



### 研究背景

碳纤维是一种高强度、轻柔和导电的新型材料，可用于高要求的复合材料中，例如飞机建造或是运动器械。碳纤维在塑料基体（通常是环氧树脂）中的嵌入通常需要一个预处理。制造过程中，纤维会先通过上浆槽，涂上一层薄的塑料涂层。如果上浆涂层不完整，或与塑料基体不相容，则在嵌入过程中就可能出现润湿问题。可能由于存在气泡导致粘结失效和质量不合格。

固体与液体的润湿性可通过两相之间的接触角来评价：接触角越大，润湿性越小。使用基于力学测量的动态接触角法，可以在碳纤维制造过程中（即在进一步加工形成纤维束或编织物之前）对单纤维进行接触角测量。该研究的目的是检验只用水是否能对单根碳纤维的润湿性进行有效评价。

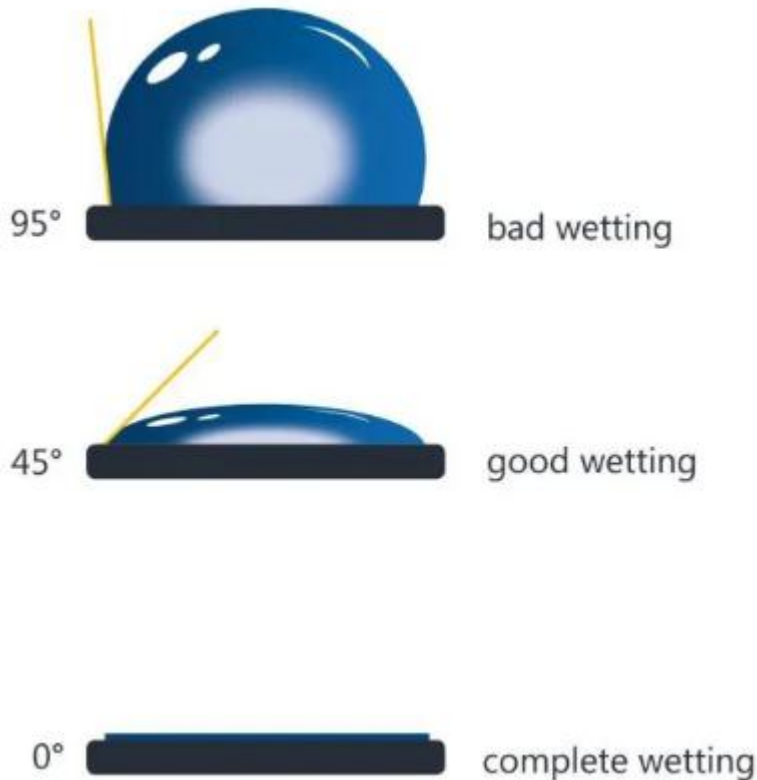


图 1. 接触角与润湿行为的关系

这对基于力学法的接触角测量仪的极限灵敏度是一个挑战：

1. 碳纤维的直径仅为头发直径的十分之一。这意味着要测量的润湿力要小得多。
2. 当接触角接近  $90^\circ$  时，润湿力变小。由于碳纤维的疏水性涂层，预计会有比较大的水接触角和相应较小的润湿力。

在这些极端条件的背景下，我们使用力学法单纤维动态接触角测量仪 K100 SF 评估了碳纤维测量的可重复性。

## 实验方法

### 2.1 样品

实验选取了 3 种不同涂层的碳纤维，直径均为  $7\ \mu\text{m}$ ，润湿周长根据计算得出为  $22\ \mu\text{m}$ 。

### 2.2 测试液体

测试液体为蒸馏水；实验测量温度为  $22^\circ\text{C}$ 。

### 2.3 测量仪器与方法

所使用的表面张力仪（K100 SF 型）的力传感器分辨率为  $0.1\ \mu\text{g}$ ，可用于测量特别微小的润湿力。在仪器进行接触角测量过程中，将纤维垂直放置在力学传感器悬挂的支架中。装有测试液体的容器从下方向上移向纤维。仪器可以自动检测到纤维与表面之间的接触，力学传感器记录在样品容器运动期间，根据浸入深度测量润湿力。

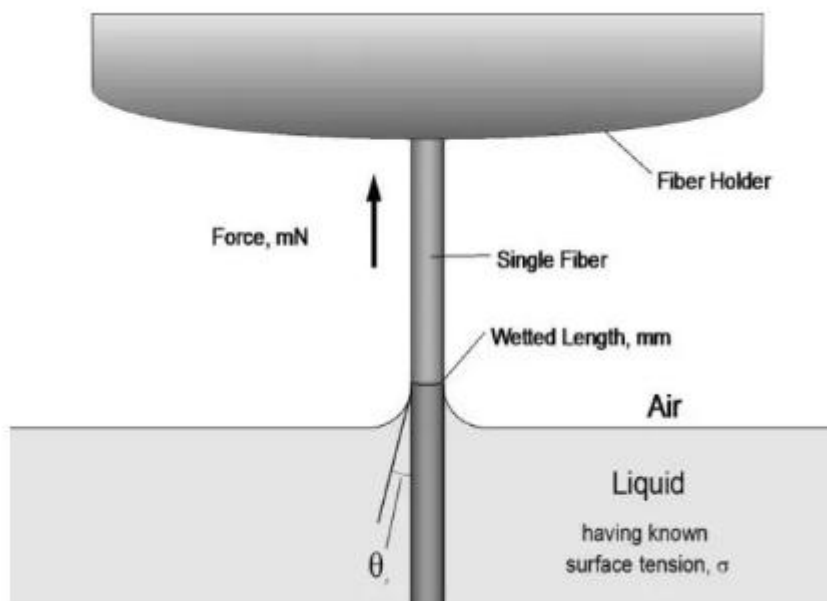


图 2. 单纤维接触角测量的原理图

接触角是在样品台向上和向下移动的过程中测得的，即通过润湿和去润湿纤维。因此，该测量给出了接触角的两个值：来自润湿阶段的前进角和来自去润湿阶段的后退角。由于预润湿，后退角有时可能与前进角相差很大。由于在这种情况下纤维的润湿性处于前阶段，因此仅需采用前进角。

## 结果与讨论

在研究过程中，发现测得的接触角取决于纤维润湿过程中的运动速度。以样品 C 为例，不同测量速度下曲线之间的比较见图 3。

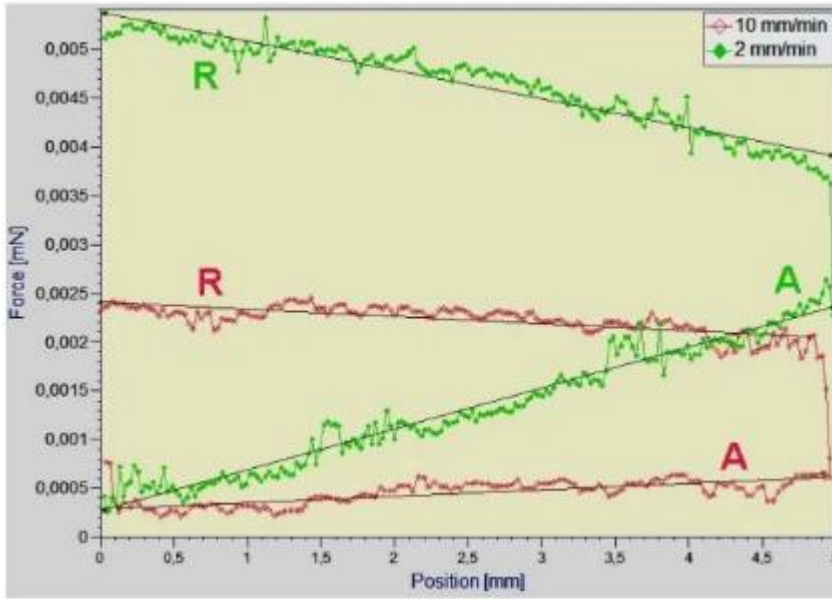


图 3: 在不同测量速度下的接触角测量

(A = 前进角。R = 后退角)

研究普遍表明，碳纤维与液体接触时会因为吸附改变其表面性质，但这种变化是可逆的。经过一段时间后，碳纤维的原始性能再次显现出来。

为了使测量接触角与浸入时间无关，增加浸入速度，直到不再检测到基于时间的影响为止。因此最终确定的浸入速度为 10 mm / min（与图 3 中的下部曲线比较）。

样品 A, B 和 C 的结果，均值为至少 14 次测量的标准差见表 1。

表 1: 3 个单纤维样品的水接触角和标准偏差

Sample	A	B	C
Contact Angle[°]	71.9±3.7	83.1±2.7	78.5±1.8

所有样品的接触角在 70~90°的低润湿性范围内，考虑到测量是在仪器的较高灵敏度范围内进行的，重现性可以被认为是良好的。由于平均值之间的差异大于标准偏差，结果是显著的，反映了纤维润湿性之间的实际差异。但接触角值并不只是纤维的最终质量标准，碳纤维与目标基体的相容性更为重要。

### 总结

碳纤维的直径小且相应的润湿力较小，因此碳纤维的接触角测量是一个挑战。因此，该研究的目的是检验通过水和碳纤维的接触角来评价其性能的可行性，这可以在进一步加工成束之前进行质控。最初，检测到的测量值与浸入速度存在相关性，这被认为是由于水的可逆吸附引起的，但通过增加测量速度能消除这种影响。超过 14 次测量的平均值展现了接触角的差异，平均值之间的差异大于标准偏差，从而表明了不同样品间润湿性的差异。