

引用格式:成金华,朱永光,徐德义,等. 产业结构变化对矿产资源需求的影响研究[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 558-566. [Cheng J H, Zhu Y G, Xu D Y, et al. Impact of industrial structure change on mineral resources demand[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 558-566.] DOI :10.18402/resci.2018.03.10

产业结构变化对矿产资源需求的影响研究

成金华¹, 朱永光¹, 徐德义¹, 王安建², 尤 喆¹, 申 俊¹

(1. 中国地质大学(武汉)资源环境经济研究中心, 武汉 430074;

2. 中国地质调查局全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037)

摘要:中国经济进入新常态,产业结构面临着较大的转型,矿产资源的消耗数量仍会继续增长,品种更加多样化,管理更加复杂化。产业结构的变动如何影响矿产资源的需求是亟待解决的科学问题。本文分别构建了26个国家铁矿石消耗与产业结构之间的面板门限回归模型和中国铁矿石、铝、铜、铅、锡、锌等六种金属矿产与产业结构之间的门限模型,对产业结构变化与矿产资源需求之间的门限效应进行研究。主要得出以下几点结论:①产业结构变化与矿产资源需求之间存在着显著的多重作用机制,机制变化前后改变了矿产资源需求的主要因素;②随着产业结构不断向高技术产业的演进,矿产资源需求也由传统大宗矿产资源转向稀有矿产;③中国产业演进过程中金属资源消耗的拐点呈现梯次演进,大宗矿产资源与二次产业结构之间出现多个门槛,部分稀有矿产与二次产业结构之间的门槛也已经出现;④中国目前处于矿产资源需求的第二阶段,大宗矿产与高技术产业之间门槛已经出现,稀有金属与高技术产业之间的门槛尚未到来。

关键词:产业结构;矿产资源需求;高技术产业;门限效应

DOI :10.18402/resci.2018.03.10

1 引言

经济发展的重要阶段往往伴随着大型的科技革命,每次科技革命倒逼产业结构调整^[1],其本质核心是要素禀赋的结构升级^[2]。工业化需要大规模开发使用自然资源,其技术路线总是倾向于选择储量富饶且易于开发的物质^[3]。1900—2005年期间,全球物质材料消耗增长8倍。在此期间,全球主导资源也发生了变化,从原来的生物资源变为了矿产资源^[4]。当前,世界环境问题日益凸显,为达到联合国的可持续发展目标和巴黎气候协定的目标,需要相应的技术改革和世界各国积极参与资源的全球治理^[5]。目前,世界经济进入3.0时代^[6],主要发达国家(如美国、德国、日本等)提出了再工业化,二次工业化,工业化4.0等口号。未来一段时期内,伴随着人口增长和世界再次工业革命的浪潮,全球矿产资源

供应安全形势严峻。

党的“十八大”以来,生态文明建设被纳入了“五位一体”的总体战略布局。矿产资源作为经济社会发展 and 生态文明建设的重要物质基础,如何管理、保护和合理利用是生态文明建设的重要内容。长期以来,中国的工业化处于快速推进阶段,经济高速增长的同时,伴随着矿产资源的大量消耗^[7]。当前,中国经济进入新常态,“稳增长、调结构、促改革”的改革方向已经形成^[8]。未来的产业结构调整势必会带动新兴矿产资源的需求,大宗矿产的需求与产业结构的关系是否发生改变,未来两者之间关系又将如何变化,都是亟待研究的科学问题。本文选取门限效应视角,利用26个国家的数据和中国的数据构建门限模型,分析产业结构变化对矿产资源需求的影响。

收稿日期:2017-09-01 修订日期:2018-02-08

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(121201103000150114)。

作者简介:成金华,男,湖北黄冈人,教授,博士生导师,研究方向为资源环境经济。E-mail:chengjinhua100@126.com

通讯作者:朱永光, E-mail:zhuyongguang@cug.edu.cn

2 研究综述

经济增长是工业化的最直接体现,自然资源的瓶颈是约束经济增长的原因^[9]。Pearce最早提出了自然资本这一概念,将其作为经济增长的基本生产要素放入经济系统。相关自然资源与经济增长的研究中,关于水、土地等资源类型的研究文献较多,研究角度多从环境保护的角度出发。矿产资源在经济增长中的作用与地位,是与人类社会的工业化紧密联系在一起。当越来越多的国家和地区加入到工业化社会中来,以消耗矿产为主要特征的工业化成为现代经济增长的主题,加上矿产资源的稀缺性,使得矿产成为现代经济增长中一种必不可少的生产要素,并逐渐上升为与资本、劳动同等地位的独立生产要素^[10]。例如,Gierlinger等研究发现美国工业化进程中,自然资源的消耗增加了18倍,并且日本、英国与美国工业化模式基本相同^[11]。Schoer等研究表明欧盟在工业发展过程中能够满足自身对生物能和非金属矿产资源的需求,但缺少大量金属矿产品^[12]。关于工业化不同阶段矿产资源消耗规律的研究十分丰富,研究的主要结论可以概述为:线性-倒U型-S型-钟型。最早的Shen等提出了矿产资源消耗与城镇化、工业化直接存在线性或者对数线性关系^[13]。此后,成金华提出了倒U型关系^[7],Wang等、王安建等学者基于两拐点的发现,提出了资源能源消耗与经济增长之间的S型需求曲线理论^[14, 15]。工业化的中后期,环境问题日益突出,环境政策对矿产资源的消耗产生了一定的约束作用。于汶加等学者基于此,提出了工业化后期矿产资源消耗呈现钟型关系^[16]。

工业化过程是产业结构转型升级过程,产业结构内生于要素禀赋结构,且随着要素禀赋结构的升级而升级^[2, 17]。世界各国的工业化经验表明,资源诅咒问题是工业化过程中不可避免的问题^[18]。邵帅等研究指出过度依赖资源产业,在后期容易产生资源诅咒问题,制约区域内的经济增长^[19]。与此同时,根据邓向荣等研究发现,中国的产业升级过程中存在着偏离比较优势的特征^[20]。随着中国经济进入新常态,国内资源性产品供求关系发生了一系列新的变化,迫切需要加快资源型产业转型升级,从而更好地满足加速工业化和城镇化的要求^[21]。沈镭等研究

指出中国经济增长与矿产资源消费的脱钩关系,发现呈现一种周期性的脱钩和复钩过程^[22]。世界各国工业化资源路线最终都要付出环境的代价,引发社会冲突^[23],从而倒逼产业结构的转变,继而引发矿产资源的供应结构的改变^[24]。产业的演进既包括了农业-工业-服务业演进过程,同时也包括工业内部结构演进过程^[25, 26]。不同的工业化阶段,矿产资源的需求具有较大的差异性^[27]。陈其慎等结合产业经济学和矿产资源经济学,总结了资源-产业“雁行式”规律,并描绘了中国矿产资源需求峰值图谱^[28]。

以往关于矿产资源需求的研究中,往往是依据相关宏观经济指标,如人口、GDP等,判断其峰值和拐点。尽管以往的研究对矿产资源需求有了科学的预判,但从产业结构变化的视角研究矿产资源需求目前还没有定量的研究。本文采用Hansen于1999年提出的门限回归模型^[29],估计产业结构变化的临界值,描述矿产资源需求在产业结构变化前后的规律变动。因此,本文是从矿产资源需求变化内生于产业结构变化的视角,定量研究产业结构对矿产资源需求的影响机制。

3 研究方法、变量选取与数据来源

3.1 门限回归模型

美国著名经济学家Hansen于1999年提出了面板数据的门限回归模型^[29],该模型主要用来描述机制转变:

$$y_{it} = X_{it}\beta + \theta q_{it}I(\cdot) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中 y_{it} 表示被解释变量; X_{it} 表示基本解释变量; q_{it} 表示门限变量; ε_{it} 表示残差; β 、 θ 为待估参数; $I(\cdot)$ 表示指示函数,其结构为:

$$I(\cdot) = \begin{cases} 1, & q_{it} \leq \gamma \\ 0, & q_{it} > \gamma \end{cases} \quad (2)$$

式中 γ 表示门限值,即机制发生转换的临界点。此后,Hansen对该模型参数估计和检验进行了统计学上的推导^[30]。该模型估计的关键点在于估计门限值 γ ,一般通过似然比检验监测门限值的显著性,其公式为:

$$LR(\gamma) = n \frac{S_n(\gamma) - S_n(\hat{\gamma})}{S_n(\hat{\gamma})} \quad (3)$$

式中 n 表示样本量; $S_n(\gamma)$ 表示不存在门限值时的残差平方和; $S_n(\hat{\gamma})$ 表示存在门限值时的残差平方和; $LR(\gamma)$ 表示似然比,其分布不满足标准的卡方分布。

Hansen 提出了自举法计算 $LR(\gamma)$ 的临界值。

该模型主要运用在宏观经济结构突变领域的研究,在国内外已有很好的应用成果。本文主要研究产业结构变化对矿产资源需求的影响,考虑到产业结构变化作为一个门限变量,从产业结构变动的视角,研究矿产资源需求的变化规律。因此,选择门限回归模型作为实证分析的主要工具是可行的。

3.2 变量选取与数据来源

考虑到数据的可获得性,首先选取铁矿石为研究矿种,选取世界主要经济体作为样本,分析大宗矿产与产业结构变化之间的规律;其次,利用中国的铁矿石、铜、铝、铅、锌、锡数据建模,分别研究并比较大宗矿产、稀有矿产与产业结构之间的关系。世界主要经济体的选取参考贾立文等^[31, 32]研究中提出的 27 个国家,分别为美国、英国、德国、日本、韩国、加拿大、法国、意大利、荷兰、比利时、西班牙、俄罗斯、瑞典、丹麦、芬兰、挪威、墨西哥、澳大利亚、巴西、奥地利、智利、秘鲁、印度尼西亚、南非、印度、埃及与中国,时间跨度为 1996—2015 年。

被解释变量主要描述矿产资源的消耗水平,因此选取各种矿产资源的消费量。考虑到人口因素,使用人均矿产资源消费量。依据门限回归模型,解释变量分为基本解释变量和门限解释变量。通过对

文献的搜集和整理,参考王安建等^[15]、贾立文等^[31, 32]、朱永光等^[33]研究成果,基本解释变量选取了人均 GDP、城市化率、能源矿产资源消耗三个方面的五个变量。门限变量是本研究的主要研究变量,本文将产业分为第一产业、第二产业以及高技术产业,其中第一和第二产业结构选取的是第一产业和第二产业增加值占 GDP 的比重,高技术产业指标选取的是高科技出口占制成品出口的比例。具体变量说明见表 1。

其中,被解释变量中的中国人均铜金属、人均铝金属、人均锡金属、人均铅金属、人均锌金属消费量数据均来自于 Martin Stuermer 文献^[27];世界各国铁矿石消费量来自于 2000—2015 年《世界钢铁统计年鉴》^[34];基本解释变量和门限变量数据均来自于世界银行数据库^[35]。

4 实证研究结果

4.1 平稳性检验

面板数据和时间序列数据建模首先要对数据的平稳性进行检验,非平稳数据容易产生伪回归结果。本文分别对 26 国的面板数据和中国的时序数据进行平稳性检验,结果如表 2 和 3 所示。对于面板数据主要采用的检验方法是 LLC 检验、LM 检验、ADF-Fisher 检验、PP-Fisher 检验,对于四种检验方

表 1 变量说明

Table 1 Variables description

变量类型	一级指标	二级指标	变量
被解释变量	世界各国人均铁矿石消费量	人均铁矿石消费量/(t/人)	PORE
	中国人均铜金属消费量	人均铜金属消费量/(t/人)	PCOP
	中国人均铝金属消费量	人均铝金属消费量/(t/人)	PALU
	中国人均锡金属消费量	人均锡金属消费量/(t/人)	PTIN
	中国人均铅金属消费量	人均铅金属消费量/(t/人)	PLEA
	中国人均锌金属消费量	人均锌金属消费量/(t/人)	PZIN
基本解释变量	人均 GDP	人均 GDP/(万元本国货币/人)	PGDP
	城市化率	城镇人口占总人口的比例/%	CIT
	能源矿产消耗	能源使用量/t 石油当量	ENE
		单位 GDP 能源消耗/t 石油当量	GEN
		石油净进口量/万亿美元	ONI
		技术进步	科技期刊文章数/篇
门限变量	产业结构指标	第一产业增加值占 GDP 的比例/%	AGR
		第二产业增加值占 GDP 的比例/%	IND
		高科技出口占制成品出口的比例/%	TEC

2018年3月

法,遵从多数的原则,多个检验方法显示平稳则证明该序列平稳。表2中的结果显示,人均铁矿石消费量、第二产业增加值占比、高科技出口占制成品出口的比例三个变量均为一阶单整过程,需要进行一阶差分;科技期刊文章数为二阶单整过程,需要进行二阶差分;其余变量为零阶单整过程,即平稳序列。对于时间序列数据,本文采用的是ADF检验方法。表3结果显示中国的时序数据中,铁矿石与五种金属消费量、人均GDP、第二产业增加值占比、高科技出口占制成品出口的比例、科技期刊文章数五个变量为一阶单整过程,进行一阶差分,其余变量为平稳序列。

4.2 产业结构变化与矿产资源消耗的门限效应

本文选取第一产业、第二产业增加值占GDP的比重和高科技出口占制成品出口的比例作为产业结构变化的指标,分别对三个指标与铁矿石消耗之间的门限效应进行检验(表4)。结果显示,第一产业单个门限值检验结果LR为26.538,大于5%的自举临界值25.837,显著存在;两个门限值检验结果

LR为15.682,小于10%的自举临界值20.759,不显著。因此,第一产业与铁矿石消耗之间存在单个门限效应,即内在机制发生了一次变化。对第二产业进行门限效应检验,单个门限效应检验结果LR为30.651,大于1%的自举临界值30.428,显著存在;两个门限效应检验结果LR为26.759,大于5%的自举临界值22.793,显著存在;三个门限效应检验结果LR为1.528,小于10%的自举临界值18.429,不显著。因此,第二产业与铁矿石消耗之间存在着两个门限效应,即内在机制发生了两次变化。对高科技出口占制成品出口的比例这一指标检验单个门限效应结果LR为26.538,大于5%的自举临界值25.837,显著存在;两个门限效应检验结果LR为15.682,小于10%的自举临界值20.759,不显著。因此,高技术产业与铁矿石消耗之间存在单个门限效应。

本文对第一产业、第二产业分别进行门限效应估计(表5)。依据Wald检验结果,模型的显著性均通过检验。第一产业占比与铁矿石消耗之间存在着单门限双机制过程。当第一产业增加值占GDP比重降至52.4%时,铁矿石需求作用机制发生改变。该机制转换过程中,人均GDP的边际效应系数由1.344增加到2.051,城镇化率、能源消耗变量也由不显著转变为显著。第一产业增加值占比这一指

表2 26国面板数据平稳性检验

Table 2 Stationary test of 26 countries' panel data

变量	LLC 检验	Lm 检验	ADF-Fisher 检验	PP-Fisher 检验
D(PORE)	-5.104***	-5.663***	119.457***	219.106***
lnPGDP	-7.995***	-6.413***	130.442***	65.279
CIT	-4.009***	-3.588***	87.052***	67.406*
lnENE	-2.456***	-2.839***	76.905**	125.412***
GEN	-4.009***	-5.166***	111.814***	145.121***
ONI	-4.348***	-3.754***	87.421***	145.711***
AGR	-7.531***	-5.503***	118.555***	140.039***
D(IND)	-5.976***	-4.491***	99.643***	90.533***
D(TEC)	-3.790***	-3.460***	86.773***	82.663***
D(DlnJUR)	-8.401***	-6.189***	132.138***	421.834***

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

表3 中国数据平稳性检验

Table 3 Stationary test of China's data

变量	原始 序列	一阶差分 序列	变量	原始 序列	一阶差分 序列
PORE	-2.056	-3.025*	lnENE	-3.829**	-
PCOP	-2.080	-5.492***	GEN	-3.435*	-
PALU	-2.206	-4.619**	ONI	-3.428*	-
PTIN	-1.973	-3.692*	AGR	-6.387***	-
PLEA	-0.648	-3.019*	IND	-3.197	-3.819**
PZIN	-3.064	-6.409***	TEC	-2.867	-2.904**
lnPGDP	-2.119	-4.603**	lnJUR	-0.982	-2.892*
CIT	-3.275*	-			

表4 产业结构的门限效应检验

Table 4 Threshold effects test of industrial structure

原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	26.538	22.371	25.837	29.782	30.651	23.621	26.638	30.428	26.538	22.371	25.837	29.782
两个门限值	15.682	20.759	22.968	29.631	26.759	20.895	22.793	30.351	15.682	20.759	22.968	29.631
三个门限值	-	-	-	-	1.528	18.429	20.583	25.911	-	-	-	-

表5 产业结构门限模型估计结果

Table 5 Threshold model estimation results of industrial structure

解释变量	第一产业		第二产业		
	$AGR \leq 52.4\%$	$AGR > 52.4\%$	$IND \leq 24.6\%$	$24.6\% < IND < 68.2\%$	$IND \geq 68.2\%$
<i>PGDP</i>	2.051*** (0.013)	1.344*** (0.337)	0.036*** (0.007)	6.116* (3.301)	2.902** (1.166)
<i>CIT</i>	0.719* (1.009)	-0.638 (0.534)	2.902** (1.166)	3.306*** (8.177)	-4.974 (2.028)
$\ln ENE$	-3.932 (1.570)	-0.124 (0.049)	0.090*** (0.013)	3.393*** (0.318)	1.000** (0.446)
<i>GEN</i>	4.364*** (1.020)	3.495 (6.787)	0.417*** (1.004)	-0.586 (0.460)	0.213 (1.893)
<i>ONI</i>	1.470*** (2.203)	0.716*** (0.045)	0.154*** (0.029)	0.840*** (0.400)	1.304 (1.601)
<i>TEC</i>	0.428*** (0.464)	0.256** (0.934)	1.320** (0.446)	1.104*** (0.067)	-0.608* (0.471)
$D(D(JUR))$	10.549 (7.134)	7.678 (5.773)	4.324 (9.951)	-0.067* (0.036)	4.324 (9.951)
<i>q</i>	-0.102 (0.281)	-0.333* (0.455)	0.194*** (0.901)	0.541*** (0.080)	0.421** (1.493)
<i>C</i>	1.313** (0.852)	0.273*** (0.450)	7.087*** (2.019)	-0.018 (0.099)	0.036*** (0.007)
Wald 检验	572.104***	468.507***	648.250***	1 025.488***	905.440***

注:括号内数据表示标准差,下同。

标也由显著变为不显著。从第二产业增加值占比这一指标估计结果来看,铁矿石消耗与第二产业占比存在着两门限三机制过程,门限值分别为24.6%和68.2%。该过程中,人均GDP指标与铁矿石消耗之间的边际系数,从0.036上升到6.116,然后又降至2.902,呈现着倒U型结构;城镇化率在前两阶段促进铁矿石消耗,到达第三阶段不再显著;能源消耗变量,在前两个阶段与铁矿石之间存在着较强的相关性,到达第三个阶段后也不再显著;技术进步变量在第一阶段与铁矿石消耗存在着正向关系,系数为1.320,铁矿石消耗增长同时技术进步水平也在同步提高,到达第二阶段后关系减弱至1.104,最后达到第三阶段两者之间关系显著为负;第二产业增加值占比这一指标与铁矿石消耗之间的作用关系也呈现倒U型,系数从一阶段的0.194上升到0.541,到达第三阶段降至0.421。

根据表6中高技术产业门限模型的估计结果,Wald检验的结果显著,模型拟合较好。高科技出口占制成品出口的比例达到17.3%时,铁矿石消耗内在机制发生了转变。经济增长指标与铁矿石消耗之间的边际效应系数由1.958降至1.344;城镇化率的作用边际效应作用机制也由0.931降至0.719;能源消耗指标也由显著变为不显著;产业结构的作用效果也在逐渐降低;技术进步本身的作用效果则是在增强,系数绝对值由2.948升至3.011,技术进步对铁矿石消耗的反向作用逐步增强。

表6 技术进步门限模型估计结果

Table 6 Threshold model estimation results of technical progress

解释变量	高技术产业	
	$TEC \leq 17.3\%$	$TEC > 17.3\%$
<i>PGDP</i>	1.958*** (1.834)	1.344*** (0.337)
<i>CIT</i>	0.931** (1.209)	0.719** (0.534)
<i>ENE</i>	4.461** (2.182)	1.546 (0.049)
<i>GEN</i>	5.758*** (1.193)	3.495 (6.787)
<i>ONI</i>	-0.991* (0.873)	0.176* (0.045)
<i>AGR</i>	-0.915* (0.518)	-2.586 (1.934)
<i>IND</i>	0.630** (0.029)	0.678* (5.773)
<i>q</i>	-2.948*** (1.866)	-3.011* (4.455)
<i>C</i>	1.344*** (0.337)	0.273*** (0.050)
Wald 检验	152.201***	402.552***

4.3 中国的产业结构变化与矿产资源消耗的门限效应

中国是世界矿产资源需求第一大国,同时也是主要大宗矿产品进口第一大国。长期的经济社会发展对矿产资源产生了较大需求。本文利用中国的数据检验了中国产业结构变化对矿产资源消耗的门限效应,选取了铁矿石、铜、铝、铅、锌、锡(表7)。结果显示,中国第一产业与铁矿石消耗之间单个门限效应检验LR值为26.499,大于5%的自举临界值24.338%,显著存在;两个门限效应检验LR值为17.368,小于10%的自举临界值21.194,不显著。因此,存在单个门限两机制过程。同样,第二产业与铁矿石消耗单个门限检验LR为19.551,大于10%的自举临界值18.954,显著存在;两个门限效应检验

2018年3月

表7 中国产业结构、技术进步的门槛效应

Table 7 Threshold effects test of industrial structure and technical progress in China

铁												
原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	26.499	20.641	24.338	29.664	19.551	18.954	20.574	23.547	5.211	15.542	17.658	21.246
两个门限值	17.368	21.194	24.827	27.648	10.762	19.361	22.186	25.449	-	-	-	-
铝												
原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	7.146	16.173	18.417	21.074	22.673	16.943	19.470	22.067	17.452	16.081	18.249	20.746
两个门限值	-	-	-	-	18.492	16.049	18.873	21.791	14.519	15.716	18.007	20.371
三个门限值	-	-	-	-	12.116	15.762	17.967	19.834	-	-	-	-
铜												
原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	16.291	15.894	18.041	20.672	22.490	20.324	22.026	24.167	21.730	19.492	22.049	24.381
两个门限值	13.228	14.733	17.127	20.021	21.039	19.496	21.279	23.671	17.498	18.067	20.941	23.163
三个门限值	-	-	-	-	17.439	18.946	20.037	22.416	-	-	-	-
铅												
原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	4.928	16.438	18.672	21.094	18.192	17.069	19.172	22.049	17.648	16.492	18.946	21.462
两个门限值	-	-	-	-	14.631	16.743	18.034	21.076	12.743	16.035	18.176	20.941
锡												
原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	5.392	12.249	15.635	19.594	26.226	15.482	18.436	22.096	18.121	17.643	20.186	23.201
两个门限值	-	-	-	-	19.386	16.357	19.419	22.197	15.248	16.495	18.957	21.734
三个门限值	-	-	-	-	12.816	14.006	16.913	19.899	-	-	-	-
锌												
原假设	LR	第一产业自举临界值			LR	第二产业自举临界值			LR	高技术产业自举临界值		
		10%	5%	1%		10%	5%	1%		10%	5%	1%
单个门限值	2.408	16.410	18.529	21.394	19.591	17.857	20.637	24.519	16.211	18.417	21.836	24.746
两个门限值	-	-	-	-	9.609	16.997	19.482	22.613	-	-	-	-

LR 值 10.762, 小于 10% 自举临界值 19.361, 不显著。因此, 存在单个门限两机制过程。高技术产业与铁矿石消耗单个门限机制检验结果 LR 为 5.211, 小于 10% 的自举临界值 15.542, 不显著。因此, 中国的技术进步水平与铁矿石消耗之间不存在门限效应。

其次, 本文也对中国铝、铜、铅、锡、锌五种金属消耗与产业结构的门限效应进行了检验, 检验结果如表 7 所示。铝资源与第一产业之间单个门限检验结果 LR 值为 7.146, 小于 10% 自举临界值 16.173, 不显著; 铝资源与第二产业之间的两个门限效应检验

LR 值为 18.492, 大于 10% 自举临界值 16.049, 但三个门限效应检验结果为 12.116, 小于自举临界值 15.762, 因此存在两个门限效应; 与高技术产业之间则存在单个门限效应。同样对比可以发现, 铜金属与第一产业之间存在单个门限效应, 与第二产业存在两个门限效应, 与高技术产业之间存在单个门限效应; 铅金属与第一产业之间不存在门限效应, 与第二产业和高技术产业之间存在单个门限效应; 锡金属与第一产业之间不存在门限效应, 与第二产业之间存在两个门限效应, 与高技术产业之间存在单

个门限效应;锌金属与第一产业和高技术产业之间均不存在门限效应,与第二产业之间存在单个门限效应。

5 结论与展望

中国经济进入新常态阶段,工业化和城镇化的进程仍在逐步进行,矿产资源需求面临数量大且品种多的困境。本文选取世界26个主要国家的历史数据,以铁矿石为例,分析产业结构变化、技术进步对矿产资源消耗产生的影响,利用门限回归模型检验产业结构变化、技术进步对矿产资源需求的影响。同时,利用中国的数据,对中国的主要矿产资源需求与产业结构之间的关系进行了分析,主要得出以下结论:

(1)产业结构变化与矿产资源需求之间存在着显著的多重作用机制。相比贾立文等^[32]研究成果,本研究进一步揭示了两者之间的关系。从第一产业来看,产业初期,铁矿石需求的影响因素作用机制较弱,经济增长、城镇化、能源消耗对矿产资源的需求尚未构成较大的作用;产业后期,各项指标对矿产资源需求的作用效果显著增强。第二产业与矿产资源需求之间关系更为复杂,两者存在两个拐点,分为三个阶段。初期矿产资源需求与各项指标关系较弱,中期时各项指标的影响达到顶峰,到达后期作用关系稳定在一定的水平。

(2)高技术产业与矿产资源需求之间存在着门槛效应。从铁矿石数据估计的结果来看,技术进步水平的门槛值较低。技术进步对矿产资源需求长期都有较强的负向影响。在低技术水平时期,矿产资源的需求主要由能源消耗来推动,高水平时期能源消耗不再显著;经济增长、城镇化等因素是影响矿产资源需求的长期稳定因素。

(3)中国产业演进过程中金属资源消耗的拐点呈现梯次演进。与陈其慎等^[28]和任忠宝等^[36]不同的是,本研究发现了部分大宗商品存在着二次拐点。在工业化过程中,随着中国的产业结构从第一产业到第二产业,再到高技术产业,矿产资源需求品种正在逐渐增多,需求量也在不断增加,先后出现拐点。大宗金属铁、铝、铜与第二产业的拐点先到达,并且铝与铜出现了第二次拐点,此后铅、锡等金属的拐点也先后到达,目前锌与第二产业和高技

术产业之间的门限效应尚未出现。

(4)中国目前处于矿产资源需求的第二阶段,稀有金属与高技术产业之间的门槛尚未到来。通过对中国数据的估计,中国大宗金属矿产已经全部跨过与第一产业之间基本门槛,部分金属也跨过了第二产业与矿产资源需求的第一个门槛,目前处于第二门槛中。同时,部分大宗金属矿产与高技术产业之间的门槛也已经出现,但是中国高技术产业与所需求的稀有矿产资源需求之间的门槛尚未到来。

根据本文的研究成果,产业结构、技术进步与矿产资源需求之间确实存在着紧密的联系。本文构建的门限回归模型很好的描述了两者的对矿产资源需求的影响,但仍有值得进一步探讨的科学和现实问题:其一,由于门限回归模型属于一种分段线性回归,仅仅描述了产业结构、技术进步在门限值前后的线性关系,他们之间的关系某种程度上肯定存在非线性,因此需要进一步讨论。其二,进一步细化产业结构。本文仅仅选取了第一产业、第二产业、高技术产业这种笼统的划分方法,接下来的研究需要对第二产业、高技术产业进行细分,刻画产业内部不同行业结构与矿产资源需求的影响。

参考文献(References):

- [1] 贾根良. 第三次工业革命与工业智能化[J]. 中国社会科学, 2016, (6): 87-106. [Jia G L. The third industrial revolution and industrial intelligence[J]. *Social Sciences in China*, 2016, (6): 87-106.]
- [2] 徐朝阳, 林毅夫. 发展战略与经济增长[J]. 中国社会科学, 2010, (3): 94-108. [Xu Z Y, Lin Y F. Development strategy and economic growth[J]. *Social Sciences in China*, 2010, (3): 94-108.]
- [3] 金碚. 中国工业化的资源路线与资源供求[J]. 中国工业经济, 2008, (2): 5-19. [Jin B. Chinese industrialization: resource route and resource supply & demand [J]. *China Industrial Economics*, 2008, (2): 5-19.]
- [4] Krausmann F, Gingrich S, Eisenmenger N, et al. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(10): 2696-2705.
- [5] Ali S H, Giurco D, Arndt N, et al. Mineral supply for sustainable development requires resource governance[J]. *Nature*, 2017, 543(7645): 367-372.
- [6] 金碚. 论经济全球化3.0时代—兼论“一带一路”的互通观念[J]. 中国工业经济, 2016, (1): 5-20. [Jin B. On the era of economic globalization 3.0—concurrently discuss the concept of intercommunication of “One Belt One Road” [J]. *China Industrial Economics*,

2018年3月

- 2016, (1): 5–20.]
- [7] 成金华. 中国工业化进程中矿产资源消耗现状与反思[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2010, 10(4): 45–48. [Cheng J H. Status of and reflection on the high consumption of mineral resources during Chinese industrialization[J]. *Journal of China University of Geo sciences (Social Sciences Edition)*, 2010, 10(4): 45–48.]
- [8] 金碚. 中国经济发展新常态研究[J]. 中国工业经济, 2015, (1): 5–18. [Jin B. Study on new normal state of China's economic development[J]. *China Industrial Economics*, 2015, (1): 5–18.]
- [9] 罗浩. 自然资源与经济增长: 资源瓶颈及其解决途径[J]. 经济研究, 2007, (6): 142–153. [Luo H. Natural resource and economic growth: resource bottleneck and its solution [J]. *Economic Research Journal*, 2007, (6): 142–153.]
- [10] 成金华, 汪小英. 工业化与矿产资源消耗: 国际经验与中国政策调整[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2011, 11(2): 23–27. [Cheng J H, Wang X Y. Industrialization and consumption of mineral resources: international experience and adjustment of China's policies[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2011, 11(2): 23–27.]
- [11] Gierlinger S, Krausmann F. The physical economy of the United States of America[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, 16(3): 365–377.
- [12] Schoer K, Weinzettel J, Kovanda J, et al. Raw material consumption of the European union—concept, calculation method, and results[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(16): 8903–8909.
- [13] Shen L, Cheng S, Gunson A J, et al. Urbanization, sustainability and the utilization of energy and mineral resources in China[J]. *Cities*, 2005, 22(4): 287–302.
- [14] Wang A, Wang G, Chen Q, et al. S-curve model of relationship between energy consumption and economic development[J]. *Natural Resources Research*, 2015, 24(1): 53–64.
- [15] 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 Geoscientia Sinica*, 2010, 31(2): 137–147.]
- [16] 于汶加, 陈其慎, 张艳飞, 等. 世界新格局与中国新矿产资源战略观[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 860–870. [Yu W J, Chen Q S, Zhang Y F, et al. New global patterns and new Chinese resource strategies [J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 860–870.]
- [17] Sachs J D, Warner A M. The curse of natural resources[J]. *European Economic Review*, 2001, 45(4–6): 827–838.
- [18] Smith B. The resource curse exorcised: evidence from a panel of countries[J]. *Journal of Development Economics*, 2015, 116: 57–73.
- [19] 邵帅, 杨莉莉. 自然资源丰裕、资源产业依赖与中国区域经济增长[J]. 管理世界, 2010, (9): 26–44. [Shao S, Yang L L. Abundant natural resources, dependence on resource industries and regional economic growth in China[J]. *Management World*, 2010, (9): 26–44.]
- [20] 邓向荣, 曹红. 产业升级路径选择: 遵循抑或偏离比较优势—基于产品空间结构的实证分析[J]. 中国工业经济, 2016, (2): 52–67. [Deng X R, Cao H. Industrial upgrading path: conform or defy comparative advantage—an empirical analysis based on product space structure[J]. *China Industrial Economics*, 2016, (2): 52–67.]
- [21] 杨丹辉, 张艳芳, 李鹏飞. 供给侧结构性改革与资源型产业转型发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(7): 18–24. [Yang D H, Zhang Y F, Li P F. Supply-side structural reform and transformation of resource-based industries in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(7): 18–24.]
- [22] 沈镭, 武娜, 钟帅, 等. 经济新常态下中国矿业供给侧改革发展战略研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(7): 8–17. [Shen L, Wu N, Zhong S, et al. Study on the supply-side reform strategy of mining industry under the new normal economy in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(7): 8–17.]
- [23] Conde M. Resistance to mining: a review[J]. *Ecological Economics*, 2017, 132: 80–90.
- [24] Wu R, Geng Y, Liu W. Trends of natural resource footprints in the BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 775–782.
- [25] 刘伟. 工业化进程中的产业结构研究[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1995. [Liu W. Research on Industrial Structure in the Process of Industrialization[M]. Beijing: Renmin University of China Press, 1995.]
- [26] 徐铭辰, 岑况. 典型国家矿业周期分析[J]. 经济研究参考, 2014, (68): 27–33. [Xu M C, Cen K. Mining cycle analysis in typical countries[J]. *Review of Economic Research*, 2014, (68): 27–33.]
- [27] Stuermer M. Industrialization and the demand for mineral commodities[J]. *Journal of International Money and Finance*, 2017, 76: 16–27.
- [28] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 资源—产业“雁行式”演进规律[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 871–882. [Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, et al. Resources—industry “flying geese” evolving pattern [J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 871–882.]
- [29] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345–368.
- [30] Hansen B E. Sample splitting and threshold estimation[J]. *Econometrica*, 2000, 68(3): 575–603.
- [31] 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.]
- [32] 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.]
- [33] 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

- al iron ore trade and analysis of China's importation strategy[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 664–677.]
- [34] World Bank. World Bank Database [EB/OL]. (2017–08–01)[2017–08–01]. <http://data.worldbank.org.cn/indicator>.
- [35] World Steel Association. Steel Statistics Yearbook [M]. Brussels: World Steel Association, 2003–2016.
- [36] 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.]

Impact of industrial structural change on mineral resource demand

CHENG Jinhua¹, ZHU Yongguang¹, XU Deyi¹, WANG Anjian², YOU Zhe¹, SHEN Jun¹

(1. *Resources Environmental Economic Research Center, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;*

2. *Research Center of Strategy of Global Mineral Resources, China Geological Survey, Beijing 100037, China)*

Abstract: China's economy has entered a new normal and industrial organizations are facing major transformation. Consumption of mineral resources will continue to grow and varieties are more diverse, making mineral resource management more complex. How changes in industrial structure affect the demand of mineral resources is an important scientific problem. Two threshold models are constructed here: (1) a Panel threshold regression model of 26 countries was constructed using data for iron ore consumption and industrial structure in 26 countries; and (2) a threshold model between six kinds of metal minerals and industrial structure, including iron ore, aluminum, copper, lead, tin and zinc, was constructed using Chinese data. We found that there are remarkable multiple mechanisms between changes in industrial structure and demands for mineral resources, which has changed the main factors of mineral resource demand in two different mechanisms. With continuous evolution of industrial institutions to high technology industries, the demand for mineral resources has also shifted from traditional mineral resources to rare minerals. China metal resource consumption appears at an inflection point echelon evolution. There are multi threshold effects between bulk mineral resources and the second industry. Some threshold effects between rare minerals and secondary industry has also appeared. China is now in the second stage of mineral resource demand. The threshold between bulk mineral industry and high technology industry has appeared. The threshold between rare metal and high technology industries has not yet arrived.

Key words: industrial structure; mineral resources consumption; high technology industry; threshold effects