

痕量金属的光度测定概况

痕量金属的比色测定第 I 部分

第一分册

〔美〕E. B. 桑德 尔

〔日〕大西 宽

容庆新 等译

地 质 出 版 社

痕量金属的光度测定概况

痕量金属的比色测定第 I 部分 (第四版)

0044

1-1/1

(第 一 分 册)

[美]E.B.桑德尔 [日]大西 宽 著

容庆新 黄均惠 李焕然 朱锡海 译

徐 庆 新 校

地 质 出 版 社

Photometric Determination of Traces of
Metals General Aspects
Fourth Edition of Part I of
Colorimetric Determination of Traces of Metals
E. B. SANDELL
University of Minnesota (Retired)
HIROSHI ONISHI
University of Tsukuba
1978

痕量金属的光度测定概况
痕量金属的比色测定第 I 部分 (第四版)
(第一分册)

[美] E. B. 桑德尔 [日] 大西 宽 著
容庆新 黄均惠 李焕然 朱锡海 译
徐 庆 新 校

地质矿产部书刊编辑室编辑
责任编辑: 关 英
地质出版社出版
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: 9 字数: 235,000
1982年10月北京第一版·1982年10月北京第一次印刷
印数 1—2,690册·定价: 1.60元
统一书号: 15038·新826

译 者 的 话

E. B. Sandell 所著“痕量金属比色分析”一书自1944年初版问世以来，已经作了两次修订。大家公认这是一本有关金属元素比色分析的佳作。近十多年来，痕量金属元素的分析方法研究又有了很大的发展。最近他又与日本著名分析化学家大西 宽教授合作对第三版的第一部分作了全面的修改，增添了许多新的内容，并改名为“痕量金属的光度测定”。全书内容十分丰富，一开始即较全面地阐述痕量分析应该注意的有关问题（如污染、损失、采样及试样分解方法）；书中除对分光光度和荧光分析法在痕量金属分析中的地位和作用作较详细的阐述外，还对有机显色剂较全面地作了分类介绍（占1/3以上的篇幅）；而且还对共沉淀、萃取、离子交换和挥发等分离方法在痕量金属分析中的应用作了简短而系统的介绍。全书基本上总结和引述了1977年以前的文献，各章节的内容都反映了有关方面的最新研究成果。因而，对于我国广大的分析化学工作者以及高等院校有关专业的师生，都将是一本很有价值的参考书。

由于本书原文篇幅很大（共1058页），故将译本分成三册出版。第一分册为原书的第一至五章（概述），第二分册为原书的第六章（有机显色剂），第三分册为原书的第七至十章（分析分离方法）。

译本第一分册承徐庆新先生负责校阅。本书在翻译过程中还得到陈永兆先生及莫华树先生的热情帮助，在此谨表示衷心的感谢。

由于我们的知识和外语水平所限，译文中错误不当之处在所难免，敬希读者不吝批评指正。

译 者

1981年6月于广州中山大学

第一版序言节录

痕量元素，特别是金属元素的比色测定，近年来有了很大的发展。在作者看来，把这个分析领域的新方法收集起来是有用的，这本书就是这方面尝试的结果。作者不打算把它写成痕量金属比色测定方法的一本百科全书，而只想介绍目前被认为最适用于痕量金属测定的一部分方法。任何一种试剂不一定能在各种类型的样品中或在任何条件下都适用来测定某一种元素。因此，对许多金属有时要把 2 或 3 种方法写得详细些。几种荧光分析法也写了进去。这是作者在很大程度上根据他在试验或使用各种分析方法时所得的经验而编写的。

无论什么人如果他对痕量比色分析方法进行概括论述时，就会因这里有许多灵敏的反应而感到满意。但在另一方面，又会对人们在应用这些反应的知识不足而濒于失望。关于外界元素对一个特定的颜色反应的影响，人们通常知道得很少，并且对于消除外界物质干扰多半是研究得不够。痕量元素的分离方法是落后的，对许多痕量元素甚至现在还没有分离方法。本书的读者可能发现有许多现阶段痕量分析中的问题没能从本书得到解答。我们希望今后的分析工作者在这个平凡的课题上所花的精力和比较引人注目的研制新试剂工作所花的精力一样多。

序 言

如书名所指出的，这本书是痕量金属比色测定（1959年）一书第Ⅰ部分的修订本。它讨论无机光度分析（分子吸光光度法和荧光分析法）的概况以及金属的分离问题。自五十年代后期起，发表了数以千计的有关这方面的文章。如果详尽无遗地论述这么多的材料，会使读者感到筋疲力尽——对作者一定也是这样。采取折衷的办法会有好处。这就是我们在这个修订本中试图要做的。列出足够数量的参考材料并且提供了文献的要点。有三分之一的篇幅是讨论分离问题。

目前我们尚未决定是否对痕量金属比色测定的第Ⅱ部分进行修订。我们相信，分析工作者仍会从第三版的第Ⅱ部分找到各个痕量金属的分离和测定的有用资料的。

E. B. 桑德尔

大西 宽

1978年1月

目 录

第一分册

第一章	痕量分析：光度分析法的作用	1
第二章	痕量分析的污染和损失	44
第三章	取样和试样的分解	106
第四章	无机痕量分析中的吸光光度法与荧光分析法	155
第五章	无机显色剂和测定形式	249

预告目录

第二分册

第六章	有机显色剂
-----	-------

第三分册 分析分离方法

第七章	沉淀与共沉淀
第八章	色谱法、离子交换
第九章	液-液萃取
第十章	挥发法

第 一 章

痕量分析：光度分析法的作用

I、初步考虑	(1)
II、元素痕量分析方法	(3)
A. 溶液中的吸光光度法 (分光光度法)	(4)
B. 荧光分析法	(9)
C. 原子吸收、原子荧光和火焰分光光度法	(11)
D. 发射光谱法 (无火焰)	(15)
E. X-射线荧光分析法和显微探针分析法	(16)
F. 质谱分析法	(16)
G. 基于放射活性的测定方法	(17)
H. 电化学法	(22)
I. 反应速度法	(22)
J. 其它方法	(22)
III、各种类型方法所得结果的比较	(23)
IV、方法的选择	(37)
注解	(41)

I、初 步 考 虑

痕量分析可以定义为测定固体试样中含 量 少 于 0.01% 的组分^[1]。显然，在痕量和非痕量组分之间并不需要、也不可能进行严格地划分。一个痕量组分的最低限是零，但实际上这个最低限是由可资利用的分析方法的灵敏度来确定的。一般说，随着分析方法的进展，这个限度不断下降。本书中研究的痕量组分是无机物，其量通常是指该元素的重量。

在图1—1中，Y轴是用对数来表示试样中组分的相对含量，

包括较多的 (100—1 %) 和较少的 (1—0.01%) 组分级别在内^[2]。图中的X轴则标示试样重量的级别。试样重超过 0.1 克的称为常量, 在 0.1—0.01 克范围内的叫中等量 (“半微量”), 少于 0.01 克的又可按下面细分为:

10^{-2} — 10^{-3} 克	微量 (或毫克量试样)
10^{-3} — 10^{-4} 克	亚微量 (或丝克量试样)
$<10^{-4}$ 克	超微量

(后面几种的叫法是有点随意的, 对这几类的名称还没有取得一

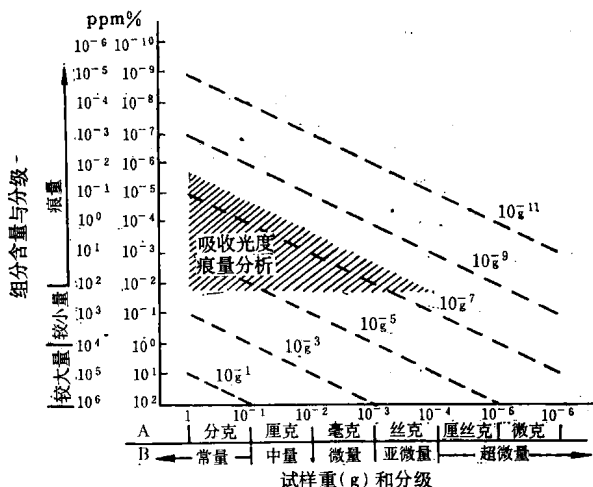


图 1—1 以试样量和组分含量为根据的分析方法的分类, 较大量组分指占试样的 100—1%, 较小量组分指占 1—0.01%, 痕量组分 $<0.01\%$ (<100 ppm)。痕量范围不再细分, 但可用数字标示。例如, 1—100ppm 或用 $-\log(\text{浓度}) = p(\text{浓度})$ 表示。试样大小和级别可采用上图的 A 或 B 中的名称, 或用数字标示, 如 10^{-2} — 10^{-3} 克。常量与中等量一般都易理解, 但对这里所说的微量、亚微量和超微量的名称和分类范围还没有一致的意见。图中斜的虚线表示组分的量, 以克表示。也指明了分子吸光光度法的组分含量—试样重的范围。溶液吸光光度法 (分光光度法) 的近似最低绝对极限是根据较灵敏的颜色反应来确定的, 并以组分重量来表示 (0.001 — 0.003 微克元素在 1 厘米²横截面的液柱中可用仪器检出)。此重量是检测极限的 10 倍量。在 5 厘米比色皿中溶液的体积假定是 5 毫升 (或 10 厘米比色皿中 10 毫升)。上图是以 Sandell, *Colorimetric Determination of Traces of Metals*, 3rd ed., (1959) 的图 1 为依据的

致的叫法)。

图1—1中的对角线表明组分的绝对量(以克表示),它随组分相对含量与试样量大小(=重量)而改变。根据所用方法的灵敏度和组分含量的不同,在痕量测定中,所需的试样量变化很大可以从常量到超微量。通常在痕量分析中,试样量不超过1—10克(经常不超过1克),但有时会取大得多的试样。对于易搬运的物料如水或冰等,试样量可以达到公斤或吨级范围。

痕量分析的基本特征与其说是测定一种组分的微量,还不如说是在有大量可能严重干扰痕量组分的反应的其它物质存在下测定这种组分的微量。

II、元素痕量分析方法

本节的目的不是去论述各种类型的无机痕量分析方法的原理。我们假定读者对此已很熟识^[3]。我们讨论的不是常见痕量分析方法一般的灵敏度、精密度、准确度和选择性。本节不打算作详细的或综合的论述,但它概述了各种方法的前景,对各种方法进行一些比较,让读者对溶液吸光光度法和荧光分析法在痕量分析中应用的潜力作出一些结论。

经典的化学计量(重量或容量)方法没有用在痕量分析中,主要是因为它们的灵敏度不够,但也有一些例外。容量分析方法有时可用于痕量范围的上限。用试金法测定金和其它贵金属时,金属小珠最后称重至0.01mg,这几乎是重量分析法在痕量分析中仅有的重要应用。Haber测定海水中金的方法是包括对金属小珠进行显微测量,以求得它的含量。Stock应用类似的方法测定各种物料中的汞。这些微量方法以前曾经使用过,现在则很少用了。

痕量分析中所要求的灵敏度可用物理或物理化学的方法测得。这些方法都是以能量的表现作为测量的基础。辐射能的发射或吸收,或能量的转换,在某种程度上必然与待测物质的质量或

浓度有关，在此意义上说，这些都是间接的方法。这些关系的建立几乎总是要用待测组分的已知标准量进行校正。对某些方法，可以用纯金属的溶液。其它的方法，则需要用与基体组成相类似的固体标样。但是用人工合成方法制备这些标准样是不容易的。于是有必要使用经其它方法分析过的标准样。很明显，就准确度而论，这些方法有严重的缺点。

物理方法是一类往往有较高选择性而且比较快速的方法。当应用于测定痕量组分时，照例，不要求所得结果的误差低于百分之几。因为这样的准确度在实际分析中不是经常容易得到的。某些物理方法——中子活化法、x-射线荧光法、火焰或电弧发射光谱法——是较之其它方法如溶液吸光光度法、溶液荧光分析法或电化学分析法有更多的物理特性，而后两种方法包括化学反应在内，所以把后两种方法最好称之为物理化学方法。

我们首先考虑两种类型的方法作为本书的主题，溶液吸光光度法和溶液荧光分析法，因为缺乏一个较合适的术语，因而这里将它们包括在“光度分析法”一词之中。

A. 溶液中的吸光光度法（分光光度法）

这一类方法是根据溶液中的某种物质吸收了电磁波在可见和紫外（很少近红外）光谱部分的辐射。所用的溶液通常都是水溶液或有机溶剂（很少情况下用熔体），具有吸光作用的物质则是分子或离子（很少是原子）^[4]。吸光物质通常是（而且最好是）处于真溶液状态，也可以是固体悬浮物或固体薄层。“溶液吸收分光光度法”这个词虽然不是完全确切也不能包括方法的全部含义，但它能较好地反映这些方法的特点，只是这个词太累赘了。“分子（离子）吸光光度法”可以表达这类方法的意思，并且能与原子吸收光度法相区别。在本书中，当我们谈到吸光光度法时，我们的意思是指测量溶液中物质对辐射能的吸收，通常是在可见或紫外区内一个较窄的波带下进行。“分光光度法”是另一种叫法，它虽不够严格，但通常人们理解它就是这里所讨论的方法。旧的

术语“比色法”不能准确地描述这些方法，因为现今测量光吸收通常不但在可见光也可在紫外区域内进行。但分析化学工作者会理解这个术语指的是通过化学反应使可溶组分生成光吸收产物，随后进行分光光度测量（通常是吸收但也是反射）或比较颜色以确定可溶组分浓度的那些方法。有时，当吸收是在可见区时，用“比色法”可能会好些。

十九世纪最早的痕量测定是一种比较颜色的物理化学方法，它是根据使用试剂如氨（测铜）、硫氰酸盐（测三价铁及钴）和氯化亚锡（测金）等产生的颜色来比较的。有机化学近一百年以来的发展，导致发现和合成了许多试剂，它们能与金属离子生成有色（有些产生荧光）螯合物和离子缔合络合物，并已在分析中得到应用。随后，又通过合成方法比较系统地寻找过新的更灵敏与更有选择性的有机试剂。在本世纪中叶之前用市场出售的光电比色计已能利用这些反应准确地测定一些金属和非金属。

最近25年左右，发展了一些新的物理方法（p.15）（发射光谱法早已使用），引起痕量分析方法的大变革。吸光光度分析法不像以前那样重要了。然而，它在痕量分析中仍是有用的，甚至是有价值的，特别在痕量分析的上限范围。

最低检测极限 一个元素可用吸光光度法检测的最低溶液浓度 $C_{\min}$ 由下面关系式表示

$$C_{\min} = \frac{A_{\min}}{ab}$$

其中 $A_{\min}$ = 最小检出的吸光度 ($\log I_0/I$)。

a = 在某特定波长 λ 下的吸光度

= 在有光吸收作用的物质中一单位重量的元素在一单位横截面积的液柱中所产生的光吸收（方便的单位是平方厘米/微克或平方厘米/纤克）。

b = 液层厚度以厘米表示。

（假定 A 与 b ， C 成正比，则 a 为常数；在实际上这通常是确实的。）

对于无机痕量分析中的比色反应， a 值为 0.1—1 平方厘米/微克是有代表性的。 $A_{\min}$ 取决于许多因素，特别是所用的吸光度计，较好的平均值是 0.001。于是得到

$$C_{\min} = \frac{0.001}{ab}$$

用 $1/(1000\varphi)$ 代替 a 比较方便些， φ 是反应的灵敏度指数，其定义为^①：在 1 平方厘米横截面积的液柱中能产生 0.001 吸光度的光吸收物质所相应的待测元素的量（微克数）：

$$(C_{\min})_{\mu\text{g/ml}} = (C_{\min})_{\text{ppm}} = \frac{\varphi}{b}$$

许多颜色反应的 φ 值可以查得到^[5]或计算出来，如果反应能进行完全的话，可由克分子吸光系数（摩尔吸光系数）计算，如果反应进行不完全时，则由表观克分子吸光系数计算。对大多数灵敏的颜色反应来说， φ 的平均值为 0.002 微克/平方厘米。至少有 20 种金属（Al、Sb、As、Be、Bi、Cd、Cr、Co、Cu、Ga、Ge、Au、Fe、Pb、Mg、Hg、Pd、Pt、Ru、Tl 和 Zn）的反应其 $\varphi = 0.002—0.003$ 。极少的反应其 $\varphi < 0.001$ 。于是可以说，用一个 1 厘米比色皿（ $b = 1$ ）时 $C_{\min}$ 的最低平均值是 $\sim 0.002\text{ppm}$ 。

如果假定测量吸光度时所用的溶液不超过 5 毫升，光程长为 5 厘米，试样重 1 克的话，那么在（固体）试样中能够用一个已知 φ 值的反应吸光光度法地检出的元素的最低量就能精确确定。对大多数金属的痕量测定来说，最后体积为 5 毫升是相当现实的，因为可以用液—液萃取将有色物或具有光吸收作用的物质转入这个比较小的体积中去，当然也可以用其它富集方法，虽然并不如此方便。如果最后体积为 10 毫升，光程长应当是 10 厘米，虽然当使用分离（富集）步骤时试样量没有最大限度^[6]，但限制（固体）试样量在 ~ 1 克左右是比较方便的。这样大小的试样量在处理时不会有很大困难，即使要熔融分解物料，例如用碳酸盐熔融硅酸

① 此处 φ 即是桑德尔灵敏度，国内习惯用 S 表示——译者。

盐，也不会有很大麻烦。根据前面相同的道理，试样中待测元素的最低量就是 $\sim (1 \times 0.002)$ 或 $\sim 0.002\text{ppm}$ 。现在，假设检测极限近似地表示一个痕量组分在它的最低范围内测量时的标准偏差，并且在这个范围内可以允许有10%的相对标准偏差。那么试样中组分的含量就应是 $\sim 100/10 \times 0.002 \sim 0.02\text{ppm}$ 。当然，方法的标准偏差不可能单独由仪器的偶然偏差来决定，这里可把标准偏差看作灵敏度。一般说，比色法适用于含量大于 0.1ppm 组分的试样。

一般说，如果透光度标尺为100分度 ($I_0=100$) 并可以读到0.2分度 ($\pm 0.2\% I$ ，绝对值) 的话，溶液能产生吸光度为 ~ 0.4 时其精密度最佳。(见第四章)。因此，在假定的条件下 (1克试样，最终体积5毫升，5厘米比色皿， $\varphi=0.002$)，吸光度读数高于 $0.4/0.001 \times 0.002 = 0.8$ ，或者说组分是 1ppm 时，光度法的精密度并不会提高。所以，为了得到最高的精密度，如果组分含量是 $\sim 10\text{ppm}$ ，试样量可以减少至 ~ 0.1 克，或者组分含量是 100ppm ，则试样量可以减为 0.01 克，余此类推。用1厘米比色皿时 (5毫升体积)，此重量应乘以5。事实上，在实际痕量分析中，在所有的测定中都力求得到最大的精密度是不必要的，当其它因素相同时，常常使用比上述量较少的试样就可以了。

精密度与准确度 此课题留在第四章中讨论，但在这里需要作一些一般性的说明。上一节提到的在吸光度测量中的偶然误差，只是影响吸光度测定的许多种误差中的一种。在分析过程的发色阶段亦可能有偶然 (不定) 误差^①。但可测误差可能比不定误差重要得多，且较难估计。吸光光度法，像所有其他分析方法一样，都受到正和负的干扰。几乎任何一种金属离子的颜色反应都不会有如此高的选择性，以致其它金属不能生成有色或具有光吸收作用的物质。负干扰是比较次要的。常常通过调整溶液的氢离子

① Indetermination error译为不定误差，random error译为偶然误差，determinate error译为可测误差或固定误差，即系统误差——译者。

浓度，利用生成特异的络合物或氧化还原反应，可以消除或减少外界元素的干扰。但这样的办法有时会失败，特别在痕量分析中当外界元素对待测元素的比例过大时更是如此，遇此情况就要求分离以除去干扰元素，并且留下的待测元素最好只占较小体积。在分离中可能出现两类误差：待测元素的回收率可能不完全以及外界元素可能没有完全除尽。

如果空白值大，精密度可能降低而且测定极限可能升高。

另一个误差来源是取样，由于样品不均匀，所取试样未必能准确地代表它本来的含量。此种误差在吸光光度法中可能比用较少试样量的其它痕量分析方法的要小一些。

无干扰元素存在时，要确定一个方法的精密度与准确度并不困难。当有干扰元素存在时，就不是那么容易了，因为精密度和准确度，特别是后者，可能与这些元素的数目和量有关。一个方法的准确度可以用含有已知量待测元素的合成样品来检验。这是费力的工作，而且它只可能由方法的发明者或修改者来做。一个较简单的办法是用该方法分析一个标准样品，其结果与用其它被认为是准确的方法所得的结果相比较。如果一些方法很不相同，以致使用它们进行测定全然不会产生同样的误差，那么，用这些不同的方法比较分析的结果是一个检查可测误差的有效手段。这样就可以用一类物料的标准样品来确定此类物料中某一特定元素的吸光光度法测定的准确度。用不同分析方法测得痕量金属结果的比较见第三节。

选择性 在分子吸光光度法中绝大多数的测定形式都有宽阔的吸收带，所以利用光学手段（像在原子吸收法中）来获得选择性的价值是有限的，而是应当利用试剂和组分的化学性质。人们会怀疑，是否有一种颜色反应对一种元素，特别是对一种金属来说是特效的，意即在待测元素的最大吸收波长位置或其附近所有其它金属离子生成的反应产物不会产生光吸收作用。实际上当杂质元素对待测元素的比例过大（如 10^5 或 10^6 ）时，特效性是很难达到的。但是有许多颜色反应是有选择性的——只有几种元素能产

生与待测元素相类似的反应。使用掩蔽剂大有助于提高选择性。在实用中，有限的特效性通常是可以被人接受的。就是说，大多数被推荐用于测定某一种元素的方法只适用于几类的物料，在这些物料中杂质元素的量不能超过一定限度。在文献中极少见到适用于任何组成的试样的分析方法。

为了获得必要的特效性，分析工作者在使用吸光光度法（其它方法也一样）时或迟或早——在痕量分析中往往会更早些——不得不利用分离方法。选择性分离与选择性颜色反应相结合可以获得实际的特效性。分离方法，如上而提到的，可能导致待测元素的明显损失。再者，它们使分析时间延长。但分离方法有一个很大的好处是（如果分离方法是合适的话）：它们会使测定结果不受试样组成所制约。在元素痕量分析的物理方法中基体的影响实际上是普遍存在的，虽然这个影响随方法不同而有很大的差异。

后面列出吸光光度法应用于痕量分析的一些结果可供对这种方法的准确度及最低测定极限作出评价。

B. 荧光分析法

比较方便的是将荧光测定法与吸光光度法连在一起讨论，虽然荧光分析法与吸光光度的原理完全不同。这两者通常并在“光度分析法”内。其仪器设备的要求是不多的，这两种方法应用于痕量分析时除非试样的组成十分简单，否则可能都要求事先分离。荧光分析法通常较吸光光度法灵敏，有时相差一或两个数量级，但不是常如此。荧光分析法的灵敏度依赖于紫外光源的强度以及其它因素，而且它的客观表达方式不如吸光光度法那样容易。灵敏度通常以浓度表示。例如，用一台指定的仪器或指定的溶液体积在一定条件下产生可测荧光的最低浓度以ppm 或 $\text{pp}10^9$ （甚至是 $\text{pp}10^{12}$ ）表示。这些浓度通常在 $\text{pp}10^9$ 范围。例如，在美国一台普通的荧光计，用 $5 \times 10^{-3} \text{ ppm}$ 的喹啉硫酸盐水溶液可以得到满刻度的偏转（100分度），据称其极限甚至可达几个 $\text{pp}10^{12}$ 。一个 10^{-4} ppm 的荧光黄溶液所产生的荧光也不难检测到。用一个染

料激光器(esculin laser)^①(用以增强激光强度)可使荧光黄的检测极限达到 $\sim 2\text{ppb}$ ¹²。有机试剂应用于无机荧光分析中,生成的金属——有机化合物(通常是螯合物)所产生的荧光的灵敏度可与上述的相媲美,只有极少数例外。双水杨醛缩乙二胺测定溶液中Mg的灵敏度是 $2 \times 10^{-5}\text{ppm}$ 。2-羟基-3-萘甲酸测Al的灵敏度是 $2 \times 10^{-3}\text{ppm}$,Be是 $2 \times 10^{-4}\text{ppm}$ 。当然,不是所有的荧光反应都是如此灵敏的。

桑色素(第六章B)是一个已证实有实用价值的金属荧光试剂。它可以在相当强的碱性或酸性介质中分别测定Be和Zr。用仪器测定时可以检出溶液中 $2 \times 10^{-5}\text{ppm}$ 的Be,目视法则为 $4 \times 10^{-4}\text{ppm}$ 。锆有类似的灵敏度。取一个5克的生物试样(树叶),可以测定0.01—0.02ppm的Be;检测极限为0.002ppm或更低。取0.02克硅酸盐岩石试样,可以检测到1ppm的Zr,10ppm 锆的测定误差为 $\sim 10\%$ 。

有一些有荧光性的金属络合物(如Al和Ga的8-羟基喹啉螯合物)可用不与水混和的有机溶剂萃取,于是提高了灵敏度。

大体上,荧光分析法的选择性较吸光光度法为高。通常是那些反磁性而不是顺磁性的离子能生成发荧光的络合物,这样,正干扰元素的数目减少了。象在吸光光度法中一样,可以通过络合能力的差异和有时用改变氧化态的办法来消除或降低干扰离子的影响。

荧光测定极易受到负干扰(荧光熄灭)的影响。大体上,荧光分析法的精密度不如吸光光度法。在选择分析方法时不可能优先选择荧光分析法,除非已证实在灵敏度或选择性方面它有一定的优越性。

铀的荧光痕量测定方法很有价值。在氟化钠或氟化钠—碳酸钠基体中,U(VI)显示出强黄绿色荧光。在1克此熔体中少至0.001

① esculin是一种染料、分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_9$,中译名为七叶灵。它的水溶液造成的激光器波长从450—570nm,可调——译者注。