

本文引用格式: 赖明,黄栋,张华伟,等.极板形四极杆质量分析器性能模拟及优化研究[J].自动化与信息工程,2026,47(2):46-54.

LAI Ming, HUANG Dong, ZHANG Huawei, et al. Performance simulation and optimization study of a plate-type quadrupole mass analyzer[J]. Automation & Information Engineering, 2026,47(2):46-54.

极板形四极杆质量分析器性能模拟及优化研究*

赖明¹ 黄栋² 张华伟² 陈启愉² 谭国斌³ 曹明轩¹

(1.五邑大学机械与自动化工程学院, 广东 江门 529020

2.广东省科学院智能制造研究所/广东省现代控制技术重点实验室, 广东 广州 510070

3.广州禾信仪器股份有限公司, 广东 广州 510535)

摘要: 随着质谱检测技术应用领域不断扩大, 质谱仪正朝着小型化、便携式方向发展。针对应急快速检测场景对质谱仪便携性的需求, 提出一种小型化的极板形四极杆质量分析器, 并设计了极板的宽度、厚度等参数。利用多物理场耦合分析软件分析极板的宽度、厚度对离子传输效率的影响; 探究在宽质量范围(10~150 amu)内马修参数 a 、射频频率 f 、离子入射能量 E 对极板形四极杆质量分析器离子传输效率的影响。仿真结果显示: 当质荷比为 40 amu 时, 随着极板宽度增加, 离子传输效率增大; 在宽质量范围(10~150 amu)内, 采用极板宽度 W 为 10.5 mm、极板厚度 H 为 2 mm、马修参数 a 为 0.17、射频频率 f 为 1.6 MHz、离子入射能量 E 为 4 eV 的最优参数组合时, 极板形四极杆质量分析器的离子传输效率均达到 80% 以上, 可满足环境、土壤重金属等快速质谱检测的需求。

关键词: 极板形四极杆质量分析器; 离子传输效率; 马修参数; 射频频率; 离子入射能量

中图分类号: TH843

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2026)02-0006-09

DOI: 10.12475/aie.20260206

开放获取

Performance Simulation and Optimization Study of a Plate-type Quadrupole Mass Analyzer

LAI Ming¹ HUANG Dong² ZHANG Huawei²
CHEN Qiyu² TAN Guobin³ CAO Mingxuan¹

(1.School of Mechanical and Automation Engineering, Wuyi University, Jiangmen 529020, China 2.Institute of Intelligent Manufacturing, Guangdong Academy of Science/Guangdong Key Laboratory of Modern Control Technology, Guangzhou 510070, China 3.Guangzhou Hexin Instrument Co., Ltd., Guangzhou 510535, China)

Abstract: As the application fields of mass spectrometry continue to expand, mass spectrometers are increasingly moving toward miniaturization and portability. To meet the portability requirements of mass spectrometers for rapid on-site detection scenarios, a miniaturized plate-type quadrupole mass analyzer is proposed, and parameters such as plate width and thickness are designed. A multi-physics coupling simulation software is used to analyze the influence of plate width and thickness on ion transmission efficiency. The effects of the Mathieu parameter a , radio frequency f , and ion injection energy E on the ion transmission efficiency of the plate-type quadrupole mass analyzer over a wide mass range (10-150 amu) are investigated. Simulation results show that for a mass-to-charge ratio of 40 amu, the ion transmission efficiency increases with increasing plate width. Within the wide mass range (10-150 amu), using the optimal parameter combination of plate width $W = 10.5$ mm, plate thickness $H = 2$ mm, Mathieu parameter $a = 0.17$, radio frequency $f = 1.6$ MHz, and ion injection energy $E = 4$ eV, the ion transmission efficiency of the plate-type quadrupole mass analyzer reaches above 80%. This performance meets the requirements for rapid mass spectrometry detection in applications such as environmental and soil heavy metal analysis.

Keywords: plate-type quadrupole mass analyzer; ion transmission efficiency; Mathieu parameter; radio frequency; ion incident energy

0 引言

质谱仪通过测量样品中离子的质荷比来对物质进行定性与定量分析,其主要由离子源、质量分析器、检测器、数据处理系统等组成。其中,离子源将待测样品转化为离子;质量分析器利用电场将离子按质荷比进行分离;检测器接收分离的离子,并将其转换成可测量的电信号(电信号强度与接收到的离子数量成正比);数据处理系统对接收的电信号进行放大、滤波、数字化处理,最终生成以质荷比为横坐标、离子强度为纵坐标的质谱图。根据质量分析器种类的不同,质谱仪主要分为四极杆质谱仪、飞行时间质谱仪、离子阱质谱仪等。其中,四极杆质谱仪具有灵敏度高、结构简单、价格相对便宜等特点^[1],被广泛应用于环境监测、食品安全、生命科学与医药等领域^[2-3]。

传统的四极杆质谱仪体积庞大,难以满足环境、公共安全等场景快速检测的需求^[4]。因此,推进四极杆质谱仪小型化已成为其扩展应用的关键。四极杆质量分析器是四极杆质谱仪的核心部件,其由4根金属极杆对称排列成两组构成,可产生四极场作为质量过滤器,仅允许特定质荷比的离子稳定通过。近年来,研究者探索了电极形状对电场分布的影响,发现高阶多极场对离子传输效率的影响有限,主导电场仍为理想的四极场^[5-6]。因此,在四极杆质谱仪小型化过程中,四极杆质量分析器小型化且保持高检测性能至关重要^[7]。

尽管四极杆质量分析器小型化研究已取得一定进展^[8],但多数研究仅针对单一质荷比离子,其结果难以推广至宽质量范围的实际应用。文献^[9]虽设计了一种可检测宽质量范围的四极杆质量分析器,但仅通过理论计算与仿真验证其可检测质荷比为1 000 amu的离子,在宽质量范围内的普适性有待验证。宽质量范围内离子的动力学差异明显,需研究核心参数对其传输效率的影响。然而,现有四极杆质量分析器多采

用双曲面或圆柱形电极,离子有效通道有限。为保证偏转空间需增大四极杆质量分析器的体积,这不利于四极杆质谱仪小型化。

为此,本文提出极板形四极杆质量分析器,以极板形电极替代传统电极,并通过仿真分析确定其最优几何参数,探究其在宽质量范围内的离子传输性能,为四极杆质谱仪小型化设计提供理论与数据支撑。

1 电场

本文提出的极板形四极杆质量分析器由4个截面相同的矩形极板组成,其电压施加示意图如图1所示。

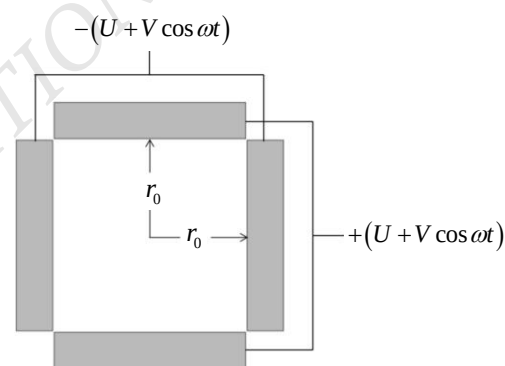


图1 极板形四极杆质量分析器电压施加示意图

在极板形四极杆质量分析器的相对2个极板上施加频率、幅值、极性均相同的射频电压;相邻2个极板上施加频率、幅值均相同,但极性相反的射频电压,其总电势可表达为

$$\varphi = U + V \cos \omega t$$

式中: φ 为施加在极板上的电势, U 为直流电压, V 为射频电压幅值, ω 为射频电压角频率。

理想双曲面电极产生的空间电位分布为

$$\Phi(x, y, t) = (U + V \cos \omega t) \frac{x^2 - y^2}{r_0^2} \quad (1)$$

式中: r_0 为场半径,即四极场中心到电极的最小

距离。

该空间电位满足拉普拉斯方程，即离子在该电场所受的力与其到四极场中心的距离呈线性变化。

相较于双曲面电极，极板形四极杆质量分析器引入了除四极场外的多极场，对离子会产生非线性共振作用^[10]。此时，其电位分布为

$$\Phi(x, y, t) = (U + V \cos \omega t) \sum_{n=1}^{\infty} A_{2n} \frac{\text{Re}[(x^2 - y^2)^{2n}]}{r_0^{2n}} \quad (2)$$

式中： $\text{Re}(f)$ 为函数 f 的实部； A_{2n} 为 $4n$ 多极场权重，当 $n=1$ 时， A_{2n} 为四极场权重，当 $n=2$ 时， A_4 为八极场权重等。

由于极板形四极杆质量分析器以四极场为主，多极场占比较小，因此公式(2)仅保留 $n=1$ 项，其电位分布近似为

$$\Phi(x, y, t) \approx A_2 (U + V \cos \omega t) \frac{x^2 - y^2}{r_0^2} \quad (3)$$

离子沿四极杆质量分析器的 Z 轴方向进入电场，在 $F = -e\Delta\Phi$ 力作用下振荡前进。不同质荷比的离子需在特定的电参数（如射频电压幅值、频率）下才能稳定通过四极场，其运动方程由牛顿第二定律给出：

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -e \frac{\partial \Phi}{\partial x} = -\frac{2eA_2(U + V \cos \omega t)}{r_0^2} x \quad (4)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -e \frac{\partial \Phi}{\partial y} = -\frac{2eA_2(U + V \cos \omega t)}{r_0^2} y \quad (5)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = 0 \quad (6)$$

引入无量纲时间 $\xi = \omega t / 2$ ，并定义参数：

$$a = \frac{8eA_2 U}{m\omega^2 r_0^2} \quad (7)$$

$$q = \frac{4eA_2 V}{m\omega^2 r_0^2} \quad (8)$$

运动方程(4)~(6)转换为标准的马修方程：

$$\frac{d^2 x}{d\xi^2} + (a - 2q \cos 2\xi)x = 0 \quad (9)$$

$$\frac{d^2 y}{d\xi^2} + (a - 2q \cos 2\xi)y = 0 \quad (10)$$

$$\frac{d^2 z}{d\xi^2} = 0 \quad (11)$$

马修方程(9)~(11)描述了离子在极板形四极杆质量分析器四极场中的运动，其形式与理想双曲面电极四极场的形式一致，仅参数 A_2 不同。

四极场第一稳定区（ a - q 平面上稳定解的区域）如图2所示。

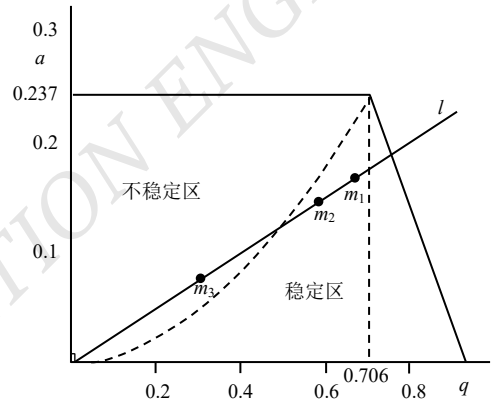


图2 四极场第一稳定区

四极场第一稳定区与理想双曲面电极情况相似，在该稳定区内的离子能够稳定通过四极场到达检测器。

图2中直线（质量扫描线 l ）的表达式为

$$\lambda = \frac{U}{V} \quad (12)$$

当 λ 固定时，质量扫描线上的点随 U 增大 V 也增大，质量扫描线越靠近第一稳定区的顶点 $(a, q) = (0.237, 0.706)$ ，分辨率越高。质量扫描线与 a 、 q 边界交点间的离子能够稳定通过四极场到达检测器；而其他离子则在四极场中撞击极板消失或碰撞产生子离子。根据该理论，图2中的 m_1 、 m_2 离子能够稳定通过四极场； m_3 离子在第一稳定区外，无法稳定通过四极场。

2 有限元建模

假设极板的厚度 H 、宽度 W 、长度 L 分别为 2.0、10.5、152.0 mm，极板到四极场中心的最小距离为 5.325 mm，则极板形四极杆质量分析器的三维模型如图 3 所示。

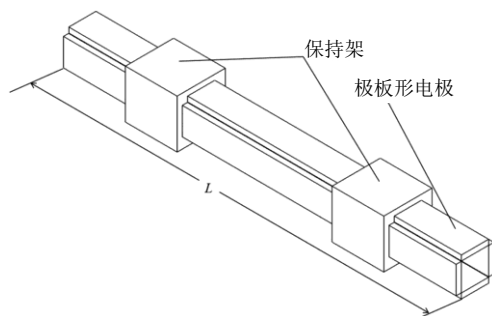


图 3 极板形四极杆质量分析器的三维模型

为高效仿真电场分布与离子轨迹，本文采用多物理场耦合分析软件建立极板形四极杆质量分析器的仿真模型。简化极板形四极杆质量分析器的三维模型，仅保留极板电极、离子入口、真空电场域、离子出口。简化后的极板形四极杆质量分析器仿真模型如图 4 所示。

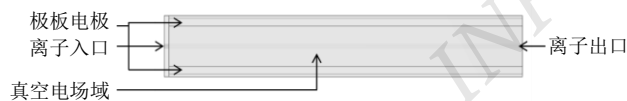


图 4 简化后的极板形四极杆质量分析器仿真模型

在有限元仿真计算中，网格划分质量直接影响计算精度与收敛性。由于极板形四极杆质量分析器仿真模型的几何结构相对规则，本文采用扫掠网格结合局部细化的方法进行网格划分，如图 5 所示。

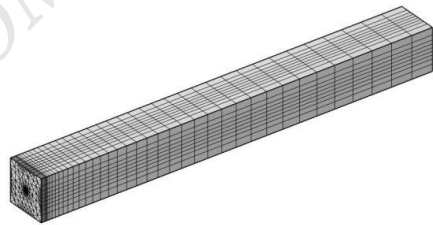


图 5 极板形四极杆质量分析器的网格划分

为模拟离子的运动轨迹与传输效率，需在极板形

四极杆质量分析器仿真模型中设置边界条件，具体设置如下：在四极场中心创建一个半径为 0.5 mm 的圆形区域，作为离子释放区域；在一个射频周期内释放 10 次离子；在极板形四极杆质量分析器另一端的离子出口处设置离子数量统计边界，用于计算离子传输效率。极板形四极杆质量分析器仿真模型的边界参数如表 1 所示。

表 1 极板形四极杆质量分析器仿真模型的边界参数

参数名称	数值
马修参数 a 、 q	0.17、0.66
射频频率 f/MHz	1.6
射频电压 V/V	196
直流电压 U/V	25
质荷比 $(m/z)/\text{amu}$	40
离子入射能量 E/eV	4
粒子数量	1 000

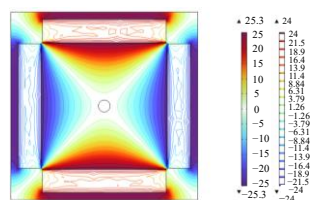
本文采用全局参数定义直流电压 U 与射频电压 V 。在后续研究中，直流电压 U 与射频电压 V 随相关参数的变化自动更新。

3 仿真结果与讨论

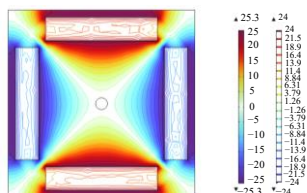
灵敏度是质谱仪的关键性能指标之一，用于评价对特定离子的检测能力（检测器接收的信号强度），在仿真研究中用离子传输效率表示。离子传输效率是离子通过极板形四极杆质量分析器到达离子出口的数量与释放总数的比值，其值越大，质谱仪灵敏度越高。本文通过离子传输效率评价极板形四极杆质量分析器的性能。

3.1 电场分析

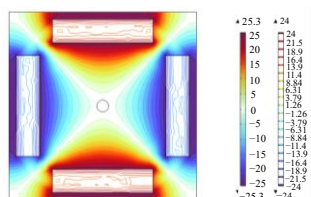
极板形四极杆质量分析器的极板几何尺寸变化，会在四极场中心区域引入高阶场分量，导致离子发生剧烈的径向振荡，从而使离子在到达检测器前撞击极板消失。为了直观分析极板宽度对电场分布的影响，在简化后的极板形四极杆质量分析器仿真模型中分别提取极板宽度为 10.5、9.5、8.5 mm 的四极场数据，其四极场分布如图 6 所示。



(a) 极板宽度 10.5 mm



(b) 极板宽度 9.5 mm



(c) 极板宽度 8.5 mm

图 6 不同极板宽度的四极场分布图

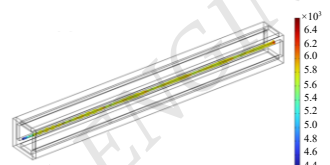
由图 6 可知：3 种极板宽度的四极场等势线分布均匀；当极板宽度增大时，四极场呈由中心向四周逐渐增强的分布特征；当极板宽度减小时，四极场边缘区域产生明显的电场畸变。

3.2 离子运动轨迹分析

质荷比为 40 amu 的离子在极板宽度分别为 10.5、9.5、8.5 mm 时的运动轨迹如图 7 所示。



(b) 极板宽度 9.5 mm



(c) 极板宽度 8.5 mm

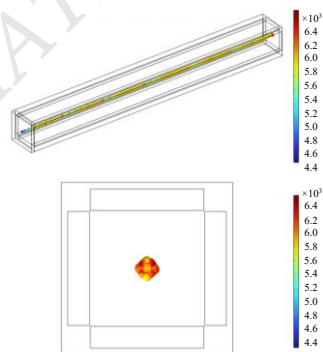
图 7 不同极板宽度的离子运动轨迹

由图 7 可知：离子在 3 种极板宽度的四极场内偏转振荡前进，并在离子出口处聚焦，最终在离子数量统计边界上被统计；当极板宽度增加至 10.5 mm 时，离子出口处的聚焦效果更明显；经离子传输效率公式计算，该离子在极板宽度分别为 10.5、9.5、8.5 mm 时的传输效率分别为 88%、87%、85%，这与电场分析中极板宽度较小时存在电场畸变，导致离子传输效率下降的结果一致。

然而，上述分析仅针对质荷比为 40 amu 的单一离子展开，在实际质谱检测中常需覆盖较宽的质量范围，后续将研究极板形四极杆质量分析器在宽质量范围内的离子传输效率。

4 离子传输效率的影响因素

极板形四极杆质量分析器的离子传输效率受极板几何尺寸与施加电压参数（马修参数、射频频率）的耦合影响，同时还与离子入射能量有关。因此，研



(a) 极板宽度 10.5 mm

发高性能的质量分析器需进行多个变量参数的协同优化, 以实现离子传输效率的最大化。

4.1 极板几何尺寸

在仿真分析时, 释放质荷比为 40 amu 的离子 10 个, 通过分别改变极板的宽度 (8.5、9.5、10.5 mm) 与厚度 (2、4、6、8 mm), 对比分析极板形四极杆质量分析器的极板几何尺寸对离子传输效率的影响, 仿真结果如图 8 所示。

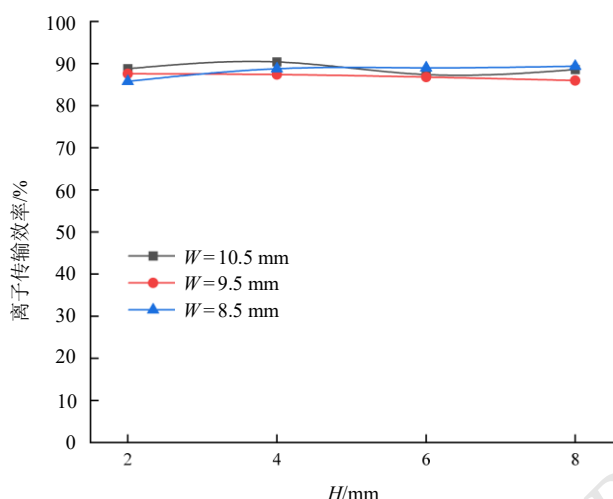


图8 极板宽度与厚度对离子传输效率的仿真结果影响

由图 8 可知, 极板宽度、厚度对离子传输效率的影响不大, 离子传输效率均在 80% 以上。

然而, 在极板宽度相同时, 随着极板厚度逐渐增大, 极板体积也不断增大, 不利于四极杆质谱仪小型化, 因此选用较小厚度的极板更为合适。但极板宽度过小会引起明显的电场畸变, 不利于离子传输。综合考虑极板形四极杆质量分析器小型化与离子传输效率, 后续对宽质量范围 (10~150 amu) 的离子仿真采用极板宽度为 10.5 mm、厚度为 2 mm。

4.2 马修参数 a

根据马修方程 (公式(9)~(11)), 当极板形四极杆质量分析器的直流电压 U 和射频电压 V 确定后, 在第一稳定区内能够找到一个点, 处于该点的离子可稳定通过极板形四极杆质量分析器的四极场。为探究马修参数 a 在宽质量范围 (10~150 amu) 内对离子传输效率的影响, 其由 0.17 递增至 0.21, 固定马修参数 q

及其他参数不变, 得到极板形四极杆质量分析器的离子传输效率仿真结果如图 9 所示。

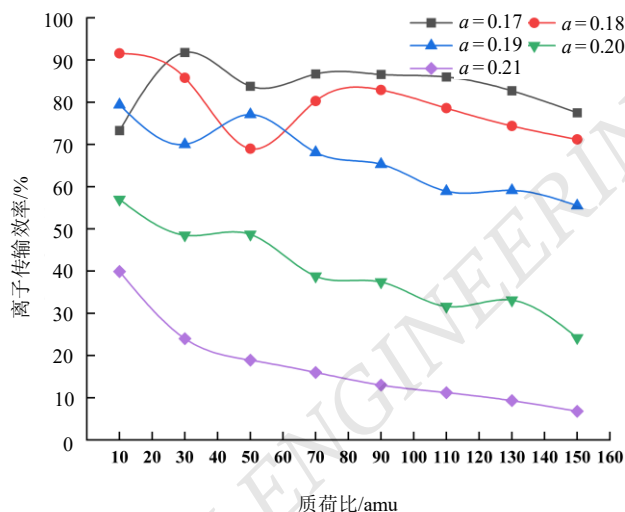


图9 不同马修参数 a 的离子传输效率仿真结果

由图 9 可知: 在宽质量范围 (10~150 amu) 内, 当质荷比相同时, 随着马修参数 a 增大, 离子传输效率整体呈下降趋势; 当马修参数 a 相同时, 在低质量范围 (10~80 amu) 内, 离子传输效率出现振荡现象, 这是因为低质荷比离子在进入四极场时受到边缘场的影响, 以及在过渡区域受压强差的缘故; 随着质荷比增大, 离子传输效率整体呈现下降趋势。

根据图 2 可知, 当马修参数 q 不变, a 增大时, 质量扫描线向上偏移。当 $a = 0.21$ 时, 质量扫描线与第一稳定区两个边界的交点线段变短, 即能够通过四极场的离子种类减少。综上所述, 较小马修参数 a 更有利于提升离子传输效率, 较高质荷比的离子能够更稳定地通过四极场。

4.3 射频频率 f

由公式(7)、(8)可知, 射频频率会影响直流电压 U 和射频电压 V 。当马修参数 a 固定时, 随着质荷比增大, U 和 V 均会增大, 致使极板形四极杆质量分析器的电场分布发生改变, 进而影响离子传输效率。为探索射频频率在宽质量范围 (10~150 amu) 内对离子传输效率的影响, 在 $a = 0.17$, 射频频率分别为 0.8、1、2、3、4 MHz, 其他参数保持不变时, 极板形四极杆质量分析器的离子传输效率仿真结果如图 10 所示。

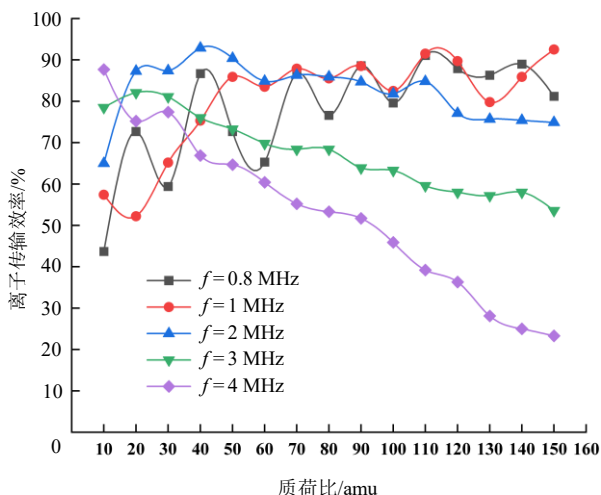


图 10 不同射频频率的离子传输效率仿真结果

由图 10 可知：当射频频率小于 1 MHz 时，随着质荷比增大，离子传输效率整体呈上升趋势；当射频频率大于 2 MHz 时，随着质荷比增大，离子传输效率整体呈下降趋势，表明较高的射频频率对低质荷比离子（小于 70 amu）传输效率较高，最高可达 90% 以上；当射频频率为 4 MHz 时，随着质荷比增大，离子传输效率下降明显，仅为 20% 左右，由此可见，过低的射频频率不利于低质荷比离子传输，过高的射频频率不利于高质荷比离子传输，因此，选择射频频率的范围为 1~2 MHz 较为合适。

对宽质量范围（10~150 amu）离子在 1.2~1.8 MHz 射频频率范围内的离子传输效率进行仿真计算，结果如图 11 所示。

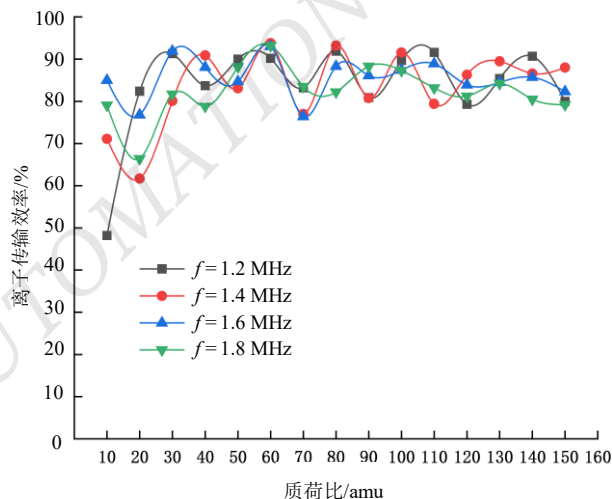


图 11 射频频率在 1.2~1.8 MHz 下的离子传输效率仿真结果

由图 11 可知，除射频频率为 1.2 MHz、质荷比为 10 amu 时，因离子共振吸收导致离子传输效率仅为 48% 外，其余所有质荷比-射频频率组合的离子传输效率均在 60% 以上，表明在该离子频段的发散程度较小，验证了射频频率为 1~2 MHz 时更有利于离子传输的结论。

4.4 离子入射能量 E

离子入射能量决定了离子进入极板形四极杆质量分析器的初始速度。在实际检测场景中，受前级离子光学聚焦系统的影响，离子进入极板形四极杆质量分析器时具有一定的散射角度，导致离子径向速度能量增大，离子振荡幅度增加，离子撞击极板的概率增大。本节主要探讨轴向离子入射能量对离子传输效率的影响。

当离子入射能量较大时，离子在极板形四极杆质量分析器内的运动周期数较少，离子到达检测器的时间较短，灵敏度较高；当离子入射能量较小时，离子在极板形四极杆质量分析器内的运动周期数较多，有利于提高分辨率，但会导致离子在未达到检测器前因振荡被极板吸收，致使灵敏度下降。为探究轴向离子入射能量（1~5 eV）在宽质量范围（10~150 amu）内对离子传输效率的影响，释放离子时仅设置离子沿轴向运动的能量，其他方向能量均为 0。极板形四极杆质量分析器的离子传输效率仿真结果如图 12 所示。

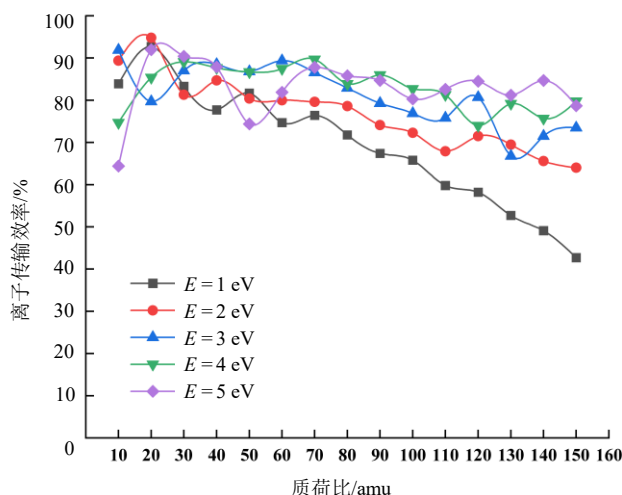


图 12 不同离子入射能量的离子传输效率仿真结果

由图 12 可知：在特定质荷比条件下，离子传输效率随离子入射能量的增大而增大；在宽质量范围（10~150 amu）内，相同离子入射能量下，离子传输效率随离子质荷比的增加呈下降趋势，这是因为相同离子入射能量下，离子的质量与速度的平方根成反比，大质量离子的速度相对较小，导致离子在到达检测器前被极板吸收；当离子入射能量为 3~5 eV 时，在宽质量范围内，离子传输效率均达到 80% 以上，表明提高离子入射能量能够提升离子传输效率。

4.5 仿真验证

基于上述对极板形四极杆质量分析器离子传输效率的影响因素分析，确定极板形四极杆质量分析器的最优参数组合为：极板宽度 W 为 10.5 mm、极板厚度 H 为 2 mm、马修参数 a 为 0.17、射频频率 f 为 1.6 MHz、离子入射能量 E 为 4 eV。为验证该组参数在宽质量范围（10~150 amu）内的适用性，在其他参数保持不变的情况下进行仿真验证，结果如图 13 所示。

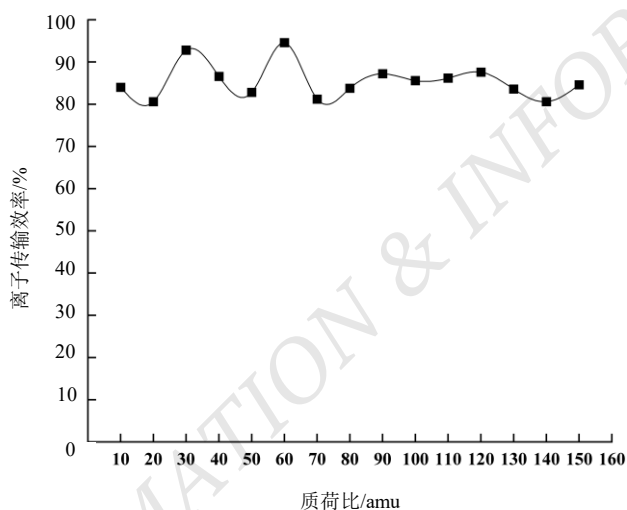


图 13 最优组合参数下的离子传输效率仿真结果

由图 13 可知：随着质荷比增大，离子传输效率始终保持在 80% 以上；在宽质量范围内，最低离子传输效率与最高离子传输效率的差值约为 14%，表明该极板形四极杆质量分析器在较宽质量范围内能够维持较为稳定的离子传输效率，从而满足宽质量范围稳定检测的需求。

5 结论

本文针对四极杆质谱仪小型化需求提出一种极板形四极杆质量分析器，利用多物理场耦合分析软件，分析不同极板的宽度 W 、厚度 H 对离子传输效率的影响，并进一步分析马修参数 a 、射频频率 f 、离子入射能量 E 在宽质量范围（10~150 amu）内对离子传输效率的影响，由仿真结果发现：

1) 极板宽度与厚度对离子传输效率的影响较小，合理的极板宽度 W 与厚度 H 分别为 10.5、2 mm；该尺寸的极板形四极杆质量分析器能同时满足小型化与离子传输效率的需求；

2) 马修参数 a 对离子传输效率影响明显，相同条件下，随着离子质荷比增大，离子传输效率呈下降趋势；当 $a=0.17\sim0.18$ 时，有利于提高宽质量范围内的离子传输效率；

3) 射频频率对不同质荷比离子的影响不同，高射频频率有利于低质荷比离子传输；低射频频率有利于高质荷比离子传输；

4) 离子入射能量直接影响离子的初始速度，在特定质荷比条件下，适当增加离子入射能量可提升离子传输效率。

本文通过单参数分析法获得宽质量范围内离子传输效率最优参数组合。进一步研究将基于粒子群优化算法或遗传算法等智能算法，对影响四极杆质量分析器的关键参数进行耦合优化，以实现智能化的全局寻优。

©The author(s) 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

参考文献

- [1] 杨丽娜,熊行创,方向.一种基于 COMSOL 的四极场离子运动仿真模型[J].质谱学报,2024,45(4):472-481.
- [2] 谢洁,易可可,高文静,等.基于四极杆-线形离子阱串联质谱技术测量血清 25OHD[J].质谱学报,2023,44(1):13-24.
- [3] 阮小娇,盛华栋,周玮,等.固相萃取净化-气相色谱-三重四极杆串联质谱法同时测定奶粉中多氯联苯和邻苯二甲酸酯[J].质谱学报,2020,41(3):278-289.

- [4] MIECLZAREK P, SIBERRING J, MOLUCH M. Miniaturization in mass spectrometry[J]. Mass Spectrometry Reviews, 2020,39(5-6): 453-470.
- [5] DENG F L, HE X L, ZENG P Y, et al. The high-efficiency calculation and analysis of different quadrupole fields based on the method of fundamental solution[J]. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2023, 35(1): 114-122.
- [6] GIBSON J R, TAYLOR S. Numerical investigation of the effect of electrode size on the behaviour of quadrupole mass filters[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2001,15(20): 1960-1964.
- [7] LI A L, HANSEN B J, POWELL A T, et al. Miniaturization of a planar-electrode linear ion trap mass spectrometer[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2014,28(12):1338-1344.
- [8] 潘海宁,赵春宇.多通道数字化离子阱质谱仪测控系统研制[J].仪表技术与传感器,2015(5):31-33;45.
- [9] 郭琦,韩琰,袁翠平等.可实现大质量数检测的四极杆质谱计的关键参数设计及仿真研究[J].真空科学与技术学报,2024, 44(12):1059-1066.
- [10] 罗婵.四极场质量分析器的理论研究[D].上海:复旦大学, 2011.

作者简介:

赖明,男,2001年生,硕士研究生,主要研究方向:多物理场耦合分析。E-mail: 14778676757@163.com

黄栋,男,1988年生,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:多物理场耦合分析。E-mail: huangdong_1988@163.com

张华伟(通信作者),男,1979年生,博士研究生,正高级工程师,主要研究方向:装备可靠性数值模拟。E-mail: huawei19@163.com

陈启愉,男,1973年生,硕士研究生,正高级工程师,主要研究方向:机械装备可靠性。E-mail: walker2000@126.com

谭国斌,男,1986年生,博士研究生,高级工程师,主要研究方向:质谱应用。E-mail: tanguobin@gig.ac.cn

曹明轩,男,1986年生,博士研究生,副教授,主要研究方向:微流道热管理。E-mail: mingxuancao@tju.edu.cn

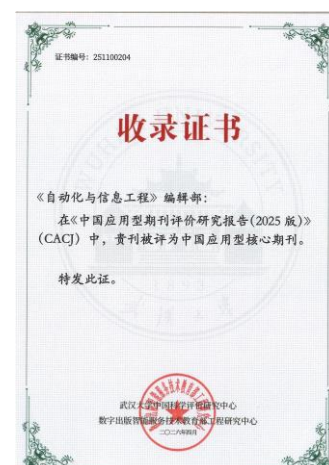
《自动化与信息工程》入选 CACJ 中国应用型核心期刊

2026年4月10日,第二届中国应用型期刊高质量发展研讨会在广西南宁举行。会上正式发布《中国应用型期刊评价研究报告(2025版)》(CACJ)。《自动化与信息工程》凭借在自动化与信息工程领域的学术影响力、工程应用价值及行业认可度,成功入选CACJ中国应用型核心期刊。

近年来,《自动化与信息工程》在主办单位广东省科学院智能制造研究所和广州市自动化学会的支持下,本刊编委会的指导下,精准聚焦自动化技术、信息工程、智能制造、检测与控制及人工智能应用等核心领域,刊发成果兼具理论学术性与工程实用性,有效对接行业技术需求与专业人才培养目标。在办刊实践中,期刊严格执行学术质量管控与出版规范,持续优化选题策划体系、同行评审机制及全媒体传播服务,其学术影响力、行业认可度及综合评价指标均实现稳步攀升。先后荣获国家新闻出版广电总局第一批(2014年)学术期刊、广东省特色科技期刊、CACJ中国应用型核心(扩展)期刊、2025年度维普“学术影响力进步期刊”。

此次入选CACJ中国应用型核心期刊,既是对《自动化与信息工程》办刊质量与学术影响力的权威认可,也是期刊发展历程中的重要里程碑。面向未来,本刊将继续搭建学科发展、技术研发和应用的桥梁,坚持报导自动化、信息学科最新的发展动态与研究成果,打造成果汇聚和传播优质平台,支撑高水平科技自立自强。

值此契机,编辑部谨向主管单位、主办单位、编委会及青年编委全体成员,以及长期支持关心我刊发展的审稿专家、作者与读者朋友们,致以最诚挚的感谢!



《自动化与信息工程》编辑部