

Foam Meter 设备：聚氨酯泡沫质量评估系统

（泡沫形成过程中质量参数的测量）

关于 Foam Meter 设备与聚氨酯泡沫质量控制：

聚氨酯行业的主要客户，包括汽车零部件制造商（座椅、仪表板等）、家具制造商、冰箱制造商以及建筑保温材料生产商，对产品质量和稳定性的要求不断提高。同时，汽车制造企业要求汽车零部件供应商满足严格的质量标准。因此，泡沫生产商需要向客户提供有关泡沫形成过程参数的准确信息。

与此同时，生产商也希望对泡沫生产过程进行更加精确的控制，尤其是为了确保产品质量的一致性和稳定性。

这些需求推动了测量设备的发展，用于记录泡沫形成过程中的关键特性，例如泡沫上升高度、温度变化、压力以及介电极化。此外，黏度、凝胶时间和固化行为等信息也是评估泡沫性能的重要数据。

Foam Meter 是一种测量设备，可用于测量和记录泡沫形成过程中的关键特性，包括泡沫高度、反应温度、上升压力和介电极化。通过测量数据还可以获得黏度、凝胶时间和固化行为等其他信息。因此，该设备是评估所生产泡沫性能的有效工具，同时这些测量结果也可作为生产过程文件的重要组成部分。

引言：

聚氨酯泡沫的质量在很大程度上取决于泡沫形成过程中发生的变化。因此，使用适当的测量工具记录泡沫形成参数，并定期对样品进行检测是十分必要的。这类测量的另一个优点是，可以在原料用于最终配方之前确认其质量稳定性。

在开发具有特定性能的新型泡沫体系时，这种监测同样具有重要价值。通过测量泡沫形成参数，可以了解反应的进行情况，以及添加剂、发泡剂、稳定剂和基础配方变化对泡沫形成过程的影响。

为了实现这些目标，可以使用 Foam Meter 泡沫测量设备来判断泡沫在测量精度和重复性方面是否满足严格要求。

泡沫上升曲线（Foam Fingerprint）：

传统的泡沫性能测定方法，是测量杯子或圆柱形容器中正在上升的泡沫样品高度。在该测试中，可以根据泡沫上升曲线确定反应开始时间和泡沫上升结束时间。虽然这些术语尚未完全标准化，但通常情况下，开始时间是指混合后 A 组分（多元醇 + 添加剂）与 B 组分（异氰酸酯）开始发生反应的时间；泡沫上升结束时间则是泡沫达到最大膨胀程度的时间。

超声波传感器非常适合测量正在上升的泡沫表面高度，可用于替代人工测量方法，并降低人工测量带来的不确定性（图 1）。



图 1. 使用 Foam Meter 测量聚氨酯泡沫上升曲线

通过将新配方的泡沫上升曲线（Foam Fingerprint）与参考曲线进行比较，可以评估新配方的性能、质量及其稳定性。

反应温度（Reaction Temperature）：

放热聚合反应会导致泡沫样品内部温度升高。然而，样品内部的温度分布并不均匀，因为它会受到泡沫上部自由表面散热、容器壁导热、泡沫自身隔热性能以及泡沫绝热膨胀等因素的影响。因此，在泡沫上升过程中选择温度变化的测量位置非常重要。

根据实验经验，将热电偶（Thermocouple）放置在泡沫总高度下部三分之一的位置，可以较准确地测量泡沫芯部的最高温度。随着反应继续进行，泡沫组分开始凝胶，并在泡沫内部产生压力。由于在压力测量过程中泡沫仍可以自由向上膨胀，因此超声波传感器可以同时测量泡沫体积的增加。

上升压力（Rise Pressure）：

在凝胶过程中，会形成稳定的泡孔结构，这种结构会限制进一步膨胀，同时阻止发泡剂逸出。这两个过程会在泡沫内部产生应力（压力），而这种压力在实际应用中可能产生不利影响。

例如，在冰箱生产过程中，金属板可能会受到垂直于泡沫上升方向的压力。在许多情况下会产生较大的压力，因此生产部件必须保持在模具中，直到固化过程完成。在严重情况下，这些力甚至可能损坏部件。因此，对这一参数进行监测已经成为硬质聚氨酯泡沫生产中的重要要求。

在 Foam Meter 中，由于凝胶过程中产生的局部应力与泡沫高度增加密切相关，因此力的变化以泡沫上升压力的形式进行测量。泡沫上升曲线主要记录发泡剂形成的动态（动力学）过程，而上升压力则反映受聚合反应影响的泡孔特性。上升压力通过一个可注入泡沫组分的金属模具进行测量（图 2）。随着泡沫膨胀，它会对模具底部施加压力，并通过压力测量装置记录所产生的力（压力）。



图 2. 聚氨酯泡沫形成过程中的上升压力测量

压力曲线还可以为实际生产提供重要信息。它能够显示压力开始下降的时间，从而帮助确定何时可以安全开模。这有助于生产人员确定最佳脱模时间，并避免后膨胀（Post-expansion）造成的问题。同时，生产商还可以优化部件在模具中的停留时间，避免不必要地延长脱模时间，从而提高生产效率。

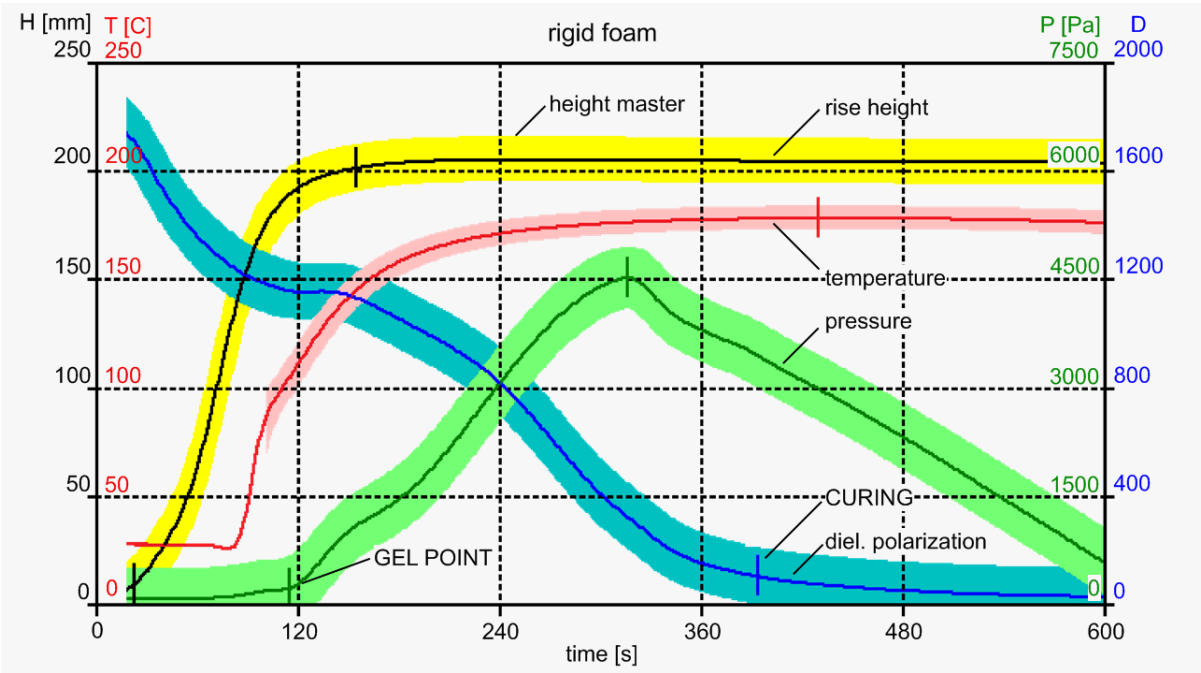
介电极化（Dielectric Polarization）：

介电极化是一项测量参数，可用于了解泡沫形成过程中发生的电化学过程。介电极化主要由具有较大偶极矩的链状分子产生，这是由于这些分子的末端具有极性基团，例如 PU 和 PIR 泡沫中的 OH 和 NCO 基团。分子链的形成发生在交联反应之前，随着固化过程最终完成，偶极子的运动也会停止。

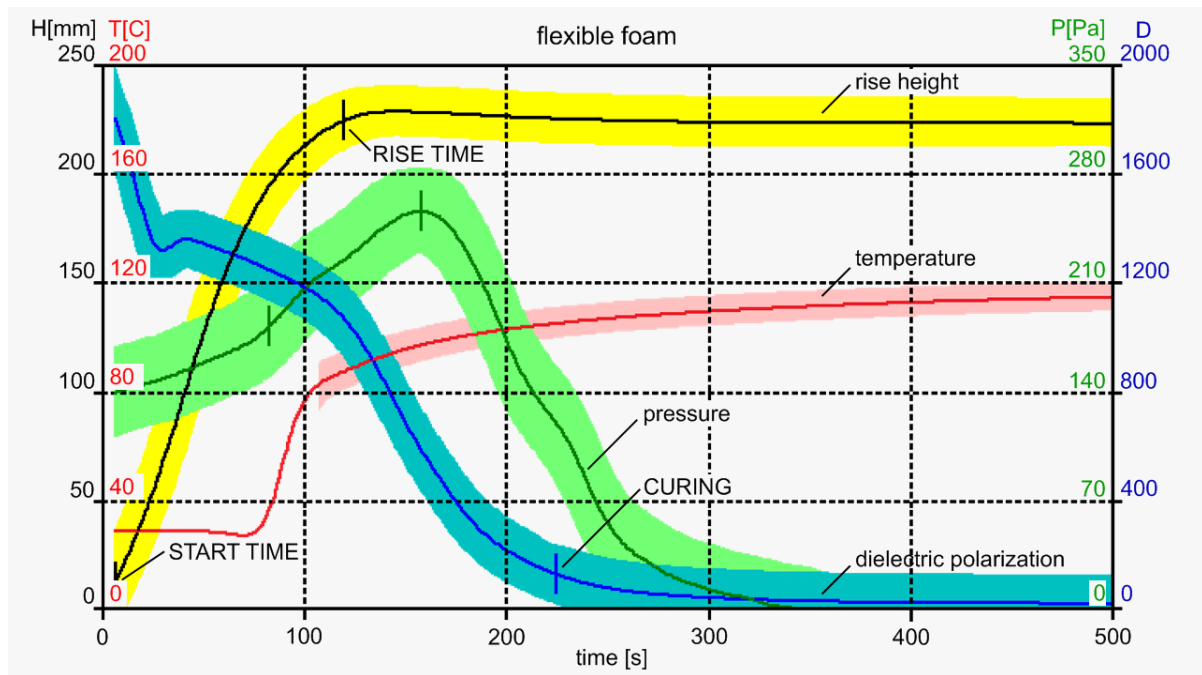
介电极化传感器（CMD）安装在 FPM 压力板上（图 3）。随着压力升高，泡沫被压向 CMD 表面。介电极化可以反映胺类等中间物质的形成以及泡沫的最终固化过程。当化学反应完成后，测量信号会降低并稳定在较低水平。

图表 1 和图表 2 分别给出了硬质聚氨酯泡沫和软质聚氨酯泡沫的测试示例。在以下图表中，高亮区域表示参考范围。如果测试样品的曲线位于该参考范围内，则说明新产品的性能没有发生明显变化。使用 Foamat，质量管理人员可以针对多种相关配方建立标准曲线，并确定相应的参考范围。

图表 1 将凝胶时间、部件在模具中的停留时间、反应过程中产生的最高温度以及样品的最大膨胀程度与参考值进行比较。对于软质泡沫，图表 2 进行了类似的比较，包括最大上升时间、上升结束后的样品塌陷（Collapse）程度、最大压力和温度，以及压力下降时间；其中压力下降时间可用于判断部件在模具中的停留时间。



图表 1. 硬质聚氨酯泡沫形成和质量控制参数



图表 2. 软质聚氨酯泡沫形成和质量控制参数

参考文献：

- Meeting product quality demands by monitoring PU foam formation: Bernd H. W. Hofmann
- Hagen-Poiseuille Equation: Essential Guide for Fluid Dynamics — Charlie Young, P.E.