

# Research and Application on Measurement of Vanadium Pentoxide Volumetric Method in Stone Coal

Zongping Tian<sup>1</sup>, Ganzhen Wang<sup>1</sup>, Li Li<sup>2</sup>, Qing Yang<sup>2</sup>, Chaoqun Li<sup>1</sup>, Liqin Zhu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Beneficiation and Metallurgy, Hunan Geological Testing Institute, Changsha Hunan

<sup>2</sup>Test Center, Hunan Non-Ferrous Geological Prospecting Bureau Rows 245, Jishou Hunan

Email: hnxx-tianzongping@163.com

Received: Aug. 18<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 5<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 8<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

During the preparation of vanadium ore standard material from stone coal (black shale series), in order to obtain the accurate measurement results of vanadium pentoxide mass percentage, reference checks, different decomposition methods and measurement tests, double ratio tests and recovery tests are used to carry out determination of vanadium pentoxide volumetric in bone coal. The result shows that ammonium ferrous sulfate volumetric method has advantages of simple, efficient and high measurement precision. But to achieve quality requirements of "Geology and Mineral Resources Laboratory Testing and Quality Management Practices (DZ/T0130-2006)", it requires that the operators should be familiar with the technical essentials of volumetric method. Finally, the measurement method is applied to the preparation of vanadium ore standard material in stone coal developed by value. The traceability purposes and the exact percentage content of vanadium pentoxide quality results are achieved.

## Keywords

Stone Coal Vanadium Ore, Vanadium Pentoxide, Volumetric Method, Research and Application

# 石煤中五氧化二钒容量法测定研究与应用

田宗平<sup>1</sup>, 王干珍<sup>1</sup>, 李力<sup>2</sup>, 杨庆<sup>2</sup>, 李超群<sup>1</sup>, 朱丽琴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖南省地质测试研究院选冶研究室, 湖南 长沙

文章引用: 田宗平, 王干珍, 李力, 杨庆, 李超群, 朱丽琴. 石煤中五氧化二钒容量法测定研究与应用[J]. 化学工程与技术, 2016, 6(5): 97-104. <http://dx.doi.org/10.12677/hjct.2016.65013>

<sup>2</sup>湖南省有色地质勘查局二四五队测试中心, 湖南 吉首  
Email: hnxx-tianzongping@163.com

收稿日期: 2016年8月18日; 录用日期: 2016年9月5日; 发布日期: 2016年9月8日

## 摘要

在黑色岩系(石煤)钒矿标准物质研制中, 为了获得候选物中准确的五氧化二钒质量百分数测定结果, 通过采用基准校验, 不同分解方法与测定试验, 倍比试验, 标准加入与回收试验等手段, 开展了石煤中五氧化二钒容量法测定研究。结果表明, 采用硫酸亚铁铵容量法测定, 具有方法简便、测定效率高和测定精密度高等优点, 但测定结果要达到《地质矿产实验室测试质量管理规范(DZ/T0130-2006)》的质量要求, 必须熟悉和掌握容量法测定的技术要领。最后将测定方法应用到石煤钒矿标准物质研制的定值, 达到了量值溯源的目的, 取得了候选物中准确的五氧化二钒质量百分数含量结果。

## 关键词

石煤钒矿, 五氧化二钒, 容量法, 研究与应用

## 1. 引言

我国自 20 世纪 50 年代在石煤中发现钒后, 广大科技工作者在地质勘探、石煤提钒工艺开发和钒的测定等多个领域开展了大量的基础研究工作, 并取得了相应的科研成果[1]-[4]。但由于石煤中五氧化二钒的测定方法尚无国家和行业标准, 分析测定质量控制没有相应的标准物质, 特别是笔者在从事国土资源部公益性行业科技专项《黑色岩系(石煤)钒矿标准物质研制(编号 201411107-3)》的工作中, 要满足中华人民共和国国家计量技术规范《一级标准物质》(JJG1006-94)的要求[5], 本文开展了石煤中五氧化二钒容量法测定研究和应用, 取得了很好的效果。

## 2. 实验部分

### 2.1. 主要试剂

1) 五氧化二钒标准溶液,  $\rho(\text{V}_2\text{O}_5) = 1.00 \text{ mg/mL}$  :

称取 1.0000 g 预先在 105℃ 烘干 2 h 并在干燥器中冷却至室温的基准五氧化二钒于 300 mL 的烧杯中。沿杯壁加入 10 mL 水润湿试样, 加入 40 mL 浓硫酸, 置于电热板上加热至试样完全溶解并微冒硫酸烟, 取下, 冷却至室温。沿杯壁加入约 20 mL 水, 摇匀, 继续加热至微冒硫酸烟, 取下冷却至室温。加入 100~150 mL 水, 加热溶解盐类, 取下, 冷却至室温后, 移入 1000 mL 的容量瓶中, 用水稀释至刻度, 摇匀。

2) 重铬酸钾标准溶液,  $c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.01000 \text{ mol/L}$ ; 称取 0.4903 g 预先在 120℃ 烘干 2 h 并在干燥器中冷却至室温的基准重铬酸钾于 200 mL 的烧杯中, 加少量水溶解后, 移入 1000 mL 的容量瓶中, 用水稀释至刻度, 混匀。

3) 硫酸亚铁铵标准溶液,  $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0.005$  (或 0.0075) mol/L:

称取 2 (或 3) g 硫酸亚铁铵  $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  溶解于 200 mL 5 + 95 的硫酸中, 并用 5 + 95 的硫酸稀释至 1000 mL, 摇匀, 放置 24 h 以上, 再摇匀后进行标定和使用。

4) 硫酸 - 磷酸混和酸量取 150 毫升硫酸边加边搅缓慢倒入 700 毫升水中, 冷却后, 再缓慢加入 150

毫升磷酸，混匀。

5) N-苯代邻氨基苯甲酸，2 g/L；

称取 0.2 g N-苯代邻氨基苯甲酸，溶于 100 mL 水中，加 0.2 g 碳酸钠，溶解后，混匀。

6) 硫酸亚铁铵溶液，30 g/L；

称取 30 g 硫酸亚铁铵  $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  溶解于 200 mL 5 + 95 的硫酸中，并用 5 + 95 的硫酸稀释至 1000 mL，混匀。

7) 高锰酸钾溶液，30 g/L。

8) 尿素溶液，100 g/L。

9) 亚硝酸钠溶液，10 g/L。

## 2.2. 试验方法

### 2.2.1. 基准校验与硫酸亚铁铵标准溶液的标定

1) 五氧化二钒基准标定法[6]

移取 20.00 mL (V) 五氧化二钒基准溶液 3 份分别于 300 mL 的锥形瓶中，加入 30 mL (1 + 1) 硫酸，5 mL 磷酸和 3 mL 30 g/L 硫酸亚铁铵溶液，混匀，以水洗净瓶壁并冷却至室温。然后滴加 30 g/L 的高锰酸钾溶液至呈粉红色不消失并过量 1~2 滴，充分摇动，放置 5~10 min。加入 10 mL 100 g/L 的尿素溶液，再滴加 10 g/L 亚硝酸钠至红色刚退去，并过量 1~2 滴，充分摇动放置 1 min。加 2 滴 2 g/L 的 N-苯代邻氨基苯甲酸作指示剂，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定至紫色刚变亮黄绿色为终点，记录消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积  $V_1$  (mL)，同时做空白试验。则硫酸亚铁铵标准溶液对五氧化二钒的滴定度  $T_1$  按式①计算：

$$T_1 = \frac{\rho \times V}{V_1 - V_0} \quad \text{①}$$

式中： $T_1$ ——用五氧化二钒基准溶液标定硫酸亚铁铵标准溶液获得的滴定度，g/mL；

$\rho$ ——五氧化二钒基准溶液的浓度，g/mL；

V——移取五氧化二钒基准溶液的体积，mL；

$V_1$ ——用五氧化二钒基准溶液标定时消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积，mL；

$V_0$ ——标定时空白试验消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积，mL。

2) 重铬酸钾基准标定法[7]

移取 5.00 mL 重铬酸钾基准溶液 3 份分别于 300 mL 的锥形瓶中，加 10 mL 硫酸 - 磷酸混合酸，加水至 80 mL，加 2 滴 2 g/L N-苯代邻氨基苯甲酸指示剂，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定至溶液刚变亮绿色为终点，不记录消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积。再准确移取加入 20.00 mL (V') 重铬酸钾基准溶液，继续用硫酸亚铁铵标准溶液滴定至刚变亮绿色为终点，记录消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积  $V_1'$  (mL)。则硫酸亚铁铵标准溶液对五氧化二钒的滴定度  $T_2$  按式②计算：

$$T_2 = \frac{C(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times V' \times 0.09094}{V_1'} \quad \text{②}$$

式中： $T_2$ ——用重铬酸钾基准溶液标定硫酸亚铁铵标准溶液获得的滴定度，g/mL；

$C(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ ——重铬酸钾基准溶液的浓度，mol/L；

$V'$ ——移取重铬酸钾基准溶液的体积，mL；

0.09094——五氧化二钒的毫摩尔质量，g/mmol；

$V_1'$ ——用重铬酸钾基准溶液标定时消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积，mL。

### 2.2.2. 分解方法与试样测定

#### 1) 酸溶分解[8]

称取 0.5 g 试样(精确至 0.0001 g)于 300 mL 的锥形瓶中,用少量水吹洗瓶壁,加盐酸 5 mL,高氯酸 5 mL,磷酸 15 mL,于表面温度 360℃~420℃左右的电炉上加热分解试样,直至高氯酸沸腾的大气泡停止,溶液呈现磷酸的微沸状态,迅速取下锥形瓶,冷却 5 min 左右,用水吹洗瓶壁并稀释至 50~60 mL,加 1 + 1 硫酸 30 mL,摇动使可溶性盐类溶解,稍冷至室温。

#### 2) 碱融分解

称取 0.5 g 试样(精确至 0.0001 g)于 30 mL 的高铝坩埚中,加入 4 g 过氧化钠,用小玻璃棒搅匀后,盖少许过氧化钠,于已升温至 750℃高温炉中熔融 10 min 至呈樱红流体,取出冷却,将坩埚放于 250 mL 的烧杯中,盖上表面皿,加热水浸取,滴加 1 + 1 硫酸洗净坩埚,加入 1 + 1 硫酸 50 mL,充分摇动,冷却至室温。

#### 3) 试液测定

在上述 2 种分解处理完成的试液中,分别加入 3 mL 30 g/L 硫酸亚铁铵溶液并摇匀,放置 3 min,然后滴加 30 g/L 的高锰酸钾溶液至呈粉红色不消失并过量 1~2 滴,充分摇动,放置 5~10 min,加入 10 mL 100 g/L 的尿素溶液并混匀,再滴加 10 g/L 亚硝酸钠溶液至红色刚退去,并过量 1~2 滴,充分摇动后放置 1 min。加 2 滴 N-苯代邻氨基苯甲酸指示剂,用硫酸亚铁铵标准溶液至紫色刚变亮黄绿色为终点。记录消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积  $V_2$  (mL)。

#### 4) 结果的表述与计算

滴定法的测定结果计算式为式③:

$$\omega(V_2O_5) = \frac{T \times V_2}{m} \times 100\% \quad \text{③}$$

式中:  $\omega(V_2O_5)$ ——试样中五氧化二钒的质量百分数, %;

$T$ ——用五氧化二钒和重铬酸钾基准溶液标定硫酸亚铁铵标准溶液获得滴定度的平均值, g/mL;

$V_2$ ——试样用滴定法测定时消耗的硫酸亚铁铵标准溶液的体积, mL;

$m$ ——称取试样的质量, g。

### 2.2.3. 倍比试验

对同一编号的测试样品分别采用近似倍数的关系称取试样后,按照“2.2.2 分解方法与试样测定”进行。

### 2.2.4. 标准加入与回收试验

称取一定量的测试样品分别于不同的器皿中,然后准确加入一定体积五氧化二钒基准溶液,再在 105℃的烘箱中烘干,最后按照“2.2.2 分解方法与试样测定”进行。

### 2.2.5. 应用

在开展石煤中五氧化二钒容量测定研究的基础上,对《黑色岩系(石煤)钒矿标准物质研制》的 4 个候选物样品按照“2.2.2 分解方法与试样测定”进行 10 次平行测定。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 基准校验与硫酸亚铁铵标准溶液的标定结果

按照 2.2.1 试验方法,采用五氧化二钒基准溶液和重铬酸钾基准溶液分别对于 2 种不同浓度的硫酸亚

铁铵标准溶液进行标定, 结果见表 1 和表 2。

从表 1、表 2 的结果可以看出, 用两种基准溶液标定同一浓度的硫酸亚铁铵标准溶液[9], 2 种硫酸亚铁铵标准溶液对五氧化二钒的滴定度  $T_1$ 、 $T_2$  或  $T_1'$ 、 $T_2'$  的数值非常接近, 说明了 2 种基准溶液均能用做石煤中五氧化二钒容量法测定基准。

但在用五氧化二钒基准溶液或重铬酸钾基准溶液对同一种硫酸亚铁铵标准溶液的标定中, 经常出现  $T_1 < T_2$ 、 $T_1' < T_2'$  的现象, 这主要是由于  $\text{VO}_3^-$  与  $\text{Fe}^{2+}$  离子的氧化还原反应速度缓慢, 容易导致滴定过量; 而重铬酸钾与  $\text{Fe}^{2+}$  离子的氧化还原反应速度较快, 终点明晰、容易观察; 只有按照勤摇(搅)慢滴的容量法滴定要领, 才能获得准确的标定结果, 也只有当 2 种标定结果达到统一时, 才算基准校验和操作核查通过。故此, 用上述两种基准溶液标定硫酸亚铁铵标准溶液对五氧化二钒的滴定度, 可起到基准校验的作用, 且能帮助测试人员找准石煤中五氧化二钒容量法滴定终点和规范操作。

### 3.2. 分解方法与试样测定结果

从表 3 的测定结果可以看出, 采用酸溶或者碱融分解石煤钒矿试样, 均能获得吻合的五氧化二钒分析测试结果, 这与石煤的矿物构成和特征相关[10], 且具有共性。

### 3.3. 倍比试验测定结果

从表 4 的测定结果可以看出, 采用倍比试验测定石煤中的五氧化二钒, 无论酸溶或者碱融分解试样, 均能获得吻合的五氧化二钒分析测试结果, 同时, 说明分析方法在试剂用量和测试流程等方面均能满足获得准确结果的需要。

### 3.4. 标准加入与回收测定结果

从表 5 的测定结果可以看出, 试验样品的加标回收率在 99.32%~100.87% 之间, 表明该方法具有较好的准确度和抗基体干扰能力, 能满足石煤中五氧化二钒的测定。

### 3.5. 应用

将上述的研究方法应用于《黑色岩系(石煤)钒矿标准物质研制》中的定值测试, 采用酸溶滴定法和碱融滴定法分别对 4 个候选物样品进行 10 次平行测定, 计算相对标准偏差, 结果见表 6、表 7。

从表 6 和表 7 的测试结果可以看出, 采酸溶滴定法和或碱融滴定法测定石煤中的五氧化二钒的精密度均较高, 其相对标准偏差在 2.56%~5.99%。

**Table 1.** Reference check and calibration results of ammonium ferric sulfate standard solution (1)

**表 1.** 基准校验与硫酸亚铁铵标准溶液的标定结果(一)

硫酸亚铁铵标准 溶液的浓度	标定-1			标定-2		
	编号	$\rho(\text{V}_2\text{O}_5) = 1.0$ mg/mL	消耗体积 /mL	编号	$C(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) =$ 0.01000 mol/L	消耗体积 /mL
$c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx$ 0.005 mol/L	1	20.00	44.15	4	20.00	40.20
	2	20.00	44.05	5	20.00	40.15
	3	20.00	44.10	6	20.00	40.20
$T = (T_1 + T_2)/2 = 0.0004531$ g/mL	$T_1 = 0.0004535$ g/mL			$T_2 = 0.0004526$ g/mL		

**Table 2.** Reference check and calibration results of ammonium ferric sulfate standard solution (2)**表 2.** 基准校验与硫酸亚铁铵标准溶液的标定结果(二)

硫酸亚铁铵标准 溶液的浓度	标定-1			标定-2		
	编号	$\rho(\text{V}_2\text{O}_5) = 1.0$ mg/mL	消耗体积 /mL	编号	$C(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) =$ 0.01000 mol/L	消耗体积 /mL
$c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0.0075$ mol/L	7	20.00	29.40	10	20.00	26.70
	8	20.00	29.40	11	20.00	26.65
	9	20.00	29.35	12	20.00	26.60
$T' = (T'_1 + T'_2)/2 = 0.0006816 \text{ g/mL}$		$T'_1 = 0.0006807 \text{ g/mL}$		$T'_2 = 0.0006825 \text{ g/mL}$		

**Table 3.** Decomposition method and testing measurement results**表 3.** 分解方法与试样测定结果

样品 编号	平均滴定度 ( $T'$ )/g·mL <sup>-1</sup>	酸溶 - 滴定法			碱融 - 滴定法		
		称样量/g	消耗体积/mL	$\omega(\text{V}_2\text{O}_5)/\%$	称样量/g	消耗体积/mL	$\omega(\text{V}_2\text{O}_5)/\%$
1	0.0004531	0.4975	6.90	0.63	0.5002	7.15	0.65
2	0.0004531	0.5039	9.55	0.86	0.4995	9.15	0.83
3	0.0004531	0.5015	17.15	1.55	0.5012	16.70	1.51
4	0.0004531	0.5013	44.35	4.01	0.5006	44.60	4.04

**Table 4.** Double ratio test measurement results**表 4.** 倍比试验测定结果

样品 编号	平均滴定度 ( $T'$ )/g·mL <sup>-1</sup>	酸溶 - 滴定法			碱融 - 滴定法		
		称样量/g	消耗体积/mL	$\omega(\text{V}_2\text{O}_5)/\%$	称样量/g	消耗体积/mL	$\omega(\text{V}_2\text{O}_5)/\%$
1	0.0006816	0.5006	4.55	0.62	0.5116	4.70	0.63
	0.0006816	1.0017	9.20	0.63	1.0351	9.10	0.60
2	0.0006816	0.5121	6.50	0.87	0.5008	6.25	0.85
	0.0006816	0.9895	12.25	0.84	1.1032	13.10	0.81
3	0.0006816	0.5033	11.25	1.52	0.5009	11.40	1.55
	0.0006816	1.0059	22.60	1.53	1.0014	23.05	1.57
4	0.0006816	0.2511	15.00	4.07	0.2611	15.05	3.93
	0.0006816	0.5113	30.35	4.05	0.5117	30.60	4.08

**Table 5.** Measurement results of standard addition and recovery**表 5.** 标准加入与回收测定结果

样品 编号	$\omega_0(\text{V}_2\text{O}_5)$ /%	$T'$ mg·mL <sup>-1</sup>	酸溶 - 滴定法					碱融 - 滴定法				
			称样量 /g	加标量 /mg	消耗体 积/mL	$m(\text{V}_2\text{O}_5)$ /mg	加标回 收率/%	称样量/g	加标量 /mg	消耗体 积/mL	$m(\text{V}_2\text{O}_5)$ /mg	加标回 收率/%
1	0.62	0.6816	0.5009	20.00	33.70	22.97	99.32	0.5113	20.00	34.20	23.31	100.70
2	0.85	0.6816	0.5116	20.00	35.95	24.50	100.77	0.5017	20.00	35.55	24.23	99.83
3	1.51	0.6816	0.5210	10.00	26.15	17.82	99.57	0.5231	10.00	26.30	17.93	100.27
4	4.02	0.6816	0.2517	10.00	29.60	20.18	100.57	0.5002	10.00	44.30	30.19	100.87



**Table 6.** Sample results of stone coal vanadium ore standard candidate material by acid titration method ( $10^{-2}$ )  
**表 6.** 酸溶 - 滴定法测定石煤钒矿标准物质候选物样品结果( $10^{-2}$ )

编号	测定结果										$\bar{X}$	RSD
1	0.63	0.62	0.63	0.67	0.66	0.57	0.58	0.65	0.60	0.59	0.62	5.54
2	0.87	0.86	0.84	0.90	0.85	0.83	0.81	0.79	0.84	0.91	0.85	4.37
3	1.52	1.55	1.53	1.45	1.52	1.51	1.43	1.55	1.46	1.53	1.51	2.84
4	4.01	4.07	4.05	3.93	4.09	3.91	3.82	4.06	4.15	4.11	4.02	2.56

**Table 7.** Sample results of stone coal vanadium ore standard candidate material by Alkali titration method ( $10^{-2}$ )  
**表 7.** 碱溶 - 滴定法测定石煤钒矿标准物质候选物样品结果( $10^{-2}$ )

编号	测定结果										$\bar{X}$	RSD
1	0.63	0.60	0.65	0.56	0.65	0.59	0.68	0.65	0.62	0.67	0.63	5.99
2	0.85	0.83	0.81	0.88	0.78	0.89	0.80	0.79	0.90	0.87	0.84	5.23
3	1.55	1.51	1.57	1.46	1.61	1.56	1.44	1.57	1.49	1.54	1.53	3.51
4	4.04	3.93	4.08	3.85	4.15	3.94	3.89	4.10	4.19	4.13	4.03	2.95

#### 4. 结论

1) 对于同一浓度的硫酸亚铁铵标准溶液用五氧化二钒和重铬酸钾基准溶液进行标定, 所得滴定度应该非常吻合, 否则要查找滴定操作的误差来源, 并进行改进。

2) 通过石煤中五氧化二钒容量法测定的分解方法试验、倍比试验和标准加入回收试验, 达到了量值溯源、方法可靠性和抗基体效应等评价的目的。

3) 该法操作简便、快速, 结果准确、可靠。

4) 通过对《黑色岩系(石煤)钒矿标准物质研制》中 4 个候选物样品的定值测试, 2 种方法的 10 次平行测定的相对标准偏差仅为 2.56%~5.99%。

#### 基金项目

国土资源部公益性行业科技专项《黑色岩系(石煤)钒矿标准物质研制》(课题编号 201411107-3, 课题负责人: 田宗平)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 王学文, 王玉玉. 石煤提钒工艺现状及发展趋势[J]. 钢铁钒钛, 2012, 33(1): 8-14.
- [2] 田宗平, 魏祥晖, 李力, 等. 从黑色岩系钒矿石中提取五氧化二钒的新工艺[J]. 湿法冶金, 2011, 30(1): 37-40.
- [3] 田宗平, 曹健, 秦毅. 石煤钒矿硫酸浸出制备五氧化二钒的试验研究[J]. 无机盐工业, 2014, 46(12): 25-28.
- [4] 邓克, 李力, 田宗平. 黑色岩系矿石中锰、钒的快速测定[J]. 湿法冶金, 2009, 28(3): 187-190.
- [5] 中华人民共和国国家计量技术规范, JJG1006-1994. 一级标准物质[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [6] 中华人民共和国有色冶金行业标准, YS/T540.1-2006. 钒化学分析(高锰酸钾氧化——硫酸亚铁铵滴定法) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [7] 中华人民共和国黑色冶金行业标准, YB/T 5328-2009. 五氧化二钒含量的测定(高锰酸钾氧化——硫酸亚铁铵滴定法) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

- [8] 《岩石矿物分析》编委会, 编著. 岩石矿物分析(第四版, 第三分册) [M]. 北京: 地质出版社, 2011: 362-365.
- [9] 田宗平, 李力, 曹健. 石煤钒矿中五氧化二钒的容量法测定与基准校验[J]. 材料科技与设备, 2014, 10(6): 31-33.
- [10] 田宗平, 易晓明, 曹健, 等. 黑色岩系(石煤)钒矿物特征研究与应用[J]. 中国冶金, 2016, 26(2): 16-19.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>