

团 体 标 准

钒矿提制高纯钒产品清洁生产关键技术 技术规范

Technical regulations for key technologies of high purity vanadium
products clean production from vanadium ore

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会发布

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	3
5 清洁生产工艺与技术要求	错误！未定义书签。
6 生态环境保护与安全要求	14
7 管理要求	128

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、。

本文件主要起草人：XXXXXX。

钒矿提制高纯钒产品清洁生产关键技术要求规程

1 范围

本文件规定了钒矿提制高纯钒产品清洁生产关键技术总体要求、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。

本文件适用于钒矿提制高纯钒产品清洁生产的工业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 5085.7 危险废物鉴别标准 通则

GB/T 8888 重有色金属加工产品的包装、标志、运输、贮存和质量证明书

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 14506.22 硅酸盐岩石化学分析方法 第22部分：钒量测定

GB/T 14506.28 硅酸盐岩石化学分析方法 第28部分：16个主次成分量测定

GB/T 14506.30 硅酸盐岩石化学分析方法 第30部分：44个元素量测定

GB 18597 危险废物贮存污染控制标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB 26452 钒工业污染物排放标准

GB/T 41012 含重金属固体废物回收利用技术规范

GB/T 42345 钒钛磁铁矿 矿物定量检测方法

GB 175-2023 通用硅酸盐水泥

GB/T 11968 蒸压加气混凝土砌块

GB/T 5101 烧结普通砖

GB/T 4100 陶瓷砖

GB 8239 普通混凝土小型砌块

GB/T 11945 蒸压灰砂实心砖和实心砌块

GB/T 17431.1 轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料

GB/T 5085.3 危险废物鉴别标准-浸出毒性鉴别

GB/T 6566 建筑材料放射性核素限量

HJ 2025 危险废物收集 贮存 运输技术规范

YB/T 008 钒渣

YB/T 5304 五氧化二钒

T/CISA 288 高纯五氧化二钒

T/CPF 0002.2 储备物资的包装、标识、堆码和存储 第2部分：大宗有色金属
国家危险废物名录（生态环境部令[2025]第36号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钒页岩 vanadium shale

含有有价金属钒的页岩矿物。

3.2

浸出 leaching

借助溶液提取固体物料中的目的物（有价金属或杂质等）的过程，即以溶剂为介质进行固体组分分离的过程，通常有化学反应的参与。

3.3

沉钒 vanadium precipitation

沉钒工艺可分为两类：水解沉钒和氨沉钒。水解沉钒为在特定条件下，使溶液中的钒发生水解转化为可沉淀的形态，然后通过化学沉淀法将其从溶液中分离出来，得到钒沉淀物的过程。氨沉钒为在特定条件下，在溶液中加入铵盐或氨水，将溶液中的钒转化为可沉淀的形态，然后通过化学沉淀法将其从溶液中分离出来，得到钒沉淀物的过程。

3.4

高纯钒产品 high purity vanadium products

V_2O_5 纯度大于99%的一种呈橙黄色、砖红色、红棕色或灰黑色的金属氧化物。

3.5

钒钛磁铁矿 vanadium titanium magnetite

以铁、钛、钒元素为主，共生或伴生铬、钴、镍、镓、铀、钍等元素的磁性矿石。

3.6

造球 pelletizing

钒钛磁铁矿加入适量水和黏结剂制成粒度均匀，具有足够强度的生球，经干燥预热后得到具有一定粒径的固体混合物颗粒。

3.7

钒渣 vanadium slag

含钒铁水经选择性氧化，得到的作为提钒主要原料的含钒尖晶石炉渣料。

3.8

高值综合利用 high value comprehensive utilization

通过技术创新和资源化利用的方法，将工业生产过程中产生的矿渣转化为高附加值的产品或材料，同时实现环境保护和资源节约的目的。

3.9

液相氧化 liquid phase oxidation

在液体介质中，利用氧化剂（如氧气、臭氧、过氧化氢等）将有机或无机物质氧化的过程。

3.10

纳微曝气 nano-micro aeration

一种高效的气液传质技术，通过产生纳米或微米级别的气泡，增加气液接触面积，从而提高气体（如氧气、臭氧等）在液体中的溶解效率。

3.11

三效蒸发结晶 three-effect evaporative crystallization

通过串联三个蒸发分离器，利用前一级蒸发产生的蒸汽作为下一级的热源，实现能量的梯级利用，通过蒸发溶剂（如水）提高溶液浓度，使溶质达到过饱和而析出晶体的过程。

3.12

钙化 calcification

将溶液中的钒酸盐转化为钒酸钙沉淀的过程。

3.13

碳化 carbonization

将固相钒酸钙中的钒以 VO_3^- 的形式转移到液相中的过程。

3.14

地聚合物 geopolymer

是一种由天然或合成矿物质和碱性活性材料混合制成的无机聚合物材料。

4 总体要求

4.1 钒矿提制高纯钒产品清洁生产过程应遵循环境保护优先原则，以环境保护为指引与前提，开展钒矿原料中有价金属的提取与高纯钒产品制造。

4.2 钒矿提制高纯钒产品清洁生产过程应根据钒矿的特性，选择相应的提取工艺，科学分类、合理利用，应清洁、高效、综合提高钒矿中的金属回收利用率，不能利用时应采取无害化处置措施。

4.3 钒矿提制高纯钒产品清洁生产过程应采用环境友好、清洁、节能、高效的提取技术，提取时不得使用已经淘汰的、有毒有害的原料和试剂，以免造成二次污染。

4.4 高纯钒产品的规格与质量应符合标准YB/T 5304中的要求。产品的检测、包装、标志、运输、贮存应按照GB/T8888、YB/T 5304、T/CISA 288、T/CPF 0002.2等标准执行。

4.5 含钒废渣运输、贮存时，应装入专用的桶、槽等容器或槽罐车，防止因处置不善对环境产生污染，含钒废渣应依照GB/T41012、YB/T 008等标准规范回收利用或作进一步处置。

4.6 含钒废水的排放、存储、检验等应符合GB 26452等标准规范的要求。

5 清洁生产工艺与技术要求**5.1 钒页岩先进提钒工艺****5.1.1 钒页岩直接酸浸先进提钒工艺****5.1.1.1 工艺流程**

对钒页岩原矿进行破碎后，按照一定配比加入助浸剂，再进行磨矿作业，达到一定粒度后，加入酸进行浸出，经浸出后固液分离，得到浸出液和浸出渣，采用萃取剂对浸出液进行净化富集后得到富钒液，在富钒液中加入添加剂进行水解沉钒得到沉钒产物，沉钒产物经煅烧后得到高纯钒产品，浸出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阶段循环使用。钒页岩直接酸浸先进提钒工艺流程图见图1，具体工艺及药剂添加量可根据原矿性质和实际生产情况调整。

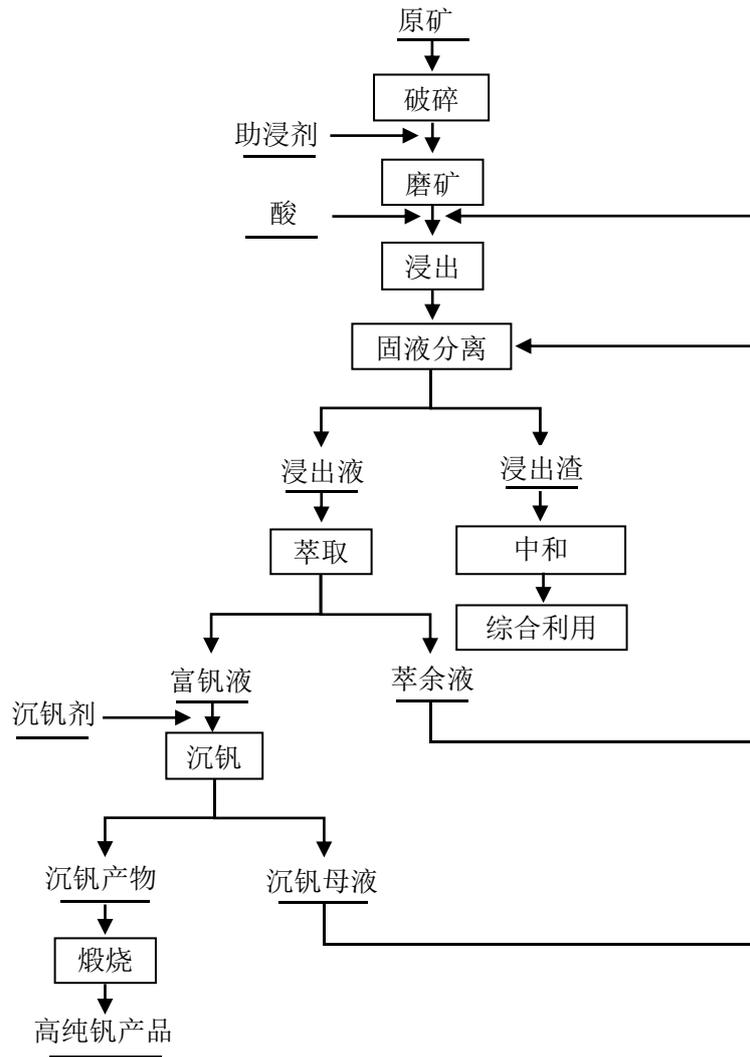


图1 钒页岩直接酸浸先进提钒工艺流程图

5.1.1.2 技术要求

a) 破碎

出料粒度小于15mm。

b) 磨矿

- 1) 助浸剂采用氟化物或以氟化物为主要成分的混合物，添加量小于0.05t助浸剂/t矿石；
- 2) 出料粒度：-74 μ m占比30~60%。

c) 浸出

- 1) 浸出过程中的酸为稀硫酸，稀硫酸浓度为1.5-3.8mol/L
- 2) 浸出方式采取常压浸出，浸出级数为9~10级；
- 3) 浸出时温度为80~100 $^{\circ}$ C；
- 4) 浸出的液固比为0.8~2.0 m³/t；
- 5) 钒元素的浸出率大于85%。

d) 萃取

- 1) 萃取剂采用以P₂O₄、磺化煤油和TBP为主要成分的混合物；

- 2) 萃取pH值为1.8~3.0;
- 3) 萃取时温度为25~30°C;
- 4) 正萃率大于99%;
- 5) 反萃剂采用稀硫酸或以稀硫酸为主要成分的酸, 酸的浓度为1~3mol/L;
- 6) 反萃时温度为25~30°C;
- 7) 反萃率大于99%。

e) 水解沉钒

- 1) 添加剂为碳酸钠和氯化铵的混合物, 氯化铵的质量占比为2.9~4.8%;
- 2) 沉钒pH值为1.6~1.8;
- 3) 沉钒时温度为85~90°C;
- 4) 沉钒时间为1~2h;
- 5) 沉钒率大于98%。

f) 煅烧

- 1) 煅烧温度为500~600°C;
- 2) 煅烧时间为1~2h;
- 3) 高纯钒产品的纯度大于99%。

g) 中和

- 1) 中和至pH为7-8;
- 2) 中和后的浸出渣应符合我国环保和安全相关标准和规范, 其重金属浸出浓度限值应符合GB/T 5085.3的规定, 放射性指标应符合GB/T 6566的规定;
- 3) 中和后的浸出渣应为一般固废, 其中SiO₂和Al₂O₃总含量达到70%以上, 主要的矿物组成为石英和长石, 可作为建工建材的原材料利用。

h) 综合利用

- 1) 中和后的浸出渣经固化稳定化后进行混合处理可用于制作地聚合物、蒸压砖、陶粒等高值化产品;
- 2) 地聚合物的养护抗压强度应大于40.4MPa, 满足GB 8239中MU30普通混凝土小型砌块的强度要求, 蒸压砖的抗压强度应大于16.2MPa, 满足GB/T 11945中MU15中的要求, 陶粒的筒压强度应大于10.7MPa, 颗粒级配等各项性能均能达到GB/T 17431.1中的要求, 其余建筑材料均应符合相应国家标准。

5.1.1.3 主要设备

机械化或自动化的破碎分选设备, 高效分级设备, 衬有防腐层的反应、储存、配料装置, 抗热震、抗水震浸出槽, 高效浓密机, 并配套压滤机、搅拌器、加热器、泵等设备设施, 养护设备、压力试验机、模具, 废气喷淋塔, 废水收集和处理、废渣收集设备设施等。

5.1.2 钒页岩焙烧-酸浸先进提钒工艺

5.1.2.1 工艺流程

对钒页岩原矿进行破碎后, 焙烧得到焙烧料, 再按照一定配比加入助浸剂, 再进行磨矿作业, 达到一定粒度后, 加入酸进行浸出, 经浸出后固液分离, 得到浸出液和浸出渣, 采用萃取剂对浸出液进行净化富集后得到富钒液, 在富钒液中加入添加剂进行水解沉钒得到沉钒产物, 沉钒产物经煅烧后得到高纯钒产品, 浸出渣经中和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阶段循环使用。钒页岩焙烧-酸浸先进提钒工艺流程图见图2, 具体工艺及药剂添加量可根据实际生产情况调整。

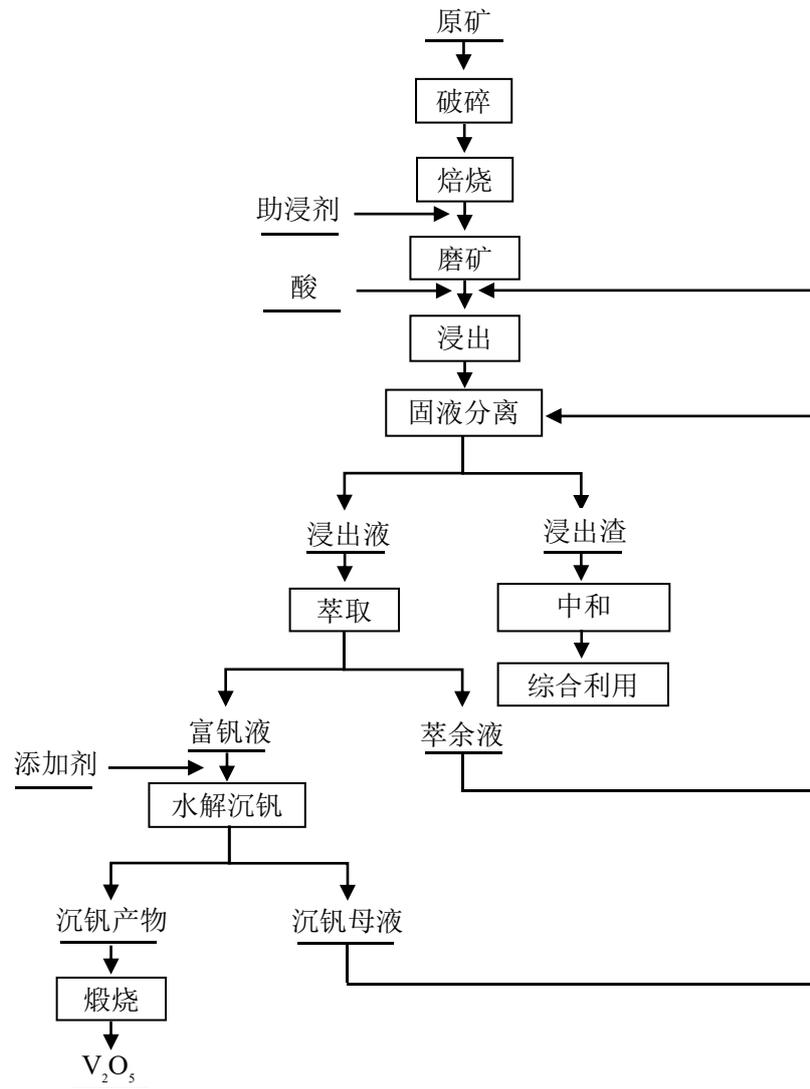


图2 钒页岩焙烧-酸浸先进提钒工艺流程图

5.1.2.2 技术要求

a) 破碎

出料粒度为10~30mm。

b) 焙烧

1) 焙烧设备为变径回转窑和高效沸腾转价炉；

2) 采用变径回转窑进行焙烧时，焙烧温度为750~900℃；采用高效沸腾转价炉进行焙烧时，焙烧温度为600~800℃；

3) 采用变径回转窑进行焙烧时，焙烧矿中-0.074mm粒度比例为45~50%；采用高效沸腾转价炉进行焙烧时，焙烧矿中-0.074mm粒度比例为45~50%；

4) 采用变径回转窑进行焙烧时，焙烧时间小于2h；采用高效沸腾转价炉进行焙烧时，焙烧时间小于1h。

c) 磨矿

1) 助浸剂采用氟化物或以氟化物为主要成分的混合物，添加量小于0.05t助浸剂/t矿石；

2) 出料粒度：-74μm占比30~60%。

d) 浸出

- 1) 浸出过程中的酸为稀硫酸，稀硫酸浓度为1.5-3.8mol/L；
- 2) 浸出方式采取常压浸出，浸出级数为9~10级；
- 3) 浸出时温度为80~100°C；
- 4) 浸出的液固比为0.8~2.0 m³/t；
- 5) 钒元素的浸出率大于88%。

e) 萃取

- 1) 萃取剂采用以P204、磺化煤油和TBP为主要成分的混合物；
- 2) 萃取pH值为1.8~3.0；
- 3) 萃取时温度为25~30°C；
- 4) 正萃率大于99%；
- 5) 反萃剂采用稀硫酸或以稀硫酸为主要成分的酸，酸的浓度为1~3mol/L；
- 6) 反萃率大于99%。

f) 水解沉钒

- 1) 添加剂为碳酸钠和氯化铵的混合物，氯化铵的质量占比为2.9~4.8%；
- 2) 沉钒pH值为1.6~1.8；
- 3) 沉钒时温度为85~90°C；
- 4) 沉钒时间为1~2h；
- 5) 沉钒率大于98%。

g) 煅烧

- 1) 煅烧温度为500~600°C；
- 2) 煅烧时间为1~2h；
- 3) 高纯钒产品的纯度大于99%。

h) 中和

- 1) 中和至pH为7-8；
- 2) 中和后的浸出渣应符合我国环保和安全相关标准和规范，其重金属浸出浓度限值应符合GB/T 5085.3的规定，放射性指标应符合GB/T 6566的规定；
- 3) 中和后的浸出渣应为一般固废，其中SiO₂和Al₂O₃总含量达到70%以上，主要的矿物组成为石英和长石，可作为建工建材的原材料利用。

i) 综合利用

- 1) 中和后的浸出渣经固化稳定化后进行混合处理可用于制作地聚合物、蒸压砖、陶粒等高价化产品；
- 2) 地聚合物的养护抗压强度应大于40.4MPa，满足GB 8239中MU30普通混凝土小型砌块的强度要求，蒸压砖的抗压强度应大于16.2MPa，满足GB/T 11945中MU15中的要求，陶粒的筒压强度应大于10.7MPa，颗粒级配等各项性能均能达到GB/T 17431.1中的要求。其余建筑材料均应符合相应国家标准。

5.1.2.3 主要设备

机械化或自动化的破碎筛分设备，变径回转窑或沸腾转价炉，抗热震、抗水震浸出槽，浓密机，分级设备，衬有防腐层的反应、储存、配料装置，并配套压滤机、搅拌器、加热器、泵等设备设施，养护设备、压力试验机、模具，废气喷淋塔，废水收集和处理、废渣收集设备设施等。

5.2 钒钛磁铁原矿先进提钒工艺

5.2.1 工艺流程

钒钛磁铁矿原矿经选矿后得到精矿，对精矿进行磨矿后，加入添加剂进行造球后焙烧，得到焙烧料，再加入水进行浸出，经浸出后固液分离，得到浸出液和浸出渣，浸出液加入铵盐进行沉钒得到沉钒产物，沉钒产物经煅烧后得到高纯钒产品，尾矿I进行再选可获得铁精矿和钛精矿，浸出渣和尾矿II经中和后可进行综合利用。钒钛磁铁矿原矿先进提钒工艺流程图见图3，具体工艺及药剂添加量可根据实际生产情况调整。

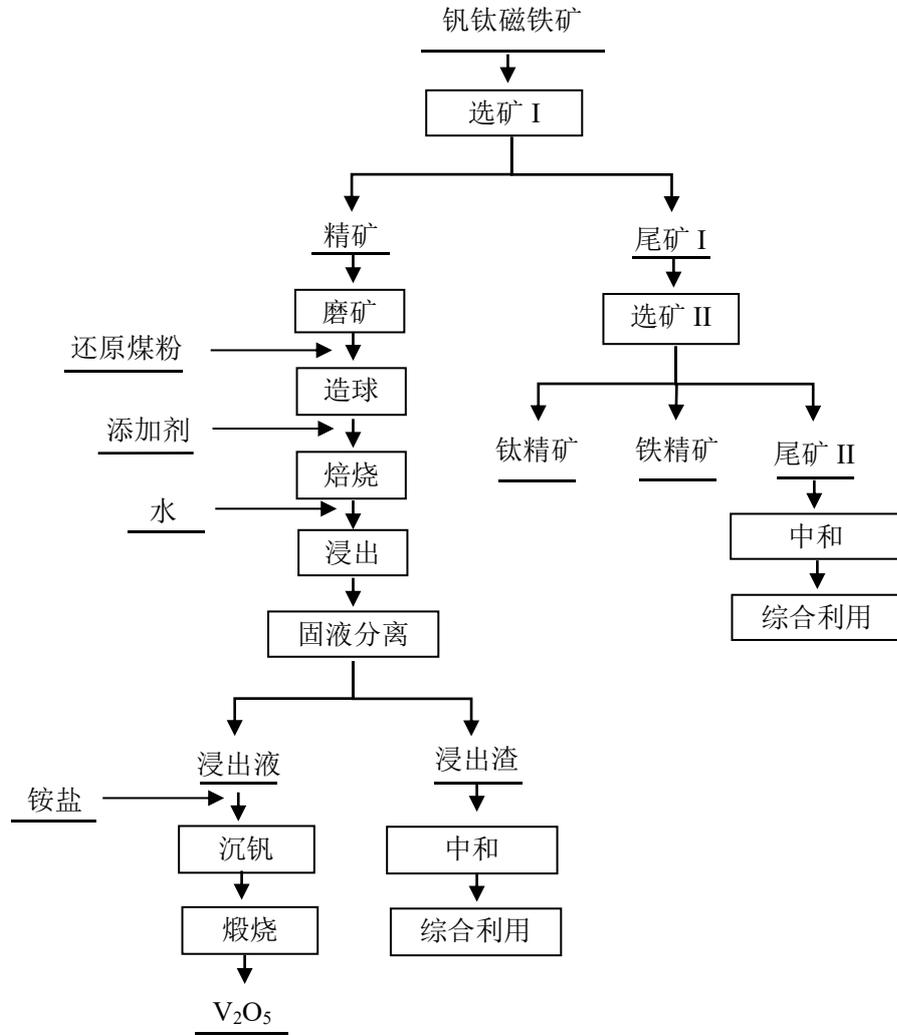


图3 钒钛磁铁矿先进提钒工艺流程图

5.2.2 技术要求

5.2.2.1 选矿I

- a) 出料粒度小于-0.038mm比例大于90%；
- b) 精矿中V₂O₅品位大于1%。

5.2.2.2 磨矿

出料粒度小于-0.074mm比例大于60%。

5.2.2.3 造球

- a) 还原煤粉固定碳含量大于80%；
- b) 球团直径为8~13 mm。

5.2.2.4 焙烧

- a) 添加剂采用以钠盐或钙盐为主要成分的混合物，添加量小于8wt%；
- b) 焙烧温度为1100~1300℃；
- c) 焙烧时间小于2h。

5.2.2.5 浸出

- a) 浸出温度为80~100℃；
- b) 液固比为3.0~5.0m³/t；
- c) 钒的浸出率大于90%。

5.2.2.6 沉钒

- a) 铵盐添加量小于浸出液中V₂O₅质量的3倍；
- b) 沉钒pH值为1.8~3；
- c) 沉钒时温度为85~95℃；
- d) 沉钒时间为1~2h；
- e) 沉钒率大于98%。

5.2.2.7 煅烧

- a) 煅烧时温度为500~600℃；
- b) 煅烧时间为1~2h；
- c) 高纯钒产品的纯度大于99%。

5.2.2.8 选矿 II

钛精矿品位不低于15%，铁精矿品位不低于55%。

5.2.2.9 中和

- a) 中和至pH为7-8；
- b) 中和后的浸出渣和尾矿应符合我国环保和安全相关标准和规范，其重金属浸出浓度限值应符合GB/T 5085.3的规定，放射性指标应符合GB/T 6566的规定；
- c) 中和后的浸出渣和尾矿应为一般固废，其中SiO₂和Al₂O₃总含量达到70%以上，主要的矿物组成为石英和长石，可作为建工建材的原材料利用。

5.2.2.10 综合利用

- a) 中和后的浸出渣和尾矿II可用于制备水泥、蒸压砖、烧结砖、瓷砖等高值化产品；
- b) 水泥应符合GB 175的要求，蒸压砖应符合GB/T 11968的要求，烧结砖应符合GB/T 5101的要求，瓷砖应符合GB/T 4100的要求，其余高值化产品性能均需符合对应的标准。

5.2.3 主要设备

机械化或自动化的破碎分选设备，高效分级设备，衬有防腐层的反应、储存、配料装置，浸出塔，浓密机，回转窑-电炉，并配套搅拌器、加热器、泵等设备设施，废气喷淋塔，废水收集和处理、废渣收集设备等。

5.3 钒渣先进提钒工艺

5.3.1 钒渣钠化焙烧-水浸先进提钒工艺

5.3.1.1 工艺流程

对钒渣进行破碎后，按照一定配比加入钠盐，焙烧得到焙烧料，再进行磨矿作业，达到一定粒度后，加入水进行浸出，经浸出后固液分离，得到浸出液I和浸出渣I，将浸出渣I进行磨矿作业，达到一定粒度后，加入一定的钛白废酸和氟化物浸出，经浸出后固液分离，得到浸出液II和浸出渣II，将浸出液I和浸出液II混合，所得的混合浸出液中主要含有钒、铬等有价元素，浸出液中加入铵盐进行沉钒得到沉钒产

物，沉钒产物煅烧后得到高纯钒产品，浸出渣II与尾矿经中和后可进行综合利用。钒渣钠化焙烧-水浸先进提钒工艺流程图见图4，具体工艺及药剂添加量可根据实际生产情况调整。

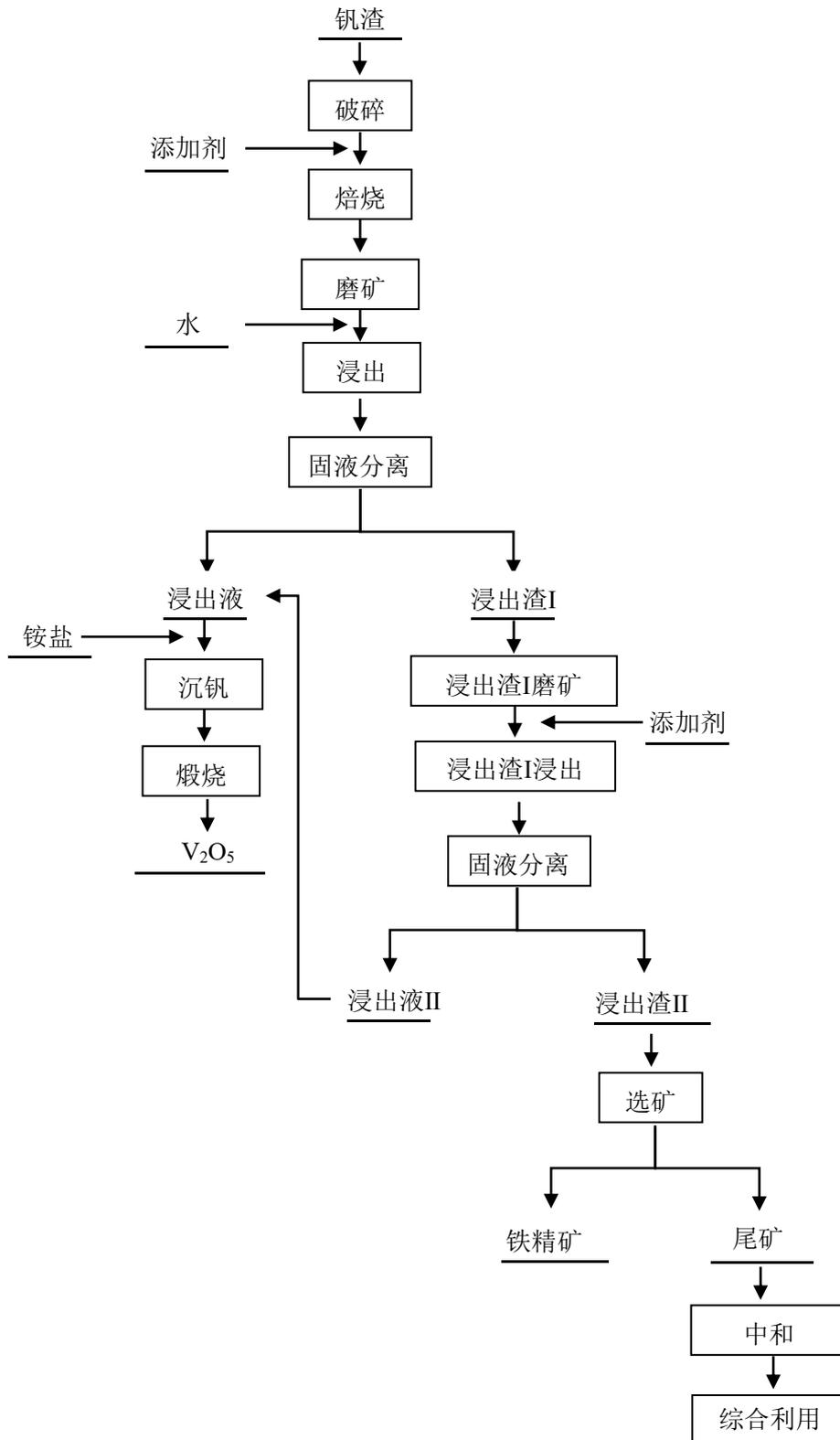


图4 钒渣钠化焙烧-水浸先进提钒工艺流程图

5.3.1.2 技术要求

a) 破碎

出料粒度小于5mm。

b) 焙烧

- 1) 添加剂为一种钠盐或者多种钠盐的混合物，添加量小于5%；
- 2) 焙烧温度为800~1000℃；
- 3) 焙烧时间为2~3h。

c) 磨矿

出料粒度小于74μm占比30~60%。

d) 浸出

- 1) 浸出方式可采取常压浸出或加压浸出；
- 2) 常压浸出时温度为60~100℃，加压浸出时温度为100~160℃；
- 3) 浸出pH值为8~10；
- 4) 浸出的液固比为2.0~4.0 m³/t；
- 5) 钒的浸出率大于85%。

e) 沉钒

- 1) 铵盐添加量小于浸出液中V₂O₅质量的3倍；
- 2) 沉钒pH值为2~3；
- 3) 沉钒时温度为85~95℃；
- 4) 沉钒时间为1~2h；
- 5) 沉钒率大于99%。

f) 煅烧

- 1) 煅烧时温度为500~550℃；
- 2) 煅烧时间为1~2h；
- 3) 高纯钒产品的纯度大于99%。

g) 浸出渣 I 磨矿

出料粒度小于74μm占比30~60%。

h) 浸出渣 I 浸出

- 1) 浸出方式可采取常压浸出；
- 2) 浸出温度为60~100℃；
- 3) 添加剂为废钛白酸添加量5~10%，氟化物添加量不大于7%；
- 4) 浸出的液固比为2.0~4.0m³/t；
- 5) 钒的浸出率大于80%。

i) 选矿

- 1) 出料粒度小于0.074mm占比大于70%；
- 2) 精矿中Fe品位大于90%。

j) 中和

- 1) 中和至pH为7-8；
- 2) 中和后的浸出渣和尾矿应符合我国环保和安全相关标准和规范，其重金属浸出浓度限值应符合GB/T 5085.3的规定，放射性指标应符合GB/T 6566的规定；
- 3) 中和后的浸出渣应为一般固废，其中SiO₂和Al₂O₃总含量达到70%以上，主要的矿物组成为石英和长石，可作为建工建材的原材料利用。

k) 综合利用

- 1) 中和后的尾矿可用于制备水泥、蒸压砖、烧结砖、瓷砖等高值化产品；
- 2) 水泥应符合GB 175的要求，蒸压砖应符合GB/T 11968的要求，烧结砖应符合 GB/T 5101的要求，瓷砖应符合GB/T 4100的要求，其余高值化产品性能均需符合对应的标准。

5.3.1.3 主要设备

机械化或自动化的破碎分选设备，衬有防腐层的反应、储存、配料装置，自吸式搅拌反应器，带式过滤机，回转窑，并配套搅拌器、加热器、泵等设备设施，废气喷淋塔，废水收集和处理、废渣收集设备设施等。

5.3.2 钒渣钙化焙烧-酸浸先进提钒工艺

5.3.2.1 工艺流程

对钒渣进行破碎后，按照一定配比加入钙盐，焙烧得到焙烧料，再进行磨矿作业，达到一定粒度后，加入酸进行浸出，经浸出后固液分离，得到浸出液和浸出渣，浸出液中加入铵盐进行沉钒得到沉钒产物，沉钒产物煅烧后得到高纯钒产品，浸出渣经中和后可进行综合利用。钒渣钙化焙烧-酸浸先进提钒工艺流程图见图5，具体工艺及药剂添加量可根据实际生产情况调整。

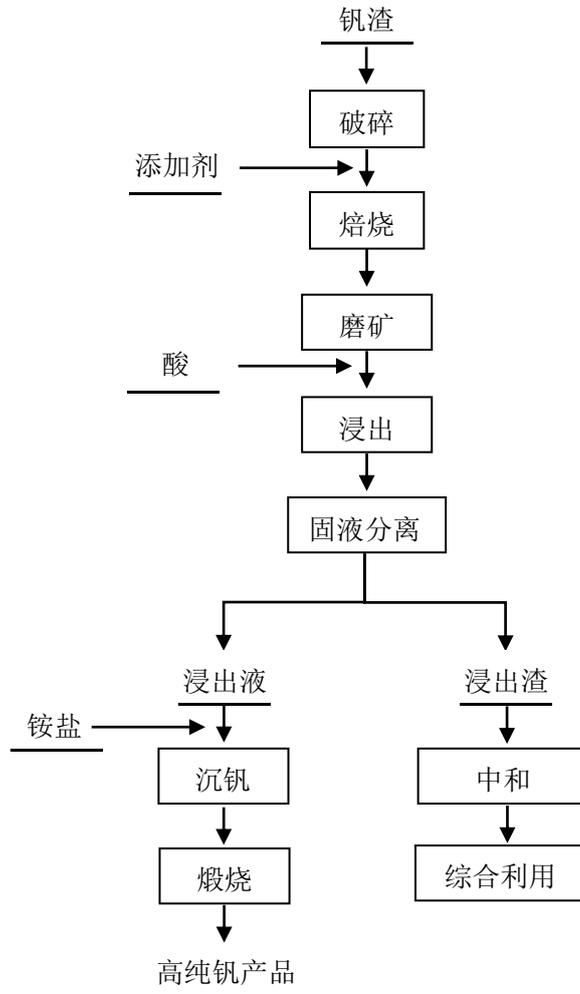


图5 钒渣钙化焙烧-酸浸先进提钒工艺流程图

5.3.2.2 技术要求

- a) 破碎

出料粒度小于5mm。

b) 焙烧

- 1) 添加剂为一种钙盐或者多种钙盐的混合物，添加量小于1%；
- 2) 焙烧温度为800~900℃；
- 3) 焙烧时间为1~2h。

c) 磨矿

出料粒度：-74 μm 占比30~60%。

d) 浸出

- 1) 浸出方式可采取常压浸出；
- 2) 浸出pH值为2.7~4；
- 3) 常压浸出时温度为45~60℃；
- 4) 浸出的液固比为5.0~10.0 m^3/t ；
- 5) 钒的浸出率大于88%。

e) 沉钒

- 1) 铵盐添加量小于浸出液中 V_2O_5 质量的3倍；
- 2) 沉钒pH值为1.8~3；
- 3) 沉钒时温度为85~95℃；
- 4) 沉钒时间为1~2h；
- 5) 沉钒率大于98%。

f) 煅烧

- 1) 煅烧时温度为500~600℃；
- 2) 煅烧时间为1~2h；
- 3) 高纯钒产品的纯度大于99%。

g) 中和

- 1) 中和至pH为7-8；
- 2) 中和后的浸出渣应符合我国环保和安全相关标准和规范，其重金属浸出浓度限值应符合GB/T 5085.3的规定，放射性指标应符合GB/T 6566的规定；
- 3) 中和后的浸出渣应为一般固废，其中 SiO_2 和 Al_2O_3 总含量达到70%以上，主要的矿物组成为石英和长石，可作为建工建材的原材料利用。

h) 综合利用

- 1) 中和后的浸出渣可用于制备水泥、蒸压砖、烧结砖等高价化产品；
- 2) 水泥应符合GB 175的要求，蒸压砖应符合GB/T 11968的要求，烧结砖应符合GB/T 5101的要求，其余高价化产品性能均需符合对应的标准。

5.3.2.3 主要设备

机械化或自动化的破碎分选设备，衬有防腐层的反应、储存、配料装置，浸出槽，带式过滤机，回转窑，并配套搅拌器、加热器、泵等设备设施，废气喷淋塔，废水收集和处理、废渣收集设备设施等。

5.3.3 钒渣亚熔盐法先进提钒工艺

5.3.3.1 工艺流程

对钒渣进行破碎后，再进行磨矿作业，达到一定粒度后，加入碱介质并通入氧气进行液相氧化反应，反应后固液分离，得到滤液和尾渣，对滤液采用冷却结晶得到钒酸盐和钒后液，钒酸盐经钙化、碳化、煅烧后得到高纯钒产品，对钒后液采用三效蒸发结晶得到钒酸盐和钒后液。尾渣经中和固化后可进行综

合利用，铬后液返回液相氧化反应循环使用。钒渣亚熔盐法先进提钒工艺提钒流程见图6，钒渣亚熔盐法先进提钒具体工艺及药剂添加量可根据钒渣性质和实际生产情况调整。

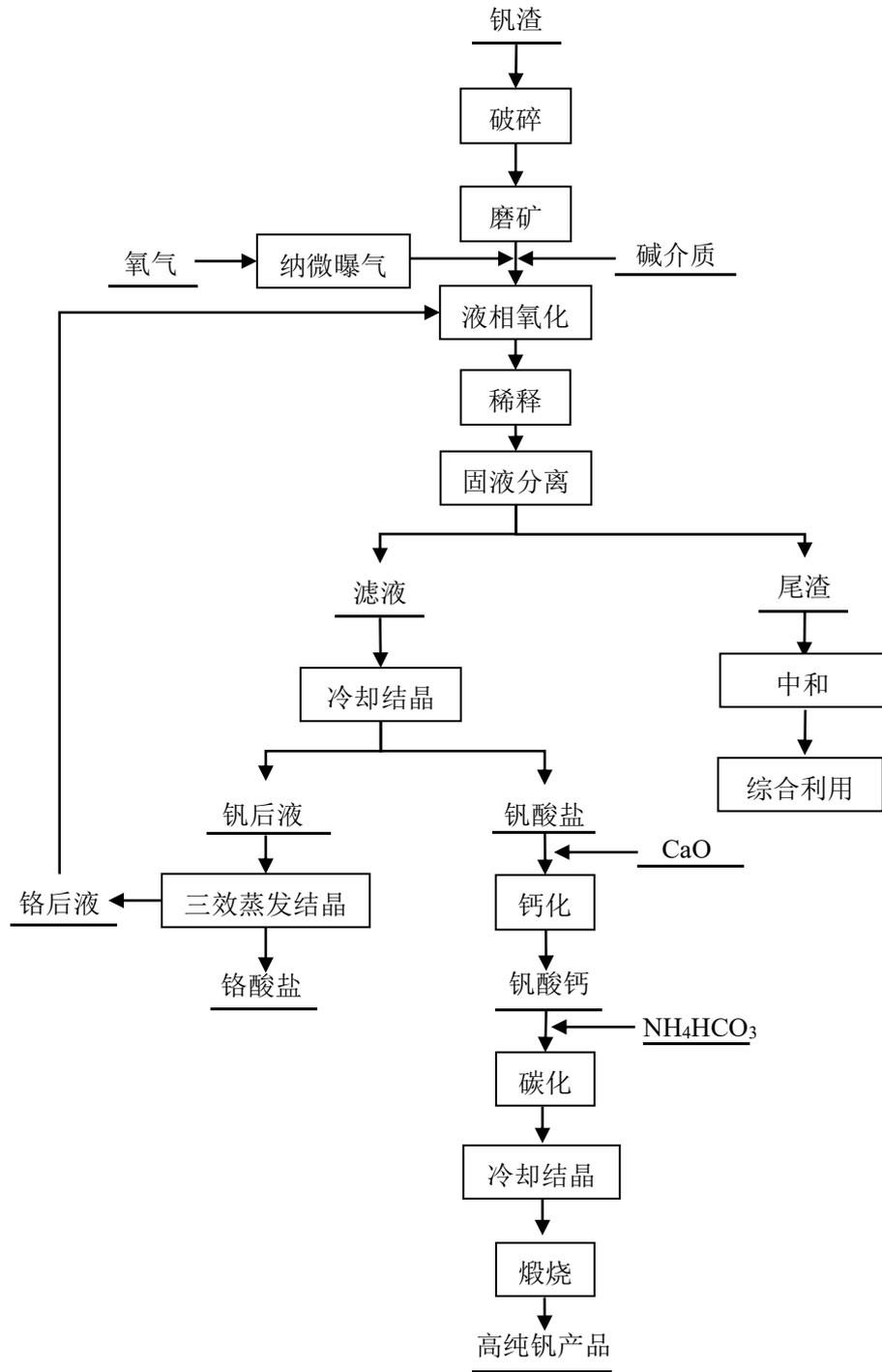


图6 钒渣亚熔盐法先进提钒工艺流程图

5.3.3.2 技术要求

- a) 破碎
出料粒度小于5mm。
- b) 磨矿

出料粒度：-74 μm 占比大于70%。

c) 液相氧化

- 1) 氧气通气量为0.1~1L/min;
- 2) 碱介质为NaOH或KOH;
- 3) 碱介质浓度为40-50wt%;
- 4) 碱矿比为(3~4):1;
- 5) 搅拌速度为500~900r/min;
- 6) 反应时间为4~6h;
- 7) 反应温度为180~220℃;
- 8) 铬的浸出率大于80%;
- 9) 钒的浸出率大于95%。

d) 稀释

- 1) 滤液中NaOH浓度为250~300g/L;
- 2) 反应温度大于80℃。

e) 冷却结晶

- 1) 降温梯度为80℃，缓慢降温至30~40℃;
- 2) 降温速度为0.5~1℃/min;
- 3) 搅拌转速为100~200r/min;
- 4) 保温时间为1~2h;
- 5) 钒酸盐纯度大于99%。

f) 三效蒸发结晶

- 1) 蒸发至NaOH浓度为650~700g/L;
- 2) 铬酸盐纯度大于80%。

g) 钙化

- 1) 钒酸钠溶液中氢氧化钠浓度为100~150g/L;
- 2) CaO过量系数为1.4~1.6;
- 3) 反应时间为2~3h;
- 4) 反应温度为85~95℃。

h) 碳化

- 1) 液固比为10~12;
- 2) NH_4HCO_3 加铵系数小于1.2;
- 3) 温度为75~90℃。

i) 煅烧

- 1) 煅烧温度为500~600℃;
- 2) 煅烧时间为1~2h;
- 3) 高纯钒产品的纯度大于99%。

j) 中和

- 1) 中和至pH为7-8;
- 2) 中和后的尾渣应符合我国环保和安全相关标准和规范，其重金属浸出浓度限值应符合GB/T 5085.3的规定，放射性指标应符合GB/T 6566的规定;
- 3) 中和后的尾渣应为一类固废，其中 SiO_2 和 Al_2O_3 总含量达到70%以上，主要的矿物组成为石英和长石，可作为建工建材的原材料利用。

k) 综合利用

- 1) 中和后的尾渣可用于制备水泥、蒸压砖、烧结砖等高值化产品；
- 2) 水泥应符合GB 175的要求，蒸压砖应符合GB/T 11968的要求，烧结砖应符合GB/T 5101的要求，其余高值化产品性能均需符合对应的标准。

5.3.3.3 主要设备

机械化或自动化的破碎分选设备，高效分级设备，衬有防腐层的反应、储存、配料装置，卧式反应釜，闪蒸槽、稀释除杂反应槽、OSLO冷却结晶器、三效蒸发器（包括循环加热器、蒸发分离器），并配套立式压滤机、搅拌器、泵等设备设施，废渣收集设备设施等。

6 生态环境保护与综合利用要求

6.1 污染控制路线的选择应因地制宜、协同控制，依据技术成熟、运行可靠、经济合理、能耗较低、不产生副产物或副产物产生量少且易于处理、不产生二次污染或产生二次污染少等原则确定，污染物排放需满足GB 26452-2011的有关规定。

6.2 提制高纯钒产品清洁生产企业应对废水中的钒含量进行监控与分析，对钒含量高于1g/t的废水应分开进行收集和预处理。废水经综合处理后，应回收再应用于生产系统，废水回用率应不低于98%，无法循环使用的，应进行无害化处置，排放指标应符合GB 26452的有关规定。

6.3 在钒矿提制高纯钒产品清洁生产过程中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。

6.4 根据提制高纯钒产品清洁生产过程中的废渣的特点，科学分类、合理利用，应清洁、高效、综合提高物料中的铁、锰、钛、铬、镍等有用金属的回收利用率，充分利用二次资源。资源化处置后，废渣利用率应不低于95%，不能利用时应采取无害化处置措施。处理清洁生产过程中产生的废渣（未在危废名录的），应按GB 18599（所有部分）的规定进行鉴别，并符合下列规定：

- a) 经鉴别属于危险废物的，应按 GB18597和 HJ2025的要求进行收集、贮存、运输，并交由有资质单位进行处理；
- b) 经鉴别属于一般工业固体废物的，应进行进一步处理利用，或按照 GB18599的要求进行贮存、填埋。

7 安全与管理要求

7.1 高纯钒产品的规格与质量应符合标准YB/T 5304中的要求。产品的检测、包装、标志、运输、贮存应按照GB/T 8888、YB/T 5304、T/CISA 288、T/CPF 0002.2等标准执行。

7.2 钒矿提制高纯钒产品清洁生产的设备和容器应加盖、防泄漏、防腐蚀，对进料、出料、输送等过程和外露部位、高温部位等采取必要的防护措施。

7.3 在操作、维修人员可能进入而又有坠落危险的开口处，应设有盖板或安全栏杆，安全装置不齐全的设备不准使用。

7.4 钒矿提制高纯钒产品清洁生产的企业应配置同组织规模和钒矿提制高纯钒项目类型相适宜的管理人员、专业技术人员、技术工人等人员，相关工作人员和管理人员应当掌握国家相关政策法规、标准规范的规定。

7.5 钒矿提制高纯钒产品生产过程应加强操作安全管理，建立岗位操作规程，定期对岗位人员进行安全培训、演练和考核，无关人员不应进入操作岗位和动用生产设备、设施和工具。

- 7.6 操作人员应配备工作服、手套、劳保鞋、防毒面具、过滤式口罩等劳保用品，防止烫伤、灼伤和中毒。
- 7.7 应建立应急响应机制，制定应急预案并配置报警系统和应急处理装置，加强应急培训和演练，提高应急响应能力。
- 7.8 建立并严格执行安全检查制度，及时消除事故隐患，防止事故发生，发现或发生紧急情况，应在保证人员自身安全的情况下做出妥善处理，同时立即向有关方面报告。
-