

显色分光光度法在汞(II) 测定中的应用

邱 罡^① 吴双桃

(韩山师范学院环境化学应用技术研究所 广东省潮州市桥东 521041)

摘 要 对国内近年来(2004—2010 年) 显色分光光度法测定汞(II) 的进展作了回顾, 主要涉及双硫脲、若丹宁类、三氮烯类、阳离子染料和其他高灵敏度显色试剂在汞的分光光度法测定中的应用等内容。

关键词 显色反应; 分光光度法; 汞(II); 述评

中图分类号: O 657. 32

文献标识码: A

文章编号: 1004-8138(2011) 03-4112-07

1 引言

汞及其化合物都是剧毒物质。无机汞化合物通过食物链进入人体, 在肝、肾、脑等器官组织中富集。汞离子可与蛋白质的巯基结合, 抑制酶的活性, 使细胞代谢受到阻碍; 有机汞的毒性大于无机汞, 其中甲基汞的毒性最大。汞还是全球性循环元素, 据联合国环境规划署 2003 年发表的“全球汞状况评估”报告显示, 自工业革命以来, 汞在全球大气、水利、土壤中的含量已增加了 2 倍左右, 工业区附近汞的含量则更高。每年以煤为燃料的火力发电和焚烧垃圾向大气中排放的汞就多达 1500 吨。基于对环境问题的关注和自身的保护, 人们对重金属污染的治理愈加重视, 很多国家都制定了相应的检测标准或重新修订了原来的标准, 这对汞的检测提出了更高的要求。

汞的检测方法很多, 主要有冷原子吸收光谱法、原子荧光光谱法和分光光度法等。分光光度法是基于物质对光的选择性吸收而建立起来的分析方法。所用仪器设备简单价廉、操作方便并具有较高的灵敏度, 在汞的分析检测中应用非常普遍。显色分光光度法通过测定汞与显色剂直接或间接反应形成的有色络合物或缔合物的吸光度进行分析, 近年来随着高灵敏度显色剂的不断开发以及显色体系的深入研究, 在实际应用上得到了充分体现。

2 显色分光光度法在汞(II) 测定中的应用

2.1 双硫脲

双硫脲显色分光光度法是测定水中微量汞的国标法, 在汞的显色分析中应用最广。将 pH 0—13 的水溶液与含双硫脲(HDz) 的氯仿、四氯化碳或苯溶液一起振摇时, 汞几乎完全反应生成黄色络盐而转入溶剂相从而进行测定。其缺点是操作步骤繁琐、选择性和灵敏度不够高; 而且使用的氯仿等溶剂对人体有害, 并会对环境造成二次污染。

李松等^[1]对双硫脲分光光度法测量空气中汞的实验方法进行了改进, 简化分析步骤, 使测定精确度得到了提高。石蜡相分光光度法具有固相光度法灵敏度高、选择性好的优点, 还兼有液相光度法测量体系均匀的特点。它将分离、富集和显色测定结合在一起, 显示了优越性。李满秀等^[2]以 HDz 为显色剂, 石蜡为固体萃取剂, 石蜡相分光光度法测定污水中汞。结果表明: Hg^{2+} - HDz 络合物在

① 联系人, 电话: (0768) 2318853; 手机: (0) 13632035916; E-mail: chiukang@hstc.edu.cn

作者简介: 邱罡(1979—), 男, 湖北省宜城市人, 助理研究员, 硕士, 主要从事环境污染降解分析工作。

收稿日期: 2010-08-10; 接受日期: 2010-09-02

pH10 的氨水-氯化铵($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}-\text{NH}_4\text{Cl}$) 介质中可被石蜡定量萃取, 30mL 溶液中汞在 0—20 μg 范围内符合比耳定律。共存离子铅、铋、锌可在 pH1.2 时用 HDz 萃取除去, 其他离子无干扰。表面活性剂具有增溶、增敏、增稳等增效作用。张海明等^[3]用表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(SDBS)作增溶剂, 建立了以双硫脲水相反应直接测定溶液中汞的方法。孙旭辉等^[4]比较了吐温(Tween)、明胶等几种非离子表面活性剂和特殊表面活性剂, 最终选用以乙醇和曲拉通 100(Triton X-100)为增溶剂, 建立了水相中直接测定痕量 Hg^{2+} 的双硫脲光度法。体系表观摩尔吸光系数(ϵ)为 $4.7 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, 汞含量 5—60 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 符合比耳定律。方法对环境友好, 精密度和准确度与国标法具有可比性。浊点萃取是近年来出现的一种环保型液-液萃取技术, 它可以将含量极低的待测元素分离富集。该技术以中性表面活性剂的浊点现象为基础, 通过改变实验温度等参数引发相分离, 将疏水性物质从水相中分离, 且分离萃取效率高, 具有经济、安全、高效、简便等优点, 已广泛应用于痕量金属元素的分离富集。赵会峰等^[5]利用 Hg^{2+} 和 HDz 反应生成疏水的络合物被萃取到表面活性剂 Triton X-100 中, 经水浴、离心、冰浴、分相后, 采用可见分光光度法测定络合物的吸光度, 从而确定汞的浓度。方法灵敏准确、选择性好且不使用有毒有害的有机溶剂, 实现了绿色分析。

2.2 若丹宁类

若丹宁类试剂是一类重要的光度分析试剂, 其与汞的显色反应, 通常和固相萃取技术结合。固相萃取利用固体载体预富集欲分析成分, 发色后直接测定载体表面的吸光度。具有富集倍数高, 环境污染小, 不易乳化, 节省时间等优点, 摩尔吸光系数一般接近 10^5 数量级。

为提高若丹宁类试剂的分析性能, 科研工作者还合成了若丹宁偶氮类试剂^[6]和亚甲基若丹宁类试剂^[7], 并通过把若丹宁环上的羰基氧硫代合成了硫代若丹宁类试剂^[8-10], 其水溶性和灵敏度都有较大改善, 用于环境、生物样品中汞的测定, 结果满意。羊波等^[11]首次采用氯磺酰偶氮硫代若丹宁(HSCT)与汞的显色反应及 C_{18} 固相萃取小柱对络合物的固相萃取, 建立了固相萃取光度法测定环境水样中 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 级汞含量的新方法。研究表明, 在 pH3.6 的醋酸-醋酸钠($\text{HAc}-\text{NaAc}$) 缓冲介质中, HSCT 与汞反应生成 2:1 稳定络合物, 该络合物可被 Zorbax C_{18} 固相萃取小柱定量萃取富集, 富集倍数达 80 倍, 络合物用氮-氮二甲基甲酰胺(DMF)洗脱后测定, ϵ 为 $6.24 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, 汞含量在 0—1.5 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 内符合比耳定律。董学畅等^[12]用同样的方法对食品中痕量汞做了测定, 结果满意。吸烟有害健康, 烟草及烟用辅料中的重金属元素分析是烟草有害成分研究的重要内容。阮琼等^[13]在 pH3.5 的 $\text{HAc}-\text{NaAc}$ 缓冲介质中, Tween-80 存在下, 利用对磺酸基苯基亚甲基若丹宁(SBDR)与汞反应生成络合物, 再将络合物用 Waters Sep-Pak- C_{18} 固相萃取小柱萃取, 乙醇洗脱后在乙醇介质中于最大吸收峰 550nm 处测定吸光度。体系 ϵ 为 $1.05 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, 汞含量在 0—80 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 内符合比耳定律, 所测结果与原子吸收光谱法分析结果一致。司超等^[14]用相同的方法对河水 and 食品试样中汞进行了测定, 体系 ϵ 为 $8.42 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, 汞含量在 0.1—4.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内遵守比耳定律。崔永春等^[15]更换部分试剂, 改用表面活性剂聚乙二醇辛基苯基醚(OP)和洗脱剂 DMF, 同样采用 SBDR 对食品、水样中汞进行测定, 灵敏度和线性范围均高于前者。

2.3 三氮烯类

三氮烯类试剂含有一 $\text{N}=\text{N}-\text{NH}$ —分析功能基, 可与第 I B、II B 族金属离子发生高灵敏度的显色反应, 是分光光度法测定汞、镉、银、镍等金属离子的高灵敏显色剂。该类试剂与汞的显色反应多在碱性介质中进行, 非离子表面活性剂如 OP、Triton X-100 等对其有显著的增敏作用, 表观摩尔吸光系数一般都大于 $1 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。巯基葡聚糖凝胶(SDG)因其吸附性能良好, 可富集 Hg^{2+} 并有效消除了共存离子的干扰, 提高方法的选择性, 在汞的显色测定中也多有采用^[16-20]。目前, 三氮烯类显色剂研究十分活跃, 现将近年来文献报道的体系列于表 1。

表 1 三氮烯类试剂在测定汞离子中的应用

显色体系	测试条件	ϵ ($\times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)	$\lambda(\text{nm})$	线性范围 ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	应用对象	文献
2-氯-4-溴 苯基重氮氨基偶氮苯 (CBBDA) -Triton X-100	pH 10. 3, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 04	510	0—0. 48	水样	[16]
3, 5-二甲基-4'-磺酸基苯基重氮氨基偶氮苯 (DMSDAA) -Tween80	pH 11, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 59	476	0—0. 4	环境水样、废水	[17]
二溴邻硝基偶氮(DBONA) -微乳液	pH 6. 0, HAc-NaAc	3. 3	530	0. 008—0. 6	水、牛奶、化妆品	[18]
5-(对羧基苯偶氮)-8-羟基喹啉 (5-CPAHQD) -CTMA B-OP	pH 3. 5, HAc-NaAc	3. 5	508	0. 001—0. 12	水、铅锌矿样	[19]
对硝基苯基重氮氨基偶氮苯-Tween80	pH 9. 8, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	$1. 4 \times 10^2$	484	0. 008—0. 025	水、铅锌矿样	[20]
2, 6-二甲基苯基重氮氨基偶氮苯 (DMPDAB) -OP	pH> 11, NH ₃ · H ₂ O	1. 5	516	0—0. 72	化妆品	[21]
1-(4-安替比林)-3-(2-乙酰巯基苯基) 三氮烯 (APSA BT) -Triton X-100	pH 11. 5, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	2. 45	535	0. 04—0. 6	地表水、废水	[22]
(2-苯并噻唑)-3-(4-硝基苯) 三氮烯 (BTNPT) -OP	pH 10. 1	4. 9	530	0. 16—0. 56	合成样、废水	[23]
对氯苯重氮氨基苯偶氮苯(p-CBDAA) -OP	pH 9. 5, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 20	530	0—0. 8	纽扣电池、自来水	[24]
2-羟基-4-磺酰氨基苯-3-(4-硝基苯) 三氮烯 (HSNPT) -Triton X-100	pH 10—11, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 21	535	0—0. 48	工业废水	[25]
1-(2-苯并噻唑)-3-(4-溴苯) 三氮烯 (BTBPT) -Triton X-100	pH 10. 9, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 98	465	0—0. 48	工厂废水	[26]
2-羟基-3-磺酸基-5-硝基苯基重氮氨基偶氮苯 (HSNDA A) -Triton X-100	pH 11. 3, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	3. 3	520	0—0. 5	环境水样	[27]
1-偶氮苯-3-(6-甲氧基-2-苯并噻唑) 三氮烯 (ABM BT) -Triton X-100	pH 10. 2, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 5	520	0—0. 8	废水	[28]
1-吡啶-3-[4-(苯基偶氮) 苯基] 三氮烯 (PYPA PT) -Triton X-100	pH 10, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 42	518	0—0. 64	铅锌矿样	[29]
2, 4, 4'-三硝基苯基重氮氨基偶氮苯 (TNBDA A) -Triton X-100	pH 9. 0, Na ₂ B ₄ O ₇ -HCl	1. 69	553	0—0. 7	废水	[30]
2-(5-溴吡啶-2-偶氮)-5-二乙基苯酚 (5-Br-PADAP) - β -CD-Triton X-100	pH 9. 0, NH ₄ Cl-NH ₃ · H ₂ O	4. 60	565	0—0. 96	水样	[31]
镉试剂 1B- β -CD-Triton X-100	pH 10, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	6. 75	495	0—0. 2	废水	[32]
4, 6-二甲氧基-2-噻唑重氮氨基偶氮苯 (DMPDAA) -Triton X-100	pH 10. 5, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 52	522	0—0. 8	废水	[33]
邻羧基苯基重氮氨基偶氮苯-Triton X-100	pH 10, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 81	520	0—1	饲料	[34]
	pH 10. 6 Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 75	520	0. 02—0. 6	自来水、废水	[35]
	pH 10. 6	1. 98	525	0. 0004—0. 4	水样	[36]
1-偶氮苯-3-(3-硝基-5-氯-2-吡啶)-三氮烯 (ABNCPyT) -Triton X-100	pH 10, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 92	525	0—0. 6	废水	[37]
4-甲氧基-2-磺酸基苯基重氮氨基偶氮苯 (MOSDAA) -Triton X-100	pH 11. 5, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	2. 56	520	0—0. 56	废水	[38]
4-(对甲氧基苯氨基重氮基)-4'-硝基偶氮苯 (PMADNA) -Triton X-100	pH 10. 5, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 25	576	0—0. 8	废水	[39]
4-硝基-4'-磺酰胺基苯基重氮氨基偶氮苯 (NSADAA) -Triton X-100	pH 10, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 50	518	0—0. 8	废水	[40]
4-(邻甲基苯氨基重氮基)-4'-硝基偶氮苯 (OMADNA) -Triton X-100	pH 10. 2, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	1. 42	570	0—0. 9	废水	[41]
对硝基重氮氨基偶氮苯-Tween60	pH 8. 05, Na ₂ B ₄ O ₇ -HCl	1. 54	480	0—0. 7	废水	[42]
3, 3'-二甲基-4, 4'-(2-重氮氨基噻唑) 联苯 (DDATBP) -Tween80	pH 11, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	0. 71	545	0. 004—0. 1	环境水样	[43]
4, 4'-二(4-硝基苯基重氮氨基) 联苯 (NDADP) -OP-N-氯代十六烷基吡啶	pH 7. 4, Na ₂ B ₄ O ₇ -KH ₂ PO ₄	0. 89	500	0—0. 64	废水	[44]
对羧基苯基重氮氨基偶氮苯(p-CADB) -Triton X-100	pH 11, NH ₄ Cl-NH ₃ · H ₂ O	0. 78	482	0—0. 4	水样	[45]
1-(4-安替比林)-3-(2-苯并噻唑) 三氮烯 (ABT A) -CTMA B	pH 11, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	0. 55	480	0. 2—2. 8	环境水样	[46]
2-磺酸基苯基-1, 4-二重氮氨基偶氮苯 (SDDA A) -Triton X-100	pH 10. 5, Na ₂ B ₄ O ₇ -NaOH	0. 59	530	0—0. 80	水样	[47]

2.4 阳离子染料

Hg-X-阳离子染料离子缔合物体系是目前光度法测定汞的最重要体系之一,其中 X 为 I^- 、 SCN^- 等卤素或拟卤素离子, R 为三苯甲烷类、罗丹明类及醌亚胺类染料阳离子,引入动物胶(AG)、聚乙烯醇(PAV)等水溶性大分子化合物后,由于形成了超化学计量的复杂离子缔合物使灵敏度剧增,因此在痕量汞的检测中有着广泛应用,有报道某些体系的摩尔吸光系数超过 $10^6 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ 。

谢跃勤等^[48]研究了溴化汞络阴离子与四乙基罗丹明 B 离子缔合物在聚氯乙烯膜(PVC)上的吸附,建立了 PVC 膜固相光度测定微量汞的高灵敏度分析方法。线性范围 $0-0.7 \mu g \cdot mL^{-1}$,检出限为 $4 \times 10^{-3} \mu g \cdot mL^{-1}$,体系稳定性好,显色后 PVC 膜可稳定 2—3 月,适用于水样中微量汞的测定。杨媛媛等^[49]以巯基棉为富集载体,控制酸度实现干扰物和汞的分步解吸,罗丹明 B 与汞缔合形成缔合物,用紫外分光光度法检测。研究表明,富集技术的采用使得更低浓度的汞污染水样也能被准确测定。杜娟等^[50]以罗丹明 B 为光谱探针,研究了在三羟甲基氨基甲烷-盐酸缓冲液中, SDBS 存在下,分光光度法测定祛斑霜中微量 Hg^{2+} 。研究表明,室温下罗丹明 B-SDBS- Hg^{2+} 形成水溶性三元复合物,最大吸收波长为 554nm, ϵ 为 $2.43 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$, Hg^{2+} 在 $0-3 \mu g \cdot mL^{-1}$ 范围内服从比耳定律。艾智^[51]建立了 Hg^{2+} - SCN^- -亮绿-Triton X-100 胶束增敏光度法测定环境水样中微量汞的新方法。汞量在 $0-0.2 \mu g \cdot mL^{-1}$ 范围内符合比耳定律, ϵ 为 $3.95 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ 。杜娟^[52]在硝酸-硝酸钠-六次甲基四胺的缓冲溶液中,阳离子表面活性剂溴化十六烷基三甲铵(CTMAB)的存在下,考察了汞与二甲酚橙(XO)的反应。最大吸收波长 594nm 处 ϵ 为 $4.74 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$,汞含量在 $0-1.6 \mu g \cdot mL^{-1}$ 呈线性关系,适于白酒中汞的测定。刘红梅等^[53]在非离子表面活性剂阿拉伯树胶(ARG)存在下,利用 XO 在水相中与汞的显色反应对饮料样品中微量汞进行了测定。最大吸收波长 580nm 处 ϵ 为 $4.65 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$,汞浓度在 $0-0.2 \mu g \cdot mL^{-1}$ 符合比耳定律,无需分离、简便快速。溶剂浮选光度法集增敏、富集、分离、测定于一体,特别适用于复杂样品的分析。程永华等^[54]据此建立了苯浮选三元缔合物光度法测定汞的方法。在 pH6.5 的微酸溶液中,汞和碘离子形成络阴离子 HgI_4^{2-} 与亚甲基蓝的阳离子 MB^+ 生成离子缔合络合物;在分液漏斗中与加入一定量苯振摇后,缔合物以第三相的形态在水相和苯相间浮选析出。弃去水相和苯相,用丙酮将析出的浮选相溶解后在 657nm 处测定吸光度,汞量在 $0.48-0.88 mg \cdot mL^{-1}$ 内呈线性关系, ϵ 为 $3.5 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ 。方法用于合成水样、生活污水和底泥中汞的测定,结果满意。

2.5 其他试剂

曹书杰^[55]利用汞与头孢唑林钠的反应,建立了光度法测定水样中汞含量的新方法,获得较满意的测定效果。吡啶类试剂是测定汞的高灵敏度试剂,但因大部分金属元素都能与其反应而形成稳定的络合物,所以选择性较差。法焕宝等^[56]利用 5-羟基苯基-10,15,20-三苯基吡啶(HTPP)和铅、汞的配位显色作用测定了 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} 的检测范围。赵桦萍^[57]在 β -环糊精(β -CD)和 Triton X-100 存在下,研究了汞与 2-(5-溴吡啶-2-偶氮)-5-二乙氨基苯酚的显色反应。实验表明,最大吸收波长 565nm 处的 ϵ 可达 $4.6 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$,汞在 $0-960 \mu g \cdot L^{-1}$ 范围内符合比耳定律;用于水中痕量汞测定,结果满意。荧光酮类显色剂应用于汞测定中的报道极少,陈文宾等^[58]首先将其用于水样中汞的测定。在对痕量 Hg^{2+} 采用 SDG 吸附分离后,于微乳液体系中利用二溴羟基苯基荧光酮分光光度法测定了河水、生活废水中的汞。 ϵ 为 $3.2 \times 10^5 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$,汞量在 $6-550 \mu g \cdot L^{-1}$ 呈线性,检出限(3S/N)为 $2 \mu g \cdot L^{-1}$ 。亚甲胺 H 类试剂多用于在中性或弱酸介质中与硼、铵根离子的

显色测定,对金属离子仅见对贵金属镓的测定。陈文宾等^[59]系统地研究了 3-甲氧基-甲亚胺 H 与汞的显色反应。由于 3-甲氧基-甲亚胺 H 是在甲亚胺 H 中引入一个甲氧基后,氧原子的电负性较强而使共轭体系中的 π 电子更易流动,因而水溶性增大,有利于参与形成金属配合物。实验测得体系 ϵ 为 $3.3 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$,汞含量在 $8\text{--}600 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内符合比耳定律,检出限为 $3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;等量存在的常见离子不干扰,分析结果同冷原子吸收光谱法测定结果相吻合。

3 结论

汞是对环境、人体有毒害的重金属元素,测定汞的方法很多。显色分光光度法以其较高的灵敏度、仪器设备简单、价廉、操作方便等许多优点,在汞的检测方面仍然有不可替代的位置。通过对近年来文献的调研,可以看出研究开发高灵敏度、高选择性的显色试剂和新的显色体系依然是显色分光光度法测定汞的最基本、最重要的研究课题;而光度法与各种高效分离方法的联用,以及与化学计量学(如径向基函数人工神经网络^[60])等交叉结合将是显色分光光度法测定痕量汞的发展方向。

参考文献

- [1] 李松,黎国兰.双硫脲分光光度法测定空气中汞的改进[J].光谱实验室,2005,22(6):1280—1284.
- [2] 李满秀,吕艳华.石蜡相分光光度法测定汞的研究[J].冶金分析,2006,26(5):87—88.
- [3] 张海明,李成海,唐雅娟.胶束增溶二苯硫脲分光光度法测定水溶液中汞[J].理化检验(化学分册),2008,44(2):191—192.
- [4] 孙旭辉,马军,李小华等.光度法直接测定水溶液中微量汞的分析方法研究[J].工业水处理,2008,28(12):73—76.
- [5] 赵会峰,张加玲.浊点萃取分光光度法测定水样中的痕量汞[J].中国卫生检验杂志,2009,19(2):302—304.
- [6] 柴跃东,杨艳,李明等.磺酞酚偶氮若丹宁固相萃取光度法测定生物样品中的汞[J].光谱实验室,2004,21(6):1134—1137.
- [7] 王云华.4-羟基苯-1-亚甲基若丹宁固相萃取光度法测定环境样品中的汞[J].云南环境科学,2006,25(增刊1):113—115.
- [8] 吴玉萍,王东丹,徐照丽等.对磺酞酚偶氮若丹宁固相萃取光度法测定烟草添加剂中的汞[J].分析科学学报,2005,21(1):60—62.
- [9] 张莹,杨光宇,张承聪.对羧基苯偶氮硫代若丹宁固相萃取光度法测定烟草及其添加剂中的汞[J].昭通师范高等专科学校学报,2005,27(2):24—28.
- [10] 王琳,王炯,尹家元.固相萃取光度法测定环境水样中汞的研究[J].冶金分析,2005,25(6):39—41.
- [11] 羊波,周丽琼,尹家元.氯磺酞偶氮硫代若丹宁固相萃取光度法测定水中的汞[J].光谱学与光谱分析,2004,24(9):1110—1112.
- [12] 董学畅,戴云,胡秋芬等.食品中微量汞的固相萃取光度法测定研究[J].云南化工,2004,31(2):33—35.
- [13] 阮琼,胡秋芬,杨光宇等.新试剂 SBDP 固相萃取光度法测定烟草中汞[J].理化检验(化学分册),2006,42(1):12—15.
- [14] 司超,李海涛,台希等.用对磺酞基亚甲基硫代若丹宁为显色剂固相萃取光度法测定环境样品中痕量汞[J].理化检验(化学分册),2008,44(7):655—657.
- [15] 崔永春,翟平,胡永.用对磺酞基亚甲基硫代若丹宁固相萃取法测定食品和水中的微量汞[J].稀有金属,2006,30(2):168—171.
- [16] 李艳辉,孙吉佑,陈文宾.巯基葡聚糖凝胶分离富集 2-氯-4-溴苯基重氮氨基偶氮苯光度法测定汞[J].冶金分析,2004,24(5):14—16.
- [17] 李艳辉,刘英红,许兴友等.3,5-二甲基-4'-磺酞基苯基重氮氨基偶氮苯的合成及其在分光光度测定汞中的应用[J].冶金分析,2008,28(11):32—35.
- [18] 张秋荣,陈文宾,陈碧珠等.巯基葡聚糖凝胶分离富集二溴邻硝基偶氮苯分光光度法测定汞(II)[J].环境监测管理与技术,2009,21(1):18—21.
- [19] 徐国想,马卫兴,陈文宾等.巯基葡聚糖凝胶分离富集 5-(对羧基苯偶氮)-8-羟基喹啉啉分光光度法测定微量汞(II)[J].冶金分析,2009,29(11):29—33.
- [20] 陈文宾,陈璧珠,林艳等.巯基葡聚糖凝胶分离富集对硝基苯基重氮氨基偶氮苯分光光度法测定微量汞(II)[J].冶金分析,2009,29(12):61—65.
- [21] 田茂忠,袁跃华.新显色剂 APSABT 的合成及其与汞(II)显色反应的研究[J].河北师范大学学报(自然科学版),2004,

28(3): 278—281.

- [22] 张其颖, 潘教文, 李在均. 新试剂 2, 6-二甲基苯基重氮氨基偶氮苯测定化妆品中微量汞[J]. 分析试验室, 2004, 23(3): 19—21.
- [23] 邱凤仙, 朱复红. (2-苯并噻唑)-3-(4-硝基苯)-三氮烯吸光光度法测定微量 Hg(II)[J]. 理化检验(化学分册), 2004, 40(10): 579—580.
- [24] 周能, 黄中强, 张宏志. 对氯苯重氮氨基偶氮苯分光光度法测定微量汞[J]. 广东微量元素科学, 2004, 11(6): 63—66.
- [25] 张春牛, 郑云法, 顾勇冰. 2-羟基-4-磺酰氨基苯-3-(4-硝基苯)-三氮烯的合成及与汞的显色反应[J]. 台州学院学报, 2005, 27(3): 77—80.
- [26] 赵慧, 夏心泉. 1-(2-苯并噻唑)-3-(4-溴苯)三氮烯与汞(II)的显色反应研究[J]. 化学试剂, 2005, 27(7): 425—426.
- [27] 王海青, 岳志劲, 刘文文等. 新显色剂 2-羟基-3-磺酸基-5-硝基苯基重氮氨基偶氮苯与汞的显色反应研究[J]. 光谱实验室, 2005, 22(5): 966—968.
- [28] 王文革, 赵书林, 李舒婷. 1-偶氮苯-3-(6-甲氧基-2-苯并噻唑)-三氮烯的合成及用于汞的光度测定[J]. 理化检验(化学分册), 2006, 42(2): 100—102.
- [29] 冯泳兰, 陈志敏, 曾荣英等. 1-吡啶-3-[4-(苯基偶氮)苯基]-三氮烯与汞的显色反应及其应用[J]. 冶金分析, 2006, 26(3): 53—55.
- [30] 王贵方, 何其戈, 张光. 新显色剂 2, 4, 4'-三硝基苯基重氮氨基偶氮苯的合成及其与汞的显色反应[J]. 分析试验室, 2006, 25(9): 18—21.
- [31] 赵桦萍. 高灵敏度显色反应测定水中痕量汞的研究[J]. 工业水处理, 2006, 26(9): 73—74.
- [32] 吕鉴泉, 金焰, 徐凌云. 环糊精敏化光度法测定废水中痕量汞(II)[J]. 分析科学学报, 2006, 22(6): 713—715.
- [33] 许琳, 孟双明, 王君玲等. 4, 6-二甲氧基-2-噻唑重氮氨基偶氮苯的合成及其与汞(II)的显色反应[J]. 分析试验室, 2006, 25(12): 23—25.
- [34] 李秀华, 尔墩扎玛. 分光光度法检测饲料中汞含量[J]. 饲料工业, 2007, 28(16): 48—50.
- [35] 林桂凤, 王颜红, 李惜浣等. 水中微量汞的光度分析方法研究[J]. 工业水处理, 2009, 29(2): 66—68.
- [36] 贾建章, 贾红建, 赵巧玲等. 自来水体中微量元素汞的测定方法探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(11): 2551—2552.
- [37] 张春牛, 郑云法. 1-偶氮苯-3-(3-硝基-5-氯-2-吡啶)-三氮烯的合成及其与汞的显色反应[J]. 理化检验(化学分册), 2008, 44(2): 146—148.
- [38] 许琳, 胡志勇, 刘文文等. 4-甲氧基-2-磺酸基苯基重氮氨基偶氮苯的合成及其与汞(II)的显色反应[J]. 光谱实验室, 2008, 25(3): 319—322.
- [39] 王贵芳, 冯青琴. 4-(对甲氧基苯氨基重氮基)-4'-硝基偶氮苯的合成及其与汞(II)的显色反应[J]. 冶金分析, 2008, 28(6): 15—18.
- [40] 王贵芳, 冯青琴. 4-硝基-4'-磺酰胺基苯基重氮氨基偶氮苯的合成及其与汞(II)显色反应的研究[J]. 分析试验室, 2009, 28(2): 74—77.
- [41] 王贵芳, 冯青琴. 4-(邻甲基苯氨基重氮基)-4'-硝基偶氮苯的合成及其与汞(II)的显色反应[J]. 分析试验室, 2009, 28(8): 51—54.
- [42] 金文斌, 陈慧, 丁芳. 对硝基重氮氨基偶氮苯与镉的显色反应与应用[J]. 理化检验(化学分册), 2010, 46(4): 381—382.
- [43] 王裔耿, 李崇宁, 王加林等. 3, 3'-二甲基-4, 4'-(2-重氮氨基噻唑)联苯的合成及其与汞的显色反应[J]. 化学试剂, 2005, 27(11): 673—675.
- [44] 何晓玲, 王永秋. 新试剂 4, 4'-二(4-硝基苯基重氮氨基)联苯与汞的显色反应[J]. 岩矿测试, 2006, 25(1): 42—44.
- [45] 从晓英. 显色剂对羧基苯基重氮氨基偶氮苯的合成及与汞的显色反应的探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2006, 16(12): 29—30.
- [46] 闵良, 曹秋娥, 丁中涛等. 1-(4-安替比林)-3-(2-苯并噻唑)-三氮烯的合成及其与汞(II)的显色反应[J]. 冶金分析, 2007, 27(2): 29—32.
- [47] 王君玲, 孟双明, 樊月琴等. 新显色剂 2-磺酸基苯基-1, 4-二重氮氨基偶氮苯与 Hg(II)的显色反应及其应用[J]. 分析试验室, 2008, 27(1): 77—79.
- [48] 谢跃勤, 盛良全, 杨俊等. 高灵敏度固相光度法测定微量汞(II)的研究[J]. 理化检验(化学分册), 2004, 40(11): 664—665.
- [49] 杨媛媛, 尹颖, 王玮玮等. 污水中微量汞的富集-控制酸度解吸测定法[J]. 安徽医科大学学报, 2006, 41(4): 481—483.
- [50] 杜娟, 卓文静. 罗丹明 B 光谱探针测定祛斑霜中微量汞[J]. 日用化学工业, 2009, 39(3): 216—218.
- [51] 艾智. 离子缔合物胶束增敏光度法测定微量汞[J]. 食品与发酵工作, 2005, 18(1): 104—105.
- [52] 杜娟. 胶束增敏光度法测定白酒中汞[J]. 食品科技, 2005, 30(3): 85—87.

[53] 刘红梅, 宋爱君, 沈莉. 二甲酚橙光度法测定饮料中的微量汞[J]. 食品与发酵工业, 2007, **33**(12): 137—138.

[54] 程永华, 吕鹏飞, 程婷玉等. 汞(II) 的三元离子缔合物浮选及其应用于光度法测定水中痕量汞(II)[J]. 理化检验(化学分册), 2008, **44**(7): 655—657.

[55] 曹书杰. 汞-头孢唑林钠体系中汞的分光光度法测定[J]. 南阳师范学院学报, 2005, **4**(9): 44—45.

[56] 法焕宝, 闫兴菊, 尹伟等. 单羟基吡啶分光光度法测定金属铅、汞离子[J]. 广州化工, 2010, **38**(1): 154—156.

[57] 赵桦萍. 高灵敏度显色反应测定水中痕量汞的研究[J]. 工业水处理, 2008, **26**(9): 73—74.

[58] 陈文宾, 王丽萍, 马卫兴等. 二溴羟苯基荧光酮分光光度法测定汞(II) -经巯基葡聚糖凝胶柱分离富集[J]. 理化检验(化学分册), 2009, **45**(9): 1045—1047.

[59] 陈文宾, 王丽萍, 陈碧珠等. 巯基葡聚糖凝胶分离富集后 3-甲氧基-甲亚胺 H 分光光度法测定微量汞(II)[J]. 冶金分析, 2009, **29**(8): 47—50.

[60] 胡红旗, 刘俊康, 凌玮等. 径向基函数人工神经网络应用于分光光度法同时测定镉、银、铜及汞[J]. 理化检验(化学分册), 2009, **45**(10): 1154—1157.

Application of Determination of Trace Mercury by Color Reaction Spectrophotometry

QIU Gang WU Shuang-Tao

(*Research Institute of Environmental Chemistry and Technology, Hanchan Normal University,
Chaozhou, Guangdong 521041, P. R. China*)

Abstract A review of the recent progress of spectrophotometry on the color reaction of mercury(II), covering mainly the years of 2004—2010 in China was presented, pertaining especially to the use of dithizone, rhodanine, triazene, cation dyes and other highly sensitive chromogenic reagents in application of determination of mercury by spectrophotometry.

Key words Color Reaction; Spectrophotometry; Mercury (II) ; Review

1980多种核心
期刊从12400
多种中文期刊
中脱颖而出

北京高校图书馆期刊工作研究会最新评选结果汇编
北京 大学 图 书 馆 馆 长 朱 强 等 主 编
北 京 大 学 出 版 社 出 版

《中文核心期刊要目总览》(2008) 化学/ 晶体学类核心期刊一览表

各学科5500多
位专家参加了
审查工作, 评议
指标高达80种

序号	刊 名	序号	刊 名	序号	刊 名
1	高等学校化学学报	10	分析测试学报	19	化学试剂
2	分析化学	11	化学通报	20	功能高分子学报
3	化学学报	12	分子科学学报	21	光谱实验室
4	催化学报	13	分析科学学报	22	合成化学
5	无机化学学报	14	中国科学(B 辑), 化学	23	人工晶体学报
6	物理化学学报	15	化学进展	24	影像科学与光化学
7	有机化学	16	理化检验(化学分册)	25	计算机与应用化学
8	分析试验室	17	分子催化	26	核化学与放射化学
9	色谱	18	化学研究与应用		