

郑明贵,刘丽珍,陶思敏,等.中国碳酸锂经济安全预警研究[J].盐湖研究,2024,32(2):117-126.

Zheng M G, Liu L Z, Tao S M, et al. Economic Security Warning of Lithium Carbonate in China[J]. Journal of Salt Lake Research, 2024, 32(2): 117-126.

DOI: 10.12119/j.whyj.202402014

中国碳酸锂经济安全预警研究

郑明贵^{1,2}, 刘丽珍^{1*}, 陶思敏¹, 彭群婷¹

(1. 江西理工大学经济管理学院, 江西 赣州 341000;

2. 中国科学技术大学管理学院, 安徽 合肥 230026)

摘要:为深入研究碳酸锂经济安全,文章从资源禀赋、进口依赖、获取成本和地缘政治四个维度出发,构建了中国碳酸锂经济安全评价指标体系,运用常权和变权模型评估了2009—2020年中国碳酸锂经济安全状况,采用GM(1,1)模型及BP神经网络模型对2021—2035年中国碳酸锂经济安全进行预警研究。结果表明:1. 进口集中度、对外依存度及运输风险是影响碳酸锂经济安全的主要因素;2. 2009—2020年中国碳酸锂经济安全总体呈下降趋势,安全等级由黄色—基本安全等级波动下降至橙色—不安全等级,资源禀赋和进口依赖是导致碳酸锂安全等级较低的主要原因;3. 2021—2035年中国碳酸锂经济安全评分不断下降,除2021年和2026年处于黄色—基本安全等级外,其余年份均处于橙色—不安全等级。

关键词:碳酸锂;经济安全;预警;GM(1,1)模型;BP神经网络

中图分类号:F416.1

文章标志码:A

文章编号:1008-858X(2024)02-0117-10

锂及其化合物是国民经济和国防建设的重要战略资源,广泛应用于锂电池、玻璃制造、陶瓷工业、润滑剂、原子能热核聚变(反应)等领域^[1]。我国已将锂列入战略性矿产资源,锂资源的开发利用已被作为国家战略列入“十四五”规划,贯穿了战略性新兴产业中的新一代信息技术、新材料、高端装备制造、生物、新能源和节能环保等多个领域。我国锂资源储量丰富,占全球储量的7.1%,但人均锂储量仅为世界平均水平的1/3左右。同时,受资源品位低、赋存环境差等因素制约,我国锂资源开发难度大、产量小^[2],资源自给率低,而碳酸锂作为锂资源消费的主体^[3],对外依存度长期高达70%左右,资源安全面临较大压力。同时,全球锂资源分布极不均匀,根据USGS调查数据,2021年智利、澳大利亚和阿根廷三个国家的锂资源储量占全球锂资源储量约75%。过于集中分布导致全球锂资源寡头供应格局,智利和阿根廷成为全球主要碳酸锂出口国,碳酸锂出口量占全球出口量约80%。全球碳酸锂的集中供应导致我国碳

酸锂进口也高度集中,长期以来,我国从智利和阿根廷进口的碳酸锂超过了总进口量的90%,导致资源防控和分散外部风险的难度大,碳酸锂进口安全缺乏保障。

近年来,随着新能源行业的快速发展,新能源设备、电动汽车和储能装备等对碳酸锂需求快速提升,我国碳酸锂消费量也快速增加。2021年我国碳酸锂消费量高达 30.34×10^4 t,较2009年的 2.17×10^4 t,增长了近14倍,成为世界第一大碳酸锂消费国。而根据《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》,我国新能源汽车销量要在2025年达到新车销售总量的20%,由此,我国对碳酸锂的需求将进一步加大。碳酸锂的安全保障成为我国战略性新兴产业可持续发展的关键。所以,对碳酸锂安全进行预警研究具有重要意义。

目前,国内外关于碳酸锂安全的研究主要聚焦在两个方面:一是从对外依存度^[4]、需求预测^[5-7]、开发利用分析^[8,9]等单一维度对其安全形势进行分析;二是通过构建指标体系对碳酸锂安全进行评价与预

收稿日期:2022-09-06;修回日期:2022-10-25

基金项目:国家社会科学基金项目(22XGL003)

作者简介:郑明贵(1978-),男,博士,教授,从事资源经济与管理研究。Email:mgz268@sina.com。

通讯作者:刘丽珍(1998-),女,硕士,研究方向:矿产资源经济与管理。Email:1302831612@qq.com。

警,如以资源开采、国内供需、进口市场、地缘政治为框架的安全评价指标体系^[10];以供需安全、生产成本、生产集中度、地缘政治、未来供需趋势为准则层的供应风险评价指标体系^[11];以资源安全、市场风险、地缘政治、军事安全为一级指标的供应安全评价指标体系^[12]。在安全预警方面,周娜^[13]在考虑全球供应稳定性、产业链各环节协同、国内安全与全球资源治理协同的基础上,构建了综合考虑国家意志与市场力量协同的锂资源产业链安全治理体系框架;袁小晶^[14]利用BGR-VM法,选取国内需求、国内供应和贸易环境三个维度,对碳酸锂供应风险进行了定量评价;范军^[15]从政策体系、市场机制、产业结构、对外依存度、自主创新能力以及可持续发展能力五个方面分析我国碳酸锂产业安全状况。综上可知,国内外对碳酸锂安全与预警的研究主要集中于供应安全评价与预警,鲜少考虑经济安全。

为了研究我国碳酸锂经济安全,本文从资源禀赋、进口依赖、获取成本和地缘政治四个维度构建了中国碳酸锂经济安全评价指标体系,运用常权及变权模型对2009—2020年中国碳酸锂经济安全进行了评价,通过对极端指标值影响进行强化,提高了评价结果的可靠性;采用GM(1,1)模型和BP神经网络模型对2021—2035年中国碳酸锂经济安全等级进行预警研究,并将部分指标预警值与2021年已公布实际值进行对比,误差较小,表明预警结果较为可靠,可以为未来风险预防措施制定及锂资源合理开发利用提供参考。

1 中国碳酸锂经济安全评价指标体系

构建矿产资源经济安全评价指标体系,首先要界定矿产资源经济安全的概念。从供求理论来看,矿产资源经济安全的本质在于供需矛盾分析,焦点在于均衡价格^[16]。已有研究主要围绕对经济发展的支撑作用、对各种因素侵袭的抵御能力和可持续利用三个方面展开^[17-19]:一是在开放的市场经济条件下,矿产资源对一国经济发展能够起到支撑作用;二是矿产资源在遭受自然和人为各种因素侵袭时,有足够的抵御能力;三是矿产资源在日益稀缺的情况下,依旧能够维持持续发展的状态。由此,本文将矿产资源经济安全的内涵界定为能够以合理的价格水平,稳定、充足、持续、及时地获取资源供应,以满足国民经济发展的需求。

1.1 指标体系的构建

基于我国锂资源禀赋条件差^[20-22]、对外依赖度高^[23],且受外部风险影响大^[2]等特点,并结合矿产资源经济安全的内涵,借鉴已有成果^[24-26],初步构建了我国碳酸锂经济安全评价指标体系。利用专家调查法,向矿山企业、设计院及高等院校的55名专家发放调查问卷,最终收回有效问卷49份。综合专家评价结果,最终选取了资源禀赋、进口依赖、获取成本、地缘政治4个一级指标,储采比、相对丰度、新增探明储量、对外依存度和进口集中度等9个二级指标,对我国碳酸锂经济安全进行评价,如表1所示。

表1 中国碳酸锂经济安全评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of economic security of lithium carbonate in China

一级指标	二级指标	测算方法	指标方向
资源禀赋	储采比	锂矿储量/锂矿产量	+
	相对丰度	国内人均储量/世界人均储量	+
	新增探明储量	当年储量—上年储量	+
进口依赖	对外依存度	碳酸锂年进口量/碳酸锂年消费量	—
	进口集中度	碳酸锂进口量排名前三的国家进口量之和/碳酸锂进口总量	—
获取成本	价格波动率	(当期碳酸锂年均价格—前期碳酸锂年均价格)/前期碳酸锂年均价格	—
	汇率	人民币对美元汇率(美元=100)(元)	—
地缘政治	国家风险	利用国家风险指数(GWB)经进口份额(PC _c)加权计算锂资源供应国整体风险,公式为: $CR = \sum (PC_c \times GWB)$	—
	运输风险	运输路程长短(L)及路途事故发生次数(T)经进口份额(P _i)加权计算,公式为: $PR = \sum P_i (W_1 L_i + W_2 T_i)$,其中:W ₁ 表示运输路程长短权重,W ₂ 表示路途事故发生次数所占权重,权重由熵权法计算得出。	—

表中的国家风险和运输风险两个指标计算方式如下。

(1)国家风险 参考郑人瑞等研究^[1],利用国家风险指数经进口份额计算锂资源供应国整体风险。数据来源于国际国别风险指南,包括政府稳定、社会经济环境、投资概要、内部冲突、外部冲突、腐败、政治中的军事、宗教紧张局势、法律与秩序、民族关系紧张、民主责任、官僚机构质量等12个子指标数据。根据所提供的12个子指标权重,计算各来源国国家风险,再经进口份额加权计算得到国家风险数据。

(2)运输风险 借鉴已有研究^[27],并结合数据的可获得性,采用运输路程长短及路途事故发生次数来衡量运输风险。本文从法国国际经济研究中心获取了各锂资源进口来源国至我国的运输距离,并从国际海事组织网站搜集了途经海域2009—2020年海上事故发生次数,利用熵权法计算出运输距离和路途事故发生次数的权重,通过加权计算各来源国的运输风险。最后,经进口份额加权计算得到各年份运输风险。

1.2 数据来源

2009—2020年锂资源储量数据来源于美国地质

调查局;中国人口、汇率数据来源于国家统计局;世界人口数据来源于联合国人口分局;碳酸锂价格、进口量数据来源于联合国商品贸易统计数据库(United Nations Commodity Trade Statistics Database);国家风险数据来源于国际国别风险指南(The International Country Risk Guide);运输距离、事故发生次数数据分别来源于法国国际经济研究中心(Centre d'études prospectives et d'informations internationales)和国际海事组织(International Maritime Organization)。

1.3 指标权重

在确定指标权重时,参考周航等做法^[28],采用组合赋权法,用熵值法确定客观权重,客观权重能够有效体现数据信息的优势;用德尔菲法确定主观权重,结合了专家丰富的经验知识,向高等院校、矿山企业及设计院55名专家发放意见征询表,共收回有效问卷49份。经过测算,我国碳酸锂经济安全评价指标权重如表2所示。在4个一级指标中,进口依赖占比最大,其次是资源禀赋,说明进口依赖和资源禀赋对我国碳酸锂经济安全影响更大。在各二级指标中,进口集中度、运输风险以及对外依存度的权重最大。

表2 中国碳酸锂经济安全评价指标权重

Table 2 Weight of China lithium carbonate economic security evaluation index system

一级指标	综合权重	二级指标	主观权重	客观权重	综合权重
资源禀赋	0.266	储采比	0.079	0.123	0.101
		相对丰度	0.068	0.064	0.066
		新增探明储量	0.085	0.113	0.099
进口依赖	0.301	对外依存度	0.174	0.176	0.126
		进口集中度	0.108	0.144	0.175
获取成本	0.190	价格波动率	0.101	0.087	0.094
		汇率	0.086	0.106	0.096
地缘政治	0.243	国家风险	0.092	0.112	0.102
		运输风险	0.117	0.165	0.141

1.4 指标分级

为了消除指标数量级和量纲对研究结果产生的影响,将二级指标分级量化至(0,10]。参考国际公认分级规则^[29],并结合已有研究^[30],得到指标分级规

则如表3所示。

1.5 预警等级划分

参考已有研究成果^[30],将碳酸锂经济安全评价与预警等级划分为五个等级,如表4所示。

表 3 中国碳酸锂经济安全指标分级规则

Table 3 Classification rules for economic safety indicators of lithium carbonate in China

分级	资源禀赋			进口依赖		获取成本		地缘政治	
	储采比	相对丰度	新增探明储量	对外依存度	进口集中度	价格波动率	汇率	国家风险	运输风险
0-2	<20	<20%	<5	≥60%	≥80%	≥40%	≥8.0	≥8.0	≥40
2-4	[20,30)	[20%,50%)	[5,10)	[50%,60%)	[60%,80%)	[30%,40%)	[7.5,8.0)	[7.0,8.0)	[38,40)
4-6	[30,40)	[50%,80%)	[10,15)	[40%,50%)	[40%,60%)	[20%,30%)	[7.0,7.5)	[6.0,7.0)	[36,38)
6-8	[40,50)	[80%,110%)	[15,20)	[30%,40%)	[20%,40%)	[10%,20%)	[6.5,7.0)	[5.0,6.0)	[34,36)
8-10	≥50	≥110%	≥20	<30%	<20%	<10%	<6.5	<5.0	<34

表 4 中国碳酸锂经济安全评价与预警等级划分

Table 4 Economic security assessment and early warning classification of lithium carbonate in China

划分标准	安全等级	预警颜色
(0,2)	很不安全	红色
[2,4)	不安全	橙色
[4,6)	基本安全	黄色
[6,8)	安全	蓝色
[8,10]	很安全	绿色

均衡函数为:

$$\sum_{\alpha}(x_1,\cdots,x_m)=\sum_{j=1}^m x_j^{\alpha}(\alpha>0)$$

变权公式为:

$$w_j(x_1,x_2,\cdots,x_m)=\frac{w_j^{(0)}x_j^{\alpha-1}}{\sum_{j=1}^mw_j^{(0)}x_j^{\alpha-1}}\tag{1}$$

式中, $w_j(x_1,\cdots,x_m)$ 表指标权重, α 表参数。式(1)中,当 $0<\alpha<1$ 时,为惩罚型变权公式;当 $\alpha=1$ 时,为常权公式;当 $\alpha>1$ 时,为激励型变权公式。

变权综合评价值为 V^* ,计算公式为:

$$V^*=\sum_{j=1}^mw_j(x_1,\cdots,x_m)x_i\tag{2}$$

2 2009—2020 年碳酸锂经济安全评价

2.1 评价模型

为了更好地评价我国碳酸锂经济安全,借鉴武强等的研究^[31],运用变权评价模型对指标权重做进一步调整。在变权模型中,指标权重随着极端值变动而调整。依据评价对象的变化情况,采用激励型或惩罚型变权,以达到强化或弱化极端值在计算中造成负面影响的目标。采用变权评估模型对 2009—2020 年我国碳酸锂经济安全进行评价的步骤如下:

映射:

$$w_j:(0,1)^m\rightarrow(0,1),(x_1,\cdots,x_m)\rightarrow s_j(x_1,\cdots,x_m)(j=1,2,\cdots,m)$$

满足归一性:
$$\sum_{j=1}^mw_j(x_1,\cdots,x_m)=1$$

连续性: $w_j(x_1,\cdots,x_m)$ 关于 x_k 连续;

惩罚性: $w_j(x_1,\cdots,x_m)$ 关于 x_k 单调递减。

2.2 综合评价结果

参考杨春风等^[32]研究,选取 $\alpha=1$ 进行常权评价,取 $\alpha=0.75$ 进行惩罚型变权评价。评价结果如表 5 所示。根据变权评价结果,2009—2020 年我国碳酸锂经济安全评价价值介于 3.27 ~ 4.45 之间,安全等级总体较低,主要由于资源禀赋差和进口依赖高导致。其中,2009—2013 年,除 2011 年受新增探明储量下降影响,安全等级下降至橙色—不安全等级外,碳酸锂经济安全等级均为黄色—基本安全等级,该时期碳酸锂价格稳定、汇率呈下降趋势,且国家风险减小;2014—2015 年,随着新能源产业的快速发展,碳酸锂产量迅速膨胀,储采比下降,加上碳酸锂价格波动变大,经济安全评分降低;2016—2017 年,我国从智利进口的碳酸锂份额下降,增加了从国家风险和运输风险更小的阿根廷的进口量,使我国碳酸锂经济安全等级提高;2018—2019 年,受汇率上升、储采

比下降和国家风险上升的共同影响,我国碳酸锂经济安全等级再次降为橙色—不安全等级;2020年,碳酸锂价格大幅下降,但由于新冠疫情影响,碳酸锂进口国国家风险上升,安全等级依旧较低,为橙色—不安全等级。

2.3 一级指标评价结果分析

一级指标评价更能直观地反映我国碳酸锂经济安全主要影响因素的变动情况。2009—2020年我国碳酸锂经济安全一级指标评价结果见图1所示。

表5 常权与变权评价结果对比

Table 5 Comparison of evaluation results between constant weight and variable weight

年份	经济安全评估值		安全等级		预警颜色	
	常权	变权	常权	变权	常权	变权
2009	5.01	4.32	基本安全	基本安全	黄色	黄色
2010	4.97	4.27	基本安全	基本安全	黄色	黄色
2011	4.37	3.74	基本安全	不安全	黄色	橙色
2012	4.58	4.07	基本安全	基本安全	黄色	黄色
2013	4.65	4.16	基本安全	基本安全	黄色	黄色
2014	4.28	3.74	基本安全	不安全	黄色	橙色
2015	4.47	3.88	基本安全	不安全	黄色	橙色
2016	4.86	4.18	基本安全	基本安全	黄色	黄色
2017	5.20	4.45	基本安全	基本安全	黄色	黄色
2018	3.92	3.27	不安全	不安全	橙色	橙色
2019	3.97	3.39	不安全	不安全	橙色	橙色
2020	4.48	3.91	基本安全	不安全	黄色	橙色

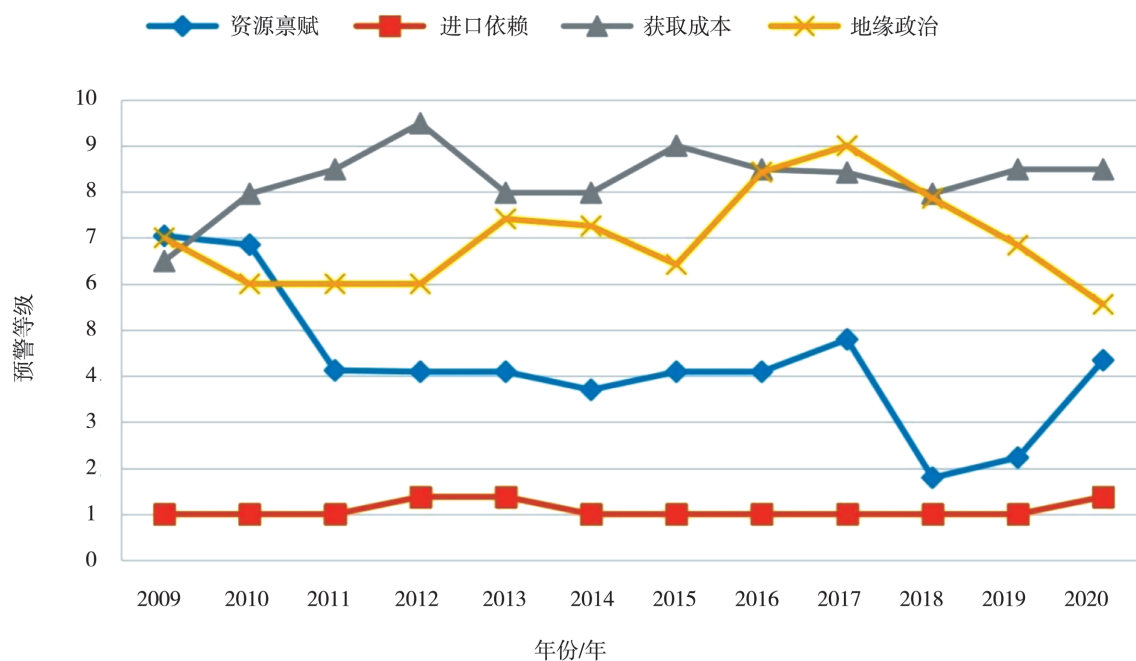


图1 2009—2020年中国碳酸锂一级指标评价趋势图

Fig. 1 Trend chart of primary index evaluation of lithium carbonate in China from 2009 to 2020

(1)资源禀赋分析 2009—2020年资源禀赋安全等级呈波动下降趋势,由蓝色—安全等级降为黄色—基本安全等级。其中,2018—2019年,受新增探明储量减少及产量持续增加影响,储采比不断下降,安全等级分别降为红色—很不安全等级和橙色—不安全等级。2009—2020年中国锂资源人均储量不到世界平均水平的40%,资源基础较为薄弱,也直接导致资源禀赋安全等级下降。

(2)进口依赖分析 2009—2020年进口依赖安全等级没有发生明显变化,一直处于红色—很不安全等级。长期以来,中国碳酸锂对外依存度高达70%左右,进口集中度更是超过90%,对外依存度、进口集中度居高不下,导致资源外部防控和分散风险的难度大,碳酸锂进口安全缺乏保障。

(3)获取成本分析 2009—2020年获取成本安全等级呈先上升后下降趋势。2009—2012年,碳酸锂价格稳定,且汇率下降,使获取成本安全等级不断提高,由蓝色—安全等级提高到绿色—很安全等级;2012—2020年,随着汇率上升以及碳酸锂价格的大幅波动,获取成本安全评分有所下降,但下降较为缓慢,安全等级依旧处于绿色—很安全等级。

(4)地缘政治分析 2009—2020年地缘政治安全等级呈先波动上升后下降趋势。2009—2017年,我国从智利进口碳酸锂份额减少,对国家风险更低的阿根廷进口量增加,加强了地缘政治安全,安全等级由蓝色—安全等级提高到绿色—很安全等级;2018—2020年,随着运输通道的复杂化,地缘政治风险受到影响,特别是2020年爆发的新冠疫情,致使国家风险上升,地缘政治安全等级降至黄色—基本安全等级。

3 2021—2035年碳酸锂经济安全预警分析

为研究碳酸锂经济安全未来变化趋势,以更好地寻找警兆、预估警情,对2021—2035年碳酸锂经济安全进行预警:即先对中国碳酸锂经济安全评价指标体系中的9个二级指标进行预测;再利用2009—2020年的样本数据及变权评价结果对BP神经网络系统进行训练;最后,将二级指标的预测值输入训练好的BP神经网络模型中,得到2021—2035年中国碳酸锂经济安全等级预警值。

3.1 预警模型

(1) GM(1,1)灰色预测模型

GM(1,1)灰色预测模型具有运算过程简便、所需信息量少等特征,对不确定系统的预测具有较大优势^[33,34]。运用GM(1,1)模型,对通过级比检验、适用于GM(1,1)模型的部分指标进行预测,步骤如下:

将原始数据 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ 通过一阶累加生成得到新的序列:

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$$

建立如下一阶线性微分方程:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + \alpha X^{(1)} = \mu \quad (3)$$

求待定系数 α 和 μ 取值:

$$(\alpha, \mu)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (4)$$

$$\text{其中: } B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} Y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

则预测模型的标准解为:

$$\hat{x}^{(1)} = \left(x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha} \right) e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha} \quad (5)$$

(2) BP神经网络模型

人工神经网络包含输入层、隐含层和输出层,是一种含有若干简单非线性联结或计算模块的系统,克服了传统评价方法的不足,评价结果能够真实地映射各分析指标间的非线性关系^[35]。其模型如下:

输入神经元(F):储采比、资源相对丰度、新增探明储量、进口集中度、对外依存度、价格波动率、汇率、国家风险和运输风险。

输出神经元(K):中国碳酸锂经济安全预警值(K_1)。

隐含层神经元数(n_h):

$$\frac{n_i + n_0}{2} < n_h < n_i + n_h \text{ 或 } n_h \leq \sqrt{n_i + (n_0 + 3) + 1} \quad (6)$$

其中, n_i 、 n_0 分别表示输入和输出神经元数。取 $n_h = 6$ 。

3.2 二级指标预测

针对二级指标的变化特点,选用合适法进行预测。对呈现趋势性变动的指标,先进行级比检验,检

验通过后,采用GM(1,1)模型进行预测,如世界锂资源储量、世界人口、中国人口,再采用平均相对误差及后验差比值检验GM(1,1)模型的有效性(表6)。

表6 预测精度结果表

Table 6 Prediction accuracy result table				%
二级指标	世界锂资源储量	世界人口	中国人口	
平均相对误差	6.008	0.088	0.174	

从检验结果来看,模型精度较高,满足要求。对呈周期性变动的指标,参考王保贤等^[35]做法,采用BP神经网络滚动法进行预测,如锂产量、锂消费量、运输风险、国家风险、价格和汇率。

表7 网络测试结果分析表

Table 7 Analysis table of network test results

项目	年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
中国碳酸锂经济安全	评价值	4.32	4.27	3.74	4.07	4.16	3.74	3.88	4.18	4.45	3.27	3.39	3.91
	预测值	4.42	4.18	3.95	3.91	4.10	3.92	3.82	4.25	4.61	3.13	3.24	3.84
	相对误差/%	2.32	-2.20	5.61	-4.03	-1.57	4.87	-1.62	1.57	3.65	-4.39	-4.23	-1.75

3.4 预警结果与分析

利用上述预测好的二级指标数据,对数据进行归一化处理后输入训练好的BP神经网络,预测出2021—2035年中国碳酸锂经济安全预警值(表8)。由表可知,2021—2035年中国碳酸锂经济安全等级预警值在3.12~4.37之间,除2021年和2026年处于黄色—基本安全等级外,其余年份均为橙色—不安全等级。其中,碳酸锂价格相比于2018—2020年的大幅下跌,在2021年疫情得以控制、市场经济活力恢

3.3 神经网络测试结果分析

利用2009—2020年样本数据对BP神经网络进行训练。按照神经网络训练要求,对输入和输出原始数据进行归一化处理。其次,将学习样本数目设置为12,输入层节点数设为9,输出层节点数为1。设定学习步数为10 000,学习速率为0.001,训练目标误差为0.001,对BP神经网络进行训练。最后,对训练好的神经网络系统进行测试,并将预测结果与变权评价结果进行对比,测试结果如表7所示。由表可知,训练后的BP神经网络系统对中国碳酸锂经济安全的预测输出值与实际值误差小,说明模型精度高,预测效果较为理想。

复的情况下趋于稳定,同时,碳酸锂进口国国家风险也因疫情的缓解而降低,使2021年碳酸锂经济安全等级得以提高。2026年,在总体来看,受储采比下降、对外依存度高、进口集中度高、国家风险上升的影响,2021—2035年中国碳酸锂经济安全风险较大。我国新能源汽车销量在2025年达到新车销售总量的20%,预计届时碳酸锂需求将进一步增加,将更多地依赖进口,应重点关注和提升进口来源国及运输通道的安全性。

表8 2021—2035年中国碳酸锂经济安全等级预警结果表

Table 8 Early warning results of economic security level of lithium carbonate in China from 2021 to 2035

年份	预警值	安全等级	预警颜色	年份	预警值	安全等级	预警颜色
2021	4.37	基本安全	黄色	2029	3.70	不安全	橙色
2022	3.98	不安全	橙色	2030	3.73	不安全	橙色
2023	3.65	不安全	橙色	2031	3.58	不安全	橙色
2024	3.51	不安全	橙色	2032	3.67	不安全	橙色
2025	3.90	不安全	橙色	2033	3.39	不安全	橙色
2026	4.12	基本安全	黄色	2034	3.28	不安全	橙色
2027	3.82	不安全	橙色	2035	3.12	不安全	橙色
2028	3.75	不安全	橙色				

3.5 进一步讨论

为了进一步检验本文预测结果的可靠性,利用2021年已公布的部分指标数据与本文预测结果进行对比。由表9可知,2021年碳酸锂价格、汇率、消费量、进口集中度、储量以及世界储量等指标预测值与实际值相对误差均在5%以内,说明预测结果较为科学可靠。另外,从碳酸锂消费来看,2021年我国碳酸锂消费较2020年增长了近21%,依旧保持着迅猛增长的势头,伴随着能源转型的迫切需要,未来几年我国碳酸锂需求还会进一步增加,对外依存度及价格还会继续攀升。

表9 预测结果与2021年部分实际指标数据对比表

Table 9 The forecast results were compared with some actual index data in 2021

指标	2021年实际值	2021年预测值	相对误差/%
价格(美元/KG)	6.940	6.610	-4.755
汇率(美元=100)(元)	645.200	656.510	1.752
进口集中度	0.991	0.974	-1.646
碳酸锂消费量(万吨)	30.340	29.200	-3.757
世界储量/万吨	2025.500	1967.300	-2.873
中国储量/万吨	150.000	149.600	-0.267

4 主要结论与政策建议

4.1 主要结论

(1) 构建了中国碳酸锂经济安全评价指标体系,利用组合赋权法对指标进行赋权。根据赋权结果,对外依存度、进口集中度以及运输风险对我国碳酸锂经济安全影响较大,其次是国家风险、储采比和新增探明储量。

(2) 运用常权和变权评价模型对碳酸锂经济安全及一级指标安全进行了评价。结果表明:2009—2020年我国碳酸锂经济安全由基本安全转至不安全,评价价值范围为3.27~4.45,安全等级整体较低,经济安全总体呈下降趋势;通过一级指标评价,发现资源禀赋和进口依赖是导致碳酸锂经济安全等级较低的主要原因。

(3) 运用GM(1,1)模型及BP神经网络模型预测2021—2035年中国碳酸锂经济安全二级指标值,结果表明各项二级指标预测精度均在合理范围内;

2021—2035年中国碳酸锂经济安全预警评价价值介于3.12~4.37之间,对比2009—2020年,安全评分进一步降低。

4.2 政策建议

根据上述研究结论,提出如下政策建议。

(1) 亟需增加锂资源可采储量。我国锂资源勘探潜力巨大,截止2020年,资源查明率仅25.4%,建议进一步加强锂资源地质勘探工作,加大勘查投入,以提高储采比,从根本上保障碳酸锂经济安全。同时,积极寻找替代资源,以缓解碳酸锂供应压力。

(2) 充分利用国际国内两个市场,进一步降低进口依赖。从国内来看,建议进一步提高碳酸锂供应能力。由于国内锂资源禀赋差,开发利用难度大,建议实施差别化税收优惠政策并提供适量研发补贴,促进我国锂资源特别是盐湖锂开采技术提高,以增加碳酸锂产量。从国际来看,建议进一步稳定海外碳酸锂获取渠道,一是继续加强与玻利维亚、智利、阿根廷等锂资源丰富国家合作,深入拓展锂资源开发合作项目;二是积极寻找新的碳酸锂供应国,以降低进口集中度;三是鼓励国内大型矿山企业积极参与全球碳酸锂竞争,促进海外锂矿投资和锂矿企业跨境并购,以提升海外权益矿供应比重,增强进口安全。

(3) 加强地缘政治安全。一方面,应注重国家风险防控,稳定并加强与碳酸锂供应国的合作关系,以防突发风险导致碳酸锂外部供应中断,并根据供应国风险大小和稳定程度适当调整进口份额,以降低国家风险。另一方面,应重点关注运输风险,尽量避免进口碳酸锂途径高风险海域;同时,完善运输安全保障措施,进一步提高应对和处理各类突发事件的能力,保障运输安全。

参考文献:

- [1] 蒋晨啸,陈秉伦,张东钰等.我国盐湖锂资源分离提取进展[J].化工学报,2022,73(2):481-503.
- [2] 李康,王建平.中国锂资源开发利用现状及对策建议[J].资源与产业,2016,18(1):82-86.
- [3] 撒兴昌,高天明,张艳.全球碳酸锂贸易格局与供应危机传播研究[J].地球学报,2023,44(2):341-350.
- [4] 周园园.中国锂资源供需形势及对外依存度分析[J].资源与产业,2019,21(3):46-50.
- [5] 张泽南,张照志,吴晴等.中国锂矿资源需求预测[J].中国矿

- 业,2020,29(7):9-15.
- [6] 周平,唐金荣,张涛.全球锂资源供需前景与对策建议[J].地质通报,2014,33(10):1532-1538.
- [7] 邢佳韵,彭浩,张艳飞等.世界锂资源供需形势展望[J].资源科学,2015,37(5):988-997.
- [8] 王学评,柴新夏,崔文娟.全球锂资源开发利用的现状与思考[J].中国矿业,2014,23(6):10-13.
- [9] 蔡艳龙,李建武.全球锂资源开发利用形势分析及启示[J].地球学报,2017,38(1):25-29.
- [10] 廖秋敏,孙明浩.“逆全球化”背景下中国锂资源供应安全评价[J].矿业研究与开发,2022,42(4):179-186.
- [11] 郑人瑞,唐金荣,周平等.我国锂资源供应风险评估[J].中国矿业,2016,25(12):30-37.
- [12] 屈金芝,张艳松,张艳等.新形势下中国锂矿资源供应安全评价[J].中国矿业,2021,30(12):1-7.
- [13] 周娜,吴巧生,薛双娇.新时代战略性矿产资源安全评价指标体系构建与实证[J].中国人口·资源与环境,2020,30(12):55-65.
- [14] 袁小晶,马哲,李建武.中国新能源汽车产业锂资源需求预测及建议[J].中国矿业,2019,28(8):61-65.
- [15] 范军.我国锂矿资源开发及产业发展策略研究[D].北京:中国地质大学,2016.
- [16] 王伯安,张德胜.中国石油经济安全评价指标体系设计[J].科学学与科学技术管理,2010,31(1):141-144.
- [17] 张吉军.论我国矿产资源经济安全[J].科技进步与对策,2005(3):44-46.
- [18] 沈镭,张红丽,钟帅等.新时代下中国自然资源安全的战略思考[J].自然资源学报,2018,33(5):721-734.
- [19] 田郁溟,据宜太,周尚国.我国战略矿产资源安全保障若干问题的思考[J].地质与勘探,2022,58(1):217-228.
- [20] 张苏江,崔立伟,孔令湖等.国内外锂矿资源及其分布概述[J].有色金属工程,2020,10(10):95-104.
- [21] 崔晓林.中国锂矿资源需求预测及供需分析[D].北京:中国地质大学,2017.
- [22] 后立胜,李效广,金若时等.中国盐湖卤水锂资源禀赋分析与策略建议[J].资源与产业,2016,18(5):55-61.
- [23] 雷晓力,胡永达,杜轶伦.我国锂供需形势分析及对策建议[J].中国矿业,2016,25(S1):25-26+51.
- [24] 龙如银,杨家慧.国家矿产资源安全研究现状及展望[J].资源科学,2018,40(3):465-476.
- [25] 余敬,高思宇,张龙.重要矿产资源安全评价的集成算法与实证[J].统计与决策,2017(6):59-61.
- [26] 李颖,陈其慎,柳群义等.中国海外矿产资源供应安全评价与形势分析[J].资源科学,2015,37(5):900-907.
- [27] 张大超,汪云甲.矿产资源安全评价指标体系研究[J].地质技术经济管理,2003(5):20-24.
- [28] 周航,廖昕,陈仕阔等.基于组合赋权和未确知测度的深埋隧道岩爆危险性评价——以川藏交通廊道桑珠岭隧道为例[J].地球科学,2022,47(6):2130-2148.
- [29] APERC.AQuest for Energy Security in the 21st Century[R]. Singapore: Asia Pacific Energy Research Centre, 2007.
- [30] 郑明贵,王萍,曾健林等.“十四五”时期中国天然气国家安全预警分析[J].天然气工业,2022,42(3):129-137.
- [31] 武强,李博,刘守强等.基于分区变权模型的煤层底板突水脆弱性评价——以开滦蔚州典型矿区为例[J].煤炭学报,2013,38(9):1516-1521.
- [32] 杨春风,任雁飞,王可意.基于惩罚-激励变权的TOPSIS法边坡安全评价模型[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(2):59-64.
- [33] 刘春平,黄宝燕,徐琼花.基于灰色预测模型的海南卫生总费用预测[J].统计与决策,2018,34(24):88-90.
- [34] 张可,钟秋萍,曲品品等.基于网络搜索信息的农村水环境质量灰色预测模型[J].中国管理科学,2020,28(6):222-230.
- [35] 王保贤,刘毅.基于灰色BP神经网络模型的人力资源需求预测方法[J].统计与决策,2018,34(16):181-184.
- [36] 吴巧生,周娜,成金华.战略性关键矿产资源供给安全研究综述与展望[J].资源科学,2020,42(8):1439-1451.
- [37] 周娜,吴巧生,薛双娇.新时代战略性矿产资源安全评价指标体系构建与实证[J].中国人口·资源与环境,2020,30(12):55-65.
- [38] 姜贞贞,刘高令,卓玛曲西等.我国锂资源供需现状下西藏盐湖锂产业现状及对策建议[J].盐湖研究,2021,29(3):104-110.

Economic Security Warning of Lithium Carbonate in China

ZHENG Minggu^{1,2}, LIU Lizhen^{1*}, TAO Simin¹, PENG Qunting¹

(1. *Research Center of Mining Development, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, 341000, China*; 2. *The School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China*)

Abstract: In order to further study the economic security of lithium carbonate, an evaluation index system was constructed for the economic security of lithium carbonate in China from four dimensions: resource endowment, import dependence, acquisition cost and geopolitics. The constant weight and variable weight models were used to evaluate the economic security of lithium carbonate in China from 2009 to 2020. The GM (1, 1) model and BP neural network model were used to study the economic security of lithium carbonate in China from 2021 to 2035. The results show that: (1) Import concentration, external dependence and transportation risk are the main factors affecting the economic security of lithium carbonate; (2) From 2009 to 2020, the economic safety of lithium carbonate in China showed a downward trend, and the safety level fluctuated from yellow-basic safety level to orange-unsafe level, The resource endowment the import dependence are the main reasons for the low level of resource security; (3) From 2020 to 2035, the economic security score of China's lithium carbonate continued to decline. Except for 2021 and 2026, which were in the yellow-basic safety level, the rest of the years were in the orange-unsafe level.

Key words: Lithium carbonate; Economic security; Early warning; GM (1, 1) model; BP neural network