



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

## 固体废物 无机元素含量测定 能量色散型 X 射线荧光光谱与基本参数 法

Solid waste - Determination of inorganic elements  
Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry with Fundamental Parameters

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(工作组讨论稿)

(本草案完成时间：)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，保护生态环境，保障人体健康，规范测定固体废物中无机元素含量的能量色散X射线荧光光谱与基本参数法，制订本标准。

本标准规定了测定固体废物中磷（P）、硫（S）、氯（Cl）、钛（Ti）、钒（V）、铬（Cr）、锰（Mn）、钴（Co）、镍（Ni）、铜（Cu）、锌（Zn）、砷（As）、硒（Se）、溴（Br）、锶（Sr）、锆（Zr）、钼（Mo）、钯（Pd）、银（Ag）、镉（Cd）、铟（In）、锡（Sn）、锑（Sb）、碲（Te）、碘（I）、钡（Ba）、铂（Pt）、汞（Hg）、铊（Tl）、铅（Pb）等 30 中无机元素及氧化钠（Na<sub>2</sub>O）、氧化镁（MgO）、三氧化二铝（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、二氧化硅（SiO<sub>2</sub>）、氧化钾（K<sub>2</sub>O）、氧化钙（CaO）和三氧化二铁（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）等 7 种氧化物含量的能量色散 X 射线荧光光谱与基本参数法。

本文件按照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》和GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的规定起草。

本文件由全国环保产业标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国标准化研究院、北京安科慧生科技有限公司、XXXXXX。

本文件主要起草人：XXXXXXXXX。

本标准为首次发布。

# 固体废物 无机元素含量测定

## 能量色散型 X 射线荧光光谱与基本参数法

### 1 范围

本文件规定了尾矿、粉煤灰、煤矸石、冶炼废渣、飞灰、脱硫石膏、磷石膏、赤泥和污泥等固体废物中 30 种无机元素和 7 种氧化物含量测定的能量色散型 X 射线荧光光谱与基本参数法。其他固体废物可参照本标准执行。本标准不适用于放射性废物的测定。

本文件适用于尾矿、粉煤灰、煤矸石、冶炼废渣、飞灰、脱硫石膏、磷石膏、赤泥和污泥等固体废物中磷 (P)、硫 (S)、氯 (Cl)、钛 (Ti)、钒 (V)、铬 (Cr)、锰 (Mn)、钴 (Co)、镍 (Ni)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、砷 (As)、硒 (Se)、溴 (Br)、锶 (Sr)、锆 (Zr)、钼 (Mo)、钯 (Pd)、银 (Ag)、镉 (Cd)、铟 (In)、锡 (Sn)、锑 (Sb)、碲 (Te)、碘 (I)、钡 (Ba)、铂 (Pt)、汞 (Hg)、铊 (Tl)、铅 (Pb) 等 30 种无机元素和氧化钠 ( $\text{Na}_2\text{O}$ )、氧化镁 ( $\text{MgO}$ )、三氧化二铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ )、氧化钾 ( $\text{K}_2\text{O}$ )、氧化钙 ( $\text{CaO}$ )、三氧化二铁 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 等 7 种氧化物含量的测定。

在本文件推荐的各元素特征谱线和测量条件下，各元素的方法检出限和测定下限参见附录 A。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范

HJ/T 298 危险废物鉴别技术规范

### 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

### 4 方法原理

X 射线管产生的原级 X 射线，经滤光片滤光或双曲面弯晶单色化后照射样品表面，样品中元素内层电子被激发产生空穴，外层电子由高能轨道跃迁至低能轨道而释放出元素的特征 X 射线荧光，能量色散探测器将不同元素的特征 X 射线荧光分辨并探测其强度，此强度经基本参数法校正后与样品中元素含量值成正比，通过测定固体废物标准物质或质控物质，建立校准曲线，经校准曲线计算得到样品中待测元素的含量值。

基本参数法是用原级 X 射线的光谱分布、质量吸收系数、荧光产额、吸收突变比、谱线分数、仪器光路结构参数等基本参数进行理论计算，将计算谱与探测器采集谱迭代拟合，直接得到样品中元素含量值的算法。

### 5 干扰和消除

### 5.1 颗粒效应

粉末样品的颗粒度、均匀性、表面平整度影响测定精度，固体粉末须研磨至一定细度制样，待测样品须保持与制作校准曲线样品相一致的样品处理方法消除上述影响。

### 5.2 基体效应

样品中待测元素的原子受辐射激发后产生的特征X射线荧光强度与待测元素质量分数及其它元素种类及含量等相关，采用基本参数法，可以减小或消除基体效应对测定结果的影响。

### 5.3 矿物效应

样品中不同矿物成分和物理性质（如密度、晶型、粒度等）影响待测元素特征X射线荧光强度，可以通过充分研磨和混合均匀以及采用相同类型的标准物质建立校准曲线消除或减小矿物效应，或通过熔融玻璃片法消除矿物效应。

### 5.4 谱线重叠干扰

元素的某条特征谱线与其它元素特征谱线重叠或部分重叠致使探测器无法完全分辨，使用基本参数法全谱拟合解析消除谱线重叠干扰。

## 6 试剂和材料

6.1 标准样品：涵盖待测元素的市售固体废物标准物质。

6.2 质控样品：经多家实验室采用标准分析方法定值的样品，或按照一定质量分数标准添加混合均匀后制成的样品。

6.3 硼酸（ $H_3BO_3$ ）：分析纯及以上。

6.4 样品环：包括塑料环、铝环，尺寸与仪器进样口尺寸相一致。

6.5 无水四硼酸锂（ $Li_2B_4O_7$ ）：优级纯。

6.6 无水偏硼酸锂（ $LiBO_2$ ）：优级纯。

6.7 碘化铵（ $NH_4I$ ）：优级纯。

6.8 混合熔剂：无水四硼酸锂（6.5）：无水偏硼酸锂（6.6）= 67 : 33。

## 7 仪器和设备

7.1 能量色散 X 射线荧光光谱仪：真空或氢气(氦气)光路吹扫系统，探测器能量分辨率 $<135$  eV@Mn:Ka。

7.2 粉末压片机：最大压力大于 20 MPa。

7.3 高温炉：温度可控制在  $960\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.4 熔片机：额定使用温度可达到  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.5 铂金坩埚： $w(\text{Pt})=95\%$ 、 $w(\text{Au})=5\%$ ，以质量分数计。

7.6 分析天平：感量为 0.0001 g。

7.7 尼龙筛：孔径为 0.15 mm（100 目）。

7.8 瓷坩埚：容积为 20 ml，具盖。

## 8 样品

### 8.1 样品采集和保存

按照 HJ/T 20 和 HJ/T 298 的相关规定采集和保存固体废物样品。

### 8.2 样品前处理

按照 HJ/T 20 和 HJ/T 298 要求对采集的固体废物进行风干、粗磨、细磨，全部过 100 目尼龙筛（7.7），按照 HJ/T 20 规定装入样品瓶或样品袋中，备用。

### 8.3 样品制备

#### 8.3.1 粉末压片法

用分析天平（7.6）称取 4.0 g（±0.1 g）经过前处理的粉末样品（8.2），用硼酸（6.3）垫底镶边或样品环（6.4）镶边的方法，于粉末压片机（7.2）以 20 MPa 的压力进行压片，保压时间 60 s，制成厚度不小于 3 mm 的表面平整、无裂痕的压片样品，干燥、避光、密封保存。

注 1：若样品不易成型，可以按质量比例添加纤维素混匀后压片，测定结果按质量比例换算。

注 2：上述样品制备是采用直径 φ32 mm 的塑料环或铝环，称取 4.0 g 固体废物样品，制成厚度不小于 3 mm 的压片样品。适用于不同仪器进样口尺寸的不同直径塑料环或铝环，应称取相应质量，制成压片样品的厚度应不小于 3 mm。

#### 8.3.2 熔融玻璃片法

称取 2.00 g（±0.01 g）经过前处理的粉末样品（8.2）平铺于已灼烧恒重的瓷坩埚（7.8）中，半盖坩埚盖，放入高温炉（7.3）中（950±25）℃灼烧至恒重，从高温炉中取出样品，放入干燥器内冷却至室温，称重并按照式（1）计算灼烧减量。

注：恒重指两次两次称量之差不大于 0.02 g。

$$L = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$L$ ——样品灼烧减量，以%表示；

$m_1$ ——样品和磁坩埚灼烧前的质量，单位为克（g）；

$m_2$ ——样品和磁坩埚灼烧后的质量，单位为克（g）；

$m_3$ ——样品质量，单位为克（g）。

称取 0.7000 g（±0.0005 g）灼烧过的样品与 7.0000 g（±0.0005 g）混合熔剂（6.8），置于铂金坩埚（7.5）中，用玻璃棒搅拌混匀，加入 0.4000 g（±0.0005 g）碘化铵（6.7）作为脱模剂，将铂金坩埚转移至熔片机（7.4）中，在 1050℃预熔 4 min，然后在 1050℃保持 15 min，期间熔片机自动运行，左右摇摆，使熔融物混合均匀，并赶除气泡，最后在 1050℃静置 20 s，取出铂金坩埚等待熔融物降温成型，脱模，

得到熔融玻璃片。熔融玻璃片应均匀透明、表面光洁、无气泡。

注：针对不同的固体废物样品，可通过调节样品与熔剂的稀释比、脱模剂用量、熔融温度、熔融时间等条件以获得均匀透明、表面光洁、无气泡的熔融玻璃片。

## 9 分析步骤

### 9.1 测试条件的选择和优化

根据仪器操作说明书，选择或设置合适的测定条件建立分析方法，主要设定和优化的参数包括：X射线管高压、电流、滤光片或单色化器类型、探测器条件、测试时间等。仪器测试条件示例详见附录 B。

### 9.2 校准曲线的建立

选择至少 5 个目标元素不同含量的标准样品（6.1）或质控样品（6.2），按照 8.3 进行样品制备，其中粉末压片法选择同类别的标准样品（6.1）或质控样品（6.2）建立校准曲线。根据 9.1 所设定的测试条件，依次用能量色散 X 射线荧光光谱仪（7.1）完成测定，使用基本参数法理论计算得到目标元素的计算含量值（Raw FP），以计算含量值（Raw FP）为横坐标，标准样品（6.1）或质控样品（6.2）中目标元素的标准值或定值为纵坐标，建立校准曲线，校准曲线线性相关系数（ $r$ ）应大于等于 0.99。

### 9.3 样品测定

将采集的固体废物经样品前处理（8.2）和样品制备（8.3）后，使用能量色散 X 射线荧光光谱仪（7.1）根据 9.1 所设定的测试条件，使用基本参数法理论计算得到固体废物中待测元素的计算含量值（Raw FP），经校准曲线（9.2）递归得到样品中待测元素的含量。

## 10 结果计算与表示

### 10.1 结果计算

样品中目标元素的含量  $\omega_i$ ，以质量分数计，单位为毫克每千克（mg/kg）或百分数（%），按式（2）计算。

$$\omega_i = k \times \text{RawFP}_{E_i} + b \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $\omega_i$ ——固体废物样品中目标元素的含量，单位为毫克每千克（mg/kg）或百分数（%）；
- $\text{RawFP}_{E_i}$ ——某目标元素  $E_i$  基本参数法计算含量值，单位为毫克每千克（mg/kg）或百分数（%）；
- $k$ ——校准曲线斜率；
- $b$ ——校准曲线截距，单位为毫克每千克（mg/kg）或百分数（%）。

### 10.2 结果表示

30种无机元素以单质形式表示，单位为毫克每千克（mg/kg），结果表示规则如下：

当含量 $\geq 100$  mg/kg，保留至整数位；

当含量 $< 100$  mg/kg，保留至小数点后两位；

7种氧化物以氧化物形式表示，单位为百分比（%），保留至小数点后两位。

## 11 准确度

### 11.1 精密度

同一个样品在重复性条件下测定 6 次的相对标准偏差应满足表 1 要求。

表1 精密度要求

质量分数范围	相对标准偏差 (%)
测定下限~10.00 mg/kg	≤25%
10.00 mg/kg-100 mg/kg	≤20%
100 mg/kg~1000 mg/kg	≤10%
≥1000 mg/kg	≤5%

### 11.2 正确度

标准样品（或质控样品）的测定值和标准值（或定值）的相对误差应满足表 2 要求。

表2 正确度要求

质量分数范围	相对误差 (%)
测定下限~10 mg/kg	-30%~30%
10 mg/kg~100 mg/kg	-20%~20%
100 mg/kg~1%	-15%~15%
1%~5%	-10%~10%
>5%	-7.5%~7.5%

## 12 质量保证与质量控制

### 12.1 精密度

每批样品应进行 5% 的平行样测定，当样品数量小于 10 个时，应测定 1 个平行样，测定结果的相对相差应满足表 3 要求。否则应进行仪器漂移校正或重新绘制校准曲线。

表3 质量控制的精密度要求

质量分数范围	相对相差 (%)
测定下限~10 mg/kg	≤30%
10 mg/kg~100 mg/kg	≤25%
100 mg/kg~1%	≤15%
1%~5%	≤10%
>5%	≤7.5%

### 12.2 正确度

每批样品分析时应至少测定一个有证标准物质，其测定值与有证标准物质标准值的相对误差应满

足表 2 要求。否则应进行仪器漂移校正或重新绘制校准曲线。

### 13 注意事项

13.1 拿取样品时应避免接触样品片测试面，以防测试面受到污染。

13.2 定期对测量仪器进行漂移校正，更换光管、探测器后应进行漂移校正或重新绘制校准曲线。

13.3 当待测元素浓度超出校准曲线范围时，需扩展校准曲线浓度范围，也可以将待测样品与分析纯二氧化硅试剂按照一定比例稀释并混合均匀后测定，测定结果根据稀释比例进行换算。

13.4 固体废物可能具有毒性、易燃性、反应性、腐蚀性、感染性，测试人员应根据固体废物来源做好防护措施。

13.5 充分考虑取样代表性，在固体废物性状不均匀的情况下，应考虑加大样品取样量获得取样代表性。

13.6 当欠缺标准样品的情况下，可以考虑标准添加制成质控样品。



附 录 A  
(资料性)  
方法检出限和测定下限

A.1 压片法元素方法检出限和测定下限见表 A.1。

表A.1 压片法元素方法检出限和测定下限

元素/氧化物	特征谱线	方法检出限	测定下限
Na <sub>2</sub> O	K <sub>α</sub>	0.05	0.20
MgO	K <sub>α</sub>	0.05	0.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>α</sub>	0.10	0.33
SiO <sub>2</sub>	K <sub>α</sub>	0.12	0.40
K <sub>2</sub> O	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.01	0.033
CaO	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.006	0.020
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.003	0.010
P	K <sub>α</sub>	30	90
S	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	20	60
Cl	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	15	50
Ti	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	6	20
V	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	6	20
Cr	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	6	20
Mn	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	6	20
Co	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	5	15
Ni	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Cu	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Zn	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
As	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Se	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Br	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Sr	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Zr	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Mo	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Pd	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.2	0.6
Ag	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.2	0.6
Cd	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.1	0.4
In	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.5	1.5
Sn	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.5	1.5
Sb	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.5	1.5
Te	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
I	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Ba	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3

Pt	L $\alpha$ 、L $\beta$	0.2	0.6
Hg	L $\alpha$ 、L $\beta$	0.5	1.5
Tl	L $\alpha$ 、L $\beta$	0.5	1.5
Pb	L $\alpha$ 、L $\beta$	1	3.3

注：氧化物质量分数的单位为%，单质元素质量分数的单位为 mg/kg。

## A.2 熔融玻璃片法检出限和测定下限见表 A.2。

表A.2 熔融玻璃片法方法检出限和测定下限

元素/氧化物	特征谱线	方法检出限	测定下限
Na <sub>2</sub> O	K <sub>α</sub>	0.05	0.17
MgO	K <sub>α</sub>	0.12	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>α</sub>	0.10	0.33
SiO <sub>2</sub>	K <sub>α</sub>	0.10	0.33
K <sub>2</sub> O	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.015	0.050
CaO	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.015	0.050
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.005	0.017
P	K <sub>α</sub>	20	66
Ti	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	12	40
V	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	12	40
Cr	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	12	40
Mn	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	12	40
Co	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	7	23
Ni	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	7	23
Cu	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	7	23
Zn	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	7	23
As	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	2	7
Se	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Sr	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Zr	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Mo	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	3	10
Pd	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Ag	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Cd	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	0.2	0.7
In	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Sn	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Sb	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Te	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Ba	K <sub>α</sub> , K <sub>β</sub>	1	3.3
Pt	L <sub>α</sub> , L <sub>β</sub>	1	3.3
Tl	L <sub>α</sub> , L <sub>β</sub>	1	3.3
Pb	L <sub>α</sub> , L <sub>β</sub>	2	7

注 1: 氧化物质量分数的单位为%, 单质元素质量分数的单位为 mg/kg。

注 2: S、Cl、Br、Hg、I 等元素在高温下容易挥发, 造成含量损失, 熔融玻璃片法不测定该 5 种元素。

注 3: 熔融玻璃片法方法检出限和测定下限按照熔剂比 1:10 换算得到。

## 附录 B

(资料性)

## 能量色散 X 射线荧光光谱仪测定条件示例

表B.1 单波长激发-能量色散 X 射线荧光光谱仪测定条件示例 1

元素 (或氧化物)	X光管电压及电流		原级射线过滤	光路介质	探测器	测量时间 (s)
	kV	$\mu$ A	双曲面弯晶			
Na <sub>2</sub> O	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
MgO	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
SiO <sub>2</sub>	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
P	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
S	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
Cl	45	1000	Ge(111)	氢气	SDD	200
K <sub>2</sub> O	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
CaO	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
Ti	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
V	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
Cr	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
Mn	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
Co	45	1000	LiF(200)	氢气	SDD	120
Ni	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Cu	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Zn	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
As	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Se	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Br	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Sr	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Zr	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Mo	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Pd	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Ag	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Cd	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
In	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Sn	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Sb	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Te	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
I	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200

Ba	70	170	Si(111)	氢气	SDD	200
Pt	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Hg	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Tl	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150
Pb	50	200	LiF(220)	氢气	SDD	150

表B.2 能量色散 X 射线荧光光谱仪测定条件示例 2

元素 (或氧化物)	X光管电压及电流		原级射线过滤	光路介质	探测器	测量时间 (s)
	kV	μA	滤光片			
Na <sub>2</sub> O	10	500	Al	氦气/真空	SDD	200
MgO	10	500	Al	氦气/真空	SDD	200
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	300	Al	氦气/真空	SDD	100
SiO <sub>2</sub>	15	300	Al	氦气/真空	SDD	100
P	15	300	Al	氦气/真空	SDD	100
S	15	300	Al	氦气/真空	SDD	100
Cl	15	300	Al	氦气/真空	SDD	100
K <sub>2</sub> O	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
CaO	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
Ti	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
V	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
Cr	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
Mn	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
Co	15	300	Ni	氦气/真空	SDD	150
Ni	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Cu	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Zn	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
As	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Se	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Br	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Sr	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Zr	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Mo	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Pd	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Ag	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Cd	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
In	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Sn	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Sb	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Te	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
I	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Ba	70	170	Cu或Ag	氦气/真空	SDD	200
Pt	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Hg	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Tl	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150
Pb	50	200	Mo或Cu	氦气/真空	SDD	150