



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 121575250 A

(43) 申请公布日 2026.02.27

(21) 申请号 202511903924.7

(22) 申请日 2025.12.17

(71) 申请人 大连融科储能集团股份有限公司

地址 116450 辽宁省大连市花园口经济区  
迎春街20-10号

(72) 发明人 李菲菲 王庆林 孟昭扬 陈嘉诺  
孙爱坤 王谭君 乌志颖 张健

(51) Int. Cl.

C22B 34/22 (2006.01)

C22B 7/00 (2006.01)

C22B 3/06 (2006.01)

C22B 1/02 (2006.01)

C01G 31/02 (2006.01)

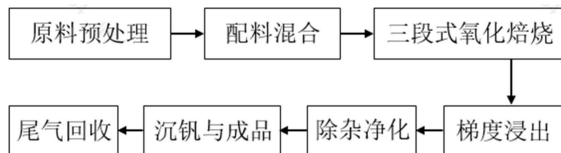
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法

(57) 摘要

本发明提供一种以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法,属于矿物加工技术领域。该方法包括以下步骤:将含钒物料预处理后,与重晶石按质量比100:12~20混合,并加入0.2~0.5%的氧化促进剂,得到焙烧混合料;在500℃~950℃氧化性气氛下进行预热、氧化、转化三段焙烧,得到焙烧熟料;将熟料冷却破碎后,在焦磷酸助浸辅助下于70℃~80℃进行两段梯度浸出,获得钒浸出液;浸出液经硫酸和磷酸盐除杂净化后,在弱碱性条件下加入硫酸铵沉钒,得到湿偏钒酸铵,再经煅烧制得V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>成品;煅烧尾气中的氨经回收生成铵盐回用于沉钒工序或送出界区。本发明具有成本低、钒回收率高、环保性好、无氯污染、工艺兼容性强等优点。



1. 一种以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,包括以下步骤:
  - 步骤1、将含钒物料破碎、研磨成粉末,烘干得到预处理含钒物料;
  - 步骤2、将所述预处理含钒物料与重晶石按质量比100:12~20混合,并向混合料中加入占混合料总质量0.2~0.5%的氧化促进剂,得到焙烧混合料;
  - 步骤3、将所述焙烧混合料在500~950℃的氧化性气氛下焙烧,得到焙烧熟料;
  - 步骤4、将所述焙烧熟料冷却至室温并破碎,按液固比4~6:1 (ml/g) 加入65~80℃的去离子水,并加入焦磷酸助浸,在70~80℃浸出,浸出后过滤得到钒浸出液;
  - 步骤5、向所述钒浸出液中加入硫酸调节至酸性条件,并加入磷酸盐类除杂剂,搅拌后过滤去除沉淀,得到除杂后液;
  - 步骤6、将所述除杂后液置于40~50℃水浴中,按五氧化二钒质量的0.5~2.5倍加入硫酸铵,用氨水调节pH至7~10,反应0.5~1.5h,经过滤、洗涤得到湿偏钒酸铵,随后将湿偏钒酸铵在450℃~550℃空气气氛下煅烧1~4h,冷却破碎后得到V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>成品。
2. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤1中:所述含钒物料为含钒钢渣、石煤矿、钒页岩和钒钛磁铁矿尾渣中的一种或多种;  
和/或,所述含钒物料中钒元素以V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>计的质量含量为0.5~3.5%;  
和/或,所述含钒物料中研磨后的粒径≤120目;  
和/或,所述烘干温度为100~110℃,烘干时间为≥4小时。
3. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤2中:所述重晶石粒径≤150~200目,重晶石中BaSO<sub>4</sub>纯度≥92%;  
和/或,所述氧化促进剂包括质量占比≥80%的二氧化锰。
4. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤3中:所述焙烧采用的焙烧炉为管式炉、回转窑或隧道窑;  
和/或,所述焙烧的升温速率为5~10℃/min;  
和/或,所述焙烧炉内氧气体积浓度为10%~25%。
5. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤3中,所述焙烧为三段焙烧,具体条件为:  
预热段:温度为500~600℃,保温1~2h;  
氧化段:温度为750~850℃,保温3~4h;  
转化段:温度为900~950℃,保温2~3h。
6. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤4中:将所述焙烧熟料破碎至粒径≤200目;  
和/或,所述焦磷酸添加量为去离子水质量的0.1~0.3%;  
和/或,浸出结束后,采用滤布孔径为0.1~0.2μm的板框压滤机过滤。
7. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤4中,所述浸出为两段浸出,所述两段浸出的条件为:  
第一段浸出温度为60℃~80℃,浸出时间为40~50min;  
第二段浸出温度为60℃~80℃,浸出时间为30~40min。
8. 根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤5中:向所述钒浸出液中加入硫酸调节pH至1.8~2.5;

和/或,所述搅拌温度为60~70℃,搅拌时间为30~45min;

和/或,所述磷酸盐类除杂试剂添加量为0.3~0.8g/L;

和/或,所述磷酸盐类除杂试剂为磷酸氢二铵和/或磷酸氢二钙。

9.根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,步骤6中:所述搅拌速度为100-300r/min。

10.根据权利要求1所述的以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,其特征在于,所述方法还包括尾气回收步骤:将步骤6中煅烧产生的氨气和水蒸气经收尘处理后,用酸液吸收生成硫酸铵盐返回步骤6沉钒工序作为补充试剂或作为产品送去界区。

## 一种以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及矿物加工技术领域,尤其涉及一种以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法。

### 背景技术

[0002] 钒作为重要的战略金属,广泛应用于钢铁、新能源、航空航天、化工等领域,其工业提取主要依赖“焙烧-浸出”核心工艺。当前主流提钒工艺存在三大核心技术瓶颈:

[0003] 1. 助熔剂污染与能耗矛盾:传统氯化钠焙烧工艺会产生 $Cl_2$ 、 $HCl$ 等强腐蚀性有毒气体,严重腐蚀设备并污染环境,尾气处理成本高昂;硫酸钠焙烧需 $1000^{\circ}C$ 以上高温,能耗显著增加,且五氧化二钒转化率仅80-85%,资源利用率偏低;

[0004] 2. 成本控制难度大:氯化钡作为高效助熔剂,虽能提升钒转化效率,但氯化钡纯度要求高( $\geq 98\%$ ),市场价格约2000元/吨,大幅增加生产成本,难以规模化应用;

[0005] 3. 重晶石应用瓶颈:重晶石( $BaSO_4$ )作为我国储量超3亿吨的优势矿物,价格仅80-120元/吨,其 $SO_4^{2-}$ 可提供氧化性氛围, $Ba^{2+}$ 能与硅、铝等杂质形成稳定化合物,具备助熔与除杂双重潜力。但现有技术中,重晶石仅作为辅助添加剂使用,未单独作为核心助熔剂,单一重晶石焙烧时 $SO_4^{2-}$ 释放效率低,低价钒( $V^{3+}$ 、 $V^{4+}$ )氧化不彻底,且 $Ba^{2+}$ 易与钒酸根结合生成难溶的钒酸钡( $K_{sp}=1.6 \times 10^{-9}$ ),导致钒浸出率不足80%,无法发挥其成本与资源优势。

[0006] 因此,开发以重晶石为核心助熔剂,兼具低污染、低能耗、低成本、高回收率的提钒工艺,是突破行业技术瓶颈、实现含钒资源规模化绿色利用的关键方向。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于,针对现有技术污染重、能耗高、成本高和资源利用率偏低等问题,提出一种以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法,以实现钒的高效、经济、绿色提取。能够实现含钒钢渣、石煤矿、钒页岩、钒钛磁铁矿尾渣等各类含钒物料高效、低成本、绿色提钒,提高含钒资源综合利用率。

[0008] 需要注意的是,在本发明中,除非另有规定,涉及组成限定和描述的“包括”具体含义,既包含了开放式的“包括”、“包含”等及其类似含义,也包含了封闭式的“由...组成”、“由...构成”等及其类似含义。

[0009] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤1、原料预处理:将含钒物料破碎、研磨成粉末,烘干得到预处理含钒物料;

[0011] 步骤2、配料混合:将所述预处理含钒物料与重晶石按质量比100:12~20混合,并向混合料中加入占混合料总质量0.2~0.5%的氧化促进剂,得到焙烧混合料;

[0012] 步骤3、氧化焙烧:将所述焙烧混合料,在 $500 \sim 950^{\circ}C$ 的氧化性气氛下,焙烧,得到焙烧熟料;

[0013] 步骤4、梯度浸出:将所述焙烧熟料冷却至室温并破碎,按液固比体积比4:1~6:1

(ml/g)加入65~80℃的去离子水,并加入焦磷酸助浸,在70~80℃浸出,浸出后过滤得到钒浸出液;

[0014] 步骤5、除杂净化:向所述钒浸出液中加入硫酸调节至酸性条件,并加入磷酸盐类除杂试剂,搅拌后过滤去除沉淀,得到除杂后液;

[0015] 步骤6、沉钒与成品:将所述除杂后液置于40~50℃水浴中,按五氧化二钒质量的0.5~2.5倍加入硫酸铵,用氨水调节pH至7~10,反应0.5~1.5h,经过滤、洗涤得到湿偏钒酸铵,将湿偏钒酸铵在450℃~550℃空气气氛下煅烧1~4h,冷却破碎后得到 $V_2O_5$ 成品。

[0016] 进一步地,所述含钒物料可以适配各类低中品位含钒原料,包括但不限于含钒钢渣、石煤矿、钒页岩和钒钛磁铁矿尾渣中的一种或多种。

[0017] 进一步地,所述含钒物料中钒元素以 $V_2O_5$ 计的质量含量为0.5~3.5%。

[0018] 进一步地,所述含钒物料中研磨后的粒径 $\leq 120$ 目。

[0019] 进一步地,烘干能去除游离水分与部分挥发性杂质,确保后续配料混合均匀性,所述烘干温度为100~110℃,烘干时间为 $\geq 4$ 小时。

[0020] 进一步地,所述重晶石粒径 $\leq 200$ 目、重晶石中 $BaSO_4$ 含量 $\geq 92\%$ 。

[0021] 进一步地,步骤2中:所述氧化促进剂包括质量占比 $\geq 80\%$ 的二氧化锰;即所述氧化促进剂为二氧化锰或者是以二氧化锰为主并含有其他辅料的复配物,其中二氧化锰在所述复配物中的质量占比 $\geq 80\%$ ,二氧化锰可降低 $SO_4^{2-}$ 分解活化能,加速低价钒向 $V^{5+}$ 转化;将重晶石作为唯一核心助熔剂,配合微量氧化促进剂(二氧化锰),替代传统氯盐、硫酸盐或高价钒盐助熔剂,既降低成本又减少污染。

[0022] 进一步地,所述焙烧炉为管式炉、回转窑或隧道窑。

[0023] 进一步地,所述焙烧的升温速率为5~10℃/min。

[0024] 进一步地,所述焙烧炉内氧气体积浓度为10%~25%。

[0025] 进一步地,所述焙烧为三段焙烧,三段焙烧解决了重晶石 $SO_4^{2-}$ 释放效率低与钒酸钡生成的矛盾,氧化段生成可溶性钒酸钡,转化段实现杂质分离,同步提升钒转化与杂质脱离效率。

[0026] 三段焙烧的具体条件为:

[0027] 预热段温度为500~600℃,保温1~2h,去除混合料中残留水分与碳酸盐分解产生的 $CO_2$ ,避免高温焙烧时物料结块,保障传热传质均匀;

[0028] 氧化段温度为750~850℃,保温3~4h,在二氧化锰催化下,重晶石缓慢释放 $SO_4^{2-}$ ,与低价钒发生氧化反应: $V_2O_3+BaSO_4 \rightarrow Ba(VO_3)_2+SO_2\uparrow$ ,生成可溶性钒酸钡,避免高温下难溶钒酸钡的生成;

[0029] 转化段温度为900~950℃,保温2~3h,升温促使 $Ba^{2+}$ 与含钒物料中的硅、铝杂质反应生成 $BaSiO_3$ 、 $BaAl_2O_4$ 等稳定沉淀,此类沉淀不溶于水,为后续浸出分离奠定基础。

[0030] 进一步地,步骤4中:将所述焙烧熟料破碎至粒径 $\leq 200$ 目,优选 $\leq 150$ 目;

[0031] 进一步地,所述焦磷酸添加量为去离子水质量的0.1~0.3%;

[0032] 进一步地,浸出结束后,采用滤布孔径为0.1~0.2 $\mu m$ 的板框压滤机过滤。

[0033] 进一步地,步骤4中,所述浸出为两段浸出,所述两段浸出的条件为:第一段在60℃~80℃条件下浸出40-50min,优先溶解易溶性钒酸盐(如 $NaVO_3$ ,若物料含钠杂质);第二段在60℃~80℃条件下浸出30-40min,焦磷酸与 $Ba^{2+}$ 形成 $[Ba(P_2O_7)]^{2-}$ 可溶性络合物,破坏难

溶钒酸钡的沉淀平衡,使钒酸根充分释放并溶解。焦磷酸与分温段浸出相结合既能够破坏难溶钒酸钡的沉淀平衡,将钒充分释放至浸出液,同时避免了杂质二次溶解。浸出完成后过滤,采用滤布孔径为 $0.1\mu\text{m}$ 的板框压滤机进行过滤,得到钒浸出液与一次浸出渣,浸出渣含稳定钒盐与未反应重晶石,可作为路基材料或水泥添加剂。

[0034] 进一步地,步骤5中:向所述钒浸出液中加入硫酸调节pH至 $1.8\sim 2.5$ 。

[0035] 进一步地,所述磷酸盐类除杂试剂添加量为 $0.3\sim 0.8\text{g/L}$ ,使钙、镁离子形成稳定磷酸盐沉淀,过滤去除沉淀,得到净化后的含钒除杂后液。

[0036] 进一步地,所述搅拌温度为 $60\sim 70^\circ\text{C}$ ,搅拌时间为 $30\sim 45\text{min}$ 。

[0037] 进一步地,所述磷酸盐类除杂试剂为磷酸氢二铵和/或磷酸氢二钙。

[0038] 进一步地,步骤6、在搅拌速度 $100\text{r/min}\sim 300\text{r/min}$ 下反应 $0.5\sim 1.5\text{h}$ ,优选搅拌速度 $200\text{r/min}$ 下反应 $1\text{h}$ 。

[0039] 进一步地,所述洗涤的具体方法为用与渣液固体积比 $1\sim 3:1(\text{ml/g})$ 的去离子水浸泡 $10\sim 20$ 分钟,优选为 $15$ 分钟,重复洗涤 $1\sim 2$ 次。所述煅烧在回转窑中进行,湿偏钒酸铵从窑尾加入,与高温燃气逆流接触。

[0040] 进一步地,本发明还包括尾气回收步骤:将步骤6中煅烧产生的氨气和水蒸气经收尘处理后,用酸液吸收生成硫酸铵盐返回步骤6沉钒工序作为补充试剂或作为产品送去界区,实现固废与废气的资源化利用。

[0041] 关键参数优化说明:

[0042] 1) 重晶石用量为预处理含钒物料的 $12\sim 20\%$ :用量低于 $12\%$ 时, $\text{SO}_4^{2-}$ 供给不足,低价钒氧化不彻底;用量高于 $20\%$ 时,过量 $\text{Ba}^{2+}$ 易与钒酸根生成难溶钒酸钡,降低钒浸出率,因此限定该比例范围;

[0043] 2) 焙烧温度梯度设计:氧化段温度控制在 $750\sim 850^\circ\text{C}$ ,既保证重晶石释放 $\text{SO}_4^{2-}$ ,又避免生成难溶钒酸钡;转化段升温至 $900\sim 950^\circ\text{C}$ ,确保 $\text{Ba}^{2+}$ 与硅、铝充分反应,同时低于传统硫酸钠焙烧温度( $1000^\circ\text{C}$ 以上),降低能耗;

[0044] 3) 焦磷酸添加量( $0.1\sim 0.3\%$ ):该用量可充分络合 $\text{Ba}^{2+}$ ,破坏钒酸钡沉淀平衡,过量则会增加后续除杂负荷,因此限定此范围;

[0045] 4) 沉钒pH调节( $7\sim 10$ ):该pH范围可确保偏钒酸铵充分沉淀,同时避免钒的水解损失,提升产品纯度。

[0046] 本发明以重晶石为助熔剂的含钒物料提钒方法,与现有技术相比较具有以下优点:

[0047] 1) 成本优势显著:重晶石作为核心助熔剂,原料成本较氯化钡工艺降低 $30\%\sim 40\%$ ;氧化促进剂添加量仅 $0.2\sim 0.5\%$ ,无额外成本负担;焙烧最高温度 $950^\circ\text{C}$ ,较硫酸钠工艺降低 $50\sim 100^\circ\text{C}$ ,能耗降低 $15\sim 20\%$ ;

[0048] 2) 回收效率高:三段式焙烧与梯度浸出协同作用,实现了钒的高效转化与浸出,钒总回收率 $\geq 94\%$ ,较传统工艺( $80\sim 85\%$ )提升 $10\sim 15\%$ ;  $\text{V}_2\text{O}_5$ 成品纯度 $\geq 98.5\%$ ,满足工业级应用要求;

[0049] 3) 环保性能优异:整个工艺过程无 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{HCl}$ 等有毒气体产生,尾气仅含少量 $\text{SO}_2$ 与水蒸气,经简单处理即可达标排放,从源头消除了此类污染物的处理难题;浸出渣主要成分为 $\text{BaSO}_4$ 、 $\text{BaSiO}_3$ 等稳定物质,可作为路基材料或水泥添加剂,实现固废资源化利用;煅烧氨气

回收为铵盐循环利用,无二次污染;

[0050] 4) 工艺兼容性强:该工艺无需对现有主流焙烧、浸出、过滤设备进行重大改造,仅需调整工艺参数即可适配工业化生产,改造难度低、投资小,易于实施和推广;并且对含钒钢渣、石煤矿、钒页岩等多种含钒物料均具有良好的适应性。

## 附图说明

[0051] 图1为以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法的工艺流程图。

## 具体实施方式

[0052] 以下,结合实施例对本发明进一步说明。以下所记载的技术特征的说明基于本发明的代表性的实施方案、具体例子而进行,但本发明不限于这些实施方案、具体例子。需要说明的是:

[0053] 如无特殊声明,本说明书中所使用的单位均为国际标准单位,并且本发明中出现的数值,数值范围,均应当理解为包含了工业生产中所不可避免的系统性误差。

[0054] 本说明书中,使用“数值A~数值B”表示的数值范围是指包含端点数值A、B的范围。

[0055] 本说明书中,使用“以上”或“以下”表示的数值范围是指包含本数的数值范围。

[0056] 本说明书中,使用“可以”表示的含义包括了进行某种处理以及不进行某种处理两方面的含义。

[0057] 本说明书中,所用试剂或仪器未注明生产厂商者,均为可以通过市购获得的常规产品。

[0058] 实施例1

[0059] 本实施例公开了一种以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法,包括以下步骤:

[0060] 步骤1、原料预处理:取含钒物料(含 $V_2O_5$  2.3%、 $SiO_2$  18.5%、 $Al_2O_3$  8.2%、 $CaO$  32.1%),破碎后用球磨机研磨至 $\leq 120$ 目,在 $105^\circ C$ 下烘干4.5小时,得到预处理含钒物料;

[0061] 步骤2、配料混合:按质量比100:15称取预处理含钒物料与重晶石( $BaSO_4$ 纯度93.5%,粒径 $\leq 200$ 目),加入占总质量0.3%的二氧化锰,搅拌30min至均匀分散,得到焙烧混合料;

[0062] 步骤3、三段式氧化焙烧:将混合料送入回转窑,以 $8^\circ C/min$ 升温至 $550^\circ C$ 保温1.5h(预热段),再以 $6^\circ C/min$ 升温至 $800^\circ C$ 保温3.5h(氧化段),最后升温至 $920^\circ C$ 保温2.5h(转化段),窑内氧气浓度控制在12%;

[0063] 步骤4、梯度浸出:焙烧熟料冷却至室温后破碎,按液固体积比5:1( $ml/g$ )加入 $75^\circ C$ 的去离子水,加入去离子水质量0.2%的焦磷酸,280r/min条件下, $80^\circ C$ 浸出45min,随后降温至 $70^\circ C$ 浸出35min;采用滤布孔径 $0.1\mu m$ 的板框压滤机进行过滤,得到钒浸出液与一次浸出渣;

[0064] 步骤5、除杂净化:向钒浸出液中加入硫酸调节pH至2.2,加入 $0.5g/L$ 的磷酸氢二铵, $65^\circ C$ 下搅拌40min,过滤去除磷酸盐沉淀,得到除杂后液;

[0065] 步骤6、沉钒与成品:将除杂后液放入 $45^\circ C$ 水浴锅,按五氧化二钒质量的1.8倍加入硫酸铵,用氨水调节pH=8.5,200r/min搅拌反应1h;过滤后用与AMV液固体积比2:1( $ml/g$ )的去离子水浸泡15分钟洗涤AMV,得到湿偏钒酸铵;将AMV送入回转窑,在 $500^\circ C$ 空气气氛下

煅烧2.5h,冷却破碎后得到 $V_2O_5$ 成品。

[0066] 步骤7、尾气回收:将步骤6中煅烧产生的氨气和水蒸气经收尘处理后,用酸液吸收生成铵盐返回步骤6沉钒工序作为补充试剂,实现固废与废气的资源化利用。

[0067] 检测结果: $V_2O_5$ 成品纯度98.8%,钒总回收率94.6%;浸出渣中 $BaSO_4$ 含量62.3%、 $BaSiO_3$ 含量28.5%,符合路基材料技术要求;煅烧尾气回收硫酸铵纯度97.2%,可循环用于沉钒工序。

[0068] 对比例1

[0069] 本实施例公开了一种氯化钠焙烧工艺,包括以下步骤:

[0070] 步骤1、原料预处理:同实施例1;

[0071] 步骤2、配料混合:按质量比100:8称取预处理含钒物料与氯化钠,搅拌均匀,得到焙烧混合料;

[0072] 步骤3、焙烧:升温至850℃保温4h,窑内自然通风;

[0073] 步骤4、浸出与后处理:按液固体积比5:1 (ml/g)加入80℃去离子水,搅拌浸出2h,后续除杂、沉钒、煅烧步骤同实施例1。

[0074] 检测结果: $V_2O_5$ 成品纯度97.5%,钒总回收率83.2%;焙烧过程产生 $Cl_2$ 、 $HCl$ 气体,尾气处理后仍有微量腐蚀性物质残留;浸出渣含可溶性氯盐,需无害化处理后才能排放。

[0075] 对比例2

[0076] 本实施例公开了一种硫酸钠焙烧工艺,包括以下步骤:

[0077] 步骤1、原料预处理:同实施例1;

[0078] 步骤2、配料混合:按质量比100:18称取预处理含钒物料与硫酸钠,搅拌均匀、得到焙烧混合料;

[0079] 步骤3、焙烧:升温至1050℃保温4h,窑内氧气浓度12%;

[0080] 步骤4、浸出与后处理:同实施例1。

[0081] 检测结果: $V_2O_5$ 成品纯度98.1%,钒总回收率84.7%;焙烧能耗较实施例1高18.3%;浸出渣含未反应硫酸钠,需洗涤回收,增加工艺成本。

[0082] 实施例1以重晶石为助焙剂的含钒物料提钒方法、对比例1氯化钠焙烧工艺和对比2硫酸钠焙烧工艺的主要参数和产品分析结果对比见表1:

[0083] 表1三种工艺路线主要参数和产品分析结果对比

	实施例 1	对比例 1	对比例 2
原料组成	含钒物料 (含 $V_2O_5$ 2.3%、 $SiO_2$ 18.5%、 $Al_2O_3$ 8.2%、 $CaO$ 32.1%)		
助熔剂	重晶石	氯化钠	硫酸钠
最高焙烧温度	920℃	850℃	1050℃
浸出渣是否可以循环利用	是	否	否
$V_2O_5$ 产品纯度	98.8%	97.5%	98.1%
钒总回收率	94.6%	83.2%	84.7%

[0084] 根据表1数据对比可知,本发明工艺在钒回收率、产品纯度、成本控制、环保性能上均显著优于传统工艺,且浸出渣与尾气可资源化利用,具备极强的工业化应用价值。本发明通过重晶石核心助熔剂与“三段式焙烧结合梯度浸出”的协同设计,突破了传统提钒工艺污染大、能耗高、成本高的技术瓶颈,同时解决了其他单一助熔剂氧化不彻底、钒损失率高的行业难题。工艺以低成本、高储量的重晶石为核心,配合微量氧化促进剂与助浸剂,实现钒总回收率 $\geq 94\%$ 、 $V_2O_5$ 成品纯度 $\geq 98.5\%$ ,原料成本降低30%-40%,能耗降低15~20%;全流程无有毒气体排放,固废与尾气资源化利用率高,符合绿色生产要求。此外,工艺无需改造现有设备,原料适应性广,为各类含钒物料的规模化、低成本、高值化利用提供了可行技术路径,具有显著的经济、环境与社会效益,市场推广前景广阔。

[0085] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

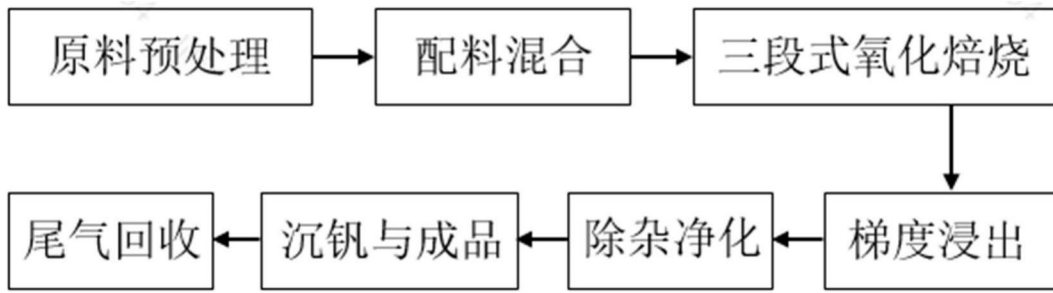


图1