DOI 10.15302/J-SSCAE-2025.08.013

我国锡资源国际供应链评价及对策研究

朱磊[1]，刘敏[2*]，毛景文[3]，闫晶晶[4]

（1. 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083；2. 中国地质大学（北京）自然资源战略发展研究院，北京 100083；3. 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037；4. 中国地质大学（北京）经济管理学院，北京 100083）

摘要：锡资源的稳定供应是保障我国信息化产业和战略性新兴产业发展的重要基础，是实现制造强国和数字经济创新的重要战略支撑。当前我国锡资源需求量持续扩大，而国内已探明的锡资源难以满足消费需求，导致进口量持续攀升。因此，保障锡资源国际供应链安全愈加重要。本文从资源供给、贸易流通、循环利用三个维度剖析我国锡资源国际供应链的安全程度，为我国锡资源安全保障提供科学支撑。研究认为，我国锡资源供应链风险呈“V”形演变趋势，存在锡资源市场供给多元化不足，国内锡储量增长缓慢、选矿技术仍待提升，再生锡产量不足、循环利用率始终偏低等问题。研究建议，我国应提升国际供应链稳定程度和国内资源保障力度，加快外采多元化和拓宽海外资源布局，加大国内锡矿勘查力度和选矿技术的研发投入，优化锡资源战略储备布局，健全二次资源回收体系，综合提升锡资源的供应能力和安全保障程度。

关键词：锡资源；国际供应链；找矿突破；安全保障

中图分类号：TD982　　**文献标识码：**A

International Supply Chain of Tin Resources in China: Evaluation and Countermeasures

Zhu Lei[1], Liu Min[2*], Mao Jingwen[3], Yan Jingjing[4]

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Institute of Natural Resources Strategic Development, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. School of Economics and Management, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The stable supply of tin resources is crucial for the development of China's information industry and strategic industries, serving as a key for strengthening the manufacturing sector and promoting digital economy innovation of the country. Currently, China's demand for tin resources continues to expand; however, domestic tin resources discovered through exploration are insufficient to satisfy the consumption demand, leading to a continuous increase in imports. Therefore, ensuring the security of the international supply chain of tin resources has become increasingly important. This study evaluates the security level of the international supply chain from three dimensions: resource supply, trade circulation, and recycling, providing scientific support for ensuring the security of tin resources in China. The findings indicate that China's tin supply chain displays a V-shaped risk profile; however, there are issues such as insufficient diversification in the supply of tin resources, slow growth in domestic tin reserves, subpar mineral processing

收稿日期：2025-08-11；**修回日期：**2025-10-22

通讯作者：*刘敏，中国地质大学（北京）自然资源战略发展研究院高级工程师，研究方向为金属矿床成矿规律与战略研究；E-mail: liuminhello@163.com

资助项目：中国工程院咨询项目“战略性矿产资源国际供应链安全战略研究”(2024-XBZD-10)，“战略性矿产资源安全战略研究”(2022-JB-05)

本刊网址：sscae.engineering.org.cn

technologies, inadequate recycled tin production, and persistently low recycling rates. This research suggests that China should enhance the stability of international supply chains, strengthen domestic resource security, and improve the system for the recovery of secondary resources. These measures are expected to accelerate diversification in external procurement, increase domestic investment in tin ore exploration and beneficiation development, and optimize the strategic reserve layout of tin resources, thereby comprehensively boosting the supply capacity and safety assurance of tin resources in China.
Keywords: tin resources; international supply chain; prospecting breakthrough; security guarantee

一、前言

锡作为工业生产中重要的金属原料，已被中国和美国等多个国家列入关键矿产或战略性矿产目录[1]。作为“五金”之一，锡的工业应用历史可追溯至青铜器时代，在人类文明发展中发挥了关键作用。在现代工业体系中，锡矿石经过冶炼后的产品为精炼锡，加工后的产品主要包括合金焊料、锡镀板（马口铁）及锡化工制品等，应用于电子制造业、食品包装、汽车工业和航空航天等行业[2]。根据国际锡业协会（ITA）数据，2024年全球精炼锡产量为3.712×10^5 t[3]，消费量约为3.679×10^5 t[4]。但全球锡金属库存持续偏低，产量和消费量的表面均衡难以掩盖实际的供需矛盾。

锡曾是我国的优势矿产，但如今的资源供应安全形势已发生根本性变化。2009年之前，我国锡矿石的外采度较低[5]。但近年来，我国锡资源消费量急剧增加，矿石供应量早已无法满足需求。2013年我国锡资源的外采度为15%，到2023年已达39%。联合国商品贸易统计数据库的进出口数据也印证了这一变化：2023年我国锡精矿进口量达2.485×10^5 t，相比2013年增长了157.3%。随着我国光伏行业的发展、人工智能算力需求的提升和工业互联网的兴起，锡的需求空间还将进一步扩大，未来国内供需矛盾还将更加严峻。因此，在当今复杂的世界格局下，全面评估并多维度保障我国锡资源国际供应链安全，对确保锡的稳定供应具有重要的战略意义。

评估矿产资源的供应风险是保障矿产资源安全、保障经济系统免受重大影响的重要方式[6]。目前，锡资源供应安全评估是战略研究的热点，主要研究内容集中于锡资源供需现状分析[2]、贸易与生产消费数据分析[7~9]、综合指标评价[10,11]等，这些研究的结果均表明，我国锡资源保障能力仍有不足，亟需通过稳定国际供应链和加强国内储备来实现锡资源的可持续发展。

与此同时，由于锡矿的全球储量增速有限和产量增速放缓，我国为保障锡矿供应安全，也在积极推进锡矿找矿突破。自2021年我国发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出实施新一轮找矿突破战略行动以来，多个省份已在锡矿找矿突破方面取得成效。云南、内蒙古和广西等省（自治区）已经划定找矿远景区或直接实现增储[12~14]。这些勘探成果显示了我国锡资源的找矿潜力，为稳定国内锡矿供应提供了有力支撑。

尽管当前对锡资源供应链及其保障机制的评价已经涵盖多个方面，但现有的评估体系在国际供应链安全保障的综合分析方面仍不够全面。例如，在国际供应链方面，尚未充分考虑运输通道风险、国际贸易竞争强度等关键因素；而在国内供应保障方面，也缺乏对锡资源勘探、选矿及回收等技术提升对锡资源安全保障作用的分析。鉴于此，本文系统梳理了全球锡资源现状，并对国际供应链的安全性进行量化分析，为降低我国锡资源供应风险提出对策建议。

二、锡矿资源现状

锡在地壳中含量较少，平均含量仅有0.004%，富集程度远低于锌、铜和铅等金属[2]，其赋存矿物仅锡石（SnO_2）具备开发价值。全球锡矿床主要集中分布于环太平洋东西两岸、西欧和非洲南部等地区，矿床类型包括石英脉型、矽卡岩型、锡石－硫化物型、云英岩型和斑岩型等原生矿床[15]，以及少量的次生滨浅海沉积砂矿。全球超过99%的锡矿石直接或者间接来自与花岗岩有关的矿床，少量来自块状硫化物矿床[16]。

（一）全球锡矿产资源现状

在全球尺度上，有四个大型的锡成矿带，分别是东南亚锡成矿带、华南锡成矿带、中安第斯锡成

矿带和英国康沃尔锡成矿省[16]，其中东南亚锡成矿带（缅甸、泰国、印度尼西亚、马来西亚等）的产量占全球锡矿产量的40%以上。

尽管近几年全球的锡矿勘查活动始终在进行，但全球储量却不断减少。美国地质调查局（USGS）数据显示[17]，截至2024年，全球锡储量约为4.2×10^6 t（金属量），主要分布在中国（1×10^6 t）、缅甸（7×10^5 t）、澳大利亚（6.2×10^5 t）和俄罗斯（4.6×10^5 t）等国家。另外，全球锡矿石产量增长缓慢，2024年的产量达3×10^5 t，以中国（6.9×10^4 t）和印度尼西亚（5×10^4 t）为主，其次是缅甸（3.4×10^4 t）。缅甸自2014年开始实现锡矿产量的快速增长[18]，被称为“锡矿黑天鹅”；但缅甸主要锡矿区在2023年8月起停止开采，对国际供应链产生了重大影响[19]。此外，秘鲁（3.1×10^4 t）、巴西（2.9×10^4 t）和玻利维亚（2.1×10^4 t）的锡矿产量也均超过2×10^4 t。

联合国商品贸易统计数据库数据显示，缅甸的锡矿主要出口到中国、泰国；澳大利亚主要出口到中国、马来西亚和泰国；秘鲁主要出口到中国、美国和加拿大；玻利维亚自2021年起，其锡矿出口数据仅显示与中国之间的贸易。

在全球锡消费市场中，我国长期占据50%以上的市场[7]，其次是美国、日本、新加坡等发达国家[2]。全球锡消费量也在持续增长，2023年全球精炼锡的消费量达3.571×10^5 t[4]，2024年增长约1.08×10^4 t。随着未来电子、光伏和新能源汽车行业的快速发展，世界的锡消费需求预计还将大幅增长。国际锡业协会测算，2028年全球锡资源供需将产生缺口，2030年预计将产生1.3×10^4 t的缺口[20]。

（二）我国锡矿产资源现状

我国锡资源分布较为集中，云南、江西、内蒙古、广西、广东和湖南六个省份合计储量约占全国锡资源储量的90%以上[21~23]。其中云南占据45%左右的储量，集中分布在滇东南和保山地区。

根据国际锡业协会数据，2024年我国精炼锡产量达1.94×10^5 t（含再生锡），占全球总产量的近50%，稳居世界第一[24]。其中，云南锡业股份有限公司（8.5×10^4 t）、云南乘风有色金属股份有限公司（2.18×10^4 t）、华锡有色金属股份有限公司（1.61×10^4 t）和江西新南山科技有限公司（9.7×10^3 t）四家企业的精炼锡产量分列全球第1、第3、第5和第8位，彰显了我国在全球精炼锡供应体系中的核心地位。然而，我国锡资源供给瓶颈集中于矿产供给端：国内锡精矿产量远不能满足需求，长期依赖进口补充。2024年，受缅甸地缘政治影响，我国进口量骤降至1.585×10^5 t，相比2023年降幅达36.22%，进一步凸显了我国锡资源国际供应链的脆弱性。此外随着国内锡金属消费量持续增长和资源储量的衰减，国内锡资源供应缺口还将持续扩大，资源安全形势日趋严峻。

三、我国锡资源国际供应链评价

目前，我国锡矿资源供应对国际市场的依赖程度较高，而国际矿产供应链又容易受到资源供给、贸易竞争等多项复杂因素的影响。因此，开展全面的锡矿国际供应链安全评价可以量化资源供应的风险，明确资源供应潜在的风险点。

（一）数据来源与指标体系

鉴于国内锡资源供应对国际供应链的影响，本文结合国内和国际锡矿资源与供需情况，参考已有的供应风险评估指标[6]，将国际供应链的安全评价概括为3个方面共15项指标：① 资源供给安全，指锡矿资源的供应安全情况，包括国外资源供应潜力、国内储采比、资源可替代性、市场供给多元化程度、市场垄断程度、供应链断链风险、外采度和受制约程度共8项二级指标；② 贸易流通安全，指我国进口锡矿的贸易竞争、运输风险和价格波动等情况，包括国际贸易竞争强度、全球化指数、运输通道风险、国际价格波动水平和资源国出口规制水平共5项二级指标；③ 循环利用安全，指锡矿资源的循环利用情况和环境规制水平，包括循环利用率和资源国环境规制水平两项二级指标。具体指标体系和计算方式如表1所示。

锡的产业链可分为上游开采、中游冶炼及下游应用三大环节。其中，上游贸易产品为锡矿砂及其精矿（HS编码260900），中游为未锻轧非合金锡（HS编码800110）和未锻轧合金锡（HS编码800120），下游为锡及锡合金条、杆型材、丝（不包括合金）（HS编码800300）、工业用锡制品（HS编码800700）。本文以锡矿砂及其精矿的进口量作为锡矿石进口量参考数据，所使用的锡矿产量和储

表1　锡矿国际供应链评价指标

主要指标	二级指标	属性	指标计算公式和说明
资源供给安全	国外资源供应潜力（H1）	−	$AP=Pc+Im-Ex \quad RT=R-\mathrm{Rc}$ $H1=\frac{AP}{RT}$ AP表示国内资源表观消费量，Pc表示国内年度产量，Im代表锡精矿进口总量（换算为金属量，折算系数为0.23），Ex代表精炼锡出口总量，RT表示国外资源可开采储量，R表示当年全球储量，Rc表示国内当年储量
	储采比（H2）	+	$H2=\frac{Rc}{Pc}$
	资源可替代性（H3）	+	专家评分
	市场供给多元化程度（H4）	−	$H4=\sum_{i=1}^{N} Im_i^2 \left(\sum_{i=1}^{N} Im_i \geqslant 50\%\right)$ Im_i表示中国自第i个国家或地区进口的锡矿数量占锡矿进口总量的比重，要求统计到比重和大于50%
	市场垄断程度（H5）	−	$H5=\frac{\sum_{i=1}^{3} P_i}{P}$ P_i表示第i个国家的锡矿产量，P表示全球锡精矿的总产量
	供应链断链风险（H6）	+	$H6=\sum_{i=1}^{N} Im_i \times \left(0.2 \times WGI_{pv}+0.5\right)$ WGI_{pv}表示全球治理指标（WGI）中与供应结构稳定性有显著相关性的“政治稳定和没有暴力／恐怖主义”的估计值
	外采度（H7）	−	$H7=\frac{Im-Ex}{AP}$
	受制约程度（H8）	−	专家评分
贸易流通安全	国际贸易竞争强度（H9）	−	$H9=\left(\frac{Im_{ck}+Im_{jk}}{Im_w}\right) \times \left[1-\frac{\left\lvert \frac{Im_{ck}}{Im}-\frac{Im_{jk}}{Im_j} \right\rvert}{\frac{Im_{ck}}{Im}+\frac{Im_{jk}}{Im_j}}\right]$ 设国家k为Im_i的最大值，即中国从该国进口锡矿石总量占中国锡矿石总进口比重最大，Im_{ck}表示中国从该国进口的锡矿石量；设国家j为国家k的第二大锡矿石进口国，Im_{jk}表示该国从国家k进口的锡矿石量，Im_j表示该国锡矿石的进口总量；Im_w表示全球锡矿石资源的进口总量。
	全球化指数（H10）	+	$H10=\sum_{i=1}^{N} KOF_i \times Im_i$ KOF_i表示年度i国的全球化指数
	运输通道风险（H11）	+	专家评分
	国际价格波动水平（H12）	−	$H12=\frac{P_{max}-P_{min}}{P_{min}}$ $P_{\max}$表示矿产国际价格的最高价，$P_{\min}$表示矿产国际价格的最低价
	资源国出口规制水平（H13）	+	专家评分
循环利用安全	循环利用率（H14）	+	$H14=\frac{P_{rec}}{Pc}$ P_{rec}表示国内再生锡产量
	资源国环境规制水平（H15）	+	专家评分

量数据来源于USGS，进出口贸易数据来源于联合国商品贸易统计数据库，全球治理指标数据来源于世界银行（World Bank），全球化指数来源于KOF瑞士经济研究所（KOF Swiss Economic Institute），国际价格来自伦敦金属交易所（LME），再生锡产量来源于文献资料搜集。资源可替代性、受制约程度、运输通道风险、资源国出口规制水平和资源国环境规制水平5项指标由专家打分后取平均值。

针对国际供应链安全评价中指标类型多、数据量大的特点，本文对非专家打分的指标采用熵权法进行权重赋值，专家打分的指标按等权重平均赋值（1/15），以获得综合评价指数。熵权法计算过程包括了标准化处理、计算比重和熵值等环节[25,26]，最终结果以综合评价得分进行呈现。

（二）资源供给安全

国外资源供应潜力根据国外资源开采储量与国内资源的表观消费量计算。表 2 列举了 2013—2023 年的全球锡矿资源储量、中国储量、中国进出口量及全球与中国的产量数据。锡矿全球产量和储量基本稳定（见图 1、表 2），但我国产量占全球比重呈下降趋势（见图 2），我国的储采比（当年储量 / 产量）自 2017 年起逐渐上升至 15.71（见表 2）。资源可替代性指标（满分 100 分，分数越高，则可替代性越高）分数在 60~70 分，指示锡金属在主要工业及相关领域的应用具备一定的可替代性。

在市场供给多元化程度方面主要分析了我国从主要产锡国进口锡矿的比重。根据联合国商品贸易统计数据库数据，我国自缅甸进口的锡矿占比最高，2013—2020 年均超过 90%。但这一占比自 2017 年起已呈下降趋势，到 2023 年已经下降到 73%。其次，我国自刚果（金）、澳大利亚、老挝和玻利维亚进口锡矿的比重不断上升，从刚果（金）进口的比重在 2023 年首次超过总进口量的 10%（见表 3）。

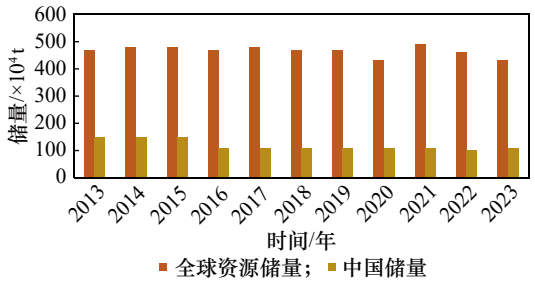

图 1　2013—2023 年锡矿全球储量和中国储量

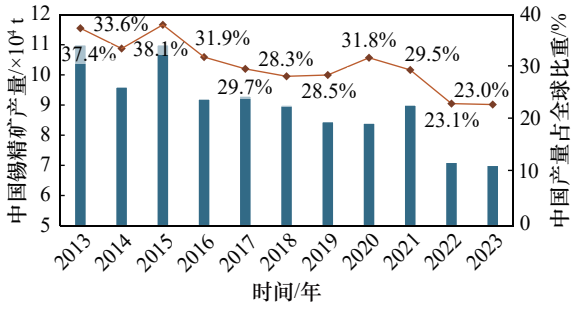

图 2　2013—2023 年我国锡矿产量和占全球比重

在市场垄断程度方面分析了锡矿产量位居全球前三位的国家，分别为中国、印度尼西亚和缅甸。由于三个国家的产量总和不断降低，市场垄断程度也呈下降趋势。其中，我国的锡矿产量明显呈现下降趋势，从 2013 年的 1.1×10^5 t 下降至 2023 年的 7×10^4 t；印度尼西亚和缅甸的产量明显

表 2　全球与中国的锡矿储量、产量及中国锡矿进出口量

时间/年	全球储量/（金属量，$\times10^4$ t）	中国储量/（金属量，$\times10^4$ t）	全球产量/（金属量，$\times10^4$ t）	中国产量/（金属量，$\times10^4$ t）	中国进口量/（锡矿砂及其精矿，矿石量，t）	中国出口量/（未锻轧非合金锡，金属量，t）
2013	470.00	150.00	29.40	11.00	96 569.74	3001.3
2014	480.00	150.00	28.60	9.60	177 924.17	936.8
2015	480.00	150.00	28.90	11.00	291 382.73	561.2
2016	470.00	110.00	28.80	9.20	474 581.73[a]	640.0
2017	480.00	110.00	31.30	9.30	295 421.13	2174.8
2018	470.00	110.00	31.80	9.00	221 830.52	6078.3
2019	470.00	110.00	29.60	8.45	178 170.70	6101.0
2020	430.00	110.00	26.40	8.40	158 197.57	4476.3
2021	490.00	110.00	30.50	9.00	184 199.55	13 518.9
2022	460.00	100.50[b]	30.70	7.10	243 629.14	10 731.4
2023	430.00	110.00	30.50	7.00	248 476.79	12 099.4

注：a 表示据 UN Comtrade Database 数据显示，2016 年中国进口量为 81 673 860 kg，与实际情况不符，因此使用中国海关总署记录数值，为 474 581 728 kg；b 表示据 2022 年 USGS 数据显示，锡矿储量为 7.2×10^5 t，低于 2021 年数据和 2023 年数据，因此 2022 年数据参考《2023 年中国自然资源公报》。

波动，其中2016年缅甸的产量超过了印度尼西亚（见图3）。

我国进口锡的主要来源国家中，缅甸和刚果（金）的WGI中“政治稳定和没有暴力/恐怖主义”的估计值稳定下降，因此供应链断链风险指标也呈下降趋势。

本研究在计算外采度时，采用了净进口依存度的计算方法。净进口量定义为锡矿砂及其精矿所含金属量与未锻轧非合金锡出口量之间的差值（见表1）。2015年年底锡价急剧下跌，国内冶炼厂普遍减产，导致2016年锡精矿进口量增至4.746×10^5 t，外采度升至54%峰值（见图4）。2017年，我国取消10%的精炼锡出口关税[27]，外销规模扩大，外采度随之逐年回落至2021年的24%。但2021年后，受国内产业升级与消费拉动，锡精矿进口量再度攀升，外采度亦相应回升。

受制约程度指标（分数越高，受制约程度越高）分数在80~85分，表明我国受制约程度较高，存在潜在制约风险。

（三）贸易流通安全

国际贸易竞争强度是衡量国家间竞争进口矿产的强度指标。根据联合国商品贸易统计数据库显示，缅甸最大的锡矿出口国是中国，其次是泰国。缅甸出口泰国的锡矿石量在2013—2018年期间每年为500 t左右，自2020年下降至每年76.8 t后，在2023年又升至1868.5 t。然而，2013—2022年，泰国从缅甸进口的锡矿石量不足中国进口量的1%（见图5）。因此，尽管缅甸出口泰国的锡矿石量逐步上升，但与中国的国际贸易竞争强度仍处于较低范围。

在全球化指数指标方面，主要计算了受进口国

表3　我国锡矿石进口主要国家及进口量

（矿石量，单位：t）

时间/年	国家	进口量	国家	进口量	国家	进口量	国家	进口量
2013	缅甸	89 101.6	玻利维亚	265.5	坦桑尼亚	162.9	老挝	102.9
2014	缅甸	173 237.2	老挝	147.8	马来西亚	106.3	刚果（金）	83.8
2015	缅甸	285 593.0	老挝	203.7	俄罗斯	192.5	玻利维亚	105.0
2016[a]	缅甸	472 506.2	俄罗斯	741.7	老挝	527.7	印度尼西亚	236.6
2017	缅甸	292 545.0	俄罗斯	91.6	巴西	80.1	老挝	75.9
2018	缅甸	218 703.7	澳大利亚	146.1	俄罗斯	68.4	老挝	51.7
2019	缅甸	167 642.0	澳大利亚	679.4	老挝	145.9	俄罗斯	137.5
2020	缅甸	145 076.5	澳大利亚	666.8	刚果（金）	176.9	老挝	161.2
2021	缅甸	147 136.0	刚果（金）	1 250.0	玻利维亚	889.5	澳大利亚	864.9
2022	缅甸	187 260.2	刚果（金）	2 352.2	澳大利亚	1 154.1	尼日利亚	304.4
2023	缅甸	180 505.4	刚果（金）	2 741.5	玻利维亚	848.0	澳大利亚	787.8

注：a表示2016年使用中国海关总署记录数值。

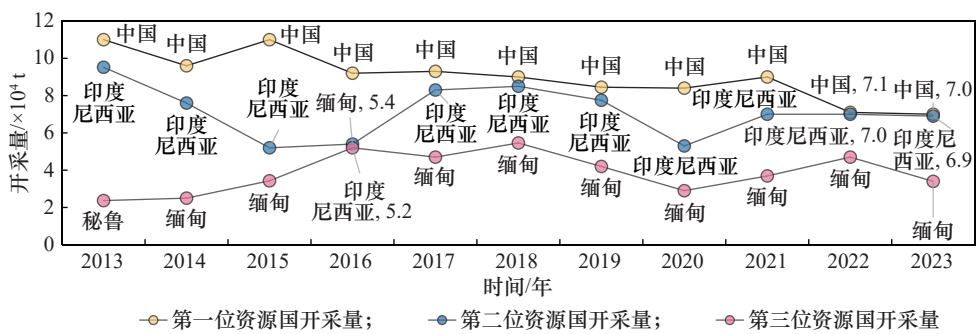

图3　全球锡矿开采量前三位的国家

家的全球化指数与进口比重的影响程度。自2013年以来，缅甸、刚果（金）的全球化指数基本呈现上升趋势，而澳大利亚稳定在80分左右。因此，随着我国从刚果（金）、澳大利亚进口锡矿的比重增加，整体全球化指数的指标分数也呈上升趋势。

我国从缅甸进口锡矿主要依赖于陆路运输，并从勐阿口岸和瑞丽口岸通关。而该地区易受到地震等自然灾害影响，因此运输通道风险指标（分数越高，代表运输通道风险越低）在60~70分，表示运输通道有一定风险。

根据国际价格数据，锡矿价格在2013—2020年相对稳定，峰值在25 000美元/t左右。2020—2023年锡矿价格出现大幅波动（见图6），主要是因为受到缅甸疫情暴发的影响，导致了锡矿供需关系的急剧变化。

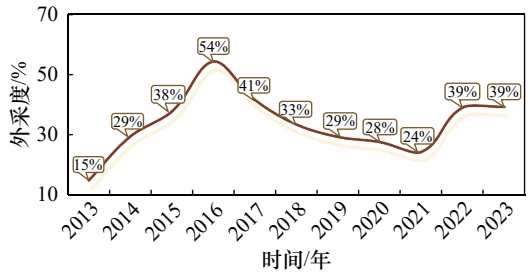

图4 锡矿外采度

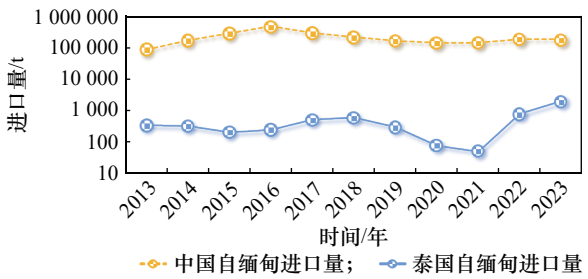

图5 中国与泰国从缅甸进口锡矿量对比

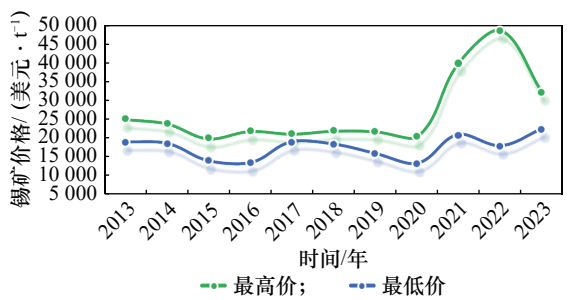

图6 锡矿国际价格波动

此外，资源国出口规制水平（分数越高代表出口规制水平越低）分数在80~90分，表明我国进口锡矿受资源国政策影响较小。

（四）循环利用安全

近年来，全球精炼锡产量维持在3.3×10^5~3.7×10^5 t，其中主要来自矿山生产，其次有5×10^4~7×10^4 t来自再生锡产量。

我国锡金属的循环利用率始终偏低。尽管我国的再生锡产量领先，但精炼锡产量的占比（20%~25%）仍然较低。而在发达国家如日本、美国、德国、澳大利亚等国，超过60%的精炼锡产量来源于再生锡[21,28,29]。

资源国环境规制水平分数为80~90分之间，表示资源国环境规制对进口限制程度较低。

（五）综合指标评价

基于熵权法评估模型的量化分析结果，各指标权重如表4和图7所示，综合得分如图8所示。

我国锡资源国际供应链评价综合得分在0.44~0.72，并呈现出“V”形变化趋势：自2014年下降到2016年的0.44，随后逐步升高至2023年的0.72（见图8）。趋势变化主要受到储采比、市场供给多元化程度、供应链断链风险三项指标的影响，受国外资源供应潜力、国际贸易竞争强度和国际价格波动水平的影响较少。

储采比（正向指标）在2017年达到最低值（11.83），在2023年达到最大值（15.71）。市场供给多元化程度（负向指标）在2016年达到最大值（99.13%），在2023年达到最小值（54.21%）。供应链断链风险（正向指标）在2016年达到最大值（0.338），受进口国缅甸、刚果（金）地缘政治风险程度增加的影响，自2017年起该指标逐渐下降，抑制了综合得分的上升。

另外，由于全球锡资源储量总体相对稳定（4.3×10^6~4.9×10^6 t），其他主要进口国从缅甸的进口规模远低于我国，加之国际锡价虽短期波动但长期呈稳定趋势，因此国外资源供应潜力、国际贸易竞争强度以及国际价格波动水平三项指标的整体变化幅度较为有限。

综合得分虽然显示从2016年起我国锡资源国际供应链进入风险缓释阶段（见图8）。但通过综合指

表4　国际供应链安全评价原始指标分数与权重赋值

指标	权重赋值	指标分数										
		2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
H1	3.82%	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04
H2	11.84%	13.64	15.63	13.64	11.96	11.83	12.22	13.02	13.10	12.22	14.15	15.71
H3	6.67%	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	60.00	60.00	60.00	60.00
H4	16.50%	0.85	0.95	0.96	0.99	0.98	0.97	0.89	0.84	0.65	0.60	0.54
H5	5.30%	0.78	0.69	0.68	0.69	0.71	0.72	0.69	0.63	0.65	0.61	0.57
H6	7.43%	0.28	0.28	0.27	0.34	0.28	0.25	0.25	0.22	0.13	0.09	0.10
H7	4.72%	0.15	0.29	0.38	0.54	0.41	0.33	0.29	0.28	0.24	0.39	0.39
H8	6.67%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	85.00	85.00	85.00	85.00
H9	3.30%	0.48	0.08	0.06	0.05	0.07	0.07	0.04	0.01	0.00	0.10	0.23
H10	4.74%	36.96	38.81	42.16	42.68	43.63	44.56	46.46	45.44	45.71	43.70	42.51
H11	6.67%	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	70.00	70.00	70.00	70.00
H12	3.39%	0.33	0.30	0.44	0.64	0.12	0.20	0.38	0.54	0.93	1.74	0.45
H13	6.67%	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
H14	5.62%	0.25	0.24	0.20	0.17	0.20	0.20	0.20	0.22	0.25	0.25	0.25
H15	6.67%	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	80.00	80.00	80.00	80.00

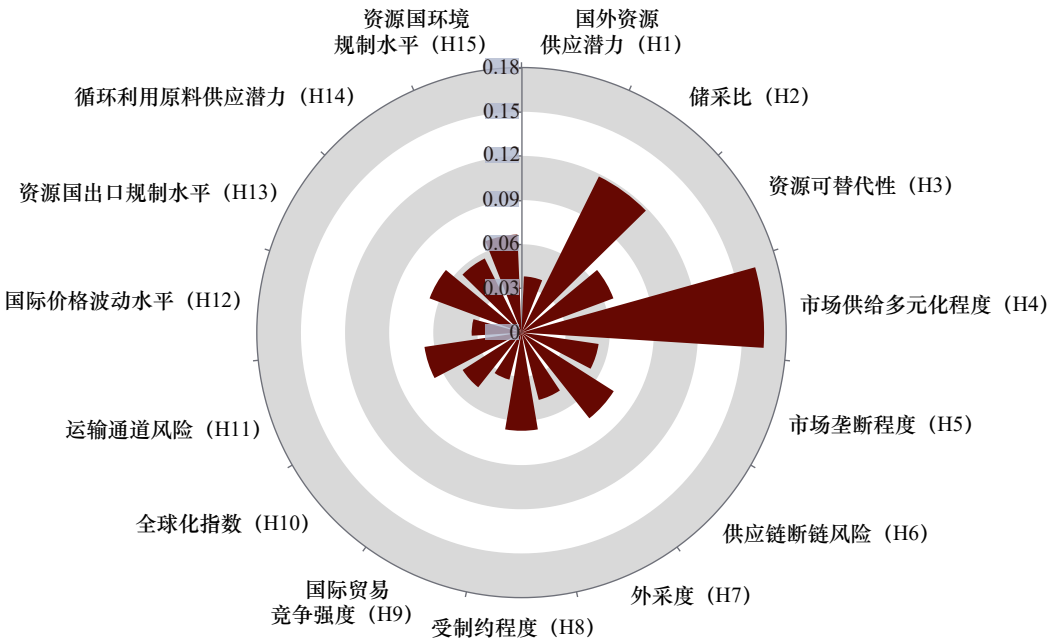

图7　锡资源国际供应链评价权重赋值

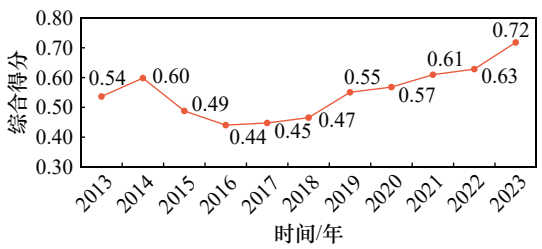

图8　锡资源国际供应链评价综合得分

标评价，我国锡资源国际供应链存在断链风险加大、外采度重新攀升的问题，以及在储采比、市场供给多元化程度等方面仍有很大提升空间。例如，若国内锡资源储量进一步提升或者从缅甸和刚果（金）以外国家的进口量增加，综合得分仍有更大的提升空间，并将提升我国锡资源国际供应链的安全保障能力。

四、我国锡资源国际供应面临的主要问题

锡矿已经从我国的优势矿种转为紧缺的战略性矿产。根据国际供应链综合指标评价结果，锡矿供应风险转变的背后是消费需求持续增长而国内资源潜力未能充分释放、市场供给不够多元与二次资源循环利用不充分等多重因素。

（一）锡资源市场供给多元化程度不足

目前，我国锡资源供应在国际市场上高度依赖从缅甸进口，其次是从刚果（金）进口，而从其他锡生产国如秘鲁、巴西、玻利维亚进口较少。根据指标分析，我国锡矿的国内供给多元化程度始终不足。2016 年，我国自缅甸进口锡矿砂及其精矿 4.725×10^5 t，占我国总进口量的 99.56%，由于一些因素的影响，进口比例已经被动下降至 2023 年的 72.64%（见表 3）。而我国从刚果（金）进口占比从 2014 年的 0.47% 增长至 2023 年的 11.04%（见表 3）。此外，进口来源也影响着供应链断链风险。缅甸和刚果（金）两国的供应链断链风险均较大，对锡资源国际供应链的稳定程度影响较大。例如，缅甸政局危机已经进入长期化[30]，刚果（金）也正处于冲突加剧阶段，资源进口的风险不断加大。2023 年 8 月缅甸佤邦矿区因禁矿政策停采、2025 年 3 月刚果（金）的 Bisie 锡矿因地区冲突而停产，均影响了我国从缅甸和刚果（金）的锡矿进口量。由此表明，锡资源进口来源高度集中，且主要进口来源国供应稳定程度较低，将对我国锡矿国际供应链安全带来较大风险。

（二）国内锡储量增长缓慢，选矿技术仍待提升

根据USGS数据，我国锡矿储量自2016年起维持在 1.1×10^6 t（2022 年除外）。而根据《2023 年中国自然资源公报》《2024 年中国自然资源公报》，我国锡资源仅实现了小幅增长，从 2022 年的 1.005×10^6 t 增长至 2023 年的 1.1744×10^6 t。同时，储采比指标对锡资源的国际供应链综合评价结果具有较大影响（见表 4），也说明了资源对稳定供给的重要性。目前，我国对锡矿的成矿规律认识和矿产资源潜力评价工作不足是制约锡矿资源勘查的因素之一。另外，我国在锡矿勘查的资金和人力投入力度方面也有不足。2021—2023 年，全国非油气地质勘查投入资金不断增长，但锡矿勘查投入却增势微弱[31~33]：2021 年锡矿勘查投入为 0.38 亿元，占总投入资金的比例为 0.44%；2022 年的投入为 0.55 亿元，占比 0.55%；2023 年的投入为 0.52 亿元，占比降为 0.44%。另外，我国低品位含锡资源全粒级工艺矿物学与工艺技术仍难匹配，而共伴生难选锡铜、锡铁资源的高效分选技术也有待提升，新研发的选矿技术也待规模试用和市场验证，限制了我国锡矿产量的进一步提升。

（三）再生锡产量不足，循环利用率始终偏低

我国作为全球第一大锡消费国，再生锡产业却远落后于发达国家，锡废料回收行业尚未形成规模，循环利用原料供应潜力指标自 2020 年起仅实现微幅增长（见表 4）。而提升锡金属的循环利用率，可以大幅减少进口量并降低外采度，因此从工业废料、电子废料中回收锡变得愈发重要[34]。尽管为推动资源的循环利用，我国已经发布了系列政策意见，如《废弃电器电子产品回收处理管理条例》《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》等，但现行政策并未细化到具体的金属矿种，对锡等战略性矿产的重视程度仍然不足。目前，我国仅少数企业能够从事规模化金属资源回收，“城市矿产”的回收和再生流程仍不完善[35]，电子废弃物处理标准不够完善和政策引导不足，法律法规和标准体系缺少足够的衔接等因素，导致锡的循环利用效率低下。

五、提升我国锡资源供应保障的对策建议

（一）确保国际供应链安全稳定

为降低集中依赖风险和稳定海外供给能力，我国需进一步提升市场多元化程度，丰富锡矿进口来源。目前，除缅甸和刚果（金）外，我国潜在的锡矿进口国包括秘鲁、巴西、玻利维亚、俄罗斯等国。2024 年，秘鲁的锡精矿产量（3.1×10^4 t）占全球 10.33%。明苏公司（Minsur）是秘鲁唯一的锡矿生产商，拥有大型锡矿山圣拉斐尔矿山（San Rafael），并在持续开发锡矿勘探项目[36]。巴西的锡精矿产量（2.9×10^4 t）占全球 9.67%，且储量达到 4.2×10^5 t；该国的皮廷加锡矿是世界资源量最大的锡矿山[37]。玻利维亚锡精矿产量占全球 7%，近期探获了大型

锡矿山[38]，具有巨大的资源增长潜力。俄罗斯拥有丰富的锡矿储量（4.6×10^5 t），锡精矿产量也在稳步提升。目前，我国已与上述国家建立了持续稳定的发展关系，因此建议我国稳定以上国家的锡资源进口渠道，从而降低我国锡矿产进口端对缅甸和刚果（金）的依赖程度。

海外投资是保障我国锡资源国际供应链稳定的关键举措。东南亚和南美是全球锡资源富集区，应成为我国企业重点投资布局区域。通过技术合作、股权并购和长协订单等方式，可有效锁定锡矿资源供应。尽管印度尼西亚实施原矿出口限制政策，且该国主要锡矿资源已由国有企业天马公司垄断，但该国锡矿开采难度日益加大，为中资企业通过技术合作参与当地资源开发提供了契机，从而获取更多锡矿资源或稳定精炼锡供应。在马来西亚，由于资源枯竭导致锡精矿产量不断下降，但上海逢石科技有限公司、港利矿业股份有限公司等中国企业的加入，为该国锡矿产业注入新活力。此外，南美地区也是我国企业重要的投资区域，如2024年中国有色金属矿业集团收购巴西最大锡生产公司 Mineração Taboca[37]，为我国提升锡资源供应能力提供了强有力的保障。

（二）加强国内资源保障力度

在新一轮找矿突破战略行动中，我国锡矿找矿取得不断突破。为持续巩固和深化找矿成果，有必要进一步加大锡矿的勘查力度。建议逐年增加锡资源勘查专项资金，短期目标是在2030年前实现勘查资金增长至1亿元，重点投向老旧矿山的深部、边部探矿；长期则保持年均约5%的增幅，以保障全国找矿突破战略行动的持续实施。另外，应充分发挥先进找矿技术的优势，一方面对实现找矿突破的区域如大兴安岭南段、东昆仑成矿带和桂西右江等地区进行重点勘查；另一方面对新划定的远景成矿区如百色平那钨锡矿床加强地质调查，圈定靶区，保持锡资源储量增长态势。

我国锡矿床多具有共生、伴生矿种，矿石的选矿流程复杂且费用较高，因此选矿技术的创新将有效提高锡金属的回收率并实现锡资源的产量提升。为此，建议我国设立锡矿选矿的技术创新引导专项（基金），通过“揭榜挂帅”机制推动校企联合攻关，重点突破低品位、难选冶锡矿石的高效回收技术，降低入选品位及选矿成本。同时我国应支持相关企业单位增加选矿技术的研发和投入，如支持云南锡业集团（控股）有限责任公司和内蒙古兴业银锡矿业股份有限公司等企业联合高水平科研院校建立技术研究中心，重点推进锡矿石浮选技术的创新和规模化应用。

此外，为优化锡资源战略储备布局，建议依托我国锡资源的分布特点，将西南“三江”成矿带、华南成矿带和大兴安岭成矿带[39]等已探明资源量巨大但仍未开发的区域划定为国家级锡矿战略储备基地。对这些区域根据国家锡资源安全需求进行保护性开发，从而增强国内锡资源中长期供给韧性。

（三）健全锡资源回收体系

据统计，我国的废旧电子产品的产量已经超过1.2×10^7 t/a[40]，而核心构件电路板的拆解量就已超过5×10^5 t/a[41]。根据《2024年全球电子废弃物监测报告》测算，废旧电子产品中的锡平均含量为0.14%[42]，在印刷电路板中的锡含量达1%~4%[43]。因此，要加大技术研发的投入力度，推动“电子废弃物中低品位锡的高效绿色回收”相关技术研发。我国若能够大规模推广低成本、高回收率（超过90%）的电子产品锡金属回收技术，预计增加再生锡产量1.8×10^4 t左右。同时我国应加快建立相关标准和发布扶持政策以加强对电子废品回收行业的监管与支持力度。例如，根据《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》（发改环资〔2022〕109号），在珠江三角洲、长江三角洲等电子产业聚集区，优先布局废旧家电、电子产品回收拆解网络。此外，我国还应推动行业协会加快制定和完善《回收锡及锡合金原料》标准的修订[44]，促进回收产业的系统性升级。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: August 11, 2025; **Revised date:** October 22, 2025

Corresponding author: Liu Min is a senior engineer from the Institute of Natural Resources Strategic Development, China University of Geosciences (Beijing). Her major research fields include metallogenic regularities of metallic mineral deposits and strategic studies. E-mail: liuminhello@163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Security Strategy of International Supply Chains for Critical Mineral Resources” (2024-XBZD-10), “Research on the Security Strategy of

Critical Mineral Resources” (2022-JB-05)

参考文献

[1] 张生辉, 王振涛, 李永胜, 等. 中国关键矿产清单、应用与全球格局 [J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(5): 138–168.
Zhang S H, Wang Z T, Li Y S, et al. List, application and global pattern of critical minerals of China [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(5): 138–168.

[2] 陈丛林, 张伟. 全球锡矿资源现状及供需分析 [J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(4): 172–178.
Chen C L, Zhang W. Study on the current situation and analysis of supply and demand of global tin resource [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(4): 172–178.

[3] International Tin Association. Global tin production falls in 2024 on supply disruptions [EB/OL]. (2025-05-13)[2025-07-30]. https://www. internationaltin. org/global-tin-production-falls-in-2024-on-supply-disruptions/.

[4] International Tin Association. ITA study-tin use in recovery cycle [EB/OL]. (2024-10-30)[2025-03-29]. https://www. internationaltin. org/ita-study-tin-use-in-recovery-cycle/.

[5] 冯迪彬. 中国锡矿供应风险治理对策模拟研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京)(硕士学位论文), 2018.
Feng D B. Simulation study on risk management strategies for tin ore supply in China [D]. Beijing: China University of Geosciences Beijing (Master’s thesis), 2018.

[6] 韩世通, 李华姣. 矿产资源供应风险研究进展和前沿 [J]. 资源科学, 2023, 45(9): 1723–1745.
Han S T, Li H J. Progress of research on supply risk of mineral resources and future directions [J]. Resources Science, 2023, 45(9): 1723–1745.

[7] 曾涛, 刘冲昊, 柳群义. “一带一路”沿线锡资源供需格局分析 [J]. 中国矿业, 2019, 28(8): 1–9.
Zeng T, Liu C H, Liu Q Y. Tin resources supply and consumption pattern and trend in the Belt and Road region [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(8): 1–9.

[8] 金宇宁, 钟维琼. 全球锡原材料贸易竞争网络格局演化分析 [J]. 中国矿业, 2025, 34(2): 371–384.
Jin Y N, Zhong W Q. Analysis of the evolution of the trade competition network pattern of global tin raw material [J]. China Mining Magazine, 2025, 34(2): 371–384.

[9] Li H D, Qin W Q, Li J H, et al. Tracing the global tin flow network: Highly concentrated production and consumption [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, 169: 105495.

[10] 范凤岩, 柳群义. 基于改进的熵权层次分析法的中国锡资源供应安全评价研究 [J]. 中国矿业, 2019, 28(10): 77–84.
Fan F Y, Liu Q Y. Study on the supply safety assessment of tin resources in China based on improved entropy weight analytic hierarchy process [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(10): 77–84.

[11] Fan X L, Li H, Yu Q F, et al. Assessment of sustainable supply capability of Chinese tin resources based on the entropy weight-TOPSIS model [J]. Sustainability, 2023, 15(17): 13076.

[12] 周飞飞, 苗佳琦. 战略性矿产大幅增储, 内蒙古新一轮找矿突破成果丰硕 [N/OL]. 中国自然资源报, 2024-10-29 [2025-03-17]. https://www.iziran.net/news.html aid=5351364.
Zhou F F, Miao J Q. Significant increases in strategic mineral reserves: Inner Mongolia achieves substantial results in its new round of geological prospecting breakthroughs [N/OL]. China Natural Resources Newspaper, 2024-10-29 [2025-03-17]. https://www.iziran.net/news.html aid=5351364.

[13] 施玉北, 李蓉, 曾妍, 等. 云南省成矿规律与百年勘查成果及新一轮找矿突破行动建议——《中国矿产地质云•云南卷》研编 [J]. 地球学报, 2025, 46(1): 184–201.
Shi Y B, Li R, Zeng Y, et al. Metallogenic regularities, centennial exploration results of Yunnan Province, and suggestions for a new round of prospecting: Research and compilation of *geology of mineral resources of China • Yunnan volume* [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2025, 46(1): 184–201.

[14] 庞革平, 黄尚宁. 广西统筹3.95亿元支持新一轮找矿突破 [N]. 人民日报(海外版), 2024-05-14(11).
Pang G P, Huang S N. Guangxi allocates 395 million yuan to support new round of mining breakthroughs [N]. People’s Daily Overseas Edition, 2024-05-14(11).

[15] 毛景文, 宋世伟, 刘鹏, 等. 锡矿床研究现状及发展趋势 [J]. 岩石学报, 2023, 39(5): 1233–1240.
Mao J W, Song S W, Liu P, et al. Current progress and development trend of the research on tin deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2023, 39(5): 1233–1240.

[16] Lehmann B. Formation of tin ore deposits: A reassessment [J]. Lithos, 2021, 402/403: 105756.

[17] United States Geological Survey. Mineral commodity summaries 2025 [R]. Commonwealth of Virginia: United States Geological Survey, 2025.

[18] Gardiner N J, Sykes J P, Trench A, et al. Tin mining in Myanmar: Production and potential [J]. Resources Policy, 2015, 46: 219–233.

[19] International Tin Association. Wa authorities to lift mining ban in Myanmar [EB/OL] (2025-05-25)[2025-07-30]. https://www.internationaltin.org/wa-authorities-to-lift-mining-ban-in-myanmar/.

[20] International Tin Association. The need for investment in tin future supply [EB/OL] (2024-12-19)[2025-08-05]. https://www. internationaltin.org/the-need-for-investment-in-tin-future-supply/.

[21] 王莉, 陈萍, 姚磊. 我国锡矿资源形势及对策分析 [J]. 中国矿业, 2019, 28(11): 44–47.
Wang L, Chen P, Yao L. Analysis of the trend of tin resources in China and its enlightenments [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(11): 44–47.

[22] 陈郑辉, 王登红, 盛继福, 等. 中国锡矿成矿规律概要 [J]. 地质学报, 2015, 89(6): 1026–1037.
Chen Z H, Wang D H, Sheng J F, et al. The metallogenic regularity of tin deposits in China [J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(6): 1026–1037.

[23] 王伊杰, 时晨, 王海军, 等. 我国锡矿资源开发利用形势与“十四五”发展建议 [J]. 自然资源情报, 2022 (7): 32–36.
Wang Y J, Shi C, Wang H J, et al. The exploitation and utilization of tin resources in China and suggestions for its “14th Five-Year Plan” development [J]. Natural Resources Information, 2022 (7): 32–36.

[24] 英国国际锡协有限公司北京代表处. 2024年全球十大精锡生产

商概览:地域分布与市场格局 [EB/OL]. (2025-05-07)[2025-07-30]. https://www.internationaltin.org.cn/ita/article/index/id/289/tid/9.html.
Beijing Representative Office of the International Tin Association. Overview of the top 10 global refined tin producers in 2024: Geographical distribution and market landscape [EB/OL]. (2025-05-07)[2025-07-30]. https://www.internationaltin.org.cn/ita/article/index/id/289/tid/9.html.

[25] 章穗, 张梅, 迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究 [J]. 管理学报, 2010, 7(1): 34–42.
Zhang S, Zhang M, Chi G T. The science and technology evaluation model based on entropy weight and empirical research during the 10th Five-Year of China [J]. Chinese Journal of Management, 2010, 7(1): 34–42.

[26] Zhu Y X, Tian D Z, Yan F. Effectiveness of entropy weight method in decision-making [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 2020(1): 3564835.

[27] 海关总署公告2016年第89号(关于2017年关税调整方案的公告) [EB/OL]. (2016-12-30)[2025-07-30]. http://www.customs.gov.cn/customs/302249/302266/302267/630757/index.html.
General Administration of Customs of the People's Republic of China announcement No. 89 of 2016 (announcement on the tariff adjustment scheme for 2017) [EB/OL]. (2016-12-30)[2025-07-30]. http://www.customs.gov.cn/customs/302249/302266/302267/630757/index.html.

[28] 梁飞, 赵汀, 刘超. 从境外获取角度看我国锡资源供应安全 [J]. 中国矿业, 2018, 27(S1): 49–54, 58.
Liang F, Zhao T, Liu C. The security of China's supply of tin resources from the perspective of overseas acquisition [J]. China Mining Magazine, 2018, 27(S1): 49–54, 58.

[29] 邢万里, 王安建, 王高尚, 等. 我国锡资源安全简析 [J]. 中国矿业, 2016, 25(7): 11–15.
Xing W L, Wang A J, Wang G S, et al. Analysis of tin resources security in China [J]. China Mining Magazine, 2016, 25(7): 11–15.

[30] 张添, 张海波, 翟崑. 缅甸政局危机长期化下中缅油气管道面临的社会安全风险分析 [J]. 国际石油经济, 2024, 32(10): 22–28, 72.
Zhang T, Zhang H B, Zhai K. Social security of China–Myanmar oil and gas pipeline under prolonged political crisis in Myanmar [J]. International Petroleum Economics, 2024, 32(10): 22–28, 72.

[31] 中华人民共和国自然资源部. 2021年全国地质勘查通报 [EB/OL]. (2022-06-13)[2025-03-24]. https://gi.mnr.gov.cn/202206/t20220621_2739571.html.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2021 national geological survey report [EB/OL]. (2022-06-13)[2025-03-24]. https://gi.mnr.gov.cn/202206/t20220621_2739571.html.

[32] 中华人民共和国自然资源部. 2022年全国非油气地质勘查统计年报 [EB/OL]. (2023-05-31)[2025-03-24]. https://gi.mnr.gov.cn/202306/t20230606_2790398.html.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2022 annual report non-oil and gas of China mineral resources [EB/OL]. (2023-05-31)[2025-03-24]. https://gi.mnr.gov.cn/202306/t20230606_2790398.html.

[33] 中华人民共和国自然资源部. 2023年全国非油气地质勘查统计年报 [EB/OL]. (2024-04-29)[2025-03-24]. https://gi.mnr.gov.cn/202405/t20240507_2844436.html.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2023 annual report non-oil and gas of China mineral resources [EB/OL]. (2024-04-29)[2025-03-24]. https://gi.mnr.gov.cn/202405/t20240507_2844436.html.

[34] Yang C R, Tan Q Y, Liu L L, et al. Recycling tin from electronic waste: A problem that needs more attention [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2017, 5(11): 9586–9598.

[35] 张婷婷, 周萧超, 刘章韬, 等. 碳中和背景下我国固废资源化利用产业发展研究 [J]. 中国工程科学, 2024, 26(1): 80–88.
Zhang T T, Zhou X C, Liu Z T, et al. Development of solid waste recycling industry of China in the context of carbon neutrality [J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(1): 80–88.

[36] International Tin Association. Minsur output flat in second quarter [EB/OL]. (2025-08-29)[2025-10-20]. https://www.internationaltin.org/minsur-output-flat-in-second-quarter/.

[37] International Tin Association. Minsur to sell taboca to China Nonferrous Metal Mining Group [EB/OL]. (2024-11-27)[2025-03-30]. https://www.internationaltin.org/minsur-to-sell-taboca-to-china-nonferrous-metal-mining-group/.

[38] Eloro Resources Ltd. Eloro resources opens up major Tin zone intersecting 33m grading 1.39% Sn within 87m grading 0.74% Sn in its definition drilling program at its Iska Iska Deposit, Potosi department, Bolivia [EB/OL]. [2025-07-30]. https://elororesources.com/news-and-media/news/eloro-resources-opens-up-major-tin-zone-intersecti-3014146/.

[39] 夏庆霖, 汪新庆, 常力恒, 等. 中国锡矿床时空分布特征与潜力评价 [J]. 地学前缘, 2018, 25(3):59–66.
Xia Q L, Wang X Q, Chang L H, et al. Spatio-temporal distribution features and mineral resource potential assessment of tin deposits in China [J]. Earth Science Frontiers, 2018, 25(3): 59–66.

[40] Kumar P, Singh S, Gacem A, et al. A review on e-waste contamination, toxicity, and sustainable clean-up approaches for its management [J]. Toxicology, 2024, 508: 153904.

[41] 许名湘, 廖忠义, 李晓恒, 等. 废旧印刷电路板火法冶金处理技术研究进展 [J]. 矿冶, 2023, 32(5): 74–80.
Xu M X, Liao Z Y, Li X H, et al. Research advances of pyrometallurgical treatment process for waste printed circuit boards [J]. Mining and Metallurgy, 2023, 32(5): 74–80.

[42] Cornelis P B, Ruediger K, Tales Y, et al. Global E-waste monitor 2024 [M]. Bonn: International Telecommunication Union and United Nations Institute for Training and Research, 2024.

[43] Rudnik E. Innovative approaches to tin recovery from low-grade secondary resources: A focus on (bio) hydrometallurgical and solvometallurgical methods [J]. Materials, 2025, 18(4): 819.

[44] 全国有色金属标准化技术委员会. 关于开展国家标准《回收锡及锡合金原料》修订数据调研的函 [EB/OL]. (2024-04-03)[2025-07-31]. http://www.cnsmq.com/index.php m=content&c=index&a=show&catid=120&id=3926.
National Nonferrous Metals Standardization Technical Committee. Letter on the revision of the national standard *Recycling tin and tin alloy raw materials* [EB/OL]. (2024-04-03)[2025-07-31]. http://www.cnsmq.com/index.php m=content&c=index&a=show&catid=120&id=3926.