

四级杆质谱仪 30 年

过去、现在与未来

设计、设备、应用领域：在过去的 30 年里，四极杆质谱仪 (QMS) 已经发生了许多变化。它们变得更加紧凑、耐用、多功能和数字化。QMS 最初主要用于研究，现在已经用于半导体、冷冻干燥或泄漏检测领域。

历史回顾

市场上的第一批四极杆质谱仪包括一个集成控制单元，安装在 19 英寸机架里，并通过电缆连接到分析仪和其他模块，如高频发生器。图 1 显示了 20 世纪 80 年代末常用的 QMS 420 四极杆控制单元。该设备完全可通过借助四线 LCD 显示器和键盘的控制单元进行操作，或通过 PC 软件进行操作。串行接口 (RS-232-C) 用于与计算机通信；根据情况应用显示器下方的软键。还可通过模块进行模拟或数字输入和输出。也可通过记录仪或示波器通道 [2] 显示测量值。

当时可用的软件由不同的子程序组成，借助这些子程序可进行测量并且可调整 QMS。例如，要执行测量，必须打开特定的子程序。要在以后访问存储的测量结果，必须切换到软件的另一部分 [3]。

第一批质谱仪在 20 世纪 90 年代初被紧凑型 QMS 取代，其质量范围高达 300 u。与旧型号相比，紧凑型电子元件直接位于分析仪的真空馈通装置上。这就不需要在机架中安装额外的电子元件。紧凑型 QMS 的电子元件通常比分析仪需要的空间要少。与带机架电子元件的 QMS 相比，紧凑型版本相对具有成本效益，但性能也有限，特别是在灵敏度、检测限和测量速度方面。这种设备特别适用于较简单的任务，如残余气体分析、泄漏检测或在特定时间段内监测特定质量。但是，要为超高真空应用加热分析仪，必须拆除电子元件。图 2 显示了第一批紧凑型 QMS 中的一种。

在过去的 30 年里，QMS 变得更加紧凑、耐用、多功能和数字化。它们的应用领域已经扩大。

直到 2000 年中期，市场上的大多数 QMS 仍然配备串行接口。例如，通过 ArcNet 和光缆实现了在网络中通过一个软件进行多个设备的操作——所谓的“多路复用”[4]。后来，为此目的开发了具有 RS-485、USB 或以太网接口的设备。利用以太网可以将多个 QMS 集成到办公室或生产网络中。当然，也可通过 WLAN 进行无线通信。

此外，设备的操作软件也在不断增强。控制单元上的操作几乎完全被软件操作所取代。基于 Windows 的程序的所有功能——设置、校准、测量、评估——都组合在一个软件中。数据的显示和处理明显简化。得益于序列编程，自动执行测量任务得以实现。对于诸如设置质量标度或确定灵敏度的服务任务，可以使用自动程序。许多制造商还将集成矩阵计算作为标准，从而实现了定量分析的可能性。



图 1：20 世纪 80 年代使用的 QMS 420 控制单元



图 2：第一批紧凑型 QMS 中的一种示例，来自普发真空的 Prisma



图 3：普发真空当前版本的 PrismaPro 紧凑型 QMS 接口

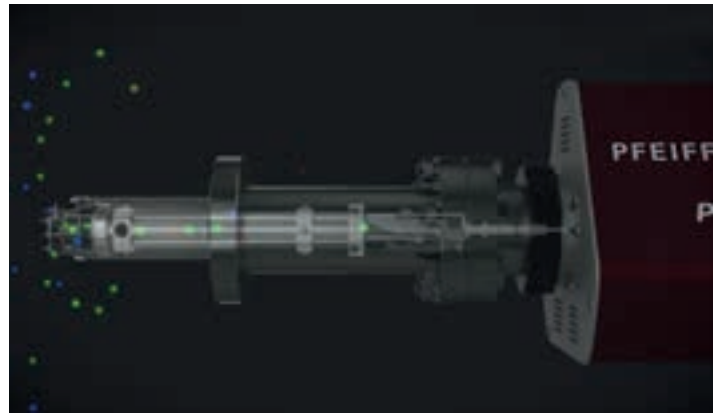


图 4：普发真空 PrismaPro 紧凑型 QMS 的内部

目前的设备

如今，紧凑型 QMS 主导市场。仅在非常苛刻的应用中，带有机架电子元件的 QMS 仍在使用中。得益于它们的高质量探测器，长期内更稳定。此外，在操作期间可以更容易地加热分析仪，并且根据需要，分析仪还可用于具有电离辐射或强磁场的环境，例如在粒子加速器或核聚变实验中。

多年来，紧凑型设备的技术数据得到显著改善。今天，即使使用这些小型系统（杆直径 6 mm，杆长 125 mm），也可以实现 10^{-15} hPa 范围内的检测限。也可实现低至 1 ms/u 的测量速度，但限制检测限。最大功率为 30 W，功耗非常低。

质谱仪的离子源与热阴极真空计的设计非常接近。因此，各种 QMS 都具有集成总压力测量的优势。因此，使用的放电电流是离子从离子源到杆系统的过渡处撞击输出孔产生的，而不是飞过它产生的。这样可以在不使用外部压力表或额外冗余的情况下保护系统不会出现意外压力上升。现代紧凑型设备具有多个接口。图 3 显示了一个示例。

由于采用了 D-Sub 连接器（EXT I/O 和 AUX I/O），图 3 所示的设备提供了大量的模拟和数字输入和输出。例如，利用数字输入可以选择和启动先前创建的测量方法。数字输出为主计算机提供有关 QMS 状态的信息，例如排放状态或任何错误消息，还可以切换阀门。通过模拟输入，可读入温度或气体流量等外部信号。模拟输出将测量值——离子电流或浓度——传输到主机。此外，为了灯丝保护或校准任务，可直接连接外部总压力表。与 PC 的通信通过以太网接口进行。迷你 USB 插头可与设备进行通信以进行维修 [5]。除了与软件通信外，QMS 还可在工业环境中直接与 PLC 通信。一些提供商还提供 LabVIEW™* 驱动程序。这些主要用于大学环境中的实验装置。

使用当前的 QMS 型号，即使使用小型系统，也可以实现 10^{-15} hPa 范围内的检测限。

观点和趋势

潜在应用领域不断扩大、数字化以及市场需求不断变化，这些为质谱仪带来了新的挑战。因此，它们必须不断优化并适应不断变化的条件。目前，QMS 技术进一步发展的两个主要趋势将在未来几年内出现。

第一，操作软件的进一步发展：用户希望有易于使用的界面，而无需处理 QMS 的细节和理论。来自工业或大学环境的用户用于熟悉设备及其操作的时间越来越少。这就是为什么只有经验丰富的用户才能进行更详细的设置，如离子源参数。一些制造商还提供基于浏览器的用户界面（所谓的 Web 用户界面，简称：Web UI，见图 4）作为 PC 程序的替代方案。Web 服务器在 QMS 上运行，通过在浏览器中输入 IP 地址来建立连接。大多数 Web UI 仍然只提供简化的功能：通常只能使用某些测量模式，或者无法输出测量结果 [6]。优化 Web UI 的功能是未来发展最重要的起点之一。Web UI 不依赖 PC 的操作系统。此外，PC 上不需要安装任何软件。移动设备也可用于控制 QMS。



图 5 : 普发真空 PrismaPro 紧凑型 QMS



图 6 : QMS 在智能手机上的 Web UI

第二，QMS 的持续小型化，尤其是分析仪的小型化，是另一个趋势。相对较小的杆系统（例如，12mm 长度）已经在市场上站稳了脚跟——它们也在高压应用中大量使用。由于其尺寸较小，这种 QMS 可在没有额外减压、没有自带的用于过程监控的泵系统的情况下使用，压力范围高达约 $E-2$ hPa。然而，这与灵敏度降低密切相关，尺寸缩小 10 倍，灵敏度降低 100 倍 [7]。

在 MEMS 技术（MEMS：微机电系统）的帮助下，已经生产出几种特别小的 QMS 原型 [8]。但是，这些还没有在市场上出售。它们的主要缺点是对颗粒的敏感性。此外，它们必须大量生产才能与传统制造的 QMS 竞争。在此背景下，基于 MEMS 的 QMS 是否会在市场上占据优势令人怀疑。

广泛的产品组合，适用于各种各样的应用

普发真空的产品组合包括各种各样的分析仪，从质谱仪到复杂的分析系统，它们用于测定各种真空工艺中的气体。大多数解决方案的基础是我们的质谱仪 Prisma Pro。Prisma 是一款通用质谱仪，具有高灵敏度、紧凑的模块化设计以及用户友好型软件。它非常适用于泄漏检测、半导体行业、玻璃涂层、冶金，当然还有无数的研究和开发领域。此外，普发真空还提供用于高真空和超高真空分析的系统以及高端质谱仪。

参考文献

- [1] W. Paul und H. Steinwedel, Zeitschrift für Naturforschung, 8a, S. 448 ff., 1953
- [2] BALZERS Aktiengesellschaft, Betriebsanweisung Quadrupol Massenspektrometer Steuergerät QMS 420, BK 800 120 BD, 2.Ausgabe: 7.1986
- [3] Pfeiffer Vacuum GmbH, Betriebsanleitung Quadstar 32-bit, vpb68d1, März 2002
- [4] Pfeiffer Vacuum GmbH, Massenspektrometer Katalog, PK 0085 PD, Juni 2005
- [5] Pfeiffer Vacuum GmbH, Broschüre PrismaPro, PK 0115 PDE, November 2017
- [6] Pfeiffer Vacuum GmbH, Betriebsanleitung Web UI, BG 6002 BDE, November 2017
- [7] K. Jousten (Hrsg.), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 11. Auflage, S. 679 ff., 2012
- [8] S. Wright et al., Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 19, No. 2, S. 325 ff., April 2010

*LabVIEW 是美国国家仪器 (NI) 公司的品牌

所有数据若有变更，恕不另行通知。PI0469PZH (October 2019/0)