

我国硫酸镍产业发展趋势及对策研究

任鑫^{1,2}, 张艳飞^{2*}, 邢佳韵², 崔博京¹, 王良晨¹, 王晓¹

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100089; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100032)

摘要: 硫酸镍作为镍产业链中至关重要的一环, 是支撑我国新能源汽车动力电池、电镀等领域发展的核心原料, 其原料生产、冶炼加工、回收利用等技术发展方向和行业发展趋势都备受关注。本文梳理了我国硫酸镍产业的发展动态, 总结了我国硫酸镍产量、技术等发展现状, 分析了我国硫酸镍产业面临的主要问题及其发展趋势, 认为我国硫酸镍发展面临的问题主要来自于原料供应紧张、碳排放强度高、回收体系不完善等。在此基础上, 提出了面向2035年的发展思路和发展目标, 从注重供应体系的建立, 促进多样化原料供应; 促进技术创新, 降低生产成本减少供应压力; 加快发展再生镍行业, 提高再生镍用量; 加快推进我国企业国际化、产业一体化进程, 提升核心竞争力等方面提出对策建议。期望以需求为导向, 通过硫酸镍生产技术、原料供应、回收利用等体系的完善, 促进我国硫酸镍产业持续健康发展。

关键词: 硫酸镍; 红土镍矿湿法冶炼; 动力电池; 回收利用

中图分类号: F416.1; F407.1 **文献标识码:** A

Development Trend and Countermeasures of Nickel Sulfate Industry in China

Ren Xin^{1,2}, Zhang Yanfei^{2*}, Xing Jiayun², Cui Bojing¹,
Wang Liangchen¹, Wang Xiao¹

(1. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100089, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100032, China)

Abstract: Nickel sulfate—a crucial component of the nickel industry chain—is the core raw material that supports the development of new energy vehicle power batteries, electroplating, and other fields in China. Its industry development trends and technological development directions regarding raw material production, smelting, processing, and recycling have attracted much attention. In this paper, we summarize the current status of nickel sulfate production and technology in China, and analyze the major problems faced by China's nickel sulfate industry, including inadequate supply of raw materials, high carbon emission intensity, and a deficient recycling system. Moreover, we analyze the development trends and propose the development ideas and goals for the industry by 2035. Furthermore, we propose the following countermeasures for promoting the sustainable development of the industry: (1) establishing an efficient supply system to promote the diversified supply of raw materials; (2) encouraging technological innovation to reduce production costs and supply pressure; (3) accelerating the development of the regenerated nickel industry to promote the consumption of regenerated nickel; and (4) accelerating the internationalization and industrial integration of Chinese enterprises to enhance their core competitiveness.

Keywords: nickel sulfate; laterite nickel ore hydrometallurgy; power battery; recycling

收稿日期: 2022-04-08; 修回日期: 2022-04-21

通讯作者: *张艳飞, 中国地质科学院矿产资源研究所助理研究员, 主要从事矿产资源战略研究; E-mail: zhyf1014@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“关键金属矿产及其材料产业供应链安全保障研究”(2021-XBZD-6); 国家自然科学基金项目“关键金属矿产资源的产业链分析与贸易政策研究”(20201301416)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

硫酸镍是镍矿冶炼加工后的一种初级产品，是制备三元动力电池、电镀镍、镍氢电池等产品的重要原材料。近年来，受益于新能源汽车领域的高速发展，2021年我国硫酸镍消费量约为 4×10^5 t，其中新能源汽车动力电池领域硫酸镍消费量约占60% [1]。

新能源汽车动力电池已成为硫酸镍需求的主要增长点。2021年我国新能源汽车市场销量为 3.52×10^6 辆，同比增长1.6倍 [2]。随着新能源汽车市场的快速发展，动力电池领域快速拉动硫酸镍需求上涨，预计2035年我国新能源汽车产量将达到 2×10^7 辆，动力电池所需硫酸镍将增长至 1.05×10^6 t左右 [3~6]，约占硫酸镍总需求的90%。需求快速增长，但我国国内镍矿储量仅占全球的3% [7]，硫酸镍原料大部分需从国外进口，同时，主要镍出口国家政策复杂多变，阻碍了我国动力电池产业的稳定发展。结合当前形势和长远发展来看，我国硫酸镍产业高质量发展存在较大困难。

促进我国新能源产业发展，已经成为我国发展需求的必然选择，在新的产业形势下，保障我国硫酸镍平稳供应对新能源行业发展具有重要意义。现有研究[4,8~10]对我国硫酸镍产业总体发展情况、下游领域的需求状况及发展趋势等方向进行了探讨，对硫酸镍企业投资布局、发展模式等进行了研究。然而对于我国硫酸镍产业发展存在的问题及未来发展，特别是发展思路、发展目标与具体举措研究较少。

本文主要着眼于硫酸镍产业的高质量发展，梳

理我国硫酸镍产业现状，研判制约产业发展的关键因素，立足产业高质量发展提出发展方向以及措施建议，为硫酸镍产业研究提供参考。

二、我国硫酸镍产业现状

(一) 产业规模不断扩大，一体化工厂成主要增长力

2016—2021年，我国硫酸镍产量大幅增加。2017年以前，我国硫酸镍的产量基本稳定在 $3 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ t，随着2017年我国新能源汽车产量快速增加，硫酸镍产量也随之增加，三元材料的需求拉动作用十分显著。2021年我国硫酸镍产量从2016年的 5×10^4 t增长至 2.8×10^5 t，预计2022年将增长至 3.8×10^5 t [1]（见图1）。

我国硫酸镍产业发展较为集中，主要分布在甘肃、广东、广西等地。2021年中伟新材料股份有限公司成为我国最大的硫酸镍生产企业，产量以镍豆/镍粉溶解为主 [11]；格林美股份有限公司近年来硫酸镍产量快速上升，电池金属回收为其提供重要原料；金川集团股份有限公司拥有我国镍资源最丰富的金川镍矿，硫酸镍产量较为稳定。相对于资源型的金川集团股份有限公司，中伟股份有限公司、格林美股份有限公司、华友钴业股份有限公司等一系列电池工厂的产量进一步增加，同时这些企业投资矿山，从镍矿到三元电池的一体化流程贯通，利润和产量都将实现大规模增长（见图2）。

(二) 生产原料由硫化镍矿转向红土镍矿

从生产原料来看，硫酸镍的生产路线主要包括

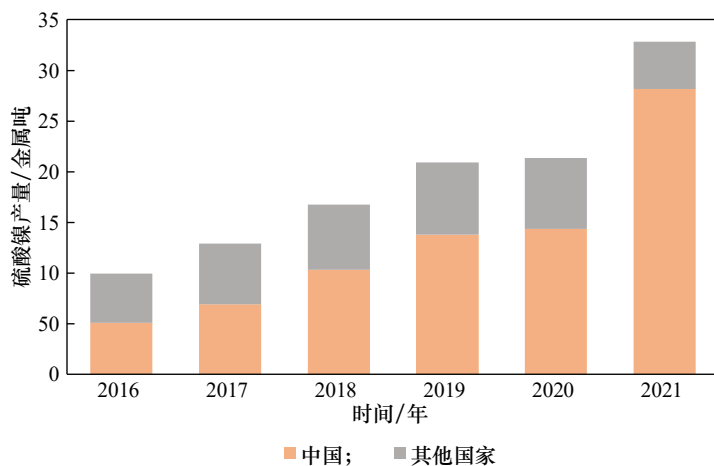


图1 2016—2021年中国及其他国家硫酸镍产量变化[1]

五条：①硫化镍矿→高冰镍→硫酸镍；②硫化镍矿→精炼镍→硫酸镍；③红土镍型矿→湿法治炼镍中间品→硫酸镍；④红土型镍矿→火法治炼镍铁→高冰镍→硫酸镍；⑤回收镍产品→再加工→硫酸镍 [9]（见图3）。硫酸镍的主要原料来源于品位较高的硫化镍矿，近年来开始使用红土镍矿作为原料，一方面是由于红土镍矿开采历史较短，资源丰富，生产的镍生铁相对过剩，由镍生铁至高冰镍的技术已成熟；另一方面随着硫化镍矿储量的不断减少，品位下降，开采和冶炼成本随之增加，供应难以满足需求。因此，随着中间品加工技术的突破，低品位红土镍矿可以通过湿法治炼镍中间品生产硫酸镍，较高品位的红土镍矿通过生产镍生铁转产高

冰镍，进而生产硫酸镍[8,12,13]。

我国硫酸镍生产主要采用湿法治炼中间品、镍豆（粉）等。2020年我国硫酸镍原料高冰镍及湿法治炼中间品用量占一半左右，2021年由于湿法治炼项目产量受限，新项目投产未定，投产后产量提升较为缓慢，高冰镍及湿法治炼中间品在硫酸镍生产中的用量仅比2020年高出 2×10^4 t（见图4）。与此相对的是镍豆（粉）的用量大增，镍豆（粉）主要通过硫化镍矿生产，产能相对稳定，在高冰镍、湿法治炼中间品产量不足以支撑需求时，主要采用镍豆（粉）生产硫酸镍。

由于我国镍资源主要以硫化镍矿为主，原料供应能力不足，因此需要大量进口。2021年，湿法中

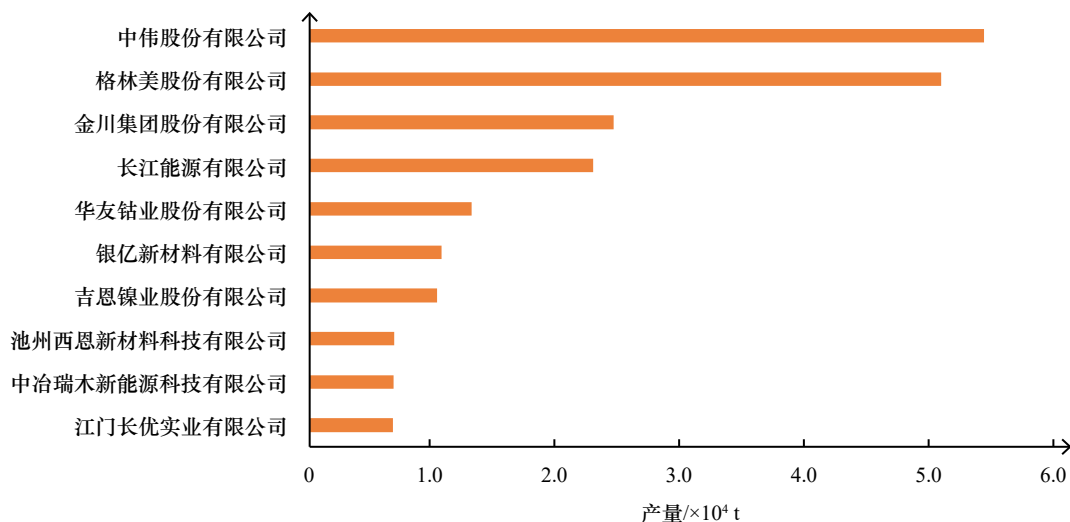


图2 2021年我国硫酸镍产量前十企业[11]

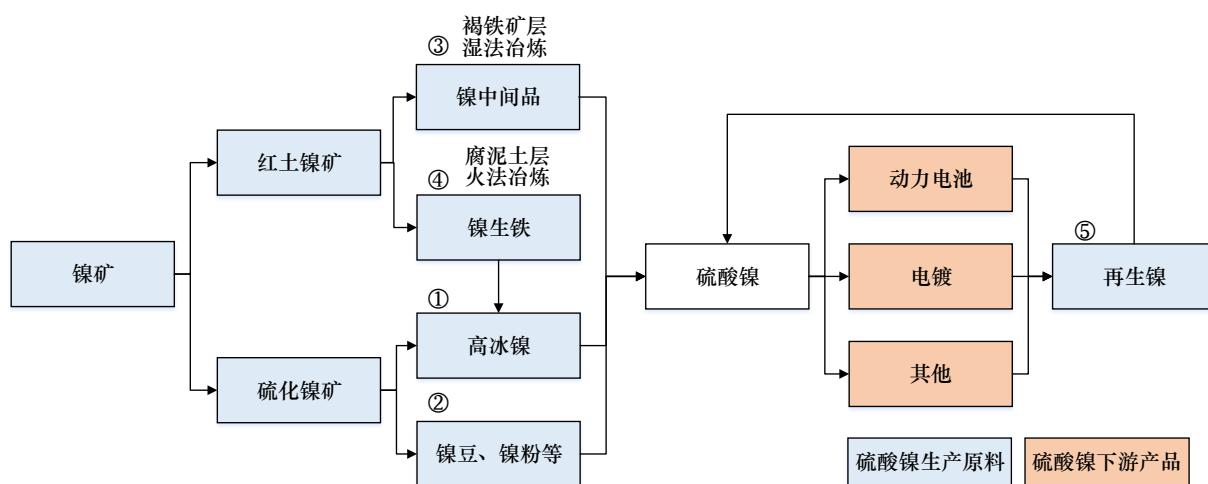


图3 硫酸镍生产路径

间品进口 4.1×10^5 t (实物量), 镍豆、镍粉、镍板等进口 2.2×10^5 t (实物量), 高冰镍进口 1.6×10^4 t (实物量)。以湿法冶炼中间品为例, 我国主要进口自巴布亚新几内亚、新喀里多尼亚、澳大利亚等国 (见图5)。受新型冠状病毒肺炎疫情影响, 巴布亚新几内亚进口量由2020年的 1.8×10^5 t 下降至2021年的 1.3×10^5 t; 澳大利亚进口 8.3×10^4 t, 同比上涨140%, 主要是由于第一量子矿业有限公司在澳大利亚的Ravensthorp项目复产, 产量快速增长 [1]; 印度尼西亚进口增长至 6×10^4 t, 目前印度尼西亚是全球湿法冶炼镍中间品项目的集中地, 前期建设的湿法项目产量上升, 印度尼西亚镍中间品产量和出口量不断上升。

三、我国硫酸镍产业发展存在的问题

我国是全球硫酸镍第一大生产国, 冶炼加工技

术不断提升, 但也要注意, 我国硫酸镍产业发展还面临诸多问题, 原料仍较高程度依赖进口; 硫酸镍生产中碳排放量居高不下, 回收体系仍不健全, 缺少原料且资源利用率低, 我国硫酸镍持续稳定供应仍面临巨大挑战。

(一) 国内镍资源匮乏, 硫酸镍原料供应受限

原料问题仍然是我国硫酸镍产业发展的主要制约因素。印度尼西亚等国采用红土镍矿生产硫酸镍, 资源丰富, 矿石、劳动力等成本远远低于我国。相比之下, 我国镍矿储量仅占全球的3%, 以硫化镍矿为主且开发较早 [14], 使用国内硫化镍矿生产硫酸镍成本高且资源难以满足需求。目前我国硫酸镍原料主要来源于进口, 原料进口对国外依赖度较高, 未来全球镍供应增量将主要来源于印度尼西亚 [15], 但该国已开始布局本国动力电池产业,

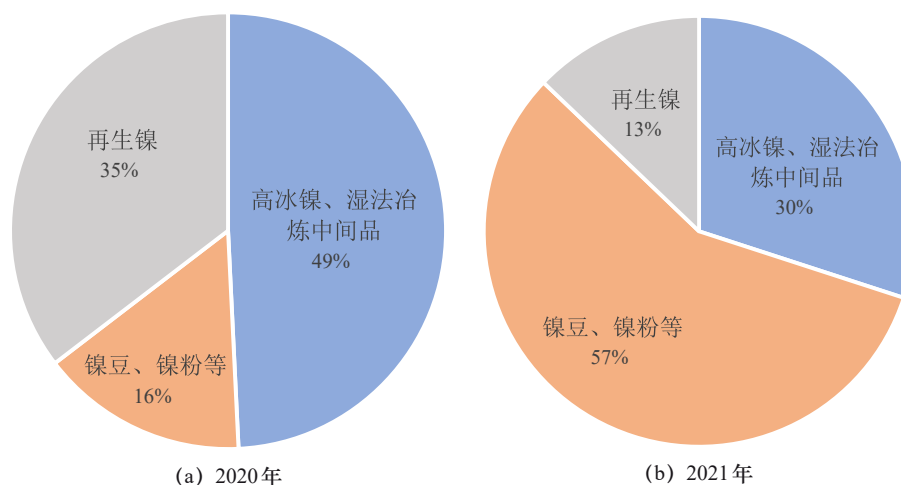


图4 2020年与2021年硫酸镍原料对比 [1]

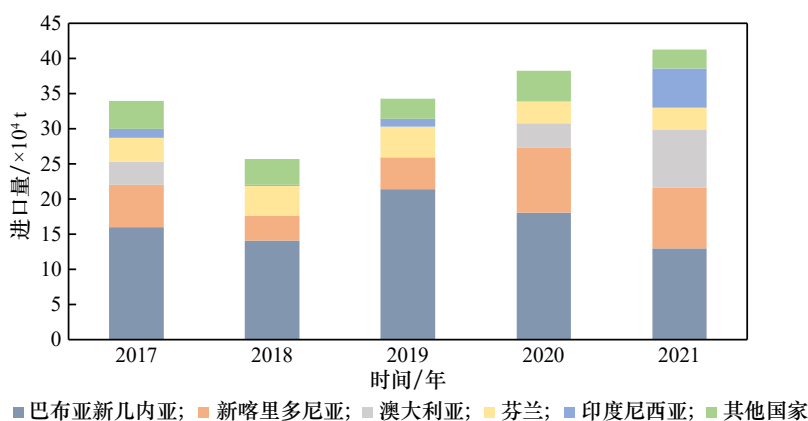


图5 我国湿法冶炼镍中间品进口来源 [16]

镍产品出口政策变动频繁，我国硫酸镍原料供应受到限制，产业发展面临巨大挑战。

（二）硫酸镍生产碳排放强度较高，其中红土镍矿路径碳排放远高于硫化镍矿

在双碳背景下，新能源汽车的发展与碳减排息息相关，硫酸镍作为新能源汽车动力电池的主要原料，其生产过程中的碳排放将会受到更多关注。与钢铁、锌、精炼铜等相比，硫酸镍生产的碳排放强度较高，其中，由红土镍矿生产硫酸镍的碳排放量显著高于硫化镍矿 [10,17]，镍生铁-高冰镍生产硫酸镍的碳排放强度最大（见图6）。在硫酸镍需求快速增长的形势下，未来生产过程中的碳排放将随之增加，硫酸镍生产将会面临更大的碳排放压力。

（三）下游三元电池成本上升，高性价比的磷酸铁锂电池挤占市场份额

我国硫酸镍下游需求主要集中在新能源汽车动力电池领域，主流的动力电池包括镍钴锂电池、磷酸铁锂电池等。三元电池具有更高的续航里程和电池容量，但成本和安全性相较磷酸铁锂电池更低 [18]，2019年以前三元电池的装机量快速上升，但近两年由于我国新能源汽车的补贴退坡，车企在考虑成本因素的前提下，转向磷酸铁锂电池，2021年我国磷酸铁锂电池装机量为79.8 GW·h，占总装机量的51.7%，同比增长227.4%（见图7） [19]。

具有低成本优势磷酸铁锂电池装机量仍有继续增加的趋势，而三元电池的主要原材料镍价居高不下，在原料价格持续上涨的趋势下，三元电池的市场份额短期内或将继续下降，硫酸镍需求增速也将随之下降。

（四）动力电池回收产业体系不完善，再生资源利用率低

我国硫酸镍原料匮乏，回收利用不止可以缓解硫酸镍供应短缺问题，提高材料的可持续利用能力，同时也有利于我国建立更安全、更有弹性的国内材料供应链。

在硫酸镍的下游产品中退役动力电池未来将成为主要的回收利用来源，其他领域的硫酸镍消费量较少，相应的回收价值较低。动力电池中镍金属回收率理论上可达到99%，但由于我国动力电池的回收利用作为一个新兴领域正处于起步阶段，目前回收体系尚不完善，造成大量镍资源浪费和环境污染。动力电池理论报废年限为5~8年，我国2014—2017年第一批动力电池已经到达回收年限，但报废电池量较小，实际具有回收价值的电池数量少，导致电池回收成本高，再生镍的使用比例较低，2021年仅占13%。除此之外，我国动力电池回收标准仍未完善，缺乏对退役电池安全性、耐久性、可靠性等方面的检测标准，电池剩余量评估的技术和人才储备不足等问题同样制约着我国动力电池的回收再利用。

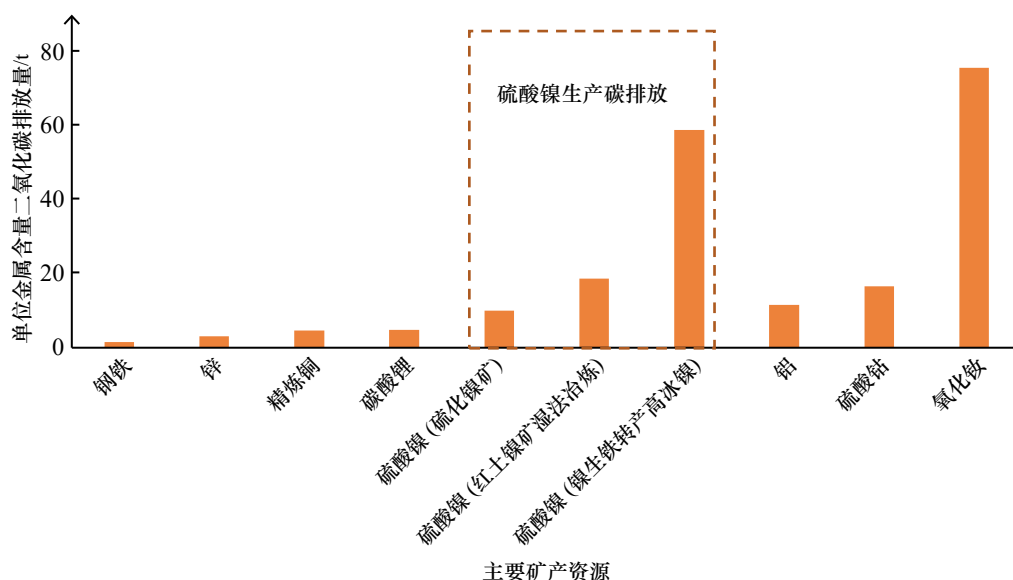


图6 主要矿产资源生产二氧化碳排放强度对比 [17]

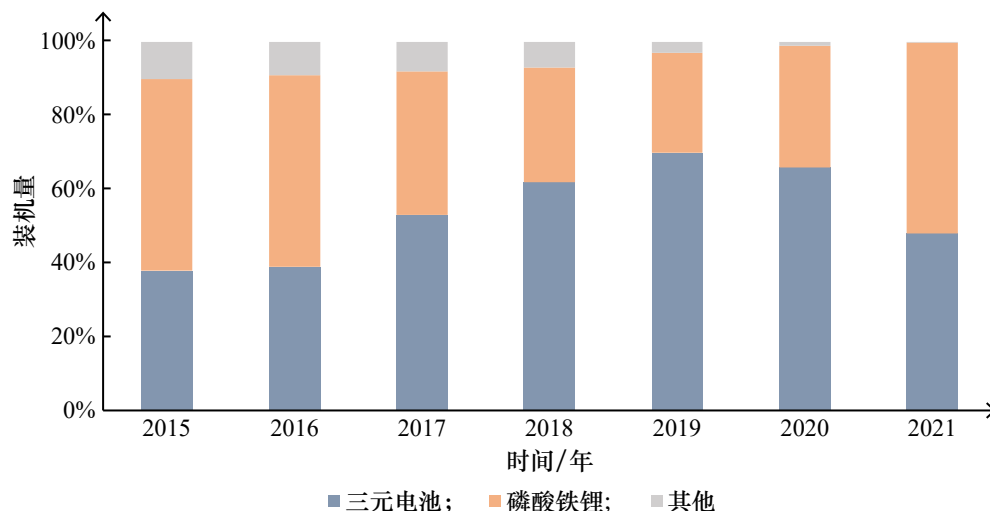


图7 我国动力电池装机量对比[19]

用[20]。以上多种原因导致我国动力电池回收体系不完善，再生镍产量低。

四、我国硫酸镍产业的发展趋势

（一）我国硫酸镍产业融合加速，企业集中度提高

由于动力电池对续航能力、安全性、成本控制等诸多方面都有着严格的要求，因此从保障原料供应链安全稳定、技术协同发展、低成本竞争优势等角度，整车及电池龙头厂商对原料企业的持续供应成本控制、品质管理、技术研发等能力高度重视，也有意愿通过重组等方式进行产业链延伸，共同打造具备国际竞争力的电池原料一体化产业链。产业链、供应链的深度融合成为行业的发展趋势，具有上下游一体化产业链布局的企业将有可能在未来竞争胜出。例如，宁德时代新能源科技股份有限公司早在2018年9月就宣布与格林美股份有限公司、青山控股集团有限公司合作，宣布在印度尼西亚建设红土镍矿生产电池级硫酸镍项目，电池企业、新能源车企和矿山联合，以提升原料保障，降低价格变动带来的风险。

在产业融合加速的形势下，硫酸镍行业的企业集中度会不断增加。没有形成规模的企业将面临高成本，低利润，生存较难的困境[21]。因此，随着硫酸镍行业内大企业规模不断拓展，在产能越来越多的情况下，大企业会挤压小公司的生存空间，硫酸镍企业集中度逐渐增加。

（二）生产原料向红土镍矿倾斜，湿法冶炼中间品成为主流原料

硫酸镍的主要生产原料中镍铁转产高冰镍路线与不锈钢产业联系紧密，其产量将会受制于不锈钢的需求变化，同时，其所需原料高品位红土镍矿资源逐渐减少，因此使用这种方式生产硫酸镍限制较大；镍豆（粉）溶解硫酸镍是将镍矿加工为豆、粉，之后再溶解，该路径生产硫酸镍具有生产成本低、利润低的明显劣势；与之相反，湿法冶炼中间品具有成本较低、碳排放较少、原料充足等优势，未来将会成为硫酸镍的主要原料[8,9]（见表1），尽管目前投产量较少，但随着各项目的相继建设，2022年后我国企业在印度尼西亚投产的项目将会大幅提升（见表2），但湿法冶炼中间品生产硫酸镍目前仍然具有较高的碳排放，未来将逐步改进现有技术，降低成本，减少碳排放。随着新能源车对硫酸镍需求的持续提升，预计湿法冶炼项目将成为未来国内外企业硫酸镍开发的主流技术。

（三）高镍三元电池需求上涨，带动硫酸镍产业快速发展

据安泰科信息股份有限公司的数据显示，2021年我国电池领域硫酸镍消费在 2.4×10^5 t左右，同比增长72%。近两年来磷酸铁锂电池受益于微型车市场电动化，迅速抢占市场份额，但三元电池的续航里程优势仍然远超磷酸铁锂电池，三元电池主要用于B级、C级车[18,22]，本质上三元电池

表1 硫酸镍生产路径对比

原料	优点	缺点
镍豆（粉）	可直接投入三元电池前驱体生产线 投资相对较少，施工周期短 供应相对简单，环保资质要求相对低	经济性不强，成本较高
湿法冶炼中间品	总现金成本较低 生产过程相对安全，无高温高压环境 原料为褐铁矿层红土镍矿，供应充足，成本较低	尾渣量较大，处理成本高 投资周期长，风险高
高冰镍（红土镍矿）	建设周期短，投资成本相对较低 工艺灵活	生产过程能耗高 原料为腐泥土层红土镍矿，成本较高
再生镍	现金成本相对较低 生产过程相对安全，无高温高压生产环境	供应量不稳定，受下游消费影响，动力电池目前回收量较少 供应商分布较为零散

表2 部分待投产的湿法冶炼中间品项目

序号	项目	公司	年产能/ (×10 ⁴ t 镍金属)	投产时间
1	青美邦	格林美股份有限公司、邦普循环科技有限公司、青山控股集团有限公司	5	2022年
2	华越镍钴项目	华友钴业股份有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司、青山控股集团有限公司	6	2023年
3	印尼华飞镍钴湿法冶炼项目	华飞镍钴（印尼）有限公司（华友钴业占比51%）	12	2022年开始建设

和磷酸铁锂电池的目标客户重叠度不高。因此从长期来看，磷酸铁锂电池与三元电池将会实现差异化增长，二者并行发展。

2021年高镍三元电池的产量占比从2020年的22%增长至39%，三元电池高镍化趋势较2020年更为明显 [1]。随着高镍三元电池能量密度逐渐提高，技术、品质管控都将提升，且能量密度提升后带来的单位成本下降亦将有利于新能源汽车的普及。未来新能源汽车将持续向更高能量密度，更长续航里程发展，高镍化三元电池的发展趋势愈加明显。因此三元电池“高镍低钴”甚至“高镍无钴”趋势将会进一步带动我国硫酸镍需求的快速增长。

（四）动力电池回收体系逐步完善，再生镍的使用将缓解原料紧张局面

我国出台多个政策助推动力电池回收市场发展，动力电池回收体系逐步完善。从国家相关部门密集出台的多项动力电池回收法律法规和标准来看，国家对锂电池回收领域相当关注，这极大地推动了锂电池的回收利用。2020年，工业和信息化部发布了《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业

规范条件（2019年本）》，在规定镍、钴、锰的综合回收率应不低于98%的基础上，又增加了“锂的回收率不低于85%，稀土等其他主要有价金属综合回收率不低于97%”的规定 [23]。加强对环保的要求及提高回收利用率，在一定程度上提高了行业准入门槛，倒逼企业技术升级，同时完善动力电池溯源管理，保证参与企业一定的商业利益。

我国动力电池回收行业将不断完善，从法规、政策、技术、标准、产业等方面，加快推动新能源汽车动力电池回收利用，再利用硫酸镍产量将会不断提高，我国硫酸镍原料紧张的局面将得以缓解。

五、我国硫酸镍产业的发展思路和发展目标

（一）发展思路

紧密结合国家战略发展要求，通过整合可利用镍资源，加大资源控制力度，培育出力量雄厚、创新能力强的具有国际影响力的大型硫酸镍企业；提高我国资源利用率和利用价值，完善回收体制机制，保障原料有效供给；开展基础理论和实验研究，在各环节提高自主创新能力，将资源价值最大

化利用；实现我国硫酸镍高质量发展，引领未来全球硫酸镍产业链发展，为我国新能源汽车动力电池行业稳定发展提供支撑。

（二）发展目标

结合我国实际情况和硫酸镍产业面临的挑战，提出以下中长期发展目标。

1. 2025 年目标：保障硫酸镍原料有效供给

提高我国硫酸镍产业供应能力，原料进口集中有所下降；提高优质矿山占有率，建立企业合作平台，保障资源有效供给；加大硫酸镍企业环保力度，提升我国企业质量，达到与现在相比，综合能耗降低 20% 的目标；建立完善的镍回收体制机制，改善我国目前镍资源浪费，回收利用率低的现状，在现有基础上培养 2~3 家大型回收利用企业，从而缓解我国硫酸镍原料供应紧张现状。

2. 2035 年：硫酸镍产业实现高质量发展

我国在硫酸镍原料生产领域占据重要地位，进口集中度大大降低；提高我国镍资源综合利用率，优化各环节生产工艺；建立我国海外投资镍企业与国内企业合作备忘录，实现我国镍产业整体竞争力明显提高；全面提高下游产品循环利用率，提高回收技术，再生镍使用量超过原生镍。

六、对策建议

（一）注重供应体系的建立，促进多样化原料供应

加大对硫酸镍产业供应体系的规划力度，创造有利于硫酸镍原料的多样化投资条件，缓解目前原料紧缺的问题，建立有效、稳定的供应体系。鼓励企业大力开拓国外硫酸镍市场，适当增加对相关企业的融资支持力度，支持企业走出去合作开发镍资源，分散硫酸镍原料的进口来源，同时加快投资不同硫酸镍原料市场，达到平稳供应的目的。

（二）促进技术创新，降低生产成本，减少供应压力

技术创新可以在减轻供应压力和生产成本方面发挥重要作用，与硫酸镍原料相关的成本占总成本的大部分，因此可以在硫酸镍生产方面加强技术创新的研发工作，以便提高生产能力和生产效率，降低生产成本，更有效地利用材料，尽可能地提高供应量，从而提高市场竞争力。

（三）加快发展再生镍行业，提高再生镍用量

回收利用可以减轻对硫酸镍原料的供应压力。加强各种硫酸镍物料的回收，尤其是未来大规模退役的动力电池回收，制定相关政策，通过激励达到使用寿命的产品的回收利用，实施生产者延伸责任制度，让生产者承担部分回收费用与回收责任，促进生产者与回收企业联合回收体系建设。同时完善收集和分类体系，并积极提高回收技术，为再生镍产量的快速增长做充分的准备。

（四）加快推进我国企业国际化、产业一体化进程，提升核心竞争力

我国应加快培育一批一体化生产、国际化大型企业，未来形成矿产资源冶炼—硫酸镍产品加工制造—循环利用一体化的综合性国际化企业。引导企业在资源投资、循环利用等方面积极布局，以提升产业协同发展能力、保障原材料平稳供应、提升核心竞争力。同时积极促进我国企业间合作，共同开发海外镍资源矿产冶炼及硫酸镍生产，有效提升产业协同发展。通过推动产业一体化、国际化进程，一方面能够保障我国硫酸镍原料的平稳供应，另一方面通过产业一体化，能够有效降低生产成本，提高产品盈利能力，增强企业核心竞争力。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 8, 2022; **Revised date:** April 21, 2022

Corresponding author: Zhang Yanfei is a research fellow from the Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. His major research field is mineral resource strategies. E-mail: zhyf1014@163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Supply Chain Security of Key Metal Minerals and Their Materials Industry” (2021-XBZD-06); National Natural Science Foundation of China project “Industry Chain Analysis and Trade Policy Research on Key Metal Mineral Resources” (20201301416)

参考文献

- [1] 北京安泰科信息股份有限公司. 镍及不锈钢 2021 [R]. 北京:北京安泰科信息股份有限公司, 2022.
Antaiko. Nickel and stainless steel 2021 [R]. Beijing: Antaiko, 2022.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 2021 年 12 月汽车工业经济运行情况 [EB/OL]. (2022-01-13)[2022-03-15]. https://www.mit.gov.cn/gxsj/tjfx/zbgycq/art/2022/art_63f16aa43e3543c28bb285b7dc759eea.html.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's

- Republic of China. Economic operation of automobile industry in december 2021 [EB/OL]. (2022-01-13)[2022-03-15]. https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/zbgy/qc/art/2022/art_63f16aa43e3543c28bb285b7dc759eea.html.
- [3] 张艳飞, 陈其慎, 于汶加, 等. 2015—2040 年全球铁矿石供需趋势分析 [J]. 资源科学, 2015, 37(5): 921—932.
Zhang Y F, Chen Q S, Yu W J, et al. Analysis of global iron ore supply and demand trends from 2015 to 2040 [J]. Resources Science, 2015, 37(5): 921—932.
- [4] 邢佳韵, 陈其慎, 张艳飞, 等. 新能源汽车发展下锂钴镍等矿产资源需求展望 [J]. 中国矿业, 2019, 28(12): 67—71.
Xing J Y, Chen Q S, Zhang Y F, et al. Prospects on the demand for mineral resources such as lithium, cobalt and nickel under the development of new energy vehicles [J]. China Mining Industry, 2019, 28(12): 67—71.
- [5] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 资源—产业“雁行式”演进规律 [J]. 资源科学, 2015, 37(5): 871—882.
Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, et al. Resources-industry “flying geese” evolving pattern [J]. Resources Science, 2015, 37(5): 871—882.
- [6] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 点石—未来 20 年全球矿产资源产业发展研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, et al. Dianshi-research on the development of global mineral resources industry in the next 20 years [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [7] USGS. Nickel statistics and information [EB/OL]. (2022-01-02)[2022-03-10]. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-nickel.pdf>.
- [8] 邢佳韵, 张晓鹤, 陈其慎, 等. “二元消费”影响下的镍供需形势分析 [J]. 地球学报, 2021, 42(2): 251—257.
Xing J Y, Zhang X H, Chen Q S, et al. Analysis of nickel supply and demand under the influence of “binary consumption” [J]. Chinese Journal of Earth Sciences, 2021, 42(2): 251—257.
- [9] 任鑫, 陈其慎, 邢佳韵, 等. 2021—2035 年全球硫酸镍供需形势分析 [J]. 中国矿业, 2021, 30(9): 1—7.
Ren X, Chen Q S, Xing J Y, et al. Analysis of global nickel sulfate supply and demand from 2021 to 2035 [J]. China Mining Industry, 2021, 30(9): 1—7.
- [10] 吴琦, 马文军. 碳中和背景下电池镍行业发展趋势及应对措施 [J]. 中国有色冶金, 2021, 50(5): 7—11.
Wu Q, Ma W J. Development trend and countermeasures of battery nickel industry under the background of carbon neutrality [J]. China Nonferrous Metals, 2021, 50(5): 7—11.
- [11] Mysteel. 镍产业链下游之硫酸镍详解 [EB/OL]. (2022-03-22)[2022-03-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/ikD6NjBCS3MZ-INyu3bczIA>.
Mysteel my stainless steel mesh. Detailed explanation of nickel sulfate downstream of nickel industry chain [EB/OL]. (2022-03-22)[2022-03-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/ikD6NjBCS3MZ-INyu3bczIA>.
- [12] 武兵强, 齐渊洪, 周和敏, 等. 红土镍矿湿法冶金工艺现状及前景分析 [J]. 中国冶金, 2019, 29(11): 1—5.
Wu B Q, Qi Y H, Zhou H M, et al. Analysis on the status and prospect of hydrometallurgical process of laterite nickel ore [J]. China Metallurgy, 2019, 29(11): 1—5.
- [13] 杨泽宇, 张文, 申亚芳, 等. 红土镍矿处理方法现状 [J]. 中国有色冶金, 2020, 49(4): 1—6.
Yang Z Y, Zhang W, Shen Y F, et al. Current status of laterite nickel ore treatment methods [J]. China Nonferrous Metals, 2020, 49(4): 1—6.
- [14] 杨志强, 王永前, 高谦, 等. 中国镍资源开发现状与可持续发展策略及其关键技术 [J]. 矿产保护与利用, 2016 (2): 58—69.
Yang Z Q, Wang Y Q, Gao Q, et al. Development status of nickel resources in China, sustainable development strategies and key technologies [J]. Mineral Protection and Utilization, 2016 (2): 58—69.
- [15] ESDM. Peluang investasi nikel Indonesia [EB/OL]. [2022-03-10]. <https://www.esdm.go.id/assets/booklet/tambang-2020/Booklet-Nikel-FA.pdf>.
- [16] UN Comtrade. UN comtrade database[EB/OL]. (2022-03-01)[2022-04-25]. <https://comtrade.un.org/data/>.
- [17] IEA. The role of critical minerals in clean energy transitions [EB/OL]. (2021-03-01)[2022-03-24]. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- [18] 胡敏, 王恒, 陈琪. 电动汽车锂离子动力电池发展现状及趋势 [J]. 汽车实用技术, 2020 (9): 8—10.
Hu M, Wang H, Chen Q. Development status and trend of lithium-ion power batteries for electric vehicles [J]. Automotive Practical Technology, 2020 (9): 8—10.
- [19] 中国汽车动力电池产业创新联盟. 2021 年国内动力电池装车量累计 154.5GWh [EB/OL]. (2022-01-15)[2022-03-23]. <http://cbcu.com.cn/yuanchuang/2022011538104.html>.
China Automotive Power Battery Industry Innovation Alliance. The cumulative domestic power battery installed capacity in 2021 is 154.5GWh [EB/OL]. (2022-01-15)[2022-03-23]. <http://cbcu.com.cn/yuanchuang/2022011538104.html>.
- [20] 电池联盟. 2020 动力电池产业发展报告 [EB/OL]. (2020-05-25)[2022-03-30]. <http://www.cbcu.com.cn/wenshuo/sc/2020052533278.html>.
Battery Alliance. 2020 power battery industry development report [EB/OL]. (2020-05-25)[2022-03-30]. <http://www.cbcu.com.cn/wenshuo/sc/2020052533278.html>.
- [21] 中国金属材料流通协会. 迎接硫酸镍产业链高光时代 [EB/OL]. (2021-12-08)[2022-03-30]. <http://www.cumetal.org.cn/fzjg/bxgll/fhxxw/32871.htm>.
China Metal Materials Circulation Association. Embracing the bright era of nickel sulfate industry chain [EB/OL]. (2021-12-08)[2022-03-30]. <http://www.cumetal.org.cn/fzjg/bxgll/fhxxw/32871.htm>.
- [22] 陈吉清, 翁楚滨, 兰凤崇, 等. 政策影响下的动力电池产业发展现状与趋势 [J]. 科技管理研究, 2019, 39(9): 148—157.
Chen J Q, Weng C B, Lan F C, et al. The development status and trend of power battery industry under the influence of policies [J]. Science and Technology Management Research, 2019, 39(9): 148—157.
- [23] 中华人民共和国工业和信息化部. 新能源汽车废旧动力电池综合利用行业规范条件(2019 年本) [EB/OL]. (2019-12-16)[2022-02-26]. <http://www.yzcity.gov.cn/jxw/0201/202001/2d77c55e2e8048fba86b87c2f6f90132/files/ffea8996d8bb48e59bfe72496525492d.pdf>.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Industry standard conditions for comprehensive utilization of waste power batteries for new energy vehicles (2019 Edition) [EB/OL]. (2019-12-16)[2022-02-26]. <http://www.yzcity.gov.cn/jxw/0201/202001/2d77c55e2e8048fba86b87c2f6f90132/files/ffea8996d8bb48e59bfe72496525492d.pdf>.