

# 分析测试仪器评议

——从BCEIA'2011仪器展看分析技术的进展

中国分析测试协会 编著



中国质检出版社  
中国标准出版社

# 分析测试仪器评议

——从 BCEIA'2011 仪器展看分析技术的进展

中国分析测试协会 编著



中国质检出版社

中国标准出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以中华人民共和国科学技术部批准、中国分析测试协会主办的“第十四届北京分析测试学术报告会暨展览会”(BCEIA'2011)为契机,汲取大量素材,开展仪器与技术评议活动。经专家组规范论证,跟踪国内外同类仪器和技术的发展动向,系统而有针对性地对数十类仪器、部件的性能及测试结果进行了评述。从光谱、质谱、微观结构、环境、色谱、物性及力学分析、无损检测、气体分析仪器、波谱、生化、实验室设备等领域涉及的主要仪器与技术入手,对其发展动向进行了全方位的评议。全书共分为四章:第一章 仪器评议组织结构和流程;第二章 从 BCEIA'2011 看分析测试仪器的进展;第三章 通用基础分析技术进展;第四章 综合分析及相关实验技术。

本书通过专家评议,探讨了分析仪器及技术的发展方向,对广大科技工作者选择仪器,生产厂商改善和提升产品质量和性能乃至新仪器的研发均具有参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

分析测试仪器评议:从 BCEIA'2011 仪器展看分析技术的进展 / 中国分析测试协会编著. —北京:中国标准出版社,2012.10  
ISBN 978-7-5066-7022-7

I. ①分… II. ①中… III. ①分析仪器 IV. ①TH83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 232322 号

中国质检出版社  
中国标准出版社 出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 1 000×1 400 B5 印张 7.875 字数 311 千字

2012 年 10 月第一版 2012 年 10 月第一次印刷

\*

定价 75.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

中国分析测试协会理事长 中国科学院院士  
张泽题词

都晓‘工欲善其事，必先利其器’，但只有国产分析测试仪器居国际前列之时，才会呈现中国科技领先世界之势。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '张泽' (Zhang Ze) in a cursive style.

# 前 言

由中国分析测试协会主办，中华人民共和国科学技术部批准的第十四届北京分析测试学术报告会暨展览会(BCEIA'2011)于2011年10月12日至15日分别在北京友谊宾馆(学术报告会)和北京展览馆(分析仪器展览会)举行，来自美国、德国、英国、日本、韩国、荷兰、瑞士、瑞典、西班牙、法国、加拿大、俄罗斯、捷克、意大利、澳大利亚、中国以及中国香港等19个国家和地区，378家境内外分析仪器生产厂商展出了他们最新研发的高水平技术及产品。会议前后，一些厂商还举办了一系列技术交流活动，介绍了他们最新产品的性能、技术特点以及应用情况。

仪器评议活动是由科技部倡导、中国分析测试协会组织，常年开展的一项重要活动。BCEIA是国内外分析仪器生产厂商在中国展示其最新推出的新仪器和新技术的窗口，是仪器评议活动的一个汇集点。本届展览会前后，中国分析测试协会组织了国内外光谱、质谱、微观结构、环境、色谱、物性及力学分析、无损检测、气体分析仪器、波谱、生化、实验室设备11个领域的专家对所涉及的主要仪器、零部件的水平、技术特点、发展前景进行评述。对于其中一些有特色的通用及先进技术进行了专项评述。同时质谱专业组在BCEIA现场进行了便携式气质联用仪的现场评议。仪器现场评议是BCEIA的重要内容之一，旨在为我国仪器的引进、开发起到积极推动作用；另外色谱专业组在BCEIA展览会后进行气相色谱用氢气发生器性能测试及高效液相色谱用泵性能测试。这些活动对于介绍各公司最新仪器技术、沟通用户与仪器生产厂商之间的联系，增加用户对于分析仪器厂商的了解，扩大厂商的影响方面将有着积极的作用。

本次评议活动先后完成了一百余篇关于仪器、部件及技术的评议总结报告；评议报告包含专家评议及部分仪器介绍(由仪器公司提交到仪器技术评议办公室，经专家审核后确定)两方面，对仪器产业及研究工作有一定参考价值。应广大用户和仪器厂商的要求，现将第十四届BCEIA仪器评议的情况汇集出版，以满足广大仪器使用者、仪器研究人员以及仪器生产厂商的需求。

# 目 录

中国分析测试协会理事长 中国科学院院士 张泽题词  
前言

第一章 仪器评议组织结构和流程 .....	1
第一节 仪器评议组织结构 .....	1
一、组织单位 .....	1
二、专业组及专家成员 .....	1
1 光谱专业组 .....	1
2 质谱专业组 .....	1
3 波谱专业组 .....	1
4 生化专业组 .....	1
5 气体分析仪器专业组 .....	1
6 色谱专业组 .....	2
7 微观结构专业组 .....	2
8 物性及力学分析专业组 .....	2
9 环境专业组 .....	2
10 无损检测及质量控制仪器专业组 .....	2
11 实验室设备专业组 .....	2
第二节 评议流程图 .....	2
第三节 分析仪器技术评议范围及项目 .....	3
第二章 从 BCEIA'2011 看分析测试仪器的进展 .....	4
第一节 BCEIA'2011 会议概况 .....	4
第二节 分析测试仪器发展趋势 .....	5
第三章 通用基础分析技术进展 .....	9
第一节 光谱分析技术 .....	9

一、专家评议 .....	9
1 光谱仪器发展趋势 .....	9
2 原子光谱分析及仪器的发展 .....	10
3 分子光谱分析及仪器的发展 .....	15
4 国产光谱分析仪器商品化的发展 .....	16
二、应用报告及仪器介绍 .....	17
1 等离子体光谱仪器评议 .....	17
2 电弧直读光谱仪仪器评议 .....	26
3 原子吸收光谱仪仪器评议 .....	31
4 辉光放电光谱仪器评议——3D 金属光谱仪 .....	39
5 X 射线荧光光谱仪仪器评议 .....	45
6 原子荧光光谱技术及仪器进展 .....	57
7 分子光谱仪器评议——分子光谱仪器的性能指标 .....	63
第二节 质谱评议 .....	73
一、国内外质谱仪器发展状况调查 .....	73
1 市场情况 .....	73
2 我国质谱仪器与国外同类仪器的比较分析 .....	74
二、我国质谱仪器创新发展建议 .....	90
1 我国质谱仪器发展的趋势 .....	90
2 组建质谱研究中心 .....	90
3 组建精密加工基地 .....	91
4 大力支持整机集成和产业化研究, 考虑引进多条质谱生产线 .....	91
5 建立政府和企业联合发展“人才计划” .....	91
三、质谱仪器和技术应用新进展 .....	91
1 GC×GC-TOF MS 及其在石油分析中的应用 .....	91
2 GC×GC-TOF MS 在医药领域中的应用 .....	101
3 血清多肽组质谱平台与应用 .....	104
4 离子阱气相色谱质谱联用仪及其应用 .....	114
四、Mars-400 便携式气相色谱-质谱联用仪现场检测评价报告 .....	126
1 简单混合物定性定量分析 .....	127
2 多级质谱定性能力测试 .....	129
3 单组分定性能力测试 .....	130
4 室内空气的快速分析 .....	134
第三节 色谱分析技术 .....	139



一、专家评议 .....	139
1 气相色谱仪 .....	140
2 液相色谱仪 .....	141
3 气质联用仪器 .....	143
4 液质联用仪器 .....	143
5 制备液相色谱 .....	143
6 多维色谱仪 .....	143
二、新型液相色谱检测器简介 .....	144
1 电喷雾检测器 (CAD) .....	144
2 库仑电化学检测器 (CCD) .....	146
3 水凝结激光计数检测器 (NQAD) .....	148
4 化学发光检测器 (CLD) .....	149
5 激光诱导荧光检测器 (LIFD) .....	150
6 旋光手性检测器及圆二色手性检测器 (ORCD&CDCD) .....	151
三、色谱工作站进展 .....	153
四、微流控技术 .....	156
1 日臻成熟的芯片实验室整体解决方案 .....	156
2 芯片/质谱系统的推出 .....	156
3 国产微流控系统的进展 .....	156
五、在线分析仪器进展 .....	156
1 德国 GERSTEL 样品前处理分析设备公司 .....	156
2 瑞士 Sotax 公司 .....	158
3 瑞士 TECAN 集团公司多通道液体自动移取装置 .....	159
4 荷兰 Spark Holland 液相色谱自动进样器 .....	160
5 Combi PAL 气相色谱仪前置式自动进样系统 .....	161
6 意大利 HTA 公司 .....	162
7 德国 Sepiatec 公司 .....	163
8 DEENA II 型全自动样品消解和前处理系统 .....	164
9 美国 CETAC 公司生产的多种型号的自动进样器 .....	165
10 Agilent 自动进样器和样品制备工作台 .....	165
11 AS-01 液体自动进样器 .....	165
第四节 波谱分析技术 .....	166
一、专家评议 .....	166
二、应用报告及仪器介绍 .....	166



1 国产高场核磁共振谱仪的性能评议 .....	166
2 国产低场核磁波谱仪的评议 .....	182
第五节 微观结构分析技术 .....	191
一、专家评议 .....	191
1 扫描电子显微镜及 X 射线分析附件的性能指标 .....	191
2 扫描电镜-平行光波谱仪的最新进展 .....	193
3 多晶 X 射线衍射仪的某些进展 .....	195
二、应用报告及仪器介绍 .....	196
1 高压球差电镜的发展近况及前景分析 .....	196
2 X 射线光电子能谱仪的新进展 .....	198
3 二次离子质谱的发展状况及展望情况 .....	202
第六节 无损检测及质量控制仪器分析技术 .....	203
一、专家评议 .....	203
二、应用报告及仪器介绍 .....	204
1 测试对象 .....	204
2 测试依据与测试项目 .....	204
3 测试设备与器材 .....	204
4 测试方法与测试结果 .....	204
5 结论 .....	210
<b>第四章 综合分析及相关实验技术 .....</b>	<b>212</b>
第一节 模拟蒸馏技术 .....	212
一、专家评议 .....	212
二、模拟蒸馏技术发展趋势 .....	212
1 快速模拟蒸馏 .....	213
2 重油高温模拟蒸馏 .....	213
3 全二维色谱技术应用于模拟蒸馏 .....	213
4 润滑油挥发度分析 .....	213
5 模拟蒸馏技术发展方向 .....	214
第二节 气体分析仪器技术 .....	214
一、国内外 C、S、O、N、H 气体元素分析仪器现状 .....	214
1 国内外气体元素分析仪厂商的现状 .....	214
2 国内外气体元素分析仪技术指标对比 .....	215

---

3 展望 .....	223
二、在线气体分析及仪器在钢铁行业中的应用进展 .....	223
1 在线(工业)色谱技术 .....	224
2 在线红外技术(烟气检测系统) .....	225
3 在线激光技术(可调谐半导体激光吸收光谱技术) .....	227
4 在线质谱技术 .....	228
第三节 环境分析技术——水质便携式重金属检测仪 .....	230
一、专家评议 .....	230
二、应用报告及仪器介绍 .....	231
1 MetalSafe 便携式痕量重金属分析仪 .....	231
2 NanoTek 2000 .....	232
3 HM-3000P .....	233
4 HM1000/HM3000/HM5000 系列 .....	234
5 AVVOR 8000/9000 .....	234
6 HSTD-XG .....	235
7 STLF-2100 .....	235
8 IGS10M .....	235
9 SA 1100 .....	236
10 AND1000 .....	236
三、小结 .....	237
附录 BCEIA' 2011(第十四届)金奖获奖情况 .....	238

# 第一章 仪器评议组织结构和流程

## 第一节 仪器评议组织结构

### 一、组织单位

中国分析测试协会

总负责人：张渝英

常 务：王海舟

顾 问：李家熙 阎成德 邓 勃 傅若农

秘书处（办公室）：尹碧桃 佟艳春 白伟东

官方网站：中国仪器技术评议网 <http://www.eqvalue.com.cn>

### 二、专业组及专家成员

#### 1 光谱专业组

郑国经\*、符 斌、高介平、辛仁轩、计子华、罗立强、李美玲、王明海、余 兴、孙素琴、周 群、刘 锋、李 娜、许振华、徐怡庄、宋占军、袁洪福

#### 2 质谱专业组

魏开华\*、苏焕华、李重九、李 冰、胡净宇、刘丽萍、宋 彪、赵晓光、王光辉、冯先进

#### 3 波谱专业组

林崇熙\*、崔育新、李立璞、邓志威、严宝珍、贺文义、涂光忠、向俊锋、杨海军、郭灿雄、颜贤忠

#### 4 生化专业组

谭焕然\*、钱小红、颜光涛

#### 5 气体分析仪器专业组

沈学静\*、朱跃进、王 蓬、张伟光

---

\* 为该专业组组长。

### 6 色谱专业组

汪正范\*、刘虎威、于世林、刘国诠、李晓东、廖 杰、杨永坛

### 7 微观结构专业组

刘 芬\*、张德添、陶 琨、朱衍勇、刘安生

### 8 物性及力学分析专业组

高怡斐\*、者东梅、唐俊武、陈宏愿、王庚辰

### 9 环境专业组

齐文启\*、董 亮、梅一飞、黄业茹、杨 凯、孙宗光、刘杰民

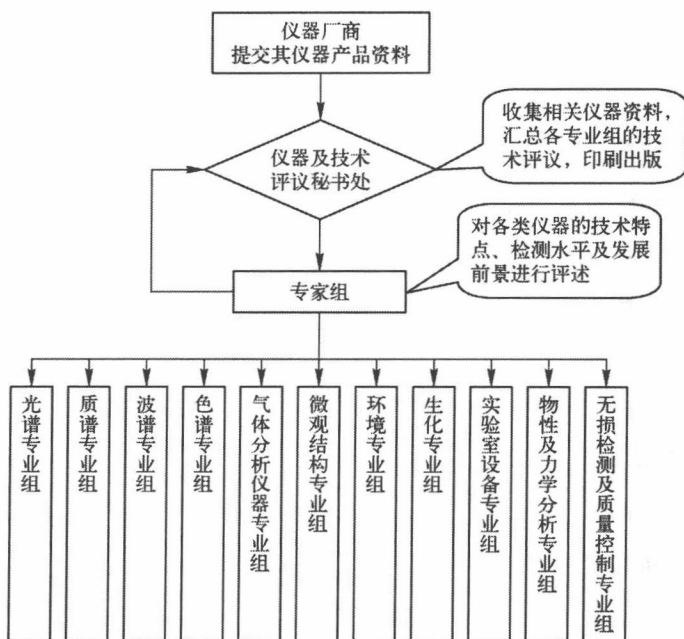
### 10 无损检测及质量控制仪器专业组

贾慧明\*、徐可北、黎连修、胡先龙、张 克、李 杰

### 11 实验室设备专业组

张新祥\*、蒋士强、田署坚

## 第二节 评议流程图



\* 为该专业组组长。

### 第三节 分析仪器技术评议范围及项目

序号	专业组	评议范围及项目
1	光谱专业组	原子及分子光谱分析仪器及其分析技术；原子发射光谱、ICP 原子发射光谱、原子吸收光谱、原子荧光光谱、辉光光谱、X 射线荧光光谱、红外分子光谱、拉曼分子光谱、分子荧光光谱、紫外可见光谱、红外光谱图像系统进展
2	质谱专业组	无机与同位素质谱技术在核安全领域的发展及应用动态；有机质谱技术在食品安全领域的应用动态及其发展；气溶胶质谱技术与仪器现状；质谱“定性定量二合一”技术评议；便携式质谱仪现状分析；我国无机质谱仪研发动态
3	微观结构专业组	微束分析、表面分析仪器及分析技术动态；X 衍射及光学显微镜及其分析动态
4	色谱专业组	多维色谱、全自动在线色谱、微流控技术、色谱工作站、液相色谱检测器、模拟蒸馏、色谱-质谱联用接口技术、气相色谱、液相色谱仪器及分析技术的进展
5	波谱专业组	核磁共振分析仪器及技术动态；顺磁共振分析仪器及技术动态
6	无损检测及质量控制专业组	超声、涡流、射线、磁粉、漏磁等无损检测设备及检测技术发展及应用动态
7	气体分析仪器专业组	金属中气体分析；工业过程气体分析
8	环境专业组	环境样品前处理设备；水、废水自动监测；建材、空气、废气自动监测；室内空气监测
9	物性及力学分析专业组	物性设备和力学设备
10	生化专业组	生化分析仪器及检测技术；电化学分析仪器及检测技术
11	实验室设备专业组	实验室采样和辅助性设备；经典的、传统的样品前处理设备；新型的样品前处理设备

## 第二章 从 BCEIA'2011 看分析

### 测试仪器的进展

#### 第一节 BCEIA'2011 会议概况

第十四届“北京分析测试学术报告会暨展览会”（BCEIA'2011）已于 2011 年 10 月 12 日至 15 日在北京召开，两年一届的 BCEIA 会再次展示了近两年来国内外分析技术及分析仪器的新进展。

学术报告会就当前 8 个热门领域：光谱、质谱、色谱、波谱、电化学、生命科学和环境分析、电镜与材料科学等方面进行了学术交流，共报告了 416 篇研究论文，其中有 69 篇关于光谱分析的论文。在分析仪器展览会举办的同时还举行了食品安全、药物分析、材料分析、环境分析、色谱等专题应用研讨会，举办了“首届中日科学仪器发展论坛”以及各大仪器公司的技术报告会。

分析仪器展览会在展位面积、参展商数量、观众人数均再创新高。设有仪器展台 765 个，比上届增长了 18.4%；来自 16 个国家和地区的 378 家国内外分析仪器厂商参展，其中国外参展商 96 家、展位 255 个，国内参展商 282 家，展位 510 个（见图 2-1、图 2-2）。内容涉及仪器、设备、试剂、软件和服务等。分析仪器知名杂志、出版商和网络媒体也都前来参加。分析仪器展览会上参展商展示了各自近年来开发的新技术和新型产品。

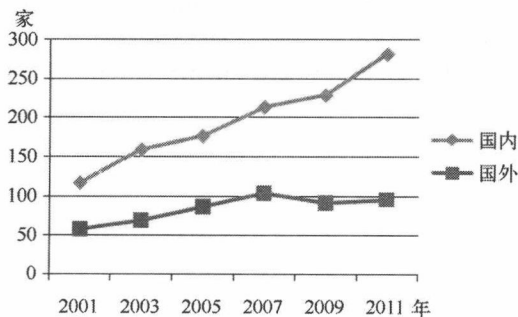


图 2-1 国内外厂商参展数量增长情况

随着世界性食品安全问题、环境问题、能源问题的日益严重化，人们对分析仪器的需求日益增长，相关科学技术随之取得了日新月异的发展。中国现已成为全球

分析测试仪器需求增长最快的国家。目前国外厂家非常看好国内分析仪器的市场，纵观整个展会，分析仪器整体发展趋势主要表现为：基于微电子技术和计算机技术的应用实现分析仪器的自动化，通过计算机控制器和数字模型进行数据采集、运算、统计、处理，提高分析仪器数据处理能力，数字图像处理系统实现了分析仪器数字图像处理功能的发展；分析仪器的联用技术向测试速度超高速化、分析试样超微量、分析仪器超小型化的方向发展。

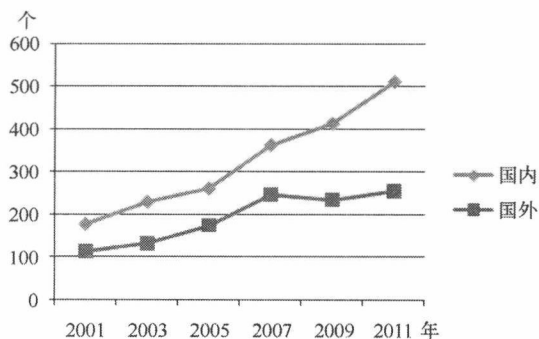


图 2-2 国内外厂商展台数量增长情况

### 第二节 分析测试仪器发展趋势

分析仪器市场的发展主要依赖于工矿、冶金机械、化工、食品饮料、石油与天然气、电力、医药等消费行业，因为这些行业的大部门运营良好，资本支出有效，其质量需求会促进分析仪器整体市场的发展。此外，政府为确保社会安全而设立的各种检测机构对仪器的采购仍然位于所有行业的前列。

美国市场信息反馈专业公司 MarketResearch 发布的“美国分析仪器市场预测”的报告显示：2011 年，美国分析仪器市场规模预计将达到 66 亿美元，到 2014 年可能增至 73 亿美元。

在过去几年里，全世界目睹了人类对于分析仪器及自动化产品强势需求的现状，在这种情况下，美国在进一步加强市场潜力方面发挥了领导作用。该行业的知名企业竞相通过高投资、严格遵守相关法规、产品创新等手段，有效地提高了公司收益。虽然 2009 年的经济衰退迫使分析仪器市场增长放缓，但随之而来的后经济衰退期可能增加最终用户的支出。

据悉，目前美国分析仪器市场中的主流产品包括气体分析仪器、液体分析仪器、最终控制元件、电子流量计和控制系统。2011 年，这些仪器累积后可能占据市场总量的 70% 左右。另外，政府在环境安全、食品安全、化工厂、药物制造方面的相关法规措施，将成为这些细分仪器市场发展的主要驱动力。



2011年,我国经济形势纷繁复杂,国际市场需求疲软,但对高端仪器需求加大,借“十二五”规划启动的契机,我国科学仪器行业处于稳步发展状态。2011年,科学仪器行业产销规模首次突破2000亿元大关,但销售利润增速缓慢;2011年,科学仪器进口额增长31.9%,出口额增长12.0%,进出口逆差有所扩大。估计2012年我国科学仪器行业保守产销同比增长15%左右;进出口同比增幅在20%左右;国家对科学仪器重大装备项目的投入和产业化政策的支持,带动企业积极性上升,但产业化明显成果将在“十二五”中后期见效。

光谱仪器继续占据产销大户位置,几类量大面广的实用光谱仪器制造水平稳步提升,不断有新品牌出现,应用技术也在不断扩展,不断推出新技术和分析理念。中阶梯光栅棱镜双色散系统和固体检测器结合不断完善,使光谱仪器的整体结构得到改变,不断向紧凑型、小型化、便携式的方向发展。光谱仪器的激发光源不断有新技术出现,使光谱仪器的分析性能得到提高,同时使光谱仪器分析也向节能、降耗的方向发展。

微波等离子体光谱,我国科学家金钦汉教授早在1985年首先推出微波等离子体的MPT新光源,并于20世纪90年代开发了第一台MPT光谱仪和小批量的商品仪器,在国际上得到十分积极的评价。2011年,安捷伦公司进一步推出了激发功率可达1000W的大功率、商品化微波等离子体原子发射光谱仪MP-AES,将微波等离子体光谱分析技术推上一个新的台阶。微波等离子体原子发射光谱仪可实现在空气中运行,无须再使用易燃或昂贵的气体,极大地降低了运行成本,符合低碳绿色的分析理念。

具有我国特色的原子荧光光谱仪器,其技术水平和应用范围处于世界领先地位,已在国内外推广应用,并正在进一步采用新技术在原子化器和分光系统上进行创新,向专用型、小型化方向发展,从实验室型向现场、在线监测技术发展。

目前,食品安全成为世界性问题,我国“十二五”环保规划对重金属污染防治和监控,需要大量在线、现场测量技术,这必将促进光谱仪器的进一步发展。

近红外、红外、拉曼、太赫兹等技术结合化学计量学,可以快速测定样品,并实现在线、现场监测,成为解决社会生活中实际问题的有利手段,是最具潜力的仪器分析技术。

长期以来便携气相色谱-质谱仪一直是进口产品的天下,现在国产便携气相色谱-质谱仪实现了真正商品化,已经完全可以与进口同类产品相竞争、相抗衡,希望这一技术能走得更高、更远、更好。

深紫外全固态激光技术是国人引以为豪的技术。中国科学院自20世纪90年代初开始研究此项技术,并率先发展出实用化的深紫外固态激光源。深紫外全固态激光源是指输出波长在200nm以下的固体激光器,可作为核心部件应用在多种光谱仪器上。中国是当今世界上少数掌握深紫外全固态激光技术的国家。

国外几家质谱公司都有成熟的气相色谱-单四极杆质谱产品,为了扩大市场份额,这些公司在提高技术先进性的同时,纷纷压低成本,使得气相色谱-单四级杆质谱产品的价格大幅下降。而国产气相色谱-单四极杆质谱产品若想突出重围,或须技术上超越进口产品,或须仪器“能”用,同时价格极低,即以高性价比占领市场。但是目前国产气相色谱-单四极杆质谱产品在这两方面都很难实现,其核心技术如真空系统、分子涡轮泵、质量分析器等皆是采用“别人”的技术,核心部件受制于人,导致整机价格相对于进口产品很难产生实质性的竞争优势。这些应该引起我们的反思,或可“跳过”该技术,发展例如气相色谱-三重四极杆质谱或飞行时间质谱等新产品。

以下从几个方面对不同领域分析仪器发展的新需求和趋势做简单的介绍。

### (1) 环境

近年来,我国环境安全问题日益突出,而分析检测仪器作为判断环境是否安全的工具,需求量增大,并且可以预见在未来几年中,环境领域对仪器的需求依然很旺盛。环境监测技术最新进展及对科学仪器的最新需求包括:

① 对 PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>1.0</sub> 监测技术的需求。

② 要求仪器检测限从 ppm<sup>①</sup>级向 ppb<sup>①</sup>级、甚至 ppt<sup>①</sup>、ppq<sup>①</sup>级发展。毒性污染物应急检测通常要求检测限达到 ppm 级;慢性毒性物质和“三致毒性”检测要求检测限达到 ppb 甚至 ppt 级;内分泌干扰物、二噁英类物质的检测则要求检测限达到 ppb 甚至 ppt 级;

③ 对高分辨质谱仪器的需求,用于二噁英、呋喃、抗生素、内分泌干扰物及代谢产物等物质的检测。其中 ICP/MS-MS 比较适合于氯酸盐类、高氯酸盐类、溴酸盐类物质检测。

④ 应急和自动监测对监测车及便携仪器、自动监测系统、生物毒性监测系统 etc 等仪器的需求。

此外,环境监测工作还对 PCR、FTIR、紫外(Xe)等仪器有明显的需求。

### (2) 食品

进出口食品安全检测范围及项目涉及动物源食品、植物源食品、加工食品、饮料、调味品、饲料及保健食品等样品,涉及的检测项目包括农药残留、兽药残留、食品添加剂(包括非法添加物)、生物毒素、化学元素(重金属)、微生物、转基因、过敏原及环境污染物。各种检测项目中,主要使用的仪器有 GC、LC、GC-MS、LC-MS/MS 等。目前着色剂、防腐剂、甜味剂和护色剂是最易滥用的食品添加剂类别,绝大部分食品添加剂和生物毒素都可以使用 HPLC 进行检测;食品中重金属元素的检测已逐渐从过去的一次只检测一种元素的单一检测,过渡到多元素同时检测,从元素总量测定逐渐发展到元素形态测定;微波消解仪已成为食品样品前处理的主

① ppm=10<sup>-6</sup>, ppb=10<sup>-9</sup>, ppt=10<sup>-12</sup>, ppq=10<sup>-15</sup>。全书下同。