

旋转式粘度计综述

A Review on Rotary Viscometer

(青岛科技大学自动化与电子工程学院, 山东 青岛 266042) 童刚, 陈丽君, 冷健

童刚 (1964 -)

男, 教授, 多年来一直从事工业自动化、信息管理、智能交通等领域的科学研究、科研项目的研发和应用实施工作, 目前主要研究方向为聚丙烯酰胺流体的粘度测量。

收稿日期: 2006 - 11 - 02

摘要: 首先介绍了粘度的重要作用及测量粘度的四种主要方法: 毛细管法、旋转法、振动法和落球法, 然后对旋转法的核心部件—旋转式粘度计进行了综述, 分析了各种类型的旋转式粘度计的工作原理和应用特点, 最后指出使用时要选择合适类型的旋转式粘度计。

关键词: 粘度; 旋转式粘度计; 扭矩

Abstract: This article presents the important use of the liquid viscosity and four main methods of measuring the viscosity such as capillary method, rotational method, oscillating method and dropping spherule method, reviews the rotary viscometer, the center part of the rotational method, and analyzes the principle and the application characteristics of various kinds of the rotary viscometer. At last, it points out the proper type of rotary viscometer for using.

Key words: Viscosity; Rotary viscometer; Torque

1 引言

粘度是流体重要物理性质之一, 是食品业、油漆业、聚合涂层业、石油工业及其它工业的一个重要的标准特征。测量流体的粘度和流动性在工业生产和基础学科研究中具有十分重要的意义。目前测量流体粘度的方法主要有毛细管法、旋转法、振动法及落球法等等。其中, 旋转法是一种比较常用的方法, 被广泛地应用于测量牛顿型流体和非牛顿型流体的粘度及流变特性中[1]。笔者在研究用旋转法测量聚丙烯酰胺溶液的粘度的过程中, 详细地了解了旋转法的核心部件—旋转式粘度计测量流体粘度的原理及其在大量不同的工业环境中的应用情况, 特对其做一综述。

2 旋转式粘度计的基本原理

旋转式粘度计主要是由一台同步微型电动机带动转筒以一定的速率在被测流体中旋转, 由于受到流体粘滞力的作用, 转筒会产生滞后, 与转筒连接的弹性元件则会在旋转的反方向上产生一定的扭转, 通过测量扭转应力的大小就可以计算得到流体的粘度值。

旋转式粘度计是一种比较精密的仪器。它适用于所有的流体, 即牛顿型流体和非牛顿型流体; 使用简单, 测量快速方便, 数据准确可靠; 便于连续测量, 通过调节转速可以测量不同剪切率下的流体粘度。但同时, 旋转式粘度计也有一些缺点, 如所需的硬件设备较多, 结构复杂, 价格昂贵等。因此, 在使用时要根据工业生产要求及工业环境来选择合适类型的粘度计。

3 旋转式粘度计的分类

旋转式粘度计在工业中应用非常广泛。近几年来, 随着工业生产要求越来越严格, 研究人员对结构和功能单一的旋转式粘度计做了很多改进, 推动了旋转式粘度计的快速发展。包括既可以进行流体粘度的离线测量, 也可以进行在线测量, 同时还加入了单片机控制, 传感器以及数字化显示数据等等, 优化了旋转式粘度计的功能, 并在一定程度上克服了以前使用中的一些弊端。不仅扩大了旋转式粘度计的应用范围, 还有利于在生产过程中对产品粘度进行实时监测和控制, 给工业生产带来了极大的便利。

根据所阅读的大量的文献, 笔者认为现在国内外常用的旋转式粘度计从结构上主要可以分为以下两种: 单圆筒旋转式粘度计(如图1所示)和双圆筒旋转式粘度计(如图2所示)。

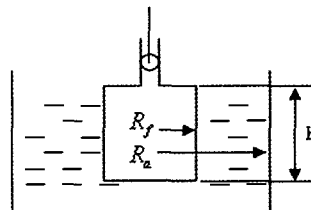


图1 单圆筒旋转式粘度计

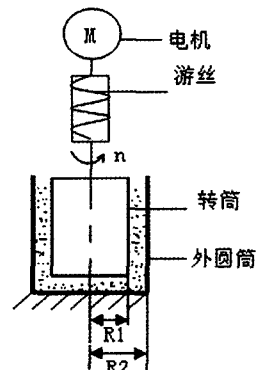


图2 双圆筒旋转式粘度计

3.1 单圆筒旋转式粘度计

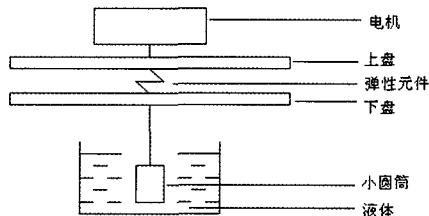


图3 单圆筒旋转式粘度计测量原理图

如图3, 单圆筒旋转式粘度计只有一个圆筒, 由一台微型同步电动机带动上、下两个圆盘和圆筒一起旋转, 由于受到流体的粘滞力作用, 圆筒及与圆筒刚性连接的下盘的旋转将会滞后于上盘, 从而使得弹性元件产生扭转, 通过测量这个扭转来得到小圆筒所受到的粘性力矩 M , 再根据马克斯公式(式1)计算得到流体的粘度。

$$\eta = \frac{1}{4\pi h} \left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right) \frac{M}{\omega} \quad (1)$$

式中: η —液体动力粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; h —测量小圆筒浸于待测液体中的高度; R_i —小圆筒的半径; R_o —待测液体容器的半径; M —粘性力矩; ω —小圆筒旋转角速度。

这种单圆筒旋转式粘度计结构简单, 便于安装, 因此适用于流体粘度的在线测量。它具有较高的测量精度, 较快的响应速度, 较低的生产成本。是一种比较理想的在线粘度计, 便于在生产过程中对产品粘度进行随机监测及控制。

由于传统的旋转式粘度计都是机械式的, 主要是利用弹性元件的扭转来获得转筒的扭矩。这种结构不但对弹性元件规定了很高的技术要求, 而且也由于所得的数据都属于机械量, 使得人们对数据的记录和处理变得困难, 因此一般不直接对其进行应用。

肖军民^[3]提出了一种数字粘度仪, 如图4所示, 它是基于单圆筒旋转式粘度计的。由于转筒和被测流体的相互作用, 转筒在旋转的反方向上产生扭矩, 把扭矩信号传递给上面的扭矩传感器, 这时扭矩传感器将产生微弱的模拟电压信号, 经A/D转换器放大并转换成数字信号输入到微机中进行处理, 从而就能在微机中计算出被测物质的粘度。

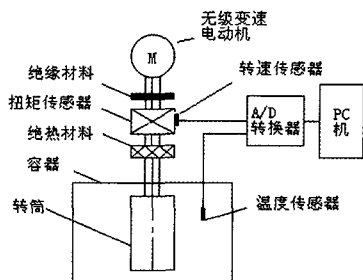


图4 数字粘度仪系统结构

这种数字粘度仪克服了传统的旋转式粘度计的一些缺点, 在以下四个方面做了成功的改进: 首先采用了扭矩传感器来传递小圆筒所产生的扭矩, 方便了数据的采集; 其次采用了温度传感器, 在测量流体粘度的同时, 还准确地测量着流体的温度, 以便选取理想温度下的粘度测量值作为流体的粘度; 再次采用了转速传感器实时监控电动机的转速, 并可以获得不同剪切速率下的粘度值; 最后它能够将所测得的粘度值以数字的形式保

存并在电脑上直观地显示出来。

以上这种数字粘度仪在条件不太严苛的情况下可以很好地应用, 但当管道中压力很大时, 将其很好地密封安装在管道中, 且使其保持特定的转速却是很困难的。Simon Huwyler, Daniel Schrag^[5]等提出了一种新的在线粘度计—无轴承在线粘度计(Bearingless in-line viscometer)。

如图5所示, 转筒不是由转轴支撑, 而是在一组耐腐蚀的磁性物质的作用下悬浮在管道中的一个圆形旁室里, 并以一定的速度旋转。流体在转筒和室壁间循环流动, 并对室壁产生一定的剪切压力, 以此来测量转筒的扭矩, 最后由公式计算得到流体粘度。

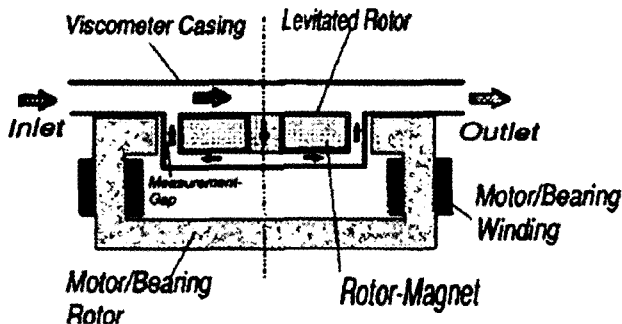


图5 无轴承在线粘度计的工作原理图

这种方法以旋转式粘度计的工作原理为基础, 对其进行了很好的改进, 并已经成功应用在了半导体工业中。

3.2 双圆筒旋转式粘度计

顾名思义, 双圆筒旋转式粘度计有两个圆筒, 它又可以分为内筒旋转式和外筒旋转式两种。

3.2.1 内筒旋转式

如图2所示, 外圆筒是用来盛被测液体的容器, 固定不动, 内圆筒为浸入被测液体中进行旋转的空心圆筒, 与外圆筒同轴。驱动用的微型同步电动机的壳体采用悬挂式安装, 通过转轴带动内圆筒以一定的速率旋转, 内圆筒在被测流体中旋转时受到了粘滞阻力的作用, 产生反作用迫使电机壳体偏转, 电机壳体和两根一正一反安装的金属游丝相连, 当壳体偏转时, 使游丝产生扭转, 当游丝的扭矩与粘滞阻力力矩达到平衡时, 与电动机壳体相连接的指针便在刻度盘上指出某一数值。此数值与转筒所受的粘滞阻力成正比。因此, 将刻度读数乘上特定系数 F (即转筒因子), 就表示成粘滞系数的量值^[1]。

内筒旋转式粘度计是最普通的一种旋转式粘度计, 从它的结构以及运转方式来看, 它一般用于流体粘度的离线式测量, 如在实验室中测量采样流体的粘度值。

因为影响粘度测量的因素很多, 所以为了尽可能得到比较准确的粘度值, 离线测量需要在一个人特定的环境下进行, 如给定温度、压力及流速等, 甚至需要提供与原流体近似的剪切力或剪切速率^[6]。在对某种溶液进行定性分析或对数据要求不高的实验中, 温度仍是不可忽视的重要因素。实验证明: 当温度偏差 0.5°C 时, 有些流体粘度值偏差超过 5% , 因此温度偏差对粘度影响很大, 温度升高, 粘度下降。为了解决这个问题, 一般采用恒温水浴来控制采样流体的温度, 以保证样品与被测流体的温度一致, 从而获得较准确的粘度值。

3.2.2 外筒旋转式

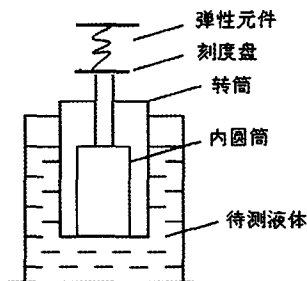


图6 外筒旋转式粘度计

如图6所示,测量时将内、外圆筒都浸入被测流体中,由电动机带动外圆筒以一定的速率进行旋转,内圆筒由于受到两圆筒之间的被测流体的粘滞力作用而发生偏转,与内圆筒相连的张丝扭转所产生的恢复力矩与粘滞力矩的方向相反,当张丝的恢复力矩和粘滞力矩达到平衡时,内圆筒的偏转角 θ 大小与引起粘滞力矩的粘滞系数 η 成正比。由此推导出粘滞系数 η 数和偏转角 θ 的函数关系 $[\eta = f(\theta)]$,即可通过测量内圆筒的偏转角 θ 来计算出粘滞系数值 η 。

同单圆筒旋转式粘度计一样,直接读数手动计算很麻烦。路则坚^[4]提出了一种单片机控制测量方法。如图7所示,8751单片机通过0832D/A转换芯片控制电动机的转速,由电动机驱动外圆筒,内圆筒与一端固定在机壳上的弹性元件连接。采用CPU中的CTC计数方法,通过光耦合器测量外圆筒的转速和内圆筒的扭矩,并将结果输入到微机中,计算并显示流体的粘度值。

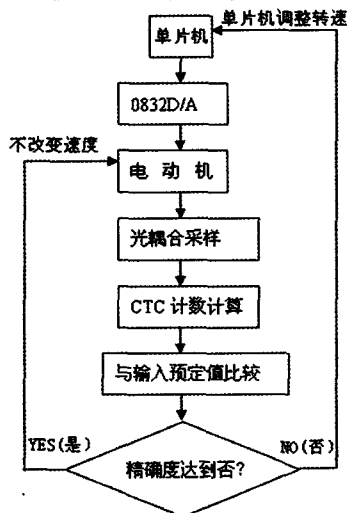


图7 转速闭环控制框图

这种方法采用了CTC计数,实现了扭矩的数字化显示,使用简便;单片机控制也可以方便地采集数据,实现数据的快速计算,从而得到最终的粘度值。可以较好地用于环境要求不太高的测量中。

4 结束语

目前,随着生产技术的提高,人们对生产过程提出了更高的要求,因此对流体粘度的测量技术的要求也更加严格。如旋转式粘度计在线测量时承受高压的性能不高,有待于进一步改进。在研究人员的不断努力下,旋转式粘度计将继续发展,外观呈现多样化的趋势,应用范围也越广泛。因此,这

就要求我们在使用时要学会选用合适类型的旋转式粘度计,从外形,性能,价格等多方面考虑。旋转法仍将是测量流体粘度的主要方法之一。

其他作者:陈丽君(1982-),女,硕士研究生,主要研究方向为检测仪表及自动化装置;冷健(1980-),男,工程硕士研究生,主要研究方向为检测仪表及自动化装置。

参考文献

[1]秦毅,胡鑑安.旋转式粘度计的工作原理及其主要部件设计[J].同济大学学报,1994,22(3).
 [2]黎明湖,曲君乐等.单筒旋转式在线粘度计[J].山东科学,2002,15(2).
 [3]肖军民,陈国香.一种新型旋转式数字粘度仪的研究和开发[J].计量与测试技术,2003(5).
 [4]路则坚.旋转式粘度计的单片机控制[J].农业机械学报,1995,26(1).
 [5]Simon Huwlyler, Daniel Schrag, Richard Gilbert, Todd Thorsen, Reto Schob, Jurgen Hahn, Bearingless in-line viscometer for the semiconductor industry, 2003.
 [6]Samuel E. de Lucena, Walter Kaiser, Stepping Motor Driven Constant-Shear-Rate Rotating Viscometer, Ith4TC 2004 - Instrumentation and Measurement Technology Conference Coma Italy, 18-20 May 2004.

编号: 070145

有奖评分活动获奖名单
(2006年12月第六期)

特别奖: 蒋若润

- 幸运读者: 赵霄云 陈丽 王梁栋 李明
 张枫桥 郑良雨 邹君君 胡小娟 谢天亮
 石中新 宋敏 周业童 施德远 刘建
 王柯 赵大贺 孙历洲 绍兴利 高辅成
 肖小蕾 栾亦杰 方晓 钱芳芳 路艳阳
 蒲村娇 刘宇熙 孙思峰 朱春山 宫冰冰
 罗宜勤 赵言 张博波 孙晖辰 倪娜
 马勤 王科峰 向天明 白洁 霍玉良
 祝川江 黄来福 季梅 徐笑芬 曹文庆
 于深智 牛欣欣 赵小红 刘柳风 尹真