氧化锆、氧化铪化学分析方法

第13部分：氧化铪中硼、钠、镁、铝、硅、钙、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、锆、铌、钼、镉、锡、锑、钽、钨、铅、铋含量的测定

电感耦合等离子体质谱法

**编 制 说 明**

（预审稿）

国合通用测试评价认证股份公司

2022年5月

一、工作简况

1、任务来源

2020年8月，工业和信息化部下达了《关于印发2020年第二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﹞181号文件，其中YS/T 568.13《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分：氧化铪中硼、钠、镁、铝、硅、钙、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、锆、铌、钼、镉、锡、锑、钽、钨、铅、铋含量的测定 电感耦合等离子体质谱法》的制定工作由国合通用测试评价认证股份有限公司、国标（北京）检验认证有限公司负责起草，项目计划编号为2020-0699T-YS，完成年限2022年。

2、项目编制组单位及变化情况

编制组成员包括广东省科学院工业分析检测中心、国核锆铪理化检测有限公司、西部新锆核材料科技有限公司、宝钛集团有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司等5家验证单位。项目进行中一验单位广东省科学院工业分析检测中心由于试剂原因无法对硅、钙数据进行验证，增加国核锆铪理化检测有限公司为一验单位。

3、主要参加单位和工作成员及其所做的工作

3.1主要参加单位情况

国合通用测试评价认证股份公司、国标（北京）检验认证有限公司是本标准的起草单位。在工作前期，对现阶段氧化铪的检测需求、检测现状及国内外相关检测标准进行了充分的调研，并设计了采用电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）测定氧化铪中杂质的实验方案。项目计划下达后，积极联系相关生产单位完成了氧化铪公共样品的收集与筛选；完成ICP-MS测定氧化铪中杂质元素的研究并形成研究报告；发放样品并协调验证单位完成验证报告，并在综合各验证单位意见的基础上提出《标准征求意见稿》；负责汇总精密度数据，完成数理统计工作；负责意见征集与汇总；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，协助标准化技术委员会秘书处完成标准的报批工作。

广东省科学院工业分析检测中心和国核锆铪理化检测有限公司是方法的一验单位，负责逐条验证《研究报告》的内容，对方法的可行性进行论证并给出结论；负责提供本试验室公共样品的原始测定数据；协助起草单位完成标准报批稿的校核工作。

西部新锆核材料科技有限公司、宝钛集团有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司是方法的二验单位，主要按照《研究报告》中的试验步骤完成公共样品的测定并提供原始测定数据，对于试验中发现的问题及时反馈给起草单位。

3.2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 |
| 墨淑敏 | 负责方法的起草，各阶段标准文本、编制说明的编写。 |
| 邱长丹、郑佳乐 | 协助完成ICP-MS的相关试验。 |
| 李爱嫦、王长华 | 与验证单位联系及数据统计。 |
| 张胜、王杰 | 负责方法一验工作，对ICP-MS的条件实验进行了验证，并完成精密度原始数据。 |
| 刘烜、卢凡、石志霞 | 负责二验，提供了精密度原始数据，及样品筹备。 |

4、主要工作过程

4.1 起草阶段

（1）任务落实

2020年8月，工业和信息化部正式批复本项目，项目计划编号为[2020-0699T-YS](http://219.239.107.155:8080/TaskBook.aspx?id=YSCPZT06842020)。2020年11月全国有色金属标准化技术委员会在浙江省桐乡市召开工作会议，对本项目进行任务落实。会议明确了项目的时间进度安排，并确定国合通用测试评价认证股份有限公司、国标（北京）检验认证有限公司为主起草单位，广东省科学院工业分析检测中心、国核锆铪理化检测有限公司、西部新锆核材料科技有限公司、宝钛集团有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司等5家单位参与本方法的验证。

（2）样品收集及试验研究

2021年1月，起草单位成立YS/T 568.13《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分》研发组，并组织相关人员对公司客户送检的氧化铪产品进行了筛选，选择其中1个作为公共样品。

2021年1月~2月，起草单位向有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、国核锆铪理化检测有限公司、西部新锆核材料科技有限公司等氧化铪生产单位问询，并就不同纯度氧化铪杂质水平进行沟通。2021年2月，有研资源环境技术研究院（北京）有限公司提供氧化铪产品3个，分别为自制的、国内其它厂家生产的和国外进口的。国核锆铪理化检测有限公司提供氧化铪产品1个。综上，氧化铪样品供筹集到5个。起草人员对上述5个样品中杂质元素进行均检、初筛，结果见表2。在上述样品的基础上，通过加入适量杂质元素的方式又合成4个样品。至此，共形成氧化铪样品9个，保证了样品数据具有代表性。

表2 公共样品均检、初筛情况

| **元素** | **1#** | **2#** | **3#** | **4#** | **5#** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| B | 0.0002 | <0.00005 | 0.0002 | — | — |
| Na | 0.026 | 0.000X | 0.002 | — | — |
| Mg | 0.00005 | — | 0.002 | 0.00016 | — |
| Al | 0.0002 | 0.008 | 0.0002 | — | 0.002 |
| Si | 0.05 | 0.00X | 0.03 | — | 0.02 |
| Ca | 0.0003 | 0.0001 | 0.0012 | 0.0006 | 0.014 |
| Ti | 0.0002 | 0.004 | 0.00007 | 0.0000x | 0.0000x |
| V | — | 0.00001 | — | — | — |
| Cr | 0.00003 | 0.0004 | — | 0.00004 | 0.0007 |
| Mn | 0.0001 | 0.00002 | — | 0.00002 | 0.0001 |
| Fe | 0.0005 | 0.001 | 0.0008 | 0.002 | 0.04 |
| Co | — | — | — | <0.00001 | 0.00001 |
| Ni | — | 0.0012 | — | 0.00003 | 0.0001 |
| Cu | — | <0.00005 | — | 0.00006 | 0.00003 |
| Zn | <0.00005 | <0.00005 | 0.0002 | 0.0006 | 0.001 |
| Zr | 0.37 | 0.36 | 0.03 | 0.1 | 0.007 |
| Nb | 0.010 | — | 0.0004 | 0.00005 | 0.038 |
| Mo | 0.00004 | 0.00005 | <0.00005 | — | 0.0004 |
| Cd | — | — | — | — | — |
| Sn | — | — | — | — | — |
| Sb | — | — | — | — | — |
| Ta | 0.03 | 0.000X | 0.0018 | <0.0001 | 0.0001 |
| W | 0.0002 |  | 0.0001 | <0.00005 | 0.001 |
| Pb | 0.00005 | 0.00002 | 0.0001 | 0.0002 | 0.00003 |
| Bi | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00003 | 0.00003 |

2021年3月~5月，编制组人员对样品溶解方法、同位素选择、基体效应、标准溶液配制方式等条件实验进行摸索、优化，确定了采用ICP-MS分析氧化铪的试验步骤。按照确定的实验方法，对9个公共样品进行精密度测试，并对数据的平均值和相对标准偏差进行整理汇总。

2021年5月下旬，起草单位撰写完成本项目的 **《研究报告》**，并按照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》的规定撰写了YS/T 568.13《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分：氧化铪中硼、钠、镁、铝、硅、钙、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、锆、铌、钼、镉、锡、锑、钽、钨、铅、铋含量的测定 电感耦合等离子体质谱法》**（讨论稿）**。

（3）验证单位验证

2021年6月，起草单位将样品和方法研究报告邮寄给各验证单位进行数据的验证工作。7月，一验单位广东省科学院工业分析检测中心反馈验证意见表示：方法具有较好的精密度和准确度，且方法较简单、快速，同意推荐为行业标准。但由于试剂原因，该单位未对钙和硅的数据进行验证。因此，变更原二验单位国核锆铪理化检测有限公司为一验单位，进一步验证。该单位反馈能够按照试验方法测定氧化铪样品，且数据与起草单位一致。

2021年8月，各验证单位陆续完成验证工作并返回验证报告。起草单位工作人员对各单位精密度数据进行了整理汇总，并对数据进行柯克伦检验剔除精密度离群值，对数据进行格拉布斯检验剔除准确度离群值，在此基础上完成了重复性和再现性的计算。

起草过程中起草单位与各验证单位反复沟通，综合考虑了仪器设备的不同厂家、不同型号及碰撞反应气体的不同。2021年9月，起草单位综合各验证单位反馈意见对《讨论稿》进行修改完善，形成YS/T 568.13《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分》（征求意见稿）。

4.2 征求意见阶段

编制组通过发函、中国有色金属标准质量信息网上公开、召开工作会议等方式对YS/T 568.13《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分》（征求意见稿）征求意见。

2022年2月28日~3月1日有色标委会召开第一次网络工作会议。来自有色金属技术经济研究院、北京矿冶科技集团有限公司、宝鸡钛业股份有限公司、金堆城钼业股份有限公司等单位的三十多位专家对《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分：氧化铪中硼、钠、镁、铝、硅、钙、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、锆、铌、钼、镉、锡、锑、钽、钨、铅、铋含量的测定 电感耦合等离子体质谱法》（征求意见稿）进行了讨论，并提出了宝贵意见。

二、标准编制原则

本标准起草过程中遵循以下原则：

（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》和GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的要求进行编写的；并按照GB/T 6379.2-2004《测量方法与结果的准确度》进行数理统计分析。

（二）先进性：修订后的标准采用电感耦合等离子体质谱法同时测定氧化铪中25种杂质元素，方法快速、准确；体现了检测技术的进步；同时，本标准在国内外均为首次制定，具有前瞻性和引领性。

（三）适用性：本标准以满足我国氧化铪产品实际检测需求为原则，宜于应用，能够满足企业需求，对锆铪生产企业的技术进步产生积极的促进作用。

（四）合规性：充分考虑国家法律、安全、卫生、环保法规的要求。

三、标准主要内容的确定依据

本标准为首次制定标准。在标准的制定过程中起草单位协同一验单位对标准的测定范围、溶样方法、同位素的选择、标准溶液的配制方法等关键要素进行了确认；起草单位协同一验单位、二验单位对筛选的公共样品进行7次独立测定，原始数据经柯克伦检验及格拉布斯检验，剔除离群值后，计算重复性限和再现性限。

1、测定方法

YS/T 568-2008《氧化锆、氧化铪化学分析方法》已颁布11部分，其方法涉及分光光度法、火焰原子吸收法、电感耦合等离子体发射光谱法等。上述方法一方面所涉及元素方法检出限较高，主要适用于纯度较差的产品，另一方面元素种类较少，覆盖面不全，缺少B、Co等元素的检测方法。在这种情况下，拟采用电感耦合等离子体质谱法对氧化铪中痕量杂质元素进行分析，该方法具备多元素同时检测且方法检出限低等优势，是对YS/T 568-2008标准系列是完善和提升。

1. 元素种类及测定范围

本方法中元素种类的主要确定依据为产品标准 YS/T 1140-2016《二氧化铪》及正在制定的YS/T XXX《高纯氧化铪》，按照产品标准要求，铝、硼、铁、钴、钠、硅、钛、钒、铬、铜、锌、钼、铅、铋等元素需要测定。因此，本方法包括对氧化铪中25种杂质元素的测定。

元素的测定范围主要根据YS/T 1140-2016《二氧化铪》及正在制定的YS/T XXX《高纯氧化铪》产品标准以及电感耦合等离子体质谱的适用范围，规定本方法元素的测定范围为：硼、钠、硅、钙、钽测定范围0.0010 %～0.010 %，其余元素测定范围0.0001%～0.010%。当元素含量更高时，可采用 YS/T 568 其它部分进行测定。

3、样品溶解方法

氧化铪通常由铪的碳化物、四氯化物、氮化物或水合氧化物直接高温灼烧制取。试验发现，常温常压下加入硝酸、氢氟酸、盐酸等无机酸难以溶解。根据YS/T 568《氧化锆、氧化铪化学分析方法》第1~11部分相关内容，氧化铪样品可采用无机酸辅助高压（YS/T 568的第1、3、7、8、9部分）或硫酸加硫酸铵（第2、4、5、6、10、11部分）两种方式溶解。电感耦合等离子体质谱法测定微痕量杂质时质谱干扰较多，对基体浓度的要求较高，不宜采用硫酸和硫酸铵方式溶解，因此方法采用硝酸、氢氟酸微波辅助溶解。

商业化的密闭加压微波消解装置，包括微波消解仪、氟塑料（如PTFE，PFA，TFM等）高压消解罐。微波消解仪应有可编程温度/压力—时间控制功能，可以在消解过程中监测温度或压力。温度控制型微波消解装置标称最高温度不低于200 ℃；压力控制型微波消解装置标称最大压力不低于10 MPa。微波消解仪应有合格的安全保护装置和卸压装置。

实验发现，称取0.10g氧化铪样品，加入2mL硝酸和2mL氢氟酸，用Mars6微波消解仪（CEM公司），按照表3所示的温控程序，样品能够溶解完全。鉴于各种微波消解仪的控制原理不同，标准不具体给出消解的升温程序。

表3微波消解程序

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 步骤 | 功率/W | 升温时间/ min | 温度 /℃ | 保温时间 /min |
| 1 | 1200 | 10 | 120 | 10 |
| 2 | 1200 | 10 | 190 | 50 |

4、同位素的选择

按照被测元素同位素丰度高和无干扰的原则进行待测元素同位素选择。56Fe、28Si、40Ca受到40Ar16O、14N14N及40Ar的干扰，需要采用H2碰撞反应池模式进行测定。氧化铪中通常锆含量较高（3%左右），因此质谱干扰要同时考虑铪和锆的干扰。

试验发现，待测元素Cd113、Cd114等质量数受到ZrO干扰较小，背景等效浓度小于0.00001%，不影响测定的准确度，可根据情况选择113或114进行定量分析。

由于受到180Hf2+双电荷的质谱干扰，Zr90测定结果偏高，可选择Zr91质量数进行定量分析。

试验发现，氧化铪基体中180Ta受到180Hf同量异位素干扰，而丰度更大181Ta则易受到180Hf1H干扰或受到180Hf拖尾峰的影响导致测试结果准确度下降。为了提高Ta结果的准确度，采用高纯铪基体（*w*Ta<0.0001%）对基体空白进行监测，必要时进行基体空白扣除。最终各元素推荐质量数见表4。

表4 各元素推荐测定同位素的质量数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素质量数 | 元素 | 同位素质量数 |
| B | 11 | Cu | 63 |
| Na | 23 | Zn | 66 |
| Mg | 24 | Zr | 91 |
| Al | 27 | Nb | 93 |
| Si | 28 | Mo | 95 |
| Ca | 40 | Cd | 113 / 114 |
| Ti | 48 / 49 | Sn | 118 |
| V | 51 | Sb | 123 |
| Cr | 52 | Ta | 181 |
| Mn | 55 | W | 186 |
| Fe | 56 | Pb | 208 |
| Co | 59 | Bi | 209 |
| Ni | 60 | — | — |

5、标准溶液配制方法确定依据

采用内标法校正基体影响及仪器波动对测定的影响。调谐仪器至最佳状态，比较了钪、铯、铊三种内标元素校正结果。发现当氧化铪中锆含量较高时，受90Zr2+双电荷产物影响，Sc内标计数会出现正波动，因此不选择钪为内标。当基体浓度≯1mg/mL时，Cs、Tl内标计数基本稳定，以Cs或Tl为内标对加标样品回收率进行计算，回收率在90%~110%范围内。因此，本方法标准溶液配制可采用内标法，不需要进行基体匹配。

表5 不同基体浓度内标计数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基体浓度/mg/mL | Sc | Cs | Tl |
| 0 | 61925.9 | 106460.2 | 75301.8 |
| 0.2 | 63001.2 | 106457.8 | 77842.7 |
| 0.5 | 66123.4 | 108395.1 | 79370.9 |
| 1.0 | 70016.7 | 107143.9 | 77821.9 |

6、精密度数据的确定

本标准基于对5个氧化铪样品中杂质元素的测定数据计算重复性限和再现性限。样品分别由国标（北京）检验认证有限公司（1个）、国核锆铪理化检测有限公司（1个）和有研资源环境技术研究院（北京）有限公司（3个）提供。精密度数据是在2020年由6家试验室进行共同试验确定的。每个实验室对每个水平的杂质含量均独立测定7次。测量的原始数据见附录A。

在对原始测定数据进行柯克伦检验及格拉布斯检验，剔除离群值后，进行精密度数据计算，从而确定重复性限和再现性限。各杂质元素统计分析后结果可接受的实验室个数、可接受的数据个数、平均值、及重复性标准差、再现性标准差、重复性限、再现性限见表6~表9。根据表6~表9对重复性限和再现性限进行综合评定，确定方法的重复性限和再现性限，分别见表10、表11。

表6 水平1统计结果表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 结果可接受的  实验室个数 | 可接受的数  据个数 | 平均值  /% | 重复性标准差  *Sr* | 再现性标准差  *SR* | 重复性限  *r*/% | 再现性限  *R*/% |
| B | 6 | 42 | 0.00021 | 0.00004 | 0.00004 | 0.00011 | 0.00010 |
| Na | 6 | 35 | 0.00024 | 0.00003 | 0.00003 | 0.00009 | 0.00009 |
| Mg | 5 | 35 | 0.00018 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00006 | 0.00008 |
| Al | 6 | 42 | 0.00027 | 0.00003 | 0.00005 | 0.00008 | 0.00014 |
| Ca | 5 | 35 | 0.00029 | 0.00003 | 0.00004 | 0.00008 | 0.00012 |
| Ti | 6 | 42 | 0.00017 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00004 | 0.00009 |
| V | 6 | 42 | < 0.00001 | — | — | — | — |
| Cr | 6 | 42 | 0.00040 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00006 | 0.00010 |
| Mn | 6 | 42 | 0.00012 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00004 |
| Fe | 5 | 35 | 0.00053 | 0.00006 | 0.00006 | 0.00017 | 0.00017 |
| Co | 6 | 42 | < 0.00001 | — | — | — | — |
| Ni | 5 | 35 | 0.00014 | 0.00001 | 0.00003 | 0.00004 | 0.00008 |
| Cu | 6 | 42 | 0.00003 | 0.00001 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00003 |
| Zn | 6 | 42 | 0.00062 | 0.00004 | 0.00007 | 0.00012 | 0.00020 |
| Nb | 5 | 35 | 0.00043 | 0.00005 | 0.00009 | 0.00015 | 0.00026 |
| Mo | 6 | 42 | 0.00036 | 0.00002 | 0.00004 | 0.00006 | 0.00013 |
| Cd | 6 | 42 | < 0.00001 | — | — | — | — |
| Sn | 6 | 42 | < 0.00001 | — | — | — | — |
| Sb | 6 | 42 | < 0.00001 | — | — | — | — |
| W | 5 | 35 | 0.00019 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00004 | 0.00006 |
| Pb | 4 | 28 | 0.00014 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00004 | 0.00006 |
| Bi | 6 | 42 | 0.00009 | 0.00001 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00002 |

表7 水平2统计结果表

| 元素 | 结果可接受的  实验室个数 | 可接受的数  据个数 | 平均值  /% | 重复性标准差  *Sr* | 再现性标准差  *SR* | 重复性限  *r*/% | 再现性限  *R*/% |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| B | 5 | 35 | 0.00107 | 0.00007 | 0.00009 | 0.00019 | 0.00027 |
| Na | 6 | 42 | 0.00137 | 0.00005 | 0.00032 | 0.00015 | 0.00091 |
| Mg | 6 | 42 | 0.00103 | 0.00006 | 0.00007 | 0.00017 | 0.00020 |
| Al | 6 | 42 | 0.00250 | 0.00010 | 0.00024 | 0.00029 | 0.00067 |
| Si | 4 | 28 | 0.00117 | 0.00007 | 0.00008 | 0.00021 | 0.00023 |
| Ca | 5 | 35 | 0.00110 | 0.00006 | 0.00007 | 0.00017 | 0.00021 |
| Ti | 6 | 42 | 0.00210 | 0.00009 | 0.00011 | 0.00024 | 0.00030 |
| V | 6 | 42 | 0.00106 | 0.00005 | 0.00009 | 0.00014 | 0.00026 |
| Cr | 6 | 42 | 0.00148 | 0.00005 | 0.00010 | 0.00016 | 0.00030 |
| Mn | 6 | 42 | 0.00107 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00014 | 0.00017 |
| Fe | 6 | 42 | 0.00199 | 0.00007 | 0.00017 | 0.00021 | 0.00048 |
| Co | 5 | 35 | 0.00104 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00013 | 0.00016 |
| Ni | 6 | 42 | 0.00226 | 0.00007 | 0.00010 | 0.00020 | 0.00029 |
| Cu | 6 | 42 | 0.00109 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00014 | 0.00015 |
| Zn | 6 | 42 | 0.00107 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00014 | 0.00017 |
| Nb | 6 | 42 | 0.00102 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00014 | 0.00017 |
| Mo | 6 | 42 | 0.00108 | 0.00006 | 0.00010 | 0.00018 | 0.00028 |
| Cd | 6 | 42 | 0.00104 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00013 | 0.00018 |
| Sn | 6 | 42 | 0.00105 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00013 | 0.00016 |
| Sb | 6 | 42 | 0.00103 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00015 | 0.00016 |
| Ta | 6 | 42 | 0.00205 | 0.00008 | 0.00020 | 0.00024 | 0.00058 |
| W | 5 | 35 | 0.00129 | 0.00006 | 0.00007 | 0.00018 | 0.00019 |
| Pb | 5 | 35 | 0.00103 | 0.00003 | 0.00005 | 0.00009 | 0.00015 |
| Bi | 6 | 42 | 0.00109 | 0.00005 | 0.00011 | 0.00015 | 0.00031 |

表8 水平3统计结果表

| 元素 | 结果可接受的  实验室个数 | 可接受的数  据个数 | 平均值  /% | 重复性标准差  *Sr* | 再现性标准差  *SR* | 重复性限  *r*/% | 再现性限  *R*/% |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| B | 5 | 35 | 0.00413 | 0.00014 | 0.00016 | 0.00041 | 0.00046 |
| Na | 5 | 35 | 0.00419 | 0.00013 | 0.00015 | 0.00038 | 0.00043 |
| Mg | 6 | 42 | 0.00409 | 0.00011 | 0.00015 | 0.00030 | 0.00042 |
| Si | 4 | 28 | 0.00420 | 0.00008 | 0.00012 | 0.00023 | 0.00033 |
| Ca | 5 | 35 | 0.00400 | 0.00012 | 0.00013 | 0.00033 | 0.00038 |
| Ti | 6 | 42 | 0.00447 | 0.00009 | 0.00023 | 0.00026 | 0.00065 |
| V | 6 | 42 | 0.00399 | 0.00010 | 0.00021 | 0.00028 | 0.00060 |
| Cr | 6 | 42 | 0.00447 | 0.00010 | 0.00019 | 0.00028 | 0.00054 |
| Mn | 5 | 35 | 0.00410 | 0.00008 | 0.00011 | 0.00022 | 0.00031 |
| Fe | 5 | 35 | 0.00522 | 0.00007 | 0.00012 | 0.00020 | 0.00033 |
| Co | 6 | 42 | 0.00403 | 0.00009 | 0.00022 | 0.00025 | 0.00062 |
| Ni | 6 | 42 | 0.00532 | 0.00013 | 0.00023 | 0.00036 | 0.00066 |
| Cu | 6 | 42 | 0.00413 | 0.00009 | 0.00015 | 0.00026 | 0.00041 |
| Zn | 6 | 42 | 0.00427 | 0.00012 | 0.00013 | 0.00033 | 0.00036 |
| Zr | 5 | 35 | 0.00705 | 0.00019 | 0.00020 | 0.00055 | 0.00058 |
| Nb | 6 | 42 | 0.00406 | 0.00008 | 0.00010 | 0.00023 | 0.00029 |
| Mo | 6 | 42 | 0.00402 | 0.00010 | 0.00012 | 0.00029 | 0.00034 |
| Cd | 6 | 42 | 0.00406 | 0.00010 | 0.00012 | 0.00028 | 0.00033 |
| Sn | 6 | 42 | 0.00404 | 0.00009 | 0.00011 | 0.00026 | 0.00030 |
| Sb | 6 | 42 | 0.00401 | 0.00009 | 0.00016 | 0.00027 | 0.00046 |
| W | 5 | 35 | 0.00202 | 0.00005 | 0.00010 | 0.00014 | 0.00029 |
| Pb | 6 | 42 | 0.00398 | 0.00008 | 0.00013 | 0.00023 | 0.00036 |
| Bi | 6 | 42 | 0.00399 | 0.00007 | 0.00014 | 0.00021 | 0.00039 |

表9 水平4统计结果表

| 元素 | 结果可接受的  实验室个数 | 可接受的数  据个数 | 平均值  /% | 重复性标准差  *Sr* | 再现性标准差  *SR* | 重复性限  *r*/% | 再现性限  *R*/% |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| B | 6 | 42 | 0.00802 | 0.00023 | 0.00026 | 0.00066 | 0.00075 |
| Na | 5 | 35 | 0.00816 | 0.00011 | 0.00012 | 0.00030 | 0.00035 |
| Mg | 6 | 42 | 0.00821 | 0.00017 | 0.00033 | 0.00049 | 0.00094 |
| Al | 6 | 42 | 0.00880 | 0.00024 | 0.00025 | 0.00068 | 0.00071 |
| Si | 4 | 28 | 0.00809 | 0.00013 | 0.00017 | 0.00036 | 0.00047 |
| Ca | 4 | 28 | 0.00799 | 0.00012 | 0.00016 | 0.00035 | 0.00046 |
| Ti | 5 | 35 | 0.00844 | 0.00011 | 0.00018 | 0.00030 | 0.00052 |
| V | 6 | 42 | 0.00809 | 0.00014 | 0.00019 | 0.00039 | 0.00053 |
| Cr | 6 | 42 | 0.00854 | 0.00014 | 0.00024 | 0.00041 | 0.00069 |
| Mn | 6 | 42 | 0.00811 | 0.00013 | 0.00014 | 0.00038 | 0.00040 |
| Fe | 6 | 42 | 0.00948 | 0.00019 | 0.00038 | 0.00055 | 0.00108 |
| Co | 6 | 42 | 0.00810 | 0.00015 | 0.00027 | 0.00042 | 0.00075 |
| Ni | 5 | 35 | 0.00932 | 0.00011 | 0.00013 | 0.00032 | 0.00036 |
| Cu | 6 | 42 | 0.00819 | 0.00015 | 0.00019 | 0.00042 | 0.00054 |
| Zn | 5 | 35 | 0.00818 | 0.00012 | 0.00024 | 0.00034 | 0.00068 |
| Zr | 4 | 28 | 0.00901 | 0.00011 | 0.00030 | 0.00030 | 0.00084 |
| Nb | 6 | 42 | 0.00803 | 0.00014 | 0.00015 | 0.00041 | 0.00043 |
| Mo | 5 | 35 | 0.00810 | 0.00011 | 0.00012 | 0.00030 | 0.00035 |
| Cd | 6 | 42 | 0.00806 | 0.00014 | 0.00021 | 0.00039 | 0.00058 |
| Sn | 6 | 42 | 0.00803 | 0.00012 | 0.00017 | 0.00034 | 0.00047 |
| Sb | 6 | 42 | 0.00811 | 0.00014 | 0.00023 | 0.00039 | 0.00066 |
| Ta | 4 | 28 | 0.00814 | 0.00010 | 0.00010 | 0.00028 | 0.00029 |
| Pb | 6 | 42 | 0.00815 | 0.00010 | 0.00015 | 0.00029 | 0.00041 |
| Bi | 6 | 42 | 0.00810 | 0.00011 | 0.00016 | 0.00031 | 0.00046 |

表10 重复性限

|  |  |
| --- | --- |
| 元素质量分数*w*/% | 重复性限（*r*）/% |
| 0.0002 | 0.0001 |
| 0.0010 | 0.0002 |
| 0.0040 | 0.0005 |
| 0.0080 | 0.0007 |

表11 再现性限

|  |  |
| --- | --- |
| 元素质量分数*w*/% | 再现性限（*R*）/% |
| 0.0002 | 0.0002 |
| 0.0010 | 0.0003 |
| 0.0040 | 0.0006 |
| 0.0080 | 0.0009 |

四、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。

五、预期达到的社会效益

（一）项目的必要性

氧化铪具有透射波段宽、折射率高和优异的化学稳定性，在光学薄膜制备中得到高度重视。特别是用二氧化铪作为高折射率材料制备的激光膜，抗激光损伤阈值很高，成为制备高功率激光膜的首选材料。氧化铪也是制备海绵铪、高纯铪等铪制品的原料，外观为白色或浅黄色粉末，其纯度和杂质含量要求较高，杂质的带入将会造成铪制品性能的改变，影响其产品质量，进而影响铪制品生产工艺和产品质量的稳定性。氧化铪已进入《战略性新兴产业分类（2018）》的分类表（代码3.2.9.1），建立材料的评价体系对于提升产品质量、指导产品应用具有重要的意义。

氧化铪相关产品标准主要有YS/T 1140-2016《二氧化铪》及行业标准YS/T XXXX《高纯氧化铪》（制定中，项目计划编号：2020-0049T-YS）。YS/T 1140-2016《二氧化铪》中涉及HfO2-01、HfO2-02和HfO2-03三个牌号，其化学成分除氧化铪、氧化锆外，还需要准确测定铝、硼、钴、铁、钠、磷、硅等杂质元素，详见表12。正在制定中的高纯氧化铪准要针对高纯度的氧化铪产品，划分了HfO2-1和HfO2-2两个牌号等级，铝、硼、铁、钴、钠、硅、钛、钒、铬、铜、锌、钼、铅、铋等元素含量均是划分产品等级的重要参数，需要准确测定，详见表13。

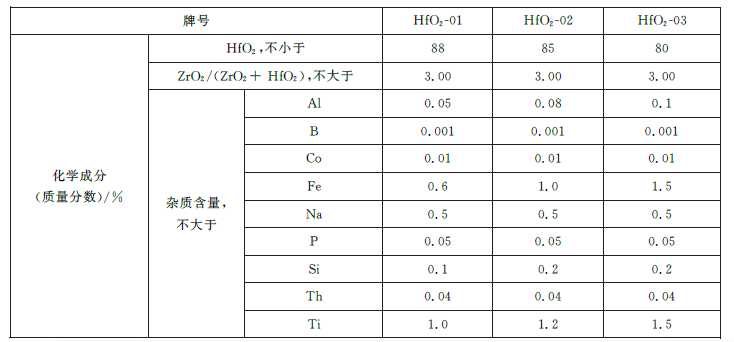
表12 二氧化铪化学成分（YS/T 1140-2016）

表13 高纯氧化铪产品的化学成分（2020-0049T-YS）

| 产品品级 | | | HfO2-1 | HfO2-2 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 化学成分，%（质量分数） | HfO2含量，不小于 | | 99.95 | 99.9 |
| ZrO2/（HfO2+ZrO2），不大于 | | 0.03 | 0.05 |
| 杂质含量，不大于 | Al | 0.001 | 0.002 |
| Ca | 0.002 | 0.003 |
| Cd | 0.0005 | 0.001 |
| Cl | 0.0005 | 0.001 |
| Co | 0.001 | 0.001 |
| Cu | 0.001 | 0.001 |
| Fe | 0.002 | 0.003 |
| Mg | 0.002 | 0.003 |
| Mn | 0.0005 | 0.001 |
| Mo | 0.001 | 0.002 |
| Na | 0.001 | 0.002 |
| Nb | 0.001 | 0.001 |
| Ni | 0.001 | 0.002 |
| P | 0.0005 | 0.001 |
| Pb | 0.0005 | 0.001 |
| S | 0.001 | 0.001 |
| Sb | 0.0005 | 0.001 |
| Si | 0.002 | 0.003 |
| Sn | 0.0005 | 0.001 |
| Ta | 0.001 | 0.001 |
| Th | 0.0005 | 0.0005 |
| V | 0.0005 | 0.001 |
| W | 0.001 | 0.001 |
| Zn | 0.0005 | 0.001 |
| 注：HfO2含量（质量分数）为100%减去表1中实测杂质含量（质量分数）。 | | | | |

由表13可知，高纯氧化铪产品中杂质元素均为微痕量，对检测方法的测定下限提出了更高的要求。目前，氧化铪产品的主要检测依据为YS/T 568《 氧化锆、氧化铪化学分析方法》，该方法系列共已经推出11部分，主要包括分光光度法以及ICP-AES方法，方法涉及元素及其测定下限见表14。由表可知，已发布的YS/T 568各部分方法的测定下限较高，不能满足高纯氧化铪产品的测定需求。另一方面，该系列标准涵盖的元素种类较少，修订后的二氧化铪产品标准YS/T 1140-2016中增加了对B、Co的规定，要求B˂0.001%；Co<0.010%；但YS/T 568-2008并无涉及B、Co的检测方法。

表14 YS/T 568《 氧化锆、氧化铪化学分析方法》测定元素及下限汇总表

| 标准号 | 方法名称 | 测定元素 | 测定下限/% |
| --- | --- | --- | --- |
| YS/T 568.2 | 磺基水杨酸分光光度法 | Fe | 0.03 |
| YS/T 568.3 | 硅钼蓝分光光度法 | Si | 0.005 |
| YS/T 568.4 | 铬天青S-氯化十四烷基吡啶分光光度法 | Al | 0.005 |
| YS/T 568.5 | 火焰原子吸收光谱法 | Na | 0.01 |
| YS/T 568.6 | 二安替比林甲烷分光光度法 | Ti | 0.005 |
| YS/T 568.7 | 锑盐-抗坏血酸-磷钼蓝分光光度法 | P | 0.005 |
| YS/T 568.8 | 电感耦合等离子体发射光谱法 | Al、Ca、Mg、Mn、Na、Ni、Fe、Ti、Zn、Mo、V、Hf | Hf 0.01； Na 0.1；  Mn 0.003；其余元素0.004 |
| YS/T 568.9 | 电感耦合等离子体发射光谱法 | Al、Ca、Mg、Mn、Na、Ni、Fe、Ti、Zn、Mo、V、Zr | Zr 0.1；Na 0.1；  其余元素0.004 |
| YS/T 568.10 | 高碘酸钾分光光度法 | Mn | 0.003 |
| YS/T 568.11 | α-联呋喃甲酰二肟分光光度法 | Ni | 0.0005 |

综上，建立YS/T 568.13《氧化锆、氧化铪化学分析方法 第13部分 电感耦合等离子体质谱法》具有重要意义，方法能够完成25中微痕量杂质元素的检测，通过提供更低的测定下限，拓宽YS/T 568标准系列的应用范围。项目的完成完善YS/T 568《氧化锆、氧化铪化学分析方法》标准体系的同时，有助于氧化铪产品质量的提升，对促进氧化铪产品的生产与贸易具有重要意义。

（二）项目的可行性

电感耦合等离子体质谱仪具有多元素同时测定、检出限低等优点，已广泛应用于有色金属及其化合物中痕量杂质元素的测定。随着科学技术的进步，电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）在分析检测行业占有举足轻重的地位。方法多元素同时检测，能够大大缩短检测时间，节省人力、物力；方法能够提供更低的检出限，适用于痕量杂质元素的定量分析其结果更加准确。

采用ICP-MS测定高纯金属或氧化物中痕量金属杂质在技术上是可行的，可检索到相关标准。例如， YS/T 902-2013《高纯铼及铼酸铵化学分析方法》、GB/T 32650-2016《电感耦合等离子质谱法检测石英砂中痕量元素》、GB/T 39145-2020《硅片表面金属元素含量的测定 电感耦合等离子体质谱法》等。

国标（北京）检验认证有限公司已将ICP-MS应用于氧化铪中痕量杂质元素的测定，由于没有相关的国家标准或行业标准而局限于企业内部使用。并曾发表题为《电感耦合等离子体-质谱法测定纯铪或氧化铪中的25种杂质元素》的论文，对采用ICP-MS测定氧化铪进行了详细的研究。同时，国核锆铪、西部新锆、有研资源环境院（北京）等生产单位也采用ICP-MS对氧化铪产品质量进行监测。

本项目将完成方法的标准化，通过实验研究、多次沟通协商及广泛征求意见确定科学的实验方法，同时通过多家验证单位进行验证试验等充分验证方法的可靠性，也为方法日后推广打下基础。

（三）标准预期的作用和效益

我国历来对发展新型陶瓷材料高度重视，并取得了许多重大成果。氧化铪是国家产业政策中鼓励重点发展的高性能材料之一。氧化铪具有宽带隙和高介电常数的陶瓷材料，近来在工业界特别是微电子领域被引起极度的关注。氧化铪熔点比较高，同时铪原子的吸收截面较大，捕获中子的能力强，化学性质特别稳定，因此在原子能工业中具有非常大应用的价值。氧化铪对光有比较宽的透明波段，在光透过氧化铪薄膜时，对光的吸收少，大部分通过折射透过薄膜，因此HfO2在光学镀膜领域的应用越来越被重视。

目前，国内氧化铪生产企业正不断改进生产工艺，提升产品质量，开拓国内外消费市场。氧化铪产品正朝着超细、高纯方面发展，《高纯氧化铪》产品标准已经立项并即将完成制定。产品制造方面将朝着新功能、新领域方向发展，不断扩大其应用领域。根据YS/T 1140-2016《二氧化铪》和正在制定中的《高纯氧化铪》等产品标准的要求，杂质元素含量是确定氧化铪产品牌号、等级的重要参数之一。本标准属于分析方法标准，服务于产品标准，能够满足氧化铪包括高纯氧化铪的检测需求。本部分是对YS/T 568《氧化锆、氧化铪化学分析方法》系列的补充完善，增加了元素种类，扩大了检测范围，提高了其适用性。

氧化铪产业的快速发展离不开分析技术的支持，本标准的制定将带动氧化铪产品质量提升，更好的推动产业发展，为生产企业带来可观的经济效益。同时，本标准的颁布实施有助于各检测机构实现标准化检测，提高数据的准确度。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

本文件为我国首次制定。经查，本文件与国内外现行标准及制定中的标准无重复交叉情况。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。

七、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准的关系

本标准属于氧化铪化学分析方法标准，领域内没有强制性国家标准。本标准属于YS/T 568《氧化锆、氧化铪化学分析方法》标准系列的第13部分，是标准系列的补充与完善。

本标准与现行法律、法规和相关标准相协调、无冲突。

八、重大分歧意见的处理和依据

无重大分歧。

九、标准作为强制性或推荐性国家（或行业）标准的建议

建议本标准为推荐性行业标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准涉及氧化铪中微痕量杂质元素的同时测定，采用的检测设备为电感耦合等离子体质谱仪。该设备目前在各高校院所、企事业单位均具有较高的市场占有率。建议氧化铪产品的生产单位及各检测机构积极组织本标准的学习与宣贯，并向企业、公司和科研院校（所）推荐本标准。标准使用过程中出现疑问，标准的起草单位有义务进行必要的解释，可通过网络会议、讲座等形式进行标准内容的讲解。建议标准发布6个月后实施。同时，标准要与时俱进，标准颁布实施后要定期进行复审，必要时启动修订程序。

十一、废止现行有关标准的建议

本标准为首次制定，不涉及相关标准的废止。

十二、其它应予说明的事项

本标准为分析方法标准，待测元素测定下限低，标准验证过程中发现部分厂家的酸试剂无法满足空白要求，因此实验前首先要对所用试剂进行验收，满足测试需求才能使用。

同时，氧化铪中由于各标准使用单位所用设备厂家、型号不一致，质谱干扰情况不尽相同，因此部分元素建议选择多个同位素同时测定，Ta通过监测高纯铪基体空白扣除可能产生的基体干扰，提高数据准确度。有研资源环境技术研究院（北京）有限公司生产的高纯铪产品Ta质量分数小于0.0001%，可根据需要采购使用。

**附件A：**各实验室原始数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | B 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00022 | 0.00020 | 0.00020 | 0.00021 | 0.00016 | 0.00029 | 0.00022 |
| 广东 | 0.00016 | 0.00026 | 0.00019 | 0.00024 | 0.00027 | 0.00015 | 0.00015 |
| 锆铪中心 | 0.00028 | 0.00025 | 0.00017 | 0.00016 | 0.00018 | 0.00021 | 0.00018 |
| 宝钛 | 0.00022 | 0.00021 | 0.00018 | 0.00021 | 0.00019 | 0.00027 | 0.00022 |
| 西部新锆 | 0.00023 | 0.00022 | 0.00018 | 0.00023 | 0.00021 | 0.00024 | 0.00019 |
| 资环院 | 0.00025 | 0.00029 | 0.00023 | 0.00022 | 0.00019 | 0.00020 | 0.00018 |
| 2 | 国合 | 0.00102 | 0.00113 | 0.00105 | 0.00106 | 0.00104 | 0.00114 | 0.00099 |
| 广东 | 0.00089 | 0.00118 | 0.00129 | 0.00108 | 0.00119 | 0.00098 | 0.00096 |
| 锆铪中心 | 0.00084 | 0.00103 | 0.00096 | 0.00098 | 0.00101 | 0.00104 | 0.00088 |
| 宝钛 | 0.00100 | 0.00103 | 0.00115 | 0.00106 | 0.00106 | 0.00112 | 0.00096 |
| 西部新锆 | 0.00121 | 0.00117 | 0.00109 | 0.00113 | 0.00120 | 0.00109 | 0.00102 |
| 资环院 | 0.00111 | 0.00102 | 0.00115 | 0.00117 | 0.00119 | 0.00115 | 0.00120 |
| 3 | 国合 | 0.00405 | 0.00412 | 0.00418 | 0.00423 | 0.00411 | 0.00409 | 0.00399 |
| 广东 | 0.00405 | 0.00468 | 0.00419 | 0.00369 | 0.00416 | 0.00427 | 0.00412 |
| 锆铪中心 | 0.00394 | 0.00390 | 0.00374 | 0.00385 | 0.00427 | 0.00389 | 0.00429 |
| 宝钛 | 0.00417 | 0.00441 | 0.00418 | 0.00391 | 0.00422 | 0.00429 | 0.00393 |
| 西部新锆 | 0.00423 | 0.00419 | 0.00415 | 0.00431 | 0.00428 | 0.00425 | 0.00433 |
| 资环院 | 0.00418 | 0.00423 | 0.00416 | 0.00409 | 0.00392 | 0.00425 | 0.00418 |
| 4 | 国合 | 0.00775 | 0.00794 | 0.00781 | 0.00779 | 0.00802 | 0.00809 | 0.00806 |
| 广东 | 0.00803 | 0.00827 | 0.00828 | 0.00835 | 0.00791 | 0.00789 | 0.00903 |
| 锆铪中心 | 0.00813 | 0.00858 | 0.00767 | 0.00792 | 0.00758 | 0.00807 | 0.00824 |
| 宝钛 | 0.00789 | 0.00808 | 0.00819 | 0.00805 | 0.00781 | 0.00779 | 0.00802 |
| 西部新锆 | 0.00782 | 0.00791 | 0.00775 | 0.00802 | 0.00787 | 0.00776 | 0.00768 |
| 资环院 | 0.00813 | 0.00822 | 0.00808 | 0.00819 | 0.00803 | 0.00821 | 0.00808 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Na 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00025 | 0.00033 | 0.00024 | 0.00023 | 0.00025 | 0.00021 | 0.00022 |
| 广东 | 0.00062 | 0.00047 | 0.00051 | 0.00073 | 0.00049 | 0.00083 | 0.00050 |
| 锆铪中心 | 0.00030 | 0.00023 | 0.00023 | 0.00023 | 0.00019 | 0.00022 | 0.00020 |
| 宝钛 | 0.00028 | 0.00025 | 0.00031 | 0.00028 | 0.00022 | 0.00024 | 0.00025 |
| 西部新锆 | 0.00023 | 0.00022 | 0.00027 | 0.00026 | 0.00025 | 0.00023 | 0.00026 |
| 资环院 | 0.00023 | 0.00026 | 0.00019 | 0.00020 | 0.00019 | 0.00025 | 0.00024 |
| 2 | 国合 | 0.00125 | 0.00132 | 0.00121 | 0.00133 | 0.00128 | 0.00119 | 0.00130 |
| 广东 | 0.00196 | 0.00207 | 0.00189 | 0.00198 | 0.00201 | 0.00206 | 0.00205 |
| 锆铪中心 | 0.00119 | 0.00118 | 0.00110 | 0.00100 | 0.00115 | 0.00109 | 0.00111 |
| 宝钛 | 0.00128 | 0.00134 | 0.00125 | 0.00123 | 0.00128 | 0.00129 | 0.00130 |
| 西部新锆 | 0.00131 | 0.00136 | 0.00124 | 0.00129 | 0.00130 | 0.00127 | 0.00126 |
| 资环院 | 0.00119 | 0.00128 | 0.00128 | 0.00126 | 0.00122 | 0.00118 | 0.00122 |
| 3 | 国合 | 0.00432 | 0.00425 | 0.00403 | 0.00417 | 0.00441 | 0.00426 | 0.00438 |
| 广东 | 0.00464 | 0.00493 | 0.00504 | 0.00475 | 0.00490 | 0.00492 | 0.00493 |
| 锆铪中心 | 0.00393 | 0.00422 | 0.00417 | 0.00421 | 0.00427 | 0.00397 | 0.00388 |
| 宝钛 | 0.00399 | 0.00391 | 0.00413 | 0.00425 | 0.00441 | 0.00422 | 0.00413 |
| 西部新锆 | 0.00421 | 0.00438 | 0.00439 | 0.00428 | 0.00430 | 0.00442 | 0.00424 |
| 资环院 | 0.00403 | 0.00409 | 0.00422 | 0.00416 | 0.00435 | 0.00418 | 0.00406 |
| 4 | 国合 | 0.00823 | 0.00814 | 0.00813 | 0.00806 | 0.00831 | 0.00812 | 0.00804 |
| 广东 | 0.00995 | 0.00907 | 0.00942 | 0.00948 | 0.00955 | 0.00993 | 0.00951 |
| 锆铪中心 | 0.00800 | 0.00798 | 0.00814 | 0.00813 | 0.00807 | 0.00838 | 0.00797 |
| 宝钛 | 0.00832 | 0.00817 | 0.00823 | 0.00810 | 0.00818 | 0.00822 | 0.00834 |
| 西部新锆 | 0.00839 | 0.00821 | 0.00840 | 0.00812 | 0.00814 | 0.00827 | 0.00823 |
| 资环院 | 0.00819 | 0.00800 | 0.00803 | 0.00807 | 0.00805 | 0.00818 | 0.00802 |
| 5 | 国合 | 0.00976 | 0.00968 | 0.00994 | 0.00972 | 0.01010 | 0.00967 | 0.00985 |
| 广东 | 0.01024 | 0.01056 | 0.01088 | 0.01099 | 0.01072 | 0.01079 | 0.01068 |
| 锆铪中心 | 0.01035 | 0.00968 | 0.00993 | 0.01031 | 0.01003 | 0.01034 | 0.01029 |
| 宝钛 | 0.01000 | 0.00978 | 0.00991 | 0.00978 | 0.00964 | 0.00958 | 0.00938 |
| 西部新锆 | 0.00968 | 0.00955 | 0.00973 | 0.00987 | 0.00963 | 0.00952 | 0.00946 |
| 资环院 | 0.00958 | 0.01180 | 0.01020 | 0.00895 | 0.00953 | 0.00997 | 0.01110 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Mg 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00016 | 0.00018 | 0.00015 | 0.00021 | 0.00014 | 0.00013 | 0.00016 |
| 广东 | 0.00021 | 0.00026 | 0.00021 | 0.00019 | 0.00020 | 0.00021 | 0.00021 |
| 锆铪中心 | 0.00018 | 0.00016 | 0.00019 | 0.00019 | 0.00018 | 0.00019 | 0.00020 |
| 宝钛 | 0.00013 | 0.00015 | 0.00019 | 0.00021 | 0.00017 | 0.00015 | 0.00016 |
| 西部新锆 | 0.00020 | 0.00018 | 0.00019 | 0.00021 | 0.00017 | 0.00020 | 0.00017 |
| 资环院 | 0.00018 | 0.00014 | 0.00020 | 0.00012 | 0.00027 | 0.00022 | 0.00016 |
| 2 | 国合 | 0.00108 | 0.00104 | 0.00098 | 0.00102 | 0.00111 | 0.00105 | 0.00103 |
| 广东 | 0.00099 | 0.00102 | 0.00103 | 0.00089 | 0.00108 | 0.00105 | 0.00093 |
| 锆铪中心 | 0.00097 | 0.00102 | 0.00097 | 0.00094 | 0.00093 | 0.00105 | 0.00092 |
| 宝钛 | 0.00103 | 0.00114 | 0.00096 | 0.00107 | 0.00112 | 0.00115 | 0.00107 |
| 西部新锆 | 0.00098 | 0.00112 | 0.00095 | 0.00101 | 0.00099 | 0.00096 | 0.00102 |
| 资环院 | 0.00100 | 0.00109 | 0.00110 | 0.00120 | 0.00102 | 0.00107 | 0.00102 |
| 3 | 国合 | 0.00418 | 0.00389 | 0.00395 | 0.00405 | 0.00407 | 0.00396 | 0.00411 |
| 广东 | 0.00418 | 0.00433 | 0.00414 | 0.00443 | 0.00446 | 0.00421 | 0.00420 |
| 锆铪中心 | 0.00408 | 0.00416 | 0.00392 | 0.00419 | 0.00417 | 0.00421 | 0.00388 |
| 宝钛 | 0.00392 | 0.00404 | 0.00408 | 0.00411 | 0.00427 | 0.00416 | 0.00419 |
| 西部新锆 | 0.00384 | 0.00392 | 0.00387 | 0.00408 | 0.00401 | 0.00398 | 0.00393 |
| 资环院 | 0.00417 | 0.00408 | 0.00408 | 0.00397 | 0.00415 | 0.00408 | 0.00408 |
| 4 | 国合 | 0.00819 | 0.00805 | 0.00789 | 0.00819 | 0.00825 | 0.00784 | 0.00826 |
| 广东 | 0.00858 | 0.00852 | 0.00874 | 0.00921 | 0.00881 | 0.00901 | 0.00849 |
| 锆铪中心 | 0.00777 | 0.00790 | 0.00797 | 0.00788 | 0.00813 | 0.00832 | 0.00794 |
| 宝钛 | 0.00829 | 0.00819 | 0.00786 | 0.00813 | 0.00821 | 0.00789 | 0.00820 |
| 西部新锆 | 0.00836 | 0.00839 | 0.00815 | 0.00822 | 0.00813 | 0.00828 | 0.00831 |
| 资环院 | 0.00805 | 0.00789 | 0.00796 | 0.00814 | 0.00809 | 0.00804 | 0.00794 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Al 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00029 | 0.00024 | 0.00024 | 0.00026 | 0.00024 | 0.00025 | 0.00022 |
| 广东 | 0.00029 | 0.00028 | 0.00019 | 0.00028 | 0.00023 | 0.00026 | 0.00022 |
| 锆铪中心 | 0.00039 | 0.00034 | 0.00036 | 0.00030 | 0.00034 | 0.00039 | 0.00034 |
| 宝钛 | 0.00027 | 0.00022 | 0.00024 | 0.00025 | 0.00028 | 0.00023 | 0.00022 |
| 西部新锆 | 0.00028 | 0.00025 | 0.00032 | 0.00030 | 0.00028 | 0.00027 | 0.00026 |
| 资环院 | 0.00025 | 0.00028 | 0.00025 | 0.00019 | 0.00022 | 0.00028 | 0.00026 |
| 2 | 国合 | 0.00238 | 0.00227 | 0.00231 | 0.00217 | 0.00242 | 0.00227 | 0.00245 |
| 广东 | 0.00274 | 0.00311 | 0.00284 | 0.00289 | 0.00310 | 0.00284 | 0.00283 |
| 锆铪中心 | 0.00246 | 0.00254 | 0.00256 | 0.00240 | 0.00258 | 0.00256 | 0.00254 |
| 宝钛 | 0.00228 | 0.00225 | 0.00229 | 0.00231 | 0.00239 | 0.00229 | 0.00244 |
| 西部新锆 | 0.00231 | 0.00245 | 0.00258 | 0.00262 | 0.00233 | 0.00241 | 0.00247 |
| 资环院 | 0.00255 | 0.00231 | 0.00262 | 0.00247 | 0.00236 | 0.00251 | 0.00249 |
| 3 | 国合 | 0.00785 | 0.00798 | 0.00780 | 0.00772 | 0.00771 | 0.00781 | 0.00770 |
| 广东 | 0.00710 | 0.00722 | 0.00750 | 0.00730 | 0.00713 | 0.00738 | 0.00704 |
| 锆铪中心 | 0.00786 | 0.00748 | 0.00799 | 0.00750 | 0.00772 | 0.00769 | 0.00800 |
| 宝钛 | 0.00775 | 0.00784 | 0.00789 | 0.00792 | 0.00782 | 0.00790 | 0.00777 |
| 西部新锆 | 0.00796 | 0.00827 | 0.00791 | 0.00818 | 0.00784 | 0.00815 | 0.00822 |
| 资环院 | 0.00812 | 0.00801 | 0.00798 | 0.00817 | 0.00802 | 0.00820 | 0.00789 |
| 4 | 国合 | 0.00878 | 0.00892 | 0.00864 | 0.00885 | 0.00873 | 0.00901 | 0.00897 |
| 广东 | 0.00939 | 0.00896 | 0.00858 | 0.00914 | 0.00901 | 0.00847 | 0.00879 |
| 锆铪中心 | 0.00832 | 0.00877 | 0.00891 | 0.00902 | 0.00887 | 0.00867 | 0.00881 |
| 宝钛 | 0.00888 | 0.00894 | 0.00874 | 0.00895 | 0.00874 | 0.00902 | 0.00887 |
| 西部新锆 | 0.00798 | 0.00826 | 0.00848 | 0.00910 | 0.00865 | 0.00872 | 0.00895 |
| 资环院 | 0.00859 | 0.00880 | 0.00883 | 0.00885 | 0.00890 | 0.00886 | 0.00892 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Si 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00112 | 0.00106 | 0.00123 | 0.00108 | 0.00114 | 0.00107 | 0.00124 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00138 | 0.00124 | 0.00115 | 0.00122 | 0.00116 | 0.00113 | 0.00119 |
| 宝钛 | — | — | — | — | — | — | — |
| 西部新锆 | 0.00108 | 0.00131 | 0.00127 | 0.00122 | 0.00124 | 0.00119 | 0.00125 |
| 资环院 | 0.00109 | 0.00116 | 0.00108 | 0.00111 | 0.00118 | 0.00119 | 0.00110 |
| 2 | 国合 | 0.00416 | 0.00402 | 0.00423 | 0.00418 | 0.00409 | 0.00412 | 0.00401 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00430 | 0.00430 | 0.00435 | 0.00420 | 0.00419 | 0.00450 | 0.00438 |
| 宝钛 | — | — | — | — | — | — | — |
| 西部新锆 | 0.00421 | 0.00415 | 0.00410 | 0.00423 | 0.00429 | 0.00418 | 0.00426 |
| 资环院 | 0.00405 | 0.00417 | 0.00423 | 0.00417 | 0.00419 | 0.00409 | 0.00411 |
| 3 | 国合 | 0.00805 | 0.00823 | 0.00816 | 0.00807 | 0.00814 | 0.00829 | 0.00846 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00794 | 0.00803 | 0.00785 | 0.00813 | 0.00771 | 0.00787 | 0.00786 |
| 宝钛 | — | — | — | — | — | — | — |
| 西部新锆 | 0.00831 | 0.00812 | 0.00824 | 0.00802 | 0.00805 | 0.00793 | 0.00807 |
| 资环院 | 0.00817 | 0.00816 | 0.00824 | 0.00816 | 0.00805 | 0.00808 | 0.00813 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Ca 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00026 | 0.00027 | 0.00031 | 0.00034 | 0.00026 | 0.00028 | 0.00033 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00026 | 0.00024 | 0.00023 | 0.00023 | 0.00021 | 0.00021 | 0.00022 |
| 宝钛 | 0.00029 | 0.00026 | 0.00030 | 0.00032 | 0.00028 | 0.00028 | 0.00030 |
| 西部新锆 | 0.00034 | 0.00027 | 0.00028 | 0.00033 | 0.00027 | 0.00029 | 0.00035 |
| 资环院 | 0.00036 | 0.00029 | 0.00031 | 0.00037 | 0.00030 | 0.00028 | 0.00031 |
| 2 | 国合 | 0.00112 | 0.00105 | 0.00121 | 0.00108 | 0.00113 | 0.00114 | 0.00107 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00096 | 0.00095 | 0.00105 | 0.00104 | 0.00107 | 0.00099 | 0.00107 |
| 宝钛 | 0.00122 | 0.00118 | 0.00102 | 0.00108 | 0.00115 | 0.00109 | 0.00104 |
| 西部新锆 | 0.00104 | 0.00122 | 0.00109 | 0.00117 | 0.00115 | 0.00106 | 0.00104 |
| 资环院 | 0.00115 | 0.00118 | 0.00106 | 0.00117 | 0.00120 | 0.00116 | 0.00112 |
| 3 | 国合 | 0.00412 | 0.00399 | 0.00391 | 0.00390 | 0.00393 | 0.00391 | 0.00422 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00387 | 0.00415 | 0.00423 | 0.00423 | 0.00424 | 0.00404 | 0.00390 |
| 宝钛 | 0.00422 | 0.00393 | 0.00388 | 0.00394 | 0.00397 | 0.00392 | 0.00414 |
| 西部新锆 | 0.00385 | 0.00398 | 0.00392 | 0.00379 | 0.00388 | 0.00382 | 0.00384 |
| 资环院 | 0.00392 | 0.00413 | 0.00400 | 0.00405 | 0.00401 | 0.00397 | 0.00410 |
| 4 | 国合 | 0.00814 | 0.00788 | 0.00805 | 0.00781 | 0.00803 | 0.00811 | 0.00819 |
| 广东 | — | — | — | — | — | — | — |
| 锆铪中心 | 0.00722 | 0.00776 | 0.00818 | 0.00705 | 0.00757 | 0.00721 | 0.00834 |
| 宝钛 | 0.00791 | 0.00815 | 0.00809 | 0.00805 | 0.00784 | 0.00796 | 0.00822 |
| 西部新锆 | 0.00772 | 0.00795 | 0.00769 | 0.00784 | 0.00776 | 0.00791 | 0.00779 |
| 资环院 | 0.00811 | 0.00804 | 0.00802 | 0.00819 | 0.00793 | 0.00814 | 0.00814 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Ti 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00017 | 0.00018 | 0.00017 | 0.00014 | 0.00017 | 0.00016 | 0.00015 |
| 广东 | 0.00013 | 0.00013 | 0.00014 | 0.00013 | 0.00013 | 0.00010 | 0.00011 |
| 锆铪中心 | 0.00020 | 0.00019 | 0.00018 | 0.00022 | 0.00021 | 0.00020 | 0.00019 |
| 宝钛 | 0.00015 | 0.00018 | 0.00019 | 0.00014 | 0.00019 | 0.00017 | 0.00015 |
| 西部新锆 | 0.00021 | 0.00019 | 0.00018 | 0.00017 | 0.00022 | 0.00019 | 0.00020 |
| 资环院 | 0.00018 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00018 | 0.00015 | 0.00019 |
| 2 | 国合 | 0.00205 | 0.00204 | 0.00211 | 0.00197 | 0.00213 | 0.00208 | 0.00195 |
| 广东 | 0.00197 | 0.00207 | 0.00205 | 0.00203 | 0.00205 | 0.00202 | 0.00209 |
| 锆铪中心 | 0.00209 | 0.00212 | 0.00227 | 0.00230 | 0.00204 | 0.00205 | 0.00224 |
| 宝钛 | 0.00195 | 0.00214 | 0.00201 | 0.00199 | 0.00211 | 0.00204 | 0.00194 |
| 西部新锆 | 0.00221 | 0.00209 | 0.00211 | 0.00227 | 0.00233 | 0.00206 | 0.00222 |
| 资环院 | 0.00210 | 0.00217 | 0.00196 | 0.00221 | 0.00228 | 0.00214 | 0.00218 |
| 3 | 国合 | 0.00442 | 0.00448 | 0.00446 | 0.00438 | 0.00435 | 0.00449 | 0.00442 |
| 广东 | 0.00458 | 0.00455 | 0.00456 | 0.00467 | 0.00446 | 0.00450 | 0.00449 |
| 锆铪中心 | 0.00462 | 0.00483 | 0.00507 | 0.00475 | 0.00480 | 0.00505 | 0.00486 |
| 宝钛 | 0.00436 | 0.00444 | 0.00448 | 0.00436 | 0.00445 | 0.00446 | 0.00442 |
| 西部新锆 | 0.00421 | 0.00419 | 0.00451 | 0.00416 | 0.00423 | 0.00430 | 0.00426 |
| 资环院 | 0.00422 | 0.00436 | 0.00433 | 0.00439 | 0.00432 | 0.00429 | 0.00426 |
| 4 | 国合 | 0.00841 | 0.00826 | 0.00834 | 0.00846 | 0.00857 | 0.00839 | 0.00866 |
| 广东 | 0.00799 | 0.00826 | 0.00832 | 0.00829 | 0.00824 | 0.00824 | 0.00814 |
| 锆铪中心 | 0.00856 | 0.00844 | 0.00854 | 0.00817 | 0.00799 | 0.00797 | 0.00820 |
| 宝钛 | 0.00846 | 0.00834 | 0.00845 | 0.00841 | 0.00837 | 0.00836 | 0.00844 |
| 西部新锆 | 0.00878 | 0.00864 | 0.00868 | 0.00875 | 0.00845 | 0.00851 | 0.00872 |
| 资环院 | 0.00855 | 0.00857 | 0.00851 | 0.00843 | 0.00850 | 0.00842 | 0.00833 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | V 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 广东 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 锆铪中心 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 宝钛 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 西部新锆 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 资环院 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 2 | 国合 | 0.00101 | 0.00105 | 0.00099 | 0.00097 | 0.00104 | 0.00108 | 0.00112 |
| 广东 | 0.00105 | 0.00108 | 0.00107 | 0.00109 | 0.00105 | 0.00105 | 0.00104 |
| 锆铪中心 | 0.00113 | 0.00125 | 0.00121 | 0.00123 | 0.00123 | 0.00123 | 0.00125 |
| 宝钛 | 0.00100 | 0.00107 | 0.00096 | 0.00107 | 0.00101 | 0.00114 | 0.00110 |
| 西部新锆 | 0.00109 | 0.00097 | 0.00095 | 0.00102 | 0.00095 | 0.00099 | 0.00093 |
| 资环院 | 0.00098 | 0.00099 | 0.00097 | 0.00110 | 0.00105 | 0.00100 | 0.00102 |
| 3 | 国合 | 0.00390 | 0.00395 | 0.00397 | 0.00371 | 0.00394 | 0.00398 | 0.00395 |
| 广东 | 0.00408 | 0.00417 | 0.00418 | 0.00423 | 0.00418 | 0.00410 | 0.00422 |
| 锆铪中心 | 0.00421 | 0.00406 | 0.00426 | 0.00441 | 0.00440 | 0.00434 | 0.00434 |
| 宝钛 | 0.00377 | 0.00394 | 0.00398 | 0.00377 | 0.00390 | 0.00378 | 0.00399 |
| 西部新锆 | 0.00383 | 0.00385 | 0.00378 | 0.00394 | 0.00392 | 0.00401 | 0.00377 |
| 资环院 | 0.00385 | 0.00399 | 0.00380 | 0.00371 | 0.00365 | 0.00387 | 0.00388 |
| 4 | 国合 | 0.00803 | 0.00816 | 0.00803 | 0.00811 | 0.00828 | 0.00814 | 0.00793 |
| 广东 | 0.00845 | 0.00815 | 0.00827 | 0.00825 | 0.00824 | 0.00832 | 0.00832 |
| 锆铪中心 | 0.00805 | 0.00779 | 0.00830 | 0.00831 | 0.00826 | 0.00847 | 0.00836 |
| 宝钛 | 0.00803 | 0.00792 | 0.00789 | 0.00808 | 0.00819 | 0.00814 | 0.00788 |
| 西部新锆 | 0.00785 | 0.00779 | 0.00796 | 0.00807 | 0.00812 | 0.00782 | 0.00791 |
| 资环院 | 0.00783 | 0.00802 | 0.00799 | 0.00813 | 0.00808 | 0.00793 | 0.00804 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Cr 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00040 | 0.00038 | 0.00038 | 0.00041 | 0.00038 | 0.00040 | 0.00043 |
| 广东 | 0.00043 | 0.00044 | 0.00043 | 0.00044 | 0.00039 | 0.00043 | 0.00042 |
| 锆铪中心 | 0.00038 | 0.00036 | 0.00038 | 0.00039 | 0.00040 | 0.00040 | 0.00041 |
| 宝钛 | 0.00041 | 0.00040 | 0.00039 | 0.00041 | 0.00037 | 0.00041 | 0.00040 |
| 西部新锆 | 0.00043 | 0.00046 | 0.00039 | 0.00041 | 0.00044 | 0.00045 | 0.00044 |
| 资环院 | 0.00034 | 0.00032 | 0.00038 | 0.00032 | 0.00037 | 0.00036 | 0.00041 |
| 2 | 国合 | 0.00134 | 0.00138 | 0.00142 | 0.00145 | 0.00144 | 0.00139 | 0.00148 |
| 广东 | 0.00163 | 0.00160 | 0.00161 | 0.00161 | 0.00156 | 0.00154 | 0.00158 |
| 锆铪中心 | 0.00147 | 0.00159 | 0.00157 | 0.00159 | 0.00160 | 0.00159 | 0.00161 |
| 宝钛 | 0.00138 | 0.00148 | 0.00135 | 0.00142 | 0.00139 | 0.00146 | 0.00138 |
| 西部新锆 | 0.00153 | 0.00145 | 0.00158 | 0.00149 | 0.00160 | 0.00142 | 0.00141 |
| 资环院 | 0.00138 | 0.00133 | 0.00141 | 0.00130 | 0.00142 | 0.00130 | 0.00148 |
| 3 | 国合 | 0.00448 | 0.00454 | 0.00434 | 0.00461 | 0.00458 | 0.00443 | 0.00456 |
| 广东 | 0.00450 | 0.00466 | 0.00468 | 0.00461 | 0.00462 | 0.00457 | 0.00463 |
| 锆铪中心 | 0.00393 | 0.00421 | 0.00426 | 0.00428 | 0.00431 | 0.00421 | 0.00404 |
| 宝钛 | 0.00458 | 0.00444 | 0.00437 | 0.00441 | 0.00438 | 0.00463 | 0.00453 |
| 西部新锆 | 0.00429 | 0.00433 | 0.00438 | 0.00454 | 0.00452 | 0.00443 | 0.00435 |
| 资环院 | 0.00456 | 0.00469 | 0.00461 | 0.00459 | 0.00463 | 0.00472 | 0.00477 |
| 4 | 国合 | 0.00853 | 0.00854 | 0.00833 | 0.00856 | 0.00861 | 0.00852 | 0.00846 |
| 广东 | 0.00887 | 0.00873 | 0.00876 | 0.00875 | 0.00874 | 0.00887 | 0.00874 |
| 锆铪中心 | 0.00804 | 0.00833 | 0.00829 | 0.00778 | 0.00833 | 0.00850 | 0.00838 |
| 宝钛 | 0.00851 | 0.00835 | 0.00841 | 0.00828 | 0.00857 | 0.00832 | 0.00828 |
| 西部新锆 | 0.00889 | 0.00893 | 0.00860 | 0.00874 | 0.00879 | 0.00851 | 0.00856 |
| 资环院 | 0.00866 | 0.00873 | 0.00852 | 0.00855 | 0.00852 | 0.00850 | 0.00875 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Mn 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00011 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00010 |
| 广东 | 0.00011 | 0.00011 | 0.00012 | 0.00011 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00010 |
| 锆铪中心 | 0.00013 | 0.00013 | 0.00014 | 0.00013 | 0.00013 | 0.00014 | 0.00014 |
| 宝钛 | 0.00010 | 0.00012 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00010 |
| 西部新锆 | 0.00010 | 0.00012 | 0.00009 | 0.00012 | 0.00009 | 0.00011 | 0.00010 |
| 资环院 | 0.00014 | 0.00012 | 0.00013 | 0.00012 | 0.00015 | 0.00010 | 0.00011 |
| 2 | 国合 | 0.00102 | 0.00108 | 0.00105 | 0.00111 | 0.00101 | 0.00105 | 0.00098 |
| 广东 | 0.00107 | 0.00107 | 0.00104 | 0.00106 | 0.00107 | 0.00107 | 0.00106 |
| 锆铪中心 | 0.00104 | 0.00117 | 0.00114 | 0.00115 | 0.00117 | 0.00115 | 0.00115 |
| 宝钛 | 0.00112 | 0.00106 | 0.00108 | 0.00114 | 0.00097 | 0.00107 | 0.00115 |
| 西部新锆 | 0.00107 | 0.00098 | 0.00103 | 0.00112 | 0.00101 | 0.00099 | 0.00094 |
| 资环院 | 0.00108 | 0.00103 | 0.00114 | 0.00100 | 0.00110 | 0.00107 | 0.00103 |
| 3 | 国合 | 0.00406 | 0.00396 | 0.00407 | 0.00406 | 0.00414 | 0.00394 | 0.00403 |
| 广东 | 0.00395 | 0.00405 | 0.00424 | 0.00414 | 0.00418 | 0.00407 | 0.00411 |
| 锆铪中心 | 0.00422 | 0.00385 | 0.00424 | 0.00429 | 0.00434 | 0.00424 | 0.00401 |
| 宝钛 | 0.00416 | 0.00393 | 0.00411 | 0.00405 | 0.00396 | 0.00395 | 0.00404 |
| 西部新锆 | 0.00431 | 0.00434 | 0.00418 | 0.00423 | 0.00417 | 0.00422 | 0.00419 |
| 资环院 | 0.00411 | 0.00404 | 0.00406 | 0.00415 | 0.00406 | 0.00418 | 0.00415 |
| 4 | 国合 | 0.00795 | 0.00814 | 0.00809 | 0.00826 | 0.00811 | 0.00793 | 0.00810 |
| 广东 | 0.00842 | 0.00815 | 0.00813 | 0.00816 | 0.00805 | 0.00826 | 0.00819 |
| 锆铪中心 | 0.00801 | 0.00823 | 0.00825 | 0.00836 | 0.00837 | 0.00828 | 0.00774 |
| 宝钛 | 0.00815 | 0.00805 | 0.00818 | 0.00796 | 0.00807 | 0.00813 | 0.00819 |
| 西部新锆 | 0.00809 | 0.00812 | 0.00825 | 0.00797 | 0.00785 | 0.00810 | 0.00816 |
| 资环院 | 0.00802 | 0.00794 | 0.00805 | 0.00802 | 0.00793 | 0.00804 | 0.00811 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Fe 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00043 | 0.00056 | 0.00060 | 0.00049 | 0.00061 | 0.00046 | 0.00055 |
| 广东 | 0.00019 | 0.00027 | 0.00023 | 0.00023 | 0.00027 | 0.00025 | 0.00025 |
| 锆铪中心 | 0.00055 | 0.00054 | 0.00058 | 0.00056 | 0.00057 | 0.00053 | 0.00059 |
| 宝钛 | 0.00040 | 0.00054 | 0.00055 | 0.00045 | 0.00059 | 0.00061 | 0.00056 |
| 西部新锆 | 0.00052 | 0.00046 | 0.00052 | 0.00045 | 0.00053 | 0.00042 | 0.00055 |
| 资环院 | 0.00057 | 0.00040 | 0.00049 | 0.00052 | 0.00055 | 0.00058 | 0.00055 |
| 2 | 国合 | 0.00123 | 0.00112 | 0.00112 | 0.00118 | 0.00114 | 0.00115 | 0.00126 |
| 广东 | 0.00101 | 0.00099 | 0.00097 | 0.00100 | 0.00094 | 0.00094 | 0.00095 |
| 锆铪中心 | 0.00118 | 0.00120 | 0.00117 | 0.00118 | 0.00121 | 0.00118 | 0.00121 |
| 宝钛 | 0.00122 | 0.00119 | 0.00116 | 0.00118 | 0.00115 | 0.00125 | 0.00116 |
| 西部新锆 | 0.00109 | 0.00122 | 0.00124 | 0.00121 | 0.00114 | 0.00125 | 0.00124 |
| 资环院 | 0.00121 | 0.00100 | 0.00107 | 0.00116 | 0.00125 | 0.00113 | 0.00117 |
| 3 | 国合 | 0.00199 | 0.00217 | 0.00225 | 0.00200 | 0.00216 | 0.00214 | 0.00205 |
| 广东 | 0.00183 | 0.00187 | 0.00174 | 0.00183 | 0.00182 | 0.00182 | 0.00186 |
| 锆铪中心 | 0.00207 | 0.00211 | 0.00209 | 0.00203 | 0.00212 | 0.00218 | 0.00209 |
| 宝钛 | 0.00197 | 0.00209 | 0.00222 | 0.00210 | 0.00208 | 0.00204 | 0.00215 |
| 西部新锆 | 0.00197 | 0.00201 | 0.00193 | 0.00218 | 0.00214 | 0.00204 | 0.00196 |
| 资环院 | 0.00166 | 0.00178 | 0.00169 | 0.00185 | 0.00173 | 0.00179 | 0.00182 |
| 4 | 国合 | 0.00231 | 0.00218 | 0.00222 | 0.00215 | 0.00234 | 0.00226 | 0.00218 |
| 广东 | 0.00231 | 0.00220 | 0.00226 | 0.00227 | 0.00230 | 0.00223 | 0.00222 |
| 锆铪中心 | 0.00209 | 0.00213 | 0.00228 | 0.00218 | 0.00233 | 0.00230 | 0.00221 |
| 宝钛 | 0.00228 | 0.00231 | 0.00227 | 0.00213 | 0.00233 | 0.00216 | 0.00228 |
| 西部新锆 | 0.00215 | 0.00239 | 0.00218 | 0.00212 | 0.00226 | 0.00231 | 0.00234 |
| 资环院 | 0.00228 | 0.00222 | 0.00239 | 0.00221 | 0.00233 | 0.00226 | 0.00220 |
| 5 | 国合 | 0.00523 | 0.00512 | 0.00516 | 0.00524 | 0.00531 | 0.00518 | 0.00525 |
| 广东 | 0.00524 | 0.00535 | 0.00540 | 0.00535 | 0.00533 | 0.00527 | 0.00540 |
| 锆铪中心 | 0.00575 | 0.00610 | 0.00601 | 0.00633 | 0.00624 | 0.00634 | 0.00619 |
| 宝钛 | 0.00532 | 0.00528 | 0.00515 | 0.00527 | 0.00533 | 0.00525 | 0.00519 |
| 西部新锆 | 0.00522 | 0.00508 | 0.00504 | 0.00497 | 0.00512 | 0.00495 | 0.00510 |
| 资环院 | 0.00515 | 0.00529 | 0.00523 | 0.00517 | 0.00519 | 0.00528 | 0.00524 |
| 6 | 国合 | 0.00901 | 0.00927 | 0.00914 | 0.00925 | 0.00944 | 0.00899 | 0.00932 |
| 广东 | 0.00977 | 0.00959 | 0.00957 | 0.00962 | 0.00950 | 0.00965 | 0.00958 |
| 锆铪中心 | 0.01050 | 0.01023 | 0.01020 | 0.01009 | 0.01000 | 0.00946 | 0.01019 |
| 宝钛 | 0.00908 | 0.00943 | 0.00927 | 0.00949 | 0.00885 | 0.00898 | 0.00936 |
| 西部新锆 | 0.00953 | 0.00924 | 0.00959 | 0.00931 | 0.00947 | 0.00917 | 0.00933 |
| 资环院 | 0.00933 | 0.00928 | 0.00951 | 0.00937 | 0.00932 | 0.00944 | 0.00947 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Co 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 广东 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 锆铪中心 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 宝钛 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 西部新锆 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 资环院 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 2 | 国合 | 0.00095 | 0.00102 | 0.00098 | 0.00105 | 0.00108 | 0.00097 | 0.00104 |
| 广东 | 0.00105 | 0.00107 | 0.00103 | 0.00108 | 0.00104 | 0.00106 | 0.00106 |
| 锆铪中心 | 0.00105 | 0.00108 | 0.00111 | 0.00111 | 0.00110 | 0.00113 | 0.00112 |
| 宝钛 | 0.00097 | 0.00112 | 0.00095 | 0.00095 | 0.00103 | 0.00104 | 0.00103 |
| 西部新锆 | 0.00097 | 0.00108 | 0.00112 | 0.00104 | 0.00096 | 0.00101 | 0.00103 |
| 资环院 | 0.00097 | 0.00101 | 0.00105 | 0.00102 | 0.00091 | 0.00097 | 0.00011 |
| 3 | 国合 | 0.00395 | 0.00387 | 0.00381 | 0.00384 | 0.00389 | 0.00386 | 0.00399 |
| 广东 | 0.00413 | 0.00417 | 0.00424 | 0.00419 | 0.00418 | 0.00416 | 0.00419 |
| 锆铪中心 | 0.00407 | 0.00436 | 0.00439 | 0.00442 | 0.00442 | 0.00439 | 0.00425 |
| 宝钛 | 0.00389 | 0.00387 | 0.00392 | 0.00404 | 0.00409 | 0.00416 | 0.00393 |
| 西部新锆 | 0.00362 | 0.00375 | 0.00368 | 0.00394 | 0.00383 | 0.00377 | 0.00371 |
| 资环院 | 0.00411 | 0.00403 | 0.00405 | 0.00396 | 0.00402 | 0.00398 | 0.00403 |
| 4 | 国合 | 0.00805 | 0.00789 | 0.00784 | 0.00800 | 0.00809 | 0.00814 | 0.00784 |
| 广东 | 0.00845 | 0.00829 | 0.00825 | 0.00836 | 0.00831 | 0.00836 | 0.00826 |
| 锆铪中心 | 0.00864 | 0.00823 | 0.00794 | 0.00844 | 0.00858 | 0.00851 | 0.00852 |
| 宝钛 | 0.00801 | 0.00827 | 0.00814 | 0.00815 | 0.00809 | 0.00806 | 0.00788 |
| 西部新锆 | 0.00761 | 0.00758 | 0.00784 | 0.00791 | 0.00773 | 0.00796 | 0.00803 |
| 资环院 | 0.00792 | 0.00788 | 0.00811 | 0.00803 | 0.00796 | 0.00799 | 0.00802 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Ni 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00014 | 0.00013 | 0.00015 | 0.00012 | 0.00014 | 0.00014 | 0.00013 |
| 广东 | 0.00019 | 0.00017 | 0.00020 | 0.00015 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 |
| 锆铪中心 | 0.00009 | 0.00010 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00011 | 0.00011 | 0.00011 |
| 宝钛 | 0.00015 | 0.00013 | 0.00012 | 0.00014 | 0.00014 | 0.00015 | 0.00013 |
| 西部新锆 | 0.00012 | 0.00016 | 0.00012 | 0.00013 | 0.00015 | 0.00014 | 0.00014 |
| 资环院 | 0.00010 | 0.00017 | 0.00021 | 0.00015 | 0.00020 | 0.00018 | 0.00011 |
| 2 | 国合 | 0.00123 | 0.00121 | 0.00123 | 0.00119 | 0.00119 | 0.00121 | 0.00135 |
| 广东 | 0.00122 | 0.00124 | 0.00129 | 0.00127 | 0.00122 | 0.00126 | 0.00120 |
| 锆铪中心 | 0.00122 | 0.00120 | 0.00131 | 0.00125 | 0.00124 | 0.00127 | 0.00126 |
| 宝钛 | 0.00120 | 0.00121 | 0.00118 | 0.00119 | 0.00122 | 0.00121 | 0.00115 |
| 西部新锆 | 0.00118 | 0.00121 | 0.00114 | 0.00109 | 0.00111 | 0.00126 | 0.00123 |
| 资环院 | 0.00119 | 0.00122 | 0.00128 | 0.00127 | 0.00120 | 0.00125 | 0.00122 |
| 3 | 国合 | 0.00213 | 0.00221 | 0.00218 | 0.00216 | 0.00234 | 0.00228 | 0.00231 |
| 广东 | 0.00228 | 0.00223 | 0.00207 | 0.00214 | 0.00214 | 0.00219 | 0.00209 |
| 锆铪中心 | 0.00223 | 0.00230 | 0.00242 | 0.00238 | 0.00240 | 0.00238 | 0.00242 |
| 宝钛 | 0.00225 | 0.00213 | 0.00228 | 0.00213 | 0.00214 | 0.00220 | 0.00219 |
| 西部新锆 | 0.00238 | 0.00223 | 0.00234 | 0.00227 | 0.00235 | 0.00228 | 0.00242 |
| 资环院 | 0.00236 | 0.00241 | 0.00227 | 0.00236 | 0.00230 | 0.00224 | 0.00230 |
| 4 | 国合 | 0.00512 | 0.00507 | 0.00524 | 0.00515 | 0.00534 | 0.00528 | 0.00543 |
| 广东 | 0.00522 | 0.00544 | 0.00543 | 0.00538 | 0.00534 | 0.00526 | 0.00531 |
| 锆铪中心 | 0.00549 | 0.00526 | 0.00564 | 0.00564 | 0.00576 | 0.00580 | 0.00569 |
| 宝钛 | 0.00512 | 0.00499 | 0.00491 | 0.00490 | 0.00493 | 0.00491 | 0.00522 |
| 西部新锆 | 0.00551 | 0.00518 | 0.00527 | 0.00557 | 0.00549 | 0.00543 | 0.00550 |
| 资环院 | 0.00537 | 0.00525 | 0.00538 | 0.00533 | 0.00528 | 0.00536 | 0.00533 |
| 5 | 国合 | 0.00911 | 0.00904 | 0.00923 | 0.00928 | 0.00931 | 0.00916 | 0.00942 |
| 广东 | 0.00950 | 0.00937 | 0.00931 | 0.00943 | 0.00937 | 0.00955 | 0.00934 |
| 锆铪中心 | 0.01027 | 0.01000 | 0.01001 | 0.00985 | 0.00984 | 0.00928 | 0.00961 |
| 宝钛 | 0.00928 | 0.00931 | 0.00916 | 0.00916 | 0.00936 | 0.00923 | 0.00929 |
| 西部新锆 | 0.00962 | 0.00945 | 0.00951 | 0.00927 | 0.00919 | 0.00930 | 0.00924 |
| 资环院 | 0.00936 | 0.00928 | 0.00931 | 0.00926 | 0.00935 | 0.00947 | 0.00930 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Cu 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.000031 | 0.00003 | 0.000031 | 0.000029 | 0.000028 | 0.000029 | 0.00003 |
| 广东 | 0.00004 | 0.00003 | 0.00004 | 0.00002 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00002 |
| 锆铪中心 | 0.000036 | 0.000046 | 0.000059 | 0.000036 | 0.000053 | 0.000052 | 0.00005 |
| 宝钛 | 0.00003 | 0.00003 | 0.00003 | 0.00003 | 0.00003 | 0.00002 | 0.00003 |
| 西部新锆 | 0.000032 | 0.000031 | 0.000029 | 0.00003 | 0.000031 | 0.000031 | 0.000032 |
| 资环院 | 0.000051 | 0.00005 | 0.000031 | 0.000048 | 0.000039 | 0.000047 | 0.000044 |
| 2 | 国合 | 0.00105 | 0.00102 | 0.00108 | 0.00116 | 0.00114 | 0.00107 | 0.00111 |
| 广东 | 0.00108 | 0.00109 | 0.00105 | 0.00106 | 0.00108 | 0.00106 | 0.00105 |
| 锆铪中心 | 0.00103 | 0.00109 | 0.0011 | 0.0011 | 0.00114 | 0.00114 | 0.0011 |
| 宝钛 | 0.00112 | 0.00105 | 0.00114 | 0.00109 | 0.00104 | 0.00106 | 0.00117 |
| 西部新锆 | 0.00123 | 0.00125 | 0.00107 | 0.00115 | 0.00102 | 0.00109 | 0.00111 |
| 资环院 | 0.00113 | 0.00108 | 0.00104 | 0.00105 | 0.0011 | 0.00109 | 0.00102 |
| 3 | 国合 | 0.00405 | 0.00422 | 0.00413 | 0.00406 | 0.00413 | 0.00425 | 0.00419 |
| 广东 | 0.00405 | 0.00422 | 0.00422 | 0.00418 | 0.00423 | 0.00415 | 0.00423 |
| 锆铪中心 | 0.00424 | 0.0043 | 0.00438 | 0.00443 | 0.00439 | 0.00434 | 0.00403 |
| 宝钛 | 0.00427 | 0.00412 | 0.00418 | 0.004 | 0.00428 | 0.00418 | 0.00409 |
| 西部新锆 | 0.00392 | 0.00385 | 0.00384 | 0.00408 | 0.00396 | 0.00401 | 0.00406 |
| 资环院 | 0.00395 | 0.00402 | 0.0041 | 0.00408 | 0.00406 | 0.00402 | 0.00402 |
| 4 | 国合 | 0.00789 | 0.00805 | 0.00839 | 0.00819 | 0.00815 | 0.00794 | 0.00826 |
| 广东 | 0.00844 | 0.0082 | 0.00821 | 0.0083 | 0.00827 | 0.00836 | 0.00822 |
| 锆铪中心 | 0.00843 | 0.00856 | 0.00845 | 0.00847 | 0.00799 | 0.00821 | 0.00836 |
| 宝钛 | 0.00794 | 0.00832 | 0.00816 | 0.00822 | 0.00794 | 0.0084 | 0.00816 |
| 西部新锆 | 0.00833 | 0.00804 | 0.00825 | 0.00807 | 0.00821 | 0.00836 | 0.00839 |
| 资环院 | 0.00802 | 0.00788 | 0.00793 | 0.00802 | 0.008 | 0.00789 | 0.0081 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Zn 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00064 | 0.00056 | 0.00064 | 0.00058 | 0.00070 | 0.00074 | 0.00066 |
| 广东 | 0.00052 | 0.00057 | 0.00053 | 0.00052 | 0.00052 | 0.00057 | 0.00050 |
| 锆铪中心 | 0.00064 | 0.00066 | 0.00067 | 0.00066 | 0.00066 | 0.00067 | 0.00066 |
| 宝钛 | 0.00064 | 0.00056 | 0.00064 | 0.00058 | 0.00070 | 0.00064 | 0.00066 |
| 西部新锆 | 0.00062 | 0.00072 | 0.00074 | 0.00065 | 0.00069 | 0.00068 | 0.00064 |
| 资环院 | 0.00058 | 0.00060 | 0.00048 | 0.00052 | 0.00056 | 0.00058 | 0.00061 |
| 2 | 国合 | 0.00103 | 0.00105 | 0.00111 | 0.00104 | 0.00099 | 0.00114 | 0.00107 |
| 广东 | 0.00105 | 0.00106 | 0.00105 | 0.00107 | 0.00108 | 0.00111 | 0.00104 |
| 锆铪中心 | 0.00091 | 0.00095 | 0.00100 | 0.00101 | 0.00103 | 0.00102 | 0.00105 |
| 宝钛 | 0.00116 | 0.00104 | 0.00114 | 0.00111 | 0.00106 | 0.00104 | 0.00121 |
| 西部新锆 | 0.00108 | 0.00099 | 0.00106 | 0.00111 | 0.00106 | 0.00103 | 0.00107 |
| 资环院 | 0.00110 | 0.00109 | 0.00112 | 0.00116 | 0.00103 | 0.00108 | 0.00119 |
| 3 | 国合 | 0.00408 | 0.00432 | 0.00427 | 0.00431 | 0.00433 | 0.00428 | 0.00415 |
| 广东 | 0.00420 | 0.00431 | 0.00423 | 0.00420 | 0.00427 | 0.00432 | 0.00430 |
| 锆铪中心 | 0.00407 | 0.00430 | 0.00420 | 0.00429 | 0.00439 | 0.00419 | 0.00392 |
| 宝钛 | 0.00438 | 0.00431 | 0.00407 | 0.00421 | 0.00430 | 0.00424 | 0.00405 |
| 西部新锆 | 0.00416 | 0.00453 | 0.00448 | 0.00459 | 0.00421 | 0.00424 | 0.00438 |
| 资环院 | 0.00437 | 0.00429 | 0.00433 | 0.00431 | 0.00426 | 0.00430 | 0.00437 |
| 4 | 国合 | 0.00792 | 0.00789 | 0.00808 | 0.00819 | 0.00805 | 0.00821 | 0.00819 |
| 广东 | 0.00873 | 0.00849 | 0.00837 | 0.00860 | 0.00841 | 0.00866 | 0.00858 |
| 锆铪中心 | 0.00825 | 0.00765 | 0.00823 | 0.00816 | 0.00826 | 0.00823 | 0.00876 |
| 宝钛 | 0.00788 | 0.00790 | 0.00815 | 0.00812 | 0.00808 | 0.00814 | 0.00805 |
| 西部新锆 | 0.00832 | 0.00806 | 0.00837 | 0.00819 | 0.00823 | 0.00801 | 0.00814 |
| 资环院 | 0.00811 | 0.00792 | 0.00806 | 0.00811 | 0.00804 | 0.00802 | 0.00809 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Zr 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00696 | 0.00712 | 0.00699 | 0.00690 | 0.00701 | 0.00708 | 0.00715 |
| 广东 | 0.00664 | 0.00619 | 0.00634 | 0.00604 | 0.00675 | 0.00602 | 0.00664 |
| 锆铪中心 | 0.00694 | 0.00682 | 0.00724 | 0.00688 | 0.00745 | 0.00710 | 0.00733 |
| 宝钛 | 0.00690 | 0.00705 | 0.00696 | 0.00691 | 0.00704 | 0.00705 | 0.00715 |
| 西部新锆 | 0.00698 | 0.00725 | 0.00721 | 0.00699 | 0.00716 | 0.00732 | 0.00738 |
| 资环院 | 0.00710 | 0.00652 | 0.00663 | 0.00702 | 0.00669 | 0.00726 | 0.00714 |
| 2 | 国合 | 0.00912 | 0.00905 | 0.00923 | 0.00914 | 0.00907 | 0.00896 | 0.00918 |
| 广东 | 0.00851 | 0.00841 | 0.00871 | 0.00866 | 0.00853 | 0.00871 | 0.00864 |
| 锆铪中心 | 0.00942 | 0.00927 | 0.00937 | 0.00951 | 0.00875 | 0.00916 | 0.00938 |
| 宝钛 | 0.00905 | 0.00915 | 0.00892 | 0.00924 | 0.00900 | 0.00992 | 0.00957 |
| 西部新锆 | 0.00923 | 0.00918 | 0.00926 | 0.00915 | 0.00937 | 0.00906 | 0.00933 |
| 资环院 | 0.00909 | 0.00916 | 0.00911 | 0.00927 | 0.00902 | 0.00900 | 0.00917 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Nb 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00035 | 0.00033 | 0.00041 | 0.00047 | 0.00037 | 0.00052 | 0.00035 |
| 广东 | 0.00074 | 0.00075 | 0.00075 | 0.00075 | 0.00076 | 0.00076 | 0.00075 |
| 锆铪中心 | 0.00060 | 0.00058 | 0.00056 | 0.00057 | 0.00055 | 0.00055 | 0.00054 |
| 宝钛 | 0.00035 | 0.00031 | 0.00042 | 0.00037 | 0.00051 | 0.00042 | 0.00035 |
| 西部新锆 | 0.00037 | 0.00031 | 0.00043 | 0.00033 | 0.00038 | 0.00039 | 0.00040 |
| 资环院 | 0.00044 | 0.00040 | 0.00039 | 0.00042 | 0.00048 | 0.00045 | 0.00038 |
| 2 | 国合 | 0.00098 | 0.00102 | 0.00105 | 0.00110 | 0.00104 | 0.00097 | 0.00106 |
| 广东 | 0.00107 | 0.00108 | 0.00104 | 0.00106 | 0.00104 | 0.00107 | 0.00105 |
| 锆铪中心 | 0.00091 | 0.00092 | 0.00096 | 0.00095 | 0.00096 | 0.00097 | 0.00097 |
| 宝钛 | 0.00095 | 0.00107 | 0.00104 | 0.00101 | 0.00112 | 0.00096 | 0.00113 |
| 西部新锆 | 0.00113 | 0.00105 | 0.00097 | 0.00101 | 0.00099 | 0.00107 | 0.00108 |
| 资环院 | 0.00106 | 0.00100 | 0.00092 | 0.00105 | 0.00096 | 0.00108 | 0.00103 |
| 3 | 国合 | 0.00399 | 0.00385 | 0.00397 | 0.00411 | 0.00394 | 0.00408 | 0.00415 |
| 广东 | 0.00396 | 0.00412 | 0.00415 | 0.00413 | 0.00412 | 0.00407 | 0.00409 |
| 锆铪中心 | 0.00399 | 0.00388 | 0.00406 | 0.00414 | 0.00414 | 0.00410 | 0.00406 |
| 宝钛 | 0.00398 | 0.00410 | 0.00398 | 0.00400 | 0.00396 | 0.00386 | 0.00405 |
| 西部新锆 | 0.00422 | 0.00428 | 0.00427 | 0.00414 | 0.00408 | 0.00419 | 0.00416 |
| 资环院 | 0.00408 | 0.00412 | 0.00393 | 0.00397 | 0.00406 | 0.00407 | 0.00402 |
| 4 | 国合 | 0.00818 | 0.00795 | 0.00787 | 0.00785 | 0.00791 | 0.00816 | 0.00814 |
| 广东 | 0.00826 | 0.00805 | 0.00807 | 0.00815 | 0.00807 | 0.00821 | 0.00809 |
| 锆铪中心 | 0.00838 | 0.00769 | 0.00786 | 0.00805 | 0.00812 | 0.00810 | 0.00811 |
| 宝钛 | 0.00785 | 0.00791 | 0.00816 | 0.00789 | 0.00820 | 0.00804 | 0.00821 |
| 西部新锆 | 0.00803 | 0.00785 | 0.00816 | 0.00794 | 0.00780 | 0.00776 | 0.00788 |
| 资环院 | 0.00802 | 0.00790 | 0.00793 | 0.00807 | 0.00813 | 0.00805 | 0.00808 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Mo 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00038 | 0.00040 | 0.00039 | 0.00038 | 0.00039 | 0.00038 | 0.00038 |
| 广东 | 0.00037 | 0.00031 | 0.00034 | 0.00034 | 0.00036 | 0.00035 | 0.00033 |
| 锆铪中心 | 0.00045 | 0.00040 | 0.00041 | 0.00041 | 0.00039 | 0.00035 | 0.00035 |
| 宝钛 | 0.00037 | 0.00040 | 0.00038 | 0.00039 | 0.00042 | 0.00041 | 0.00037 |
| 西部新锆 | 0.00034 | 0.00035 | 0.00038 | 0.00039 | 0.00037 | 0.00037 | 0.00039 |
| 资环院 | 0.00028 | 0.00033 | 0.00027 | 0.00029 | 0.00031 | 0.00028 | 0.00028 |
| 2 | 国合 | 0.00105 | 0.00111 | 0.00112 | 0.00121 | 0.00108 | 0.00114 | 0.00100 |
| 广东 | 0.00105 | 0.00105 | 0.00104 | 0.00107 | 0.00104 | 0.00104 | 0.00107 |
| 锆铪中心 | 0.00084 | 0.00099 | 0.00091 | 0.00100 | 0.00094 | 0.00101 | 0.00096 |
| 宝钛 | 0.00103 | 0.00101 | 0.00102 | 0.00123 | 0.00118 | 0.00115 | 0.00116 |
| 西部新锆 | 0.00124 | 0.00111 | 0.00109 | 0.00122 | 0.00113 | 0.00127 | 0.00123 |
| 资环院 | 0.00102 | 0.00108 | 0.00097 | 0.00107 | 0.00112 | 0.00104 | 0.00109 |
| 3 | 国合 | 0.00416 | 0.00382 | 0.00389 | 0.00377 | 0.00399 | 0.00402 | 0.00407 |
| 广东 | 0.00406 | 0.00415 | 0.00423 | 0.00412 | 0.00413 | 0.00408 | 0.00409 |
| 锆铪中心 | 0.00369 | 0.00389 | 0.00390 | 0.00402 | 0.00407 | 0.00402 | 0.00395 |
| 宝钛 | 0.00405 | 0.00399 | 0.00383 | 0.00387 | 0.00408 | 0.00401 | 0.00404 |
| 西部新锆 | 0.00415 | 0.00408 | 0.00417 | 0.00406 | 0.00394 | 0.00403 | 0.00397 |
| 资环院 | 0.00417 | 0.00409 | 0.00391 | 0.00402 | 0.00414 | 0.00408 | 0.00398 |
| 4 | 国合 | 0.00801 | 0.00795 | 0.00801 | 0.00815 | 0.00819 | 0.00816 | 0.00824 |
| 广东 | 0.00833 | 0.00817 | 0.00815 | 0.00815 | 0.00821 | 0.00824 | 0.00818 |
| 锆铪中心 | 0.00834 | 0.00759 | 0.00780 | 0.00803 | 0.00803 | 0.00811 | 0.00813 |
| 宝钛 | 0.00794 | 0.00799 | 0.00826 | 0.00811 | 0.00814 | 0.00819 | 0.00803 |
| 西部新锆 | 0.00833 | 0.00802 | 0.00798 | 0.00810 | 0.00829 | 0.00813 | 0.00806 |
| 资环院 | 0.00783 | 0.00804 | 0.00799 | 0.00790 | 0.00803 | 0.00805 | 0.00803 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Cd 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 广东 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 锆铪中心 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 宝钛 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 西部新锆 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 资环院 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 2 | 国合 | 0.00102 | 0.00103 | 0.00107 | 0.00099 | 0.00098 | 0.00102 | 0.00108 |
| 广东 | 0.00106 | 0.00105 | 0.00102 | 0.00106 | 0.00104 | 0.00108 | 0.00105 |
| 锆铪中心 | 0.00104 | 0.00110 | 0.00109 | 0.00109 | 0.00111 | 0.00111 | 0.00111 |
| 宝钛 | 0.00097 | 0.00105 | 0.00101 | 0.00094 | 0.00099 | 0.00107 | 0.00104 |
| 西部新锆 | 0.00095 | 0.00088 | 0.00101 | 0.00098 | 0.00092 | 0.00106 | 0.00092 |
| 资环院 | 0.00119 | 0.00114 | 0.00103 | 0.00110 | 0.00103 | 0.00100 | 0.00102 |
| 3 | 国合 | 0.00412 | 0.00399 | 0.00391 | 0.00390 | 0.00393 | 0.00391 | 0.00422 |
| 广东 | 0.00406 | 0.00414 | 0.00418 | 0.00412 | 0.00420 | 0.00410 | 0.00418 |
| 锆铪中心 | 0.00400 | 0.00393 | 0.00383 | 0.00409 | 0.00405 | 0.00404 | 0.00408 |
| 宝钛 | 0.00402 | 0.00392 | 0.00404 | 0.00378 | 0.00414 | 0.00389 | 0.00421 |
| 西部新锆 | 0.00413 | 0.00405 | 0.00398 | 0.00402 | 0.00410 | 0.00408 | 0.00400 |
| 资环院 | 0.00421 | 0.00417 | 0.00428 | 0.00402 | 0.00409 | 0.00411 | 0.00417 |
| 4 | 国合 | 0.00793 | 0.00785 | 0.00791 | 0.00815 | 0.00809 | 0.00806 | 0.00818 |
| 广东 | 0.00848 | 0.00829 | 0.00831 | 0.00830 | 0.00823 | 0.00835 | 0.00818 |
| 锆铪中心 | 0.00814 | 0.00753 | 0.00765 | 0.00793 | 0.00787 | 0.00793 | 0.00784 |
| 宝钛 | 0.00783 | 0.00815 | 0.00809 | 0.00806 | 0.00819 | 0.00800 | 0.00788 |
| 西部新锆 | 0.00842 | 0.00837 | 0.00812 | 0.00809 | 0.00803 | 0.00816 | 0.00811 |
| 资环院 | 0.00802 | 0.00787 | 0.00804 | 0.00813 | 0.00795 | 0.00788 | 0.00802 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Sn 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 广东 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 锆铪中心 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 宝钛 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 西部新锆 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 资环院 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 2 | 国合 | 0.00107 | 0.00108 | 0.00102 | 0.00104 | 0.00097 | 0.00099 | 0.00101 |
| 广东 | 0.00106 | 0.00109 | 0.00105 | 0.00108 | 0.00104 | 0.00104 | 0.00106 |
| 锆铪中心 | 0.00098 | 0.00100 | 0.00102 | 0.00101 | 0.00104 | 0.00101 | 0.00101 |
| 宝钛 | 0.00106 | 0.00098 | 0.00107 | 0.00104 | 0.00096 | 0.00094 | 0.00107 |
| 西部新锆 | 0.00103 | 0.00118 | 0.00118 | 0.00116 | 0.00105 | 0.00107 | 0.00113 |
| 资环院 | 0.00113 | 0.00101 | 0.00108 | 0.00105 | 0.00102 | 0.00108 | 0.00115 |
| 3 | 国合 | 0.00406 | 0.00386 | 0.00387 | 0.00412 | 0.00394 | 0.00408 | 0.00415 |
| 广东 | 0.00406 | 0.00422 | 0.00420 | 0.00410 | 0.00416 | 0.00417 | 0.00418 |
| 锆铪中心 | 0.00398 | 0.00399 | 0.00411 | 0.00408 | 0.00390 | 0.00403 | 0.00406 |
| 宝钛 | 0.00416 | 0.00399 | 0.00384 | 0.00411 | 0.00406 | 0.00403 | 0.00418 |
| 西部新锆 | 0.00401 | 0.00408 | 0.00399 | 0.00405 | 0.00387 | 0.00392 | 0.00386 |
| 资环院 | 0.00396 | 0.00412 | 0.00418 | 0.00397 | 0.00401 | 0.00395 | 0.00407 |
| 4 | 国合 | 0.00808 | 0.00795 | 0.00787 | 0.00785 | 0.00791 | 0.00816 | 0.00814 |
| 广东 | 0.00845 | 0.00822 | 0.00822 | 0.00824 | 0.00820 | 0.00823 | 0.00827 |
| 锆铪中心 | 0.00779 | 0.00790 | 0.00792 | 0.00825 | 0.00800 | 0.00798 | 0.00803 |
| 宝钛 | 0.00792 | 0.00804 | 0.00794 | 0.00810 | 0.00805 | 0.00784 | 0.00821 |
| 西部新锆 | 0.00774 | 0.00809 | 0.00771 | 0.00783 | 0.00795 | 0.00800 | 0.00797 |
| 资环院 | 0.00792 | 0.00785 | 0.00804 | 0.00811 | 0.00808 | 0.00815 | 0.00804 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Sb 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 广东 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 锆铪中心 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 宝钛 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 西部新锆 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 资环院 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 | <0.00001 |
| 2 | 国合 | 0.00096 | 0.00099 | 0.00102 | 0.00099 | 0.00106 | 0.00104 | 0.00111 |
| 广东 | 0.00108 | 0.00107 | 0.00103 | 0.00107 | 0.00107 | 0.00106 | 0.00106 |
| 锆铪中心 | 0.00094 | 0.00099 | 0.00100 | 0.00100 | 0.00103 | 0.00101 | 0.00102 |
| 宝钛 | 0.00111 | 0.00095 | 0.00108 | 0.00099 | 0.00103 | 0.00114 | 0.00101 |
| 西部新锆 | 0.00097 | 0.00113 | 0.00117 | 0.00105 | 0.00108 | 0.00096 | 0.00108 |
| 资环院 | 0.00093 | 0.00101 | 0.00106 | 0.00107 | 0.00099 | 0.00102 | 0.00092 |
| 3 | 国合 | 0.00404 | 0.00378 | 0.00414 | 0.00389 | 0.00394 | 0.00408 | 0.00385 |
| 广东 | 0.00407 | 0.00424 | 0.00422 | 0.00425 | 0.00425 | 0.00422 | 0.00428 |
| 锆铪中心 | 0.00371 | 0.00376 | 0.00388 | 0.00382 | 0.00386 | 0.00381 | 0.00386 |
| 宝钛 | 0.00414 | 0.00408 | 0.00394 | 0.00408 | 0.00385 | 0.00418 | 0.00383 |
| 西部新锆 | 0.00409 | 0.00388 | 0.00402 | 0.00394 | 0.00400 | 0.00399 | 0.00394 |
| 资环院 | 0.00403 | 0.00408 | 0.00411 | 0.00418 | 0.00398 | 0.00408 | 0.00413 |
| 4 | 国合 | 0.00801 | 0.00827 | 0.00814 | 0.00825 | 0.00814 | 0.00799 | 0.00792 |
| 广东 | 0.00857 | 0.00832 | 0.00833 | 0.00834 | 0.00846 | 0.00842 | 0.00836 |
| 锆铪中心 | 0.00744 | 0.00768 | 0.00801 | 0.00787 | 0.00776 | 0.00805 | 0.00794 |
| 宝钛 | 0.00823 | 0.00807 | 0.00799 | 0.00792 | 0.00824 | 0.00805 | 0.00784 |
| 西部新锆 | 0.00803 | 0.00826 | 0.00814 | 0.00807 | 0.00829 | 0.00833 | 0.00837 |
| 资环院 | 0.00815 | 0.00806 | 0.00790 | 0.00802 | 0.00813 | 0.00803 | 0.00805 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Ta 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00202 | 0.00213 | 0.00208 | 0.00214 | 0.00199 | 0.00207 | 0.00220 |
| 广东 | 0.00197 | 0.00208 | 0.00197 | 0.00203 | 0.00201 | 0.00195 | 0.00211 |
| 锆铪中心 | 0.00177 | 0.00161 | 0.00165 | 0.00161 | 0.00173 | 0.00172 | 0.00180 |
| 宝钛 | 0.00206 | 0.00214 | 0.00214 | 0.00208 | 0.00198 | 0.00217 | 0.00204 |
| 西部新锆 | 0.00221 | 0.00235 | 0.00197 | 0.00217 | 0.00230 | 0.00226 | 0.00229 |
| 资环院 | 0.00211 | 0.00224 | 0.00208 | 0.00218 | 0.00226 | 0.00231 | 0.00217 |
| 2 | 国合 | 0.00813 | 0.00824 | 0.00813 | 0.00798 | 0.00831 | 0.00812 | 0.00806 |
| 广东 | 0.00806 | 0.00795 | 0.00799 | 0.00814 | 0.00804 | 0.00809 | 0.00819 |
| 锆铪中心 | 0.00876 | 0.00791 | 0.00795 | 0.00829 | 0.00817 | 0.00806 | 0.00800 |
| 宝钛 | 0.00833 | 0.00827 | 0.00816 | 0.00789 | 0.00805 | 0.00827 | 0.00786 |
| 西部新锆 | 0.00826 | 0.00820 | 0.00812 | 0.00798 | 0.00831 | 0.00825 | 0.00829 |
| 资环院 | 0.00809 | 0.00811 | 0.00817 | 0.00822 | 0.00819 | 0.00807 | 0.00816 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | W 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00019 | 0.00020 | 0.00019 | 0.00019 | 0.00019 | 0.00019 | 0.00021 |
| 广东 | 0.00024 | 0.00026 | 0.00018 | 0.00027 | 0.00025 | 0.00022 | 0.00029 |
| 锆铪中心 | 0.00016 | 0.00015 | 0.00015 | 0.00016 | 0.00017 | 0.00016 | 0.00016 |
| 宝钛 | 0.00018 | 0.00021 | 0.00022 | 0.00019 | 0.00022 | 0.00019 | 0.00020 |
| 西部新锆 | 0.00022 | 0.00019 | 0.00018 | 0.00021 | 0.00020 | 0.00019 | 0.00021 |
| 资环院 | 0.00018 | 0.00022 | 0.00023 | 0.00020 | 0.00021 | 0.00019 | 0.00020 |
| 2 | 国合 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00010 | 0.00010 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00009 |
| 广东 | 0.00093 | 0.00086 | 0.00094 | 0.00091 | 0.00092 | 0.00078 | 0.00110 |
| 锆铪中心 | 0.00015 | 0.00015 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00016 |
| 宝钛 | 0.00009 | 0.00012 | 0.00010 | 0.00011 | 0.00010 | 0.00009 | 0.00009 |
| 西部新锆 | 0.00009 | 0.00011 | 0.00008 | 0.00009 | 0.00010 | 0.00008 | 0.00009 |
| 资环院 | 0.00015 | 0.00011 | 0.00013 | 0.00011 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00010 |
| 3 | 国合 | 0.00129 | 0.00134 | 0.00124 | 0.00121 | 0.00130 | 0.00127 | 0.00141 |
| 广东 | 0.00135 | 0.00143 | 0.00148 | 0.00102 | 0.00134 | 0.00134 | 0.00135 |
| 锆铪中心 | 0.00124 | 0.00129 | 0.00130 | 0.00131 | 0.00135 | 0.00135 | 0.00137 |
| 宝钛 | 0.00139 | 0.00132 | 0.00129 | 0.00124 | 0.00121 | 0.00126 | 0.00131 |
| 西部新锆 | 0.00127 | 0.00124 | 0.00126 | 0.00129 | 0.00115 | 0.00118 | 0.00126 |
| 资环院 | 0.00136 | 0.00127 | 0.00122 | 0.00141 | 0.00122 | 0.00140 | 0.00138 |
| 4 | 国合 | 0.00199 | 0.00200 | 0.00202 | 0.00201 | 0.00203 | 0.00205 | 0.00207 |
| 广东 | 0.00207 | 0.00219 | 0.00203 | 0.00227 | 0.00225 | 0.00206 | 0.00240 |
| 锆铪中心 | 0.00207 | 0.00212 | 0.00210 | 0.00215 | 0.00217 | 0.00221 | 0.00219 |
| 宝钛 | 0.00209 | 0.00198 | 0.00205 | 0.00203 | 0.00206 | 0.00205 | 0.00208 |
| 西部新锆 | 0.00198 | 0.00188 | 0.00202 | 0.00193 | 0.00199 | 0.00201 | 0.00189 |
| 资环院 | 0.00186 | 0.00194 | 0.00190 | 0.00188 | 0.00203 | 0.00186 | 0.00186 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Pb 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00018 | 0.00014 | 0.00013 | 0.00013 | 0.00015 |
| 广东 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00011 | 0.00011 | 0.00012 |
| 锆铪中心 | 0.00017 | 0.00015 | 0.00016 | 0.00016 | 0.00002 | 0.00015 | 0.00016 |
| 宝钛 | 0.00014 | 0.00013 | 0.00017 | 0.00015 | 0.00013 | 0.00016 | 0.00015 |
| 西部新锆 | 0.00013 | 0.00014 | 0.00016 | 0.00014 | 0.00016 | 0.00015 | 0.00014 |
| 资环院 | 0.00011 | 0.00014 | 0.00021 | 0.00019 | 0.00017 | 0.00018 | 0.00020 |
| 2 | 国合 | 0.00102 | 0.00105 | 0.00098 | 0.00104 | 0.00103 | 0.00105 | 0.00101 |
| 广东 | 0.00106 | 0.00107 | 0.00105 | 0.00106 | 0.00105 | 0.00104 | 0.00104 |
| 锆铪中心 | 0.00090 | 0.00095 | 0.00098 | 0.00096 | 0.00099 | 0.00098 | 0.00098 |
| 宝钛 | 0.00107 | 0.00103 | 0.00100 | 0.00097 | 0.00108 | 0.00099 | 0.00103 |
| 西部新锆 | 0.00114 | 0.00112 | 0.00107 | 0.00103 | 0.00106 | 0.00103 | 0.00112 |
| 资环院 | 0.00106 | 0.00091 | 0.00110 | 0.00112 | 0.00098 | 0.00106 | 0.00094 |
| 3 | 国合 | 0.00397 | 0.00389 | 0.00387 | 0.00392 | 0.00404 | 0.00408 | 0.00411 |
| 广东 | 0.00403 | 0.00418 | 0.00416 | 0.00415 | 0.00418 | 0.00409 | 0.00417 |
| 锆铪中心 | 0.00388 | 0.00386 | 0.00390 | 0.00390 | 0.00380 | 0.00386 | 0.00380 |
| 宝钛 | 0.00377 | 0.00409 | 0.00407 | 0.00391 | 0.00414 | 0.00404 | 0.00409 |
| 西部新锆 | 0.00384 | 0.00380 | 0.00389 | 0.00392 | 0.00387 | 0.00403 | 0.00383 |
| 资环院 | 0.00403 | 0.00392 | 0.00411 | 0.00404 | 0.00403 | 0.00396 | 0.00399 |
| 4 | 国合 | 0.00814 | 0.00805 | 0.00784 | 0.00796 | 0.00800 | 0.00792 | 0.00804 |
| 广东 | 0.00839 | 0.00817 | 0.00822 | 0.00826 | 0.00823 | 0.00836 | 0.00821 |
| 锆铪中心 | 0.00833 | 0.00818 | 0.00826 | 0.00829 | 0.00822 | 0.00830 | 0.00834 |
| 宝钛 | 0.00814 | 0.00824 | 0.00794 | 0.00796 | 0.00815 | 0.00799 | 0.00825 |
| 西部新锆 | 0.00823 | 0.00818 | 0.00802 | 0.00795 | 0.00831 | 0.00829 | 0.00834 |
| 资环院 | 0.00816 | 0.00817 | 0.00803 | 0.00814 | 0.00805 | 0.00807 | 0.00801 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平数 | 实验室 | Bi 的质量分数/%，（n=7） | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 国合 | 0.000092 | 0.000089 | 0.000088 | 0.000088 | 0.000089 | 0.000095 | 0.000099 |
| 广东 | 0.00010 | 0.00009 | 0.00011 | 0.00010 | 0.00009 | 0.00011 | 0.00009 |
| 锆铪中心 | 0.00008 | 0.00008 | 0.00008 | 0.00008 | 0.00008 | 0.00007 | 0.00008 |
| 宝钛 | 0.00009 | 0.00008 | 0.00009 | 0.00008 | 0.00010 | 0.00009 | 0.00010 |
| 西部新锆 | 0.00009 | 0.00010 | 0.00009 | 0.00009 | 0.00010 | 0.00009 | 0.00009 |
| 资环院 | 0.00009 | 0.00009 | 0.00009 | 0.00009 | 0.00009 | 0.00010 | 0.00009 |
| 2 | 国合 | 0.00109 | 0.00115 | 0.00121 | 0.00108 | 0.00114 | 0.00123 | 0.00116 |
| 广东 | 0.00110 | 0.00111 | 0.00108 | 0.00109 | 0.00109 | 0.00110 | 0.00109 |
| 锆铪中心 | 0.00089 | 0.00093 | 0.00096 | 0.00094 | 0.00096 | 0.00095 | 0.00095 |
| 宝钛 | 0.00104 | 0.00105 | 0.00112 | 0.00108 | 0.00117 | 0.00113 | 0.00119 |
| 西部新锆 | 0.00116 | 0.00131 | 0.00128 | 0.00119 | 0.00124 | 0.00113 | 0.00114 |
| 资环院 | 0.00102 | 0.00094 | 0.00099 | 0.00091 | 0.00106 | 0.00111 | 0.00108 |
| 3 | 国合 | 0.00407 | 0.00398 | 0.00387 | 0.00398 | 0.00400 | 0.00396 | 0.00386 |
| 广东 | 0.00408 | 0.00422 | 0.00421 | 0.00421 | 0.00419 | 0.00413 | 0.00418 |
| 锆铪中心 | 0.00387 | 0.00386 | 0.00384 | 0.00390 | 0.00381 | 0.00377 | 0.00375 |
| 宝钛 | 0.00400 | 0.00386 | 0.00384 | 0.00395 | 0.00406 | 0.00408 | 0.00413 |
| 西部新锆 | 0.00395 | 0.00387 | 0.00405 | 0.00409 | 0.00392 | 0.00386 | 0.00384 |
| 资环院 | 0.00411 | 0.00407 | 0.00402 | 0.00407 | 0.00409 | 0.00407 | 0.00402 |
| 4 | 国合 | 0.00815 | 0.00799 | 0.00794 | 0.00810 | 0.00819 | 0.00824 | 0.00794 |
| 广东 | 0.00849 | 0.00820 | 0.00827 | 0.00831 | 0.00828 | 0.00839 | 0.00832 |
| 锆铪中心 | 0.00820 | 0.00821 | 0.00807 | 0.00829 | 0.00807 | 0.00814 | 0.00814 |
| 宝钛 | 0.00809 | 0.00786 | 0.00798 | 0.00821 | 0.00815 | 0.00804 | 0.00797 |
| 西部新锆 | 0.00819 | 0.00800 | 0.00814 | 0.00782 | 0.00788 | 0.00791 | 0.00786 |
| 资环院 | 0.00783 | 0.00804 | 0.00795 | 0.00809 | 0.00805 | 0.00812 | 0.00804 |