

# 鱼糜在挤压过程中流变特性的初探\*

赵杰文 张世芳 柴春祥 邱白晶  
(江苏理工大学)

**提 要** 文章研究了鱼糜在挤压过程中的流变特性,建立了在不同压力下的流变模型,并分析了鱼糜表观粘度随压力而变化的原因。

**关键词** 鱼糜 挤压 流变特性

## Study on the Rheological Behaviour for Minced Fish in Extrusion

Zhao Jie-wen Zhang Shi-fang Chai Chun-xiang Qiu Bai-jing  
(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang)

**Abstract** This paper studied the rheological behaviour for minced fish, set up a rheological model for minced fish under different pressures, and analyzed the reason of increasing the viscosity in terms of the change of pressure

**Key words** Minced fish Extrusion Rheological behaviour

## 1 引 言

我国是渔业大国,年产量仅次于日本和原苏联。我国鱼糜加工从70年代中期开始起步,并相应开发了一些鱼糜生产加工的机械。但总体来说,设备尚不配套,生产工艺较落后,生产也不稳定<sup>[1]</sup>。为了尽快改变这种现状,加速发展我国的鱼制品工业,除了加大投入外,迅速开展这方面的基础研究、应用研究、开发研究已是摆在农产品加工专业人员面前的非常急迫的课题。

在鱼糜加工过程中,鱼糜是在挤压状态下被输送的。压力对鱼糜粘度的影响尚没有人做过研究,而鱼糜的粘度又直接影响到鱼糜制品的成型及口感。为了考察压力对鱼糜流变特性的影响,我们研制了管道流变仪。

## 2 管道流变仪的研制

### 2.1 流量原理

从鱼糜流变特性的预备实验知鱼糜的流变符合幂律模型。其特征方程为<sup>[2]</sup>:

收稿日期:1996-06-10

\* 江苏省自然科学基金资助项目

赵杰文,博士,教授,镇江市 江苏理工大学农机工程学院,212013

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

式中  $\tau$ ——剪切应力, Pa;  $\dot{\gamma}$ ——剪切速率,  $s^{-1}$ ;  $K$ ——稠度系数,  $K$  值越高, 表示流体愈稠,  $Pa \cdot s^n$ ;  $n$ ——流变特性指数, 是流体非牛顿程度的量度,  $n$  值离开 1 越远, 其非牛顿行为的性质越明显。

根据  $n > 1$  或  $n < 1$  把幂律流体又分为两类: 当  $n < 1$  时称为假塑性流体, 如蛋黄酱、血液、某些蜂蜜、果酱及高分子溶液等; 当  $n > 1$  时为胀塑性流体, 如浓淀粉溶液及有的蜂蜜等 (当  $n = 1$  时, 为牛顿流体)。

牛顿流体的粘度为剪切应力与剪切速率之比, 对于幂律流体也同样处理, 则

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2)$$

式中  $\eta$ ——表观粘度,  $Pa \cdot s$ 。

对鱼糜流变模型方程的确定也就是确定描述幂律方程的两个参数——稠度系数  $K$  与流变特性指数  $n$ 。

如图 1, 有一段长  $L$ , 半径为  $R$  水平放置的细管, 两端压力差为  $\Delta p$ , 假设<sup>[3]</sup>: (1) 流体是不可压缩的; (2) 流体在管内的流动是层流; (3) 流体在管壁面上没有滑动, 即满足  $r = R$  时速度  $u = 0$ ; (4) 管道充分长, 以致末端效应可忽略不计。从管中取一半径为  $r$ , 长为  $L$  的圆柱 (图 1), 在柱的两端面上作用的压力差为  $\Delta p$ , 侧面上受到的剪切应力为  $\tau$ , 当流动达到稳定后有

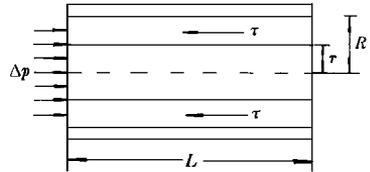


图 1 流体在管道中的流动示意图

$$\tau = \frac{\Delta p r}{2L} \quad (3)$$

管道径向的速度分布公式<sup>[2]</sup>

$$u = \left( \frac{\Delta p}{2KL} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+n} \left( R^{\frac{1+n}{n}} - r^{\frac{1+n}{n}} \right) \quad (4)$$

通过整个截面的流量可用积分求得

$$Q = \int_0^R 2\pi r u dr \quad (5)$$

把式(4)代入式(5)得

$$Q = \pi \left( \frac{\Delta p}{2LK} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+3n} R^{\frac{1+3n}{n}} \quad (6)$$

两边取对数有

$$\ln Q = \ln \left\{ \pi \left( \frac{1}{2LK} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+3n} R^{\frac{1+3n}{n}} \right\} + \frac{1}{n} \ln \Delta p \quad (7)$$

从式(7)可看出,  $\ln Q$  与  $\ln \Delta p$  之间是线性关系, 只要通过一组  $(\ln Q_i, \ln \Delta p_i)$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) 数据, 即可确定  $\ln Q$  与  $\ln \Delta p$  的线性回归方程

$$\ln Q = b_0 + b \ln \Delta p \quad (8)$$

对照式(7)与式(8)可得

$$\frac{1}{n} = b \tag{9}$$

$$\ln \left\{ \pi \left[ \frac{1}{2LK} \right]^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+3n} R^{\frac{1+3n}{n}} \right\} = b_0 \tag{10}$$

从式(9)可算出流变特性指数  $n$ , 从式(10)可算出稠度系数  $K$ 。

### 2.2 自制的管道流变仪

测量系统简图如图 2 所示, 管道为水平安置的有机玻璃管, 其内径为 15 mm, 两个 Y- MF 型、测量范围为 0~ 0.1 MPa 的隔膜压力表(上海自动化仪表四厂)之间的距离  $L$  为 1 m。其实验操作过程为: 把实验用鱼糜放入料筒中, 在活塞作用下鱼糜通过管道流出, 增减砝码盘上的砝码, 即可改变作用于料筒内物料的压力  $p$ , 调节阀门改变流量  $Q$ , 同时读出两压力表上的压力并记下压力差  $\Delta p$ , 就可得到该压力下的实验数据。

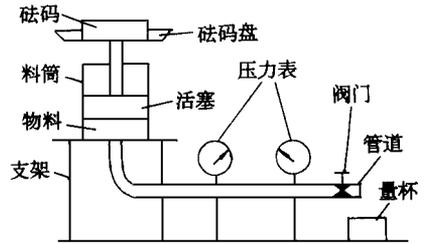


图 2 管道流变仪测量系统简图

## 3 实验结果及分析

### 3.1 鱼糜在不同压力下的流变模型方程

把鱼糜按要求添加水分, 混合均匀, 加入到料筒中。装上活塞, 在活塞上放置砝码, 调节阀门改变流量, 流动稳定后, 测出此时鱼糜的流量, 记下所对应的压力差, 这样, 可得到一组  $(\ln Q_i, \ln \Delta p_i (i= 1, 2, 3...))$  的数据, 进而确定出  $\ln Q$  与  $\ln \Delta p$  的线性回归方程, 对照式(9)、式(10)即可算出鱼糜在该压力状态下的流变特性指数  $n$  与稠度系数  $K$ 。再改变活塞上所施加的压力, 重复上述实验过程, 可得到在新的压力状态下流变特性指数  $n$  与稠度系数  $K$ 。

制作鱼糜制品时, 常用掺水量(添加的水分与原料鱼糜的重量百分比)为 50 % 的鱼糜。所以把掺水量为 50 % 的鱼糜作为研究对象来考察压力对鱼糜流变特性的影响。由于实际条件的限制, 压力的变化仅限于试验装置所能测量的范围(0.02~ 0.06 MPa)内。受篇幅所限, 本文仅列出掺水量为 50 % 的鲢鱼鱼糜实验数据(表 1)。

表 1 鲢鱼鱼糜的实验数据

料筒内物料受到的压力 / $10^4$ Pa	2.55	$Q/10^{-7} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0.23	0.20	0.27	0.15	0.25
		$\Delta p/\text{MPa}$	0.0112	0.0105	0.0122	0.0090	0.0118
	3.29	$Q/10^{-7} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0.23	0.19	0.29	0.25	0.40
		$\Delta p/\text{MPa}$	0.0142	0.0130	0.0160	0.0146	0.0190
	4.76	$Q/10^{-7} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0.37	0.44	0.31	0.34	0.28
		$\Delta p/\text{MPa}$	0.0220	0.0240	0.0200	0.0210	0.0190
	5.20	$Q/\times 10^{-7} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0.50	0.44	0.40	0.55	0.25
		$\Delta p/\text{MPa}$	0.0258	0.0240	0.0230	0.0270	0.0180

这样可确定出不同压力下鲢鱼鱼糜的流变模型方程(表 2)。

对拟合方程用相关系数法检验后表明<sup>[4]</sup>, 拟合方程均在显著性水平  $\alpha=0.05$  下显著。由于流变特性指数  $n$  小于 1, 所以鱼糜在测量范围内为假塑性流体。

### 3.2 压力与表观粘度之间的关系

从式(1)可知表观粘度为

$$\eta_l = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \left( \frac{\tau}{K} \right)^{\frac{1}{n}} = K^{\frac{1}{n}} \tau^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

把式(3)代入式(11), 有

$$\eta_l = K^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\Delta p \cdot r}{2L} \right)^{1 - \frac{1}{n}} \quad (12)$$

一般在计算处理时, 取管壁处(即在  $r=R$  处)的表观粘度, 压力差取测量过程的平均值。这样可得到管道流变仪中的鱼糜在不同压力下流动时的表观粘度, 表 3 为鲢鱼鱼糜在不同压力  $p$  时的表观粘度。

表 3 鲢鱼鱼糜在不同压力时的表观粘度  $\eta_l$

$p/10^4 \text{Pa}$	2.55	3.29	4.76	5.2
$\eta_l/\text{Pa} \cdot \text{s}$	355.6	506.0	738.3	758.6

从表 3 可看出, 鱼糜的表观粘度随压力的增大而逐渐增大。鱼糜的粘度是鱼糜本身所表现出的阻滞鱼糜流动或变形的性质, 是由鱼糜中的蛋白质分子间, 蛋白质分子与水分子及其它分子间的内聚力和分子的扩散而产生的。由于蛋白质分子的长链螺旋结构和鱼糜中分子间的相互作用, 鱼糜以微团的形式存在, 蛋白质分子的许多极性基团被包聚在微团里面。当鱼糜未受到压力作用时, 鱼糜流动时的阻力主要是微团与微团间的相互作用, 微团间的结合力较弱, 使得鱼糜易于流动。当鱼糜受到压力作用时, 鱼糜中的微团发生变形, 表面积增大, 其中所包的许多极性基团也裸露在外, 这样, 由于极性基团间的相互作用, 鱼糜层间的流动变得困难, 也就是说此时鱼糜的表观粘度很大。

## 4 结 论

- 1) 鱼糜在测量范围内为假塑性流体;
- 2) 鱼糜的表观粘度随压力增加而增加。

### 参 考 文 献

- 1 林启仪. 日本水产品加工技术考察见闻. 渔业机械, 1986(1): 6~ 9
- 2 陈克复等编译. 食品流变学及其测量. 北京: 轻工业出版社, 1989
- 3 袁龙蔚. 流变力学. 北京: 科学出版社, 1986: 572~ 577
- 4 李光久等. 应用数理统计. 南京: 东南大学出版社, 1993: 213p