

液体咸蛋清的流变性质及其在工程设计中的应用

王海鸥 浦萍萍

(无锡轻工大学食品学院, 无锡 214036)

摘要 用旋转粘度计研究了液体咸蛋清在温度5~45℃范围内, 剪切速率在173~2770 s⁻¹范围内的流变行为。推导出相应剪切应力作为剪切速率函数的幂律模型, 并导出流变参数 K 和 n 。参数 K 和 n 是温度的函数。

关键词 咸蛋清; 流变特性; 幂律方程

中图分类号 TS253.1

0 前言

在工程设计中, 流体的流变特性数据对估计泵所需能量以及流体搅拌所需动力等方面十分必要。多年来发表了一些关于鸡蛋清粘度方面的研究结果, 但对咸鸭蛋蛋清的流变性质尚未见报道。前人的研究结果不能方便迅速地推广到一般的工程设计中, 再者, 随条件而变的通常意义的粘度数据在非牛顿流体的研究中很少使用。因此, 以剪切应力—剪切速率表示的流变曲线图能更好地反映咸蛋清的流变性质。这对加工咸蛋清及其类似产品所进行的工程设计以及涉及到流变性质对产品深加工过程的影响均有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 咸蛋清

实验用咸蛋清来自江苏高邮蛋厂。总固形物含量为(12.08±0.32)%, 采用水分含量测定仪(Moisture Balance EB-330 MOC 日本岛津)测定。

1.2 剪切应力和粘度

采用Haake 旋转式粘度计(Rotovisco RV 12)、NV 套筒测定。

1.3 变量确定和数据处理

剪切速率和温度是独立变量, 剪切应力是应变量。独立自变量的水平分别为: 剪切速率173, 346, 692, 1385, 2770 s⁻¹; 温度5, 15, 25, 35, 45。数据结果采用计算机分析处理。

2 结果与讨论

2.1 流动行为

流体的流动行为是指剪切应力 τ 与剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的关系。在物料性质不变下, 影响流动行

为的主要因素是温度。根据实验, 得到的不同温度下咸蛋清的流动行为($\tau = K \dot{\gamma}^n$)。见图1, 温度恒定时, 剪切应力随剪切速率的增加而增大; 而在一定的剪切速率下, 剪切应力随温度的升高而减小。根据实验数据, 推导出符合该流动行为的流变指数为 n 和稠度指数 K 随温度而变的函数关系式:

$$n = 0.789 + 0.006t - 0.00006t^2$$

$$K = \exp(-3.16 - 0.0454t + 0.16 \lg t + 0.0001 t^2)$$

图2, 图3分别为温度对咸蛋清的流变指数 n 和稠度指数 K 的影响。温度对表观粘度的影响由图4给出。由图2可知, 咸蛋清属于假塑性流体($n < 1$), 故其表观粘度随剪切速率的增大而降低, 见图4。

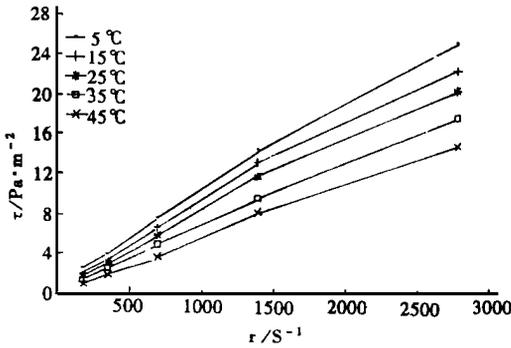


图1 剪切速率与剪切应力的关系

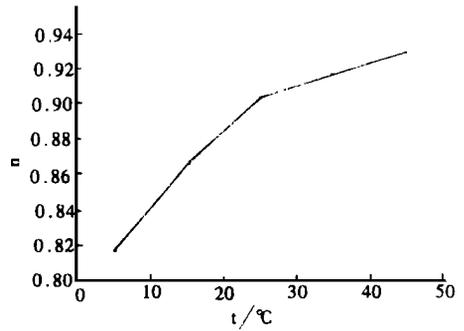


图2 温度对流变指数 n 的影响

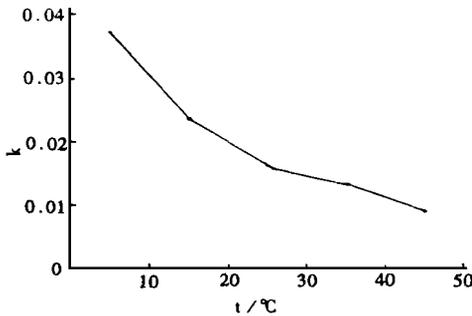


图3 温度对稠度指数 K 的影响

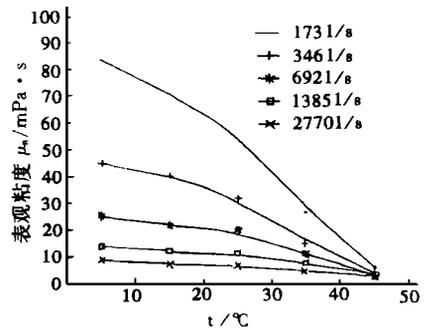


图4 温度对表观粘度的影响

(剪切速率分别为173, 346, 692, 1385, 2770 s⁻¹)

2.2 流变特性在工程设计上的应用

流动行为曲线($\tau - \dot{\gamma}$) 推导的方程表明, 流变指数 n 和稠度指数 K 均为温度的函数。可以直接用于管内流动的工程设计中。Metzger 和 Reed(1955) 提出, 管壁处的剪应力 τ_w 可描述为:

$$\frac{D\Delta P}{4L} = \tau_w = K \left(\frac{8U_m}{D} \right)^n \quad (1)$$

式中: U_m 为流体的平均流速; D 为管子内径; ΔP 为压力降; L 为管长

指数 K 、 n 与 K 和 n 的关系如下(Wilkinsm, 1960):

$$n = n ; \quad K = K \left(\frac{3n + 1}{4n} \right)^n$$

将其代入方程(1), 则并 $\tau_w = K \dot{\gamma}_w^n$ 联立解得

$$\tau_w = K \dot{\gamma}_w^n = K \left(\frac{3n + 1}{4n} \right)^n \left(\frac{8U_m}{D} \right)^n \quad (2)$$

$$\dot{\gamma}_w = \left(\frac{3n + 1}{4n} \right)^n \left(\frac{8U_m}{D} \right) \quad (3)$$

当求一定的剪切速率水平下的能量损失时, 方程(3) 限定了一定管径内流体的平均流速。管径在3~7 cm 的管子, 流体的流率为5~700 L/min。

根据方程(2), 按一般流体摩擦系数式, 可推导出通用雷诺准数 N_{Re}^* , 它适用于所有的牛顿流体和非牛顿流体。

$$N_{Re}^* = \frac{D^n \cdot U_m^{2-n} \cdot \rho}{K 8^{n-1}} \quad (4)$$

对于非牛顿流体, 临界雷诺准数可由下式估算(S. S. H. Rizvi and G. S. Mittal, 1992):

$$N_{Re_c} = 2100 \times \frac{(4n + 2)(5n + 3)}{3(3n + 1)^2} \quad (5)$$

可以发现, 假塑性流体的 N_{Re} 值略高于牛顿流体的 N_{Re} 值。当流率、流体温度和管路参数已知时, 其管内流动的压力降可从方程(2) 中计算出。对于超出层流范围的流动情况, 压力降 ΔP 可用范宁摩擦系数方程较好地近似得出。在层流以外的区域, 摩擦系数可由 Metzner 和 Reed(1955) 推导的公式算得:

$$f = 0.0014 + (0.125)(N_{Re})^{-0.32}$$

基于上述, 图5, 6, 7, 8, 9中所示的曲线,

可以预测咸蛋清在一定温度和流率下, 不同管径光滑管的最大压头损失。由图可知, 当温度下降、流率增大时, 管路的压头损失均增大。

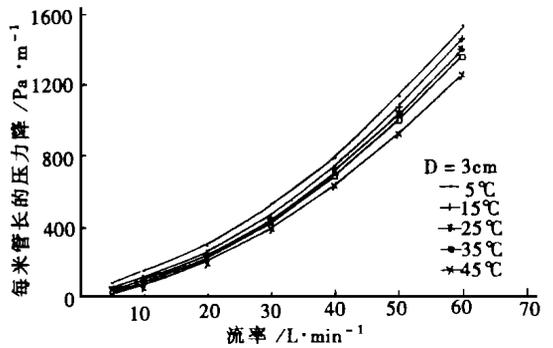


图5 流体流率与能量损失的关系(管径3 cm)

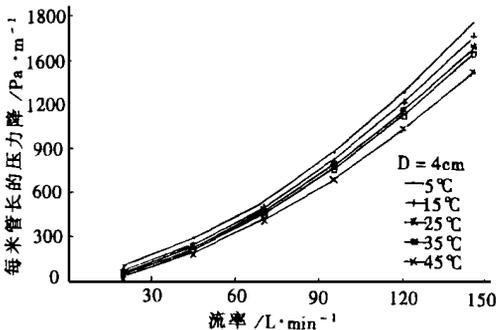


图6 流体流率与能量损失的关系(管径4 cm)

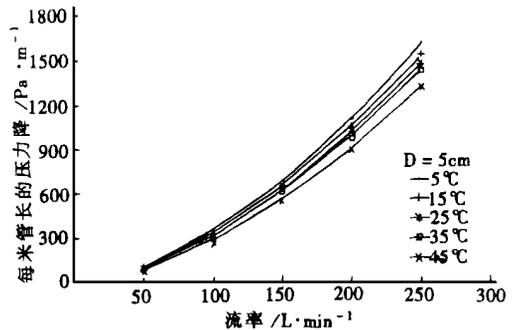


图7 流体流率与能量损失的关系(管径5 cm)

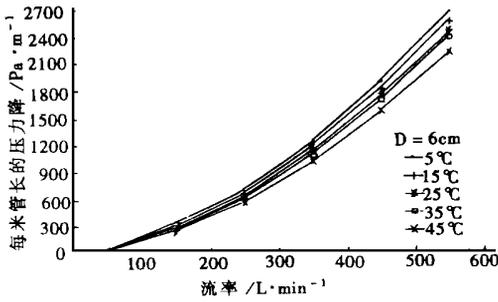


图8 流体流率与能量损失的关系(管径6 cm)

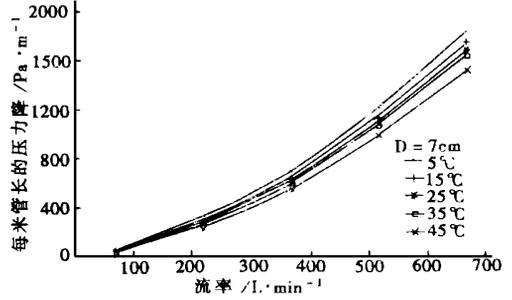


图9 流体流率与能量损失的关系(管径7 cm)

3 结 论

根据不同温度下剪切速率与剪切应力的关系可知,在恒定的剪切速率下,咸蛋清的剪切应力在一定温度范围(15~45)内随温度的升高而减小。咸蛋清的流变指数 n 和稠度指数 K 是温度的函数,当温度升高时, n 增大而 K 减小。将流变参数(n 、 K)方程运用于流体内流动阻力计算,得出不同温度下常用管径内咸蛋清流动的能量损失图。在恒定的温度和管径下,物料流率增大则能量损失亦随之增加。

参 考 文 献

- 1 Scalzo A M, Dickerson R W et al. The viscosity of egg products. Food Tech, 1970, 24 :1301 ~ 1307.
- 2 Metzner A B, Reed J C. Flow of non-Newtonian fluids-correlation of the laminar, transition and turbulent-flow regions. AICHE J, 1955, 434 ~ 440.
- 3 Beveridge T, Nakai S. Effects of sulphhydryl blocking on the thinning of egg white. J Food Sci, 1975, 40 :864 ~ 868.
- 4 Cunningham F E, Cotterill O J. Factors affecting acid coagulation of egg white. Poultry Sci, 1964, 43 :53 ~ 59.
- 5 高福成. 食品工程原理. 北京:轻工业出版社, 1985

On Rheological Behaviour of Salted Egg White and its Application in Engineering Design

Wang Haiuo Pu Pingping

(School of Food Science & Technology, Wuxi University of Light Industry, Wuxi, 214036)

Abstract The rheological behaviour of salted liquid white was investigated by means of rotary viscosimeter at the temperature 5~45 and at the shear rate 173~2770 s^{-1} . The corresponding power law model was derived, which expressed shear stress as a function of temperature, and in which two rheological parameters K and n were introduced. K , n were expressed as functions of temperature.

Key-words salted egg white; rheological characteristics; power law equation

(责任编辑:陈 娇)