

# 沉淀物的悬浮液光度法测定

袁秉鉴, 任 屏

国营5409厂, 山西 运城  
Email: yuanbingjinan55@sina.com

收稿日期: 2021年7月9日; 录用日期: 2021年7月23日; 发布日期: 2021年8月11日

## 摘 要

以氯化银、碘化银和硫酸钡的悬浮液光度法为例, 研究了沉淀物光度法测定的可能性及其规律, 研究表明, 在严格遵守“精密度法则”, 即“保持影响测量各因素对同一测定系列各个样品影响一致性”的条件下, 以阿拉伯胶作稳定剂, 将沉淀制成稳定的悬浮液即可用光度法测定。每种悬浮液都有自己的消光光谱, 有色沉淀的悬浮液既有反射光谱又有选择性吸收光谱。具有一定消光强度的反射光或吸收光, 都可用于相关物质的含量测定, 只是不同波长的灵敏度和值域不同。测定结果都表明: “在入射光值域内, 消光强度的改变量 $\Delta A$ 正比于消光物质的含量改变量 $\Delta C$ :  $\Delta A = k\Delta C$ 。”

## 关键词

光度法, 沉淀, 悬浮液, 值域, 消光

# Suspension Photometric Determination of Precipitate

Bingjian Yuan, Ping Ren

State Owned Plant No. 5409, Yuncheng Shanxi  
Email: yuanbingjinan55@sina.com

Received: Jul. 9<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2021; published: Aug. 11<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Taking suspension photometry of silver chloride, silver iodide and barium sulfate as an example, the possibility and regularity of precipitation photometry were studied. The results show that under the condition of strictly abiding by the “precision rule”, *i.e.* “to maintain infection consistency of each factor for each sample in the same measurement series”, using Arabic gum as the stabilizer, the precipitation is made into a stable suspension and then determined by photometry.

Each kind of precipitate suspension has its own extinction spectrum. The extinction spectrum of colored precipitate suspension has both reflection band and selective absorption band. The reflected light or absorbed light with certain extinction intensity can be used for the content determination of related matter, but the sensitivity and domain of different wavelengths are different. The results show that: "In the domain of incident light, the change  $\Delta A$  of extinction intensity is directly proportional to the content change  $\Delta C$  of extinction matter:  $\Delta A = k\Delta C$ ."

## Keywords

Photometry, Precipitation, Suspension, Domain, Extinction

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

长期以来,光度法被认为就是“吸收光度法”,胶体、乳浊液、悬浮液对入射光的反射、散射都背离“吸收定律”,不能用光度法测定[1]-[8]。所以,对于生成沉淀的氯化钠、碘化钾、硫酸钠的测定,都只能采用沉淀滴定法[9][10][11],不仅程序繁杂,操作难度大,而且测定结果难以满足时代要求[12]。我们在严格遵循“精密度法则”,即“保持影响测量各因素对同一测定系列各个样品影响一致性”的基础上,对光度法有了新的认知[13][14]。为了扩大光度法的应用,我们选择了两个同是白色沉淀的氯化银、硫酸钡和一个绿色沉淀碘化银,进行了不同沉淀的悬浮液光度法的研究。实验证明,沉淀悬浮液光度法不仅比沉淀滴定法更简便、更科学,而且通过“增量光度法”可测定沉淀滴定法无法测定的低含量。同时,还使光度法的内涵更完整,用途更广阔。

## 2. 实验部分

### 2.1. 主要仪器及试剂

分光光度计:721型,中国上海精密仪器仪表有限公司;氯化钠:分析纯;碘化钾:分析纯;硫酸钠:分析纯;沉淀剂硝酸银溶液:5%水溶液,100 mL中加硝酸10 mL;沉淀剂氯化钡溶液:5%水溶液,100 mL中加盐酸10 mL;阿拉伯胶溶液:5%水溶液,脱脂棉过滤;实验用水为蒸馏水。

### 2.2. 实验条件

“保持各个影响因素对同一测定系列各个样品影响的一致性”,可以缩小样本极差  $R$ ,提高样本测定的精密度,所以称之为“精密度法则”。“精密度法则”对于光度法具有特殊意义,它可使各种影响因素对标准系列各个样品的影响一致,呈现出标准系列样品含量与入射光之间的真实关系,所以确定它为光度法的基础技术[14]。

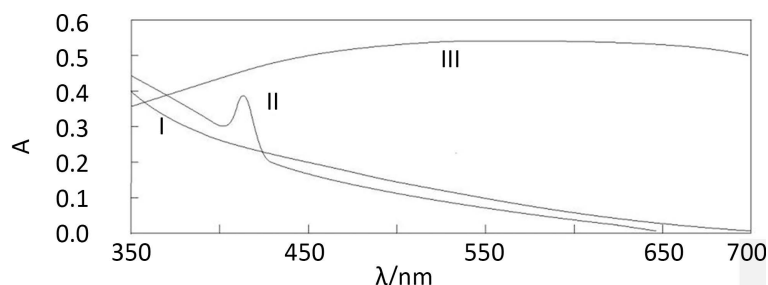
### 2.3. 样品“待测液”制备

称取分析纯氯化钠 0.2000 g 制备溶液 200 ml,取 10 ml 制备“待测液”200 ml;分别称取分析纯碘化钾 0.2000 g、分析纯硫酸钠 1.000 g 制备各自溶液 100 ml,分别取 10 ml 制备碘化钾、硫酸钠“待测液”100 ml。

## 2.4. 悬浮液的“消光光谱”

用 5 ml 刻度移液管分别移取氯化钠、碘化钾、硫酸钠“待测液” 4 ml, 分别置于 50 ml 容量瓶中。用 10 ml 刻度移液管分别向氯化钠、碘化钾“待测液”加入硝酸银溶液 10 ml, 摇匀, 向硫酸钠“待测液”加入氯化钡溶液 10 ml, 摇匀。再分别都加入阿拉伯胶溶液 10 ml, 摇匀, 加水定容至 50 ml, 摇匀。三种溶液分别为氯化银、碘化银、氯化钡的悬浮液;

都以不加沉淀剂的“待测液”和阿拉伯胶的溶液作参比, 20 min 内, 用 1 cm 比色皿测 350~700 nm 的“消光” A (“消光强度”, 下同), 绘制各自的消光光谱(图 1)。



**Figure 1.** Extinction spectrum: I. extinction spectrum of silver chloride suspension; II. the extinction spectrum of silver iodide suspension; III. extinction spectrum of barium sulfate suspension

**图 1.** 消光光谱: I.氯化银悬浮液消光光谱; II.碘化银悬浮液消光光谱; III.硫酸钡悬浮液消光光谱

从图可见, 各个沉淀悬浮液都有自己的消光光谱: I. 氯化银悬浮液在 350 nm 的“消光”是 0.33, 在 450 nm 是 0.15, 在 550 nm 是 0.11, 在 700 nm 是 0.03,  $\leq 500$  nm 的波长都可用于光度法测定; II. 碘化银悬浮液在 350 nm 的“消光”是 0.42, 在 410 nm 是 0.31, 在 420~430 nm 有一吸收峰峰值 0.35, 在 440 nm 是 0.20, 在 500 nm 是 0.10, 在 650 nm 是 0.03,  $\leq 500$  nm 的波长都可用于光度法测定; III. 硫酸钡悬浮液 350 nm 的“消光”0.36, 在 400 nm 是 0.44, 在 450 nm 是 0.48, 在 500 nm 是 0.51, 在 550 nm 是 0.53, 在 650 nm 是 0.52, 在 700 nm 是 0.50。消光光谱的波长都可用于光度法测定。

## 2.5. 波长选择

绿色沉淀碘化银, 取吸收光 420 nm, 对氯化银悬浮液取 380 nm, 对硫酸钡悬浮液取 500 nm。同时对三种悬浮液标准系列都提供了 400 nm 处的“消光”(表 1)以供不具有紫外光条件的同行参考。

## 2.6. 实验方法

### 2.6.1. 氯化钠试样测定

按照本文 2.3 氯化钠样品“待测液”制备方法, 制备试样“待测液”溶液, 用 10 ml 刻度移液管, 移取“待测液” 10.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中, 按照 2.4 方法, 制备氯化银悬浮液, 并测 380 nm “消光”  $A_x$ , 在氯化钠“校准曲线”上查找试样氯化钠含量  $C_x$ 。

“校准曲线”绘制: 分取分析纯氯化钠“待测液” 1.0 ml、2.0 ml、4.0 ml、6.0 ml、8.0 ml、10.0 ml 作为氯化钠含量 10%、20%、40%、60%、80%、100% 的标准系列。按上法制备氯化银悬浮液并测其“消光” A (表 1), 绘制“校准曲线”(图 2-I)。

### 2.6.2. 碘化钾试样测定

按照本文 2.3 碘化钾样品“待测液”制备方法, 制备试样“待测液”, 用 10 ml 刻度移液管, 移取“待

测液” 10.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中, 按照 2.4 方法, 制备碘化银悬浮液, 测 420 nm “消光”  $A_X$ , 在碘化钾 “校准曲线” 上查找试样碘化钾含量  $C_X$ 。

“校准曲线” 绘制: 分取分析纯碘化钾 “待测液” 1.0 ml、2.0 ml、4.0 ml、6.0 ml、8.0 ml、10.0 ml 作为碘化钾含量 10%、20%、40%、60%、80%、100% 的标准系列。按上法制备碘化银悬浮液并测其 “消光”  $A$  (表 1), 绘制 “校准曲线” (图 3-I)。

### 2.6.3. 硫酸钠试样测定

按照本文 2.3 硫酸钠样品 “待测液” 制备方法, 制备试样 “待测液”, 用 5 ml 刻度移液管, 移取 “待测液” 5.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中, 按照 2.4 方法, 制备硫酸钡悬浮液, 测 500 nm “消光”  $A_X$ , 在 “校准曲线” 上查找试样硫酸钠含量  $C_X$ 。

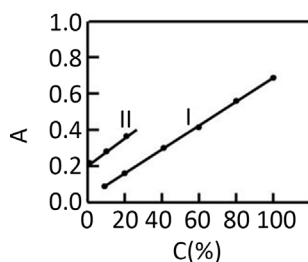
“校准曲线” 绘制: 分取分析纯硫酸钠 “待测液” 0.5 ml、1.0 ml、2.0 ml、3.0 ml、4.0 ml、5.0 ml 作为硫酸钠含量 10%、20%、40%、60%、80%、100% 的标准系列。按上法制备硫酸钡悬浮液并其测 “消光”  $A$  (表 1), 绘制 “校准曲线” (图 4-I)。

**Table 1.** The extinction of the standard sample's precipitation suspension

**表 1.** 标准样品的沉淀悬浮液 “消光”

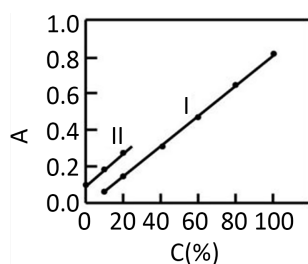
标准样品含量(%)	10	20	40	60	80	100
氯化钠 380 nm “消光” $A$	0.116	0.178	0.300	0.430	0.555	0.680
氯化钠 400 nm “消光” $A$	0.115	0.165	0.275	0.380	0.485	0.590
碘化钾 420 nm “消光” $A$	0.035	0.120	0.290	0.465	0.640	0.816
碘化钾 400 nm “吸光度” $A$	0.024	0.110	0.280	0.440	0.610	0.780
硫酸钠 500 nm “吸光度” $A$	0.110	0.160	0.260	0.356	0.455	0.554
硫酸钠 400 nm “吸光度” $A$	0.090	0.136	0.230	0.324	0.420	0.515

表中数据表明, 消光光谱中具有一定 “消光强度” 的波长, 都可用于相关物质的含量测定, 只是各自的灵敏度和值域不同。



**Figure 2.** NaCl Calibration curve

**图 2.** NaCl 校准曲线



**Figure 3.** KI Calibration curve

**图 3.** KI 校准曲线

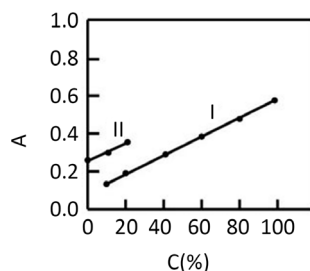


Figure 4.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  Calibration curve

图 4.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  校准曲线

各个图中 I 为常规校准曲线, II 为“增量光度法”校准曲线。

实践证明, 在遵守“精密度法则”条件下, 悬浮液标准系列的坐标点都会落在各自同一条“校准曲线”上。其直线性决定于测定过程遵守“精密度法则”的程度, 而与标准样品数量无关。“校准曲线”始端坐标点为 $(C_1, A_1)$ 、终端坐标点为 $(C_2, A_2)$ , 都不通过 0 点, 表明其方程都是“两点式”:

$$A_2 - A_1 = K(C_2 - C_1) \quad (1)$$

以消光强度改变量  $\Delta A$  代 $(A_2 - A_1)$ , 含量改变量  $\Delta C$  代 $(C_2 - C_1)$ , 则式(1)简化为:

$$\Delta A = k\Delta C \quad (2)$$

表明“在入射光值域区间, 消光强度的改变量  $\Delta A$  正比于消光物质含量的改变量  $\Delta C$ ”, 我们称其为“化学物质消光规律”。它决定了“校准曲线”上、下两个标准样品的坐标点连接线, 即可作为样品含量的“测定线”。“消光” $A_X$ 相应的消光物质含量  $C_X$ 既可从“测定线”上查得, 也可根据如下公式求得:

$$C_X = [(A_X - A_I)(C_{II} - C_I)/(A_{II} - A_I)] + C_I \quad (3)$$

比如, 样品“消光” $A_X = 0.210$ , 从“测定线”上查得  $C_X = 30.0\%$ ; 将  $A_X = 0.240$ ,  $A_I = 0.116$ ,  $A_{II} = 0.680$ ,  $C_I = 10.0\%$ ,  $C_{II} = 100\%$ 代入式(3)显示样品含量  $C_X = 29.8\%$ 。表明“测定线”与“校准曲线”及式  $\Delta A = k\Delta C$  都是“消光规律”的真实反映。但却不符合比尔定律, 比如, “消光” $A_X = 0.210$ 的样品, 以标准  $C_I = 10.0\%$ 、 $A_I = 0.116$  依照比尔定律  $C_X = 18.1\%$ ; 以  $C_{II} = 100\%$ 、 $A_{II} = 0.680$ , 则  $C_X = 30.9\%$ , 都与实际含量不符。

光度法不再是单一“吸收光度法”, 而是“兼有光吸收和反射两种消光效应的消光光度法”, 遵循的不再是“吸收定律”而是“化学物质消光规律”。

## 2.7. 样品分析

鉴于没有标准含量的考核样品, 我们以定量的分析纯氯化钠、碘化钾和硫酸钠作为考核样品, 测定结果列于表 2。

Table 2. Test results of assessment samples (%)

表 2. 考核样品测定结果(%)

样品 Sample	认定值 Certified	测定值 Found	平均值 Average	极差 $R E_R$ Rang	RSD	$U_{95}$
NaCl	30.00	29.6, 30.4, 30.2, 30.4, 29.8, 29.6, 30.2, 29.8, 30.4, 29.8	30.02	0.8 0.52	1.11	0.17
KI	70.00	69.6, 70.0, 70.4, 69.8, 70.4, 69.6, 69.8, 70.6, 70.0, 70.8	70.08	1.2 0.78	0.56	0.25
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	50.00	50.0, 50.0, 49.6, 49.6, 49.6, 50.4, 50.4, 50.0, 50.0, 50.4	50.00	0.8 0.52	0.65	0.21

表 2 中  $E_R = 0.65R$  是样本最大残差, 也是样本精密度的标志。

数据表明, 悬浮液光度法可以简便地提供沉淀样品符合时代要求的测定结果, 这是沉淀滴定法难以实现的。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. 悬浮液制备程序

沉淀的生成是由溶度积原理决定的, 稳定剂是对沉淀悬浮液的稳定, 试样制备必须依照下列程序:

1) 首先向样品“待测液”加入沉淀剂, 使生成沉淀的两种离子(如  $\text{Ag}^+$  和  $\text{Cl}^-$ )的浓度之积大于溶度积, 产生沉淀(如  $\text{AgCl}$ ); 2) 加入阿拉伯胶溶液, 保护沉淀生成稳定的悬浮液; 3) 加水定容。建立等体积的测定体系。

如果在沉淀生成前加阿拉伯胶, 则离子被包裹, 不能生成沉淀; 如果在沉淀生成前加水, 就会破坏生成沉淀的离子浓度, 沉淀也不能生成。

#### 3.2. 干扰消除

因为  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  和  $\text{BaCO}_3$  都是沉淀, 试样溶液中的二氧化碳对三种悬浮液光度法都会产生干扰。为了消除这种干扰, 在沉淀剂硝酸银中必须加入硝酸。在沉淀剂氯化钡中必须加入盐酸, 但不能加入硝酸, 因为硝酸会氧化  $\text{S}^{2-}$  和  $\text{SO}_3^{2-}$  成为  $\text{SO}_4^{2-}$  而干扰硫酸钠的测定。

#### 3.3. 系统误差和统计离群值的排除

遵守“精密度法则”的“小样本”测得值近似正态分布, 其特点是大、小测得值的数量基本均衡, 系统误差会破坏这种均衡[14], 所以如果样本大、小测得值数量严重不均衡, 表明存在系统误差, 即应当检查予以修正; “统计离群值”是与均值  $\bar{X}'$  之残差超出最大残差  $E_R$  的测得值, 即超出  $(\bar{X}' \pm E_R)$  区间的异常值。因为“小样本”近似正态分布, 所以  $(\bar{X}' \pm E_R)$  可根据 GB/T4883-2008 正态样本离群值判断[15]。经过对大量实际样本的  $(\bar{X}' \pm E_R)$  统计归纳, 我们确定“小样本”最大残差  $E_R = 0.65R$ , 即超出  $(\bar{X}' \pm 0.65R)$  区间的测得值, 就是应当剔除的统计离群值。

#### 3.4. 测定结果的不确定度和允许误差

遵守“精密度法则”的量值  $\mu$  样本测定, 都是 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》[16] (以下简称“规范”)中的重复测量, “小样本”均值  $\bar{X}'$  的 A 类标准不确定度为:

$$u(\bar{X}') = S/\sqrt{n} \quad (4)$$

统计学指出,  $S/\sqrt{n}$  是“小样本”均值  $\bar{X}'$  的实验标准差, 它表明  $\bar{X}'$  落在  $\mu \pm 2S/\sqrt{n}$  和  $\mu \pm 3S/\sqrt{n}$  两个区间的概率分别为 0.9545% 和 0.9973% [17]。“规范”之 4.5 指出, 这两个包含区间的半宽度就分别是  $\bar{X}'$  的两个扩展不确定度:

$$U_{95} = 2S/\sqrt{n}, \quad k_p = 2 \quad (5)$$

$$U_{99} = 3S/\sqrt{n}, \quad k_p = 3 \quad (6)$$

$S$  是样本观察值  $X_i$  的标准差。根据“规范”4.3.2.6 之要求, “小样本”容量应取 10。“小样本”近似正态分布, 所以  $X_{10}$  的  $S$  可按照极差法  $S = R/C$  评估。 $n = 10$ , 则  $C \approx 3$ ,  $S = R/3$ 。将  $S = R/3$  代入式(5)、式(6), 即可得到不确定度的测量模型:

$$U_{95} = 0.67R/\sqrt{n}, \quad k_p = 2 \quad (7)$$

$$U_{99} = R/\sqrt{n}, \quad k_p = 3 \quad (8)$$

对于测定系统评估,“小样本”容量应取 10。而对于经过测定能力认证(即测定系统各种影响因素具有重复性)的日常检测,则只要每一测定结果满足允许误差  $\Delta$  要求即可,这时的“小样本”容量  $n_X$  为:

$$n_X = n(U_{95}/\Delta)^2 \quad (\text{取整数}) \quad (9)$$

### 3.5. 悬浮液光度法的精密度

样本测定的精密度,实际就是样本各测得值与均值的残差,通常都以 RSD 表示。实际上最能体现样本精密度的是样本的最大残差  $E_R$ 。从表 2 上氯化钠、碘化钾和硫酸钠三组测得值与各均值  $\bar{X}'$  之残差,可以看出,各组( $\bar{X}' \pm E_R$ )都能贴切地涵盖各自样本的所有测得值,但  $\bar{X}' \pm \text{RSD}$  却不能。如:碘化钾的  $\text{RSD} = 0.56\%$ ,  $\text{RSD} < E_R$ , 其( $\bar{X}' + \text{RSD}$ )不能涵盖测得值 70.8%,表明  $\text{RSD} = 0.56\%$  高于实际样本的精密度。而在氯化钠和硫酸钠中  $\text{RSD} > E_R$ , 其( $\bar{X}' \pm \text{RSD}$ )区间却远大于各自测得值的区间,表明 RSD 值远低于样本的实际精密度。可见,实验结果证明,以  $E_R$  表达样本的精密度,不仅比 RSD 简便而且更切合实际。

### 3.6. 悬浮液光度法测定的上、下限

因为沉淀的生成决定于溶度积原理,即生成沉淀的两种离子浓度之积必须大于溶度积,所以悬浮液光度法测定的沉淀生成物含量的下限,决定于沉淀剂的浓度和用量;而其含量的上限,又决定于稳定剂的稳定效果,即决定于稳定剂的浓度和用量。在本文沉淀剂和稳定剂浓度都是 5%、用量都是 10 ml 的条件下,氯化钠的测定限为 0.001 mg/ml~0.01 mg/ml;碘化钾的测定限为 0.04 mg/ml~0.4 mg/ml;硫酸钠的测定限为 0.1 mg/ml~0.5 mg/ml。

### 3.7. 低含量试样的“增量光度法”测定

含量更低的样品,沉淀滴定法无法测定,而悬浮液光度法却可用“增量光度法”测定。

#### 3.7.1. 低含量氯化钠“增量光度法”

按照本文 2.3 方法,制备试样及分析纯氯化钠的“待测液”200 ml。

用 10 ml 刻度移液管移取试样“待测液”10.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中,用 5 ml 刻度移液管加分析纯氯化钠“待测液”2.0 ml 作为“增量”,再按照 2.4 方法,制备试样氯化银悬浮液,在 380 nm 处测定“消光” $A_X$ ,在氯化钠增量“校准曲线”上查找试样的氯化钠含量  $C_X$ 。

“校准曲线”绘制:用上述 5 ml 刻度移液管,分别移取分析纯氯化钠“待测液”2.0 ml、3.0 ml、4.0 ml 作为氯化钠含量 0.0%、10%、20%的标准系列(其中 2.0 ml 氯化钠为标准系列的“增量”)按照上法,制备标准系列氯化银悬浮液,在 380 nm 处测定其氯化银悬浮液“消光” $A$ ,绘制氯化钠的增量“校准曲线”(图 2-II)。

#### 3.7.2. 低含量碘化钾“增量光度法”

按照本文 2.3 方法,制备试样及分析纯碘化钾的“待测液”100 ml。

用 10 ml 刻度移液管移取碘化钾试样“待测液”10.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中,用 5 ml 刻度移液管加标准碘化钾“待测液”2.0 ml 作为“增量”。按照 2.4 方法,制备试样碘化银悬浮液,在 420 nm 处测定其碘化银悬浮液“消光” $A_X$ ,在碘化钾增量“校准曲线”上查找试样的碘化钾含量  $C_X$ 。

“校准曲线”绘制:用上述同一只 5 ml 刻度移液管,分别移取分析纯碘化钾“待测液”2.0 ml、3.0 ml、

4.0 ml 作为含碘化钾 0.0%、10%、20% 的标准系列(其中 2.0 ml 碘化钾为标准系列的“增量”)。按照上法制备标准系列碘化银悬浮液, 在 420 nm 处测定其碘化银悬浮液“消光” $A$ , 绘制碘化钾“增量校准曲线”(图 3-II)。

### 3.7.3. 低含量硫酸钠“增量光度法”

按照本文 2.3 方法, 制备试样及分析纯硫酸钠的“待测液”100 ml。

用 5 ml 刻度移液管移取硫酸钠试样“待测液”5.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中, 用 5 ml 刻度移液管加标准硫酸钠“待测液”2.0 ml 作为“增量”, 照 2.4 方法, 制备试样硫酸钡悬浮液, 在 500 nm 处测定“消光” $A_x$ , 在硫酸钠增量“校准曲线”上查找试样硫酸钠含量  $C_x$ 。

“校准曲线”绘制: 用上述同一只 5 ml 刻度移液管, 分别移取分析纯硫酸钠“待测液”2.0 ml、2.5 ml、3.0 ml 作为含硫酸钠 0.0%、10%、20% 的标准系列(其中 2.0 ml 硫酸钠为标准系列的“增量”)。按照上法, 制备标准系列硫酸钡悬浮液, 在 500 nm 处测定其硫酸钡悬浮液“消光” $A$ , 绘制硫酸钠增量“校准曲线”(图 4-II)。

## 4. 结论

1) “精密度法则”是光度法的基础技术。长期以来, 人们之所以没有能认知光度法的真实规律, 正是因为忽视了光度法实施中的人、机、料、法、环(境)对于光度法影响的严重性。实践证明, 严格遵守“精密度法则”, 排除了各种影响因素对标准系列样品的干扰, 呈现了样品含量与入射光之间的真实规律, 确立了“两标准光度法”和“增量光度法”, 奠定了光度法测定各种含量的理论基础, 而且它是正态分布理论在光度法中的具体体现, “小样本”近似正态分布, 为排除系统误差和统计离群值创造了条件, 保证了测定结果的可靠性, 同时简化了不确定度评定, 建立了不确定度的测量模型, 满足了 JJF1059.1-2012 “规范”的各项要求。“精密度法则”在光度法中的特殊作用, 表明它是光度法的基础技术;

2) 悬浮液光度法不仅比沉淀滴定法简便、科学。而且“增量光度法”可测定沉淀滴定法无法测定的低含量。同时它也完善了光度法的内涵, 扩大了光度法的应用领域, 改变了光度法的传统观念, 彰显了光度法在分析化学中无可替代的功能;

3) 对于沉淀悬浮液光度法, 本文只是抛砖引玉, 更深入的内涵, 还有待更多专家、同行们的研究完善。

## 参考文献

- [1] 王运, 胡先文. 无机及分析化学[M]. 第 5 版. 北京: 科学出版社, 2019: 262-268.
- [2] 张胜建, 陈德余. 无机及分析化学[M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2019: 265-268.
- [3] 呼世斌, 瞿彤宗. 无机及分析化学[M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015: 412-422.
- [4] 谢练武, 郭亚平. 无机及分析化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 278-281.
- [5] 栾国有, 扬桂霞. 无机及分析化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 190-194.
- [6] 王永丽, 李忠军, 伍伟杰. 无机及分析化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 180-184.
- [7] 贾之慎. 无机及分析化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 235-238.
- [8] 王元兰, 邓斌. 无机及分析化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 287-29.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB/T5462-2003 工业盐标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [10] 郭凤鑫, 王水赞, 鲁宁, 周惠琼, 马文元, 范国强. GB/T6009-2014 工业无水硫酸钠[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. GB/T1272-2007 化学试剂碘化钾[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.



- [12] 贾殿徐. ISO/IEC17025-2006 校准和测试实验室能力的通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [13] 袁秉鉴, 任屏. 对光度法的几点新认识[J]. 分析化学进展, 2019, 9(2): 132-138.
- [14] 袁秉鉴. “精密度法则”在分光光度法中的作用[J]. 分析化学进展, 2020, 10(1): 1-7.
- [15] 中国国家标准化管理委员会 GB/T4883-2008 数据的统计处理和解释, 正态样本离群值的判断和处理[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.
- [17] 郑德如. 统计学[M]. 上海: 立信会计出版社, 1994: 173-177.