

CHORHAO

LAMY
RHEOLOGY
INSTRUMENTS



MADE IN 
FRANCE



La viscosité

Introduction à la viscosité et sa mesure

粘度



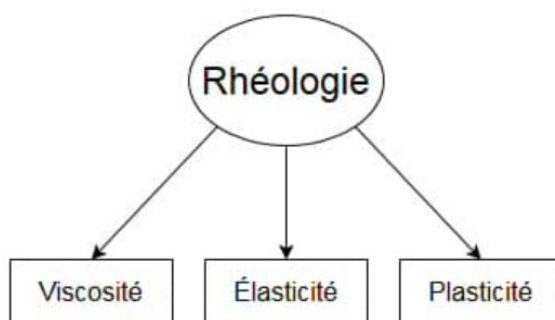
这篇粘度简介将向您介绍什么是粘度（定义、单位等）、现有流体的不同类型、表征流体的主要现有技术，以及一个选择指南，告诉您选择哪种测量仪器和根据您的应用程序使用哪种设备。
您还将了解使用哪些工具来分析您的非流动产品。



1 - 介绍

2

粘度是用于表征流体的属性之一，但也有其他，如**可塑性**或**弹性**。所有这些学科都归于同一门科学，即**流变学**，即对物质变形和流动的研究。



粘度表征流体内的摩擦，由于分子引力导致流体抵抗其自身流动。在物理上，粘度是流体层相互摩擦的量度。这种摩擦力越大，流体的粘性就越大，因此移动流体所需的力就越大。反之，如果这种摩擦不那么重要，它就会更容易流动，粘性也会降低。



粘度的测量单位是**泊**（*P* 或 *Po*）。也可以用它的当量表示，**Pascal-second** (*Pa.s*)，其中 1 *Pa.s* 相当于 10 *P*，或者对于低粘度液体，1 *mPa.s* (milliPascal-second) 相当于 1 *cP* (centiPoise). 这些单位是**动态粘度**的单位，用希腊字母 μ (“mu”) 或 η (“eta”) 表示。为了给出粘度的具体概念，以下是根据已知材料的数量级：

材料	动态粘度 mPa.s, at 20 °C, at 1 atm)
水	1
橄榄油	84
蜜糖	10*10 ³



CHOHAO



花生酱	250×10^{-5}
沥青	2.3×10^{11}

2 - 为什么要测量粘度？

材料粘度的知识对于多种应用非常有用，例如产品（如油漆或油）的最终质量控制、物理化学反应进程的知识或设备尺寸。

3 - 一个小理论

3

在数学上，动态粘度等于**剪切应力**（ τ 或 “tau”）除以**剪切速率**。

的剪切应力表示施加到流体上的力（每单位面积），因此，在彼此的顶部流体移动的层，因此以**剪切流体**（图 1）。

剪切速率表示每对彼此的顶部上的流体的层的第二（米/秒）米的位移。

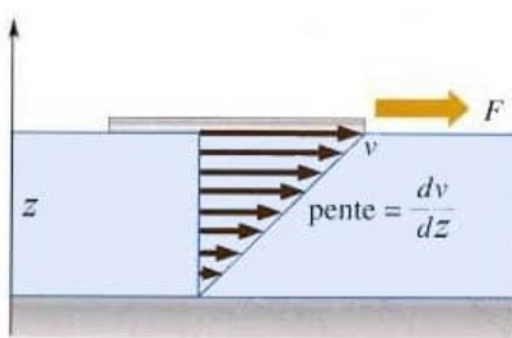


图 1. 根据牛顿计算的流体流动图

$$\mu = \tau / \text{斜率}, \text{ 其中 } \tau = F / A \text{ 和 } A \text{ 是施加力 } F \text{ 的表面。}$$

这种对流体流动的描述是艾萨克牛顿的描述。

在该描述中，应力和剪切速率成比例，因此粘度是恒定的。随后我们将看到，在大多数情况下，粘度比牛顿想象的要复杂，剪切是粘度测量中非常重要的参数。

4 - 一些重要术语

牛顿流体

表现出上述流动行为类型的流体（图 1）称为牛顿流体。此描述适用于某些流体，例如水或酒精。这些流体具有恒定的动态粘度（ μ ），无论它们受到的剪切力如何。



CHOHAO



非牛顿流体

流变增稠剂和流变稀释剂

然而，据说大部分流体是**非牛顿流体**（例如油漆或番茄酱）。事实上，当我们尝试在墙上涂漆时，它本身并不会流动太多（因此它很粘稠），但是当我们对它施加一个我们称之为 S 的剪切力时，它会变得更流动，更容易涂抹和变成流体。

这种类型的流体被称为**流变稀释剂**，那些，相反，成为当它们被剪切更粘稠，被称为**流变增稠剂**（图 2）。

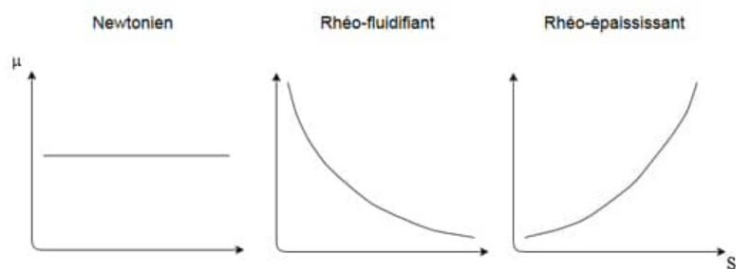


图 2. 粘度 (μ) 作为牛顿流体、流变稀化和流变稠化的剪切速率 (S) 的函数的演变

4

假塑性

还有另一种非牛顿流体，**假塑性**流体。

它们的行为类似于流变流化流体和流变增稠剂，不同之处在于它们表现出一个“**屈服点**”，在该剪切点以下材料表现得像固体，高于该点流体开始表现出剪切增稠或剪切-变薄特征。番茄酱是假塑性流体的一个例子，它只有在搅拌时才会变成液体。

触变性和流变性

此外，流体可以看到其粘度随时间变化（在恒定剪切下），如果这些流体的粘度随时间降低，则称为**触变**流体，如果其粘度随时间增加，则称为**流变胶**（图 3）。

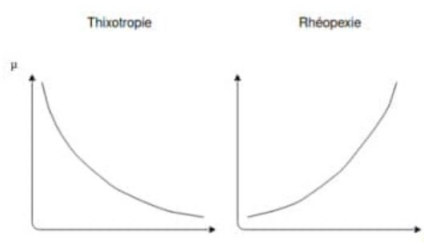


图 3. 在恒定剪切下，粘度 (μ) 随时间 (t) 的变化，对于触变和 rheopex 流体

5 - 如何测量流体的粘度和其他特性？

有几种用于表征流体的装置。

该**粘度计**只能确定在一定条件下（牛顿，流体可通过一个单一的粘度值被定义）的流体的粘度，由于其有限的剪切范围。

对于**流变仪**，由于其剪切范围比粘度计更高，因此可以更详细地表征所有流体（流变特性）。



CHOHAO



粘度计和流变仪

以下是两种设备之间主要区别的汇总表：

特征	粘度计	流变仪
测量范围	低的	高的
可分析流体的类型	牛顿	所有流体
主要可分析性质	粘度	粘度、屈服点、触变性

表 2.对比表粘度计和流变仪

需要注意的是，该表仅适用于粘度计或流变仪（没有相关软件）。

实际上，可以通过使用计算机控制设备来使设备更具功能性。在这种情况下，粘度计可以用手指“触摸流变学”，从而确定流体的流动阈值，或研究产品的触变性。

为了分析产品，通常使用旋转粘度计或流变仪。

这些仪器通过将可移动的或“主轴”浸入其中来对流体进行测量。

有两种不同的配置：弹簧系统（图 4）和数字编码器系统（图 5）。

弹簧系统

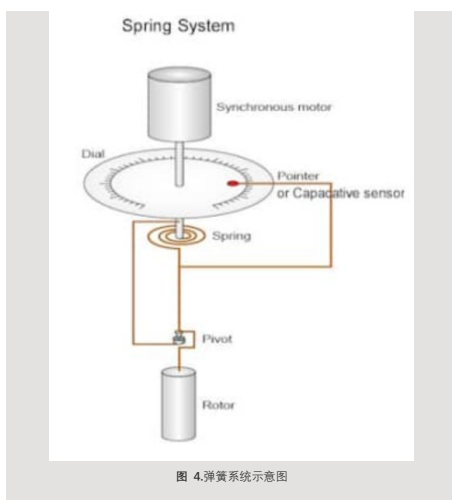


图 4.弹簧系统示意图

弹簧系统是第一个上市的（图 4）。主轴由同步电机旋转，同一轴与螺旋形式的弹簧相连，弹簧与移动（转子）相连。因此，在流体对运动部件的作用下，弹簧将变形更多（对于非常粘的流体）或更少（对于低粘度的流体）。因此，知道弹簧的变形，我们可以回到测试流体的粘度，以及其他特性。

数字编码器系统

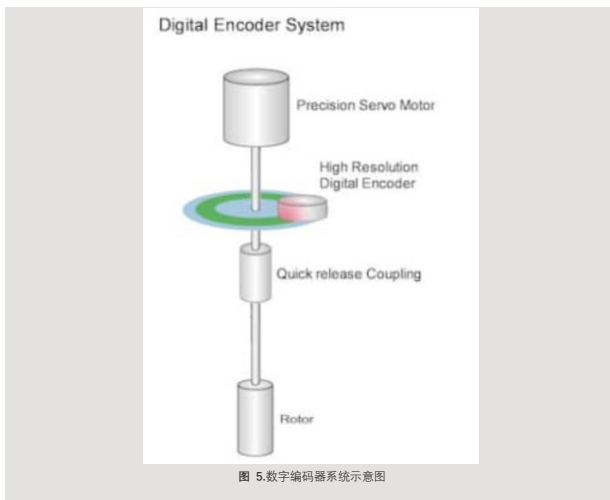


图 5.数字编码器系统示意图

就其本身而言，数字编码器系统利用必要的电流来设置移动装置旋转（浸入样品中）。

实际上，流体的粘度将与流体中的移动体的电流和旋转速度成比例。

这种粘度计的优点之一是，该仪器可以对范围广泛的流体（从低到非常粘）进行测量，而弹簧系统必须根据所研究的流体进行选择。

使用 L（或 LV）粘度计测量低粘度（例如油墨、油和溶剂）。





	R (或 RV) 粘度计适用于中等粘度 (例如奶油、油漆或某些食品), H (或 HV) 粘度计适用于高粘度 (例如凝胶、花生酱或沥青)。
--	---

6 - 分析样品时要考虑的参数

产品的粘度通常在特定**温度**下表示 (表 1), 因为修改此参数时粘度会发生变化。

产品的粘度也会受到其他参数的影响, 例如**测量时间**、**测量设备** (移动式、使用的容器等)、**周围压力**、产品的**历史**甚至**产品**所经历的**剪切** (非牛顿流体)

6

温度

温度是影响产品粘度的主要参数之一。

由于组成流体的分子之间的摩擦较小, 温度升高会使流体膨胀, 因此使其更容易流动。

CHOHAO 中昊清远提供的粘度计和流变仪都有一个解决方案, 可以在您的分析过程中调节产品的温度。

剪切率

如第 5 部分所述, 某些流体 (非牛顿流体) 的粘度会根据施加在其上的剪切力而变化。因此, 当分析产品时, 必须对其进行不同的剪切, 以查看其在不同条件下的流变行为。对于油漆、化妆品甚至血液来说都是如此。

测量设备

在测量产品的粘度时, 测量设备 (例如在被分析液体中旋转的移动设备或用于分析液体的容器) 也是非常重要的变量。

这些变量既会影响测量的再现性, 也会影响粘度测量本身的准确性。

实际上, 分析的样品与小尺寸的移动体和更高尺寸的移动体的相互作用不同, 因此两个移动体之间的粘度测量将不同。

此外, 为了获得正确的测量结果, 移动体必须浸入样品中直至刻在其轴上的标记的中间。

倒入样品并浸入移动体的容器也必须具有一定的尺寸。

例如, 对于**标准移动件 L (1 至 4) 和 R (1 至 7)**, 建议使用 600 mL、直径 83 mm 或更大的烧杯。

测量时间

如第 4 部分所述, 某些流体的粘度随时间而变化 (触变流体和 rheopex 流体)。因此, 在测量粘度时必须考虑产品的分析时间。

产品历史

测量粘度时必须考虑产品的年龄、制备或储存条件等方面。

事实上, 如果在分析前搅拌或剪切异质产品, 其粘度可能会发生显著变化。

压力

流体周围的压力会对其粘度产生影响, 而流体周围的压力对流体的影响程度低于气体。

事实上, 压力会压缩流体, 因此增加了分子之间的接近度, 从而增加了流体受到剪切时的摩擦。



CHOHAO



对于相混合物（固体、液体和空气）来说更是如此，当它们受到高压时，由于其中存在空气而被压缩。

7 - 如何根据应用选择合适的仪器和转子？

仪器、转速和移动尺寸的选择

根据要研究的材料和流变特性，系统、移动装置及其附件的选择会有所不同。

这是一张说明图，可以了解根据您的流体粘度选择哪个系统、旋转速度和移动装置的大小。

7

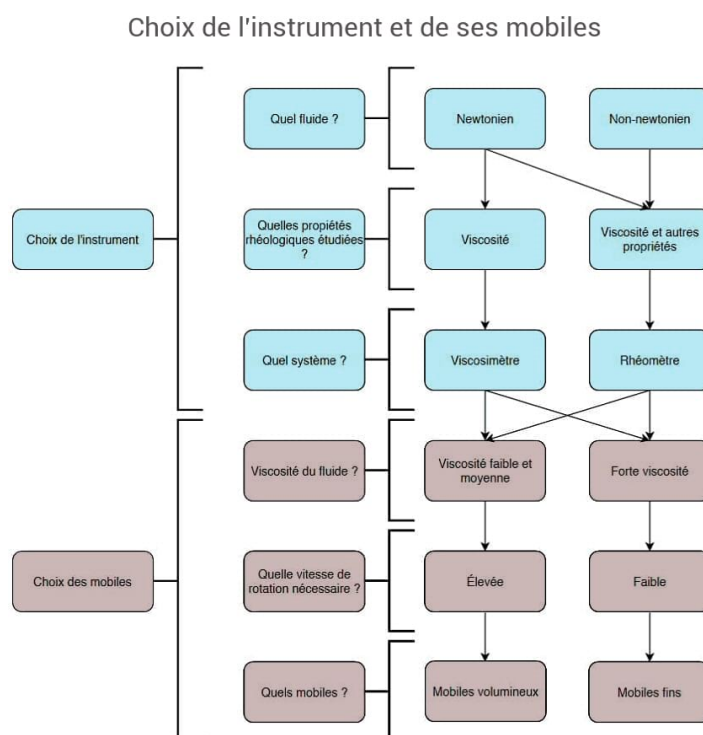


图 6.系统选择指南、转速和主轴取决于流体的粘度

转子的选择

该图6可以让你找到合适的设备，合适的速度和转子的最佳大小时要执行流变测量，并且您已经选择您的转子。然而，有不同类型的转子用于特定应用。

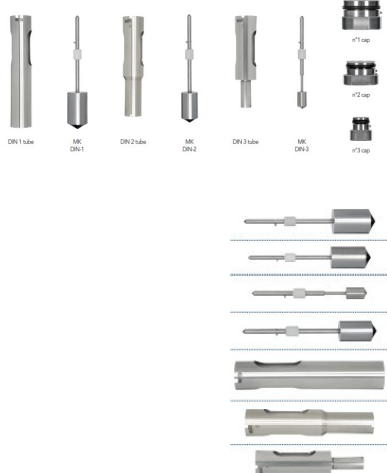
以下是您可以使用的主要转子及其使用领域。

	圆盘转子 符合 ASTM / ISO2555 标准的标准移动装置，可用于对多种流体进行精确且可重复的粘度测量，可用于 600 毫升或更大的烧
--	---

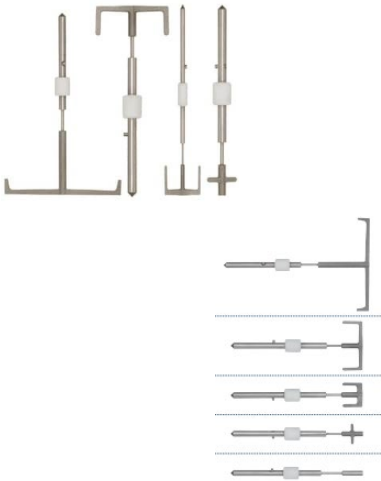


CHOHAO



	杯 中 <table><tr><th>Name</th><th>Reference</th><th>Dimensions</th><th>Volume</th><th>Viscosity range</th></tr><tr><td>ASTM n° 1 axis + disc</td><td>111000 + 111001</td><td>Ø 56.26 mm</td><td>600 mL</td><td>3 - 450 000 mPa.s</td></tr><tr><td>ASTM n° 2 axis + disc</td><td>111000 + 111002</td><td>Ø 46.93 mm</td><td>600 mL</td><td>15- 1 750 000 mPa.s</td></tr><tr><td>ASTM disc n° 3</td><td>111003</td><td>Ø 34.69 mm</td><td>600 mL</td><td>30 - 4 400 000 mPa.s</td></tr><tr><td>ASTM disc n° 4</td><td>111004</td><td>Ø 27.3 mm</td><td>600 mL</td><td>60 - 8 800 000 mPa.s</td></tr><tr><td>ASTM disc n° 5</td><td>111005</td><td>Ø 21.14 mm</td><td>600 mL</td><td>120 - 17 600 000 mPa.s</td></tr><tr><td>ASTM disc n° 6</td><td>111006</td><td>Ø 14.62 mm</td><td>600 mL</td><td>260 - 42 600 000 mPa.s</td></tr><tr><td>ASTM axis n° 7</td><td>111007</td><td>Ø 3.2 mm</td><td>600 mL</td><td>1000 - 156 000 000 mPa.s</td></tr></table>	Name	Reference	Dimensions	Volume	Viscosity range	ASTM n° 1 axis + disc	111000 + 111001	Ø 56.26 mm	600 mL	3 - 450 000 mPa.s	ASTM n° 2 axis + disc	111000 + 111002	Ø 46.93 mm	600 mL	15- 1 750 000 mPa.s	ASTM disc n° 3	111003	Ø 34.69 mm	600 mL	30 - 4 400 000 mPa.s	ASTM disc n° 4	111004	Ø 27.3 mm	600 mL	60 - 8 800 000 mPa.s	ASTM disc n° 5	111005	Ø 21.14 mm	600 mL	120 - 17 600 000 mPa.s	ASTM disc n° 6	111006	Ø 14.62 mm	600 mL	260 - 42 600 000 mPa.s	ASTM axis n° 7	111007	Ø 3.2 mm	600 mL	1000 - 156 000 000 mPa.s
Name	Reference	Dimensions	Volume	Viscosity range																																					
ASTM n° 1 axis + disc	111000 + 111001	Ø 56.26 mm	600 mL	3 - 450 000 mPa.s																																					
ASTM n° 2 axis + disc	111000 + 111002	Ø 46.93 mm	600 mL	15- 1 750 000 mPa.s																																					
ASTM disc n° 3	111003	Ø 34.69 mm	600 mL	30 - 4 400 000 mPa.s																																					
ASTM disc n° 4	111004	Ø 27.3 mm	600 mL	60 - 8 800 000 mPa.s																																					
ASTM disc n° 5	111005	Ø 21.14 mm	600 mL	120 - 17 600 000 mPa.s																																					
ASTM disc n° 6	111006	Ø 14.62 mm	600 mL	260 - 42 600 000 mPa.s																																					
ASTM axis n° 7	111007	Ø 3.2 mm	600 mL	1000 - 156 000 000 mPa.s																																					
	圆柱转子 符合 ASTM/ISO2555 的标准移动装置，用于确定剪切速率和应力以及粘度，适用于大多数涉及非牛顿流体的应用，例如油漆。																																								
	同轴转子和容器 符合 DIN/ISO3219 标准的转子，特别适用于具有或不具有颗粒的液体外观的均质产品。这些系统可以固定剪切梯度以进行粘度测量或绘制曲线以研究流体的流动行为、流动阈值或触变性。 <table><tr><th>Name</th><th>Reference</th><th>Dimensions</th><th>Volume</th><th>Viscosity range</th></tr><tr><td>MK-DIN 1</td><td>112820</td><td>Ø 30 mm</td><td>-</td><td>3 - 1 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-DIN 2</td><td>112821</td><td>Ø 24 mm</td><td>-</td><td>10 - 5 400 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-DIN 3</td><td>112822</td><td>Ø 14 mm</td><td>-</td><td>50 - 42 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-DIN 9</td><td>111875</td><td>Ø 31.5 mm</td><td>-</td><td>1 - 350 000 mPa.s</td></tr><tr><td>DIN 1 tube</td><td>112932</td><td>Ø 32.5 mm</td><td>15-25 mL</td><td>-</td></tr><tr><td>DIN 2 tube</td><td>112937</td><td>Ø 26 mm</td><td>12-18 mL</td><td>-</td></tr><tr><td>DIN 3 tube</td><td>112938</td><td>Ø 15 mm</td><td>5-10 mL</td><td>-</td></tr></table>	Name	Reference	Dimensions	Volume	Viscosity range	MK-DIN 1	112820	Ø 30 mm	-	3 - 1 000 000 mPa.s	MK-DIN 2	112821	Ø 24 mm	-	10 - 5 400 000 mPa.s	MK-DIN 3	112822	Ø 14 mm	-	50 - 42 000 000 mPa.s	MK-DIN 9	111875	Ø 31.5 mm	-	1 - 350 000 mPa.s	DIN 1 tube	112932	Ø 32.5 mm	15-25 mL	-	DIN 2 tube	112937	Ø 26 mm	12-18 mL	-	DIN 3 tube	112938	Ø 15 mm	5-10 mL	-
Name	Reference	Dimensions	Volume	Viscosity range																																					
MK-DIN 1	112820	Ø 30 mm	-	3 - 1 000 000 mPa.s																																					
MK-DIN 2	112821	Ø 24 mm	-	10 - 5 400 000 mPa.s																																					
MK-DIN 3	112822	Ø 14 mm	-	50 - 42 000 000 mPa.s																																					
MK-DIN 9	111875	Ø 31.5 mm	-	1 - 350 000 mPa.s																																					
DIN 1 tube	112932	Ø 32.5 mm	15-25 mL	-																																					
DIN 2 tube	112937	Ø 26 mm	12-18 mL	-																																					
DIN 3 tube	112938	Ø 15 mm	5-10 mL	-																																					
	锥形平板 (AC265 接口) 用于对非常小的样品进行精确粘度测定的移动装置。适用于所有类型的产品，推荐用于高粘度。这些移动装置可以进行与同轴圆柱移动装置相同的流变测量。 <table><tr><td>MK-CP 4020</td><td>424020</td><td>Ø 40 mm α 2°</td><td>0.60 mL</td><td>15 - 1 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-CP 2445</td><td>422445</td><td>Ø 24 mm α 0.45°</td><td>0.030 mL</td><td>20 - 2 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-CP 2020</td><td>422020</td><td>Ø 20 mm α 2°</td><td>0.075 mL</td><td>100 - 8 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-CP 4005</td><td>424005</td><td>Ø 40 mm α 0.5°</td><td>0.150 mL</td><td>5 - 300 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-CP 2005</td><td>422005</td><td>Ø 20 mm α 0.5°</td><td>0.018 mL</td><td>40 - 2 000 000 mPa.s</td></tr></table>	MK-CP 4020	424020	Ø 40 mm α 2°	0.60 mL	15 - 1 000 000 mPa.s	MK-CP 2445	422445	Ø 24 mm α 0.45°	0.030 mL	20 - 2 000 000 mPa.s	MK-CP 2020	422020	Ø 20 mm α 2°	0.075 mL	100 - 8 000 000 mPa.s	MK-CP 4005	424005	Ø 40 mm α 0.5°	0.150 mL	5 - 300 000 mPa.s	MK-CP 2005	422005	Ø 20 mm α 0.5°	0.018 mL	40 - 2 000 000 mPa.s															
MK-CP 4020	424020	Ø 40 mm α 2°	0.60 mL	15 - 1 000 000 mPa.s																																					
MK-CP 2445	422445	Ø 24 mm α 0.45°	0.030 mL	20 - 2 000 000 mPa.s																																					
MK-CP 2020	422020	Ø 20 mm α 2°	0.075 mL	100 - 8 000 000 mPa.s																																					
MK-CP 4005	424005	Ø 40 mm α 0.5°	0.150 mL	5 - 300 000 mPa.s																																					
MK-CP 2005	422005	Ø 20 mm α 0.5°	0.018 mL	40 - 2 000 000 mPa.s																																					



	锚式转子 用于测量异质产品的粘度或在静止状态下具有柔软固体外观（化妆品、油漆等）的移动设备。这些移动设备将与铲斗一起使用，以应用剪切梯度。 <table><tr><th>Name</th><th>Reference</th><th>Dimensions</th><th>Volume</th><th>Viscosity range</th></tr><tr><td>MK-R1</td><td>114425</td><td>l. 93 mm</td><td>-</td><td>1 - 40 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-R2</td><td>114426</td><td>l. 46 mm</td><td>-</td><td>40 - 700 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-R3</td><td>114427</td><td>l. 23 mm</td><td>-</td><td>300 - 4 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-R4</td><td>114428</td><td>l. 20 mm</td><td>-</td><td>2500 - 24 000 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK-R5</td><td>114429</td><td>Ø 5 mm</td><td>-</td><td>10 000 - 510 000 000 mPa.s</td></tr></table>	Name	Reference	Dimensions	Volume	Viscosity range	MK-R1	114425	l. 93 mm	-	1 - 40 mPa.s	MK-R2	114426	l. 46 mm	-	40 - 700 mPa.s	MK-R3	114427	l. 23 mm	-	300 - 4 000 000 mPa.s	MK-R4	114428	l. 20 mm	-	2500 - 24 000 000 mPa.s	MK-R5	114429	Ø 5 mm	-	10 000 - 510 000 000 mPa.s
Name	Reference	Dimensions	Volume	Viscosity range																											
MK-R1	114425	l. 93 mm	-	1 - 40 mPa.s																											
MK-R2	114426	l. 46 mm	-	40 - 700 mPa.s																											
MK-R3	114427	l. 23 mm	-	300 - 4 000 000 mPa.s																											
MK-R4	114428	l. 20 mm	-	2500 - 24 000 000 mPa.s																											
MK-R5	114429	Ø 5 mm	-	10 000 - 510 000 000 mPa.s																											
	翼型转子 用于确定所有类型产品的粘度的移动设备，即使是具有或不具有颗粒的非常高粘度的产品。 <table><tr><td>MK-Double paddle</td><td>111101</td><td>L. 20 mm</td><td>100 mL</td><td>25 - 5 400 000 mPa.s</td></tr><tr><td>MK 6 paddles</td><td>111105</td><td>L. 22 mm</td><td>50 mL</td><td>100 - 20 000 000 mPa.s</td></tr></table>	MK-Double paddle	111101	L. 20 mm	100 mL	25 - 5 400 000 mPa.s	MK 6 paddles	111105	L. 22 mm	50 mL	100 - 20 000 000 mPa.s																				
MK-Double paddle	111101	L. 20 mm	100 mL	25 - 5 400 000 mPa.s																											
MK 6 paddles	111105	L. 22 mm	50 mL	100 - 20 000 000 mPa.s																											
	T 型转子 可以测量不流动的材料，例如糊状物、凝胶或霜剂。																														

还有一种称为**凝胶计时器**（或**计时器凝胶**）的设备，可以在不同的配置中量化产品在凝胶之前所需的时间。凝胶时间是通过对产品抵抗浸入后者的杆上的特定扭矩所需的时间进行计时来确定的。因此，该设备类似于粘度计，但专门设计用于确定产品的凝胶时间。

详情见《凝胶计时器》



8 - 用于扩展系统功能的附加附件

您可以通过添加附件使您的系统更强大。





可以在您的系统中添加一个[恒温器单元](#)，以便在分析过程中调节产品的温度，以更好地控制测量环境，温度是一个可以显著影响您的测量结果的参数（参见[第 6 部分](#)）。



TEMPERATURE CONTROLS

温度控制系统

LAMMY

10

此外，大多数设备都可以[由计算机控制](#)。因此，可以扩展其功能。实际上，可以从只能进行简单粘度测量的粘度计中使用它来绘制流动曲线、获得流动阈值或对产品进行触变测量。



9 - 分析非流动产品的替代方案

某些产品无法使用粘度计或流变仪进行分析，例如（硬）黄油或口红。

因此，还有一种专门设计用于分析此类产品的设备，称为 [质构分析仪](#)或[质构仪](#)。该设备可以通过压缩、拉伸、切割、弯曲或剪切来表征产品。因此，该系统可以测量物理特性，例如稠度、弹性、硬度、流动性或粘合强度。根据所分析的产品类型，它可以与多种测试头相关联。

详情见《[质构仪](#)》



CHOHAO