

关键行业对中国金属消费的影响

——基于跨行业视角的综合分析

黄健柏^{1,2}, 王志平^{1,2}, 钟美瑞^{1,2}

(1. 中南大学商学院, 湖南长沙, 410083;

2. 中南大学金属资源与战略研究院, 湖南长沙, 410083)

摘要: 自21世纪以来,工业化和城镇化不断加快,中国经济快速增长,伴随着金属资源密集开采与快速消耗,资源承载力的下降以及大量消耗带来的环境问题已经成为制约中国经济可持续发展的重要因素。提高金属资源综合利用效率和水平,降低金属资源消费强度是实现金属资源可持续发展的重要途径。基于产业部门金属的前后向关联确定影响金属消费的关键产业部门,结合投入产出和敏感性分析研究影响关键产业部门金属消费强度的主要影响路径。研究表明:金属矿采选业、金属冶炼及压延加工业、金属制品业、电气机械及器材制造业、通用专用设备制造业以及仪器仪表及办公文化机械制造业是影响中国金属消费的六大关键行业,上游金属矿采选业不仅受到直接生产关系的技术系数变化的影响,而且也受到间接生产技术系数变化的影响,中下游行业主要受到行业间的直接影响。固定资本形成是影响关键行业金属消费强度最大的需求因素,家庭消费等其他需求因素对于不同关键行业的影响路径和程度存在差异。

关键词: 行业金属消费强度; 生产技术; 投入产出模型; 敏感性分析

中图分类号: F062.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-3104(2018)06-0103-10

一、引言

金属作为国民经济的基础材料和重要战略资源,与建筑、交通、通信等人类生活和社会发展密切相关^[1]。近年来,人口增长、经济发展和城市化进程的加快刺激了金属资源消费的迅速增长,从1970年到2017年,全球金属消费增长了2.6倍,达到了91.5亿吨。随着全球化的发展,中国在全球金属消费市场中的地位越来越重要,2017年,中国金属消费量占全球金属消费总量的比重高达39.5%。金属资源的大量使用引起了许多问题,一方面,采矿和冶炼是污染性过程,这会导致产地环境污染^[2]、地质情况改变^[3]以及温室气体的排放;另一方面,金属矿石贫化^[4]、矿石地理集中度低以及开采带来的环境问题^[5-6]限制了金属矿石的供给。因此,金属资源的利用问题引起了各国

广泛的关注,美国、欧盟、日本、中国政府相继制定保障措施,以确保金属矿产资源的充足供应。

金属是工业发展的必需品,贯穿于一国工业化的始终。不同的产业部门在不同的发展阶段对金属的需求不同,且金属资源的消费领域主要集中在少数几个行业中。事实上,很多金属资源同时应用于多个产业部门,金属资源消费受到多个产业部门的影响。其中,金属矿采选业是金属矿石的生产部门,金属矿石通过开采部门进入整个国民经济系统;金属冶炼加工业和金属制品业作为金属矿石的生产和加工部门,处于工业产业链的中间位置,与国家的基础建设及工业发展速度密切相关;而通用专用设备制造业等工业下游产业则影响金属的最终应用,其中高端制造产品的构件大都是由有色金属中的轻金属和稀有金属制成的。随着科学技术的不断进步,产业的不断多样化,金属资源需求的趋势将不断变化。一方面,以3D打印、新材料制备等为代表的制造技术智能化将改变金属资源

收稿日期: 2018-08-20; 修回日期: 2018-10-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“经济新常态下的国家金属资源安全管理及其政策研究”(71633006)

作者简介: 黄健柏(1954—),男,湖南临武人,中南大学商学院教授,博士生导师,主要研究方向:资源经济与管理;王志平(1989—),男,湖南湘乡人,中南大学商学院博士研究生,主要研究方向:资源经济管理,联系邮箱: 807832492@qq.com;钟美瑞(1978—),男,湖南桂阳人,中南大学商学院副教授,博士生导师,主要研究方向:资源经济与管理

消费的利用方式^[7];另一方面,生物选矿、智能矿山以及金属资源再生循环技术将改变金属资源的供给方式。

新常态下,我国的发展面临重大转换,我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,产业结构调整、《中国制造2025》等强国战略的实施以及金属资源消费增长的不可持续对金属资源开采、加工和使用效率提出了诉求,如何降低金属资源消费强度、提高金属资源使用效率、探索金属资源需求演变,不仅是资源经济领域研究的核心焦点,更是“中国制造 2025”、战略新兴产业发展、产业结构调整等重大需求问题实现的关键。

二、文献综述

金属消费一直受到国内外学者的高度关注,金属消费指标衍生于原材料消费,目前学术界将原材料消费分为两大指标:国内材料消费和材料足迹。国内材料消费是指国内开采量加上进口材料减去出口材料,被公认为资源利用和资源效率的关键指标^[8];材料足迹指资源开采到最终需求的整个供应链中特定产品所需的材料数量,反映全球价值链在多大程度上影响一个国家的经济、环境以及货物和服务的资源效率^[9]。

金属消费强度指单位经济产出的金属投入量,生产率指标是相应强度指标的倒数,衡量每单位金属投入产生的经济产出量,为了衡量资源使用的可持续性并为决策提供支持,国内材料消费等经济性物质流量核算指标被政府主管部门采纳为可持续性指标。例如,欧盟委员会提出“资源生产率”,即国内生产总值除以国内物质消费,以此作为欧洲资源效率旗舰倡议的“欧洲战略 2020”主要组成部分之一^[10]。欧盟统计局将资源效率视为欧盟可持续发展战略的主要指标之一,经济合作与发展组织和联合国环境规划署也使用资源效率作为其绿色增长战略的指标^[11-12]。

众多的学者对金属消费和金属消费强度的驱动因素进行了研究,根据方法不同主要分为三大类:①因素分解分析法。一些学者从全球和国家层面研究包括金属在内的原材料的驱动因素,经济规模、产业结构和强度效应是影响金属消费的主要驱动因素^[11-12]。Hashimoto 等分析日本在 1995—2002 年包括金属在内的资源利用强度变化的影响因素,结果表明需求结构和资源回收强度显著降低了资源利用强度^[13]。Huang

等运用指数分解方法研究 1978—2013 年中国材料保有量变化的驱动因素,主要驱动因素包括人口、经济发展水平和技术水平^[14]。Wood 等运用结构分解方法分析了影响澳大利亚的材料使用的驱动因素,结果表明,改变材料使用的主要正向驱动因素有出口水平、出口商品结构、产业结构、经济规模^[15]。②计量经济模型,主要基于 IPAT 及其扩展模型,研究分析人口、技术、产业结构、富裕程度等因素对资源消费的影响。Wiedmann 等^[16]对 2008 年 186 个国家的材料足迹进行了测算,并用多元回归模型对其影响因素进行了实证分析。Wang 等^[17]采用了向量自回归模型研究了 1980 年至 2010 年产业结构、贸易开放和国内人均开采量对原材料生产效率的影响。计量模型能够在一定程度上解释产业结构、技术及经济发展水平等因素对资源消耗影响,但是不能解释产业部门之间的关联性。③基于投入产出的敏感性分析,这种方法主要研究行业部门之间的关联,目前在碳排放领域研究较多。Tarancón 等^[18]创造性地将投入产出和敏感性分析相结合,并应用这种方法来评估导致西班牙二氧化碳排放量最高产业形成的生产因素。随后, Tarancón^[19]分析了导致西班牙各部门电力消费增长的结构诱因和技术诱因。Tarancón^[20]根据与能源相关的二氧化碳排放量的投入产出技术,对这种方法进行了回顾和比较。闫俊娜等^[21]在前人研究的基础上,基于 Ghosh 模型进行敏感性分析,确定中国六大能源密集型行业的驱动因素,并将结果与基于 Leontief 模型的敏感性分析进行比较。Liu 等^[22]基于列昂内夫投入产出模型应用敏感性分析研究跨行业二氧化碳排放的驱动因素。

综上所述,现有文献表明产业结构变动是影响金属消费和金属消费强度的重要因素,但是已有研究主要集中在产业结构指标对金属消费的影响,缺乏解析产业结构效应的动态变化及识别驱动金属资源强度变化的产业路径研究。实际上,不同行业和最终需求之间存在直接或间接的关系,行业和最终需求的消费量变化可能直接或间接地影响其他行业的产出。中国是金属供应和消费的大国,因此,中国迫切需要确定高金属消费强度的行业(关键行业),探究哪些行业技术系数和最终需求变动对这些行业的金属消费强度(直接或间接)产生重大影响,以制定降低金属消费强度和促进金属资源高效利用的政策措施。鉴于因素分解方法和计量模型无法确定金属消费强度行业间的联系,本文利用投入-产出模型对中国行业金属消费强度进行敏感性分析。

三、研究方法 with 数据来源

(一) 部门联动的综合分析框架

经济系统是部门间关联的网络, 每个部门都是通过生产和消费活动与其他部门联系起来的节点。通过从部门间关联的角度来看整个经济系统中的经济活动, 可以了解特定部门的经济活动引起的金属消费变化, 为部门方法提供更全面的前景。

投入产出(IO)分析是探索经济系统中各部门相互依存的有效工具, 许多研究者已经接受了 IO 分析来检验环境效应, 包括经济活动引起的金属消费变化。基于 IO 分析, 我们结合以下两个典型的方法来研究部门金属消费的联系(如图 1):

(二) 产业部门的前后关联分析

测算部门金属消费的前后关联需要先计算部门金属消费强度矩阵, 具体的计算公式如式(1)所示:

$$B=MIL=MI(I-A)^{-1}=(d_{ij}) \quad (1)$$

其中 MI 为部门金属消费强度, 然后, 通过部门金属强度矩阵分别测算前向系数和后向系数, 其中, 前向系数如式(2)所示:

$$F_j = \frac{\sum_i d_{i,j}}{\frac{1}{n} \sum_j \sum_i d_{i,j}}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

后向系数:

$$E_i = \frac{\sum_j d_{i,j}}{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j d_{i,j}}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, d_{ij} 为考虑了金属消费的列昂惕夫矩阵系数; n

为经济系统中部门的数量; F_j 代表着部门 j 的向后联系系数; E_i 代表着部门 i 的向前联系系数。在这里, $F_j > 1$ 表明 j 部门的最终需求的单位变化可能导致金属资源消费总量高于平均水平; $E_i > 1$ 表明 i 部门金属资源消费总量的单位变化可能导致产量增长高于平均水平; $F_j > 1$ 且 $E_i > 1$ 的扇形区域被视为关键部门。在一个经济体的结构中, 关键部门之间的关联性高于平均水平, 因此这些部门的相对较小的变化可能对金属消费产生重大影响。

(三) 产业部门敏感性分析

本文采用基于投入产出技术的敏感性分析来确定技术系数、最终需求系数和纯技术系数对跨部门金属资源消费强度的影响。部门产出表示如式(4):

$$x_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{im} = \sum_j x_{i,j} + \sum_l y_{i,p} \quad (4)$$

式中, n 为经济系统中部门的数量; m 为最终需求部门的数量; x_{ij} 是指产品部门生产经营中直接消费的第 i 部门的货物或服务量, y_{ip} 是指第 p 个最终需求部门消费的由 i 部门提供的货物量或服务量。

技术系数可以定义为中间矩阵的每个元素与相应活动分支(列)的输出之间的比率, 具体如式(5):

$$a_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{x_j} \quad (i=1, 2, \dots, n \text{ 和 } j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

最终需求 g_p 定义为各个最终需求组成部门的总和, 具体的公式如式(6):

$$g_p = \sum_i y_{i,p} \quad (i=1, 2, \dots, n \text{ 和 } p=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

因此, 最终的需求系数可以表示如式(7):

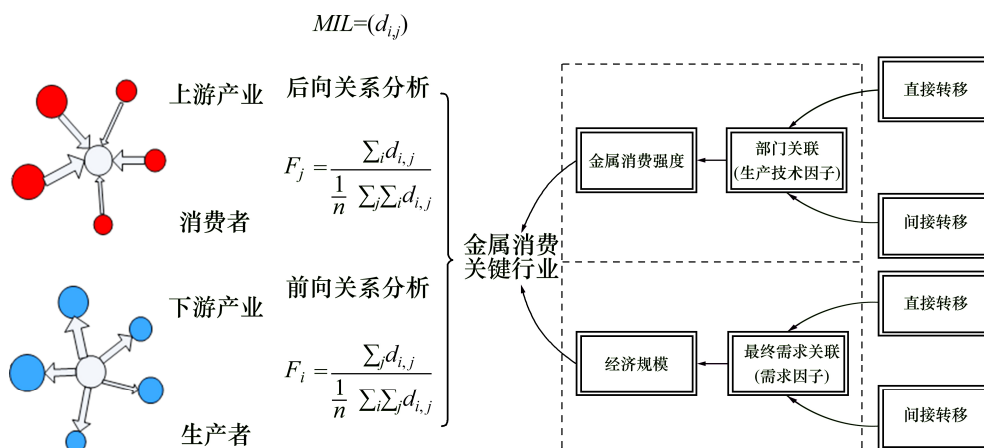


图1 投入产出部门联动视角下的关键行业部门影响分析框架

$$h_{i,p} = \frac{y_{i,p}}{g_p} \quad (i=1, 2, \dots, n \text{ 和 } p=1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

我们可以通过活动定义金属资源消费量的矢量 $M(n \times 1)$, 此外还可以定义单位产出金属资源消费系数, 如式(8):

$$C_i = \frac{M_i}{x_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

结合公式(4)(5)(6)(7)和(8), 可得产业部门 i 的金属资源消费水平如式(9):

$$M_i = \sum_j C_i a_{i,j} x_j + \sum_p C_i h_{i,p} g_p \quad (9)$$

上面的等式可以对所有的行业用矩阵形式重写。如果 M 是按部门消费的 $(n \times 1)$ 向量, 那么 C 是单位产出金属消费强度的 $(n \times n)$ 对角矩阵, A 是技术系数的 $n \times n$ 矩阵, x 是 $(n \times 1)$ 的总产出向量, H 是 $(n \times m)$ 最终需求系数矩阵和 $g(m \times 1)$ 需求总量向量。具体的矩阵表达形式如式(10):

$$M_i = \tilde{C}(Ax + Hg) = \tilde{C}BHg \quad (10)$$

1. 技术系数的敏感性分析

金属消费强度的定义为单位附加值金属的消费量, 可以表示如式(11):

$$MI_i = \frac{M_i}{VA_i} = \frac{C_i \cdot x_i}{VA_i} = \frac{C_i \cdot \sum_j b_{i,j} \cdot y_j}{VA_i} \quad (11)$$

十分明显, 技术系数 $a_{k,l}$ 的变化受到列昂惕夫矩阵系数 $b_{i,j}$ 的影响, 基于误差传递理论的核心 Sherman-Morrison 公式如式(12)(Δa_{kl} 的微小变化对 $\Delta b_{i,j}$ 的影响):

$$\Delta b_{i,j} = \frac{b_{i,k} b_{l,j} \Delta a_{k,l}}{1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l}} \quad (12)$$

这里, 只关注生产技术变化对金属消费强度的影响, 其他量假设不变, 金属消费强度变化的表达式可以转变为公式(13):

$$\Delta MI_i = \sum_{j=1}^n \frac{C_i b_{i,k} b_{l,j} \Delta a_{k,l}}{VA_i (1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l})} y_j = \frac{C_i}{VA_i} \times \frac{b_{i,k} x_i \Delta a_{k,l}}{1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l}} \quad (13)$$

金属强度的敏感性系数可以表示为式(14):

$$\varepsilon_{MI_i a_{k,l}} = \frac{\Delta MI_i}{MI_i} \bigg/ \frac{\Delta a_{k,l}}{a_{k,l}} = \frac{b_{i,k} a_{k,l}}{1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l}} \cdot \frac{x_i}{x_i} \quad (14)$$

$\varepsilon_{MI_i a_{k,l}}$ 表示金属资源消费强度随技术系数变化而

变化的弹性。可以看出, 这种弹性不仅取决于部门的技术变化, 而且取决于最终的需求结构。为了单独研究技术变化如何影响金属资源消费强度, 需要剔除最终需求的影响。定义 $y_j=1$, 因此, 可以得到式(15):

$$\Delta MI_i = \frac{C_i}{VA_i} \sum_{j=1}^n \Delta b_{i,j} = \frac{C_i}{VA_i} \sum_{j=1}^n \frac{b_{i,k} b_{l,j} \Delta a_{k,l}}{1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l}} \quad (15)$$

因此, 响应纯技术系数变化的金属资源消费强度的弹性可以得到公式(16):

$$\varepsilon_{MI_i a_{k,l}}^* = \frac{\Delta MI_i}{MI_i} \bigg/ \frac{\Delta a_{k,l}}{a_{k,l}} = \frac{\Delta \sum_{j=1}^n b_{i,j}}{\sum_{j=1}^n b_{i,j}} \bigg/ \frac{\Delta a_{k,l}}{a_{k,l}} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{b_{i,k} b_{l,j} \Delta a_{k,l}}{1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l}}}{\sum_{j=1}^n b_{i,j}} \bigg/ \frac{\Delta a_{k,l}}{a_{k,l}} = \frac{b_{i,k} a_{k,l}}{1 - b_{l,k} \Delta a_{k,l}} \frac{\sum_{j=1}^n b_{l,j}}{\sum_{j=1}^n b_{i,j}} \quad (16)$$

式中: $\varepsilon_{MI_i a_{k,l}}^*$ 表示 k 部门纯生产技术变化对 i 部门金属消费强度产生的影响, 指标不随最终需求构成的变化而变化。

2. 需求系数的敏感性分析

假设部门 i 是对金属消费强度贡献的关键部门, 则计算需求系数变化对关键部门金属消费强度的影响, 可以表示为 MI_i 对系数 $h_{k,l}$ 的变化的弹性, 具体如式(17):

$$\varepsilon_{MI_i h_{k,l}} = \frac{\Delta MI_i / MI_i}{\Delta h_{k,l} / h_{k,l}} = \frac{b_{i,k} h_{k,l} g_l}{x_i} \quad (17)$$

(四) 数据来源

中国金属消费指标借鉴国内原材料消费指标(DMC), 即金属的表观消费量, 它指国内开采量加金属进口量减去金属出口量, 其广泛应用于物质流领域。金属消费指金属矿石消费, 其数据来源于维也纳经济大学的物质流数据库。中国投入产出表每五年编制一次, 最新的投入产出表编制于2012年, 考虑到从2002年开始, 中国金属消费迅速增长, 本文选取2002、2007和2012年三张投入产出表, 并加入了金属消费量, 基本的形式如表1所示。为消除不同年份价格波动的影响, 我们选取2002年作为基准年, 用国内生产总值平减指数对2007年和2012年的投入产出表数据进行平减, GDP平减指数来源于国家统计局。

根据中国产业部门划分标准(GB/T4754-2017)将42部门投入产出表合并为25部门, 合并后的具体部门如表2所示。金属不同于能源, 只能通过开采过程进入整个经济价值链, 金属消费数据的计算基于开采

表 1 投入产出表

投入		产出												
		中间使用						最终需求						
							中间使 用合计	最终消费		资本形成				
		部门 1	部门 2	部门 3	…	部门 n		居民 消费	政府消费	固定资本形成	存货 增加	出口	进口	总产 出
中间投入	部门 1	x11	x12	x13	…	x1n	x1	RC1	G1	F1	I1	EM1	IM1	X1
	部门 2	x21	x22	x32	…	x2n	x2	RC2	G2	F2	I2	EM2	IM2	X2
	部门 3	x31	x32	x33	…	x3n	x3	RC3	G3	F3	I3	EM3	IM3	X3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	部门 n	xn1	xn2	xn3	…	xnn	xn	RCn	Gn	Fn	In	EMn	IMn	Xn
	中间投入合计							RC	G	F	I	EM	IM	X
附加值		VA1	VA2	VA3	…	VA _n	VA							
M(金属消费)		M1	M2	M3	…	M _n	M							
总投入		X1	X2	X3		X _n	X							

表 2 25 产业部门划分表

序号	行业名称	序号	行业名称
1	农业	14	金属冶炼及压延加工业
2	煤炭采选业	15	金属制品业
3	石油和天然气开采业	16	通用专用设备制造业
4	金属矿采选业	17	交通运输设备制造业
5	非金属矿采选业	18	电气机械及器材制造业
6	食品制造及烟草加工业	19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
7	纺织业缝纫及皮革制品业	20	仪器仪表及文化办公用机械制造业
8	木材加工及家具制造业	21	其他制造业(含废品废料)
9	造纸印刷及文教用品制造业	22	建筑业
10	电力及蒸汽、热水生产和供应业	23	货运、邮电仓储、旅客运输业
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	24	租赁商业服务、批发零售、金融保险业、房地产、餐饮与住宿
12	化学工业	25	公用事业及居民服务业及其他服务文教卫生科研事业、行政机关
13	非金属矿物制品业		

部门价格相同的假设,无论该部门出售的产品是什么,金属开采部门的商品和服务价值将始终包含相同数额的金属,一般采用金属开采部门分配系数计算各部门的金属消费^[11-12]。本文考虑到不同部门对金属矿石的消费存在间接消费,因此采用完全分配系数计算各部门金属矿石消费,具体的计算公式如式(18):

$$D=(I-H)^{-1}I$$

(18)

式中: H 是直接分配系数矩阵; I 是单位矩阵。部门金属消费取决于各部门对金属开采部门的完全分配系数。部门金属消费可以表示如式(19):

$$M_i=M\times D_{m,i}$$

(19)

式中: M 表示金属总消费量(指国内金属消费量); $D_{m,i}$ 表示金属开采行业完全分配系数。

四、结果分析

(一) 金属消费的关键行业部门

图 2 展示了 2012 年 25 部门金属消费的前后向联系。根据前后向系数可以将所有的部门分为两大类,绝大部分产业部门拥有相对松散的前后向联系,关键产业部门的前后向联系紧密,坐落在图的右上角,主要包括的部门有金属采矿业(4)、金属冶炼及压延加工业(14)、金属制品业(15)、通用专用设备制造业(16)、

电气机械及器材制造业(18)和仪器仪表及文化办公用机械制造业(20)。其中金属开采业和金属冶炼及压延加工业的前向后向系数较高,是与上游和下游产业紧密相连的关键部门,金属开采业的前向系数和后向系数为 2.57 和 4.72,金属冶炼及压延加工业的前向系数和后向系数为 2.1 和 5.0,后向系数高于前向系数说明这两个产业部门跟金属上游产业关系更加密切。而金属制品业前向系数和后向系数为 2.33 和 2.44,仪器仪表及文化办公用机械制造业的前向系数和后向系数为 3.41 和 3.0,产业部门跟金属上下游产业都非常密切。

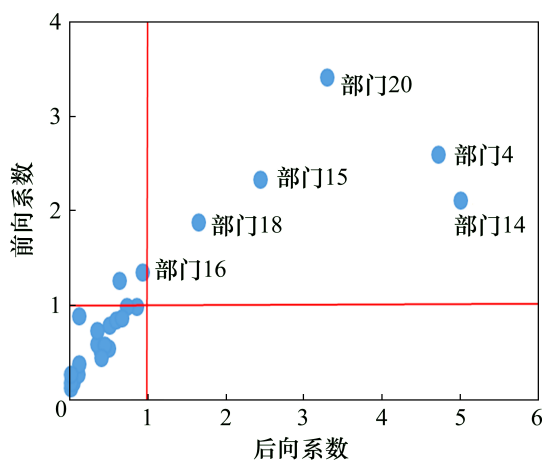


图2 2012年金属消费的前后向联系

(二) 关键行业部门金属消费特征

根据研究方法中关于行业金属消费的计算以及金属消费强度的定义,我们得到了 2002 年、2007 年以及 2012 年关键行业部门金属消费及消费强度的变化趋势,如图 3 所示,2002 年、2007 年以及 2012 年六大行业消费总量占比分别高达 65%、60%以及 62%,由此可见,这六大关键产业部门对于我国金属需求变化有显著影响。从总的趋势来说,虽然金属消费的总量在迅速增长,但各行业消费占比变化并不显著,说明产业消费结构并没有发生显著变化。以 2012 年为例,首先是金属冶炼及延压加工业是金属消费最高的行业,其消费占比高达 20.8%;其次是金属矿采选业和金属制品业,其消费占比分别为 12.8%和 9.7%;仪器仪表及文化办公用机械制造业消费量最少,占比仅为 3.9%。

从金属消费强度来看,六大关键行业金属消费强度在 2002—2012 年迅速增长,首先是仪器仪表及文化办公用机械制造业,尽管其消费占比较小,但是其消费强度变化显著,其强度值从 2002 年的 3.23 吨/万元上升到 2012 年的 34.5 吨/万元,2012 年该行业金属消费强度为所有部门之首;其次是金属矿采选业,其强

度值从 2002 年的 7.1 吨/万元增长到 2012 年的 28.6 吨/万元。最后是,金属消费总量占比最高的金属冶炼及压延加工业,其消费强度从 2002 年的 2.1 吨/万元增长到 2012 年的 11.4 吨/万元。金属消费强度的快速增长主要归咎于 2002 年后,我国制造业蓬勃发展,工业化和城镇化的进一步加快以及中国加入 WTO 后金属矿石进口数量大幅增长,金属消费的增长速度超过了 GDP 的增长速度,因此中国金属消费强度显著增加。而中国“十二五规划”和“十三五规划”中明确提出要提高 15%的资源使用效率,为实现该目标,迫切需要降低关键行业的金属消费强度,提高金属资源的利用效率。

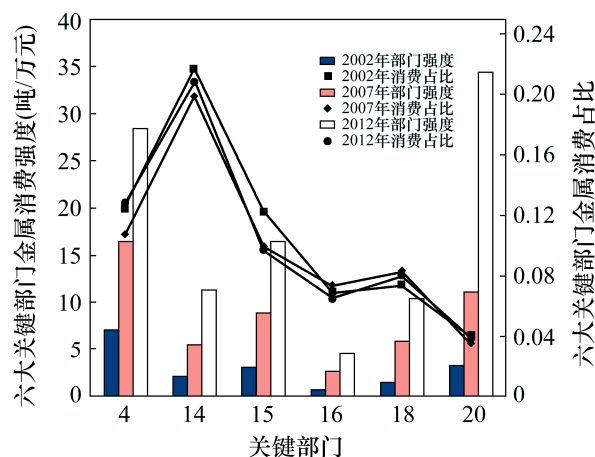


图3 关键部门金属消费量占比及消费强度变化

(三) 关键行业部门金属消费强度对技术系数的敏感性分析

基于投入-产出模型的敏感性分析,计算 25 个行业生产技术系数变化对各高金属消费行业金属消费的影响程度。本文使用弹性作为评价指标,并认为弹性值超过 0.1%的生产技术系数为关键系数,并对其结果进行分析。表 3 显示了基于 Leontief 投入产出模型的关键行业金属消费强度的敏感性分析结果。以金属冶炼及压延加工业的第一行为例,表明金属冶炼及压延加工业自供给中间产品消费每降低 1%,行业本身的金属消费强度下降 0.59%。

1. 关键行业部门最敏感的生产技术系数

上游产业金属矿采选业是金属矿石的供给部门,其与金属冶炼及压延加工的生产供应技术系数敏感性最显著,弹性值为 2.17,这表明金属采矿业主要通过改变金属冶炼及压延加工业的供给来影响中国金属的消费,金属冶炼及压延加工业效率提升与技术进步能显著降低金属矿采选业的金属消费强度。中下游产业金属冶炼及压延加工业、通用专用设备制造业和电气

表3 2012年关键部门金属消费强度的敏感性分析结果

关键产业部门	技术系数敏感性				需求系数敏感性		
	i	k	$\varepsilon_{M_i a_{kl}}$	$\varepsilon_{M_i a_{kl}}^*$	i	k	$\varepsilon_{M_i h_{kl}}$
金属冶炼及 压延加工业(14)	n 14	n 14*	0.59	0.59	n 14	3	2.71
	n 14	n 15	0.27	0.22	n 16	3	5.74
	n 14	n 16	0.32	0.17	n 17	3	1.56
	n 16	n 16	0.12	0.07	n 18	3	1.46
	n 14	n 18	0.22	0.18	n 22	3*	15.95
	n 14	n 22	0.42	0.05			
金属采矿业(4)	n 12	n 1	0.11	0.00	n 14	3	3.02
	n 4	n 4	0.17	0.17	n 15	3	1.36
	n 7	n 7	0.11	0.01	n 16	3	7.31
	n 14	n 9	0.14	0.02	n 17	3	1.87
	n 12	n 12	0.24	0.04	n 21	3	1.05
	n 4	n 14*	2.17	0.57	n 22	3*	18.94
	n 14	n 14	1.27	0.33	n 25	2	2.17
	n 14	n 15	0.58	0.12	n 18	3	1.70
	n 14	n 16	0.69	0.10			
	n 16	n 16	0.27	0.04			
	n 14	n 17	0.15	0.05			
	n 14	n 18	0.46	0.10			
	n 14	n 22	0.89	0.03			
金属制品业(15)	n 15	n 15	0.16	0.16	n 15	1	2.93
	n 15	n 16	0.12	0.08	n 15	3	4.81
	n 15	n 22*	0.17	0.03	n 22	3*	10.97
					n 15	4	1.35
电气机械及 器材制造业(18)	n 18	n 16	0.14	0.09	n 18	3*	9.49
	n 18	n 18*	0.20	0.20	n 22	3	6.90
	n 18	n 22	0.14	0.02	n 18	1	5.31
通用专用设备制造业(16)	n 16	n 16*	0.30	0.30	n 16	1	1.72
					n 16	3*	24.26
					n 17	3	1.27
					n 22	3	5.96
仪器仪表及办公 文化机械制造业(20)	n 20	n 10	0.11	0.07	n 16	3	2.71
	n 20	n 20	0.16	0.16	n 20	3*	23.13
	n 20	n 25*	0.19	0.02	n 22	3	4.78
					n 25	2	3.90

注: *代表与关键行业金属消费强度相关的最重要行业

机械及器材制造业金属消费强度变化与自身行业的技术水平息息相关, 其金属消费强度变化最敏感的系数均为其消费自供给中间投入的技术系数, 弹性值分别为 0.59、0.30、0.20, 这表明这些产业主要通过本身生产技术进步来降低本行业金属消费强度, 从而影响中国金属消费。此外, 金属制品业的产品是建筑业生产

的原材料, 导致金属制品业金属消费强度变化最敏感的因素是其与建筑业之间的生产供应系数, 弹性值为 0.17, 这表明金属制品业通过影响建筑业的发展来影响中国金属消费, 可以从提高建筑业生产技术水平来降低金属制品业金属消费强度。仪器仪表及办公文化机械制造业金属消费强度与公共服务部门密切相关,

受消费中间投入产品的变化影响,其弹性值为0.19,这表明仪器仪表及办公文化机械制造业更多的是通过公共服务部门来影响中国金属消费。

2. 生产技术变化的直接影响和间接影响

敏感性分析能够量化影响关键产业金属消费强度的直接生产和间接生产联系。研究结果表明,上游金属矿采选业不仅受到直接生产关系的技术系数变化的影响,而且也受到间接生产技术系数变化的影响,且某些行业对上游行业产生的间接影响大于其他行业的直接影响,如金属冶炼压延加工业自供给中间投入技术系数变化对金属矿采选业的间接影响弹性值为(1.27)大于金属矿采选业自身技术变化的直接影响弹性值为(0.17)。中下游行业主要受到行业间的直接影响,间接影响不显著,如金属制品业主要敏感的生产技术系数是消费自供给中间投入的技术系数和通用专用设备制造业消费金属制品业中间投入的技术系数,其弹性值分别为0.16和0.12。

3. 生产技术变化的结构相关性和技术相关性

根据公式(14)可以将生产系数变化对金属消费强度的影响分解成技术相关性和结构相关性两部分。其中,技术相关性完全由生产技术系数决定,而结构相关性由最终需求决定。剔除最终需求的影响,我们得到纯技术系数对金属资源消费强度的影响,用 $\varepsilon_{M_i a_{kl}}^*$ 来度量。研究结果表明,通常情况下技术系数弹性值大于纯技术系数弹性值,这表明结构相关性对技术系数的敏感性具有促进作用,因此,最终需求结构的调整和行业技术水平的提高对于行业金属消费强度有显著作用。对金属冶炼及压延加工业、通用专用设备制造业和电气机械及器材制造业而言,其对自供给中间投入系数最为敏感,不存在结构相关性的影响,即 $\varepsilon_{M_i a_{kl}}^* = \varepsilon_{M_i a_{kl}}$ 。因此,这些行业应更注重行业自身生产效率的提升和金属资源使用率的提高,即同样产出条件下减少中间投入。金属矿采选业、金属冶炼及压延加工以及仪器仪表及办公文化机械制造业更容易受到其他行业的影响,因此这些行业金属消费强度的变化受到产业结构变化的影响,当最终需求产品向低金属含量高技术产品转变时,行业的金属消费强度将显著降低。

(四) 关键行业金属消费强度对最终需求系数的敏感性分析

最终需求系数的弹性值较高,因此选取最终需求系数超过1%的弹性值作为关键弹性值,结果如表3所示。

1. 关键行业部门最敏感的需求系数

关键行业最终需求系数变化与固定资本形成总额

密切相关,其中金属矿采选业、金属冶炼及压延加工业以及金属制品业金属消费强度主要受建筑业固定资本形成总额的间接影响,建筑业固定资本形成系数每减少1%,则这些行业的金属消费强度将分别下降18.94%、15.9%及10.97%,统计数据显示,2012年建筑业固定资本形成总额占固定资本形成总额的比例为93.00%,随着工业化的发展和城市化进程的不断加快,高额的投资规模加剧了金属资源的需求,刺激了金属矿采选业等金属中上游产业产量的急剧增加,金属消费强度不断增大。通用专用设备制造业、电气机械及器材制造业及仪器仪表及办公文化机械制造业这三个行业最终需求的敏感因素是自身行业固定资本形成总额的需求变动,当固定资本形成系数每减少1%时,这些行业的金属消费强度将分别降低24.26%、9.49%以及23.13%,这主要归咎于这三个金属下游产业产品中金属含量高,行业投资规模的变动直接影响行业金属消费强度。

2. 家庭消费、政府消费以及进出口变动对关键行业金属强度的影响

家庭消费需求变动对金属消费强度的影响主要集中在金属制品业、电气机械及器材制造业和通用专用设备制造业,且直接影响这三个行业的金属消费强度,其弹性值分别为2.93、5.71和1.72,其中电气机械及器材制造业的弹性值最大,这表明家庭对于空调、冰箱等电器产品需求的变化将对电气机械及器材制造业金属消费强度产生显著影响。政府消费对于关键行业金属消费强度的影响主要通过影响仪器仪表及办公文化机械制造业来实现,当政府对该行业产品需求下降1%时,该行业金属消费强度将下降3.9%。政府办公仪器采购需求变化是该行业金属消费强度变化的主要原因。此外,金属制品业的净出口系数直接影响自身行业的金属消费强度,其弹性值为1.35。据中国海关统计,2012年工业制成品占中国出口商品结构的比重为94.78%,机械和运输设备制造业(占中国出口商品结构的)的份额在2012年达到49.53%,高金属含量的出口产品变化影响金属制品业的金属消费强度。目前,中国的金属出口主要集中在初级产品上,附加值较低。因此,有必要促进金属制品加工技术的改进,增加高科技金属制品的出口。

五、结论与政策建议

为了从跨部门视角了解中国金属消费强度变动的影响路径,本文首先从产业部门的金属前后向联系确

定金属消费的关键行业。然后, 基于 25 个行业的 Leontief 投入产出模型, 对关键行业的金属消费强度进行敏感性分析, 以探讨行业金属消费强度的跨行业 and 最终需求的联系, 从而为制定金属资源的有效利用政策提供参考。本研究得到以下几点重要结论:

①影响金属消费的关键部门分别是金属矿采选业、金属冶炼及压延加工业、金属制品业、电气机械及器材制造业、通用专用设备制造业以及仪器仪表及办公文化机械制造业, 前后向联系系数表明金属矿采选业和金属冶炼及压延加工业跟其他产业联系更加紧密, 金属冶炼及压延加工业是金属消费最高的行业, 仪器仪表及办公文化机械制造业是金属消费强度最高的部门。

②上游金属矿采选业不仅受到直接生产关系的技术系数变化的影响, 而且也受到间接生产技术系数变化的影响, 中下游行业主要受到行业间的直接影响, 如金属制品业主要敏感的生产技术系数是消费自供给中间投入的技术系数。金属冶炼及压延加工业、通用专用设备制造业和电气机械及器材制造业不存在结构相关性的影响, 金属矿采选业等行业金属消费强度的变化更受到产业结构变化的影响, 当最终需求产品向高技术产品转变时, 行业的金属消费强度将显著降低。

③固定资本形成总额不仅通过建筑业间接影响金属矿采选业、金属冶炼及压延加工业以及金属制品业的消费强度, 而且直接影响通用专用设备制造业、电气机械及器材制造业及仪器仪表及办公文化机械制造业的金属消费强度。家庭消费、政府消费以及进出口等需求因素直接作用于关键产业影响该部门的金属消费强度, 如家庭消费对电气机械及器材制造业需求系数弹性值显著, 政府消费对仪器仪表及办公文化机械制造业需求弹性值显著, 净出口对金属制品业需求系数弹性值显著。

基于上述研究结果, 本文得到如下政策启示:

①降低金属资源消费强度, 提高资源使用效率的有效途径是建立综合性的产业政策, 构建产业部门间高效的协同联动机制, 而不仅仅局限在独立的几个产业部门。如金属矿采选业的资源效率提升不仅依赖于本行业生产效率的改善和技术水平的上升, 金属下游产业技术进步也会显著降低金属矿采选业的金属消费强度。

②降低产业金属资源消费强度的根本路径是技术水平的不断改善, 生物选矿、智能矿山以及金属资源再生循环技术将改变金属资源的供给方式, 以 3D 打印、新材料制备等为代表的制造技术智能化将改变金

属资源消费的利用方式, 从而显著提高资源的利用模式和效率。

③抑制建筑业以及金属下游产业盲目投资, 减少产业无效的需求是降低产业金属消费强度的重要路径。考虑到建筑物和土木工程的使用寿命, 通过合理的维护和处理, 延长现有建筑物的使用寿命, 有利于减少资源的消耗。

④产业结构的合理调整, 资源密集型产业向技术密集型产业转型, 扩大有效供给, 增加产品的技术附加值是金属产业调整的重要方向。

参考文献:

- [1] WIEDMANN T O, SCHANDL H, MORAN D. The footprint of using metals: New metrics of consumption and productivity[J]. *Environmental Economics and Policy Studies*, 2015, 17(3): 369–388.
- [2] BRIDGE G. CONTESTED TERRAIN: Mining and the environment[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2004, 21(29): 205–259.
- [3] FRANKS D M, DAVIS R, BEBBINGTON A J, et al. Conflict translates environmental and social risk into business costs[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2014, 111(21): 7576–7581.
- [4] PRIOR T, GIURCO D, MUDD G, et al. Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management[J]. *Global Environmental Change*, 2012, 22(3): 577–587.
- [5] GRAEDEL T E, HARPER E M, NASSAR N T, et al. Criticality of metals and metalloids[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2015, 112(14): 4257–4262.
- [6] PRIOR T, GIURCO D, MUDD G, et al. Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management[J]. *Global Environmental Change*, 2012, 22(3): 577–587.
- [7] 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.
- [8] EISENMENGER N, WIEDENHOFER D, SCHAFFARTZIK A, et al. Consumption-based material flow indicators — Comparing six ways of calculating the Austrian raw material consumption providing six results[J]. *Ecological Economics*, 2016, 128: 177–186.
- [9] WIEDMANN T O, SCHANDL H, MORAN D. The footprint of using metals: New metrics of consumption and productivity[J]. *Environmental Economics and Policy Studies*, 2015, 17(3): 369–388.
- [10] UN Environmental Program. Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication. A synthesis for policy makers[J]. Nairobi Kenya UNEP, 2017.
- [11] WANG Z, FENG C, CHEN J, et al. The driving forces of

- material use in China: An index decomposition analysis[J]. *Resources Policy*, 2017, 52: 336–348.
- [12] POTHEN F, SCHYMURA M. Bigger cakes with fewer ingredients? A comparison of material use of the world economy[J]. *Ecological economics*, 2015, 109: 109–121.
- [13] HASHIMOTO S, MATSUI S, MATSUNO Y, et al. What factors have changed Japanese resource productivity? A decomposition analysis for 1995–2002[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2008, 12(5–6): 657–668.
- [14] HUANG C, HAN J, CHEN W Q. Changing patterns and determinants of infrastructures' material stocks in Chinese cities[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2015, 123: 47–53.
- [15] WOOD R, LENZEN M, FORAN B. A material history of Australia: Evolution of material intensity and drivers of change[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2009, 13(6): 847–862.
- [16] WIEDMANN T O, SCHANDL H, LENZEN M, et al. The material footprint of nations[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(20): 6271–6276.
- [17] WANG T, YU Y, ZHOU W, et al. Dynamics of material productivity and socioeconomic factors based on auto-regressive distributed lag model in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 137: 752–761.
- [18] TARANCÓN M Á, RÍO P D. CO₂ emissions and intersectoral linkages. The case of Spain[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(2): 1100–1116.
- [19] TARANCÓN M Á, DEL RIO P, CALLEJAS F. Determining the responsibility of manufacturing sectors regarding electricity consumption [J]. *The Spanish case*. *Energy*, 2011, 36(1): 46–52.
- [20] TARANCON M A, RÍO P D. Assessing energy-related CO₂ emissions with sensitivity analysis and input-output techniques[J]. *Energy*, 2012, 37(1): 161–170.
- [21] 闫俊娜, 赵涛, 张欣. 基于 Ghosh 投入–产出模型的敏感性分析——以中国高耗能行业为例[J]. *管理评论*, 2015, 27(3): 39–48.
- [22] LIU L C, CAO D, WEI Y M. What drives intersectoral CO₂ emissions in China?[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 133: 1053–1061.

The impact of key industries on China's metal consumption: Based on comprehensive analysis from inter-sectoral perspective

HUANG Jianbai^{1,2}, WANG Zhiping^{1,2}, ZHONG Meirui^{1,2}

(1. School of Business, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Metal Resources Strategic Research Institute, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Since the beginning of the 21st century, with the acceleration of industrialization and urbanization, China's economy has grown rapidly, and with the intensive mining and rapid consumption of metal resources, the decline in resource carrying capacity and the environmental problem caused by tremendous consumption have become major constraints on the sustainable development of the China's economy. Improving the comprehensive utilization efficiency and level of metal resources and reducing the consumption intensity of metal resources are important ways to achieve sustainable development of metal resources. The present study identifies the key industrial sectors affecting metal consumption based on the forward-looking linkages of metals in the industrial sectors, combines input-output and sensitivity analysis to study the main impact paths affecting metal consumption intensity in key industrial sectors. The research findings show that the 6 key industries affecting China's metal consumption include the mining of metal ores, manufacturing and processing of metals, manufacturing of fabricated metal products, manufacturing of general and special purpose machinery, manufacturing of electrical machinery and apparatus, and manufacturing of measuring instruments and machinery for cultural activities and office work. In the key industries, the upstream mining of metal ores is not only affected by changes in the technical coefficients of the direct production relations but also affected by changes in the indirect production technology. The midstream and downstream industries are mainly affected by the intersectoral transitions. The formation of fixed capital is the largest demand factor that affects the metal consumption intensity in key industries. There are differences in the path and degree of impact of other demand factors such as household consumption on different key industries.

Key Words: industrial metal consumption intensity; production technology; input output model; sensitivity analysis

[编辑: 谭晓萍]