稀土行业标准《稀土氧化物中杂质元素化学分析方法

辉光放电质谱法》（预审稿）编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

根据《工业和信息化部办公厅关于印发2020年第三批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2020〕263号），稀土行业标准《稀土氧化物中杂质元素化学分析方法 辉光放电质谱法》的任务下达，由包头稀土研究院牵头，国标（北京）检验认证有限公司联合起草，项目计划编号为2020-1617T-XB，周期为18个月。

（二）主要参加单位和工作成员及其所做的工作

1、主要参加单位情况

本方法拟采用GD-MS法测定氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铕、氧化钆、氧化铽、氧化镝、氧化钬、氧化铒、氧化铥、氧化镱、氧化镥、氧化钇和氧化钪共16类稀土氧化物中Na、Mg 、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca 、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Se、Rb、Sr、Cd、Sn、Sb、Te、Ba、Hg、Pb、Bi、Th、U等杂质元素。包头稀土研究院、**国标（北京）检验认证有限公司、湖南稀土金属材料研究院有限责任公司、国家钨与稀土产品质量监督检验中心、北矿检测技术有限公司、中国科学院海西研究院厦门稀土材料研究所6家单位共同组成标准编制组。**编制组的共同努力下，2020-1617T-XB《稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法》必将顺利、高质量地完成。

**包头稀土研究院**是本项目牵头单位，负责氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铕、氧化钆、氧化铽8类稀土氧化物方法的研究和氧化镝、氧化钬、氧化铒、氧化铥、氧化镱、氧化镥、氧化钇和氧化钪8类稀土氧化物方法的验证工作，同时负责提供标准研究过程中的统一样品。**包头稀土研究院**是以稀土冶金、环境保护、新型稀土功能材料及在高新技术领域的应用、稀土提升传统产业的技术水平、稀土分析检测、稀土情报信息为研究重点的多专业、多学科的综合性研发机构。拥有雄厚的分析检测技术力量和先进的检测设备，具有中国合格评定国家认可委员会实验室认可（CNAS）和内蒙古市场监督管理局实验室认定（CMA）资质，多年来承担多项国家、行业稀土分析方法标准的起草及国家稀土标准样品的研制工作，积累了丰富的检测经验。在标准制定过程中，负责提出标准的试验方案、试验报告，负责统一样品的制备与发放，汇总精密度数据，并进行数据处理，随后与其他标准参加单位共同形成标准征求意见稿，进行广泛的意见征集，并负责在标准预审会、审定会上进行项目介绍与答辩，最终形成报批稿，协助稀土标准化技术委员会秘书处完成标准的报批工作。

**国标（北京）检验认证有限公司**是本项目的共同起草单位，负责氧化镝、氧化钬、氧化铒、氧化铥、氧化镱、氧化镥、氧化钇和氧化钪8类稀土氧化物方法的研究和氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铕、氧化钆、氧化铽8类稀土氧化物方法的验证工作。**国标（北京）检验认证有限公司**是国资委下属央企有研科技集团有限公司二级单位国合通用测试评价认证股份公司子公司，管理并运营着国家有色金属及电子材料分析测试中心与国家有色金属质量监督检验中心，是我国有色金属及电子材料领域的权威检测机构，同时也是我国有色金属行业分析测试标准的主要起草单位之一。国标检验拥有雄厚的技术力量，专业的人才队伍，先进齐全的仪器装备，以及依据国际标准制定的质量管理体系。公司致力于为广大客户提供全面、优质高效的检测服务。在标准起草期间，在标准制定过程中，同项目牵头单位提出标准的试验方案、试验报告，汇总精密度数据，并进行数据处理，随后与其他标准参加单位共同形成标准征求意见稿，进行广泛的意见征集，并负责在标准预审会、审定会上进行项目介绍与答辩，最终形成报批稿，协助稀土标准化技术委员会秘书处完成标准的报批工作

**湖南稀土金属材料研究院有限责任公司**是该标准方法的验证单位。**湖南稀土金属材料研究院有限责任公司**创建于1958年，一直从事稀土科研和军用稀土新材料研制工作，是我国最早从事稀土材料应用研究开发的科研单位，同时也是有色军工稀土新材料研制开发的定点单位，现有在职职工260人，其中：教授级高级工程师7人、高级工程师48人、工程师等技术骨干77人、享受政府津贴的专家7人，技术力量雄厚，在氧化钪与金属钪、铝钪中间合金，高纯中重稀土氧化物、稀土超细微粉、高纯稀土金属和合金型材(棒、片、粉、粒、丝、管、箔)、稀土储氢材料、六硼化镧阴极材料、稀土激光晶体材料、稀土磁致伸缩材料等方面研究处于国内领先水平。作为长期从事稀土材料开发应用单位，先后主持及参与了《六硼化镧化学分析方法》、《金属钪》、《氧化钪》、《六硼化镧》、《金属钇》、《铝钪中间合金》、《钕镁合金》、《氧化镨》、《钕镁合金化学分析方法》、《钇铝合金》、《独居石精矿》、《金属钇》、《镧铜合金》《稀土产品包装标志运输和贮存》等31项稀土标准的修制订工作。

**国家钨与稀土产品质量监督检验中心**是该标准方法的验证单位。**国家钨与稀土产品质量检验检测中心**于2007年6月经国家质检总局批准筹建，2008年建成，2009年投入运行，2010年10月正式通过国家质检总局和国家认监委验收，是全国唯一的钨与稀土产品质量监督国家级法定技术机构，直属于江西省市场监督管理局，是独立公正的第三方检测机构。中心现有员工76人，其中博士1人，在读博士3人，硕士16人，设备原值达到7000万，包括GD-MS、ICP-MS/MS、XRD、SEM、XRF、TG-QMS、GC-MS、ICP-OES、激光粒度仪等一批具有国际先进的大型仪器设备。中心主要职能是开展钨与稀土等有色金属矿产品检验、地质实验测试、环境监测与检验、检测技术培训和有色金属领域内科学技术研究、开发与推广以及标准研究与制定等工作。目前，中心通过CNAS认证的检测能力有4大类、50种类别、452个参数，通过省级CMA认证的检测能力有7大类、79种类别、956个参数，产品检测范围从钨、稀土等几十种有色金属原矿及前端初级产品，一直延伸至产业链的后端下游产品。中心参与了我国首批1个稀土国际标准的标准制定，以及2个稀土国家标准外文版翻译校核工作；主导制定稀土有色行业等国家标准6项、行业标准5项、省地方标准7项；参与制定国家和行业标准32项。

**北矿检测技术有限公司**是该标准方法的验证单位，成立于2016年10月31日，其前身北京矿冶研究总院测试研究所源于1956年建立的北京矿冶研究总院分析研究室，同时为国家重有色金属质量监督检验中心、国家进出口商品检验有色金属认可实验室、中国有色金属工业重金属质检中心、科技成果检测鉴定国家级检测机构，金属矿产资源评价与分析检测北京市重点实验室，在国内有色金属分析领域具有权威地位，在国际上享有一定声誉。一直主导矿石及精矿、重有色金属、选矿药剂等国家和行业标准的制修订，并参与ISO/TC26、ISO/TC155及ISO/TC183 技术委员会的工作，现已发布各种标准300余项。业务涵盖矿石及矿产品分析、冶炼产品分析、环境样品分析、再生资源分析、先进材料成分及性能测试、选冶药剂分析、资源评价与物理检测、测试技术研发及标准化、测试技术推广等领域。

**中国科学院海西研究院厦门稀土材料研究所**是该标准方法的验证单位，位于厦门集美区，占地面积97亩，总建设规模约11万平方米，与海西材料所、海西制造所、海西动力所、海峡两岸科技合作交流中心以及福建物质结构研究所（保留）共同组成海西研究院，稀土材料研究所是隶属于中国科学院海西研究院的独立法人机构。厦门稀土材料研究所立足于福建省稀土资源优势和厦门现有稀土企（产）业基础，以稀土功能材料开发应用为导向，着重稀土科学的基础理论和技术研究，前瞻布局稀土科技研发，有效聚集稀土科研力量，打造国家级稀土材料研发基地、稀土材料应用技术研发与产业化示范基地，引领和带动全国稀土产业的健康快速发展。

2、主要工作成员所负责的工作情况

本标准主要起草人及工作职责见表1。

表1 主要起草人及工作职责

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人 | 工作职责 |
| 李建亭 | 负责稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法的起草，各阶段标准文本、编制说明的编写、数据统计及组织协调 |
| 张秀艳 | 协助完成稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法各阶段标准文本、编制说明的的修改及组织协调 |
| 贾晓琪 | 协助完成稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法各阶段编制说明的编写、数据统计 |
| 刘红、刘鹏宇 | 负责稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法的起草，各阶段标准文本、编制说明的编写、数据统计及组织协调 |
| 胡芳菲、刘丽媛 | 协助完成稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法各阶段编制说明的编写、数据统计 |
| 刘荣丽 | 稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法的验证人员，对辉光放电质谱法的条件实验进行了验证。 |
| 冯先进 | 稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法的验证人员，对辉光放电质谱法的条件实验进行了验证。 |
| 宋立军 | 稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法的验证人员，对辉光放电质谱法的条件实验进行了验证。 |
| 徐娜、蒋威 | 稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法的验证人员，对辉光放电质谱法的条件实验进行了验证。 |

（三）研制背景

1、项目的必要性简述

近几年，国内外高纯稀土氧化物的需求量和贸易量在不断增加，随之带来的高纯稀土氧化物的测试业务需求量也急剧增加。目前，高纯稀土氧化物的测定方法主要有：GB/T 18115稀土金属及其氧化物中稀土杂质化学分析方法系列（方法2）和GB/T 12690稀土金属及其氧化物中非稀土杂质化学分析方法系列标准。这些标准主要使用了电感耦合等离子体原子发射光谱法（ICP-OES）、电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）、原子吸收光谱法（AAS）以及分光光度法等方法。这些方法对于部分非稀土杂质测定下限无法满足高纯稀土氧化物的指标要求，而且多数需要采用化学法将样品溶解，极易引入新的杂质，污染样品，另外测定一份样品的全部指标，其过程非常繁琐。

辉光放电质谱法（GD-MS）无需化学法溶解样品、可多元素同时测定，利用惰性气体（一般是氩气）在上千伏特电压下电离产生的离子撞击样品表面使之发生溅射，溅射产生的样品原子扩散至等离子体中进一步离子化，进而被质谱分析器收集检测。辉光放电属于低压放电，放电产生的大量电子和亚稳态惰性气体原子与样品原子频繁碰撞，使样品得到极大的溅射和电离。同时，由于GD源中样品的原子化和离子化分别在靠近样品表面的阴极暗区和靠近阳极的负辉区两个不同的区域内进行，也使基体效应大为降低。GD源对不同元素的响应差异较小（一般在10倍以内），并具备很宽的线性动态范围（约10个数量级），因此，即使在没有标样的情况下，也能给出较准确的多元素含量的结果，十分有利于超纯样品的杂质元素含量测定。现已有《GB/T 23275-2009钌粉化学分析方法　铅、铁、镍、铝、铜、银、金、铂、铱、钯、铑、硅量的测定　辉光放电质谱法》、《GB/T 32651-2016采用高质量分辨率辉光放电质谱法测量太阳能级硅中痕量元素的测试方法》等系列标准近23套。辉光放电质谱法用于非导体材料中杂质元素的测定未见相关标准。结合现实需求，本单位拟申请研究建立一套辉光放电质谱法测定稀土氧化物中杂质元素的标准分析方法。本标准无需使用多种测试方法，可多元素同时检测，无需多台设备，可避免大量化学试剂的使用，可节约人工投入。

2、项目的可行性简述

当前，国内外高纯稀土氧化物的需求量和贸易量在不断增加，随之带来的高纯稀土氧化物的测试业务需求量也急剧增加。国内稀土氧化物中杂质元素的测定方法主要采用：GB/T 18115稀土金属及其氧化物中稀土杂质化学分析方法系列和GB/T 12690稀土金属及其氧化物中非稀土杂质化学分析方法系列标准。这些标准主要使用了电感耦合等离子体原子发射光谱法（ICP-OES）、电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）、原子吸收光谱法（AAS）以及分光光度法等方法。这些方法在近些年的使用过程中逐渐显现出了一定不足之处，一是这些方法对于部分非稀土杂质测定下限无法满足高纯稀土氧化物的指标要求。二是这些方法中多数需要采用湿法消解将样品打开，消解过程极易造成待测元素的丢失或引入新的污染。三是测定一份样品的全部指标需要投入多种仪器、多个人员，采用多种方法来完成。另外，稀土行业发展规划（2016-2020年）明确提出了：高纯稀土材料绿色制备工艺技术，包括新型稀土高效提取分离新方法及关键技术、稀土制备过程物料闭路循环利用技术；超高纯稀土材料制备方法及关键技术。这对高纯稀土氧化物的准确分析也提出了更高的要求。本标准的建立不仅可以弥补以上不足，而且也能满足稀土行业发展规划的要求。

（四）主要工作过程

1、预研阶段

2018年1-6月，针对稀土氧化物中杂质元素的测定在实际应用中出现的问题，包头稀土研究院对现有稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法标准进行梳理整理和文献查阅，并对稀土氧化物的应用情况进行了专门的调研，包括稀土氧化物的种类、主要用途及市场情况、制备工艺、产品标准指标变化情况及对上下游应用产品的影响和稀土含量的差异等内容，形成了稀土氧化物化学分析方法调研报告。2018年8月，在稀标委年会上，关于稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法整合、检测元素及方法确定进行了讨论，与会专家提出了氧化物中杂质元素的测定需求。有关稀土氧化物中杂质元素的测定，包头稀土研究院与生产单位专家、检测专家以及应用专家进行了专门的调研。2018年12月，包头稀土研究院就稀标委及相关专家提出的意见进行讨论，形成了稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法的调研报告，确定了稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法标准中测定元素及分试验方案，提交立项申请。

2、立项阶段

2018年12月，包头稀土研究院在稀标委年会上，提出了稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法立项报告并进行了答辩，与会专家就稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法整合、检测元素及方法确定进行了讨论；2020年？月，根据《工业和信息化部办公厅关于印发2020年第三批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2020〕263号），稀土行业标准《稀土氧化物中杂质元素化学分析方法 辉光放电质谱法》的下达，由包头稀土研究院和国标（北京）检验认证有限公司联合起草，项目计划编号为2020-1617T-XB，周期为18个月。

3、起草阶段

3.1 简要过程

2021年4月全国稀土标准化技术委员会分别在湖南省长沙市召开了第一次全国稀土标准工作会议。2021年7月会议下达了《稀土氧化物中杂质元素的化学分析方法 辉光放电质谱法》标准的《落实任务书》。会议确定该标准由包头稀土研究院牵头，国标（北京）检验认证有限公司联合起草，湖南稀土金属材料研究院有限责任公司、北矿检测技术有限公司、中国科学院海西研究院厦门稀土材料研究所和国家钨与稀土产品质量监督检测中心六家单位共同编制。会议确定了项目的时间进度安排。

包头稀土研究院接受任务后，立即成立2020-1617T-XB稀土氧化物中杂质元素化学分析方法 辉光放电质谱法》研发小组，认真总结了前期的工作经验，针对高纯稀土氧化物中杂质元素的选择及其同位素的确定查阅了大量的文献，利用现有条件试验摸索，形成试验方法。

2022年1月31日，包头稀土研究院完成对各参与起草单位筹集的公共样品的精密度、加标回收等试验，完成实验数据进行整理，编写了2020-1617T-XB《稀土氧化物中杂质元素化学分析方法 辉光放电质谱法》方法研究报告，并将样品和方法研究报告邮寄给验证单位进行数据的验证工作。

2022年4月20日，验证单位完成验证实验，并将验证报告返回至起草单位。

2022年5月18日，标准编制组召开网络会议，就标准起草阶段的遇到的问题进行讨论。

3.2 参加单位的意见

除文字上的修改，在验证过程中各验证单位提出意见如下：

1、氯元素各家单位测试差别比较大，是否还需要将其列入标准检测元素范围内？

2、方法中不同基体的不同检测项目需要根据实际情况确定测定范围。

3、部分数据可以在预审会后补充试验。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

1、编制原则

（一）规范性原则：本标准是根据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的要求进行编写的；

二）先进性：本标准采用辉光放电质谱法测定16类单一稀土氧化物中痕量杂质元素，体现了检测技术的进步，适应稀土产业的发展，对国内稀土生产企业及相关行业的技术进步产生积极的促进作用。

（三）适用性：本标准以满足我国高纯稀土氧化物产品实际检测需求为原则，宜于应用，能够满足企业需求。

（四）充分考虑国家法律、安全、卫生、环保法规的要求。

2、主要技术内容

2.1测定方法

试样在辉光放电质谱仪样品室中做为阴极进行辉光放电。利用惰性气体（氩气）在上千伏特电压下电离产生的离子撞击样品表面使之发生溅射，溅射产生的样品原子扩散至等离子体中进一步离子化，进而被质谱分析器收集检测。在每一元素同位素质量数处以预设的扫描点数和积分时间对相应谱峰积分，所得面积即为谱峰强度。计算机根据仪器软件中的“标准相对灵敏度因子”自动计算出各待测元素的质量分数。

2.2适用范围

本标准规定了氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铕、氧化钆、氧化铽、氧化镝、氧化钬、氧化铒、氧化铥、氧化镱、氧化镥、氧化钇和氧化钪中钠、镁、铝、硅、氯、钾、钙、钪、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、铷、锶、钇、铯、钡、镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镝、钬、铒、铥、镱、镥、铅、钍等？个元素的测定方法。各元素测定范围为0.05 μg/g~50 μg/g。

三、试验验证的分析及预期的经济效果

1、主要试验和验证情况分析

（一） 测定范围

本标准规定了稀土氧化物中钠、镁、铝、硅、氯、钾、钙、钪、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、铷、锶、钇、铯、钡、镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镝、钬、铒、铥、镱、镥、铅、钍等元素的测定方法，具体每一种单一稀土氧化物测试元素种类根据实际情况逐一确定。各元素测定范围为0.05 μg/g~50 μg/g。

本标准规定了稀土氧化物（氧化钪、氧化钇、氧化镝、氧化钬、氧化铒、氧化铥、氧化镱、氧化镥）中锂、铍、硼、氟、钠、镁、铝、硅、磷、硫、氯、钾、钙、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、镓、锗、砷、硒、溴、铷、锶、锆、铌、钼、钌、铑、钯、银、镉、铟、锡、锑、碲、碘、铯、钡、铪、钽、钨、铼、锇、铱、铂、金、汞、铊、铅、铋、铀、钍以及除[钷](http://baike.baidu.com/subview/26349/11199696.htm)和基体元素外的15种稀土元素的GDMS测定方法。这73种杂质元素（个别元素由于质谱干扰，不包括在内）的测定范围为0.05 μg/g~50 μg/g。

（二）方法原理

试样在辉光放电质谱仪样品室中做为阴极进行辉光放电。利用惰性气体（氩气）在上千伏特电压下电离产生的离子撞击样品表面使之发生溅射，溅射产生的样品原子扩散至等离子体中进一步离子化，进而被质谱分析器收集检测。在每一元素同位素质量数处以预设的扫描点数和积分时间对相应谱峰积分，所得面积即为谱峰强度。计算机根据仪器软件中的“标准相对灵敏度因子”自动计算出各待测元素的质量分数。

（三）试剂及材料

钽片（固体金属，纯度大于99.99%， 2mm\*2mm\*1mm）；金属铟（固体金属，纯度大于99.9999%)；硝酸（ρ1.42 g/mL），优级纯；盐酸（ρ1.19 g/mL），优级纯；氢氟酸（ρ1.14g/mL），优级纯；无水乙醇（CH3CH2OH大于99.9%），色谱纯；去离子水（电阻率应达到18.0MΩ\*cm）；氩气（纯度不低于99.9999%）；液氮

（四）仪器及参数

高分辨辉光放电质谱仪。

仪器工作参数

|  |  |
| --- | --- |
| 仪器参数 | 参数设置 |
| 辉光放电气体流量 | 0.15~0.35 SCCM |
| 辉光放电电压 | 900~1200 V |
| 辉光放电电流 | 2.0 mA |
| 典型分辨率 | 4000 |
| 离子计数效率 | >0.80 |

（五）同位素的选择及测定下限

La2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 151 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 160 | <1.0 |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | <1.0 |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 164 | <1.0 |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | / | Ho | 165 | <1.0 |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 166 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | <1.0 |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 146/144 | <1.0 | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 137 | <1.0 | Sm | 147/149 | <1.0 | Lu | 175 | <1.0 |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

CeO2待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 153 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 160 | / |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | / |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 164 | <1.0 |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | <1.0 |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | / | Er | 166 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | <1.0 |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 146/144 | <1.0 | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 137 | <1.0 | Sm | 147149 | <1.0 | Lu | 175 | <1.0 |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Pr6O11待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 153 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 156 | <1.0 |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | / |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 163 | <1.0 |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | <1.0 |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 166 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | / | Tm | 169 | <1.0 |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 146/144 | <1.0 | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 138 | <1.0 | Sm | 152 | <1.0 | Lu | 175 | <1.0 |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Nd2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 153 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 156 | <1.0 |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | / |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 163 | / |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | / |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 170 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | <1.0 |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 144 | / | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 138 | <1.0 | Sm | 152 | <1.0 | Lu | 175 | <1.0 |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Sm2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 151 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 158 | <1.0 |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | <1.0 |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 162 | / |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | / |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 167 | / |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | / |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 143 | <1.0 | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 138 | <1.0 | Sm | 152 | / | Lu | 175 | <1.0 |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Eu2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 153 | / |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 157 | <1.0 |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | <1.0 |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 162 | <1.0 |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | <1.0 |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 166 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | / |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 144 | <1.0 | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 138 | <1.0 | Sm | 149 | <1.0 | Lu | 175 | <1.0 |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Gd2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 153 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 158 | / |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | <1.0 |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 164 | <1.0 |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | <1.0 |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 166 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | <1.0 |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 86 | <1.0 | Nd | 142 | <1.0 | Yb | 170 | / |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 138 | <1.0 | Sm | 147 | <1.0 | Lu | 175 | / |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tb4O7待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) | 元素 | 质量数 | 测定下限(mg/Kg) |
| Na | 23 | <1.0 | Mn | 55 | <1.0 | Pb | 208 | <1.0 | Eu | 151 | <1.0 |
| Mg | 24 | <1.0 | Fe | 56 | <1.0 | Th | 232 | <1.0 | Gd | 157 | <1.0 |
| Al | 27 | <1.0 | Co | 59 | <1.0 | Sc | 45 | <1.0 | Tb | 159 | / |
| Si | 28 | <1.0 | Ni | 58 | <1.0 | Y | 89 | <1.0 | Dy | 163 | <1.0 |
| Cl | 35 | <1.0 | Cu | 63 | <1.0 | La | 139 | <1.0 | Ho | 165 | <1.0 |
| K | 39 | <1.0 | Zn | 66/64 | <1.0 | Ce | 140 | <1.0 | Er | 166 | <1.0 |
| Ca | 44 | <1.0 | Rb | 85 | <1.0 | Pr | 141 | <1.0 | Tm | 169 | <1.0 |
| Ti | 48 | <1.0 | Sr | 88 | <1.0 | Nd | 146 | <1.0 | Yb | 174 | <1.0 |
| V | 51 | <1.0 | Ba | 138 | <1.0 | Sm | 147 | <1.0 | Lu | 176 | / |
| Cr | 52 | <1.0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表2-1 Dy2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 164 | 基体 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 171/173 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | / | / |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-2 Ho2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 基体 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 184 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-3 Er2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166 | 基体 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | / | / |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-4 Tm2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 基体 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | / | / |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-5 Yb2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 基体 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | / | / |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | / | / |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-6 Lu2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 基体 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | / | / |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-7 Y2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 基体 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 108 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 109 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表2-8 Sc2O3待测元素同位素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.5~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.5~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.5~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.5~50 | Rb | 87 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.5~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.5~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 5~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.5~50 | Au | 197 | 0.5~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 65 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.5~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.5~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

以上16种稀土氧化物中杂质元素测试分辨率均应大于4000 ，K元素分辨率应大于5600。测定下限的确定考虑高纯金属铟的空白、多原子离子干扰等因素，结合ASTM相关标准中测定下限的计算方法得出。

（六）试样

稀土氧化物试样要具有均匀性和代表性，并于950℃灼烧1h，置于干燥器中，冷却至室温后立即进行测试。

（七）分析步骤

铟片：将片状（直径约15mm，厚约0.5mm）金属铟(2.3.2)置于优级纯硝酸中清洗约30秒，再用去离子水超声清洗30min,取出于烘箱中100℃烘干备用。

试料：将稀土氧化物样品少许置于铟片上（2.7.1），在样品表面盖一张滤纸，之后使用专用的压制工具（聚四氟乙烯棒）将样品压紧到金属铟片的表面，无氧化物粉末脱落即可，样品区域直径应间于2.5mm-3.0mm之间。

（八）仪器准备工作

质量校正：使用金属钽片（2.3.1）对辉光放电质谱仪进行精确的质量校正，确定质量峰的位置。将辉光放电质谱仪调节到分析所需的质量分辨率能力和合适的质量峰形状。如果仪器在相同分析中使用不同的离子收集器测量离子流，则需要用仪器检测器校正标准样品（2.3.1）测定每个检测器相对于其它检测器的测量效率以确保检测系统性能正常。

（九）测定

将压有稀土氧化物样品的金属铟片至于样品池中进行辉光放电，将辉光放电离子源溅射条件调节到分析所需的条件，质谱仪对待测元素的离子信号进行分析，预溅射30min后，连续采集3次测量数据，软件通过相对灵敏度因子校正后，给出检测平均结果，含量以μg/g表示。

2、预期的经济效果

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

五、采用国际标准和国外先进标准的情况

该标准项目没发现有关知识产权的问题。国外无相同类型的标准。本标准未采用（包括等同采用、修改采用及非等效采用）国际标准或国外先进标准。

六、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准的关系

本标准与现行法律、法规和相关标准相协调、无冲突。

七、重大分歧意见的处理和依据

无重大分歧。

八、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利和知识产权问题。

九、贯彻国家标准的要求及措施建议

建议稀土产品的生产和检测单位积极组织本标准的学习与宣贯，可向企业、公司和科研院校（所）推荐本标准。

十、其它应予说明的事项

包头稀土研究院

 2022年5月21日