

国家市场监督管理总局 发布

**国家标准化管理委员会**

 GB/T 3884.4-202X

代替GB/T 3884.4-2012、GB/T 3884.6-2012

中华人民共和国国家标准

ICS 77.120.30

CCS H 13

202X-XX-XX实施

202X-XX-XX发布

铜精矿、铜渣精矿化学分析方法

 第4部分：铅、锌、镉、镍和氧化 镁含量的测定

火焰原子吸收光谱法

Methods for chemical analysis of copper concentrates and slag concentrates—

Part 4:Determination of lead,zinc,cadmium nickel and magnesium oxide contents—

Flame atomic absorption spectrometry method

**（送审稿）**

1. 前 言

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》的规定起草。

本文件为GB/T 3884的第4部分。GB/T 3384《铜精矿化学分析方法》已经发布了以下部分：

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第1部分：铜含量的测定 碘量法和电解法；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第2部分：金和银含量的测定 火焰原子吸收光谱法和火试金法；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第3部分：硫含量的测定 重量法和燃烧滴定法；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第4部分：铅、锌、镉、镍和氧化镁含量的测定 火焰原子吸收光谱法；

——铜精矿化学分析方法 第5部分：氟量的测定 离子选择电极法；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第7部分：铅和锌含量的测定 Na2EDTA滴定法；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第9部分：砷、锑和铋含量的测定；

——铜精矿化学分析方法 第11部分：汞量的测定 冷原子吸收光谱法；

——铜精矿化学分析方法 第12部分：氟和氯含量的测定 离子色谱法和电位滴定法；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第15部分：总铁和四氧化三铁含量的测定；

——铜精矿、铜渣精矿化学分析方法 第16部分：二氧化硅含量的测定 氟硅酸钾滴定法和重量法；

——铜精矿化学分析方法 第17部分：三氧化二铝量的测定铬天青S胶束增溶光度法和沉淀分离氟盐置换Na2EDTA滴定法；

——铜精矿化学分析方法 第18部分：砷、锑、铋、铅、锌、镍、镉、钴、铬、氧化铝、氧化镁、氧化钙量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法；

——铜精矿化学分析方法 第19部分：铊量的测定 电感耦合等离子体质谱法；

——铜精矿化学分析方法 第20部分：汞量的测定 固体进样直接法；

——铜精矿化学分析方法 第21部分：铜、硫、铅、锌、铁、铝、钙、镁、锰量的测定 波长色散X射线荧光光谱法。

本文件代替GB/T 3884.4-2012《铜精矿化学分析方法 第4部分：氧化镁量的测定 火焰原子吸收光谱法》和GB/T 3884.6-2012《铜精矿化学分析方法 第6部分：铅、锌、镉和镍量的测定 火焰原子吸收光谱法》，与GB/T 3884.4-2012和GB/T 3884.6-2012相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

1. 更改了适用范围：由原来的“铜精矿”调整为“铜精矿及铜渣精矿”，锌、镉、氧化镁的测定范围分别修改为0.020%~2.50 %、0.0020 %～0.50 %和0.050 %~6.50 %（见第1章，GB/T 3884.4-2012的第1章，GB/T 3884.6-2012的第1章）；

b）增加了“规范性引用文件”（见第2章）；

c）更改了铅、锌、镉和镍测定时的样品前处理方式，由“用盐酸分解”修改为“用盐酸、硝酸、氢氟酸、高氯酸分解”（见第4章，GB/T 3884.6-2012的第4章）；

d) 更改了仪器的特征浓度要求（见第6章，GB/T 3884.4-2012的第4章，GB/T 3884.6-2012的第4章）

e）更改了测定中分取试液的分段点（见8.4，GB/T 3884.4-2012的6.4和GB/T 3884.6-2012的6.5）；

f）更改了标准工作曲线的绘制，将分别配制各单元素标准系列修改为为配制混合标准系列（见8.5，GB/T 3884.4-2012的6.5和GB/T 3884.6-2012的6.6）；

g) 更改了精密度数据（见第10章，GB/T 3884.4-2012的第10章，GB/T 3884.6-2012的第10章）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国有色金属工业协会提出。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本文件起草单位：大冶有色设计研究院有限公司、铜陵有色金属集团控股有限公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司、云南铜业股份有限公司、郴州市产商品质量监督检验所、广西金川有色金属有限公司、福建紫金矿冶测试技术有限公司 、广东省科学院工业分析检测中心、中国检验认证集团广西有限公司、中国有色桂林矿产地质研究院有限公司、株洲冶炼集团股份有限公司、五矿铜业(湖南)有限公司、阳新弘盛铜业有限公司、江西铜业铅锌金属有限公司、湖北省地质局第一地质大队、山西北方铜业有限公司、河南中原黄金冶炼厂有限责任公司、湖南省分析测试中心有限公司、长沙矿冶院检测技术有限责任公司、金川集团股份有限公司、云锡文山锌铟冶炼有限公司、浙江华友钴业股份有限公司、云南华联锌铟股份有限公司、北京电子科技职业学院。

本文件起草人：

本文件及所代替文件的历次版本发布情况为：

—2000年首次发布为GB/T 3884.4-2000和GB/T 3884.6-2000，2012年第一次修订；

—本次为第二次修订，将GB/T 3884.4-2012《铜精矿化学分析方法 第4部分：氧化镁量的测定 火焰原子吸收光谱法》和GB/T 3884.6-2012《铜精矿化学分析方法 第6部分：铅、锌、镉和镍量的测定 火焰原子吸收光谱法》的内容进行了整合。

引 言

铜精矿和铜渣精矿是铜的冶炼原料，铜是成为国计民生和国防工程乃至高新技术领域中不可缺少的基础材料和战略物资。目前中国已发展称为全球最大的铜消费国、铜加工制造业基地、铜基础产品输出国，实现了中国铜工业的持续快速发展，并在世界铜行业内充当了重要角色。随着铜量需求不断地增加，铜精矿产量也在不断增加，铜产业的发展前景十分开阔。为落实“国家标准化发展纲要”，深化标准化改革创新，优化存量标准结构，以着力提升标准质量效益，并统筹标准的制定与实施，在广泛开展企业需求调研的基础上，，对GB/T 3884《铜精矿化学分析方法》（共21部分）进行了整合修订。

根据国家标准体系建设规划高质量发展要求，拟对GB/T 3384进行整合修订工作，整合后的GB/T 3884《铜精矿、铜渣精矿化学分析方法》拟由\*个部分构成：

——第1部分：铜含量的测定 碘量法和电解法；

——第2部分：金和银含量的测定 火焰原子吸收光谱法和火试金法；

——第3部分：硫含量的测定 重量法和燃烧滴定法；

——第4部分：铅、锌、镉、镍和氧化镁含量的测定 火焰原子吸收光谱法；

——第5部分：氟量的测定 离子选择电极法；

——第7部分：铅和锌含量的测定 Na2EDTA滴定法；

——第9部分：砷、锑和铋含量的测定；

——第11部分：汞含量的测定 冷原子吸收光谱法和固体进样直接法；

——第12部分：氟和氯含量的测定 离子色谱法和电位滴定法；

——第15部分：总铁和四氧化三铁含量的测定；

——第16部分：二氧化硅含量的测定 氟硅酸钾滴定法和重量法；

——第17部分：三氧化二铝量的测定铬天青S胶束增溶光度法和沉淀分离氟盐置换

Na2EDTA滴定法；

——第18部分：砷、锑、铋、铅、锌、镍、镉、钴、铬、氧化铝、氧化镁、氧化钙量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法；

——第19部分：铊量的测定 电感耦合等离子体质谱法；

——第21部分：铜、硫、铅、锌、铁、铝、钙、镁、锰量的测定 波长色散X射线荧光光谱法。

本文件描述了采用火焰原子吸收光谱法测定铜精矿和铜渣精矿中铅、锌、镉、镍和氧化镁含量的方法。本文件是在GB/T 3884.4-2012《铜精矿化学分析方法 第4部分：氧化镁量的测定 火焰原子吸收光谱法》基础上进行修订，并入了GB/T 3884.6-2012《铜精矿化学分析方法 第6部分：铅、锌、镉和镍量的测定 火焰原子吸收光谱法》，修订后适用于铜精矿和铜渣精矿。

铜精矿、铜渣精矿标准整合修订后，统一了溶样方法、重复性和再现性的数值，对贸易结算和指导生产具有重要的现实性和必要性。

**铜精矿、铜渣精矿化学分析方法**

**第4部分：铅、锌、镉、镍和氧化镁含量的测定**

**火焰原子吸收光谱法**

1 范围

本文件描述了火焰原子吸收光谱法测定铜精矿、铜渣精矿中铅、锌、镉、镍和氧化镁含量的方法。

本文件适用于铜精矿、铜渣精矿中铅、锌、镉、镍和氧化镁含量的测定，测定范围见表1。

表1 测定范围

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | Pb | Zn | Cd | Ni | MgO |
| 测定范围/ % | 0.10～5.00 | 0.020～2.50 | 0.0020～0.50 | 0.010～1.00 | 0.050～6.50 |

2 规范性引用文件

下列文件中内容通过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。

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

3 术语和定义

 本文件没有需要界定的术语和定义。

4 原理

试料用盐酸、硝酸、氢氟酸、高氯酸分解，在稀盐酸介质中，以空气-乙炔火焰，于原子吸收光谱仪上，扣除背景吸收，测量各元素的吸光度，按工作曲线法计算各元素的含量。

5 试剂

除非另有说明，在分析中仅使用确认为分析纯的试剂。

5.1 水，GB/T 6682，二级水。

5.2 盐酸(*ρ*=1.19 g/mL)。

5.3 硝酸(*ρ*=1.42 g/mL)。

5.4 氢氟酸(*ρ*=l.13 g/mL)。

5.5 高氯酸(*ρ*=1.67 g/mL)。

5.6 盐酸（1+1）。

5.7 锶溶液：称取30.43 g氯化锶(SrCl2·6H20)于250 mL烧杯中，加30 mL水、25 mL盐酸(5.6)溶解，移入500 mL容量瓶中，用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含20 mg锶。

5.8 铅标准贮存溶液：称取1.000 0 g金属铅（Pb ≥99.99%）于200 mL烧杯中，加入10 mL硝酸（1+1），盖上表面皿，置于电热板上低温加热至完全溶解，煮沸驱除氮化物，冷却至室温，移入500 mL容量瓶中，加20 mL硝酸（1+1），用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含2 mg铅（或购买有证铅标准溶液）。

5.9 锌标准贮存溶液：称取1.000 0 g金属锌（Zn≥99.99%）于200 mL烧杯中，加入10 mL硝酸（1+1），盖上表面皿，置于电热板上低温加热至完全溶解，煮沸驱除氮化物，冷却至室温，移入1 000 mL容量瓶中，加20 mL硝酸（1+1），用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含1 mg锌（或购买有证锌标准溶液）。

5.10 镉标准贮存溶液：称取1.000 0 g金属镉（Cd≥99.99%）于200 mL烧杯中，加入10 mL硝酸（1+1），盖上表面皿，置于电热板上低温加热至完全溶解，煮沸驱除氮化物，冷却至室温，移入1 000 mL容量瓶中，用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含1 mg镉（或购买有证镉标准溶液）。

5.11 镍标准贮存溶液：称取1.000 0 g金属镍（Ni≥99.99%）于200 mL烧杯中，加入10 mL硝酸（1+1），盖上表面皿，置于电热板上低温加热至完全溶解，煮沸驱除氮化物，冷却至室温，移入1 000 mL容量瓶中，用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含1 mg镍（或购买有证镍标准溶液）。

5.12 镁标准贮存溶液：称取1.6583 g (MgO≥99.99%)预先在600 ℃灼烧1 h冷却后的氧化镁于250 mL烧杯中，加入少量水润湿，慢慢加入20 mL盐酸(5.6)，待溶解完全后，加热煮沸，移入1 000 mL容量瓶中，用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含1 mg镁（或购买有证镁标准溶液）。

5.13 镉标准溶液：移取20.00mL镉标准贮存溶液（5.10）于100 mL容量瓶中，加入10 mL硝酸（1+1），用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL含200 μg镉。

5.14 铅、锌、镉、镍和镁混合标准溶液：分别移取10.00 mL铅标准贮存溶液（5.8）、10.00 mL镁标准贮存溶液（5.12）、5.00 mL锌标准贮存溶液（5.9）、5.00 mL镍标准贮存溶液（5.11）和10.00 mL镉标准溶液（5.13）于100 mL容量瓶中，加入10 mL硝酸（1+1），用水稀释至刻度，混匀。此溶液1 mL分别含200 μg铅、100 μg镁、50 μg锌、50 μg镍和20 μg镉。

6 仪器

原子吸收光谱仪，附有铅、锌、镉、镍和镁空心阴极灯，仪器应带扣除背景装置。

在仪器最佳工作条件下，凡能达到下列指标者均可使用：

——特征浓度：在与测量溶液基体相一致的溶液中，铅、锌、镉、镍和氧化镁（燃烧器转角）的特征浓度应分别不大于0.30 μg/mL，0.015 μg/mL，0.025 μg/mL，0.050 μg/mL和0.050 μg/mL。

——精密度：用最高浓度的标准溶液测量10次吸光度，其标准偏差应不超过平均吸光度的1.0%；用最低浓度的标准溶液(不是“零”标准溶液)测量10次吸光度，其标准偏差应不超过最高标准溶液平均吸光度的0.5 %。

——工作曲线线性：将工作曲线按浓度等分成五段，最高段的吸光度差值与最低段的吸光度差值之比应不小于0.70倍。

——各元素推荐波长见表2。

表2 测定元素推荐波长

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | Pb | Zn | Cd | Ni | Mg |
| 波长 /nm | 283.3 | 213.9 | 228.8 | 232.0 | 285.2 |

7 样品

7.1 样品粒度应不大于100 μm。

7.2 样品应在100 ℃～105 ℃的烘箱中烘1 h，并置于干燥器中冷却至室温备用。

8 分析步骤

8.1 样品

称取0.20 g样品（7.1），精确至0.0001 g。

8.2 平行试验

平行进行两次试验，取其平均值。

8.3 空白试验

随同试料做空白试验。

8.4 测定

8.4.1将试料(8.1 ) 置于150 mL聚四氟乙烯烧杯中，加入少量水润湿，加入10 mL盐酸(5.2)，置于电热板上低温加热5 min，加入5 mL硝酸（5.3），加热溶解，加入5 mL氢氟酸（5.4），低温溶解，加入5 mL高氯酸（5.5），继续加热至冒浓烟**［**如有黑色残渣，可补加2 mL硝酸（5.3），3 mL 高氯酸(5.5)，加盖聚四氟乙烯杯盖，继续加热至冒浓烟至样品无黑渣**］**，蒸至湿盐状，取下稍冷。

8.4.2 加入20 mL盐酸(5.6)，少量水，加热使盐类完全溶解，取下冷却至室温。

8.4.3 将溶液移入100 mL容量瓶中，【**氧化镁测定的试液加入2 mL锶溶液（5.7）**】，用水稀释至刻度，混匀。

8.4.4 按表3分取试液并补加盐酸(5.6)于合适的容量瓶中，【**氧化镁测定的试液加入2 mL锶溶液（5.7）**】，用水稀释至刻度，混匀。

表3 试液分取体积、测定体积及盐酸补加体积

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素含量% | 试液分取体积mL | 测定体积mL | 盐酸（5.6）补加体积mL |
| Pb 0.10～0.50Zn 0.020～0.10Ni 0.010～0.10Cd 0.0020～0.050MgO 0.050～0.40MgO 0.060～0.10 | — | 100 | — |
| Pb ≥ 0.50～5.00Zn ≥0.10～1.00Ni ≥0.10～1.00Cd ≥0.050～0.50MgO ≥0.40～4.00 | 10.00 | 100 | 18.0 |
| Zn ≥1.00～2.50MgO ≥4.00～6.50 | 5.00 | 100 | 19.0 |

8.4.5 在原子吸收光谱仪按表2所列波长处，使用空气一乙炔火焰，以水调零，分别测量铅、锌、镍、镉和镁溶液吸光度，从工作曲线上查出相应的待测元素的浓度。（测定镁和锌时燃烧器需转角）

8.5 工作曲线的绘制

 8.5.1移取0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL、5.00 mL铅、锌、镉、镍、镁混合标准溶液（5.14）分别置于一组100 mL容量瓶中，加入20 mL盐酸(5.6)，2 mL锶溶液（5.7）用水稀释至刻度，混匀。各元素工作曲线见表4：

表4 各元素工作曲线

|  |  |
| --- | --- |
| 元素 | 标准点浓度 μg/mL |
| Pb | 0.00 | 1.00 | 2.00 | 4.00 | 6.00 | 8.00 | 10.00 |
| Zn | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |
| Ni | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |
| Cd | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.40 | 0.60 | 0.80 | 1.00 |
| Mg | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 |

8.5.2 在与试料溶液测定相同的条件下，测量溶液的吸光度，减去“零”浓度溶液的吸光度为纵坐标，以待测元素浓度为横坐标，分别绘制铅、锌、镉、镍和镁的工作曲线。

9 试验数据处理

铅、锌、镉、镍、镁的含量以质量分数*wx*计，按公式（1）计算：

 ………………………… (1)

式中：

*x* —待测元素（铅、锌、镉、镍、镁）；

*c* —自工作曲线上查得的测定试料中待测元素的质量浓度，单位为微克每毫升（μg /mL）；

*c*0 —自工作曲线上查得的空白试液中待测元素的质量浓度，单位为微克每毫升（μg /mL）；

*V* —试液定容体积，单位为毫升（mL）；

*V*1 —试液分取体积, 单位为毫升（mL）；

*m*0 —试料的质量，单位为克（g）；

*V*2 —试液稀释体积，单位为毫升（mL）；

镁的含量以氧化镁质量分数*w*MgO计时，按公式（1）计算后乘以系数1.6583；

（1.6583 — 氧化镁对镁的换算系数）。

计算结果表示至小数点后两位。若各元素的含量小于0.10％时，表示至小数点后三位，若含量小于0.010%时，表示至小数点后四位。

数值修约按照GB/T 8170规则进行。

10 精密度

10.1 重复性

在重复性条件下获得的两个独立测试结果的测定值，在表5给出的平均值范围内，这两个测试结果的绝对差值不超过重复性限（*r*），超过重复性限（*r*）的情况不超过5％。重复性限（*r*）按表5采用线性内插法或外延法获得。试验原始数据见附录A。

表5 重复性限

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *w*Pb /％ | 0.090 | 0.95 | 1.83 | 2.90 | 4.40 | － |
| *r* /％ | 0.007 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.19 | － |
| *w*Zn /％ | 0.023 | 0.10 | 0.66 | 1.63 | 2.33 | － |
| *r* /％ | 0.004 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.10 | － |
| *w*Cd /％ | 0.0026 | 0.013 | 0.063 | 0.26 | 0.43 | － |
| *r*/％ | 0.0004 | 0.001 | 0.004 | 0.02 | 0.03 | － |
| *w*Ni /％ | 0.011 | 0.077 | 0.27 | 0.48 | 0.90 | － |
| *r* /％ | 0.002 | 0.005 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | － |
| *w*MgO /％ | 0.063 | 0.53 | 1.15 | 3.41 | 5.04 | 6.57 |
| *r* /％ | 0.005 | 0.04 | 0.06 | 0.13 | 0.19 | 0.24 |

10.2 再现性

在再现性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，在表6给出的平均值范围内，这两个测试结果的绝对差值不超过再现性限（*R*），超过再现性限（*R*）的情况不超过5%，再现性限（*R*）按表6数据采用线性内插法或外延法求得。试验原始数据见附录A。

表6 再现性限

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *w*Pb /％ | 0.090 | 0.95 | 1.83 | 2.90 | 4.40 | － |
| *R* /％ | 0.011 | 0.08 | 0.11 | 0.17 | 0.27 | － |
| *w*Zn /％ | 0.023 | 0.10 | 0.66 | 1.63 | 2.33 | － |
| *R* /％ | 0.005 | 0.03 | 0.05 | 0.12 | 0.17 | － |
| *w*Cd /％ | 0.0026 | 0.013 | 0.063 | 0.26 | 0.43 | － |
| *R* /％ | 0.0005 | 0.003 | 0.011 | 0.05 | 0.08 | － |
| *w*Ni /％ | 0.011 | 0.077 | 0.27 | 0.48 | 0.90 | － |
| *R* /％ | 0.005 | 0.008 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | － |
| *w*MgO /％ | 0.063 | 0.53 | 1.15 | 3.41 | 5.04 | 6.57 |
| *R*/％ | 0.009 | 0.07 | 0.09 | 0.18 | 0.25 | 0.31 |

11 试验报告

试验报告应至少给出以下内容：

──试验对象；

──本文件的编号；

──分析结果及其表示；

──与基本分析步骤的差异；

──观察到的异常现象；

──试验日期。

附 录 A

（资料性）

精密度数据是在2024年由24家实验室对 12 个不同水平的样品进行共同试验确定。每个实验室对每个水平的样品在重复性条件下独立测定11次。测定的原始数据见表A.1。

表A.1 精密度统计数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 水平 | 数据接受实验室总数 | 试验数据接受总数 | 总平均值% | 重复性标准偏差（*Sr*） | 再现性标准偏差（*SR*） | 重复性限（*r*）/% | 再现性限（*R*）/% |
| Pb | 1 | 24 | 264 | 0.090 | 0.002453333 | 0.003831029 | 0.007 | 0.011 |
| 2 | 24 | 264 | 0.95 | 0.019373869 | 0.029312488 | 0.05 | 0.08 |
| 3 | 22 | 242 | 1.83 | 0.027217398 | 0.039801667 | 0.07 | 0.11 |
| 4 | 23 | 253 | 2.90 | 0.029714274 | 0.048182168 | 0.11 | 0.17 |
| 5 | 23 | 253 | 4.40 | 0.065549031 | 0.093850178 | 0.19 | 0.27 |
| Zn | 1 | 23 | 253 | 0.023 | 0.000884557 | 0.001473343 | 0.004 | 0.005 |
| 2 | 22 | 242 | 0.10 | 0.00233558 | 0.0039579  | 0.01 | 0.03 |
| 3 | 22 | 242 | 0.65 | 0.01274968 | 0.017660183 | 0.03 | 0.05 |
| 4 | 22 | 242 | 1.63 | 0.022934345 | 0.045648843 | 0.07 | 0.12 |
| 5 | 22 | 242 | 2.33 | 0.035910549 | 0.060573394 | 0.10 | 0.17 |
| Cd | 1 | 24 | 264 | 0.0026 | 0.00011956 | 0.000391868 | 0.0004 | 0.0005 |
| 2 | 24 | 264 | 0.013 | 0.000403027 | 0.000681211 | 0.001 | 0.003 |
| 3 | 23 | 253 | 0.063 | 0.001026011 | 0.001487458 | 0.004 | 0.011 |
| 4 | 22 | 242 | 0.26 | 0.0050868  | 0.009158768 | 0.02 | 0.05 |
| 5 | 23 | 253 | 0.43 | 0.009182437 | 0.013977869 | 0.03 | 0.08 |
| Ni | 1 | 23 | 253 | 0.011 | 0.000603731 | 0.002687988 | 0.002 | 0.005 |
| 2 | 22 | 242 | 0.077 | 0.001760372 | 0.003002838 | 0.005 | 0.008 |
| 3 | 24 | 264 | 0.27 | 0.007132821 | 0.010379883 | 0.02 | 0.03 |
| 4 | 22 | 242 | 0.48 | 0.01025852  | 0.014233161 | 0.03 | 0.04 |
| 5 | 22 | 242 | 0.90 | 0.0129639 | 0.017871603 | 0.04 | 0.06 |
| MgO | 1 | 20 | 220 | 0.063 | 0.001741242 | 0.003273011 | 0.005 | 0.009 |
| 2 | 24 | 264 | 0.53 | 0.012770999 | 0.025665441 | 0.04 | 0.07 |
| 3 | 24 | 264 | 1.15 | 0.021563091 | 0.036371147 | 0.06 | 0.09 |
| 4 | 22 | 242 | 3.41 | 0.069445221 | 0.082755947 | 0.13 | 0.18 |
| 5 | 22 | 242 | 5.04 | 0.055572995 | 0.085299286 | 0.19 | 0.25 |
| 6 | 22 | 242 | 6.57 | 0.080923123 | 0.103253266 | 0.24 | 0.31 |