

现代食品加工学

XIANDAI SHIPIN JIAGONG XUE

孙君社 主编



中国农业出版社

现代食品加工学

孙君社 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代食品加工学/孙君社主编. —北京: 中国农业出版社, 2001.1

ISBN 7-109-06724-6

I. 现... II. 孙... III. 食品加工 IV. TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 80259 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 赵立山 胡志江

北京市通州区京华印刷制版厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 25.25

字数: 615 千字 印数: 1~3 000 册

定价: 29.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

《现代食品加工学》从工程、科学和技术角度系统地阐述食品加工的工程基础、加工过程、包装技术以及新的食品加工技术，共分四篇十八章。编写意在“新、精、简”，突出重点，简化传统，重在新技术。

本书可供有关食品加工和农产品加工专业的学生作参考教材，也可供有关科技工作者参考。

主编：孙君社

副主编：（按姓氏笔画）

刘勤生 张中义 郑宗坤

高彦祥

编委会成员：（按姓氏笔画）

王 曙 付 亮 孙君社

刘勤生 牟德华 李 宾

张中义 吴 晖 郑宗坤

周庆礼 高彦祥 葛克山

序 言

一、现代食品加工学的特点

加工学是“为了人类的利益而借助自然的力和物进行活动的技术和科学”。据此，加工学可划分为两类活动：技术与科学。

食品加工学即是以食品原料（农副产品等）为对象，以纯科学、物理学、化学、数学为基础，以化工、机电工程技术为手段的一门科学。

现代食品加工学的研究对象是农副产品、畜产品、海洋资源、新型生物工程制品以及各种主产品加工的“废物”的深度开发与综合利用等，以制成人们喜爱的各种食品，包括保健食品、特殊食品、工程化食品等。

现代食品加工学是以数学、化学、物理学为基础，以食品科学、食品化学、食品生物化学、食工原理、机电工程知识为前导，借助化工单元操作的手段，通过现代机械化、电气化设备来完成的。因此，食品加工学是一门融科学、技术与工程化的综合性学科。

二、现代食品加工学的内容

食品加工学要求食品的加工必须科学化、现代化、系统化、自动化和符合环保化及可持续发展的需要。因此，《现代食品加工学》通过现代工程学技术来研讨各种食品的加工过程和包装技术以及随新技术发展而兴起的新型食品加工技术，它不同于一般食品加工类书籍之处主要在于从加工的单元操作工程化技术角度出发融加工原理、工艺与机械设备为一体。《现代食品加工学》首先从食品加工的工程基础介绍了食品的物理性质（流变性、传热、扩散、渗透和吸附）、食品加工的过程控制（过程设计、控制、管理、在线测量和调控系统以及环保和废物治理），系统地介绍了食品加工过程中的物料的混合、食品分离、食品成型、食品冷处理工程、热处理杀菌、食品干燥、食品浓缩、食品焙烤，简要介绍了食品加工新技术中的食品生物技术、食品微胶囊技术、食品辐射和微波杀菌保藏技术、食品着色与调香技术、食品压力处理技术，最后介绍了食品包装的材料、容器及包装机械与技术。

总体内容和编排力图新旧接轨和新颖。传统化的加工技术着眼于其现代化的发展和应用，编排简明、实用。新的加工技术重点在基础原理和工程化前景，力在发展，编排内容系统化。

三、现代食品加工学的任务

在科技突飞猛进的今天，当务之急是创新人才的培养。创新人才的培养在于创新知识、创新环境的创建，《现代食品加工学》的任务在于从新的现代工程化视角展示给读者以系统化的食品加工技术和应用，培养新型知识体系的创新人才。

编 者

2000 年 3 月

编 者 的 话

本书共分四篇，第一篇 食品工程基础，第二篇 食品加工过程，第三篇 食品加工新技术，第四篇 食品包装。

本书从酝酿到成稿历经三年多，编者也遍及全国各地的农业、轻工、理工、工商等院校，在编写过程中得到高孔荣教授、肖家捷教授等专家的指点和鼓励。参加策划和编写的有孙君社、刘勤生、张中义、高彦祥、郑宗坤、吴辉、付亮、杨斌、徐明芳、葛克山、牟德华、王曙、李宾、周庆礼等。其中第一篇由刘勤生执笔，第四篇由郑宗坤执笔，第二篇第一、三章由葛克山执笔，第二篇第四、五、六章由张中义执笔，第二篇第七、八章及第三篇第三、五章由高彦祥执笔，第三篇第四章由王曙执笔，其余由孙君社执笔。

全书由孙君社制定纲要、统筹、组稿和校对。

本书内容宽、广，限于作者水平有限，时间仓促，错误与不妥之处在所难免，敬请批评指正。

编 者

1999 年 12 月

目 录

序 言	
编者的话	

第一篇 食品工程基础

第一章 食品的物理性质	1
第一节 食品的流变特性	1
第二节 食品的传热	7
第三节 食品的扩散、渗透和吸附	14
第二章 食品加工的过程控制	20
第一节 食品加工程序	20
第二节 食品加工过程设计	21
第三节 食品加工控制和管理	25
第四节 食品工业的在线测量和调控系统	31
第五节 食品厂的环境保护与废弃物处理	39

第二篇 食品加工过程

第一章 物料的混合	49
第一节 混合的基本理论	49
第二节 液—液混合	52
第三节 气—液与固—液混合	57
第四节 捏合与固—固混合	61
第二章 食品分离	67
第一节 食品分离概述	67
第二节 食品的机械分离	70

第三节	食品的化学分离	73
第四节	食品的物理分离	74
第三章	食品浓缩	83
第一节	蒸发浓缩	83
第二节	膜浓缩	91
第三节	冷冻浓缩	100
第四章	食品冷处理工程基础	107
第一节	食品的冷却	107
第二节	食品的冻结	113
第三节	食品的冻藏	127
第四节	食品的解冻	137
第五节	制冷设备	143
第五章	食品冷处理工程技术	148
第一节	肉类冷加工	148
第二节	禽、蛋冷加工	158
第三节	果蔬冷加工	163
第四节	果蔬气调贮藏	175
第五节	冷冻食品品质控制与管理	186
第六节	冷却与冻结食品中的微生物及其控制	190
第六章	食品热处理杀菌	195
第一节	食品热处理杀菌的原理	195
第二节	热杀菌对食品特性的影响	207
第三节	典型食品杀菌工艺及特点	213
第四节	食品热杀菌设备	222
第七章	食品干燥	240
第一节	食品干燥方法和原理	240
第二节	喷雾干燥法	244
第三节	沸腾干燥法	250
第四节	隧道干燥法	253
第五节	热传导干燥法	254
第六节	辐射干燥法	256
第七节	冷冻干燥法	265

第八章 焙烤食品	269
第一节 焙烤理论	269
第二节 饼干生产工艺	270
第三节 面包生产工艺	275
第四节 焙烤设备	276

第三篇 食品加工新技术

第一章 食品生物技术	279
第一节 传统发酵食品	279
第二节 现代生物技术	284
第二章 食品微胶囊技术	295
第一节 囊心物与囊材	295
第二节 微囊的制备	297
第三节 微型胶囊的质量评定	303
第三章 食品辐射和微波杀菌保藏技术	307
第一节 食品电离辐射保藏技术	307
第二节 食品微波杀菌技术	323
第四章 食品着色与调香技术	333
第一节 食品着色	333
第二节 食品调香	337
第五章 食品压力处理技术	343
第一节 食品挤压技术	343
第二节 高压杀菌技术	350
第六章 粉体技术	361
第一节 超微粉碎的定义	361
第二节 超微粉碎的过程特点	362
第三节 表征的方法及形式	362
第四节 粉碎设备简介	365
第五节 应用范围及研究方向	366

第四篇 食品包装

第一章 包装材料	370
第一节 纸类	370
第二节 复合薄膜	370
第三节 马口铁	372
第四节 塑料	373
第五节 绿色包装材料	375
第二章 包装机械与技术	378
第一节 包装机械	378
第二节 无菌包装	381
第三节 收缩包装	383
第四节 防伪包装与 TE 包装	385
第五节 保鲜包装	387
第六节 活性包装	388

第一篇 食品工程基础

第一章 食品的物理性质

第一节 食品的流变特性

食品的流变特性在食品工业中有着极其广泛的应用，许多食品在加工制作的过程中，都要涉及到食品流变学的问题。例如脂肪、人造奶油、奶油的生产；糖果、巧克力、乳制品、冰淇淋的加工；以及各种面包、饼干、糕点的制作等等，都与食品流变学有着密切的关系。食品流变特性在食品工程中的应用可以概括为两个方面：一是食品物质的加工工艺方面；二是食品物质生产过程中的控制方面。前者主要是根据各种物料的不同流变改进加工工艺，或者通过改变物料的温度、浓度、改变剪切速率和受剪切的时间，添加各种过程中；后者用一些准确的流变学参数作为工艺过程的控制指标和判断依据，以代替人为的通过摸、尝、嗅等经验判断，使产品的质量保持稳定。

一、食品根据其流变特性的分类

(一) 固体类食品物质 固体食品物质很多，例如干面团、核桃等。马铃薯和苹果这类食品有时也可以归为固体食品。它们都具有变形与作用力的大小成正比例的特性。

(二) 牛顿液体类食品物质 如果液体中的粘度与剪切速度无关，符合牛顿粘性定律，这种液体就称为牛顿液体。可以归属为牛顿液体的食品物质也很多，例如：糖水溶液、低浓度牛乳、油、水及其他透明稀质液体均可归为牛顿液体，都可以用牛顿液体的粘度 η 来表示其流变特性。

(三) 非牛顿液体类食品物质 在牛顿液体中，液体的粘度是常数，特征曲线是一条直线并且通过坐标原点，直线的斜率是由粘度 η 来决定的。但是，更多的液体却不满足牛顿粘性定律，粘度不是常数，而是随着剪切速率而变化。这类液体虽然不具备牛顿粘性定律，但是还具备了液体的基本特性，故称为非牛顿液体。食品中的非牛顿液一般是固体乳液体，例如酱油、菜汤、番茄汁、浓糖水、淀粉浆、苹果浆等等，都属于这类物体。

(四) 塑性流体类食品物质 在流变学范围内描述塑性流体物质就是：当作用在物质上的剪切应力大于极限值时，物体就流动，否则物质就保持即时形状并且停止流动。典型的塑性流体类食品物质有马铃薯浆、熔化巧克力、脂肪、牛乳糖等等。它们在重力作用下，能保持它们的原有形状，然而，如果受到大于重力的作用力的作用，它们就能类似于液体一样的流动。

(五) 粘弹性体食品物质 这类物质同时表现出液体的粘性和固体的弹性两种性质。例

如按适当的比例将水和面粉混合搅拌就形成了湿面团，采用挤压或剪切把面团变成片状。如果把这片面团放在水银上面，并且捏住一端轻轻地拉动，那么面团开始是伸长，紧接着会呈现出像粘性液体一样的流动状态，一旦放开面团的末端，它就会慢慢地收缩，但变形的恢复只能是局部的，不可能像完全弹性体。属于粘弹性体的食品物质有湿面团、米粉团、凝胶冻等等。

二、食品物质中的典型流变特性

食品物质中除了具有共同的一般流变特性以外，在各类食品物质中还具有典型的流变特性。

(一) 回弹现象 回弹现象是所有粘弹性体都存在的特性，但食品物质所具有的回弹现象就更为明显。如果用软面团做回弹实验，就可以用图 1-1-1 来表示。面团片由于拉力的作用而缓慢的拉长，从图 1-1-1 (a) 的第 6 格伸长到极点第 10 格 (b) 还不断裂，然后移去拉力，让其自由收缩 (回弹)，经过一段时间后，从第 10 格恢复到第 8 格左右 (c)，但难以恢复到原来位置。

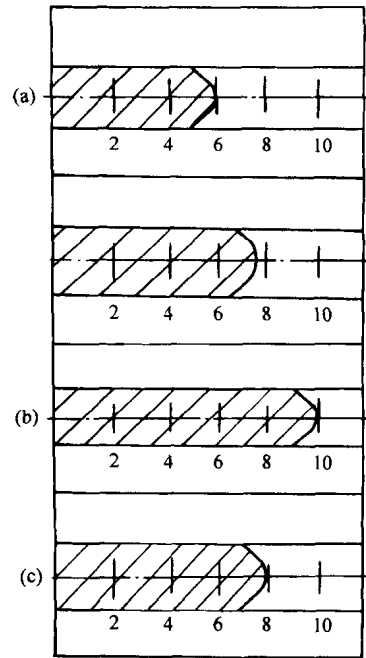


图 1-1-1 软面片的回弹现象

各类物质所具有的回弹能力，可以依次排列，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 各类物质的回弹能力

回弹能力为零	具有轻微回弹能力	具有一定回弹能力	具有较大回弹能力	完全回弹
牛顿流体	非牛顿流体	塑性流体	粘弹性体	虎克固体

物质具体有回弹能力的原因可以从物质微观结构上进行解释，非牛顿液体或塑性液体大多数是悬浮液或溶液，当浓度达到一定的数值后，液体就产生了连续的网状结构，施加于上面的应力具有两方面的作用，一方面是为网络在变形或流动转移中提供能量，另一方面是使网络自身变形。如图 1-1-2 所示，网络在应力作用下由原来方格网络平衡

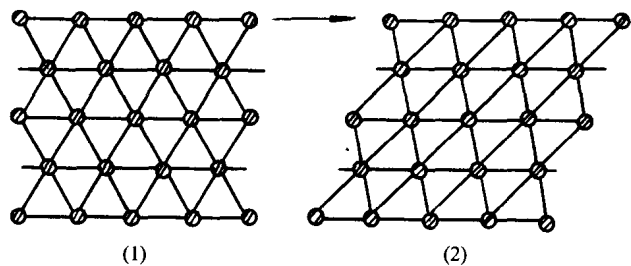


图 1-1-2 网络在应力作用下的变形

(1) 变形前 (2) 变形后

状态改变为菱形网络的平衡状态。变形后的网络结点之间处于紧张状态，结点之间有拉力存在。一旦应力消失，由于网络结点之间的拉力作用，又恢复到原来的方格网络，这就是一些物质中具有回弹现象的原因。但网络在应力作用下所引起的位移部分，就难以恢复。

(二) 湍流阻力减小现象 假塑性类的非牛顿液体，在湍流流动的状态下其摩擦阻力反而比同样流动条件下的牛顿液体水流的还小，出现湍流状态下“阻力减小”现象。同时，假塑性液体还能降低液体中传热的作用，出现“抑制传热”的现象。

高分子添加剂和纤维悬浮液的“阻力减小”现象是突出的例子。凡是属于假塑性流体的食品物质，例如浓度为 30% 以上的牛乳、酱油、番茄汁等，都具有“阻力减小”的特性。

必须注意“阻力减小”在层流状态下是不存在的。

(三) **流变特性转变** 食品物质的流变特性明显地受到浓度的影响,同一种物质在不同的浓度范围内所表现出的流变特性是不一样的,甚至属性也发生了变化。有些物质在低浓度时,呈现出非牛顿液体的特性,但在中等浓度时,就呈现出塑性流体的。在所有能促使物质流变特性转化的因素如温度、剪切速度、剪切时间和浓度等中,以浓度的因素为最重要的。

例如,牛乳的流变特性明显的受到其浓度值的影响,浓度不同,不但使牛乳的表观粘度、液态特征和浓度系数发生变化,甚至使牛乳的物质类型也发生变化。对于 40℃ 的牛乳,浓度在 30% 以下时,表现出牛顿液体态特征;浓度在 30% 以上时,表现出假塑性液的特征。而温度对牛乳的流变特性影响不大。

三、几种牛顿类食品的流变特性

(一) **糖水溶液** 糖水溶液在同样的温度和压力下,其粘度要比水的粘度大。另外糖水溶液随着浓度的升高其粘度上升很快,表 1-1-2 给出了蔗糖溶液在 20℃ 时的粘度随浓度变化的情况。图 1-1-3 表示出了蔗糖、葡萄糖、转化糖的混合液等的粘度与浓度的关系。由图中可以看出,所有的关系曲线都接近直线,而且相比之下,转化糖溶液具有较低的粘度,而葡萄糖具有较高的粘度。

表 1-1-2 蔗糖溶液的粘度系数 (20℃)

浓度 (%)	g/100g	η (Pa·s)	浓度 (%)	g/100g	η (Pa·s)
20	25	0.002 0	50	100.0	0.015 5
25	33.3	0.002 5	55	122.2	0.028 3
30	42.9	0.003 2	60	150.0	0.058 9
35	53.8	0.004 4	65	185.7	0.148 2
40	66.7	0.006 2	70	233.3	0.485 0
45	81.8	0.009 5	75	300.0	2.344 0

糖水溶液的粘度还随处理条件不同而改变。例如,烧沸的糖水溶液一旦让其冷却到室温状态,其粘度就从烧沸时的约 2Pa·s 升高到室温的 $1.4 \times 10^8 \text{Pa} \cdot \text{s}$,这是非常特殊的粘度转化特性。

(二) 低浓度牛乳

1. 牛乳的组成 牛乳基本上是乳脂肪球的含水乳胶液,乳脂肪球的直径 0.001 5~0.10mm 之间。它包含大约 87% 的水、4% 的脂肪、5% 的糖、3% 的蛋白质和 1% 的其他成分。

在脱脂的淡牛乳中,当浓度增加时,牛乳就表现出非牛顿液态的特性。在甜炼乳中表现出非常复杂的粘弹性特性。然而在牛乳和乳制品中,随着水分含量的增加,脂肪含量的减少,流变特性总是趋向于接近牛顿液体,或最终成为牛顿液体。

2. 粘度与组成的关系 由于牛乳的粘度随脂肪含量的增加而提高,故全脂牛乳的粘度比脱脂牛乳的高。另外,粘度也随着非脂肪固体含量的增加而提高,但不存在把二者联系起

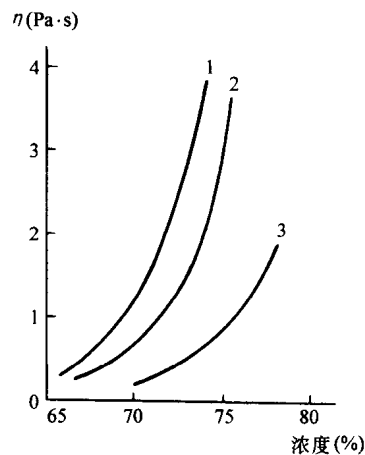


图 1-1-3 几种牛顿液体的粘度与浓度的关系
1. 葡萄糖 2. 蔗糖 3. 葡萄糖与转化糖的混合液

来的简单关系式。影响牛乳粘度的更主要因素是水分的含量。表 1-1-3 表示了新鲜的格恩西乳牛乳用水稀释后粘度的变化。

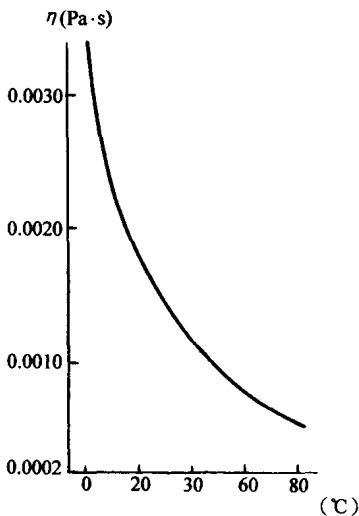
表 1-1-3 新鲜格恩西乳牛乳的稀释程度与粘度的关系 (25℃)

稀 释 程 度	牛 乳 含 量	η (Pa·s)
0% 水	100%	0.001 457
10% 水	90%	0.001 381
20% 水	80%	0.001 319
30% 水	70%	0.001 258
50% 水	50%	0.001 143
80% 水	20%	0.000 993
100% 水	0%	0.000 894

3. 粘度与温度的关系 和所有的液体一样, 牛乳的粘度随温度的升高而降低, 图 1-1-4 表示了全脂牛乳的粘度与温度的关系。另外, 一些研究者已通过实验建立了温度与粘度的关系式, 如下面实验公式:

$$\eta'_{\theta} = \eta'_{20} / [1 + \alpha(\theta - 20) + \beta(\theta - 20)^2] \quad (1-1-1)$$

式中: η'_{θ} —— 实验温度下的牛乳粘度 (Pa·s);
 η'_{20} —— 20℃ 时牛乳的粘度 (Pa·s);
 $\alpha = 0.007\ 23$;
 $\beta = -0.000\ 156$;
 θ —— 牛乳的实验温度 (℃)。



4. 粘度与均质的关系 牛乳的粘度在均质过程中受到两种因素的影响, 一是均质过程中的压力提高了粘度值; 二是由于大脂肪球被打碎, 脂肪球数量增加, 比表面积增大, 故牛乳的粘度也相应提高。均质后的牛乳粘度的提高增加了输送阻力, 相应增加了能量的消耗。

四、幂定律及表观粘度

(一) 幂定律 非牛顿液体, 剪切应力 τ 与剪切速率 S 的关系曲线不是直线, 对于流变特性与剪切时间无关的假塑性液体和胀塑性液体, 剪切应力 τ 与剪切速率 S 的关系可以用幂定律来表示

即
$$\tau = kS^n \quad (1-1-2)$$

这里 k 和 n 都是常数。

n 称为流态特征指数, 它的大小表示液体偏离牛顿液体的程度, 对于牛顿液体 n 等于 1, 此时上式就变为

$$\tau = kS = \eta S \quad (1-1-3)$$

这就回到适用牛顿液体的粘性定律, k 就成为液体粘性系数 η 。

如果 n 大于 1, 表明这种液体比牛顿液体“稠密”, 称其为胀塑性液体, 此时 n 越大, 说明胀塑性液体就越偏离牛顿液体。

如果 n 小于 1, 表明这种液体比牛顿液体“稀薄”, 称其为假塑性液体, 此时 n 越小, 同样说明假塑性液体越偏离牛顿液体。

图 1-1-5 表示了非牛顿液体的特征曲线。作为比较, 图中还绘出了牛顿液体的特征曲线。

k 称为浓度系数, 数值与液体的浓度或稠度有关, 因此与牛顿液体的粘度具有同样的物理特性, 量纲与粘度近似, 国际单位为 $[\text{NS}^n/\text{m}^2]$ 。 k 和 n 可以用实验仪器即流变仪测出。通过实验测出了 k 和 n 以后, 就可以利用幂定律来解决非牛顿液体输送计算中的有关问题。但是在应用幂定律时必须注意以下两点:

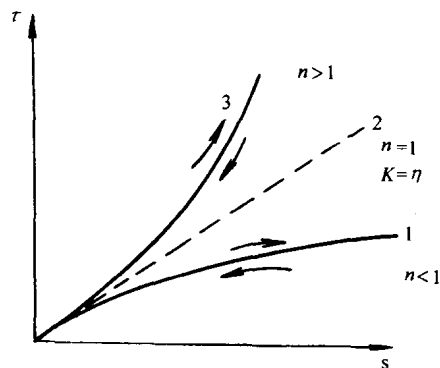


图 1-1-5 假塑性液体和胀塑性液体的特征曲线
1. 假塑性 2. 牛顿型 3. 胀塑性

(1) 幂定律仅仅适用于测量范围之内。也就是说在应用幂定律时, 不能应用在按照实验数据所标绘的特性曲线的外延部分。

(2) 如果 τ 和 S 没有一一对应的关系, 幂定律的实验模型也不能应用。也就是说, 对于 τ 的每一个值, 只能有一个 S 值与之相对应, 从而认为幂定律只适用于流变特性与时间无关的非牛顿液体。一些牛顿液体类食品的 k 、 n 数值如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 一些牛顿液体类食品的 k 和 n

食 品 名 称	浓 度 (%)	温 度 (°C)	n	k ($\text{N} \cdot \text{s}^n / \text{m}^2$)
汤和酱油		12.8	0.51	3.6~5.6
苹果汁		24.0	0.65	0.5
番茄汁	5.8	32	0.59	0.22
(含固体量)	12.8	32	0.43	2.0
	16	32	0.45	3.16
	25	32	0.41	1.49
	30	32	0.40	18.9

(二) 表观粘度 η_a 把幂定律公式进行一下简单的变换, 就有: $\tau = k \cdot S^n = k / S^{1-n} = \eta_a \cdot S$

这里:

$$\eta_a = k / S^{1-n}$$

表观粘度 η_a 具有下列特点:

(1) η_a 与粘度 η 具有同样的量纲, 同样的物理特性, 故 η_a 可以称为表观粘度。

(2) η_a 不但与浓度系数 k 和流态特性指数 n 有关, 而且与剪切速率 S 有关, 而 S 在测量范围内是变动的, 故 η_a 在测量范围内其数值也随 S 而变化。因此, 在表明某一 η_a 值时, 就是指液体在具有某一 S 值状态下的表观粘度值, 因此必须同时标明 S 值。

表观粘度 η_a 也是液体的流变特性指标之一, 也能表明液体的物理特性。 η_a 测量是工厂常规检测之一。

五、非牛顿液体食品的流变特性与微观结构的关系

(一) 流变特性与结构的关系 单纯液体和真溶液一般都是牛顿液体, 非牛顿液体通常