

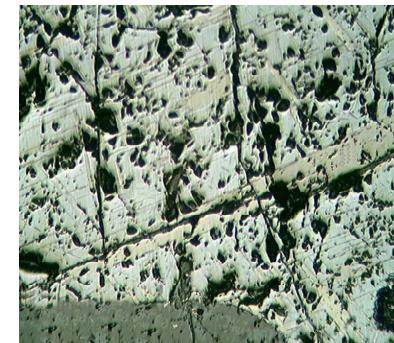
文章编号: 0254-5357(2013)01-0084-06

# 承德钒钛磁铁矿钒和钛物相的联测分析方法

王立平, 杨明灵, 赵海珍, 张丽, 杨义民, 吴迪, 尹剑飞

(河北省地勘局承德实验室, 河北 承德 067000)

**摘要:** 依据承德地区大庙式钒钛磁铁矿床特征, 通过人工重砂分离及单矿物化学分析并结合电子探针、岩矿鉴定结果查明了承德钒钛磁铁矿石中的含钒矿物主要是钛磁铁矿和磁铁矿, 次要矿物是钛铁矿和硅酸盐; 含钛矿物主要是钛铁矿、钛磁铁矿, 次要矿物是金红石、榍石。根据承德钒钛磁铁矿石钒和铁呈正比的关系, 选取代表性试样进行了钒钛物相分析项目的确定及溶剂选择的实验, 最终确定了钒和钛物相分析测定流程。钒物相分析测定项目为磁铁矿和钛磁铁矿中的钒、钛铁矿中的钒、硅酸盐中的钒及总钒四项; 钛物相分析测定项目为钛铁矿中的钛、磁铁矿和钛磁铁矿中的钛、金红石中的钛、硅酸盐中的钛及总钛五项。通过本方法测定的各种含钒和钛矿物含量占矿石中总钒和总钛含量的比例与人工重砂分析定量计算的各种含钒和钛矿物含量占矿石中总钒和总钛含量的比例是相互吻合的。对110件钒钛磁铁矿石样品进行了4种含钛矿物及3种含钒矿物物相分析, 结果与实际地质成矿组分符合。本方法实现了钒钛磁铁矿中钒矿物和钛矿物的定量分离, 确定了钒和钛物相联测分析流程, 可以同时测定钒和钛矿物的含量。



**关键词:** 钒钛磁铁矿; 钒; 钛; 物相测定

**中图分类号:** P578.12; O614.511; O614.411

**文献标识码:** A

钒钛磁铁矿床以往均列入铁矿床。因钒、钛资源工业利用价值提高, 很多国家已经将钒、钛列入战略物资。我国在本世纪初对钒钛磁铁矿的定位进行了调整, 明确提出钒钛磁铁矿床中钒、钛是主要的, 铁是次要的。

2010年国家发改委批准河北省承德市建立“北方钒钛基地”以加强对钒、钛的工业利用。近几年河北省加大了对承德大庙式钒钛磁铁矿床的勘查投入(资金近亿元), 并把大庙钒钛磁铁矿集区列为重点勘查区。因此, 研究钒和钛在钒钛磁铁矿石中的矿物存在形式, 进而得出各矿物的分布情况及所占的比例, 对于地质勘查、矿床评价、钒钛等有用组分的综合利用、建立完善钒钛加工产业链均具有重大意义。

物相分析在地质找矿中的作用非常重要<sup>[1]</sup>, 近年来取得了许多新的研究进展<sup>[2~3]</sup>。目前关于钒和钛物相分析报道有钛矿石中钛的物相分析<sup>[4~6]</sup>、钒钛炉渣中钒钛物相分析<sup>[7]</sup>、含钒碳质页岩中钒的物相分析<sup>[8]</sup>、矿物及炉渣中钒钛物相分析<sup>[9]</sup>。与钒钛磁铁矿

相近的铁矿石物相分析报道较多的是铁物相分析<sup>[10~12]</sup>, 而对钒钛磁铁矿中钒和钛物相分析方法的报道极少。本文根据承德钒钛磁铁矿石的特点, 通过岩矿鉴定、人工重砂、电子探针、单矿物分析查明承德钒钛磁铁矿石中钒和钛的物相, 并进行反复实验, 确定钒和钛物相的联测分析流程, 建立了准确、快速的钒和钛物相联测分析方法。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器

UV-mini1240型紫外-可见分光光度计(日本岛津公司); AL104型电子天平。

### 1.2 标准溶液和主要试剂

五氧化二钒标准储备溶液: 称取预先在105~110℃烘干的0.1000 g光谱纯五氧化二钒, 置于250 mL烧杯中, 加入100 mL 1 mol/L硫酸加热, 溶解完全后, 冷却, 移入1000 mL容量瓶中, 用1 mol/L硫酸稀释至刻度, 摆匀。此溶液 $\rho(V_2O_5) = 100 \mu\text{g/mL}$ 。

收稿日期: 2012-03-24; 接受日期: 2012-04-12

作者简介: 王立平, 高级工程师, 主要从事岩石矿物分析和方法研究工作。E-mail: wlp0907@126.com。

五氧化二钒标准溶液:吸取五氧化二钒标准储备溶液50 mL,移入500 mL容量瓶中,用1 mol/L硫酸稀释至刻度,摇匀。此溶液 $\rho(V_2O_5)=10\mu\text{g/mL}$ 。

二氧化钛标准溶液:称取预先在1000℃灼烧1 h的0.5000 g光谱纯二氧化钛于铂金坩埚中,加入10 g的K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>,于650℃马弗炉中灼烧10~15 min,熔融后取出,冷却后放入250 mL烧杯中,加入100 mL 5%的硫酸,于电热板加热提取坩埚,待完全溶解后,冷却后移入1000 mL容量瓶中,用5%的硫酸稀释至刻度,摇匀。此溶液 $\rho(TiO_2)=500\mu\text{g/mL}$ 。

硫酸、过氧化钠、高锰酸钾、氟化钠、EDTA、4-(2-吡啶偶氮)间苯二酚(简称PAR)、过氧化氢、碳酸钠、盐酸、氟化氢铵、硝酸、磷酸等均为分析纯。

实验用水为二级水。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 总五氧化二钒及总二氧化钛量(A)

首先把钒钛磁铁矿石样品加工至粒径小于0.074 mm,经105℃烘干后准确称取0.3000 g样品。随同样品分析全过程做双份空白试验。置于预先盛有少量碳酸钠的25 mL高铝坩埚中,加入少量过氧化钠搅匀后,再覆盖一层过氧化钠(共2.0 g左右),将坩埚置于预先升温至750℃左右的马弗炉中熔融10 min左右,呈流体后取出,冷却后移入250 mL烧杯中,加沸水50 mL,待反应停止后,在电炉上加热煮沸1~2 min后取下,加入15 mL 50%的硫酸,用水提取坩埚,用水定容至100 mL容量瓶中,摇匀,待测。

五氧化二钒标准系列:吸取0、10、20、30、40、50、60、70、80 μg五氧化二钒标准溶液(10 μg/mL)于50 mL比色管中,滴加10 g/L高锰酸钾溶液至稳定紫色,摇匀,放置5 min,加入4 mL 40 g/L氟化钠溶液摇匀,加入1 mL 2%的EDTA溶液摇匀,待紫色褪去后再滴加10滴3%的过氧化氢,加入5 mL 0.3 g/L PAR乙醇溶液、3 mL 2.5 mol/L硫酸,用水稀释至刻度摇匀。于56~58℃水浴中保温1 h,取出后迅速冷却至室温,在550 nm波长处用2 cm比色皿测量吸光度。

五氧化二钒的测定:准确吸取样品溶液5 mL,放入50 mL比色管中,以下操作同五氧化二钒标准系列,计算总钒量(A<sub>V</sub>)。

二氧化钛标准系列:吸取0、250、500、750、1000、1500、2000、2500 μg二氧化钛标准溶液(500 μg/mL)于50 mL容量瓶中,加入5 mL 50%的硫酸、

1 mL浓磷酸、1 mL 30%的过氧化氢,用水稀释至刻度,摇匀,放置30 min,在波长420 nm处用1 cm比色皿测量吸光度。

二氧化钛的测定:准确吸取样品溶液5 mL,放入50 mL容量瓶中,加入20 mL水,以下操作同二氧化钛标准系列,计算总钛量(A<sub>Ti</sub>)。

#### 1.3.2 磁铁矿和钛磁铁矿中的五氧化二钒及二氧化钛量(B)

首先把钒钛磁铁矿石样品加工至粒径小于0.074 mm,经105℃烘干后准确称取0.3000 g样品。随同样品分析全过程做双份空白试验。置于250 mL烧杯中,用磁场强度为 $900 \times 10^3 / 4\pi$  A/m的磁铁进行湿法磁选,磁性部分经干燥箱烘干后移入预先盛有少量碳酸钠的25 mL高铝坩埚中,加入少量过氧化钠搅匀后,再覆盖一层过氧化钠(共2.0 g左右),以下操作同1.3.1节,分别计算钒量、钛量(B<sub>V</sub>及B<sub>Ti</sub>)。磁选后的固液混合物保留。

#### 1.3.3 钛铁矿中的五氧化二钒及二氧化钛量(C)

在经磁选后的固液混合物中加入0.5 g氟化钠、50 mL 8 mol/L盐酸,在电热板上加热,并在近沸的温度下保持1.5~2.0 h(温度不宜过高,否则盐酸易挥发使烧杯中盐酸浓度变小。如由于加热而使体积减少很多,需补加8 mol/L盐酸)。加热过程中要不断搅拌。用致密定量滤纸过滤,滤纸和烧杯用2%盐酸酸化的热水洗涤,直至滤纸上无铁离子的黄色为止,滤液收集于250 mL烧杯中,在滤液中加入3~5 mL 50%的硫酸,置于电热板上加热蒸发至冒烟。冷却,用水吹洗杯壁,再冒烟一次,以除尽氟离子。冷却后加入10 mL 50%的硫酸,用水定容于100 mL容量瓶中,以下操作同1.3.1节,分别计算钒量、钛量(C<sub>V</sub>及C<sub>Ti</sub>)。此项结果包含硅酸盐中的五氧化二钒及二氧化钛的含量,用此项结果减去硅酸盐中五氧化二钒及二氧化钛的含量即得钛铁矿中五氧化二钒及二氧化钛的含量。残渣留作测定金红石的二氧化钛。

#### 1.3.4 金红石中的二氧化钛量(D)

将1.3.3节过滤的残渣放入25 mL高铝坩埚中,灰化完全后取出冷却,加入少量碳酸钠及过氧化钠搅匀后,再覆盖一层过氧化钠(共2.0 g左右),放入750℃马弗炉中熔融10~15 min后,取出冷却,加入50 mL沸水,置于电炉上加热煮沸3 min后取下,冷却后加入15 mL 50%的硫酸提取坩埚,用水定容至100 mL容量瓶中,摇匀备用,以下操作同1.3.1节中TiO<sub>2</sub>的测定,计算钛量(D<sub>Ti</sub>)。

### 1.3.5 硅酸盐中的五氧化二钒及二氧化钛量(E)

首先把钒钛磁铁矿石样品加工至粒径小于0.074 mm,经105℃烘干后准确称取0.3000 g样品。用磁场强度为 $900 \times 10^3 / 4\pi$  A/m的磁铁进行湿法磁选,非磁性部分经滤纸过滤,滤纸及残渣移入30 mL瓷坩埚中灰化后,置于760℃马弗炉中焙烧30 min,取出冷却,移入250 mL烧杯中,加入30%的硝酸和30 g/L氟化氢铵混合溶液50 mL,在沸水浴中摇浸40 min后,经滤纸过滤用水洗涤,用250 mL烧杯承接滤液,在滤液中加入3~5 mL 50%的硫酸,在电热板上加热蒸发至冒烟。冷却,用水吹洗杯壁,再冒烟一次,以除尽氟离子。冷却后加入10 mL 50%的硫酸,用水定容至100 mL容量瓶中,以下操作同1.3.1节,分别计算钒量、钛量( $E_V$ 及 $E_{Ti}$ )。

### 1.3.6 分析流程

矿石中钒和钛物相的联测流程见图1和图2。

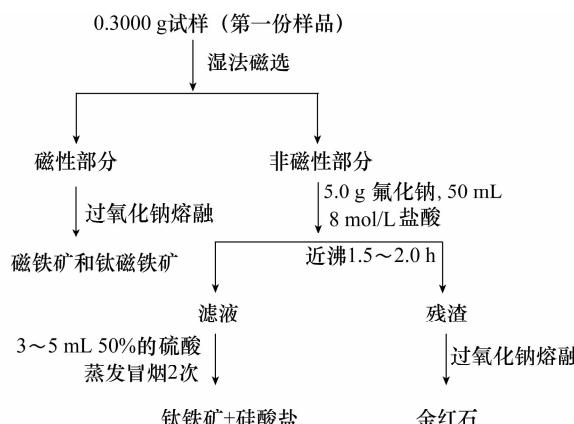


图1 钒和钛物相联测流程

Fig. 1 Flow chart of vanadium and titanium phase measurement

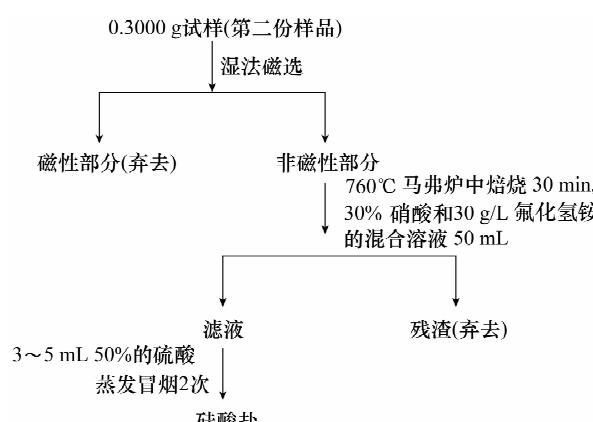


图2 钒和钛物相联测中硅酸盐单独分析流程

Fig. 2 Flow chart of silicate analysis in vanadium and titanium phase measurement

### 1.3.7 钒钛磁铁矿石钒物相和钛物相表示

钒物相表示:

$$w(\text{磁铁矿和钛磁铁矿中的五氧化二钒}) =$$

$$B_V \times 100\%$$

$$w(\text{钛铁矿中的五氧化二钒}) =$$

$$(C_V - E_V) \times 100\%$$

$$w(\text{硅酸盐中的五氧化二钒}) = E_V \times 100\%$$

钛物相表示:

$$w(\text{磁铁矿和钛磁铁矿中的二氧化钛}) =$$

$$B_{Ti} \times 100\%$$

$$w(\text{钛铁矿中的二氧化钛}) = (C_{Ti} - E_{Ti}) \times 100\%$$

$$w(\text{金红石中的二氧化钛}) = D_{Ti} \times 100\%$$

$$w(\text{硅酸盐中的二氧化钛}) = E_{Ti} \times 100\%$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 承德地区钒钛磁铁矿的矿床特征

本文钒钛磁铁矿石钒和钛物相分析主要以研究均属于承德大庙式钒钛磁铁矿床的大乌苏南沟钒钛磁铁矿床和东大洼钒钛磁铁矿床为主。大乌苏南沟矿床钒钛磁铁矿石具稀疏浸染状、稠密浸染状和少量块状构造,并以稠密浸染状矿石为主。矿石的结构主要为海绵陨铁结构、格状溶离结构等。矿石中主要金属矿物为含钒磁铁矿、钛磁铁矿、钛铁矿(含铁矿物总量25%~50%),另见少量的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿及微量的硫镍矿、镍黄铁矿、含钴镍方黄铜矿;脉石矿物主要为拉长石、紫苏辉石、橄榄石、单斜辉石等(脉石矿物总量50%~75%)。东大洼矿床钒钛磁铁矿石具自形-半自形晶粒结构、格状溶离结构、海绵陨铁结构。构造有致密块状构造、浸染状构造,并以致密块状构造和稠密浸染状构造为主。矿石金属矿物主要为钛磁铁矿、含钒磁铁矿、钛铁矿,次有少量含钴黄铁矿、黄铜矿,脉石矿物主要为绿泥石、斜长石。另见有钛铁矿受热液蚀变生成的金红石和榍石。

### 2.2 钒钛物相分析测定项目确定

总体上来看,两矿床的钒和钛矿物主要类型基本一致。东大洼矿床相比大乌苏南沟矿床蚀变钛矿物含量略高。根据人工重砂分离及单矿物化学分析并结合电子探针、岩矿鉴定结果,钒钛磁铁矿石中的含钒矿物主要是钛磁铁矿和磁铁矿,次要矿物是钛铁矿和硅酸盐;含钛矿物主要是钛铁矿、钛磁铁矿,次要矿物是金红石、榍石。

由于钒和铁呈正比关系,在研究钒物相上本文采用与铁物相相同的方法进行测试。选取代表性的

试样进行磁铁矿、钛磁铁矿、钛铁矿、碳酸盐、赤褐铁矿、硅酸盐、硫化物、金红石中钒和钛含量分析。钒的含量在磁铁矿和钛磁铁矿中最高,其次为钛铁矿,硅酸盐中少量,而碳酸盐、赤褐铁矿、硫化物矿及金红石中的钒含量均小于0.1%,可以忽略不计。钛的含量在钛铁矿中最高,在钛磁铁矿和磁铁矿中次之;另在金红石和硅酸盐中亦含有少量钛。

综合以上,本文将钒钛磁铁矿石中钒物相分析测定项目确定为磁铁矿和钛磁铁矿中的钒、钛铁矿中的钒、硅酸盐中的钒及总钒四项;钛物相分析测定项目确定为钛铁矿中的钛、磁铁矿和钛磁铁矿中的钛、金红石中的钛、硅酸盐中的钛及总钛五项。

### 2.3 溶剂的选择

要准确测定某一矿物(相态)中钒和钛的含量,必须实现该矿物与其他矿物的定量分离。钒钛磁铁矿石是难分解矿石,熔样一般采用高铝坩埚过氧化钠熔融。总钒量及总钛量的测定及磁铁矿和钛磁铁矿中的五氧化二钒及二氧化钛的测定也采用这种熔样方法。

盐酸-氟化钠法能较好地分离金红石和钛铁矿(包括硅酸盐矿物)。试样在加热情况下处理1.5~2 h,钛铁矿和硅酸盐矿物可全部溶解,而金红石仅溶解1%。因此用50 g/L氟化氢铵溶液和浓盐酸能将金红石与其他矿物很好地分离,且对环境污染较小。

钒钛磁铁矿石中钒、钛矿物分离的难点是钛铁矿和硅酸盐矿物的分离。因为硅酸盐和钛铁矿在常用无机酸中的溶解行为相似,所以单纯地用无机酸很难将它们进行分离。参考相关文献,钛铁矿经700~800℃焙烧后,形成难溶的二氧化钛不能被含氟化物的稀硝酸溶解,且硅酸盐和金红石不发生变化,且温度不能超过800℃,否则易形成铁板钛矿使溶解度增大。据此本文进行了焙烧条件试验,结果

表明温度控制在760℃左右为宜,焙烧时间为30 min。焙烧后的试样用30%的硝酸和30 g/L氟化氢铵的混合溶液50 mL于沸水浴上溶解1 h,并不断搅拌,选择性溶解硅酸盐,硅酸盐的浸出率在98%以上,而钛铁矿几乎不溶。

### 2.4 分析结果对照

计算不同类型的矿石中各种含钒和含钛矿物的含量占总钒和总钛含量的比例,与人工重砂定量分析计算出的各种含钒和含钛矿物的含量占总钒和总钛含量的比例进行比较。因钒矿物主要分布于钛磁铁矿中,在硅酸盐和钛铁矿中有少量分布;钛矿物主要以单矿物形式分布于钛铁矿中,其次是在钛磁铁矿中,有少量分布于金红石和硅酸盐中,所以表1和表2列出了主要矿物的对比,其他含量很少的矿物则列为其他矿物。

从表1、表2中钒和钛物相联测的分析结果与人工重砂分析定量计算的结果比较可知,在东大洼矿区和大乌苏南沟矿区不同类型的矿石中,含钒和含钛矿物含量占总钒和总钛含量的比例是相互吻合的,同时验证了含钛矿物主要以单矿物形式分布于钛铁矿中,其次分布在钛磁铁矿中,有少量分布于金红石和硅酸盐中;含钒矿物主要分布于钛磁铁矿中,在钛铁矿中有少量分布。

## 3 实际样品的物相分析

根据确定的矿石中钒和钛物相的分析流程,本文分析了大乌苏南沟钒钛磁铁矿床和东大洼钒钛磁铁矿床有代表性的样品共110件。应用本方法对矿石中含钒的主要三种矿物及含钛的主要四种矿物进行了物相分析,结果与成矿组分符合。主要矿物类型的代表性样品分析结果列于表3和表4。

表1 钒物相分析与重砂分析钒的含量比较

Table 1 Comparison of vanadium with phase analysis and panning analysis

矿区	矿石类型	方法	钒总量 w/%	磁铁矿和钛磁铁矿		钛铁矿		其他矿物	
				钒含量 w/%	占总钒比例/%	钒含量 w/%	占总钒比例/%	钒含量 w/%	占总钒比例/%
东大洼	稀疏铁矿	重砂分析定量计算	0.432	0.307	71.09	0.020	4.66	0.105	24.25
		本样品物相分析	0.432	0.331	76.62	0.029	6.71	0.050	11.57
	稠密铁矿	重砂分析定量计算	0.550	0.441	80.12	0.022	4.00	0.087	15.88
		本样品物相分析	0.550	0.450	81.82	0.020	3.64	0.050	9.09
大乌苏	致密铁矿	重砂分析定量计算	0.530	0.495	93.379	0.035	6.596	0.00013	0.024
		本样品物相分析	0.530	0.515	97.170	0.004	0.755	0.011	2.075
	含铁苏长岩	重砂分析定量计算	0.063	0.015	23.15	0.013	20.22	0.036	56.64
		本样品物相分析	0.063	0.018	28.57	0.013	20.63	0.039	61.90
南沟	苏长岩型	重砂分析定量计算	0.290	0.237	81.70	0.011	3.91	0.042	14.39
	稠密铁矿	本样品物相分析	0.290	0.245	84.48	0.027	9.31	0.024	8.28

表2 钛物相分析与重砂分析钛的含量比较

Table 2 Comparison of titanium with phase analysis and panning analysis

矿区	矿石类型	方法	钛总量 w/%	钛铁矿		磁铁矿和钛磁铁矿		其他矿物	
				钛含量 w/%	占总钛比例/%	钛含量 w/%	占总钛比例/%	钛含量 w/%	占总钛比例/%
东大洼	稀疏铁矿	重砂分析定量计算	8.71	4.92	56.44	1.82	20.86	1.98	22.70
		本样品物相分析	8.71	5.83	66.93	1.83	21.01	1.30	14.93
	稠密铁矿	重砂分析定量计算	11.50	6.11	53.15	4.01	34.91	1.37	11.94
		本样品物相分析	11.50	5.94	51.65	3.24	28.17	1.96	17.04
大乌苏	致密铁矿	重砂分析定量计算	13.55	6.77	49.96	5.31	39.19	1.47	10.85
		本样品物相分析	13.55	6.04	44.58	6.67	49.23	0.84	6.20
	含铁苏长岩	重砂分析定量计算	5.02	3.76	74.89	0.44	8.72	0.82	16.39
		本样品物相分析	5.02	3.79	75.50	0.11	2.19	1.00	19.92
南沟	苏长岩型	重砂分析定量计算	7.94	4.63	58.33	2.60	32.80	0.70	8.71
	稠密铁矿	本样品物相分析	7.94	4.54	57.18	2.62	33.00	0.96	12.09

表3 钒实际样品分析结果

Table 3 Analytical results of vanadium in practical samples

矿区	矿石类型	样品 编号	钒总量 w/%	磁铁矿和钛磁铁矿		钛铁矿		硅酸盐	
				钒含量 w/%	占总钒比例/%	钒含量 w/%	占总钒比例/%	钒含量 w/%	占总钒比例/%
东大洼	稠密铁矿	Wx01	0.352	0.263	74.72	0.029	8.24	0.037	10.51
		Wx02	0.200	0.188	94.00	0.008	4.00	0.028	14.00
		Wx03	0.215	0.162	75.35	0.015	6.98	0.039	18.14
		Wx04	0.429	0.359	83.68	0.024	5.59	0.041	9.56
大乌苏	含铁苏长岩	Wx05	0.329	0.266	80.85	0.009	2.74	0.053	16.10
		Wx06	0.445	0.386	86.74	0.015	3.37	0.037	8.31
		Wx07	0.474	0.419	88.40	0.027	5.70	0.020	4.22
		Wx08	0.502	0.473	94.22	0.011	2.19	0.019	3.78
南沟	苏长岩型	Wx09	0.492	0.447	90.85	0.010	2.03	0.011	2.24
		Wx10	0.121	0.082	67.77	0.009	7.44	0.021	17.36
		Wx11	0.181	0.117	64.64	0.020	11.05	0.044	24.31
		Wx12	0.128	0.091	71.09	0.006	4.69	0.017	13.28
南沟	稠密铁矿	Wx13	0.376	0.359	95.48	0.008	2.13	0.013	3.46
		Wx14	0.263	0.255	96.96	0.015	5.70	0.029	11.03
		Wx15	0.258	0.242	93.80	0.027	10.46	0.027	10.46

表4 钛实际样品分析结果

Table 4 Analytical results of titanium in practical samples

矿区	矿石类型	样品 编号	钛总量 w/%	钛铁矿		磁铁矿和钛磁铁矿		金红石		硅酸盐	
				钛含量 w/%	占总钛 比例/%	钛含量 w/%	占总钛 比例/%	钛含量 w/%	占总钛 比例/%	钛含量 w/%	占总钛 比例/%
东大洼	稠密铁矿	Wx01	10.20	6.05	59.31	3.45	33.82	0.22	2.16	0.28	2.75
		Wx02	8.76	4.82	55.02	2.78	31.74	0.50	5.71	0.43	4.91
		Wx03	7.02	4.55	64.81	1.72	24.50	0.57	8.12	0.27	3.85
		Wx04	11.61	5.58	48.06	5.05	43.50	0.65	5.60	0.33	2.84
大乌苏	含铁苏长岩	Wx05	10.82	5.51	50.92	3.29	30.41	1.33	12.29	0.31	2.87
		Wx06	12.80	6.31	49.30	3.86	30.16	2.06	16.09	0.38	2.97
		Wx07	14.95	8.18	54.72	6.36	42.54	0.15	1.00	0.35	2.34
		Wx08	14.37	8.18	56.92	4.54	31.59	1.09	7.58	0.29	2.02
南沟	苏长岩型	Wx09	14.76	8.33	56.43	5.24	35.50	0.75	5.08	0.22	1.49
		Wx10	4.78	3.41	71.33	0.89	18.62	0.094	1.97	0.43	9.00
		Wx11	6.83	5.01	73.35	1.29	18.88	0.013	0.19	0.61	8.93
		Wx12	4.50	3.66	80.44	0.37	8.22	0.098	2.18	0.37	8.22
南沟	稠密铁矿	Wx13	10.44	5.67	54.31	4.07	38.98	0.076	0.73	0.32	3.07
		Wx14	9.53	4.44	46.59	4.25	44.60	0.40	4.20	0.51	5.35
		Wx15	10.61	5.43	51.18	4.24	39.96	0.21	1.98	0.53	5.00

## 4 结语

本文通过对承德地区两个典型的钒钛磁铁矿床的钒钛磁铁矿进行了详细的研究,确定了承德钒钛磁铁矿石中的含钒矿物主要是磁铁矿和钛磁铁矿,其次是钛铁矿和硅酸盐;含钛矿物主要是钛铁矿和钛磁铁矿,次要矿物是金红石和榍石。将钒钛磁铁矿石中钒物相分析测定项目确定为磁铁矿和钛磁铁矿中的钒、钛铁矿中的钒、硅酸盐中的钒、总钒四项;钛物相分析测定项目确定为钛铁矿中的钛、磁铁矿和钛磁铁矿中的钛、金红石中的钛、硅酸盐中的钛、总钛五项,建立了钒和钛物相联测的分析方法。此方法能够准确地测定钒钛磁铁矿石中钒和钛物相及钒和钛在自然界的赋存状态,对钒钛资源的开发利用具体重要作用。

## 5 参考文献

- [1] 龚美菱.相态分析与地质找矿[M].北京:地质出版社,2007: 80-90.
- [2] 黄宝贵.我国化学物相分析的进展[J].分析化学,1999,27(12): 1454-1461.

- [3] 龚美菱.地质物料的化学物相分析[J].岩矿测试,1992,11(1): 168-172.
- [4] 岩石矿物分析编委会.岩石矿物分析(第四版第二分册)[M].北京:地质出版社,2011: 798-803.
- [5] 赵德平,阮鸿兴.以金红石为主的钛矿石中钛的物相分析方法研究[J].冶金分析,2001,21(2): 53-55.
- [6] 郑民奇,李邦民,程秀花.钛矿石物相的快速分析[J].岩矿测试,2010,29(1): 61-63.
- [7] 徐本平.樊枝花钒钛炉渣中钒钛现行化学物相分析方法介绍[J].冶金分析,1995,15(3): 39-41.
- [8] 靳晓珠.含钒碳质页岩中钒的物相分析[J].分析试验室,2000,19(2): 50-52.
- [9] 陈友善.矿物及炉渣中钒钛物相分析概述[J].分析试验室,1986,5(12): 46-49.
- [10] 黄宝贵.铁矿石化学物相分析中硅酸铁的分离测定方法述评[J].岩矿测试,2010,29(2): 169-174.
- [11] 郭茂生,唐肖政.铁矿石物相分析标准物质的研制[J].岩矿测试,1996,15(4): 311-318.
- [12] 龚美菱.化学物相分析法测定菱铁矿的单矿物化学组成[J].岩矿测试,1989,8(1): 8-13.

# Determination Method of Vanadium and Titanium Phases for Chengde Vanadium Titanium Magnetite

WANG Li-ping, YANG Ming-ling, ZHAO Hai-zhen, ZHANG Li, YANG Yi-min, WU Di, YIN Jian-fei  
(Chengde Laboratory of Geologic Prospecting Bureau of Hebei Province, Chengde 067000, China)

**Abstract:** According to characteristics of the Damiao type vanadic-titanomagnetite deposit in the Chengde area, the mineral compositions of the deposit were studied by using artificial heavy sands separation, single mineral chemical analysis, electron probe and mineral and rock identification. The results indicate that major V-bearing minerals of the Chengde vanadium-titanium magnetite ores are Titanium magnetite and magnetite and the minor minerals are ilmenite and silicate. The major Ti-bearing minerals are ilmenite and Titanium magnetite with the minor Ti-bearing minerals being rutile and sphene. According to the positive relationship of V and Ti in the Chengde vanadium-titanium magnetite ore, a representative sample was selected for V and Ti phase project identification analysis and solvent selection experiments to determine the final phase analysis procedure of V and Ti. Four V Phase analysis projects were used to determine V in magnetite, Titanium magnetite, ilmenite and silicates with total V content. Five Ti phase analysis projects were used to determine Ti in ilmenite, magnetite, titanium magnetite, rutile and silicates with total Ti content. The proportions of the contents of V and Ti bearing minerals over the total V and Ti contents by this method were consistent with those determined by artificial heavy sand separation. 4 kinds of Ti-bearing minerals and 3 kinds of V-bearing minerals were selected for phase analysis of 110 pieces of vanadium-titanium magnetite ore samples. The results were in accord with the mineral compositions of the actual geological samples. The established method was good for V and Ti minerals quantitative separation in vanadium-titanium magnetite ore. The established joint procedure for V and Ti phase analysis was good for the simultaneous determination of contents of the V and Ti bearing minerals.

**Key words:** vanadium titanium magnetite; vanadium; titanium; phase measurement