

分类号

密级

硕士学位论文

题目：流变数据的计算机处理系统
及粘弹性触变流体的模型建立

英文并列题目：A COMPUTER PROCESSING SYSTEM
OF RHEOLOGICAL DATA AND A MODEL OF
VISCOELASTIC THIXTROPY FLUID

研究生：张曦煌 专业：自动化

研究方向：微机在食品工业中的应用

导师：张遐、副导师：许时婴

学位授予日期：

一九八八年 月 日

无锡轻工业学院

地址：无锡市青山湾

无锡轻工业学院研究生论文纸

目 录

论文摘要	1
前 言	3
1. 流变学与食品流变学	3
2. 计算机在食品科学中的应用	5
3. 触变性的研究回顾	7
一. 流变数据的计算机处理系统	14
§1-1 Haake 流变仪简介	15
§1-2 系统的原理与组成	17
§1-3 软件设计与程序流程	21
§1-4 系统性能的比较	34
二 粘弹性触变流体的模型	36
§2-1 模型的理论推导	38
§2-2 参数估计	44
§2-3 实验结果的讨论	51
参考文献	56
致谢	58
英文摘要	59

无锡轻工业学院研究生论文纸

流变数据的计算机处理系统及 粘弹性触变流体的模型建立

摘 要

本文先介绍利用微机 IBM PC/XT 和 Haake 流变仪建立的流变数据计算机处理系统。该系统具有对流变测量进行数据采集、图表制作和模型拟合等功能,亦可进行流变的瞬态响应测量,扩充了原 Haake 流变仪的功能。通过硬件和软件的详细讨论,说明了本系统的工作原理和功能实现方法。近半年的实际使用,证明了该系统稳定可靠、使用方便。

利用流变数据的计算机处理系统以 Salad dressing 为例,本文还充分讨论了粘弹性触变流体的过流流动,通过理论推导和利用 Maxwell 模型,推出了分段的 Maxwell 模型,用以描述粘弹性触变流体的整个过流流动,同时指出,内在结构的变化引起模型参数的变化,而结构的变化和参数的变化是发生互触变点。

运用推广的卡尔曼滤波法和最小二乘法,我们成功地估计了 Maxwell 模型的参数,仿真表明,参数估计是有效的,模型与实际情况是吻合的。

无锡轻工业学院研究生论文纸

关键词：食品流变学，流变仪，数据采集，模型拟合，
粘弹性流体，触变性，卡尔曼滤波器，
最小二乘法，色拉调味料。

无锡轻工业学院研究生论文纸

前言

1. 流变学与食品流变学

流变学是研究物质流动和变形的科学。在上一切物质都在流动与变形,因此,流变学所研究的范围是相当广泛的。从流变学本身的特点看,它是处于力学、化学和工程科学,特别是材料科学之间的一门新兴的边缘学科。流变学产生于高聚物工业迅速发展的需要,它首先研究了高聚物材料的流变性质,随着生产的发展,流变学的研究对象,已涉及工业生产过程中 and 自然界各类物质和材料。流变学的理论和方法应用于各工程科学,产生了流变学的各学科分支,如石油流变学、冶金流变学、聚合物流变学、生物流变学等。食品流变学虽然是各分支中很为年轻的分支,也是有了较大的发展,并受到国内外流变学界的重视。

White^[1] 于 1970 年提出,食品流变学是研究在食品工业中原料、半成品和成品的流动与变形的学科,由此可以看出,食品流变学对于食品质量的提高有重要的意义。

食品的质量有下 4 个指标

- i. 外观,包括颜色、形状、大小、光泽
- ii. 风味,包括味道和气味。

无锡轻工业学院研究生论文纸

iii 质构

iv 营养

对于食品, 虽然还有其它的因素如成本, 便利性, 包装等, 但这些不是质量指标。在上面四个质量指标中, 前三个叫做感官接受因素 (sensory acceptability factors), 这是由人的感官所能感觉到的。如果用仪器来测量食品的质量, 例如模拟牙齿的咀嚼动作, 这就涉及到在外力作用下, 食品物质的变形与流动, 也就涉及到对食品流变性质的研究。

食品流变学有许多场合的应用, 如食品处理和食品加工。许多食品处理与加工操作, 很大程度上是依赖于加工过程中中间产品的流变性质, 因为这将影响到最终产品的质量; 另一方面, 可根据流变性质的研究, 选定加工过程中的最佳工艺参数。例如控制面团的流变性质是制造高质量面包的重要手段。

粘性特别是非牛顿粘性是许多流体或半流体食品的重要质量的部分指标。塑性和假塑性也是食品质量的重要指标, 因此, 它们的性质的研究是食品流变学的一部分。许多种类的食品如面团, 人造奶油, 蛋黄酱和许多布丁等, 在自然界都是塑性和假塑性物质, 它们只需很小的力就能流动, 而且, 在不受外力

无锡轻工业学院研究生论文纸

的情况下,能克服自身的重力保持其外形.所有这些性质,都可以归纳到食品流变学的领域中!^[2]

2. 计算机在食品工业中的应用.

自1946年以来,人类研制出第一台电子计算机至今,计算机经历了四代的发展.1971年研制成的第一块微处理芯片(MCS-4),又使计算机进入了新的发展领域.经过的十几年,随着LSI技术的迅速发展,微机技术日趋成熟.目前出现的16位和32位微型计算机,在功能和处理能力上又有新的提高.

微机有许多优点.诸如价格低廉,功能齐全,使用方便,软件丰富.使其在社会各领域有广泛的应用.在食品工业中也不例外. Israel Saguy^[3]归纳了如下几个方面.

i 一般数值计算

ii 有关食品加工和存储的经验数学动力学模型的分析 and 推导.

iii 温度函数的反应动力学和加速试验模拟.

iv 在加工和贮存过程中食品质量的损失的定量分析和模拟

v 热传递及其相关课题

vi 生产控制, 计划, 评审和运输问题.

无锡轻工业学院研究生论文纸

vii 食品流变学的应用

viii 过程控制

ix 食品蛋白质的电泳和色谱数据分析

计算机在食品流变学中的应用,不但可以加速流变数据的处理,如流变数据的统计处理和流变曲线与模型的拟合,而且可以利用计算机解决实验所不能解决的问题,如解决复杂几何结构的物质内部应力分布的计算。另外,计算机也常用于流变测量中,最主要的是将计算机技术引入到流变测量仪中,并且已经成为流变仪的发展方向。

八十年代初,西方等国开始利用计算机进行流变测量,并且推出了配有微电脑的流变仪产品,如英国的 Weissenberg 流变仪和西德 Haake 公司的流变仪。最近,又有许多新型的流变测量仪器设备问世,其最大的特点是测量方便性、准确性,这些特点都是计算机技术引入的结果。国内在这一方面起步较晚,估计在不久的将来,会有自己的产品投入市场。

应用计算机不但使得流变测量更精确、可靠和方便,而且可突破常规测量的禁忌,如流体瞬态响应的测量。美国 Shoemaker 等人^[4.5]于 1985 年成功地运用了计算机技术,进行流体瞬态响应的测量。

无锡轻工业学院研究生论文纸

在国内, 计算机技术的应用很不平衡. 在流变学领域内几乎是空白. 1987年10月的全国流变学会议未见有关计算机应用的文献^[6]. 本文试图作出这样的努力, 以表明计算机在流变学中的应用, 应该在全国有所推广, 以此推动流变学自身的发展.

3. 触变性研究的回顾*

虽然人们对触变性的注意可以追溯到现代流变学开始的时候, 但迄未成为流变学研究的主流. 这主要是触变性自身的复杂性. 随着发现越来越多的物质在一定的条件下具有触变性 (见表0-1), 并且已被应用于不同的场合, 人们对触变性的研究变得深入起来, 并且获得了许多成果.

触变性研究, 除了对触变现象的解释, 对新的具有触变性物质的发现以及触变性质的应用外, 对触变的理论研究有了很大的进展. 现在已有各种模型分别能在附加一定的条件或假设下, 描述各自所能描述的触变物质.

考虑 Reiner-Rivlin 本构方程, 即应力 τ_{ij} 与应变速率 $\dot{\gamma}_{ij}$ 对于时间的关系.

* 本章中未标明文献的均出自文献[7]

无锡轻工业学院研究生论文纸

1	石油及其部分产品
2	润滑油和石蜡
3	颜料 (油画颜料, 印刷油墨等)
4	纤维悬浮液
5	液晶和胶束结构物质
6	食品 (天然的合成的)
7	树脂和聚合物 (加填料和未加填料)
8	生物系统
9	粘土和其类似物质的悬浮液 (如陶瓷, 混凝土, 钻井液)
10	乳胶和橡胶浆
11	熔解液
12	橡胶和合成橡胶

表 0-1: 具有触变性的物质分类.

$$\dot{\gamma}_{ij}(t) = 0 \quad \sqrt{\Pi_{\tau}(t)} < \tau_{crit}(t), \quad (0-1)$$

$$2\eta\dot{\gamma}_{ij}(t) = \frac{\sqrt{\Pi_{\tau}(t)} - \tau_{crit}}{\sqrt{\Pi_{\tau}(t)}} \tau_{ij}, \quad \sqrt{\Pi_{\tau}(t)} \geq \tau_{crit}(t) \quad (0-2)$$

其中

$$\tau_{crit}(t) = \tau_i - \frac{\int_{t'=-\infty}^t \sqrt{\Pi_{\dot{\gamma}}(t')} \exp[-\alpha(t-t')] dt'}{\beta + \int_{t'=-\infty}^t \sqrt{\Pi_{\dot{\gamma}}(t')} \exp[-\alpha(t-t')] dt'} (\tau_i - \tau_0) \quad (0-3)$$

Sliber 和 Paslay 从对 Bingham 流变研究开始, 于 1964 年提出了上面的方程. 这一分析是预先假定流变是共有 Bingham 流变性质. 应力临界值依据剪切历史, 并表示为

无锡轻工业学院研究生论文纸

简单的记忆函数。上述方程对于每一结构的情况需依赖于一定的塑性粘度和 Bingham 特点。目前，这一假定还未得到证实。

Harris 的研究避开了直接应用假定的 Bingham 流律。其得到的模型为：

$$\tau_{ij} = 2\eta(\Pi_i, \text{III}_i) \dot{\gamma}_{ij}(t) \quad \text{当 } T_i(t) \geq T_{crit}(t) \quad (0-4)$$

$$\eta_i - \eta(t) = \int_{-\infty}^t f_1[\Pi_i(t'), \text{III}_i(t')] M(t-t') dt' \quad (0-5)$$

$$T_i - T(t) = \int_{-\infty}^t f_2[\Pi_i(t'), \text{III}_i(t')] N(t-t') dt' \quad (0-6)$$

在这里记忆函数 M, N 可为连续或离散函数。

上面的模型中遗留的问题是，怎样将屈服应力临界值组合到流变本构方程中。Harris 提出了一种方法，但是其物理意义不明显。

前面的几个模型是根据连续性理论，但这决不是解决流变问题的唯一办法，还有许多理论分析是根据粘结构力学的论点。这意味着，流变参数的改变是由物质内部结构的改变而引起的。这一点已广为接受。这样具有非线性，时变性的流变性质可由下两个方程给出。

$$\tau(t) = f_3(\dot{\gamma}(t), S(t)) \quad (0-7)$$

$$dS(t)/dt = f_4(\dot{\gamma}(t), S(t)) \quad (0-8)$$

如果结构所 S 的每一变化都恒定引起成比例的 S

无锡轻工业学院研究生论文纸

根据表现粘度的变化, 则上两式可相应地表示为

$$\tau_{12} = (a n(t) + b) \dot{\gamma}_{12}(t) \quad (0-9)$$

$$\frac{dn(t)}{dt} = -k_1 n^c \dot{\gamma}_{12}(t)^a + k_2 [n_0 - n(t)]^d \dot{\gamma}_{12}(t)^b \quad (0-10)$$

上述两组方程都能定量地描述已知的触变流体的触变现象, 如应力恢复, 应力衰减, 应力过量。虽然方程组有九个待定参数, 但它仍然不能精确地与已公布的触变数据相符合。

考虑触变悬浮液, 有理由假定, 不是所有的结构单元或颗粒是相同的, 因此不依赖上述的结构阶 s 或 n , 引入结构参投入, Cheng 得到如下的方程

$$\frac{d\tau_{12}}{dt} = \alpha(\tau_{12}, \dot{\gamma}_{12}) \frac{d\dot{\gamma}_{12}}{dt} + \beta(\tau_{12}, \dot{\gamma}_{12}) \quad (0-11)$$

除上述两种类型之外, 还有一种根据级结构去讨论流变特性, 但是仅对一些最简单级结构的研究获得满意的结果。

对于具有触变性的粘弹性流体, 已经得到的模型同前文的讨论是相似的。

在食品体系中, 有许多物质具有触变性, 如炼乳, 蜂蜜, 蛋黄酱, 色拉调味料, 奶油……等。对其中某些物质的触变性研究已取得相当的成就, 以对蛋黄酱

无锡轻工业学院研究生论文纸

的研究可略见一斑。

文献[4]在1984年对蛋黄酱的触变性进行了系统的测量与分析。蛋黄酱在稳定剪切下的应力衰减曲线已由计算机采集得到。假定衰减曲线符合如下的经验模型。

$$\tau - \tau_e = \sum_{j=1}^n (\tau_{0j} - \tau_{ej}) \exp(-k_j t) \quad (0-12)$$

$$\text{其中 } \tau_e = \sum_{j=1}^n \tau_{ej} \quad (0-13)$$

根据实验曲线,采用分段迭代拟合的方法,利用计算机进行曲线拟合。从图0-1中可以看出,拟合曲线与实验曲线是相当吻合的。

上面的经验模型虽然能很好地拟合实际应力衰减曲线,但是不能反映出整个触变过程。文献[8]根据Larson模型出发,求得一个参数模型

$$\tau_{12} = \int_{-\infty}^t m c (t-t')^{m-1} e^{-n(t-t')} dt' \quad (0-14)$$

这一模型能反映整个触变过程,但是从曲线拟合的情况来看,是不尽如人意的[图0-1]。

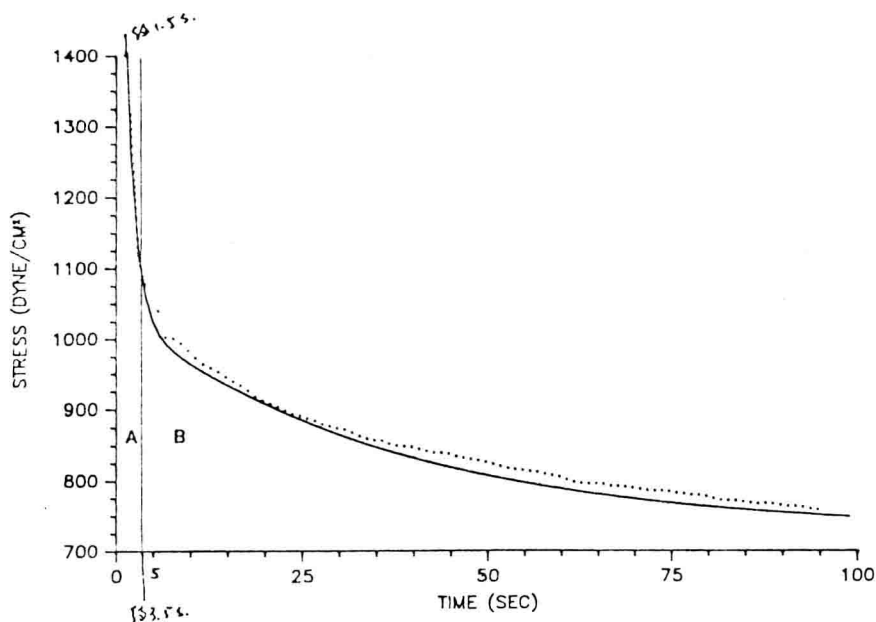


FIG. 1. A STRESS DECAY CURVE OF MAYONNAISE RECORDED UNDER STEADY SHEAR AT A SHEAR RATE OF 0.168 s^{-1} . Regions A and B are used to show where rapid and slow changes occur in the curve, respectively. The points represent the experimental data and the solid curve was generated from a fit of the data to Eq. 3.

图 0-1

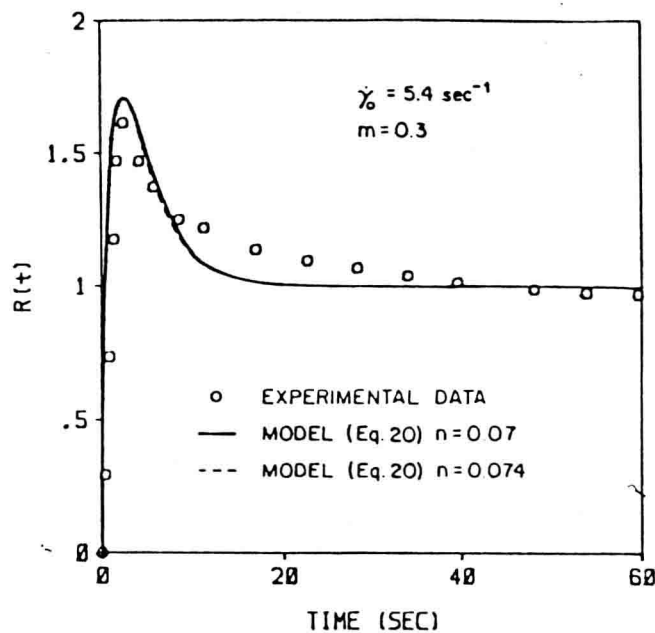


Fig. 7. Shear stress overshoot of commercial mayonnaise at $\dot{\gamma}_0 = 5.4 \text{ sec}^{-1}$ and the fit of Eq. (20) with $n = 0.07$ (mean value) and $n = 0.074$ (calculated for the particular test conditions).

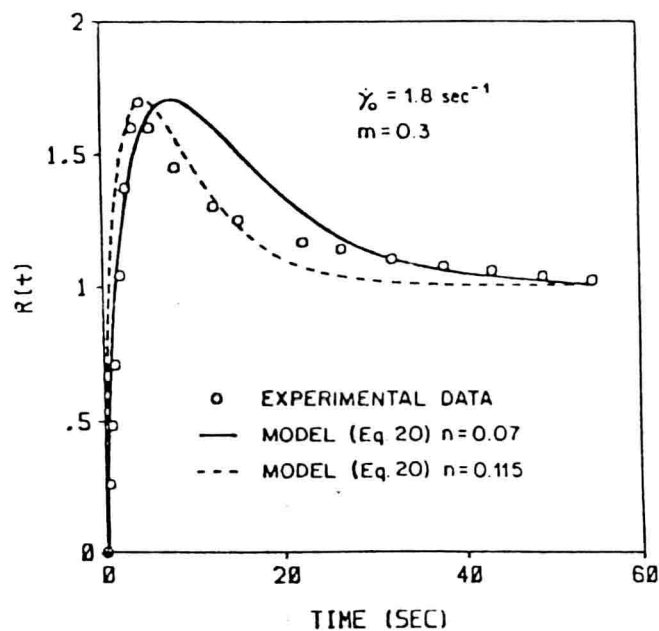


Fig. 8. Shear stress overshoot of commercial mayonnaise at $\dot{\gamma}_0 = 1.8 \text{ sec}^{-1}$ and the fit of Eq. (20) with $n = 0.07$ (mean value) and $n = 0.115$ (calculated for the particular test conditions).

无锡轻工业学院研究生论文纸

一、流变数据的计算机处理系统

流变学的发展,对流变测量提出了更高的要求,目前国内外均对流变测量的原理和方法进行了很多的讨论,各种新的方法以及对新材料的测量手段相继提出,同时也对流变仪提出了更高的要求。现在广泛使用的流变仪,由于其记录设备的落后,大大限制了流变仪的功能和精度,远不能满足流变学之研究和发晨。最近几年,国外某些厂商相继推出新款的流变仪,由于配备微电脑作为测量控制和数据记录的工具,能很方便地满足各种流变测量的要求。这些流变仪具有很多的优点,但其价格昂贵,不能被一般用户接受。鉴于上述原因,我们认为有必要在投资不太大的前提下,利用先进的微机,完善现有的流变仪,以扩充其功能,提高其精度。

微型计算机 IBM-PC/XT 是 IBM 公司推出的微型计算机系统,它是以 Intel 8088 为处理机,并且具有 640K RAM, 10M 硬盘和两个 360K 软盘驱动器,有较强的数据处理能力,其硬件配置非常合理,软件相当丰富,是目前国际市场上畅销机种之一,在国内也已广泛使用,成为微机计算机的主要代表。

基于以上的考虑,我们建立了一流变数据的计算机处理系统,该系统以 IBM PC/XT 为数据处理工具,结合本院的 Haake RV12 流变仪,加以必要的接口组成。

无锡轻工业学院研究生论文纸

§1-1. Haake 流变仪简介.

Haake 流变仪是由西德 Haake 公司制造的. 该公司的流变测量设备在世界上应用最为广泛. 本院现有 Haake Rotovisw RV12 是 Haake 公司系列流变仪中的一种. 有很强功能. 能进行多种方法的测量. 有 12 个传感器系统. 能满足不同材料. 不同频率的流变测量. 测量范围如图 1-1, 其原理. 性能和各种传感器在说明书^[9]中有详细的说明.

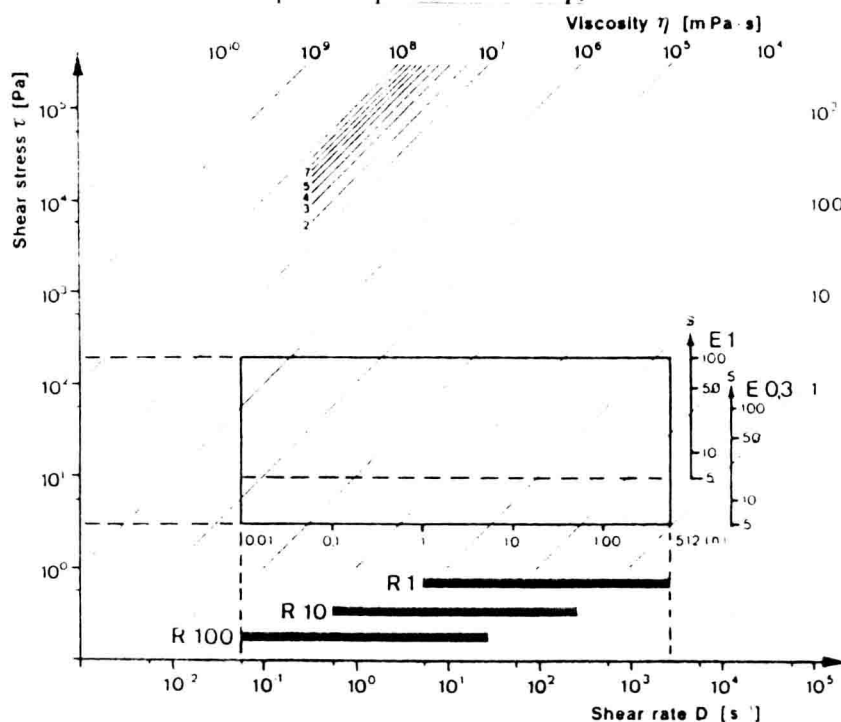


图 1-1. Haake 流变仪测量范围

Haake 流变仪的测量方法可分为二种.

1. 内部控制

内部控制时. 流变仪的转速由内部控制设定. 释放 STOP 按钮. 转子由静止突然达到设定之转速. 即可得到物质在