

钒资源现状与石煤钒矿提钒新工艺进展

瞿金为^{1,2,3}, 马娜¹, 胡月芳¹, 翁小影¹, 豆志河²

(1. 贺州学院广西碳酸钙资源综合利用重点实验室, 广西 贺州 542899; 2. 东北大学多金属共生矿生态化冶金教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110819; 3. 武汉科技大学国家环境保护矿冶资源利用与污染控制重点实验室, 湖北 武汉 430081)

摘要: 钒的主要赋存矿物有钒钛磁铁矿、石煤钒矿和钒铅矿等。目前石煤钒矿的提钒工艺主要是钠化焙烧-水浸和钙化焙烧-酸浸。钠化焙烧-水浸工艺的提钒率较低, 且在焙烧过程中产生大量有毒有害气体, 污染环境。钙化焙烧-酸浸工艺的过程中虽然没有产生废气, 但酸浸溶液中杂质很多, 影响了钒产品的质量。基于石煤钒矿提钒的必要性, 介绍了石煤钒矿提钒的新技术, 如: 二氧化锰氧化浸出石煤钒矿, 石煤钒矿焙烧浸出综合利用, 石煤钒矿硫酸低温熟化-柱浸提钒, 助浸剂强化浸出石煤钒矿, 石煤钒矿清洁焙烧提钒新工艺。讨论了新工艺的优缺点, 并提出了石煤钒矿提钒的一些建议。

关键词: 钒资源; 石煤钒矿; 提钒; 浸出率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.01.026

中图分类号: TD981 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2025) 01-0194-06

引用格式: 瞿金为, 马娜, 胡月芳, 等. 钒资源现状与石煤钒矿提钒新工艺进展[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(1): 194-199.

QU Jinwei, MA Na, HU Yuefang, et al. Current situation of vanadium resources and new process progress of vanadium extraction from the stone coal vanadium ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(1): 194-199.

金属钒具有非常多的物理化学性能, 其应用非常广泛, 可视为现代工业的“味精”。钒最初应用于钢铁, 通过细化钢的组织 and 晶粒, 提高钢的强度、韧性和耐磨性。后来, 由于钒在钛合金中的优异改良作用, 将其应用于航空航天领域, 使航空航天工业取得了突破性的发展。此外, 钒也广泛应用于化学、电池、颜料和医药等众多领域。随着全球钒制品需求的不断加大, 对含钒资源展开绿色高效的综合利用研究具有重大的意义^[1]。

钒的主要赋存矿物有钒钛磁铁矿、石煤钒矿

和钒铅矿等。我国石煤钒矿资源非常丰富, 主要分布在川北、陕南、鄂西北、豫西南和江南隆起周围的皖、浙、赣、鄂、湘、桂、黔等储量最为丰富。据不完全统计, 仅湘、鄂、桂、赣、浙、皖、黔、豫、陕 9 省的石煤储量就高达 618.8 亿 t, 其中湘、鄂、浙、赣、黔、皖、陕 7 省石煤中 V_2O_5 的储量近 1.18 亿 t (以 V_2O_5 0.3% 以上计算), 占我国 V_2O_5 总储量的 87%, 是钒钛磁铁矿中 V_2O_5 储量的 6.7 倍, 超过了国外钒储量的总和^[2-4]。

作为我国最具特色和优势的含钒资源, 石煤

收稿日期: 2022-04-07

基金项目: 广西科技计划项目 (桂科 AD23026079, 桂科 AD23023008); 贺州学院博士/教授科研启动基金项目 (2023BSQD06); 国家自然科学基金项目 (U1908225); 国家环境保护矿冶资源利用与污染控制重点实验室开放基金资助项目 (HB202202); 贺州市科学研究与技术开发项目 (贺科技 2024118); 2024 年度广西高等教育本科教学改革工程项目 (2024JGZ159)

作者简介: 瞿金为 (1987-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为湿法冶金与固废资源化利用。

通信作者: 马娜 (1985-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为固废资源化利用。

钒矿的开发利用对我国钒资源的保障和储备具有重要的意义。自 1960 年起，我国就已开始了对石煤钒矿提钒的研究，传统工艺一般有钠化焙烧-水浸提钒、钙化焙烧-酸浸提钒、氧化焙烧-酸浸和复盐焙烧-碱浸，这些工艺或多或少地存在钒回收率低、污染严重和能耗高的问题^[5-8]。以钠化焙烧-水浸提钒为例，石煤钒矿经钠化焙烧后，含钒相转化为易溶于水的钒酸钠，此工艺具有流程短、成本低、适应性强、设备简单和操作难度小等显著优点，但是在钠化焙烧过程中容易产生 Cl_2 、 HCl 和 SO_2 等有毒有害气体，以及含钠量高的尾渣和废水，导致后续污染治理难度非常大。随着我国对环境问题的不断重视，为了保证企业利润和环保要求，石煤钒矿提钒工艺必须及时更新换代，开发出适应时代潮流的先进工艺^[9-11]。

鉴于此，基于我国石煤钒矿的特点以及资源状况，针对传统石煤提钒工艺的不足，笔者对近年来石煤钒矿提钒工艺的新研究动向进行了梳理和分析，指出了下步研究或改进的方向，期望能进一步丰富我国石煤钒矿提钒行业的技术和理论基础。

1 钒资源现状

在自然界中，钒很难以单一体存在，主要与其他矿物形成共生矿或复合矿。目前发现的含钒矿物有 70 多种，但主要的矿物是钒钛磁铁矿（中国）、钾钒铀矿（美国）和石油伴生矿（巴西）^[12]。

1.1 全球钒资源储量及产量

根据 2021 年美国地质调查局（USGS）的不完全统计，2021 年全球钒资源量已超 6 300 万 t，全球钒储量约 2 400 万 t，主要分布在中国、南非和俄罗斯。中国蕴含 950 万 t 钒资源储量，占全球总量的 39.58%，居世界第一。目前国际市场上主要的钒供应国为中国、俄罗斯和南非。2021 年全球钒矿总产量 11 万 t，同比上涨 5 000 t。中国高踞首位，产量 7.3 万 t，占全球总量的 66.37%；其次为俄罗斯，以 1.9 万 t 产量，排名全球第二，占全球总量的 17.27%；第三位是南非，产量 0.9 万 t，占全球总量的 8.27%。表 1 为全球钒资源的矿山储量和近两年的产量。

1.2 中国钒资源储量及产量

中国钒资源很丰富，是全球钒资源储量最大

表 1 全球钒资源的矿山储量和产量
Table 1 Mine reserves and production of global vanadium resources

	矿山产量/t		矿山储量/kt
	2020年	2021年	
美国	17	-	45
澳大利亚	-	-	6 000
巴西	6 620	6 700	120
中国	70 000	73 000	9 500
俄罗斯	19 500	19 000	5 000
南非	8 580	9 100	3 500
总计	105 000	110 000	24 000

注：数据来源于美国地质调查局（USGS）。

国。我国钒资源广泛分布于 19 个省市（区），但主要集中在四川攀枝花地区和河北承德地区，尤其是攀枝花地区的钒资源最为丰富。我国钒矿资源主要有两种形式，即钒钛磁铁矿和石煤钒矿。最新勘查表明（中国矿产资源报告 2021），我国钒钛磁铁矿资源储量有 951.2 万 t。另外中国还拥有丰富的石煤钒资源，属于低品位的含钒资源，石煤钒矿的含钒量与世界非石煤钒矿资源总储量相当，含钒石煤主要分布在我国湖南、广西、湖北等省。石煤总储量 618.8 亿 t，其中已探明工业储量 39 亿 t，五氧化二钒含量大于 0.5% 的储量为 7 707.5 万 t。除我国外，世界上其他国家在工业上开采利用的尚不多见，因此石煤是我国的特色原料。在目前技术下， V_2O_5 品位达到 0.8% 以上的石煤才具有工业开采价值，约占石煤总储量的 20%~30%，其可开采储量大于钒钛磁铁矿，因此，以石煤为原料生产钒制品在我国具有良好的发展前景^[13-15]。

中国是世界上最主要的产钒大国。从产量上来看，我国钒制品产量大幅领先于其它国家，近两年来我国的钒矿产量占比全球的 66.37%。从 2007 年开始，我国已经成为世界第一产钒大国。2021 年我国钒产量为 7.3 万 t。

2 石煤钒矿成分及物相分析

2.1 石煤钒矿成分分析

表 2 为典型的石煤钒矿组分分析结果，由表 1 可知，石煤钒矿中的有价金属元素为 V、Al 和 Si 等。其中 V_2O_5 含量为 0.95%，含钒品位不高，仅高于工业经济边界品位 0.15%， Al_2O_3 和

表 2 石煤钒矿的主要化学成分/%

Table 2 Main chemical components of the stone coal vanadium ore

V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	C	CaO	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₂
0.95	8.28	60.23	13.42	4.67	2.15	1.56	6.62	0.87	0.45	0.55	0.25

SiO₂ 的含量分别为 6.28% 和 60.23%，碳质含量为 12.42%，CaO、MgO、K₂O 和 Fe₂O₃ 的含量分别为 3.67%、1.15%、1.56% 和 4.12%；此外，石煤钒矿中还含有少量的 Na、P、Ti 和 S 等。

2.2 石煤钒矿物相分析

白哲^[16]采用 XRD 和 BPMA（北矿院工艺矿物学自动分析系统）对石煤钒矿进行了物相的定性和定量分析，结果可知，石煤钒矿中主要物相为石英、含钒白云母-绢云母和碳质，其含量分别为 44.75%、15.77% 和 12.50%，其他物相分别为 7.02% 的白云石、6.13% 的长石、5%~7% 的电气石和 3%~4% 的褐铁矿。此外，还有少量的重晶石、钾长石和钛铁矿存在。可见石煤钒矿是一种以云母等硅酸盐相为主的复杂矿物。

由白哲的研究结果可知，石煤钒矿中钒的赋存状态较为复杂，主要赋存在含钒云母中，总分布率为 68.58%，其次分布于褐铁矿和电气石中，分布率分别为 13.33% 和 16.19%，另外还有少量钒赋存于针铁矿中。石煤钒矿中的钒主要以 V³⁺ 为主，含量为 82.88%，少量以 V⁴⁺ 存在，含量为 12.30%，V⁵⁺ 的含量仅占 4.82%。

3 石煤钒矿提钒新工艺进展

3.1 二氧化锰氧化浸出石煤钒矿

李丽洁^[17]以张家界石煤钒矿为原料，添加二氧化锰氧化酸浸提钒。此工艺探讨了 MnO₂ 添加量、液固比、硫酸用量、浸出温度和浸出时间等因素对提钒率的影响。其研究结果表明，当 MnO₂ 添加量为 3%，液固比为 0.8:1，硫酸用量为 35%，浸出温度为 95 °C 和浸出时间为 10 h 时，钒的浸出率可达到 94.17%。

此工艺的优点是石煤钒矿不需要焙烧，直接氧化酸浸，不会产生有毒有害气体，工艺流程简单，提钒率高，适应性强，节能清洁。缺点是酸耗量巨大，沉钒后酸性废水量巨大，仍需进一步处理。此外，添加剂 MnO₂ 每吨的价格为 3 500 元，增加了生产成本。因此，此工艺应用于工业生产仍存在一定的距离，需要改进及优化。

3.2 石煤钒矿焙烧浸出综合利用

史政良^[18]针对甘肃某石煤钒矿焙烧灰渣进行了综合利用研究。此工艺主要有中和酸浸、还原预处理、铝钒共沉和钒液富集等工序，分离回收了铝、铁和钒等有价值金属，并制备了工业应用产品高分子比冰晶石和氧化铁红工业颜料。此外，还对整个工艺流程产生的废水和废渣进行了综合治理。其研究结果表明：焙烧灰渣中 Fe、Al、V 的浸出率分别为 90.25%、89.04%、95.78%；酸浸液经还原预处理生成铝钒共存物，铝实现了完全沉淀，钒的沉淀率为 98% 以上；铝钒共存物经过碱浸后，铝和钒的浸出率均大于 98%；随后碱溶液中沉铝，铝完全沉淀，钒的损耗率为 2%~3%。最后采用了弱碱性偏钒酸铵沉钒法，得到钒的沉淀率为 99.41%，NH₄VO₃ 经烘干后产品纯度为 95.66%，V₂O₅ 的纯度为 95.13%。

此工艺综合利用了石煤钒矿，提取了有价值元素 V、Fe 和 Al，并分别制备成了冰晶石、氧化铁红和五氧化二钒产品。但是其工艺流程工序繁多，酸耗和碱耗巨大，后续的废水处理量巨大。此外，制得的 V₂O₅ 纯度不够，仍需除杂。

3.3 石煤钒矿硫酸低温熟化-柱浸提钒

王明^[19]针对 V₂O₅ 含量为 0.87% 的石煤钒矿采用硫酸熟化-柱浸技术提取其中的钒，实验考查了矿石粒度、熟化和浸出工艺参数对提钒率的影响。其研究结果表明，当石煤钒矿粒度小于 12 mm、熟化硫酸用量为 20%、熟化补水量为 6%、熟化温度为 125 °C、熟化时间为 4 h、柱浸液速率为 0.25 mL/(h·g 原矿) 和喷淋时间为 24 h 时，浸出渣中 V₂O₅ 含量可降至 0.15%，钒的浸出率可达 83.5%，此外，柱浸液中 Fe、Al₂O₃ 和 K₂O 等杂质未出现明显累积。

此工艺与常规搅拌浸出工艺相比，降低了硫酸用量，并且避免了浸出过程中的冒槽，同时也减轻了浸出料浆的固液负荷。但是此工艺的提钒率不高，耗水量巨大，导致浸出液中钒浓度偏低，沉钒工序处理量增大。另外对设备和场地的要求也很高，应用于工业化存在一定的局限性。

3.4 助浸剂强化浸出石煤钒矿

李崇^[20]采用助浸剂强化浸出石煤钒矿,实验选取了不同的助浸剂强化浸出石煤钒矿,确定较优助浸剂后,考查了浸出温度、浸出时间、硫酸浓度和助浸剂添加量对提钒率的影响;同时也通过正交实验确定各因素对提钒率影响的主次顺序,得到了助浸剂强化浸出的最优方案。其研究结果表明,对提钒率影响大小的主次顺序为:助浸剂 NaF 添加量>浸出温度>硫酸浓度>浸出时间;当浸出温度为 90 ℃、浸出时间为 75 min、硫酸浓度为 20% 和助浸剂 NaF 添加量为 1.5% 时,钒的浸出率高达 92.26%。

此工艺的浸出机理是助浸剂 NaF 加入后生成的 HF 对矿石颗粒产生不同程度的破坏,且随着添加量增加,破坏越明显,钒的浸出率越高,与传统工艺直接酸浸相比,钒的浸出率提高了约 40%。其缺点是酸浸时加入的 NaF 会引入有毒有害氟离子,这在后续浸出液的净化、除杂和排毒提出了要求,因此,寻找一种新型无毒无害的助浸剂迫切需要。

3.5 石煤钒矿清洁焙烧提钒

高峰^[21]以石煤为原料,钠沸石、碳酸钠为复合添加剂,采用焙烧技术提取石煤中的钒。实验考查了复合添加剂钠沸石和碳酸钠的添加量、焙烧温度、焙烧时间、浸出温度、浸出时间和硫酸用量等焙烧和浸出工艺参数对提钒率的影响,并进行了平行实验。其研究结果表明:当钠沸石添加量为 7%、碳酸钠添加量为 9%、焙烧温度为 750 ℃、焙烧时间为 4 h、浸出温度为 60 ℃、浸出时间为 4 h 和硫酸用量为 3% 时,钒的浸出率可达到 92.59%。

此工艺的焙烧采用的钠沸石是一种多孔性硅酸盐,孔隙中有一定量的空气,在沸石与石煤钒矿混合焙烧时,空气逸出,有利于钒的氧化,从而提高钒的浸出。碳酸钠在焙烧过程中分解出的 CO₂ 会让焙烧物料变得膨松,促进钒的氧化。新工艺钒的浸出率超过 90%,而且在焙烧过程中不会产生有毒气体,从而达到清洁高效提钒的目的。缺点是焙烧过程仍需要大量的能源,且焙烧时间和浸出时间都过长,增加回收钒的成本和周期。

4 结 论

(1) 石煤钒矿作为直接提钒的原料,目前国

内外提钒工艺主要为钠化焙烧-水浸提钒和钙化焙烧-酸浸提钒,由于其对环境的影响,迫切需要一种新的工艺代替或对原有工艺加以改进和优化。

(2) 二氧化锰氧化浸出石煤钒矿的优点是不需要焙烧,直接氧化酸浸,不会产生有毒有害气体,工艺流程简单,提钒率高,适应性强,节能清洁。缺点是酸耗量巨大,沉钒后酸性废水量巨大,仍需进一步处理。

(3) 石煤钒矿焙烧浸出提取了有价值元素 V、Fe 和 Al,并分别制备成了冰晶石、氧化铁红和五氧化二钒产品。但是其工艺流程工序繁多,酸耗和碱耗巨大,后续的废水处理量巨大。此外,制得的 V₂O₅ 纯度不够,仍需除杂。

(4) 石煤钒矿硫酸低温熟化-柱浸提钒工艺降低了硫酸用量,避免了浸出过程中的冒槽,同时也减轻了浸出料浆的固液负荷。但是此工艺的提钒率不高,耗水量巨大,导致浸出液中钒浓度偏低,沉钒工序处理量增大。

(5) 助浸剂强化浸出石煤钒矿的提钒率高达 92.26%,与传统工艺直接酸浸相比,钒的浸出率提高了约 40%。其缺点是酸浸时加入的 NaF 会引入有毒有害氟离子,这对后续浸出液的净化、除杂和排毒提出了要求。

(6) 石煤钒矿清洁焙烧的提钒率超过 90%,在焙烧过程中不会产生有毒气体,从而达到清洁高效提钒的目的。缺点是焙烧过程仍需要大量的能源,且焙烧时间和浸出时间都过长,增加回收钒的成本和周期。

目前,石煤钒矿的提钒工艺仍存在许多问题,如能耗、成本和环境污染等问题。因此,石煤钒矿的提钒新技术仍需进一步的提高。综合来说,无论石煤钒矿是否需要预处理,如破碎球磨、氧化焙烧和浸出,最终的目的是提钒和沉钒,此外,浸出渣的回收利用也是一项亟待解决的难题。综合多种石煤提钒新工艺,应该发挥各技术的优点,避免缺点,更进一步的优化工艺,使得石煤钒矿得以真正的综合利用。

参考文献:

- [1] 瞿金为,张延安,牛丽萍,等. 转炉钒渣的综合利用技术进展[J]. [钢铁钒钛](#), 2020, 41(5):1-7.
QU J W, ZHANG T A, NIU L P, et al. Technology progress in comprehensive utilization of converter vanadium slag[J]. [Iron](#)

Steel Vanadium Titanium, 2020, 41(5):1-7.

[2] 戴子林, 张恩普. 从石煤钒矿中浸钒技术的研究现状 [J]. 矿冶工程, 2015, 35(6): 85-88.

DAI Z L, ZHANG E P. Technical status of leaching vanadium from stone coal vanadium ore [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2020, 41(5): 1-7.

[3] 陈庆根. 石煤钒矿提钒工艺技术的研究进展 [J]. *矿产综合利用*, 2009(2):30-34.

CHEN Q G. The research progress in extracting technologies of vanadium from stone coal vanadium ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2009(2):30-34.

[4] 黄祖率, 陈涛, 林翰志, 等. 石煤全湿法酸浸钒回收工艺研究进展 [J]. 稀有金属与硬质合金, 2020, 48(3):11-17.

HUANG Z L, CHEN T, LIN H Z, et al. Research progress in vanadium recovery by hydrometallurgical acid leaching from stone coal[J]. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 2020, 48(3):11-17.

[5] 胡艺博, 叶国华, 王恒, 等. 钒市场分析 with 石煤提钒工艺进展 [J]. *钢铁钒钛*, 2019, 40(2):31-40.

HU Y B, YE G H, WANG H, et al. Market analysis of vanadium and progress on technologies of vanadium extraction from stone coal[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2019, 40(2):31-40.

[6] 刘月菊, 孟昭阳, 阎成友. 无盐焙烧-稀酸浸出提钒工艺研究 [J]. 化工管理, 2022(5):138-140.

LIU Y J, MENG Z Y, YAN C Y. Study on the vanadium extraction process of salt-free roasting-dilute acid extraction[J]. *Chemical Enterprise Management*, 2022(5):138-140.

[7] 叶国华, 朱思琴, 陈子杨, 等. 石煤钒矿的选矿预富集研究评述 [J]. 稀有金属, 2022, 46(1):120-130.

YE G H, ZHU S Q, CHEN Z Y, et al. A research review on beneficiation pre-concentration of vanadium-bearing stone coal[J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 2022, 46(1):120-130.

[8] 王浩, 卢明亮, 万贺利. 提钒工艺研究现状及进展 [J]. 河北冶金, 2021(12):6-9,28.

WANG H, LU M L, WAN H L. Research status and progress of vanadium extraction process[J]. *Hebei Metallurgy*, 2021(12):6-9,28.

[9] 韩诗华, 张一敏, 包申旭, 等. 湖北某高钙低品位含钒石煤钠化焙烧研究 [J]. *金属矿山*, 2012(9):83-86.

HAN S H, ZHANG Y M, BAO S X, et al. Sodium roast and extraction of vanadium from low grade stone coal with high calcium from hubei[J]. *Metal Mine*, 2012(9):83-86.

[10] 肖彩霞. 石煤钠化焙烧提钒新工艺研究 [D]. 长沙: 中南

大学, 2011.

XIAO C X. A new technology of extracting vanadium from stone coal by sodium roasting [D]. Changsha: Central South University, 2011.

[11] 别舒, 王兆军, 李清海, 等. 石煤提钒钠化焙烧与钙化焙烧工艺研究 [J]. *稀有金属*, 2010, 34(2):291-297.

BIE S, WANG Z J, LI Q H, et al. Review of vanadium extraction from stone coal by roasting technique with sodium chloride and calcium oxide[J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 2010, 34(2):291-297.

[12] 彭科波, 高利坤, 饶兵, 等. 钒资源现状及有机磷类萃取剂萃钒的研究进展 [J]. 工程科学学报, 2021, 43(5):603-611.

PENG K B, GAO L K, RAO B, et al. Current status of vanadium resources and research progress on vanadium extraction with organic phosphorus extractants[J]. *Chinese Journal of Engineering*, 2021, 43(5):603-611.

[13] 赵海燕. 钒资源利用概况及我国钒市场需求分析 [J]. 矿产保护与利用, 2014(2):54-58.

ZHAO H Y. Analysis of vanadium resources utilization and demand for vanadium in China[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2014(2):54-58.

[14] 吴起鑫, 王建平, 车东, 等. 中国钒资源现状及可持续发展建议 [J]. 资源与产业, 2016, 18(3):29-33.

WU Q X, WANG J P, CHE D, et al. Situation analysis and sustainable development suggestions of vanadium resources in China[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(3):29-33.

[15] 贺令邦, 杨绍祥. 湘西地区钾、镁、钒矿资源特点及开发利用现状 [J]. *矿产综合利用*, 2021(2):125-131.

HE L B, YANG S X. Characteristic of potassium, magnesium, and vanadium resources in western Hunan and their development and utilization status[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(2):125-131.

[16] 白哲, 韩跃新, 靳建平, 等. 敦煌平台山石煤钒矿工艺矿物学研究 [J]. *金属矿山*, 2021(8):109-115.

BAI Z, HAN Y X, JIN J P, et al. Process mineralogy study of Pingtaishan vanadium-containing stone coal ore in Dunhuang[J]. *Metal Mine*, 2021(8):109-115.

[17] 李丽洁, 石美莲, 华骏, 等. 二氧化锰氧化浸出石煤钒矿动力学研究 [J]. 稀有金属与硬质合金, 2020, 48(6):24-29.

LI L J, SHI M L, HUA J, et al. Research on kinetics of oxidation leaching of stone coal vanadium ore by manganese dioxide[J]. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 2020, 48(6):24-29.

[18] 史政良, 严海军, 周玉娟. 甘肃某石煤钒矿焙烧灰渣综合

利用工艺研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(3):158-163.

SHI Z L, YAN H J, ZHOU Y J. Study on comprehensive utilization technology of sulphate roasting ash and slag of vanadium ore from stone coal in Gansu Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(3):158-163.

[19] 王明, 程倩, 齐建云, 等. 石煤钒矿硫酸低温熟化-柱浸提钒工艺[J]. *矿冶*, 2020, 29(3):62-67.

WANG M, CHEN Q, QI J Y, et al. Process of vanadium extraction from stone coal vanadium ore by sulfuric acid low temperature curing and column leaching[J]. *Mining and*

Metallurgy, 2020, 29(3):62-67.

[20] 李崇. 助浸剂强化浸出低品位石煤钒矿的实验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.

LI C. Research on enhanced leaching of low grade vanadium-bearing stone coal by additive [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2021.

[21] 高峰, 华骏, 颜文斌, 等. 石煤清洁焙烧提钒工艺[J]. *有色金属工程*, 2020, 10(5):44-48.

GAO F, HUA J, YAN W B, et al. Clean-roasting technology of extracting vanadium from stone coal[J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 2020, 10(5):44-48.

Current Situation of Vanadium Resources and New Process Progress of Vanadium Extraction from the Stone Coal Vanadium Ore

QU Jinwei^{1,2,3}, MA Na¹, HU Yuefang¹, WENG Xiaoying¹, DOU Zhihe²

(1.Guangxi Key Laboratory of Calcium Carbonate Resources Comprehensive Utilization, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China; 2.Key Laboratory for Ecological Utilization of Multimetallic Mineral, Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China; 3.State Environmental Protection Key Laboratory of Mineral Metallurgical Resources Utilization and Pollution Control, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China)

Abstract: The main occurrence minerals of vanadium include vanadium titanomagnetite, stone coal vanadium and vanadium lead ores. At present, the vanadium extraction processes of stone coal vanadium ore are mainly sodium roasting-water leaching and calcification roasting-acid leaching. The vanadium extraction rate of sodium roasting-water leaching process is low, and a large number of toxic and harmful gases are produced in the roasting process, which pollutes the environment. Although no waste gas is produced in the process of calcification roasting-acid leaching, there are many impurities in the acid leaching solution, which affects the quality of vanadium products. Based on the necessity of extracting vanadium from the stone coal vanadium ore, the latest technologies of extracting vanadium from stone coal vanadium ore are introduced, such as manganese dioxide oxidation leaching of stone coal vanadium ore, roasting leaching and comprehensive utilization of the stone coal vanadium ore, extraction of vanadium from the stone coal vanadium ore by sulfuric acid low temperature curing and column leaching, enhanced leaching of the stone coal vanadium ore by additive, new technology of vanadium extraction from stone coal vanadium ore by clean roasting. The advantages and disadvantages of the new process are discussed, and some suggestions for extracting vanadium from the stone coal vanadium ore are put forward to.

Keywords: Vanadium resources; Stone coal vanadium ore; Vanadium extraction; Leaching rate