

使用Hansel iQuad 2300 ICP-MS 对化妆品中铅砷汞镉4种元素进行分析

作者 孟廷 衡昇质谱（北京）仪器有限公司

使用 KED 模式对化妆品中铅砷汞镉 4 种元素定量分析



前言

化妆品是人们日常生活中广泛使用的产品，其质量和安全性直接影响消费者的健康。随着对化妆品安全性的关注不断提高，重金属污染已成为行业监管和消费者关注的焦点。金属元素可能来源于原材料、生产工艺或包装材料，一旦超标，可能对人体健康造成危害。

某些金属元素，如铅（Pb）、汞（Hg）、镉（Cd）和砷（As），在超标情况下可能对人体健康造成严重危害。例如，铅可能引起神经系统损伤，汞会影响肾脏和神经系统，镉具有致癌性，而砷可能导致皮肤病变和癌症。长期接触这些有害金属会增加慢性中毒的风险，特别是对于孕妇、婴幼儿和敏感人群而言，危害更为严重。

因此，对化妆品中金属元素的检测至关重要。

全球多个国家和地区都对化妆品中的金属元素限量做出了规定。例如，欧盟《化妆品法规》（EC 1223/2009）严格限制重金属的含量，美国 FDA 也对某些化妆品中的铅含量进行了监管，中国《化妆品安

全技术规范》对多种有害金属元素进行了限制。

化妆品中金属元素的检测主要采用原子吸收光谱法（AAS）、电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）和电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）等。原子吸收光谱法（AAS）：适用于检测微量金属元素，如铅、镉等；电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）：具有更高的灵敏度和准确度，能检测超痕量金属元素。通过科学检测和严格监管，可以最大程度地减少化妆品中的金属污染风险，让消费者能够安全、放心地使用各类美容产品。

本文参照《化妆品安全技术规范》，使用 iQuad 2300 对散粉和口红中铅、砷、汞、镉 4 种金属元素进行检测。

实验部分

样品和试剂

文中检测使用样品为客户提供的散粉、口红。参考《化妆品安全技术规范》对样品进行消解和测试。

用硝酸（BV-III，化学试剂研究所生产）进行微波消解和标准品/样品前处理。使用 18.2 MΩ·cm (Millipore, Bedford, MA, USA) 去离子水 (DIW) 进行所有稀释。

标样

铅、砷、汞、镉、金、锗、铟和铋单元素标准溶液（中科睿谱）。每组校准标样单独配制。

样品前处理

称取 0.3g~0.4g 的样品于微波消解罐中，加入 1ml 双氧水和 6ml 硝酸，混匀后按照表 1 的消解程序进行微波消解。消解结束后取出消解罐，冷却至室温后，转移至 50mL 离心管中，用 2% 的硝酸定容至刻线，待测。

表 1. 微波消解程序

温度 (°C)	程序升温时间 (min)	保持时间 (min)
120	0	2
150	0	2
170	0	2
190	0	25

仪器

M6 微波消解仪（屹尧科技）

iQuad 2300 ICP-MS（衡昇质谱）

使用 ICP-MS 软件内的自动调谐功能对 ICP-MS 进行优化，优化完成后再将样品引入系统。所用仪器运行条件如表 2 所示。

表 2. 2300 ICP-MS 运行条件

参数	设置
雾化器	玻璃同心雾化器
雾室	玻璃旋流雾室
锥	镍锥
等离子气流量	14L/min
辅助气流量	0.8L/min
RF功率	1500W
驻留时间	0.05s
重复测量次数	3
电子稀释倍数	0
测量模式	动能歧视模式（He碰撞模式）

结果与讨论

标准曲线

将 4 种元素的混合标准溶液用 2% 的硝酸稀释，为了确保汞的稳定性，添加最终浓度为 200μg/L 的金元素到汞标准曲线溶液中。

4 种元素的线性相关性良好，相关系数 R^2 均大于 0.9998。表 3 统计了 13 种元素的测量范围和推荐使用的内标。

表 3. 标准曲线测量范围和内标

测量元素	测量范围	内标
As	0~50 μg/L	74Ge
Cd	0~50 μg/L	115In
Hg（含200μg/L Au）	0~5 μg/L	209Bi
Pb	0~50 μg/L	209Bi

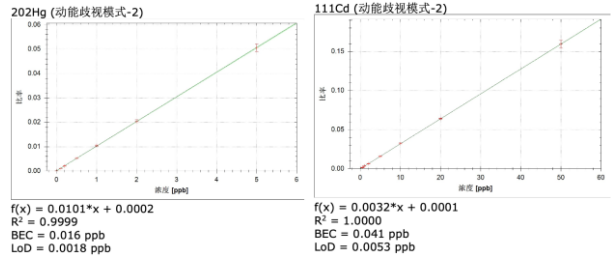
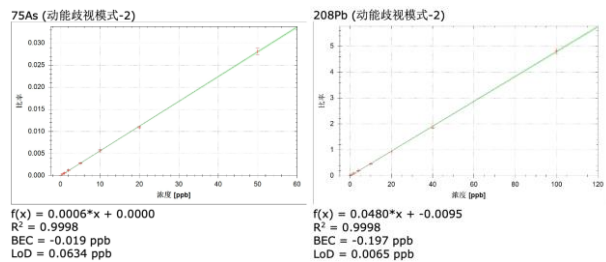


图 1.4 种元素的校准曲线

正确度和加标回收率

为验证 As、Hg、Pb、Cd 四种元素分析的可靠性，对这 4 种元素进行加标回收率测试。分别对样品进行低、中、高三种不同浓度的加标，计算每个元素的加标回收率，如表 5 和表 6 所列。各种浓度下所有元素的回收率均处于 85%–103% 范围内，表明重金属元素的分析结果可靠。

表 5. 散粉中重金属回收率实验结果（单位：μg/kg）

元素	75As	111Cd	202Hg	208Pb
线性 R^2	0.9998	0.9999	0.9999	0.9998
散粉	0.829	0.131	3.549	0.120
低浓度加标结果	2.69	1.11	8.32	0.616
中浓度加标结果	4.78	2.23	13.5	1.12
高浓度加标结果	8.62	4.03	22.9	2.08
加标值 1	2.0	1	5	0.5
加标值 2	4	2	10	1
加标值 3	8	4	20	2
加标回收率 1	93.0%	98.0%	95.5%	99.2%
加标回收率 2	98.7%	104.9%	99.7%	99.6%
加标回收率 3	97.3%	97.5%	96.7%	97.8%

表 6. 口红中重金属回收率实验结果（单位：μg/kg）

元素	75As	111Cd	202Hg	208Pb
线性 R^2	0.9998	0.9999	0.9999	0.9998
口红	2.192	0.111	2.686	ND
低浓度加标结果	3.900	1.096	7.152	0.503
中浓度加标结果	5.985	2.103	12.201	1.010
高浓度加标结果	9.707	4.021	21.793	1.957
加标值 1	2	1	5	0.5
加标值 2	4	2	10	1
加标值 3	8	4	20	2
加标回收率 1	85.4%	98.5%	89.3%	101.0%
加标回收率 2	94.8%	99.6%	95.2%	101.3%
加标回收率 3	93.9%	97.8%	95.5%	98.0%

结论

iQUad 2300 凭借其独特的六级杆碰撞反应池，不仅高灵敏度、低检测限和宽动态范围的优势，还能有效去除大部分干扰离子，为化妆品中痕量及超痕量金属元素的准确定量提供了可靠的技术支撑。实验结果表明，该方法能够有效克服化妆品复杂基体的干扰，同时实现多元素（如铅、汞、砷、镉等）的高效同步检测，检测结果精密度和加标回收率（85%–103%）均符合国际标准要求。相较于传统原子吸收光谱法（AAS）或原子荧光光谱法（AFS），ICP-MS 在检测效率与数据准确性方面展现出显著优越性，尤其适用于法规限量日趋严格背景下的化妆品质量安全控制。通过该方法建立的标准检测流程，不仅为生产企业优化原料筛选与生产工艺提供了科学依据，也为监管部门强化市场监管、保障消费者健康权益奠定了技术基础。未来，随着仪器自动化与联用技术的进一步发展，ICP-MS 在化妆品安全评价中的应用潜力将进一步提升，推动行业向更精准化、透明化的方向迈进。