

Keywords: 转动惯量, 惯量校准

## ABSTRACT

讨论了应力控制型旋转流变仪的仪器惯量对几种测试结果的影响, 旨在提醒使用者重视这一影响因素, 从而得到正确的测量结果

## 引言

从仪器设计原理看, 应力控制型旋转流变仪控制施加的刺激为应力(扭矩), 测量的响应为应变或应变速率(市售旋转流变仪普遍使用高速“反馈-控制”技术, 因此, 这类流变仪也实现控制应变或应变速率测试)。

但需要指出的是, 这类仪器由于力需要在运动夹具上“测量”, 因此, 由仪器自身的转动惯量消耗的惯性矩在非匀速转动情况下不可避免地会包含在被“测量”的扭矩中。

## 系统惯量对流动测试的影响

在流动开始或改变时, 驱动电机输出的扭矩不仅要用于克服被测样品的黏性还要被用于克服电子转子和测量夹具的惯性, 甚至还要被轴承摩擦所消耗(残余扭矩), 因此, 运动状态改变时, 驱动电机的输出由黏性扭矩、惯性扭矩和残余扭矩三部分组成。

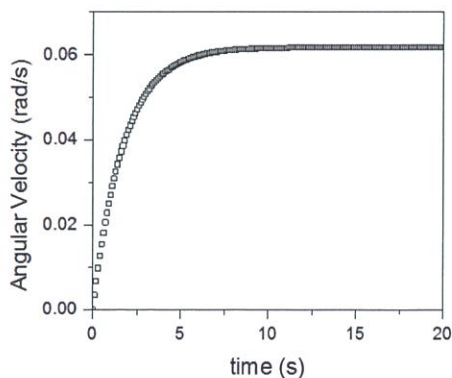


图1 恒扭矩条件下的瞬态角速率

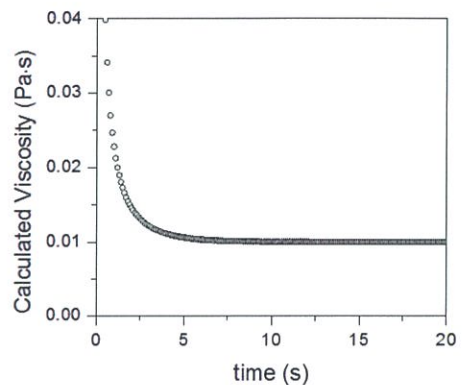


图2 恒扭矩条件下的瞬态黏度

图 1 和图 2 是系统惯量为  $28\mu N \cdot m \cdot s^2$  使用半径为  $30cm$   $2^\circ$  锥板夹具控制扭矩为  $1\mu M \cdot m$  测量黏度为  $0.01Pa \cdot s$  的瞬态角速率和瞬态黏度结果, 可以看出, 系统惯性使得扭矩施加初期其值大部分被用于克服系统惯量而加速, 旋转角速率在约  $10s$  之后才到达恒定值, 而对应得到的“黏度”表现为依时性假象。因此, 本例中测量黏度时如果采点时间小于  $10s$ , 测量黏度与其真值之间势必存在较大的误差。需要说明的是, 系统的转动惯量越大, 样品的黏度越小, 达到稳态值的时间越长。

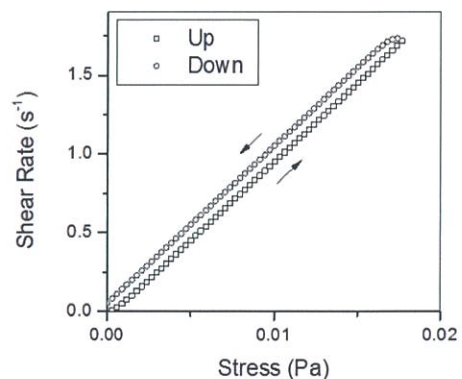


图3 扭矩线性增加条件下的瞬态速率

图 3 和图 4 是同样测试条件下施加线性变化扭矩的结果, 可以看出, 系统惯性的客观存在使得在应力线性增加和衰减过程中应力相同时剪切速率并不相同, 即出现了滞后现象, 而测量得到的黏

度曲线也不重合，也就是说，即使被测样品是牛顿流体，也很容易被误读为存在触变现象（滞后环）。

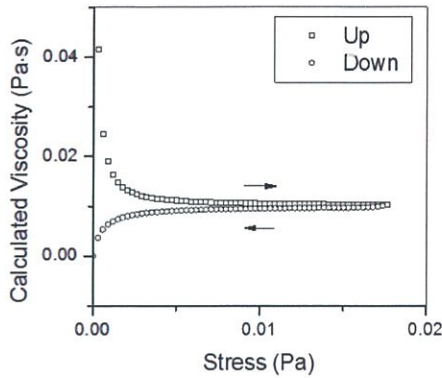


图4 扭矩线性增加条件下的瞬态黏度

### 系统惯量对蠕变测试的影响

在蠕变测试中，被测样品如果是黏弹的，仪器惯量会造成在测试的初始期应变（或柔量）曲线会出现看似“诡异的”波动，如图5和图6所示。

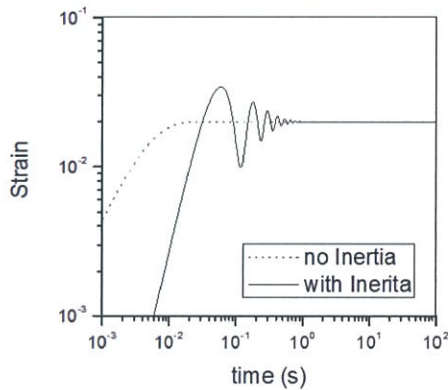


图5 黏弹固体恒应力条件下的蠕变特征

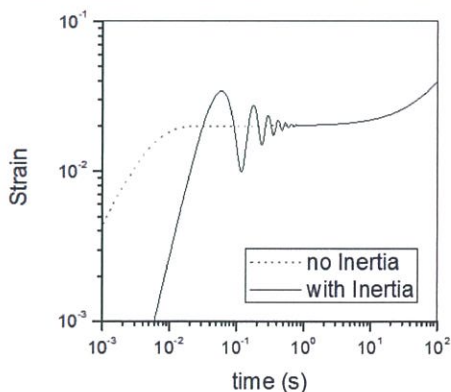


图6 黏弹流体恒应力条件下的蠕变特征

由图5和图6可以看出，由于仪器的转动惯量客观存在，无论是黏弹固体还是黏弹流体在蠕变开始时均会出现波动“环”。

### 结语

综上所述可以看出，系统转动惯量越小对测量结果的影响越小。大部分市售应力控制型旋转流变仪使用拖杯电机作为驱动电机，该电机的显著特点就是转动惯量小。

只有极少部分市售应力控制型旋转流变仪使用直流电机。虽然直流电机的“反馈-控制”相对容易一些。但直流电机的永磁体转子的转动惯量较大，因此，对测量结果影响较大。

### 参考文献

1. Macosko, C.W., Rheology: Principles, Measurements, and Applications. 1994: Wiley-VCH.
2. Barnes, H.A. and D. Bell, Controlled-stress rotational rheometry: An historical review. Korea-Australia Rheology Journal, 2003. 15(4): p. 187-196.
3. Krieger, I.M., The role of instrument inertia in controlled-stress rheometers. Journal of Rheology, 1990. 34(4): p. 471-483.
4. Baravian, C. and D. Quemada, Using instrumental inertia in controlled stress rheometry. Rheologica Acta, 1998. 37: p. 223-233.
5. Ewoldt, R.H. and G.H. McKinley, Creep ringing in rheometry or How to deal with Oft-discarded data in step stress tests! Rheology Bulletin, 2007. 76(1): p. 4-6, 22-24.