

ICS 77.140.01  
CCS H 30

# 团 体 标 准

T/CIECCPA 130—2026

## 钒资源提制氧化钒清洁生产技术规范

Technical regulations for vanadium oxide clean production from vanadium  
resources

2026 - 02 - 09 发布

2026 - 02 - 13 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CLECCRA

目 次

前 言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 总体要求 ..... 2

5 清洁生产工艺与技术要求 ..... 2

6 生态环境保护与综合利用要求 ..... 10

7 安全与管理要求 ..... 10

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：武汉科技大学、承德钒钛新材料有限公司、江西江钒科技实业有限公司、湖南山峰钒业有限公司、攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司、陕西五洲矿业股份有限公司、攀枝花学院、攀枝花仁通钒业科技有限公司、湖北美盛矿业有限公司、北京绿碳循环信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：张一敏、薛楠楠、王宝华、熊利斌、郭定军、郝文彬、祁健、张伟峰、汪劲鹏、饶玉忠、马兰、杨绍利、陈守均、邓向辉、陈农、林栋、刘涛、黄晶、胡鹏程、杨丽丽、吴恩辉、李俊翰、蒋志强、张文婷、梁晓苏、李成功。

# 钒资源提制氧化钒清洁生产技术规范

## 1 范围

本文件规定了钒资源提制氧化钒清洁生产技术要求、清洁生产工艺与技术要求、生态环境保护与综合利用要求、安全与管理要求。

本文件适用于钒资源提制氧化钒清洁生产的工程设计和工艺过程控制。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5083 生产设备安全卫生设计总则  
GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别  
GB 6566 建筑材料放射性核素限量  
GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准  
GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准  
GB 12801 生产过程安全卫生要求总则  
GB 26452 钒工业污染物排放标准  
GB 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则  
GB 33000 大中型企业安全生产标准化管理体系要求  
GB 39800 个体防护装备配备规范  
GB 41012 含有色金属固体废物回收利用技术规范  
GB 42346 钒钛磁铁矿综合利用 术语和定义  
YB/T 008 钒渣  
YB/T 5304 五氧化二钒  
HJ 2025 危险废物收集 贮存 运输技术规范  
国家危险废物名录

## 3 术语和定义

GB/T 42346界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**总钒回收率** total vanadium recovery

提钒工艺产出的最终产品中的钒元素质量占投入原料中的钒元素质量的百分比。

### 3.2

**钒转化率** vanadium conversion rate

在一定的反应条件下，参与反应的原料中钒元素转化为目标产物的质量百分比。

### 3.3

**钒页岩** vanadium shale

一种含有金属元素钒、 $V_2O_5$ 含量 $\geq 0.8\%$ 的页岩矿石。

### 3.4

**钒渣 vanadium slag**

含钒铁水在钢铁冶炼过程中经氧化吹脱得到的 $V_2O_5$ 含量 $\geq 10\%$ 的富钒渣原料。

**3.5**

**沉钒 vanadium precipitation**

在特定条件下，将溶液中的钒转化为可沉淀的形态，将其从溶液中分离出来，得到含钒沉淀物的方法。

**3.6**

**液相氧化 liquid phase oxidation**

在亚熔盐介质中，利用氧气或活性氧将钒渣中的钒元素转化为可溶性钒酸钠的方法。

**3.7**

**氧化钒 vanadium oxide**

化学式为 $V_2O_5$ 且 $V_2O_5$ 纯度不低于98%的一种呈橙黄色、砖红色、红棕色或灰黑色的金属氧化物。

**3.8**

**提钒尾渣 vanadium extraction tailings**

从含钒原料中分离钒元素后产生的固体废渣。

**4 总体要求**

4.1 钒资源提制氧化钒企业应根据钒资源类型，采用短程高效、环境友好的先进提取技术，不得使用国家已经明令禁止淘汰的落后工艺。

4.2 以钒页岩提制氧化钒，总钒回收率应不低于80%，新建工程氧化钒年生产能力应达到3000吨以上，同时禁止使用NaCl作为焙烧添加剂，不得采用硫酸熟化工艺。

4.3 钒资源提制氧化钒清洁生产过程应选择高效节能装备，减少碳排放，保证工艺生产效率。

4.4 提钒尾渣应依照GB/T 41012、HJ 2025等标准规范回收利用或作进一步无害化处置。

4.5 提钒工艺产生的废水废气的排放、检验等应符合GB 26452等标准规范的要求。

4.6 氧化钒产品的规格质量，以及检测、包装、标志、储存、运输和质量说明书均应符合YB/T 5304等标准规范要求。

**5 清洁生产工艺与技术要求**

**5.1 钒页岩提钒工艺**

**5.1.1 钒页岩直接水浸-离子交换提钒工艺**

**5.1.1.1 工艺流程**

钒页岩原矿破碎后，按照一定配比加水混合磨矿，所得浆料泵入浸出罐中进行浸出，经固液分离得到浸出液和提钒尾渣。采用离子交换树脂对浸出液进行净化富集得到解吸液，向解吸液中加入铵盐进行沉钒，沉钒产物经洗涤、煅烧制得氧化钒产品。吸附后液和沉钒母液经中和处理后可返回磨矿和固液分离等作业循环使用。工艺流程见图1，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。

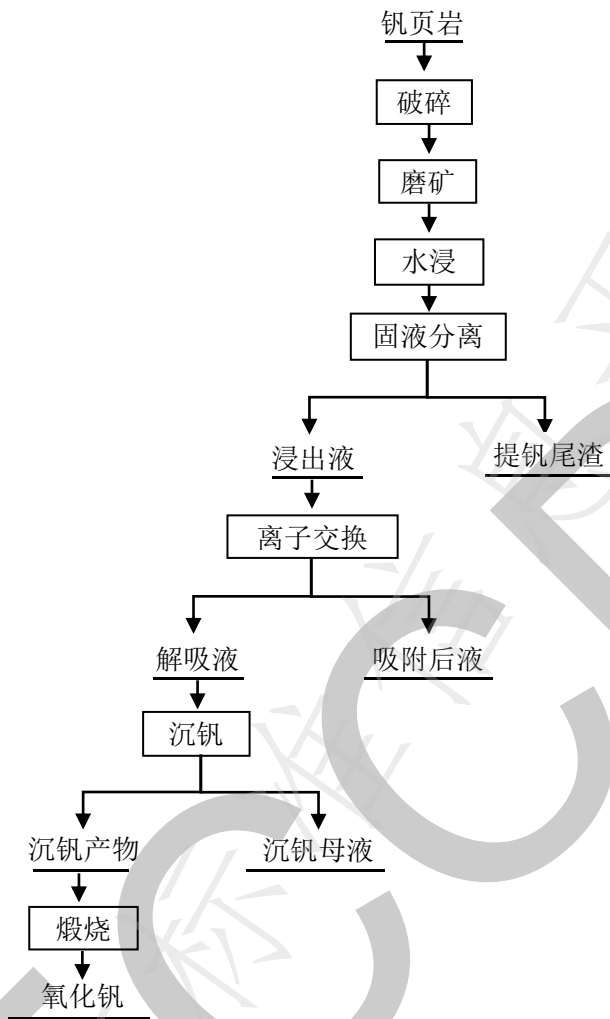


图1 钽页岩直接水浸-离子交换提钽工艺流程示意图

5.1.1.2 技术要求

- 5.1.1.2.1 该工艺适用于氧化型钽页岩，矿石中吸附态钽含量占总钽量的85%以上。
- 5.1.1.2.2 水浸温度宜为25~80℃，入料粒度-0.074mm占30~50%，钽浸出率应不低于90%。
- 5.1.1.2.3 离子交换时，钽吸附率应不低于97%，钽解吸率不低于99%。
- 5.1.1.2.4 沉钽方式宜选择弱碱性铵盐沉钽，沉钽率应不低于98%。
- 5.1.1.2.5 该工艺的总钽回收率应不低于85%。

5.1.2 钽页岩直接酸浸提钽工艺

5.1.2.1 工艺流程

钽页岩原矿破碎后，按照一定配比加入助浸剂和水混合磨矿，浆料达到适宜粒度后泵入浸出罐，加浸出剂进行多级搅拌浸出，经固液分离得到浸出液和提钽尾渣。采用萃取剂对浸出液进行净化富集得到富钽液，向富钽液中加入铵盐进行沉钽，沉钽产物经洗涤、煅烧制得氧化钽产品。提钽尾渣经中和稳定化后可进行综合利用，萃余液和沉钽母液返回浸出和固液分离等作业循环使用。工艺流程见图2，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。

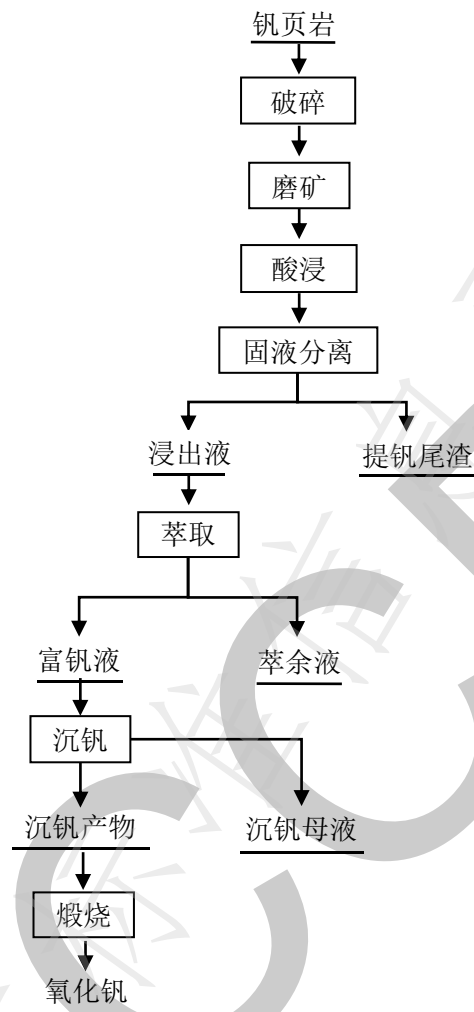


图2 钒页岩直接酸浸提钒工艺流程示意图

#### 5.1.2.2 技术要求

- 5.1.2.2.1 该工艺适用于混合型钒页岩，矿石中吸附态钒含量占总钒量的30~50%。
- 5.1.2.2.2 钒浸出率应不低于85%。
- 5.1.2.2.3 浸出方式可采用常压浸出或加压浸出，浸出剂宜为稀硫酸，浸出级数宜3~10级。
- 5.1.2.2.4 萃取初始pH值宜控制在1.8~2.0，钒萃取率应不低于99%。
- 5.1.2.2.5 沉钒率应不低于98%。
- 5.1.2.2.6 该工艺的总钒回收率应不低于85%。

#### 5.1.3 钒页岩空白焙烧-酸浸提钒工艺

##### 5.1.3.1 工艺流程

钒页岩原矿破碎后直接进工业窑炉进行焙烧，所得焙烧熟料按照一定配比加水 and 助浸剂混合磨矿，浆料达到适宜粒度后泵入浸出罐，加浸出剂进行多级搅拌浸出，经固液分离得到浸出液和提钒尾渣。采用萃取剂对浸出液进行净化富集后得到富钒液，向富钒液中加入铵盐进行沉钒，沉钒产物经洗涤、煅烧后得到氧化钒产品。提钒尾渣经中和稳定化后可进行综合利用，萃余液和沉钒母液返回浸出和固液分离等作业循环使用。工艺流程图见图3，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。



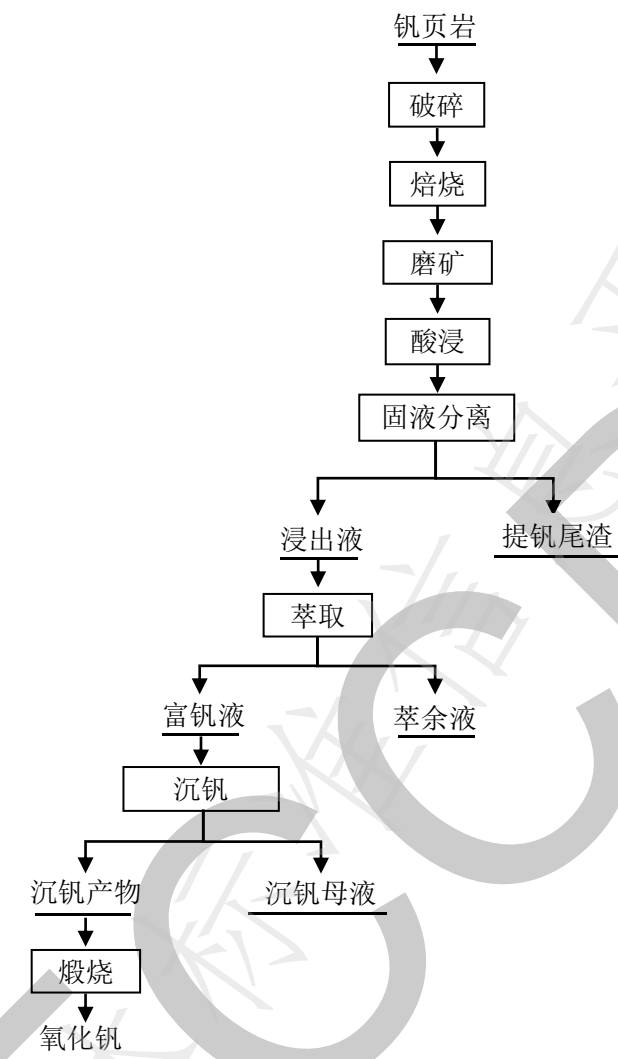


图3 钒页岩空白焙烧-酸浸提钒工艺流程示意图

5.1.3.2 技术要求

- 5.1.3.2.1 该工艺适用于原生型钒页岩，矿石中吸附态钒含量占总钒量的30%以下。
- 5.1.3.2.2 工业窑炉应选择回转窑、沸腾炉等高效节能装备，焙烧温度宜为750~900℃。
- 5.1.3.2.3 其他作业要求同5.1.2.2.2~5.1.2.2.6。

5.1.4 钒页岩钙法焙烧-酸浸提钒工艺

5.1.4.1 工艺流程

钒页岩原矿破碎后，按照一定配比与钙盐添加剂混合，投入工业窑进行焙烧，所得焙烧熟料按照一定配比加水混合磨矿，浆料直接泵入浸出罐，加酸浸出，经固液分离得到浸出液和提钒尾渣。采用萃取剂对浸出液进行净化富集后得到富钒液，向富钒液中加入铵盐进行沉钒，沉钒产物经煅烧后得到氧化钒产品。提钒尾渣经中和稳定化后可进行综合利用，萃余液和沉钒母液返回浸出和固液分离等作业循环使用。工艺流程图见图4，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。

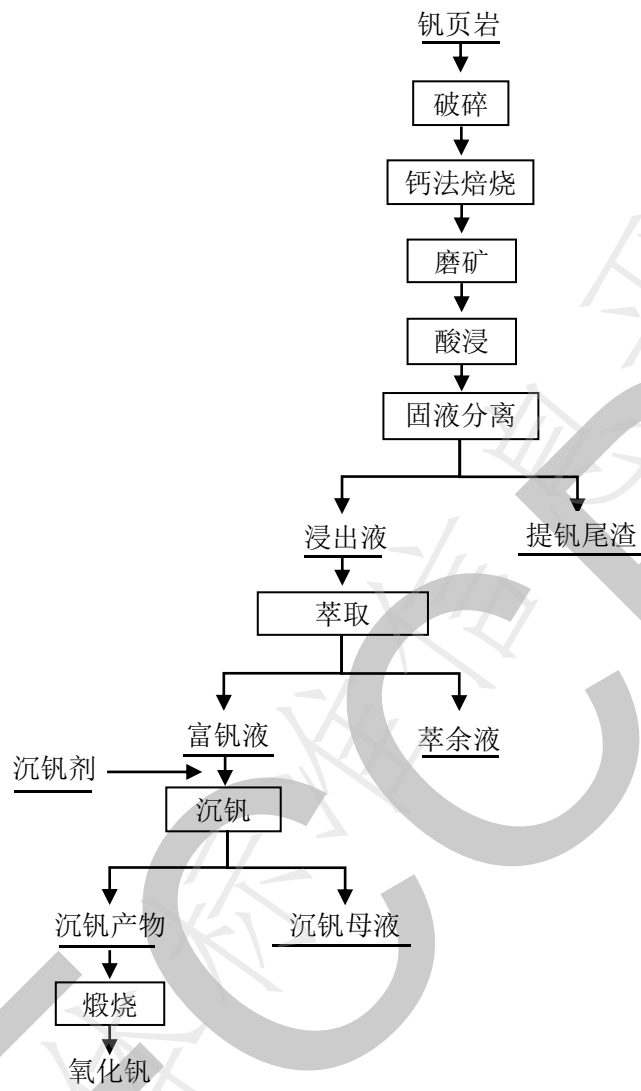


图4 钽页岩钙法焙烧-酸浸提钽工艺流程示意图

#### 5.1.4.2 技术要求

- 5.1.4.2.1 该工艺适用于高钙型钽页岩，矿石中CaO含量大于10%。
- 5.1.4.2.2 工业窑宜选择回转窑，焙烧温度宜为850~950℃，焙烧添加剂宜为氧化钙或碳酸钙。
- 5.1.4.2.3 钙法焙烧时，钽转化率应不低于85%。
- 5.1.4.2.4 钽浸出率应不低于98%。
- 5.1.4.2.5 其他作业要求同5.1.2.2.3~5.1.2.2.6。

#### 5.2 钽渣提钽工艺

##### 5.2.1 钽渣钠化焙烧-水浸提钽工艺

##### 5.2.1.1 工艺流程

钽渣破碎后，与钠盐添加剂混合进行焙烧，焙烧后进行磨矿、水浸，浸出浆料经固液分离得到浸出液和提钽尾渣。采用化学沉淀对浸出液进行脱硅，经离心分离后得到净化液和除杂钽泥，除杂钽泥返回前序水浸作业。净化液主要含有钽、铬等有价值元素，可直接向净化液中加入铵盐进行沉钽，沉钽产物经

煅烧后得到氧化钒产品，沉钒母液回收铬元素。提钒尾渣进一步提取其他有价元素。工艺流程见图5，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。

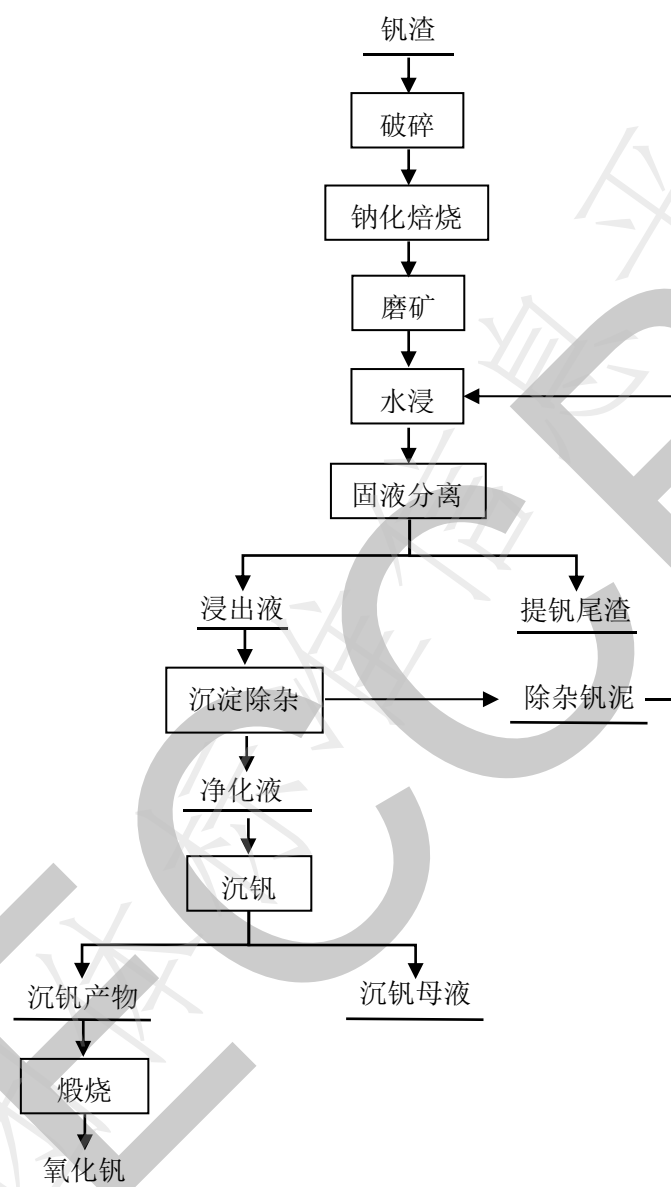


图4 钒渣钠化焙烧-水浸提钒工艺流程示意图

#### 5.2.1.2 技术要求

- 5.2.1.2.1 焙烧设备宜选择多膛炉，焙烧烟气经不少于2级吸收塔吸收。
- 5.2.1.2.2 焙烧添加剂宜为碳酸钠，添加剂用量不高于5wt.%，钒转价率应不低于85%。
- 5.2.1.2.3 水浸液固比宜为1.0~4.0 m<sup>3</sup>/t，钒浸出率应不低于98%。
- 5.2.1.2.4 沉淀除杂时钒损失率应不高于8%。
- 5.2.1.2.5 该工艺的总钒回收率应不低于75%。
- 5.2.1.2.6 沉钒母液和提钒尾渣应进一步回收Cr、Fe、V等有价元素。

#### 5.2.2 钒渣钙化焙烧-酸浸提钒工艺

##### 5.2.2.1 工艺流程

钒渣破碎后，与钙盐添加剂混合进行焙烧，焙烧熟料磨矿后，加酸浸出，经固液分离得到浸出液和提钒尾渣。采用化学沉淀对浸出液进行除杂，经离心分离后得到净化液和除杂钒泥，向净化液中加入铵盐进行沉钒，过滤后沉钒产物经煅烧得到氧化钒产品，沉钒母液回收锰、铬元素后返回前序过滤洗涤作业。除杂钒泥可返回前序固液分离作业，提钒尾渣经中和稳定化后进行综合利用。工艺流程见图6，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。

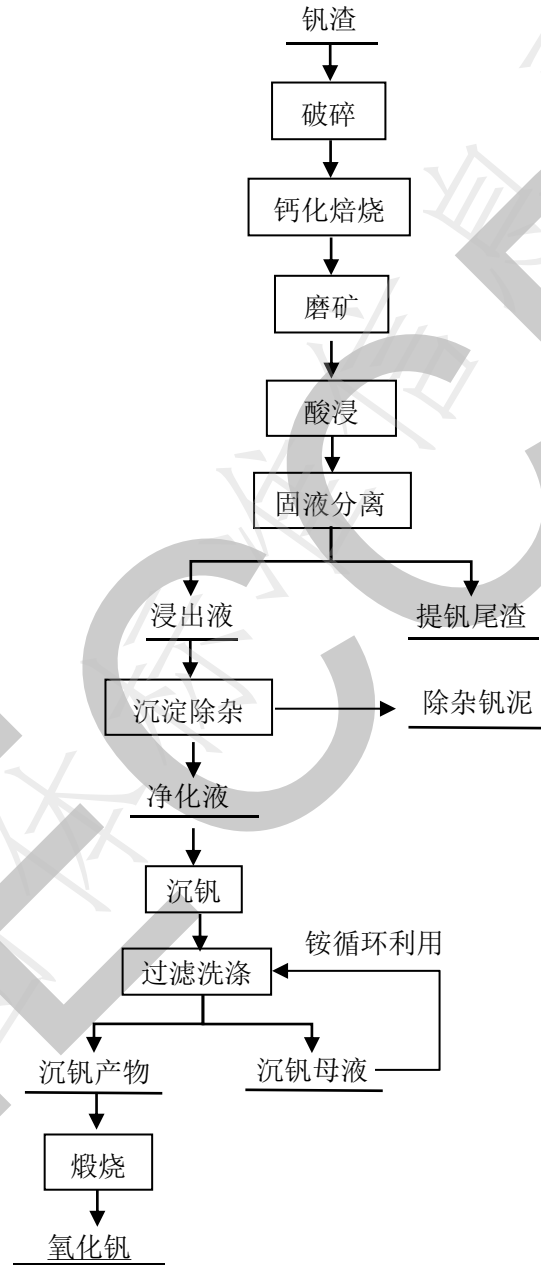


图5 钒渣钙化焙烧-酸浸提钒工艺流程示意图

5.2.2.2 技术要求

- 5.2.2.2.1 焙烧设备宜选择回转窑，焙烧烟气经不少于2级吸收塔吸收。
- 5.2.2.2.2 焙烧添加剂宜为氧化钙或碳酸钙，钙钒摩尔比不高于2.0，钒转价率应大于88%。
- 5.2.2.2.3 浸出方式可采用常压浸出或加压浸出，浸出剂宜为稀硫酸，液固比宜为1.5~5.0 m<sup>3</sup>/t。

5.2.2.2.4 钒浸出率应不低于97%。

5.2.2.2.5 沉淀除杂时钒损失率应少于5%。

5.2.2.2.6 该工艺的总钒回收率应不低于75%。

5.2.2.2.7 沉钒母液应进一步回收Cr、Mn等有价值元素后再循环利用。

### 5.2.3 钒渣亚熔盐法提钒工艺

#### 5.2.3.1 工艺流程

钒渣破碎、磨矿后，与碱介质混合并通入氧气，在一定温度和压力下进行液相氧化，反应后加水稀释，再经固液分离后得到滤液和提钒尾渣。对滤液采用冷却结晶得到钒酸盐和钒后液，钒酸盐依次经钙化转溶、铵化转溶、冷却结晶、煅烧后得到氧化钒产品，对钒后液采用三效蒸发结晶得到铬酸盐和铬后液。提钒尾渣经中和稳定化后可进行综合利用，铬后液返回液相氧化作业。工艺流程见图7，具体工艺及参数可根据矿石性质和实际生产情况调整。

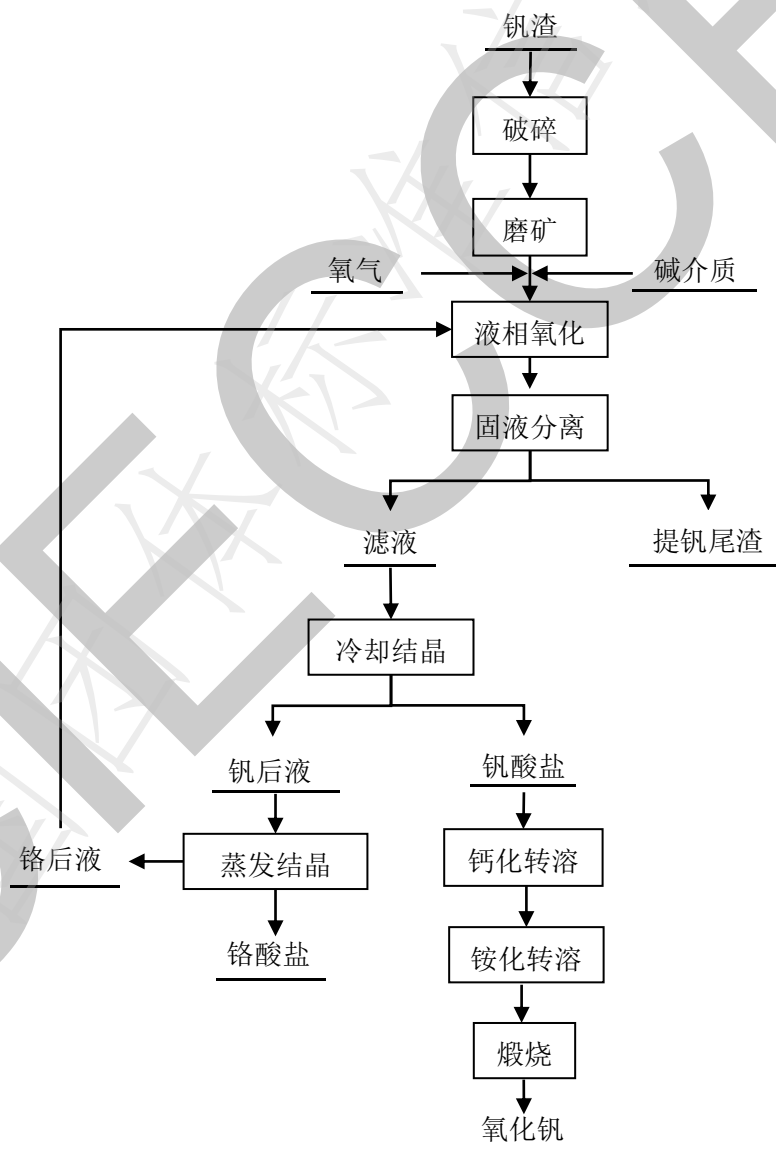


图6 钒渣亚熔盐法提钒工艺流程示意图

### 5.2.3.2 技术要求

- 5.2.3.2.1 液相氧化设备应选择耐腐蚀加压反应釜，碱介质宜为NaOH或KOH。
- 5.2.3.2.2 液相氧化时滤液中碱浓度应不高于300 g/L，钒转化率应不低于95%。
- 5.2.3.2.3 冷却结晶时钒结晶率应 $\geq 85\%$ ，降温速度宜为0.5~1°C/min
- 5.2.3.2.4 钙化转溶时钒转化率应不低于98%。
- 5.2.3.2.5 铵化转溶时钒转化率应不低于98%。
- 5.2.3.2.6 该工艺的总钒回收率应不低于85%。

## 6 生态环境保护与综合利用要求

- 6.1 生产企业应对提钒过程产生的废水开展预处理。废水预处理后应优先循环利用，返回提钒工艺系统，废水的循环利用率不低于95%。废水的排放指标应符合GB 26452的有关规定。
- 6.2 提钒过程产生的废气应在配备通风管道、排气、吸尘和贮存装置的厂房进行回收处理。应采用合理的烟气治理工艺净化废气，达到无毒、无害、无臭的效果排放，废气排放指标应符合GB 26452的有关规定。
- 6.3 根据不同钒资源提制氧化钒工艺生成的提钒尾渣特点，应依据科学分类、合理利用的基本原则，开展资源化利用。提钒尾渣的综合利用率应 $\geq 95\%$ ，不能利用时应采取无害化处置措施。生产过程产生的废渣如未在国家危险废物名录的，则应按GB 5085.3的规定进行鉴别，并符合下列规定：
  - a) 经鉴别属于危险废物，应按 HJ2025和 GB/T 41012的要求进行收集、贮存、运输，并交由有资质单位处理；
  - b) 经鉴别属于一般工业固体废物，应进行进一步处理利用，或按照 GB18599的要求进行贮存、填埋。
- 6.4 生产企业的厂界环境噪声排放标准应符合GB 12348的有关规定。

## 7 安全与管理要求

- 7.1 氧化钒产品的质量检测、包装、储存、运输及质量证明文件应严格执行YB/T 5304的规定。
- 7.2 生产设备与容器的设计、选型与安装，应符合GB 5083的有关要求，必须具备可靠的加盖、防泄漏与防腐性能，并对进料、出料、输送流程以及外露、高温部位采取有效的隔离与防护措施。
- 7.3 企业的人员配置应遵循《安全生产法》及相关行业要求，确保管理、技术与操作人员的规模、资质与项目类型和产能相匹配，所有人员均应掌握并遵守GB/T 33000等标准规范。
- 7.4 生产过程的安全管理应依据GB/T 12801，建立系统性的岗位操作规程，并定期组织安全培训、演练与考核。严禁无关人员进入生产区域或操作设备、设施与工具。
- 7.5 操作人员的劳动防护应严格执行GB 39800，按规定配备和使用工作服、防护手套、劳保鞋、防毒面具及过滤式口罩等，有效预防烫伤、灼伤与有毒物质中毒。
- 7.6 企业应依据GB/T 29639的有关规定，建立应急响应机制，严格执行安全检查制度；遇紧急情况，在确保人员安全的前提下妥善处置，执行《生产安全事故报告和调查处理条例》要求。