

润湿性与动态接触角

广义的润湿是指表面上一种流体被另一种流体取代的过程。在通常情况下润湿是指在固体表面上空气被水或其他液体取代的过程。为了评价材料表面的润湿性，我们可以采用测量液体在固体材料表面上接触角的方法。

在材料表面上附着的液滴会呈现出一定形状，这个形状取决于固体-液体-气体各界面之间的张力平衡。1805年 Thomas Young 首先提出了一个方程描述这个平衡态。

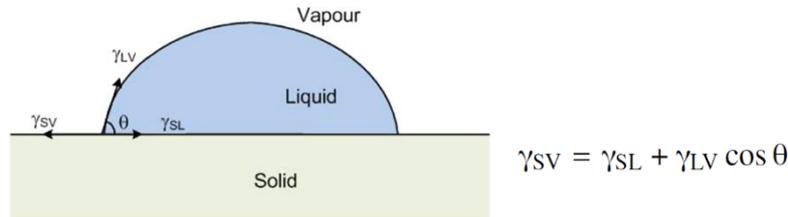


图 1 Young 方程

就接触角的数值而言，接触角越小说明固体表面越容易被液体润湿，接触角越大说明固体表面越难被液体润湿。

对于理想的固体表面，当液滴在表面达到力学平衡后，只有一个符合 Young 方程的接触角值。然而，实际上材料表面都是非理想的，材料表面会有一些的粗糙度，材料表面的化学性质不均一甚至被污染，所以必然会出现接触角滞后的现象。所谓接触角滞后就是指液滴在润湿材料表面的过程中，所呈现出的接触角不断变化的现象。在真实条件下测量出的接触角值总是在处于最大前进角和最小后退角之间的一个数值。

由于以上提到的原因，我们知道接触角的测量结果是和液滴形成的过程直接相关的，液滴形状大小的变化和三相接触线的运动会直接反应到前进角和后退角的测量结果上。在某些材料表面上测量前进角和后退角的差值甚至达到 90° 以上。测量动态接触角能够定量的描述接触角滞后的现象，为液体在实际材料表面上的润湿研究提供了有力的方法。

在接触角测量的专业领域，大家普遍认为单纯测量静态接触角不足以表征材料表面的润湿特性，只有通过测量包括前进接触角和后退接触角值在内的动态接触角才能为表征待测体系的润湿特性提供更完整的信息。测量实际材料表面上的接触角也比估算理想表面上的接触角更有意义。

目前使用光学接触角测量仪测量动态接触角的方法有倾斜台法、离心转台法和加液/减液法三种。

第一种方法是倾斜台法又称斜板法。实验是将一个液滴置于待测的样品表面后，利用倾斜台缓慢地倾斜样品表面，同时跟踪并记录液滴形状、接触角和位置的变化。倾斜刚开始时液滴不一定发生移动，但是形状会开始发生变化，使得下方的接触角不断地增大，而上方的接触角则不断地变小，当表面倾斜到一定角度时，液滴开始发生滚动或滑动，此时液滴下方三相接触点发生运动之前对应的接触角就是最大前进角，而液滴上方三相接触点发生运动之前对应的接触角就是最小后退角。当液滴整体刚刚开始发生滚动（滑动）时的表面倾斜角，就叫滚动角（滑动角）。



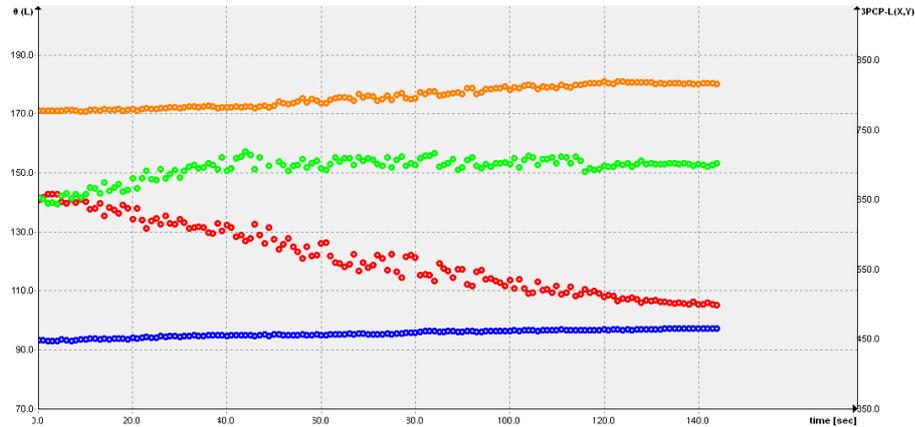
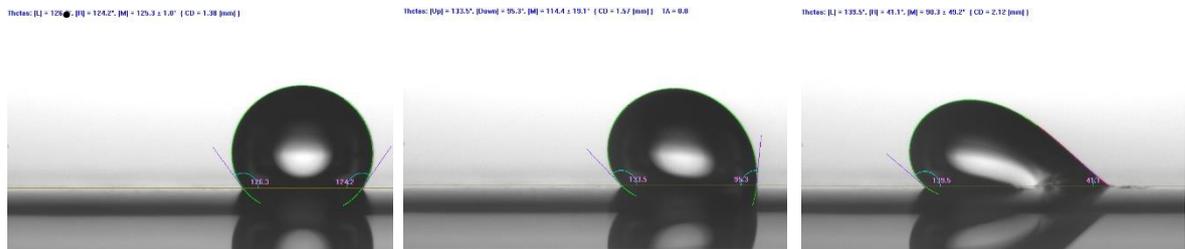


图 2 倾斜台法测量动态接触角和滚动角

使用倾斜台法测量动态接触角的特点是不仅能测量到前进角和后退角变化的全过程，而且能得到液滴在材料表面上的滚动角。

第二种方法是离心旋转台法又称滞留力天平法，实验是将一个液滴置于待测的样品表面后，利用离心旋转台使液滴沿着圆周转动，同时跟踪并记录液滴形状、接触角和位置的变化。随着转速的不断增加，液滴整体受到的离心力越来越大，液滴开始发生形状变化，并且顺着旋转半径的方向在材料表面上滑动的趋势越来越明显，直到发生滑动。在形状变化过程中外侧的接触角不断地增大，而内侧的接触角则不断地变小，当转速达到一个临界值时，液滴开始发生整体滑动，此时液滴外侧三相接触点发生运动之前对应的接触角就是最大前进角，而液滴内侧三相接触点发生运动前对应的接触角就是最小后退角。根据液滴体积、转速和旋转半径计算得到的离心力就等于液滴在材料表面上的滞留力。



上图从左至右转速和离心力逐渐增加



图 3 离心转台法测量动态接触角

使用离心转台法测量动态接触角的特点是不仅能测量到前进角和后退角变化的全过程，

而且能得到液滴在材料表面上的滞留力。这个方法不仅适用于疏水材料也适用于亲水材料。

第三种方法是加液-减液法又称注液-吸液法，实验是将一个液滴置于待测的样品表面后，把注射针插入液滴内部，缓慢的注射液体使液滴体积增大到一定数值，之后再缓慢的回吸液体使液滴体积减小到一定数值，同时跟踪并记录液滴形状、接触角和位置的变化。在液体注射和回吸过程中两侧的接触角不断地变化，三线接触点同时发生移动。如果液体注射和回吸的速度足够缓慢，三相接触点运动接近一个亚平衡状态，过程中可以得到最大前进角和最最小后退角。

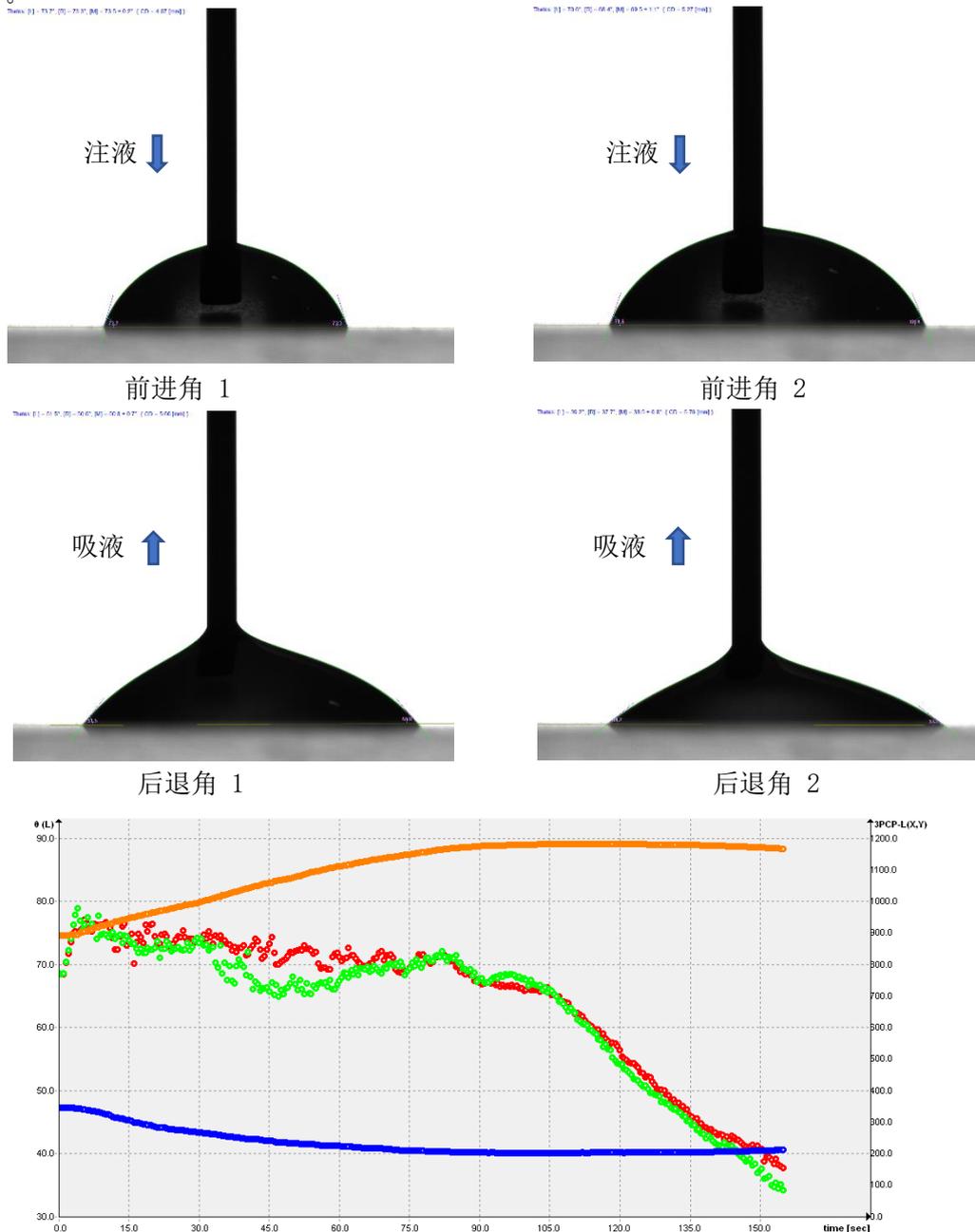


图 4 加液-减液法测量动态接触角

使用加液-减液法测量动态接触角的特点是能测量到前进角和后退角变化的全过程，而且不需要额外的特殊附件，投资较低。缺点是液滴形状会受到注射针的影响而导致接触角计算的误差。