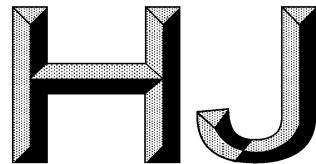


ICS 13.060.50

CCS Z 10



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1452—2026

水质 铝的测定

石墨炉原子吸收分光光度法

Water quality—Determination of aluminum
—Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry

本电子版为正式标准文件，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2026-01-20发布

2026-05-01实施

生态 环 境 部 发 布

目 次

前言	II
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 方法原理	1
5 干扰和消除	1
6 试剂和材料	2
7 仪器和设备	2
8 样品	3
9 分析步骤	4
10 结果计算与表示	5
11 准确度	5
12 质量保证和质量控制	6
13 注意事项	7
附录A (资料性附录) 标准加入法	8
附录B (资料性附录) 方法的准确度	10

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》，防治生态环境污染，改善生态环境质量，规范水中铝的测定方法，制定本标准。

本标准规定了测定地表水、地下水、生活污水和工业废水中可溶性铝和总铝的石墨炉原子吸收分光度法。

本标准为首次发布。

本标准的附录 A 和附录 B 为资料性附录。

本标准由生态环境部生态环境监测司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：江苏省常州环境监测中心。

本标准验证单位：江苏省环境监测中心、江苏省南京环境监测中心、江苏省镇江环境监测中心、江苏省泰州环境监测中心、辽宁省大连生态环境监测中心、常州市疾病预防控制中心。

本标准生态环境部 2026 年 1 月 20 日批准。

本标准自 2026 年 5 月 1 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

水质 铝的测定 石墨炉原子吸收分光光度法

警告：实验过程中使用的浓硝酸和浓盐酸具有强烈的腐蚀性和挥发性，试剂配制和样品前处理应在通风橱中操作，操作时应按要求佩戴防护器具，避免吸入呼吸道或接触皮肤和衣物。

1 适用范围

本标准规定了测定水中铝的石墨炉原子吸收分光光度法。

本标准适用于地表水、地下水、生活污水和工业废水中可溶性铝和总铝的测定。

当进样体积为 20 μL 时，309.3 nm 波长下测定可溶性铝、总铝的方法检出限均为 2 μg/L，测定下限均为 8 μg/L。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注日期的引用标准，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用标准，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的，新文件适用于本标准。

HJ 91.1 污水监测技术规范

HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范

HJ 164 地下水环境监测技术规范

HJ 678 水质 金属总量的消解 微波消解法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 可溶性铝 soluble aluminum

未经酸化的样品经 0.45 μm 滤膜过滤后所测定的铝。

3.2 总铝 total quantity of aluminum

未经过滤的样品经消解后测定的铝。

4 方法原理

样品经过滤或消解后注入石墨炉原子化器，经干燥、灰化和原子化，形成铝基态原子蒸气，对铝空心阴极灯或其他光源发射的特征谱线产生选择性吸收，在一定范围内其吸光度值与铝的质量浓度成正比。

5 干扰和消除

5.1 样品中浓度低于 100 mg/L 的 Ca、Fe、Mn、Cu、Zn、Ni、Co、Cd、Pb、Sn、Cr 和浓度低于 1 000 mg/L

的 K⁺、Na⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻对测定结果无显著影响。

5.2 通过测定加标回收率判断是否存在基体干扰。当样品基体干扰严重时，可采用标准加入法测定，参见附录 A。

6 试剂和材料

除非另有说明，分析时均使用符合国家标准的优级纯试剂，实验用水为蒸馏水或去离子水，应满足实验室空白要求。

6.1 硝酸 (HNO₃): $\rho=1.4 \text{ g/mL}$, $w\in[65.0\%, 68.0\%]$ 。

6.2 盐酸 (HCl): $\rho=1.18 \text{ g/mL}$, $w\in[36.0\%, 38.0\%]$ 。

6.3 硝酸镁 [Mg(NO₃)₂·6H₂O]。

6.4 硫酸铝钾 [KAl(SO₄)₂·12H₂O]。

6.5 高纯金属铝：纯度 99.99% 以上的铝片或铝丝。

6.6 硝酸溶液。

硝酸（6.1）和水按 1:199 的体积比混合，临用现配。

6.7 基体改进剂: $\rho[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2]=0.5 \text{ g/L}$ 。

称取 0.865 g 硝酸镁（6.3），置于聚乙烯或聚丙烯烧杯中，加入少量水溶解，全量转移至 1 000 mL 聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用水定容至标线，摇匀，转入聚乙烯或聚丙烯试剂瓶中，在 4℃以下冷藏密封保存，保存期为 180 d。也可使用市售有证标准溶液，按照标准溶液证书要求保存。

注：不同仪器推荐的基体改进剂可能存在差异，亦可选用经方法验证有效的其他基体改进剂，但需确保其分析性能符合标准要求。

6.8 标准贮备液: $\rho(\text{Al})=1000 \text{ mg/L}$ 。

准确称取硫酸铝钾（6.4）8.792 g（精确至 0.1 mg），置于聚乙烯或聚丙烯烧杯中，用少量水完全溶解后，全量转移至 500 mL 聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用水定容至标线，摇匀，转入聚乙烯或聚丙烯试剂瓶中保存；或准确称取高纯金属铝（6.5）0.500 g（精确至 0.1 mg），于 10 mL 盐酸（6.2）中溶解完全，全量转移至 500 mL 聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用水定容至标线，混匀，转入聚乙烯或聚丙烯试剂瓶中。以上两种实验室自制的标准贮备液在 4℃以下冷藏密封保存，保存期为 2 a。也可直接购买市售有证标准溶液，按照标准溶液证书要求保存。

注：使用高纯金属铝配制标准贮备液时，需用硝酸溶液（6.6）清洗或者用 1 000 目以上水磨砂纸去除表面的污染物，再用无水乙醇冲洗干净。

6.9 标准中间液: $\rho(\text{Al})=10.0 \text{ mg/L}$ 。

准确移取 1.00 mL 标准贮备液（6.8）于 100 mL 聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用硝酸溶液（6.6）稀释至标线，摇匀，转入聚乙烯或聚丙烯试剂瓶中，在 4℃以下冷藏密封保存，保存期为 180 d。

6.10 标准使用液: $\rho(\text{Al})=0.500 \text{ mg/L}$ 。

准确移取 5.00 mL 标准中间液（6.9）于 100 mL 聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用硝酸溶液（6.6）稀释至标线，摇匀，转入聚乙烯或聚丙烯试剂瓶中，在 4℃以下冷藏密封保存，保存期为 30 d。

6.11 氩气：纯度 $\geq 99.99\%$ 。

6.12 滤膜：醋酸纤维、聚乙烯等水系微孔滤膜，孔径 0.45 μm 。

7 仪器和设备

7.1 样品瓶：具盖，聚乙烯、聚丙烯等材质。

7.2 石墨炉原子吸收分光光度计：具备背景校正功能。

- 7.3 光源：铝空心阴极灯或具有 309.3 nm 波长的其他光源。
- 7.4 热解涂层石墨管。
- 7.5 电热消解仪：具有温控功能（温控精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ），最高可控温度大于 180℃。
- 7.6 微波消解仪：具有可编程控制功能，输出功率 $\geq 600\text{ W}$ ，温控精度 $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ，配备具有自动泄压功能的聚四氟乙烯等类似材质的微波消解罐。
- 7.7 离心机：转速可达到 3 000 r/min 以上。
- 7.8 消解器皿：150 mL，具盖，聚四氟乙烯等类似材质。
- 7.9 一般实验室常用仪器和设备。

8 样品

8.1 样品的采集

按照 HJ 91.1、HJ 91.2 和 HJ 164 的相关规定采集样品，测定可溶性铝和总铝的样品应分别采集。可溶性铝样品采集时先用滤膜（6.12）过滤，弃去初始滤液，收集至少 250 mL 滤液于样品瓶（7.1）中；总铝样品不过滤直接采集至少 250 mL 水样于样品瓶（7.1）中。

8.2 样品的保存

可溶性铝或总铝样品采集后储存于样品瓶（7.1）中，加入适量硝酸（6.1），将酸度调节至 pH 值 ≤ 2 ，30 d 内测定。

8.3 试样的制备

8.3.1 可溶性铝

直接采用可溶性铝样品（8.2）作为试样待测。

8.3.2 总铝

8.3.2.1 电热消解法

准确量取 50.0 mL 混合均匀的总铝样品（8.2）于消解器皿（7.8）中，加入 6 mL 硝酸（6.1）和 2 mL 盐酸（6.2），置于电热消解仪（7.5）上，盖上消解器皿（7.8）盖子，在微沸状态（溶液温度 $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）下加热回流 60 min~120 min，至样品均匀清澈或外观不发生变化，移去消解器皿（7.8）盖子，蒸发至 10 mL 左右。取下，冷却至室温后，用少量水淋洗消解器皿（7.8）内壁和盖子至少 3 次，全量移入 50 mL 聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用水定容至标线，摇匀，保存至样品瓶（7.1）中待测。

注 1：样品消解时，不宜蒸干，避免铝损失。

注 2：可根据实际需要等比例调整硝酸和盐酸的用量；若样品成分复杂，消解后样品颜色较深或仍有悬浮物时，应等比例补加适量硝酸和盐酸，继续消解至溶液均匀清澈或溶液外观不再发生变化。

注 3：若样品消解后仍有颗粒物，可用离心机（7.7）在 2 000 r/min~3 000 r/min 的转速下离心分离 10 min 或采用滤膜（6.12）过滤。

8.3.2.2 微波消解法

准确移取 25.0 mL 混合均匀的总铝样品（8.2）于微波消解罐中，加入 3 mL 硝酸（6.1）和 1 mL 盐酸（6.2），待反应平稳后，加盖旋紧。放入微波消解仪（7.6）中，按照表 1 推荐的参考条件进行消解。

消解完毕取出微波消解罐，在通风橱内冷却至室温后，缓慢泄压放气，开盖，全量转移至消解器皿（7.8）中，用少量水荡洗微波消解罐及盖子的内壁至少3次后一并移入消解器皿（7.8）中，置于电热消解仪（7.5）上，在微沸状态（溶液温度 $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）下蒸发至10 mL左右。取下，冷却至室温后，用少量水淋洗消解器皿（7.8）内壁和盖子至少3次，全量转移至25 mL聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用水定容至标线，摇匀，保存至样品瓶（7.1）中待测。

注1：也可按照HJ 678中的规定对样品进行微波消解。

注2：不同型号微波消解仪的最佳消解条件不同，可根据仪器使用说明书选择适合的消解程序，也可根据微波消解罐的体积适当调整取样体积，或等比例调整硝酸和盐酸的用量。

注3：若样品消解后仍有颗粒物，按照8.3.2.1中注3的要求处理。

表1 微波消解参考条件

序号	程序设置	温度（℃）	升温时间（min）	保持时间（min）
1	先升温后加热保持	室温~180	10	15

8.4 空白试样的制备

以同批次实验用水代替样品，按照与试样的制备（8.3）相同的步骤制备实验室空白试样。

9 分析步骤

9.1 仪器参考条件

不同型号仪器的最佳工作条件不同，需根据仪器使用说明书调整仪器至最佳工作状态，仪器参考条件见表2，石墨炉推荐升温程序见表3。

表2 仪器参考条件

光源	波长（nm）	灯电流（mA）	通带宽度（nm）	背景校正	试样进样体积（μL）
铝空心阴极灯	309.3	10	0.5	塞曼/氘灯	20

表3 石墨炉推荐升温程序

升温阶段	温度（℃）	时间（s）
干燥	85~120	50
灰化	1 700	30
原子化	2 700	5
清除	2 800	3

注：此参考测量条件是基于纵向加热塞曼背景校正原子吸收仪器，如果使用横向加热仪器或其他仪器进行测定，可将原子化温度和清除温度降低 $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 。

9.2 校准

9.2.1 标准系列的配制

分别移取0 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL、2.00 mL、2.50 mL铝的标准使用液（6.10）于50 mL聚乙烯或聚丙烯容量瓶中，用硝酸溶液（6.6）定容至标线，摇匀，配制成质量浓度分别为0 μg/L、5 μg/L、

10 μg/L、15 μg/L、20 μg/L 和 25 μg/L 的标准系列（此为参考浓度）。

9.2.2 标准系列的测定

移取 20 μL 标准系列溶液于热解涂层石墨管（7.4），加入 5 μL 基体改进剂（6.7），按照仪器参考条件（9.1），从低浓度到高浓度依次测定吸光度。

9.2.3 绘制标准曲线

以标准系列的质量浓度（μg/L）为横坐标，其对应的吸光度为纵坐标，建立标准曲线。

9.3 试样测定

按照与标准系列的测定（9.2.2）相同的步骤测定试样（8.3）。若测定结果超出标准曲线范围，应减小试样取样量，并用硝酸溶液（6.6）稀释后重新测定。

9.4 空白试样测定

按照与试样测定（9.3）相同的步骤测定空白试样（8.4）。

10 结果计算与表示

10.1 结果计算

样品中可溶性铝或总铝的质量浓度，按照公式（1）计算。

$$r = r_1 \times D \quad (1)$$

式中： r ——样品中可溶性铝或总铝的质量浓度，μg/L；

r_1 ——稀释后由标准曲线计算得到的试样中可溶性铝或总铝的质量浓度，μg/L；

D ——试样的稀释倍数。

10.2 结果表示

测定结果小于 100 μg/L 时，保留至整数位；测定结果大于或等于 100 μg/L 时，保留 3 位有效数字。

11 准确度

11.1 精密度

6 家实验室对可溶性铝平均测定浓度分别为 5 μg/L、10 μg/L 和 21 μg/L 的统一标准溶液重复测定 6 次：实验室内相对标准偏差分别为 2.5%~6.0%、0.85%~3.5% 和 0.77%~2.6%；实验室间相对标准偏差分别为 6.6%、3.8% 和 2.2%；重复性限分别为 1 μg/L、1 μg/L 和 2 μg/L；再现性限分别为 2 μg/L、2 μg/L 和 2 μg/L。

6 家实验室对可溶性铝平均测定浓度分别为 10 μg/L、505 μg/L、12 μg/L、14 μg/L、18 μg/L 的地下水、合成地下水、地表水、电镀工业废水、生活污水统一实际样品重复测定 6 次：实验室内相对标准偏差分别为 2.3%~7.3%、3.9%~10%、1.9%~6.6%、2.1%~5.1%、2.8%~5.6%；实验室间相对标准偏差分别为 7.7%、10%、7.2%、5.7%、6.0%；重复性限分别为 2 μg/L、89 μg/L、2 μg/L、2 μg/L、2 μg/L；再现性限分别为 3 μg/L、170 μg/L、3 μg/L、3 μg/L、4 μg/L。

6家实验室采用电热消解法对总铝平均测定浓度分别为 $22\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $515\text{ }\mu\text{g/L}$ 的电镀工业废水、 $62\text{ }\mu\text{g/L}$ 的钢铁工业废水、 $317\text{ }\mu\text{g/L}$ 的生活污水、 $437\text{ }\mu\text{g/L}$ 的地下水、 $560\text{ }\mu\text{g/L}$ 的地表水统一实际样品重复测定6次：实验室内相对标准偏差分别为 $1.5\%\sim 4.8\%$ 和 $5.7\%\sim 9.2\%$ 、 $1.7\%\sim 5.0\%$ 、 $2.5\%\sim 6.5\%$ 、 $2.0\%\sim 7.2\%$ 、 $1.6\%\sim 5.5\%$ ；实验室间相对标准偏差分别为 4.9% 和 11% 、 5.5% 、 7.0% 、 6.0% 、 5.2% ；重复性限分别为 $3\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $120\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $6\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $47\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $60\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $65\text{ }\mu\text{g/L}$ ；再现性限分别为 $4\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $190\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $11\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $75\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $92\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $100\text{ }\mu\text{g/L}$ 。

6家实验室采用微波消解法对总铝平均测定浓度分别为 $20\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $499\text{ }\mu\text{g/L}$ 的电镀工业废水、 $58\text{ }\mu\text{g/L}$ 的钢铁工业废水、 $325\text{ }\mu\text{g/L}$ 的生活污水、 $421\text{ }\mu\text{g/L}$ 的地下水、 $542\text{ }\mu\text{g/L}$ 的地表水统一实际样品重复测定6次：实验室内相对标准偏差分别为 $1.5\%\sim 4.7\%$ 和 $2.7\%\sim 8.6\%$ 、 $1.5\%\sim 3.8\%$ 、 $0.97\%\sim 5.0\%$ 、 $2.0\%\sim 5.2\%$ 、 $1.6\%\sim 5.9\%$ ；实验室间相对标准偏差分别为 4.0% 和 9.1% 、 3.4% 、 6.2% 、 5.0% 、 4.8% ；重复性限分别为 $2\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $91\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $40\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $43\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $57\text{ }\mu\text{g/L}$ ；再现性限分别为 $3\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $160\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $8\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $67\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $71\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $90\text{ }\mu\text{g/L}$ 。

精密度结果参见附录B中表B.1。

11.2 正确度

6家实验室对2个铝质量浓度分别为 $110\text{ }\mu\text{g/L}\pm 6\text{ }\mu\text{g/L}$ 和 $486\text{ }\mu\text{g/L}\pm 32\text{ }\mu\text{g/L}$ 的统一有证标准溶液分别重复测定6次：测得结果的相对误差范围为 $-1.4\%\sim 2.6\%$ 和 $-0.5\%\sim 5.2\%$ ；相对误差的最终值分别为 $0.4\%\pm 4.2\%$ 和 $1.6\%\pm 5.2\%$ 。

6家实验室分别对5种可溶性铝平均测定浓度为 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $505\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $12\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $14\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $18\text{ }\mu\text{g/L}$ ，加标浓度分别为 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 的地下水、合成地下水、地表水、电镀工业废水、生活污水的统一实际样品重复测定6次：加标回收率分别为 $87.5\%\sim 108\%$ 、 $92.7\%\sim 116\%$ 、 $90.0\%\sim 108\%$ 、 $90.8\%\sim 102\%$ 、 $94.2\%\sim 104\%$ ；加标回收率最终值分别为 $101\%\pm 16\%$ 、 $104\%\pm 20\%$ 、 $96.0\%\pm 15\%$ 、 $96.7\%\pm 10\%$ 、 $98.1\%\pm 9.0\%$ 。

6家实验室采用电热消解法对总铝平均测定浓度分别为 $22\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $515\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $62\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $317\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $437\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $560\text{ }\mu\text{g/L}$ ，加标浓度分别为 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $50\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $200\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 的2个电镀工业废水、1个钢铁工业废水、1个生活污水、1个地下水、1个地表水统一实际样品重复测定6次：加标回收率分别为 $84.7\%\sim 103\%$ 、 $86.2\%\sim 121\%$ 、 $83.0\%\sim 103\%$ 、 $88.6\%\sim 104\%$ 、 $89.6\%\sim 105\%$ 、 $94.9\%\sim 105\%$ ；加标回收率最终值分别为 $97.2\%\pm 13\%$ 、 $101\%\pm 22\%$ 、 $95.8\%\pm 14\%$ 、 $97.5\%\pm 11\%$ 、 $97.7\%\pm 11\%$ 、 $99.1\%\pm 8.0\%$ 。

6家实验室采用微波消解法对总铝平均测定浓度分别为 $20\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $499\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $58\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $325\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $421\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $542\text{ }\mu\text{g/L}$ ，加标浓度分别为 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $50\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $200\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $300\text{ }\mu\text{g/L}$ 的2个电镀工业废水、1个钢铁工业废水、1个生活污水、1个地下水、1个地表水统一实际样品重复测定6次：加标回收率分别为 $91.0\%\sim 103\%$ 、 $82.6\%\sim 119\%$ 、 $95.4\%\sim 104\%$ 、 $89.6\%\sim 100\%$ 、 $89.4\%\sim 114\%$ 、 $90.9\%\sim 103\%$ ；加标回收率最终值分别为 $97.3\%\pm 10\%$ 、 $103\%\pm 24\%$ 、 $101\%\pm 6.6\%$ 、 $95.0\%\pm 8.6\%$ 、 $98.0\%\pm 18\%$ 、 $96.8\%\pm 9.8\%$ 。

正确度结果见附录B中表B.2~B.3。

12 质量保证和质量控制

12.1 每20个样品或每批次（少于20个）应至少测定1个实验室空白，其测定结果应低于方法检出限。

12.2 每批样品均应建立标准曲线，标准曲线至少包含6个浓度点（含零浓度点），标准曲线的线性相关系数应 ≥ 0.995 。

12.3 每 20 个样品或每批次（少于 20 个）应测定 1 个标准曲线中间点浓度的标准溶液，其测定结果与标准曲线该点浓度的相对误差应在±10% 以内。否则，应重新建立标准曲线。

12.4 每 20 个样品或每批次（少于 20 个）应至少测定 1 个平行样，其测定结果的相对偏差应在±20% 以内。

12.5 每 20 个样品或每批次（少于 20 个）应至少测定 1 个有证标准物质或基体加标样品，有证标准物质测定值应在其给出的不确定度范围内，基体加标回收率应在 70%~130% 之间。

13 注意事项

13.1 在测定高浓度样品后，或空白值测定结果高于方法检出限时，仪器进样系统应增加硝酸溶液（6.6）的清洗次数和石墨管（7.4）空烧次数，以消除仪器记忆效应等干扰。

13.2 铝在测定过程中易受污染，应确保实验环境、试剂和容器等符合实验室空白要求。

附录 A
(资料性附录)
标准加入法

A.1 校准曲线的建立

分别移取等量的待测样品 4 份 (浓度为 ρ)，配制总体积相同的 4 份溶液。1 份不加标准溶液，其余 3 份分别按比例加入不同浓度标准溶液，溶液浓度通常分别为： ρ 、 $\rho + \rho_0$ 、 $\rho + 2\rho_0$ 、 $\rho + 3\rho_0$ ；加入标准溶液 ρ_0 的浓度约等于 0.5 倍量的样品浓度，即 $\rho_0 \approx 0.5\rho$ 。

用空白溶液调零，在相同条件下依次测定 4 份溶液的吸光度，以加入标准溶液的浓度为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制校准曲线，曲线反向延伸与横坐标的交点即为待测样品的浓度。待测样品浓度与对应吸光度的关系见图 A.1。

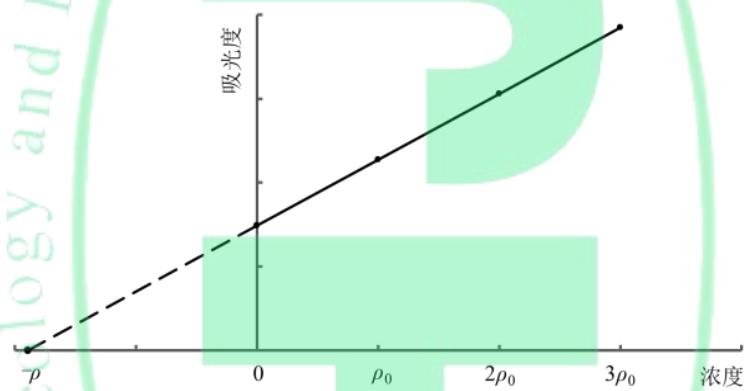


图 A.1 待测样品浓度与对应吸光度的关系

A.2 注意事项

- A.2.1 本方法只适用于待测样品浓度与吸光度呈线性的区域。
- A.2.2 加入标准溶液所引起的体积误差应在±0.5% 以内。
- A.2.3 本方法只能抵消基体效应造成的影响，不能消除背景吸收的影响。背景吸收可采用塞曼、氘灯等方式校正。

A.3 标准加入法的适用性判断

样品中可溶性铝或总铝的浓度，按照公式 (A.1) 计算：

$$r = \frac{r_3}{r_2 - r_1} \times r_1 \quad (A.1)$$

式中： ρ ——样品中可溶性铝或总铝的浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

ρ_3 ——待测试样中加入的铝标准溶液浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

ρ_2 ——由标准曲线查得加标浓度为 ρ_3 的待测试样中可溶性铝或总铝的浓度, $\mu\text{g/L}$;

ρ_1 ——由标准曲线查得待测试样中可溶性铝或总铝的浓度, $\mu\text{g/L}$ 。

存在基体效应时, $\rho_3/(\rho_2-\rho_1)$ 在 $0.5\sim1.5$ 之间, 可用标准加入法; 当 $\rho_3/(\rho_2-\rho_1)$ 超出此范围时, 标准加入法不适用。



附录 B
(资料性附录)
方法的准确度

方法的精密度数据见表 B.1, 正确度数据见表 B.2~表 B.3。

表 B.1 方法的精密度汇总表

分析项目	样品类型	平均测定浓度 ($\mu\text{g/L}$)	实验室内相对 标准偏差 (%)	实验室间相对 标准偏差 (%)	重复性限 ($\mu\text{g/L}$)	再现性限 ($\mu\text{g/L}$)
可溶性铝	标准溶液 ($5\mu\text{g/L}$)	5	2.5~6.0	6.6	1	2
	标准溶液 ($10\mu\text{g/L}$)	10	0.85~3.5	3.8	1	2
	标准溶液 ($20\mu\text{g/L}$)	21	0.77~2.6	2.2	2	2
	地下水	10	2.3~7.3	7.7	2	3
	合成地下水	505	3.9~10	10	89	170
	地表水	12	1.9~6.6	7.2	2	3
	电镀工业废水	14	2.1~5.1	5.7	2	3
总铝 (电热消解法)	生活污水	18	2.8~5.6	6.0	2	4
	电镀工业废水	22	1.5~4.8	4.9	3	4
		515	5.7~9.2	11	120	190
	钢铁工业废水	62	1.7~5.0	5.5	6	11
	生活污水	317	2.5~6.5	7.0	47	75
	地下水	437	2.0~7.2	6.0	60	92
	地表水	560	1.6~5.5	5.2	65	100
总铝 (微波消解法)	电镀工业废水	20	1.5~4.7	4.0	2	3
		499	2.7~8.6	9.1	91	160
	钢铁工业废水	58	1.5~3.8	3.4	5	8
	生活污水	325	0.97~5.0	6.2	40	67
	地下水	421	2.0~5.2	5.0	43	71
	地表水	542	1.6~5.9	4.8	57	90

表 B.2 有证标准物质测定的正确度汇总表

有证标准物质	平均测定浓度 ($\mu\text{g/L}$)	计算相对误差 (%)	相对误差最终值 (%)
样品 1 ($110\mu\text{g/L} \pm 6\mu\text{g/L}$)	110	-1.4~2.6	0.4 ± 4.2
样品 2 ($486\mu\text{g/L} \pm 32\mu\text{g/L}$)	497	-0.5~5.2	1.6 ± 5.2

表 B.3 实际样品加标测定的正确度汇总表

分析项目	样品类型	平均测定浓度 ($\mu\text{g/L}$)	加标浓度 ($\mu\text{g/L}$)	加标回收率 (%)	加标回收率最终值 (%)
可溶性铝	地下水	10	10	87.5~108	101 ± 16
	合成地下水	505	300	92.7~116	104 ± 20
	地表水	12	10	90.0~108	96.0 ± 15
	电镀工业废水	14	10	90.8~102	96.7 ± 10
	生活污水	18	10	94.2~104	98.1 ± 9.0

续表

分析项目	样品类型	平均测定浓度 ($\mu\text{g/L}$)	加标浓度 ($\mu\text{g/L}$)	加标回收率 (%)	加标回收率最终值 (%)
总铝 (电热消解法)	电镀工业废水	22	10	84.7~103	97.2±13
		515	300	86.2~121	101±22
	钢铁工业废水	62	50	83.0~103	95.8±14
	生活污水	317	200	88.6~104	97.5±11
	地下水	437	300	89.6~105	97.7±11
	地表水	560	300	94.9~105	99.1±8.0
总铝 (微波消解法)	电镀工业废水	20	10	91.0~103	97.3±10
		499	300	82.6~119	103±24
	钢铁工业废水	58	50	95.4~104	101±6.6
	生活污水	325	200	89.6~100	95.0±8.6
	地下水	421	300	89.4~114	98.0±18
	地表水	542	300	90.9~103	96.8±9.8