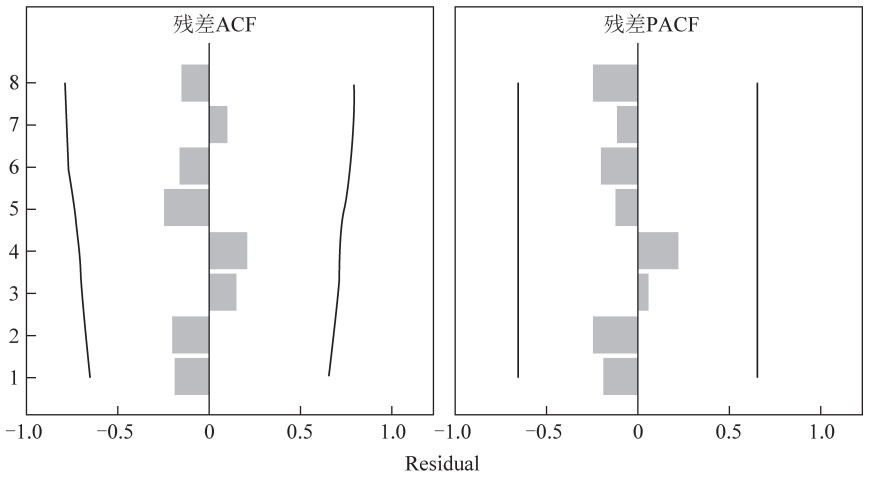

图 3 一阶差分后序列 ACF 图(左)及 PACF 图(右)

表 4 ACF 图及 PACF 图数据

	1	2	3	4	5	6	7	8
ACF	−0.188	−0.205	0.144	0.204	−0.242	−0.159	0.093	−0.147
标准误差	0.333	0.345	0.358	0.365	0.377	0.394	0.401	0.403
PACF	−0.188	−0.249	0.054	0.219	−0.123	−0.200	−0.110	−0.244
标准误差	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333

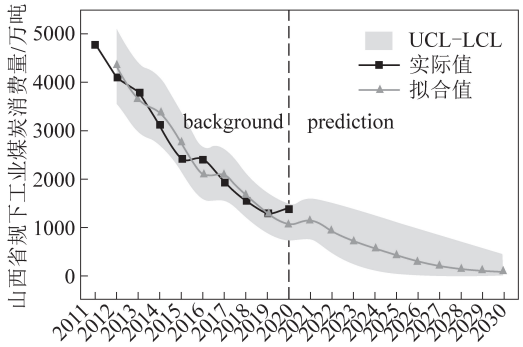

图 4 山西 2011—2030 年规下工业煤炭消费拟合预测

2.4 规下工业现存耗煤原因及未来减量趋势

山西省现存规下工业的用煤途径基本为蒸汽锅炉、热水锅炉和燃煤炉窑,用煤行业主要集中在电力、热力生产和供应业、非金属矿物制品业等行业,由于此类行业生产生活过程中需要提供热量或保障生活的采暖需求,故存在煤炭消费。

总结现存规下重点耗煤行业煤炭消费情景、主要煤炭消费设备、设备热效率和燃煤热值情况见表 7。

表 5 山西 2012~2019 年规下工业煤炭消费拟合值与实际值对比

年份(年)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
拟合值/万 t	4 326	3 669	3 375	2 745	2 107	2 083	1 656	1 303
实际值/万 t	4 104	3 792	3 122	2 438	2 412	1 950	1 564	1 300
绝对差异/万 t	−221.83	123.36	−253.03	−307.34	304.90	−133.19	−91.99	−3.37
相对差异(取绝对值后)/%	5.13	3.36	7.50	11.20	14.47	6.39	5.55	0.26

表 6 山西 2021~2030 年规下工业煤炭消费预测值

年份(年)	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
预测值/万 t	1 150	930	735	565	420	300	205	136	91	72
UCL	1 588	1 506	1 382	1 243	1 098	953	813	680	555	441
LCL	772	472	265	123	38	2	0	0	0	0

表 7 规下重点耗煤行业情况

规下重点耗煤行业	煤炭消费情景	主要煤炭消费设备	燃煤热值情况
电力、热力生产和供应业	热源厂燃煤供热锅炉,提供热力	链条炉排锅炉、循环流化床锅炉	链条炉排锅炉:20 929 ~25 115 kJ/kg 循环流化床锅炉:≥16 743 kJ/kg
非金属矿物制品业	建材生产过程中炉窑需要燃煤供热	轮窑、隧道窑	≤2 093 kJ/kg 的煤矸石

www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

2.4.1 电力、热力生产和供应业

目前规下重点耗煤行业以电力、热力生产和供应业为主,煤炭消费环节主要为热源厂的燃煤供热锅炉,用于蒸汽和热水供应。其中燃煤锅炉大部分为链条炉排锅炉,仅小部分使用循环流化床锅炉。链条炉排锅炉热效率大于 77%,对于燃煤热值要求较高,普遍使用热值为 20 929~25 115 kJ/kg 的低硫煤;而循环流化床锅炉热效率最高可达到 90%以上,对于燃煤热值更低,燃煤热值大于 16 743 kJ/kg 即可投入使用。更高的热效率以及更低的燃煤热值要求使循环流化床锅炉将成为电力、热力生产和供应业规下企业升级改造的主要方式,从而进一步降低其煤炭消费量。

规下电力热力企业中小规模热源厂较多,服务对象主要是城镇居民,由于热源厂装机容量受热负荷大小、性质等制约,机组规模比目前火电厂的主力机组小,其用水、征地、拆迁、环保要求较高,供热改造难度较大。此外,由于全省居民供热需求和集中供热面积持续增加,且居民取暖属于不容忽视的民生工程,因此规下电力、热力行业现存煤炭消费量较高。

2.4.2 非金属矿物制品业

山西省建材工业重点行业主要包括水泥、玻璃和煤系高岭土等。通过热工设备(工业炉窑、烘干设备及其他热加工设备)制备产品是大多数建材工业企业重要的工艺特征,因此建材行业耗煤环节主要是工业窑炉在工业生产中以煤炭为燃料,通过直接燃烧获得热能以制备建材产品。

现存建材行业仍有水泥、耐火材料、玻璃、高钙粉煤灰等行业使用煤炭作为燃料,对物料或工件进行焙烧、烧结、熔化、加热等。目前企业燃煤设备大多为隧道窑,相较落后的轮窑热量损失更小,隧道窑作为连续窑省去了频繁启炉所需的煤炭消费。尤其体现在制砖厂中,通过隧道窑将热值低于2 093 kJ/kg 的煤矸石与黏土等作为主要原料,利用煤矸石即可提供制砖所需热量,相较之前的轮窑制砖模式不需要额外燃烧煤炭提供热量。随隧道窑的推广使用,此部分未来煤炭消费也将逐步减少。

3 结　论

1)统计 3 市规下工业企业煤炭消费量,在 2015—2020 年期间均有不同程度下降,结合山西省政策要求,可知全省规下工业企业煤炭消费量下降已成主流趋势,全社会煤炭消费向第二产业规上工业集中。规下耗煤行业数量大幅减少,现存规下耗煤主要以电力热力和建材行业为主,煤炭消费占比达 90%以上,其余行业基本退出规下耗煤行业。

2)选取 ARIMA 模型作为预测工具,2012—2019 年平均相对误差仅为 2.27%。建立 ARIMA(0,1,0)模型的预测精度较高,可以利用其对山西省规下工业煤炭消费量进行预测。预测结果显示数据成平缓下降趋势,至 2030 年将降至 72 万 t。且随现有耗煤设备的不断优化政策,淘汰落后规下产能使所预测的下降趋势成为可能。

3)随规下工业煤炭消费量持续下降,“十四五”期间可下降空间缩减,下降难度加大。未来电力、热力生产和供应业将成为规下工业减煤重点对象,行业现有技术和设备优化仍有较大发展潜力,企业可结合自身资源条件、厂区环境和资金扶持政策等因素,确定符合企业自身发展条件的改造技术,加强新能源与传统能源的融合替代。可通过出台补贴政策调动企业积极性,推动企业向环境友好型转变,从而控制煤炭消费量,促进“双碳”目标实现。

参考文献:

[1] 贺伟, 王鹏. 资源型城市经济发展与环境污染关系研究——以衡阳市为例[J]. 国土与自然资源研究, 2019(6): 20-22.

[2] 《中国散煤综合治理研究报告 2020》正式发布[J].机电信息, 2020(34):14.

[3] 霍沫霖, 赵佳, 徐朝, 等. 中国散烧煤消费地图及影响因素研究[J]. 中国电力, 2018, 51(1): 139-146.

[4] 国家统计局. 国家统计调查制度-2021, 2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

[5] 国家统计局. 规模以下工业抽样调查统计报表制度(2020)[EB/OL]. http://www.stats.gov.cn/xxgk/tjbzhzd/gjtjdczd/202006/t20200619_1769453.html

[6] 汪文生, 张蓉, 孙小波, 等. 基于 ARIMA 的煤炭产业政策有效性评估方法[J]. 中国矿业, 2018, 27(11): 61-64.

[7] 李平, 黄澳迪, 包黎明, 等. 基于 ARIMA 乘积季节模型的中国流行性腮腺炎发病趋势预测分析[J]. 中国疫苗和免疫, 2023, 29(2): 174-179.

[8] 叶青海, 楚鸿健, 张慧莹, 等. “双碳”目标下我国煤炭减量化使用的压力指数测度研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(3): 43-53.

[9] 胡剑波, 罗志鹏, 李峰. “碳达峰”目标下中国碳排放强度预测——基于 LSTM 和 ARIMA-BP 模型的分析[J]. 财经科学, 2022(2): 89-101.

[10] 纪文贵, 蒙建波, 郑金德. 基于 AHP 和 ARIMA 算法的煤炭价格预测研究[J]. IT 经理世界, 2020(2): 133.

[11] 陈镜如. 基于干预项修正 ARIMA 模型的煤炭价格预测研究[J]. 物流工程与管理, 2021, 43(9): 132-135.

[12] 王帮俊, 朱超群. 去产能背景下煤炭价格走势及预测分析——基于 ARIMA 模型的研究[J]. 价格理论与实践, 2017

www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

(5):73-76.

[13] 叶青海,楚鸿健,张慧莹,等.“双碳”目标下我国煤炭减量化使用的压力指数测度研究[J].工业技术经济,2023,42(3):43-53.

[14] 许佳,张开幸,李子辰,等.基于 ARIMA 模型的山东气煤价格研究[J].中国煤炭,2021,47(2):46-50.

[15] OH H, LEE S. On parameter change test for ARMA models with martingale difference errors[C]//KREINOVICH V, SRIBOONCHITTA S, CHAKPITAK N. International conference of the Thailand econometrics society. Cham: Springer, 2018: 246-254.

[16] EYMEN A, KÖYLÜ Ü. Seasonal trend analysis and ARIMA modeling of relative humidity and wind speed time series around Yamula Dam[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2019, 131(3): 601-612.