

荧光分析法在环境有机污染物分析中的应用

吴志皓¹ 唐尧基² 李桂敏¹ 李德亮¹ 王金中¹ 刘绣华¹ 范顺利³

(1. 河南大学化学化工学院, 开封 475001; 2. 厦门大学化学化工学院化学系, 现代分析科学教育部重点实验室, 厦门, 36100; 3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085)

摘要 综述了近年来荧光分析法在环境有机污染物分析中的应用, 主要介绍了国内的应用情况。内容包括: 常规荧光分析法、同步荧光光谱法、导数荧光光谱法、三维荧光光谱法、固体表面荧光光谱法和荧光动力学分析法等, 共引用参考文献 113 篇。

关键词 光分析法 环境有机污染物 综述

1 前言

环境分析化学是分析化学的一个新分支。在某种意义上讲, 环境科学的发展依赖于环境分析化学的发展。随着人们对环境问题认识的深入, 环保意识的增强, 环境分析受到越来越多的重视, 已有大量综述性文章^[1,2]发表。

随着有机化工、石油化工、医药工业的发展, 以及农药(杀虫剂、除草剂等)的大量使用, 有机化合物对环境的危害和污染日益严重。目前, 有机污染物分析测试的重要对象^[3]包括, 多环芳烃和有机氯等污染物; 与空气污染有关的挥发性有机物、胺类化合物; 与水污染有关的表面活性剂; 砷、汞、锡等金属有机化合物。环境有机物的分析手段很多, 其中荧光分析法由于灵敏度高和选择性较好等优良性能而得到广泛的应用^[4,5]。本文就近年来各种荧光分析方法在环境有机污染物分析中的应用作一综述, 重点是介绍国内的情况。

2 常规荧光分析法

2.1 列入国家标准的荧光分析法

被列入有机污染物监测国家标准方法中的荧光分析法有: 冷原子荧光法对有机汞的测定^[6]; 乙酰化滤纸层析荧光分光光度法对大气飘尘和水体中苯并(a)芘的测定^[7]; 酚类^[8]、木质磺酸酯^[8]、多环芳烃(芘、萤、葱、菲)[PASH]^[8]的荧光分析法测定等。

2.2 直接测定法

这是荧光分析法中最简单的方法, 它是通过测

定被分析物的荧光强度来确定其浓度。张文伟等^[9]根据邻羟基苯甲酸和苯酚各自不同的荧光性质, 成功地用荧光分析法测定了环境水样中邻羟基苯甲酸和苯酚混合物的含量, 在 pH=11 时测定邻羟基苯甲酸, 在 pH=6 时测定苯酚, 检出限分别为 3.4ng/mL 和 4.0ng/mL。Hernandez 等^[10]在中性胶束介质中, 直接测定了 3,3',4,4'-四氯联苯, 线性范围为 5~500ng/mL, 检出限为 1.4ng/mL。丁力等^[11]用常规荧光分析法直接测定了大气飘尘中苯并(a)芘的含量。但总的来说, 直接荧光法使用不多, 主要是因为众多的有机化合物本身无荧光, 或荧光产率低而无法进行直接测定。直接荧光法测定环境有机污染物见表 1。

2.3 间接测定法

间接测定也有两种方法, 一是通过化学反应使无荧光的物质转变成适合测定的荧光物质。这种化学反应可以是光化学反应、降解反应、氧化还原反应、偶联反应、缩合反应或酶降解反应等。例如, 有机磷农药对硫磷本身没有荧光, 但其水解产物对氨基酚有荧光, 据此用荧光法测定了水和废水中的痕量对硫磷^[23], 检出限为 3.0 μ g/L。Halaleh 等^[24]根据甲醛和乙酰丙酮的反应, 建立了高灵敏度测定空气中痕量甲醛的新方法, 线性范围为 1.2~33.0 μ g/L, 检出限为 0.2 μ g/L。这种方法在有机环境污染物的分析中得到了广泛的应用, 有关报道列于表 2。

间接测定的另一种方法是荧光猝灭法, 即被分析物本身不发荧光, 然而具有使某种荧光化合物荧光猝灭的能力, 或者被分析物的荧光可以被其他物

表1 常规荧光分析法直接测定有机污染物

待测物质	线性范围	检出限	样品	文献
果乐	20~70 ^μ g/25mL	20 ^μ g/25mL	农药、水样	12
茈	不明确	不明确	水样	13
苯胺	0~2.0mg/L	4.3 ^μ g/L	环境水样	14
挥发酚	不明确	2 ^μ g/L	天然水	15
1-萘酚	5.0×10 ⁻⁷ ~1.0×10 ⁻⁵ mol/L	2.0×10 ⁻⁷ mol/L	合成样	16
2-萘酚	1.0×10 ⁻⁷ ~1.0×10 ⁻⁵ mol/L	1.0×10 ⁻⁷ mol/L		
芳香烃	不明确	不明确	泥炭、软褐煤	17
酚类化合物(19种酚)	1~60 ^μ g/L, 2~100 ^μ g/L, 4~200 ^μ g/L 100~1000 ^μ g/L, 20~500 ^μ g/L	0.3~17 ^μ g/L	水和废水	18
挥发酚类化合物	不明确	不明确	造纸厂废水	19
苯酚	0~0.5mg/L	5.1 ^μ g/L	水	20
十二烷基苯磺酸钠	0~1.5mg/L	4.4 ^μ g/L		
苯酚、间苯二酚和对苯二酚	0.1~0.5mg/L	0.48、0.51、0.67 ^μ g/L	合成样	21
十二烷基苯磺酸钠	不明确	4.0ng/mL	饮用水、污水	22

表2 常规荧光分析法间接测定有机污染物(化学反应法)

待测物质	反应类型	线性范围	检出限	样品	文献
甲醛	缩合反应	5~100×10 ⁻⁹	2×10 ⁻⁹	室内空气	25
fenvalerate	光化学反应	2~10 ^μ mol/L	0.8 ^μ mol/L	井水	26
含硫除草剂	光化学反应	14~2912ng/mL	0.2~6ng/mL	河水	27
甲醛	缩合反应	3~600 ^μ g/L	0.6 ^μ g/L	河水	28
甲基对硫磷	降解反应	0~2.6mg/L	5.2 ^μ g/L	井水、河水	29
甲醛	缩合反应	12~192ng/mL	0.3ng/mL	乙醇或天然水	30
苯	电解作用	4.7 ^μ mol/L~0.96mmol/L	2.8 ^μ mol/L	废水	31
拟去虫菊酯(两种)	光化学反应	10~2520ng/mL 10~5040ng/mL	7ng/mL 11ng/mL	农药	32
五种芳香类杀虫剂	光化学反应	0.1~20ng/mL~ 0.11~15.7 ^μ g/mL	0.02~22ng/mL	水样	33
总醛含量	缩合反应	100~1000×10 ⁻⁹	30×10 ⁻⁹	汽车尾气	34
氯苯类除草剂	光化学反应	0.5~2.5 ^μ g/mL	36~179ng/mL	水样	35
氯苯氧基类除草剂	光化这反应	0.1~4.5 ^μ g/mL	23~98ng/nL	水样	36
多环芳烃	光化学反应	1~20 ^μ g/mL	0.05 ^μ g/mL	土壤	37
甲醛	缩合反应	2~100×10 ⁻⁹	0.2×10 ⁻⁹	空气	38
十二烷基苯磺酸钠	缩合反应	0~2.0×10 ⁻³ mol/L	不明确	水样	39
丁二酮	缩合反应	4.0×10 ⁻⁷ mol/L~5.2× 10 ⁻⁵ mol/L	1.3×10 ⁻⁷ mol/L	啤酒	40
对硝基酚、对氨基酚	降解反应	0~12 ^μ g/mL 0~12 ^μ g/mL	0.27 ^μ g/mL 0.32 ^μ g/mL	扑热息痛	41
甲醛	缩合反应	0.0136~13.62 ^μ mol/L	6nmol/L	空气	42
对硝基苯酚	降解反应	10~200ng/mL	3ng/mL	水及废水	43
敌百虫	偶联反应	0~150mg/25mL	0.070mg/m ³	农药	44
敌敌畏	偶联反应	0~1.0mg/L	0.022mg/L	水样	45
久效磷	降解反应	0~3.2 ^μ g/mL	4.0 ^μ g/L	水样	46

质猝灭。通过测量荧光化合物荧光强度的降低,可以间接地测量被分析物。例如,硝基甲烷^[47]、氯化吡啶鎓^[48]、脂肪胺^[49]、溴化十六烷基吡啶^[50]等能够使多环芳烃的荧光猝灭,据此建立了测定水中或合成样中痕量多环芳烃含量的荧光猝灭法。刁力等^[51]根据硝酮化合物对9-氧蒽荧光的猝灭作用,建立了测定9-氧蒽的荧光分析法。此外,甲醛能使四氨基酚铝的荧光猝灭^[52],2,4,6-三硝基酚能使4-甲基伞形酮的荧光猝灭^[53],据此建立了高灵敏度监测甲醛、2,4,6-三硝基酚的荧光分析法。

3 同步荧光光谱法

同步荧光光谱技术^[54]可使光谱简化,谱带窄化,

从而减少光谱重叠和散射光的影响^[55],因此干扰少,在多组分及同系物测定中显示了优越性,在环境有机污染物尤其是多环芳烃的分析中得到了广泛的应用。同步荧光法又有几个分支:固定波长法、可变角法和恒能量法。Mostral等^[56]用同步荧光法测定了废气中的几种芳香烃,线性范围在 $0.24 \sim 10 \mu\text{g/L}$ 和 $0.5 \sim 5.3 \text{mg/L}$ 之间,检出限在 $0.05 \sim 2 \text{ng/mL}$ 之间。李耀群等^[57]采用固定波长同步荧光法同时测定合成样中2,2'-二羟基联苯和4-羟基联苯的含量,样品无需分离,方法简便快速,2,2'-二羟基联苯和4-羟基联苯的线性范围均为 $0 \sim 8 \mu\text{g/mL}$,检出限分别为 61ng/mL 和 87ng/mL 。应用同步荧光技术测定环境有机污染物的报道较多,如表3所示。

表3 同步荧光光谱法测定有机污染物

被测物质	方法	线性范围	检出限	样品	文献
1-羟基茈	同步荧光	$0.005 \sim 1 \mu\text{g/mL}$	0.84ng/mL	尿样	58
苯并[a]茈	二阶导数	不明确	$0.05 \mu\text{g/kg}$	肉	59
18种多环芳烃	固定能量	不明确	$0.1 \sim 2.3 \text{ng/mL}$	合成样	60
蒽	非线性变角	$10 \sim 1000 \text{ng/mL}$	2.0ng/mL	合成样	61
9,10-二甲基蒽	同步荧光	$5 \sim 500 \text{ng/mL}$	2.7ng/mL		
2-氨基蒽		$50 \sim 1000 \text{ng/mL}$	15.8ng/mL		
多环芳烃	二阶导数固定能量	不明确	不明确	合成样	62
六种多环芳烃	同步荧光	不明确	$0.02 \sim 2.28 \text{ng/mL}$	西班牙西北环境水	63
五种多环芳香烃	导数非线性变角	不明确	不明确	废水	64
多环芳烃	固定能量	不明确	不明确	沉积物、废气	65
多环芳烃	固定波长	$0.1 \sim 2 \mu\text{g/mL}$	6ng/mL	饮用水、地表水	66
茈	导数同步荧光光谱	$50 \sim 500 \text{ng/mL}$	20ng/mL	水样	67
苯并茈		$10 \sim 500 \text{ng/mL}$	4ng/mL		
多环芳烃	变角同步固相	$0 \sim 5 \mu\text{g/L}$	$0.1 \mu\text{g/L}$	水样	68
苯并蒽	同步荧光	$0 \sim 2 \mu\text{g/mL}$	5ng/mL	合成样	69
9,10-二甲基蒽		$0 \sim 5 \mu\text{g/mL}$	8ng/mL		
苯并[a]茈	二阶导数	$0 \sim 0.1 \mu\text{g/mL}$	$0.001 \mu\text{g/mL}$	大气飘尘	70
苯胺	导数可变角	$0 \sim 8 \mu\text{g/mL}$	87ng/mL	合成样	71
1-萘酚		$0 \sim 2 \mu\text{g/mL}$	4.1ng/mL		
苯酚	同步荧光	$0.01 \sim 3 \mu\text{g/mL}$	5ng/mL	地面水	72
苯胺		$0.10 \sim 2 \mu\text{g/mL}$	30ng/mL		
苯酚、对苯二酚	褶合曲线分析法	不明确	不明确	合成样	73

续表 3

被测物质	方法	线性范围	检出限	样品	文献
葱、茺	磁效应—偏转—	0.074ng/mL	2.0~60.0ng/mL	人工混合样	74
	共振同步	0.0039ng/mL	0.2~10.0ng/mL		
苯并[a]茺	同步荧光	0~100ng/mL	0.5ng/mL	大气飘尘	75
苯酚、间苯二酚	双峰倍增配平 导数同步	不明确	不明确	雷锁辛涂剂、水样	76
邻羟基苯甲酸 间羟基苯甲酸	双峰倍增配平 导数同步	0~1.0mg/L	不明确	人工合成样	77
茺、茺、葱、茺	导数恒能量	0~24.0ng/mL	1.5、15.0、0.13、	人工合成样	78
		0~240.0ng/mL	0.022ng/mL		
		0~15.0ng/mL			
		0~1.8ng/mL			
茺、菲、葱	偏振—同步	$0\sim 3.0\times 10^{-6}$ mg/L	0.03×10^{-6} mg/L	土壤	79
		$0\sim 40.0\times 10^{-6}$ mg/L	0.5×10^{-6} mg/L		
		$0\sim 0.2\times 10^{-6}$ mg/L	0.005×10^{-6} mg/L		
苯酚、邻苯二酚	导数	0~0.10 μ g/L	不明确	合成样	80
		0~0.30 μ g/L			
1-萘酚	导数变角同步荧光	0~0.1 μ g/mL	6.7ng/mL	土壤	81
2-萘酚		0~0.3 μ g/mL	3.7ng/mL		
油	恒能量	0.05~100 μ g/mL	不明确	泥、海水	82
1-萘酚、2-萘酚	同步荧光	不明确	$1.4\sim 17.1\times 10^{-9}$	土壤	83
三种多环芳烃	同步荧光	不明确	0.13ng/mL	海水	84

4 导数荧光光谱法

记录荧光强度对波长的一阶或更高阶导数的光谱就是导数荧光光谱。其优点在于可减少光谱干扰,增强特征光谱精细结构和分辨能力,区分光谱的细微变化。因此这种技术在多组分混合物的分析中得到广泛应用。丁亚平^[85]等利用导数荧光光谱法同时测定了合成样中的 α -萘酚和 β -萘酚,线性范围分别为0~0.8 μ g/mL和0~0.7 μ g/mL,检出限分别为0.013ng/mL和0.011ng/mL。导数荧光技术常和同步荧光技术联合使用。

5 三维荧光光谱法

三维荧光光谱是描述荧光强度同时随激发波长和发射波长变化的关系谱图,能提供比常规荧光光

谱和导数荧光光谱更完整的光谱信息。蔡汝秀等^[86]对三维荧光光谱的进展和应用作了综述。王伦等^[87]利用三维荧光光谱测定了工业废水中的苯胺,检出限为 1.0×10^{-7} mol/L。侯镜得等^[88]采用三维全扫描荧光法,以三维空间荧光图和等高线图描述样品中的芳烃含量,并以总荧光强度、特征荧光强度等参数描述芳烃含量随井深的变化情况,用于对油井的评价。鄢远等^[89]利用三维荧光光谱总体积分法同时测定萘、茺和茺,灵敏度比单点法分别提高了330多倍。三维导数荧光光谱总体积分法^[90]用于同一体系的测定,灵敏度较三维荧光光谱总体积分法略低,但选择性有明显的提高。

6 固体表面荧光光谱法

固体表面荧光光谱法是将待测组分吸附于固体

物质表面上,然后进行荧光测定。采用的固体物质品种众多,有硅胶、氧化锡、滤纸、硅酮橡胶、乙酸钠、溴化钾、蔗糖和纤维素等。固体表面荧光分析具有简单快速、取样量少、灵敏度高、费用少等优点。但其测定的精密性远不及溶液荧光法好。Navalon等^[91]利用固体表面荧光法测定了天然水中1-萘乙酸的含量,线性范围在0.3~18ng/mL之间。此外,环境水样中痕量杀鼠灵^[92]、水中的苯达松^[93]、苯菌灵^[94]、1,1'-联苯酚-2^[95]、三苯基锡^[96]、morestan^[97]和多环芳烃^[68, 98]的固体表面荧光光谱分析也有报道。

7 荧光动力学分析法

荧光动力学分析是应用荧光法测量反应的速率以确定待测物含量的方法。王瑞勇^[99]、唐安娜^[100]、唐波^[101]对该方法的理论和应用已有综述。樊静等^[102]根据酚对Fe(III)催化H₂O₂氧化罗丹明6G的荧光猝灭具有抑制作用,建立了测定总酚的动力学荧光分析法,成功地用于合成样和工业废水中酚含量的测定。龚波林等^[103]利用BrO₃⁻-Br-二氯荧光素体系测定了酚,线性范围为1.6~52ng/mL,检出限为1.6ng/mL。甲醛、间苯二酚^[104]、丙醛^[105, 106]的动力学荧光光度法也有报道。但总的来说,荧光动力学分析法目前主要应用于无机物的分析,对有机物的分析应用正在逐步扩大且是一个研究热点。

8 其他荧光分析法

时间分辨荧光、相分辨荧光、荧光偏振、荧光免疫分析和低温荧光分析也各有特色,并且有广泛应用,但用于环境有机污染物分析还很少。

9 结 语

随着人们环保意识的增强,必然要求有更灵敏的方法监测环境有机污染物。荧光分析在这方面有着自身的优势。我们相信,随着荧光分析新技术的出现、实验仪器的日臻完善,新的荧光分析方法会应运而生。荧光分析法必然在环境有机污染物分析中发挥更大的作用。荧光分析的研究方向主要有:

(1) 发展多种有效的样品收集技术,并使之与荧光分析法相结合,将为荧光分析法在环境有机污染物分析方面开辟更广泛的应用前景。

(2) 研究开发更多的荧光试剂,使荧光分析能测定更多的环境有机污染物。

(3) 1995年通过的《全球行动计划》中确定了一些主要有机污染物,包括多氯联苯(PCBs),二噁噻类(Dioxins)、呋喃(Furan)及DDT等农药。而异构体群有机污染物分析是难点之一,需要有新的荧光技术和试剂能用于这类物质的分析。

(4) 荧光分析法与其他分析方法的联用是今后研究的一个热点方向。荧光分析与高效液相色谱^[107, 108]、固相萃取^[109]、流动注射技术^[110-112]、毛细管电泳^[113]的联用已经得到了广泛的应用,提高了荧光分析的灵敏度、选择性和分析过程的自动化。联用技术将扩大荧光分析法在环境有机污染物分析中的应用。

参考文献

- 1 Clement R E, Yang P W, Koester C J. *Anal Chem*, 1999, 71(12): 257
- 2 Clement R E, Yang P W, Koester C J. *Anal Chem*, 1997, 69(12): 251
- 3 戴树桂主编. 环境化学. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- 4 Takeuchi M, Mizuishi K, Hobo T. *Anal Sci*, 2000, 16(4): 349
- 5 Coly A, Aaron J J. *Talanta*, 1998, 46(5): 815
- 6 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测. 北京: 高等教育出版社, 2004: 71
- 7 国家标准委员会主编. 中华人民共和国国家标准目录及信息总汇. 北京: 中国标准出版社, 2002: 587
- 8 包雷, 赵辉. 环境污染物的分析. 北京: 化学工业出版社, 1981: 190
- 9 张文伟, 杨梅, 李晓辉等. 光谱实验室, 1996, 16(5): 586
- 10 Hernandez Garcia J, Betancort Rodriguez J R, Bermejo Martin Lazaro A J. *Anal Chim Acta*, 1994, 290(1): 146
- 11 丁力, 王耐芬. 分析化学, 1989, 11(5): 463
- 12 Rama Moban K, Ramash A, Seshaiha K. *Indian J Chem: sect. A: Inorg, Bio-inorg, Phys; Theor Anal Chem*, 2000, 39A(12): 1331
- 13 Chuette J M, Warner I M. *Talanta*, 1994, 41(5): 647
- 14 文伟, 张立娟. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2001, 24(2): 170
- 15 王才, 顾文武, 袁琳. 中国环境监测, 1999, 15(1): 37
- 16 巫森鑫, 郑用熙. 江苏石油化工学院学报, 1994, 6(4): 21
- 17 钟建华. 光谱实验室, 1994, (6): 8
- 18 李凤林, 刘德福, 王志恒等. 中国环境检测, 1994, 10

- (6): 7
- 19 张桂芝. 中国公共卫生, 1994, 4: 174
- 20 宋功武, 张本熙. 湖北大学学报(自然科学报), 1996, 18(2): 171
- 21 丁亚平, 吴庆生. 应用化学, 1998, 15(5): 95
- 22 孟庆玉, 葛少林, 李伟. 环境与健康杂志, 1999, 16(2): 112
- 23 朱世文, 谭培功. 青岛建筑工程学院学报, 1995, 16(3): 33
- 24 Halaleh M Z H, Kumomura M, Fujii S, Korenaga T. *Analyst*, 2001, 126(1): 104
- 25 Korenaga, T, Kumemura M, Helaaleh M I H, et al. *Bunseki Kagaku*, 2000, 49(6): 467
- 26 Maniasso N, Zagatto E A G, Reis S, et al. *Lab Autom Inf Manage*, 1993, 34(2): 143
- 27 Coly A, Araon J J. *Talanta*, 199, 49(1): 107
- 28 Girousi S T, Golia E E, Voulgaropoulos A N, et al. *Fresenius' J Anal Chem*, 1997, 358(5): 667
- 29 梅建庭, 王化南. 分析化学, 1997, 25(1): 82
- 30 De Andrade J B, Bispo M S, Reboucase M V, et al. *Int Lab*, 1996, 26(6): 13
- 31 王伦, 朱昌青, 分析化学, 1996, 24(11): 1258
- 32 Aaron J J, Coly A, *Analyst*, 1996, 121(11): 1545
- 33 Coly A, Aaron J J. *Analyst*, 1996, 24(4): 107
- 34 Sakai, T, Nagasawa H. *Talanta*, 1996, 43(6): 859
- 35 Eremin S A, Laassis B, Aaron J J. *Talanta*, 1996, 43(3): 295
- 36 Garmin L F, Eremin S A, Aaron J J. *Anal Lett*, 1996, 29(8): 1447
- 37 Nguyen A L. *Anal Chim Acta*, 1996, 319(1-2): 221
- 38 Kelley T T, Fortune C R. *Int J Environ Anal Chem*, 1994, 54(4): 249
- 39 沈兴海, 王文清, 夏玉宇等. 负矿冶炼, 1994, 1: 25
- 40 王伦, 周运友, 朱昌青. 分析试验室, 1996, 15(3): 45
- 41 刘春英, 成晓玲, 钟汉娟等. 广东工业大学学报, 1999, 16(2): 56
- 42 Fan Q, Dasgupta P K. *Anal Chem*, 1994, 66(4): 551
- 43 王志恒, 张继华, 刘军等. 分析化学, 1993, 21(5): 581
- 44 谭培功, 于彦彬. 分析试验室, 1996, 15(5): 57
- 45 于彦彬, 谭培功. 分析化学, 1995, 23(12): 1470
- 46 梅建庭. 化学计量, 1996, 5(2): 28
- 47 Wentzeu P D, Nair S S, Guy R D. *Anal Chem*, 2001, 73(7): 1408
- 48 Wade D A, Tucker S A. *Talanta*, 2000, 53(3): 571
- 49 Goodpaster J V., McGuffin V. L. *Anal Chem*, 2000, 72(5): 1072
- 50 Ayala J H, Afonso A M, Gonzale V. *Appl Spectrosc*, 1997, 51(3): 380
- 51 刁力, 吴世康. 感兴科学和光化学, 1994, 4: 14
- 52 Zhan X Q, Li D H, Zhu Q Z, et al. *Analyst*, 2000, 125(12): 2330
- 53 沈爱宝, 章竹君. 分析化学, 1996, 24(5): 569
- 54 Lloyd J B F. *Nature (Phy. Sci.)*, 1971, 231: 64
- 55 Rubio S, Gomez-Hens A, Valcarcel M. *Talanta*, 1986, 33: 633
- 56 Mustral A M, Pardos C, Rubio B, et al. *Anal Lett*, 1995, 28(10): 1883
- 57 李耀群, 葛丹东. 分析测试学报, 1995, 14(2): 27
- 58 Li Y Q, Sui W, Yu L J. *Anal Sci*, 2001, 17(1): 167
- 59 Garcia-Falcon M S, Simal-Gandara J, Carril-Gonzalez-Barros S T, *Food Addit Contam*, 2000, 17(12): 957
- 60 Andrade Eiroa A, Kuckins S, R Vazquez Blanco E, et al. *Appl Spectrosc*, 2000, 54(10): 1534
- 61 Sui W, Wu C, Li Y Q. *Fresenius' J Anal Chem*, 2000, 368(7): 669
- 62 Andrade Eiroa A, Vazquez Blance E, Lopez Mahia P, et al. *Talanta*, 2000, 51(4): 677
- 63 Devos O, Saber A I, Paturel L, et al. *Luminescence*, 2000, 15(2): 69
- 64 Li Y Q, Huang X Z. *Fresenius' J Anal Chem*, 1997, 357(8): 1072
- 65 何文琪, 姚渭溪, 谢学鹏. 光谱学与光谱分析, 1996, 16(4): 100
- 66 Lopez e Alda Vilaizan M J, Simal Lozano J, L age Yustry M A. *Talanta*, 1995, 42(7): 967
- 67 Canizares P, Luque de Castro M D. *Fresenius' J Anal. Chem.*, 1996, 354(3): 291
- 68 Vallvey L F, De Olmo M, avidad R. *Anal Chim Acta*, 1995, 302(2-3): 193
- 68 李静红, 张万友, 于连生等. 东北电力学院学报, 1995, 15(4): 63
- 70 李静红, 张万友, 杜尧国. 东北电力学院学报, 1995, 15(3): 91
- 71 李耀群, 黄贤智, 许金钩. 应用化学, 1995, (6): 74
- 72 李伸后, 曾东华, 刘富照. 郑州大学学报(自然科学版), 1995, 27(1): 83
- 73 鄢远, 彭学军, 许金钩等. 分析测试学报, 1995, 14(5): 1
- 74 张勇, 黄贤智, 许金钩等. 分析测试学报, 1995, 14(3): 10
- 75 蒋淑艳. 光谱学与光谱分析, 1997, 17(3): 18

- 76 唐波, 何锡文, 沈含熙. 分析试验室, 1997, 16(3): 18
- 77 唐波, 杜鸣, 何锡文等. 分析测试学报, 1997, 16(5): 28
- 78 李耀群, 时宁, 钱方等. 高等学校化学学报, 1997, 18(4): 538
- 79 杨天红, 秦中会, 于连香. 物探与化探, 1997, 21(5): 399
- 80 唐波, 何锡文, 沈含熙. 光谱学与光谱分析, 1998, 18(1): 21
- 81 Li Y Q, Huang X Z. Talanta, 1994, 41(5): 695
- 82 李耀群, 黄贤智. 光谱学与光谱分析, 1993, 13(6): 117
- 83 Afonso Perera A M, Ayala Diaz J H, Gonzalez Armas A, et al. Anal Lett, 1993, 26(10): 2251
- 84 Santana Rodriguez J J, Hernandez Garcia, J, Bernal Suarez M M, et al. Analyst, 1993, 118(7): 917
- 85 丁亚平, 吴庆生, 朱仁斌等. 安徽农业大学学报, 1998, 25(3): 310
- 86 刘志宏, 蔡汝秀. 分析科学学报, 2000, 16(6): 516
- 87 王伦, 周运友, 张益民等. 环境科学, 1995, 16(2): 63
- 88 侯镜德, 路文初. 分析测试学报, 1995, 14(4): 33
- 89 鄢远, 王乐天, 林竹光等. 高等学校化学学报, 1995, 16: 1519
- 90 鄢远, 王乐天, 许金钩等. 化学学报, 1996, 54: 774
- 91 Navalon A., Blanc R., Vichez J. L., Microchim. Acta, 1997, 126(1-2): 33
- 92 Vichez J L, Rohand J, Navalon A, et al. Fresenius' J Anal Chem, 1996, 354(4): 470
- 93 Vichez J L, Torres-Bustos D, Blance R, et al. JAOAC Int, 1996, 79(2): 567
- 94 Vichez J L, Capitan-vallvey L F, Rohanda J, et al. Analysis, 1995, 120(5): 1609
- 95 Vichez J L, Navalon A. Fresenius' J Anal Chem, 1993, 345(8-9): 589
- 96 Campano R, Granados M, Leal C, et al. Anal. Chem. Acta, 1993, 283(1): 272
- 97 Vichez J L, Anidad R, Rohand J. Anal Chem Acta, 1993, 282(2): 445
- 98 Vichez J L, Del Olmo M, Avidad R, et al. Analyst, 1994, 119(6): 1211
- 99 王瑞勇. 河南师范大学硕士研究生毕业论文集, 2000, 5: 1
- 100 唐安娜. 河南师范大学硕士研究生毕业论文集, 2001, 6: 4
- 101 唐波, 韩芳, 马骊. 分析化学, 2001, 29(3): 347
- 102 Fan J, Wang R Y, Feng S L, et al. Int J Environ Anal Chem, 2001, 79(1): 25
- 103 龚波林, 龚国权, 王怀公. 分析试验室, 1998, 17(2): 65
- 104 王瑞勇, 樊静, 冯素玲. 分析化学, 2000, 28(8): 68
- 105 Espinosa Mansilla A, Meras I D, Lopez F S. Anal Chim Acta, 1996, 320: 125
- 106 Espinosa Mansilla A, Munoz de la Pena A, Salinas F, Et al J Agric Food Chem, 1997, 45: 172
- 107 张勇, 朱亚先, 黄贤智. 分析化学, 1997, 25(11): 1303
- 108 辛梅华, 徐金瑞, 竹内同豊英. 分析测试学报, 1995, 14(3): 83
- 109 Ackerman A K, Hurtubise R J. Appl Spectrosc, 1999, 53(7): 770
- 110 周建刚. 仪器仪表与分析监测, 1996, 1: 43
- 111 Ensafi Ali A, Rezaei B Talanta, 1998, 47(3): 645
- 112 Casero Rodriguez I, Rubio Bravo S, Perz Bendito D. Int J Environ Anal Chem, 1996, 61(4): 331
- 113 Gooijor C, Kik S J, Aniese F. Analusis, 2000, 28(8): 679

收稿日期: 2005-04-22

Applications of fluorescence analysis methods in the analysis of environmental organic pollutants. Wu Zhiahao¹, Tang Yaoji², Li Guimin¹, Li Deliang¹, Wang Jinzhong¹, Liu Xiuhua¹, Fan Shunli³ (1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Henan University, Kaifan, 475001; 2. Department of Chemistry and the key Laboratory of Analytical Sciences of the Ministry of Education, College of chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen, 361005; 3. Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085)

The applications of fluorescence analysis methods in the analysis of environmental organic pollutants in recent years are reviewed with 113 references, with the emphasis being domestic applications. The methods include conventional fluorescence analysis, synchronous fluorescence spectrometry, derivative fluorescence spectrometry, 3-D fluorescence spectrometry, solid surface fluorescence spectrometry and fluorescence dynamic analysis.