

引用格式:杨建锋,马腾,王尧,等. 社会经济发展对铜矿资源勘查驱动传导机制分析[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 526-534. [Yang J F, Ma T, Wang Y, et al. Socio-economic mechanisms driving copper exploration[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 526-534.]
DOI :10.18402/resci.2018.03.07

社会经济发展对铜矿资源勘查驱动传导机制分析

杨建锋, 马 腾, 王 尧, 张翠光

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘 要:定量描述铜矿勘查经济过程并预测其走向,是实现铜矿勘查形势中长期预测、制定铜矿勘查发展战略的重要基础。基于经济发展对铜矿勘查影响传导链,通过文献综述与数据分析,从经济发展对铜消费需求影响、铜供需对其价格影响、铜价格对铜矿开发影响、铜矿开发对铜矿勘查影响等4个环节,分析了经济因素变化对铜矿勘查的驱动机制。分析表明,铜消费与工业化水平紧密相关,世界工业产业迁移以及产业结构变化将对中国铜消费产生深远的影响;中长期铜金属价格随供需变化呈现交替上升与下行的周期性变化,下一轮铜价格上升波次来临取决于接替中国启动工业化的国家;矿产铜生产通常滞后于铜需求和价格变化,铜矿勘查的经济收益受制于铜矿的开发利用;铜矿企业根据全球工业产业格局与铜价格中长期变化制定相应的勘查开采计划,是平稳度过矿业下行期的重要基础。铜矿勘查是一项高风险市场行为,政策稳定、市场透明、可以预期的友好投资环境,对于铜矿勘查企业生存发展至关重要。

关键词:经济发展;铜矿勘查;产业链;驱动传导机制;供需

DOI :10.18402/resci.2018.03.07

1 引言

铜是社会经济发展的重要物质基础之一,应用领域十分广泛。按照消费量计算,铜是仅次于铁、铝而位列第三的重要战略性金属矿种^[1]。据国际铜研究组(ICSIG)统计,2016年全球精炼铜消费量为2343.7万t^[2],人均消费量3.1kg,远远超过锌、铅、镍、锡等其他有色金属。由于其在建筑、交通、电信、电器电子等工业领域得到广泛应用,铜矿一直是全球矿产勘查的热点矿种之一。2016年,全球铜矿勘查投入15.07亿美元,占金属矿产勘查总投入的21.9%,为仅次于黄金的第二大热点金属矿种^[3]。目前,中国已发展成为全球最大的铜消费国、铜矿石进口国和第二大矿产铜生产国。2015年,中国精炼铜消费量1135.53万t,占全球总量的49.3%;铜矿石进口量372.23万t,占全球总量的45.4%;矿产铜产量170.64万t,占全球总量的8.9%^[4]。近年来,中国铜工业持续快速发展,有力地支撑了工业化、城镇化

深入推进,并在世界铜工业中发挥了越来越重要的作用。在铜工业快速发展的驱动下,中国铜矿资源勘查快速发展。2016年,中国铜矿勘查投入31.29亿元,占金属矿产勘查投入的27.6%^[5]。在矿业持续下行的形势下,矿业界和地质勘查行业普遍提出铜矿勘查向何处去的问题。定量描述以往铜矿勘查投入及其成效变化并预测其未来走向,是研判铜矿勘查前景、制定铜矿勘查发展战略的重要基础。

实现铜矿勘查经济过程定量刻画与准确预测铜矿勘查投入变化,需要深入了解和认识社会经济发展对铜矿勘查影响的内在驱动机制。以往的研究,更多的是关注铜资源供需、铜价格变化、铜矿勘查效果等,而从整个产业链角度研究社会经济发展对铜矿勘查的驱动机制研究则较少见^[6-8]。铜工业产业链很长,包括铜矿业、铜冶炼、铜加工制造、铜消费、废铜回收等^[9]。在市场经济条件下,从铜消费需求到铜矿勘查,社会经济发展对铜矿勘查活动的

收稿日期:2017-08-13,修订日期:2018-02-07

基金项目 地质矿产调查评价专项地质勘查进展与工作程度动态分析二级项目(DD20160088)。

作者简介 杨建锋,男,河北宁晋人,研究员,从事资源环境经济研究。E-mail: jf.yang@sohu.com

2018年3月

驱动传导过程大致包括4个重要环节:一是社会经济发展促进GDP、国民收入、经济结构变化与技术进步,引发铜资源消费发生变化;二是铜资源消费变化导致铜资源供需关系变化,从而引发铜金属价格发生变化;三是铜金属价格变化引发铜矿开发企业收益发生变化;四是铜矿开发企业收益变化引发铜矿勘查投入发生变化,投入变化将直接影响找矿成效(图1)。实际上,影响铜矿勘查的因素不仅包括上述的经济因素,还有矿业管理和土地管理政策、生态环境保护、国际金融投机等因素。本文从经济发展对铜矿勘查的影响传导链出发,分析市场经济条件下上述4个重要环节主要经济因素变化对铜矿勘查的驱动机制,以期为铜矿勘查中长期定性定量预测奠定基础。

2 社会经济发展对铜消费需求的影响

研究表明,铜消费与经济发展水平具有明显的相关关系。由于具有良好的延展性、柔韧性、热传导性、抗腐蚀性以及美学特性,铜金属被广泛地

应用于电力电子通讯、建筑房地产、交通等各行各业,成为经济发展的重要原材料之一^[10]。经济发展推动了各国GDP、国民收入、经济结构与科学技术的动态变化,对铜金属的消费产生了深远的影响。

大量研究表明,人均铜金属消费量与人均GDP呈现“S”形变化关系,即工业化之前人均铜金属消费量呈低缓增长趋势,工业化发展阶段呈快速增长趋势并达到顶点,之后趋于稳定或出现下降(图2)^[11]。DeYoung等、Menzie等、Steinberger等对典型国家长时间序列铜金属消费研究得出,人均铜金属消费与人均GDP高度正相关,发达国家铜金属消费量高于发展中国家^[12-14],并建立了二者关系的Logistic函数模型^[15]。Halada等对日本铜消费分析显示,在人均GDP大于1.3万美元之后铜金属消费量趋于稳定^[16]。ICSG分析得出,美国、日本等高GDP国家人均铜金属消费量趋于稳定,低GDP、低收入国家铜金属消费量很低,而印尼、中国等快速发展的发展中国家人均铜金属消费量在持续增加^[17]。Graedel等对49

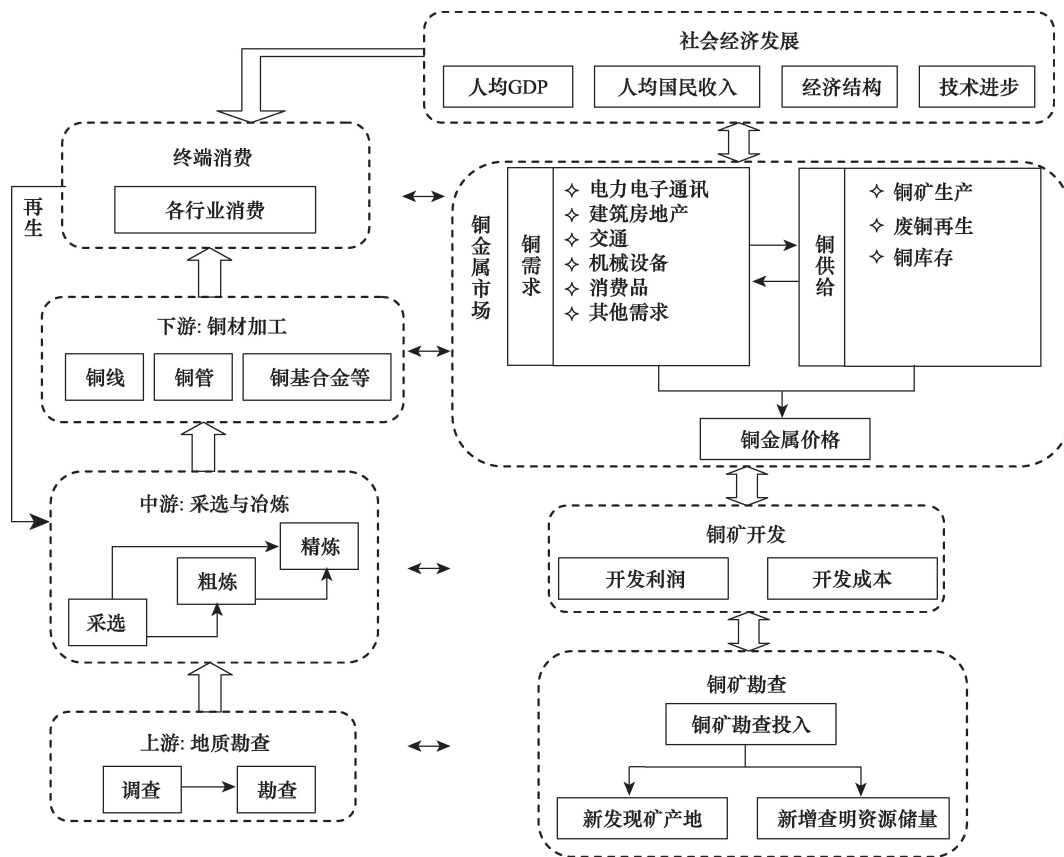


图1 铜工业产业链与社会经济发展对铜矿勘查影响传导链示意

Figure 1 The diagram of copper industrial chain and the effect of social economy on copper exploration

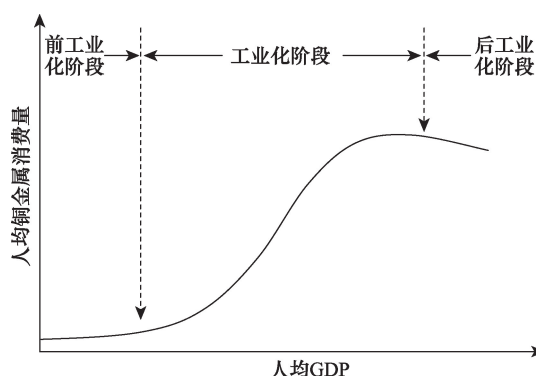


图2 人均铜金属消费与人均GDP的关系^[11]

Figure 2 The relationship between copper consumption per capita and GDP per capita^[11]

个国家或地区包括铜在内的7种金属消费分析发现,对于一种金属人均消费量高于世界平均水平的国家,其它金属人均消费量亦是如此,金属消费量与人均GDP高度相关^[18]。陈其慎等通过对16个国家铜消费数据分析,提出了“S”形曲线的三个点:起飞点,人均GDP为3000美元(1990年GK美元,下同);转折点,人均GDP为10 000~12 000美元;零增长点,人均GDP为17 000~20 000美元^[19]。

对于铜金属消费强度与人均GDP的关系,研究者之间还存在分歧。Canas等通过对16个工业化国家物质消费发现,金属消费强度与人均GDP呈倒“U”形关系,即存在与环境库茨涅兹曲线(EKC)类似的物质库茨涅兹曲线(MKC)^[20]。Guzmán等对日本铜消费的研究支持MKC规律,并确定由于技术进步使得铜金属消费强度年均下降2.9%^[21]。Focacci对5个工业化国家和3个发展中国家铝、铜等金属消费研究得出,虽然铜金属消费强度随人均GDP有降低的趋势,但是不一定呈倒“U”形关系^[22, 23]。

3 铜金属供需对其价格的影响

铜金属利用与价格遵循市场供需基本规律。市场经济中,铜金属消费增加会使其价格上涨,反过来又会影响铜金属的需求、消费与生产;铜金属价格上涨,在刺激供给增加的同时,也会使部分需求在成本上不再合算,或者减少这部分需求,或者寻求替代品,铜金属供需达到平衡,其价格达到动态均衡。但是,在市场中,生产者并不确定铜金属的未来需求与其他生产者的生产计划,每个生产者依据短期的供需不平衡来确定其产量,总体结果表

现为过度补偿了短期的供需不平衡而造成铜金属价格频繁波动^[24]。

由于应用广泛且具有一定的可再生性,铜金属供求关系很复杂。从需求侧来看,铜金属需求包括电力电子通讯、建筑房地产、交通、机械设备、消费品等。据ICSG与国际铜业协会(ICA)估计,2006—2016年电力电子通讯业铜金属消费量年均898.4万t,占总消费量的33.3%;建筑房地产业铜金属消费量年均782.1万t,占比29.0%;交通业铜金属消费量年均316.8万t,占比11.7%(图3)^[25]。由于经济发展水平与经济结构不同,世界各国的铜金属消费结构存在很大差异。王继兵分析得出,中国铜金属消费量最大的行业是电力电子通讯业,占52.7%;其次是机械设备,占22.5%^[26]。铜开发协会(CDA)估计,美国铜金属消费量最大的行业是建筑业,占44.0%;其次是交通运输,占19.0%^[27]。从供给侧来看,铜金属供给包括矿产铜和再生铜。由于铜矿资源分布极不均匀,全球矿产铜产量主要集中在少数几个国家^[28]。2015年,矿产铜产量排在前十位的国家依次是智利、中国、秘鲁、美国、澳大利亚、刚果(金)、赞比亚、俄罗斯、加拿大和墨西哥,矿产铜产量为1517.3万t,占全球总产量的79.3%。其中,智利矿产铜产量576.4万t,占全球的30.1%,远高于排在第二位的中国(8.9%)。再生铜是铜消费的重要供给来源,过去的矿产铜是未来铜金属再生的基础。全球再生铜占铜金属产量比例在11%~18%之间波动,2004年以来呈略升趋势^[29, 30]。Radetzki研究认为,再生铜产量与铜价格呈正相关关系,与铜金属消费量、铜产品的寿命呈负相关关系^[31]。

随着经济波动对铜金属供需关系的影响,中长期铜金属价格呈现交替上升与下行的周期性变化(图4)^[32]。Davutyan等对过去100年的年平均铜价格分析后认为,铜金属价格波动周期具有一定的规律性^[33]。Cashin等对金属、石油等36种商品价格分析后发现,商品价格下行持续的时间平均比价格上升持续的时间长1年左右;下行阶段的价格跌幅稍大于上升阶段的涨幅,但上升阶段的变化速率快于下行阶段;价格变幅与持续时间没有发现相关关系^[34]。Roberts对1947—2007年14种金属月度平均价格分析表明,金属价格上升和下行阶段不是完全随机的

2018年3月

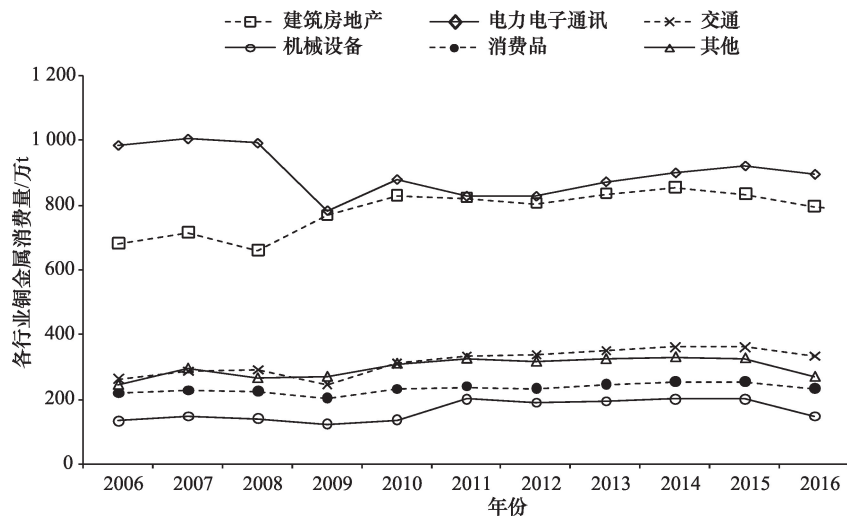


图3 2006—2016年全球各行业铜金属消费量(数据来源于文献[25])

Figure 3 Global copper consumption by sectors from 2006 to 2016

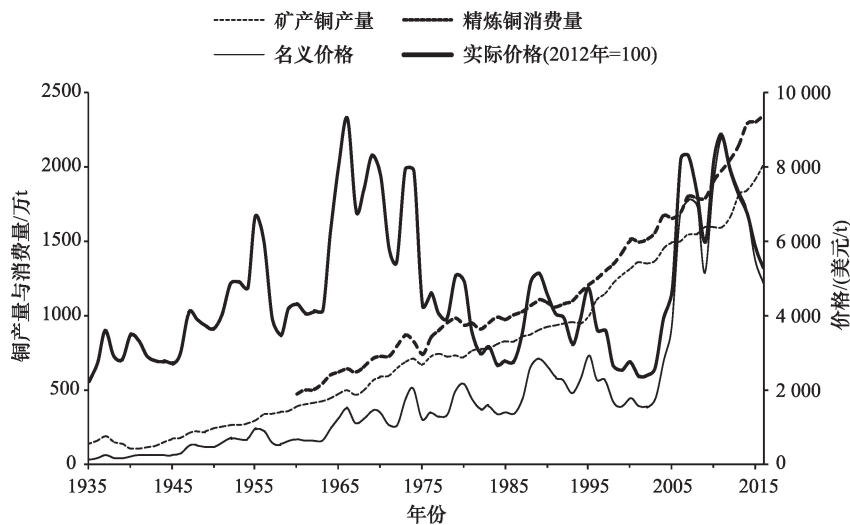


图4 1935—2016年全球矿产铜产量、精炼铜消费量与精炼铜年均价格变化(数据来源于文献[2, 32])

Figure 4 Global mine production, consumption and prices of refined copper from 1935 to 2016

而是呈现出一定的周期性;与宏观经济周期比较,价格下行阶段持续时间通常长于上升阶段,并且长期的实际价格没有下降的趋势性;上升或下行阶段的变幅缺乏规律性^[35]。

从更长时间尺度来看,铜金属需求与价格随各国工业化呈现波次递进的变化特征。由于工业化的推进需要大量的铜金属支撑,各国完成工业化时间不同,其铜金属消费峰期到来时间也不同,从而形成了铜金属消费在国家/地区间的波次递进规律^[36]。伴随着各国工业化的启动、推进和完成,铜金属需求

及其价格会出现一个上升波次。铜矿开发以来的100多年,出现了3个大的波次:第一个波次,以美国工业化为主要驱动力,出现了19世纪末和20世纪初的铜价持续上涨;第二个波次,以二战后欧洲重建与日本工业化为主要驱动力,形成了持续约30年的铜价上升期;第三个波次,以中国为代表的新兴国家工业化为主要驱动力,形成了铜价上涨的超级周期^[37]。

4 铜金属价格对铜矿开发的影响

从铜需求到铜生产之间的产业链很长,矿产铜

生产往往滞后于铜需求和价格的变化。铜矿企业从投资增加新产能到最终形成产量,通常需要较长时间,一旦形成新的产能后矿山企业的铜矿产量将保持相对稳定,很难根据价格短期变化进行短时间的调整。与频繁变化的铜金属价格相比,矿产铜产量波动幅度小、频率低,且往往会滞后一段时间。以超期周期初期为例,2003年精炼铜价格同比上涨14.3%,但精炼铜产量延续之前的趋势同比下降0.5%,矿产铜产量微增1.6%;2004年精炼铜价格同比大幅上涨61.2%,铜矿企业仍没有意识到铜紧缺阶段的到来,矿产铜产量也仅小幅增加6.5%(图5)。Humphryes回顾超级周期后认为,在经历了20世纪90年代以来长时间的低增长和投资不足之后,铜矿产能提升空间很小,难以有效满足快速增加的铜需求,从而造成铜市场紧张,铜价格在2003—2007年持续大幅攀升^[38]。

铜金属价格对铜矿企业的财务状况具有重要的影响。Dooley等、Kriechbaumer等认为金属价格是影响采矿企业运营收益的主要因素^[39, 40]。Eggert认为金属价格影响矿业企业投资有两个原因:一是过去及当前的价格变化决定了矿业企业对未来价格走势与开发利润的预期;二是价格影响采矿收益与勘查投资的成本^[41]。针对铜金属价格波动,铜矿企业会有不同的响应:有的在价格高位时集中开采高品位矿石,以最大化获取铜矿床净现值,这种做

法可能会缩短铜矿的实际服务年限;有的忽视铜金属价格的短期波动,根据铜矿预期服务年限制定开采计划,可能在高价位时开采低品位矿石,在低价位时开采高品位矿石,以最大化获取经济收益;还有的可能根据国家政策要求,不管开采成本,其目标是开采出所有能利用的铜矿石。Crowson通过对铜矿产量与矿石品位分析发现,铜矿开采的边际品位与铜金属价格呈负相关关系,即在高价位时矿铜开采边际品位会有所降低^[42]。理论上,随着铜矿开采时间的推移,剩余铜矿石的品位会不断下降,铜矿开采的成本应会随之上升,但实际并非如此。例如,澳大利亚的铜矿品位从1840年代的22.5%波动减少至21世纪初期的1.3%^[43];美国铜矿品位从20世纪初的2%以上降至21世纪初的0.5%^[44];拉丁美洲的铜矿品位亦呈下降的趋势。但是,采矿与冶炼技术进步导致的生产成本下降超过了品位下降所导致的生产成本上升,铜矿开采成本总体上在降低。国际货币基金组织(IMF)估计,1985—2002年铜矿实际生产成本下降了28%左右^[45]。

5 铜矿开发对铜矿勘查的影响

铜矿勘查的经济收益与回报受制于铜矿的开发利用。铜矿从草根勘查、可行性研究、矿场勘查到矿山建设、开采往往要经历很长时间。例如, Doggett等对1989—2008年铜矿统计发现,铜矿从发现到投入生产所需的时间平均为22年,中位数是

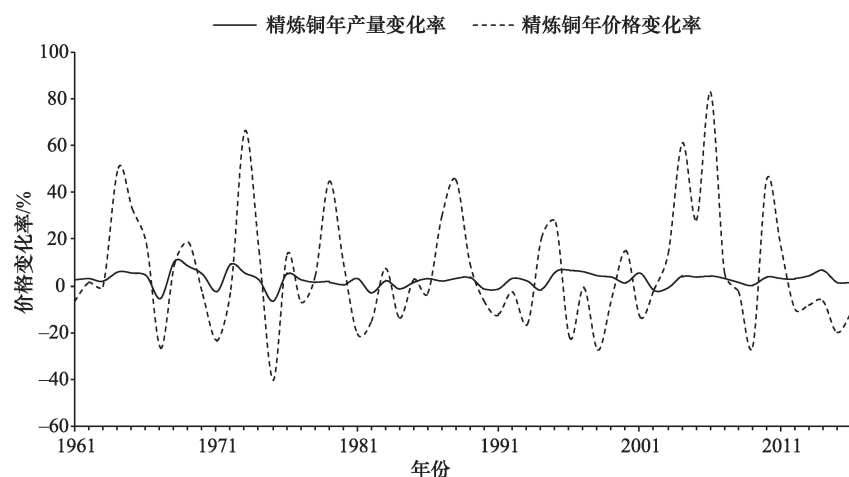


图5 1961—2016年全球精炼铜年产量与年价格变化率(数据来源文献[2])

Figure 5 Global production of refined copper and annual price rate of variations from 1961 to 2016

2018年3月

16年,其中从发现到预可行性研究为12年,从可行性研究到开采为4年^[46]。从草根勘查到矿山建设,需要规模不同的投资,但是不产生任何经济收益。铜矿勘查的经济回报要通过后期的铜矿开采、冶炼和加工来实现,考虑到铜价波动、政策变化、矿床地质变异等不确定性因素,铜矿勘查是一项高风险的市场行为^[47]。为了降低勘查成本,勘查企业通常不会对所发现的矿床进行全面勘查,而是用有限的资金圈定可采储量范围。Leveille等对1992—2004年智利铜矿调查表明,大部分铜矿开采利润为少数大型铜矿企业所获得,26%的铜矿企业能够支付其勘查成本,一大部分铜矿山难以足额支付其勘查成本^[48]。铜矿勘查成功率很低,但是即使是1%的成功率,铜矿勘查所获得的丰厚回报将会激励勘查公司甘冒高风险去找矿^[49]。因此,形成政策稳定、市场透明、可以预期的友好投资环境,对于铜矿勘查与开发企业生存与发展至关重要。

铜矿勘查投入主要影响因素包括铜金属价格、铜矿开采利润、铜资源储量等。企业在拟定勘查投资计划时,矿产品价格和勘查成本是分析的关键指标。在低价位时期,由于经济不景气,初级勘查公司资金筹集难度加大,将被迫把有限的资金集中用于找矿前景较好的少数勘查项目上。据调查,随着矿产品价格的持续下跌,全球100家初级勘查公司在2015年所能募集的资金比2014年减少了25%,

导致其当年勘查投入大幅减少^[50]。根据SNL公司统计数据,1992—2016年全球铜矿勘查投入与精炼铜价格在大的变化态势上是相似的,勘查投入的峰值与谷值常常会滞后于价格峰值与谷值一段时间(图6)。Hogan等对澳大利亚矿产勘查投入分析后,也发现矿产勘查投入和矿产品价格具有相似的变化趋势,但是矿产勘查投入可能存在一定的滞后性^[51]。铜矿现有储量的多少对铜矿勘查投入也有不可忽视的影响,后备铜矿储量充足的企业较少有动力进行铜矿勘查投资。

6 结论

(1) 铜消费与国家工业化水平紧密相关。人均铜金属消费量与人均GDP呈“S”形变化关系;虽然大量数据显示后工业化时期铜金属消费强度随人均GDP有降低的趋势,但是二者关系尚存在分歧。中国目前是全球最大的铜金属消费国,在满足国内需求的同时,也通过相关产品出口满足了部分国外需求。世界工业产业迁移以及中国产业结构变化,对中国铜金属消费的影响,值得进一步深入研究。

(2) 中长期铜金属价格随供需关系变化呈现交替上升与下行的周期性变化。从百年铜金属价格来看,全球每一轮铜价格长时间持续上升波次的背后是某一区域工业化的启动与推进。随着中国进入工业化后期,本轮铜金属价格上行周期可能已经结束,哪一个或几个国家将接替中国驱动全球下一

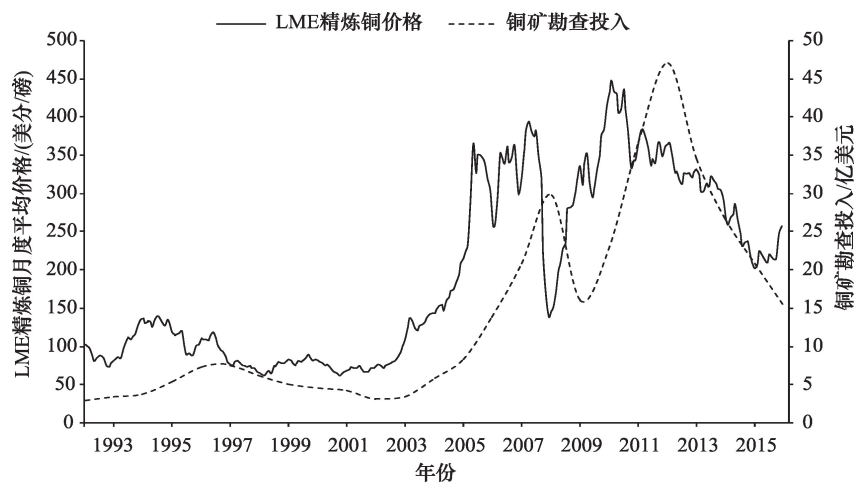


图6 1992—2016年伦敦金属交易所精炼铜月度平均价格与全球铜矿勘查投入(数据来源于文献[3, 32])

Figure 6 Monthly average LME price of refined copper and global copper exploration expenditure from 1992 to 2016

轮价格上升需要持续跟踪和观察。

(3) 矿产铜生产通常滞后于铜需求和价格变化,铜金属价格对铜矿企业的投资、成本、收益等具有重要的影响。铜矿企业根据铜金属价格波动制定合理的铜矿开采计划或方案,是实现预期开发收益和平稳度过矿业下行期的重要基础。

(4) 铜矿勘查的经济收益与回报受制于铜矿的开发利用,主要影响因子包括铜金属价格、铜矿开采利润、铜资源储量等。受铜价波动、政策变化、矿床地质变异等不确定性因素的影响,铜矿勘查是一项高风险的市场行为。形成政策稳定、市场透明、可以预期的友好投资环境,对于铜矿勘查与开发企业生存发展至关重要。

参考文献(References):

- [1] 周平,唐金荣,施俊法,等.铜资源现状与发展态势分析[J].岩石矿物学杂志,2012,31(5):750-756. [Zhou P, Tang J R, Shi J F, et al. Analysis of status and development trend of copper resources [J]. *ACTA Petrologica*, 2012, 31(5): 750-756.]
- [2] International Copper Study Group. ICSG 2016 Statistical Yearbook [M]. Lisbon: International Copper Study Group Annual Publication, 2016.
- [3] SNL Metals & Mining. Corporate Exploration Strategies 2016: Overview of Exploration Trends[R]. Charlottesville: S&P Global Market Intelligence, 2016.
- [4] International Copper Study Group. The World Copper Factbook 2016[M]. Lisbon: International Copper Study Group, 2016.
- [5] 王尧,马腾,张翠光,等.2016地质勘查进展[M].北京:地质出版社,2017. [Wang Y, Ma T, Zhang C G, et al. 2016 Progress of Geological Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.]
- [6] 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.]
- [7] Dooley G, Lenihan H. An assessment of time series methods in metal price forecasting[J]. *Resources Policy*, 2005, 30(3): 208-217.
- [8] 王全明,张大权.中国铜矿资源找矿前景[J].地质通报,2010,29(10):1445-1451. [Wang Q M, Zhang D Q. Copper exploration prospects in China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(10): 1445-1451.]
- [9] 陈甲斌.中国铜产业链结构状况与调整[J].世界有色金属,2006,(5):6-9. [Chen J B. Status quo of industrial chain structure of domestic copper production and its adjustment[J]. *World Nonferrous Metals*, 2006, (5): 6-9.]
- [10] Radetzki M. Seven thousand years in the service of humanity—the history of copper, the red metal[J]. *Resources Policy*, 2009, 34(4): 176-184.
- [11] 王安建,王高尚,张建华,等.矿产资源与国家经济发展[M].北京:地震出版社,2002. [Wang A J, Wang G S, Zhang J H, et al. Mineral Resources and National Economic Development[M]. Beijing: Seismological Press, 2002.]
- [12] Jr DeYoung J H, Menzie W D. The Changing Uses of Mineral Information—A Government Perspective[A]. James O, Hyo-Sun K. Proceedings of the Workshop on the Sustainable Development of Non-Renewable Resources towards the 21st Century[M]. New York: United Nations Development Program, 1999.
- [13] Menzie W D, Jr. DeYoung J H, Steblez W G. Some Implications of Changing Patterns of Mineral Consumption[R]. Reston: Geological Survey open-file report 03-382, 2003.
- [14] Steinberger J K, Krausmann F, Eisenmenger N. Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(5): 1148-1158.
- [15] Singer D A, Menzie W D. Patterns in Industrial Copper Consumption[C]. Portland: GSA Annual Meeting Abstracts, 2009.
- [16] Halada K, Shimada M, Ijima K. Decoupling status of metal consumption from economic growth[J]. *Materials Transaction*, 2008, 49(3): 411-418.
- [17] International Copper Study Group. ICSG 2015 Statistical Yearbook [M]. Lisbon: International Copper Study Group, 2015.
- [18] Graedel T E, Cao J. Metal spectra as indicators of development[J]. *PNAS*, 2010, 107(49): 20905-20910.
- [19] 陈其慎,王高尚,王安建.铜、铝需求“S”形规律的三个转变点剖析[J].地球学报,2010,31(5):659-665. [Chen Q S, Wang G S, Wang A J. An analysis of the three turning points in the “S-shape” rule of copper and aluminum demand[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(5): 659-665.]
- [20] Canas A, Ferrão P, Conceição P. A new environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialised countries[J]. *ecological Economics*, 2003, 46(2): 217-229.
- [21] Guzmán J I, Nishiyama T, Tilton J E. Trends in the intensity of copper use in Japan since 1960[J]. *Resources Policy*, 2005, 30(1): 21-27.
- [22] Focacci A. Empirical relationship between total consumption-GDP ratio and per capita income for different metals of a series of industrialized nations[J]. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 2005, 5(4): 347-377.
- [23] Focacci A. Empirical analysis of the relationship between total consumption-GDP ratio and per capita income for different metals: the cases of Brazil, China and India[J]. *International Journal of Social Economics*, 2007, 34(9): 612-636.

2018年3月

- [24] The World Bank. Global Economic Prospects 2009: Commodities at the Crossroads[R]. Washington DC: The World Bank, 2009.
- [25] International Copper Study Group. The World Copper Factbook 2015[M]. Lisbon: International Copper Study Group, 2015.
- [26] 王继兵. 中国铜消费变化的驱动力分析研究[J]. 中国商论, 2016, (3): 103–105. [Wang J B. Analysis on driving forces of copper consumption in China[J]. *China Journal of Commerce*, 2016, (3): 103–105.]
- [27] Copper Development Association Inc. Annual Data 2016: Copper Supply & Consumption–1995–2015[R]. New York: CDA, 2016.
- [28] Mudd G M, Weng Z, Jowitt S M. A detailed assessment of global Cu resource trends and endowments[J]. *Economic Geology*, 2013, 109: 1163–1183.
- [29] Elshkaki A, Graedel T E, Ciacci L, *et al.* Copper demand, supply, and associated energy use to 2050[J]. *Global Environmental Change*, 2016, 39: 305–315.
- [30] Gómez F, Guzmán J I, Tilton J E. Copper recycling and scrap availability[J]. *Resources Policy*, 2007, 32(4): 183–190.
- [31] Radetzki M. State Mineral Enterprises—An Investigation into Their Impact on International Mineral Markets[M]. Washington, DC: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, 1985.
- [32] COCHILCO. Yearbook: Copper and Other Mineral Statistics[M]. Santiago: Chilean Copper Commission, 2016.
- [33] Davutyan N, Roberts M C. Cyclicity in metal prices[J]. *Resources Policy*, 1994, 20(1): 49–57.
- [34] Cashin P, McDermott C J, Scott A. Booms and slumps in world commodity prices[J]. *Journal of Development Economics*, 2002, 69 (1): 277–296.
- [35] Roberts M C. Duration and characteristics of metal price cycles[J]. *Resources Policy*, 2009, 34(3): 87–102.
- [36] 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.]
- [37] 周平, 唐金荣, 杨宗喜, 等. 铜矿资源战略分析[M]. 北京: 地质出版社, 2012. [Zhou P, Tang J R, Yang Z X, *et al.* Strategic Analysis of Copper Mineral Resource[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.]
- [38] Humphreys D. The great metals boom: a retrospective[J]. *Resources Policy*, 2010, 35(1): 1–13.
- [39] Dooley G, Lenihan H. An assessment of time series methods in metal price forecasting[J]. *Resources Policy*, 2005, 30(3): 208–217.
- [40] Kriechbaumer T, Angus A, Parsons D, *et al.* An improved wavelet–ARIMA approach for forecasting metal prices[J]. *Resources Policy*, 2014, 39(1): 32–41.
- [41] Eggert R G. Metallic Mineral Exploration: An Economic Analysis [M]. Washington, DC: Resources for the Future, 1987.
- [42] Crowson P. Some observations on copper yields and ore grades[J]. *Resources Policy*, 2012, 37(1): 59–72.
- [43] Mudd G M. The Sustainability of Mining in Australia: Key Production Trends and Their Environmental Implications for the Future [R]. Research Report No RR5, Department of Civil Engineering, Monash University and Mineral Policy Institute, 2009.
- [44] Henckens M L C M, van Ierland E C, Driessen P P J, *et al.* Mineral resources: geological scarcity, market price trends, and future generations[J]. *Resources Policy*, 2016, 49: 102–111.
- [45] IMF (International Monetary Fund). World Economic Outlook[M]. Washington, DC: IMF, 2006.
- [46] Doggett M D, Leveille R A. Assessing the returns to copper exploration, 1989–2008[J]. *Exploration and Mining Geology*, 2010, 19 (1–2): 23–33.
- [47] Haldar S K. Mineral Exploration: Principles and Application[M]. Oxford: Elsevier Inc. , 2013.
- [48] Leveille R A, Doggett M D. Costs, Risks, and Returns of Copper Exploration: Assessing Trends in Discovery and Maturity with Particular Reference to Chile[A]. Doggett M D, Parry J R. Wealth Creation in the Minerals Industry: Integrating Sciences, Business, and Education [M]. Keystone: Society of Economic Geologists Special publication, 2006.
- [49] Cabello J. A note on copper exploration in the Central Andes[J]. *Minerals & Energy*, 2004, 19(2): 28–31.
- [50] Wilburn D R, Karl N A. Exploration review[J]. *Mining Engineering*, 2016, 68(5): 30–51.
- [51] Hogan L, Harman J, Maritz A, *et al.* Mineral Exploration in Australia: Trends, Economic Impacts and Policy Issues[R]. Canberra: ABARE Report 02. 1, 2002.

Socio-economic mechanisms driving copper exploration

YANG Jianfeng, MA Teng, WANG Yao, ZHANG Cuiguang

(Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Quantitative characterization of the economic process of copper exploration is valuable and practical in predicting copper exploration trends and policy-making in resource governance. Here, we analyzed the driving mechanisms of economic development in copper exploration from four main segments: the effect of economic development on copper consumption; the effect of copper demand and supply on copper prices; the effect of copper price variation on copper extraction; and the effect of copper extraction on copper exploration. Copper consumption was closely related to the level of national industrialization, industrial shifts globally and changes in industrial structure will have profound impacts on copper consumption in China. Fluctuations in medium and long-term copper prices showed cyclic changes, subjected to changes in copper demand and supply. Each surge in copper pricing could be attributed to the initiation and advancement of regional industrialization. The timing of the next surge in copper pricing will depend on countries that initiated their industrialization after China. Mine copper production is lagging copper consumption and prices, and copper prices obviously effect investments, costs, and benefits of mine enterprises. The returns from copper exploration were subjected to copper extraction and development, and influencers included copper prices, profit of copper mining, copper resources and reserves. Copper exploration is a high-risk activity in the mining market. An investment-friendly environment, stability of policy, and transparency are essential for the development of copper exploration in any country.

Key words: economic development; copper exploration; industry chain; driving mechanism; demand and supply