

灰色 GM(1,1) 预测模型在特种设备安全事故状况预测中的应用

于慧鹏, 马新新*

(安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 依据 2007—2016 年全国特种设备安全状况数据 (安全事故总量、受伤人数、死亡人数等) 建立 GM(1,1) 预测模型并验证, 引入二阶弱化因子 D^2 对传统 GM(1,1) 预测模型进行改进, 以适应初始数据震荡变化趋势, 提高模拟精准度。结果表明, 改进后的预测模型的精准度符合实际要求, 能够在一定程度上反映特种设备安全事故状况, 有助于统筹特种设备安全工作、提出特种设备安全监管措施, 对政府有关部门预防安全事故、制定相关措施具有一定的现实参考价值。

关键词: 特种设备; 安全事故预测; 二阶弱化因子; GM(1,1) 预测

中图分类号: X922

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2022) 01-069-06

Application of the Grey GM (1,1) Prediction Model in the Prediction of Special Equipment Accidents

YU Huipeng, MA Xinxin

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: Based on the national special equipment (SE) safety data (the number of accidents, injury toll, death toll, etc.) from 2007 to 2016, the grey GM(1,1) prediction model is established and verified. Second order weakening factor D^2 is introduced to optimize the traditional prediction model GM(1,1) to adapt to the fluctuation of initial data and improve the simulation accuracy. The results show that the accuracy of the improved prediction model meets the actual requirements and can reflect the SE accident to a certain extent, which helps to ensure SE safety and propose SE supervision measures, and has a certain reference value for the government to prevent accidents as well as formulate measures.

Keywords: special equipment; accident prediction; second order weakening factor; GM (1,1) prediction

随着我国经济的快速发展,特种设备的数量也随之迅猛增长,同时特种设备安全状况也愈加复杂,安全生产事故也愈发多变,如:2019 年全国共发生特种设备事故及相关事故 130 起,死亡 119 人,受伤 49 人^[1]。为更好地指导政府有关部门在特种

设备安全监管时能够把准安全监管坐标,为企业在日常管理中确定特种设备安全管理“频道”,精准破解特种设备安全管理难题,共同搭建“政府-行业-企业-公众”特种设备安全监管架构,预测特种设备安全事故状况是必要的。对于短时间段序

收稿日期: 2021-05-28

基金项目: 安徽省教育厅科学研究项目 (SK 2019JD01)

作者简介: 于慧鹏 (1989-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 特种设备设备检验检测与管理、工程管理;

马新新 (1982-), 通讯作者, 女, 讲师, 硕士, 研究方向: 房地产法、宪法与行政法, E-mail: 616899668@qq.com

列、少原始数据量的系统而言,灰色 GM(1,1) 预测模型建模及预测具有较好的精准度,同时 GM(1,1) 模型适合以特征值作为发展变化预测的行为,并且能规避因个人经验不足、知识欠缺、行为偏好及其他客观因素所带来的主观臆断,能够更好地演示目标行为的规律^[2-4],故可应用灰色预测模型对以年份为统计周期的特种设备安全事故总体情况进行短、中期预测。

1 预测模型建立

1.1 预测理论概述

灰色预测理论指基于既有的、不完全的数据信息建立相应的单因素影响数学模型,对数据间不确定关系采用灰加成等方式进行加工处理,最终对数据整体的变化趋势做出预测的一种预测方法,并可对“事物”的发展规律做出模糊性的长期描述,是灰色系统分析、建模、预测、决策和控制的理论基础^[5-7]。目前灰色预测常用于数列预测、灾变与异常值预测、季节灾变与异常值预测、拓扑预测、系统预测等方面,但未在特种设备安全监管领域得到应用。典型 GM(1,1) 模型是灰色预测理论的核心模型,是单一变量、一阶微分方程预测模型,其主要思路是采用一阶线性微分方程处理经时间变量累加后的新时间序列,在微分方程求解过程中使方程的解逐渐逼近新时间序列,以此来揭示原始时间数列的变化趋势^[8-9]。鉴于此,可将 GM(1,1) 模型应用到特种设备安全事故状况预测,以期得到未来 1-5 年的特种设备安全事故状况数据,指导特种设备安全监管工作。

1.2 构建灰色 GM(1,1) 预测模型

我国特种设备安全事故总体数量受到法律法规、政府政策、企业安全管理水平等众多因素影响,应用典型 GM(1,1) 模型难以保证预测的精准度,引入二阶弱化算子 D^2 对原始数据进行处理,以消除数据大幅度变动对预测精准度的影响,灰色预测模型建模过程如下所示:

(1) 原始数据序列

设 $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ 为给定的原始数据序列,记为 $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \quad (1)$$

综合考虑文献 [10-13] 对灰色 GM(1,1) 模型的优化方法,采用数据级比 $\delta^{(0)}$,以判断原始数据的变化幅度是否在可接受范围内,若数据变化幅度超出可接受范围,需作进一步的数据处理。

$$\delta_k^{(0)} \in (e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}}), \quad k=1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\delta_k^{(0)} = \frac{x_k^{(0)}}{x_{k+1}^{(0)}}, \quad k=1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

(2) 典型灰色 GM(1,1) 预测模型数据处理

在原数据序列 $X^{(0)}$ 的基础上进行一次累加 (AGO), 即

$$\begin{aligned} X^{(1)} &= (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \dots, x_k^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}) \\ &= (x_1^{(0)}, x_1^{(0)} + x_2^{(0)}, \dots, x_{n-1}^{(0)} + x_n^{(0)}) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $x_k^{(1)} = \sum_{i=1}^k x_i^{(0)}$ $k=1, 2, 3, \dots, n$ 。

(3) 引入二阶弱化算子 D^2 进行数据处理

在原数据序列 $X^{(0)}$ 波动程度超出可接受范围的前提下,在原数据中加入一阶弱化算子 D ,则数据数列变化为:

$$X^{(0)}D = (x_1^{(0)}d, x_2^{(0)}d, x_3^{(0)}d, \dots, x_n^{(0)}d) \quad (5)$$

式中,

$$x_i^{(0)}d = \frac{1}{n-k+1} [x_k^{(0)} + x_{k+1}^{(0)} + \dots + x_n^{(0)}], \quad k=1, 2, 3, \dots, n$$

在式 (5) 的基础上再次引入弱化因子 D ,得新数据序列 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = X^{(0)}D^2 = (x_1^{(0)}d^2, x_2^{(0)}d^2, x_3^{(0)}d^2, \dots, x_n^{(0)}d^2) \quad (6)$$

式中, $x_i^{(0)}d^2 = \frac{1}{n-k+1} [x_k^{(0)}d + x_{k+1}^{(0)}d + \dots + x_n^{(0)}d]$

$$k=1, 2, 3, \dots, n$$

(4) 构造累加矩阵 B

对原数据序列的相邻数值按顺序进行两两叠加,取平均值的相反数,构造累加矩阵 B 与数据向量 Y_n :

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{x_2^{(1)} + x_1^{(1)}}{2} & 1 \\ -\frac{x_3^{(1)} + x_2^{(1)}}{2} & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{x_n^{(1)} + x_{n-1}^{(1)}}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Y_n = (x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})^T \quad (8)$$

(5) 建立白化方程及时间响应序列

改进后的 GM(1,1) 模型所对应的白化方程 (即一阶微分方程) 为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (9)$$

式中, a —发展系数, 控制预测发展趋势; b —灰色作用量, 反映数据变化程度; (a, b) 称为预测模型的灰色系数。

灰色参数 (a, b) 决定了 GM(1,1) 模型的精准度, 参数的值应用残差平方和最小二乘法^[14] 进行求解, 求得:

$$(a, b)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (10)$$

将灰色参数 (a, b) 代回到式 (9) 中, 能够得到 GM(1,1) 灰色预测模型, 并将预测数据进行累减处理后, 即可得到原始数据序列的预测值。由式 (10) 可推断: 累加矩阵 B 直接影响灰色参数 (a, b) 数值。灰色参数 (a, b) 数值确定后, 即可确定适合所预测行为的模型:

$$\begin{cases} \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} = \left(X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ \hat{X}_{(k+1)}^{(0)} = \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} - \hat{X}_{(k)}^{(1)} = (1 - e^a) \left[X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} \end{cases} \quad (11)$$

1.3 预测模型精度检验

残差 $e^{(0)}$ 检验、相对误差 E 检验及后验差检验 (即均方差比 C 和小误差概率 P 检验) 是灰色 GM(1,1) 预测模型常采用的精度检验方法。在后验差检验中, 均方差比预测精度呈负相关, 小误差概率比预测精度呈正相关。

$$e^{(0)} = \left| X^{(0)} - \hat{X}^{(0)} \right| \quad (12)$$

$$E = \frac{e^{(0)}}{X^{(0)}} = \left| \frac{X^{(0)} - \hat{X}^{(0)}}{X^{(0)}} \right| \quad (13)$$

$$C = \frac{S_2}{S_1} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (e_k^{(0)} - \bar{e})^2}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k^{(0)} - \bar{x})^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (e_k^{(0)} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e_k^{(0)})^2}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k^{(0)} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^{(0)})^2} \quad (14)$$

$$p = p \left(\left| e_k^{(0)} - \bar{e} \right| < 0.674 S_1 \right) \quad (15)$$

预测模型精准度分级表如表 1 所示。

表 1 预测模型精准度分级表

精度等级	残差 $e^{(0)}$	相对误差 E	均方差比 C	小误差概率 P
一级 (好)	1.00	0.35	0.95	0.90
二级 (合格)	5.00	0.50	0.80	0.80
三级 (勉强)	10.00	0.65	0.70	0.70
四级 (不合格)	20.00	0.80	0.60	0.60

2 特种设备安全事故预测

2.1 数据来源

根据国家市场监督管理总局公布的 2007—2019 年度全国特种设备安全状况通报中关于特种设备安全事故数据, 利用 2007—2016 年的数据进行预测建模, 2017—2019 年的数据用于预测模型精准度检验, 并对 2020—2024 年全国特种设备安全事故进行预测。2007—2019 年特种设备安全事故相关数据见表 2。

表 2 2007—2019 年特种设备安全事故状况数据汇总表

序号	年份	事故总量 / 起	死亡人数 / 人	受伤人数 / 人
1	2007	256	325	285
2	2008	307	317	461
3	2009	380	315	402
4	2010	296	310	247
5	2011	275	300	332
6	2012	228	292	354
7	2013	227	289	274
8	2014	283	282	330
9	2015	257	278	320
10	2016	233	269	140
11	2017	238	251	145
12	2018	219	224	68
13	2019	130	119	49

2.2 灰色 GM(1,1) 模型预测

2.2.1 典型灰色 GM(1,1) 模型预测

以特种设备安全事故总量数据为例构建典型预测模型。根据表 2 中的相关数据构建原始数据序列 $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = (256, 307, 380, 296, 275, 228, 227, 283, 257, 233);$$

经过一次累加 (AGO) 后, 得到新数据 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = (256, 563, 943, 1\ 239, 1\ 514, 1\ 742, \\ 1\ 969, 2\ 252, 2\ 509, 2\ 742);$$

根据式 (7)、式 (8) 分别求得累加矩阵 B 与数据向量 Y_n :

$$B = \begin{bmatrix} -409.50 & 1 \\ -753.00 & 1 \\ -1\ 091.00 & 1 \\ -1\ 376.50 & 1 \\ -1\ 628.00 & 1 \\ -1\ 855.50 & 1 \\ -2\ 110.50 & 1 \\ -2\ 380.50 & 1 \\ -2\ 625.50 & 1 \end{bmatrix}; Y_n = \begin{bmatrix} 307 \\ 380 \\ 296 \\ 275 \\ 228 \\ 227 \\ 283 \\ 257 \\ 233 \end{bmatrix}。$$

通过式 (10) 解得灰色参数:

$$(a, b)^T = (0.046\ 1, 349.11);$$

此时, 灰色 GM(1,1) 预测模型:

$$\hat{X}_{(k+1)}^{(1)} = \left(X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ = -7\ 317.03 e^{-0.046\ 1k} + 7\ 573.03; \\ \hat{X}_{(k+1)}^{(0)} = \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} - \hat{X}_{(k)}^{(1)} \\ = (1 - e^a) \left[X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} = 345.204\ 4 e^{-0.046\ 1k}$$

2007—2016 年特种设备安全事故总量的预测数值及误差见表 3, 模拟模型的精准度不符合要求, 典型灰色 GM(1,1) 预测模型不适合对特征设备安全事故情况进行预测, 引入二阶弱化算子对原始数据进行处理。

表 3 2007—2016 年特种设备安全事故总量的预测数值汇总

序号	年份				
1	2007	256	256	0	0
2	2008	563	585.65	22.65	0.04
3	2009	943	900.45	42.55	0.05
4	2010	1 239	1 201.07	37.93	0.03
5	2011	1 514	1 488.14	25.86	0.02
6	2012	1 742	1 762.28	20.28	0.01
7	2013	1 969	2 024.07	55.07	0.03
8	2014	2 252	2 274.07	22.07	0.01
9	2015	2 509	2 512.80	3.80	0.00
10	2016	2 742	2 740.78	1.22	0.00

2.2.2 改进灰色 GM(1,1) 模型预测

以特种设备安全事故总量数据为例构建预测模型。根据表 2 中的相关数据, 原始数据序列 $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = (256, 307, 380, 296, 275, 228, \\ 227, 283, 257, 233);$$

此时数据级比 $\delta_k^{(0)} = (0.834, 0.808, 1.284, 1.076, 1.206, 1.004, 0.802, 1.101, 1.103)$, 且不满足 $\delta_k^{(0)} \in (0.833, 1.200)$ 的要求。需要对原始数据进行处理。根据式 (5)、式 (6), 求得引入二阶弱化算子 D^2 后的新数据序列 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = (256, 510, 762, 1\ 010, 1\ 257, 1\ 503, \\ 1\ 750, 1\ 995, 2\ 234, 2\ 467);$$

根据式 (7)、式 (8) 分别求得累加矩阵 B 阵与数据向量 Y_n 。

$$B = \begin{bmatrix} -383.08 & 1 \\ -635.85 & 1 \\ -885.74 & 1 \\ -1\ 133.42 & 1 \\ -1\ 380.03 & 1 \\ -1\ 626.36 & 1 \\ -1\ 872.18 & 1 \\ -2\ 114.29 & 1 \\ -2\ 350.29 & 1 \end{bmatrix}; Y_n = \begin{bmatrix} 307 \\ 380 \\ 296 \\ 275 \\ 228 \\ 227 \\ 283 \\ 257 \\ 233 \end{bmatrix};$$

解得灰色参数:

$$(a, b)^T = (0.008\ 7, 257.602\ 2);$$

此时, 灰色 GM(1,1) 预测模型:

$$\hat{X}_{(k+1)}^{(1)} = \left(X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ = -29\ 353.291\ 9 e^{-0.008\ 7k} + 29\ 609.448\ 3; \\ \hat{X}_{(k+1)}^{(0)} = \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} - \hat{X}_{(k)}^{(1)} = (1 - e^a) \left[X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} \\ = 256.489\ 1 e^{-0.008\ 7k};$$

2007—2016 年特种设备安全事故总量的预测数值及误差见表 4, 模拟模型的精准度符合要求。用 2017—2019 年的数据对模型的精准度进行验证, 如表 5 所示, 其中 2019 年的数据偏差较大, 主要原因是受到相关政府政策的影响: 2019 年国家市场监督管理总局加强对特种设备行业的管控; 特种设备目录重新调整, 将某些设备从特种设备目录

中剔除。

该模型的等级为合格层次,可用于预测 2020—2024 年特种设备安全事故总量预测,由此可对受伤人数及死亡人数进行预测,如表 6 所示。

表 4 2007—2016 年特种设备安全事故总量的预测数值汇总

序号	年份				
1	2007	256	256	0	0
2	2008	510	510.42	0.42	0.000 82
3	2009	762	762.49	0.49	0.000 64
4	2010	1 010	1 012.37	2.37	0.002 35
5	2011	1 257	1 260.08	3.08	0.002 45
6	2012	1 503	1 505.65	2.65	0.001 76
7	2013	1 750	1 749.09	0.01	0.000 057
8	2014	1 995	1 990.43	4.57	0.002 29
9	2015	2 234	2 229.67	4.33	0.001 94
10	2016	2 467	2 466.84	0.16	0.000 065

表 5 2017—2019 年特种设备安全事故总量预测数值汇总

序号	年份				E
11	2017	238	235	3	0.012 6
12	2018	219	223	4	0.018 3
13	2019	130	219	89	0.684 6

表 6 2020—2024 年特种设备安全事故状况预测汇总

年份	类型		
	事故总量 / 起	受伤人数 / 人	死亡人数 / 人
2020	210	120	145
2021	208	109	133
2022	205	98	122
2023	203	89	112
2024	198	80	103

2.3 小结

按照 2007—2016 年全国特种设备安全事故状况数据建立灰色 GM(1,1) 模型,并引入二阶弱化算子对数据背景值进行优化处理,使用 2017—2019 年的特种设备安全事故状况数据对建立的预测模型进行精准度验证,但预测 2019 年相关数据时出现误差,主要因为国家法规政策调整。

从 2020—2024 年全国特种设备安全事故状况预测数据可得出:无论是事故总量、受伤人数还是死亡人数整体呈下降趋势,但此预测数据仅是通过原始数据序列模拟预测的结果,仅能作为政府有关单位及企业确定特种设备安全管理方向及制定相关政策措施时的参考数据,数据的准确度有待通过

2020—2024 年的实际数据进行验证。

目前从预测数据上看,特种设备安全状况有所好转,但在实际工作中仍应高度重视特种设备质量安全风险排查及监管工作。对发现的事故隐患,要责令运营使用单位及时整改;对存在严重事故隐患且难以及时完成整改的,要依法采取封停措施;重大问题要及时上报当地政府协调处理,切实保障特种设备安全运行。如何构建“政府—行业—企业—公众”四维联动工作常态机制,是特种设备安全管理工作者应深入探讨的实际问题。

3 特种设备安全管理工作对策

(1) 以融合发展为契机,推进工作创新

贯彻落实党中央、国务院关于深化“放管服”改革优化营商环境的决策部署,向市场主体全面公开市场监管规则和标准,以监管规则和标准的确定性来保障特种设备监管的公正性。加强窗口服务,为市场主体提供更加精准、便捷的政策咨询,依法做到及时、准确、公开、透明;全面优化办事流程,通过互联网等技术手段让办事人动态掌握办事进展,最大限度实现网络化、透明化办事^[15-16];进一步完善监管责任体系,凝聚市场监管合力。科学合理界定监管事权,理顺各层级监管职责,强化上下联动,加强与信用、执法等部门互动融合,形成监管合力。

(2) 强化机构队伍建设

在国家提倡精简公务人员的社会背景下,监管人员的数量很难与特种设备的增量相协调。在“统一规划、合理布局、保障服务”的原则下,强化机构队伍建设,引进特种设备专业技术人才,充实完善技术力量与装备,提高技术服务水平,为特种设备安全监管执法提供有力的技术支撑和保障^[17-18];同时强化培训工作,鼓励工作人员积极参加特种设备安全监察员(A类)考试,取得执法资格证,充实执法队伍;鼓励特种设备检验所工作人员参加各专业的特种设备检验员考试,提升工作人员自身综合检验水平及检验队伍整体素质。

(3) 强化监管人员的服务意识

传统的特种设备监管模式“重监管、轻服务”已不适应经济发展的需求,因此,转变监管人员的工作思维,强化服务意识尤为重要。不仅要做好行

政执法、行政许可、特种设备监管等工作,同时还应注重对相关企业进行相应的培训及技术支持,协助企业提升特种设备安全管理水平^[19],更好地为公众提供法律、市场及道德要求之外的利益和应有的保护。例如:在医院等人员密集的公共场所组织电梯应急救援演练;向百姓普及安全乘梯、安全用气知识;提升各单位应急救援能力。

(4) 实施分类监管

分类监管是指在既有监管资源限定条件下,为缓解监察力量(人机资源)与现有特种设备数量不匹配、提高监察工作效率及有效性,突出监管重点,有效利用监管资源的一种监管模式^[19]。对于安全管理水平高、设备安全状况良好的使用单位,可以适当减少监管资源的分配,而对存在重大安全管理问题的使用单位,则需相应增加人力、物力等监管资源。实施分类监管不但可以合理配置有限的监管资源,还可以督促使用单位提高特种设备安全责任主体意识,提高安全管理水平,完善各项规章制度,进一步推进安全监察工作尽快适应设备市场快速增长、使用单位主体日益多元的变化,同时促进特种设备行业自治建设^[20]。

在允许第三方检验检测机构介入各地方市场监督管理局的行政区域特种设备检验检测工作的基础上,应考虑以购买服务的形式向社会公开招标,委托社会机构开展区内特种设备检验检测机构安全监督检查,以确保监察结果的客观性。

(5) 强化企业主体责任意识

夯实企业主体责任。督促使用单位建立健全安全管理制度,完善岗位职责,加强作业人员安全培训,制定特种设备专项应急预案并定期演练,做好设备的日常检查和维护,开展安全隐患自查自纠,及时整改消除风险。

运用现代互联网技术,将采用“链工宝 App”等在线学习软件进行常态化网络培训,培训内容包括但不限于:生产安全事故应急条例解读、安全生产应急预案、危险性分析与应急能力评估、应急演练、应急处置及事后恢复、危险化学品生产事故应急管理、安全生产双重预防机制理论方法等^[20]。

参考文献:

[1] 国家市场监督管理总局. 国家市场监督管理总局关于

- 2019年全国特种设备安全状况的通告[J]. 西部特种设备, 2020, 3(3): 10-13.
- [2] 刘稳, 荣传新, 段寅, 等. 基于灰色关联度的管幕冻结隧道开挖断面变形影响因素分析[J]. 安徽建筑大学学报, 2020, 28(6): 30-38.
- [3] 顾明华, 笕可宁. 基于GM(1,1)的化工企业生产事故预测[J]. 辽宁化工, 2020, 49(10): 1261-1265.
- [4] 庄小雄, 赵晓涛. 基于灰色系统模型的特种设备安全事故预测研究[J]. 中国电梯, 2020, 31(15): 56-59.
- [5] 杨国华, 颜艳, 杨慧中. GM(1,1)灰色预测模型的改进与应用[J]. 南京理工大学学报, 2020, 44(5): 575-582.
- [6] 郝会娟, 申商坤. 基于灰色GM(1,1)模型的建筑施工安全事故预测[J]. 中国建筑金属结构, 2020(9): 54-55.
- [7] 孙相博, 王岳. 基于改进灰色GM(1,1)模型的天然气负荷预测[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2019, 39(3): 52-57.
- [8] 史国军, 程毛林. 灰色GM(1,1)模型的拓展及其应用[J]. 苏州科技大学学报(自然科学版), 2019, 36(4): 11-16.
- [9] 张莹莹, 徐文科. 基于灰色GM(1,1)模型对黑龙江省粮食产量的预测[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2019, 35(3): 41-45.
- [10] 崔庆玲, 罗云, 崔刚, 等. 基于灰色理论的特种设备安全事故预测研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(5): 141-144.
- [11] 李丽, 李西灿. 灰色GM(1,1)模型优化算法及应用[J]. 统计与决策, 2019, 35(13): 77-81.
- [12] 许泽东, 柳福祥. 灰色GM(1,1)模型优化研究进展综述[J]. 计算机科学, 2016, 43(S2): 6-10.
- [13] Xu N, Dang Y G, Cui J. Comprehensive optimized GM(1,1) model and application for short term forecasting of Chinese energy consumption and production[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2015, 26(4): 794-801.
- [14] 曾亮. 基于振荡序列的灰色GM(1,1sin)模型及其应用[J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(6): 697-704.
- [15] 田雨冉, 陈星宇. 地级市政府政务信息公开的路径研究——以杭州市为例[J]. 今日财富, 2020(18): 153-154.
- [16] 马征. 提升政府信息公开满意度的路径探索[J]. 法制博览, 2020(16): 241-242.
- [17] 蒋跃飞. 桐乡市特种设备安全监管问题研究[D]. 上海: 华东政法大学, 2018.
- [18] 阮洪锋. M市特种设备安全政府监管问题研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [19] 卢平. 论特种设备监管工作中存在的问题与对策——以金华市武义县为例[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018.
- [20] 李文清. 我省特种设备安全现状与对策措施[J]. 江西化工, 2011(4): 33-35.