

引用格式:宋明娟,张海亮,董洋.国际有色金属价格波动对中国产业链的传导机制与效应:基于双层复杂网络模型[J].资源科学, 2023, 45(4): 812-826. [Song M M, Zhang H L, Dong Y. Transmission mechanism and effect of international nonferrous metal price fluctuation to China's industrial chain: Based on a two-layer complex network model[J]. Resources Science, 2023, 45(4): 812-826.] DOI: 10.18402/resci.2023.04.11

# 国际有色金属价格波动对中国产业链的 传导机制与效应 ——基于双层复杂网络模型

宋明娟<sup>1,2</sup>, 张海亮<sup>1</sup>, 董 洋<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学管理与经济学院, 昆明 650500; 2. 大理大学数学与计算机学院, 大理 671000)

**摘 要:**【目的】从复杂系统的视角揭示国际有色金属价格波动对中国产业链的传导机制,对于防止经济运行风险进一步积聚具有现实意义。【方法】基于供给成本驱动角度分析国际有色金属价格波动传导过程,并构建滞后1—4期的双层复杂网络模型,将有色金属期货市场空间传导过程与产业链垂直传导过程进行连通分析,同时测算了有色金属价格波动对产业链的传导效应。【结果】①国际有色金属期货价格波动可以在短期内传导至国内产业链下游大部分行业。②价格波动传导过程中,初期和后期两个阶段发挥波动溢出者、中介者作用的有色金属关键期货种类或重点行业会发生变化。③有色金属价格上涨10%的情况下,中游行业随之上涨,而下游行业以下跌为主。上下游行业一直存在价格传导阻滞,上游行业成本压力并未得到有效释放。【结论】国际有色金属期货价格波动明显增加了国内有色金属产业链关联企业特别是下游企业的成本管控压力,要警惕有色金属价格传导受阻引发的输入型通胀风险。建议在有色金属价格发生较大波动时从前期、后期对有色金属关键期货种类和重点行业实施动态化监管,以及激励更多受有色金属价格波动影响的关联企业使用期货工具对成本进行管控。

**关键词:** 多层复杂网络; 有色金属; 产业链; 价格波动; 风险管理; 价格传导; 中国

DOI: 10.18402/resci.2023.04.11

## 1 引言

有色金属是经济和社会发展中必不可少的矿产资源,产业关联度高,经济带动力强,是建设制造强国的基石。2021年底中央经济工作会议提出“要正确认识和把握初级产品供给保障,正确认识和把握防范化解重大风险”。“十四五”时期是有色金属行业高质量发展的关键时期,面对经济全球化逆流和新冠肺炎疫情广泛影响,加上中国有色金属对外依存度较高、缺乏国际定价影响力且对全球资源控制力不足<sup>[1]</sup>,导致有色金属产业链容易受到外部冲击的影响。学者研究发现,国际金属价格冲击对中

国工业行业产出有消极影响<sup>[2]</sup>,还会对有色金属产业链关联企业成本产生较大影响<sup>[3]</sup>。以镍为例,中国90%以上的镍原材料依赖进口。2022年3月,国际镍金属期货价格大幅、快速上涨。镍价上涨已传导至新能源汽车电池和整车行业<sup>[4]</sup>,下游企业或因无法接受上游高价原料,采取减停产来应对<sup>[5]</sup>。由此可见,国际战略性金属矿产价格波动给中国金属产业产出带来了负面冲击<sup>[6]</sup>,最终对中国工业经济产生重大影响<sup>[7]</sup>。此外,国际大宗商品价格上涨给中国带来输入型通货膨胀压力<sup>[8]</sup>。因此,揭示国际有色金属价格波动在中国产业链中的传导机制,对于防

收稿日期: 2022-11-22 修订日期: 2023-03-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(72164021); 云南省省院省校教育合作人文社会科学研究项目(SYSX202004)。

作者简介: 宋明娟,女,云南昭通人,博士生,研究方向为矿产资源安全与风险管理。E-mail: smmgood@163.com

通讯作者: 张海亮,男,山西介休人,教授,博士生导师,研究方向为战略性资源安全、金融工程与风险管理。E-mail: zhhl-20@163.com

2023年4月

止经济运行风险进一步积聚具有重要的现实意义。

国内外学者对商品价格传导机制的研究较为成熟。纵观已有研究,商品价格传导关系可分为市场空间传导、产业链垂直传导以及两者综合传导三大类。市场空间传导包括不同产品在不同地区、不同市场之间的空间价格传导。对于产业链垂直传导,商品价格波动会沿着产业链条向上下游传导<sup>[3,9]</sup>。从研究方法来看,可以归纳为三大类:①计量模型。运用计量模型判定价格传导方向<sup>[10,11]</sup>,衡量价格冲击对产业链、经济的影响<sup>[6,12,13]</sup>。计量模型可以直观地衡量价格波动对产业链的影响,但是存在模型约束条件限制。②投入产出模型。利用投入产出表研究价格波动溢出效应<sup>[14,15]</sup>。投入产出模型在反映传导路径和行业间关联方面具有明显优势,但投入产出表更新慢,不能及时反映价格传导的新动态。③复杂网络模型。价格波动传导关系具有明显的复杂性特征,可以把价格传导看作一个“复杂系统”<sup>[16]</sup>。复杂网络不受模型约束条件的制约,通过分析网络结构特征可以有效地揭示价格传导特征,大量学者开始采用复杂网络模型分析价格波动溢出、传导<sup>[17-19]</sup>。

以上文献为本文的研究提供了丰富的理论和方法基础,但还存在以下不足:现有文献主要采用单层复杂网络模型单独考察空间传导或产业链传导<sup>[20]</sup>,较少文献将空间传导路径与产业链价格传导路径进行连通分析。在开放条件下,国内有色金属行业价格不仅受国内市场影响,还受到国际市场的影响,有必要将空间传导路径与产业链价格传导路径进行连通。单层复杂网络描述的是相同属性节点之间的单一关系,难以反映国际有色金属价格冲击对国内产业链传导的这一过程。而多层复杂网络由两个及其以上的单层网络组成,描述的是不同属性节点或相同属性节点不同类型的交互关系。例如,金属期货是一类节点,多种金属期货组成一个单层网络;行业是另一类节点,多个行业组成另一个单层网络。因此,本文通过构建双层复杂网络模型,将国际空间价格传导与产业链垂直价格传导进行连通分析,考察有色金属价格波动传导机制。同时,考虑价格传导的时滞性,正常情况下工业品从上游行业价格影响到下游产品价格平均要3个月

左右<sup>[21]</sup>。有学者通过Granger因果检验得到PPI对CPI存在滞后1—4期的线性传导,由此推测PPI对CPI向下传导的平均时滞为1~4个月<sup>[22]</sup>。因此,本文将基于滞后期为1—4的Granger因果检验分别构建4个不同滞后期的复杂网络,来考察国际有色金属价格波动在各行业中的动态传导特征。

## 2 理论分析

### 2.1 有色金属产业链界定

#### 2.1.1 有色金属产业的前向、后向关联产业

以有色金属产业的投入产出为纽带,有色金属价格波动会在与之有关联的行业中进行传导,从而对价格波动传播范围进行界定。本文借鉴吕云龙<sup>[14]</sup>的研究思路,利用《2020中国投入产出表》中有色金属行业产品的中间投入和中间使用的主要流向,对有色金属采选业的投入产出完全消耗系数、有色金属冶炼及压延业的投入产出完全分配系数进行计算,得到有色金属产业的前向、后向关联行业(图1)。为了便于分析,本文按照《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017)将153个行业合并为43个行业。考虑到相对其他产业,有色金属与工业联系更紧密,故在合并投入产出表时以工业部门为主,具体见表1。

投入产出完全分配系数计算结果表明,有14个工业部门与有色金属冶炼及压延业呈现较强的前向关联;投入产出完全消耗系数计算结果显示,有22个工业部门与有色金属矿采选业有较强的后向关联。需要注意的是,有色金属矿采选业、有色金属冶炼及压延业的前向、后向关联产业存在部分交叉重叠。对此,本文根据分配系数和消耗系数的大小比较来对其进行前向或后向关联产业分类。

#### 2.1.2 有色金属产业链的行业构成

有色金属价格波动在行业中的传导是通过有色金属产业链完成的。从投入产出关系来看,有色金属产业链是由采选业—冶炼业—加工业纵向延伸构成的产业链。根据有色金属采选业的投入产出完全消耗系数计算结果,有色金属矿采选业与电力、石油和煤炭、化学产品等基础原材料行业有着紧密的联系。因此,本文认为,有色金属原材料价格波动,其波动影响范围不应局限于有色金属矿采选业、有色金属冶炼和加工业及下游制造业等行

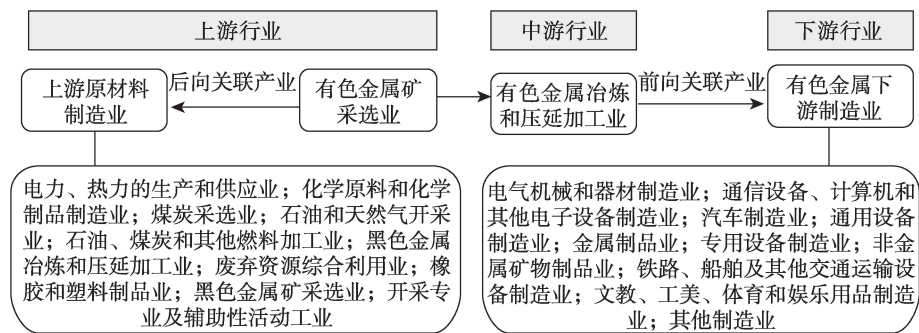


图1 有色金属产业链的行业构成

Figure 1 Industry composition of the nonferrous metal industrial chain

表1 投入产出模型的行业列表

Table 1 Industry list of the input-output model

类别	行业名称
工业	煤炭采选业,石油和天然气开采业,黑色金属矿采选业,有色金属矿采选业,非金属矿采选业,开采专业及辅助性活动工业,农副食品加工业,食品制造业,酒、饮料及精制茶制造业,烟草制品业,纺织业,纺织服装与服饰业,皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业,木材加工和制品业,家具制造业,造纸和纸制品业,印刷和记录媒介复制业,文教、工美、体育和娱乐用品制造业,石油、煤炭和其他燃料加工业,化学原料和化学制品制造业,医药制造业,化学纤维制造业,橡胶和塑料制品业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼和压延加工业,有色金属冶炼和压延加工业,金属制品业,通用设备制造业,专用设备制造业,汽车制造业,铁路、船舶及其他交通运输设备制造业,电气机械和器材制造业,通信设备、计算机和其他电子设备制造业,仪器仪表制造业,其他制造业,废弃资源综合利用业,金属制品、机械和设备修理服务业,电力、热力的生产和供应业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业
其他行业	农林牧渔产品和服务业,建筑业,服务业

业,还应该考虑上游生产过程中消耗的基础产品工业部门。

产业链是产业之间或企业之间基于一定的技术和经济关联、分工协作关系和供需关系而形成的一种链状结构。不同层面和不同角度呈现不同的表现形式。从宏观层面来看,是产业结构体系内各产业之间形成的前后向关系。对此,本文从广义角度将有色金属产业链界定为:上游原材料制造业(后向关联产业)→有色金属矿采选业→有色金属冶炼和压延加工业→下游制造业(前向关联产业)。其中,上游原材料制造业包括煤炭采选业、化学原料和化学制品制造业等14个工业行业;有色金属下游制造业是有色金属深加工及应用领域,包括电气机械和器材制造业、汽车制造业等10个工业行业。图1显示了以原材料投入为起点的有色金属产业链,有色金属价格波动也正是沿着此链条在行业间进行传导。

2.2 国际有色金属价格波动传导过程

本文将国际有色金属价格波动传导过程分为两个阶段:市场空间传导→产业链垂直传导。图2

列出了国际有色金属价格波动在产业链中的传导过程。

2.2.1 国际期货市场对国内期货市场的价格波动传导:市场空间传导

市场空间传导包括国际期货交易所内主要有色金属种类价格的联动性传导,国际期货市场有色金属期货价格对国内期货市场有色金属价格的传导,以及国内期货市场不同有色金属间的联动性传导3个方面。一般情况下,国际期货市场有色金属价格波动,国内期货市场有色金属也会同步发生变化,且不同金属种类间的价格也会相互影响,呈现跨市场、跨种类的传导关系。

2.2.2 国内期货市场对产业链的价格波动传导:产业链垂直传导

中国有色金属企业将期货价格作为原材料采购和产品销售等现货贸易活动的定价基准,即以期货价格为基准、现货升贴水报价为核心的“期现联动”现货定价方式,锁定成本。由此可见,产业链垂直传导过程是国内期货市场有色金属价格沿产业链从上游行业传导至下游行业,上游对下游存在价



2023年4月

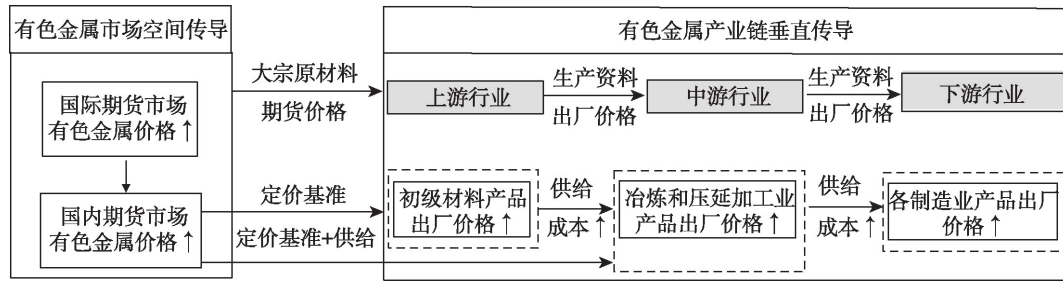


图2 国际有色金属价格波动的传导过程

Figure 2 Transmission process of international nonferrous metal price fluctuation

格传递效应<sup>[23]</sup>。其中,有色金属矿采选业产品出厂价格与其后向关联产业(上游原材料制造业)产品的价格呈双向传导关系。一方面,有色金属矿采选业的后向关联产业以消耗品的形式,通过价格变动将成本压力转移到有色金属矿采选业;另一方面,有色金属矿采选业的出厂价格反过来也会影响这些上游原材料制造业出厂价格。

值得注意的是,与一般商品的价格传导不同,国内有色金属期货价格可以直接影响有色金属中游行业产品出厂价格。有色金属中游行业以冶炼和压延加工为主,其原材料来源于有色金属矿采选业或有色金属期货交割。以铝为例,铝上游行业是铝土矿开采、选矿,中游行业是中间品氧化铝、电解铝、铝锭的生产及铝加工。目前上海期货交易所铝期货合约的实物交割品为铝锭。因此,有色金属期货价格不仅会影响上游有色金属矿采选业产品出厂价格,还会直接影响中游有色金属冶炼和压延加工业产品出厂价格。

基于以上分析,本文有色金属期货价格波动从上游向下游的供给成本驱动型传导方向为:国内有色金属期货价格→上、中游有色金属行业生产资料出厂价格→下游有色金属行业生产资料出厂价格。上、中游行业作为先行动主体,下游行业作为后行动主体,通过价格传导途径,使产业链中每一中间产品生产成本亦会上涨,最终推动末端产品价格的上升<sup>[3]</sup>。在市场成熟且自由的前提下,成本冲击沿着产业链的正向传导会很顺畅,上中下游行业的价格也会均衡地上涨<sup>[12]</sup>。

### 2.2.3 价格传导阻滞

由于工业生产需要一定的时间周期,加上有色

金属产业链较长,不同环节的行业价格调整非常粘滞,具有不同的传导时滞<sup>[12]</sup>。因此,产业链垂直传导过程存在明显的阻滞。价格阻滞(又称价格粘性)是指价格调整的非对称性,是通胀动态形成机制的微观基础<sup>[24]</sup>。具体表现为上游行业价格和下游行业价格调整不同步,导致下游产品价格没有随上游大宗原材料成本上涨而上升,产业链传导不通畅。上游向下游的价格传导时,由于有色金属矿石价格变化而影响上游行业成本增加,经过价格博弈后,有色金属加工企业才会消化原材料增加的成本,接受上游的价格传导。一般情况,需求侧主导的价格传导会相对通畅,而供给侧的价格传导路径则没有那么通畅<sup>[25]</sup>。

## 3 研究方法与数据来源

### 3.1 价格波动传导双层网络模型构建

本文构建的是加权有向的依存型多层复杂网络。依存型多层复杂网络由两个及以上的单层网络构成,不同单层网络的节点具有异质性<sup>[26]</sup>,它突破了节点和连边同质性的限制<sup>[27]</sup>。本文借鉴沈曦等<sup>[28]</sup>的研究,将构建的价格波动传导双层网络模型定义为一个三元组 $(G^M, G^C, \Theta^{MC})$ 的依存型多层网络, $G^M$ 、 $G^C$ 分别表示市场空间传导网络层、产业链垂直传导网络层的集合, $\Theta^{MC}$ 表示 $G^M$ 、 $G^C$ 两个网络层的映射关系。异质性节点、连边及边权值均用邻接矩阵表示。

其中,有色金属市场空间传导网络 $G^M$ 的结构如下:

$$G^M = (V^M, E^M, W^M) \quad (1)$$

式中: $V^M$ 为节点集合, $V^M = \{V_1^M, V_2^M, \dots, V_m^M\} = \{\text{伦敦铜, 伦敦铝, 伦敦铅, 伦敦锌, 伦敦镍, 伦敦锡, 沪}$

铜,沪铝,沪铅,沪锌,沪镍,沪锡},即期货商品集合; $E^M=\{e_{ij}^M|i,j=1,2,\dots,m;e_{ij}^M\in\{0,1\}\}$ 为边的集合,若节点*i*是节点*j*的Granger原因,说明节点*i*的价格波动可以传导到*j*,则 $e_{ij}^M=1$ ,否则 $e_{ij}^M=0$ ;  $W^M=\{w_{ij}^M|i,j=1,2,\dots,m\}$ 为边权集合, $w_{ij}^M$ 表示节点*i*与节点*j*的边权,反映节点间的价格传导强度,即一个产业价格波动对其他产业价格的影响程度。本文使用DY溢出指数作为连边权重。DY溢出指数是一种基于VAR模型的广义预测误差方差分解的溢出指数<sup>[29]</sup>,可以度量某一变量整体的溢出强度以及特定方向的溢出强度<sup>[30]</sup>。DY溢出指数越大,说明从节点*i*传导到节点*j*的传导强度越大。

有色金属产业链垂直传导网络 $G^C$ 的结构为:

$$G^C=(V^C,E^C,W^C) \quad (2)$$

式中: $V^C=\{V_1^C,V_2^C,\dots,V_n^C\}$ 为有色金属产业链上、中、下游各行业的节点集合; $E^C=\{e_{hk}^C|h,k=1,2,\dots,n;e_{hk}^C\in\{0,1\}\}$ 为边的集合,代表不同行业价格指数之间的传导关系,同样,若节点*h*是节点*k*的Granger原因,说明节点*h*的价格波动可以传导到*k*,则 $e_{hk}^C=1$ ,否则 $e_{hk}^C=0$ ;  $W^C=\{w_{hk}^C|h,k=1,2,\dots,n\}$ 为边的权重, $w_{hk}^C$ 表示节点*h*与节点*k*之间的边权,同样使用DY溢出指数作为连边权重。

各层节点之间是一一对或一对多的映射关系,用图3示例。假设有色金属市场空间传导网络层 $G^M$ 有4个节点,其中国际市场、国内市场各2个节点,节点间传导关系呈现跨市场、跨种类等特征;有色金属产业链垂直传导网络层 $G^C$ 包括上游行业2个节点,中游行业1个节点,下游行业2个节点。图3直观地反映了市场空间传导和产业链垂直传导两个网络层间的价格传导过程。该双层复杂网络是非重叠结构,传导方向为国际市场→国内市场→上、中游行业→下游行业,不同子网络层间以国内期货市场有色金属种类与产业链上游行业的传导关系为连接边,不存在重复节点。

### 3.2 价格波动传导双层网络特征分析指标

#### 3.2.1 节点重要性

参考徐凤等<sup>[31]</sup>的做法,通过计算每个节点在复杂网络中的度中心性、介数中心性、接近中心性、特征向量中心性,将两个子网络节点的4种中心度指

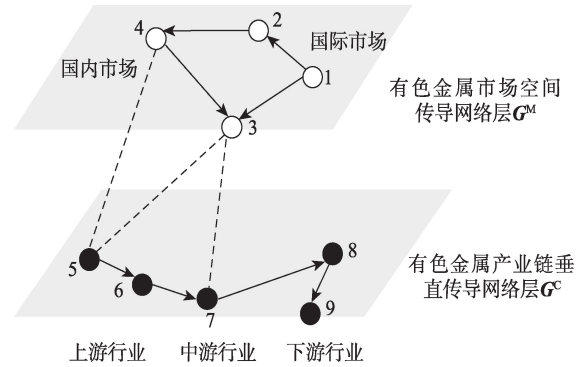


图3 价格波动传导双层网络示意图

Figure 3 Schematic diagram of the two-layer price risk transmission network

注:节点1—4属于有色金属市场空间传导网络层 $G^M$ ,其中:节点1—2代表国际市场某两种有色金属期货,节点3—4代表国内市场某两种有色金属期货,国际市场和国内市场节点的期货种类可以是对应或不对应关系;节点5—9属于有色金属产业链垂直传导网络层 $G^C$ ,其中:节点5—6代表有色金属上游行业,节点7代表有色金属中游行业,节点8—9代表有色金属下游行业。实线代表价格的传导方向,虚线表示不同网络层间的连边。

标值归一化后求和作为节点的综合中心度,综合评价节点的重要性。其中,度中心性与特征向量中心性用于识别重要节点,介数中心性、接近中心性分别衡量节点的中介性、网络中心位置程度。

#### 3.2.2 层间相关系数

层间相关系数大小能够反映子网络层的节点匹配性和层间关系的紧密程度。目前,多层网络不同网络层间的相关关系界定尚未统一,其中文献[31]考虑了不同网络层的异质性节点对及层间连边的边权。设加权双层网络中 $G^M$ 网络层和 $G^C$ 网络层间的相关系数为 $r_{MC}$ ,计算公式为:

$$r_{MC} = \frac{2 \sum_{i \neq j, h \neq k} \min\{w_{ij}^{[M]}, w_{hk}^{[C]}\} + w^{[Z]}}{w^{[M]} + w^{[C]} + w^{[Z]}} \quad (3)$$

式中: $w^{[M]}$ 和 $w^{[C]}$ 分别为 $G^M$ 层和 $G^C$ 层的总权重; $w^{[Z]}$ 为 $G^M$ 层和 $G^C$ 层之间所有层间连边的总权重; $w_{ij}^{[M]}$ 和 $w_{hk}^{[C]}$ 分别是 $G^M$ 层节点对(*i*, *j*)和 $G^C$ 层节点对(*h*, *k*)间的边权。

#### 3.2.3 节点溢出效应

除了识别重要节点,还要测度各节点的总溢出效应。由于网络边的权重为两个节点的DY溢出指数,反映了一个节点的溢出效应;而加权出度是节点指向其他节点连边权重之和。因此,在价格波动

2023年4月

传导双层网络中,加权出度反映了节点*i*价格波动对节点*j*的溢出效应。设 $w_{ij}$ 为节点*i*至节点*j*的连边权重,则节点*i*的总溢出效应为:

$$q_i = \sum_{i \neq j} w_{ij} \quad (4)$$

显然, $q_i$ 越大,表明在网络中节点*i*对其他节点波动溢出效应越大。

### 3.2.4 网络稳定性、价格传导通畅度

#### (1) 价格传导网络稳定性

借鉴Li等<sup>[32]</sup>的做法,由节点和边的稳定性共同计算网络的稳定系数,测量不同滞后期价格传导关系的稳定性。用 $S(t)$ 表示在*t*时刻网络的稳定性数, $S(t)$ 越大,网络的传导关系越稳定。 $S(t)$ 的计算公式如下:

$$S(t) = S_N(t) \times S_E(t), \quad t = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

其中:

$$\begin{aligned} S_N(t) &= \frac{\text{card}(N(t) \cap N(t-1))}{\text{card}(N(t) \cup N(t-1))}, \\ S_E(t) &= \frac{\text{card}(E(t) \cap E(t-1))}{\text{card}(E(t) \cup E(t-1))} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $S_N(t)$ 为*t*时刻双层网络节点的稳定系数; $S_E(t)$ 为*t*时刻双层网络边的稳定系数; $N(t)$ 、 $N(t-1)$ 分别为*t*时刻和*t-1*时刻双层网络中存在的节点(孤立节点除外); $E(t)$ 、 $E(t-1)$ 分别为*t*时刻和*t-1*时刻双层网络中存在的边; $\text{card}(N(t) \cap N(t-1))$ 为集合 $N(t)$ 和 $N(t-1)$ 交集的元素个数,表示在*t*时刻和*t-1*时刻一直存在的节点数;而 $\text{card}(N(t) \cup N(t-1))$ 为集合 $N(t)$ 和 $N(t-1)$ 并集的元素个数,表示在*t*时刻或*t-1*时刻存在的总节点数;同理适用于双层网络的边。

#### (2) 价格传导通畅度

本文基于复杂网络的拓扑结构,测算有色金属上游向中、下游传导过程中关键行业的价格传导通畅度。设节点*h*与节点*k*最短路径连边数为 $d_{hk}$ , $d_{hk} \in N$ 。节点*h*和节点*k*间的最短路径越小,那么其传导速度越快。因此,节点*h*与节点*k*之间的传导速度 $D_{hk}$ 计算公式为:

$$D_{hk} = \begin{cases} \frac{1}{d_{hk}}, & d_{hk} \neq 0 \\ 0, & d_{hk} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

将节点间的传导速度拓展到整个网络,则价格波动传导网络通畅度*T*的计算公式为:

$$T = \frac{1}{b} \sum_{h \neq k} D_{hk} \quad (8)$$

式中: $b$ 为行业节点对(*h*,*k*)的数量; $T \in [0, 1]$ ,当 $T=0$ 时,表示任意节点间无连边,价格传导完全不通畅; $T=1$ ,表示网络任意两节点间存在连边且最短路径长度均为1,价格传导完全通畅。

### 3.3 有色金属价格波动对产业链的传导效应测算模型

考虑价格传导阻滞,借鉴任泽平<sup>[33]</sup>创建的投入产出价格实际影响模型,测算有色金属价格上涨对关联行业出厂价格产生的影响。投入产出价格实际影响模型中的参数之一——成本传导能力 $ct_k$ ,是价格实际涨幅与价格理想涨幅的比例,用来衡量各行业向下游转嫁成本上涨的能力。 $ct_k$ 计算公式为:

$$ct_k = \frac{\Delta p_k}{\sum_{h=1}^n a_{hk} \Delta p_h} \quad (9)$$

式中: $ct_k$ 为行业*k*的成本传导能力; $\Delta p_k$ 为行业*k*的价格涨幅; $a_{hk}$ 为投入产出模型中的直接消耗系数。

通过成本传导能力对价格变动的潜在影响进行缩减,即可得到价格变动的实际影响。第*n*部门价格上涨 $\Delta p_n$ 引发其他商品或部门价格的变动幅度为:

$$\begin{bmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \vdots \\ \Delta p_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{n1}/c_{nn} \\ c_{n2}/c_{nn} \\ \vdots \\ c_{n,n-1}/c_{nn} \end{bmatrix} \Delta p_n \quad (10)$$

式中: $c_{nk}(k=1, 2, \dots, n-1)$ 为投入产出逆系数矩阵 $(I-A \cdot CT)^{-1}$ 中第*n*行第*k*列元素; $A$ 为直接消耗系数矩阵; $CT$ 为各行业成本传导能力系数的对角矩阵。

### 3.4 数据选取与预处理

本文选取伦敦期货交易所6种主要有色金属(铜、铝、铅、锌、镍、锡)3个月合约期货结算价代表国际市场价格,上海期货交易所以上6种有色金属3个月合约期货结算价代表国内市场价格。同时选取有色金属产业链26个工业行业的生产者出厂价格指数(PPI)代表有色金属产业链中上、中、下游行



业价格。为了实时反映当前的价格变动状况,采用月度环比价格指数。各行业生产者出厂价格指数来源于国家统计局,有色金属期货价格、美元兑人民币汇率数据来源于Wind数据库。考虑到数据可得性,样本时间为2013年2月—2022年4月。

对数据进行以下预处理:①采用平均值或近似值方法补充缺失值;②根据美元兑人民币月平均汇率,将伦敦期货交易所6种有色金属合约期货结算价单位转换为元/t;③采用X12季节调整法对期货价格和价格指数进行季节调整;④对经过以上步骤

处理后的数据进行一阶差分,得到期货价格、价格指数的波动数值;⑤再对一阶差分后的数据进行ADF检验,所有时间序列均拒绝原假设,即38个时间序列均为平稳序列。

## 4 结果与分析

### 4.1 价格波动传导双层网络特征

#### 4.1.1 双层网络拓扑结构特征

本文构建了滞后1—4期的价格波动传导双层网络,网络拓扑结构见图4。构建的双层网络节点总数为38,连边总数在120~148之间。图4显示,国

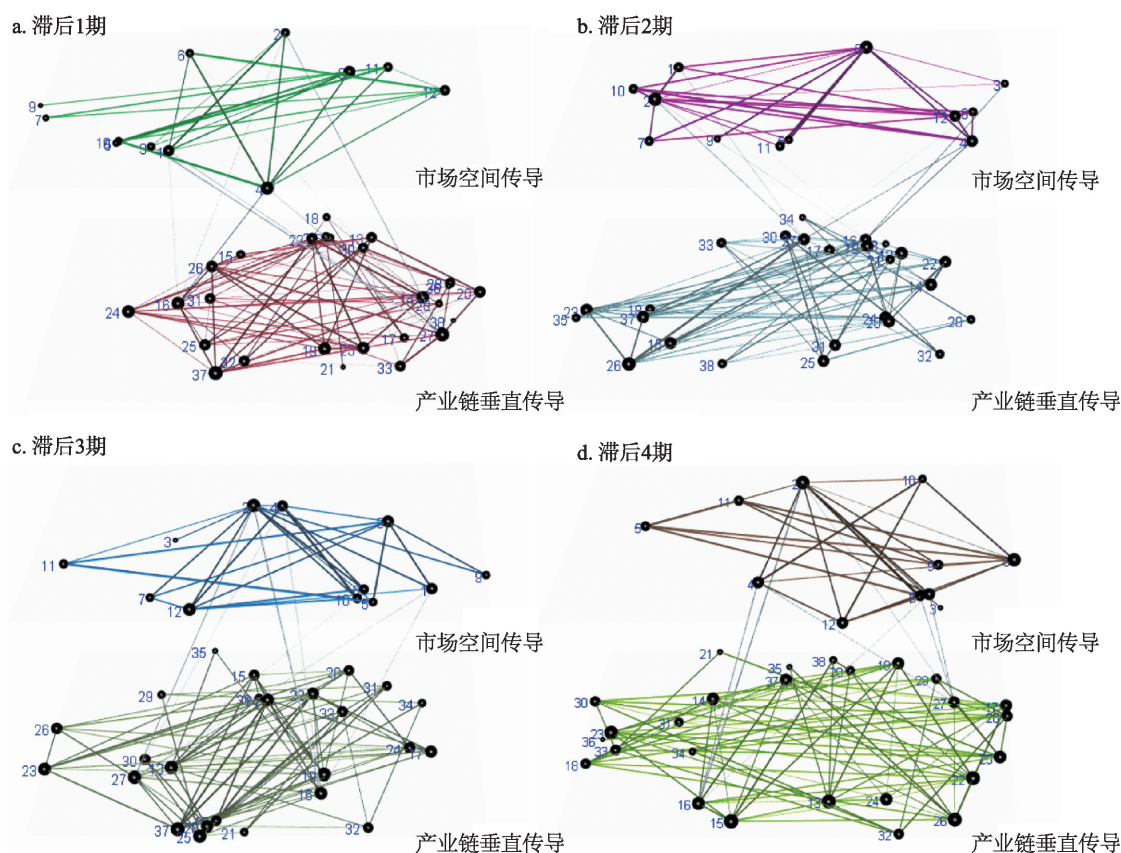


图4 不同滞后期的双层复杂网络拓扑结构图

Figure 4 Topological structure diagram of the two-layer complex network with different delay periods

注:黑色圆点表示节点,其大小表示该节点度的大小。1~38表示节点序号,含义依次为:1沪铜,2沪铝,3沪铅,4沪锌,5沪镍,6沪锡,7伦敦铜,8伦敦铝,9伦敦铅,10伦敦锌,11伦敦镍,12伦敦锡,13煤炭采选业,14石油和天然气开采业,15黑色金属矿采选业,16有色金属矿采选业,17开采专业及辅助性活动工业,18烟草制品业,19纺织业,20木材加工和制品业,21文教、工美、体育和娱乐用品制造业,22石油、煤炭和其他燃料加工业,23化学原料和化学制品制造业,24橡胶和塑料制品业,25非金属矿物制品业,26黑色金属冶炼和压延加工业,27有色金属冶炼和压延加工业,28金属制品业,29通用设备制造业,30专用设备制造业,31汽车制造业,32铁路、船舶及其他交通运输设备制造业,33电气机械和器材制造业,34通信设备、计算机和其他电子设备制造业,35仪器仪表制造业,36其他制造业,37废弃资源综合利用业,38电力、热力的生产和供应业。

2023年4月

际有色金属期货价格波动在滞后1期已传导至有色金属产业链的下游行业。这说明在考察国际有色金属价格冲击传导路径时,将空间传导路径和产业链垂直传导路径进行连通分析是合理的、必要的。不同滞后期的层间相关系数在0.609~0.636之间。这表明价格波动传导的两个子网络存在较强相关性,市场空间传导层与产业链传导层的节点匹配度较高,有色金属价格波动易对关联产业的出厂价格产生影响。

#### 4.1.2 价格波动传导关系的稳定性

表2结果显示,不同滞后期的节点稳定系数均在0.974及以上,进一步证明国际有色金属价格波动会很快传导至中国下游制造业。此外,滞后2期与滞后1期连边的稳定系数为0.576,表明这两个时刻有接近3/5的连边是重合的。其他时刻的连边稳定系数为0.675和0.696,表明网络连边的变化不大。结合图4来看,滞后1期的双层复杂网络结构反映了价格传导初期无序的状态,滞后2—4期价格传导关系基本达到平稳,这个阶段的复杂网络在一定程度上反映了价格传导后期的发展规律。

表2 不同滞后期的价格波动传导双层网络稳定系数

Table 2 Stability coefficient of the two-layer price risk transmission network with different lags

滞后期	节点稳定系数 $S_N(t)$	边的稳定系数 $S_E(t)$	网络稳定系数 $S(t)$
1→2	0.974	0.576	0.561
2→3	1.000	0.675	0.675
3→4	1.000	0.696	0.696

注:滞后期1→2表示滞后1、2期的双层网络,其他类似。

## 4.2 国际有色金属价格波动传导路径

### 4.2.1 价格波动传导重要节点

对节点的综合中心度进行排序,可以识别出滞后1—4期价格波动传导过程中16个重要节点(表3)。

由表3的综合中心度可知,有色金属市场空间传导网络层的重要节点有伦敦铝、伦敦锡、沪铝、沪铜、沪锌;产业链垂直传导网络层的重要节点分布于上中下游行业,上游行业包括石油和天然气开采业,煤炭采选业,化学原料和化学制品制造业,废弃资源综合利用业,纺织业,橡胶和塑料制品业,石油、煤炭和其他燃料加工业,黑色金属矿采选业,有

色金属矿采选业;中游行业包括有色金属冶炼和压延加工业;下游行业包括电气机械和器材制造业,金属制品业,专用设备制造业,通用设备制造业,汽车制造业等。

节点的溢出效应描述了该节点价格波动的溢出效应。市场空间传导过程中,不同滞后期内伦敦铝、伦敦锡对其他节点的波动溢出影响普遍大于沪铜、沪锌与沪铝,且沪铝的溢出效应随时间而递增。产业链垂直传导过程中,滞后1期废弃资源综合利用业,纺织业的波动溢出效应高于其他节点;除了纺织业,废弃资源综合利用业,滞后2期煤炭采选业,有色金属冶炼和压延加工业的波动溢出效应较大;滞后3期石油、煤炭和其他燃料加工业,废弃资源综合利用业,化学原料和化学制品制造业的溢出效应较大。滞后4期化学原料和化学制品制造业,石油、煤炭和其他燃料加工业,金属制品业的溢出效应较大。此外,电气机械和器材制造业,有色金属矿采选业,金属制品业的价格波动溢出效应均随滞后期的增加而增加。

### 4.2.2 价格波动主要传导路径

梳理以上重要节点的主要传导路径(表4),同时进一步识别出关键节点,包括网络的中心节点、中介节点。

结合图4、表4分析得到:①从整个价格波动传导过程看,在价格传导初期(即滞后1期),国际有色金属价格波动已传导至国内产业链下游大部分行业。②国际有色金属期货价格波动传导至上游行业,网络中心节点为伦敦铝、沪铝、沪锡,中介节点为沪铝、沪锌、沪铜。具体而言,伦敦期货交易所的铝合约价格主要通过沪铜、沪锌与沪铝影响上游行业价格,伦敦锡则主要通过上海期货交易所的铜、铝、锌期货合约进行价格传导。然后由沪铝、沪铜、沪锡传导至有色金属矿采选业,有色金属冶炼和压延加工业。③产业链垂直传导过程中,煤炭采选业,石油和天然气开采业,化学原料和化学制品制造业,废弃资源综合利用业,有色金属矿采选业,有色金属冶炼和压延加工业,电气机械和器材制造业,非金属矿物制品业,通用设备制造业,汽车制造业这10个节点发挥关键作用。具体来说,滞后1期



表3 价格波动传导双层网络的重要节点

Table 3 Important nodes of the two-layer price risk transmission network

滞后期	重要节点	综合中心度	溢出效应	滞后期	重要节点	综合中心度	溢出效应
1	沪锌	1.541	0.044	2	沪铝	2.994	0.202
	沪铜	1.083	0.043		沪锌	1.294	0.048
	伦敦铝	1.082	0.447		伦敦铝	1.684	0.545
	伦敦锡	0.837	0.249		伦敦锡	0.968	0.473
	有色金属冶炼和压延加工业	3.303	0.141		有色金属冶炼和压延加工业	3.130	0.235
	有色金属矿采选业	2.660	0.053		有色金属矿采选业	2.833	0.057
	废弃资源综合利用业	2.384	0.408		煤炭采选业	2.701	0.210
	橡胶和塑料制品业	2.368	0.032		石油和天然气开采业	2.560	0.130
	石油和天然气开采业	2.195	0.106		纺织业	2.518	0.293
	纺织业	2.009	0.234		非金属矿物制品业	2.483	0.141
	煤炭采选业	2.004	0.082		废弃资源综合利用业	2.396	0.224
	非金属矿物制品业	1.980	0.103		黑色金属矿采选业	2.371	0.167
	专用设备制造业	1.955	0.026		木材加工和制品业	2.321	0.082
	汽车制造业	1.924	0.030		橡胶和塑料制品业	2.105	0.030
	电气机械和器材制造业	1.873	0.042		汽车制造业	1.988	0.049
	金属制品业	1.804	0.113		专用设备制造业	1.890	0.113
3	沪铝	2.853	0.264	4	沪铝	2.380	0.271
	沪铜	1.228	0.106		沪锌	1.186	0.114
	伦敦铝	1.142	0.421		伦敦铝	1.002	0.376
	伦敦锡	0.980	0.457		伦敦锡	0.954	0.389
	有色金属冶炼和压延加工业	3.248	0.099		化学原料和化学制品制造业	3.023	0.283
	有色金属矿采选业	3.083	0.125		有色金属冶炼和压延加工业	2.716	0.124
	石油、煤炭和其他燃料加工业	2.972	0.383		黑色金属矿采选业	2.714	0.246
	非金属矿物制品业	2.685	0.120		石油和天然气开采业	2.669	0.147
	纺织业	2.586	0.277		非金属矿物制品业	2.494	0.213
	废弃资源综合利用业	2.526	0.370		废弃资源综合利用业	2.452	0.230
	黑色金属矿采选业	2.333	0.282		有色金属矿采选业	2.451	0.208
	化学原料和化学制品制造业	2.200	0.308		煤炭采选业	2.097	0.302
	煤炭采选业	2.188	0.327		石油、煤炭和其他燃料加工业	2.056	0.250
	电气机械和器材制造业	2.137	0.145		通用设备制造业	1.726	0.163
	金属制品业	2.110	0.122		金属制品业	1.489	0.355
	专用设备制造业	1.768	0.100		专用设备制造业	1.419	0.056

的网络中心节点为有色金属冶炼和压延加工业,电气机械和器材制造业,金属制品业,非金属矿物制品业,汽车制造业;中介节点为煤炭采选业,有色金属矿采选业,非金属矿物制品业,废弃资源综合利用业,汽车制造业;滞后2—4期的网络中心节点发生些许变化,中心节点变为黑色金属冶炼和压延加工业,有色金属冶炼和压延加工业,电气机械和器材制造业,通用设备制造业,非金属矿物制品业;中介节点为石油和天然气开采业,废弃资源综合利用

业,有色金属矿采选业,有色金属冶炼和压延加工业,非金属矿物制品业。

4.3 国内有色金属产业链价格传导通畅性

除了识别传导路径,本文还关注有色金属产业链上中下游传导的通畅程度如何。因此,借助网络结构,根据公式(8)分别测度了上游至中游、中游至下游以及上游至下游的价格传导通畅度,通畅度越高,传导阻滞程度越弱。

由表5可知,有色金属上游行业至中游行业(有

表4 国际有色金属价格波动至产业链的主要传导路径

Table 4 Main transmission pathways of international nonferrous metal price fluctuation to the industrial chain		
关键节点	价格波动传导主要路径	路径出现的滞后期
伦敦铝	伦敦铝→沪铜/沪铝/沪锌	1, 2, 3, 4
伦敦锡	伦敦锡→沪铝	2, 3, 4
	伦敦锡→沪铜/沪锌/沪锡	1, 2, 3, 4
沪铝	沪铝→沪锌/沪铜/沪铅	1, 2, 3, 4
	沪铝→有色金属矿采选业/有色金属冶炼和压延加工业	1, 2, 3, 4
沪铜	沪铜→沪铝	2, 3, 4
	沪铜→有色金属矿采选业/有色金属冶炼和压延加工业	1, 2, 3, 4
沪锡	沪锡→沪锌	1, 2, 3, 4
	沪锡→沪铝	2, 3, 4
	沪锡→有色金属冶炼和压延加工业	1, 2, 3, 4
有色金属矿采选业	有色金属矿采选业→石油和天然气开采业	1, 2, 4
	有色金属矿采选业→有色金属冶炼和压延加工业	3, 4
	有色金属矿采选业→黑色金属矿采选业/非金属矿物制品业	1, 2, 3, 4
石油和天然气开采业	石油和天然气开采业→开采专业及辅助性活动工业/烟草制品业/废弃资源综合利用业	1, 2, 3, 4
	石油和天然气开采业→黑色金属冶炼和压延加工业/有色金属冶炼和压延加工业	2, 3, 4
	石油和天然气开采业→有色金属矿采选业	1, 3
化学原料和化学制品制造业	化学原料和化学制品制造业→有色金属矿采选业	1, 2
	化学原料和化学制品制造业→石油和天然气开采业/纺织业/木材加工和制品业/橡胶和塑料制品业/废弃资源综合利用业	1, 2, 3, 4
废弃资源综合利用业	废弃资源综合利用业→有色金属矿采选业	1, 2, 3, 4
	废弃资源综合利用业→石油和天然气开采业/橡胶和塑料制品业/有色金属冶炼和压延加工业	1, 2, 3, 4
	废弃资源综合利用业→开采专业及辅助性活动工业	2, 3, 4
有色金属冶炼和压延加工业	有色金属冶炼和压延加工业→非金属矿物制品业/金属制品业/电气机械和器材制造业	1, 2, 3, 4
	有色金属冶炼和压延加工业→专用设备制造业	1, 2
黑色金属冶炼和压延加工业	黑色金属冶炼和压延加工业→有色金属矿采选业	1, 2
	黑色金属冶炼和压延加工业→石油和天然气开采业/废弃资源综合利用业	1, 2, 3, 4
	黑色金属冶炼和压延加工业→纺织业/化学、原料和化学制品制造业/橡胶和塑料制品业	1, 3, 4
电气机械和器材制造业	电气机械和器材制造业→汽车制造业/专用设备制造业/铁路、船舶及其他交通运输设备制造业	1, 2, 3, 4
	电气机械和器材制造业→非金属矿物制品业	3, 4
非金属矿物制品业	非金属矿物制品业→通用设备制造业/专用设备制造业/汽车制造业	1, 2, 3, 4
	非金属矿物制品业→电气机械和器材制造业	2, 3, 4

表5 有色金属产业链价格传导通畅度

Table 5 Smoothness of price transmission in the nonferrous metal industrial chain					
价格传导过程	滞后期	通畅度	价格传导过程	滞后期	通畅度
上游至中游	1	0.550	中游至下游	1	0.750
	2	0.572		2	0.700
	3	0.602		3	0.650
	4	0.580		4	0.650
上游至下游	1	0.330	—	—	—
	2	0.435			
	3	0.469			
	4	0.441			

色金属冶炼和压延加工业)的通畅度在0.550~0.602之间。值得注意的是,价格传导初期有色金属矿采

选业并未传导至中游,到滞后3期才传导至有色金属冶炼和压延加工业,说明该环节存在价格传导阻滞。相对上游到中游的通畅度,中游到下游行业的通畅度较高,可能出现价格传导阻滞的环节有:①中游行业至通信设备、计算机和其他电子设备制造业的传导。仅以专用设备制造业为媒介进行传导,传导路径很少,易受到国际市场价格波动的冲击。②中游行业至铁路、船舶及其他交通运输设备制造业的传导。在滞后1—2期铁路、船舶及其他交通运输设备制造业与下游其他节点关联性较弱,且传导路径较长。整体来看,上游至下游的价格传导通畅程度一般,存在价格传导阻滞。

对于价格传导阻滞,可以用Menzly等<sup>[34]</sup>和Sharifkhani等<sup>[35]</sup>提出的“行业信息分割”观点来解释。以有色金属矿采选业未传导至有色金属冶炼和压延加工行业为例,矿采选业是冶炼和压延加工行业的主要供应商,且供应渠道较为单一、可替代性弱,对矿采选业的价格冲击会沿着客户—供应商交易网络结构传播,由于行业在信息上被分割或者信息不对称,冶炼和压延加工企业会延迟响应这一消息,最终价格波动信息被延迟纳入到出厂价格中。

4.4 有色金属价格波动对各行业的影响

依据价格波动传导双层网络模型,国内有色金属期货价格会直接影响有色金属矿采选业、有色金属冶炼和压延加工业。通过有色金属矿采选业、有

色金属冶炼和压延加工业的价格波动传导路径确定了其关联行业。然后基于《2020年全国投入产出表》,利用公式(9)和(10)测算了有色金属价格上涨对关联行业价格水平的影响(表6)。表6结果显示,有色金属矿采选业价格波动影响较大的行业主要是有色金属冶炼和压延加工业,黑色金属矿采选业,非金属矿物制品业,石油、煤炭和其他燃料加工业,橡胶和塑料制品业,电气机械和器材制造业等,有色金属价格上涨10%,这些行业价格涨跌幅度在1%以上。相比有色金属矿采选业,有色金属冶炼和压延加工业价格波动对下游行业的影响较大,排名前9位的行业涨跌幅度均在4%以上。但二者价格变动均以下跌为主。

表6 有色金属价格上涨10%对主要关联行业的影响  
Table 6 Impact of 10% rise in non-ferrous metal prices on prices of related industries

有色金属矿采选业					
序号	关联行业	涨幅/%	序号	关联行业	涨幅/%
1	有色金属冶炼和压延加工业	6.699	9	黑色金属冶炼和压延加工业	0.660
2	黑色金属矿采选业	-5.278	10	通用设备制造业	-0.649
3	非金属矿物制品业	-1.970	11	金属制品业	-0.639
4	石油、煤炭和其他燃料加工业	-1.430	12	汽车制造业	-0.567
5	橡胶和塑料制品业	1.295	13	通信设备、计算机和其他电子设备制造业	-0.573
6	电气机械和器材制造业	-1.220	14	石油和天然气开采业	0.505
7	电力、热力的生产和供应业	0.699	15	纺织业	-0.477
8	化学原料和化学制品制造业	-0.673	16	铁路、船舶及其他交通运输设备制造业	0.431

有色金属冶炼和压延加工业					
序号	关联行业	涨幅/%	序号	关联行业	涨幅/%
1	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	9.305	6	汽车制造业	-7.925
2	通信设备、计算机和其他电子设备制造业	-9.042	7	非金属矿物制品业	-6.988
3	其他制造业	8.548	8	铁路、船舶及其他交通运输设备制造业	5.589
4	通用设备制造业	-8.544	9	金属制品业	-4.624
5	电气机械和器材制造业	-8.281	10	专用设备制造业	0.185

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文从理论和实证层面研究了国际有色金属价格波动传导机制与效应。理论上,将国际有色金属价格波动传导过程分为市场空间传导和产业链垂直传导两个阶段,并分析不同阶段的价格波动传导机制。实证上,考虑价格传导时滞性,分别构建滞后1—4期的价格波动传导双层复杂网络模型,将

市场空间传导过程和产业链垂直传导过程进行连通,从复杂系统这一新的视角探讨了各环节间价格波动传导特征与效应。研究表明:

(1)国际有色金属价格传导初期,无论是市场空间传导过程还是产业链垂直传导过程,各环节间的传导关系还未稳定,国内有色金属行业对国际有色金属期货价格波动这一信息还处于价格博弈状态。随着价格波动信息被有色金属行业延迟响应



2023年4月

后,后期的价格传导关系达到了相对稳定。

(2)国际有色金属价格波动在短期内可以快速传导至国内产业链下游大部分行业。在价格波动传导初期,伦敦铝、沪铝、有色金属冶炼和压延加工业、电气机械和器材制造业、非金属矿物制品业发挥了“中心”作用,沪铝、沪锌、沪铜、煤炭采选业、有色金属矿采选业、非金属矿物制品业、废弃资源综合利用业、汽车制造业则发挥了重要的“中介”作用。此外,有色金属矿采选业价格波动并未直接传导至有色金属冶炼和压延加工业,而是通过上游原材料行业向中、下游行业进行价格波动传导,存在价格传导阻滞。

(3)到了价格波动传导后期,有色金属价格传导关系变得愈加复杂。首先,国际有色金属价格波动传导到产业链上游行业的过程中,伦敦铝、伦敦锡均发挥了“中心”作用且有较大的溢出效应,同时沪铝、沪铜、沪锡发挥了“中介”作用。其次,产业链垂直传导过程中,黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、电气机械和器材制造业一直发挥“中心”作用,石油和天然气开采业、废弃资源综合利用业、有色金属矿采选业则发挥“中介”作用。值得注意的是,上游原材料行业与有色金属矿采选业呈现双向的传导关系。最后,上游至下游的通畅度一般,中游至下游中某些环节还存在价格阻滞,可能是由行业信息分割或信息不透明引起。

(4)受有色金属价格波动影响较大的行业主要是黑色金属、能源等上游行业,以及通用设备制造业等下游行业。相对而言,有色金属矿采选业对其后向关联行业(上游原材料制造业)影响较大,而有色金属冶炼和压延加工业对有色金属下游行业影响较大,且下游行业价格水平大多是反向变动,即没有同上游行业价格上涨而上涨。这进一步表明,上游行业成本压力并未通过下游行业得到释放,通胀风险在不断积聚。

## 5.2 政策建议

结合上述研究结论,本文提出一些建议以加强有色金属价格管理。

(1)当国际有色金属价格发生较大波动时,管

理部门前期不仅要关注有色金属上游行业产品价格波动,也要关注其对下游行业的影响;后期要警惕有色金属价格波动从上游向下游传导不畅通引起的通胀风险,且有必要采取预防性措施来纾解传导阻滞问题,比如构建具有权威性、全面性的有色金属交易信息披露制度和平台,最大限度地提高有色金属市场信息披露的透明度,缓解行业信息分割问题。

(2)对有色金属关键期货种类、重点行业产品价格实施动态化监管。可根据有色金属价格传导初期和后期波动溢出者、中介者的期货种类或行业,从前期和后期两个阶段实施动态化监管。对以波动溢出为主的行业,如有色金属冶炼和压延加工业,应密切关注价格变动走势;对既易受其他行业价格波动影响又易影响其他行业、处于波动传导中介地位的行业,如石油、煤炭和其他燃料加工业,应密切关注并及时发布价格波动风险预警。

(3)激励有色金属关联企业运用期货工具管理价格波动风险。国际有色金属期货价格波动加大了国内有色金属关联企业的成本管控压力。相关部门可以激励更多有色金属企业,尤其是下游企业,使用期货工具管理价格波动风险,实现整个有色金属产业链成本可控,减少国际有色金属价格波动的冲击。

## 参考文献(References):

- [1] 杨宜勇, 刘方. 新时代确保有色金属保供稳价长治久安的经验 and 对策[J]. 经济与管理评论, 2022, 38(1): 130-136. [Yang Y Y, Liu F. Experience and countermeasures of ensuring supply and price stability and long-term stability of non-ferrous metals in the new era[J]. Review of Economy and Management, 2022, 38(1): 130-136.]
- [2] 高川, 黄健柏, 谌金字, 等. 产业链视角下国际金属价格冲击的行业传导效应[J]. 中南大学学报, 2018, 25(12): 2929-2943. [Gao C, Huang J B, Chen J Y, et al. Industrial transmission effect of international metal price shocks in perspective of industry chain [J]. Journal of Central South University, 2018, 25(12): 2929-2943.]
- [3] 刘健, 胡贤海, 闵中月, 等. 大宗商品价格波动对经济运行的影响研究: 基于安徽省的实证分析[J]. 价格理论与实践, 2021, (8): 42-49. [Liu J, Hu X H, Min Z Y, et al. Study on the impact of commodity price fluctuation on economic operation: Empirical

- analysis based on Anhui Province[J]. Price: Theory & Practice, 2021, (8): 42–49.]
- [4] 姬晓婷. 镍价走高或影响新能源汽车电池技术方向[N]. 中国电子报, 2022–03–25(08). [Ji X T. Higher Nickel Prices May Affect the Direction of New Energy Vehicle Battery Technology[N]. China Electronic News, 2022–03–25(08).]
- [5] 梅双. 实探风暴眼中的青山控股 多家A股公司回应影响[N]. 证券时报, 2022–03–10(A06). [Mei S. Detecting Tsingshan Holdings in the Eyes of the Storm, Many A-Share Companies Responded to the Impact[N]. Securities Time News, 2022–03–10(A06).]
- [6] 钟美瑞, 宋婉婷. 战略性金属矿产价格冲击对行业产出的影响: 基于TVP-FAVAR模型的时变分析[J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1580–1591. [Zhong M R, Song W T. Impact of strategic metal price shocks on industrial output: Time-varying analysis based on the TVP-FAVAR model[J]. Resources Science, 2020, 42(8): 1580–1591.]
- [7] 王德运, 黄玉琴, 成金华, 等. 有色金属价格波动的溢出效应: 源自中国工业经济多个不同阶段的非线性分析[J]. 工业技术经济, 2021, 40(6): 126–133. [Wang D Y, Huang Y Q, Cheng J H, et al. The spillover effects of nonferrous metal price fluctuations: A nonlinear analysis of China's industrial economy at different stages[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2021, 40(6): 126–133.]
- [8] 刘金全, 刘悦. 输入型通货膨胀的结构性传导与行业异质性[J]. 中央财经大学学报, 2022, (5): 99–108. [Liu J Q, Liu Y. The structural transmission and industry heterogeneity of imported inflation[J]. Journal of Central University of Finance & Economics, 2022, (5): 99–108.]
- [9] Zhong M R, He R F, Chen J Y, et al. Time-varying effects of international nonferrous metal price shocks on China's industrial economy[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2019, DOI: 10.1016/j.physa.2019.121299.
- [10] 谭莹, 张俊艳. 国际饲料粮期货市场对中国猪价动态传递效应研究[J]. 金融经济研究, 2021, 36(3): 142–160. [Tan Y, Zhang J Y. The dynamic transmission effect of international feed grain futures markets on domestic hog prices[J]. Financial Economics Research, 2021, 36(3): 142–160.]
- [11] 沈俊杰, 黄书培. 国际铜价波动对中国工业经济的结构性冲击: 基于MSVAR和TVP-SVAR-SV模型[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 994–1008. [Shen J J, Huang S P. Structural shocks of international copper price fluctuation on China's industrial economy: Based on MSVAR and TVP-SVAR-SV models[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 994–1008.]
- [12] 谌金字, 朱学红. 产业链视角下结构性有色金属价格冲击的行业传导效应[J]. 运筹与管理, 2018, 27(11): 95–104. [Chen J Y, Zhu X H. Research on the industrial transmission effects of structural nonferrous metal price shocks in the perspective of industry chain[J]. Operations Research and Management Science, 2018, 27(11): 95–104.]
- [13] 罗翔, 李政, 赖丹. 稀土矿产品价格波动对稀土产业链延伸的影响[J]. 价格月刊, 2022, (10): 28–36. [Luo X, Li Z, Lai D. Impact of price fluctuation of rare earth minerals on the extension of rare earth industry chain[J]. Prices Monthly, 2022, (10): 28–36.]
- [14] 吕云龙. 大宗商品价格波动传导效应: 基于投入产出价格模型的分析[J]. 上海经济研究, 2022, (2): 105–114. [Lv Y L. Research on the transmitting effect of commodity price fluctuation: Analysis based on input-output price model[J]. Shanghai Journal of Economics, 2022, (2): 105–114.]
- [15] 吕炜, 高帅雄, 周潮. 供给侧结构性改革加剧价格波动吗?[J]. 中国工业经济, 2017, (8): 5–24. [Lv W, Gao S X, Zhou C. Does structural reform of the supply front intensify the price fluctuation? [J]. China Industrial Economics, 2017, (8): 5–24.]
- [16] 陈鹏, 郑曼娟. 国际大宗商品价格波动多重分形特征及传导效应研究[J]. 价格理论与实践, 2018, (10): 81–84. [Chen P, Zheng M X. Multifractality and conduction effect of global commodity price fluctuation[J]. Price: Theory & Practice, 2018, (10): 81–84.]
- [17] 谢赤, 贺慧敏, 王纲金, 等. 基于复杂网络的泛金融市场极端风险溢出效应及其演变研究[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(8): 1926–1941. [Xie C, He H M, Wang G J, et al. Extreme risk spillover effect of pan-financial market and its evolution based on complex network[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2021, 41(8): 1926–1941.]
- [18] Sun Q, Gao X, Wen S, et al. The transmission of fluctuation among price indices based on granger causality network[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2018, 506: 36–49.
- [19] 赵怡然, 高湘昀, 孙晓奇, 等. 产业链视角下贸易依赖网络结构变动对钴价格的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1344–1357. [Zhao Y R, Gao X Y, Sun X Q, et al. The impact of structural changes of trade dependence network on cobalt price from the perspective of industrial chain[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1344–1357.]
- [20] 郑旭芸, 隋博文, 庄丽娟. 进口贸易视域下国际粮价对国内粮价的传导路径: 来自玉米和大豆的证据[J]. 中国流通经济, 2020, 34(5): 108–120. [Zheng X Y, Sui B W, Zhuang L J. Transmission channel of international price to domestic price in food market from the perspective of import trade: The evidence of corn and soybean market[J]. China Business and Market, 2020, 34(5): 108–120.]
- [21] 王辉, 周晗. 长期均衡、价格倒逼与自有住房价格影响: 我国PPI与修正后CPI传导机制研究[J]. 南开经济研究, 2013, (6): 122–133. [Wang H, Zhou H. Long-run equilibrium, reversed price transmission and owner-occupied housing effect: The study

2023年4月

- of the transmission mechanism between PPI and adjusted CPI in China[J]. *Nankai Economic Studies*, 2013, (6): 122-133.]
- [22] 孙坚强, 崔小梅, 蔡玉梅. PPI和CPI的非线性传导: 产业链与价格预期机制[J]. *经济研究*, 2016, 51(10): 54-68. [Sun J Q, Cui X M, Cai Y M. Nonlinear transmission between CPI and PPI: Production chain and price expectation mechanisms[J]. *Economic Research Journal*, 2016, 51(10): 54-68.]
- [23] 杨子晖, 赵永亮, 柳建华. CPI与PPI传导机制的非线性研究: 正向传导还是反向倒逼?[J]. *经济研究*, 2013, 48(3): 83-95. [Yang Z H, Zhao Y L, Liu J H. A nonlinear research on the transmission mechanism between CPI and PPI: Positive price transmission or reversed price transmission?[J]. *Economic Research Journal*, 2013, 48(3): 83-95.]
- [24] 姜婷凤, 汤珂, 刘涛雄. 基于在线大数据的中国商品价格粘性研究[J]. *经济研究*, 2020, 55(6): 56-72. [Jiang T F, Tang K, Liu T X. The stickiness of online prices in China[J]. *Economic Research Journal*, 2020, 55(6): 56-72.]
- [25] 朱民, 徐钟祥, 巩冰, 等. 2022年全球经济金融: 结构性通货膨胀之剑和央行的挑战[J]. *国际金融研究*, 2021, (12): 3-13. [Zhu M, Xu Z X, Gong B, et al. Global economy and finance in 2022: The sword of structural inflation and the challenges for central banks[J]. *Studies of International Finance*, 2021, (12): 3-13.]
- [26] Buldyrev S V, Parshani R, Paul G, et al. Catastrophic cascade of failures in interdependent networks[J]. *Nature*, 2010, 464(7291): 1025-1028.
- [27] Zhao Y Y, Zhou J, Zou Y, et al. Characteristics of edge-based interdependent networks[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2022, DOI: 10.1016/j.chaos.2022.111819.
- [28] 沈曦, 郭海湘, 成金华. 突发风险下关键矿产供应链网络节点韧性评估: 以镍矿产品为例[J]. *资源科学*, 2022, 44(1): 85-96. [Shen X, Guo H X, Cheng J H. The resilience of nodes in critical mineral resources supply chain networks under emergent risk: Take nickel products as an example[J]. *Resources Science*, 2022, 44(1): 85-96.]
- [29] Diebold F X, Yilmaz K. Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers[J]. *International Journal of Forecasting*, 2012, 28(1): 57-66.
- [30] 胡成春, 陈迅. 经济政策不确定性、宏观经济与资产价格波动: 基于TVAR模型及溢出指数的实证分析[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(11): 61-70. [Hu C C, Chen X. Economic policy uncertainty, macroeconomic and asset price fluctuation: Based on TVAR model and spillover index[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(11): 61-70.]
- [31] 徐凤, 朱金福, 陈丹. 基于多层网络的空铁联运双层加权网络结构特性[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2023, 20(1): 49-56. [Xu F, Zhu J F, Chen D. Structure characteristics of air-rail double-layer weighted network based on multilayer network[J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2023, 20(1): 49-56.]
- [32] Li H, An H, Huang J, et al. The evolutionary stability of shareholders' co-holding behavior for China's listed energy companies based on associated maximal connected sub-graphs of derivative holding-based networks[J]. *Applied energy*, 2016, 162: 1601-1607.
- [33] 任泽平. 能源价格波动对中国物价水平的潜在与实际影响[J]. *经济研究*, 2012, 47(8): 59-69. [Ren Z P. On the cyclical behaviors of Chinese inventory investments[J]. *Economic Research Journal*, 2012, 47(8): 59-69.]
- [34] Menzly L, Ozbas O. Market segmentation and cross-predictability of returns[J]. *The Journal of Finance*, 2010, 65(4): 1555-1580.
- [35] Sharifkhani A, Simutin M. Feedback loops in industry trade networks and the term structure of momentum profits[J]. *Journal of Financial Economics*, 2021, DOI: 10.1016/j.jfineco.2021.04.028.



# Transmission mechanism and effect of international nonferrous metal price fluctuation to China's industrial chain: Based on a two-layer complex network model

SONG Mingmei<sup>1,2</sup>, ZHANG Hailiang<sup>1</sup>, DONG Yang<sup>1</sup>

(1. Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Faculty of Mathematics and Computer, Dali University, Dali 671000, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this study was to reveal the transmission mechanism of international nonferrous metal price fluctuation to China's industrial chain from the perspective of complex system, which has important practical significance for preventing the further accumulation of economic risks. [Methods] Based on the supply cost-driven perspective, the transmission process of international nonferrous metal price fluctuation was analyzed, and a two-layer complex network model with 1-4 lags was constructed. The spatial transmission process of nonferrous metal futures market was connected with the vertical transmission process of the industrial chain, and the transmission effect of nonferrous metal price fluctuation on the industrial chain was calculated. [Results] (1) The price fluctuation of international nonferrous metal futures can be transmitted to most downstream industries of the industrial chain of China in a short time. (2) In the transmission process of price fluctuation, the key futures types or key industries of nonferrous metals that play the volatility spillover and mediation roles will change in the early and late stages. (3) When the price of nonferrous metals rises by 10%, price in the midstream industry will rise, while price in the downstream industry will fall. There has been a price block between upstream and downstream industries, and the cost pressure in upstream industry has not been effectively released. [Conclusion] The fluctuation of international nonferrous metal futures prices significantly increases the cost control pressure of nonferrous metal industrial chain related enterprises in China, especially downstream enterprises. Therefore, we should be alert to the import inflation risk caused by the blocked transmission of nonferrous metal prices. It is recommended to implement dynamic supervision on key futures types and key industries of nonferrous metals in the early and late stages when the price of nonferrous metals fluctuates greatly, and to encourage more associated enterprises affected by price fluctuations of nonferrous metals to use futures tools to control costs.

**Key words:** multilayer complex network; nonferrous metals; industrial chain; price fluctuation; risk management; price transmission; China