

色谱在环境分析化学中的应用和发展动向*

黄 骏 雄

(中国科学院环境化学研究所)

五十年代初气相色谱的出现和六十年代末高效液相色谱的问世,使色谱技术得到了新生,取得了迅速的发展。气相色谱与液相色谱相辅相成,已成为当代最有效的分离和分析手段之一。

随着生产的发展,环境污染日益严重,环境保护已成为人们共同关心的当务之急。本文将扼要介绍色谱(主要是气相和液相色谱)在环境分析化学(主要是有机污染物分析)中的应用和发展动向。

一、环境分析化学的内容及特点

环境分析化学是研究人类环境中破坏生态平衡的各种污染物的组成、含量、结构及状态的一门科学,其特点是:

(一)、样品组成复杂,对象越来越广。

环境是一个自由的开放体系,人类的社会活动和生产活动都会向周围环境排放各种物质,加之逐年增长的新型材料和化合物也都会进入环境中。所以环境样品,不论是大气、水、土壤或食品组成均极为复杂。以饮用水为例,目前已发现并监测出 400—500 多种化合物,可见其余的环境样品其复杂程度如何了。

当然环境分析化学的对象仅限于那些影响人体及其他生态的化学物质。但是随着化合物结构与毒性的深入研究,发现的有害物质也越来越多。以致癌物为例,经动物试验证明的致癌物每年在增加,所以环境分析化学的对象也越来越广。

(二)、含量甚微: 随着对污染物毒性的深入认识,对各种污染物允许排放的标准也逐渐降低,因而要求测定环境中污染物的浓度也越来越低。从 ppm 发展到 ppb,又从 ppb 发展到 ppt。而环境样品“本底值”的浓度一般都在 ppt 左右,甚至比 ppt 更微。

(三)、样品不稳定。环境中的污染物由于不断地运动,可能发生氧化、还原、溶解、沉淀、吸附、分解、络合以及其他很多复杂的化学、物理和生物的变化。甚至储藏样品容器的不同也会使样品发生变化。对于大气和水域,这种变化尤为显著。随着时间、地点、水文、气象条件的变化而有显著差别,因而要求快速、现场分析。同时为了了解污染物的动态变化,更需要连续自动测定,如近年来发展的各种遥感遥测技术。

(四)、价态、状态和结构分析: 环境分析化学不但要了解污染物的组成和含量,而且需要知道它们的状态,价态和结构。这是因为污染物的状态、价态和结构的不同对人体及其他生态会产生不同的影响。以汞为例,单质汞与化合物汞的毒性不同,化合物中无机物与有机物的毒性又不同,无机物中,不同价态的汞化物毒性也不同,有机物中,结构不同(如甲基汞与苯基汞)毒性又不同;所以污染物的状态,价态和结构分析是环境分析化学的重要组成部分。

* 本文曾在 1979 年中国科学院第三次色谱会议(大连)上报告。

色谱的高效、快速、高灵敏度和选择性等特点恰好满足环境分析化学的这些要求,因而色谱在环境污染物的分析,特别是有机污染物分析中的应用是其它分离手段所难以比拟的。它和原子吸收光谱已誉为当今环境分析化学实验室中的两大台柱。

二、色谱在环境分析化学中的应用

(一)、在环境样品前处理中的应用

浓度低于 ppm 级的污染物一般都不能直接进行色谱分析,必须作前处理,以消除干扰因素,浓缩被测样品,或作其他转化来提高方法的灵敏度和选择性,降低检测极限。因而前处理是环境污染分析中的一个重要部份。

色谱在前处理中主要以吸附柱色谱为主,尤其是液相吸附柱色谱常用于分离和鉴定的前处理。吸附柱色谱在前处理中的应用又可分为两大类:(1)单纯吸附被测的痕量组份,而不改变原始浓度。(2)采用迎头色谱技术,根据被测各组份在吸附剂上的吸附系数按比例收集。

作预处理所用的吸附剂必须具备以下几点:(1)在低温下能吸附所有需要的化合物,而在高温下又能全部释放。吸附和脱附的过程越快越好,不希望有显著的色谱过程发生。(2)在反复冷却和加热过程中,吸附剂不会由于大量的水或空气(尤其是其中的氧)存在而变性,也不会使被吸附的化合物有任何变化。(3)吸附剂本身要有足够高的纯度,不至使其中的杂质在溶剂萃取或其他处理过程中带进分析系统。常用的吸附剂有多孔硅胶,活性氧化铝,工程塑料 Tenax GC,多孔聚合物,碳吸附剂,聚氨基甲酸酯, XAD-2 树脂及其他常用的各种气相色谱填料等等。

在这些吸附剂中用得最多的是 Tenax GC 和 XAD-2 树脂。前者主要用于气体样品中痕量污染物的浓缩,后者主要用于水样中痕

量污染物的浓缩。

Tenax GC 是一种 2,6-二苯基对苯醚的多孔聚合物,其最大的优点是热稳定性好,水的影响很小。美国“空中实验室 4 号”宇宙飞船舱内大气成份的测定采用 Tenax 浓缩痕量组份,再在毛细管柱上分离^[1]。

XAD 是苯乙烯-二乙烯基苯的多孔树脂,它有各种型号,用得最广泛的是 XAD-2 树脂,其显著特点是极性低,孔径大,容量高,对各种化合物平均回收率达 91%^[2]。

(二)、在环境污染分析中的应用

色谱在环境污染分析中的应用近年来有大量的报导,较有代表的是 P. L. Grob 的专著^[3],主要包括以下几方面:

1. 在大气分析中的应用

色谱在大气污染分析中的应用包括大气飘尘和气溶胶中污染物的测定和大气中挥发性污染物及有害气体的测定。

大气飘尘及气溶胶中的污染物主要是多环芳烃,偶氮杂环,酚类等高沸点有机物及痕量金属和石棉等无机物。气相色谱对这类化合物的分析采用气相荧光检测器并配合质谱进行^[4]。也用于测定飘尘中多环芳烃的由来^[5]。高速液相色谱近年来结合荧光技术用于多环芳烃^[6]的分析,应用涂银吸附剂分析含氮杂环芳烃及反相色谱分离偶氮芳烃^[7]。

大气中挥发性污染物及有害气体的气相色谱分析诸如测定低于 0.01ppm 的 CO,各种氮氧化物和氨,硫化物及含氟气体等。但是与其他分析方法相比,气相色谱对这类无机气体分析还不如化学发光和电化学及化学比色法简便,快速和灵敏。然而对有机气体的分析却发挥了很大的作用。采用多柱系统分析低级烃和永久性气体及烃类组份^[8]。应用专用的气相色谱系统分析戊烷、己烷、苯和甲苯^[9]。此外还有多环芳烃、有机胺、腈类、卤代烃、含氯农药、有机硫化物、烷基铅、及氯乙烯等^[10]。高速液相色谱主要用于大气中高沸点有机物的分析,如多环芳烃^[6]、含氮杂环化

合物^[7]等。

除了对大气层污染物的分析外,近年来色谱仪装在宇宙飞船和 U-2 高空侦察机上研究高空及外层空间的组成,包括大气外层空间低压取样技术的研究^[11]。

2. 在环境水样分析中的应用

环境水样的分析大致经历了三个阶段。(1)五十年代时期,对水样无法测定痕量污染物的具体组成,只能用 BOD, COD, TOC 等*总体指标表示水污染的概况。(2)六十年代时期,由于五十年代气相色谱的发展提供了有效的分离手段,1963 年美国报导了气相色谱分析水中农药氯丹。(3)70 年代,由于气相色谱-质谱-计算机系统(GC-MS-COM)日趋完善,成为环境水样分析的有力工具,据欧洲共同体报导^[12],用 GC-MS-COM 从水中已分析出 1000 多种化合物。但 GC-MS-COM 只能分析 20—30% 污染物,所以 70 年代迅速发展的高速液相色谱为环境水样的分析又提供了新的有效手段。1972 年 Katz 等首次用高速液相色谱从未处理的水中分离出 77 种化合物,并鉴定了其中 13 种。

气相色谱对环境水中污染物的分析包括可溶性的气体^[13]、卤代烃^[14]、海水中 C₃~C₆ 烃类^[15]、城市水中挥发性有机物^[16]、农药残留量^[17]、酚类^[18]、胺类^[19]、及金属有机化合物等等^[20]。

液相色谱除了作预处理外,对水中污染物的分析包括合成洗涤剂^[21]、多环芳烃^[22]、金属螯合物^[23]、酚类^[24]、农药^[26]及海水中石油污染^[25]的测定等。

3. 色谱在土壤污染分析中的应用

土壤中既有大气中的各种组份,又有环境水中的各种物质,此外还有各种矿物质、腐植质、微生物等等,土壤中生物酶的催化,又使污染物发生复杂的生物、化学的变化。所以土壤中污染物的分析比其他环境样品更为复杂。色谱对土壤污染分析的应用比其他环境样品较为逊色。

气相色谱对土壤中污染物的分析包括,农药及多氯联苯^[27]、腐植酸^[28]、亚硝胺^[29]、植物生长激素^[30]及其他污染物和无机金属化合物^[31]等。

液相色谱在土壤分析中的应用以往只是作样品前处理的手段,近年来高速液相色谱已用于土壤中各种除草剂^[32]、多环芳烃及苯并(a)芘^[33]、有机磷农药和其他农药^[34]等方面的分析。

4. 色谱在食品污染分析中的应用

色谱在食品污染分析中的应用主要包括(1)霉菌毒素:如黄曲霉毒素、棕曲霉毒素、赤霉病毒素等。这类毒素的分析常用薄层色谱和微型柱色谱,但近年来高速液相色谱有很大的进展^[35,36],无论在灵敏度与可靠性上都优于前二者。(2)农药残留量及其降解产物的分析。这类化合物目前仍以气相色谱为主,诸如食品中有机氯农药、有机磷农药、含硝基农药、多氯联苯、多溴联苯等的气相色谱分析^[37]。高速液相色谱正在不断发展,如蔬菜中氨基甲酸酯农药的分析^[38],及牛奶中含氯农药的测定^[39]等。(3)亚硝胺化合物的分析^[40]。这类化合物主要存在于腌腊食品中,气相色谱应用较广泛,如海产品,肉类中亚硝胺的分析,液相色谱的应用尤其是对非挥发性亚硝胺的测定正在不断增长。(4)烃类化合物分析。这类化合物主要由于水系受污染后,污染物在水生生物体内积累以及用煤、木炭等作燃料熏烤食品形成的。如气相色谱测定甲壳类海生动物中的烃类^[41]。有人研究烟熏火腿中的烃类组成,认为污染是从烟而不是从脂肪中来的。其余如各种多环芳烃的分析^[42]。高速液相色谱用于食品中苯并(a)芘及其他多环芳烃的测定^[42]。(5)金属及金属有机化合物的测定。这类化合物在食品中的测定用色谱不如原子吸收光谱普遍,气

* BOD 为生物需氧量 COD 为化学需氧量 TOC 为总的有机碳含量

相色谱对金属的测定要转化为金属螯合物,如硒^[31]、汞^[43]等,液相色谱应该有较大的潜力,但在这方面的应用报导不多。(6)食品添加剂的分析。色谱在各种食品添加剂中的分析应用很广,如气相色谱分析牛奶中的防腐剂^[44]及其他食品中的香料、糖精、抗氧化剂^[45]等,液相色谱的应用如测定食品中增甜剂^[45]、食用色素^[46]、防腐剂^[47]等。除上述食品中各种污染物外,色谱还用于食品包装材料中污染物的分析,如塑料中的各种增塑剂及单体氯乙烯^[48]等。

三、色谱在环境分析化学中的发展动向

色谱在环境分析化学中的发展动向分以下几个方面:

(一)、分析方法的标准化

环境样品与其它样品不同,采样的方法、时间、空间、地点、样品的贮存、前处理等条件稍有不同,即使用同样的分析方法,对结果会带来很大影响,无法评价环境质量。因此环境分析化学中,方法的统一,标准化,规范化是十分重要的。

环境分析方法标准化包括取样技术,样品储存,标准样品,分析方法等方面的标准化。其中又以分析方法的标准化为主。色谱作为环境分析中的标准方法至今尚不多。只有烃类分析采用气相色谱法^[40],然而在目前颁布的标准方法中大部份是单项指标和总体指标,如SO₂、CO、氮氧化物等。随着污染物对生态影响的深入研究,迫切需要建立多组份同时测定的标准方法,以便简化前处理手续,减少监测设备,降低费用。而目前认为色谱分析是最有希望的。

(二)、色谱监测仪器的自动化,小型化,计算机化

污染物的常规监测要求连续自动进行。如测量大气中痕量有机物的自动气相色谱仪。这类仪器一般在监测站使用居多,如英

国政府环境监测局所属的监测站采用 Bendi 8200 氢焰离子化气相色谱仪测总烃,美国 Texas 州大气监测站用 Bendi 8300 火焰光度气相色谱仪测定各种硫化物等,样品由装在监测站顶部的自动连续取样器取样,另有标准气样通过计算机或程序控制器控制,按时进行校准。

环境分析的特点还要求仪器小型化,便于在野外或监测车、船上操作使用。如测定供呼吸的空气中 O₂、CO、H₂ 含量及分析大气中含氯农药和除莠剂的袖珍色谱仪^[49],以及测定海水中 C₃—C₆ 烃的手提式气相色谱仪^[50]。日本岛津生产了 GC-mini 1 和 GC-mini 2 型毛细管袖珍色谱仪。美国海湾石油公司已将小型 GC-MS 装在监测车上测量各种污染物。

此外,在环境分析中,利用计算机的数据处理可定性筛选水中 ppb 级有机污染物^[50];也使色谱对水中污染物的分析及农药和 PCB 残留量的测定发挥了更大的作用^[51]。另外在地面监测站中几乎都用计算机接收、处理、贮存各种监测仪传送的数据,作出污染物浓度及环境质量的报告,对超标的污染物自动报警。

(三)、色谱新技术在环境分析中的应用

1. 组合柱技术

环境分析中能否把前处理与分析一起进行,简化操作,使样品不易损失变化,从而提高分离效率,改进方法的灵敏度和准确性?组合柱技术就是这样产生的。

在液相色谱中 Kirkland 曾提到大体积进样在色谱柱顶部会产生浓缩现象,后经证实,非极性化合物在反相柱(C18)或多孔高聚物(XAD-2)柱的顶部,极性化合物在吸附柱顶部都会发生浓缩。该现象在污染分析中用于(1)野外采样,把大量环境样品直接浓缩在予柱内,带回实验室再作分析,如美国 Water's 公司的 SEP-PAK 商品。(2)作前处理富集痕量污染物,与分析柱结合达到一次进样分离

分析的目的。近年来为使多组份样品得到更好的分离,也广泛采用多柱组合技术。组合方式可用 on-line 或 off-line,一般前柱(或予柱)作浓缩或予分离用,后柱作分析用。K. Nagai^[8]报道了四根柱组合分析大气中的烃类化合物。E. J. Johnson 用 GPC 柱与反相柱组合分析西红柿上的马拉硫磷^[52],此外还有用 GPC-GC 组合, GPC-吸附色谱组合分析农药残留量^[53]。

2. 化学衍生技术

化学衍生技术利用样品和试剂起衍生化反应借以提高分析灵敏度和选择性,达到快速高效的目的。理想的反应试剂必须是使衍生化反应快速定量的进行,而且没有其他付产物,过量的试剂很容易除去。

化学衍生技术可分为柱前和柱后衍生二种。柱前衍生技术主要用于提高分离能力,改善灵敏度, Ross 对柱前衍生技术作了详细的介绍^[54]。

柱后衍生主要用于提高方法的灵敏度^[55],常用的有紫外-可见衍生法,荧光衍生法。它们在环境分析中广泛用于各种农药,亚硝胺,霉菌毒素及其他各种污染物的测定。

3. 其他色谱技术

相关色谱由于采用计算技术中正交相关系数的特性来提高检测器的讯噪比,不用高灵敏度检测器就可大大降低检测极限,因而对环境污染分析很有意义。气相色谱应用较早^[56],液相色谱中最近才报导相关技术用于反相柱上测定水中痕量酚,比常规高速液相色谱法的检测极限可降低 100 倍。

此外,离子对色谱技术在环境污染分析中的应用正在发展,它既可用非极性溶剂作流动相,含油溶性对离子的极性溶液涂在惰性担体上作固定相;也可用含对离子的极性溶剂作流动相,用 C18 或其他非极性基团化学键合的担体作固定相,后一种目前用得更为普遍。

Giddings 的单相色谱技术是色谱领域中

的一项新技术,它已被用于测定大气飘尘中尘埃的直径及分布^[58]。

(四)、高灵敏度和选择性检测器的发展

环境污染分析中,选择性检测器近年来得到了迅速的发展。主要包括:

1. 离子化检测器:较引人注意的有光离子化,富氢火焰离子化及热离子化三种。

光离子化检测器除离子源用紫外光代替火焰外,与氢焰离子化检测器基本相同,其灵敏度比后者高 10 到 50 倍,线性范围相仿,对氢焰离子化检测器没有响应的化合物如 I_2 , HI, NH_3 , PH_3 等也有响应。由于离子源的能量为 10.2 eV 光子,所以 C_1-C_4 烃类无响应。这一特点对液相色谱极为有利,因为大部份流动相电离势均大于 10.2 eV,所以不产生讯号,使检测器性能大大提高。最小检测量为 50—100 微微克^[59]。与紫外检测器相仿,对紫外吸收弱的和中等的化合物,灵敏度提高了 2—3 个数量级。缺点是样品必须气化后流入检测器,这样不但使样品稀释而且不能气化的样品就无法测定。

富氢火焰离子化检测器对金属有机化合物具有极高的灵敏度和选择性,对六氟乙酰丙酮铝的最小检测量为 6×10^{-13} 克,而对十四烷只有 4×10^{-7} 克,相差竟达 10^6 倍。最近的报导最小检测量已达 10^{-14} 克^[60]。缺点是线性范围较窄,这种检测器可用于程序升温,测定大气等环境样品与其他物质中的痕量金属有机物。

热离子(碱盐)检测器对含 N、P 化合物具有较高的灵敏度,与相应的烃比较, N 的灵敏度可提高 35,000 倍, P 可提高 75,000 倍它是由氢焰离子化检测器的喷口上加碱金属盐组成,盐片及检测器的结构对稳定性影响很大,其机理尚不清楚,结构稍加改变对含 C、N 或 P 化合物,和含 S、N 或 P 化合物都有响应。主要用于含 P、N 或 S 的农药的测定^[61]。

2. 电化学检测器:电化学检测器在环境

污染分析中的应用近年来又得到了新的发展。

在气相色谱方面电导用得较多,电导检测器受温度影响较大,有效的恒温装置极为重要,改变桥路,加大电压可使灵敏度提高3—4个数量级,电导检测器用于除草剂^[62]、亚硝胺^[63]、氯乙烯^[64]等的测定。此外,还有微库伦及离子选择电极检测器。前者用于测定水中氯乙烯及工业废水中含硫化物^[66],后者用于测定空气中 ppm 的 CO, H₂ 等^[67],以及食品、及谷物中的溴甲烷等^[68]。

在液相色谱中主要是库伦和安培检测器,其他如电导,电容等。电化学检测器在液相色谱中通常用于反相体系,如水及其他水溶液作流动相的体系,否则无法进行电化学反应。当然在色谱柱出口与检测器之间加入非极性电介质溶液也可用于正相体系。这类检测器用于测定酚类、芳胺、及硫化物等^[69]。

3. 激光检测器:激光由于单色性好,耗能小,所以激光作光源的检测器可使性能提高很多。目前出现的有激光荧光检测器,对多环芳烃的灵敏度可达 ppt 以下,对黄曲霉毒素的最小检测量可达 750 毫微微克^[36],由于巧妙的设计取消了样品池,消除了石英池带来的杂散光,使灵敏度大大提高。激光双光子荧光测检器也具有较高的灵敏度。另一种激光检测器是激光红外检测器^[70]。采用 2800—2900 厘米⁻¹波数的红外激光作光源,故对一般有机物都有响应,可以认为是有机物的通用检测器。

4. 反应检测器:在环境污染分析中主要有铈氧化检测器,热能分析器,酶抑制荧光检测器等。

铈氧化检测器也称铈荧光检测器,利用三价铈发荧光的特性,可使四价铈与还原性化合物反应变成有荧光的三价铈,从而提高还原性化合物的灵敏度。可用于测定水中 10 ppb 的酚^[24]、杀菌剂 Vitavax 和各种农药及硫酸盐等^[71]。灵敏度与紫外检测器相仿,

比紫外优越的是它只测定三价铈的荧光,所以对样品中各组份均可在最佳激发和发射的波长下测定。而且各种化合物的相对响应值可以根据四价铈氧化反应的化学当量计算得到。

热能分析器对亚硝胺类化合物具有特殊的选择性^[72],它用选择性催化剂使 N-NO 键断裂,形成的 NO 游离基与 O₂ 作用变成激发态的 NO₂^{*}, NO₂^{*} 很快松弛返回基态,放出波长接近红外光,其强度与 NO₂ 数成正比。被广泛用于亚硝胺化合物的分析。

酶抑制荧光检测器是一种对氨基甲酸酯类农药具有较高灵敏度的检测器^[73],从色谱柱出口流出的样品与生物酶作用使其抑制,没有抑制的生物酶与无荧光试剂作用而产生荧光在荧光检测器上记录,所以样品的峰实际是基线荧光减弱的信号,峰形是负的。对氨基甲酸酯农药最小检测量可达 0.2 毫微克。在反相体系中,甲醇含量不能太高,以 10% 为佳,过大会使酶失去作用。

(五)、色谱和其他分析技术的联合使用。

利用色谱的高分离效能与其他结构分析方法联合使用乃是近年来仪器分析中的一个重要发展方向,在环境污染分析中显得尤为重要。主要有以下几种:

1. 色谱-质谱-计算机联用:在环境污染分析中气相色谱-质谱-计算机联用是色谱联用技术中发展最快的。特别是毛细管色谱-质谱-计算机联用对有机污染物的分析格外有效。这种技术还可用于饮用水及废水中污染物的测定^[2],也可对不同介质中的污染物进行测定。气相色谱-质谱联用受气相色谱固有缺点的限制,所以液相色谱-质谱联用技术近年来受到普遍的注视,美国 Finigan 公司已有液相色谱-质谱仪-计算机联用的样机。无疑,它的出现对环境污染的分析将会提高到一个新的阶段。

2. 色谱-红外光谱联用:气相色谱-红外光谱联用由于出现了载气不需分离的装置,

因而能得到各组份完整的红外谱图,加上 Fourier 变换技术的配合,使这种技术在环境分析中发展很快,如测定大气中的污染物^[74],烟草中的污染物等^[75]。液相色谱-红外光谱联用发展也很快^[76],如水中烃类的测定,海水中不挥发烃的测定等。

3. 色谱-紫外光谱联用: 这种技术主要用于高速液相色谱中,气相色谱-紫外联用报导较少,只是测定大气中的多环芳烃。多波长快速扫描的紫外光谱与液相色谱联用发展很快^[77],还出现了每秒记录 20 张谱图,分辨率达 1 毫微米,可储藏在计算机内的液相色谱-紫外光谱联用仪^[78]。对紫外无吸收的样品通过衍生技术使之有响应,因而提高了灵敏度,扩大了技术的应用范围。

4. 色谱-原子吸收光谱联用。对环境样品中金属及金属化合物的分离和测定起了重要的作用。由于石墨炉,氧化硅炉及塞曼效应的使用,不论在灵敏度和稳定性方面都大大提高,气相色谱-原子吸收联用广泛用于烷基铅,甲基汞,乙基汞、有机硒,有机镉等化合物的测定^[79]。液相色谱-原子吸收联用除了测定金属及金属有机物之外,还可作价态的测定,如 Cr^{+6} 与 Cr^{+3} 离子的测定。液相色谱-原子吸收光谱联用的主要问题是接口的死体积及流动相的纯度。接口死体积太大造成峰扩散,灵敏度可降低 1—2 个数量级。流动相中的痕量金属常可引起本底讯号偏高,增大噪音,产生漂移。

5. 色谱-荧光光谱联用: 环境污染物尤其是致癌物大部份都有荧光,所以色谱-荧光光谱联用技术在环境分析中极为重要。气相色谱-荧光技术仅用于多环芳烃的分析;液相色谱-荧光技术发展远远快得多,它不仅作为一个高灵敏度的检测器,而且可以得到激发光谱和发射光谱图,提供定性资料。荧光光谱仪与光学多道分析仪联用可在 32.6 毫秒内扫描一次荧光谱图,因而每当一个馏份从色谱柱流出马上就可得到它的荧光谱图^[80]。若

使光学多道分析仪将数据累加,提高分辨率,则可提供更可靠的数据。

6. 色谱与其他技术的联用: 除上述技术外,还出现了气相色谱-紫外光电子能谱联用测定亚硝胺^[81],气相色谱-X 射线吸收光谱联用测定 SO_2 , 气相色谱-化学发光法测定氯乙烯及其有关化合物^[82]。液相色谱-化学发光测定含氮化合物,火焰发射光谱与液相色谱联用技术也被用于测定金属离子,金属有机化合物及金属络合物等^[83]。色谱-微波等离子光谱联用在环境污染分析中也有不少报导,不一一列举。

综上所述,色谱的高分离能力与其他有效的结构分析方法联用在环境污染分析中无疑会得到迅速的发展,这种发展对分析污染物及其在人类环境中的迁移,变化,将会产生深远的影响。

参 考 文 献

- [1] Bertach, W. et al., *J. Chromatogr.* **99**, 673 (1974).
- [2] Junk, G. A. et al., "Identification & Analysis of Organic Pollutants in Water" ed. by L. H. Keith Ann Arbor Science p135 (1977).
- [3] Grob, P. L., "Chromatographic Analysis of the Environment", Marcel Dekker, Inc., New York, 1975.
- [4] Cautreels, W. et al., *Atmos. Environ.*, **10**, 447 (1976).
- [5] Lee, M., *Biomed. Mass Spectr.*, **4**, 182 (1977).
- [6] Eisenberg, W. C., *J. Chromatog. Sci.*, **16**, 145 (1978).
- [7] Dong, M. et al., *J. Chromatog. Sci.*, **15**, 32 (1977).
- [8] Nagai, K. et al., *Environ. Conserv. Eng.*, **4**, 735 (1975).
- [9] Hayashi, T., *Chugoku Denryoku Gijutsu Kenkyujo Giken Jiho* **47**, 153 (1975).
- [10] Saltzman, B. E. et al., *Anal. Chem.*, **49**, (5), 1R, (1977).
- [11] Woeller, F. H. et al., *J. Chromatog. Sci.*, **16**, 137 (1978).
- [12] Commission of European Communities EUCO/MDO/73/76, XII/476/76 Brussels 2nd ed., (1976).
- [13] Hall, K. C., *J. Chromatog. Sci.*, **16**, 311 (1978).

- [14] Beller, T. A. et al., U. S. Nat. Tech. Inform. Serv., PB Rep., No. 237973/3GA Avail. NTIS, 31 pp (1975).
- [15] Ferras, J. C., U. S. Nat. Tech. Inform. Serv., AD Rep., No 786583/5GA Avail. NTIS 53pp (1974).
- [16] Dowty, B., et al., *Anal. Lett.*, **8**, 25 (1975).
- [17] Cannard, A. J. et al., *Analyst* (London), **100**, 848, (1975).
- [18] Chriswell, C. D. et al., *Anal. Chem.*, **47**, 1325 (1975).
- [19] Chriswell, C. D. et al., *ibid.*, **48**, 1123 (1976).
- [20] Talmi, Y., *Anal. Chim. Acta*, **74**, 107 (1975).
- [21] 国弘和雄等, 分析化学(日), **24**, 188 (1975).
- [22] Ogan, K., et al., *J. Chromatog. Sci.*, **16**, 517, (1978).
- [23] Jones, D. R. et al., *Anal. Chem.*, **48**, 502 (1976).
- [24] Wolkoff, A. W. et al., *J. Chromatogr.*, **99**, 731, (1974).
- [25] 东 国茂、萩原一芳, 分析化学(日) **26**, 743 (1977).
- [26] Paschal, D. C. et al., *Anal. Chem.*, **49**(11), 1551 (1977).
- [27] Teichman, J. et al., *J. Chromatogr.*, **151**, 155 (1978).
- [28] Aranda, V. G. et al., *Quim. Anal.*, **31**, 9 (1977).
- [29] Dressel, J., *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, **163**, 11 (1977).
- [30] West, S. D. et al., *J. A. O. A. C.* **60**, 904, (1977).
- [31] Stijve, T. et al., *Mitt. Geb. Lebensm. Hyg.*, **69**, 74 (1978).
- [32] Glad, G. et al., *J. Chromatog. Sci.*, **16**, 118, (1978).
- [33] Tomita, I. et al., *Eisei Kagaku* **23**, 200 (1977).
- [34] Rouchouse, A., *Spectra* **2000**, **5**, 29 (1977).
- [35] 黄骏雄等, 环境科学, **4**, 18 (1979).
- [36] Diebold, G. J. et al., *Science* **196**, 1439 (1977).
- [37] Faltz, A. K. et al., *Anal. Chem.*, **49**, (5), 194R, (1977).
- [38] Thean, J. E. et al., *J. A. O. A. C.*, **61**(1), 15 (1978).
- [39] Dolphin, R. J. et al., *J. Chromatogr.*, **122**, 259 (1976).
- [40] Tinbergen, B. J. et al., "Proceedings of the Second International Symposium on Nitrite in Meat Products. Central Institute for Nutrition and Food Research TNO, Zeist, the Netherlands, Sept. 7-10 1976", pp. 326; (1977).
- [41] Morgan, N. L., *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **14**, 309 (1975).
- [42] Panalaks, T., *J. Environ. Sci. Health, Part B* **11**, 299 (1976).
- [43] Cappon, C. J. et al., *Anal. Chem.*, **49**, 365, (1977).
- [44] Erney, D. R., *J. A. O. A. C.*, **61**, 214 (1978).
- [45] Page, B. D. et al., *Pure Appl. Chem.*, **50**, 243 (1978).
- [46] Marmion, D. M., *J. A. O. A. C.*, **60**, 168 (1977).
- [47] Ueta, M. et al., *Shokuhin Eiseigaku* **18**(3), 278 (1977).
- [48] Pu, H. H. et al., *J. Chromatogr.*, **132**, 495, (1977).
- [49] Elias, L., *J. Chromatog. Sci.*, **13**, 178 (1975).
- [50] Suffet, I. H. et al., *ibid.*, **16**, 12 (1978).
- [51] Edet, G., *J. Chromatogr.*, **121**, 269 (1976).
- [52] Johnson, E. J. et al., *ibid.*, **149**, 571 (1978).
- [53] Szalontai, G., *ibid.*, **124**, 9 (1976).
- [54] Ross, M. S. F., *ibid.*, **141**, 107 (1977).
- [55] Malola, M. et al., *Kagaku No Ryoiki* **31**, 27 (1977).
- [56] Philips, J. B. et al., *J. Chromatog. Sci.*, **14**, 495, (1976).
- [57] Tj. Th. Lub, et al., *J. Chromatogr.*, **149**, 721 (1978).
- [58] Giddings, J. C. et al., *ibid.*, **149**, 501 (1978).
- [59] Driscoll, J. N. et al., "1977 Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy" Paper 387
- [60] Du Puis, M. D. et al., *Anal. Chem.*, **51**, 292 (1979).
- [61] Verga, G. R. et al., *J. Chromatogr.*, **116**, 17 (1976).
- [62] Lawrence, J. F., *ibid.*, **121**, 85, (1976); **130**, 97 (1977).
- [63] Rappard, E. Von et al., *ibid.*, **124**, 247 (1976).
- [64] Ernst, G. F. et al., *ibid.*, **109**, 493 (1975).
- [65] Dressman, R. C. et al., *J. Chromatog. Sci.*, **15**, 69 (1977).
- [66] Vitenberg, A. G. et al., *Anal. Chem.*, **49**, 128 (1977).
- [67] Bergman, I. et al., *Chromatographia* **8**, 581 (1975).
- [68] Banks, H. J. et al., *Pestic. Sci.*, **7**, 595 (1976).
- [69] Kissinger, P. T. *Anal. Chem.*, **48**, 17R, (1976); **49**, 447A, (1977).
- [70] Freeman, N. K. et al., *Anal. Lett.*, **6**, 948 (1973).
- [71] Wolkoff, A. W. et al., *Anal. Chem.*, **47**, 1003 (1975).
- [72] Fine, D. H. et al., *Anal. Lett.*, **10**, 305 (1977).
- [73] Moye, H. A. et al., *ibid.*, **9**, 891, (1976).
- [74] Esposito G. G. et al., *Anal. Chem.*, **49**, 1774 (1977).
- [75] Vilcins, Gunars, et al., *Recent Adv. Tob.* **1**, 123 (1975).
- [76] Hausdorff, H. H., *J. Chromatogr.*, **134**, 131 (1977).
- [77] Haas, J. A. *Ind. Res.*, **19**, 67 (1977).
- [78] Milano, M. J. et al., *J. Chromatogr.*, **133**,

- 352 (1977).
- [79] Chan, Y. K. et al., Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy Societies, Philadelphia PA Nov. (1976).
- [80] Jadamic, J. R. et al., "1977 Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry & Applied Spectroscopy".

- [81] Betteridge, D. et al., *Anal. Chem.*, **48**, 1078 (1976).
- [82] McClenny, W. A. et al., *Environ. Sci. Technol.*, **10**, 810 (1976).
- [83] Julin, B. G., *J. Chromatogr.*, **112**, 443 (1975).

《环境科学》征稿简则

一、《环境科学》是综合性中级科技刊物。本刊以马列主义、毛泽东思想为指导,登载有关环境科学基础理论、环境工程、分析监测和环境医学等方面的科学论文、研究报告、专论综述、动态、简讯等文章,开展学术交流,为促进我国环境保护工作,加速实现我国四个现代化服务。本刊读者对象主要是有关科研、教学人员、环境保护工作人员和科技组织管理工作。

二、来稿力求论点明确,数据可靠,文笔简练,深入浅出。科学论文、综述性文章(包括图表、文献)以8,000字为限,研究报告每篇不超过5,000字,动态、简讯务求简短明确。来稿请附题目和作者单位的英译,并附作者姓名的汉语拼音。

三、来稿请用稿纸誊清,务必定稿。文中插图在稿内标明图位和图题。插图用描图纸黑墨描绘,务求线条光洁,图内文字用铅笔标写清楚。照片务必黑白清晰,层次分明。

四、参考文献择其最主要的引入,未公开发表的资料请勿引入。文献如为期刊,按下列次序排列:作者(外文姓列名前)、期刊名(外文可缩写,下划直线排斜体)、卷数(下划曲线排黑体)、期数、页码、年份(外加括号)。文献如为图书,则按以下排列:作者(外文姓列名前)、书名(下划直线排斜体)、页码、版次(初版不写)出版单位、地点、年份。

五、科技术语和名词的译名用国内通用译名(参阅科学出版社等出版的名词汇编)。如系作者自译的新名词,第一次使用时请注出原文。外国人名和地名,除已常用者外请注原文。

六、来稿请附单位业务部门推荐信。本刊编辑部对来稿可作文字上增删和修改。

七、本刊一般不登译稿。请勿一稿两投。不拟刊登的稿件尽快退还作者。

八、来稿请寄:北京市934信箱《环境科学》编辑部。

(上接第62页) 之溶液,以免对其参比电极电位的稳定性有所影响。

W-I型电解池见附图。

参 考 文 献

- [1] 柯尔蜀夫等,极谱学(第二册),许大兴译,科学出版

社,1957年。

- [2] 麦蒂斯,极谱技术,胡荫华译,科学出版社,1958年。
- [3] 张寿松,分析化学,2,114(1974)。
- [4] 辽宁省林业土壤研究所分析组,分析化学,5,4(1977)。