

制定《高纯工业品 无水氟化氢》化工行业标准编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

(一) 任务来源

1、基本信息

根据工业和信息化部办公厅文件“工信厅科函〔2021〕25号《关于印发2021年第一批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》的要求，2023年3月1日之前完成《高纯工业品 无水氟化氢》化工行业标准的制定工作，计划编号：2021-0110T-HG。本标准由中巨芯科技股份有限公司、佛山市质量计量监督检测中心、多氟多新材料股份有限公司、贵州川恒化工股份有限公司、蓝保（厦门）水处理科技有限公司、浙江凯圣氟化学有限公司、福建永晶科技股份有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司等单位共同起草。本标准由全国化学标准化委员会无机化工分技术委员会负责技术归口。

2、简要情况

1) 产品概况

产品性质

分子式：HF

分子量：20.01

无水氟化氢低温下为无色透明的液体，沸点 19.4℃，熔点：-83.37℃，相对密度 1.008(25℃/4℃)。在常温下极易挥发成烟雾状。它的化学性质极为活泼，能与碱、金属氧化物以及硅酸盐等反应，也可与有机物进行氟化反应。在一定条件下能与水自由混合成氢氟酸，并激烈放热。有强烈的刺激性气味，对眼、耳、鼻、喉粘膜有强腐蚀作用，能腐蚀玻璃和破坏其它含硅物质，对人的牙齿骨骼有严重腐蚀性并使之钙化。

产品用途

应用于大规模集成电路、液晶显示器、多晶硅和薄膜太阳能电池、新型电光源、光电半导体器件以及光纤通讯器件等电子行业，主要作用集成电路制造中二氧化硅的蚀刻和炉管清洗的蚀刻剂。

2) 生产工艺

以工业无水氟化氢为原料，经解析、精馏和吸附提纯制得高纯无水氟化氢产品。

3) 修标意义

高纯无水氟化氢主要用于集成电路和半导体行业的清洗和芯片蚀刻。尤其在微机电系统（MEMS）干法蚀刻工艺中，晶片上二氧化硅（SiO₂）牺牲层的腐蚀剂非高纯无水氟化氢莫属。现今移动设备、物联网与兆级传感器的迅猛增长加快了 MEMS 技术的采用。为了确保尺寸更小、高功能的 MEMS 器件不再出现影响性能的工艺偏差，更先进的干法蚀刻技术应运而生。高纯无水氟化氢作为干法蚀刻技术的原料，其品质好坏对晶片蚀刻结果起到了至关重要的作用。今后随着 MEMS 使用范围和数量的不断扩大，高纯无水氟化氢的市场需求将出现急速增长。缺少统一标准已经成为制约其发展的瓶颈，致

使生产企业和用户无统一标尺评判产品质量的优劣。通过制定行业标准，可以规范高纯无水氟化氢的产品质量，为行业健康发展提供重要的技术支撑和科学依据。使产品生产有据可依，对推广先进生产技术、规范产品质量、指导企业生产、满足下游客户的使用具有十分重要的意义。

4) 行业概况和国际水平

现阶段，我国是世界最大的氟化氢生产基地，生产企业有 50 多家，万吨以上的生产装置有几十套。全球高纯度氟化氢市场主要被日本企业垄断，我国高纯度氟化氢市场国产占有率不足 5%，国内需求主要从日本瑞星化工、昭和电工以及森田化学进口。我国高纯度氟化氢行业起步较晚，但在下游市场快速发展的推动下，高纯度氟化氢行业技术水平不断提升。随着我国高纯度氟化氢品质的提升，一些产品已经出口国外，走向国际市场，产品的利润也得到了稳步增长。今后该产品发展的主要难点集中在提纯技术、制备环境、设备材质、分析测试技术水平等几方面。目前，国内氟化氢虽产能过剩，但高纯度无水氟化氢逆势增长，在建的高纯度无水氟化氢产能进一步增加，部分企业已实现了替代日本产品向韩国出口的局面。

(二) 主要工作过程

1、 起草阶段（2021.10~2023.5）

1) 起草工作组

由中海油天津化工研究设计院有限公司、中巨芯科技股份有限公司、多氟多新材料股份有限公司、贵州川恒化工股份有限公司、浙江凯圣氟化学有限公司、福建永晶科技股份有限公司等单位组成起草标准工作组。

2) 分工情况

天津院主要负责资料收集、编写文献小结、召开标准工作方案会、数据统计、编写标准各阶段草案、编制说明及相关附件等工作。其他单位主要负责试验方法验证及数据累积工作。

3) 调查研究过程

天津院接到上级部门下达的制定标准计划后，于 2021 年 10 月~2022 年 1 月进行了调研及资料准备工作。首先查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函进行调查，广泛征求对标准制定工作的意见，在此基础上提出了文献小结。2022 年 2 月 17 日通过腾讯会议在线召开了制定标准工作方案会，参加会议的有包括天津院在内的多家企业，会上生产单位就各自的产能、生产工艺、产品质量和用户使用情况进行了介绍。与会代表就此标准的分类、用途、指标项目和指标参数、分析方法及检验规则、包装、贮存、运输等内容进行了深入、细致地讨论，提出了工作方案，并对各项工作任务及工作进度做了详细地安排。会后由天津院编写相应的试验验证方案，发至各生产单位进行试验验证。

4) 验证过程

起草工作组成员针对试验验证方案开展了试验验证工作。

对比验证数据分析及验证评价（或结论）见本编制说明第四章。

2、 标准征求意见阶段（2023.6~2023.8）

1) 广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，由负责起草单位对工作组讨论稿进行了进一步的讨论和修改，其后提出标准草案征求意见稿及编制说明。于 2023 年 6 月开始向无机化工分技术委员会的委员、生产、使用及检验机构等单位发送了电子文件征求意见稿及编制说明，并在天津院官网上（www.trici.com.cn）公开

征求意见。

二、制定标准的原则和依据

1 编制原则

- 1.1 积极采用国际标准和国外先进标准；
- 1.2 有利于促进技术进步，提高产品质量；
- 1.3 有利于合理利用资源，提高经济效益；
- 1.4 符合用户要求，保护消费者利益，促进对外贸易。

2 编制依据

- 2.1 国内产品质量规格（见附表 1）；
- 2.2 试验方法参考 HG/T 4509—2013《工业高纯氢氟酸》（见附表 1）；
- 2.3 编制过程中的试验方法验证数据（附表 2）。

三、国内外标准对比

目前没有收集到了有关高纯工业品无水氢氟酸的国外标准。本标准参考国内企业的产品质量规矩，并依据用户要求进行制定。

四、标准制定主要内容及确定依据

1 范围的确定

高纯工业品无水氟化氢是微纳电子制造国家安全战略产业的关键支撑材料，其广泛应用于大规模集成电路、液晶显示器、多晶硅和薄膜太阳能电池、新型电光源、光电半导体器件以及光纤通讯器件等电子行业，主要用于二氧化硅的蚀刻和炉管清洗等。

本标准确定的范围为：

本文件规定了高纯工业品 无水氟化氢的分级、要求、试验方法、检验规则、标志、标签和随行文件、包装、运输、贮存。

本文件适用于高纯工业品 无水氟化氢。

注：该产品主要用于集成电路制造中二氧化硅的蚀刻和炉管清洗等。

2 指标项目的确定

目前该产品主要生产企业根据国内外客户需求组织生产，客户类型的差别造成各生产单位产品指标要求有一些不同。本标准制定过程中组织国内生产企业多次讨论，最终确定以下 24 个指标项目：

- 1) 主体氟化氢（HF）含量；
- 2) 影响输气管路腐蚀的杂质：水分；
- 3) 影响蚀刻速度的杂质气体：氧+氩（O₂+Ar）、氮（N₂）、二氧化碳（CO₂）、一氧化碳（CO）、烃（以 CH₄ 计）
- 4) 造成半导体器件的缺陷，从而产生漏电、电压不稳等问题的金属杂质：铝（Al）、砷（As）、钙（Ca）、镉（Cd）、铬（Cr）、铜（Cu）、铁（Fe）、钾（K）、锂（Li）、镁（Mg）、锰（Mn）、钠（Na）、镍（Ni）、铅（Pb）、钛（Ti）、锡（Sn）、锌（Zn）。

3 指标要求的确定

该产品国内生产企业还不多，标准制定过程中生产企业回复的指标要求主要是反馈各自下游客户的需求。为了满足下游不同客户的需求，本标准对产品质量进行了分等分级，设置了优等品、一等品和合格品三个等级。本标准以客户需求作为主要制定依据，通过多次会议讨论确定了各项指标的要求。本次制定标准设置的指标要求见表 1。

表 1 本标准技术指标要求

| 项目 | 指标 | | |
|--|---------------|--------|--------|
| | 优等品 | 一等品 | 合格品 |
| 氟化氢 (HF) $\varphi/\%$ | ≥ 99.998 | 99.995 | 99.995 |
| 水分 (H ₂ O) $\varphi/10^{-6}$ | 1.0 | 5.0 | 5.0 |
| 氧+氩 (O ₂ +Ar) $\varphi/10^{-6}$ | 5.0 | 10.0 | 10.0 |
| 氮 (N ₂) $\varphi/10^{-6}$ | 8.0 | 20.0 | 20.0 |
| 二氧化碳 (CO ₂) $\varphi/10^{-6}$ | 3.0 | 5.0 | 5.0 |
| 一氧化碳 (CO) $\varphi/10^{-6}$ | 2.0 | 5.0 | 5.0 |
| 烃 (以 CH ₄ 计) $\varphi/10^{-6}$ | 1.0 | 5.0 | 5.0 |
| 铝 (Al) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 砷 (As) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 钙 (Ca) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 镉 (Cd) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 铬 (Cr) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 铜 (Cu) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 铁 (Fe) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 钾 (K) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 锂 (Li) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 镁 (Mg) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 锰 (Mn) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 钠 (Na) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 镍 (Ni) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 铅 (Pb) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 钛 (Ti) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 锡 (Sn) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |
| 锌 (Zn) / ($\mu\text{g/kg}$) | 1.0 | 10.0 | 50.0 |

4 试验方法的确定

4.1 氟化氢含量的测定

作为高纯产品，化学检验法或仪器法已无法满足氟化氢主含量的测定，因此本标准氟化氢含量的测定使用差减法。影响本产品纯度的主要杂质为水分、氧+氩（O₂+Ar）、氮（N₂）、二氧化碳（CO₂）、一氧化碳（CO）、烃（以 CH₄ 计）含量，差减以上杂质含量得到氟化氢含量。

4.2 水分的测定

本产品水分含量指标值在体积分数 5×10^{-6} 以下，因此采用高灵敏度、高特异性、高谱线分辨率的可协调二极管激光吸收光谱（TDLAS）分析仪测定水分。方法原理是通过电流和温度调谐半导体激光器的输出波长，扫描水分子的吸收谱线。检测吸收光谱的强度得到吸光度，吸光度与水分含量符合朗伯-比尔定律，计算出样品中水分含量。

4.3 杂质气体含量的测定

杂质气体含量测定使用的是氦离子化器的气相色谱仪法，该方法以纯化后的高纯氦做载气，试样经过多种色谱流程处理后，采用气相色谱法定量分析待测组分含量。本标准试验步骤直接引用 GB/T 28726—2012《气体分析 氦离子化气相色谱法》。

4.4 杂质元素的测定

本产品杂质元素离子含量在 50 μg/kg 以下，测定方法使用的是电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS 法），根据被测元素通过一定形式进入高频等离子体中，在高温下电离成离子，产生的离子经过离子光学透镜聚焦后进入四极杆质谱分析器按特定荷质比的离子数目进行定量分析。相关方法验证数据见附表 2。

5 检验规则

5.1 所有指标项目均为出厂检验项目，应逐批检验。

5.2 根据目前的生产规模和生产状况，确定高纯工业品无水氟化氢为每批产品不超过 10 t。

5.3 高纯工业品无水氟化氢均为钢瓶（气瓶）包装，因此规定每批从 5% 的包装容器中取样，取样容器件数应不少于 2 瓶（首尾各 1 瓶）。该产品为危险化学品，因此规定采样安全应符合 GB/T 3723 的相关规定。

6 标志、标签和随行文件

按 GB 12268 的规定，高纯工业品无水氟化氢为毒性物质和腐蚀性物质，根据产品所具有的危险特性，本标准规定应具有 GB 190 规定的“毒性物质”“腐蚀性物质”标签。气瓶颜色标志应符合 GB/T 7144 的规定。标签应符合 GB/T 16804、GB 15258 规定的要求。

7 包装、运输和贮存

7.1 高纯工业品无水氟化氢包装于清洁、干燥的专用钢瓶中，包装容器具有气液相进出口，钢瓶体色为银灰色，字体颜色为黑色，并带有安全帽和防震胶圈。

7.2 高纯工业品无水氟化氢包装气瓶应符合 GB/T 5100 的规定。防止瓶口被污染和泄漏。

7.3 高纯工业品无水氟化氢的充装应符合 TSG 23-2021《气瓶安全技术规程》、《铁路危险货物运输安全监督管理规定》《特种设备安全监察条例》和 GB/T 14193 的规定。充装系数不大于 0.83 kg/L。

7.4 高纯工业品无水氟化氢钢瓶应贮存在阴凉、干燥、通风的罩棚或库房中，不应曝晒，不应与易燃、易爆物品混放。

7.5 高纯工业品无水氟化氢钢瓶运输过程中应确保容器不泄漏、不倒塌、不坠落、不损坏。不应与碱性物质、活性金属粉末、玻璃制品、食用化学品等混装混运。运输时运输车辆应配备应急处置设备。运输途中应防曝晒、防雨淋、防高温。

7.6 高纯工业品无水氟化氢的储存期限按GB/T 26571的规定执行。

五、水平分析

本标准根据下游客户的需求，结合国内生产行业的实际生产情况，设置了指标要求和试验方法。指标参数采用分等分级的方式，设置优等品、一等品和合格品三个等级，指标参数充分考虑了不同客户的需求进行设置。常量项目的检验均采用经典的试验方法，水分和杂质气体均使用了标准方法，阳离子含量采用电感耦合等离子体质谱法进行检测，经各企业和检验机构验证，方法精密度高，符合高纯产品检验的要求。本标准指标设置先进合理，为行业发展指明了方向，对加快行业发展起到了积极地推动作用。

综合分析，本标准到达国内先进水平。

附表 1

本标准指标和试验方法

| 项目 | | 指标 | | | 试验方法 |
|---|--------|--------|--------|--------|---|
| | | 优等品 | 一等品 | 合格品 | |
| 氟化氢 (HF) $\rho/\%$ | \geq | 99.998 | 99.995 | 99.995 | 差减法 (扣减水分、氧+氩、氮、二氧化碳、一氧化碳和烃) |
| 水分 (H ₂ O) $\rho/10^{-6}$ | \leq | 1.0 | 5.0 | 5.0 | TDLAS 分析仪法 |
| 氧+氩 (O ₂ +Ar) $\rho/10^{-6}$ | \leq | 5.0 | 10.0 | 10.0 | 氦离子化气相色谱法 (试验步骤引用GB/T 28726—2012 《气体分析 氦离子化气相色谱法》) |
| 氮 (N ₂) $\rho/10^{-6}$ | \leq | 8.0 | 20.0 | 20.0 | |
| 二氧化碳 (CO ₂) $\rho/10^{-6}$ | \leq | 3.0 | 5.0 | 5.0 | |
| 一氧化碳 (CO) $\rho/10^{-6}$ | \leq | 2.0 | 5.0 | 5.0 | |
| 烃 (以 CH ₄ 计) $\rho/10^{-6}$ | \leq | 1.0 | 5.0 | 5.0 | |
| 铝 (Al) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | ICP-MS 法 |
| 砷 (As) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 钙 (Ca) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 镉 (Cd) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 铬 (Cr) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 铜 (Cu) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 铁 (Fe) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 钾 (K) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 锂 (Li) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 镁 (Mg) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 锰 (Mn) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 钠 (Na) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 镍 (Ni) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 铅 (Pb) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 钛 (Ti) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 锡 (Sn) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |
| 锌 (Zn) / ($\mu\text{g/kg}$) | \leq | 1.0 | 10.0 | 50.0 | |

附表 2 试验方法验证数据

附表 2-1 ICP-MS 测定杂质离子标准曲线线性数据及各浓度点响应值

| 项目 | 响应值 cps | | | | R ² |
|--------------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 标准曲线 溶液浓度 | 0 (μg/kg) | 0.1 (μg/kg) | 0.3 (μg/kg) | 0.6 (μg/kg) | |
| Li | 0.00 | 2352.43 | 7226.05 | 14816.94 | 0.9998 |
| Na | 1415.08 | 7687.91 | 20643.24 | 40604.29 | 0.9999 |
| Mg | 30.00 | 3102.00 | 9109.14 | 18865.14 | 0.9996 |
| Al | 253.90 | 2721.37 | 7344.97 | 14118.54 | 0.9998 |
| K | 185.56 | 3403.17 | 10109.71 | 20137.76 | 1.0000 |
| Ca | 224.00 | 1046.26 | 2645.11 | 5131.00 | 0.9999 |
| Ti | 11.11 | 598.46 | 1916.57 | 4072.50 | 0.9988 |
| V | 11.78 | 1678.98 | 4944.51 | 10514.74 | 0.9989 |
| Cr | 0.00 | 140.00 | 401.68 | 851.71 | 0.9990 |
| Mn | 0.56 | 2001.82 | 6513.00 | 12913.85 | 0.9998 |
| Fe | 95.93 | 1436.00 | 4322.81 | 8584.40 | 0.9999 |
| Ni | 1.11 | 475.02 | 1392.87 | 2974.21 | 0.9988 |
| Cu | 20.00 | 1056.17 | 3383.18 | 7086.02 | 0.9992 |
| Zn | 0.56 | 44.45 | 168.89 | 357.79 | 0.9978 |
| Cd | 0.56 | 372.79 | 927.28 | 2459.71 | 0.9819 |
| Sn | 1.11 | 913.94 | 2475.27 | 5958.61 | 0.9915 |
| Pb | 210.00 | 2699.53 | 7623.05 | 15908.52 | 0.9991 |

附表 2-2 ICP-MS 测定杂质离子含量 8 平行试验数据

| 项目 | 1# μg/kg | 2# μg/kg | 3# μg/kg | 4# μg/kg | 5# μg/kg | 6# μg/kg | 7# μg/kg | 8# μg/kg | 平均值 μg/kg | 标准 偏差 | RSD % |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------|----------|
| Li | 0.267 | 0.289 | 0.267 | 0.291 | 0.287 | 0.278 | 0.273 | 0.271 | 0.278 | 0.01 | 3.56 |
| Na | 0.085 | 0.092 | 0.094 | 0.091 | 0.095 | 0.085 | 0.094 | 0.085 | 0.090 | 0.00 | 4.91 |
| Mg | 0.521 | 0.492 | 0.489 | 0.511 | 0.527 | 0.543 | 0.554 | 0.523 | 0.520 | 0.02 | 4.34 |
| Al | 0.592 | 0.625 | 0.636 | 0.646 | 0.619 | 0.631 | 0.636 | 0.593 | 0.622 | 0.02 | 3.22 |
| K | 0.864 | 0.837 | 0.875 | 0.890 | 0.900 | 0.890 | 0.811 | 0.853 | 0.865 | 0.03 | 3.50 |
| Ca | 0.073 | 0.080 | 0.074 | 0.074 | 0.073 | 0.075 | 0.074 | 0.077 | 0.075 | 0.00 | 3.19 |
| Ti | 0.075 | 0.074 | 0.075 | 0.074 | 0.074 | 0.073 | 0.079 | 0.078 | 0.075 | 0.00 | 2.82 |
| V | 0.125 | 0.115 | 0.117 | 0.128 | 0.118 | 0.117 | 0.121 | 0.117 | 0.120 | 0.00 | 3.81 |
| Cr | 0.052 | 0.054 | 0.053 | 0.052 | 0.056 | 0.052 | 0.054 | 0.053 | 0.053 | 0.00 | 2.61 |
| Mn | 0.689 | 0.737 | 0.702 | 0.763 | 0.714 | 0.731 | 0.689 | 0.716 | 0.718 | 0.03 | 3.54 |
| Fe | 0.042 | 0.046 | 0.042 | 0.047 | 0.044 | 0.047 | 0.045 | 0.042 | 0.044 | 0.00 | 4.96 |
| Ni | 0.767 | 0.726 | 0.758 | 0.742 | 0.724 | 0.713 | 0.729 | 0.742 | 0.738 | 0.02 | 2.47 |
| Cu | 0.605 | 0.669 | 0.646 | 0.657 | 0.620 | 0.610 | 0.636 | 0.594 | 0.630 | 0.03 | 4.23 |
| Zn | 0.032 | 0.032 | 0.029 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.028 | 0.032 | 0.031 | 0.00 | 5.28 |
| Cd | 0.027 | 0.028 | 0.026 | 0.026 | 0.028 | 0.024 | 0.026 | 0.027 | 0.027 | 0.00 | 4.94 |
| Sn | 0.520 | 0.514 | 0.551 | 0.540 | 0.525 | 0.567 | 0.561 | 0.530 | 0.539 | 0.02 | 3.63 |
| Pb | 0.267 | 0.289 | 0.267 | 0.291 | 0.287 | 0.278 | 0.273 | 0.271 | 0.278 | 0.01 | 3.56 |

附表 2-3

ICP-MS 测定杂质离子含量加标回收数据表

| 元素 | 样品 1 空白含量 (μg/kg) | 加标 0.5 (μg/kg) 结果 | 加标回收率% |
|----|-------------------|-------------------|--------|
| Li | 0.000 | 0.529 | 105.8 |
| Na | 0.014 | 0.562 | 109.6 |
| Mg | 0.008 | 0.531 | 104.6 |
| Al | 0.012 | 0.568 | 111.2 |
| K | 0.054 | 0.493 | 87.8 |
| Ca | 0.091 | 0.542 | 90.2 |
| Ti | 0.005 | 0.510 | 101.0 |
| V | 0.006 | 0.505 | 99.8 |
| Cr | 0.009 | 0.583 | 114.8 |
| Mn | 0.004 | 0.531 | 105.4 |
| Fe | 0.065 | 0.564 | 99.8 |
| Ni | 0.004 | 0.560 | 111.2 |
| Cu | 0.063 | 0.573 | 102.0 |
| Zn | 0.036 | 0.472 | 87.2 |
| Cd | 0.013 | 0.581 | 113.6 |
| Sn | 0.001 | 0.578 | 115.4 |
| Pb | 0.068 | 0.476 | 81.6 |
| 元素 | 样品 2 空白含量 (μg/kg) | 加标 0.5 (μg/kg) 结果 | 加标回收率% |
| Li | 0.001 | 0.496 | 99.0 |
| Na | 0.021 | 0.53 | 101.8 |
| Mg | 0.009 | 0.509 | 100.0 |
| Al | 0.118 | 0.543 | 85.0 |
| K | 0.061 | 0.467 | 81.2 |
| Ca | 0.084 | 0.524 | 88.0 |
| Ti | 0.007 | 0.54 | 106.6 |
| V | 0.007 | 0.529 | 104.4 |
| Cr | 0.014 | 0.536 | 104.4 |
| Mn | 0.004 | 0.512 | 101.6 |
| Fe | 0.072 | 0.539 | 93.4 |
| Ni | 0.005 | 0.561 | 111.2 |