

催化荧光分析法研究进展及应用

张 杨

李书存

(唐山市滦县环境保护局, 唐山 063700) (燕山大学环境与化学工程系, 秦皇岛 066004)

摘要 评述催化荧光分析法的发展及其应用。催化荧光分析法的主要研究进展包括: 新体系的发现与新试剂的合成, 增效试剂的应用, 流动注射技术与催化荧光分析法的结合, 活化剂与抑制剂的应用。介绍了催化荧光分析法在测定无机物、有机物和酶等方面的实际应用。

关键词 催化荧光分析法 进展 应用

催化反应在分析化学中的应用始于 20 世纪初, 在 20 世纪 50 年代后期得到较快的发展, 而作为分析化学的分支受到公认和重视则是始于 20 世纪 80 年代, 因此, 催化动力学分析法是相当年轻的研究领域。

近三四十年的大量研究表明, 催化动力学分析法的灵敏度可以与最好的物理和物理化学分析法相媲美, 在微、痕量分析中发挥着越来越大的作用。有关催化动力学分析法的发展和应用, 已有不少综述性文章^[1], 笔者现将催化荧光分析法近十几年来的发展和应用作一总结。

催化荧光分析法具有灵敏度高和选择性好等优点, 是动力学分析法和荧光分析法发展的重要方向之一, 利用荧光监测代替吸光度监测的主要优点是前者具有较高的灵敏度和更高的专属性, 这是由于只有为数不多的化合物会显示出明显的荧光, 而且激发波长和发射波长均可以选择。在某些情况下, 荧光特性和动力学特性之间相互影响, 有助于消除某些干扰。根据所用的催化剂不同, 可将催化荧光分析法分为酶催化法和非酶催化法。笔者主要对非酶催化荧光分析法的研究进展进行评述。

1 催化荧光分析法的新发展

催化荧光分析法在发展之初, 绝大多数体系是基于待测物质的催化活性而建立的, 即利用待测物质对荧光指示反应的定量催化作用进行测定。所涉及的荧光反应通常并不复杂, 多数是氧化还原反应, 利用常见的氧化剂(过氧化氢、溴酸盐、氯酸盐、过硫酸盐等)氧化荧光试剂(罗丹明类、吖啶类、藏红 T 等), 测定浓度一般为 ng/mL 和 μg/mL 数量级。随着科技的进步, 催化荧光分析法也在不断发展。

1.1 新体系的发现与新试剂的合成

近几年, 相继发现了催化荧光分析法的一些新体系。如铈催化 2-(8-羟基喹啉-5-磺酸-7-偶氮)-变色酸分解反应测定痕量铈^[2], Fe(Ⅱ, Ⅲ)催化 H₂O₂氧化二苯胺磺酸钠反应测定天然水中的总铁量^[3], Fe(Ⅱ)与四乙撑五胺协同催化 H₂O₂氧化二氯荧光素的反应, 用于人发、血清中痕量铁的测定^[4]等。

新荧光试剂的合成及应用的研究是催化荧光分析中最活跃的领域之一。鄢远^[5]和李志良等^[6]分别就荧光分析中偶氮类试剂的研究及应用进行了评述。俞英等^[7,8]利用合成

的试剂糠醛缩 7-氨基-8-羟基喹啉-5-磺酸催化荧光分析法测定了痕量的锰(Ⅱ)和钒, 线性范围分别为 0~60.0、0.0~4.8 μg/L, 检出限分别为 2.6、0.4 μg/L。

桑色素是测定铝、硼、铍的传统荧光试剂, 其选择性与灵敏度均不理想, 而新合成的对磺基苯偶氮桑色素在碱性介质中被 H₂O₂氧化后荧光增强。Co²⁺可以加速氧化反应速度并具有定量关系, 用于 V_{B12} 针剂及人发中痕量 Co²⁺的测定^[9], 结果令人满意。

增效试剂在催化荧光分析中的应用也是一个十分活跃的研究领域。增效试剂是能够显著降低水的表面张力的物质, 有增溶、增敏、增稳等增效作用。增效试剂在分析化学中的应用正在不断扩大, 现已广泛应用于分析化学的各个分支, 在催化荧光分析法中的应用也已十分广泛。方国桢等^[10]、王建英等^[11]分别就增效试剂的研究及应用进行了评述。陈兰化^[12]研究了邻菲罗啉对 KIO₄ 氧化曙红 Y 体系的增敏作用, 并建立了用催化荧光分析法测定痕量锰的新方法。

在活性剂氨三乙酸的存在下, 痕量 Mn(Ⅱ)催化 KIO₄ 氧化茜素绿而使其褪色, 阴离子表面活性剂十二烷基硫酸钠对该反应有显著的增敏作用^[13]。

1.2 流动注射技术与催化荧光分析法的结合

流动注射技术(FIA)是近年来发展起来的一种新的分析技术, 它分析速度快、灵敏度高, 宜实现自动化。FIA 与催化荧光分析法相结合, 不仅可提高分析速度, 而且还可以提高测定的灵敏度。Tsuyoshi Shiobara 等^[14]利用钒(V)催化溴酸盐氧化 N-(3-硫丙基)-3,3',5,5'-四甲基联苯胺的荧光指示反应, 采用流动注射分析测定了天然水中痕量的钒, 线性范围为 0.05~8.0 ng/mL, 检出限为 0.01 ng/mL。

在碱性介质中以 H₂O₂ 氧化没食子酸的反应作为荧光指示反应, 用 FIA 催化荧光分析法测定 Co(Ⅱ), 加入少量甲醇以提高灵敏度, 该体系较其它化学荧光体系选择性更高, 检出限为 0.04 μg/L, 线性范围可达 3 个数量级^[15]。

在阳离子胶束介质中, Se(Ⅳ)催化试卤灵硫化反应, 采用流动注射分析技术可测定 5~100 ng/mL 的 Se(Ⅳ), 检出限为 1 ng/mL, 该法简单、快速、灵敏度高^[16]。

KIO_4 氧化罗丹明 6G 可使其荧光强度降低, 铒(Ⅲ)对该反应有催化作用, 采用流动注射动力学荧光法可测定痕量的铼^[17]。

1.3 活化剂与抑制剂的应用

催化荧光分析法有很高的灵敏度, 方法、仪器、技术相对简单, 因而得到愈来愈广泛的应用。科学技术的发展要求测定浓度更低的物质, 因而进一步提高催化荧光分析方法的灵敏度有重要的现实意义, 活化剂的使用便是提高催化荧光分析法测量灵敏度的最简便的方法之一。活化剂是不同于增效剂的一种助催化剂。一般认为增效剂是使发光体系的微环境发生变化, 并不能改变化学发光体系的反应本质, 只是起到增敏、增稳、增溶等作用。而活化剂能显著增加催化反应速率, 一般认为其反应机理有两种: 一种是在反应过程中活化剂与催化剂发生作用, 生成对反应有更高催化活性的物质; 另一种是催化剂虽然能够强烈地加速分级反应中的某一步骤, 但对反应总速率影响更大的却是另一步骤, 而活化剂恰恰能够催化这一步骤。活化作用常常能使催化反应的速度增大几个数量级^[18]。例如: 植醇六磷酸对 Cu(Ⅱ) 催化氧化 2,2'-吡咯酮腙有活化作用, 采用该效应测定了 0.05~0.6 mg/L 的植醇六磷酸^[19], 检出限为 0.03 mg/L。在磷酸二氢钾-盐酸缓冲溶液中, 抗坏血酸对钒催化溴酸钾氧化罗丹明 6G 的反应具有活化作用, 据此建立了高灵敏度、高选择性的测定痕量抗坏血酸的动力学荧光分析法^[9]。

利用活化效应可以提高催化荧光分析法的灵敏度和选择性。文献中大多选用有机物作活化剂, 近几年出现了用金属离子作活化剂并用以测定该金属离子浓度的报道。如 Cu^{2+} 对 NaBrO_3 和铬(Ⅵ)催化氧化还原型罗丹明 B 的反应有活化作用, 据此建立了催化荧光分析法测定痕量铜的新方法^[20]。

抑制剂也称负催化剂, 是能够让催化剂失去活性的物质。利用抑制剂的抑制作用能够降低方法的检出限和改善方法的选择性。如钼(Ⅵ)和钨(Ⅵ)都能催化 H_2O_2 氧化 I^- 为 I_2 的反应, 但在含有柠檬酸的酸性介质中, 钨(Ⅵ)的催化效应完全被抑制, 而钼(Ⅵ)的催化能力反而增加, 因而可在钨、钼共存时测定钼^[21]。

抑制剂的研究与应用, 提高了催化反应的选择性, 拓宽了催化荧光分析法在实际样品分析中的应用范围, 避免了一些繁杂的分离手续。在一定条件下, 抑制作用也可用以测定抑制剂的浓度。在均相催化反应中, 抑制剂大多与催化剂形成非催化活性的络合物, 而在非均相催化反应体系中, 抑制剂常常起屏蔽作用。例如, 在硫酸介质中钒对次甲基蓝与溴酸钾-抗坏血酸的催化氧化反应有抑制作用, 基于这种原理, 建立了新的测定痕量钒的高灵敏度的动力学方法^[22], 已用于食物、药品及水中钒的测定。在高氯酸溶液中, 草酸对 Fe(Ⅱ) 催化 H_2O_2 氧化罗丹明 6G 的反应具有抑制作用, 据此可测定 0.1~1.2 mg/L 的草酸, 检出限为 0.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。该法已用于人尿液和菠菜中草酸含量的分析^[23]。

2 分析应用

催化荧光分析法已经在生物化学、医药、矿物分析、环境样品等领域得到相当普遍的应用, 近几年, 人们将催化荧光分析法用于实际样品分析的论文逐年增加。从 1964 年起, 美国《分析化学》每年在第 5 期刊登一篇关于动力学分析的综述。据不完全统计, 全世界发表的有关论文(不包括酶催化法)20 世纪 60 年代每两年约 100 篇, 20 世纪 70 年代每两年为 150~200 篇, 20 世纪 80 年代每两年约 300 篇。催化荧光分析法灵敏度很高, 是测定痕量和超痕量物质的有效手段, 也被用于分析那些取样量极小的试样, 如血浆分析、高纯贵重物质分析、宇宙试样分析等。

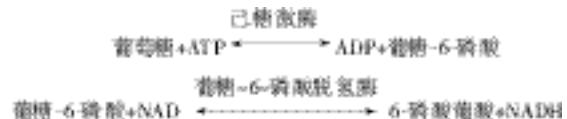
表 1 中列举了近几年催化荧光分析法在测定常见无机组分和一些有机组分中的应用^[7~9,19,20,23~57]。

2.1 酶催化法

作为催化荧光分析法的分支, 酶催化法基于酶催化反应, 这类反应的突出优点是它的特效性和高灵敏度, 不仅可用来测定酶的活性, 也可用来测定底物、活化剂和抑制剂。

酶催化分析法在国内外已得到广泛应用, 每年都有大量的研究报告和综述。美国《分析化学》每双年第 5 期都刊登以“Use of Enzymes in Analytical Chemistry”为题的综述性文章。酶催化反应与荧光分析法结合的酶催化荧光分析法近年来也有不少报道^[57~59]。

催化荧光分析法测定血清中的葡萄糖基于以下反应:



在以上反应中, NADH 的生成速度正比于葡萄糖的浓度^[58]。

慈云祥等^[59]首次研究了 Meso-四(4-碘基苯)卟啉和锰的络合物作为过氧化氢模拟酶对高香草酸和过氧化氢荧光反应的催化作用, 建立了用模拟酶测定痕量 H_2O_2 和葡萄糖的荧光测定方法, 灵敏度分别为 $8.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ 、0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

在含有 Triton X-100 的磷酸盐缓冲溶液中, 辣根过氧化物酶(HRP)催化 H_2O_2 氧化邻苯二胺的产物 2,3-二氨基吩嗪的反应, 体系的荧光强度有明显的增强, 在一定实验条件下, 该产物的荧光强度与 HRP 的含量成正比, 该方法测定 HRP 的线性范围为 10~200 pg, 检出限为 8 pg^[57]。

Mn^{2+} 是辣根过氧化酶催化 2,3-二酮古洛糖氧化反应所需的活化剂, 反应产物 H_2O_2 在 HRP 存在下与对-高香草酸作用生成荧光产物。该法测定 Mn^{2+} 的检出限为 8 $\mu\text{mol/L}$, 校正曲线线性范围宽达 50 $\mu\text{mol/L}$ ^[58]。

此外, CN^- 、 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 SO_4^{2-} 、 Pb^{2+} 、 Co^{2+} 、 Bi^{3+} 等无机离子可借助它们对酶活性的抑制作用而利用催化荧光分析法进行测定^[58]。

2.2 非酶催化法

在包括荧光生成及荧光消失的非酶催化反应中, 利用某些物质对反应的催化作用或抑制作用, 可以建立测定这些物

表1 催化荧光分析法的应用

测定组分	主要反应体系	线性范围	检出限	分析对象	文献号
Ag	K ₂ S ₂ O ₈ + 罗丹明 6G	2.00 ~ 40.00 ng/(25 mL)	5.80 × 10 ⁻² μg/L	茶叶、阳极泥、水	24
	糠醛缩-7-氨基-8-羟基喹啉-5-碘酸	μg/mL 数量级			25
	K ₂ S ₂ O ₈ + 荧光素	2 ~ 32 μg/L	1.76 × 10 ⁻³ mg/L	AgCl 溶度积	26
V(V)	KBrO ₃ + N-(3-硫丙基)-3,3',5,5'-四甲基联苯胺	0.05 ~ 8.0 ng/mL	0.01 ng/mL	天然水	14
	KBrO ₃ + 次甲基蓝 - 抗坏血酸	0 ~ 10 μg/L	3.5 × 10 ⁻¹¹ g/L	食物、药品	22
	KBrO ₃ + 藏红 T	0.2 ~ 2.4 μg/L	2.2 × 10 ⁻⁸ g/L	人发、煤灰	27
	KIO ₄ + 茜素红	0.0 ~ 2.0 μg/(25 mL)	7 × 10 ⁻¹⁰ g/mL	水、铬钒钢	28
	糠醛缩-7-氨基-8-羟基喹啉-5-磺酸	0.0 ~ 4.8 μg/L	0.4 μg/L	水	8
Br ⁻	KBrO ₃ + 荧光素	6.0 ~ 12.0 μg/(25 mL)	1.94 × 10 ⁻² μg/mL	药片	29
	H ₂ O ₂ + 罗丹明 B	5 ~ 35 μg/(25 mL)	0.85 μg/(25 mL)	TlBr 溶度积	30
I ⁻	KIO ₃ + 丁基罗丹明 B	0.04 ~ 0.24 μg/mL	1.5 × 10 ⁻² μg/mL	海带	31
Fe(II, III)	KIO ₄ + 茜素红	0.0 ~ 10.0 μg/(25 mL)	0.52 ng/mL	铝合金	32
	H ₂ O ₂ + 糠醛缩-7-氨基-8-羟基喹啉-5-磺酸	0.0 ~ 40.0 μg/L	4.68 ng/L	铸造铝合金	33
	H ₂ O ₂ + 二氯荧光素	0.01 ~ 0.30 μg/(25 mL)	1.3 × 10 ⁻¹⁰ g/L	人发、血清	34
	H ₂ O ₂ + 二苯胺磺酸钠	0.2 ~ 8.0 μg/(25 mL)	1.2 × 10 ⁻² μg/mL	天然水	35
Cr(VI)	H ₂ O ₂ + 罗丹明 B	0.01 ~ 0.16 ng/L	3.32 μg/L	电镀液	36
	H ₂ O ₂ + 藏红 T	0 ~ 120 μg/L	2.6 × 10 ⁻⁶ g/L	环境水样	38
	NaBrO ₃ + 罗丹明 B				38
Mn(II)	糠醛缩-7-氨基-8-羟基喹啉-5-磺酸	0 ~ 60.0 μg/L	2.6 μg/L	自来水、合金	7
	2-(8-羟基喹啉-5-磺酸-7-偶氮)-变色酸	0.0 ~ 0.4 μg/(25 mL)	3.5 × 10 ⁻⁵ μg/mL	铝合金、污染硅片	39
	KIO ₄ + 罗丹明 B	0.08 ~ 2.0 ng/mL	0.028 ng/mL	化学试剂	40
	KIO ₄ + Meso-四(4-三甲胺苯基)卟啉	10 ~ 40 ng/(25 mL)	8.1 × 10 ⁻² ng/mL	精镁	41
Mo(VI)	H ₂ O ₂ - KI + 罗丹明 6G	2 ~ 16 μg/L	1.2 μg/L	豆类、尿	42
	H ₂ O ₂ + 邻苯二胺	0 ~ 3 μg/L		天然水	43
Cu(II)	H ₂ O ₂ + 1,10-菲咯啉	0.02 ~ 0.25 μg/mL			44
	H ₂ O ₂ + 二氯荧光素	5 ~ 120 ng/(25 mL)	0.083 ng/mL	人发、指甲、自来水	45
	H ₂ O ₂ + 吖啶黄	8 × 10 ⁻⁴ ~ 8 × 10 ⁻³ μg/mL	5 × 10 ⁻⁴ μg/mL	水、纯铝	46
	H ₂ O ₂ + 核固红	0 ~ 0.4 μg/(25 mL)	0.1 ng/mL	人发	47
	抗坏血酸 + 邻苯二胺	0 ~ 8 μg/L	0.06 μg/L		48
Pd	H ₂ O ₂ + 罗丹明 6G	0.04 ~ 8 μg/L			9
NO ₂ ⁻ /NO ₃ ⁻	KBrO ₃ + 藏红 T	0.2 ~ 6.7 μg/L	0.08 μg/L	水	49
	KBrO ₃ + 罗丹明 6G	2 × 10 ⁻⁴ ~ 2 × 10 ⁻² μg/mL		雨水	50
	KBrO ₃ + 酚藏花红	0.27 ~ 7.3 μg/L		水	51
Co ²⁺	H ₂ O ₂ + 对磺基苯偶氮染色素	0 ~ 50 ng/mL	4.3 ng/mL		9
	H ₂ O ₂ + 罗丹明 6G	0.40 ~ 20.00 μg/(25 mL)	0.11 ng/mL		9
H ₂ O ₂	高香草酸 - 四(磺基苯基)卟啉	8.5 × 10 ⁻⁸ ~ 2.5 × 10 ⁻⁶ mol/L			52
	β-环糊精 - 氯化血红素	3 × 10 ⁻⁸ ~ 8 × 10 ⁻⁶ mol/L	3.4 × 10 ⁻⁹ mol/L		53
抗坏血酸	V(V) - KBrO ₃ + 罗丹明 6G	1.60 ~ 28.0 ng/mL	0.62 ng/mL		9
草酸	K ₂ Cr ₂ O ₇ + 丁基罗丹明 B	1.20 ~ 10.0 μg/mL		菠菜	54
	Fe(II) - H ₂ O ₂ + 罗丹明 6G	0.1 ~ 1.2 mg/L	93 μg/L		23
	K ₂ Cr ₂ O ₇ + 罗丹明 6G	0.8 ~ 14 μg/mL		菠菜、人尿	55
硫胺素	H ₂ O ₂ + 硫胺素	1.0 × 10 ⁻⁸ ~ 1.0 × 10 ⁻⁴ mol/L	4.3 × 10 ⁻⁹ mol/L		56
植醇六磷酸	2,2'-二吡咯基酮腙	0.05 ~ 0.6 mg/L	0.03 mg/L		19
过氧化物酶/甲胎蛋白	H ₂ O ₂ + 邻苯二胺	10 ~ 200 pg	8 pg	血清	57

质的灵敏方法。非酶催化法也可用于测定某些对反应起助催或抑制催化作用的物质。由于测量的对象并非催化剂本身,而是经“化学放大”了的其它物质,因而此法的灵敏度很高,检出限可达 ng 或 pg 级。已开拓的这一类方法中,所使用的体系多数为氧化还原反应,少数为配合物的生成反应,已

建立了 Ag⁺^[24~26]、Cu²⁺^[44~48]、Fe²⁺与 Fe³⁺^[32~35]、Cr(VI)^[36~38]、Mn²⁺^[7,39~41]、Mo(VI)^[42,43]、Co²⁺^[9]、V(V)^[8,14,22,27,28]、I⁻^[31]、Br⁻^[29,30]、NO₂⁻^[9,49~51]等无机离子和抗坏血酸^[9]、草酸^[9,23,54,55]等有机物的催化荧光测定法。例如,在乙酸介质中及邻菲罗啉存在下,利用银对过硫酸钾

氧化罗丹明 6G 反应的催化作用,可进行超痕量银的测定^[24];Cu²⁺催化 H₂O₂氧化吖啶黄的反应,使吖啶黄荧光猝灭,可用于样品中铜的测定^[46];在氨性介质中,Cu²⁺催化 H₂O₂氧化核固红的反应,检测核固红的荧光强度可测定铜的含量^[47];基于盐酸介质中草酸可加速重铬酸钾氧化丁基罗丹明 B 的反应,可以检测痕量草酸,已经用于菠菜中草酸的测定^[9];Fe(Ⅲ)催化 KIO₄氧化茜素红的反应,通过监测荧光产物可测定痕量铁,采用多目标罚函数单纯型法进行实验设计,提高了催化荧光分析法的灵敏度^[32];利用 Br⁻催化 H₂O₂氧化罗丹明 B 的反应,监测荧光熄灭程度可测定痕量的 Br⁻^[30]。

3 催化荧光分析法的发展趋势

催化荧光分析法是相当年轻的研究领域,要做的工作还很多。例如,进一步提高方法的灵敏度和选择性,反应机理的研究,方法的仪器化和自动化等。

近几年,用荧光分析法鉴定和测定的无机物、有机物、生物物质、药物等的报道数量增加很快,使荧光分析越来越成为分析化学中一种重要的分析方法。由于催化荧光分析法具有较高的灵敏度和选择性,将成为动力学分析法和荧光分析法发展的重要方向。近几十年的大量研究表明,催化荧光分析法在解决微量和痕量分析中将发挥重要的作用。

参 考 文 献

- 1 阮大文. 分析试验室,1986,5(7):51
- 2 鄢远,等. 分析化学,1993,21(1):1
- 3 崔毅. 分析化学,1993,21(4):494
- 4 张桂恩,等. 分析化学,1994,22(9):919
- 5 鄢远,等. 分析化学,1993,21(1):1
- 6 李志良,等. 分析化学,1990,18(8):780
- 7 俞英,等. 分析化学,1993,26(4):414
- 8 俞英,等. 化学试剂,1998,20(5):289
- 9 汪尔康. 分析化学新进展. 太原:山西科学技术出版社,1997. 313, 396, 398, 400
- 10 方国桢,等. 化学试剂,1996,18(6):333
- 11 王建英,等. 理化检验:化学分册,1998,34(5):228
- 12 陈兰化. 理化检验:化学分册,1992,28(1):47
- 13 谢增鸿,等. 理化检验:化学分册,2000,36(2):106
- 14 Tsuyoshi shiobara, et al. Talanta,1999,49:1083.
- 15 阮大文. 分析试验室,1987,5(12):50
- 16 Afsaneh Safvi, et al. Talanta,2000,51(2):225
- 17 王克太,等. 分析化学,1996,23(18):914
- 18 罗庆尧,等. 分光光度分析. 北京:科学出版社,1992.
- 19 March J G, et al. The Analyst,1999,124:897
- 20 张勇,等. 分析化学,1992,20(8):957
- 21 罗庆尧,等. 分光光度分析. 北京:科学出版社,1992.
- 22 刘长久. 分析化学,2000,28(5):580
- 23 冯素玲,等. 分析化学,2000,28(5):621
- 24 李彬,等. 分析试验室,1998,17(2):68
- 25 洪朝辉,等. 分析化学,1997,17(6):9
- 26 谢增鸿,等. 分析化学,1998,26(2):215
- 27 陈兰化,等. 分析化学,1997,25(6):656
- 28 俞英,等. 分析化学,1995,23(8):903
- 29 冯素玲,等. 光谱学与光谱分析,1997,17(4):104
- 30 郑肇生,等. 分析化学,1993,21(9):1092
- 31 冯素玲,等. 理化检验:化学分册,1997,33(8):358
- 32 俞英,等. 高等学校化学学报,1996,17(9):1381
- 33 俞英,等. 光谱学与光谱分析,2000,20(1):110
- 34 张桂恩,等. 分析化学,1994,22(9):919
- 35 崔毅. 分析化学,1993,21(4):494
- 36 冯素玲,王瑞勇,樊静. 分析化学,2000,28(1):61
- 37 陈兰化,王德生. 分析化学,1997,25(1):120
- 38 张勇. 河南师范大学学报(自然科学版),1993,21(3):28
- 39 俞英,等. 分析化学,1994,22(16):543
- 40 张勇,等. 理化检验:化学分册,1995,31(4):227
- 41 陈亚华,等. 分析试验室,1994,13(1):40
- 42 张桂恩,等. 分析化学,1996,24(5):539
- 43 Kawakubo S, et al. Anal Sci,1996,12(5):767
- 44 Watanabe K, et al. Bunseki Kagaku,1994,43(10):809
- 45 冯素玲,等. 分析化学,1995,23(10):1230
- 46 陈兰化,等. 理化检验:化学分册,1997,33(6):264
- 47 李建中,等. 分析化学,1992,20(1):85
- 48 Kawakubo S, et al. The Analyst,1994,119(9):2119
- 49 陈兰化,等. 分析化学,1996,24(7):790
- 50 高甲友. 理化检验:化学分册,1994,30(3):159
- 51 陈兰化,等. 分析试验室,1998,17(3):60
- 52 Ci Yuanxiang, et al. Anal Chim Acta,1990,223(2):299
- 53 Liu Zhihong, et al. The Analyst,1999,124:173
- 54 冯素玲,等. 光谱学与光谱分析,2000,20(1):113
- 55 冯素玲,等. 分析化学,1997,25(11):1274
- 56 Qiu Yingchen, et al. The Analyst,1993,118:771
- 57 魏永峰,等. 分析化学,2000,28(1):99
- 58 陈国珍. 荧光分析法. 第 2 版. 北京:科学出版社,1990. 321, 322, 323
- 59 慈云祥,等. 高等学校化学学报,1989,10(3):229

ADVANCE IN THE RESEARCH OF THE CATALYTIC FLUORIMETRY AND ITS APPLICATION

Zhang Yang

(The Environmental Protection Bureau of Luan County of Tangshan City, Tangshan 063700, China)

Li Shucun

(Department of Environment and Chemical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

ABSTRACT A review on the development and application of the catalytic fluorimetry was presented. Its main research progress includes the discovery and synthesis of the new reagents, application of surfactant reagents, combination of FIA and the catalytic fluorimetry, application of activating and inhibiting reagents. The actual application of the catalytic fluorimetry in the determination of the inorganic substance, organic substance and enzyme, etc. was introduced.

KEYWORDS catalytic fluorimetry, advance, application