

1 设备简介

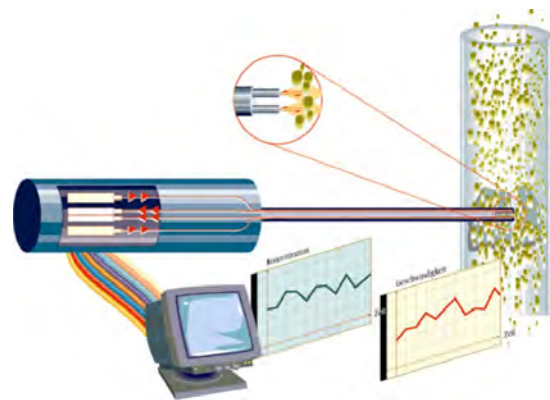
生产工艺的在线监测

现代化工工艺出于对节能、环保、安全等因素的考虑，常采用封闭的反应器，但这给工艺的实时监测带来了困难。同时由于生产工艺中的物料组分十分复杂，对常用的测试设备有诸多限制。因此，对生产工艺进行在线监测，是一项十分重要但又非常困难的工作。

瑞士 MSE Meili 公司

来自瑞士的 MSE Meili 公司成立于 1995 年，专注于多相流的在线测量。该公司设立专门的实验室用于多相流测试技术的研发，其主要产品 Labasys (Laser Backscatter System) 基于激光反射技术，用于帮助用户了解封闭环境中的颗粒运动速度及浓度。

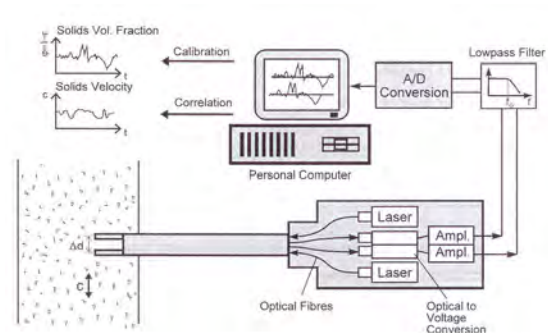
MSE Meili 公司有着 18 年的多相流测试设备的开发与应用经验，在食品、化工、制药、能源、安全等领域有广泛的应用，帮助 Shell、Alstom、Total、BASF、LyondellBasell、EDF 等国际知名公司进行了工艺的在线监测和优化改造，获得了用户的一致好评。



Labasys 测试系统

Labasys 测试设备通过流场内的颗粒、液滴或气泡对激光产生反射，对反射的激光信号进行收集，反射光越强则浓度越高。通过标定可以获得颗粒浓度与反射信号强弱之间的对应关系，在实际测量中，通过与标定数据进行对比即可获得颗粒的浓度信息。

反射光信号的波动记录了颗粒群的信息，通过对相邻两个或三个探头获得的信号进行相关性分析，结合探头之间的位置，即可计算颗粒的运动速度。



Labasys 系统组成

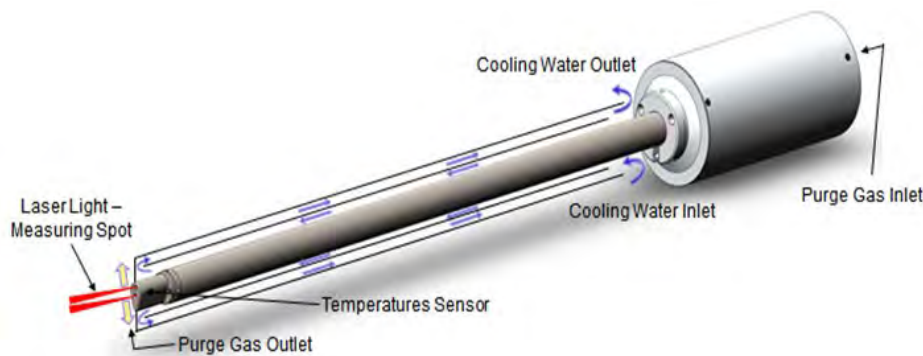
Labasys 测试系统包括激光发射装置、接收装置以及光纤，用于产生和接收激光信号；光电二极管及放大器，用于将光学信号转换成电压信号；PC 及数据处理软件 Labasoft，可用于分析电压信号，跟标定数据拟合计算浓度，进行相关性分析而获得速度；另外还有定制的标定设备，可对设备进行标定，获得电压信号与浓度之间存在的对应关系。

2 功能特色

Labasys 测试设备定位于工艺装置中的在线监测，在高温高压环境、颗粒的黏附作用、浓度标定、数据处理等方面都独具特色，保证设备能够在复杂恶劣的工业装置中能够安全、稳定的运行。

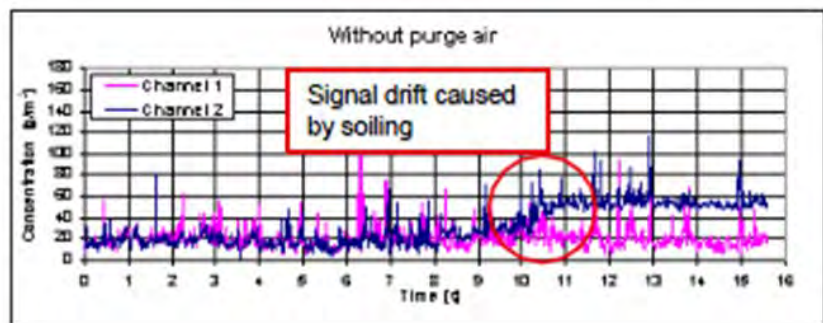
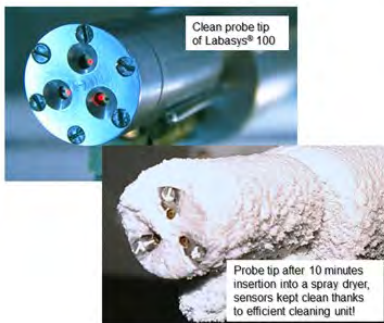
高温冷却系统

在工业设备中，工艺流程中温度往往较高，例如循环流化床锅炉、流化催化裂化工艺等。为保证设备能够在高温环境中正常使用，MSE Meili 公司为 Labasys 设备开发了冷却系统，用于保护设备正常运行。循环冷却水系统可对探针进行降温，保证探针组件不会受到高温影响；气冷系统对电子元器件进行保护，杜绝了高温危害，可在超过 1100°C 的环境中进行长时间的测量。



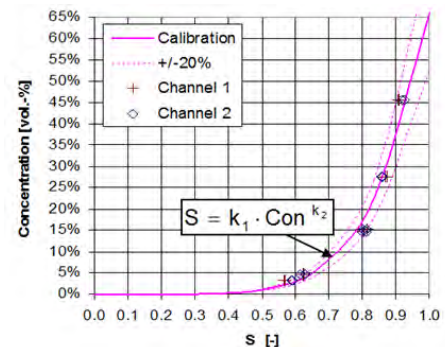
清洗单元

当粉末比较潮湿，或者颗粒粒径较小易受静电等影响时，从而造成镜头前粉尘的黏附，影响数据的准确性。MSE Meili 公司针对该问题，开发了自清洗单元，通过向镜头前泵入高压的惰性气体，对镜头进行吹扫，保证粉尘不会累积到镜头上，从而避免了测试结果的偏移。



标定装置

颗粒浓度的准确测量取决于标定数据的精度。为了快速获得准确的标定数据，Labasys 测试系统配备有专门的标定装置，该装置包括质量流量计、气体流量计、颗粒分布板、测试管段等重要组件，可制造均匀的颗粒分布环境，并根据颗粒和气体的流量计算浓度，获得精确的标定数据。

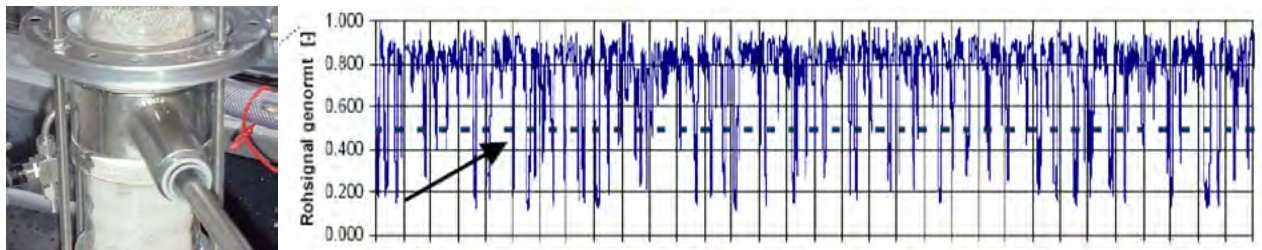


气液固三相测量

激光在遇到气固、气液、液固等壁面时，均会有反射光，但是不同的相界面对激光的反射程度不同。例如，在气液固三相系统中，颗粒表面对激光的反射较强，而气液界面（即气泡表面）因有一部分光投射出去而导致反射光较弱。根据三相系统中不同界面对光的反射信号不同，可以采用激光反射技术对系统中颗粒和气泡的信息进行全面的分析。

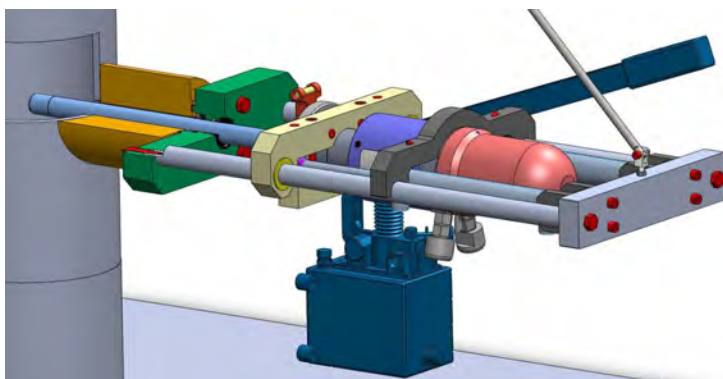
采用 Labasys 对气液固三相系统进行测量，获得的原始信号如下图。分析原始电压信号，信号值主要在一定值附近波动，同时也存在着波谷。对三相系统反射激光的过程进行分析，可以认为信号的波谷是由气泡的界面反射激光所致。因此，可定义一个过滤值，将颗粒与气泡反射形成的信号区分开，分别进行分析。

在将颗粒和气泡的信号分开之后，可分别获得颗粒和气泡的运动速度和浓度。同时，气泡产生的信号波谷的时间跨度可表示气泡经过探头的时间，再结合气泡的运动速度，可计算出气泡沿流动方向上的尺寸。



后处理软件 Labasoft

Labasys 的测量功能还需要强大的数据处理软件作为支撑。Labasoft 是 MSE Meili 公司开发的用于 Labasys 测量系统数据处理的软件，其强大的相关性计算能力，保证了分析过程中对颗粒的准确识别，减少速度测量的误差；对浓度校准数据的处理，是准确获得浓度数据的基础；在线和离线处理的模式，使客户能够选择对工艺的实时监控或进行离线数据分析；Flow-Det 模块使得客户可以分析接近 0 的速度，检测到工艺中静止的颗粒；人性化的界面设置，使得用户可以快速掌握 Labasoft 的使用。



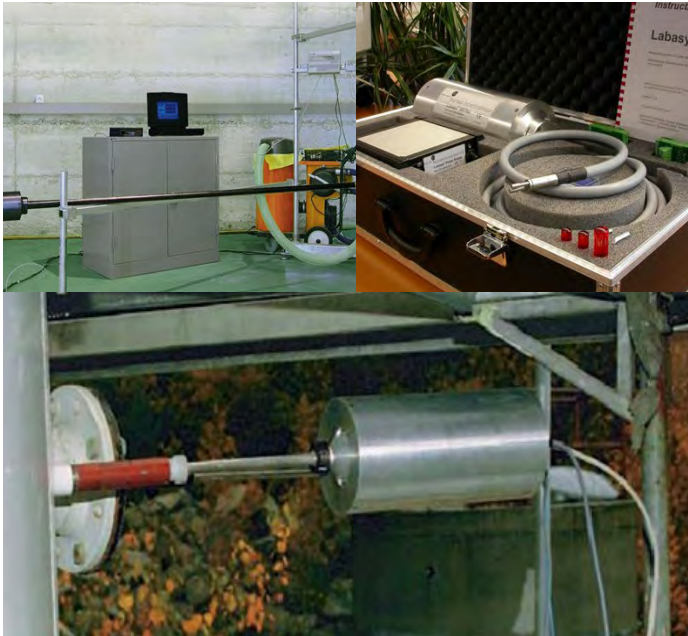
设备支撑台架

当采用 Labasys 对反应器或管道内的不同位置进行测量时，需要控制测试系统的位置。MSE Meili 针对 Labasys 产品的特点，开发了专业的支撑台架，包括与反应器之间的密封装置，可保证在较高压力下（10 bar）能对设备进行安装、拆卸、移动等。

3 产品型号

Labasys 测试设备包括多种型号，例如 Labasys 100、Labasys Control EX、Labasys Control EX-BF，各种型号能够满足不同环境下的测试需求。

Labasys 100



Labasys 100 是 Labasys 测试系统的最基本配置，能够满足同时测量速度和浓度的需求，采用普通不锈钢探针。可选择 2 或 3 个探头，分别对应 1 维和 2 维速度的测量；根据不同的测量环境，并可选择配置清洗装置、冷却设备以及 Flex 探针等，能够更好的适应工业装置和实验室设备上的应用。

- * 所有的镜片和电子器件都集成在轻巧、易于操作的设备中；
- * 采用模块化设计，可以灵活地适应不同的工作环境和测量任务，也可随意更换组件；
- * 对流场扰动小，灵敏度高，精度高；
- * 同时测量浓度和一维或二维速度；
- * 定制的设备连接阀实现高压下的安装与拆卸；
- * 高效的清洗单元避免静电黏附的影响。

应用领域：

- * **气固两相流**：流化床（CFB），流化催化裂化（FCC），旋风分离器，混合器，碾磨，气动输送，喷雾干燥器等；
- * **液固两相流**：搅拌槽，结晶，悬浮液处理（例如纸浆加工）；
- * **气泡或液滴**：雾化，鼓泡床，分离柱等。

规格参数：

- * **浓度量程**：测量范围取决于颗粒的物性

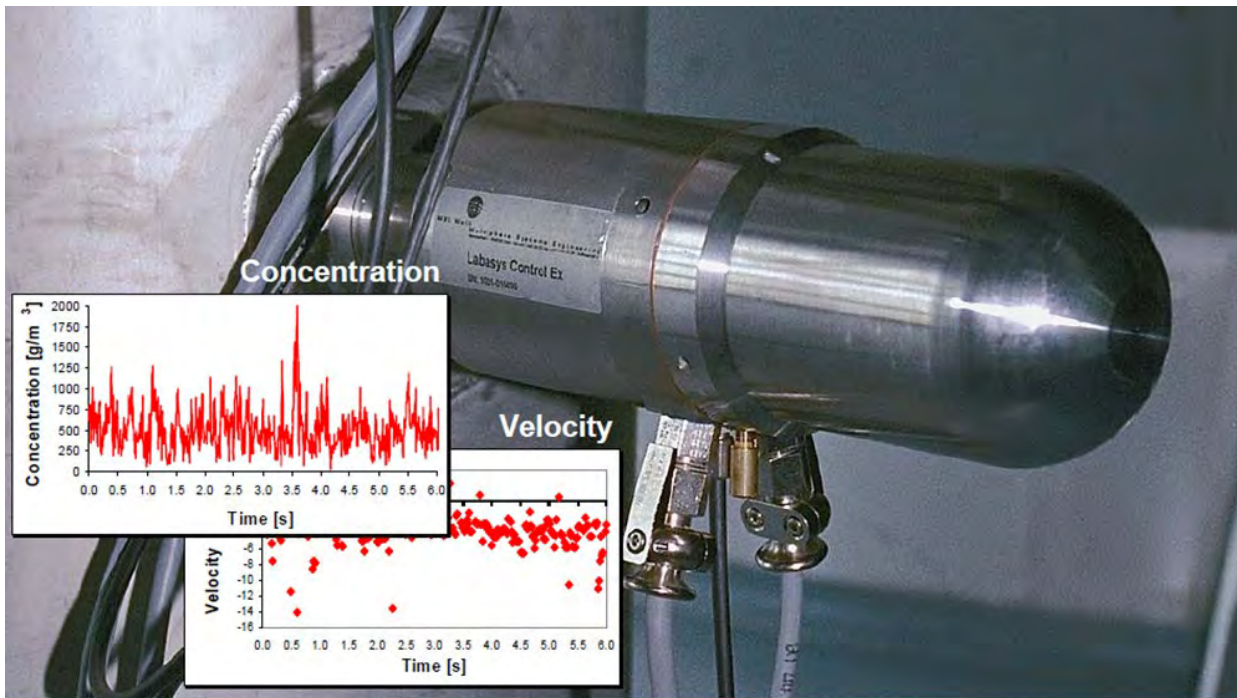
量程范围		测量范围
体积浓度 [vol.]	质量浓度 * $[kg/m^3]$	长度 [mm]
0.1-60%	1-1500	2-8
0.0001-1%	0.001-10	10-150

- * **颗粒密度**： $1000kg/m^3$
- * **速度量程**：0.05-200m/s；
- * **取样频率**：
 - 浓度：1-100kHz；
 - 速度：10-5000Hz；
- * **操作温度**： $\leq 110^{\circ}C / 230^{\circ}F$ （探针尖端）；
- * **操作压力**： $\leq 10\text{ bar} / 145\text{ psi}$ 。



Labasys Control EX

Labasys Control EX 是 MSE Meili 公司针对恶劣环境中的速度和浓度测试需求而开发的产品型号。与 Labasys 100 相比，Labasys Control EX 能够更加稳定的在高温、高压、有爆炸危险的环境中进行持续的在线监测，是工业装置中的理想选择。



产品特征

- * 设备针对恶劣环境下的工业应用；
- * 冷却水循环保证电子元件安全；
- * 设备通过 CE 和 EX 防爆认证；
- * 可承受 10/11 气体或 20/21 粉尘爆炸；
- * 可引入探针冷却、清洗等单元；
- * 其他的功能定制。



规格参数：

- * 操作温度：≤ 110°C；
- * 操作压力：≤ 10 bar
- * 环境温度：0-40°C (无冷却)；≤ 80°C (有冷却)
- * 湿度：0-99% (无冷凝)
- * 速度量程 (可选)：0.05-200m/s
- * 浓度量程 (气固悬浮液)：

量程范围 ¹		测量区域
体积浓度 [vol.%]	质量浓度 ² [kg/m ³]	长度 [mm]
0.1-60%	1-1500	2-8
0.0001-1%	0.001-10	10-150

1 量程取决于光学性质和颗粒物性；

2 颗粒密度：1000kg/m³。

- * 浓度输出信号范围：4-20mA
- * 防护级别：IP67
- * 材料：不锈钢 1.4404/1.4305
- * 实际尺寸：Φ150×400mm，15kg
- * 接头：螺旋接合，DN 50 (DIN 11851)

Labasys Control EX BF

当颗粒浓度较高时，对探针镜头有十分强烈的冲蚀作用，因此对探针的强度要求非常高。Labasys Control EX BF 就是专门针对工艺中密相颗粒流的速度和浓度测量。该型号的探针采用更加高强度的材料，并采用蓝宝石窗口保护光纤镜头，为了保证测试有足够高的信噪比，在蓝宝石窗口上还覆盖了一层抗反射涂层，保证接受光的强度。



产品特征：

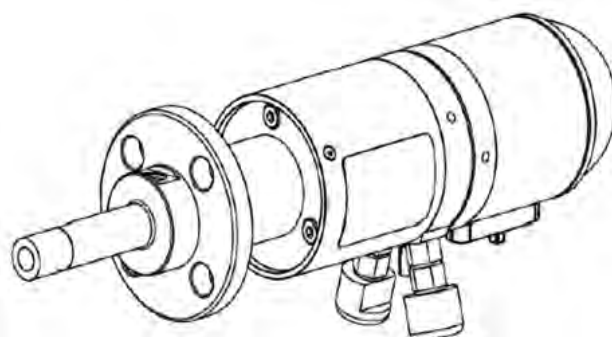
- * 联机测量颗粒状疏松物质的速度；
- * 探针尖端双层密封，外层采用蓝宝石窗口，保证较高的防漏性能；
- * 0/1 区气体或 20/21 区粉尘爆炸防护；
- * 设备外部全部采用铬镍钢；
- * 基于客户需求的探针尖端尺寸和连接设计；
- * LyondellBasell 认证的 MZCR 聚丙烯工艺再循环回路中的速度测量。

产品应用：

- * 测量反应器内任何类型的颗粒流动；
- * Spherizone 聚丙烯工艺 MZCR 反应器中高分子材料的再循环速率；
- * 化学链燃烧技术中的固体传质；
- * 适应客户需求的其他应用.....

规格参数：

- * **速度范围：**0.1-20m/s(非松散物质：100m/s)
- * **工艺操作条件：**
 - 操作 / 最高温度：-50-100°C /150°C
 - 操作 / 最高压力：≤ 42 bar/52 bar
- * **防护级别：**探针 IP69，设备 IP67
- * **材料：**不锈钢 (1.4404/1.4435)



4 应用案例

Labasys 测试设备自 1995 年以来经过了不断的完善，在能源、化工、食品、制药、安全等领域具有十分广泛的应用，其测量的准确性、稳定性与安全性均获得了客户的广泛认可。目前 Labasys 主要的客户如下所示：

ALSTOM

ANDRITZ

BASF
The Chemical Company

BUHLER

EDF

الصحراء للبتروكيماويات
sahara petrochemicals

lyondellbasell



UNIVERSITY OF ALBERTA

Henkel
A Brand like a friend

GS E&C

DAEWOO E&C

HMC Polymers
An associate of PTT & LyondellBasell

Roche



雀巢 Nestlé

Stamicarbon
pure knowledge

TOTAL

SAMSUNG



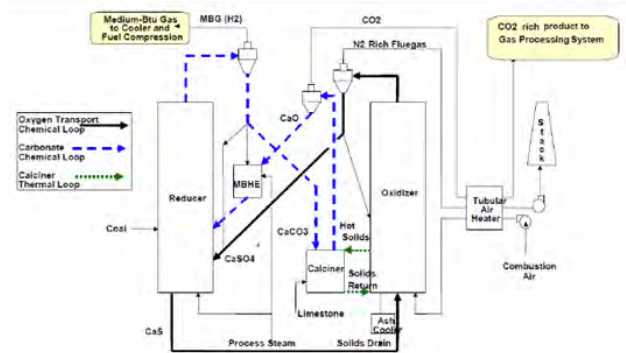
SWISSI

应用一：化学链燃烧工艺

阿尔斯通作为电力行业及环境保护创新技术的专家，十分关注洁净煤燃烧技术。其开发的化学链燃烧工艺就是一种先进的 CO₂ 减排燃烧工艺。

化学链燃烧工艺包括了三个循环：碳酸盐化学循环、煅烧炉热循环及氧气输送循环。氧化反应和还原反应在不同的反应器中进行，氧原子的输运通过氧载体的氧化和还原实现。

在氧化反应器中，氧载体被空气中的氧气氧化，然后携带者氧原子进入还原反应器中，煤与氧载体中的氧原子反应，生成 CO₂ 和 H₂O，而被还原的氧载体再度进入氧化反应器实现循环利用。还原反应器中生成的 CO₂ 和 H₂O 可以通过冷凝进行分离，从而获得非常纯净的 CO₂。该过程中没有 NO_x 生成，并且产生的 CO₂ 能够十分容易的收集，是一种非常环保的燃烧技术。



- ❖ 测量任务：化学循环中钙基氧载体床层的实时速度数据；
- ❖ 目标参数：氧载体的运动速度；
- ❖ 动机：获得可靠且经济的测量方案；
- ❖ 颗粒浓度：钙基氧载体的填充层；
- ❖ 温度：最高 100°C；
- ❖ 颗粒尺寸：10-100µm。

针对 Alstom 进行冷模实验的要求，MSE Meili 公司开发了 Labasys 100 Flex 型探针，该探针可以方便的对透明树脂反应器的壁面附近的颗粒运动状况进行可量，避免了探针对流场的干扰；同时开发了 Flow-Det 后处理模块，用于速度接近 0 时的相关性分析。



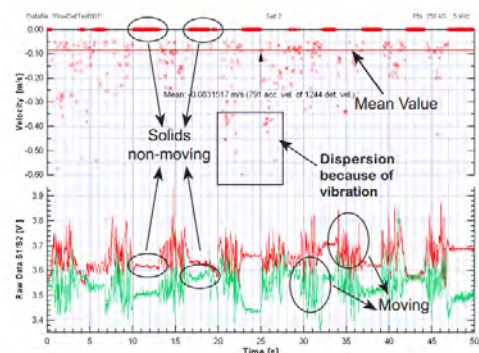
当管内为流动状态时，采用普通的颗粒速度相关性算法，而当颗粒静止时，采用 Flow-Det 模块进行速度的计算。

右图为典型的测量数据，显示了 50s 的循环过程，包括 9 个流动与非流动过程的交替。图中下半部分为未经处理的原始信号数据，通道 1 和通道 2 获得的信号变化趋势吻合非常好。上半部分为 Labasoft 处理出来的速度值，其中包括了颗粒的下降和静止等运动状态。由于当颗粒下落和停止的时候，管内会有振动，速度的分散值比较高。由于速度值较高，可以采用合适的统计方法获得健壮的平均速度。

测试过程中，设备主体置于桌面，6m 的 Flex 探针可以灵活的移动，探头固定于树脂玻璃附近，整个操作过程十分的方便。

测量任意位置的数据。探头固定于数值玻璃管外，包括两个探头，可测主流方向上的 1 维速度。

工艺运行过程中，颗粒的运动速度变化范围较大，



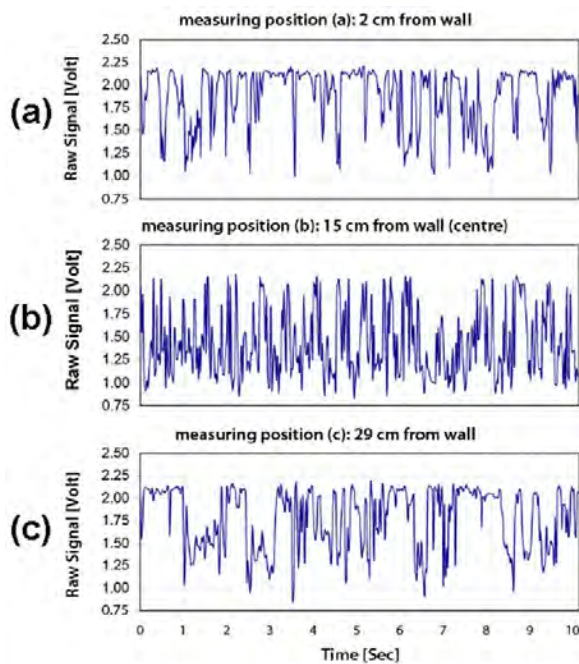
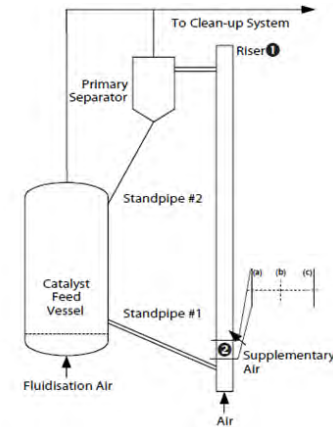
"The Labasys 100 Flex system with the in short time developed 'FlowDet' module was an essential step for the successful operation of our chemical looping unit. The good cooperation with MSE Meili together with the high-standing technology was a very convincing package."

Dr. Herbert Andrus, Project Leader, Alstom Power, USA.

应用二：流化催化裂化工艺 (FCC)

流化催化裂化工艺过程中，催化剂颗粒流型的准确分析对了解和控制工艺进程、提高生产效率均有十分重要的意义。Shell Global Solution 致力于对 FCC 工艺进行研究，寻求一种稳定可靠的方案来表征高负荷的颗粒流动，并在 FCC 工艺的中试装置上进行了实验。

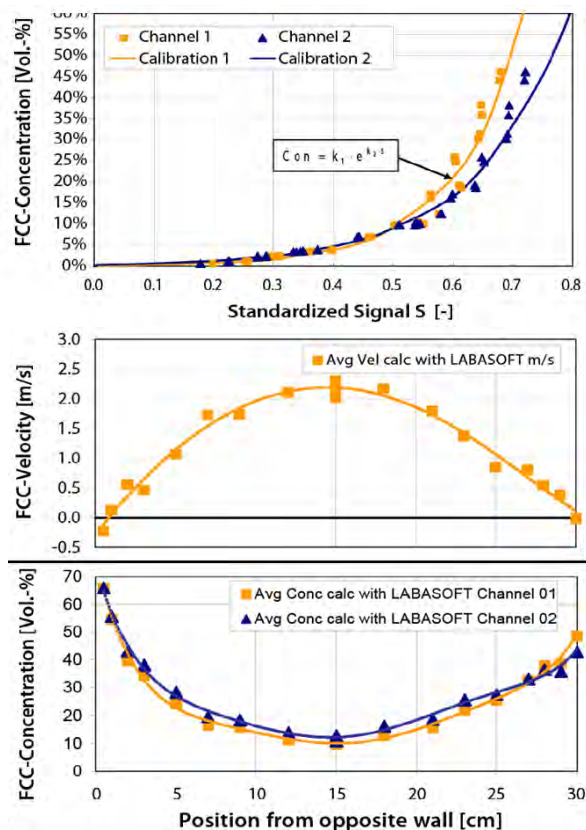
如右图所示为 FCC 工艺的结构图，其中最关键的因素是提升管内的颗粒流型判断。该过程中颗粒浓度最高达到 60% 以上，因此对测试设备的探头有很严重的冲蚀作用；而高浓度的颗粒运动也对信噪比有较高要求。



- ❖ 任务：FCC 中的流动特性；
- ❖ 目标：局部浓度，速度；
- ❖ 浓度范围：体积浓度 0-60%；
- ❖ 测量温度：0-30°C；
- ❖ 颗粒尺寸：50μm；
- ❖ 测试难点：颗粒浓度较高，对探针冲蚀较大；需对不同位置进行测量.....

采用 Labasys 100 对提升管内颗粒进行检测，上图为获得的原始信号，分别为离壁面不同位置的值。信号的波动表征了颗粒的浓度，因此可观察到提升管内颗粒浓度随时间的变化，在壁面附近信号值约为 2.2V，电压信号降低的频率较低，而在管道中心区域，电压信号有更多的噪音。

为了表征颗粒的浓度，首先需要对测试系统进行标定，获得电压信号与浓度之间的对应曲线，然后根据测量的电压信号值确定实际的颗粒浓度，获得截面内颗粒的浓度变化分布。而对两个通道之间的信号值进行相关性分析，可获得颗粒的运动速度。如右图所示，可发现到颗粒的速度呈抛物线分布，在管道中心区域速度较高，而浓度的分布则是在管道中心区域较低，管壁附近较高，说明该工况下颗粒的分布为环状流，这对了解提升管内催化剂颗粒的流型有着非常重要的意义。



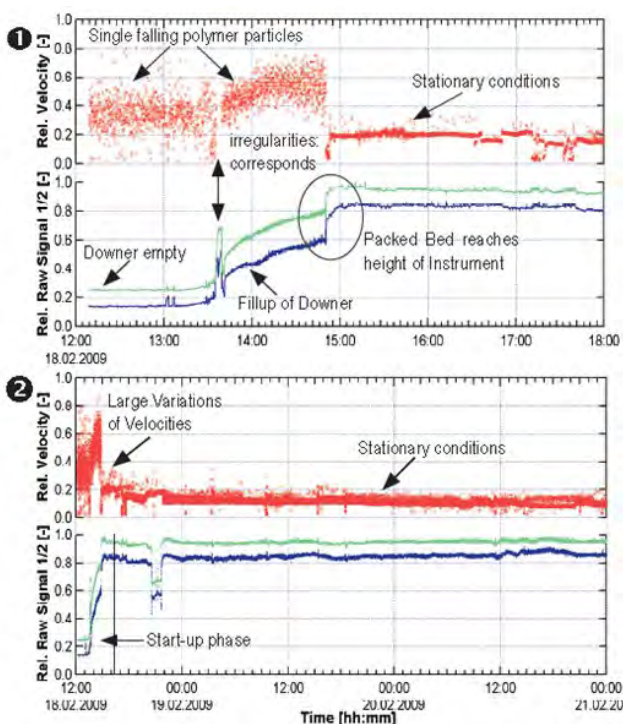
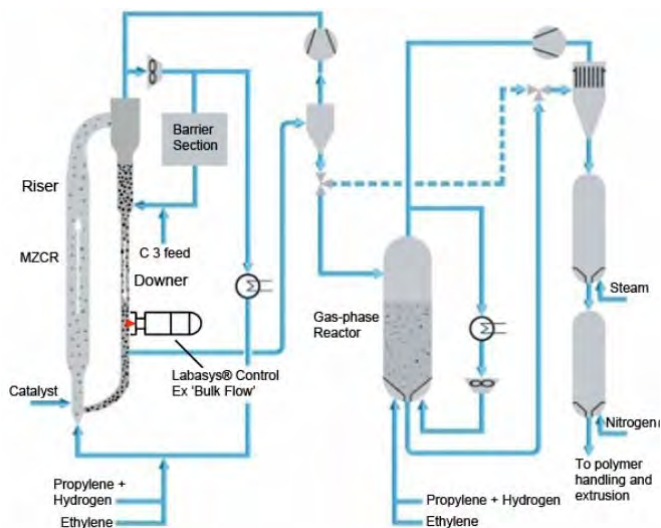
应用三：Spherizone 聚丙烯工艺

聚丙烯 (PP) 是许多日常用品的基本材料, LyondellBasell 作为全球最大的聚丙烯制造商, 在多年的生产经验基础上, 开发出先进的 Spherizone 工艺。

右图是 Spherizone 工艺的原理图, 该工艺的核心部分是生成聚合物的多区循环反应器 (MZCR)。因为包括两个反应区, 所以可以在一个反应器内实现两种聚合反应。

在 MZCR 顶端, 聚合物从第一个聚合反应区出来, 在顶端经过旋风分离器与气体分离, 聚合物在重力作用下进入到下降管反应区域, 形成密相塞流。在下降管底部, 聚合物颗粒被重新输入到上升管中, 形成循环。在该工艺中, 工艺控制的一个关键变量是固体颗粒的再循环率, 通常通过测量固体颗粒的循环速度和浓度来确定。

Labasys Control Ex BF 是通过 LyondellBasell 认证的 Spherizone 工艺的在线监测系统, 采用蓝宝石的双层密封, 保证探头的安全; 在外壳上引入冷却水循环, 可在超过 100°C 的温度下运行; 同时设备在特殊的连接装置作用下, 可实现 42bar 压力下的密封。



采用 Labasys Control Ex Bulk-Flow 系统对 Spherizone 工艺进行监测, 通过后处理软件 Labasoft Control 进行数据采集和信号处理, 并将获得的速度和浓度数据传递到控制系统。左图为实验测量的结果, 其中图 1 是图 2 初始启动阶段的放大图。图中红色曲线速度, 绿色和蓝色的曲线分别表示测量通道 1 和 2 获得的未经过处理的信号, 与下降管中的聚合物浓度相关。

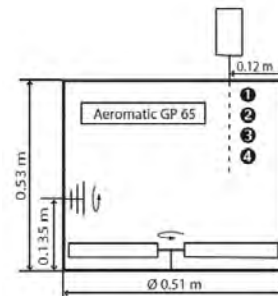
在初始阶段, 填料高度和相关浓度信号不断上升, 二者符合较好。在此阶段, 速度脉动强烈并且有上升的趋势。聚丙烯颗粒落到充满的颗粒床上, 此刻填料高度低于测量设备的位置。大约 13:30 左右, 浓度不规则地升高, 形成聚物流动的一个峰值。大约 14:50, 填料高度达到了测量设备的位置。然后, 反应器达到稳定状态, 如图 2 所示。Labasys Control Ex Bulk-Flow 系统为 Spherizone 工艺的内部情况提供了实时、详细、精确的了解。

应用四：高速混合粉末的爆炸极限

一直以来，学者认为当混合器内的粉末填料高度超过 70% 后即达到了爆炸的上限，但是该假设一直未得到过证实。

瑞士安全协会联合罗氏制药、诺华公司，与 MSE Meili 公司合作，多高速混合的粉末的浓度极限进行了实验。

右图为实验的装置图，采用 Aeromatic GP 65 高速混合器，对如图所示距离壁面 0.12m 的处不同深度的位置进行测量，采用的粉末为玉米淀粉，其浓度在较大范围内变化 (0.001-20kg/m³)。在该实验中，测试设备暴露在爆炸环境中，且粉末会在探针镜头前黏附，因此对测试设备的要求非常高。



MSE Meili 根据实验要求，采用包括清洗单元的 Labasys 100 测试系统进行实验测量。因混合器内的颗粒速度的方向非常复杂，因此采用 3 个探头的探针，来获得粉末的 2 维速度。通过实验测量表明，在清洗单元的作用下，探针的镜头前几乎没有粉末的黏附，而在其他区域，粉末几乎将探针全部覆盖，说明了 Labasys 的镜头清洗单元效果非常显著。



混合器在测量 4s 后开始，下图为粉末的速度和浓度变化。在前 4s 内，粉末的速度为 0，浓度亦稳定在一个较低的水平。在混合器开始运转后，传感器附近的浓度首先缓慢上升，然后在 5s 后急剧上升并稳定在平均水平，传感器附近的浓度在 1-5kg/m³ 的范围内波动。颗粒的速度大约在 0.5-1.0m/s 的范围内波动，也会有部分颗粒的运动速度与搅拌的方向相反。

分别对不同初始填料高度进行了测量，各个测量点的浓度如右下图所示。当初始填料高度超过 31% 时，最低的测量点浓度迅速增加。根据测量的结果，可以保证高速混合器在安全的范围内工作。

