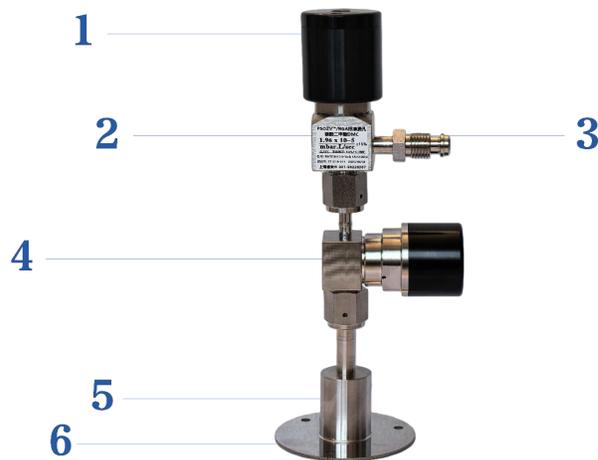


0→1 突破，睿米 (RealMeter) PSOZV™ /RGA 系列液态介质标准漏孔技术白皮书

— 从“定性识别”迈向“精准定量”的里程碑

睿米®PSOZV™/RGA液态介质标准漏孔
(C12/C14/C16, H₂O, PFTBA, DMC)
定制漏率: $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-9} \text{pa.m}^3/\text{sec}$



序列号	名称
1	PSOZV™ 常闭气动阀 集成漏孔一体化设计
2	标签
3	出口接头 (VCR1/4) , 可根据客户需求,提供CF/KF转接
4	常闭气动阀
5	储液室
6	基座,有固定孔 (固定于水平面)
规格尺寸、质量	最大高度: 235mm 最大宽度: 100mm ~0.85kg

1. 突破性意义：RGA 从“定性识别”迈向“精准定量”的里程碑

在传统的真空诊断工艺中，残余气体分析仪（RGA）常被视为一种“定性”工具——即告诉工程师真空腔室里“有什么”（如水汽、碳氢化合物或特定的工艺气体）。然而，随着半导体先进制程、高能物理及新能源安全要求的指数级提升，行业正面临从“看见成分”到“测量质量”的迫切转型。

1.1. 跨越定性的技术鸿沟

定性的局限性：传统的 RGA 测量往往受限于离子源效率、倍增器增益漂移及复杂的背景噪音，导致其给出的“分压值”或“离子电流”在缺乏参考标准时，仅具有相对参考意义，无法直接转化为真实的质量流率。

精准定量的刚需：在诸如锂电电解液微漏量化、EUV 反射镜碳沉积预测等场景下，工程师需要知道确切的泄漏质量（克/秒）或分子数。睿米标准漏孔的出现，为真空系统提供了一个“已知重量的砝码”。

1.2. RMI-MTC™ 技术如何实现定量飞跃

建立“离子电流-质量流率”的线性基准：通过 RMI-MTC™ 微通道技术输出的稳态分子流，睿米标准漏孔可以作为 RGA 的“外部定标尺”。

多数量级覆盖的定量标尺：睿米漏孔支持从 $1E-4 \sim 1E-10 Pa \cdot m^3/sec$ 的精准定制。这意味着无论 RGA 处于何种增益状态，只需接入睿米漏孔，即可立即计算出该时刻下的绝对灵敏度因子，从而实现全谱图的精准定量。

1.3. 行业里程碑：液气二相物质的量化控制，睿米® PSOZV™/RGA 液体介质标准漏孔

攻克相变定量难题：液态介质（如 DMC, PFTBA, 烷烃等）在真空中的蒸发标定一直是行业难题。睿米® PSOZV™/RGA 液体介质标准漏孔系列不仅是硬件的创新，更是液气二相物质分析从“模糊估计”走向“精准定量”的行业里程碑。

助力中国高端智造：这种从 0 到 1 的定量能力突破，标志着国产真空分析仪器及标定件已掌握核心科技，能够支撑起半导体、新能源等核心产线对工艺一致性的严苛要求。

2. 核心技术剖析：RMI-MTCT™ 微通道工艺

2.1 RMI-MTC™ 微通道技术的物理机制解析

睿米自主研发的 RMI-MTC™ 微通道 (Micro-channel Capillary Technology) 技术并非简单的硬件

加工，而是对流体力学中“微观流态控制”的深度应用。它从底层解决了液态介质在真空环境下“流率不稳定”和“响应迟滞”的物理难题。

2.1.1 稳态分子流 (Molecular Flow) 的建立

在真空物理中，当通道的特征尺寸远小于分子的平均自由程时，气体流动进入**分子流区域**。

- **物理机制：**RMI-MTCT™ 技术通过极高长径比（Aspect Ratio）的微通道设计，强制使气化的介质分子与管壁发生碰撞，而非分子间相互碰撞。
- **技术优势：**这种机制保证了漏率输出具有极佳的线性度，排除了传统针阀或多孔材料中常见的“湍流”干扰，从而实现了从 $1\text{E-}4 \sim 1\text{E-}10\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{sec}$ 的超宽量程精准输出。

2.1.2 受控的气-液相变界面

液态介质（如 DMC 或 PFTBA）在进入真空系统时，最忌讳的是发生“喷淋”或不连续的剧烈蒸发。

- **物理机制：**RMI-MTCT™ 微通道充当了精密的“热量交换与压力缓冲器”。液态介质在微通道的前端受到毛细管力的约束，在向真空端移动的过程中，在受控的微小区域内逐渐吸收环境热量并发生相变。
- **技术优势：**这种受控的相变界面避免了液滴直接进入真空系统对 RGA 灯丝造成的瞬时压力冲击，确保了测试基线的平稳。

2.1.3 热力学平衡与克劳修斯-克拉佩龙效应

由于液态介质的输出完全依赖于其饱和蒸气压，RMI-MTCT™ 技术通过结构设计最大化了介质与环境的热平衡效率。

- **物理机制：**根据热力学规律，漏率 Q 与温度 T 呈指数级相关，这在睿米产品的温度系数中标定得非常明确（如 $9.0\%/\text{C} \sim 12\%/\text{C}$ ）。
- **技术优势：**RMI-MTCT™ 结构具有极高的热传导率，使漏孔能迅速感应环境温度变化并达到热力学平衡，从而缩短了校准前的等待时间。例如，正十二烷漏孔在正常使用下仅需 ~ 10 分钟即可校准稳定。

2.1.4 极低表面能与防堵塞设计

微通道技术常面临吸附污染的问题。

- **物理机制：**RMI-MTCT™ 采用了特殊的钝化处理或高洁净度材质，降低了通道内壁的表面能，减少了大分子有机物（如 C₁₆烷烃）在通道内的吸附积聚。
-
- **技术优势：**这种设计保证了漏孔在长时间使用后的流率一致性，同时也使得“预抽时间”得以优化（如部分烷烃类预抽仅需 ~2h 即可排除干扰）。

3. 硬件架构与工程参数

产品采用 PSOZV™ 集成化设计，兼顾了密封性、响应速度与操作的便捷性。

组件名称	技术特点
PSOZV™ 气动阀	采用常闭气动设计，集成漏孔一体化，最大限度减少死体积。
出口接头	标配 VCR 1/4 接口，并可根据特殊需求提供 CF 或 KF 转接。
储液室与基座	储液室设计确保长效使用；基座带固定孔，须固定于水平面以防倾倒。
物理规格	最大高度 235mm，宽度 100mm，质量约 0.85kg。

4. 关键介质的技术特性与环境要求

不同介质在真空环境下的物理表现差异巨大，睿米针对每种介质进行了详细的参数标定。

4.1 温度敏感性分析

由于液态介质的饱和蒸气压随温度呈指数级变化，睿米对每种产品均标注了指数修正系数：

- **正十二烷 (C12) & 正十四烷 (C14) & 正十六烷 (C16)：**温度系数高达 12%/°C。
- **碳酸二甲酯 (DMC)：**温度系数为 9.0%/°C。
- **纯水 (H2O)：**温度系数均为 9.5%/°C。

4.2 环境与真空要求

- **温控精度：**使用环境温度需保持稳定，波动应 $< 0.5-1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。
- **真空本底：**出口连接的真空系统本底应 $< 0.1 \sim 0.01\text{pa}$ （对于烷烃类介质尤为关键）。
- **驱动气源：**气动阀需接入 $0.4\sim 0.6\text{MPa}$ 的压缩空气。

5. 专家级操作指南与维护逻辑

为了确保测试的重复性和设备寿命，睿米定义了严苛的操作序列。

5.1 启动与预抽流程

- **预抽时间：**
 - 烷烃类 ($\text{C}_{12} / \text{C}_{14} / \text{C}_{16}$)：第一次使用需预抽约 2 小时。
 - DMC/H₂O/PFTBA：初次使用或破真空后需预抽 24-48 小时以排除残留气体。
- **开启逻辑：**在真空度 $< 0.1\text{pa}$ ，先打开上方气动阀，待稳定后再打开下方气动阀。

5.2 关键关闭序列 (关键安全注意事项)

为减小对真空系统的冲击，关闭时必须遵循：

1. 先关闭下方气动阀。
2. 静置 5 分钟，让管路中残余蒸气被系统完全抽走。
3. 最后关闭上方气动阀。

6. 行业应用场景深度透视 (Industrial Application Deep-Dive)

随着工业真空技术的演进，睿米 (RealMeter) PSOZV™/RGA 系列标准漏孔已不再仅仅是实验室的校准配件，而是成为了高端制造工艺中不可或缺的量化标尺。以下是该系列产品在四大关键领域的深度应用解析。

6.1 半导体制造与 EUV 光刻：有机污染 (OMCs) 的定量监控

在极紫外 (EUV) 光刻工艺中，真空腔室内的微量大分子有机物（特别是高原子量碳氢化合物，

HHCs) 是导致反射镜面碳化损伤的主要原因。

- **痛点:** 残余气体分析仪 (RGA) 虽然能识别质量数, 但由于缺乏针对大分子烷烃的灵敏度因子, 无法给出确切的污染速率。
- **睿米解决方案:** 通过使用正十二烷 (C₁₂)、正十四烷 (C₁₄) 或正十六烷 (C₁₆) 标准漏孔, 工程师能够为 RGA 建立特定介质的离子电流与质量流率 (g/s) 的线性关联曲线。
- **应用价值:** 实现对光刻腔室污染等级的实时量化监控, 预测反射镜寿命, 显著降低停机维护成本。

6.2 动力电池与新能源: 电解液泄漏检测的“金标准”

锂电池和钠电池的电解液含有碳酸二甲酯 (DMC) 等挥发性成分, 其封装后的微量泄漏直接关系到电池的长效安全性。

- **痛点:** 传统的氦质谱检漏仪使用氦气作为示踪气体, 但氦分子的穿透能力与粘稠的电解液完全不同, 导致“等效转换”数据失真。
- **睿米解决方案:** 直接采用定制化的 **RM5DMC 系列标准漏孔**。该设备模拟了电解液在真空下的真实蒸发过程, 提供了 2×10^{-5} mbar.L/sec 级别的稳定流率。
- **应用价值:** 通过 DMC 标准源直接校准检漏仪, 确立电池产线的“判定阈值”, 消除了介质错位带来的漏检风险。

6.3 质谱仪器研发与实验室分析: 全谱图调谐

质谱仪 (Mass Spectrometer) 的准确性依赖于定期的质量轴校准和碎片丰度调整。

- **PFTBA (全氟三丁胺) 的核心地位:** PFTBA (C₁₂F₂₇N) 因其分子量大且具有丰富的特征碎片峰 (如 m/z 69, 219, 502 等), 是行业公认的质谱标定物质。
- **睿米技术优势:** 睿米 PFTBA 漏孔能够提供精准受控的 3.13×10^{-6} mbar.L/sec 流率, 相当于 2.7g/y 的质量损耗速率。
- **应用场景:** 广泛应用于环境检测、生物制药中的质谱仪日常调谐, 确保仪器在全质量数范围内的线性响应和分辨率。

6.4 真空工艺与材料科学: 吸附、脱附与烘烤验证

在超高真空 (UHV) 系统中, 水蒸气 (H₂O) 是主要的背景成分, 也是影响烘烤效率的核心因素。

- **定量引入介质:** 利用 **RM5H2O 系列漏孔**, 科研人员可以向真空系统中引入已知流率的水蒸气, 通过 RGA 监测其分压变化。
- **研究价值:**
 - **脱附速率研究:** 量化不同材料表面在特定温度下的水分子脱附动力学特征。
 - **烘烤终点判定:** 建立本底真空度与水蒸气流率的量化模型, 优化大系统 (如粒子加速器或大型空间环境模拟器) 的烘烤工艺参数。

应用领域对照表

行业领域	推荐介质	核心监控目标	典型漏率量级
半导体 EUV	正十二烷 C ₁₂ , 正十四烷 C ₁₄ , 正十六烷 C ₁₆	预防碳污染与反射镜损伤	1E-6~1E-9pa.m ³ /sec
动力电池	DMC (碳酸二甲酯)	电解液密封性验证	1E-5~1E-7pa.m ³ /sec
分析仪器	PFTBA (全氟三丁胺)	质谱分辨率与灵敏度调谐	1E-6~1E-8pa.m ³ /sec
精密真空	H ₂ O (纯水)	烘烤效率与材料放气率评估	1E-6~1E-8pa.m ³ /sec

7. 实验验证：RMI-MTC™ 技术在 RGA 校准中的线性度分析

7.1 实验目的

验证睿米 PSOZV™/RGA 系列漏孔在不同输出能级下，RGA 离子电流响应的线性度 (R^2)，并对比 RMI-MTC™ 技术与传统针阀式标定源在稳定性上的差异。

7.2 实验环境与设备

- **标准源：**睿米 RM5C12 正十二烷标准漏孔。
- **检测设备：**高分辨率残余气体分析仪 (RGA)。
- **真空系统：**本底真空度 <0.1pa 的超高真空腔室。
- **控温装置：**高精度恒温水浴/气浴周期，波动 0.1℃。
- **驱动气源：**0.5Mpa 纯净压缩空气。

7.3 线性度验证实验方案

7.3.1 变量控制：温度驱动流率法

由于 RMI-MTC™ 漏孔的流率与温度呈严谨的指数关系，实验通过改变环境温度来改变漏率 Q，观察 RGA 对特征质量数（如正十二烷的 m/z 43 主峰 C₃H₇⁺）的离子电流响应。

实验步骤：

- **系统预抽：**按照操作规程，对系统进行 2 小时以上的预抽以排除背景干扰。
- **基准建立：**在 23°C 下开启双阀序列（先开上阀，后开下阀），记录稳态下的离子电流。
- **多点采样：**将环境温度分别调整至 20°C, 23°C, 26°C, 29°C, 32°C。
- **流率换算：**利用标定的温度系数（12%/°C）计算出每个温度点对应的实际漏率 Q^T。

7.3.2 线性拟合模型

通过对实验数据进行回归分析，建立离子电流 I 与漏率 Q 的函数关系： $I=S*Q+B$

(其中 S 为 RGA 的灵敏度因子，B 为系统本底噪声)

7.4 RMI-MTC™ 与传统技术对比实验

通过长达 72 小时的连续监测，对比 RMI-MTC™ 微通道技术与传统微量针阀的性能：

对比维度	传统微量针阀	睿米 RMI-MTC™ 技术	优势分析
短期波动 (Noise)	±15%~25%	<±2%	RMI-MTC™ 避免了机械振动引起的流阻改变。
长期漂移 (Drift)	随机械疲劳产生不可逆偏离	极低，仅受温度波动影响	物理微通道结构具有极高的几何稳定性。
线性相关系数 (R ²)	0.80~0.90	>0.98	确保了定量分析的科学与可重复性。

操作响应	调节滞后，难以定量	即开即用，平衡时间短	正常使用 ~10 分钟即可完成平衡。
------	-----------	------------	--------------------

7.5 实验结论

实验结果表明，采用 **RMI-MTC™** 技术的睿米标准漏孔在全量程范围内与 RGA 离子电流保持了极佳的线性关系 ($R^2 > 0.98$)。这证明了该产品不仅能用于 RGA 的定性标定，更完全具备作为**量化分析标准源**的物理性能。

8. 订货逻辑与售后支持

睿米采用标准化的 P/N 逻辑，方便客户根据应用场景选型：

RM5 + [介质代码] + [漏率有效值及幂次] + [单位]

- **例如：**RM5PFTBA3.0-6mb 代表介质为 PFTBA，目标漏率为 3.0E-6mbar.L/sec。
- **质量保证：**产品可提供第三方权威认证机构出示的认证证书，确保数据的溯源性。
- **全方位服务：**包括接口/阀门规格定制、重新充液服务以及远程技术支持。

9. 联系我们 (Contact Us)

上海睿米仪器仪表有限公司 (RealMeter Instruments) 始终坚持“掌握核心科技，助力中国高端智造”的理念。我们为您提供从标准漏孔选型、接口规格定制到第三方认证的全方位技术支持。

- **公司名称：**上海睿米仪器仪表有限公司 (RealMeter Instruments (Shanghai))
- **总部地址：**上海浦东新区航头镇乐城路 30-4 号
- **服务热线：**021-58220307
- **技术支持/手机：**1350170 2828 或 13601764364
- **官方邮箱：**contact@realmeter.cn
- **官方网站：**www.realmeter.cn