

微量锌的光度法分析

蔡震峰, 张锦柱

(昆明理工大学 理学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 由于光度法在分析化学中应用较为广泛, 因此本文就近几年国内有关光度法测定微量锌的方法做了总结, 为分析工作者提供了一个分析依据. 分析方法大概分以下六类: (1) 2-吡啶偶氮类显色剂; (2) 酸性三甲烷染料类显色剂; (3) 硫氰酸盐-三苯甲烷碱类染料类显色剂; (4) 甲臞类显色剂; (5) 卟啉类显色剂; (6) 1,10-二氮杂菲-酸性染料类显色剂.

关键词: 微量锌; 光度法

中图分类号: O65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)05-0170-05

Spectrophotometric Analysis of Zinc

CAI Zhen-feng, ZHANG Jin-zhu

(Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Since spectrophotometry is widely used in analytic chemistry, the methods of recent reports in using of determining trace zinc are summarized to serve as the references for those researchers engaging in analytic work. The methods can be classified into the following six groups: (1) 2-pyridyco series; (2) acidic ter-phenyl methane dyestuff series; (3) sulfocyanide-ter-phenyl methane basic dyestuff series; (4) formazane series; (5) porphyrin series; (6) 1,10-phenanthroline acidic dyestuff series.

Key words: trace zinc; spectrophotometry

0 引言

近年来, 关于微量锌的化学和仪器分析方法报道较多. 由于光度法具有简便、快速、灵敏度高、仪器简单、价格低廉、容易普及、成本低等优点, 因此锌的光度分析方法在国内外都在进行广泛的研究和应用. 锌的光度测定由于选择性好和灵敏度高的新显色剂的研究成功和表面活性剂的广泛研究与应用, 也因此更能适用于各方面分析的要求.

锌的光度分析方法概括起来有以下几大类: (1) 2-吡啶偶氮类显色剂; (2) 酸性三甲烷染料类显色剂; (3) 硫氰酸盐-三苯甲烷碱类染料类显色剂; (4) 甲臞类显色剂; (5) 卟啉类显色剂; (6) 1,10-二氮杂菲-酸性染料类显色剂.^[1]

1 2-吡啶偶氮类显色剂

1.1 2-(5-溴-2-吡啶偶氮)-5-二乙氨基苯酚(5-Br-PADAP)法

在 pH 8.5 时, Zn() 与 5-Br-PADAP 生成络合比为 2:1 的红色络合物, 它可被萘相完全萃取, 络合物在乙醇-丙酮介质中, 表面活性剂乳化剂 OP、溴化十六烷基吡啶、溴化十六烷基三甲铵、吐温-80、十二烷基硫酸钠无增敏作用. $\lambda_{\max} = 555 \text{ nm}$, $\epsilon_{555} = 1.23 \times 10^5$, Zn() 在 0~5.0 $\mu\text{g}/7\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 加入掩蔽剂六偏磷酸钠、柠檬酸钠、丁二酮污、硫脲, 常见的金属离子不干扰测定. 该方法灵敏度高、操作简便快速, 用于食品、水样的测定^[2].

在 pH=9.2 的硼砂缓冲溶液中, 有表面活性剂 OP 存在下, 以 5-Br-PADAP 为显色剂可选择性测定

收稿日期: 2003-03-11.

第一作者简介: 蔡震峰(1977~), 男, 硕士研究生; 主要研究方向: 微量组分化学分离与富集.

微量锌, 并生成络合比为 2:1 的络合物. 锌在测定波长 (558 nm) 与参比波长 (574 nm) 下服从比尔定律的范围为 $0 \sim 25 \mu\text{g}/25\text{mL}$ [3].

在非离子表面活性剂 TritonX-100 (聚乙二醇辛基苯基醚) 存在下, Zn() 与 5-Br-PADAP 在 pH 为 7.8~9.0 时以 1:2 的络合比形成可溶于水的紫红色络合物, 发色后立即达到最大吸光度, 24 h 内保持不变. $\lambda_{\text{max}} = 365 \text{ nm}$, $\epsilon_{365} = 1.2 \times 10^5$, Sandell 灵敏度为 $0.0005 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 锌含量在 $0 \sim 25 \mu\text{g}/50\text{mL}$ 时服从比尔定律. 且一般离子对测定不产生干扰. 该方法已用于铅、铝、河水中锌的测定 [4].

1.2 1-(2-吡啶偶氮)-2-萘酚(PAN)法

PAN 在非离子表面活性剂存在下, 能与 Zn() 形成 2:1 的络合物. $\lambda_{\text{max}} = 550 \text{ nm}$, 该方法在用氯化铵-氨水分离铁的过程中加入过氧化氢和丁二酮污, 使大量锰及镍与铁一起沉淀分离. 结合使用硫脲-硫代硫酸钠-抗坏血酸和丁二酮污混合掩蔽剂, 以消除铜、钴、镉的干扰. 本法由于操作简便, 灵敏度高, 稳定性好, 从而扩大了应用范围, 使铁矿、铜矿、钴锰矿以及化探扫面样品中微量锌的测定取得较满意的结果 [5].

在 pH=9.2~10.2 的缓冲介质中, Zn() 与 PAN 及增溶剂聚乙烯醇 (PAN-124) 能形成 $\text{Zn}^{2+} \cdot \text{PAN} \cdot \text{PVA-124}$ 的红色配合物, 配比为 1:2, 配合物有最大吸收且稳定. 在 $\lambda_1 = 530 \text{ nm}$ 和 $\lambda_2 = 574 \text{ nm}$ 处有两个吸收峰. $\epsilon_{574} = 4.2 \times 10^4$, 锌含量在 $0 \sim 30 \mu\text{g}/25\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 该显色体系测定铝合金、水和人发中的微量锌, 方法准确、快速、简便 [6].

1.3 1-(5-溴-2-吡啶偶氮)-2-萘酚-6-磺酸(5-Br-PANS)

法由于 Zn() 与 PAN 络合物在水中溶解度很小, 常用溶剂萃取光度法, 并需要用有毒的有机溶剂或者用表面活性剂增溶 [6,7], 操作较繁. 本法在 PAN 中引入取代基 Br 和磺酸基, 合成 5-Br-PANS. 在 pH=8.5 的硼砂-盐酸缓冲溶液中与锌反应生成 2:1 的红色络合物. $\lambda_{\text{max}} = 568 \text{ nm}$, $\epsilon_{568} = 4.80 \times 10^4$, 锌浓度在 $0 \sim 30 \mu\text{g}/25\text{mL}$ 时服从比尔定律. 加入混合掩蔽剂可消除常见离子的干扰. 该法用于测定水样和头发中微量锌, 结果满意 [7].

1.4 4-(5-硝基-2-吡啶偶氮)-间苯二酚(5-NO₂-PAR)法

在 pH=8.5~10.0 的缓冲溶液中, Zn() 能与 5-NO₂-PAR 形成络合比为 1:2 的络合物. $\lambda_{\text{max}} = 526 \text{ nm}$, $\epsilon_{526} = 1.19 \times 10^5$, 锌含量在 $0 \sim 25 \mu\text{g}/25\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 在室温下络合物至少能稳定 24 h. 在加入联合掩蔽剂时, 多数共存离子对测定无干扰 [8].

2 酸性三甲烷染料类显色剂

2.1 二甲酚橙(XO)法

Zn() 与 XO 在 pH=5.2~6.0 的溶液中能形成络合比为 1:1 的紫红色络合物. $\lambda_{\text{max}} = 570 \text{ nm}$, $\epsilon_{570} = 2.7 \times 10^4$, 锌含量在 $0.06 \sim 2.7 \mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系能稳定 30 min. 本法由于干扰离子较多, 必须预先分离锌. 此法已应用于铝合金、镁合金和矿物中微量锌的测定 [9~11].

2.2 甲基百里酚蓝(MTB)法

在 pH=5.8~6.4 的缓冲溶液中, Zn() 与 MTB 能形成络合比为 1:1 和 1:2 的蓝色络合物和红紫色络合物. 1:2 的络合物灵敏度高, $\lambda_{\text{max}} = 560 \text{ nm}$, $\epsilon_{560} = 1.4 \times 10^4$, 锌含量在 $0.002 \sim 4 \mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系可至少稳定 6 h. 由于许多金属离子对测定有干扰, 需预先分离锌. 采用 EDTA 参比液时, 干扰量有所减少. 本法应用于铝合金中微量锌的分析 [12].

2.3 二溴苯基荧光酮(DBPF)法

在 pH=9.0~10.5 的硼酸-碳酸钠缓冲溶液中, Zn() 与 DBPF-CTMAB (溴化十六烷基三甲铵) 形成稳定的三元络合物. Zn() 与 DBPF 的络合比为 1:2. $\lambda_{\text{max}} = 580 \text{ nm}$, $\epsilon_{580} = 8.64 \times 10^4$, 锌含量在 $0 \sim 20 \mu\text{g}/25\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系在 24h 内吸光度基本不变. 由于许多金属离子干扰测定, 因此要采用阴离子交换树脂预先分离锌. 本法已应用于铝及铝合金中微量锌的测定 [13].

2.4 水杨基荧光酮(SAF)法

在表面活性剂溴化十二烷基二甲基苄铵存在下, 在 pH=9.5 的氯化铵-氨水缓冲介质中, Zn() 能

与 SAF 形成络合比为 1 2 的紫红色络合物. $\lambda_{\max} = 570 \text{ nm}$, $\epsilon_{570} = 8.71 \times 10^4$, 锌含量在 $0 \sim 0.36 \mu\text{g/mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系能稳定 16 h. 结合 NaOH - NaCl - 尿素体系小体积沉淀分离干扰元素. 该法已应用于矿石中微量锌的测定, 结果满意^[12].

3 硫氰酸盐 - 三苯甲烷碱类染料类显色剂

有阿拉伯树胶、明胶以及聚乙烯醇等保护胶存在下的酸性溶液中, 络离子 $[\text{Zn}(\text{SCN})_4]^{2-}$ 与碱性三苯甲烷染料能生成溶于水的有色离子络合物, 因此可直接测定微量锌.

3.1 硫氰酸锌 - 孔雀绿(MG)法

在 $0.44 \sim 0.89$ 的硫酸溶液中, 在过量的 SCN^- 存在下, $\text{Zn}(\)$ 与其形成 $[\text{Zn}(\text{SCN})_4]^{2-}$ 络阴离子, 后与 MG 形成 $(\text{MG})_2[\text{Zn}(\text{SCN})_4]$ 绿色离子缔合物. $\lambda_{\max} = 600 \text{ nm}$, $\epsilon_{600} = 1.13 \times 10^5$. 显色体系可稳定 1 h^[15]. 文献[16]中络合体系在 $1.3 \sim 1.5\text{N}$ 硫酸介质中显色, 生成 $\text{Zn}(\) - \text{SCN} - \text{MG}$ 绿色络合物. $\lambda_{\max} = 620 \text{ nm}$, 锌含量在 $0.1 \sim 0.5 \text{ mg/50mL}$ 范围内服从比尔定律. 文献[17]在 $\text{pH} = 5 \sim 6$ 的缓冲体系中显色, 但对比度太小, 需用甲苯萃取进行比色测定. $\lambda_{\max} = 630 \text{ nm}$, $0 \sim 0.25 \mu\text{g/mL}$ 内服从比尔定律. 一般常见离子不干扰测定. 该法已应用于纯铝及某些铝合金中微量锌的测定^[15,16].

3.2 硫氰酸锌 - 亮绿(BG)法

由于 BG 能在微酸性水溶液中与 $[\text{Zn}(\text{SCN})_4]^{2-}$ 生成绿色缔合物, 但在微酸性介质中 BG 本身的绿色很深, 缔合物与 BG 的吸收峰基本重合, 因此不能在水相中直接测定锌. 文献[18]在 0.03N 硫酸的低酸度介质中, 使 BG 与 $[\text{Zn}(\text{SCN})_4]^{2-}$ 缔合, 然后将酸度提高到 0.26N , 使过剩的 BG 在较强酸度介质中质子化, 试剂空白消褪, 最大吸收峰紫移, 水相显色反应的对比度增大到 130 nm 左右, 不经萃取可直接在水相中测定锌. $\lambda_{\max} = 610 \text{ nm}$, $\epsilon_{610} = 1.77 \times 10^5$, 锌含量在 $0 \sim 0.6 \mu\text{g/mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系能稳定 1 h. 多数元素对测定无干扰. 此法已应用于铁矿样品中微量锌的测定.

3.3 硫氰酸锌 - 结晶紫(VC)法

在硫酸介质中, 在混合表面活性剂聚乙烯醇和阿拉伯树胶的增溶、增敏作用下, $\text{Zn}(\)$ 与 SCN^- 、VC 形成络合比为 1 4 2 的蓝紫色三元离子络合物, 可直接在水相中测定. $\lambda_{\max} = 530 \text{ nm}$, $\epsilon_{530} = 1.3 \times 10^5$, 锌含量在 $0 \sim 10 \mu\text{g/25mL}$ 范围内服从比尔定律. 该法用于饮水中微量锌的测定, 结果满意^[19].

3.4 罗丹明 B(RhB)法

在阿拉伯树胶存在下, $\text{Zn} - \text{SCN}^-$ 与罗丹明 B 形成 1 5 的三元络合物, 15 min 显色完全, 且 20 h 内吸光度值保持基本不变. $\lambda_{\max} = 596 \text{ nm}$, $\epsilon_{596} = 1.68 \times 10^6$, Sandell 灵敏度为 $3.89 \times 10^{-5} \mu\text{g/cm}^2$, 锌含量在 $0 \sim 0.4 \mu\text{g/25mL}$ 内服从比尔定律. 加入掩蔽剂后, 采用双硫脲 - 四氯化碳萃取分离法消除干扰离子的影响. 本法用于毛发和兔肉中锌含量的测定^[20].

4 甲腓类显色剂

4.1 双硫脲法

在 $\text{pH} = 11.0$ 的硼砂 - 氢氧化钠碱性缓冲介质中, 用丙酮溶解双硫脲, 有溴化十六烷基三甲铵等表面活性剂存在下, 锌与双硫脲发生显色反应, 形成 1 2 的红色络合物. $\lambda_{\max} = 540 \text{ nm}$, $\epsilon_{540} = 8.5 \times 10^4$, 锌含量在 $0 \sim 6.0 \mu\text{g/12.75mL}$ 范围内服从比尔定律. 多数共存离子对测定不干扰. 该法应用于标准参考液和自来水中微量锌的测定^[21].

4.2 1 - (2 - 吡啶基) - 5 - 苯基 - 3 - (2 - 咪喃基) 甲腓(PPFF)

法在弱酸性溶液中, $\text{Zn}(\)$ 与 PPFF 直接形成络合物时吸光度偏低, 将 pH 调到 $8 \sim 12$, 吸光度才达到稳定最大值. 在吐温 - 20 存在下, $\text{Zn}(\)$ 与 PPFF 生成 1 2 的蓝绿色络合物, 可在水溶液里进行光度测定. $\lambda_{\max} = 610 \text{ nm}$, $\epsilon_{610} = 4.9 \times 10^4$, 锌含量在 $0 \sim 20 \mu\text{g/50mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系在吐温 - 20 存在下能稳定 24 h. 常见离子均对测定有干扰. 方法已用于金属铅及铅锌矿的分析^[22].

4.3 1,5 - 二(2 - 羟基 - 5 - 氯苯基) - 3 氰基甲脒(HCPCF) 法

在非离子表面活性剂吐温 - 100 存在下, $Zn()$ 与 HCPCF 及吐温 - 100 形成三元络合物. 而且无论有无非离子表面活性剂存在, $Zn()$ 与 HCPCF 的络合比均为 1 : 1, 显色体系能保持稳定 2 h. $\lambda_{max} = 650 \text{ nm}$, $\epsilon_{650} = 3.20 \times 10^4$, 锌含量在 0 ~ 4.8 $\mu\text{g}/50\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 多数金属离子均有干扰. 该法用于自来水、江河水及池塘水中锌含量的测定^[23].

5 卟啉类显色剂

5.1 4,4' - 二(对磺基苯)卟啉(TPPS₄) 法

在 pH = 4.5 的缓冲溶液中, $Zn()$ 与 TPPS₄ 生成 1 : 1 络合物. $\lambda_{max} = 421 \text{ nm}$, $\epsilon_{421} = 4.5 \times 10^5$, 锌含量在 0 ~ 6 $\mu\text{g}/50\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 显色体系需在沸水浴中加热 4 min 后方显色完全, 且至少可以稳定 18 h. 常见离子有干扰. 方法用于黄铁矿、铜矿、萤石、钨矿等中微量锌的分析^[24].

5.2 meso - 四 - (3,5 - 二溴 - 4 - 羟基苯)卟啉[T(DBHP) P] 法

试剂在 pH = 10.1 的缓冲溶液中, 当存在 OP 乳化剂时, 与锌有灵敏的显色反应. $\lambda_{max} = 450 \text{ nm}$, $\epsilon_{450} = 1.1 \times 10^5$, 锌含量在 0 ~ 11 $\mu\text{g}/25\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 用柠檬酸作掩蔽剂可除去人发样品中其它无机离子的干扰. 该显色体系至少可稳定 2h, 灵敏度高, 选择性好, 可不经分离直接用于人发中锌的测定^[25].

5.3 5,10,15,20 - 四(2 - 羟基 - 5 - 磺酸苯基)卟啉[T(2 - H - 5 - SP) P] 法

在 pH = 5.4 的缓冲溶液中, 不需加辅助络合剂, 仅在沸水浴中加热 3 min 以上, 锌与试剂即显色完全. 生成 1 : 1 的络合物, 且至少稳定 6 h. $\lambda_{max} = 420.5 \text{ nm}$, $\epsilon_{420.5} = 3.5 \times 10^5$, 锌含量在 0 ~ 2.5 $\mu\text{g}/25\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 用适量的吡咯烷二硫代甲酸铵溶液可消除共存离子的干扰. 该法可不经分离和富集直接用于自来水和某些天然水中锌的测定^[26].

6 1,10 - 二氮杂菲 - 酸性染料类显色剂

在中性或弱碱性溶液中, 锌与 1,10 - 二氮杂菲形成无色的 $Zn(\text{Phen})_2^{2+}$ 络合物, 再与酸性染料络合时生成有色的离子络合物而用于锌的测定.

pH = 5.7 的缓冲溶液中, $Zn()$ 与 Phen 形成的无色络阳离子能与荧光桃红 (phlo) 形成红色的离子络合物可被有机溶剂三氯甲烷萃取. $\lambda_{max} = 560 \text{ nm}$, $\epsilon_{560} = 5.6 \times 10^4$, 锌含量在 0 ~ 1.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内服从比尔定律. 共存离子一般采用 NaOH 沉淀过滤后, 用氟化铵、硫脲 - 抗坏血酸掩蔽. 本法用于铝合金的分析^[27].

综上所述, 由于这些显色剂都有一个共同的缺点, 即对锌不具有选择性. 因此, 寻找一种灵敏度高的指示剂, 使光度测定更快速简便, 易于操作, 且选择性更好是该方面发展的一个方向, 也是分析工作者所要研究的内容.

参考文献:

- [1] 黄祖贤. 锌的光度分析近况[J]. 冶金分析, 1987, 7(2): 51 ~ 55
- [2] 葛宣宁. 萘相萃取吸光光度法[J]. 理化检验(化学), 1999, 35(3): 131 ~ 132.
- [3] 邵谦等. 标准加入双波长光度法测定微量锌[J]. 理化检验(化学), 1998, 34(10): 451 ~ 454.
- [4] 林喜田. Trion X - 100 - 5 - Br - PADAP 分光光度法测定微量锌[J]. 分析化学, 1981, 9(2): 198 ~ 199.
- [5] 王心华. 地质试样中微量锌的测定[J]. 理化检验(化学), 1984, 20(1): 37 ~ 38.
- [6] 蓝蔚. PAN - 聚乙烯醇光度法测定铝合金中微量锌[J]. 冶金分析, 1993, 13(2): 31 ~ 33.
- [7] 陈建荣, 汤福隆等. 5 - Br - PAN - S 光度法测定微量锌的研究[J]. 理化检验(化学), 1994, 30(4): 225 ~ 226.
- [8] 童岩等. 锌试剂 4 - (5 - 硝基 - 2 - 吡啶偶氮) - 间苯二酚分光光度法测定人发中的微量锌[J]. 化学试剂, 1994, 16(1): 15 ~ 16.

(下转第 180 页)

3.5 精密度试验

称取同一样品7份,按试验方法处理后,进行精密度实验,并与传统方法对照.如表7.

表7 精密度考核数据($n=7$)

元素	现分析结果	S/ %	RSD/ %	传统
铜	1.05	0.013 3	1.27	1.05
铅	3.34	0.022 5	0.66	3.31
镉	0.69	0.007 5	1.09	0.70

参考文献:

- [1] 柯以侃,董慧茹.分析化学手册(第二版,第三分册):光谱分析[M].北京:化学工业出版社,1998.332~443.
- [2] 符斌.有色金属工业分析丛书(3):重金属冶金分析 锌冶金分析[M].北京:冶金工业出版社,2001.168~254.
- [3] 王玲玲等.常用统计学方法[M].上海:华东师范大学出版社,1994.107
- [4] 邱海鸥等.原子吸收及原子荧光光谱分析[J].分析实验室,2002,(1):101.
- [5] 黄沛成等编著.化验员读本(下册):仪器分析(第三版)[M].北京:化学工业出版社,1998.191~237.

(上接第173页)

- [9] 武汉材保所等.铝合金中微量锌的测定[J].理化检验(化学),1980,16(3):600.
- [10] 蔡莉敏.铜合金中铅锌二甲酚橙光度法测定[J].理化检验(化学),1983,19(1):52.
- [11] 许敬修.谈继红镁合金中微量锌的二甲酚橙比色法[J].理化检验(化学),1983,19(5):55.
- [12] 刘绮洪.锌的甲基百里酚蓝光度测定法[J].理化检验(化学),1984,20(6):43.
- [13] 晋勇.离子交换分离后二溴苯基荧光酮-溴化十六烷基三甲铵分光光度法测定铝合金中微量锌[J].分析试验室,1988,7(11):9~11.
- [14] 冯泳兰,邝代治.水杨基荧光酮与锌显色反应及应用[J].岩矿测试,1997,16(1):78~79.
- [15] 刘绍璞,刘忠芳.硫氰酸锌络阴离子与碱性三苯甲烷染料在水溶液中的显色反应[J].化学试剂,1982,4(1):20~23.
- [16] 曾茂松.电解镍溶液中微量锌的测定[J].理化检验(化学),1983,19(3):27~36.
- [17] 晏奋扬等.孔雀绿测定铝合金中微量锌的研究[J].理化检验(化学),1979,15(4):22~23.
- [18] 赵中一,韦朝海.硫氰酸锌络阴离子与亮绿在水相中的显色反应[J].分析化学,1985,13(3):215~217.
- [19] 罗大莉,李淑文.微量锌测定方法研究及应用[J].四川化工与腐蚀控制,1999,2(4):38~40.
- [20] 李士和等.超高灵敏度显色反应测定痕量锌的研究[J].分析试验室,1991,10(6):77~78.
- [21] 黄选忠.双硫脲水相光度法测定微量锌[J].理化检验(化学),1992,28(5):290~291.
- [22] 奚干卿,杨桂法.1-(2-吡啶基)-5-苯基-3-(2-咪唑基)甲脒分光光度法测定锌[J].冶金分析,1985,5(3):7~10.
- [23] 冯亚平,俞汝勤.用HCPCF-Trion X-100析相法测定痕量锌[J].分析化学,1983,11(10):756~758.
- [24] 陈炳荣,熊采华. , , -四(对磺基苯)卟啉分光光度法测定矿石中微量锌[J].分析化学,1985,13(9):695~697.
- [25] 虞乃而,潘教麦.用新卟啉显色剂-meso-四-(3,5-二溴-4-羟基苯)卟啉光度法测定微量锌的研究[J].理化检验(化学),1989,25(3):135~137.
- [26] 陈秀华等.5,10,15,20-四(2-羟基-5-磺酸苯基)卟啉光度法测定水中痕量锌的研究[J].化学试剂,1990,12(3):143~145.
- [27] 余建平.铝合金中微量锌的比色测定[J].分析化学,1981,9(3):308~309.