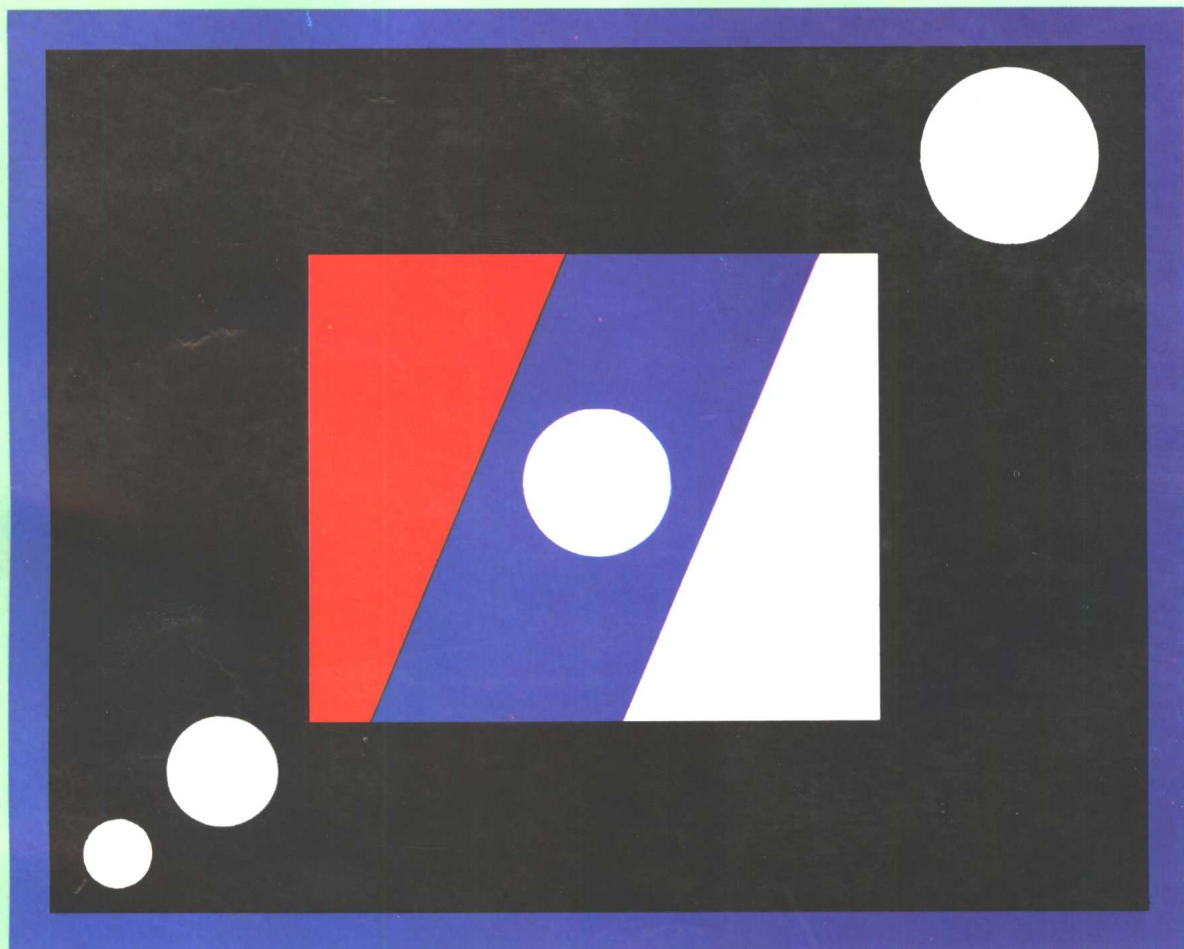




水和废水 监测分析方法指南

下 册

魏复盛 徐晓白 阎吉昌等 编著



中国环境科学出版社

X832

水和废水监测分析方法指南

下 册

魏复盛 徐晓白 阎吉昌等 编著

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

水和废水监测分析方法指南 下册/魏复盛等编著. —
北京:中国环境科学出版社,1997.3
ISBN 7-80135-229-7

I. 水… II. 魏… III. ①水质分析-方法-指南 ②废水-
水质监测-指南 IV. X832-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 01355 号

水和废水监测分析方法指南 下册

魏复盛 徐晓白 阎吉昌等编著

*

中国环境科学出版社出版

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1997 年 3 月 第 一 版 开本 787×1092 1/16

1997 年 3 月 第一次印刷 印张 30

印数 1—10 000 字数 730 千字

ISBN 7-80135-229-7/X · 1157

定价:38.00 元(平)

《水和废水监测分析方法指南》编委会

主 编 魏复盛

副主编 徐晓白 阎吉昌

参加编著人员 (以文章出现先后为序)

门上希和夫 (日)	阎吉昌	齐文启	孙宗光
古贺实 (日)	陈忠明	王淑琴	滕恩江
李国刚 刘廷良	魏复盛	魏爱雪	徐晓白
章安安 赵淑莉	戴天有	傅德黔	卢大远
储少岗 姚元	加藤安彦 (日)		林大泉
刘京 胡平	池靖		

编写说明

我们分别在 1989 年和 1993 年出版了《水和废水监测分析方法指南》上册和中册，受到了全国广大环境科研监测人员的欢迎，还经常收到来信询问“下册”何时能出版，可见大家对本书的关心和厚爱，对此我们深表欣慰和感谢。

国际上对环境中有毒有害有机污染物的高度重视，使有机污染物的监测分析技术已获得了很大的发展，取得了巨大的成就。美国 EPA 已制定了有机污染物监测分析系统化的方法，如饮用水有机污染物监测 500 系列的方法，包括了 60 余种有机污染物；工业和市政废水有机污染物 600 系列的方法，包括优先控制有机污染物 114 种；固体废物试验评价方法 8000 系列的方法；以及空气中有毒有机化合物测定方法（包括方法 T01 至方法 T14）。美国 1990 年颁布新清洁空气法，要重点控制的 189 种污染物中就有 175 种有机污染物，这些有机物的分析方法正在制订中。气相色谱、高效液相色谱、色谱-质谱、红外光谱、荧光光谱等测试技术已广泛应用于常规监测之中。对挥发性和半挥发性有机化合物、酚类、酞酸酯类、硝基苯类、醛、酮类、苯胺类、有机农药、有机磷农药、多环芳烃类、多氯联苯类等进行了广泛的调查研究，并对各环境要素开展了例行监测。有的污染物虽然浓度很低，污染范围很小，但由于它们具有致畸、致突变和致癌的危险性，为了保障人们的身体健康，这些污染物仍然受到极大的重视。各国已经或正在制订控制其污染的严格标准限制。我国党中央、国务院对环境保护非常重视，近期国家环境保护局颁布的废水综合排放标准 69 个项目中有 40 项有机污染物；大气污染综合排放标准 34 个项目中有 15 项有机污染物，与过去的标准相比有机污染物项目增加了很多。因此，我们在编著“下册”时就有机污染物的监测分析技术作为重点。根据近几年科研监测积累的经验，又考虑到广大基层站的同志们对有机污染物的监测技术尚不够熟悉的现实情况，所以对有机物分析方法学和一些专门技术作了深入浅出的论述，又对某些特异的有机污染物的采样分析方法作了较详细的介绍。书中还对近十几年发展起来的原子荧光和流动注射技术及其应用作了专门的论述。本书共 20 章，分两个部分。第一部分是方法学部分，有色谱-质谱、红外光谱、荧光分光、氢化物发生原子荧光、流动注射分析，分析有机物色谱柱、有机污染物的采样、分离、富集等。第二部分是特异污染物的监测分析技术，包括酚类化合物、苯胺类、酞酸酯类、苯系物、有机氯农药、有机磷农药、多环芳烃、多氯联苯、石油类和动植物油、铍、铊和元素磷。

本书的编者中有中国 22 位专家，日本 3 位专家。已在相应各章后署名，以便读者和作者能直接联系，共同探讨和交流有关技术问题。徐晓白、阎吉昌、魏爱雪、章安安同志参加了本书部分章节的审稿。全书由魏复盛、池靖同志进行整编和审定。由于我们的水平和经验所限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著本书得到了中华环境保护基金会的赞助，同时还得到了日本环境事业团、日本北九州国际协力协会的大力支持，在此一并表示由衷的感谢！

魏复盛

1996 年 12 月于北京

前 言

在国家环保局的领导下,经过全国各部门 120 余个单位的共同努力,《水和废水监测分析方法》(第三版)已经和广大读者见面了,这是一本水质监测的统一操作规程。在推荐的 200 余个方法中,包括了 60 多个国家水质标准分析方法和百余个统一分析方法。为了使从事水质科研监测的工作者能更好地理解与掌握书中所列的各种分析测试技术与方法,我们组织了部分有丰富实践经验和一定理论基础的专家编写了这本水质监测分析方法注释性读物——《水和废水监测分析方法指南》,对《水和废水监测分析方法》操作规程中不便详细叙述的有关项目的背景材料、监测方法评价、研究进展、方法原理、实验的关键技术、边界条件、可能存在的干扰及消除方法等作了系统介绍,尽量从纵横两个方面提供详实的资料,以便扩大我们的知识视野。希望这本书能为监测科研工作者在研究和解决他们实际工作中的问题提供一些思路和方法,同时在培训、提高监测科研人员的业务素质与水平方面,本书亦可作为一本实用性的教材。

这本“指南”计划分上、下两册出版。上册包括了水质常规监测的 21 个项目,是以化学分析方法为主的,同时还将水质监测中经常遇到的一些共同性的技术问题,如水质分析概述、分光光度及其在水质分析中的应用、掩蔽与解蔽技术、分离与富集技术、有机试剂等,分章作了简明扼要的论述。参加上册编写的作者有 15 人,均在相应各章署名,以便读者和作者直接联系,共同探讨有关的问题。全书由魏复盛、沈叔平、陈赋杏同志进行整编和审定。由于编著者的水平、时间和条件限制,征求意见又不够广泛,因此本书可能有不少缺点或不妥之处,望广大读者批评指正。

下册将主要介绍仪器监测技术和有机污染物的测定方法。

魏复盛

1989 年春于北京

目 录

第一章 气相色谱-质谱联用技术在分析水中化学物质方面的应用	门上希和夫 阎吉昌
一、前 言	1
二、气相色谱-质谱法简介	2
三、水样的预处理方法	11
四、气相色谱-质谱测定	21
五、化学物质分析的质量控制	34
六、初次分析某种物质的一般步骤	35
七、应用气相色谱-质谱分析水中微量化学物质的实例	36
参考文献	96
第二章 电感耦合等离子发射光谱-质谱在环境分析中的应用	齐文启 孙宗光 古贺实
一、前 言	99
二、电感耦合等离子发射光谱-质谱的概述	99
三、电感耦合等离子发射光谱-质谱分析方法的特征	103
四、电感耦合等离子发射光谱-质谱的最新发展	106
五、电感耦合等离子发射光谱-质谱的应用	106
参考文献	110
第三章 红外光谱技术在水质监测中的应用	陈忠明 王淑琴
一、红外光谱的基本原理	111
二、红外光谱仪	120
三、红外光谱定性分析和定量分析	125
四、红外光谱制样和测定技术	126
五、色谱-傅里叶变换红外光谱联用技术	129
六、红外光谱技术在水质监测分析中的应用	133
参考文献	144
第四章 荧光分光光度分析在环境监测中的应用	滕恩江
一、几种分子发射光谱	146
二、荧光的激发光谱和发射光谱	148
三、荧光强度与溶液浓度之间的关系	152
四、荧光强度与荧光体结构的关系	154
五、其他因素对荧光强度或荧光光谱的影响	158
六、溶液荧光猝灭的基本概念	162
七、荧光分析方法	163
八、荧光分析在环境监测中的应用	168

参考文献	173
第五章 氢化物发生-原子荧光光谱法在水质分析中的应用	李国刚 齐文启
一、前言	176
二、氢化物发生-原子荧光光谱法的仪器装置	179
三、氢化物发生-原子荧光光谱法的实验技术与方法	180
四、氢化物发生-原子荧光光谱法在环境分析中的应用	196
参考文献	208
第六章 流动注射分析在水质监测中的应用	刘廷良 魏复盛
一、原理及特点	212
二、流动注射分析的基本装置	213
三、流动注射分析的理论及实验设计	215
四、流动注射分析的实验技术	216
五、流动注射分析在水质监测中应用实例	220
参考文献	224
第七章 分析有机污染物的色谱柱	阎吉昌
一、色谱柱研究的回顾	227
二、气相色谱柱的优选	231
三、常用的气相色谱柱	248
参考文献	253
第八章 水中有机污染物的采样、分离、富集和分析方法	魏爱雪 徐晓白 (校)
一、概述	256
二、水样的采集	256
三、样品前处理	258
四、样品的测定	265
五、质量保证	271
参考文献	275
第九章 酚类化合物的气相色谱法和液相色谱法	孙宗光 章安安
一、概述	276
二、样品采集及保存	279
三、气相色谱法	280
四、液相色谱法	288
参考文献	295
第十章 苯胺类化合物的气相色谱、液相色谱分析技术	赵淑莉 魏复盛
一、概述	296
二、样品的采集与保存	299
三、样品的预处理技术	300
四、关于被测化合物的衍生化处理	302
五、分析测定实例	303
参考文献	309
第十一章 酞酸酯类化合物的气相色谱、液相色谱分析测试技术	戴天有
一、概述	310
二、酞酸酯的鉴定与分析方法	312

三、水样的采集与保存	313
四、样品预处理技术	313
五、色谱分析	316
六、实验室内酞酸酯的干扰	318
参考文献	319
第十二章 苯系物的气相色谱测试技术	傅德黔
一、概 述	320
二、分析方法选择	322
三、水样的采集与保存	324
四、顶空分析技术	328
五、色谱条件的选择	330
参考文献	334
第十三章 有机氯农药的采样与分析技术	卢大远
一、有机氯农药的采样和样品保存	335
二、有机氯农药的分析方法	338
附录 主要有机氯农药品种	349
参考文献	350
第十四章 有机磷农药的采样与分析技术	卢大远
一、有机磷农药的采样和样品保存	352
二、残留有机磷农药的分析方法	352
附录 主要有机磷农药品种	369
参考文献	372
第十五章 多环芳烃的采样与分析技术	储少岗 徐晓白
一、概 述	373
二、分析方法简述	377
三、水样的采集和浓缩	378
四、样品的净化及预分离	381
五、多环芳烃的测定	383
参考文献	392
第十六章 多氯联苯	姚 元 加藤安彦
一、概 述	394
二、试样的采集和保存	398
三、分析方法的选择	400
四、分析方法概论	401
五、共平面多氯联苯	411
参考文献	414
第十七章 石油类物质与动植物油	林大泉
一、油类物质的性质及对环境的影响	416
二、测定方法及其进展	421
三、红外光度法	428
参考文献	432
第十八章 铍	刘 京 魏复盛

一、概 述	433
二、水样的保存和处理	434
三、石墨炉原子吸收法	435
四、铬天菁 S 分光光度法	441
参考文献	444
第十九章 铊	齐文启 李国刚
一、概 述	445
二、主要分析方法简介	445
三、结晶紫分光光度法	446
四、亚硫酸钠-碳酸钾底液极谱法	447
五、孔雀绿分光光度法	448
六、EDTA 络合滴定法	450
七、原子吸收法	453
参考文献	457
第二十章 元素磷的采样与分析	胡平 池靖
一、概 述	459
二、分析方法简述	459
三、水样的采集与保存	459
四、溴水氧化-磷钼蓝分光光度法	460
五、气相色谱法	463
参考文献	469

第一章 气相色谱-质谱联用技术在分析水中化学物质方面的应用

门上希和夫

阎吉昌

(日本北九州市环境科学研究所)

(中国东北师范大学分析测试中心)

一、前言

现代人类繁荣的基础之一是化学物质。农作物的增产需要农药和化肥，从衣服和化妆品开始，在我们的周围充满着人工的化学物质。现在全世界生产的人工化学物质已多至 10 万余种，年产量达 4 亿 t。这样一些化学物质是人类生存所不可缺少的。但其相反，一部分化学物质不仅有其有利的一面，也给人类的健康和自然生态体系带来恶劣的影响，如对其不加以治理，则将造成重大的环境影响。由多氯联苯 (PCB) 所引起的环境污染事例可知，治理化学物质污染需要大量的经费和时间，因而必须在污染深化以前就采取有效的对策。为此，调查化学污染物在环境中的浓度就成为不可缺少的工作。在《21 世纪议程》中，也要求各国政府“收集对环境有高度影响的有毒化学物质的野外监控数据”^[1]。

日本环境厅以 PCBs 污染为契机，从 1974 年开始了全国性调查，以掌握化学物质对环境污染的实际情况。1974~1993 年的 20 年间，调查的物质种类已上升至 732 种（如表 1-1 所示），其中 35% 的物质在环境中可以检出。这一结果显示，环境正在广泛地被许多人工化学物质所污染。

表 1-1 化学物质在日本的检出状况^[2]

	水质	沉积物	鱼类	大气	总数
调查物质数	716	696	206	143	732
检出物质数	126	203	83	79	258
检出比例 (%)	17.6	29.2	40.3	55.2	35.2

在实施这项调查中，气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS) 起了很大的作用。这是因为，环境样品是由多种物质构成的，欲准确而确实地分析试样中极微量的化学物质，GC-MS 是现代最有效的仪器。但是，在分析化学物质时不仅需要理解 GC-MS 这种硬件，也需要掌握一种软件，即从试样中提取化学物质到进行 GC-MS 测定这一系列微量分析技术。而正是这种软件(微量化学分析技术)，是获得高度准确而精密的分析数据的最重要的技术。因此，在此要介绍 GC-MS 的原理、质谱解析、发挥 GC-MS 性能的最优化方法、运用 GC-

MS 特长的质量控制方法、准确测定 ppt~ppb 水平极低浓度化学物质的微量分析技术，以及防止污染的对策等。

二、气相色谱-质谱法简介

(一) GC-MS 概述

环境样品中，除欲测物质外还含有很多其他物质。如欲将其中欲测物质正确测定出来，则 GC-MS 是目前最有效的分析仪器。GC 是用色谱柱将复杂的混合物按组分沸点高低或极性强弱进行分离的装置。在 GC 中被分离的各组分进入 MS 后，在热电子流的轰击（电子轰击型）下断裂。裂解后得到的质谱相当于人的指纹，携带有物质固有的信息，因而可用于组分的鉴定。此外，GC 的保留值也是组分固有的特性，因此将质谱及保留值两个信息综合起来就可以准确鉴定复杂样品中的每个组分。GC-MS 还可以通过选择离子检测法高度灵敏地监测特定离子，因而可以对环境样品中的极微量组分进行定量分析。这样，GC 与 MS 各自的局限性便可以互相补充，从而使环境样品中以混合物形式存在的微量组分得以确切的定性和准确的定量。

(二) GC-MS 与以往 GC 的比较

GC-MS 与以往用于分析化学物质的 GC 的比较见表 1-2。

表 1-2 GC 与 GC-MS 的比较

仪器名称	可测定物质	灵敏度	稳定性	线性	鉴定能力
GC-MS	全部有机物质	Scan: 10^{-10} g SIM: 10^{-14} g	好	$10^4 \sim 10^5$	保留时间与质谱 (质量信息)
GC-FID	全部有机物质	10^{-11} g	好	10^6	仅限保留时间
GC-ECD	具有卤化物等 吸电子基的物质	10^{-9} g~ 10^{-12} g	尚可	$10^3 \sim 10^4$	敏感物质与保留 时间
GC-FPD	含 S、P、Sn 物质	S: 10^{-9} g P: 10^{-11} g	好	S: 10^3 P: 10^5	敏感物质与保留 时间
GC-NPD	含 N、P 物质	10^{-11} g	尚可	10^4	敏感物质与保留 时间

注：GC 只能分析具有挥发性的有机物质。

由表 1-2 可知，GC-MS 不仅具有与以往的 GC 相等或更高的灵敏度、稳定性和线性，而且由于对可测定物质没有限制，因而还具有同时可以测定多种物质的特点。

(三) GC-MS 的结构

如图 1-1 所示，GC-MS 的结构由 GC（进样系统）、离子生成系统（离子源）、将生

成的离子按质量大小分离的系统（质量分析器）、离子检出系统（检测器）、数据处理系统（微机）等五个部分组成。当今使用的 MS，在离子源、检测系统及数据处理装置等方面，基本上是相同的，而分析系统则有三种类型。下面对离子源、分析系统及检测器做一些说明。

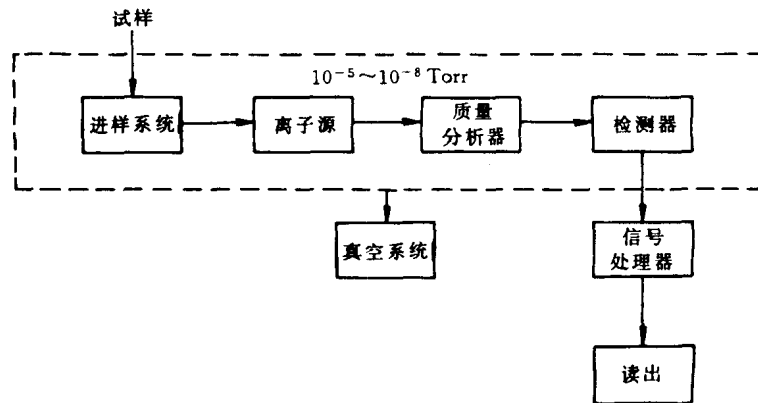


图 1-1 GC-MS 示意图^[3]

（四）离子化的方法和特点

用 GC-MS 测定环境样品的离子化方法，通常有以下三种。

1. 电子轰击离子化法（EI）

这是最常用的离子化法，在 $1.33 \times 10^{-6} \sim 1.33 \times 10^{-7}$ Pa 的高真空下，GC 柱后流出的组分受到灯丝产生的热电子流的轰击，电子所带的能量转移给样品分子，样品分子释放出一个电子变成分子离子 (M^+)，持有剩余能量的离子还可引起化学键的开裂，生成碎片离子。离子化电压通常使用 70 eV。目前已有 10 多万种物质通过电子轰击离子化法测定了质谱，利用附属于 GC-MS 的微机所建立的质谱数据库，可检索出样品经分离而出来的峰是什么物质。

2. 化学离子化法（CI）

将甲烷、异丁烷、氨等物质作为反应气体加入离子源，使其量大大超过样品 (133Pa)，在离子源中受到电子轰击，反应气体离子化之后，离子化的气体与样品分子相撞使样品分子离子化。CI 法是比较稳定的离子化法，由于质子的参与，反应气体的参与，氢的去除，使样品分子产生准分子离子 (QM^+)。这种准分子离子是带有偶数电子的稳定离子，因而难以发生碎裂，从而使质谱简单化。这样，CI 法使样品分子量的确定变得容易，且不易受干扰物质碎片离子的影响，因而适于食品、生物等杂质多的样品的分析。CI 法包括正离子检测法（PCI）和下面要介绍的负离子检测法（NCI）。

* 1Torr=133.332Pa。

3. 负离子化学离子化法 (NCI)

这是检测由 CI 法产生的负离子的方法,可以大致分为电子捕获型和反应离子型。电子捕获型指的是热电子与反应气体碰撞失去能量后被样品分子捕获生成离子的方法。带有卤素或硝基等电子亲和性强的物质容易被离子化,显示与 GC 的 ECD 检测器相同的高灵敏度。相反,烷烃等电子亲和性低的物质不易离子化,几乎不显示灵敏度。由于环境污染物质中电子亲和性强的元素和官能团较多,所以 CI 法是以高灵敏度进行选择检测的有效的离子化法。

(五) 分析系统的种类和特点

分离离子的质量分析系统有以下三种常用类型。

1. 磁场型

离子进入磁场后,根据左手定则离子向与磁场方向垂直的方向偏转,进入如图 1-2 所示的分析管后,质量为 m 、电荷为 z 的离子在离子源的加速电压 V 作用下,按曲率半径 r 进行圆弧运动,此时

$$m/z = 4.28 \times 10^{-5} r^2 H^2 / V$$

其中 V 与分析管的 r 由装置决定,因此当把磁场强度 (H) 从低磁场向高磁场改变时,离子按 m/z 从小到大的顺序流出分析管进入检测器。相同的分离也可在圆筒型静电场内通过聚焦来进行。目前如图 1-2 所示的双聚焦型磁场常用于 MS。

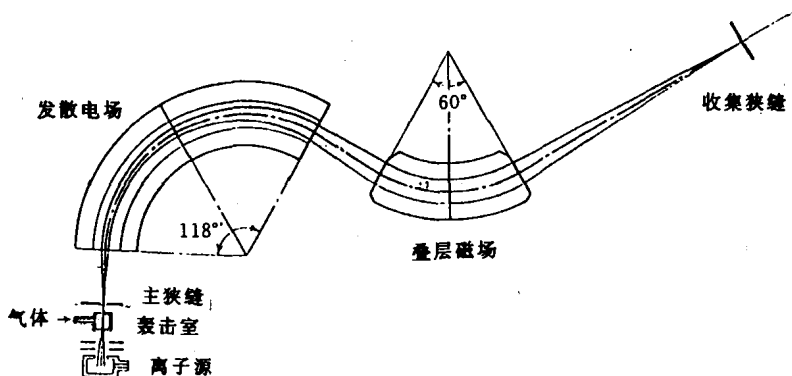


图 1-2 双聚焦型质量分析器示意图^[4]

双聚焦质谱仪通过静电场可以缩小离子束的能量(速度)分布范围,从而使其在磁场中分离。其结果,可分离到 0.1% 质量单位。

精密质量数是确定物质结构的重要线索。例如,分析二噁啉时,在样品前处理过程中,无法将二噁啉与 PCB 等有机氯化物完全分开,从而在 GC-MS 测定中保留时间及质荷比 m/z 是重叠的,很难把两者分离后测定。比如,若将 TCDD 的 m/z 321.8936 和 DDT 的分子离子中脱落 HCl 后的 m/z 321.9114 分离,需要 113000 的分辨率 R ($R = M/\Delta M$),少于这个分辨率则无法单独获取 TCDD 来进行定量。这样利用能够分离 0.1% 质量单位的

高分辨率 MS，可以分离二噁啉和其他有机氯化物。此外，利用高分辨率的 SIM（选择离子检测法），能够测定精密质量这点，可降低背景值，改善 S/N，提高灵敏度。表 1-3 给出了各元素的精密质量数，图 1-3 显示出分析二噁啉所需的分辨率。

表 1-3 各元素的精密质量数^[5]

原子	原子量	原子	原子量
¹ H	1.00782522	¹⁹ F	18.9984046
² H	2.01410222	²⁸ Si	27.9769286
¹² C	12.00000000	³¹ P	30.9737633
¹³ C	13.00335508	³² S	31.9720728
¹⁴ N	14.00307440	³⁵ Cl	34.96885359
¹⁶ O	15.99491502	⁷⁹ Br	78.9183320
¹⁸ O	17.99915996	¹²⁷ I	126.9044755

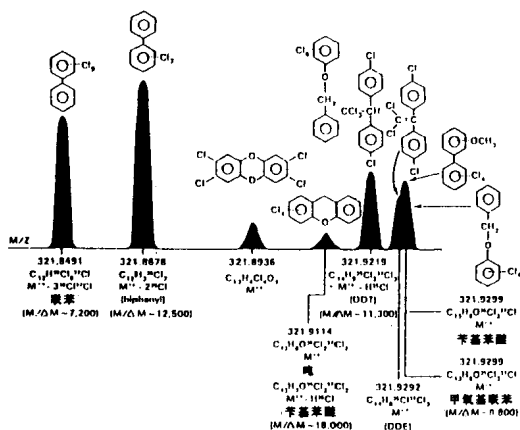


图 1-3 分析二噁啉所需的分辨率^[6]

2. 四极质谱仪

如图 1-4 所示，在相对的两对双极电极间各自加上极性相反的直流电压和高频交流电压，则在四个电极杆之间按高频交流电压的频率形成变化的复合电场。当离子束进入四根电极包围的空间时，各离子在其中振动，质量数为 m 的离子若能稳定地振动，并且到达检测器，需要符合以下条件。不满足此条件的离子振幅变大，在中途不是撞击到电极杆上，便是向外放出。

$$m = KV/f^2 \times r$$

式中： m —— 离子质量； K —— 常数； V —— 高频交流电压 (V)、 f —— 频率 (MHz)； r —— 由中心到电极间的距离 (cm)。

f 与 r 被装置所固定， m 与 v 成正比，因此改变 V 值可分离不同的离子。

四极质谱仪不需要双聚焦质谱仪那样的高真空，与磁场型相比构造简单，因此可使仪器小型化而且价廉。此外，扫描速度快，具有同时测定多种碎片离子等优点。它的缺

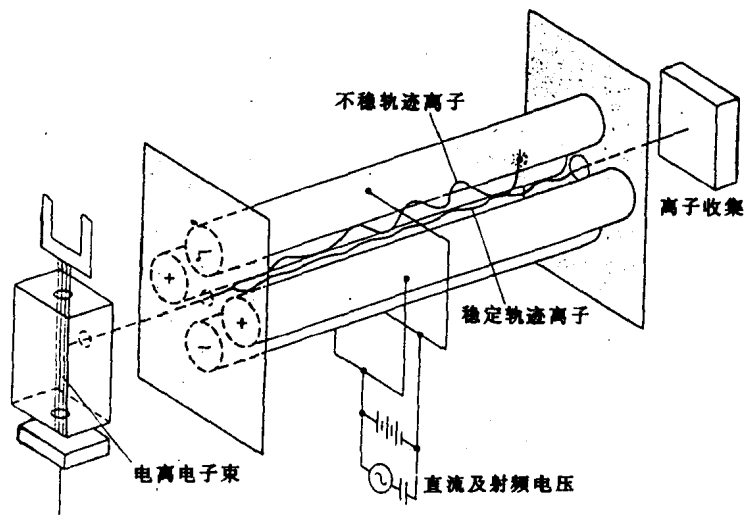


图 1-4 四极质谱仪的结构图^[7]

点是分辨率比磁场型低，高质量数的峰强度比磁场型小，谱图也不同于磁场型。不过，谱图的差异能够通过数据处理装置校正，从而得到近似于磁场型谱图的情况还是很多的。

3. 离子阱型质谱仪的质量分析器

如图 1-5 所示由三个电极（顶端帽、底端帽、环电极）构成。若将适当的高频电压（蓄积电压）加到环电极上，则电极围成的空间中产生三维电场。生成的离子在电场内绕着某种轨道稳定地积蓄起来。之后加大高频电压，离子轨道变得不稳定，离子按质量数由小到大一一到达检测器从而得以分离。这样，在离子阱中可以储存生成的离子，然后再分离，因此生成的离子损失少，可进行高灵敏度的质谱测定。此外，它也与四极质谱仪一样结构简单，从而具有型小价廉的优点。其缺点是分辨率比磁场型低，谱图也有差异。

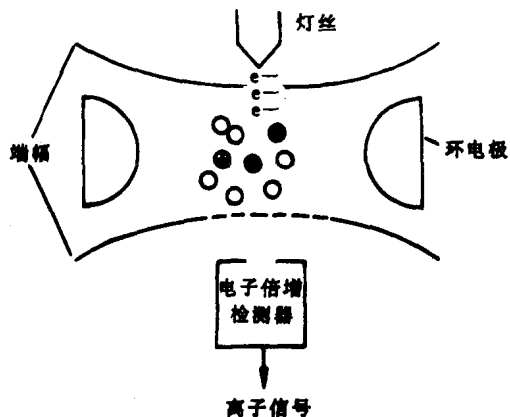


图 1-5 离子阱的结构图^[8]

(六) GC 和 MS 的连接

对于 GC 和 MS 的连接来说，必须使从 GC 柱流出的载气不破坏 MS 的高真空。为此，根据载气流量可采取如下两种连接方法。

1. 直接连接

这是将色谱柱直接插入离子源的方法。流量较小的毛细管色谱柱（内径 0.25mm 或 0.32mm）直接插进离子源也可保持真空。这种方法使从色谱柱流出的全部组分都被导入离子源。

2. 玻璃微孔分离器（喷气式分离器、浓缩器）

填充色谱柱及宽径色谱柱的载气流量都超过 10mL/min，因此不能直接导入离子源。这就需要将样品与载气进行分离。如图 1-6 所示，将 GC 和 MS 的连接管端部做成有空隙的细孔管，外侧抽致真空，可使分子量远远小于样品的 He 气扩散到与路径垂直的方向后被排出。另一方面，试样分子则按其原路直接进入离子源而与载气分离。此方法可使样品的浓缩程度达 50 倍，效率达 30%~40%。由于连接管很细，有时会被来自色谱柱等处的碎渣所堵塞，必须加以注意。

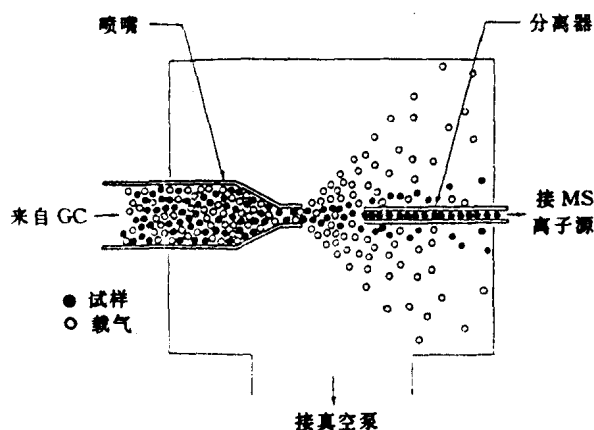


图 1-6 喷气式分离器^[5]

（七）检测系统

在质量分析器中按质荷比 (m/z) 分离的离子，经倍增管（离子放大器）转变为放大的电信号。具体来说，从质量分析器射出的离子撞击倍增管第一极的金属表面，放出二次电子。二次电子再与对面的金属（第二极）表面相撞，放出更多的二次电子，这样经过多次重复，便得到放大的电信号。图 1-7 为倍增管的示意图。

（八）质谱图

质谱图是一种以离子强度为纵坐标、质量数为横坐标的棒形图（条图）。其中离子的强度最大的峰称为基峰，定为 100，其他峰以基峰的相对强度来表示。例如图 1-8 所示为