

引用格式:朱永光,徐德义,成金华,等. 国际铁矿石贸易空间互动过程及中国进口策略分析[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 664-677. [Zhu Y G, Xu D Y, Cheng J H, et al. The interactive process of international iron ore trade and analysis of China's importation strategy[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 664-677.] DOI: 10.18402/resci.2017.04.08

国际铁矿石贸易空间互动过程及中国进口策略分析

朱永光^{1,2}, 徐德义^{1,2}, 成金华^{1,2}, 朱文琪^{1,2}, 尤 喆^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 武汉 430074;

2. 中国地质大学(武汉)资源环境经济研究中心, 武汉 430074)

摘要:中国铁矿石进口量位居世界首位,研究铁矿石贸易在空间上的互动过程对中国铁矿石进口有参考价值。本文将国际铁矿石贸易的影响因素分为进口国因素、出口国因素以及阻力因素,分别构建进口国集聚、出口国集聚、进口国与出口国均集聚三种空间交互模型,并且将进口国因素分为需求因素和贸易因素对中国铁矿石进口进行预测。实证研究结果显示:①进口国的需求因素是影响铁矿石贸易的主要因素,产业结构、城镇化水平影响效应较大;②进口国的贸易因素对铁矿石贸易具有较强的影响;③出口国的资源储量是影响出口的重要因素,技术水平和贸易程度影响较小;④地理距离与铁矿石贸易存在着正U型关系,经济距离与铁矿石贸易存在着倒U型关系,但U型拐点过后距离与贸易之间的关系变弱;⑤铁矿石进口的峰值滞后于需求峰值2年左右,中国铁矿石进口峰值预计在2018年左右到达。最后,本文通过分析中国铁矿石进口市场结构对中国铁矿石未来进口提供了相关的政策建议。

关键词:空间交互模型;铁矿石;国际贸易;影响因素;进口策略;中国

DOI: 10.18402/resci.2017.04.08

1 引言

工业化过程中,资源消耗是经济增长的动力,贸易是资源流动的主要手段。铁矿石贸易一直以来与一个国家的经济社会发展有着密切的关系。近些年来,国内关于铁矿石贸易的研究主要分为两部分。首先是从供需角度进行分析,如王安建等提出的S型需求曲线^[1],任忠宝等基于矿产资源需求拐点理论对中国矿产资源的峰值进行了预测^[2],贾立文等比较了不同的铁矿石需求预测模型以及城镇化、区域经济对铁矿石需求的影响^[3,4],张艳飞等对全球未来的铁矿石供需趋势进行了分析^[5]。另一部分研究主要是从贸易角度进行分析,如张宗成等利用经济学中的供需模型和国际贸易模型分析了世界铁矿石的贸易及中国的铁矿石需求^[6],郝晓晴等利用复杂网络分析法分析了国际铁矿石贸易网

络的演变规律^[7],程欣等从市场集中度的角度分析了中国铁矿石进口结构并且利用双对数模型分析了中国铁矿石进口价格需求弹性^[8],徐斌采用社会网络分析法研究了国际铁矿石贸易格局^[9]。以上的研究均是以中国对铁矿石的需求作为出发点,研究中国在铁矿石贸易中的作用以及如何保障中国铁矿石的资源安全。

国际贸易中的引力模型是Jinbergen于1962年为了说明在由多个国家组成的世界里贸易流量的不对称现象而提出的。Anderson对该模型进行了系统的总结,并指出该模型只考虑了双边经济规模和地理距离对贸易流量的影响,而没有考虑市场效应和地方保护等因素^[10]。此后,以该引力模型为基础,在模型中加入本地市场效应或地方保护等因素而拓展建立了边界效应等模型^[11]。国内学者在这方

收稿日期:2016-09-10;修订日期:2017-01-17

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41572315;41272362);中国地质调查局地质调查项目(121201103000150114)。

作者简介:朱永光,男,河南封丘人,博士生,研究方向为数量经济、资源环境经济。E-mail:zygwuhan@qq.com

通讯作者:徐德义, E-mail:xdy@cug.edu.cn

2017年4月

面有较多的应用研究,如行伟波等^[12]、周丹^[13]等。然而,贸易中的流量数据往往存在空间相关性,不满足经典计量经济学模型所要求的样本独立性假设,忽略空间相关性的实证研究所得的结论存在偏差。因此,LeSage等结合引力模型和空间计量经济模型提出了空间交互模型^[14,15]。刘卫东等、王庆喜等利用该模型对中国国内各省的贸易情况进行了研究,结果显示该模型很好地刻画了中国省际贸易交互过程^[16,17]。本文将空间交互模型应用到国际铁矿石贸易的分析中,试图对国际铁矿石市场的影响因素进行分析并对中国铁矿石贸易提出建议。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 空间交互模型

引力模型的作用机制(图1)主要分为三部分,贸易来源地的推力作用、贸易目的地的拉力作用以及贸易过程中的阻力因素^[17,18]。考虑到推力因素与拉力因素并不一定是积极因素,例如商品来源地区的资源储量在满足自身消耗的前提之下,资源储量越多,对出口才有推动作用,同样对于商品目的地,在本地区资源储量不能够满足资源消耗的前提下,才会进行进口贸易,本地区资源储量与进口贸易之间是负向关系。因此,本文将推力因素与拉力因素进行合并,对来自来源地和目的地两个地区的影响因素称为直接因素,阻力因素称之为间接因素。

根据来源地和目的地集聚情况,可以将模型分为三种类型。首先是来源地与目的地均集聚,由于矿产资源的生成在空间具有集聚效应,所以会导致一部分区域资源集中富裕,而一部分区域则是资源集中贫瘠,因此会发生资源从集中富裕区域向集中贫瘠区域流动;其次,来源地集聚而目的地非集聚;第三,来源地非集聚目的地集聚。结合本文的研究

对象,在商品贸易过程中,来源地是指商品的出口国,目的地是指商品的进口国。

LeSage等将三种情况综合起来^[14],结合空间计量模型,构建了空间交互模型的一般形式:

$$y = \rho_d W_d y + \rho_o W_o y + \rho_w W_w y + \iota_N + X_d \beta_d + X_o \beta_o + \gamma g + \varepsilon \quad (1)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

式中 y 为出口国与进口国之间的贸易流量; ε 为残差,服从标准正态分布 $N(0, \sigma^2)$; W_o 为出口国集聚进口国非集聚空间权重矩阵; ρ_o 为对应的空间相关系数; W_d 为出口国非集聚进口国集聚空间权重矩阵; ρ_d 为对应的空间相关系数; W_w 为出口国与进口国均集聚的空间权重矩阵; ρ_w 为对应的空间相关系数; ι_N 为模型中的常数项; X_d 为进口国解释变量,对应的 β_d 为变量系数; X_o 为出口国解释变量,对应的 β_o 为变量系数; g 为距离因素,对应的 γ 为距离因素的系数。在对模型进行参数估计时,需要对模型中的变量进行处理,各变量的处理方式如公式(3)-公式(10)所示:

$$Y = \begin{bmatrix} y(o_1, d_1) & y(o_1, d_2) & \cdots & y(o_1, d_n) \\ y(o_2, d_1) & y(o_2, d_2) & \cdots & y(o_2, d_n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y(o_n, d_1) & y(o_n, d_2) & \cdots & y(o_n, d_n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$y = \text{vec}(Y) \quad (4)$$

$$W_d = I_n \otimes W \quad (5)$$

$$W_o = W \otimes I_n \quad (6)$$

$$W_w = W \otimes W \quad (7)$$

$$X_o^* = X_o \otimes \iota_n \quad (8)$$

$$X_d^* = \iota_n \otimes X_d \quad (9)$$

$$g = \text{vec}(G) \quad (10)$$

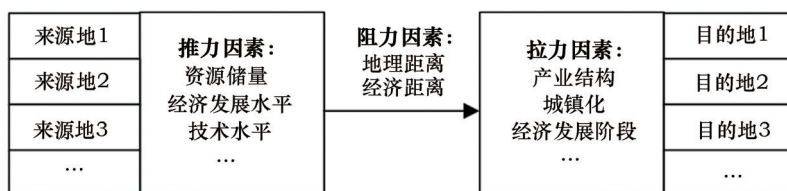


图1 引力模型作用机制

Figure 1 Mechanism of gravity model

注:本图是在参考王庆喜等^[17]基础上修改的。

式中 Y 为贸易流量矩阵; vec 为矩阵拉直运算算子, 将该矩阵按照每行(或列)逐个元素排成一个向量; \otimes 为克罗内克积运算; I_n 为单位矩阵; W 为来源地与目的地之间的空间邻接基础矩阵; X_o^* 和 X_d^* 分别为出口国和进口国解释变量矩阵; ι_n 为单位列向量。除此, g 为所有两地间的距离组成的向量, 计算方法如公式(10)所示, 其中 G 为 $n \times n$ 来源地与目的地之间的距离矩阵。此外, 还需要构建一个基础矩阵, 该矩阵用来表示出口国与进口国之间的空间关系。由于本文研究的是铁矿石的国际间贸易, 因此分别考虑了地理距离和经济距离作为权重矩阵的选择对象, 分别选取两国之间的地理和经济距离的倒数进行空间矩阵的构建, 具体计算方法为:

$$w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (11)$$

式中 d_{ij} 为两国的距离, 本文使用到的是地理距离和经济距离; w_{ij} 为矩阵 W 中第 i 行 j 列对应的元素。根据公式(11)构建的空间权重矩阵称之为贸易空间权重矩阵, 同时考虑到模型的收敛性^[28], 对该矩阵每行进行单位化处理, w_{ij} 经过单位化处理后得到 w_{ij}^* , 计算方法为:

$$w_{ij}^* = \frac{w_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (12)$$

该模型的估计方法与其他的空间计量经济模型相同, 主要包括极大似然法^[14]和贝叶斯方法^[19]。

对于传统的线性回归分析, 参数作为被解释变量对解释变量的偏导数具有直接的解释力。对于空间模型来说, 由于引入了临近空间的影响, 所以对于参数的解释变得较为复杂。LeSage 和 Pace 总结了前人的经验, 对于空间模型中的参数解释进行了总结^[15]。

首先是对于空间回归模型关系式进行了简单的转化。根据公式(1)整理可以得到:

$$\begin{aligned} y &= \sum_{r=1}^k S_r(W)x_r + V(W)\varepsilon \\ S_r(W) &= V(W)I_n\beta_r \\ V(W) &= (I_n - \rho W)^{-1} = I_n + \rho W + \rho^2 W^2 + \dots \end{aligned} \quad (13)$$

其中 $S_r(W)$ 和 $V(W)$ 均是公式(1)经过转换形成嵌套矩阵 W 的矩阵。为了更好地说明 $S_r(W)$ 的作

用, 将上面的式子, 再次展开, 得到:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \sum_{r=1}^k \begin{pmatrix} S_r(W)_{11} & S_r(W)_{12} & \dots & S_r(W)_{1n} \\ S_r(W)_{21} & S_r(W)_{22} & \dots & S_r(W)_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_r(W)_{n1} & S_r(W)_{n2} & \dots & S_r(W)_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1r} \\ x_{2r} \\ \vdots \\ x_{nr} \end{pmatrix} + V(W)\varepsilon \quad (14)$$

选取区域 i 来观察, 其基本表达式为:

$$y_i = \sum_{r=1}^k [S_r(W)_{i1}x_{1r} + S_r(W)_{i2}x_{2r} + \dots + S_r(W)_{in}x_{nr}] + V(W)_i\varepsilon \quad (15)$$

然后, 求偏导数得到:

$$\frac{\partial y_i}{\partial x_{jr}} = S_r(W)_{ij} \quad (16)$$

当 $i=j$ 时, 表示的是区域 i 的解释变量对区域 i 的被解释变量的影响参数, 称为直接效应; 当 $i \neq j$ 时, 表示区域 j 的解释变量对区域 i 的被解释变量的影响参数, 称为间接效应。从效应矩阵的元素来看, $S_r(W)$ 的主对角线元素代表的是直接效应, 非对角线元素代表间接效应。

2.2 进口量预测方法

进口量是由矿产资源的需求量和对外依存度两项来决定见公式(17)。因此, 铁矿石进口量的预测分为两步完成, 首先是需求量的预测。关于矿产资源需求的预期研究成果十分丰富。本文拟对王安建等^[1]提出的 S 型需求模型和贾立文等^[4]提出的计量经济模型来进行加权平均, 预测未来铁矿石需求量。其中, $prediction_1$ 表示依据 S 型需求模型预测的需求量; $prediction_2$ 表示依据计量经济模型预测的需求量。

$$import = demand \times dependence \quad (17)$$

$$prediction = \frac{prediction_1 + prediction_2}{2} \quad (18)$$

根据贾立文等研究成果^[4], 在进行铁矿石需求预测时, 四类模型分析铁矿石需求问题的能力排序为: 面板模型 > 协整模型 > 灰色模型 > ARIMA 模型。非面板数据下协整模型的估计效果最佳, 本文结合空间交互模型中的影响因素, 通过协整模型预测 $prediction_2$ 。

其次, 对外依存度的预测。本文中采用的是多情景预测的方法对中国铁矿石未来的对外依存度

2017年4月

进行了预测,分为三种情景:第一,对外依存度逐年递减;第二,对外依存度保持不变;第三,对外依存度逐年递增。递增递减速度的设定采取的方法是对递增年份和递减年份进行加权平均。

2.3 变量选取及数据处理

本文中要研究的是铁矿石贸易的影响因素,因此被解释变量选择铁矿石贸易流量,并且指定其为两国间铁矿石的直接贸易量。同时,本文将解释变量分为直接因素和间接因素,直接因素分别将来源地变量和目的地变量设定为出口国变量和进口国变量,间接因素主要指的是距离变量。本文选取2014年数据,数据来源于联合国商品贸易数据库^[22]、世界银行数据库^[23]、WIND数据库^[24]、世界钢铁统计

年鉴^[25]、CEPII数据库^[26]以及联合国的《The World Population Prospects: 2015 Revision》^[27]。与此同时,在进行计量经济建模时,需要考虑数据的平滑性以及量纲的大小。因此,在进行计量建模前对数据进行了初步的处理和计算。具体的变量选取和处理方式,以及数据来源详见表1。

出口国变量选择为资源储量、技术水平和贸易程度。对资源储量这一指标的选取,首先考虑到由于铁矿石的品位不同,铁矿石储量本身并不能代表实际含铁量,因此使用铁矿石含铁量。与此同时,本文对资源储量进行人均化处理,主要是基于以下的假设前提:一种商品地区在满足自身需求的前提下才会进行出口。单纯使用资源储量并没有考虑

表1 变量选取

Table 1 Variable selection

一级指标	二级指标	三级指标/单位	代码	计算方法	数据来源	
贸易流量	两国的铁矿石贸易量	来源国到目的国的铁矿石贸易量/亿吨	<i>Flows</i>	取对数	联合国商品贸易数据库 ^[22]	
出口国因素	资源储量	人均铁矿石含铁量/(t/人)	<i>O_Res</i>	铁矿石储量(含铁量)/人口总量	人口数据来自世界银行 ^[23] ;铁矿石储量数据来自WIND数据库 ^[24]	
	技术水平	万美元GDP铁矿石产量/(t/万美元)	<i>O_Tec</i>	铁矿石产量/万美元GDP	GDP数据来自世界银行 ^[23] (下同);铁矿石产量数据来自《世界钢铁统计年鉴》 ^[25]	
	贸易程度	矿石和金属出口占商品出口的百分比/%	<i>O_Tra</i>	-	世界银行 ^[23]	
进口国因素	需求因素	经济增长	人均GDP/(万美元/人)	<i>D_Eco</i>	取对数	世界银行 ^[23]
		资源消耗水平	人均铁矿石消耗量/(t/人)	<i>D_Con</i>	铁矿石消费量/人口总量	人口数据来自于世界银行 ^[23] (下同);铁矿石消费数据来自于《世界钢铁统计年鉴》 ^[25]
	贸易因素	产业结构	第二产业占GDP的比重/%	<i>D_Ind</i>	-	世界银行 ^[23]
		城镇化率	城镇人口占总人口比例/%	<i>D_Urb</i>	-	世界银行 ^[23]
		贸易程度	铁矿石进口量占消费量的比例/%	<i>D_Tra</i>	铁矿石进口量/铁矿石消费量	铁矿石进口量来自于联合国商品贸易数据库 ^[22] ;铁矿石消费量来自于《世界钢铁统计年鉴》 ^[25]
间接因素	地理距离	出口国与进口国首都之间的球面距离/km	<i>G_Dis</i>	取对数	CEPII数据库 ^[26]	
	经济距离	出口国与进口国之间的人均GDP之差/(万美元/人)	<i>E_Dis</i>	1/出口国人均GDP-进口国人均GDP	世界银行 ^[23]	
进口量预测	铁矿石消费量	人均铁矿石消费量/(t/人)	<i>PORE</i>	铁矿石消费量/人口总量	中国铁矿石消费量数据来自于《世界钢铁统计年鉴》 ^[25] ;人口数据来自于联合国的《The World Population Prospects: 2015 Revision》 ^[27]	

注:WIND数据库中只有2012年的储量数据,考虑到2014年的储量变化不大,因此选用2012年储量数据来表示2014年储量;“-”表示该变量未进行处理和无单位;变量*D_Con*和*PORE*均表示人均铁矿石消费量,不同的是*PORE*主要用于预测量,其中人口数据在预测时用了联合国的人口预测,两者之间并不矛盾。

该国的自身需求,根据2012年美国地质调查局公布的数据,中国的铁矿石储量位居全球第四,但是中国却是铁矿石进口第一大国,所以存在有的国家铁矿石储量较大,但仍要进口铁矿石的现象。本文参考王安建等^[1]利用人均资源量与人均GDP的关系得到的规律,不同工业化和城镇化时期,人口指标对铁矿石需求始终存在重要的影响,在这里将铁矿石含铁量再进行人均化处理。技术水平这一指标主要是来表示该地区的生产铁矿石的能力,在贾立文等^[3,4]研究中,对于技术进步方面选取的指标包含了高科技出口占制成品出口的比例和科技期刊文章数量,但本文中所要突出的是该国铁矿石生产技术的能力,由于技术存在着地方保护政策,而且上述两个指标主体现的是需求方的影响因素,所以使用上述两个指标不能够体现本文的意图。与此同时,一国的科技研发水平与该国的经济发展水平密切相关,经济发展水平高的国家和地区会增加对铁矿石开采技术水平的研发,因此,出口国的铁矿石开采技术水平与经济发展水平有较强的相关性,本文对技术水平进行GDP单位化处理,采用的是万美元GDP铁矿石产量。贸易程度采用的是矿石和金属出口占商品出口的百分比,该指标着重代表该国对贸易的依赖程度,以及该国在矿产资源贸易中的壁垒问题。

影响铁矿石进口的主要因素可以分为两个方面,贸易因素和需求因素。首先是贸易因素,该方面的指标应当包含两个问题,第一是对外依存度,第二是该国的贸易保护程度,综合考虑本文选取的是铁矿石进口量占消费量的比重这一指标,该指标直观的表达了铁矿石对外依存度,同时也间接表达了该国对国内铁矿石生产的保护程度,具有一体两面的特点。其次是需求因素,该方面的研究已经十分成熟,比如王安建等^[1]将资源需求的影响因素分为了核心指标、约束指标、参考指标三类,包含了人均GDP、人均资源消费量、城镇化率、产业结构等指标;贾立文等^[3,4]在进行矿产资源需求预测时,选取了人均GDP、城镇化率、产业结构、能源矿产消耗、技术进步等指标;Sohn^[20]等根据矿产资源生命周期理论对矿产资源需求的影响因素进行了扩展,主要包括了人口、收入增长率、生活水平、技术进步、政

策变动等指标。本文根据前人的研究成果,将铁矿石的需求影响因素主要包括了经济增长、城镇化、产业结构、资源消耗四个方面。其中,经济增长使用的是人均GDP这一指标,王安建等认为人口与GDP是决定资源需求最根本的因素^[1]。城镇化这一维度使用的是城镇化率这一指标,根据任忠宝等^[2]、贾立文等^[3]的研究,城镇化铁矿石需求具有明显的促进作用。产业结构这一维度主要体现的是铁矿石需求行业在该国经济发展的比重,根据2015年工信部发布的数据显示,建筑、机械、能源、交通等领域是钢铁需求的主要领域,考虑到数据的可获得性,本文参考任忠宝等^[2]、贾立文等^[3,4]中的变量选取,最终确定为第二产业占GDP的比重这一指标,除此之外,上述的城镇化率这一指标也能够对产业结构有所反映。资源消耗的指标选取的是人均铁矿石消耗量,该指标主要参考的是王安建等^[1]提到的核心指标之一。

间接因素即阻力因素,在以往的研究中,地理距离是研究贸易中最常用到的距离因素,也是经济学中最为经典的工具变量。随着该领域研究的不断深入,部分研究者逐渐发现有些变量也是影响贸易双边流量的重要距离因素,比如经济距离、政治距离、语言距离等^[21]。王庆喜等^[17]研究中国省级贸易情况时,构建了地理距离、经济距离、技术距离、产业距离等四种距离矩阵。其中,经济距离使用的是来源地和目的地之间的人均GDP绝对差来衡量,所要表达的是来源地和目的地之间的经济发展水平的差距对双边贸易的影响。并且,王庆喜等实证研究发现经济差距对贸易流量的影响存在倒U型关系,即一定范围内的经济差距有利于贸易往来,但超出一定范围反而不利^[17]。本文吸取前人的研究经验,结合已经选取的解释变量,最终选用地理距离和经济距离构建空间权重矩阵,其中地理距离用来描述贸易中的运输成本,经济距离用来比较两国经济差距对铁矿石贸易的影响。同时,本文引入距离的二次项来检验距离与贸易流量之间的倒U型关系。

3 结果及分析

3.1 世界铁矿石贸易格局及样本选择

根据联合国商品贸易数据库^[22]的数据显示,

2017年4月

2014年铁矿石贸易的主要进出口国家分别如表2所示。2014年铁矿石出口前13个国家的总出口量占世界总出口的97.80%,其中澳大利亚、巴西、南非三国的出口量长期以来一直占据着世界出口国的前三名。进入21世纪以来,澳大利亚铁矿石出口规模持续增长,从2000年的1.7亿t增长至2014年的7.55亿t,年均增速8%。世界前四大铁矿石生产商中,澳大利亚占据三家,分别是必和必拓、力拓、FMG。巴西铁矿石出口量从2000年1.56亿t增至2014年3.44亿t,年均增速5.50%,2009年受经济危机影响,出口量一度下滑,拥有世界最大的铁矿石供应商淡水河谷公司。南非铁矿石出口规模2007年以来快速增长,年均增速达11%。2014年出口铁矿石6.70亿t,自2012年起成为全球第三大铁矿石出口国。2014年,世界铁矿石前13个进口国的进口量占世界总进口量的94.20%。2000-2014年,世界铁矿石进口增量为7.61亿t,年均增幅6.30%,中国的进口增量达8.62亿t,年均增幅18.80%。中国不仅主导了世界全部铁矿石贸易增量,而且还消耗掉了发达国家的贸易减量(图2)。

结合图2和表2,世界铁矿石的贸易格局并未发生大的变化,世界铁矿石的需求因素主要是由于中国进口,出口则是集中在澳大利亚、巴西、南非等国家。从整体贸易格局来看,可分为三大贸易圈:第一,北美铁矿石贸易区,主要是加拿大向美国出口;第二,东亚进口集中贸易区,主要是澳大利亚向

表2 2014年世界铁矿石主要进出口国家

Table 2 The world's major iron ore import and export countries in 2014

主要出口国	出口量/亿t	主要进口国	进口量/亿t
澳大利亚	7.55	中国	9.32
巴西	3.44	日本	1.36
南非	0.67	韩国	0.74
乌克兰	0.41	德国	0.43
加拿大	0.40	法国	0.17
瑞典	0.24	英国	0.14
俄罗斯	0.23	俄罗斯	0.10
哈萨克斯坦	0.15	意大利	0.10
智利	0.14	加拿大	0.09
毛里塔尼亚	0.13	土耳其	0.09
马来西亚	0.12	荷兰	0.08
秘鲁	0.11	波兰	0.07
印度	0.10	印度	0.07
其他	0.31	其他	0.79

中国、日本、韩国、印度等出口;第三,南美向欧洲地区输送铁矿石。初步分析,世界铁矿石贸易存在着空间集聚的情况。考虑到数据的完整性和模型的参数估计的需要,本文选择进出口排名前13的国家作为研究对象(表2),样本量169个。其中,俄罗斯、加拿大、印度在进出口排名中均位于前13,上述三国的自身来源地到目的地之间贸易流量计算使用的是国内的产量。

3.2 模型估计结果

本文分别构建了普通最小二乘回归模型和空间交互模型来进行比较。其中,模型一表示普通最小二乘回归(公式(19));模型二表示使用地理距离构建的出口国相依权重矩阵的模型(公式(20));模型三表示使用地理距离构建的进口国相依权重矩阵的模型(公式(21));模型四表示使用地理距离构建的出口国和进口国均相依权重矩阵的模型(公式(22));模型五表示使用经济距离构建的出口国相依权重矩阵的模型(公式(20));模型六表示使用经济距离构建的进口国相依权重矩阵的模型(公式(21));模型七表示使用经济距离构建的出口国和进口国均相依权重矩阵的模型(公式(22))。在普通最小二乘回归中,两个距离分别使用的是地理距离和经济距离;在空间交互建模时,使用地理距离构建空间权重矩阵,经济距离作为解释变量放入模

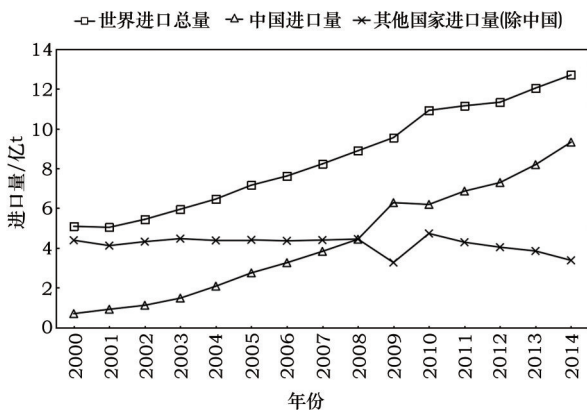


图2 2000-2014年中国及世界铁矿石进口量增长情况

Figure 2 Iron ore imports growth of China and world from 2000 to 2014

数据来源:联合国商品贸易数据库^[22]。

型中,反之亦然。

$$y=\iota_N+X_d\beta_d+X_o\beta_o+\gamma_1g_1+\gamma_2g_1^2+\gamma_3g_2+\gamma_4g_2^2+\varepsilon \tag{19}$$

$$y=\rho_oW_o y+\iota_N+X_d\beta_d+X_o\beta_o+\gamma_1g+\gamma_2g^2+\varepsilon \tag{20}$$

$$y=\rho_dW_d y+\iota_N+X_d\beta_d+X_o\beta_o+\gamma_1g+\gamma_2g^2+\varepsilon \tag{21}$$

$$y=\rho_wW_w y+\iota_N+X_d\beta_d+X_o\beta_o+\gamma_1g+\gamma_2g^2+\varepsilon \tag{22}$$

模型的估计结果如表3所示。结果显示7个模型均通过了*F*检验,此处拟合优度*R*²最高的是OLS回归结果,为0.41。在空间交互模型中,6个模型的*R*²最大达到了0.37。空间模型的可决系数普遍不高,主要原因是由于该模型的数据结构导致的,现有的估计方法在对参数进行估计时,需要对空间矩阵的进行拉直运算,从而使得许多数据重复使用,信息重叠较多,这也是空间计量模型中可决系数普遍不高的一个重要原因^[14]。比较空间交互模型的拟合优度,以地理距离构建权重矩阵的模型二、三、四的拟合优度分别为0.35、0.35、0.36,以经济距离构建权重矩阵的模型五、六、七的0.30、0.37、0.37,前者估计结果的稳健性更好;在模型二、三、四中,模型四的对数似然函数值最小,为-538.49;在模型五、六、七中,模型七的对数似然函数值最小,为-537.76;

模型四和七均是根据来源地和目的地均相依权重矩阵进行估计的,模型四使用的是地理距离权重矩阵,模型七使用的是经济距离权重矩阵。综合比较来看,铁矿石贸易存在进口国和出口国均集聚的空间互动关系。从地理距离来看,模型二的对数极大似然函数值为-532.00高于模型三的-531.81,说明出口国之间存在着较强的地理邻近相关关系;从经济距离来看,模型六的对数似然函数值为-535.60小于模型五-524.01,进口国在经济距离上的相关关系更强。

空间计量经济模型的参数需要进行效应分解,这样才能更好地解释变量的作用机理。本文对模型二至模型七进行效应分解,结果如表4和表5所示。通过比较模型的效应分解结果可以发现:

(1)进口国影响因素的效应普遍高于出口国影响因素。无论选择地理距离还是经济距离作为空间权重矩阵,比较模型二到模型七中效应的绝对值可以发现,进口国中的产业结构效应最大,最高为102.24;城镇化水平的效应最高达到了79.28;贸易程度的效应最高达到了80.67;经济增长的效应最高达到了33.63。相对于其他变量,进口国上述四

表3 参数估计结果

Table 3 The results of parameter estimation

变量	模型一	模型二	模型三	模型四	模型五	模型六	模型七
<i>O_Res</i>	35.14***	20.51***	32.75***	32.51***	12.55**	31.00***	31.18***
<i>O_Tec</i>	0.08	0.02***	0.11	0.11	0.02	0.09	0.09
<i>O_Tra</i>	-9.28**	-6.51*	-9.55***	-9.41**	-1.85	-6.79*	-6.64*
<i>D_Eco</i>	-11.17***	-11.93***	-5.62***	-10.60***	-10.60***	-7.13***	-10.79***
<i>D_Con</i>	3.01	2.81	0.45	-0.75	2.93	2.15	2.75
<i>D_Ind</i>	-44.65**	-55.96***	-24.78	-46.32**	-36.10**	-27.68	-41.31**
<i>D_Urb</i>	27.23**	22.83**	11.37	26.33**	28.89***	17.36	27.06**
<i>D_Tra</i>	31.23***	34.27***	16.42***	33.44***	29.47***	20.34***	30.75***
<i>E_Dis</i>	1.85**	1.11	1.43*	1.57*	-	-	-
<i>E_Dis</i> ²	-0.11	-0.07	-0.08	-0.09	-	-	-
<i>G_Dis</i>	-13.41	-	-	-	-6.23**	-7.38*	-8.72*
<i>G_Dis</i> ²	0.62	-	-	-	0.18	0.32	0.37
ρ	-	0.43***	0.47***	-0.41	0.61***	0.34***	0.23
常数项	149.19**	89.95***	40.59**	80.57***	112.82*	93.65	127.16*
<i>F</i> 统计量	8.85***	61.39***	60.85***	68.35***	54.86***	65.50***	67.96***
<i>R</i> ²	0.41	0.35	0.35	0.36	0.30	0.37	0.37
<i>Log likelihood</i>	-	-532.00	-531.81	-538.49	-524.01	-535.60	-537.76

注: *、**和***分别表示在0.1、0.05和0.01显著性水平下显著。

2017年4月

表4 以地理距离为权重矩阵的模型效应分解

Table 4 Effect decomposition based on geographical distance weight matrix

变量	模型二			模型三			模型四		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
<i>O_Res</i>	20.91	14.82	35.73	33.98	30.10	64.08	18.52	20.14	38.66
<i>O_Tec</i>	0.02	0.01	0.03	0.11	0.10	0.21	0.15	0.21	0.36
<i>O_Tra</i>	-6.63	-4.75	-11.38	-9.80	-8.67	-18.47	-2.19	-4.86	-7.05
<i>D_Eco</i>	-12.31	-9.42	-21.73	-5.86	-4.88	-10.73	-13.76	-19.48	-30.24
<i>D_Con</i>	2.87	2.28	5.15	0.50	0.41	0.91	1.63	1.79	3.41
<i>D_Ind</i>	-57.85	-44.39	-102.24	-25.71	-21.47	-47.18	-21.10	-29.87	-50.97
<i>D_Urb</i>	23.24	17.59	40.83	12.25	10.17	22.42	23.44	10.66	34.10
<i>D_Tra</i>	35.61	27.17	62.79	16.85	14.01	30.86	18.75	20.41	39.16
<i>E_Dis</i>	1.13	0.82	1.95	1.47	1.30	2.77	1.28	0.02	1.30
<i>E_Dis</i> ²	-0.07	-0.05	-0.13	-0.09	-0.08	-0.16	-0.02	-0.02	-0.04

表5 以经济距离为权重矩阵的模型效应分解

Table 5 Effect decomposition based on economic distance weight matrix

变量	模型五			模型六			模型七		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
<i>O_Res</i>	13.21	19.11	32.32	31.62	17.26	48.88	17.88	16.91	34.79
<i>O_Tec</i>	0.02	0.02	0.03	0.10	0.06	0.16	0.21	0.32	0.53
<i>O_Tra</i>	-1.85	-2.56	-4.40	-6.99	-3.87	-10.86	-19.34	-1.12	-20.46
<i>D_Eco</i>	-11.50	-17.56	-29.06	-7.26	-3.50	-10.75	-19.81	-13.82	-33.63
<i>D_Con</i>	3.18	4.82	8.00	2.22	1.11	3.33	5.37	5.06	10.43
<i>D_Ind</i>	-39.13	-59.87	-99.00	-28.16	-13.41	-41.56	-36.16	-63.26	-99.42
<i>D_Urb</i>	31.41	47.87	79.28	17.80	8.62	26.42	15.92	27.85	43.77
<i>D_Tra</i>	31.90	48.77	80.67	20.75	9.97	30.72	21.43	37.48	58.91
<i>G_Dis</i>	-6.44	-9.84	-16.29	-7.29	-4.08	-11.37	-6.31	-1.11	-7.42
<i>G_Dis</i> ²	0.18	0.28	0.46	0.31	0.18	0.50	0.32	0.17	0.49

个变量的效应较大。出口国因素中,资源储量的效应较大,最低有32.32,最高为64.08,技术水平和贸易程度的效应中最高的才达到了20.46。总的来说,进口国的需求因素是铁矿石贸易的主导因素,出口国的资源储量对铁矿石贸易具有重要影响。

(2)在使用地理距离作为空间权重矩阵时,模型二、三、四的解释变量分解的直接效应大于间接效应,以进口国的城镇化率为例,直接效应与间接效应之差分别为5.65、2.08、12.78;使用经济距离作为空间权重矩阵时,模型五解释变量的间接效应大于直接效应,模型六解释变量的直接效应大于间接效应,以资源储量为例,在模型五中直接效应比间接效应低5.90,在模型六中直接效应比间接效应高14.36。该结论表明,铁矿石贸易中的出口国之间的替代关系和进口国之间的竞争关系显著存在。具

体来讲,贸易中的出口国之间属于可替代关系,出口国解释变量中,当出口国的资源储量的间接效应比直接效应大,表明该国商品的出口同时受商品其他出口国的影响;同样,在进口国的解释变量中,对于进口同一商品国家间属于竞争关系,一国商品的进口同时也受周边国家进口的影响。

(3)距离与铁矿石贸易之间存在着U型关系。在模型二、三、四中,经济距离的总效应分别为1.95、2.77、1.30,经济距离二次项的总效应分别为-0.13、-0.16、-0.04,可以发现经济距离与铁矿石贸易之间存在着倒U型关系,经济距离越大对两国的铁矿石贸易有促进作用,当两国的经济距离达到一定阈值时,距离越大对铁矿石贸易有抑制作用;在模型五、六、七中,地理距离的总效应分别为-16.29、-11.37、-7.42,地理距离二次项的总效应分别为0.46、0.50、

0.49,地理距离与铁矿石贸易则是正U型关系,起初地理距离越大抑制两国的铁矿石贸易,到了一定距离后,两国铁矿石贸易与地理距离之间的关系则不再显著为负,转而变为正。不难发现,不管是经济距离还是地理距离,一次项效应值的绝对值大于二次项,即到达U型拐点后的效应明显变小了很多,以模型五为例,距离一次项的总效应绝对值为16.29,二次项的总效应绝对值只有0.46。

3.3 中国铁矿石进口策略分析

3.3.1 理论前提

根据前文的空间交互模型分析,影响铁矿石贸易空间互动过程的主要因素是进口国因素。与此同时,进口国的主要因素又可以分为两个方面:贸易因素和需求因素(图3)。本文探讨铁矿石贸易的空间互动过程,其中中国是世界铁矿石进口的第一大国。本文对中国铁矿石进口进行分析。分析之前,阐述几个观点:

(1)铁矿石需求降低并不一定导致进口量的减少。根据美国地调局2012年的数据显示中国国内铁矿石储量位居全球第四,但是平均铁品位只有31%,澳大利亚、巴西、俄罗斯铁矿石储量位居世界前三,平均铁品位分别为49%、55%、56%。总体来说,尽管中国的铁矿石储量大,但是品位低,所以含铁储量较低,开采成本相对较大,并且,现如今矿业进入低迷期,世界铁矿石价格处于低位,中国的铁矿石即使需求减低,但进口量不一定会降低。

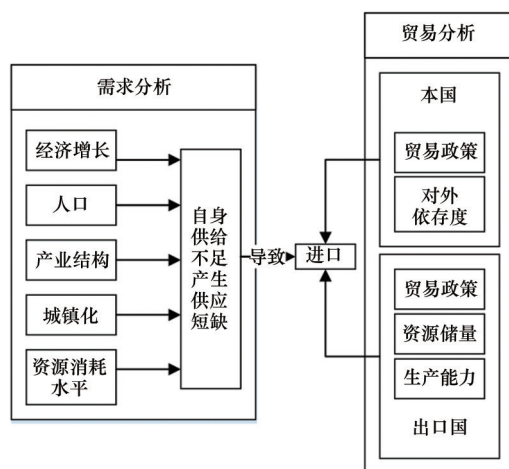


图3 铁矿石进口影响因素分析

Figure 3 Analysis of influencing factors of iron ore import

资料来源:本图由作者整理而得。

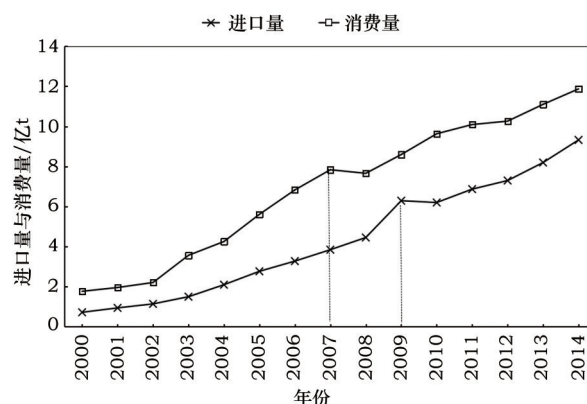


图4 中国铁矿石消费量与进口量趋势

Figure 4 Trend of iron ore consumption and imports in China

数据来源:联合国商品贸易数据库^[22];世界钢铁统计年鉴^[25]。

(2)进口的峰值到达时间应当晚于需求峰值的到达时间(图4)。张艳飞等研究认为产能释放滞后于需求的变化^[5],同样的道理,进口的变化也应当滞后于需求的变化。从时间作用的滞后性上来看,产能过剩导致的铁矿石需求降低,需求降低可能会导致未来进口的降低。根据图4不难看出,中国铁矿石进口量的变化大概滞后消费量2年左右。

(3)铁矿石进口不仅仅受需求的影响,同时要考虑贸易因素(图3)。贸易因素也是影响铁矿石进口的重要原因,由于大宗矿产资源具有较强的政治战略地位,有的时候贸易双方两国的贸易政策对矿产资源贸易具有决定性作用,如印尼对铜矿的限制出口等。因此,在分析进口时,除了考虑需求还要考虑一定的贸易因素。

3.3.2 需求与贸易分析

(1)铁矿石进口需求预测。本文对铁矿石需求的预测使用的是中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心(以下简称“地科院”)提出的S型需求理论^[1,5]和贾立文等使用的计量经济模型^[3,4]两种方法的加权平均。其中,直接采用地科院的预测结果,并且运用贾立文等^[3,4]使用的计量经济模型预测铁矿石需求量。在运用计量经济模型预测时,预期参数的设定时需要对中国未来的经济和人口数据进行设定,将《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》^[29](以下简称“十三五”规划纲要)和联合国的《世界人口展望:2015版》^[27]分别作为预测中国GDP和人口数量的参考文件(表

2017年4月

6)。基于官方的权威预测,本文将2020年的总体目标逐年分解,对2016-2020年中国的GDP和人口总量进行了预测(表7)。

其次,进口量的预测。对外依存度的估计是进口量预测的关键(公式(17)),本文分别设定了递增、不变、递减三种情景。情景一指的是当对外依存度变量逐年递减时,中国进口量变化的情况。以此类推,情景二是中国铁矿石对外依存度维持不变时的情景,情景三是中国铁矿石对外依存度逐渐递增时的情况。分析图5可以发现,中国铁矿石贸易的对外依存度连年递增,中间也出现过短期回落的情况。本文设定铁矿石贸易递增或者递减速度主要依托的是对外依存度的历史数据,对递增年份和递减年份的速度进行加权。根据中国钢铁协会发布的数据,2015年中国铁矿石的对外依存度为84%。本文选取2015年作为基础年,此后每年递增或递减均在2015年基础上进行。

对铁矿石需求进行精准预测已有较多的研究成果,但总体来看并未达成共识。根据王安建等预测中国粗钢需求在2013年前后达到峰值^[1],根据时间上的滞后性,铁矿石需求也是于2015年左右达到峰值,此后逐年递减,2020年之后下降速度会加快^[5];贾立文等研究发现中国人均铁矿石消费量目前仍处于高速增长期,尚无法推断峰值对应的时点和规模,到达2020年人均铁矿石消费量达到4.43t^[4]。根据预测结果,在情景一下中国铁矿石进口在2018年出现拐点;在情景二对外依存度不变的情况下,中

表6 预测参数设定

Table 6 Prediction parameter setting			
	2015年	2020年	年均增速/%
GDP/万亿元	67.70	>92.70	>6.50
人口/亿人	13.76	14.16	0.57

注:数据来源于文献[27,29]。

表7 2015-2020年中国GDP与人口预测结果

Table 7 Prediction of GDP and population of China from 2015 to 2020						
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
GDP/万亿元	67.70	72.10	76.79	81.78	87.09	92.75
人口/亿人	13.76	13.84	13.92	13.99	14.08	14.16
人均GDP/万元	4.92	5.21	5.52	5.84	6.19	6.55

注:GDP数据是按照2015年为基础,每年6.50%的增速计算得出;人口数据是按照2015年为基础,每年0.57%的增速计算。

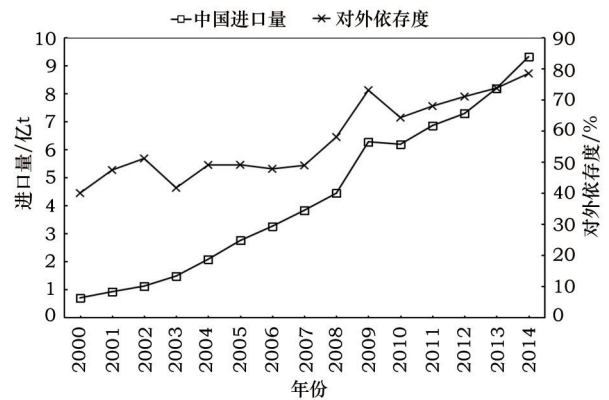


图5 中国铁矿石对外依存度

Figure 5 Degree of dependence on foreign of China's iron ore

数据来源:联合国商品贸易数据库^[23];世界钢铁统计年鉴^[25]。

国铁矿石的需求持续上升也会导致进口持续上升;在情景三情况下,中国铁矿石进口量存在着双拐点,2019年铁矿石进口量出现了短期的回落。综合各情景(表8),中国铁矿石未来的进口量仍然会持续增加,在2018年左右可能会达到一个短期的峰值。由于中国目前处于去产能的关键阶段,未来几年的中国钢铁产能会逐渐下降,铁矿石需求有可能会逐步下降。短期来看,中国铁矿石需求仍有空间。铁矿石需求的峰值会在这两年出现,因此进口的峰值也可能在两年后到达。

(2)铁矿石贸易因素分析。中国是世界铁矿石进口的第一大国,2014年中国铁矿石进口占世界铁矿石进口总量的73.39%。近年来,中国进口的铁矿石来源国近些年来也在发生着变化。自2005年以来,由于印度进行工业化,中国从印度的铁矿石进口量急剧减少,2014年从印度进口的铁矿石只占中国进口总量的0.86%;从澳大利亚进口的铁矿石占比逐年增加,2014年达到了58.80%;从巴西、南非等地区的铁矿石进口占比一直以来较为平稳(图6)。

表8 2015–2020年中国进口量预测

Table 8 Prediction of China iron ore imports from 2015 to 2020

年份	S型需求理	计量模型	需求量 /亿t	情景一		情景二		情景三	
	论预测	预测		对外依存度	进口量	对外依存度	进口量	对外依存度	进口量
	/亿t	/亿t		/%	/亿t	/%	/亿t	/%	/亿t
2015	11.20	11.77	11.49	0.84	9.65	0.84	9.65	0.84	9.65
2016	11.11	12.75	11.93	0.82	9.78	0.84	10.02	0.86	10.02
2017	11.02	13.19	12.11	0.81	9.81	0.84	10.17	0.87	10.17
2018	10.93	13.95	12.44	0.79	9.83	0.84	10.45	0.89	10.45
2019	10.84	13.97	12.41	0.77	9.55	0.84	10.42	0.91	10.42
2020	10.76	14.23	12.50	0.76	9.50	0.84	10.50	0.93	10.50

注:情景一指的是对外依存度逐年降低;情景二指的是对外依存度保持不变;情景三指的是对外依存度逐渐升高。

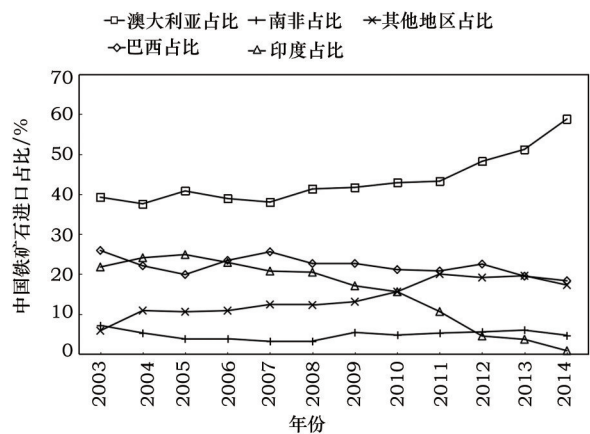


图6 中国铁矿石进口结构

Figure 6 China iron ore import structure

数据来源:联合国商品贸易数据库^[22]。

中国的铁矿石进口结构整体来说处于卖方垄断的市场,由于进口结构的高集中度导致中国在进行铁矿石谈判时处于被动地位,无市场化话语权。

3.3.3 进口政策与建议

目前,国际矿业处于低迷期。与此同时,国内铁矿石品位较低,成本较大,导致中国铁矿石进口依赖度逐年攀升,2015年达到了历史的峰值,高达84%。市场因素导致中国依赖进口可以接受,但是中国的贸易集中度却也在急剧升高,从澳大利亚进口铁矿石的占比近些年来急剧上升,存在较大的风险。从出口国来讲,澳大利亚、巴西、南非作为世界铁矿石的主要出口国,也是中国铁矿石进口的主要来源地。澳大利亚已经进入发达国家行列,其对矿业的依赖程度并不是很高,但从地理距离和经济距离上都存在绝对优势;巴西和南非是中国重要的金砖合作伙伴国,两国的矿产资源贸易合作一直较多,仍有较大潜力。与此同时,世界铁矿石四大生

产商控制着上述三国的主要矿山,近期矿业形势不景气,但四大矿商仍在扩大产能,通过在量上来挤压和吞并小型矿商。近期来看,中国的铁矿石需求不会大幅下降,进口的峰值还未到来,因此未来中国铁矿石的进口应当注意一下几个方面:

(1)适当降低铁矿石的贸易壁垒,放宽进口条件。目前铁矿石处于历史的低价位阶段,限于国内的品位较低以及开发成本较高,增加铁矿石的进口很有必要。

(2)就中国目前的进口结构而言,应当降低卖方市场集中度,减少从澳大利亚进口铁矿石的量。结合地理位置的临近关系以及经济距离因素,适当增加来自哈萨克斯坦、乌克兰、俄罗斯等“一带一路”沿线等发达国家的进口,降低进口市场的集中度。

(3)预警铁矿石进口峰值的到来。根据张艳飞等研究世界铁矿石的需求会持续上升^[5],中国处于经济转型新时期,工业化也进入到了中后期,城镇化潜力较大,铁矿石进口峰值预计将会在未来几年之内到达,应当建立中国铁矿石进口峰值预警机制。

(4)提高资源利用水平,一方面进口高品位的铁矿石,另一方面依据金属生命周期理论,中国钢铁即将迎来二次资源的爆发期,应当开始考虑二次资源社会存量的核算的工作,为中国铁矿石进口预测提供依据。

4 结论与建议

4.1 结论

本文首先通过空间交互模型对国际铁矿石贸易进行了研究。依据空间交互模型将影响因素分为出口国的推力因素和进口国的拉力因素,以及空

2017年4月

间上的地理距离和经济距离构成的阻力因素。通过分别构建地理距离权重矩阵和经济距离权重矩阵,估计了影响因素对铁矿石贸易的效应。此后,将进口国的影响因素分为需求因素和贸易因素对中国铁矿石进口进行分析。通过前人的研究方法,利用需求因素对中国铁矿石需求量进行预测,将未来贸易情况分为三种情景进行估算未来的进口量。通过实证研究主要得出以下结论:

(1)进口国的需求因素是影响铁矿石贸易的主要因素,进口国中的需求因素中产业结构的影响效应最大,其次是城镇化水平和经济增长,资源消耗水平影响效应最小。

(2)进口国的贸易因素对铁矿石贸易具有较强的效应。

(3)出口国中的资源储量这一因素是影响铁矿石出口的重要因素,技术水平和贸易因素对铁矿石出口影响较小。

(4)地理距离与铁矿石贸易存在着正U型关系,经济距离与铁矿石贸易存在着倒U型关系。在一定范围内,地理距离越大,两国铁矿石贸易量越小;经济距离越大,两国的铁矿石贸易量也会越大。

(5)中国铁矿石进口量的峰值约滞后于需求峰值的到达时间2年左右,预计在2018年左右到达。

4.2 建议

通过分析中国铁矿石进口格局,以及结合中国铁矿石进口的预测。对中国铁矿石进口提出以下建议:

(1)把握目前的矿业低迷以及铁矿石价格处于历史低位的时机,适当降低铁矿石进口贸易壁垒,增加铁矿石进口和储备。

(2)降低中国铁矿石进口的贸易集中度。减少来自澳大利亚的铁矿石进口量,适当增加“一带一路”沿线发达国家的铁矿石进口量。

(3)对铁矿石进口峰值的到来进行预警。

(4)估算未来中国钢铁资源的社会存量,对中国铁矿石进口预测提供参考。

参考文献(References):

[1] 王安建,王高尚,陈其慎,等. 矿产资源需求理论与模型预测

[J]. 地球学报, 2010, 31(2): 137-147. [Wang A J, Wang G S, Chen Q S, et al. The mineral resources demand theory and the prediction model[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(2): 137-147.]

[2] 任忠宝,王世虎,唐宇,等. 矿产资源需求拐点理论与峰值预测[J]. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1480-1489. [Ren Z B, Wang S H, Tang Y, et al. The inflection point theory of mineral resources demand and peak forecast[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(9): 1480-1489.]

[3] 贾立文,徐德义. 区域经济、城镇化对铁矿石需求的影响研究-基于27国样本[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 144-154. [Jia L W, Xu D Y. Regional economic and urbanization effects on iron ore demand based on a sample of 27 countries[J]. *Resources Science*, 2016, 38(1): 144-154.]

[4] 贾立文,徐德义. 铁矿石需求分析预测能力多模型比较研究-面板模型与灰色模型、协整模型、Arima模型[J]. 资源科学, 2014, 36(7): 1382-1391. [Jia L W, Xu D Y. Analysis and prediction of the demand for iron ore: Using panel, grey, cointegration and ARIMA models[J]. *Resources Science*, 2014, 36(7): 1382-1391.]

[5] 张艳飞,陈其慎,于汶加,等. 2015-2040年全球铁矿石供需趋势分析[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 921-932. [Zhang Y F, Chen Q S, Yu W J, et al. Global iron ore supply and demand trend analysis of 2015-2040[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 921-932.]

[6] 张宗成,王骏. 世界铁矿石的生产与贸易和我国铁矿石供需的经济学分析[J]. 国际贸易问题, 2005, (9): 28-33. [Zhang Z C, Wang J. The actuality of world iron ore production & trade and the economics analysis on China's demand & supply of iron ore[J]. *Journal of International Trade*, 2005, (9): 28-33.]

[7] 郝晓晴,安海忠,陈玉蓉,等. 基于复杂网络的国际铁矿石贸易演变规律研究[J]. 经济地理, 2013, 33(1): 92-97. [Hao X Q, An H Z, Chen Y R, et al. Research on evolution of international iron ore trade: Based on complex network theory[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(1): 92-97.]

[8] 程欣,帅传敏,严良,等. 中国铁矿石进口市场结构与需求价格弹性分析[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1915-1924. [Cheng X, Shuai C M, Yan L, et al. Market structure and price elasticity of China's iron ore imports[J]. *Resources Science*, 2014, 36(9): 1915-1924.]

[9] 徐斌. 国际铁矿石贸易格局的社会网络分析[J]. 经济地理, 2015, 35(10): 123-129. [Xu B. Social network analysis of the international iron ore trade pattern[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(10): 123-129.]

[10] Anderson J E. A theoretical foundation for gravity equation[J]. *American Economic Review*, 1979, 69(1): 106-116.

[11] Porojan A. Trade flows and spatial effects: The gravity model revisited[J]. *Open Economies Review*, 2001, 12(3): 265-280.

- [12] 行伟波,李善同.引力模型、边界效应与中国区域间贸易:基于投入产出数据的实证分析[J].国际贸易问题,2010,(10):32-41. [Xing W B, Li S T. Gravity model, border effect and inter-regional trade in China: Evidence from regional input-output data [J]. *Journal of International Trade*, 2010, (10): 32-41.]
- [13] 周丹.金砖国家间双边贸易成本弹性的测度与分析-基于超越对数引力模型[J].数量经济技术经济研究,2013,30(3):66-81. [Zhou D. Measuring the bilateral trade cost elasticity between the BRICS[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2013, 30(3): 66-81.]
- [14] Lesage J P, Pace R K. Spatial econometric modeling of origin-destination flows[J]. *Journal of Regional Science*, 2008, 48(5): 941-967.
- [15] Lesage J P, Llano C. A spatial interaction model with spatially structured origin and destination effects[J]. *Journal of Geographical Systems*, 2013, 15(3): 265-289.
- [16] 刘卫东,刘红光,范晓梅,等.地区间贸易流量的产业-空间模型构建与应用[J].地理学报,2012,67(2):147-156. [Liu W D, Liu H G, Fan X M, et al. Sector-specific spatial statistic model for estimating inter-regional trade flows: A case study of agricultural, chemical and electronic sectors in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(2): 147-156.]
- [17] 王庆喜,徐维祥.多维距离下中国省际贸易空间面板互动模型分析[J].中国工业经济,2014,(3):31-43. [Wang Q X, Xu W X. A research on Chinese inter-provincial trade based on spatial panel interaction model under multi-dimensional distances[J]. *China Industrial Economics*, 2014, (3): 31-43.]
- [18] 钱金保,才国伟.多边重力方程的理论基础和经验证据[J].世界经济,2010,33(5):65-81. [Qian J B, Cai G W. Basic theory and empirical evidence for the multi-lateral gravity equations[J]. *The Journal of World Economy*, 2010, 33(5): 65-81.]
- [19] Koop G. Bayesian Econometrics[M]. Chichester: John Wiley & Sons Inc, 2003.
- [20] Sohn I. Reflections on long-term projections of minerals and suggestions for a way forward[J]. *Journal of Applied Business and Economics*, 2008, 8(2): 67-80.
- [21] 王劲峰, Fischer M M, 刘铁军. 经济与社会空间分析[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Wang J F, Fischer M M, Liu T J. Spatial Analysis of Economic and Social Sciences[M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [22] United Nations. UN Comtrade Database[EB/OL]. (2016-01-01) [2016-04-20]. <http://comtrade.un.org/data/>.
- [23] World Bank. World Bank Database[EB/OL]. (2016-01-01) [2016-04-20]. <http://data.worldbank.org.cn/indicator>.
- [24] Wind. Wind 资讯经济数据终端[EB/OL]. (2016-04-20) [2016-04-20]. <http://www.wind.com.cn/Default.aspx>. [Wind. Wind Information Economic Data Terminal [EB/OL]. (2016-04-20) [2016-04-20]. <http://www.wind.com.cn/Default.aspx>.]
- [25] World Steel Association. Steel Statistics Yearbook[M]. Brussels: World Steel Association, 2003-2014.
- [26] Research and Expertised on World Economy. Cepii Database [EB/OL]. (2016-04-20) [2016-10-01]. http://www.cepii.fr/CEPII/fr/bdd_modele/presentation.asp?id=6.
- [27] United Nations. World Population Prospects: The 2015 Revision [EB/OL]. (2015-01-01) [2016-10-01]. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>.
- [28] Lee L, Yu J. Spatial nonstationarity and spurious regression: The case with a row-normalized spatial weights matrix[J]. *Spatial Economic Analysis*, 2009, 4(3): 301-327.
- [29] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[EB/OL]. (2016-03-17) [2016-10-01]. http://www.china.com.cn/lianghui/news/2016-03/17/content_38053101.htm. [Xinhua News Agency. Five Thirteenth Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China[EB/OL]. (2016-03-17) [2016-10-01]. http://www.china.com.cn/lianghui/news/2016-03/17/content_38053101.htm.]

The interactive process of international iron ore trade and analysis of China's importation strategy

ZHU Yongguang^{1,2}, XU Deyi^{1,2}, CHENG Jinhua^{1,2}, ZHU Wenqi^{1,2}, YOU Zhe^{1,2}

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Resources Environmental Economic Research Center, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: China's iron ore imports ranked first in the world. The research on the interactive process of iron ore trade has reference value for China's iron ore imports. The influence factors of international iron ore trade were divided into import country factors, export country factors and resistance factors based on gravity modeling. Spatial interactive modeling was then used to estimate model parameters. In general, three kinds of spatial interactive models are estimated: the agglomeration of the import country; agglomeration of the export country; and agglomeration of the import country and the export country. We divided import country factors into demand factors and trade factors and used these to forecast China's iron ore imports. We found that demand factors of importing countries are the main factors affecting iron ore trade, effects of industrial structure and urbanization are significant. The trade factors of importing countries have a strong influence on iron ore trade. The resource reserves of exporting countries are important factors that affect the export, but technical and trade factors are weaker. There is a positive U type relationship between geographical distance and iron ore trade, and an inverted U relationship between economic distance and iron ore trade. However, the relationship between distance and trade becomes weak, when inflection point of the U curve appears. The peak value of iron ore imports lags the peak demand by two years, and China's iron ore imports peak is expected to arrive in 2018. Finally, we analyze the market structure of China's iron ore imports and provide relevant policy recommendations.

Key words: spatial interactive model; iron ore; international trade; importation strategy; influence factor; China