

光度法最大灵敏度的应用

袁秉鉴

国营5409厂质检处, 山西 运城

收稿日期: 2025年4月12日; 录用日期: 2025年5月4日; 发布日期: 2025年5月14日

摘要

以锰铁中锰测定为例, 介绍了应用灵敏度概念, 简化高含量光度法测定的程序: 1) 根据所用光度法资料, 在严格遵守“重复性测量条件”下, 绘制“校准曲线”探明其吸光度上限。各个含量、吸光度的坐标点都落在同一条直线上, 表明两端点连线可替代“校准曲线”, 其方程为几何学的“两点式”, 显示光度法的原理是 $\Delta A = k\Delta C$ 而非 $A = kC$, 灵敏度 $Se = \Delta A / \Delta C$; 2) 称取试样一个标准样品, 制备其“母液”; 3) 以“微滴”方式分取其“母液”, 制备吸光度临近、但不超过的最低和最高的两个样品, 实施测定; 4) 以最高吸光度的含量可恰当涵盖试样最高含量为前提, 选取标准样品的“母液”量, 并以此为准, 确定吸光度最低和最高的样品含量; 5) 以吸光度最低和最高两个坐标点连线, 作为样品含量的“测定线”, 并根据“校准曲线”方程建立样品测定的公式; 6) 根据标准样品“母液”制备方法, 制备被测样品的“母液”, 并以“微滴”方式分取与标准样品相同的“母液”量, 制备被测样品, 实施测定。以“两标准样品测定法”确定其含量。该方法简便、准确、环保。同一样品8次重复测定结果, 极差为0.4%, 不确定度 U_{95} 为0.09% ($k = 2$), 相对标准差RSD为0.08% ($n = 8$)。

关键词

光度法, 灵敏度, 值域, 锰铁

The Application of Maximum Sensitivity in Photometry

Bingjian Yuan

Quality Inspection Department of State Owned 5409 Factory, Yuncheng Shanxi

Received: Apr. 12th, 2025; accepted: May 4th, 2025; published: May 14th, 2025

Abstract

Taking the determination of manganese in ferromanganese as an example, the application of the concept of sensitivity to simplify the procedure of high-content photometric determination introduced:

1) According to the photometric data used, the “calibration curve” was drawn under strict compliance with the “repeatability measurement conditions to explore its upper limit of absorbance. The coordinate points of each content and absorbance fell on the same straight line, indicating that the line connecting the two endpoints could replace the “calibration”, and its equation was the “two-point formula” in geometry, showing that the principle of photometry was $\Delta A = k\Delta C$ rather than $A = kC$, and the sensitivity $Se = \Delta A/\Delta C$; 2) Weigh a standard sample of the test sample and prepare its “mother liquor”; 3) Take the “mother liquor” in the form of “microdrop” and prepare two samples with absorbance close to but not exceeding the lowest and highest, and carry out the determination; 4) Select the “mother liquor” amount of standard sample under the premise that the highest content of the sample can be properly covered, and based on this, determine the sample content with the lowest and highest absorbance; 5) Draw a straight line between the two coordinate points with the lowest and highest absorbance, which is used as the “determination line” for sample content, and establish the formula for sample determination according to the equation of the “calibration curve”; 6) Prepare the “mother liquor” of the test sample according to the preparation method of the standard sample “mother liquor”, and prepare the test sample by dispensing the same volume of “mother liquor” as the standard sample in the form of “microdrops”, and carry out the measurement. Determine its content by “two-standard sample method”. The method is simple, accurate and environmentally friendly. The results of 8 repeated determinations of the same sample had an extreme difference of 0.4%, an uncertainty U_{95} of 0.09% ($k = 2$), and a relative standard deviation RSD of 0.08% ($n = 8$).

Keywords

Photometry, Sensitivity, Domain, Ferromanganese

Copyright © 2025 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

测量系统的“灵敏度” Se ，是测量系统的示值变化除以相应的被测量值变化所得的商[1]。每一测定方法的灵敏度，对其应用和推广都是极其重要的，所以在每一光度法的研究中，都要首先绘制方法的吸收光谱，选取其灵敏度最大的峰值波长作为测定波长。根据光度法的原理，光度法的灵敏度，就是其吸光度值域的吸光度最大值减去其最小值之差 ΔA 除以相应物质含量之差 ΔC ，即 $Se = \Delta A/\Delta C$ 。由于长期以来每个光度法，都仅限于低含量测定，都未曾应用其方法测定高含量，所以从来也未曾有人探讨过应用其最大灵敏度的问题。正是由于笔者提出了关于光度法含量测定限的新认识。认为不同含量(涵盖高含量)的试样，只要制成吸光度处于原方法吸光度值域内的样品，即可用原方法实施测定[2]，才提出了光度法可以测定高含量的观点[3]。但笔者在以往的光度法高含量测定中，只注意到必须使其被测样品的吸光度必须处于原方法吸光度值域区间，并未考虑其测定的灵敏度问题。面对高含量测定“校准曲线”过短，难以从“校准曲线”上查得准确结果的实际问题，采用了“两标准测定法”的公式计算处理[4]，所以难以为广大同行推广应用。在为提高高含量光度法测定适用性的探索中，笔者曾将“含量系列”的最高含量，与方法吸光度最大值匹配，获得了较好的效果[5]，但其“显色系列”制备程序过于繁琐，不利于推广。在关注了灵敏度定义的基础上，对其“高含量系列”的标准样品制备做了简化，不仅提高了测定速度，降低了成本，而且规范化了高灵敏度的应用程序。现仍以锰铁中锰的测定为例，作详细介绍。

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；滴定管和医用针头；硝酸；盐酸；高氯酸；硝酸溶液(体积比)： $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O} = 1:4$ 和 $1:8$ ；硝酸银溶液：1%水溶液；过硫酸铵溶液 5%水溶液；实验用水为蒸馏水；试剂均为分析纯。

2.2. 实验条件

严格遵循规范 JJF1059.1-2012(以下简称“规范”)中的“重复性测量条件”[6]。

由于光度法实施过程中的“人、机、料、法、环”诸多因素的严重干扰，致使人们误认为朗伯 - 比尔定律即是其真实规律，只有严格遵守“规范”的“重复性测量条件”，保持上述干扰因素趋于一致，化学物质的吸光度与其含量之间关系才会得以展现。所以它是光度法真实规律展现的必要条件。

2.3. 实验原理

根据灵敏度概念，“含量系列”含量之差 ΔC 不变，增大其吸光度改变量 ΔA ，则其灵敏度 $Se = \Delta A / \Delta C$ 的量值必然会得以提高。

2.4. 实验方法

2.4.1. 高锰酸光度法“校准曲线”的绘制

高锰酸光度法的资料，只介绍了其锰含量的测定限是 0.1%~2.0% [7]，并未标明其相应的吸光度值域区间。为了使锰测定“含量系列”，占有吸光度值域更大的区间，但不超出其值域区间，则应首先复现原方法，绘制其“校准曲线”，认知其吸光度的值域限。

由同一人在同一天平的同一样程，称取锰含量 0.1%~2.0%的碳钢标准样品 0.2000 g，置于 200 mL 锥形瓶中，加 1:4 的硝酸溶液 30 mL，加热溶解并赶去氮化物。取下，流水冷却至室温，在同一只 100 mL 容量瓶中，加水定容，摇匀，作为各样品的“母液”。由同一人用同一只 10 mL 刻度移液管移取“母液” 10 mL，置于 200 mL 锥形瓶中。由同一人用同一只 5 mL 刻度移液管，分别加入硝酸银溶液、过硫酸铵溶液各 5 mL。在 80℃~100℃水浴中摇动加热 40 s。取出，流水冷却至室温。由同一人在 30 min 内，以水作参比，用同一只 2 cm 比色皿，在 530nm 处测定 MnO_4^- 吸光度。测定结果列于表 1。

Table 1. Absorbance value range of permanganate photometry at 530 nm

表 1. 高锰酸光度法在 530 nm 处的吸光度值域区间

锰含量(%)	0.19	0.48	0.60	0.96	1.40	1.78	2.02
吸光度	0.230	0.475	0.550	0.870	1.240	1.580	1.750

实验表明高锰酸光度法的吸光度值域区间为 0.100~1.750 (因为没有 0.10%的标准样品，其吸光度只能以“校准曲线”延至含量 0.10%确定其量值 0.100)。

根据表 1 数据绘制碳钢锰的“校准曲线”。

从图 1 可知，吸光度是个值域函数($0 < A < 2$)，在其值域区间，所有样品的坐标点(C, A)都落在同一条“校准曲线”上，所以其两端的坐标点连线，即可替代“校准曲线”，作为样品含量的“测定线”，其方程是几何学的“两点式”：

$$(A_x - A_1)/(A_{II} - A_1) = (C_x - C_1)/(C_{II} - C_1) \quad (1)$$

两边同乘以 $(A_{II} - A_1)$:

$$(A_x - A_1) = (A_{II} - A_1)(C_x - C_1)/(C_{II} - C_1) \quad (2)$$

从图可知, $(A_{II} - A_1)/(C_{II} - C_1)$ 是“校准曲线”的斜率 k , $A_x - A_1$ 是其吸光度的改变量 ΔA , $C_x - C_1$ 是吸光物质含量的改变量 ΔC , 所以式(2)可简化为:

$$\Delta A = k\Delta C \quad (3)$$

同时还可导出吸光物质含量的数学公式:

$$C_x = [(A_x - A_1)(C_{II} - C_1)/(A_{II} - A_1)] + C_1 \quad (4)$$

式(3)表明“在吸光度值域内, 化学物质的吸光度改变量 ΔA 正比于其含量的改变量 ΔC : $\Delta A = k\Delta C$ ”。我们称其为“化学物质吸光规律”, 这正是光度法实际与比尔定律不符的根本原因: $\Delta A = k\Delta C$ 与 $A = kC$ 截然不同, 因为 $\Delta A = A_x - A_1 \neq A$ 、 $\Delta C = C_x - C_1 \neq C$ 。

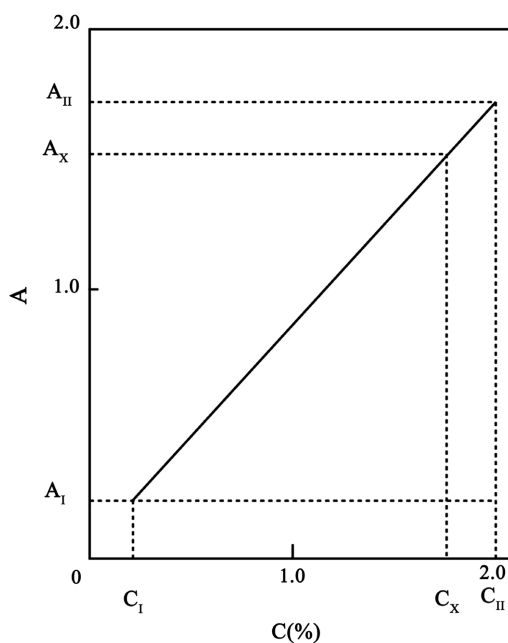


Figure 1. Calibration curve of Mn
图 1. 锰的“校准曲线”

实际上, 在无法得到一个原子或一个分子信息之前, 任何光度法的“校准曲线”都不会抵达坐标原点。其之所以称为“规律”, 是因为只要在光度法的实施过程中, 严格遵守“规范”的“重复性测量条件”, 无论何人、何地都可以得到相同的结果[8]-[12]。

因为“测定线”和公式(4)都只用两个标准样品, 所以将它们统称为“两标准样品测定法”。

锰铁锰含量为 60%~96%, 为了应用该法测定, 就必须使其被测样品的吸光度处于 0.100~1.750 之间, 所以其试样吸光度只能选择 0.55~0.87 的区间。根据灵敏度的定义, 该系列的灵敏度 $Se = (1.750 - 0.230)/(2.02\% - 0.19\%) = 1.52/1.83\% = 0.83\%$ 。表明与 1.0 吸光度相应的锰含量为 $1.0/0.83\% = 1.20\%$ 。

由于每个光度计都存在吸光度的示值读数误差, 721 型光度计的吸光度示值误差约为 ± 0.005 , 它给锰

铁中锰测定结果引入的含量误差为 $\pm 0.005(1.2\%) = \pm 0.6\%$ ，而锰铁锰含量测定的允许误差 $\Delta = \pm 0.45\%$ 。可见，要满足锰铁测定的允许误差要求，必须提高吸光度 0.55~0.87 区间的灵敏度。

2.4.2. 锰铁标准样品“母液”制备

称取锰含量 75.48% 的锰铁标准样品 0.2000 g (称量愈小称量误差愈大!)，置于 200 mL 锥形瓶中，加硝酸、盐酸各 10 mL。加热溶解后，再加高氯酸 10 mL，加热至冒烟，赶去盐酸，取出，流水冷却至室温。在 200 mL 容量瓶中加水定容，摇匀，作为其标准样品“母液”。

2.4.3. 高含量系列两标准样品的制备

为保证锰铁“含量系列”的吸光度，能够占有方法吸光度值域较大的区间，以“微滴”方式分取标准样品“母液”，制备吸光度临近(但不超出)最低和最高吸光度的两个标准样品，具体操作如下。

给 2 mL 滴定管安装一只 7 号医用针头，装满锰铁上述标准样品“母液”。在保持其直立稳定状态下，以匀速方式向锥形瓶中滴入“母液”10 滴，用 10 mL 刻度移液管，加入 1:4 硝酸溶液 10 mL，再用 5 mL 刻度移液管，分别向其中加入硝酸银溶液、过硫酸铵溶液各 5 mL。在 80℃~100℃ 的水浴中，摇动加热 1 min，取出，流水冷却至室温。在 721 型光度计上，选定波长 530 nm，以水作参比，用同一只 1 cm 比色皿，在 30 min 内，测定 MnO_4^- 吸光度，测定结果为 0.310。

根据含量最低样品的含量及吸光度数据，估计临近最大吸光度 1.75 的样品“母液”量为 100 滴(吸光度临近 1.75 而不能超过 1.75)，并依照上述方式，显色并测定其 530 nm 的吸光度，测定结果为 1.610。

2.4.4. “两标准样品”实际含量的确定

在估计吸光度最大样品含量可恰当涵盖锰铁最高含量的前提下，选取标准样品 75.48% 的“母液”量为 75 滴，并以此为准，确定“母液”10 滴和 100 滴两样品的实际锰含量 $C_I = 10.06\%$ 和 $C_{II} = 100.64\%$ 。

2.4.5. 样品含量的“两标准样品测定法”

以“母液”10 滴和 100 滴两坐标点(10.06, 0.310)和(100.64, 1.610)连线，作为被测样品含量的“测定线”，并以其坐标点数据为准，应用样品含量公式(4)，确定样品含量。

比如， $A_X = 1.250$ ，从其“测定线”上查得其相应的 $C_X = 75.30\%$ ，与标称值 75.48% 相差 0.18%，符合锰铁中锰的测定误差要求。而依照公式(4)计算：

$$C_X = \left[\frac{(1.250 - 0.310)(100.64 - 10.06)}{(1.610 - 0.310)} \right] + 10.06 = [85.15/1.3] + 10.06 \\ = [65.50] + 10.06 = 75.56(\%)$$

差 0.08%，符合锰铁中锰的测定误差要求。表明以“校准曲线”的“两点式”为基础，建立的“两标准样品测定法”是符合光度法实际的。

2.4.6. 试样的样品测定

依照 2.4.2 锰铁标准样品“母液”制备方法，制备锰铁被测试样“母液”200 mL，按照 2.4.3 两标准样品的制备方法，滴取其“母液”100 滴(与“两标准样品测定法”中的最高含量 100.64% “母液”量一致，使其含量处于两标准样品含量之间)，制备其显色样品，并按照 2.4.3 方法显色，在 530 nm 处测定其吸光度 A_X 。依照 2.4.5 “两标准样品测定法”确定其相应含量 C_X ，测定结果列于表 2。

不确定度 $U_{95} = 0.67R/\sqrt{n}$ [2]，表明样品测定结果为 $(75.48 \pm 0.09)\%$ ($k = 2$)。满足其锰铁测定允许误差 $\Delta = \pm 0.45\%$ 要求的样本容量 $n_X = n(U_{95}/\Delta)^2 = 0.4$ ，取整数 1 (n 为该样本的容量 8) [13]。表明该样品的一次测定结果，即可满足其测定允许误差要求。实际上表 2 中锰含量 75.48% 的 8 次测定结果中的每一个，与其标称值之差都未超出 $\pm 0.45\%$ ，显示了遵守“重复性测量条件”的重要性和建立在其基础上的“两标准样品测定法”的有效性和可靠性。

Table 2. Determination results of manganese iron samples (%)
表 2. 锰铁样品测定结果(%)

标称值	8 次重复测定结果	均值 $\bar{x}'$	极差 R	不确定度 U_{95}	RSD
75.48	75.28, 75.35, 75.40, 75.50 75.58, 75.68, 75.50, 75.50	75.47	0.40	0.09	0.08

3. 结果与讨论

3.1. 复现所用方法“校准曲线”是必须的

当前所有光度法资料，都只给出了方法的含量的测定限，而没有给出其吸光度的值域区间。所以，为了确认所用方法的灵敏度上限，复现其含量范围的“校准曲线”，即可简便地得到其吸光度的最大值，规避了制备“高含量系列”重新探寻的诸多困难和程序。

3.2. 比尔定律严重背离光度法实际

迄今教科书依然认为比尔定律 $A = kC$ 是光度法的理论基础[14]，但它却不能用于处理本文锰铁标准样品的测定结果。首先，两个标准样品之间没有互换性。以 $C_I = 10.06\%$ 、 $A_I = 0.310$ 为标准，则 $A_{II} = 1.610$ 相应含量 $C_{II} = 52.25\%$ ；以 $C_{II} (100.64\%)$ 、 $A_{II} (1.610)$ 为标准，则 $A_I = 0.310$ 相应的 $C_I = 19.38\%$ ；用 C_I 、 C_{II} 两个标准测定锰含量 75.48% 的样品，标准 $C_I = 10.06\%$ 、 $A_I = 0.310$ ，则吸光度 $A_X = 1.250$ 相应的锰含量 C_X 为 40.56%；再以 $C_{II} (100.64\%)$ 、 $A_{II} (1.610)$ 为标准，则吸光度 $A_X = 1.250$ 相应的锰含量 C_X 为 78.14%，都与实际含量相差甚远。但依照“两标准样品测定法”，无论是从其“测定线”上查找，或是采用其公式计算，都能获得理想的结果。这一客观事实表明：1) $A = kC$ 与 $\Delta A = k\Delta C$ 截然不同， $\Delta A \neq A$ ， $\Delta C \neq C$ ；2) $\Delta A = k\Delta C$ 符合光度法实际，而比尔定律 $A = kC$ 严重背离光度法实际。

3.3. 每个“含量系列”都存在最大灵敏度

尽管每个光度法研究，都要绘制“校准曲线”，确定其含量测定范围，但其实际应用的“含量系列”，都只是其中的一部分。所以，实际试样的“含量系列”都有占居其吸光度值域最大区间，获得最大灵敏度的可能。比如，高锰酸光度法锰测定的吸光度值域为 0.10~1.75，被测试样的在灵敏度 $Se = 0.83\%$ 。在只有一个锰含量 0.60% 标准样品的条件下，为获得 0.4%~1.0% “含量系列”的最大灵敏度，可按照如下方法获得。

按照 2.4.1 方法，将锰含量 0.60% 的 0.2000 g 样品制成 20 mL “母液”，用同一个 10 mL 刻度移液管，移取“母液”1 mL 置于 200 mL 锥形瓶中，再加入 1:8 硝酸溶液 9 mL (使体积与 2.4.1 标准样品“母液”10 mL 相同)。再用同一只 5 mL 刻度移液管分别加入硝酸银溶液、过硫酸铵溶液各 5 mL。在 80℃~100℃ 水浴中摇动加热 40 s。取出，流水冷却至室温。在 30 min 内，以水作参比，用同一只 2 cm 比色皿，在 530 nm 处测定 MnO_4^- 吸光度，结果得 $A_I = 0.30$ 。以此为准，估计吸光度逼近最大值 1.75 的“母液”量约为 6 mL，所以再用同一个 10 mL 刻度移液管，移取“母液”6 mL 置于 200 mL 锥形瓶中，加入 1:8 硝酸溶液 4 mL。再以上述方式显色、测定 530 nm 吸光度，得 $A_{II} = 1.62$ (已逼近最大值 1.75)。在估计“母液”6 mL 的含量可恰当涵盖“含量系列”最高含量 1.0% 的条件下，选取标准含量 0.60% 的“母液”量为 3 mL，再以此为准，确定“母液”1 mL 和 6 mL 锰的标准含量分别是 $C_I = 0.20\%$ 、 $C_{II} = 1.20\%$ 。得到锰含量最大灵敏度区间(0.20, 0.30)~(1.20, 1.62)。其灵敏度 $Se = (1.62 - 0.30) / (1.20\% - 0.20\%) = 1.32 / 1.00\% = 1.32\%$ ，而原灵敏度仅为 0.83%。

3.4. 光度法测定结果的相对误差是样本极差 R 的函数

教科书根据光吸收定律，断定光度法测定结果的相对误差 $\Delta C / C = 0.4343 \Delta T / T \lg T$ [14]。实际上，严

格遵守“重复性测量条件”，同一量值 μ “样本”的各个测得值“如出一模”，中心极限定理表明，其“大样本($n \rightarrow \infty$)”服从正态分布[15]，即“大样本”均值 $\bar{X}$ 会与 μ 重合于样本极差 R 的中心，其各个测得值则密度逐渐降低地分布于其两侧 $0.5R$ 内(图 2)。而“小样本”大于 μ 的均值 $\bar{X}'$ 处在 μ 右侧距最小值的 eR 处(图 3)。小于 μ 的均值 $\bar{X}'$ 处在 μ 左侧距最大值的 eR 处(图省略)。可见， eR 就是“小样本”的最大残差。从图 2 可知 eR 值在 $0.5R \sim R$ 之间，容易求得。笔者根据 GB/T4883-2008 [16] 的正态样本离群值的判断和处理，采用“折半法”，在大量“小样本”的测得值中，寻找超出 $(\bar{X} \pm eR)$ 即为统计离群值的量值，最终统计确定 $eR = 0.65R$ 。即“小样本”测定结果(均值 $\bar{X}'$)的最大误差是样本极差 R 的函数，其值为 $0.65R$ 。表 2 中考核样品 75.48% 的 8 次重复测定结果的相对误差 $\Delta C/\bar{X}' = 0.65 \times 0.40/75.47 = 0.3\%$ ，与其均值 $\bar{X}' = 75.47\%$ 的透光率 $T \approx 0.16$ 毫无关系。

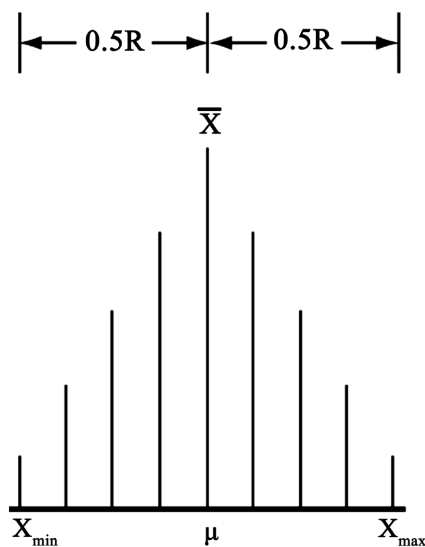


Figure 2. Large sample normal distribution
图 2. 大样本正态分布

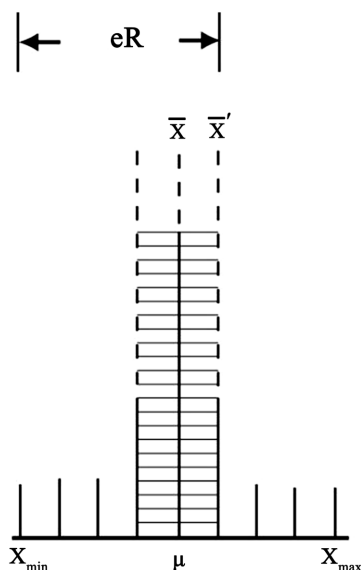


Figure 3. Small samples and their mean distribution
图 3. 小样本及其均值分布

极差 $R = 0.40\%$ ，不仅表明其 8 个测得值彼此之间的差异不会大于 0.40% 、样本残差不会大于 $0.65R = 0.26\%$ 、不确定度 $U_{95} = 0.67R/\sqrt{n} = 0.09\%$ 、样品测定结果为 $(75.47 \pm 0.09)\% (k=2)$ ，而且满足样品测定允许误差 $\Delta(\pm 0.45)$ 的测定样品容量 $n_x = n(U_{95}/\Delta)^2 = 0.32$ (取整数 1)，即只需测定一个样品，其结果即可满足允许误差要求，指导了日常样品检测工作。

3.5. “两标准测定法”两个标准样品的选择

没有标准样品系列，是高含量“两标准测定法”应用的最大难题。实际上，虽然“两标准测定法”的两个标准样品，是根据“校准曲线”的几何图形确定的。但在实际应用中，只要测定过程遵循“规范”中的“重复性测量条件”，其公式(4)中的 C_I 和 C_{II} 不必一定非是“含量系列”两端的两个标准样品，它们可以是包含被测样品含量的任意两个标准样品。所以只要有一个标准样品，都可采用分取同一标准“母液”的方法，简便制备。譬如，只有一个锰含量 75.48% 的标准样品，而要测定锰含量约 $50\% \sim 65\%$ 的试样，可确定“母液”70 滴为 $C_{II} = 75.48\%$ ，则其 46 滴即相当于 $C_I = 49.60\%$ 。用它们即可对锰含量约 $50\% \sim 65\%$ 的试样实施测定；而要对锰含量 $80\% \sim 96\%$ 的试样实施测定，可以 75.48% “母液”为 60 滴 $C_I = 75.48\%$ ，80 滴即相当于 $C_{II} = 100.64\%$ ，采用该两个标准样品，作为试样测定的两个标准样品，即可对锰含量 $80\% \sim 96\%$ 的试样实施测定。而被测试样“母液”制备方法及用量，都与各自的标准样品(含量 75.48%)相同。

3.6. “微滴”可作为特定容积单位应用

尽管“微滴”不是法定计量单位，但实践证明，在严格遵守“规范”中“重复性测量条件”下，其容积(约为 0.1 mL)可作为同一测定系统的特定容积单位应用[17][18]。

4. 结语

1) 严格遵守“规范”的“重复性测量条件”，对于光度法而言，特别重要。因为它是保持光度法实施过程诸多因素影响趋于一致，使测定结果只呈现物质吸光度与其含量之间唯一关系的关键，所以它是光度法的基础技术；

2) 光度法最大灵敏度的应用，表明了光度法是分析化学中一个不可或缺的分支，它简便、灵活、多能，具有广泛的实用性和适用性。当前国内教科书中，关于光度法的基本原理及误差理论，都是背离光度法实际的，它们都严重地阻碍了光度法的应用和发展，应当引起业内人士的共同关注；

3) 本文以灵敏度的概念，简化了高含量“两标准样品”的制备，方便了操作，提高了速度，降低了成本及对环境的污染，有利于高含量光度法的推广应用；

4) 实践证明，在溶液、滴具、操作者同一的条件下，“微滴”可以作为特别测定系统的特定容积单位。它不仅保证了高浓度样品吸光度可进入吸光度值域的最高区间，而且克服了“高含量系列”难以配备的困难，也避免了滴定管、移液管内壁粘连、滞留所产生的误差，提高了光度法测定高含量的准确性和可靠性；

5) 标准样品“母液”量的选择极为重要，它直接决定着最大灵敏度量值的大小。选取的原则，就是要以吸光度最大样品的含量，能恰当地涵盖试样最高含量为前提。

参考文献

- [1] JJF1001-2011 通用计量术语及定义[S]. 北京: 中国质量监督检验检疫总局, 2011.
- [2] 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.
- [3] 袁秉鉴. 高锰酸分光光度法的研究[J]. 化学分析计量, 2006, 15(2): 13-17.

-
- [4] 袁秉鉴, 任屏. 沉淀物的悬浮液光度法测定[J]. 分析化学进展, 2021, 11(3): 123-131.
- [5] 袁秉鉴. 吸光度定位光度法测定锰铁中的锰[J]. 分析化学进展, 2024, 14(3): 176-181.
- [6] JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国国家质量监督检验检疫总局, 2012.
- [7] 吴诚. 机械工程材料测试手册(化学卷) [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996: 1046.
- [8] 高立红, 周凯红, 王燕霞, 等. 硅钼蓝分光光度法测定氟化稀土中二氧化硅[J]. 冶金分析, 2017, 37(4): 57-61.
- [9] 邓军华, 王一凌, 亢德华, 等. 二安替吡啉甲烷光度法测定含钛物料中二氧化钛[J]. 冶金分析, 2015, 35(10): 30-35.
- [10] 钟国秀, 黄清华. 光度法快速测定铜合金中微量铝[J]. 化学分析计量, 2011, 20(5): 60-62.
- [11] 王冀艳, 刘勉, 赵晓亮, 等. 酸溶-苯基荧光酮光度法测定矿样中钼[J]. 冶金分析, 2017, 37(4): 48-51.
- [12] 王璇, 金涛, 王浩伟, 等. 紫外分光光度法测定聚硫密封胶中二氧化钛[J]. 化学分析计量, 2017, 26(4): 24-27.
- [13] 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.
- [14] 王玉枝, 张正奇, 宦双燕, 等. 分析化学[M]. 第3版. 北京: 科学出版社, 2016: 198.
- [15] 杨振明. 概率论[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2008: 74.
- [16] GB/T4883-2008 数据的统计处理 and 解释正态样本离群值的判断和处理[S]. 北京: 中国国家质量监督检验检疫总局, 2008.
- [17] 袁秉鉴. 紫铜滴定分析与“尾数微滴”法[J]. 理化检验(化学分册), 1987, 23(1): 11-14.
- [18] 袁秉鉴. 等滴光度法测定钼铁中的钼[J]. 化学分析计量, 2002, 11(5): 15-17.