



如何为您的应用选择理想的泄漏检测方法

专业支持至关重要

每个应用和生产过程在泄漏检测方面都有自己的需求和要求。在不同的行业，质量控制和最大泄漏率都有不同的标准。因此，为每个应用选择最佳的泄漏检测方法至关重要。

在过去几年中，使用空气或示踪气体的泄漏检测技术在电子设备领域取得了重大进展。新技术、灵敏度提高和测试周期更快 — 所有这些技术进步都提高了不同泄漏测试方法的质量和可靠性。下面将介绍这些方法的优缺点及其对不同泄漏检测应用的适用性以及选择标准方面的专业建议。

泄漏检测技术 — 概述

在提供指南为您的应用选择合适的泄漏测试方法之前，本文中讨论的不同技术将在概述中进行简单介绍：

- **在压力条件下使用微流量传感器进行空气泄漏测试**

该技术以使用加速流的集成微型传感器为基础。当空气从被测单元或组件泄漏时，通过微流量传感器补充空气损失，以保持恒定的压力（见图 1）。损耗导致电信号与体积流量、质量流量分别成比例。微流量传感器因此与压力容器一起运行，并具有 $5 \cdot 10^{-4}$ mbar l/s 的灵敏度，压力容器用于给被测单元 (UUT) 加压。这种测试方法通常只需要简单的固定装置。

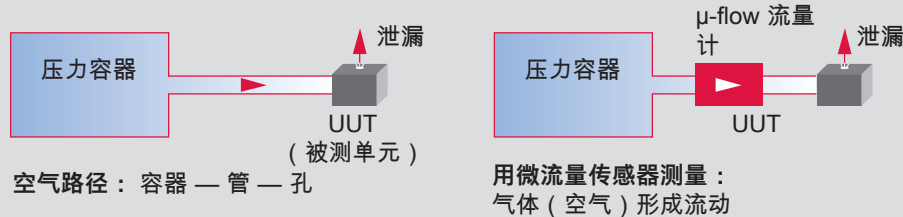


图 1：在压力条件下使用微流量传感器进行空气泄漏测试

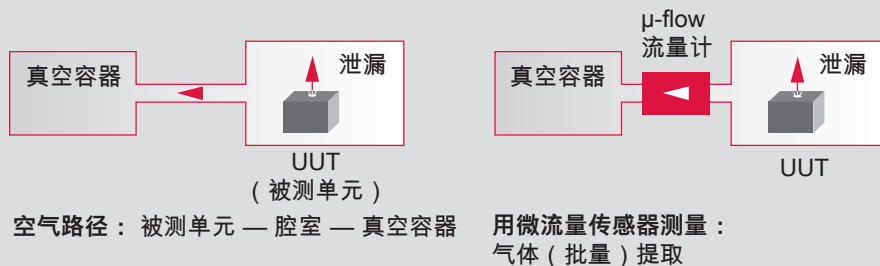


图 2：批量提取测试方法（真空测试）

■ 使用批量提取（真空条件）进行空气泄漏测试

微流量传感器技术的一种特殊形式叫做批量提取技术。其基本原理与微流量方法相似，但为了达到更高的灵敏度，在真空条件下进行测试。该方法集成了传感器设计，可以在连续体/滑流条件（较低真空）和过渡/分子流状态（较高真空）下运行。该技术可用于包装或电子机箱等密封容器的泄漏测试。将被测单元置于压力条件低至 1 mbar 或更低的真空室中。在真空室抽真空之后，真空室和真空容器之间的余流可用于确定被测零件的泄漏率（见图 2）。凭借该方法，灵敏度可高达 $6.7 \cdot 10^{-7}$ mbar l/s。

■ 氦气泄漏检测

由于其相对简单、坚固的设计，扇形场质谱仪用于使用示踪气体的泄漏检测。通常调谐到氦气 4u 的检测质量，气体分子通过电子轰击在离子源中离子化，然后使用电子电压加速到扇形磁场。或者，也可以使用质量为 2u 的氢气来进行这种泄漏测试。

氦或氢分子能够通过专用狭缝以到达探测器，而所有其它现有分子不能通过并因此被重新中和。测量的离子电流与气体分压成正比。真空环境中的氦气灵敏度为 $5 \cdot 10^{-12}$ mbar l/s。

在氦气泄漏检测中，可以使用不同的程序进行测量。此外，可以应用各种测试方向（见图 4）。其中，真空箱测试是最灵敏的测试方法。该方法中，被测单元被放置在真空室内，先抽真空然后用氦气填充。

为了定位泄漏，氦气喷枪或吸枪方法是最合适的。当使用喷枪技术时，被测单元连接到检漏仪，并在从外部向被测单元喷射氦气的同时抽真空。

对于吸枪测试方法，被测单元用氦气加压，并用吸枪探头在外面进行扫描，该探头连接到检漏仪（见图 5）。

如何合适的方法？

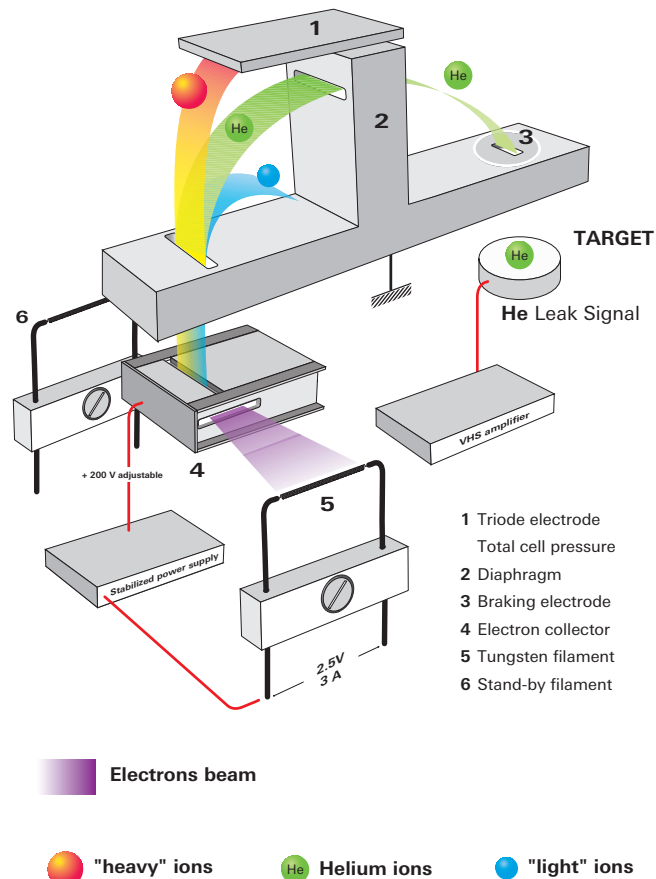
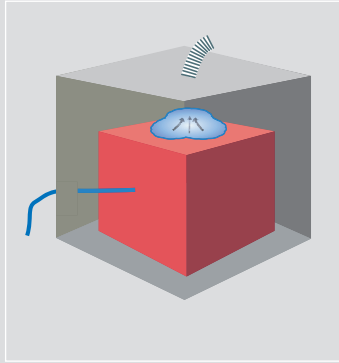
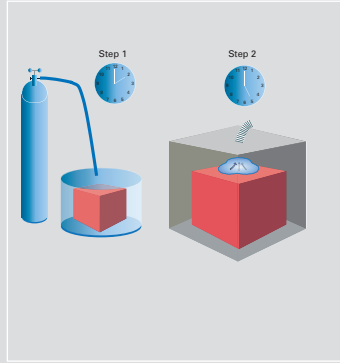


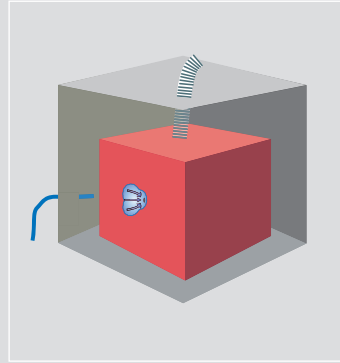
图 3：扇形场质谱仪的工作原理



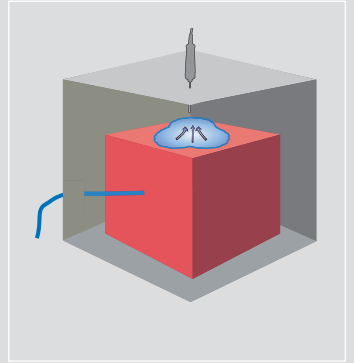
真空箱测试



真空测试：背压法



氮罩法



吸枪累积法

图 4：不同泄漏检测方法概述

当为特定应用选择最佳泄漏测试方法时，首先需要设定所需的气密性标准——即最大泄漏率。这里面临的一个重大挑战是定义泄漏率需要考虑不同的单位（见表 1）。通常，以流速单位来规定泄漏率。表 1 概述了通用流速测量单位及其转换。

定义应用所需气密性的另一种方法是确定最大缺陷尺寸（针孔或微通道类型）。泄漏测试必须确保不超过该值。

如果应用或一般标准要求要求在 $1 \cdot 10^{-7}$ mbar l/s 以下范围内的泄漏气密性，氦气泄漏检测是首选方法。没有其他商业技术可以达到这些灵敏度。

如果所需的泄漏率超过该值，可以考虑的技术数量就会增加。表 2 概述了潜在的泄漏测试方法及一些最重要的特征。

如果具体应用要求允许上述几种方法，则在选择最佳泄漏测试方法之前，应考虑以下关键方面：

■ 气流量和节拍时间

如果泄漏测试程序在对 100% 的零件进行泄漏测试的生产环境中，气流量或节拍时间是重要的参数。不过对于样品测试和实验室应用，循环时间则是不太重要的参数。

■ 泄漏测试条件

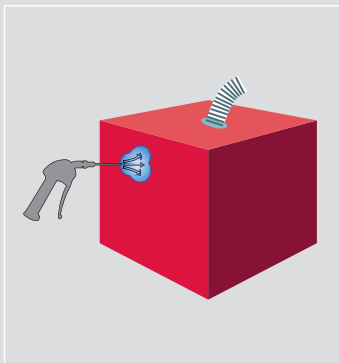
在许多情况下，产品的设计和特定的密封设定了所施加压力和泄漏测试程序（零件内部或外部）的要求。一些密封件更适合于更高的压力，另一些则适合用于真空下的泄漏。因此，这里的泄漏测试通常包括将零件加压至最大工作压力，以确保零件在最大工作条件下的完整性。

■ 环境因素

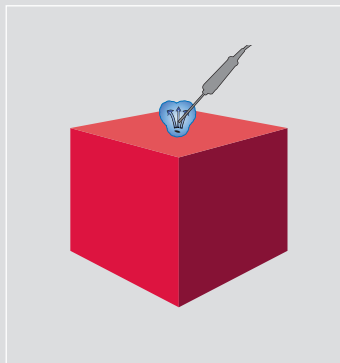
环境条件可影响多种泄漏测试方法，例如压力衰减测试。此时，稳定时间和温度控制对于确保可靠的测量至关重要。为了测试产生热量的产品（例如钎焊/焊接后），或者在温度变化较快的环境下进行试验，可以采用真空空气测试（如批量提取）或氦气测试方法。

■ 成本

最后但同样重要的是，测试方法的经济因素方面。重要的是不仅要考虑采购成本，还要考虑与流程相关的不同总体成本。此时，决策过程的关键点又是测试时间，这与测试站的能力直接相关。还可以考虑稳定和/或干燥时间。因此，氦气泄漏测试为工业应用提供了最短的测试时间。而且，当使用或想要使用空气测试方法时，微流量技术也是一种替代方案，特别是对于较大泄漏的检测。与氦气测试系统相比，它具有较低的初始成本，并且与其他空气测试方法（如压力衰减）相比，仍能提供更快的测试时间。



真空测试：喷枪测试



吸枪测试

图 5：喷枪和吸枪测试泄漏检测方法原理

应用区别

	Pa m ³ s ⁻¹	mbar · l s ⁻¹	Torr · l s ⁻¹	atm cm ³ s ⁻¹	sccm	slm	分子 s ⁻¹
Pa m ³ s ⁻¹	1	10	7.5	9.87	5.92 · 10 ²	5.92 · 10 ⁻¹	2.651 · 10 ²⁰
mbar · l s ⁻¹	1 · 10 ⁻¹	1	7.5 · 10 ⁻¹	9.87 · 10 ⁻¹	5.92 · 10 ¹	5.92 · 10 ⁻²	2.651 · 10 ¹⁹
Torr · l s ⁻¹	1.33 · 10 ⁻¹	1.333	1	1.32	7.89 · 10 ¹	7.89 · 10 ⁻²	3.535 · 10 ¹⁹
atm cm ³ s ⁻¹	1.01 · 10 ⁻¹	1.01	7.5 · 10 ⁻¹	1	5.98 · 10 ¹	5.98 · 10 ⁻²	2.679 · 10 ¹⁹
sccm	1.69 · 10 ⁻³	1.69 · 10 ⁻²	1.27 · 10 ⁻²	1.67 · 10 ⁻²	1	1 · 10 ⁻³	4.486 · 10 ¹⁷
slm	1.69	1.69 · 10 ¹	1.27 · 10 ¹	1.67 · 10 ¹	1 · 10 ³	1	4.486 · 10 ¹⁴
分子 s ⁻¹	3.77 · 10 ⁻²¹	3.77 · 10 ⁻²⁰	2.83 · 10 ⁻²⁰	3.72 · 10 ⁻²⁰	2.23 · 10 ¹⁶	2.23 · 10 ¹⁹	1

表 1：常见泄漏流量测量单位及其转换

方法/检测仪器	示踪气体	超压下被测对象	真空下被测对象	定量测试	定位	mbar · l s ⁻¹										
						10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
																
描述						滴水	不漏水	防细菌	防病毒	气密	技术上密封					
泄漏直径						100 μm	30 μm	10 μm	3 μm	0.8 μm	0.1 μm					
1 cc 气泡逸出时间						10 s	> 15 min	> 1 天	> 100 天	> 30 年	> 1000 年					
气泡测试	任意	+	-	- ¹⁾	+											
声波或超声波传感器	任意	+	-	-	+											
超声波气泡检测	任意	+	-	+	+											
压力上升	任意	-	+	+	-											
压力衰减	任意	+	-	+	-											
微流量	多种	+	-	+	-											
批量提取	多种	-	+	+	-											
发射光谱法	多种	-	+	+	-											
扇形磁场质谱仪, 吸枪	示踪气体 4He, 3He, H ₂	+	-	+ ²⁾	+											
扇形磁场质谱仪, 真空	示踪气体 4He, 3He, H ₂	-	+	+	+											

¹⁾ 可以进行气泡收集和体积分析

²⁾ 仅累积测试方法

表 2：不同泄漏测试方法的比较

泄漏率要求 [mbar · l s⁻¹]
真空箱泄漏测试方法的建议

10 ⁰	10 ⁻¹ 建议的空气测试	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵ 混合区域	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹ 建议的氦气测试	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²
	食品包装				药品包装							
			制冷系统				医疗植入物					
			制动系统				气囊充气机					
	动力传动系统			电气元件								
		导管				半导体工具						
			燃油部件									
				电池								

表 3：所需泄漏率测试方法概述

如前所述，为选择合适的泄漏测试方法定义一般准则可能是一个挑战。事实上，有一些应用因为高灵敏度要求只能采用氦气泄漏检测。比如，这些应用包括半导体工具、气囊点火器、核设施或工具以及一些医疗植入物。所有这些应用都对泄漏气密性水平提出了很高的要求。

然而，大多数应用可以通过空气或氦气测试方法进行泄漏测试。例如，汽车和航空航天中的典型应用是热交换器、交流部件、电池、制动系统及其组件、动力传动系统及其部件、加工铸件和焊接组件以及电子机箱。在医疗行业中，可以列举的例子有植入产品、导管或药物输送装置等一次性用品、生命科学仪器和组件。制药行业在开发诸如注射器或玻璃小瓶的包装时，使用氦气泄漏检测用于 MALL（最大允许泄漏水平）测试，其中的泄漏会构成微生物污染风险和药物性质的丧失。其他应用领域包括消费电子和水电气暖等公共设施类。在这方面，电子系统必须满足各种渗水规格（例如 IPX7 用于智能电话的渗水）。

空气和氦气泄漏测试组合通常会用于具有非常昂贵组件的应用，必

须找到其中的泄漏，以便修理零件或启动纠正措施。不错的例子是航空航天应用，例如液压系统组件或燃油系统。其中，找到泄漏是非常重要的，因为泄漏零件可以修复而不需要报废。

在表 3 中，不同的应用具有不同的泄漏率要求。该概述可以用作探讨为特定应用选择最佳测试方法的起点。此外，还应谨记上述考虑因素。

普发真空提供专业知识和支持

在决定哪种技术是特定应用的最佳解决方案之前，需要回答几个问题。这些技术大多数需要与您的设备供应商密切合作。因此，选择具有知识、经验和产品组合的泄漏测试供应商至关重要，这样才能提供最佳解决方案，节省成本并提供可靠的长期解决方案。普发真空具有超过 50 年的泄漏检测经验，是设计和实现各种泄漏检测解决方案的理想合作伙伴。我们的全面产品组合不仅包括每个应用和要求的检漏仪和组件。而且，我们的专家对泄漏检测技术有很好的了解，并且乐于为您提供从设计阶段到最终实施解决方案的专业支持。



图 6：普发真空泄漏检测产品组合摘录

我们提供一站式真空解决方案

普发真空代表着为客户在世界范围内提供创新的、定制化的真空解决方案，完美的技术，全方位的支持和可靠的服务。

完整的产品线

从一个配件到复杂的真空系统：
我们是唯一能提供完整的产品线和技术服务的供应商。

理论与实践的完美结合

得益于我们的专业技术和完善的培训体系！
我们提供给您完整的生产技术提升方案和全球统一的一流的现场服务。

您是否正在寻找
完美的真空解决方案？
请联系我们：

普发真空技术（上海）有限公司
Pfeiffer Vacuum
(Shanghai) Co., Ltd.
T +86 (21) 3393 3940
info@pfeiffer-vacuum.cn

Pfeiffer Vacuum GmbH
德国总部
T +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com