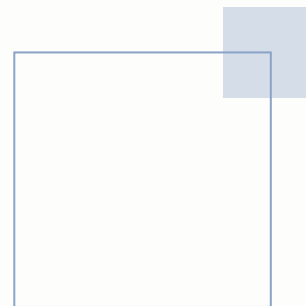


REALMETER INSTRUMENTS

上海睿米仪器仪表有限公司



技术文章 · 产业观察

经验的折旧， 数据的复利

RGa 量化给追赶者的时间窗口

作者 刘宁 谢放平

出品 上海睿米仪器仪表有限公司 RealMeter Instruments (Shanghai)

版本 V1.0 2026-09-18

目录

摘要3

1. 一个行业里人人都见过、却很少被写下来的现象4

2. 趋势分析的本质：经验是唯一的基准5

3. 冻结：行业的理性对策，与它的隐性账单6

4. 定量化解套：判据从"比基线高"变成"超过阈值"7

5. 追赶者的窗口：数据资产的折旧率8

6. 三句必须写明的边界9

7. 结语10

参考文献11

摘要

半导体业界对残余气体分析仪（RGA）的主流用法是趋势分析：不看绝对分压，只看特征峰相对历史基线的变化。这种用法的有效性有一个从不言明的前提——系统的一切都不许变。于是行业演化出一种心照不宣的策略：冻结。接口不许动、管路不许改、参数锁死，任何改动都意味着数月基线积累作废、经验归零。本文论证：冻结不是工程师的保守，而是为“数据不可移植”支付的保险费；以可溯源标准漏孔为锚的定量化，把判据从相对基线变为绝对阈值，使操作经验第一次成为可携带、可传递、可随产品迭代复利的资产。对追赶者而言，这里存在一个真实的、但有条件的时间窗口：领先者的经验随产品换代折旧，追赶者的定量数据随产品换代复利。

关键词：残余气体分析；趋势分析；基线；标准漏孔；定量化；可溯源；后发优势；半导体设备

1. 一个行业里人人都见过、却很少被写下来的现象

去过半导体厂真空车间的人，大多听过这类对话：

"这台 RGA 的谱怎么看？" "问老张，他看了八年。"

"机台大修完，谱不太一样了？" "正常，攒两个月基线再说。"

"新机型能不能直接用老机台的报警阈值？" "不能，得重新摸。"

这些对话背后是一个完整的、却从未被正式命名的知识体系：操作员对"这台设备正常长相"的直觉。它值钱——一条产线的异常预警能力很大程度上就押在这上面；它脆弱——换个人、动个探头、改段管路，就要从头再来。本文要回答三个问题：这个知识体系为什么如此脆弱？行业用什么策略对冲这种脆弱？以及，量化为什么能把这个策略本身淘汰掉？

2. 趋势分析的本质：经验是唯一的基准

RGA 行业的尴尬起点是：仪器读数与真实分压之间隔着一一条不可移植的换算链。厂家给的灵敏度表源于半个多世纪前的文献汇编，与“你这台仪器、这套参数、今天这个日期”没有可溯源的关系——这一点我们在《RGA 定量化白皮书》中已用实测逐项验证 [2]：同一台商用 RGA 上，通用表与实测值偏差 0.85–3.4 倍且方向不一。

读数不可信为绝对量，行业就退而求其次：不看绝对值，只看变化。这就是趋势分析——把历史谱当作基准，观察特征峰相对基线的升降。这个做法本身是聪明的：它绕开了不可移植性，用时间维的自洽替代空间维的绝对。

但它的代价藏在一句从不言明的前提里：**历史基线有效，当且仅当系统的一切都没变**。构型没变、取样位置没变、仪器参数没变、仪器个体没变。我们在取样几何白皮书中逐项分析过这些变量的物理效应 [1]：并联改串联，测的就不是同一个物理量；探头移个位置，绝对信号权重就漂移；灯丝老化、倍增器增益衰减，220 天内灵敏度漂移可达 2 倍 [3]，同一台仪器一年后标度参数可变化 0.5–1.6 倍 [4]。每一个变量都是基线的破坏者。

于是经验积累呈现出一种奇特的属性：**它不粘着在工艺上，而是粘着在“这台机、这个腔、这个接法、这段时间”上**。这就是经验带不走的原因——不是经验本身玄妙，是它的参照系是绑死的。

3. 冻结：行业的理性对策，与它的隐性账单

面对“基线一碰就碎”，行业演化出的对策是冻结：

- 接口、管路、探头位置一经确定，不许动；
- 仪器参数锁死，连“优化一下分辨率”都是禁忌；
- 大修、换件之后默认进入基线重建期，数月内数据仅供“参考”；
- 新机型、新产线的工艺转移，报警阈值一律重新摸。

这套策略是理性的——在数据不可移植的前提下，把系统冻住是唯一能让趋势分析成立的办法。但它的账单鲜少被认真计算：

其一，系统僵化。工艺改进、预防性维护、产能扩充的门槛都被人为抬高——不是技术上不能改，是改了之后“经验保险”要重新投保。

其二，知识的人身绑定。基线装在老师傅的脑子里，写在没人敢动的操作规程里。人员流动一次，产线就裸奔一段。

其三，也是最隐蔽的一条：冻结策略把不可复现性从仪器层面转移到了系统生命周期层面。问题没有消失，只是换了个地方付账——付在每一个“不许动”上，付在每次换代的重新积累上，付在产线之间永远无法互认的数据上。

4. 定量化解套：判据从"比基线高"变成"超过阈值"

拆掉冻结的前提，只需要一件事：让读数成为绝对量。

做法在计量学上早已成熟——用可溯源的标准漏孔把已知漏率的气体送入本机，在固定参数下反演响应系数，定期复校跟踪漂移 [2][4][5]。变化发生时，重估的不是"经验"，而是系数：大修之后不必攒两个月基线，一支漏孔、几个小时，就能把测量链重新锚定到国家计量基准上。

一旦读数是绝对量，判据的形态就变了：

	趋势分析	定量化
判据形态	"这个峰比基线高 20%"	"杂质分压超过 $\times 10^{-7}$ Pa"
参照系	本机历史谱	可溯源漏率标准
机台间传递	不能	可以
换代继承	重新积累	原样继承
人员依赖	高（经验在脑内）	低（判据在档内）
大修后恢复	月级	小时级

判据脱离具体安装之后，经验第一次成为**资产**：可以写进规范、跨机台传递、随产品迭代继承。冻结策略所保护的东西并没有消失——判据仍然稳定，但稳定的来源从"不许动"变成了"随时能对表"。

5. 追赶者的窗口：数据资产的折旧率

这层变化对追赶者尤其重要，值得单独说透。

领先厂商在 RGA 使用上的壁垒，很大程度上不是仪器、不是专利，而是默会知识——数十年积累在各自装机系统上的趋势基线与故障特征库。这类资产有两个致命属性：**不可言传**（买不来、抄不走），**不可迁移**（附着于具体机型与安装，产品换代即部分清零——他们的新平台同样要从头攒基线）。

追赶者若沿用同样的趋势分析路线，等于在对方最擅长的积累赛道上从零点起跑，差距只会固化。定量化提供了换道的可能：以可溯源漏孔为锚积累的数据是绝对量，不绑定机台、腔体与接法；同一套判据——杂质分压阈值、碎裂指纹库、响应系数档案——可以原样继承到下一代机型、下一代腔体。数据资产随产品迭代**复利式增值**，而不是每次换代重新计提折旧。

起跑线因此被重新定义：领先者的存量经验难以向后兼容自己的新平台，而追赶者从第一天起积累的就是向前兼容的资产。在方法论切换的窗口期，时间第一次站在追赶者一边。

6. 三句必须写明的边界

这个判断不能被读成口号，三句话把它钉在地上：

其一，趋势分析没有错。在固定系统上它依然有效且必要；定量化给予它的不是替代，而是"断点续传"的能力。谁把本文读成"趋势分析可以淘汰了"，谁就没有读懂。

其二，后发优势是条件命题。只有从早期就执行"固定五元（气体、仪器、参数、日期、几何）+ 数据建档"的纪律，积累才以可携带的形态沉淀下来；照抄领先者的趋势分析路线，没有任何后发红利。领先者同样可以转向定量化——其真实的劣势在存量：历史趋势基线无法事后换算为绝对量，这部分资产在转向时被一次性核销。这正是"先发"在方法论切换时刻的真实成本。

其三，绝对量数据不等于工艺理解。阈值与良率的关联仍需逐工艺验证，定量化压缩的是基线重建的时间，而不是工艺学习的全部。计量给出的是尺子，用尺子量出什么规律，仍然是工艺工程师的工作。

7. 结语

回到车间里那句"问老张，他看了八年"。

老张的经验是真的值钱，问题从来不在经验，在于经验的载体：它存在一个有保质期的参照系里。冻结策略延长了保质期，代价是把系统做成琥珀。量化的意义不在于让仪器更准——而在于让经验换个载体：从"这台机、这个腔、这个接法"搬到"可溯源的绝对刻度"上。搬过去之后，老张八年的直觉第一次可以写成文档、传给徒弟、带到下一代机台。

经验带不走的日子，到此可以结束了。

参考文献

- [1] 刘宁, 谢放平. RGA 取样几何技术白皮书——安装方式如何改变你的测量 (RMI-TN-2026-01) [R]. RealMeter Instruments (睿米), 2026.
- [2] 刘宁, 谢放平. RGA 定量化白皮书 Part I: 从指纹分析到可溯源测量 [R]. RealMeter Instruments (睿米), 2026.
- [3] LIESZKOVSZKY L, FILIPPELLI A R, TILFORD C R. Metrological characteristics of a group of quadrupole partial pressure analyzers [J]. J. Vac. Sci. Technol. A, 1990, 8(5): 3838-3854. DOI: 10.1116/1.576458.
- [4] MARSHALL E, MALYSHEV O B, LUFF R. Comparison of residual gas analyser sensitivity coefficients in high to ultra-high vacuum [J]. Vacuum, 2025, 241: 114668. DOI: 10.1016/j.vacuum.2025.114668.
- [5] MALYSHEV O B, MIDDLEMAN K J. In situ ultrahigh vacuum residual gas analyzer 'calibration' [J]. J. Vac. Sci. Technol. A, 2008, 26(6): 1474-1479. DOI: 10.1116/1.2990856.
-

© 2026 RealMeter Instruments (睿米)。本文可自由转发，转载请注明出处。contact@realmeter.cn / www.realmeter.cn / www.realmeter.cc