

# 应用报告

应用报告: AR298  
行业: 碳纤维, 复合材料  
作者: Daniel Frese, Patrick Swolana  
日期: 03/2025  
方法:   
关键词: 碳纤维, 单纤维润湿, 接触角, Wilhelmy method



K100 & Tensio 表面张力仪



TO0810 样品夹

## 使用高分辨率力传感器的表面张力仪测量单根纤维的润湿性

### 使用多纤维样品架显著增大超细纤维的润湿力

在纤维复合材料中，纤维缺乏润湿性会导致聚合物基体中夹杂空气，从而导致强度不足和其他质量损失。因此，碳纤维的接触角和表面自由能备受关注。然而，分析直径仅为几微米的单根碳纤维需要一种极其灵敏的仪器，如 KRÜSS K100SF，它专门用于此目的，但需要苛刻的安装和环境条件，例如减振系统。

为了克服这一困难，我们开发了一种样品架，可以平行测量多根单丝纤维，从而增加润湿力。有了这个配件，就可以用高分辨率的表面张力仪（如 Tensio 或 K100）进行单丝纤维测量，而不必求助于超灵敏的力传感器。之前使用五倍纤维支架的 K100 和使用单根纤维的 K100SF 之间的接触角数据比较测量证明了这种新方法的可靠性。



### 背景

#### 碳纤维润湿性

碳纤维（CF）在工业中被广泛用于制造具有优异机械性能的纤维增强复合材料。为了优化纤维嵌入过程中的润湿性，必须仔细匹配聚合物和碳纤维的表面张力和表面自由能。因此，人们有兴趣测量不同改性碳纤维的接触角。

可以在不同的尺度上研究碳纤维的润湿性：从宏观的非织造织物到纤维束，再到微观的单纤维水平。[1] 后者通常是有利的，因为纤维会在制造过程的早期阶段进行检查。

对于单纤维测量，K100SF 表面张力仪已经建立了标准的测量方法。它配备了一个高灵敏度的微天平，能够精确测量作用在单个碳纤维上的微小润湿力，通常在几百 nN 的范围内。[2,3]然而，使用该仪器进行测量需要周围环境的震动很小，有时候很难实现。因此，如果可以用传统的高

分辨率力传感器检查单丝纤维的测量值，将大大的方便测试人员。

### 多纤维样品架

润湿力与纤维的润湿长度有关，即纤维浸入时表面水平的周长。同时使用样品架 TO0810 夹多根纤维，可以增大润湿长度和润湿力。这种增加的力提供了使用 Tensíó 或 K100 的常规高分辨率力传感器测量单纤维接触角的可能。

### 实验部分

这里展示的实验是 2021 年客户的某个项目，该项目使用了 K100 Force Tensiometer，这是我们最先进的 Tensíó 仪器的前身。Wilhelmy 方法[4]用于在室温（23±2°C）下使用 ADVANCE 软件测量纤维样品润湿过程中的前进接触角和去润湿过程中的后退接触角。碳纤维的直径为 7µm。制备五根单纤维并将其连接到多纤维样品架上（图 1）。



图 1: 装载的样品架 TO0810

去离子水（SFT 为 72.8mN/m，密度为 1.0g/cm³）和二碘甲烷（SFT 是 50.8mN/m 和密度为 3.3g/cm³）用作试验液体。将纤维浸入（用于前进接触角的润湿过程）液体中至 4mm 的最大浸入深度，随后以 1mm/min 的速度拔出（用于后退接触角的去润湿），并同时以 0.01mm 的步读取力的数据。

如之前的应用报告所述，使用 K100SF 对相同的单根纤维进行了比较测量。[2,3].

### 结果

#### K100，带五倍样品架

图 2 中绘制了多纤维样品架的接触角与浸没深度的关系。表 1 总结了所得的接触角数据。

表 1:K100 的多根纤维测量结果

	前进角[°]	后退角[°]
水	75.2 ± 4.2	39.2 ± 8.5
二碘甲烷	47.7 ± 6.5	3.6 ± 8.2

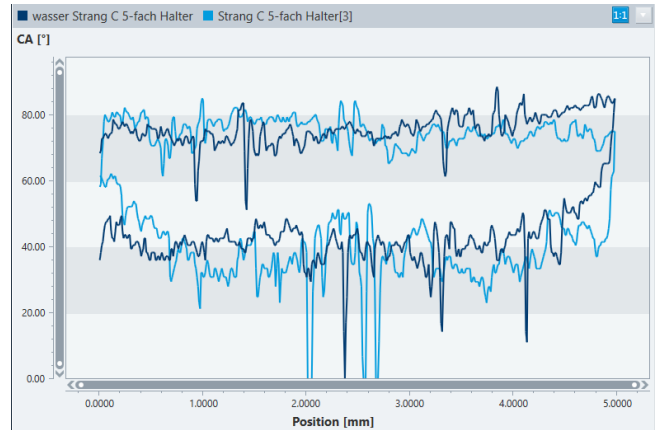


图 2: 五根平行单纤维的水接触角与浸没深度的关系（重复两次）

#### K100SF 单根纤维重复测量

表 2 总结了使用 K100SF 进行单根纤维的测量结果。结果是 5 根单丝纤维的平均值和标准偏差。图 3 中示出了接触角与浸没深度的示例图。

表 2:K100SF 单根纤维测量结果

	前进角 [°]	后退角[°]
水	78.8 ± 4.6	40.4 ± 9.3
二碘甲烷	49.5 ± 4.3	11.9 ± 7.9

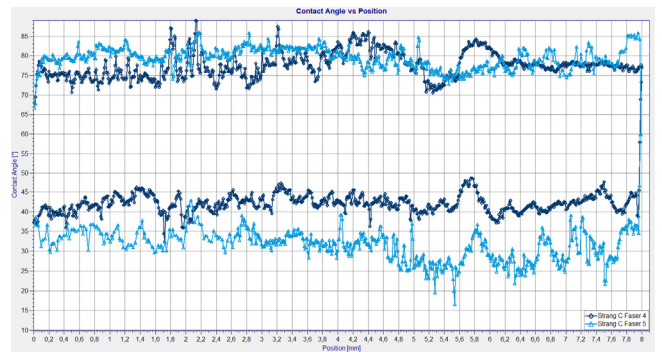


图 3: 用 K100SF 测量的单纤维在水中的接触角与浸入深度。为了清楚起见，仅显示了两根纤维的结果。

对于所使用的两种方法/仪器，水和二碘甲烷与纤维的前进接触角非常一致。前进接触角的标准偏差也一致。在这两种情况下，后退角偏差会稍大一些，特别是对于二碘甲烷。这对于超细纤维来说是典型的，因为除其他原因外，去润湿作用在纤维上的力会更小一些。

然而，前进接触角与纤维嵌入的关系要大得多，因为这也代表了一种润湿而不是去润湿过程。在这里，两种方法/仪器之间的良好一致性表明，带有多纤维样品架的 K100/Tensíó 是 K100SF 方法的良好替代品，且不必在结果精度上妥协。

## 总结

我们介绍了作为 Tensífo 或 K100 表面张力仪附件的多纤维样品架如何在单个纤维水平上测量直径为几  $\mu\text{m}$  的纤维。通过并行测量几根光纤，润湿长度和润湿力成倍增加，因此 Tensífo/K100 表面张力仪的高分辨率力传感器足够灵敏，可以在与 K100SF 相当的信噪比下精确确定接触角。这扩大了 KRÜSS 表面张力仪可用于测量的样品直径，使其成为更通用的润湿分析仪器。

## 文献

- [1] KRÜSS Application Report AR228
- [2] KRÜSS AR271
- [3] KRÜSS AR284
- [4] <https://www.kruss-scientific.com/zh-CN/know-how/glossary/wilhelmy-plate-method>  
(accessed 2025.03.04)

您可以在我们的网站上找到更多有趣的应用程序报告

<https://www.kruss-scientific.com/zh-CN/know-how/application-reports>