

引用格式:梁姗姗,杨丹辉. 矿产资源消费与产业结构演进的研究综述[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 535-546. [Liang S S, Yang D H. A review of mineral resource consumption and industrial structure evolution[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 535-546.] DOI: 10.18402/resci.2018.03.08

矿产资源消费与产业结构演进的研究综述

梁姗姗^{1,2}, 杨丹辉³

(1. 山西财经大学国际贸易学院, 太原 030006; 2. 中国社会科学院研究生院, 北京 102488;

3. 中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100836)

摘要:世界范围来看,新一轮科技革命和工业革命蓬勃兴起,实体经济向绿色化、智能化、服务化转型发展将对全球矿产资源消费总量和结构产生深远的影响,开展世界及中国矿产资源消费总量、结构的变动趋势及其影响因素等相关研究具有重大的理论和现实意义。本文从矿产资源消费对产业结构演进的影响、工业化对矿产资源消费总量和结构变动的作用以及研究方法三个方面对已有研究成果进行了梳理。综述发现已有研究成果对于支撑战略性新兴产业发展的关键稀有金属消费的研究不足,同时忽视了技术创新和环境保护对矿产资源消费的影响。鉴于中国与发达国家的工业化路径不同,今后应强化对后起工业化大国矿产资源消费规律的探索,精准刻画原材料库兹涅兹曲线,科学研判和揭示技术创新和绿色发展对矿产资源消费的影响,从而更好地为新时代矿产资源开发利用战略调整提供理论和实证支撑。

关键词:产业结构;矿产资源消费;交互影响;峰值

DOI: 10.18402/resci.2018.03.08

1 引言

矿产资源的消费贯穿于一国(地区)工业化的始终。在工业化的不同阶段,随着产业结构演进,矿产资源消费结构呈现出鲜明的阶段性特征。当前,世界范围内新一轮科技革命和工业革命蓬勃兴起,对矿产资源消费需求总量和结构将会产生重大影响。一方面,3D打印等工业4.0下的增材制造范式及其应用将改变工业原材料利用的方式;另一方面,发达国家实施“再工业化战略”,推动制造业智能化、绿色化、服务化转型。现阶段,发达国家基础金属消费总量普遍达到或接近达峰,开始由增量开发逐步转向存量利用,而以稀土、钨、锆、铂族金属为代表的稀有、稀散、稀贵等“三稀”金属,其战略性不断凸显,这些新型战略性矿产在全球矿产资源消费结构中的地位上升。同时,新工业革命下,后起国家大量消耗资源且不计环境成本的赶超式战略受

到抑制,其转变发展方式和自主创新所带来的产业结构变化,使得矿产资源消费结构呈现出新的特点。

党的十九大报告明确提出中国特色社会主义进入新时代。“我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期……。”随着新时代社会主要矛盾的变化,作为后起的发展中人口大国,在工业化中后期阶段,中国矿产资源的消费是否遵循或有别于发达国家的路径?近年来,中国产业转型提速对矿产资源消费产生哪些新的影响?主要矿产品消费总量达峰的时间是否会因经济结构调整加快出现新变化?研判这些问题对于破解新型工业化的资源环境约束、提高经济发展质量、加快迈向工业强国具有重大的理论和现实意义。

本文基于国内外相关领域的研究进展,尝试从理论渊源与发展脉络两个方面厘清矿产资源消费

收稿日期: 2017-08-15; 修订日期: 2018-02-08

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(15ZDA051); 山西财经大学青年科研基金项目(Z06007)。

作者简介: 梁姗姗,女,山西晋城人,讲师,主要研究方向为产业经济学、资源环境经济学。E-mail: glxylss@163.com

通讯作者: 杨丹辉, E-mail: ydhcass@126.com

与产业结构演进之间的交互影响关系,提出未来相关领域研究的重点方向,为构建面向新时代的大国资源战略提供支撑。

2 矿产资源消费对产业结构演进影响的研究进展

综观国内外学者对产业结构影响因素的研究,理论体系已经较为完整,主要有霍夫曼定律,柯林·克拉克的相对国民收入影响说,钱纳里的“需求说”、“贸易说”和“技术说”,刘易斯的二元经济理论模型,罗斯托的主导部门论及新兴古典经济学的分工演进模型等一批有影响的理论学说。学者们认为产业结构演进的影响因素主要包括收入水平、资源禀赋、人口规模、政府政策,以及开放条件下国际贸易与要素的全球化配置等变量^[1,2]。

资源因素虽是最早被霍夫曼列入影响产业结构变动的因素之一,但在后续研究中,学者们并未将其作为重要因素加以考察。有关资源因素对产业结构演进的影响研究,国内外学者主要围绕矿产资源禀赋与产业结构演进的关系展开,现有文献鲜有对两者之间直接关系的研究,主要原因在于主流经济学一度忽视了资源与经济增长的关系,反映在从古典到新古典经济学,从哈罗德-多马模型到索洛的经济增长理论,乃至新经济增长理论中,资源投入并未作为经济增长的决定因素^[3-5]。主流增长理论及其模型或者没有考虑自然资源投入,或者将其隐含到资本投入中^[6]。将自然资源演绎为单纯的生产成本问题,几乎是所有经济增长理论模型的前提^[7]。随着可持续发展理念不断深入,直到内生经济增长理论提出,资源与环境约束下的内生增长理论模型得以建立,资源因素的角色才实现了回归,经济学重新将其纳入增长理论的框架。时至今日,由于两者之间内在逻辑的复杂性以及不同国家(地区)样本数据的差异,关于矿产资源开发利用对产业结构的影响,是促进还是阻碍?是福音还是“诅咒”?理论界并未形成共识。

在经济学家们的争论中,有一类观点认为丰富的自然资源会推动工业尤其是制造业的发展,丰富的自然资源具有创造经济持续发展能力的比较优势^[8]。自然资源丰富国家出口资源初级产品,通过吸引外资将收入转化为投资,推动工业发展,促进经济增

长^[9,10]。美国学者 Davis 将 22 个矿产资源型经济体和 57 个非矿产资源型经济体分别作为整体来对比经济绩效,提出不存在“资源诅咒”现象,并且认为自然资源的丰裕创造了美国 19 世纪的经济繁荣^[11]。

另一类观点则强调自然资源导致产业结构单一化且具有粘滞性。自然资源丰富的国家和地区一般难以摆脱“资源诅咒”^[12-16]。进入 21 世纪,“荷兰病”在中东和北非的阿富汗、突尼斯、利比亚等资源丰富地区再度上演,这些国家几乎都经历了严重的经济停滞和政治动荡。“资源诅咒”最为严重的后果之一是引发资源集聚区产业结构和要素配置畸形,进而使得这些地区经济增长形成难以摆脱的路径依赖。Auty 最早提出“资源诅咒”的概念^[13,14]。在此基础上,Sachs 等开创性建立了动态“荷兰病”内生增长模型。时至今日,“资源诅咒”已在国家层面得到验证^[15],大量实证研究均支持“资源诅咒”命题的成立,继而引发经济学界对其传导机制的研究^[16,17]。多数学者认为自然资源本身并不产生“诅咒”,而是通过特定的传导机制阻碍经济增长^[18,19]。资源产业的“飞地属性”、“中心-外围”论、贸易条件波动或恶化、挤出效应、制度弱化效应等理论和实证结果共同验证了这一传导机制的存在。

需要强调的是,“资源诅咒”命题是否成立在学术界和产业界仍有争议,而且基于跨国和国内经验数据得出支持性结论的文献,大都将资源对经济增长、结构优化的掣肘归于资源生产或资源禀赋的层面,因而,“资源诅咒”是“资源生产诅咒”,却往往反过来构成“资源消费福音”,通常会对资源需求方的经济增长具有显著的正向影响^[20]。有学者认为资源消费对不同国家(地区)经济增长的影响存在明显的异质性,资源消费中的环境约束会成为影响一国(地区)经济增长和产业结构高级化的关键因素^[21]。

3 产业结构演进对矿产资源消费的影响:理论与方法创新

国外学者对矿产资源消费的研究始于矿产资源的可持续优化利用理论。希尔、哈森发展了霍特林的结论^[22,23],其研究重点放在了矿产资源的有效配置和利用^[24]。继这些开创性的研究,学者们更加关注影响一国(地区)矿产资源需求的因素以及经济增长中的自然资源效应。国内外学者采用不同

2018年3月

的研究方法对影响矿产资源消费的主要因素做出了识别和判断。本文对已有文献中的影响因素进行了排序,从表1可以看出,影响中国矿产资源消费的因素依次为工业化与产业结构、经济增长、技术进步、城市化、人口、环境保护、价格、能源消费结构、资源禀赋、资本投入、全球经济周期和对外开放水

平等。其中,作为主要影响因素之一,工业化与产业结构分别作用于矿产资源消费总量和结构的变化。

3.1 工业化进程对矿产资源消费总量的影响

3.1.1 工业化进程对矿产资源消费总量的影响研究进展

国外对工业化进程与矿产资源消费关系的研究

表1 矿产资源消费的影响因素:相关研究

Table 1 Influential factors of mineral resource consumption: related research

作者(出版年)	研究方法	矿产资源消费影响因素	因素排序(因素被研究次数)
Berndt 等 ^[25] (1975)	微观分析	能源价格	工业化/产业结构(17)
Griffin 等 ^[26] (1976)	(超越对数成本函数)		经济增长(14)
Pindyck 等 ^[27] (1983)			技术进步(8)
Phillip ^[28] (1998)		工业化(经济发展阶段)	城市化(6)
史丹 ^[29] (1999)	弹性系数法	经济规模、产业结构、能源价格、总人口、能源消费结构	人口(6)
刘东霖等 ^[30] (2010)	时变回归分析		环境保护(5)
林伯强 ^[31] (2003)	时间序列	经济总量、产业结构、能源结构、总人口、城市化水平、居民消费水平	价格(4)
王少平等 ^[32] (2006)	协整分析与误差修正模型		能源消费结构(4)
邓光君 ^[33] (2009)	供给-需求分析	(1)矿产资源需求增长因素:经济增长;(2)矿产资源需求结构的变化趋势因素:产业结构、技术对资源的替代率、国家宏观政策导向、矿产资源消费观念	资源禀赋(4)
芮夕捷等 ^[34] (2010)	灰色系统预测模型	经济增长及其速度、产业结构及其调整、产业政策、社会的工业化程度以及进程、经济增长集约化程度、技术进步及技术经济政策、人口数量增长以及城市化发展	资本投入(2)
Hossain ^[35] (2011)	协整分析与误差修正模型	(1)短期:经济增长与能源消费为格兰杰因果 (2)长期:经济增长、城市化、对外开放与碳排放与能源消费不存在格兰杰因果	全球经济周期(1)
成金华等 ^[36] (2012)		(1)宏观层面:经济增长、人口增长、工业化与城市化以及科学技术进步等因素 (2)微观层面:矿产资源本身的价格、消费者收入水平及社会收入分配状况、替代品和互补品的价格,消费者的心理因素、矿产新研究成果及矿产资源方面的政策和法律法规	对外开放水平(1)
徐铭辰 ^[37] (2012)	工业化指标体系	工业化、资源禀赋、国家矿产品贸易、全球经济周期、本国的资源环境政策、科学技术以及环境保护	
Martin Stuermer ^[38] (2013)	非平稳异质面板	工业化	
张传平等 ^[39] (2013)	协整模型和误差修正模型	GDP、产业结构、技术水平和城市化水平	
Mohammadi 等 ^[40] (2014)	动态面板、协整模型和误差修正模型	经济增长、环境政策	
袁鹏 ^[41] (2014)	二次型影子成本模型	经济规模扩张、技术效率、技术变化、劳动力、资本	
曾胜等 ^[42] (2014)	灰色关联分析	能源价格、产业结构、城市化、科技水平、碳排放强度、市场化率、GDP	
秦鹏等 ^[43] (2015)		经济规模增速、产业结构构成、能源消费结构、城镇化	
陈其慎等 ^[44] (2015)	矿业发展周期模型	资源禀赋、资源需求	
王高尚等 ^[45] (2017)	周期性弹性系数法	工业化、人均GDP	
王安建等 ^[46] (2017)	多国比较		
刘固望等 ^[47] (2017)			
李新慧等 ^[48] (2017)	DEMATEL 方法	资源因素、经济因素、社会因素、环境保护因素	
柴建等 ^[49] (2017)	通径分析技术:非线性平滑转换回归模型	GDP、工业化水平、价格	
周彦楠等 ^[50] (2017)	K-means 聚类法 STIRPAT 模型	能源禀赋、城市化水平、工业化水平、对外开放水平、资本投入、技术进步	

资料来源:作者在参考文献基础上整理而得。

究,可以追溯到20世纪初的美国,但受到当时统计资料和技术手段的限制,相关研究进展十分缓慢。直到20世纪60年代,矿产资源消费的研究取得突破。1961年,Harvey等提出资源开发与工业化发展的阶段性理论^[51]。该理论认为随着工业化的发展,资源投入或社会消费需求结构会发生明显变化,因而在工业化发展的不同阶段,各类资源的作用存在差别。1962年,Hubbert开创了峰值问题的研究并成功预测了美国的能源峰值^[52]。Malenbaum创立了矿产资源消费强度理论和矿产资源需求生命周期的时间效应理论,通过分析世界80多个国家矿产资源消费总量增长的长期变化过程发现,处于不同发展阶段的国家(地区)其矿产资源消费需求和消费特征表现出一定的相似性,即矿产资源消费随着人均收入提高呈现出倒“U”形规律,变化过程由初始、增长、成熟和衰落四个阶段构成,初步刻画出了资源消费的库兹涅茨曲线(Material Kuznets Curve)(见图1)^[53,54]。

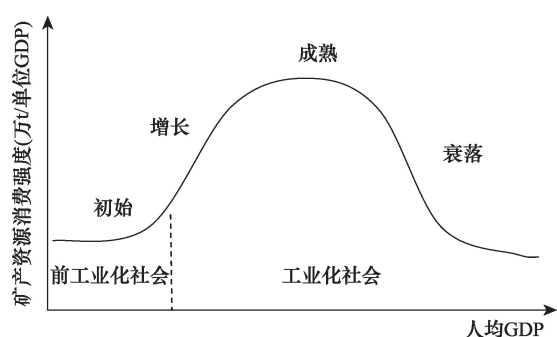


图1 矿产资源消费需求生命周期变化

Figure 1 Life cycle change of mineral resource consumption demand

20世纪80年代,国内学者开始运用国内矿产资源消费数据验证矿产资源生命周期理论、矿产资源需求强度理论的合理性,探究中国与发达国家矿产资源消费规律的差别,分析改革开放以来中国经济高速增长与矿产资源消费之间的关系。张雷、姜巍等比较早地根据矿产资源消费周期理论研究中国大规模工业化以来能源消费变化及其时间和空间效应,指出中国能源消费强度呈现明显的倒“U”形^[55,56]。

总体来看,中国工业化进程中矿产资源消费总量的基本特征表现为:在时间效应维度,与先行工业化国家相似,随着大规模技术、资金的引进以及管理体制的优化,中国矿产资源消费强度的变化表

现为“U”形;而在空间效应维度,快速工业化导致国内矿产资源的自给率趋于下降,矿产品对外依存度提高^[57]。应该看到,撇开“压缩式”工业化道路所释放出的矿产资源需求,中国矿产资源高消耗是粗放型增长方式的必然结果,且矿产资源大规模消耗与加速工业化进程和大国崛起这两个因素紧密相连^[58]。中国矿产资源消费总量在未来较长时期内仍将处于倒“U”形曲线左侧的“爬坡”阶段^[59]。王安建等学者指出,中国工业化中单种主要金属矿产消费与人均GDP之间的关系具有倒“U”形曲线上升阶段的“S”形规律,“S”形规律的三个重要转变点分别为资源消费的起点(矿产资源需求开始进入高速增长期)、转折点(矿产资源需求增速减缓)和零增长点(矿产资源需求到达顶点)^[60,61],见图2。

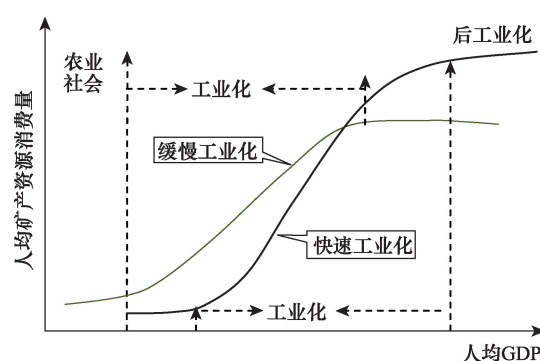


图2 人均矿产资源消费与人均GDP的“S”形规律^[60,61]

Figure 2 The "S" pattern of consumption of per capita mineral resources and per capita GDP

与此同时,一些学者从全球范围和历史的维度关注矿业发展周期以及矿产资源消费与人均GDP的关系^[37]。全球矿产资源配置格局演进展现出大国转移规律的特点,即西方国家陆续完成工业化,主要矿产品消费总量下降或趋于稳定,而以中国、印度为首的发展中国家依次进入大规模工业化和快速城镇化所引发的矿产资源高消耗阶段^[44-46,61]。

3.1.2 不同工业化水平的矿产资源消费预测研究

对矿产资源消费的预测研究始于20世纪初对石油储量的耗竭时间预测,近年来研究方法主要有投入产出法、MEDEE、LEAP、能源弹性系数、时间序列、神经网络、Path-STR模型等^[49,62-64],大部分研究成果对能源和金属矿产资源(以钢铁、铜、锌、镍等为主)作出峰值预测,少量文献对化肥及磷、硫、钾盐

2018年3月

矿产的消费量进行测算^[65-72]。任忠宝等提出矿产资源消费的拐点理论,在拐点1处,矿产资源消费强度达到峰值,此后经济增长方式发生重大转变;在拐点2处,矿产资源消费水平达到峰值,此时工业化基本完成,此后矿产资源消费开始减少(见图3)^[68]。陈其慎等绘制出中国和美国矿产资源消费图谱,确定了两国主要矿产资源需求的峰值时间和水平^[73]。

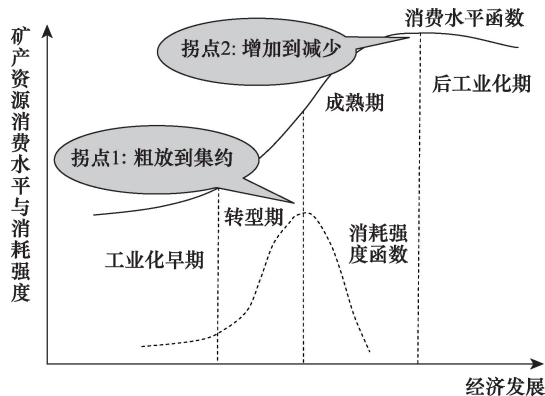


图3 消耗强度、消费水平与经济发展的关系^[68]

Figure 3 Relationship of consumption intensity, consumption level and economic development

近年来,随着中国经济进入新常态,供给侧结构性改革推动“两高一资”产业“去产能”加快。在这种情况下,国内一些学者相继作出了中国能源和主要矿产品消费总量有望提前达峰的判断^[74]。其中一些观点认为中国经济增长与能源消费已经实现了弱脱钩,而且与发达国家相同发展阶段相比,中国脱钩时间比较超前,这主要得益于中国采取多种节能减排措施,促使能源消费增速放缓,“十二五”后半期能源需求降幅尤为明显。现阶段中国经济增长与能源消费虽然尚未实现强脱钩,但经济增长的要素贡献已经发生明显的结构性变化。因此,中国有能力实现温室气体排放量在2030年之前甚至更早达到峰值,为全球降低气候风险作出贡献^[75]。

鉴于中国稀土的重要地位及稀有矿产资源未来应用的重要性和广泛性,一些学者对中国稀土和稀有矿产的产量状况进行了预测^[76-80],对稀土预测所采用的方法是在对全球范围内稀土矿或项目的产能了解的基础上进行估计,而且均在2015年中国稀土出口配额取消之前,因此结论的现实意义不大,同时也反映出稀有金属消费受政策环境变化的

影响而波动较大。李鹏飞等结合汽车、航空航天、信息技术、能源电力、化工、机械工程、环境技术、医学工程、材料技术等领域的32种重点新兴技术,对稀有矿产资源如镓、钨、锑、钨、钼、钽等22种稀有矿产品的需求量进行预估,识别出七大战略性新兴产业的稀有矿产资源应用方向^[81]。

3.2 产业结构演进对矿产资源消费结构的影响

为进一步完善矿产资源消费强度理论,Clark等将矿产资源的消费结构分为传统类型、现代类型及新兴类型三种(见表2),并提出矿产资源消费的时间过程理论,初步确定现代工业过程中矿产资源需求结构的基本类型和特征^[82](见图4)。

表2 矿产资源消费结构的分类理论及资源类型划分

Table 2 Classification theory of consumption structure of mineral resources

具体类型划分	代表金属与能源矿种
传统类型	煤、铁、铜、铅、锌、锡等
现代类型	石油、天然气、铝、铬、锰、镍、钒等
新兴类型	铀、钴、锗、铂、稀土元素、钛等

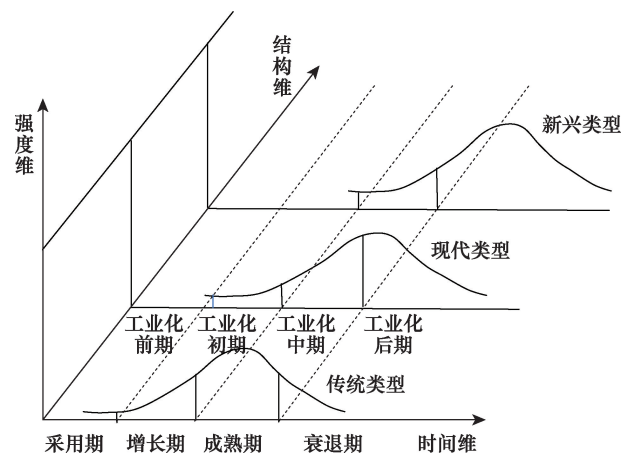


图4 矿产资源系统的更替演进关系

Figure 4 Sketch map of succession evolution of mineral resource system

目前,关于产业结构演进对矿产资源消费结构的影响,以研究能源消费结构的文献居多,能源需求与产业结构变动存在很强的联系。陈其慎等指出不同经济发展阶段(农业时代、工业化时代和后工业化时代)矿产资源需求的驱动因素。工业化国家主要金属矿产资源的消费投入具有阶段性差异。因此,不同种类的主要金属矿产单位GDP消耗

在不同时间出现波浪式峰值的特征,大宗矿产资源人均资源消费的起点均集中于人均GDP 2500~3000美元;其转折点则为人均矿产资源消费增速由大到小的变化点,由于不同资源的性质及用途不同,转折点的位置也不同,分别对应于经济结构的重大转型期。其中,钢、水泥同属结构性材料,其转折点大致发生在人均GDP 6000~7000美元之间的时段;零增长点即“S”曲线上人均资源消费的顶点,钢、水泥人均消费的零增长点集中于人均GDP为10 000~12 000美元^[83]。

近年来,全球稀有矿产资源开发利用的新趋势以及产业升级与战略性新兴产业消费之间的关系等重大问题引起了学者们的关注。李鹏飞等指出,随着工业化中后期产业升级对新材料需求的不断增加,全球稀有矿产资源消费量呈现出与经济增长同方向变动的趋势,与大宗矿产资源的需求变化特征明显不同。在大宗矿产消费量达峰之后震荡下行的同时,稀有金属消费量则持续增长^[81]。陈其慎等通过分析美国54个矿种111年来的消费历史,建立了美国矿产资源消费图谱,得出有46个矿种遵循人均矿产资源需求的“S”形规律,并且相同性质、用途的矿产资源人均消费峰值到来的时间相近,其达峰时间与拉动该矿产消费的相关产业增加值占制造业比重的高位时点基本同步^[84]。

陈其慎等提出矿产资源消费与产业结构之间遵循“资源-产业雁行式演进规律”,即在理想状态下,对于走过传统工业化道路的国家和地区,其产业结构基本按照由建筑、冶金、家电到机械制造、化工与汽车、电力、计算机、电子再到航空军工及其他新兴产业等的“雁行式”范式演进,而支撑上述产业跃迁的矿产资源消费峰值期也呈现出相应的雁行式序列^[73]。

4 主要研究方法

国内外学者有关矿产资源消费与产业结构演进影响因素的研究,在理论探索的同时,研究方法不断丰富,定量分析成果增多,主要包括因素分解法、数理经济分析法、面板数据模型、协整理论和误差修正模型、多元回归模型与因果关系检验、信息熵、灰色关联分析等方法(见表3)。其中,因素分解法是矿产资源消费影响因素早期研究中被经常使

用的方法。近些年,学者越来越多地采用两两结合的研究方法,如数理模型与计量经济学方法,或信息熵与计量经济学,或灰色关联与计量经济学方法相结合等,促使研究成果更趋规范化。

5 评价与展望

5.1 已有研究评价

本文基于国内外相关研究进展,详细梳理了矿产资源消费总量和结构变化与产业演进之间的交互关系,为进一步将矿产资源纳入经济增长及产业转型的理论模型及实证框架做出文献学习和积累。综述发现已有的研究范围涵盖了大部分的矿产资源,数据来源以及研究手段、方法趋于多样化。在研究内容上,产业结构演进对矿产资源消费总量影响的研究已经较为成熟,主要集中于发达国家工业化进程中大宗矿产资源消费总量规律的总结以及发展中国家尤其是中国大宗矿产资源消费总量的峰值预测,从理论模型到经验研究不断丰富。

已有研究仍存在以下不足:

(1)从产业结构演进对矿产资源消费总量的影响视角看,对能源、铁矿石等大宗矿产资源的研究较多,而相对于其在产业转型的角色以及国际竞争中的地位,有关战略性稀有矿产消费规律的研究则不够深入。同时,无论是影响研究还是峰值预测,均未将技术创新和环境保护作为重要变量,考察这些因素对矿产资源消费总量的影响,不仅导致结论的说服力不强,峰值预测的结果不理想,而且显然已经无法契合“技术进步的贡献率提高、低能耗的服务业在国内生产总值中的比重在不断上升”的中国经济发展的现实情况。

(2)矿产资源消费的“S”形规律虽然在以往的总量预测中表现出较高的应用价值,但这一理论更适用于与宏观经济密切相关的大宗矿产资源消费预测。对于支撑现代制造业特别是战略性新兴产业和国防工业的关键原材料——稀有矿产,如何精准刻画出其未来的消费变动趋势,“S”形规律有待作出进一步丰富和完善。

(3)虽然西方主流增长理论很少将矿产资源消费和产业结构变动问题结合起来研究,但主要发达国家都建立了较为完善的资源战略和法规,并长期在全球资源竞争中掌握主动权。“资源-产业雁行式

表3 矿产资源消费与产业结构演进交互影响的主要研究方法

Table 3 Research methods of interaction between mineral resource consumption and industrial structural evolution

研究方法	具体思路	优势	不足
因素分解法	指数因素分解法(IDA)和结构因素分解法(SDA)。将能源消费强度与地区生产总值按照三次产业分解得到因产业结构变动引起的能源消费强度的变化,进而解析不同产业的能源消费结构变化	研究能源矿产消费变动的影响因素方面成就显著	指数因素分解法运用宏观经济数据,难以体现产业间的关联效应
数理经济分析法	将资源作为要素投入引入演化的生产函数。超越对数成本函数模型和线性Logit模型集中于定量分析不同类型能源矿产资源之间的替代或互补关系,时代交叠(OLG)模型则构建经济增长与资源可持续利用动态模型,建立可持续发展条件下资源消费的平衡路径方程,改进的戴蒙德模型以微观视角研究资源消费与人均收入,间接讨论与产业结构及经济增长的关系	分析能源矿产资源消费的数量关系方面成就显著	在揭露资源消费规律和与其他因素相关的实质研究应用价值方面有局限性
计量经济学分析法	采用的计量工具主要有:面板数据模型、协整理论和误差修正模型、多元回归模型与因果关系检验、通径分析、多变量结构突变模型、平滑过渡模型(STR)等	以经济理论和经济运行机制作为建立模型的理论依据,将经济理论和客观事实有机结合	追求大样本和数据须服从典型分布规律等固有弱点和强假设缺陷
信息熵理论	通过定义能源结构信息熵,描述能源消费结构的有序度或复杂程度,揭示其动态演变规律。依据能源消费结构的均衡度和优势度,描述各能源种类之间质量的差别和结构格局	能源消费结构信息熵适用于国家、区域、城市层面以及企业和家庭等微观领域	须在系统内研究各要素的结构演变规律
灰色关联分析法	运用其研究产业结构变动对能源消费总量的影响	适用于动态历程分析,对样本量及是否规律无要求,有助于克服数理统计方法追求大样本和数据须服从典型分布规律等固有弱点和强假设等缺陷	在对指标的最优值进行确定时的主观性过强

资料来源:作者在参考文献基础上整理而得。

演进规律”在中国产业演进趋势和与之对应的资源需求种类变化之间建立了理论关联,为应对产业转型升级下矿产资源消费结构变化提供了战略方向,但仍存在一定的局限性。首先,这一理论范式难以就产业结构变化以及工业化进程的不同情景下各类矿产品消费的峰值给出准确判断;其次,该规律发生作用的假设条件偏于严苛,要求一国(地区)经历相对完整的工业化历程,且矿产资源的消费领域主要集中于一个或少数几个行业中。实际情况却是,凭借后发优势实现工业化的国家(地区)并不具备完整的工业化历程,而且随着技术进步和产品复杂程度提高,不同类型的矿产资源会同时应用于多个产业部门,单一产品生产所需的原材料也日趋多样化。因此,矿产资源消费结构及其峰值要受到多个产业部门的影响;再次,由于不同国家和地区资源禀赋、技术水平、环境规制存在差异,同一个矿种所应用的产业也有所不同,势必导致矿产资源的消

费结构处于持续变动之中。

5.2 研究展望

中国经济进入新常态之后,总体来看,工业化和城镇化提速、相对偏低的生产要素利用率和产出效率、高昂的资源与环境代价并存的局面进一步加剧了新时代的主要矛盾,促使中国重新审视矿产资源高消耗及粗放型增长方式带来的影响和后果,进而反思如何在矿产资源消费与产业结构演进之间构建良性互动关系。

未来中国的工业化道路,一方面,产业结构日趋高级化,新工业革命兴起及绿色化智能化发展,新产业新模式新业态推动经济增长的新旧动能转换;另一方面,中国政府做出的到2030年碳排放总量达峰的国际承诺,以及不断深化供给侧结构性改革,对国内钢铁、有色、建材、石化等高排放部门的技术进步和“去产能”形成了强有力的“倒逼效应”。面对国内外发展环境的重大变化,矿产资源

消费无论从总量、结构还是消费方式都将经历深刻变革,在很多领域无法照搬发达国家工业化的经验。

可以预见,新一轮科技革命和工业革命下,主要工业大国之间围绕战略性矿产资源的竞争加剧。而从国内的情况来看,中国对铜、镍、铅等资源的需求将伴随着汽车、机械、电子等制造业的进一步扩张而缓慢增加,并逐步到达峰,《中国制造2025》的实施将推动新能源、智能电子、高端制造、军工及航空航天等新兴行业将进入快速发展期,与之对应的锂、铍、铌、钽、钨、锆、镓等矿产资源的需求将会不断上升。鉴于国内学者对矿产资源消费与产业结构演进两者交互关系研究的特点和局限性,今后应从以下方面拓展相关研究:

(1)引入技术进步和绿色发展等相关变量,对能源和矿产资源消费总量变化做出更为精准的测度,用以指导国家矿产勘查战略布局、绿色矿山建设、城市矿产开发及产业链构建、深化“一带一路”沿线国家能源矿产合作以及气候变化谈判等重要工作。

(2)强化工业化中后期稀有矿产资源消费规律的探索,构建全面、系统、可动态调整的中国关键原材料保障能力的评价指标体系,更好地满足新能源、新材料、智能制造等新产业新模式的发展。同时,运用产品空间分析法(Product Space Analysis)等方法,分析评价中国稀有矿产资源各产业链环节的国际竞争力,运用不完全信息动态博弈模型研究后发国家突破稀有矿产资源国际竞争格局的路径,从而有效应对战略性稀有矿产的国际竞争。

(3)长远来看,如何通过建立完善适用于中国“压缩式”工业化道路的复杂模型,厘清后起国家矿产资源消费与产业结构演进之间关系的理论轨迹,揭示后起工业化大国的资源消费路径,始终是资源经济学和产业经济学需要深入研究的重大课题。重点研究方向包括:采用面板向量自回归(Panel VAR)等理论和计量模型研究工业化阶段转换与矿产资源消费结构转型之间的关系,运用向量自回归-多变量波动性(VAR-BEKK)等计量经济模型分析矿产品国际定价中的金融化和美元化问题,应用动态随机一般均衡模型(DSGE)模拟分析3D打印等

新工业革命的标志性技术对稀有矿产资源需求产生的技术冲击效应等,不断提高相关研究的质量。

参考文献(References):

- [1] Fei J C H, Ranis G. Development of the Labor Surplus Economy: Theory and Policy[M]. Illinois: Irwin Homewood, 1964.
- [2] 张抗私, 于晗. 产业结构变动影响因素的测度与评价—基于31省市的因子分析[J]. 产业组织评论, 2013, (3): 75–87. [Zhang K S, Yu H. Measurement and evaluation of influencing factors of industrial structure change—based on factor analysis of 31 provinces and cities[J]. *Industrial Organization Review*, 2013, (3): 75–87.]
- [3] Solow R M. Technical change and the aggregate production function[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3): 554–562.
- [4] Jorgenson D W, Griliches Z. The explanation of productivity change[J]. *Review of Economic Studies*, 1967, 34(1): 249–280.
- [5] Denison E F, Felderer B. Why growth rates differ[J]. *Southern Economic Journal*, 1969, DOI: 10. 2307/1056549.
- [6] 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 resources and economic growth: resource bottlenecks and Solutions[J]. *Economic Research Journal*, 2007, (6): 142–153.]
- [7] 张景华. 经济增长中的自然资源效应研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2014. [Zhang J H. Research on the Effect of Natural Resources in Economic Growth[M]. Beijing: Chinese Social Science Press, 2014.]
- [8] Watkins M H. A staple theory of economic growth[J]. *Canadian Journal of Economics & Political Science*, 1963, 29(2): 141–158.
- [9] Rosenstein R P. Problems of industrialization of Eastern & South Eastern Europe[J]. *The Economic Journal*, 1943, 53(210–211): 201–211.
- [10] Mitchener K J, Mclean I W. The productivity of US States since 1880[J]. *Journal of Economic Growth*, 2003, 8(1): 73–114.
- [11] Davis G A. Learning to love the Dutch disease: evidence from the mineral economies[J]. *World Development*, 1995, 23(10): 1765–1779.
- [12] Gelb A H. Oil Windfalls: Blessing or Curse?[M]. New York: Oxford University Press, 1988.
- [13] Auty R M. Industrial policy reform in six large newly industrializing countries: the resource curse thesis[J]. *World Development*, 1994, 22(1): 11–26.
- [14] Auty R M. Natural resources & civil strife: a two-stage process[J]. *Geopolitics*, 2004, 9(1): 29–49.
- [15] Sachs J D, Warner A M. Natural Resources Abundance and Economic Growth[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1995.

2018年3月

- [16] Gylfason T. Natural resources, education, and economic development[J]. *European Economic Reviews*, 2001, 45: 847-859.
- [17] Papyrakis E, Gerlagh R. The resource curse hypothesis and its transmission channels[J]. *Journal of Comparative Economics*, 2004, 32(1): 181-193.
- [18] Barro R J, Sala-i-Martin X. Convergence [J]. *Journal of Political Economy*, 1992, 100(2): 223-251.
- [19] Papyrakis E, Gerlagh R. Resource-abundance & economic growth in the United States[J]. *European Economic Review*, 2007, 51(4): 1011-1039.
- [20] 李强, 徐康宁. 资源禀赋、资源消费与经济增长[J]. 产业经济研究, 2013, (4): 81-90. [Li Q, Xu K N. Resource endowment, resource consumption and economic growth[J]. *Industrial Economics Research*, 2013, (4): 81-90.]
- [21] 李强, 丁春林. 资源禀赋、市场分割与经济增长[J]. 经济经纬, 2017, (3): 129-134. [Li Q, Ding C L. Resource endowments, market segmentation and economic growth[J]. *Economic Survey*, 2017, (3): 129-134.]
- [22] Hotelling H. The economics of exhaustible resource[J]. *Journal of Political Economy*, 1931, 39(2): 137-175.
- [23] 吴尚昆. 矿产资源经济学基本理论的发展与展望[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2): 211-215. [Wu S K. Development and prospect of the basic theory of mineral resources economics[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2004, 34(2): 211-215.]
- [24] Dasgupta P S, Heal G M. Economic Theory and Exhaustible Resources[M]. London: Cambridge University Press, 1979.
- [25] Berndt E R, Wood D O. Technology, price, and the derived demand for energy[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1975, 57(3): 259-268.
- [26] Griffin J M, Gregory P R. An inter-country translog model of energy substitution responses [J]. *American Economic Review*, 1976, 66(5): 845-857.
- [27] Pindyck R S, Rotemberg J J. Dynamic factor demands and the effects of energy price shocks[J]. *American Economic Review*, 1983, 73(5): 1066-1079.
- [28] Phillip L. Economic Considerations in the Framework of Sustainable Development Initiatives in Africa[R]. Center for Economic Research on Africa Working Paper, 1998.
- [29] 史丹, 张京隆. 产业结构变动对能源消费的影响[J]. 经济理论与经济管理, 2003, (8): 30-32. [Shi D, Zhang K L. The influence of industrial structure change on energy consumption[J]. *Economic Theory and Economic Management*, 2003, (8): 30-32.]
- [30] 刘东霖, 张俊瑞. 我国能源消费需求的时间弹性分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 92-97. [Liu D L, Zhang J R. Time varying elasticity of energy consumption[J]. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(2): 92-97.]
- [31] 林伯强. 电力消费与中国经济增长: 基于生产函数的研究 [J]. 管理世界, 2003, (11): 18-27. [Lin B Q. Electricity consumption and China's economic growth: a study based on production function [J]. *Management World*, 2003, (11): 18-27.]
- [32] 王少平, 杨继生. 中国工业能源调整的长期战略与短期措施—基于12个主要工业行业能源需求的综列协整分析[J]. 中国社会科学, 2006, (4): 88-96. [Wang Sh P, Yang J S. Long term strategy and short-term measures of industrial energy adjustment in China—based on the comprehensive co-integration analysis of energy demand in 12 major industrial sectors[J]. *Social Sciences in China*, 2006, (4): 88-96.]
- [33] 邓光君. 国家矿产资源经济安全的经济学思考[J]. 中国国土资源经济, 2009, 22(1): 26-28. [Deng G J. Economic thinking on national mineral resources economic security[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2009, 22(1): 26-28.]
- [34] 芮夕捷, 白华. 矿产资源规划中供需形势分析的方法论[J]. 长安大学学报(社会科学版), 2010, 12(4): 117-122. [Rui X J, Bai H. Methodology of analysis of supply and demand situation in mineral resources planning[J]. *Journal of Chang'an University (Social Science Edition)*, 2010, 12(4): 117-122.]
- [35] Hossain M S. Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 6991-6999.
- [36] 成金华, 吴巧生, 陈军. 矿产经济学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2012. [Cheng J H, Wu Q S, Chen J. Mineral Economics [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2012.]
- [37] 徐铭辰. 典型国家矿业发展历程及矿业产业周期分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012. [Xu M C. Analysis of Mining Development Process and Mining Industry Cycles in Typical Countries [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [38] Stuermer M. Industrialization and the Demand for Mineral Commodities[R]. Bonn: Bonn Econ Discussion Paper, 2013.
- [39] 张传平, 周倩倩. 我国能源消费影响因素研究—基于长期均衡和短期波动的协整分析[J]. 中国能源, 2013, 35(3): 35-38. [Zhang C P, Zhou Q Q. Analysis of influencing factors of energy consumption in China—Co-integration analysis based on long-term equilibrium and short-term fluctuation[J]. *Energy of China*, 2013, 35(3): 35-38.]
- [40] Mohammadi H, Parvaresh S. Energy consumption and output: evidence from a panel of 14 oil-exporting Countries[J]. *Energy Economics*, 2017, 41(6): 41-46.
- [41] 袁鹏. 中国能源需求增长的因素分解[J]. 数量经济技术研究, 2014, (11): 70-85. [Yuan P. A decomposition analysis on the change of energy demand in China [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2014, (11): 70-85.]

- [42] 曾胜, 李仁清. 能源消费结构的影响因素研究[J]. 世界科技研究与发展, 2014, 36(1): 10-14. [Zeng S, Li R Q. Study on the influencing factors of energy consumption structure[J]. *World Scie-tech R&D*, 2014, 36(1): 10-14.]
- [43] 秦鹏, 代霞. 中国能源消费总量: 时序演变、影响因素与管控路径[J]. 求索, 2015, (1): 111-115. [Qin P, Dai X. China's total energy consumption: time series evolution, influencing factors and management and control path[J]. *Seeker*, 2015, (1): 111-115.]
- [44] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 矿业发展周期理论与中国矿业发展趋势[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 891-899. [Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, *et al.* Mining development cycle theory and development trends in Chinese mining[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 891-899.]
- [45] 王高尚, 代涛, 柳群义. 全球矿产资源需求周期与趋势[J]. 地球学报, 2017, 38(1): 11-16. [Wang G S, Dai T, Liu Q Y. Cycles and trends of global mineral resources demand[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2017, 38(1): 11-16.]
- [46] 王安建, 王高尚, 周凤英. 能源和矿产资源消费增长的极限与周期[J]. 地球学报, 2017, 38(1): 3-10. [Wang A J, Wang G S, Zhou F Y. The limits and cycles of the growth of energy and mineral resources consumption[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2017, 38(1): 3-10.]
- [47] 刘固望, 王安建. 工业部门的终端能源消费“S”形模型研究[J]. 地球学报, 2017, 38(1): 30-36. [Liu G W, Wang A J. S-curve model of end-use energy consumption in industrial sector[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2017, 38(1): 30-36.]
- [48] 李新慧, 张璞, 李文龙. 稀土产业可持续发展影响因素的实证研究: 基于DEMATEL法[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(2): 712-717. [Li X H, Zhang P, Li W L. Empirical study on the factors influencing sustainable development of rare earth industry: based on DEMATEL method[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2017, 36(2): 712-717.]
- [49] 柴建, 梁婷, 周友洪, 等. 不同区制工业化水平下的石油消费分析-基于Path-STR模型的实证研究[J]. 中国管理科学, 2017, (11): 47-57. [Chai J, Liang T, Zhou Y H, *et al.* Analysis of oil consumption under different regional industrialization-an empirical study based on path-STR model[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, (11): 47-57.]
- [50] 周彦楠, 何则, 马丽, 等. 中国能源消费结构地域分布的时空分异及影响因素[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2247-2257. [Zhou Y N, He Z, Ma L, *et al.* Spatial and temporal differentiation of China's provincial scale energy consumption structure[J]. *Resource Science*, 2017, 39(12): 2247-2257.]
- [51] Harvey S P, Lowdon W J. Natural Resources Endowment and Regional Economic Growth[R]. Baltimore: Natural Resources and Economic Growth, 1961.
- [52] Hubbert M K. Techniques of Prediction with Application to the Petroleum Industry [R]. Dallas: 44th Annual Meeting of the American Association of Petroleum Geologists, 1959.
- [53] Malenbaum W. Laws of Demand for Minerals[C]. New York: Proceeding for the Council of Economics, 1975.
- [54] Malenbaum W. World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000[M]. New York: McGraw-Hill, 1978.
- [55] 张雷. 现代区域开发的矿产资源需求生命周期研究及意义[J]. 地理学报, 1997, 52(6): 500-506. [Zhang L. Life cycle research of mineral resources demand in modern regional development and its significance[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1997, 52(6): 500-506.]
- [56] 姜巍, 张雷. 矿产资源消费周期理论与中国能源消费的时空效应分析[J]. 矿业研究与开发, 2004, 24(6): 1-5. [Jiang W, Zhang L. The consumption cycle theory of mineral resources and the temporal and spatial effects of energy consumption in China[J]. *Mining Research and Development*, 2004, 24(6): 1-5.]
- [57] 陈建宏, 永学艳, 刘浪, 等. 国家工业化与矿产资源消费强度的相关性研究[J]. 中国矿业, 2009, 18(10): 48-63. [Chen J H, Yong X Y, Liu L, *et al.* Study on the correlation between national industrialization and consumption intensity of mineral resources[J]. *China Mining Magazine*, 2009, 18(10): 48-63.]
- [58] 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 Geosciences (Social Science Edition)*, 2010, 10(4): 45-48.]
- [59] 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. China's policy adjustments based on International experience of industrialization and mineral resource consumption[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Science Edition)*, 2011, 11(2): 23-27.]
- [60] 王安建, 王高尚. 矿产资源与国家经济发展[M]. 北京: 地质出版社, 2002. [Wang A J, Wang G S. Mineral Resources and National Economic Development[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.]
- [61] 王安建. 世界资源格局与展望[J]. 地球学报, 2010, 31(5): 621-627. [Wang A J. World resource structure and Prospect[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(5): 621-627.]
- [62] Sohn I. Reflections on long-term projections of minerals and suggestions for a way forward[J]. *Journal of Applied Business and Economics*, 2000, (7): 1-14.
- [63] Valero A. Physical genomics: combining the exergy and Hubbert peak analysis for predicting mineral resources depletion[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, 54(12): 1074-1083.
- [64] Valero A. A prediction of the exergy loss of the world's mineral reserves in the 21st century[J]. *Energy*, 2011, 36(4): 1848-1954.

2018年3月

- [65] 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.]
- [66] 高芯蕊.基于“S”规律的中国钢需求预测[J].地球学报,2010,31(5):645-652. [Gao X R. The prediction of China's steel demand based on S-shaped regularity[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(5): 645-652.]
- [67] 龚婷,郑明贵.基于BP神经网络的我国铜矿产资源需求情景分析[J].有色金属科学与工程,2014,43(1):99-106. [Gong T, Zheng M G. Demand scenario analysis of China's copper resources based on BP neural network[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2014, 43(1): 99-106.]
- [68] 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.]
- [69] 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, 2015-2040[J]. *Resource Science*, 2015, 37(5): 921-932.]
- [70] 代涛,陈其慎,于汶加.全球锌消费及需求预测与中国锌产业发展[J].资源科学,2015,37(5):951-960. [Dai T, Chen Q S, Yu W J. Global zinc consumption and demand forecast and development of China's zinc industry[J]. *Resource Science*, 2015, 37(5): 951-960.]
- [71] 那丹妮,王高尚.全球镍需求趋势预测[J].资源与产业,2010,12(6):53-57. [Na D N, Wang G S. Forecast in global nickel demand trend[J]. *Resource & Industries*, 2010, 12(6): 53-57.]
- [72] 张艳,于汶加,陈其慎,等.化肥需求规律及中国化肥矿产需求趋势预测[J].资源科学,2015,37(5):977-987. [Zhang Y, Yu W J, Chen Q S, et al. Fertilizer consumption rule and prediction of China's fertilizer-related resource minerals demand[J]. *Resource Science*, 2015, 37(5): 977-987.]
- [73] 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.]
- [74] 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. The supply-side structural reform and transformation of resource-based industries in China [J]. *China Population Resources and Environment*, 2017, 27(7): 18-24.]
- [75] 史丹.经济增长和能源消费正逐渐脱钩[N].人民日报,2017-07-03(07). [Shi D. Economic Growth and Energy Consumption are Gradually Decoupling[N]. *People's Daily*, 2017-07-03(07).]
- [76] Kingsnorth D J. Rare Earths: Facing New Challenges in the New Decade[C]. Phoenix: SME Annual Meeting, MCOA (Industrial Minerals Company of Australia Pty Ltd) Presentation, 2010.
- [77] Chen Z. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry[J]. *Rare Earth*, 2011, 29(1): 1-6.
- [78] 郑明贵,陈艳红.世界稀土资源供需现状与中国产业政策研究[J].有色金属科学与工程,2012,(4):70-74. [Zheng M G, Chen Y H. Supply and demand of global rare earth resources and China's rare earth industry policy[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2012, (4): 70-74.]
- [79] Wubbeke J. Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry[J]. *Resources Policy*, 2013, 38(3): 384-394.
- [80] Ting M H, Seaman J. Rare earths: future elements of conflict in Asia?[J]. *Asian Studies Review*, 2013, 37(2): 234-252.
- [81] 李鹏飞,杨丹辉,渠慎宁,等.稀有矿产资源的全球供应风险分析-基于战略性新兴产业发展的视角[J].世界经济研究,2015,(2):96-104. [Li P F, Yang D H, Qu S N, et al. Analysis on global supply risk of rare mineral: from the perspective of strategic emerging industry development[J]. *World Economic Studies*, 2015, (2): 96-104.]
- [82] Clark A L, Jeon G J. Metal Consumption Trends in Asia-Pacific Region: 1960-2015[R]. Manila: Pacific Economic Cooperation Conference, 1990.
- [83] 陈其慎,王安建,王高尚,等.矿产资源需求驱动因素及全球矿业走势分析[J].中国矿业,2011,20(1):6-9. [Chen Q S, Wang A J, Wang G S, et al. Demand driving factors of mineral resources and analysis of global mining trends[J]. *China Mining Magazine*, 2011, 20(1): 6-9.]
- [84] 陈其慎,王安建,王高尚,等.美国矿产资源消费图谱初探[J].中国矿业,2013,22(5):8-14. [Chen Q C, Wang A J, Wang G S, et al. A preliminary study on mineral resources consumption map in the United States[J]. *China Mining Magazine*, 2013, 22(5): 8-14.]

A review of mineral resource consumption and industrial structure evolution

LIANG Shanshan^{1,2}, YANG Danhui³

(1. School of International Trade, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China;

3. Institute of Industrial Economics, the Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100836, China)

Abstract: In recent years developed countries implemented the so-called re-industrialization strategy to revitalize their manufacturing industries. As new rounds of technological revolution and industrial revolution boom, green, intelligent and service-oriented industrial transformation will have a profound impact on the total amount and structure of mineral resource consumption. Therefore, it is of great significance to study global and Chinese trends for the total amount, structure and influencing factors of future mineral resource consumption. Based on analysis of the relationship industrialization process and the relationship between mineral resource consumption and industrial upgrading, we organise existing research into three aspects: the influence of the consumption of mineral resources on the evolution of industrial structure; the effect of industrialization on the total consumption and structure of mineral resources; and related research methods. Our review found that current research has paid less enough attention to key rare metal consumption which mainly supports the development of strategic emerging industries, while ignoring the impact of technological innovation and environmental protection on the consumption of mineral resources. In light of different industrialization pathways between China and developed countries, we should intensify the exploration of consumption law for mineral resources of big backward industrialized countries; accurately characterize the Material Kuznets Curve; and scientifically judge and reveal the impact of green development on the consumption structure of mineral resources. These suggestions will provide theoretical and empirical support for the strategic adjustment of exploitation and utilization of mineral resources.

Key words: industrial structure; mineral resources consumption; interactive impact; peak value