

# 采用氦质谱检漏仪测量MEMS密封件 漏率和内部真空度的解决方案

## Solution of Measuring Leakage Rate and Internal Vacuum of MEMS Sealing Components by Helium Mass Spectrometer Leak Detector

摘要：大量MEMS真空密封件具有小体积、高真空和无外接通气接口的特点，现有的各种检漏技术无法对其进行无损形式的漏率和内部真空度测量。基于压差法和高真空度恒定控制技术，本文提出了解决方案。方案的具体内容是将被测封装器件放置在一个比器件内部真空度更高的真空腔体内，采用电动可变泄漏阀和控制器自动调节微小进气流量进行高真空度控制，由此在被测器件内外建立恒定压差，通过测量此压差下的漏率可得到器件内部真空度。

### 1. 问题的提出

真空密封器件通常需要在特定的真空度下才能正常工作，即需要高真空度和长时间的真空保持度。例如杜瓦组件作为广泛使用的绝热容器在制冷、红外探测以及超导中都有应用，而杜瓦的绝热效果与其夹层真空度直接相关。有机发光二极管对水蒸气和氧气含量特别敏感，工作时需要真空条件，含量超标的水蒸气和氧会严重影响其寿命和稳定性。高精度的MEMS惯性器件如MEMS陀螺仪、MEMS谐振式加速度计等需要工作在高真空环境中，其内部真空度的好坏决定其品质因数的大小。由此可见，为了保证真空密封器件的密封性能，需要对漏率和真空度的变化进行测试评价，但由于存在以下几方面的原因，使得这种评价技术成为目前迫切需要解决的难题：

(1) 对于大多数真空密封器件而言，其几何尺寸一般很小，且不能配置真空度和漏率测量接口，这导致了很多现有真空测量领域的传感器和仪器都无法直接使用。

(2) 对于个别真空封装器件，可通过在外部形成高压将示踪气体（如氦气）加载到真空封装器件内，然后再在外部抽真空条件下采用检漏仪测量真空封装器件的漏率。但这种方法往往会破坏真空封装器件内部的真空度，且不可逆转，可能会造成真空封装器件性能的降低。

(3) 直接在真空密封器件内集成真空度传感器不失为一种有效手段，如集成如皮拉尼计和音叉石英晶振等，国内外的各种研究也曾在这方面做过努力，但由于所集成传感器自身特性（如结构形状、尺寸、真空度测量范围和精度等）以及所带来附加影响，使得这种技术仅勉强适用于个别真空密封器件，根本无法作为一种通用技术得以应用。

为了解决目前真空封装器件存在的检漏问题，特别是实现对真空封装器件内部真空度的测量，本文基于压差法提出了一种间接测量的解决方案。

### 2. 解决方案

对于内部具有一定真空度的真空封装器件，其漏率和内部真空度的测量将基于压差法。具体是即将被测真空封装器件放置在一个要比器件内部真空度更高的密闭腔体内，由此在封装器件内外形成压差。通过测量获得此压差下的漏率，然后再通过漏率计算出器件内部真空度。

依据解决方案设计的真空封装器件漏率和真空度测量装置结构如图1所示。

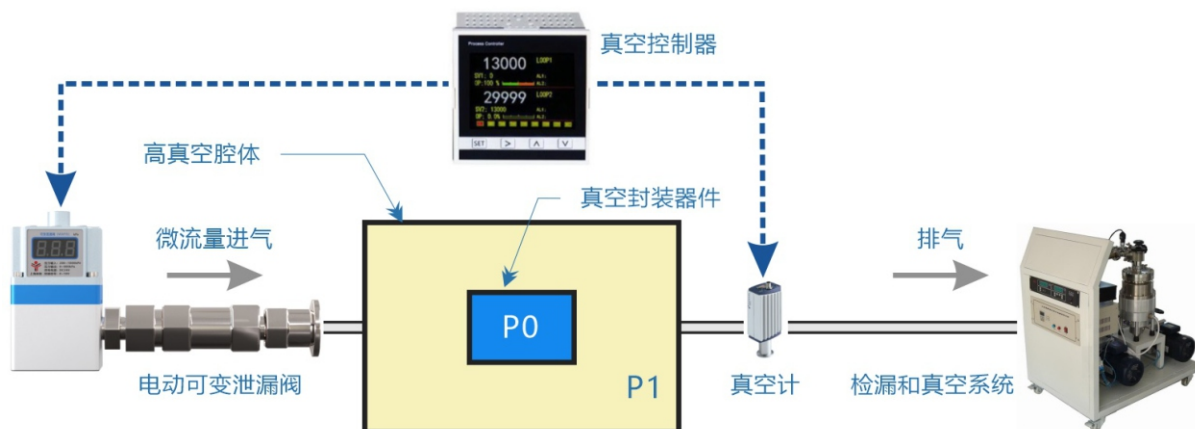


图1 真空密封器件漏率和真空度测试系统结构示意图

依据检漏中的压差法原理，漏率的测量结果与压差（ $P_1 - P_0$ ）呈线性关系。因此，如图1所示，只要精确控制密闭腔体内的真空度 $P_1$ ，在测量得到漏率后，就可以计算出真空封装器件内部的真空度。由此可见，测试真空密封器件漏率和真空度需要解决以下两个关键问题：

(1) 腔体真空度 $P_1$ 的精确控制：对于具有高真空（如 $P_0 < 1E-03Pa$ ）的封装器件，腔体真空度需要达到 $P_1 < 1E-03Pa$ 的更高真空度，以形成尽可能大的压差，这就要求对超高真空度能实现准确控制，控制精度越高则计算得到器件内部真空度的精度越高。

(2) 漏率测量：漏率测量也是决定精度的关键因素，具体实施时可以采用各种高灵敏度的漏率测量方法，如氦质谱检漏仪。为了实现定量和高精度的漏率测量，也可以采用特殊设计的漏率测试系统，但这部分内容不在本文阐述的内容之内。

本文的重点是介绍解决方案中的超高真空度精密控制技术。如图1所示，超高真空度的控制采用调节进气流量来实现，具体采用了VLV2023型号的电动可变泄漏阀，进气流量的调节范围是 $1E-8PaL/s \sim 500PaL/s$ ，调节信号为 $0 \sim 10V$ 。超高真空度控制回路有真空计、真空控制器和电动可变泄漏阀组成，真空控制器采集真空计信号并与设定值进行比较后，输出PID控制信号对可变泄漏阀进行驱动来调节微小的进气流量，由此使腔体真空度快速恒定在设置值处。

在超高真空控制中还面临另外一个问题是真空计输出信号的非线性，为此本文解决方案中采用了具有线性化处理功能的VPC2021系列真空压力控制器，通过在真空和电压的关系曲线中取八个数据点进行拟合，可很好的解决线性PID控制非线性信号的问题。

### 3. 总结

综上所述，本解决方案很好的突破了真空密封件漏率和内部真空度测量难题，关键是实现了高真空度精密控制中的微小进气流量自动调节以及传感器非线性输出信号的PID控制器线性化处理。解决方案中的高真空度控制装置可广泛应用于任何真空系统，PID控制器线性化技术可广泛应用于各种非线性传感器测量控制场合。

本解决方案对高真空微小压差下的漏率测试技术并未做详细的介绍，这部分内容将在后续研究报告中给出详细的测试系统描述。