

离子迁移谱检测痕量爆炸物新技术和应用

王卫国^①, 梁茜茜^{①②}, 程沙沙^{①②}, 陈剑^{①②}, 温萌^{①②}, 彭丽英^{①②}, 周庆华^{①②}, 李海洋^{①*}

① 中国科学院大连化学物理研究所, 大连 116023;

② 中国科学院大学, 北京 100049

* 联系人, E-mail: hli@dicp.ac.cn

2013-09-23 收稿, 2013-12-30 接受, 2014-03-18 网络版发表

国家自然科学基金(21077101, 21177124)和国家高新技术研究发展计划(2011AA060602)资助

摘要 离子迁移谱具有分析速度快、灵敏度高、便携、操作简便等优点, 成为爆炸物检测的主要方法之一, 被广泛应用于机场安检和反恐等领域. 本文简要介绍了离子迁移谱的原理、分类及特点; 重点介绍了本课题组近期在离子迁移谱新技术及其在爆炸物检测中应用的新进展, 包括新型滴定结构离子迁移谱研发、提高离子迁移谱分辨率方法、基于 VUV 灯的高效非放射性电离源研制等; 最后, 对离子迁移谱在爆炸物检测方面发展方向和前景进行了预测.

关键词

离子迁移谱
爆炸物
滴定结构离子迁移管
高分辨
离子源

在世界范围内, 恐怖分子活动猖獗, 恐怖爆炸事件呈逐年上升趋势, 严重威胁着人民的生命财产安全. 据相关资料统计, 近年来, 仅恐怖爆炸一项占全球恐怖活动的 57%. 美国发布的最新年度反恐报告显示, 2012 年全球共发生 6771 起恐怖袭击, 造成逾 3.2 万人死伤. 因此, 研制开发痕量爆炸物的快速、高灵敏检测技术和设备, 对于提升我国的安保水平、保障人民生命安全具有重要意义.

目前, 爆炸物的检测方法有谱学检测方法, 主要包括离子迁移谱、质谱、太赫兹、光腔衰荡光谱、激光诱导荧光; 嗅觉类传感器, 包括警犬、电子鼻; 另外, 还有石英微天平等. 其中, 离子迁移谱(IMS)具有响应速度快(秒级)、灵敏度高(皮克量级)、体积小、携带方便, 操作简便等优点^[1-3], 适合于机场、码头、车站、大型集会场所的安全检测及反恐等, 离子迁移谱已经成为目前应用最广泛的爆炸物检测技术之一^[4-7], 2009 年相关数据表明仅仅用于机场安全检测的离子迁移谱就超过了 10 万台^[7].

本文将介绍离子迁移谱的基本原理、分类及各自的特点, 重点介绍本课题组近期在漂移管式离子迁

移谱新技术方面的研究进展及其在爆炸物检测方面的应用, 包括新型滴定结构离子迁移谱研发、提高离子迁移谱分辨率方法、基于 VUV 灯的高效非放射性电离源研制; 最后, 对离子迁移谱在爆炸物检测方面的发展趋势进行了展望.

1 离子迁移谱的简介

离子迁移谱是一大类仪器的总称, 主要包括漂移管式离子迁移谱(drift tube ion mobility spectrometry, DT-IMS)、微分离离子迁移谱(differential ion mobility spectrometry, DMS)或非对称场离子迁移谱(field-asymmetric waveform ion mobility spectrometry, FAIMS)、呼吸式离子迁移谱(aspiration ion mobility spectrometry, AIMS)等. DT-IMS 和 AIMS 是利用弱电场下不同离子的迁移率差异实现检测, DT-IMS 的电场方向与气流方向平行, 而 AIMS 的电场与气流方向垂直. DMS 是基于在高电场($E_{\max} \geq 20000$ V/cm)、低电场($E_{\min} \leq 1000$ V/cm)时离子迁移率的变化来对离子进行分离, 通常由间距为 0.5~2 mm 的 2 块平行极板或者圆筒构成, 分为平板式和圆筒式 2 种^[8,9].

引用格式: 王卫国, 梁茜茜, 程沙沙, 等. 离子迁移谱检测痕量爆炸物新技术和应用. 科学通报, 2014, 59: 1079-1086

Wang W G, Liang X X, Cheng S S, et al. Development of ion mobility spectrometry and its application for detection trace explosives (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2014, 59: 1079-1086, doi: 10.1360/972013-1042

DMS 的体积非常小, 易于便携; 但其分辨率通常低于 10. AIMS 的分辨率更低. 而 DT-IMS 分辨率最高, 商用 DT-IMS 的分辨率一般高于 30, 而最高的可以达到 180. 因此, 关于 DT-IMS 相关的研究和应用也最多. 下面将重点介绍 DT-IMS.

DT-IMS 利用不同气相离子在均匀电场中迁移率的差异来实现不同物质分析检测^[10-12]. 在弱电场 ($E/N < 2$ Td) 下, 离子运动的速度正比于电场强度, $v = KE$, 这里 v 为离子的迁移速度, E 为电场强度, K 为离子迁移率. 在弱电场的范围内 K 为常数, 其数值主要取决于离子的结构、质量、电荷数和漂移气体的种类等因素, 不同离子具有特定的迁移率. 离子迁移率的计算公式为^[4]

$$K = \frac{3ze}{16N} \times \left(\frac{2\pi}{\mu k T_{\text{eff}}} \right)^{1/2} \times \frac{1+\alpha}{\Omega_D(T_{\text{eff}})}, \quad (1)$$

式中, z 是离子电荷数; e 是电子电荷 (1.602×10^{-19} 库仑); N 是缓冲气体分子密度 (分子数/cm³), k 是 Boltzmann 常数, μ 是漂移气体分子质量 (M) 和离子质量 (m) 的约化质量; T_{eff} 表示离子的有效温度; α 是修正因子; Ω_D 表示有效碰撞截面.

当迁移区长度为 L 时, 离子在迁移谱中的出峰时间 t_d 为

$$t_d = \frac{L}{v} = \frac{L}{KE} = \frac{L^2}{KV}, \quad (2)$$

其中, E , V 分别为迁移区电场强度和电压. 不同化合物的出峰时间 t_d 不同, 扫描信号强度与时间的关系就会得到不同化合物的谱图.

图 1 中给出了漂移管式离子迁移管的结构示意图. 主要包括电离源、电离区、反应区、离子门、迁移区、栅网以及法拉第盘. 在离子迁移管两端加上直流高压, 利用交替放置的电极环和绝缘环将直流高压均匀分配在这一组电极环上面, 从而得到电场强度约 200~400 V/cm 的轴向均匀电场. 样品分子在反应区与试剂离子反应形成样品离子. 然后, 样品离子经过脉冲开启的离子门进入由均匀电场构成的迁移区. 不同分子在迁移区的飞行速度不同, 在不同时间到达检测器, 实现不同物质的检测.

2 离子迁移谱新进展和应用

2.1 新型滴定结构离子迁移管(TR-IMS)

硫磺是黑火药中挥发性最高的成分, 通过测定

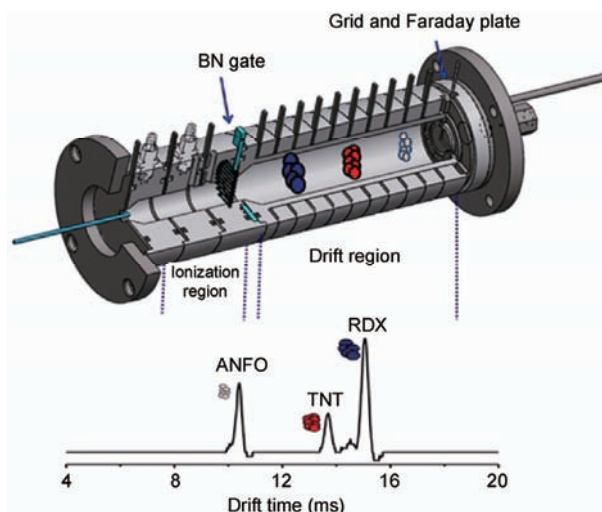


图 1 (网络版彩色) 漂移管式离子迁移管的结构示意图

硫磺来检测黑火药. 但是实验发现, 空气作为载气时, 试剂离子 $O_2^-(H_2O)_n$ 与产物离子 S_3^+ 离子重叠非常严重^[13], 严重影响了硫磺的测定. 而加入含氯的 CH_2Cl_2 可以使试剂离子变为 $Cl^-(H_2O)_n$ 出峰, 位置前移从而避免谱峰重叠; 但由于 Cl^- 的电负性很高, 导致硫磺无法被电离^[13]. 为了实现黑火药的高灵敏检测, 提出了控制不同区域离子反应的思路, 并设计离子滴定区, 其结构示意图如图 2 所示. 在传统迁移管的反应区末端靠近离子门处设计了滴定试剂 CH_2Cl_2 的入口, 在滴定气入口和出口之间形成了一段滴定区域; 在反应区内硫磺与 $O_2^-(H_2O)_n$ 反应形成产物离子 S_3^+ 离子, 而在滴定区内剩余的 $O_2^-(H_2O)_n$ 与 CH_2Cl_2 反应形成 Cl^- 离子. 一方面使得硫磺被 O_2^- 离子在电离反应区高效电离; 另一方面, 残余的 O_2^- 离子在滴定区内与二氯甲烷反应形成 Cl^- 离子, 避免了 O_2^- 离子与对硫磺产物离子的重叠, 提高了选择性和检测灵敏度.

图 3 给出了体积浓度为 20×10^{-6} CH_2Cl_2 作为滴定气时, TR-IMS 测定 5~100 pg 硫磺的谱图(图 3(a)) 和对硫磺的响应曲线(图 3(b)). 可以看出, TR-IMS 不仅实现了硫磺的高选择性检测, 而且通过抑制 CH_2Cl_2 对黑火药电离的负面效应, 提高了检测灵敏度, 对硫磺的测量检出限达到 5 pg, 实现了黑火药、爆竹高灵敏检测. 同时, TR-IMS 也适用于常用的军用硝基爆炸物(硝铵、梯恩梯、太安)的高灵敏检测. 美国 *Science* 杂志在 *Science Now* 栏目对新型 TR-IMS 进行了专门报道.

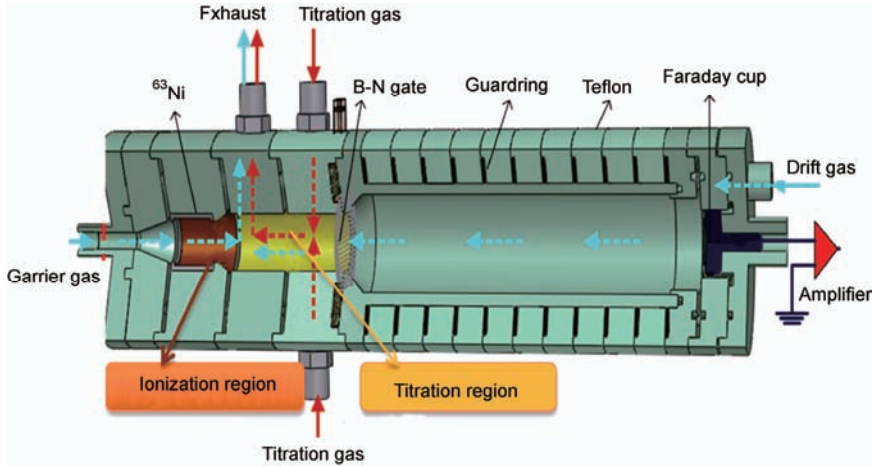


图 2 (网络版彩色)TR-IMS 的结构示意图^[13]

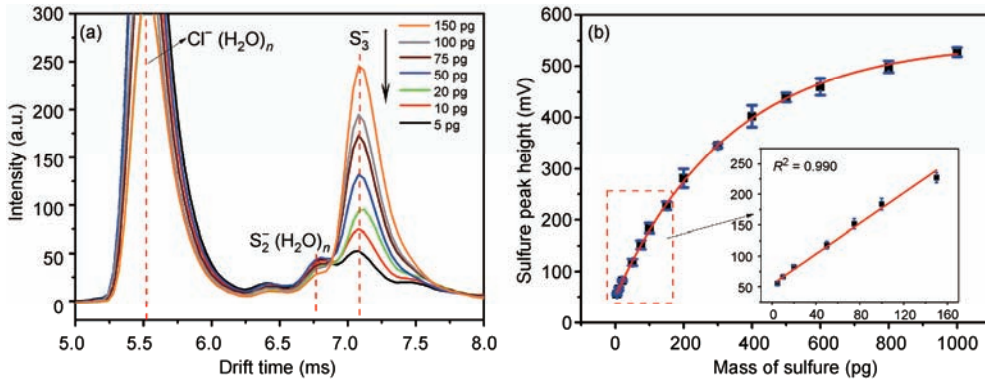


图 3 (网络版彩色)(a) TR-IMS 测定 5~150 pg 硫磺的谱图; (b) 对硫磺的响应曲线^[13]

利用 TR-IMS 测定黑火药、爆竹、铵油炸药 (ANFO)、三硝基甲苯(TNT)和太恩(PETN)的迁移谱图, 如图 4 所示. 可见, 5 ng 黑火药和爆竹的出峰位置相同, 均在 7.08 ms, 表明二者的产物离子均为 S_3^-/S_4^- . 图 4(b)给出了 5 ng 的 ANFO, TNT 和 PETN 谱图, 可见这种新型结构离子迁移谱也可以高灵敏检测其他爆炸物.

2.2 提高离子迁移谱分辨率方法的研究

图 5(a)给出了提高离子迁移谱分辨率的数学模型. 常用离子迁移谱的迁移区电场为恒定值 E_0 , 若在 E_0 上叠加一非均匀电场 $E_i(y)$, 总电场变为 $E(y) = E_0 + E_i(y)$. 其中, y 方向是由法拉第盘指向离子门. 假设 y 方向的电场逐渐降低, 离子片后端离子所处电场就会高于前端离子. 因此, 后端离子具有更大速度, 会逐渐追赶前端离子, 只要后端离子不超过前端离子, 离子片宽度就会逐渐变小, 实现压缩, 从而提高分辨率.

我们发现提高离子门电压, 可以在离子门后形成非均匀电场, 实现离子片压缩, 提高分辨率. 利用 SIMION 软件对离子门关门时离子门后的电场分布进行了模拟研究, 结果如图 5(b)所示. 需要指出, 所用的离子迁移谱的电场强度为 50 V/mm, 而 x 方向是由轴线指向侧壁. 选择两条曲线对离子门后的区域进行划分: 电场强度 $E_y = 0$ 曲线, 称之为清空-发散线; 电场强度 $E_y = E_0 = 50$ V/mm 曲线, 称之为发散-压缩线. 这两条线将离子门后的空间分成了 3 个区域. (1) 清空区. 清空-发散线包围的区域中满足 $E_y < 0$, 关门时位于此区域中的离子将会改变其在 y 轴上的迁移方向而飞向金属丝, 称为清空区. 显然, 关门时位于清空区中的离子不能进入迁移区. (2) 压缩区. 位于发散-压缩线之外的区域中满足 $E_y > E_0 = 50$ V/mm. 关门时处于压缩区中的离子团将会在 y 轴方向上被压缩, 称为压缩区. 关门时位于压缩区中的离子团的后沿会以更快的速度追赶前沿, 因而被压缩.

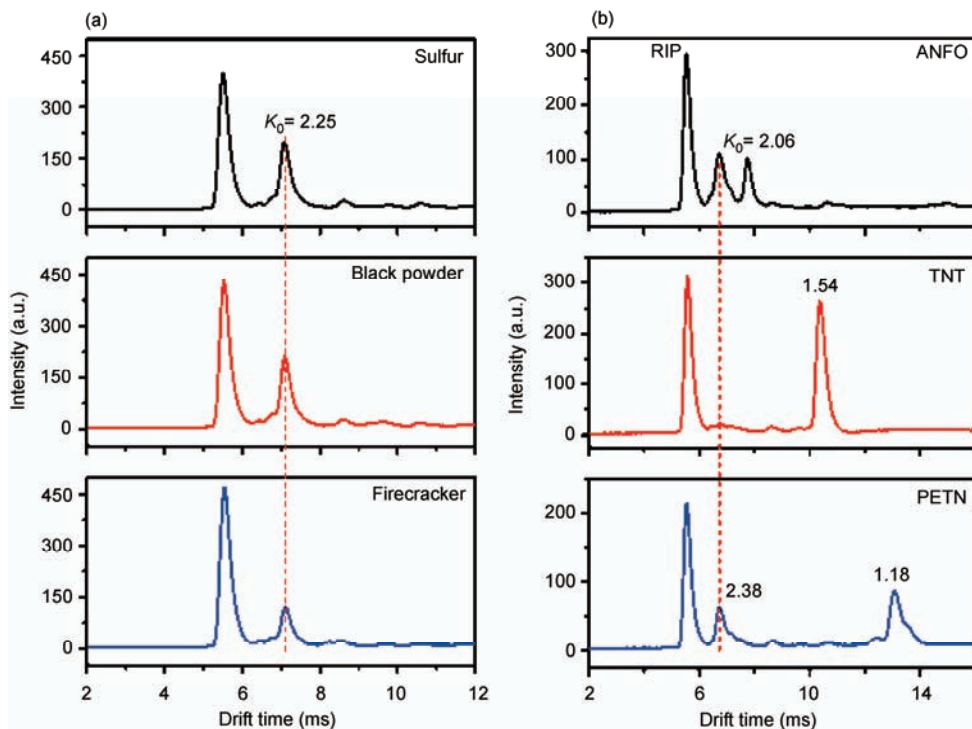


图4 (网络版彩色)(a) TR-IMS 测定 100 pg 硫磺、5 ng 黑火药和 5 ng 爆竹的谱图; (b) TR-IMS 测定 5 ng ANFO, 5 ng TNT 和 5 ng PETN 的谱图^[13]
RIP 为试剂离子峰

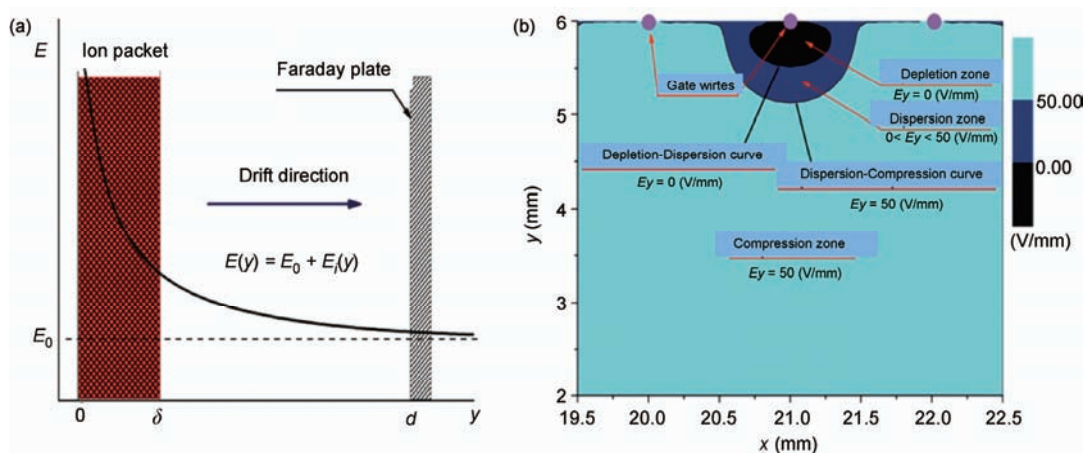


图5 (网络版彩色)(a) 提高离子迁移谱分辨率的数学模型; (b) BN型离子门关门时后电场分布^[15]

(3) 发散区. 位于清空-发散线和发散-压缩线之间的区域满足 $0 < E_y < E_0 = 50 \text{ V/mm}$, 根据散聚模型, 关门时位于此区域中的离子团将会被发散, 称为发散区. 关门时位于该区的离子团, 其后沿会以比前沿更慢的速度飞行, 从而造成展宽.

为了把实际搭建的迁移谱分辨能力与理论预测值进行比较, 我们采用 Kanu 等人^[14]提出的迁移谱分离效

率对搭建仪器的分辨能力进行评价, 其计算方法为

$$\text{迁移谱分离效率} = \frac{R_m}{R_c} \times 100\%. \quad (3)$$

通过计算实验分辨率 R_m 与所能达到的理论分辨率 R_c (即忽略库仑斥力时的计算分辨率) 的比值, 反映出了迁移管的设计水平. 一般而言, 该值越大, 表明迁移管设计水平越高. 目前, 文献报道的离子迁移谱

效率值在 80%左右。

我们先后研制开发了 grid-BN 门和 BN-grid 门 2 种不同结构的离子迁移谱, 显著提高了离子迁移谱的分辨率^[15,16]. 其中, grid-BN 结构式是在传统 BN 离子门前面增加一栅网电极; 而 BN-grid 门结构是在传统 BN 离子门后面增加一栅网电极. 图 6 给出了在 grid-BN 门结构离子迁移谱时不同关门电压时的 R_m/R_c . 在离子门关门电压 $GVD = 50$ V 时, R_m/R_c 达到了 93%; 而在 $GVD = 350$ V 时, R_m/R_c 则达到了 182%. 这意味着随着 GVD 的增加, IMS 的效率不断增加, 远远超越了理论值(100%). 由此, 可以看到增加 GVD 对迁移谱分辨能力具有明显的提升作用. 当 grid 放置于 BN 门前时, BN 门上电压差形成的电场会渗透到迁移区; 为此, 我们将 grid 栅网放置在离子门后, 从而将 GVD 产生的电场局限在离子门与栅网之间, 同时实现了注入电场和迁移电场的分离, 这种结构称为 BN-grid 结构. 如图 6 所示, 相对于 grid-BN 结构, BN-grid 结构使迁移谱分离效率获得了进一步的提高. 例如, 在 $GVD = 50$ V 时, 二者的效率分别为 93.2% 和 119%, 提高了 27.7%; 而在 $GVD = 350$ V 时, 该效率分别达到了 182% 和 221%, 提高了 21.4%. 这充分表明, BN-grid 结构较 grid-BN 结构的迁移管性能获得了很大的提升. 该结果为研制开发高分辨离子迁移谱及离子迁移管微型化提供了有益参考.

为了验证新型结构下离子迁移谱的分离效果, 在离子门开门时间 $GPW = 0.34$ ms, GVD 分别为 50 和 350 V 下测定了二氯甲烷(CH_2Cl_2)、溴仿($CHBr_3$)和碘甲烷(CH_3I)的混合蒸气. 其产物离子 Cl^- , Br^- 及 I^- 的约化迁移率 K_0 分别为 2.90, 2.59 以及 2.50 $cm^2/(V s)$ ^[17].

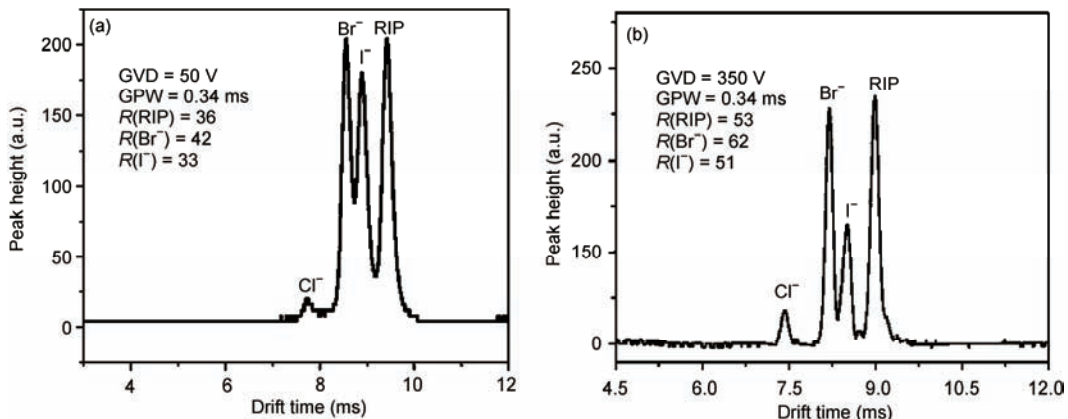


图 7 CH_2Cl_2 , $CHBr_3$ 和 CH_3I 的产物离子谱图^[16]

(a) $GVD=50$ V; (b) $GVD=350$ V

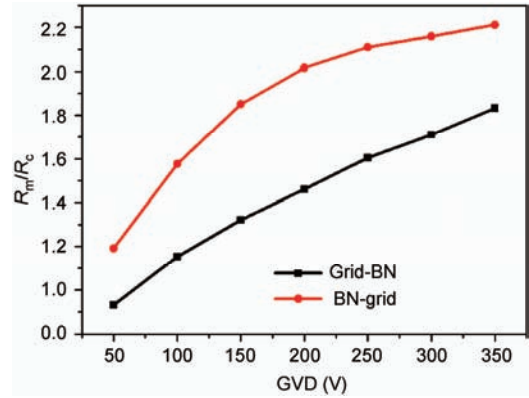


图 6 (网络版彩色)BN-grid 与 grid-BN 结构的离子迁移谱效率比较^[16]

Cl^- 与其他 2 种离子的迁移率差异加大, 比较容易分离; 而 Br^- 及 I^- 的分离则需要分辨率至少为 29 才能实现半峰分离, 而达到完全分离则需要近 60 的分辨率才能实现. 图 7 给出了实验结果. 在 $GVD = 50$ V 时, 3 种离子峰中 Cl^- 与其他 2 种离子基本实现了基线分离, 而 Br^- 和 I^- 以及 RIP 离子则刚能实现半峰分离. 当 $GVD = 350$ V 时, 除 Br^- 和 I^- 外的其他离子实现了完全基线分离. Br^- 和 I^- 的分辨率分别为 62 和 51, 而 RIP 和 Cl^- 的分辨率分别为 53 和 49.

2.3 非放射高效电离源的研究

电离源是离子迁移谱的关键部件之一, 它对离子迁移谱的灵敏度具有决定性影响. 为了克服放射性电离源引起的诸多不便, 我们基于 VUV 灯研制开发了高效非放射性电离源(UVRI), 如图 8 所示. 该电离源在正离子模式下, 利用 VUV 的单光子电离实现

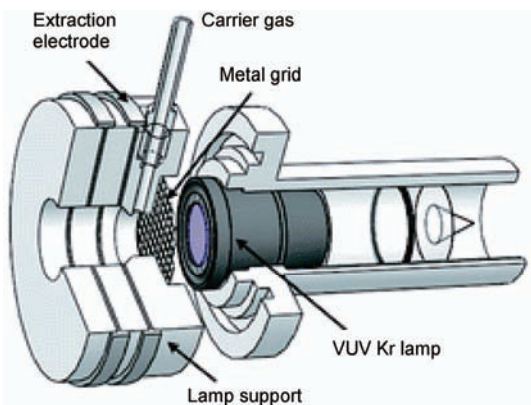


图8 (网络版彩色)基于VUV灯开发的新型非放射性电离源结构示意图^[18]

低电离能化合物的正离子检测; 另外, 负离子模式下, 利用VUV电离过程中电离化合物或照射金属表面产生的电子形成负离子试剂离子 CO_3^- , 利用该试剂离子可以实现常见爆炸物的高效电离^[18,19].

利用该非放射性电离源, 在负离子模式下对其电离常见爆炸物的性能进行了研究. ANFO, 吉纳(DINA), PETN 和 RDX 形成的离子迁移谱图展示在图9中. 在ANFO, DINA 和 PETN 这3种炸药离子迁移谱图中都仅观察到一个产物离子峰, 产物离子峰对应的约化迁移率值分别为 2.25, 1.44 和 1.27 $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$. 图10给出了ANFO, TNT 和 DINA 在新型非放射性离子源中的响应信号强度和其浓度之间的关系. ANFO 的响应范围为 0.02~10 ng, 而线性范围为 0.05~10 ng, 根据 $S/N = 3$ 计算得到的检测限可达 10 pg. TNT 的响应范围为 0.2~100 ng, 而线性范围为 0.2~20 ng, 根据 $S/N = 3$ 计算得到的检测限可达 80 pg.

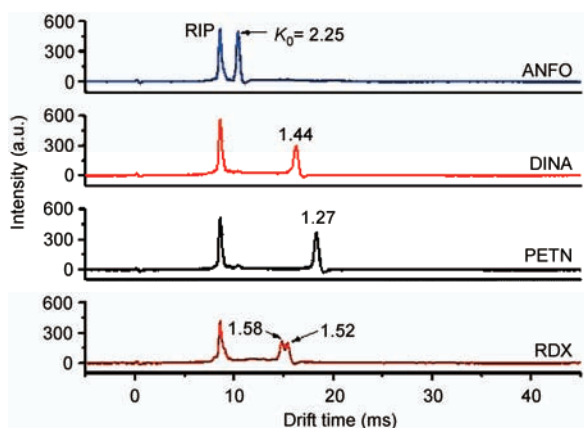


图9 (网络版彩色)10 ng ANFO, 10 ng DINA, 10 ng PETN 和 10 ng RDX 的离子迁移谱图^[18]

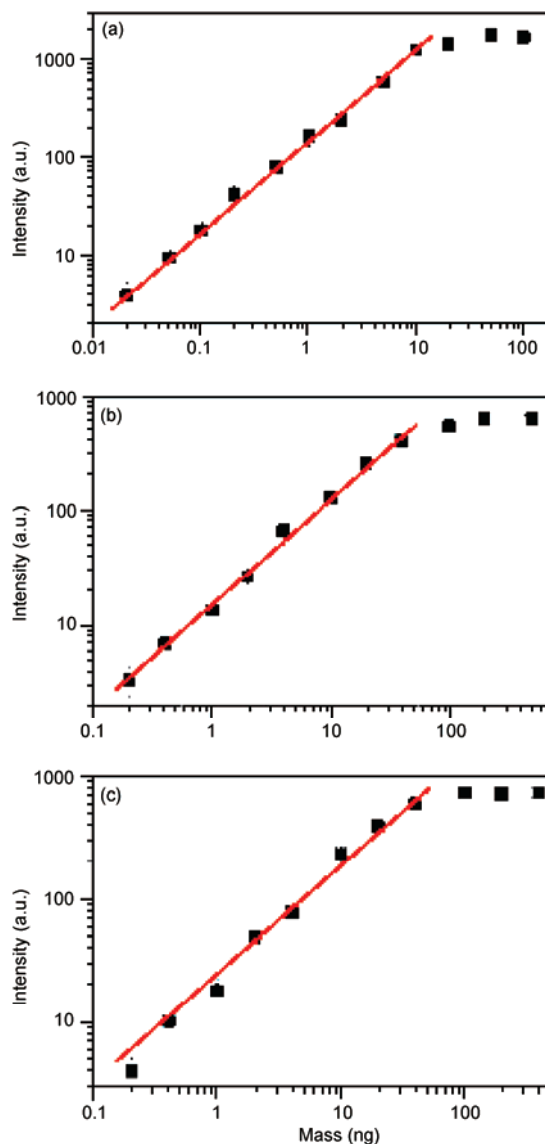


图10 (网络版彩色)(a) ANFO, (b) TNT 和(c) DINA 的响应曲线和线性响应范围^[19]

ANFO 的响应范围为 0.2~100 ng, 而线性范围为 0.2~20 ng, 根据 $S/N = 3$ 计算得到的检测限可达 100 pg.

实验结果表明, 相同量的 ANFO, DINA, PETN 和 RDX 在 UVRI-IMS 中的响应信号强度要明显高于在 ^{63}Ni -IMS 中的响应信号强度. 如图 11(a)所示, 1 ng 的 ANFO 在 UVRI-IMS 中的信号强度大约为 59 mV, 约是其在 ^{63}Ni -IMS 中信号强度的 2 倍. 对于 1 ng 的 DINA 和 RDX, 它们在 UVRI-IMS 中的信号强度大约为其在 ^{63}Ni -IMS 中信号强度的 2 倍和 1.5 倍. 图 11(b)给出了 UVRI 和 ^{63}Ni 对 PETN 检测结构的对比, 在 UVRI-IMS 中的信号强度大约为 70 mV,

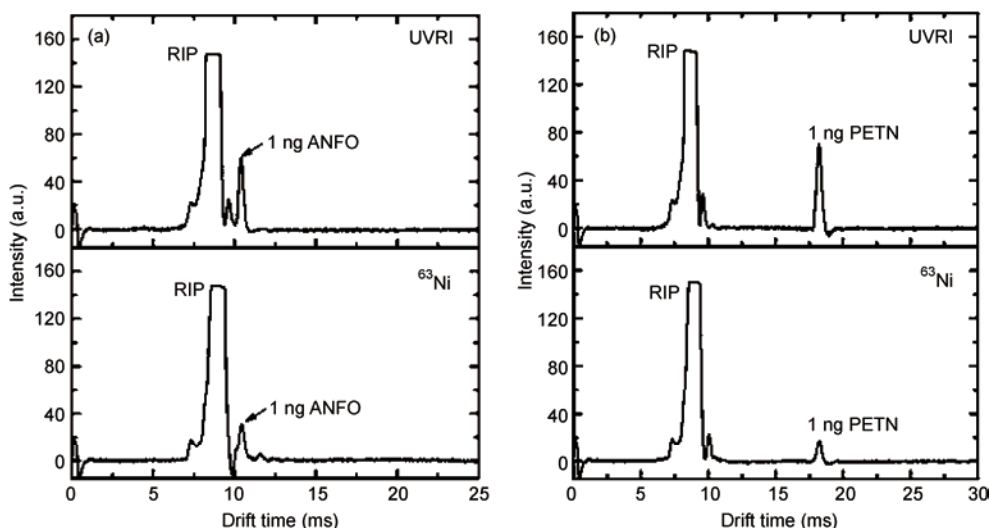


图 11 (a) 1 ng ANFO 和(b)1 ng PETN 在新型非放射性离子源 UVRI-IMS 和 ^{63}Ni -IMS 中的响应信号^[18]

在 ^{63}Ni -IMS 中信号强度仅仅为 15 mV; UVRI 高了 4 倍多. 实验结果表明, PETN 在 UVRI-IMS 中的检测限达到 45 pg, 远低于使用 ^{63}Ni -IMS 时的检出限 190 pg.

3 结束语

本文介绍了离子迁移谱的新技术及其在爆炸物检测中的应用. 近年来, 恐怖事件中出现了许多新型爆炸物, 典型代表是过氧化物爆炸物, 如三过氧化三丙酮(TATP)、二过氧化二丙酮(DADP)、六亚甲基三

过氧化二胺(HMTD)等. 由于此类爆炸物的原料易得、制作方法简单, 被恐怖分子大量使用. 因此, 需要针对这类化合物研究新型高效电离源和检测方法. 而离子迁移谱的微型化、智能化、网络化、以及利用识别算法实现复杂环境中爆炸物的准确识别、避免误报等也是重要发展方向. 此外, 离子迁移谱在蛋白组学分析、医疗卫生领域、食品医药安全、过程监测等诸多领域的应用也越来越多^[20-22], 有望成为具有重要价值的研究工具.

参考文献

- 1 Caygill J S, Davis F, Higson P J. Current trends in explosive detection techniques. *Talanta*, 2012, 88: 14-29
- 2 Ewing R G, Atkinson D A, Eiceman G A, et al. A critical review of ion mobility spectrometry for the detection of explosives and explosive related compounds. *Talanta*, 2001, 54: 515-529
- 3 Armenta S, Alcalá M, Blanco M. A review of recent, unconventional applications of ion mobility spectrometry (IMS). *Analy Chim Acta*, 2011, 703: 114-123
- 4 Eiceman G A, Karpas Z. *Ion Mobility Spectrometry*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005
- 5 Borsdorf H, Eiceman G A. *Ion mobility spectrometry: Principles and application*. *Appl Spectrosc Rev*, 2006, 41: 323-375
- 6 Johnson P V, Beegle L W, Kim H I, et al. Ion mobility spectrometry in space exploration. *Int J Mass Spectrom*, 2007, 262: 1-15
- 7 Vautz W, Bödeker B, Baumbach J I, et al. An implementable approach to obtain reproducible reduced ion mobility. *Int J Ion Mobil Spectr*, 2009, 12: 47-57
- 8 Shvartsburg A A. *Differential Ion Mobility Spectrometry*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, LLC, 2009
- 9 Kolakowski B M, Mester Z. Review of applications of high-field asymmetric waveform ion mobility spectrometry (FAIMS) and differential mobility spectrometry (DMS). *Analyst*, 2007, 132: 842-864
- 10 时迎国, 邵士勇, 李安林, 等. 迁移管的电场强度对真空紫外电离-离子迁移谱仪性能的影响. *分析化学*, 2006, 34: 1353-1356
- 11 Dong C, Wang W G, Li H Y. Atmospheric pressure air direct current glow discharge ionization source for ion mobility spectrometry. *Anal Chem*, 2008, 80: 3925-3930
- 12 Du Y Z, Zhang W, Whitten W, et al. Membrane-extraction ion mobility spectrometry for in situ detection of chlorinated hydrocarbons in water. *Anal Chem*, 2010, 82: 4089-4096

- 13 Liang X X, Zhou Q H, Wang W G, et al. Sensitive detection of black powder by a stand-alone ion mobility spectrometer with an embedded titration region. *Anal Chem*, 2013, 85: 4849–4852
- 14 Kanu A B, Gribb M M, Hill H H. Predicting optimal resolving power for ambient pressure ion mobility spectrometry. *Anal Chem*, 2008, 80: 6610–6619
- 15 Du Y Z, Wang W G, Li H Y. Resolution enhancement of ion mobility spectrometry by improving the three-zone features of the Bradbury-Nielsen gate. *Anal Chem*, 2011, 84: 1725–1731
- 16 Du Y Z, Wang W G, Li H Y. Bradbury-nielsen-gate-grid structure for further enhancing the resolution of ion mobility spectrometry. *Anal Chem*, 2012, 84: 5700–5707
- 17 Shumate C, Stlouis R H, Hill H H. Table of reduced mobility values from ambient pressure ion mobility spectrometry. *J Chromatogr*, 1986, 373: 141–173
- 18 Chen C, Dong C, Du Y Z, et al. Bipolar ionization source for ion mobility spectrometry based on vacuum ultraviolet radiation induced photoemission and photoionization. *Anal Chem*, 2010, 82: 4151–4157
- 19 Cheng S S, Dou J, Wang W G, et al. Dopant-assisted negative photoionization ion mobility spectrometry for sensitive detection of explosives. *Anal Chem*, 85: 319–326
- 20 Seo Y J, Andaya A, Bleiholder C, et al. Differentiation of CC vs CXC chemokine dimers with GAG octasaccharide binding partners: An ion mobility mass spectrometry approach. *J Am Chem Soc*, 2013, 135: 4325–4332
- 21 Warnke S, Helden G, Pagel K. Protein structure in the gas phase: The influence of side-chain microsolvation. *J Am Chem Soc*, 2013, 135: 1177–1180
- 22 Zhou Q, Wang W, Cang H, et al. On-line measurement of propofol using membrane inlet ion mobility spectrometer. *Talanta*, 2012, 98: 241–246

Development of ion mobility spectrometry and its application for detection trace explosives

WANG WeiGuo¹, LIANG XiXi^{1,2}, CHENG ShaSha^{1,2}, CHEN Chuang^{1,2}, WEN Meng^{1,2}, PENG LiYing^{1,2}, ZHOU QingHua^{1,2} & LI HaiYang¹

¹ Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China;

² University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Ion mobility spectrometry is widely used for detection of explosives in the field of airport and in the war against terror due to its satisfactory features: fast response, high sensitivity, good portability, easy operation, etc. This paper introduced the principle, classification and also their features of ion mobility spectrometry; also mainly introduced recent developments of technique for detection of explosives in our laboratory including titration region-ion mobility spectrometry, new method to improve the resolution of ion mobility spectrometry and also the nonradioactive high-efficiency ionization source based on VUV lamp. Finally, the development tendency and prospect of ion mobility spectrometry for detection of explosives was predicted.

ion mobility spectrometry, explosive, titration-region drift tube, high resolution, ionization source

doi: 10.1360/972013-1042