

# 利用传感器诊断仪器

随着自动化和数字化持续推动实验室4.0生产力和效率的提高，数据生成、收集和分析的重要性已经无可争议。从各种实验室仪器中提取的数据为优化工序、确保高度受控的可重复实验提供了关键切入点。

终端用户要求实验室仪器具有的重要特性之一是其高稳健性，要求机器不仅能够长时间可靠运行，同时将意外停机时间降至最短。

这点背后的逻辑很简单：仪器故障会导致人工成本浪费；等待维修会造成实验延迟，从而可能损失珍贵的样品。

此外，无论是色谱系统、血液分析仪还是流式细胞仪，这类仪器的复杂性日益增加，需要对其进行频繁、长期且高昂的维护。

传感器作为实验室的主要数据源，可以通过预测性维护、仪器诊断来帮助减少仪器停机时间、缩短其维护时间。

## 传感器如何提高仪器的稳健性和可靠性

大多数类型的分析仪器都需要控制试剂的剂量、所载气体或液体的流动或是样品进样。为了满足这些目的，此类仪器通常整合了气体或液体流量传感器。Sensirion 的微热流量传感器因其具有更好的可重复性、更广的动态范围和更高的灵敏度而被广泛使用。当流量测量范围低至纳升/分钟时，传感器的信号仍可以提供有关仪器健康状况的重要信息：即所谓的“不止流量测量”（more-than-flow）。

为了说明这一点，我们在下文探讨了各种使用案例，深入研究传感器的操作机制。来自实验装置的真实测量数据可作为概念验证，并为如何重现各种使用案例提供了指导。

## 使用案例

### 阀门振铃

当阀门关闭以停止流体流经系统，而泵以相同的速度运行时，则会发生振铃，尤其在密封圈磨损并且阀门需要一定时间才能调整到关闭状态的情况下（图 1），这种情况就会出现。由于流量传感器的高灵敏度，会显示巨大的起伏，反映出可能干扰仪器功能的回流。

检测这种振铃（也可能由机械振动引起）可以优化装置。有关实验结果，请参阅下一节中的图 9。

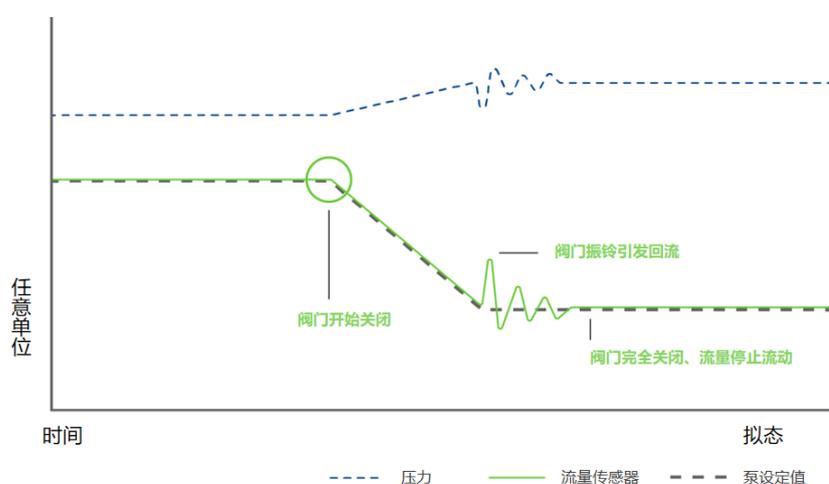


图 1 阀门振铃的模拟结果：流量传感器读数（绿色），压力（蓝色），泵流量设定值（黑色）。

### 机械磨损

另一个“不止流量测量”的例子是检测随时间变化的机械磨损（图 2）。机械磨损在流量传感器上有多种体现：由于泵故障而导致的噪声信号、泄漏增加而导致的流量错误，以及反映仪器摇摆的振动。有关实验结果，请参阅下一节中的图 8。

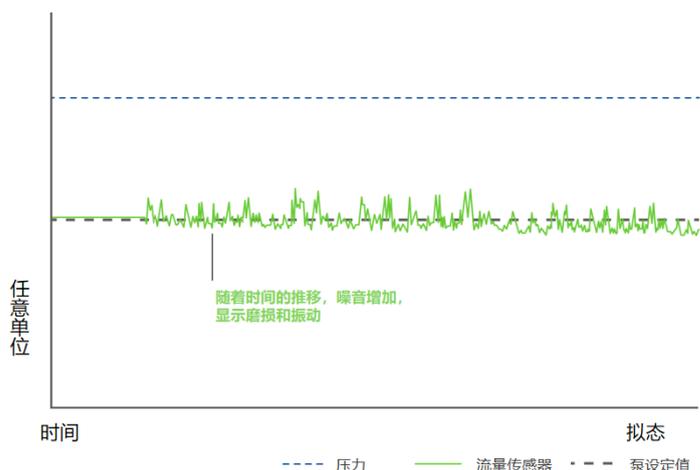


图 2 机械磨损的模拟结果：显示较大噪音水平的流量传感器读数（绿色），未检测到磨损的压力曲线（蓝色），泵流量设定值（黑色）

## 液体中的气泡检测

由于给定液体和空气之间存在热导率差异，Sensirion 的液体流量传感器可以检测到液体中的气泡（图 3）。根据气泡大小，可以分为两种情况。对于大的气泡，当空气流经传感器时，流量将达到零值。对于较小的气泡，由于流量没有时间达到零值，因此只能观察到尖峰。尖峰是指当气泡经过时，热电堆之间的温度差异很大而形成的。鉴于气泡对压力的影响可以忽略不计，因此无法通过压力传感获得此类数据。有关较小气泡的实验结果，请参阅下一节中的图 10。

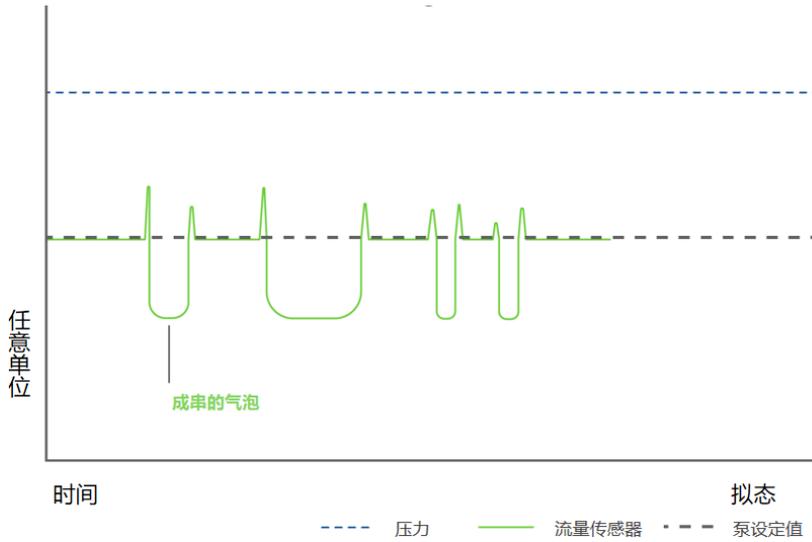


图 3 由于空气和液体之间的热导率差异，由流量传感器而非压力传感器检测到的气泡的模拟结果：传感器读数（绿色），压力（蓝色），泵流量设定值（黑色）。

## 管路堵塞

流路中的障碍物会改变流量，最终导致管道爆裂或仪器损坏（图 4）。一旦形成堵塞，流量就会低于其设定值，压力开始增加并最终达到饱和。传感器检测到后，可以通过冲洗管路或机械去除部分堵塞，从而恢复流量和压力。

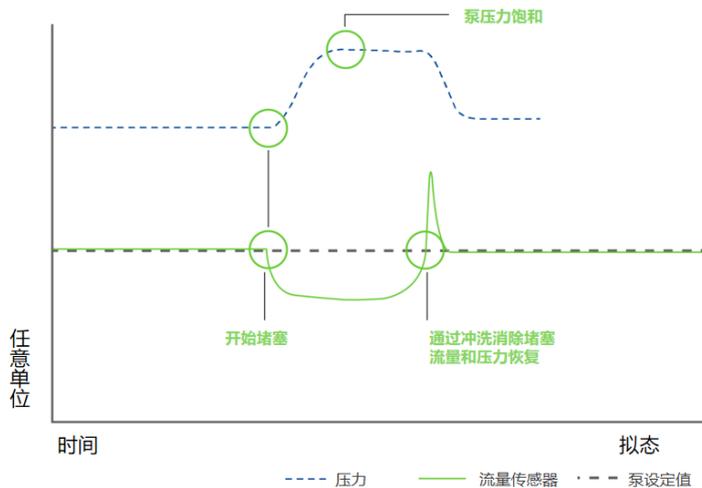


图 4 管路堵塞的模拟结果：传感器读取了更低的流量（绿色），压力传感器显示压力增加（蓝色），泵的原始设定值（黑色）。

## 泵流量校正

在诸如泄漏或故障等多种情况下，可能造成泵无法提供预期的流量。将流量传感器连接到与泵的反馈控制回路（或PID回路）中时，传感器会通知泵其流量偏离了设定值，从而快速纠正泵流量（图5）。这一逻辑同样适用于降低泵的噪声。

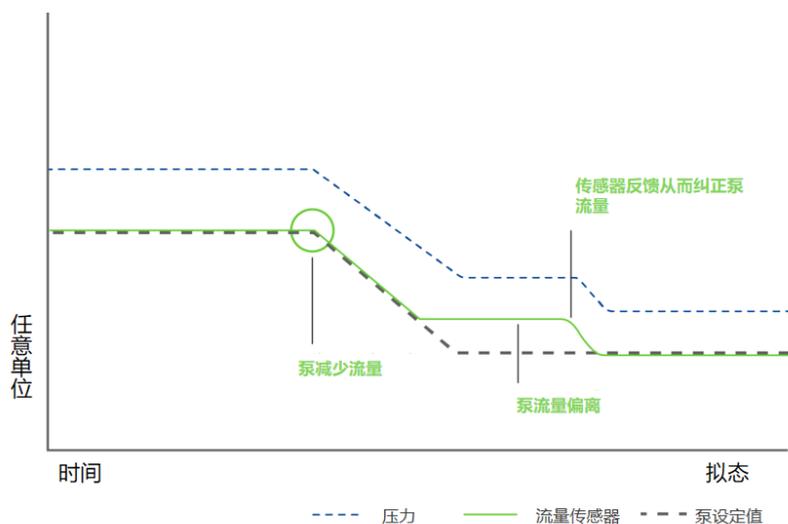


图5 当流量传感器检测到相对于设定值更高的流量时，由于反馈控制导致的流量校正的模拟结果（绿色）。压力（蓝色），泵流量设定值（黑色）。

## 液体类型和温度检测

通过零流量测量，传感器可以以任意单位确定液体的热导率，通过已知的热导率区分各种溶剂或试剂。

此外，可以通过传感器上的温度芯片来实时测量液体的温度，而温度正是各种生物测量中的重要参数。



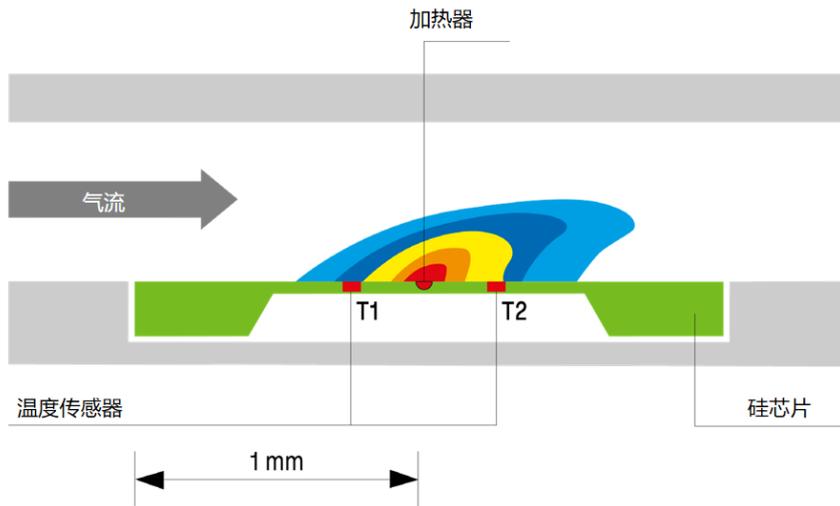
## 微热式传感器的工作原理

热式流量传感利用了薄膜上的加热元件，该元件被上游（T1）和下游（T2）的温度传感器包围着（参见图6）。

零流量时，由于加热器两边产生的温度相同，温差  $T_2 - T_1$  等于 0。

有流量时，温度曲线会发生变化，从而导致温度检测器产生信号。这种工作机制具有高度可重复性，有助于在较大的动态范围内对非常细微的变化进行测量，能够检测低至纳升每分钟的液体流速和每分钟低于毫升以下的气体流速。兼容 CMOS 设计使得该传感器性价比高，外形小巧，方便集成。

该芯片还包含一个温度传感器，用于补偿温度带来的影响，从而无需安装额外的校正传感器。

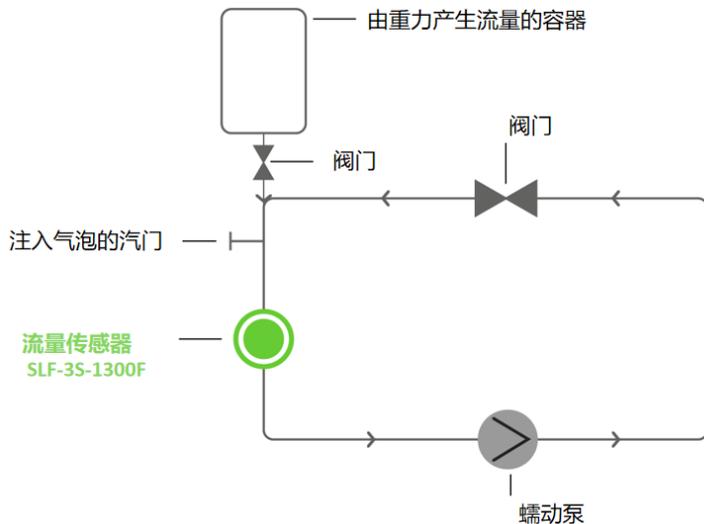


此外，芯片上还集成了数字处理电路和存储单元，用于处理收集的数据并存储测定曲线。

图6 流量传感器横截面示意图，加热器两边各有一个温度检测器，这对热式传感器的运行至关重要。

## 运行实验装置

上述测量是在一个由闭环管道系统组成的装置上进行的。用水和乙醇混合物作为试液。液体流速产生于蠕动泵或重力，以尽量减少泵的影响



（图7）。同时采用 Sensirion SLF-3S-1300F 传感器测量流量信号。此外，该装置还配备了电磁阀和汽门，用于将气泡引入系统。这种布置是一种用于演示检测液体流动系统各方面状态的通用设置。

要注意的是实际的实施、灵敏度和表现性能取决于实际的应用。

图7 用于说明各种使用案例的实验装置示意图

图 8 展示了初始时稳定的流速。蠕动泵打开后，其特有的机械行为就会反映在传感器信号中。Sensirion 液体流量传感器的灵敏度可以检测到泵运行的异常情况（例如，磨损引起的异常），从而在系统完全故障之前进行干预。

图 9 展示了打开和关闭阀门对流量的影响。关闭阀门、流量停止流动会造成流量信号的典型振荡，从而导致回流（体现为圈出的绿色曲线）。

Sensirion 的液体流量传感器精确可靠，可以定位发生回流的时间。这有助于监控系统的整体状态，并在阀门随时间推移而磨损时优化其性能

图 10 展示了液体流量系统中的气泡对传感器信号（尖峰）的影响。这要归功于 Sensirion 液体流量传感器的高灵敏度和快速响应。识别气泡可以检测系统中的潜在泄漏或漏气问题。

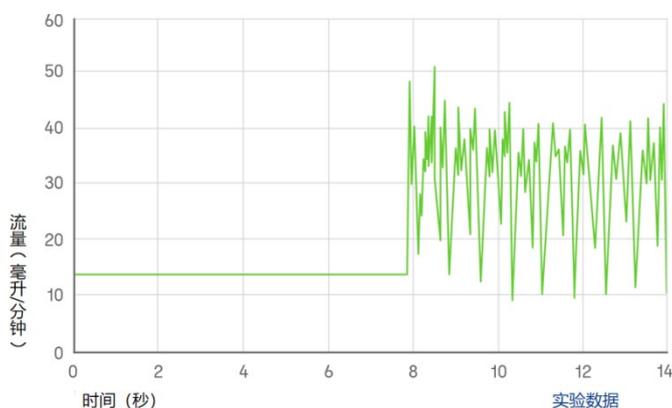


图 8 通过传感器读数检测蠕动泵的机械行为（绿色曲线）

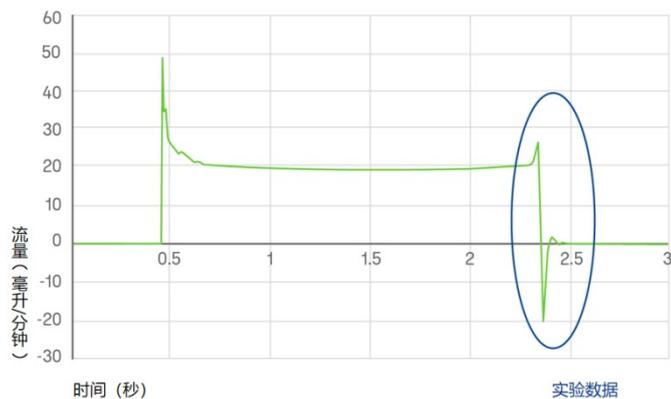


图 9 在流量稳定之前打开和关闭阀门导致过冲的实验数据

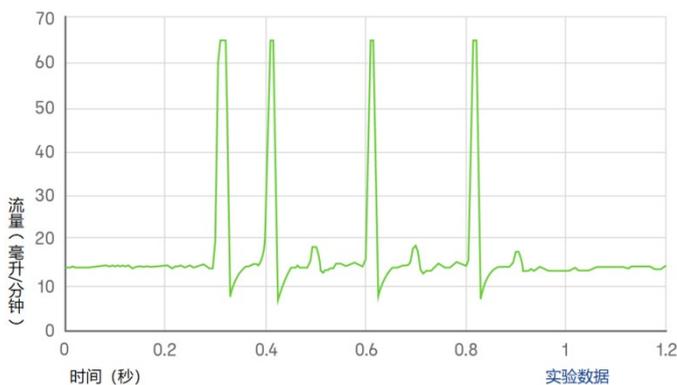


图 10 气泡检测中传感器信号显示为尖峰的实验数据

## 关于流量与压力传感的最后说明

- 压力/差压传感器因其经济适用性，以及具有反馈系统健康状况的能力（例如：堵塞导致高压）而广泛用于生命科学。
- 在某些情况下，例如在柱压至关重要的高效液相色谱（HPLC）中，出于安全考虑，需要配备压力传感器。
- 正如前文所示，热式流量传感器除了支持更多的使用场景外，还适用于更广的动态范围、拥有更高的灵敏度。流量传感器减少了对多个传感器的需求，降低了成本，同时实现了早期故障预测。
- 在理想情况下，将两个传感器结合起来，可以提供整体视图和更有效的仪器诊断。

## 总结

从本质上讲，实验室 4.0 的发展趋势凸显了数据在实验室中的重要作用。这些数据可用于增强仪器的稳定性。蒸发并转化为数据和图形的流动液体使实验运行时间增加到最大限度，保持了实验的完整性。Sensirion 的热式传感技术具有高度的可重复性和灵敏度，可提升仪器诊断能力。各种使用案例都论证了它在检测异常和确保仪器性能方面的有效性。

开启您的仪器诊断之旅，请联系我们获取关于各种流量传感器的更多信息和评估套件。

---

### 作者

Marwan Chehade, Giuseppe Cacciato, Sebastian Schnoz

生命科学与分析仪器市场经理

## 相关液体流量传感器

### SLF3x

新一代液体流量传感器



### SLG

适用于超低流量和超高效液相色谱

谱 (UHPLC)



### LG16

适用于原始设备制造商 (OEM) 的数字化

紧凑型液体流量传感器



### LS32

紧凑、耐化学腐蚀的液体流量传感器



### 关于Sensirion——传感器解决方案专家

Sensirion是一家世界知名的传感器解决方案开发商和制造商，成立于1998年，全球员工约1200名，总部位于瑞士 Stäfa。

Sensirion凭借开创性的传感器技术，能够实现在各种环境下的精准测量，致力于提升应用效率、改善人们健康、提升生活的安全性和舒适度，让世界变得更智能。作为创新的先驱者，Sensirion不仅为大规模生产商提供经济且高品质产品，还持续为汽车、工业、医疗技术和消费电子市场的客户和合作伙伴提供定制化解决方案。欲了解更多信息，请访问[www.sensirion.com.cn](http://www.sensirion.com.cn)。

