

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101418370 B

(45) 授权公告日 2012.05.02

(21) 申请号 200810143675.6

B02C 17/16(2006.01)

(22) 申请日 2008.11.21

B03C 1/00(2006.01)

(73) 专利权人 长沙市岳麓区东新科技开发有限公司

(56) 对比文件

地址 410012 湖南省长沙市岳麓区麓山南路
科学新村 5 栋 403杨卜等. 一种钒钛铁精矿制备还原铁粉的新
工艺. 《矿产综合利用》. 2006, (第 1 期), 全文.(72) 发明人 梁经冬 梁毅 梁建昂 林星
黄维刚汪云华等. 钒钛铁精矿制取还原铁粉工艺及
改进途径探讨. 《金属矿山》. 2006, (第 1 期 总
第 355 期), 全文.(74) 专利代理机构 长沙正奇专利事务所有限责
任公司 43113

审查员 吴琛琛

代理人 魏国先

(51) Int. Cl.

C22B 1/00(2006.01)

C22B 34/12(2006.01)

C22B 34/22(2006.01)

B22F 9/04(2006.01)

C01G 31/02(2006.01)

B02C 4/00(2006.01)

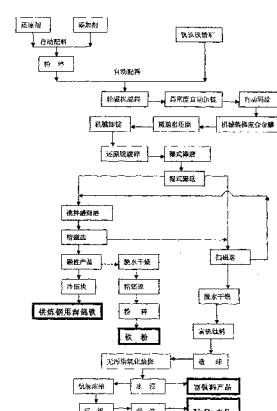
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种新的综合利用钒钛铁精矿的产业化方法

(57) 摘要

一种新的综合利用钒钛铁精矿的产业化方法。原料与添加剂及固体还原剂用轮碾机混匀后，由全自动压机制成较高密度圆锭，梯度合金罐装料，在隧道窑内直接还原，还原锭破碎后经磨细磁选，获得 TFe92~96% 的优质海绵铁和含 V₂O₅ 2.8~3.4%、含 TiO₂ 48~49% 的富钒钛料，前者冷压成型后供电炉炼钢或深加工成铁粉出售；后者采用简化的湿法提钒流程生产纯度 ≥ 98.5% 的 V₂O₅，提钒渣含 TiO₂ ≥ 48%，作为硫酸法钛白或其它工业的原料。本发明大幅度提高隧道窑产能和装料容器的使用寿命，综合利用程度高，技术可靠，投资省，生产成本低，节能减排、污染少，为产业化创造了条件。



B

CN 101418370 B

1. 一种综合利用钒钛铁精矿的方法,具体步骤如下:

1) 原料:钒钛铁精矿;

2) 配料与混料:将钒钛铁精矿与添加剂及固体还原剂按重量比配料:100 : 3 ~ 15 : 12 ~ 25,混料采用轮碾机混匀,添加剂采用工业氯化钠、工业硫酸钠、工业碳酸钠中的一种、两种或三种组合使用;

3) 压锭:用工业全自动压机将上述混合料压制圆锭;

4) 梯度合金罐装锭;

5) 推入隧道窑还原:生产海绵铁和细铁粉时烧成温度 1000 ~ 1050℃,保温时间 10 ~ 35 小时,生产微合金铁粉的温度则为 1150 ~ 1200℃,保温 10 ~ 35 小时,还原锭用机械手卸出;

6) 还原锭破碎后三段或二段磨矿、二段磁选,磁选得优质海绵铁粉或铁粉;

7) 富钒钛料提钒:将上述磁选后尾矿添加工业碳酸钠造球,回转窑焙烧,水浸,浸钒液浓缩后进行酸性铵盐沉钒,再 450 ~ 550℃煅烧,获高纯度 V₂O₅ 产品。

2. 根据权利要求 1 所述的综合利用钒钛铁精矿的方法,其特征在于工业氯化钠包括盐湖盐、海盐、井盐、盐矿。

3. 根据权利要求 1 所述的综合利用钒钛铁精矿的方法,其特征在于固体还原剂采用无烟煤、烟煤、碎焦、石油焦、褐煤中的一种、两种或三种组合使用。

4. 根据权利要求 1 所述的综合利用钒钛铁精矿的方法,其特征在于压制的圆锭密度 2.2 ~ 2.6 克 / 立方厘米,直径 180 ~ 380 毫米,厚度 150 ~ 220 毫米。

5. 根据权利要求 1 所述的综合利用钒钛铁精矿的方法,其特征在于还原锭破碎后采用三段磨矿二段磁选流程:一段为棒磨,磨至 -200 目 60%,磁场强度为 1000 ~ 1200 奥斯特,二段、三段均为搅拌磨,磨矿细度为 -325 目 90 ~ 98%,磁场强度为 500 ~ 800 奥斯特,扫选磁场强度为 1800 奥斯特;磁选精矿系含 TFe92 ~ 96%、金属化率为 93 ~ 97%、硫、磷均很低的优质海绵铁粉,冷压成型后供电炉炼钢,或精还原成含 TFe98.10% 的铁粉;磁选尾矿为含 V₂O₅ 2.8 ~ 3.4%、TiO₂ 48 ~ 49% 的富钒钛料;生产微合金铁粉时,采用二段磨矿二段磁选流程,磨矿细度分别为 -200 目 50 ~ 55% 和 -200 目 60 ~ 70%,其它条件和参数与上述三段磨矿二段磁选流程相同。

6. 根据权利要求 1 所述的综合利用钒钛铁精矿的方法,其特征在于富钒钛料提钒添加的工业碳酸钠为磁选后尾矿的重量百分比为 10 ~ 18%,回转窑焙烧为 1050℃ 进行无污染氧化焙烧,水浸,钒浸出率为 90 ~ 95%,酸性铵盐沉钒 PH 值为 2.1 ~ 2.3,获 V₂O₅ 产品纯度为 98.5 ~ 99%。

一种新的综合利用钒钛铁精矿的产业化方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及冶金技术领域，具体涉及一种新的综合利用钒钛铁精矿的产业化方法。

背景技术：

[0002] 高炉生产效率高、工艺成熟，是国内、外炼铁生产的主流工艺，也是当前唯一的大规模综合利用钒钛铁精矿的工业生产方法，而用普通大型高炉成功冶炼高铁型钒钛铁精矿则是我国的一大创举。高炉法的缺点是投资大，需用焦炭多，污染严重。

[0003] 随着全球优质炼焦煤资源日益枯竭，直接还原—电炉炼钢技术以其不用焦炭炼铁、流程短、能耗低、投资省、效率高、低污染等重大优越性，从 80 年代以来，深受各产钢国的重视，一致认为是 21 世纪高炉传统流程的重要补充。据资料统计，目前世界还原铁产量每年以百分之十几的速度在增长，还原铁用于现代大型电炉炼钢已成为世界广泛采用的成熟技术。将直接还原法用于综合利用钒钛铁精矿，一直是冶金界追求的目标，但是，大量试验研究表明，钒钛铁精矿与普通铁精矿的还原性质存在很大差异，一是难还原，表现在还原温度较高，时间较长；二是存在一个钒钛铁精矿特有的还原膨胀粉化难题；三是多了一个铁钛钒分离过程，从而导致现有的普通铁矿直接还原技术难以适应，如竖炉结瘤、流化床失流和粘结、回转炉结圈等，加上成本较高等原因，一直未能实现大规模工业生产。

[0004] 隧道窑还原法迄今是世界上还原铁粉生产的最主要方法，还是我国目前固体还原剂生产直接还原铁的重要方法。为了综合利用钒钛铁精矿，我们曾成功地进行了隧道窑还原磨选法制取微合金铁粉的半工业试验，并于 1991 年 3 月 23 日获得了国家发明专利（专利号为 ZL91106655.1），

[0005] 众所周知，隧道窑具有成熟可靠、投资少、见效快、成本低、产品质量高且稳定、操作简单、设备运行稳定、对原（燃）料的要求不苛刻、规模灵活等一系列优点，因而广泛应用于冶金、耐火材料、陶瓷等行业，而且长盛不衰。与此同时，隧道窑工艺用于高纯铁精矿生产海绵铁的缺点也是很突出的，那就是人们长久以来十分关注的单条窑的产能低、装料用的耐火材料容器的使用寿命短、传热慢以及装卸料劳动强度大和卫生条件差三大难题等等。国内、外在这方面进行了巨大努力，取得了很大进展，但尚有许多工作要做，任重道远。

发明内容：

[0006] 本发明所要解决的技术问题是：解决上述现有技术存在的问题，而提供一种新的综合利用钒钛铁精矿的产业化方法，为综合利用钒钛铁精矿提供一种隧道窑产能大、装料容器使用寿命长和导热性好及装卸料机械化的工业生产技术；同时力求降低还原温度、缩短还原时间，提高综合利用铁、钛、钒的水平，做到节能减排、降低生产成本。

[0007] 本发明采用的技术方案是：这种新的综合利用钒钛铁精矿的产业化方法，具体步骤如下：

[0008] 1) 原料：钒钛铁精矿；

- [0009] 2) 配料与混料: 将钒钛铁精矿与添加剂及固体还原剂按重量比配料: 100 : 3 ~ 15 : 12 ~ 25, 混料采用轮碾机混匀;
- [0010] 3) 压锭: 用工业全自动压机将上述混合料压制成圆锭;
- [0011] 4) 梯度合金罐装锭;
- [0012] 5) 推入隧道窑还原;
- [0013] 6) 还原锭破碎后三段或二段磨矿、二段磁选, 磁选得优质海绵铁粉或铁粉;
- [0014] 7) 富钒钛料提钒: 将上述磁选后尾矿添加工业碳酸钠造球, 回转窑焙烧, 水浸, 浸钒液浓缩后进行酸性铵盐沉钒, 再 450 ~ 550℃ 焙烧, 获高纯度 V_2O_5 产品
- [0015] 上述技术方案中, 添加剂为钠盐, 可采用工业氯化钠、工业硫酸钠、工业碳酸钠中的一种、两种或三种组合使用。
- [0016] 上述工业氯化钠包括盐湖盐、海盐、井盐、盐矿。
- [0017] 上述技术方案中, 固体还原剂可采用无烟煤、烟煤、碎焦、石油焦、褐煤中的一种、两种或三种组合使用。
- [0018] 上述技术方案中, 压制的圆锭密度 2.2 ~ 2.6 克 / 立方厘米, 直径 180 ~ 380 毫米, 厚度 150 ~ 220 毫米。
- [0019] 上述技术方案中, 隧道窑还原: 生产海绵铁和细铁粉时烧成温度 1000 ~ 1050℃, 保温时间 10 ~ 35 小时, 生产微合金铁粉的温度则为 1150 ~ 1200℃, 保温 10 ~ 35 小时, 还原锭用机械手卸出。
- [0020] 上述技术方案中, 还原锭破碎后采用三段磨矿二段磁选流程: 一段为棒磨, 磨至—200 目 60%, 磁场强度为 1000 ~ 1200 奥斯特, 二段、三段均为搅拌磨, 磨矿细度为—325 目 90 ~ 98%, 磁场强度为 500 ~ 800 奥斯特, 扫选磁场强度为 1800 奥斯特; 磁选精矿系含 TFe92 ~ 96%、金属化率为 93 ~ 97%、硫、磷均很低的优质海绵铁粉, 冷压成型后供电炉炼钢, 或精还原成含 TFe98.10% 的铁粉; 磁选尾矿为含 V_2O_5 2.8 ~ 3.4%、 TiO_2 48 ~ 49% 的富钒钛料; 生产微合金铁粉时, 采用二段磨矿二段磁选流程, 磨矿细度分别为—200 目 50 ~ 55% 和—200 目 60 ~ 70%, 其它条件和参数与上述三段磨矿二段磁选流程相同。
- [0021] 上述技术方案中, 富钒钛料提钒添加的工业碳酸钠为磁选后尾矿的重量百分比为 10 ~ 18%, 回转窑焙烧为 1050℃ 进行无污染氧化焙烧, 水浸, 钒浸出率为 90 ~ 95%, 酸性铵盐沉钒 PH 值为 2.1 ~ 2.3, 获 V_2O_5 产品纯度为 98.5 ~ 99%。
- [0022] 本发明适用于不同品位的钒钛铁精矿, 更适合高品位钒钛铁精矿, 其综合利用的技术、经济效果最佳, 海绵铁产率高, 非磁性物的钒钛品位高, 后续提钒钛的固定投资少, 流程短, 回收率高, 生产成本低, 无尾矿选矿, 不用建尾矿库。本发明混料用轮碾机混匀, 有利于后面成型密度的提高, 钠盐添加剂的品种和用量可因地制宜, 如附近的天然盐湖、海盐、井盐或岩盐, 添加量也可稍大一些, 以降低还原温度。本发明混合料压锭高密度成型后装罐与传统的粉料层装法相比, 同体积的装料量高出 80 ~ 85%, 大幅度提高隧道窑的产能及满足机械装料所需的强度。本发明用梯度合金罐代替碳化硅罐装料传热快, 还原时间短 1 倍左右, 使用寿命长 1 倍左右, 残罐回收利用率高。本发明隧道窑还原采用添加催化剂直接还原, 为分离铁与钛、钒提供了前提条件, 还原料磨选是实现分离铁与钛、钒的手段, 本发明合理组织还原磨选过程, 能有效的进行铁与钛、钒分离, 隧道窑产能比传统的粉料层装碳化硅罐工艺, 增加 1.4 ~ 1.6 倍。本发明富钒钛料提钒投资省, 钒、钛回收率高, 生产成本低。综

上所述,本发明能大幅度提高隧道窑产能和装料容器的使用寿命,装卸料机械化,综合利用程度高,产品有特色,技术上稳妥可靠,投资省,生产成本低,节能减排,污染小,为产业化创造了条件。

附图说明 :

- [0023] 图 1 为本发明工艺流程图
- [0024] 图 2 为 A、B、C、D 四个不同品种钒钛铁精矿的化学成分及—200 目含量 (%) 表
- [0025] 图 3 为 A 矿样还原磨选分离铁钛钒指标表
- [0026] 图 4 为 B 矿样还原磨选分离铁钛钒指标表
- [0027] 图 5 为 C 矿样还原磨选分离铁钛钒指标表
- [0028] 图 6 为 C 矿样还原磨选分离铁钛钒指标表
- [0029] 图 7 是采用 A 矿样为原料制备的本发明产品多元素分析结果 (%) 表

具体实施方式 :

- [0030] 参见图 1,本发明具体工艺流程和步骤及技术参数如下:
- [0031] 一、原料 :本发明适用于不同铁钛钒含量的钒钛铁精矿,但原料中 TFe、TiO₂、V₂O₅ 的含量越高,其综合利用的技术、经济效果越好,例如:以含 TFe56.48% 的钒钛铁精矿与含 TFe49.8% 钒钛铁精矿相比,其优点是:①还原料磨选得到的海绵铁产率高 6.46%;②非磁性物的钒钛品位高 (V₂O₅3.24%, TiO₂48.18%, 低品位原料的 V₂O₅2.44%, TiO₂36.97%), 后续提钒钛的固定投资少、流程短、回收率高、生产成本低、无尾矿选矿 (不用建尾矿库)。
- [0032] 二、配料与混料
 - [0033] 将钒钛铁精矿与钠盐添加剂、固体还原剂按 100 :3 ~ 15 :12 ~ 25 的重量比配料,用轮碾机混匀,其优点是有利后面的成型密度的提高;添加剂可为工业氯化钠 (盐湖盐、海盐、井盐、盐矿)、工业硫酸钠、工业碳酸钠中的一种、两种或三种组合使用,钠盐添加剂的品种和用量可因地制宜,厂区附近有天然盐湖、海盐、井盐或岩盐的可使用氯化钠,添加量也可稍大一些,以降低还原温度;附近有天然碱湖、碱矿或碱厂的地方,可考虑碳酸钠或碳酸氢钠;盛产芒硝或芒硝与氯化钠共生矿的地方可单独或混合使用;远处则可采用低钠盐添加量、较高还原温度的制度或考虑回收钠盐再用的办法。固体还原剂可为无烟煤、碎焦、石油焦、褐煤中的一种、两种或三种组合使用。
- [0034] 三、混合料压锭
 - [0035] 小型对比试验表明:采用矿、煤、钠盐混合料高密度 (2.6 克 / 立方厘米) 成型后装罐与传统的粉料层装法相比,同体积的装料量高出 80 ~ 85%,而成型密度与单位容积的装料量呈正比,成型密度 1.4 ~ 2.6 克 / 立方厘米范围内,对还原料磨选分离的指标呈正相关关系,因此,高成型密度可大幅度提高隧道窑的产能及满足机械装料所需的强度。
 - [0036] 本发明用工业型全自动压机将混合料压制高密度 (2.2 ~ 2.6 克 / 立方厘米) 的圆锭,直径为 180 ~ 380 毫米,厚度为 150 ~ 220 毫米,然后装罐,与传统的粉料层装法相比,优点有三:一是同体积的料罐的装料量提高 80 ~ 85%,二是改善还原料磨选分离铁、钛、钒效果;三是有利于机械装罐。
 - [0037] 工业试验验证了小型试验结果:采用工业型全自动压机将混合料压制成直径为

340mm 高为 170mm 的圆锭时,密度为 2.5 ~ 2.6 克 / 立方厘米。

[0038] 四、梯度合金罐代替碳化硅罐

[0039] 用机械将上述高密度大直径锭码放在隧道窑的窑车上,罩上特制的梯度合金罐,推入隧道窑直接还原。梯度合金罐同现有的碳化硅罐相比,其优点是:①传热快(还原时间短 1 倍左右);②使用寿命长 1 倍以上;③残罐回收利用率高。

[0040] 五、隧道窑还原

[0041] 在钒钛磁铁矿中,由于钛铁晶石、钒尖晶石、镁铝尖晶石及少量钛铁矿片晶与磁铁矿构成复合矿物,在选矿过程中无法分离,因而用它生产海绵铁和粉末冶金用还原铁粉及综合利用钒钛的技术关键是铁与钛、钒有效分离,为此我们开发出了添加催化剂的直接还原与机械分选相结合的方法。方法的基本原理可概括为:在特定的还原制度下,用固体还原剂使钒钛磁铁矿中的氧化铁充分还原为金属铁,并借助于添加剂的作用,使金属铁晶粒长大到可机械分选的粒度下限,然后磨选,使铁与钛、钒分离。

[0042] 在上述方法中,还原是分离铁与钛、钒的前提条件,磨选是实现铁与钛、钒分离的手段,合理组织还原磨选过程,便能有效的进行铁与钛、钒分离;而选择合适的还原条件,控制钒、钛与其它合金元素在金属铁中的含量和形态,以及钛钒矿物的转化形式,便能达到产出特定用途产品的目的。例如:还原温度 1150—1200℃、保温 10—35 小时,低钠盐添加剂,适宜生产微合金铁粉;1000 ~ 1050℃、保温 10—35 小时,较高钠盐添加剂适宜生产海绵铁和细铁粉,富钛料适宜作硫酸法钛白;1350℃以上有粒铁和碳(氮)化钛生成。

[0043] 本发明采用的直接还原设备为隧道窑。烧成带的温度为 1000 ~ 1050℃(生产微合金铁粉时为 1150 ~ 1200℃),停留时间为 10 ~ 35 小时。采用机械卸锭。由于采用高品位的钒钛铁精矿为原料、混合料大直径高密度压锭、梯度合金罐取代碳化硅罐等综合技术措施,隧道窑产能比传统的粉料层装碳化硅罐的工艺,可增加 1.4 ~ 1.6 倍。

[0044] 试验表明,添加剂不仅有利于铁与钛、钒分离,还可降低还原温度,例如:钠盐添加量为 3% 时,还原温度需要 1220 ~ 1250℃;钠盐 6% 时,温度可降至 1150℃;钠盐 13 ~ 15% 时,温度可降至 1000 ~ 1050℃。此外钠盐有很好的脱硫作用,可以免加脱硫剂。氯化钠的另一特点是在钒钛磁铁矿直接还原条件下,不会分解,可从还原料湿式磨矿的矿浆过滤洗涤水中回收 80 ~ 85% 的钠盐。

[0045] 六、还原锭破碎、磨矿、分选

[0046] 根据还原料的特性和实践经验,磨矿时要避免金属铁成片状,既是铁钛钒良好分离的需要,又是深加工成铁粉产品的形状条件,选择适当的磨机配以小球为磨矿介质,加强磨剥作用,尽可能减少冲击作用,是满足上述条件的关键。

[0047] 还原锭破碎至 5 ~ 10mm 后,进入棒磨机湿磨至 -200 目 60%,再进搅拌磨矿机细磨至 -325 目 90 ~ 98% (生产微合金铁粉时采用两段磨矿细度分别为 -200 目 50 ~ 55% 和 60 ~ 70%,磁场强度分别为 1000 ~ 1200 奥斯特和 500 ~ 800 奥斯特,两段磁选流程,扫选磁场强度为 1800 奥斯特),磁选流程为一粗、一精、一扫,中矿返回搅拌磨闭路,磁场强度依次为 1000 ~ 1200 奥斯特、500 ~ 800 奥斯特、1800 奥斯特,磁选精矿即为含 TFe92 ~ 96%、金属化率 93 ~ 97%,S0.014%,P0.0071% 的优质海绵铁粉,冷压成型和快速干燥后供电炉炼钢,海绵铁粉亦可在 800℃于分解氨的氢气气流中精还原,获得 TFe ≥ 98% 附加值高的铁粉。磁选尾矿为含 V₂O₅ 2.8 ~ 3.4%、TiO₂ 48 ~ 49% 的富钒钛料,供下一步提钒回收钛。

[0048] 七、富钒钛料提钒

[0049] 富钒钛料提钒采用磁选尾矿富钒钛料和以占尾矿重量 10 ~ 18% 的工业碳酸钠为添加剂造球,于回转窑进行无污染氧化焙烧—水浸—酸性铵盐沉钒法,水浸,钒浸出率为 90 ~ 95%,浸钒液浓缩后直接进行酸性 (PH 值为 2.1 ~ 2.3) 铵盐沉钒,最后经 450 ~ 550°C 煅烧后,得高纯度 V_2O_5 产品,本发明特点是原料含钒、钛高,处理量仅为钒钛铁精矿的 1/4,浸钒液浓缩后可直接沉钒,省去净化工序,尤其是难过滤的除硅工序,产出纯度 98.5 ~ 99% 的五氧化二钒产品,投资省,钒和钛的回收率高,生产成本低。沉钒后的尾液经离子交换树脂吸附后废液含钒降至 0.0028 克 / 升,PH 值为中性,达到排放标准,提钒渣含二氧化钛 47—48%,由于酸溶性好、粒度细、含铁低,适宜作硫酸法钛白的原料。

[0050] 本发明的工艺流程如附图 1 所示

[0051] 实施例 :

[0052] 按附图 1 流程,将钒钛铁精矿与添加剂钠盐和还原剂经轮碾机混料、自动压锭、机械装梯度合金罐、推入隧道窑直接还原、机械卸还原锭、破碎、磨矿、磁选,分离铁与钛、钒。

[0053] 四个不同品位 A、B、C、D 的钒钛铁精矿的化学成分及—200 目含量列于图 2 表,其还原磨选条件和铁、钛、钒分离指标分别见图 3 表、图 4 表、图 5 表和图 6 表。由图 3、4、5 表结果可以看出,不同品位钒钛铁精矿均可获得良好的铁、钛、钒分离指标,但精矿品位越高,得到的海绵铁产率越大,富钒钛料中钒和钛的品位越高。图 6 表说明, D 矿样在较低钠盐 (6%) 和较高还原温度 (1150°C) 条件下亦可得到较好的铁、钛、钒分离结果。

[0054] A 矿样的富钒钛料提钒条件及结果如下:

[0055] 富钒钛料与工业碳酸钠按 100 :10 ~ 18 的比例混匀造球,进入回转窑内 1050°C 氧化焙烧一小时,湿磨至 -325 目后按液固 5 :1 加温水浸,钒浸出率为 90 ~ 95%,浸出渣即为含 TiO_2 48% 的富钛料,可作为硫酸法钛白粉的原料。浸出液浓缩至含钒 12 ~ 16 克 / 升进行酸性 (PH 值 2.1 ~ 2.3) 铵盐沉钒 (特点是完全可以免去沉钒前的净化工序),沉淀物于 450 ~ 550°C 煅烧后,即可获得纯度为 98.5 ~ 99% 的 V_2O_5 产品,对铁精矿的回收率为 87%,沉钒后的尾液经离子交换树脂吸附后,废液含 V_2O_5 降至 0.0028 克 / 升,PH 值为中性可直接排放。

[0056] 以 A 矿样为原料制备的本发明产品的多元素分析结果见图 7 表。

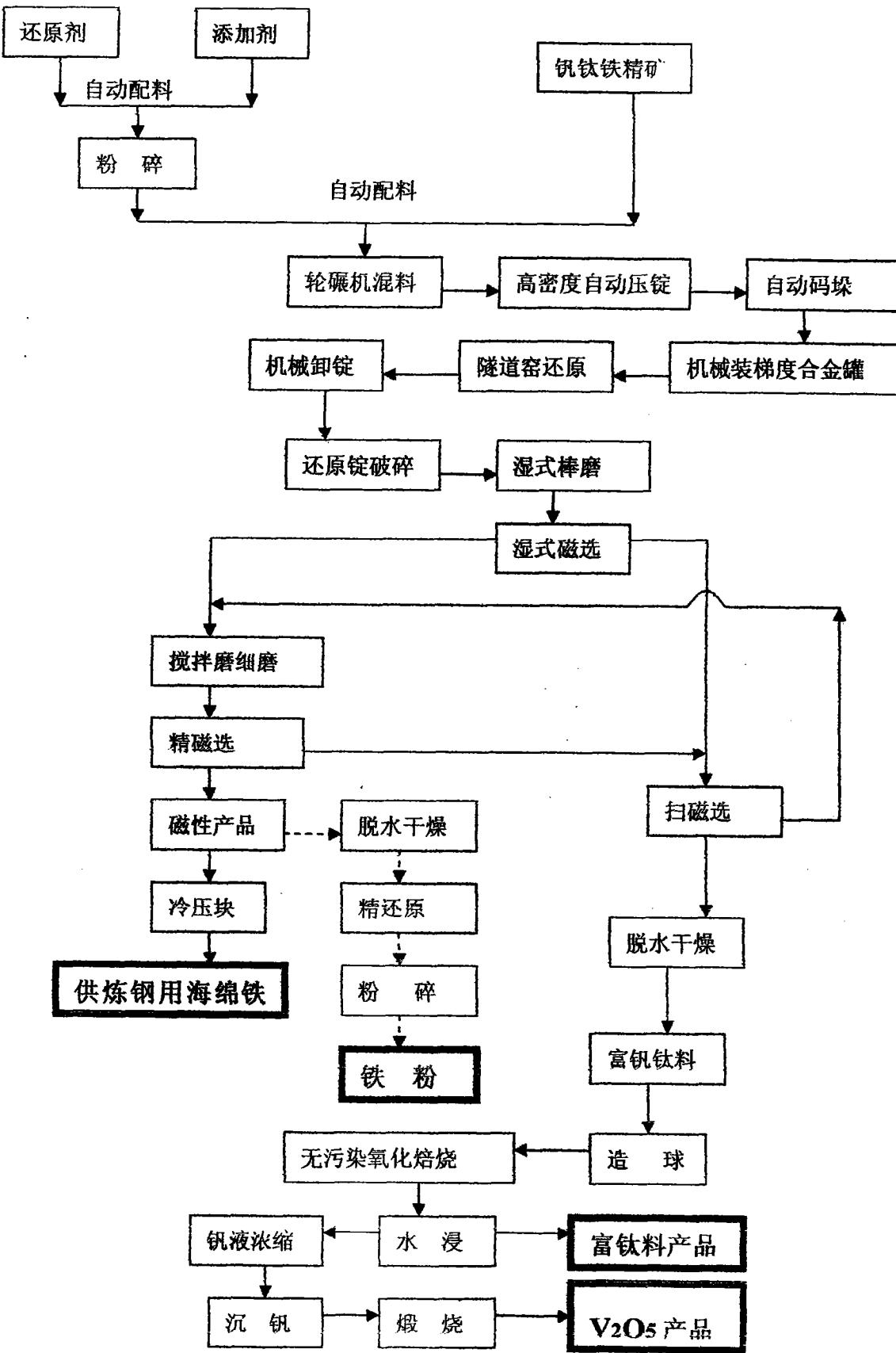


图 1

钒钛铁精矿化学成份组成及-200 目含量 (%)

精矿样 编号	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	P	S	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P	S	Ig	粒度 (-200 目)
A	56.91	13.31	0.90	0.0035	0.03	0.32	1.25	3.96	0.055	2.52	0.0072	0.0089	0.0035	0.030	0.46	85
B	52.80	12.45	0.82	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	40
C	49.80	13.02	0.80	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15
D	55.45	14.35	0.64	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	65

图 2

A 矿样还原磨选分离铁钛钒指标

产品 名称	产率 (%)	含量 (%)				回收率 (%)			金属化 率 (%)		还原磨选条件:		
		TFe	MF _e	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅	率 (%)	率 (%)	矿/还原剂 1/添加剂=100/18/15,	压轮密度 2.6g/cm ³ , 装料容器为梯度 合金罐, 还原温度 1050°C, 磨矿细 度 325 目 90~98%, 磁场强度 1200Oe	
海绵铁	69.27	94.70	88.92	0.66	0.076	95.62	2.95	4.92	93.90	/			
富钒 钛料	30.73	9.79	/	48.87	3.31	4.38	97.05	95.08	/				
还原料	100.0	68.61	/	15.48	1.07	100.0	100.0	100.0	/				

图 3

B 矿样还原磨选分离铁钛钒指标

产品 名称	产率 (%)	含量 (%)				回收率 (%)			金属化 率 (%)	还原磨选条件: 矿/还原剂 1/添加剂=100/18/15,
		TFe	MFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅		
海绵铁	66.44	92.59	88.56	1.55	0.10	94.22	6.63	5.93	95.65	压锭密度 2.6g/cm ³ , 装料容器为梯度合金罐, 还原温度 1050°C, 磨矿细度-325 目 90~98%, 磁场强度 1200Oe
富钒 钛料	33.56	11.25	/	43.20	2.85	5.78	93.37	94.07	/	
还原料		65.29	/	15.52	1.02	100.0	100.0	100.0	/	

图 4

C 矿样还原磨选分离铁钛钒指标

产品 名称	产率 (%)	含量 (%)				回收率 (%)			金属化 率 (%)	还原磨选条件: 矿/还原剂 1/添加剂=100/18/15,
		TFe	MFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅		
海绵铁	62.58	92.14	89.44	0.98	0.065	94.22	4.26	4.25	97.07	压锭密度 2.6g/cm ³ , 装料容器为梯度合金罐, 还原温度 1050°C, 磨矿细度-325 目 90~98%, 磁场强度 1200Oe
富钒 钛料	37.42	9.70	/	36.97	2.44	5.78	95.74	95.75	/	
还原料		61.38	/	14.45	0.95	100.0	100.0	100.0	/	

图 5

D 矿样还原磨选分离铁钛钒指标

产品 名称	产率 (%)	含 量 (%)				回 收 率 (%)		金 属 化 率 (%)	还 原 磨 选 条 件:
		TFe	MFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅	
海绵铁	55.72	92.21	89.60	1.41	0.12	90.20	5.19	9.80	97.17
富钒 钛料	44.28	12.61	/	32.44	1.39	9.80	94.81	90.20	/
还原料	56.96	/	15.15	0.68	100.0	100.0	100.0	100.0	/

矿/还原剂 2/添加剂=100/18/6,
压锭密度 2.6g/cm³,装料容器为梯度
合金罐,还原温度 1150℃,磨矿细
度-200 目 85~95%,磁场强度 1200Oe

图 6

A矿样产品多元素分析结果 (%)

元素名称	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	P	S	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C	MFe
海绵铁	94.70	0.66	0.076	0.0071	0.014	0.024	0.45	0.035	0.018	0.11	0.075	0.043	0.18	88.92
富钛料	7.55	48.35	0.17	0.0067	0.12	/	4.81	12.58	1.43	6.98	/	/	/	/
元素名称	V ₂ O ₅	SiO ₂	Al		Na ₂ O		P		Fe ₂ O ₃					
V ₂ O ₅	98.65	0.058	0.47		0.065		0.0028		0.0286					
元素名称	TFe	MFe	S		P		C		Si		Ti			
铁粉	98.10	96.80	0.013		0.0023		0.095		0.041		0.41			

图 7