

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1451—2026

水质 银的测定 石墨炉原子吸收分光光度法

Water quality—Determination of silver
—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 6

附录A（资料性附录） 标准加入法..... 7

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，规范水中银的测定方法，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银和总银的石墨炉原子吸收分光光度法。

本标准为首次发布。

本标准附录 A 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 银的测定 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刺激性，试剂配制和样品前处理过程应在通风橱中操作，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银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银和总银的测定。

进样体积为 20 μL 时，本标准可溶性银和总银的方法检出限均为 0.4 $\mu\text{g/L}$ ，测定下限均为 1.6 $\mu\text{g/L}$ 。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用标准，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

可溶性银 soluble silver

未经酸化的样品经 0.45 μm 滤膜过滤并经消解后测定的银。

3.2

总银 total quantity of silver

未经过滤的样品经消解后测定的银。

4 方法原理

样品经消解后注入石墨炉原子化器中，经干燥、灰化和原子化，形成银基态原子蒸气，对银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与银的质量浓度成正比。

5 干扰和消除

5.1 样品中浓度低于 100 mg/L 的 K、Na、Ca、Mg、Fe、Mn、Al、As、Se、Zn、Pb、Cd、Co、Cu、Cr、Sn、In、Be、V、 Br^- 、 I^- ，浓度低于 500 mg/L 的 PO_4^{3-} 、 Cl^- 和浓度低于 3 000 mg/L 的 SO_4^{2-} 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,可采用标准加入法进行测定,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。

6.1 硝酸(HNO_3): $\rho=1.4\text{ g/mL}$, $w\in[65.0\%, 68.0\%]$ 。

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

6.3 硝酸银(AgNO_3)。

6.4 磷酸二氢铵($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)。

6.5 硝酸溶液 I。

硝酸(6.1)和水以 1:1 的体积比混合。

6.6 硝酸溶液 II。

硝酸(6.1)和水以 1:199 的体积比混合。

6.7 基体改进剂: $\rho(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)=20\text{ g/L}$ 。

称取 2.0 g 磷酸二氢铵(6.4),置于烧杯中,加入少量水溶解,转移至 100 mL 容量瓶中,用硝酸溶液 II(6.6)稀释至标线,摇匀。转入聚乙烯瓶中 4℃ 以下密封冷藏保存,保存期为 180 d。也可直接购买市售有证标准溶液,按照标准样品证书要求保存。

6.8 银标准贮备液: $\rho(\text{Ag})=1\,000\text{ mg/L}$ 。

准确称取硝酸银(6.3) 0.157 g(精确至 0.1 mg),溶解于适量水中,加入 2 mL 硝酸溶液 I(6.5),溶解完全后转移至 100 mL 棕色容量瓶中,用水稀释至标线,摇匀。转入聚乙烯或聚丙烯瓶中,于 4℃ 以下冷藏、避光保存,保存期为 2 a。也可直接购买市售有证标准溶液,按照标准样品证书要求保存。

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

准确移取 1.00 mL 银标准贮备液(6.8)于 100 mL 棕色容量瓶中,用硝酸溶液 II(6.6)稀释至标线,摇匀。转入聚乙烯或聚丙烯瓶中,于 4℃ 以下冷藏、避光保存,保存期为 180 d。

6.10 银标准使用液: $\rho(\text{Ag})=100\text{ }\mu\text{g/L}$ 。

准确移取 1.00 mL 银标准中间液(6.9)于 100 mL 棕色容量瓶中,用硝酸溶液 II(6.6)稀释至标线,摇匀。转入聚乙烯或聚丙烯瓶中,于 4℃ 以下冷藏、避光保存,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: 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: 银空心阴极灯或具有 328.1 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 $\pm 5^\circ\text{C}$),可控温度大于 180℃。

7.6 微波消解仪: 具有程序化功率设定功能,功率 $\geq 600\text{ W}$,温控精度为 $\pm 2.5^\circ\text{C}$,配有聚四氟乙烯或其他耐高温高压耐腐蚀材质的微波消解罐。

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。测定可溶性银和总银的样品应分别采集。可溶性银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；总银样品不过滤直接采集 250 mL 于样品瓶（7.1）中。

8.2 样品的保存

在采集的可溶性银或总银的样品瓶（7.1）中，加入适量硝酸（6.1）将酸度调节至 pH 值≤2，避光保存，14 d 内测定。

注：感光材料生产、胶片洗印和镀银等行业废水，采集后不加酸 24 h 内测定。

8.3 试样的制备

8.3.1 电热板消解法

准确量取 50.0 mL 混合均匀的可溶性银或总银样品（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，盖上盖子，95℃±5℃微沸状态加热回流 60 min~120 min，至样品均匀清澈或外观不再发生变化，移去盖子，蒸发至 20 mL 左右。取下，冷却至室温后，用水淋洗消解器皿（7.8）内壁和盖子至少 3 次，全量移入 50 mL 容量瓶中，用水定容至标线，摇匀，待测。

- 注 1：样品消解时，不宜蒸干，避免银损失。
- 注 2：可根据实际需要等比例调整硝酸和盐酸的用量。
- 注 3：若消解后样品颜色较深或仍有悬浮物，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外观不再发生变化；若继续消解后仍有颗粒物，可采用离心机（7.7）在 2 000 r/min~3 000 r/min 的转速下离心分离 10 min 或采用 0.45 μm 滤膜（6.12）过滤。

8.3.2 微波消解法

准确量取 25.0 mL 混合均匀的可溶性银或总银样品（8.2）于微波消解罐中，加入 3 mL 硝酸（6.1）和 1 mL 盐酸（6.2），观察溶液，如有大量气泡产生，置于通风橱中静置，待反应平稳后加盖旋紧。放入微波消解仪（7.6）中，按照表 1 推荐的升温程序进行消解。消解完毕后，冷却至室温，置于电热消解仪（7.5）上，95℃±5℃微沸状态下，蒸发至 15 mL 左右。取下，冷却至室温后，用适量水淋洗内壁至少 3 次，转移至 25 mL 容量瓶中，用水定容至标线，摇匀，待测。

- 注 1：可根据实际需要等比例调整硝酸和盐酸的用量。
- 注 2：也可按照 HJ 678 中的规定对样品进行微波消解。
- 注 3：若样品消解后仍有颗粒物，按照 8.3.1 中注 3 的要求处理。

表 1 微波消解仪参考条件

步骤	消解功率（W）	温度（℃）	保持时间（min）
1	800	120	5
2	800	150	5
3	800	180	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，各实验室可根据仪器使用说明书自行选用背景校正，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)	试样进样体积 (μL)
银空心阴极灯	328.1	6.0	0.5	20

表 3 石墨炉推荐升温程序

升温阶段	温度 (°C)	时间 (s)
干燥	85~150	30
灰化	600~900	20
原子化	1 800~2 100	3
清除	2 100~2 400	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，如果使用横向加热方式的仪器进行测定，可将原子化温度和清除温度降低 200°C~400°C；选用氘灯背景校正的仪器进行测定时，可适当调整灰化温度和原子化温度。		

9.2 校准

9.2.1 标准系列的配制

分别移取 0 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL、10.0 mL 银标准使用液（6.10）于 100 mL 棕色容量瓶中，用硝酸溶液 II（6.6）稀释至标线，摇匀。标准系列溶液浓度分别为 0.00 μg/L、2.00 μg/L、4.00 μg/L、6.00 μg/L、8.00 μg/L 和 10.0 μg/L（此为参考浓度）。

9.2.2 标准系列的测定

按照仪器参考条件（9.1）调节仪器至最佳工作状态，依次由低浓度到高浓度向石墨管（7.4）内加入 20 μL 标准溶液和 5 μL 基体改进剂（6.7），测定吸光度。

9.2.3 绘制标准曲线

以银质量浓度（μg/L）为横坐标，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 II（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

样品中可溶性银或总银的质量浓度，按照公式（1）计算：

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

式中： ρ ——样品中可溶性银或总银的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

ρ_1 ——由标准曲线查得试样中可溶性银或总银的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

D ——试样稀释倍数。

10.2 结果表示

测定结果小于 $100 \mu\text{g/L}$ 时，保留小数点后 1 位；测定结果大于或等于 $100 \mu\text{g/L}$ 时，保留 3 位有效数字。

11 准确度

11.1 精密度

6 家实验室对可溶性银质量浓度分别为 $2.00 \mu\text{g/L}$ 、 $6.00 \mu\text{g/L}$ 、 $8.00 \mu\text{g/L}$ 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 $2.4\% \sim 4.0\%$ 、 $2.3\% \sim 3.8\%$ 、 $1.7\% \sim 3.0\%$ ；实验室间相对标准偏差分别为 5.0% 、 3.4% 、 2.4% ；重复性限分别为 $0.2 \mu\text{g/L}$ 、 $0.5 \mu\text{g/L}$ 、 $0.5 \mu\text{g/L}$ ；再现性限分别为 $0.3 \mu\text{g/L}$ 、 $0.7 \mu\text{g/L}$ 、 $0.7 \mu\text{g/L}$ 。

6 家实验室采用微波消解法对 2 种可溶性银平均测定质量浓度分别为 $5.0 \mu\text{g/L}$ 、 $10.0 \mu\text{g/L}$ 的地表水、地下水统一加标样品和可溶性银平均测定质量浓度为 $4.5 \mu\text{g/L}$ 的生活污水统一加标样品及可溶性银平均测定质量浓度为 $1.8 \mu\text{g/L}$ 的电镀工业废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 $2.2\% \sim 5.1\%$ 、 $2.3\% \sim 4.7\%$ 、 $1.9\% \sim 4.0\%$ 、 $1.7\% \sim 3.8\%$ 、 $1.6\% \sim 5.0\%$ 、 $1.5\% \sim 5.3\%$ ；实验室间相对标准偏差分别为 4.0% 、 4.3% 、 3.7% 、 5.2% 、 3.2% 、 2.8% ；重复性限分别为 $0.5 \mu\text{g/L}$ 、 $0.5 \mu\text{g/L}$ 、 $0.8 \mu\text{g/L}$ 、 $0.8 \mu\text{g/L}$ 、 $0.4 \mu\text{g/L}$ 、 $0.2 \mu\text{g/L}$ ；再现性限分别为 $0.7 \mu\text{g/L}$ 、 $0.7 \mu\text{g/L}$ 、 $1.3 \mu\text{g/L}$ 、 $1.6 \mu\text{g/L}$ 、 $0.6 \mu\text{g/L}$ 、 $0.2 \mu\text{g/L}$ 。

6 家实验室采用电热板消解法对总银平均测定质量浓度分别为 $20.0 \mu\text{g/L}$ 、 $20.0 \mu\text{g/L}$ 、 $5.0 \mu\text{g/L}$ 的地表水、地下水、生活污水统一加标样品及总银平均测定质量浓度分别为 $2.2 \mu\text{g/L}$ 、 $5.1 \mu\text{g/L}$ 、 $110 \mu\text{g/L}$ 的电镀工业废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 $3.8\% \sim 7.0\%$ 、 $1.7\% \sim 6.8\%$ 、 $2.1\% \sim 3.7\%$ 、 $4.3\% \sim 9.6\%$ 、 $3.3\% \sim 4.8\%$ 、 $3.3\% \sim 6.4\%$ ；实验室间相对标准偏差分别为 5.2% 、 4.9% 、 2.9% 、 8.2% 、 4.1% 、 4.8% ；重复性限分别为 $3.4 \mu\text{g/L}$ 、 $2.6 \mu\text{g/L}$ 、 $0.4 \mu\text{g/L}$ 、 $0.4 \mu\text{g/L}$ 、 $0.6 \mu\text{g/L}$ 、 $16 \mu\text{g/L}$ ；再现性限分别为 $4.3 \mu\text{g/L}$ 、 $3.5 \mu\text{g/L}$ 、 $0.6 \mu\text{g/L}$ 、 $0.6 \mu\text{g/L}$ 、 $0.8 \mu\text{g/L}$ 、 $20 \mu\text{g/L}$ 。

6 家实验室采用微波消解法对总银平均测定质量浓度分别为 $20.0 \mu\text{g/L}$ 、 $20.0 \mu\text{g/L}$ 、 $10.0 \mu\text{g/L}$ 的地表水、地下水和生活污水统一加标样品及总银平均测定质量浓度分别为 $5.1 \mu\text{g/L}$ 、 $110 \mu\text{g/L}$ 的电镀工业废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 $1.8\% \sim 4.9\%$ 、 $1.7\% \sim 5.8\%$ 、 $1.7\% \sim 4.7\%$ 、 $1.8\% \sim 3.5\%$ 、 $5.5\% \sim 7.4\%$ ；实验室间相对标准偏差分别为 3.7% 、 4.3% 、 2.9% 、 3.9% 、 3.5% ；重复性限

分别为 2.2 µg/L、1.8 µg/L、0.9 µg/L、0.4 µg/L、20 µg/L；再现性限分别为 2.9 µg/L、2.8 µg/L、1.1 µg/L、0.7 µg/L、22 µg/L。

11.2 正确度

6 家实验室对可溶性银质量浓度为 348 µg/L±18 µg/L 的有证标准物质重复测定 6 次：计算相对误差为-3.0%~3.3%；相对误差的最终值为-0.6%±5.2%。

6 家实验室采用微波消解法对 2 种可溶性银未检出，加标浓度分别为 5.0 µg/L、10.0 µg/L 的地表水、地下水统一加标样品和可溶性银平均测定质量浓度为 4.5 µg/L，加标浓度为 4.0 µg/L 的生活污水统一加标样品及可溶性银平均测定质量浓度为 1.8 µg/L，加标浓度为 2.0 µg/L 的电镀工业废水统一加标样品重复测定 6 次：加标回收率分别为 92.8%~103%、94.2%~104%、92.7%~103%、94.0%~104%、94.9%~106%、97.1%~112%；加标回收率最终值分别为 97.8%±8.0%、98.8%±7.8%、97.2%±8.4%、98.9%±7.6%、99.4%±7.6%、106%±10.8%。

6 家实验室采用电热板消解法对总银未检出，加标浓度分别为 20.0 µg/L、20.0 µg/L、5.0 µg/L 的地表水、地下水和生活污水统一加标样品及 3 种总银平均测定质量浓度分别为 2.2 µg/L、5.1 µg/L、110 µg/L，加标浓度分别为 5.0 µg/L、5.0 µg/L、60.0 µg/L 的电镀工业废水统一加标样品重复测定 6 次：加标回收率分别为 96.9%~109%、89.6%~102%、91.8%~102%、90.5%~95.2%、94.8%~105%、90.0%~98.3%；加标回收率最终值分别为 103%±10.6%、94.7%±9.2%、97.9%±7.4%、92.3%±3.4%、100%±9.6%、93.4%±6.0%。

6 家实验室采用微波消解法对总银未检出，加标浓度分别为 20.0 µg/L、20.0 µg/L、10.0 µg/L 的地表水、地下水和生活污水统一加标样品及 2 种总银平均测定质量浓度分别为 5.1 µg/L、110 µg/L，加标浓度分别为 5.0 µg/L、100 µg/L 的电镀工业废水统一加标样品重复测定 6 次：加标回收率分别为 95.8%~105%、91.2%~102%、92.1%~101%、91.2%~104%、89.0%~97.0%；加标回收率最终值分别为 99.8%±7.4%、94.4%±8.2%、95.2%±6.4%、97.5%±9.6%、92.5%±6.2%。

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 每批样品应建立标准曲线，标准曲线至少包含 6 个浓度点（含零点），标准曲线的线性相关系数应 ≥ 0.995 。

12.3 每测定 20 个样品或每批次（少于 20 个）应分析 1 个标准曲线的中间浓度点标准溶液，其测定结果与该点浓度的相对误差应在 $\pm 10\%$ 之内。否则，需重新建立标准曲线。

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，平行样测定的相对偏差应在 $\pm 20\%$ 以内。

12.5 每 20 个样品或每批次（少于 20 个）应分析 1 个有证标准物质，其测定值应在标准值要求的范围内；也可以测定基体加标样品，加标回收率应在 70%~130%之间。

13 注意事项

高浓度样品测量后或空白值较高时，应增加石墨管空烧次数以消除记忆效应。

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，建立校准曲线，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。

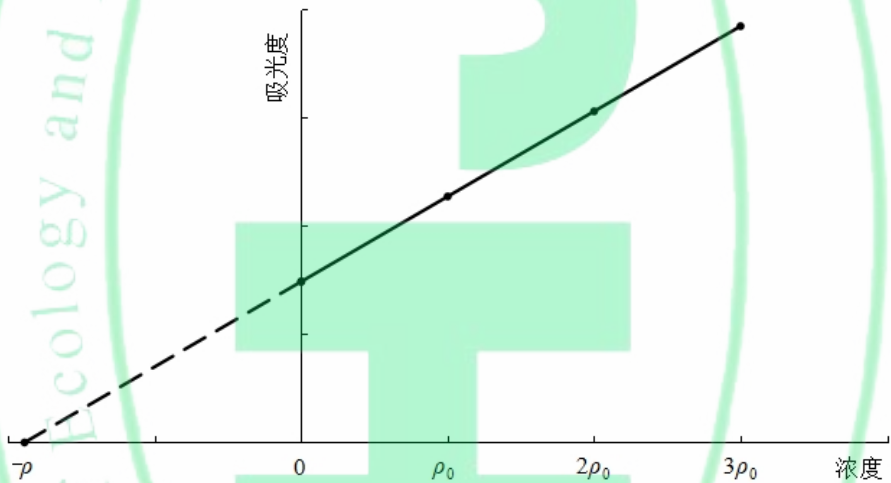


图 A.1 待测样品浓度与对应吸光度的关系

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 $\pm 0.5\%$ 以内。
- A.2.3 本方法只能抵消基体效应造成的影响，不能抵消背景吸收的影响。背景吸收可采用塞曼或氘灯扣背景方式进行校正。

A.3 标准加入法的适用性判断

样品中可溶性银或总银的浓度，按照公式（A.1）计算：

$$r = \frac{r_3}{r_2 - r_1} \times r_1 \tag{A.1}$$

式中： ρ ——样品中可溶性银或总银的浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

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

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银或总银的浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

ρ_1 ——由标准曲线查得试样中可溶性银或总银的浓度， $\mu\text{g/L}$ 。

存在基体效应时， $\rho_3/(\rho_2-\rho_1)$ 在 0.5~1.5 之间，适用于标准加入法； $\rho_3/(\rho_2-\rho_1)$ 超出此范围时，标准加入法不适用。