

# 地缘政治视角下铍资源供应风险分析

朱学红<sup>1,2</sup>, 冯慧<sup>1</sup>, 张宏伟<sup>2,3</sup>

- 中南大学商学院, 湖南长沙, 410083;
- 中南大学金属资源战略研究院, 湖南长沙, 410083;
- 中南大学数学与统计学院, 湖南长沙, 410083)

**摘要:** 铍作为“尖端金属”, 已成为世界各国资源竞争的重点, 在当前地缘政治风险持续攀升的背景下, 铍的安全和稳定供应成为各国重要议题。基于地缘政治视角, 系统分析全球铍资源供应现状, 利用2011—2020年全球铍贸易数据, 构建供应风险指标, 探究地缘政治视角下各国铍资源供应风险的演化趋势。研究发现: 全球铍资源供应的国家集中度高, 回收利用率低且难以被替代, 地缘政治视角下铍资源整体供应风险高; 中国、美国以及俄罗斯等国铍资源供应风险存在较大波动且处在较高风险水平, 欧洲各国供应风险波动趋势较为一致。基于研究结论, 建议未来供应需尽量转向分散化和多元化, 建立动态预警系统和回收利用体系, 为有效应对铍资源突发事件提供有力保障。

**关键词:** 铍; 地缘政治; 供应风险

中图分类号: F416

文献标识码: A

文章编号: 1672-3104(2023)05-0138-10

## 一、引言

矿产资源以不同的数量以及矿石浓度分布在地壳中, 不同国家拥有的资源禀赋存在较大差异。地质资源分布的不均衡可能导致资源稳定供应存在潜在限制和瓶颈, 使资源需求国面临较高的供应风险。关键矿产资源对重点行业、国家和整个世界的运行都非常重要。近年来, 在矿产资源安全保障形势愈加严峻的背景下, 矿产资源供应安全的研究得到了广泛的关注<sup>[1]</sup>。铍作为一种关键矿产资源, 具有高比刚度和高导热性等独特的物理和化学性能, 且难以找到替代物。铍主要用于制造电子和电信设备、国防和航空航天等领域, 是发展国防、高新技术和基础工业的重要

金属原材料<sup>[2-3]</sup>。由于金属铍的特殊性能和难以替代的属性, 近年来, 美国、欧盟、俄罗斯、日本以及澳大利亚等国家和地区出台的关键矿产目录中均包括铍, 中国“全国矿产资源规划”及“三稀”资源中也包括铍。铍已经成为各国国家战略资源利用和储备的重点之一。全球铍资源储量较为丰富, 但在地质分布上表现出较明显的分布不均的情况, 且易受大国控制。2020年, 美国地质调查局(USGS)的数据显示, 世界上已查明的铍资源储量超10万吨, 其中有60%左右的储量在美国, 中国、俄罗斯、哈萨克斯坦、巴西、印度以及非洲的一些国家也具有一定量的铍资源。美国在铍的资源产量和开发技术上具有双重优势, 对铍的生产和贸易有很高的影响力和控制力。中国拥有一定数量的铍资源, 但随着需求的增加, 国

收稿日期: 2023-02-12; 修回日期: 2023-07-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“新技术革命背景下全球稀有金属流动格局演变与我国供应安全研究”(71874210); 国家自然科学基金面上项目“绿色发展下战略性金属资源效率全生命周期评估与提升路径研究”(72074228)

作者简介: 朱学红, 女, 湖南长沙人, 中南大学商学院研究员、中南大学金属资源战略研究院院长、博士生导师, 主要研究方向: 资源经济与管理; 冯慧, 女, 江苏徐州人, 中南大学商学院硕士研究生, 主要研究方向: 国际贸易学; 张宏伟, 男, 山东潍坊人, 中南大学数学与统计学院副教授、中南大学金属资源战略研究院院长助理, 主要研究方向: 资源经济与管理, 联系邮箱: hongwei@csu.edu.cn

内的供应远不能满足自身需求, 需要大量依赖进口来弥补缺口。军事工业、能源应用和尖端科学等领域的发展使得未来对铍资源的需求将持续增长<sup>[4]</sup>。在当前资源竞争加剧、各国铍需求持续增长和国家战略储备要求的背景下, 铍的稳定供应对各国来说都具有重要意义, 分析铍所面临的供应风险有其必要性。

21 世纪以来, 全球地缘政治格局不断变化, 地缘政治已经成为当前全球资源安全的重要影响因素<sup>[5]</sup>。目前学术界对地缘政治风险的界定尚不统一, 通常涉及经济、政治、社会等方面<sup>[6]</sup>, 是指国家内部政治问题、恐怖主义、国家内外部战争、法律政策等对经济、政治、社会等领域带来的巨大影响和潜在威胁<sup>[7]</sup>。矿产资源具有稀缺性和地域性特征, 其供应风险不仅来自矿产资源的稀缺性, 在资源竞争加剧的背景下, 地缘政治的影响还使得地域性特征带来的风险逐渐凸显。20 世纪 70 年代末的钴供应中断, 20 世纪 90 年代后期的钽供应限制以及 2010—2011 年中国的稀土出口管制问题等都是地缘政治因素导致的。铍作为攸关国家安全的关键材料, 受地缘政治因素的影响很大, 因此, 从地缘政治视角出发对铍进行研究具有重要的现实意义。

目前关于矿产资源供应风险的研究主要是从供应安全的影响因素识别和风险评估出发, 根据影响因素选取符合相应矿产资源特性的风险评估指标, 构建矿产资源供应安全的综合评价指标体系, 较为全面和有效地对矿产资源的供应风险进行评价<sup>[8-9]</sup>。近年来, 国内外学者从全球或国家层面出发, 选取不同的矿产资源作为研究对象, 如金属锂<sup>[10]</sup>、镍<sup>[11]</sup>、镓<sup>[12]</sup>、钒<sup>[13]</sup>、铁<sup>[14]</sup>、锰<sup>[15]</sup>、钴<sup>[16]</sup>、铬<sup>[17]</sup>等, 以及稀有金属<sup>[18]</sup>、新能源汽车关键原材料<sup>[19]</sup>、太阳能电池关键原材料<sup>[20]</sup>、清洁能源关键金属<sup>[21]</sup>、战略性关键金属<sup>[22]</sup>等, 从经济、政治、技术、社会监管等维度出发对供应安全进行评价。也有少量的文献从特定视角和背景出发对矿产资源的供应风险进行研究, 如李鹏飞等<sup>[18]</sup>从战略性新兴产业发展的视角对稀有矿产资源在全球层面的供应风险进行分析; 吴巧生和薛双娇<sup>[23]</sup>探究了中美贸易变局下关键矿产资源的供应安全。目前从地缘政治视角出发探究矿

产资源供应安全的文献较为缺乏。

综上所述, 学者们在有关矿产资源供应安全的研究中取得了较多成果, 为本文对铍资源供应现状的整体分析与评价奠定了基础。但现有文献缺乏对以下两个方面的深入研究: 一方面, 现有文献较少以特定铍作为研究对象进行供应风险的评估, 因而本文以铍这种具有特殊属性的“尖端金属”作为研究对象, 评估其供应风险具有一定意义; 另一方面, 现有文献忽略了地缘政治因素对矿产资源供应安全的突出影响, 因而本文从地缘政治视角出发对其供应风险进行深入探究具有现实意义。因此, 本文以铍为研究对象, 在现有研究的基础上, 首先对地缘政治视角下铍资源整体供应现状进行分析, 然后构建地缘政治视角下的供应风险指标并进行测算, 根据测算所得的结果对各国供应风险的演变进行分析评价, 为有效应对铍资源突发事件、保障供应安全提供建议和参考。

## 二、地缘政治视角下铍资源供应现状分析

全球现有矿产资源的储量是作为影响供应风险水平高低的基本因素存在的, 而矿产资源的状况则会影响到各国各生产商的投资开采水平。技术发展水平的先进与否一方面会直接影响矿产资源的开发与利用效率, 另一方面则会影响到资源的循环利用水平和可替代程度。矿产资源的地域性特征, 使得政府和社会监管也成为影响矿产资源供应的重要因素。地缘政治因素的影响, 会使得全球矿产资源供应风险的各个影响因素发生变化。因此, 本部分利用相关矿产数据计算出量化指标, 基于地缘政治视角, 从资源与市场、政府与社会监督以及技术水平维度出发, 对铍资源的供应现状进行整体分析。

### (一) 资源与市场

资源供应潜力的上限受到其自身储量的限制, 而资源产量受开采技术、成本与价格等因素的影响。储采比是矿产资源可采储量和当年矿产资源产量的比值, 受到资源的储量和产量两个因素的影响。储采比能够反映在现有开采技术条件

下,剩余可开采矿产资源储量能够维持当前产量水平的年数<sup>[15]</sup>。储采比越小,说明这一矿产资源能够稳定使用的年限越短,资源的供应压力也就越大。

图1显示了2011—2020年金属铍全球储采比的变化趋势。从图中可以看到,在此期间,储采比指标呈现波动变化趋势。铍的储量和产量数据来自美国地质调查局,目前全球铍的储量超10万吨,在全球探明的储量较多,但在10年间没有明显增加。全球铍的生产受到了新应用领域需求量增长的影响,2014年产量增长至290吨,由于持续处在较高产量水平,2015年铍的储采比降至几年间的最低值。而从其后开始,能源和消费电子市场等方面需求量降低,需求端的短暂低迷导致供给端产量开始下降,在2016年跌至220吨,其中主要是美国本土供给量减少导致的总产量的下降。后续几年,铍产品净销售的增长主要在航空航天和国防、汽车和工业零部件等领域,铍产量逐渐增长,储采比呈缓慢下降趋势。根据相关数据分析可知,目前铍的全球资源储量丰富,铍面临的勘探和开采的市场压力相对较小,现有的资源储量能够满足当前开采需求。从全球总的储量和产量看,铍的供应较为充足,但由于地缘政治因素的影响,以美国为核心的西方矿业阵营拉拢部分资源国使得全球资源治理走向“区域化”和“集团化”<sup>[24]</sup>,全球范围内的铍资源生产和贸易受到把控,导致包括中国在内的多个国家的进口受到限制,未来可能面临资源供应短缺的问题。

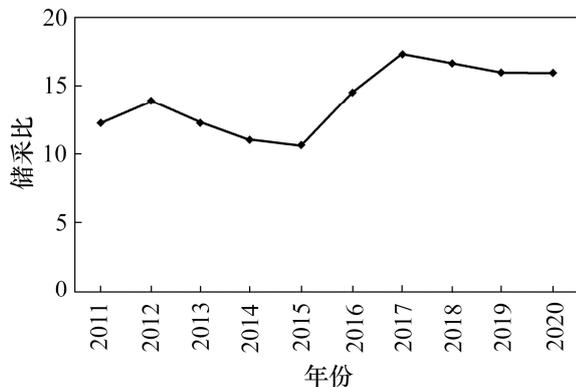


图1 2011—2020年全球金属铍储采比变化

注:数据来自美国地质调查局。

矿产资源在全球范围内分布不均,其具有的地域性特征使得资源富裕国获利的同时,也对其他依赖进口的国家带来了风险<sup>[21]</sup>。本文采用赫芬达尔-赫希曼指数(HHI)来分析铍资源生产国的国家集中度水平。矿产资源的开采和供应很大程度上受到各个国家或地区政治时局、矿业监管政策等条件的限制,这些条件产生的变化都不可避免地会对矿产资源的供应产生影响。HHI的计算方法是将各国市场份额的平方和相加,按比例大小赋予各国市场相应的权重。该数值越大,说明国家集中度越高,当发生重大事件时由地缘政治因素引发的战略性垄断供应风险就越大。本文使用的产量份额数据来自美国地质调查局。国家集中度指标数值的大小主要受矿产资源的地理分布影响,地理分布的极不均衡性导致资源受控于少数几个国家,国家参与的垄断程度越高,国家集中度风险也就越高。

图2显示了2011—2020年金属铍主要生产国产量及国家集中度指标值。从图中可以看到,2011—2015年,美国是铍最主要的生产国,其产量占比最高达90%以上,国家集中度指标值极高。自2016年开始,美国的产量份额逐渐下降,随着中国国内铍相关工业体系逐渐完善以及铍需求量的大幅增加,中国产量逐年增加。近几年来,全球铍生产主要分布在美国、中国和莫桑比克,2019年,三国产量分别为160吨、70吨和15吨。莫桑比克是中国铍资源的主要进口国。从2016年开始,由于美国产量的下降和其他主要生产国产量的小幅增加,国家集中度指标值出现较为明显的下降,但依旧处在一个较高的水平。本文借鉴美国司法部和联邦贸易委员会制定的标准(2010年),以500为一级将风险评价区间划分为三个层次:指标值小于1500为“宽松”状态,指标值处在1500—2500为“中等”风险状态,指标值大于2500处在“紧张”状态。从图2中可以看到,2011—2020年,国家集中度的HHI值基本都高于5000,最高达到8000以上,这说明铍的全球生产国家集中度处在很高的水平,生产集中在极少数的几个国家。目前铍生产的60%以上都集中在美国,国家集中度风险极高。



图2 2011—2020年金属铍主要生产国产量及国家集中度HHI值

注: 数据来自美国地质调查局。

价格波动率能够反映矿产资源商品的价格波动情况和市场供需均衡状况<sup>[25]</sup>, 价格波动越大, 供应情况越不稳定, 相应的投资和开采也会受到影响。经济发展的周期性特征意味着对矿产品的需求和市场价格也会呈现出明显的周期性, 对矿业产品价格和投资回报的影响大于其他任何行业<sup>[26]</sup>。目前全球铍的生产集中在美国、中国和莫桑比克等国, 尤其是集中在美国几家大型开采公司手中, 因而这些生产商拥有较高的议价能力, 对铍产品的价格具有较大影响力。

图3显示了2011—2020年金属铍价格及其波动情况。从图3中可以看到, 2011—2020年, 铍的价格除了在2017年及其前后出现较大波动外, 其余年份价格波动较小。本文认为2017年出现价格大幅上涨的原因是: 2015—2016年需求降低导致产量降低, 而2017年的需求上升使市场供需在短时间内出现不平衡的状况, 从而导致短时间内的价格出现较大幅度的上涨, 在增加供给后价格水平趋于稳定。整体来看, 铍的价格趋势为波动上升, 近两年价格出现小幅度下降, 整体价格波动率较小。美国和中国是铍的主要消费国, 尤其是美国作为铍的主要出口国和进口国, 当其市场需求相对稳定时, 生产供应也较为稳定, 价格波动的风险较小。我们需要科学观

察和预测铍的市场需求, 及早做出准备, 应对市场波动。

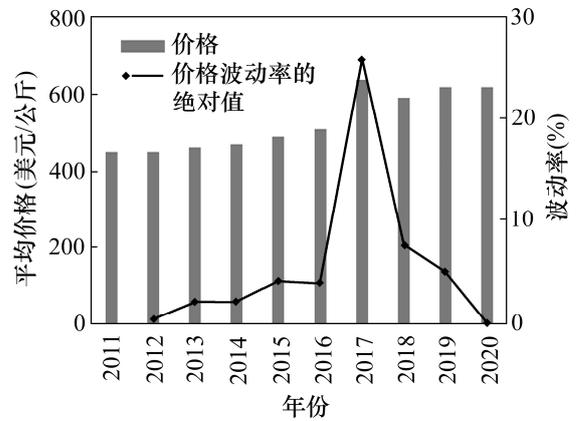


图3 2011—2020年金属铍价格及其波动情况

注: 数据来自美国地质调查局。

## (二) 政府与社会监管

资源国的政治环境是否动荡会对矿产资源的生产稳定性和矿业的中长期投入产生影响。当国家或地区的政治环境动荡时, 矿业生产和出口难以稳定, 包括矿产勘探和生产投资等在内的中长期投入也会减少。采用世界银行发布的全球治理指数(WGI)并结合各国的产量份额能够评估铍全球供应的国家风险指标, 考察因国家内部冲突、法律环境变化和制度差异等非预期行为而产生的非经济风险<sup>[27]</sup>, 分析国家治理水平和政府稳定性对资源供应的影响。全球治理指数覆盖了全球两百余个国家和地区, 由发言权和问责制、政治稳定和没有暴力/恐怖主义、政府效能、监管质量、法治、腐败的控制六个子指标构成。世界银行以[-2.5, +2.5]的评估区间对每个国家进行排名和评价, 值越高代表治理水平越高。本文将WGI逆向转化为[0, 10]并对其使用各国产品份额进行加权<sup>[21]</sup>, 经过转化后的指标值越高, 则代表该国政治不稳定程度越高。

图4显示了2011—2020年金属铍国家风险指标值的计算结果。从图4中可以看到, 2011年至2015年, 由于美国的产量份额高导致全球整体的国家风险处在一个较高的水平。从2016年开始, 美国的产量份额明显下降, 生产有所分散, 使得国家风险水平有了较为明显的下降。2018至2020年, 国家风险指标值呈现上升趋势,

这是由于中国和莫桑比克产量份额增加,而两国经过转化后的 WGI 指标评估值相较于美国更高,从而使得中国和莫桑比克产量份额增加后的国家风险值升高。

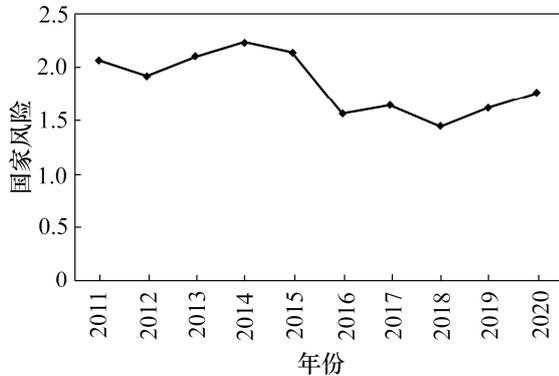


图 4 2011—2020 年金属铍国家风险值

注:数据来自世界银行。

社会监管同样可能对矿产资源的供应安全产生影响。一个国家的民众素质和经济社会发展水平的高低都会影响到矿产资源的开采,由此产生社会监管风险。本文采用联合国开发计划署(UNDP)报告的人类发展指数数据并按照各国产量份额进行加权处理后衡量社会监管风险。人类发展指数衡量世界各国的发展状况,包括对经济、社会 and 环境的评估,其取值范围为[0, 1],数值越高则代表人类发展水平越高。根据人类发展指数,国家或地区按不同的发展水平分为四类:低、中、高和极高。一国社会发展水平越高,在该国进行矿产资源开采、冶炼和贸易等面临的社会监管风险就越高,由此带来的供应风险就越大。从表 1 可以看到,将铍的主要生产国的人类发展指数按照各国产量份额进行加权处理,得到的总和为 0.865,按照 UNDP 的衡量标准,铍的生产供应主要来自处在极高人类发展水平的国家。由于铍的毒性大,空气中铍的允许浓度极低,铍生产的环境保护与工业卫生要求高。铍的主要生产国在美国,而美国人类发展水平极高,面临的社会风险监管也更为严厉。由此,铍面临较高的社会监管风险,因而要求铍在生产过程中要重视并尽可能降低对社会及环境的负面影响,做到绿色生产。

表 1 铍主要生产国人类发展指数

国家	指数值	发展水平
巴西	0.765	高人类发展水平
中国	0.761	高人类发展水平
马达加斯加	0.528	低人类发展水平
莫桑比克	0.829	极高人类发展水平
尼日利亚	0.539	低人类发展水平
卢旺达	0.543	低人类发展水平
乌干达	0.544	低人类发展水平
美国	0.926	极高人类发展水平
按产量份额加权的总和	0.865	极高人类发展水平

注:数据来自联合国开发计划署(UNDP)。

### (三) 技术水平

循环利用能力以及在应用中是否可替代也能够反映矿产资源供应的情况和供应安全的重要性。通过对可用二次材料数量的估计,衡量矿产的回收利用程度。在资源有限性的情况下,尽可能提高循环利用率也更符合可持续发展的理念。矿产资源生命周期各个阶段的回收利用可以有效减少对原材料的开采需求,从而缓解供应风险。回收利用率越高,则面临的供应风险越低。本文中使用的回收利用率的数据来自欧盟关键原材料清单审查研究(2017)和美国地质调查局的矿物商品摘要(MCS, 2020)。根据 USGS 的数据,从铍产品制造过程中产生的新废料和旧废料中回收的铍,可能占美国铍总消费量的 20%至 25%。欧洲不具备二次回收的技术条件,因此,欧盟关键原材料审查清单给出的铍的回收利用率为 0。根据英国地质调查局(BGS)给出的回收利用率衡量标准,如果回收率大于 30%,则被归类为“宽松”,10%—30%为“中等”,小于 10%为“紧张”。综合来看,目前仅有美国具备铍的回收技术和体系,因而铍的整体回收利用率处在中等偏低的水平。

矿产资源使用的可替代程度受可替代材料的价格与产量、相关性能、替代技术水平等因素的影响,可替代程度越高时,供应风险越低。然而在当前技术条件下,一些金属材料具有不可替代性。本文使用的可替代性指标数据来源于 2017 年的关键原材料清单审查研究。与其他材料相

比, 铍的价格昂贵, 因此, 在产品性能要求极高时才会使用铍以确保高性能和高可靠性。在少量应用中, 其他合金可以替代铍合金, 但这些替代物往往会导致性能的降低。欧盟关键原材料审查清单给出的替代性指数的范围为[0, 1], 数值越接近于 1, 代表可替代性越低, 即越不可替代。铍的替代性指数为 1, 因此, 很难在保证产品性能的前提下找到铍的可靠替代品。

基于地缘政治视角, 由铍资源全球供应现状分析可知, 铍的全球储量和产量总体上较为充足, 资源储备和市场压力较小。但由于铍生产的国家集中度和国家风险度高, 加之铍回收利用率低且难以被替代, 使得单纯考虑铍的储量和产量等因素缺乏更深层次的意义和更高的参考价值。当面临地缘政治事件的负面影响时, 资源禀赋较差的国家很可能面临由地缘政治所造成的供应中断风险。在当前地缘政治不稳定性因素增多的背景下, 地缘政治成为影响全球各国铍资源稳定供应的关键因素。因此, 本文将从地缘政治视角出发对铍资源的供应风险进行重点分析。

### 三、地缘政治视角下铍资源供应风险评估指标测算与结果分析

#### (一) 地缘政治视角下供应风险指标测算

当今产业链、供应链全球化的趋势加深了地缘政治因素带来的影响<sup>[28]</sup>。矿产资源供应风险指标的测算方法有很多<sup>[24, 29-30]</sup>, 多数文献依据的是赫芬达尔-赫希曼指数(HHI)和世界银行的全球治理指标(WGI)给出的供应集中度。以上指标通常按平均产量份额加权, 这样一来, 供应风险就被表达为全球大宗商品市场的固有属性, 而忽略了区域特殊性<sup>[31]</sup>。

本文参考 Gemechu 等<sup>[31]</sup>根据进口份额对全球指标评分进行加权构建指标的方法, 构建地缘政治视角下铍资源供应风险评估指标, 对铍的贸易参与国的地缘政治供应风险进行评价。一般认为, 可以根据一国最重要的贸易伙伴的不稳定程度而非全球供应商的整体情况来评估供应风险。

在这种情况下, 假设进口国不具备特定商品的生产能力, 仅作为商品贸易中心, 由此供应风险集中通过单一贸易伙伴的不稳定程度表现出来。商品出口国的稳定程度能够反映供应中断事件的总体平均风险, 存在不稳定情况的国家可能会给贸易国带来供应的减少甚至是中断, 市场中的其他供应国进行贸易流重组以补偿供应减少或中断的能力通过市场集中程度反映出来<sup>[31]</sup>, 因而构建如下模型:

$$SR_{m,c} = \left( \sum_{k=1}^n s_k^2 \right) \times \left( \sum_{k=1}^n g_k \times f_{c,k} \right) \quad (1)$$

式中,  $SR_{m,c}$  表示被评估国家  $c$  关于商品  $m$  的供应风险。 $s_k$  是国家  $k$  在商品  $m$  的全球贸易中所占的份额。 $g_k$  是国家  $k$  的政治不稳定性指标——指标值原始数据来自 WGI, 经笔者计算处理原始数值得出。 $f_{c,k}$  是国家  $c$  的进口总额中来自国家  $k$  的部分的进口份额。2011—2020 年铍的贸易数据来自联合国商品贸易数据库。

#### (二) 地缘政治视角下铍资源供应风险评估结果分析

本文考虑资源供应国的供应组合, 对所有贸易参与国在地缘政治视角下的供应风险给出了不同的供应风险指标评估值。同时, 进口贸易数据也能直接地反映出各国对铍资源的进口需求。依据 2011—2020 年金属铍的贸易数据, 计算得出铍贸易进口国 2011—2020 年历年的供应风险值, 对地缘政治视角下全球铍贸易参与国的供应风险总体情况进行分析, 然后对无缺失值的 24 个铍商品主要进口国的供应风险变化趋势进行探究。

基于地缘政治视角, 图 5 展示了 2011—2020 年全球铍贸易参与国的供应风险值的分布与演变趋势。从图 5 中可以看出, 2011—2020 年, 各国供应风险整体存在较多起伏波动的情况。2011—2013 年、2016—2017 年以及 2020 年较多的国家处在较高的风险水平, 尤其是 2020 年, 全球绝大多数铍贸易参与国的供应风险较高。铍的供应风险受市场供求关系影响, 当需求不稳定尤其是需求突然增加时, 供应端反应存在滞后

性,出现供应不足的情况,从而导致供应风险升高。自2016年开始,美国国内铍产量大幅降低,使得供给减少,导致供应风险波动。2020年国际形势快速变化,逆全球化趋势增强,全球政治不稳定程度加剧,导致各国地缘政治视角下铍的供应风险显著升高。

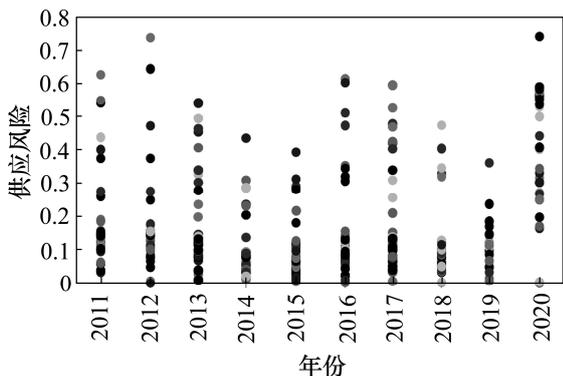


图5 2011—2020年地缘政治视角下全球铍贸易参与国供应风险演变趋势

注:图中深浅颜色不同的圆点代表不同的铍贸易参与国,2011—2020年,共有99个铍贸易参与国,该图主要是对供应风险整体演变趋势进行呈现,因而此处不对图中所有圆点的对应国家进行一一标识。

本文对筛选的24个主要进口国在地缘政治视角下的供应风险值进行了分析。图6和图7分别展示了2011—2020年欧洲国家和其他铍贸易主要参与国供应风险的定量评估结果。从图6和图7中可以看出,2011—2020年,由于欧洲各国铍产品的供应完全依赖进口半成品进行加工,地缘政治视角下欧洲各国供应风险的演化趋势较为一致,而其他国家的供应风险在早期的波动情况较为复杂,后期波动情况趋于一致。整体而言,统计的十年间各国的供应风险存在波动情况,且波动幅度较大,在2012—2013年、2016—2017年和2020年各国供应风险均处在较高水平。2012—2013年、2016—2017年以及2020年的贸易量相较于前一年也均有较大幅度的波动。具体来说,中国和俄罗斯在地缘政治视角下的供应风险较高且波动较为剧烈。美国在2013年和2020年存在较大的波动情况,但整体风险水平低于中国。挪威、西班牙、瑞典的供应风险整体处在较低水平。德国对铍资源需求较高,

在几乎完全依赖进口的情况下,面临的供应风险处在较高水平。

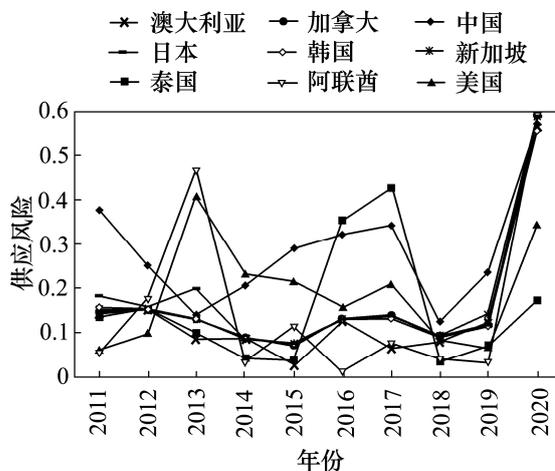


图6 2011—2020年地缘政治视角下铍主要进口国(除欧洲国家外)供应风险演变趋势

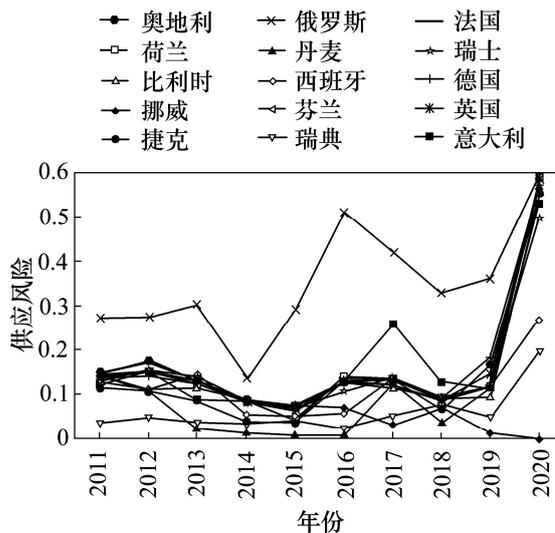


图7 2011—2020年地缘政治视角下欧洲铍主要进口国供应风险演变趋势

根据联合国商品贸易数据库数据,中国铍的主要供应来源国是美国、哈萨克斯坦和俄罗斯,日本也占一部分比重;由于国内铍需求缺口较大,中国的出口数量较少。哈萨克斯坦的乌尔巴冶金厂在2000年得到美国一家铍生产商的投资,为其更新了设备并提供新技术的支持,生产能力大幅提高。其后,乌尔巴冶金厂在中国投资设立了子公司,负责在中国、东亚和东南亚地区进出口、转口和销售该公司的铍产品,在中国市场占据了相当大的份额。日本由于铍矿资源匮乏,没

有形成完整的产业链,但在二次加工方面,日本拥有先进的技术水平,并且拥有世界上第二大铍铜合金生产公司,在全球铍工业中发挥着重要作用。俄罗斯铍商品的主要供应来源国是美国和哈萨克斯坦。美国与众多国家,包括澳大利亚、菲律宾、欧洲各国等均有铍商品的贸易往来。美国拥有全球规模最大的铍工业,代表了铍的生产技术水平,在全球铍工业中占据重要地位。美国向其国内及世界各地的许多铍产品制造商提供铍原料、半成品和成品,在全球铍贸易中拥有较强的控制能力。欧洲各国主要从美国进口铍商品进行二次加工,加工后的成品少部分出口给其他国家。德国、英国等西欧国家以及日本,都曾进行过铍的规模冶炼和加工生产,但由于铍的毒性和投入与产出的严重不匹配等,西欧和日本都不再进行铍的冶炼,只进口半成品铍进行进一步加工。因此,在目前全球铍生产和贸易较为集中以及技术水平限制的情况下,各国地缘政治视角下的铍供应风险存在较大波动,受供求关系、全球政治稳定程度、各国产业与贸易相关政策影响较大。当前各国地缘政治视角下的供应风险普遍处在较高水平,地缘政治因素的负面影响会给各国铍供应风险带来较大波动。

## 四、结论与政策建议

### (一) 结论

为了对地缘政治视角下铍资源的供应风险进行评估,本文首先基于资源、市场、政府、社会监管以及技术水平等五个方面,从地缘政治视角出发对铍资源的整体供应现状进行系统分析,然后通过测算铍产品贸易主要参与国在地缘政治视角下的供应风险指标值来分析各国面临的供应风险和演化趋势,得出以下结论:

(1) 地缘政治视角下,铍面临的整体供应风险较高。金属铍的全球资源储量较为丰富,面临的勘探和开采的市场压力较小。但由于铍供应的国家集中度极高,供给主要集中在美国、中国、哈萨克斯坦等国,铍的供应面临较高的国家风险。同时,由于铍的毒性,铍的供应面临较高的

社会监管风险。铍在关键应用中的高性能和高可靠性导致难以找到可替代的金属材料,并且目前全球尚未建立起完整的回收体系,因而铍的供应面临的技术风险较高。

(2) 地缘政治视角下,各国铍资源供应风险存在波动情况且波动幅度较大。受供求关系、全球政治稳定程度、各国产业与贸易相关政策等的影响,当前地缘政治视角下各国供应风险普遍处在较高水平。中国、美国和俄罗斯的供应风险整体处在较高水平,且波动幅度较大;西欧各国供应风险的波动趋势较为一致,其中德国的供应风险因铍资源需求量大原因处在较高水平。

### (二) 政策建议

在全球各国铍供应风险整体较高的情况下,铍需求尤其是进口需求较高的国家,在持续发展方面面临着较大的挑战。在战略性新兴产业蓬勃发展和当今国际形势风云变化的背景下,全球地缘政治格局深度重构、世界经济波动持续加剧,地缘政治因素带来的负面影响持续加大,铍作为应用于国防、高新技术和基础工业的重要金属原料,未来需求将持续处在较高水平并不断增长。因此,铍在各国关键矿产目录中占据重要地位,地缘政治会对铍的全球供应产生显著影响。基于本文的研究结论,提出以下对策建议:

(1) 通过加强国际矿业合作等方式扩大矿产生产供应国的选择范围,降低铍因供应集中带来的风险。这样不仅将使全球市场更加均衡,还将降低因供应国生产减少对全球供应带来的短缺风险。为此可以通过政府政策,引导促进企业跨国投资,在铍资源国发展更多样化的勘探项目,增加供应国数量。同时,需要增加科研投入以优化目前的采矿和加工方法,提高加工技术水平。

(2) 着力建立相对完整的工业生产和加工体系。目前世界上只有美国、中国、哈萨克斯坦、俄罗斯等国具有工业规模的从铍矿石开采、提取冶炼到铍金属及合金加工的较为完整的铍工业体系。在将铍作为一种当前和未来战略重要性资源的国家,需要加强铍的工业生产与加工体系的建设和完善,实现国家内部生产的增加,降低供

应风险。

(3) 通过国家政策, 增强资源储备, 推动建立回收利用体系。优化国家矿产资源安全管理体系已成为政府提升治理能力的重要内容<sup>[32]</sup>。很多国家对铍资源的使用主要依赖于进口, 且普遍存在供给缺口, 资源保障程度低。铍资源回收利用体系尚未广泛建立, 因而未来需要国家专项政策的支持, 在增强铍的资源储备的同时, 推动并帮助建立回收利用体系。

(4) 着力建立高效、系统的动态预警系统, 重点关注铍主要供应国的资源和贸易政策。当前全球地缘政治负面影响持续加大, 黑天鹅事件频发, 重要战略资源是大国间博弈的重点之一。亟需建立高效、系统的动态预警系统, 助力国家对地缘政治带来的突发性和不确定性风险做出及时正确的判断和决策, 增强面对突发事件的应急处理能力, 保障资源的供应安全。

本文对地缘政治视角下铍资源供应风险评价做出了一些探索, 但仍存在一些不足。由于铍的特殊性, 存在保密等数据限制问题, 本文仅对整体和国家层面的供应风险进行了分析。未来在数据可得的基础上可以拓展到铍产业链各个环节, 对地缘政治视角下的供应安全评估做进一步更有针对性的分析和研究。

#### 参考文献:

- [1] ROSENAU-TORNOW D, BUCHHOLZ P, RIEMANN A, et al. Assessing the long-term supply risks for mineral raw materials—A combined evaluation of past and future trends[J]. *Resources Policy*, 2009, 34(4): 161–175.
- [2] 张友寿, 秦有钧, 吴东周, 等. 铍和含铍材料的性能及应用[J]. *焊接学报*, 2001(6): 92–96.
- [3] 许德美, 秦高梧, 李峰, 等. 国内外铍及含铍材料的研究进展[J]. *中国有色金属学报*, 2014, 24(5): 1212–1223.
- [4] 黄健柏, 孙芳. 中国稀有轻金属关键性动态评估——以锂和铍为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(4): 879–888.
- [5] 熊琛然, 王礼茂, 屈秋实, 等. 地缘政治风险研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(4): 695–706.
- [6] 张晓通, 许子豪. “一带一路”海外重大项目的地缘政治风险与应对——概念与理论构建[J]. *国际展望*, 2020, 12(3): 80–96, 156.
- [7] FARUK B, GAZI S U, SYED J H S. Geopolitical risk and tourism demand in emerging economies[J]. *Tourism Economics*, 2019, 25(6): 997–1005.
- [8] 龙如银, 杨家慧. 国家矿产资源安全研究现状及展望[J]. *资源科学*, 2018, 40(3): 465–476.
- [9] 王昶, 宋慧玲, 左绿水, 等. 国家金属资源安全研究回顾与展望[J]. *资源科学*, 2017, 39(5): 805–817.
- [10] DAW G. Security of mineral resources: A new framework for quantitative assessment of criticality[J]. *Resources Policy*, 2017, 53(3): 173–189.
- [11] 马玉芳, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国镍资源供应安全评价与对策研究[J]. *资源科学*, 2019, 41(7): 1317–1328.
- [12] 王昶, 秦雅, 邵留国, 等. 基于系统动力学的清洁能源技术关键伴生金属可供性研究——以镓为例[J]. *系统工程*, 2018, 36(5): 116–127.
- [13] CIOTOLA A, FUSS M, COLOMBO S, et al. The potential supply risk of vanadium for the renewable energy transition in Germany[J]. *Journal of Energy Storage*, 2021, 33(1): 102094.
- [14] 范松梅, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国铁矿石资源供应风险评价与治理研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(3): 507–515.
- [15] LI S, YAN J, PEI Q, et al. Risk identification and evaluation of the long-term supply of manganese mines in China based on the VW-BGR method[J]. *Sustainability*, 2019, 11(9): 2683.
- [16] PIÇARRA A, ANNESLEY I R, OTSUKI A, et al. Market assessment of cobalt: Identification and evaluation of supply risk patterns[J]. *Resources Policy*, 2021, 73(4): 102206.
- [17] 刘全文, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国铬资源供应风险评价与对策研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(3): 516–525.
- [18] 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, 129.
- [19] 王昶, 孙晶, 左绿水, 等. 新能源汽车关键原材料全球供应风险评估[J]. *中国科技论坛*, 2018(4): 83–93.
- [20] HELBIG C, BRADSHAW A M, KOLOTZEK C, et al. Supply risks associated with CdTe and CIGS thin-film photovoltaics[J]. *Applied Energy*, 2016, 178(9): 422–433.
- [21] 黄健柏, 孙芳, 宋益. 清洁能源技术关键金属供应风险评估[J]. *资源科学*, 2020, 42(8): 1477–1488.
- [22] YU S W, DUAN H R, CHENG J H. An evaluation of the supply risk for China's strategic metallic mineral resources[J]. *Resources Policy*, 2021, 70(1): 101891.
- [23] 吴巧生, 薛双娇. 中美贸易变局下关键矿产资源供给安全分析[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2019, 19(5): 69–78.

- [24] 陈甲斌, 刘超, 聂宾汗, 等. 矿产资源安全需要重点关注十种矿产[J]. 中国国土资源经济, 2023, 36(5): 14-21, 41.
- [25] ACHZET B, HELBIG C. How to evaluate raw material supply risks—An overview[J]. Resources Policy, 2013, 38(4): 435-447.
- [26] MORITA T, HIGASHIDA K, TAKARADA Y, et al. Does acquisition of mineral resources by firms in resource-importing countries reduce resource prices?[J]. Resources Policy, 2018, 58(4): 97-110.
- [27] 谢孟军. 政治风险对中国对外直接投资区位选择影响研究[J]. 国际经贸探索, 2015, 31(9): 66-80.
- [28] SCHAFFARTZIK A, MAYER A, GINGRICH S, et al. The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows, 1950—2010[J]. Global Environmental Change, 2014, 26(3): 87-97.
- [29] GRAEDEL T E, BARR R, CHANDLER C, et al. Methodology of metal criticality determination[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(2): 1063-1070.
- [30] ERDMANN L, GRAEDEL T E. Criticality of non-fuel minerals: A review of major approaches and analyses[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 45(18): 7620-7630.
- [31] GEMECHU E D, HELBIG C, SONNEMANN G, et al. Import-based indicator for the geopolitical supply risk of raw materials in life cycle sustainability assessments[J]. Journal of Industrial Ecology, 2015, 20(1): 154-165.
- [32] 彭忠益, 高峰. 政策工具视角下中国矿产资源安全政策文本量化研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2021, 27(5): 11-24.

## Beryllium resource supply risk analysis from the geopolitical perspective

ZHU Xuehong<sup>1,2</sup>, FENG Hui<sup>1</sup>, ZHANG Hongwei<sup>2,3</sup>

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

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

3. School of Mathematics and Statistics, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** As a “cutting-edge metal”, beryllium has become one of the main focuses of resource competition among countries around the world. Under the background of rising geopolitical risks, the safe and stable supply of beryllium has become an important issue for all countries. Based on the geopolitical perspective, this paper systematically analyzes the current situation of global beryllium resource supply. And by using the global beryllium trade data from 2011 to 2020, this paper explores the evolution trend of beryllium resource supply risk of each country under the geopolitical perspective by constructing supply risk indicators. The findings show that the overall supply risk of beryllium resources under the geopolitical perspective is high due to the high concentration of beryllium resources supply in the world, low recycling rate and its difficulty to be replaced, and that the beryllium resources supply risk in China, the United States and Russia is fluctuating and at a high risk level, while the fluctuation trend of beryllium resources supply risk in European countries is relatively consistent. Based on the above conclusions of the study, it is suggested that the future supply should be decentralised and diversified as much as possible, and that a dynamic early warning system and recycling system should be established to provide a strong guarantee for effective response to beryllium resource emergencies.

**Key Words:** beryllium; geopolitics; supply risk

[编辑: 何彩章]