

气密检漏仪工作原理与标准漏孔使用指导书

上海睿米仪器仪表有限公司

行业公开版 v1.0 (最终版)

日期: 2026-01-25



睿米®气密性标准漏孔
RMI-MTC™微通道工艺|抗震抗摔|超强稳定性|超长寿命
支持定制: 0.001-6000sccm, -100Kpa-40Mpa, 睿米漏孔研究院

前言

在大量产线实践中，常见现象是：设备“能用”，但很多人并不真正理解气密检漏在测什么；标准漏孔被大量使用，却常被简化为“接 CAL 口校准一下”。当误杀/漏杀发生时，现场往往难以快速定位问题来源。其根本原因在于：气密检漏是系统级工程问题，却长期被当成仪器级功能来理解和使用。

本文以工程可执行性为核心，用零基础也能理解的方式，讲清：气密检漏仪工作原理、三种方法的差异、为什么必须引入标准漏孔、金件与四件套标准件体系、以及旁路法与 SOP 条款。

第 1 章 | 气密检漏的本质：测到的是系统响应

气密检漏的目标只有一个：把“工件是否允许流出/流入气体”这件事量化成一个可判定的信号。行业里常把这个量叫“漏率 Q ”。 Q 可以用不同单位表达（例如 sccm 、 $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 、 $\text{mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$ ），但本质都是“单位时间内的气体通过量”。

产线阈值（允许上限）通常来自两类来源：（1）经验值：客户/行业/历史失效经验（例如 $1 \text{ sccm} @ 50 \text{ kPa}$ ）。（2）理论值：例如规定 50 kPa 下 5 s 压降不超过 50 Pa ，再结合容积 100ml 推算得到允许 $Q=100\times(60/5\times50)/101325\approx0.592\text{sccm}$ 。

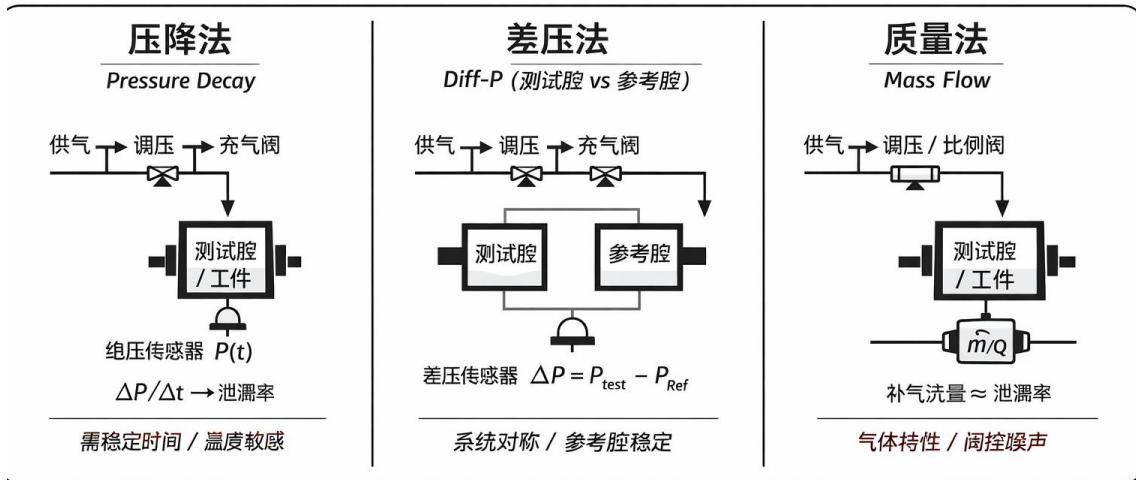
关键提醒：理论值往往隐含理想假设（没有外部管路与夹具、温度不变、容积不变）。一旦接上气密机，外管路体积、夹具死腔、材料形变、阀本底漏、温度回温等都会进入测量结果。因此，必须用标准漏孔把“ Q ”在真实系统中落成可执行的关值。

必须先接受的工程事实：气密检漏仪测到的不是“工件本体的漏孔”，而是在给定工况与节拍下，整套测试系统对泄漏与非泄漏因素的综合响应。

- 系统包含：工件、夹具与密封圈、外部管路与接头、气密机内部阀体/腔体/传感器、以及温度与材料形变（回弹/蠕变）。
- 因此：同一工件换一根软管读数变、同一漏孔换接法读数变，往往反映的是系统响应项变化，而不是“孔变了”。

一句话记住：气密检漏 = “系统分选能力验证”，不是“孔的物理测量”。

第2章 | 三种方法的原理：压降/差压/流量（信号视角）



2.1 压降法 (Pressure Decay)

流程：充压 → 关断 → 记录压力曲线 $P(t)$ → 在算法时间窗内计算压降/等效漏率。压力下降不仅来自泄漏，也来自温度回弹、材料形变回弹等。

2.2 差压法 (Differential Pressure)

流程：同时对测试腔与参考腔充压 → 记录压差曲线 $\Delta P(t) = P_{\text{test}}(t) - P_{\text{ref}}(t)$ → 利用差分抵消部分共模扰动。注意：若两腔不等效，仍会引入新的差异项。

2.3 流量/质量法 (Flow / Mass Compensation)

流程：目标压力保持恒定 → 记录维持压力所需的补气流量 $Q(t)$ （或等效质量流）→ 稳态窗口内更接近真实泄漏；稳态前补气信号常被回弹与控制动作污染。

第3章 | 三种方法对比：优劣、误差源、适用场景与产品线取向

三种方法没有绝对优劣，关键在于：是否理解主要误差源，并通过系统级标准件（尤其金件）进行约束与验证。

对比维度

压降法

差压法

流量/质量法

测量信号本质

$P(t)$

$\Delta P(t)$

$Q(t)$

温度回弹敏感性	高	中 (部分抵消)	中 (稳态前敏感)
材料形变/蠕变敏感性	高	中	中
系统体积敏感性	高	中	中
稳定时间依赖	强	中	强 (稳态窗口)
小泄漏分辨	一般	较好	中~较好 (取决于稳态与控制)
系统复杂度/成本	低	中~高	中~高
典型优势	简单直观、成本低、对大漏敏感	抗扰动更好、重复性更优	可做恒压/补偿策略、稳态后更接近泄漏
典型短板	易把回弹当泄漏；大容积/塑料件吃亏	参考腔不等效会引入新误差	稳态没做好等于白测；阀控/算法要求高
常见产品线取向 (行业现象)	通用型、成本敏感 产线常见	强调一致性、短节拍稳定分选的路线 常见	强调恒压/补偿控制的路线常见

推荐系统级校准方式：金件 + 标准漏孔模块 (OK/校准/NG)，优先旁路法。

第 4 章 | 为什么必须引入标准漏孔：把气密变成可验证工程

标准漏孔的工程本质是：已知、稳定、可追溯的“泄漏输入”。你用它不是为了“看机器显示值好不好看”，而是为了回答两个产线最要命的问题：

- 系统本底是多少？（金件必需）——否则阈值可能被迫抬高，导致误杀或漏杀。
- 系统还能稳定分选吗？——好件应稳定通过，坏件应稳定检出。

关键结论：只用 CAL 口漏孔，只能证明“仪器内部链路基本可用”，不能证明“产线系统分选能力可靠”。系统级验证必须覆盖管路、夹具、密封与装夹动作。

第 5 章 | 金件 (Golden Part)：系统级方法论的地基

金件定义：金件是一个在与真实工件等效的几何、连接、材料与测试工况下，应当不漏或其等效泄漏远小于允许阈值 Q (常用 $\leq 0.1Q$) 的标准件，用于表征系统本底、噪声地板与长期稳定性。

5.1 金件的三大用途

- 测系统本底/噪声地板 (Noise Floor)
- 监控长期漂移 (密封圈老化、接头磨损、阀体状态变化)
- 作为 OK/校准/NG 件的母体平台 (同一平台上更可比)

5.2 金件设计/选择 checklist (必须满足)

- 接口与装夹方式与真实工件一致 (同夹具、同密封圈、同压紧动作)
- 容积尽量等效 (避免“极小金属块”导致假乐观)
- 材料需考虑回弹/蠕变 (塑料件产线建议另设“工况型金件”)
- 等效泄漏 $\leq 0.1Q$ (更严格可 $\leq 0.05Q$)
- 可重复装夹、防呆结构、可维护、可追溯编号

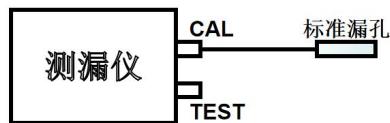
为什么没有金件系统级校准不完整？因为缺少“系统本底与噪声地板”的基准，阈值映射与漂移诊断都会失去参照，现场只能靠猜与扯皮。

第 6 章 | 标准件四件套：金件/OK 件/校准件/NG 件

- 金件 (0 件)：应当不漏 ($\leq 0.1Q$)，测本底/漂移。
- OK 件 ($0.5Q$)：验证不会误杀 (Good should pass)。
- 校准件 ($\approx Q$)：把允许泄漏率 Q 映射为机台判定信号窗口 (ΔP / 等效漏率 / Q)。
- NG 件 ($2Q$)：验证不会漏杀 (Bad should fail)。

第 7 章 | 标准漏孔系统级连接方式：四种接法与结论

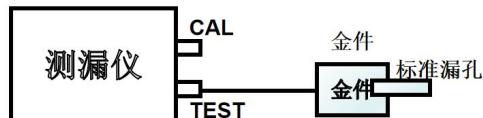
常见四种接法如下 (从省事到真实)：



(1) CAL 口直连 (机器级验证)

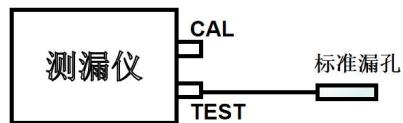
主要验证 气密机内部“校准/点检通道”（内部阀、内部流路、内部算法对标准漏孔的读数一致性）

很多机型的 CAL 口路径是“厂内校准专用捷径”，并不等同于 TEST 口的真实测试路径



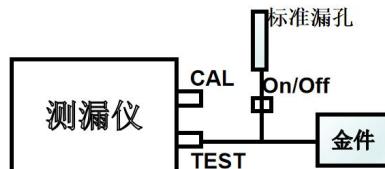
(3) 漏孔—金件 串联: 系统级验证

把“工件等效容积/结构”引入验证链路：
充气、稳压、平衡、测量、排气这些动态过程更接近产线
验证：机器 + TEST通道 + 夹具/金件接口 + 等效容积的整体一致性



(2) TEST 口直连 (半系统级验证)

验证 TEST 口这条主测试通道（包含 TEST 口相关阀/传感器/节流件/算法）
但仍未引入真实工装/工件等“系统变量”



(3) 三通并联旁路: 系统级验证 (原位点检/推荐)

验证的是“真实系统的原位点检/在线自检能力”：
不拆管、不改主通道，通过旁路把标准漏孔“临时接入系统”
最贴近产线 SOP: 同一套管路、同一套阀、同一套夹具，切换状态进行点检

图：气密检漏仪用标准漏孔的4种方式

1) CAL 口直连 (机器级验证)

连接： 标准漏孔 → 气密机 CAL 口

主要验证 气密机内部“校准/点检通道”（内部阀、内部流路、内部算法对标准漏孔的读数一致性）

很多机型的 CAL 口路径是“厂内校准专用捷径”，并不等同于 TEST 口的真实测试路径

优点：

最快、最省事、重复性最好（因为路径短、变量少）

适合做：每日点检 / 交接班快检

局限：

不能代表你在 TEST 口上用到的夹具/管路/密封/阀件

结论是“机器健康”，不是“系统健康”

2) TEST 口直连（半系统级验证）

连接： 标准漏孔 → 气密机 TEST 口

验证 TEST 口这条主测试通道（包含 TEST 口相关阀/传感器/节流件/算法）

但仍未引入真实工装/工件等“系统变量”

优点：

比 CAL 更接近真实测试路径

能发现： TEST 口相关阀漏、接头松动、主路径污染等

局限：

仍然绕开了夹具、治具体积、工件材料/容积等关键影响

3) 漏孔先紧密连接“金件”（模拟工件），再接 TEST（系统级验证）

连接： 标准漏孔 ↔ 金件（紧密连接/密封）↔ 气密机 TEST 口

你在验证什么：

把“工件等效容积/结构”引入验证链路：

充气、稳压、平衡、测量、排气这些动态过程更接近产线

验证： 机器 + TEST 通道 + 夹具/金件接口 + 等效容积 的整体一致性

优点：

更接近“真实系统”，对压降法/差压法尤其有意义（容积、弹性、热平衡都会体现）

能筛出： 夹具接口问题、金件密封面问题、系统死体积/平衡时间设置不合理等

局限/坑：

金件与漏孔之间的连接必须“真正紧密”，否则你验证的就变成“连接处漏”，而不是漏孔本体

金件体积越大，平衡时间越重要；否则读数会飘

4) 漏孔与金件用三通并联，再接 TEST (系统级验证，常见工程推荐)

连接：金件 \leftrightarrow 三通 \leftrightarrow TEST 口；标准漏孔从三通的旁支并联接入
(典型用途：点检=打开旁支/接入漏孔；测工件=关闭旁支/堵断漏孔支路)

验证的是“真实系统的原位点检/在线自检能力”：

不拆管、不改主通道，通过旁路把标准漏孔“临时接入系统”

最贴近产线 SOP：同一套管路、同一套阀、同一套夹具，切换状态进行点检

优点：

现场最方便、最像“系统级推荐做法”(尤其适合需要频繁点检的产线)

能最真实反映：主通道/夹具/金件接口/系统稳定时间的综合状态

关键工程前提：

堵断位置要明确：测工件时必须确保漏孔支路“硬隔离”(不是仅靠软阀漏封)

旁支要短：旁支越长、死体积越大，切换后平衡越慢、拖尾越明显

阀型与密封等级要匹配：不然你会把“旁路阀内漏”当作系统漏

平衡时间要重新定义：并联结构切换状态后，必须给足“稳态时间”

第 8 章 | 方法选择流程图 (工程决策)

开始

① 工件材料是否为塑料/复合材料/薄壁件？

- 是：回弹/蠕变显著

② 节拍是否允许较长稳定时间？

- 是：可考虑压降法 (但必须：金件 + 旁路标准漏孔)

- 否：优先差压法或流量法 (必须系统级校准)

- 否 (工件刚性高)：

③ 目标泄漏阈值量级？

- 较大 (sccm 级或以上)：压降法通常足够（仍建议系统级点检）

- 较小（接近系统分辨极限）：

④ 是否更强调抗温漂/重复性？

- 是：差压法更稳

- 否：流量/质量法可行（前提：稳态窗口与阀控做好）

强制工程提示：无论选哪种方法，都必须验证：①金件本底（系统地基）；②校准件映射（Q→判定信号）；③OK/NG 分选能力（防误杀/防漏杀）。

第 9 章 | 系统级点检/校准 SOP (条款版)

9.1 频率与次数

- 班前点检（每班）：金件 + 校准件 + NG 件（每个 N=3）
- 换型/换夹具/换密封圈后（强制）：四件套（N=5）
- 维修/关键部件更换后（强制）：四件套（建议 N=10）
- 能力建立（新线/新项目）：四件套（建议 N≥30）

9.2 允差窗（通过/预警/报警）

- 金件：用绝对窗或基线统计窗（建议目标 $\leq 0.1Q$ ；超过报警窗必须停线排查）。
- 校准件与 NG 件：用百分比窗（例如 $\pm 10\%$ ）并做趋势监控；NG 件若出现“判 OK”应立即停线。

9.3 异常处置（最小诊断树）

- 金件异常：优先排查夹具/密封圈/接头/管路/阀体本底漏；金件不过，后续校准无意义。
- 金件正常但校准件异常：排查标准漏孔模块、旁路截止件是否真接入/真关死、程序窗口是否被改动。
- NG 件偶发判 OK：最高风险，立即停线，按阀控/旁路/窗口/系统噪声逐项排查。

第 10 章 | 常见误区与 FAQ

Q1：只接 CAL 口校准是不是“骗人”？

更准确的说法是：CAL 口校准只证明仪器内部链路基本可用，并不能证明产线系统分选能力。若把 CAL 口当作产线点检结果使用，会形成“看起来很准、上线仍翻车”的风险。

Q2：为什么同一标准漏孔换接法读数变？

因为读数包含系统体积、温度回弹、材料形变与本底漏等项。接法变化会改变系统结构与动态过程，导致响应变化。

Q3：旁路法为什么推荐？

因为它在不破坏主回路（真实测试条件）的前提下引入已知泄漏输入，切换快、复现性高，最适合产线高频点检与漂移监控。

注：本文为行业公开方法论文件，具体机台参数、程序窗口与允差窗应结合实际工件与节拍，通过能力建立（ $N \geq 30$ ）固化为企业内部 SOP。