

钛铁矿化学分析方法
第 2 部分 二氧化钛含量的测定
过氧化氢分光光度法
(报批稿)
编制说明

山东省地质科学研究所

2021 年 12 月 25 日

目 录

1 任务来源和编制过程	1
1.1 任务来源	1
1.2 标准编写过程	1
1.3 参加方法验证试验的单位	3
2 标准编制原则和确定标准主要内容的依据	5
2.1 标准编制主要原则	5
2.2 确定标准主要内容的依据	5
3 主要试验（或验证试验）的分析综述报告及技术经济论证	11
4 采用国际标准和国外先进标准的程度以及与国标、国内同类标准水平的对比情况	11
5 与有关的现行法律、法规和标准的关系	12
6 重大分歧意见的处理经过和依据	12
7 标准作为强制性和推荐性标准的建议	12
8 贯彻标准的要求和措施建议	12
9 废止现行有关标准的建议	12
10 其它应予说明的问题	12

钛铁矿化学分析方法

第 2 部分 二氧化钛含量的测定

过氧化氢分光光度法

编 制 说 明

1 任务来源和编制过程

1.1 任务来源

本部分任务通过立项成为 2016 年国家重点研发计划中“国家质量基础的共性技术研究与应用”专项“典型产业链资源循环利用关键技术标准研究项目”（SQ2016YFZG020076）之“重要矿产和土地资源节约集约综合利用标准研究”课题编号：2016YFF0201604。项目起止年限为 2016 年 7 月~2019 年 6 月，是由中国标准化研究所牵头，项目负责人付允。课题由中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所牵头，课题负责人冯安生，任务承担单位为山东省地质科学研究院。

《钛铁矿化学分析方法》3 个标准制定任务于 2019 年通过立项。第 2 部分：二氧化钛含量的测定 过氧化氢分光光度法，计划号为 201913021。

本部分标准制定单位为山东省地质科学研究院。

1.2 标准编写过程

2016 年 7 月，项目任务书及实施方案通过了国土资源部评审，开始实施阶段。

根据项目任务书和标准制定的工作程序，山东省地质科学研究院成立了标准起草工作组，项目组成员由多年从事岩矿测试分析工作的同志组成，具备丰富的专业知识和实践经验，对标准化相关知识进行过集中学习和研讨。项目组编制了项目工作方案，确定了标准框架和主要内容，制定了工作计划、进度安排和人员分工，并开始调研和试验验证工作。

项目组开展的主要工作如下：

钛铁矿分析国内外研究现状

2016 年 7 月~12 月，对钛铁矿化学分析相关的国内外有关国家标准、行业标

准以及分析方法的文献资料进行收集和整理,对涉及到的行业标准、国际标准的分析流程、技术指标等进行了仔细分析和评判。

国内关于钛铁矿、钛铁矿精矿的分析方法:

有色金属行业中有对钛铁矿精矿中部分元素的测试方法:

第 1 部分: YS/T 360.1-2011 二氧化钛量的测定 硫酸铁铵滴定法

第 2 部分: YS/T 360.2-2011 全铁量的测定 重铬酸钾滴定法

第 3 部分: YS/T 360.3-2011 氧化亚铁量的测定 重铬酸钾滴定法

第 4 部分: YS/T 360.4-2011 氧化铝量的测定 EDTA 滴定法

第 5 部分: YS/T 360.5-2011 二氧化硅量的测定

第 6 部分: YS/T 360.6-2011 氧化钙、氧化镁、磷量的测定 等离子体发射光谱法。

1993 年 5 月,地质矿产部颁布的《岩石和矿石分析规程》中<钒钛磁铁矿石分析规程>(DZG 93-07),主要测定元素为钛、全铁、亚铁、钒、铬、锰、铜、钴、镍、磷、硫、二氧化硅、三氧化二铝、钙和镁、钾和钠、吸附水、化合水等。该分析规程规定了钒钛磁铁矿石中部分元素的测定,主要是经过化学手段分离后采用重量法、容量法、比色法等经典化学分析方法,或是用原子吸收光谱法等分析仪器进行单元素逐个分析测定。

国外只查到日本的工业标准 JIS M8301-1997《钛矿石的化学分析》和澳大利亚的国家标准 AS 4614.1-1999(钛铁矿分析方法 第 1 部分:钛含量的确定 滴定法)。

目前国内外未查到钛铁矿矿石中各元素的标准分析方法。

多年来各地质实验室在钛铁矿的测试分析方面积累了丰富的经验,共查到钛铁矿矿石中钛、铝、钙等元素分析测试 25 篇^[1~25],形成了一些测试技术的方法,可为钛铁矿主量、微量元素的分析测试研究提供良好借鉴,配合地质找矿取得一定的效果。随着各实验室现代大型分析仪器的配备,地质样品中主量、微量元素的测试分析也逐渐向大型仪器分析转移,电感耦合等离子体发射光谱仪在地质样品分析测试中的开发应用,极大地提高了分析检测工作效率。电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)因其测定范围广泛,既可测定微量成分又可测定常量成分,已成为矿石分析中多元素同时测定的最有力的手段。

但是，目前有关钛铁矿中 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 MnO 、 TiO_2 、 Cr 、 Sr 、 Zn 和 V 等主量、次量成分-电感耦合等离子体同时测定的方法还未见报道。

(2) 方法试验验证

2017年1月~12月完成了分析方法的试验验证工作，包括样品前处理方法研究，仪器测定条件的优化，方法适用范围，方法检出限、实验室内方法精密度和准确度等各项指标的确定，编制了标准方法草案。

(3) 实验室间精密度协作试验

按照 GB/T6379.1-2004 的要求，2018年1月选择了9家有相关测试经验的并且有资质的实验室发放了协作试验样品进行精密度协作试验。2018年7月至10月对9家提交的实验数据按照国家标准《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度） 第2部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》（GB/T 6379.2-2004）的要求，进行统计分析（Grubbs 检验、h 统计检验、k 统计检验、Cochron 检验等），对部分离群数据进行复检，确定分析方法的重复性限和再现性限。

(4) 征求意见

2018年10月将研制的钛铁矿3种分析方法的标准初稿进行内部讨论修改，形成标准方法文本征求意见稿和标准编制说明。

2018年11月，将钛铁矿3种分析方法的标准征求意见稿及标准征求意见稿编制说明，采用发放征求意见函的方式，发给相关单位广泛征求意见，共发出30份。根据征求的各单位反馈意见，对标准材料进行修改，并形成征求意见汇总处理表。

(5) 形成送审稿

在征求意见的基础上，根据专家意见进行了修改，形成了送审稿。

(6) 形成报批稿

2019年6月21日至23日，全国国土资源标准化技术委员会地质矿产实验测试分技术委员会（SAC/TC93/SC4）组织委员（名单附后）在北京召开标准审查会，会上专家提出了不少建设性意见，在修改期间，结合 GB/T 1.1-2020 新要求，修改后形成了报批稿。

1.3 参加方法验证试验的单位

- (1) 山东省地质科学研究所（国土资源部济南矿产资源监督检测中心）；
- (2) 陕西省地质矿产实验研究所（国土资源部西安矿产资源监督检测中心）；
- (3) 安徽省地质实验研究所（国土资源部合肥矿产资源监督检测中心）；
- (4) 河南省岩石矿物测试中心（国土资源部郑州矿产资源监督检测中心）；
- (5) 吉林省地质矿产研究所（国土资源部长春矿产资源监督检测中心）；
- (6) 浙江省地质矿产研究所（国土资源部杭州矿产资源监督检测中心）；
- (7) 中南冶金地质研究所；
- (8) 山东省物探院实验室；
- (9) 山东省冶金勘查局测试中心。

1.4 主要编制人员情况

表 1 主要编制人员情况

序号	姓名	学历	专业	职称	专业工作年限	对制定标准的具体贡献
1	赵伟	博士	无机化学	正高级工程师	12	参与制定课题任务书、编写专题实施方案、指导方法研究、组织方法精密度协作试验与数据统计分析、编写标准文本及编制说明、并修改定稿。
2	张会堂	本科	岩矿测试	正高级工程师	27	负责方法试验研究、参与方法验证工作。
3	王卿	本科	应用化学	研究员	23	参与制定课题任务书、编写专题实施方案、指导方法研究、组织方法精密度协作试验与数据统计分析、编写标准文本及编制说明、并修改定稿。
4	洪飞	本科	岩矿测试	研究员	32	参与制定课题任务书、编写专题实施方案、指导方法研究、组织方法精密度协作
5	刘耀华	本科	岩矿测试	研究员	34	负责方法试验研究、参与方法验证工作。
6	郑建业	硕士	材料工程	工程师	16	负责方法试验研究、参与方法验证工作。
7	刘晶	本科	化学分析	高级工程师	25	负责方法试验研究、参与方法验证工作。
8	张文娟	本科	岩矿测试	高级工程师	24	负责方法试验研究、参与方法验证工作。
9	夏传波	硕士	应用化学	高级工程师	9	负责方法试验研究、参与方法验证工作。
10	姜云	本科	岩矿测试	高级工程师	18	负责方法试验研究、参与方法验证工作。

2 标准编制原则和确定标准主要内容的依据

2.1 标准编制主要原则

分析方法标准编制的主要原则是分析方法技术成熟可靠，有广泛的应用基础；分析方法技术比较先进，有助于先进技术方法的推广应用；考虑多元素同时测定，提高工作效率并尽量降低使用成本。标准分析方法同时具备适用性、先进性、可证实性及规范性原则。

在筛选拟定分析方法前，对国内外有关钛铁矿的分析方法进行了充分的调研；通过大量的条件对比试验，确定分析方法的技术要求，使编制的标准具有可复现性和可证实性，所确定标准方法的检出限满足《地质矿产实验室测试质量管理规范》（DZ/T 0130-2006）要求；最后在标准编制过程中，严格按照《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第二部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》（GB/T6379.2 -2004）组织方法验证试验，按照《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T1.1-2020）和《标准编写规则 第4部分 试验方法标准》（GB/T20001.4-2015）编写标准文本，确保编制标准的规范性。

2.2 确定标准主要内容的依据

2.2.1 分析方法选择依据

目前，钛铁矿中二氧化钛含量测定主要参考《中华人民共和国地质矿产部部规程》进行，本方法在《钒钛磁铁矿分析规程（DZG 93-07）》基础上进行了方法条件实验，改进了测试条件，以求提高测试准确度，降低测试成本。

2.2.2 确定标准主要内容的依据

2.2.2.1 称样量的选择

选取国家一级标准物质 GBW07838~GBW07842，选择不同称样量，进行溶矿方法实验，结果见表 2。

表 2. 称样量对结果影响

称样量	0.500g	1.000g	标准值
GBW07838	8.97	8.88	8.96

GBW07839	2.97	2.86	2.95
GBW07840	12.91	12.71	12.91
GBW07841	19.98	19.65	19.83
GBW07842	16.27	16.02	16.13

通过上述试验，可以发现，称样量为 0.5000g 时，测定结果与标准物质标准值相符，而当称样量增加到 1.000g 时，测定结果偏低。这说明，称样量变大，导致钛铁矿熔矿不彻底，造成结果偏低，故此方法选取称样量为 0.5000g。

2.2.2.2 熔剂的选择

项目组进行了不同熔剂熔矿实验，选用不同熔剂，利用 5 个钛铁矿化学成分标准物质进行试验对比。

熔剂 1 为：在刚玉坩埚中，加入 3g 过氧化钠，搅匀，再覆盖 1g 过氧化钠；

熔剂 2 为：在镍坩埚中，加入 6g 氢氧化钠和 1g 过氧化钠；

熔剂 3 为：在镍坩埚中。加 6g 氢氧化钾和 1g 过氧化钠。

实验条件：称取 0.5g 样，熔剂 1，放入已升温至 680℃ 的马弗炉中，熔融 30 分钟；熔剂 2、熔剂 3，由低温升至 680℃，熔融 20 分钟。测定结果见表 3：

表 3. 不同熔剂对测定结果的影响

样品名称	熔剂 1	熔剂 2	熔剂 3	标准值
GBW07838	8.99	8.89	8.87	8.96
GBW07839	2.98	2.87	2.86	2.95
GBW07840	12.95	12.75	12.73	12.91
GBW07841	19.90	19.70	19.20	19.83
GBW07842	16.17	16.01	16.00	16.13

结果表明，用过氧化钠熔矿，测定值比较接近标准值，而采用另外两种混合熔矿方式，5 个标准物质测定结果则均偏低于其标准值。这表明：采用过氧化钠熔矿，能够完全分解样品，而采用氢氧化钠与过氧化钠、氢氧化钾和过氧化钠混合熔矿，均不能完全分解样品。因此，本方法中，选择采用过氧化钠熔矿。

2.2.2.3 过氧化钠用量的选择

选用钛铁矿国家一级标准物质 GBW07838~GBW07842，称取 0.5g 样品，

在刚玉坩埚中分别加入 2g、3g、4g 过氧化钠搅匀，在覆盖一层 1g 过氧化钠，在升温至 680℃ 马弗炉中熔融 20 分钟，实验结果见表 4：

表 4. 不同熔剂用量对测定结果的影响

Na ₂ O ₂ 用量 (g)	2+1	3+1	4+1	标准值
GBW07838	8.60	8.97	8.97	8.96
GBW07839	2.75	2.97	2.97	2.95
GBW07840	12.20	12.91	12.93	12.91
GBW07841	19.00	19.90	19.91	19.83
GBW07842	15.80	16.17	16.19	16.13

由上述试验可以发现，当过氧化钠总量加到 4g（加 3g，再覆盖 1g）时，测定结果与标准值接近，再增加熔剂，结果变化不大。这表明：熔剂总量达到 4g 时，就已经能完成样品的完全分解，故本方法熔剂选择用量为 4g。

2.2.2.4 熔矿温度选择

选用钛铁矿国家一级标准物质 GBW07838~GBW07842，称取 0.5g 样品，在刚玉坩埚中加入 3g 过氧化钠搅匀，在覆盖一层 1g 过氧化钠，分别放入升温至 600℃、650℃、700℃ 马弗炉中熔融 20 分钟，实验结果见表 5：

表 5. 不同熔矿温度对测定结果的影响

熔矿温度	600℃	650℃	700℃	标准值
GBW07838	8.50	8.96	8.97	8.96
GBW07839	2.70	2.95	2.97	2.95
GBW07840	11.90	12.90	12.92	12.91
GBW07841	18.00	19.85	19.90	19.83
GBW07842	15.00	16.10	16.15	16.13

实验结果表明：当马弗炉的温度升至 650℃~700℃ 时，测定结果与标准值接近，样品分解已经完全。考虑到马弗炉的温度控制有一定的波动，故选择 650℃~700℃ 的熔矿温度为宜。

2.2.2.5 熔矿时间的选择

选用钛铁矿国家一级标准物质 GBW07838~GBW07842，称取 0.5g 样品，在刚玉坩埚中加入 3g 过氧化钠搅匀，在覆盖一层 1g 过氧化钠，放入升温至 680℃、

的马弗炉中，分别熔融 10 分钟、20 分钟、30 分钟，实验结果见表 6：

表 6. 熔矿时间对测定结果的影响

熔矿时间	10 分钟	20 分钟	30 分钟	标准值
GBW07838	8.55	8.97	8.97	8.96
GBW07839	2.71	2.95	2.95	2.95
GBW07840	11.95	12.91	12.92	12.91
GBW07841	18.10	19.87	19.89	19.83
GBW07842	15.10	16.11	16.15	16.13

通过上述试验，可以发现：当熔矿时间达到 20 分钟时，测定结果与标准值接近，这说明熔矿时间到达 20 分钟即可完成对样品的完全分解，如果继续加长熔矿时间，测定结果不再发生变化。所以，本方法中，过氧化钠熔矿的时间确定为 20 分钟。

2.2.2.6 比色过程干扰的消除

由于样品中含有多种金属离子，如：铜、钴、镍、铬和铁，金属离子本身有颜色干扰，尤其是钛铁矿中含有大量铁的干扰，影响比色结果。《钒钛磁铁矿分析规程》（DZG 93-01）中，采用双份空白实验，以消除金属干扰，过程繁琐，每个样品均需比色双份，且容易引入误差。

本方法中，将上述规程中盐酸介质转化为硫酸，消除了金属离子的干扰。

表 7 为不同样品采用盐酸和硫酸两种介质，不加显色剂，溶液的吸光度：

表 7. 不同介质吸光度

介质	盐酸	硫酸
GBW07838	0.18	0.00
GBW07839	0.18	0.00
GBW07840	0.17	0.00
GBW07841	0.17	0.00
GBW07842	0.17	0.00

结果表明，采用硫酸作为提取介质后，不加显色剂时，对钛的测定不产生干扰，而传统方法中的盐酸介质，在不添加显色剂时，就产生了对钛吸光的影响。本方法有效去除了金属离子，尤其是铁离子对钛比色的干扰，操作

流程简单，且准确度高。

2.2.2.7 显色剂过氧化氢用量的选择

取二氧化钛标准系列最高值 6000 ug，于 100 mL 容量瓶中，加入 10 mL 硫酸，4 mL 磷酸，用水稀释至约 50 mL，摇匀。分别加入 3 mL，5 mL，7 mL 过氧化氢，用水稀释至刻度，摇匀。用 2 cm 比色池于 430 nm 处测定吸光度，结果见表 8。

表 8. 过氧化氢用量选择

H ₂ O ₂ (mL)	3	5	7
测定 ug 数	5900	6001	6003

通过上述实验，可以发现，显色剂以 5 mL 为宜。

2.2.2.8 显色稳定性实验

用 2.2.2.7 加入 5 mL 过氧化氢显色剂溶液，进行了 36 小时稳定性实验，结果见表 9。

表 9. 显色剂稳定性实验

显色后时间	10 min	3 h	7 h	12 h	24 h	36 h
测定 ug 数	6001	6002	6001	6001	6002	6001

由实验发现，显色剂稳定性良好，可以稳定 36 h 以上。

2.2.2.3 分析方法的检出限

同时测定样品空白 12 份，以 3 倍标准偏差计算 TiO₂ 的检出限，结果见表 10。

表 10. 分析方法检出限

12 次样品空白溶液 测定结果 (μg/g)	0.017, 0.014, 0.014, 0.017, 0.014, 0.014, 0.014, 0.014, 0.014, 0.014, 0.011, 0.011.
标准偏差 (S)	0.002
检出限(3S)	0.006

2.2.3 实验室内分析方法精密度准确度验证试验

选取钛铁矿化学成分标准物质共 5 个 (GBW07838~07842)，按优化好的实验条件对每个标准物质平行测定 12 次，分别通过计算每个标准物质的平均测定值和标准推荐值之间的对数差来衡量方法准确度；分别计算每一个标准物质 12 次测定的相对标准偏差 (RSD) 来衡量方法的精密度。

表 11. 分析方法精密度和准确度

样品编号	测定值						平均值	推荐值	RSD/%	RE/%
	TiO ₂ (10 ⁻²)									
GBW07838	8.98	8.97	8.98	8.95	8.96	8.97	8.98	8.96	1.69	0.22
	8.95	8.96	8.98	8.96	8.99	8.98				
GBW07839	2.95	2.94	2.95	2.96	2.96	2.94	2.94	2.95	1.94	-0.34
	2.95	2.94	2.95	2.95	2.94	2.94				
GBW07840	12.93	12.92	12.93	12.94	12.93	12.95	12.93	12.91	0.54	0.15
	12.95	12.91	12.95	12.92	12.93	12.92				
GBW07841	19.85	19.84	19.86	19.85	19.84	19.87	19.85	19.83	0.73	0.10
	19.87	19.84	19.85	19.87	19.84	19.85				
GBW07842	16.13	16.15	16.16	16.15	16.16	16.15	16.15	16.13	1.49	0.12
	16.15	16.16	16.15	16.14	16.15	16.16				

2.2.4 方法精密度协作试验

2.2.4.1 方法精密度协作试验样品的选择

本次选取的 6 个不同水平范围的协作试验样品,其中 5 个是有山东省地质科学研究所研制的 5 钛铁矿国家一级标准物质和一个有市场购买的钛铁矿球团标准样品。

2.2.4.2 方法精密度、准确度试验的组织与实施

按照 GB/T6379.2-2004《测量方法与结果的准确度 第二部分:确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》、GB/T6379.4-2006《测量方法与结果的准确度(正确度与精密度)第 4 部分:确定标准测量方法正确度的基本方法》(GB/T 6379.4-2006)的要求,邀请了 9 家实验室依据提供的标准分析方法草案,对上述标准物质分别进行 4 次独立测定。依据相关标准规范要求,将检测数据汇总、统计分析,计算方法的重复性限和再现性限。

2.2.4.3 方法精密度协作试验数据统计分析

采用国家地质实验测试中心开发的“地质分析标准方法信息管理系统”对 9 家实验室提供的 6 个水平的精密度协作试验数据进行统计分析,统计结果见表 12。精密度协作试验原始数据见附录 1。

表 12.1 精密度协作实验数据统计

元素	水平范围 m	方法	重复性限 r	再现性限 R
TiO ₂	2.95~19.83	锌片还原—硫酸高铁铵滴定法	r=0.1828 + 0.0008 m	R=0.07728m ^{0.5955}
TiO ₂	2.95~19.83	过氧化氢光度法	r=0.0787 + 0.0073 m	R=0.04844m ^{0.6683}

表12.2 TiO₂统计分析结果

标准物质	GBW07838	GBW07839	GBW07840	GBW07841	GBW07842	YSBC19723
参加实验室数目	9	9	9	9	9	9
可接受结果的数目	9	9	9	9	9	9
平均值 ($\times 10^{-2}$)	8.93	2.93	12.93	19.82	16.13	7.60
推荐值 ($\times 10^{-2}$)	8.96	2.95	12.91	19.83	16.13	7.69
重复性标准差 (s_r)	0.056	0.059	0.081	0.067	0.071	0.065
重复性变异系数	0.159	0.196	0.230	0.189	0.202	0.185
重复性限 ($2.8 \times s_r$)	0.158	0.194	0.228	0.188	0.200	0.183
再现性标准差 (s_R)	0.062	0.067	0.115	0.222	0.159	0.085
再现性变异系数	0.176	0.191	0.327	0.630	0.449	0.241
再现性限 ($2.8 \times s_R$)	0.174	0.189	0.323	0.623	0.445	0.238

3 主要试验（或验证试验）的分析综述报告及技术经济论证

本标准方法具有样品制备操作简便、精密度和准确度高、检出限低、工作效率高、易于推广等特点，适合于钛铁矿中 TiO₂ 的测定。

本标准方法的建立将填补国内现有钛铁矿样品中 TiO₂ 测定的标准方法空白，可以显著提高钛铁矿样品分析测试效率及分析结果的准确性与可靠性，为基础地质研究、地质矿产勘查、矿产开发、产品质量控制及综合利用等方面提供可靠的技术支撑，在地质、冶金、建材、化工等领域都有广阔的应用前景，将产生巨大的经济效益和社会效益。

4 采用国际标准和国外先进标准的程度以及与国标、国内同类标准水平的对比

情况

目前国内没有钛铁矿化学分析标准方法。目前钛铁矿分析借鉴地质矿产标准中钒钛磁铁矿分析方法，本文件对钒钛磁铁矿中测定钛的方法进行了改进，提高了方法准确度和可操作性。

5 与有关的现行法律、法规和标准的关系

无

6 重大分歧意见的处理经过和依据

在本文件制定和征求专家意见过程中，未发生重大分歧意见。

7 标准作为强制性和推荐性标准的建议

建议本文件作为推荐性标准。

8 贯彻标准的要求和措施建议

本标准发布后，建议岩矿测试、冶金分析等实验室在日常样品检测中尽可能采用，建议加大对标准宣传工作的力度，采取培训、研讨等相应措施，提高标准使用率，保证钛铁矿样品的分析测试质量。

9 废止现行有关标准的建议

无

10 其它应予说明的问题

参考文献

[1]王卿,回寒星,周长祥,等 ICP-AES 内标法测定钛铁矿中铜钴镍锰矾铬[J].山东国土资源,2012,28(5):33-36.

[2]王卿,赵伟,张会堂,等过氧化钠碱熔-电感耦合等离子体发射光谱法测定钛铁矿中铬磷矾[J].岩矿测试,2012,31(6):971-974.

- [3]王卿,回寒星,周长祥,等 ICP-AES 法测定钛铁矿中钾钠镁钡锶锌[J].山东国土资源,2013,29(10-11):100-102.
- [4]钟友强 ICP-OES 测定钛铁矿中 11 种杂质元素 [J].煤炭与化工 2013,36(3):80-81,117
- [5]杨学字 ICP—AES 快速测定钛铁矿精粉中钛、铁、钒的含量[J].山东国土资源,2014,30(7):74-75,79
- [6]郑永凤,王玉清,ICP-AES 测定金红石、钛铁矿、钛铀矿中 13 元素[J].分析测试学报,1985,4(1):13-17.
- [7]朱跃华,冯勇亮,吕东海,张宁,朱智海.电感耦合等离子体发射光谱法同时测定钒钛铁矿中铁钛钒[J].岩矿测试,2012,31(2):258-262
- [8]袁家义,吕振生,姜云.射线荧光光谱熔融制样法测定钛铁矿中主次量组分[J].岩矿测试,2007,26(4):158—162
- [9]卜兆杰,王晓旋,黄建强,陶泽秀,寇德翔.粉末压片制样-X 射线荧光光谱(XRF)法测定钛铁矿中 TFe、TiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO 的含量[J].中国无机分析化学,2018,8(1):17-20
- [10]朱忠平,李国会.熔融制样—X 射线荧光光谱法测定钛铁矿中主次组分[J].冶金分析 2013,33(6):32—36
- [11]罗明荣,陈文静.X 射线荧光光谱法测定还原钛铁矿中 11 种组分[J].冶金分析.2012(6)
- [12]李报厚,于中权,韩铠.微波炉消解 ICP、AA 测定钛铁矿中硅铝钙镁铁锰铜钴和镍[J].光谱学与光谱分析,1991,11(1):60-63
- [13]周晓东,张云梅.钛铁矿中钛的测定[J].理化检验(化学分册).2007(7)
- [14]史玉奎,房培菊.钛铁矿中钛和铁的联合测定[J].冶金分析.2010(03)
- [15]邱林友.钛铁矿中微量钒的分光光度法测定[J].河北冶金.1995(04)
- [16]周晓东,张云梅,李兰云.钛铁矿中钛含量的一种快速测定方法[J].云南冶金.2007(03)
- [17]周晓东,张云梅.钛铁矿常压微波消解溶样方法研究[J].冶金分析.2007(08)
- [18]陈敏.磷酸溶样重铬酸钾滴定法测定钛铁矿中全铁[J].新疆有色金属.2002(01)
- [19]黄雪生.重铬酸钾滴定法连续测定钛铁矿中二氧化钛及总铁[J].理化检验(化学

分册).2001(03)

[21]许孙曲.分光光度法和 ICP-AES 法测定钛铁矿中的钛[J].有色矿冶.1998(03)

[22]刘冠龙, 许俊鸿. 重铬酸钾滴定法快速测定钛铁矿中钛铁含量[J].冶金分析.2012,(3):25 -27

[23]沈春春.等离子体发射光谱仪测定钛铁矿中钛含量[J].化工时刊.2016,30(04):30-32

[24]杨佳,李奎,汤爱涛,潘复生.钛铁矿资源综合利用现状与发展[J].材料导报,2003,17(08):44-46

[25]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： 176-179