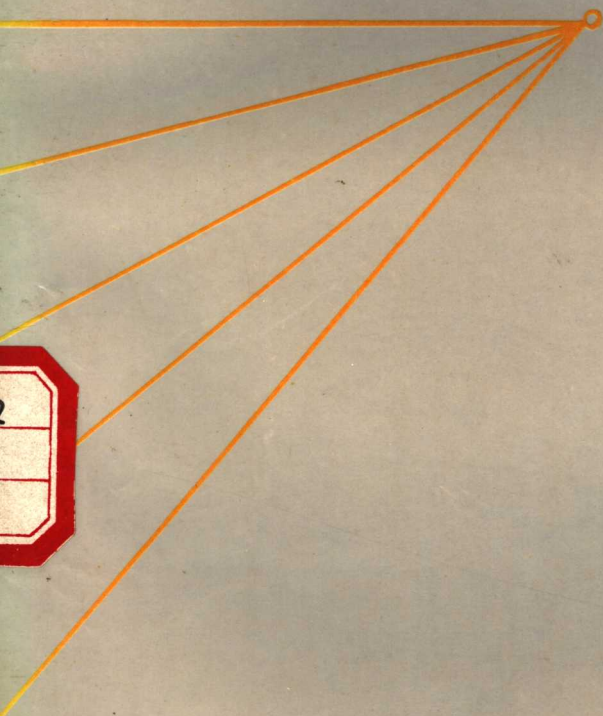


食品物性学

金万浩 等编著



中国科学技术出版社

食品物性学

金万浩 等编著

中国科学技术出版社

1991

内 容 提 要

食物物性学是国外近年来兴起的一门应用性极广的食品工程学科。本书系在总结国外最新成果的基础上，结合我国国情编著的我国第一部食物物性学专著。主要内容包括：液体和塑性流体食品、固体和粘弹性体食品的流变特性及其测定方法；食品质构的研究方法，即食品质构的感官检验和仪器测定方法及其相互关系；试验设计方法；泡沫食品（包括固体泡沫食品）和粉体食品物性及其测定方法；食品的热物性等。

本书可作为高等院校食品专业本科生及研究生教学参考书使用，也是食品专业工程技术人员及研究人员必备的参考资料。

食 品 物 性 学

金万浩 等编著

责任编辑：王云梅

*

中国科学技术出版社出版（北京海淀区白石桥路 32 号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

黑龙江省新华印刷二厂印刷

（哈尔滨多维软科学研究所激光排版）

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：10. 字数：280 千字

1991 年 4 月第一版 1991 年 4 月第一次印刷

印数：1—2000 册 定价：7.50 元

ISBN 7-5046-0414-3 / TS · 6 登记证号：(京)175

前 言

地球上的一切生物，不论是单细胞的微生物，还是构造复杂的高等动植物，它们的生存要依靠外部供给的营养和能量。中国有句古语：民以食为天。食品是人类生活的必需品，它为人类生命提供营养和能量。

食品工业在我国国民经济中占有极其重要的地位。食品品质的好坏，不但视其各种营养素的种类和含量，是否有益于消费者的健康，而且也取决于其气味、滋味、外观、组织状态以及人们对食品的嗜好程度。随着我国食品工业和食品科学技术的发展，结合食品的化学性质来研究食品的物理性质越来越受到食品科技工作者的重视。

食品物性学是研究食品物理性质的科学，又称食品物理学。食品物性学以食品的力学、热学、电学性质和微观结构为研究对象，其中食品的力学性质是食品物性学研究的重点。因此，一般又把食品的力学物性简称为食品物性。

食品物性学是一门新兴的边缘学科，它的研究内容包括食品流变学 (Food Rheology) 和食品质构 (Food Texture)。

食品流变学是在 1929 年宾汉 (Bingham) 创立的流变学基础上发展起来的。它以虎克弹性定律和牛顿粘性定律为基础，主要应用线性粘弹性理论，研究食品在小变形 (即线性变形) 范围内的粘弹性质及其变化规律，测量食品在特定变形情况下具有明确物理意义的流变响应。食品流变学与传统的只注重食品的组成及其变化的化学方法不同，它用数学语言，通过所设定的数学模型对食品进行定量研究。

1953 年，斯科特·布莱尔 (G.N. Scott Blair) 发展了宾汉的流变学理论，发表了《新食品学—流变学》一书，开始把流变学理论应用于食品研究，在阐明食品的流变性质及其在食品加工工艺中的应用方面做出了贡献。1973 年，穆勒 (B.Muller) 编著出版了《食品流变学入门》一书，对推动食品流变学科的发展

和应用，起到了极为重要的作用。此后，食品流变学在食品工业中得到了广泛的应用，食品流变学的研究也有了进一步的发展。普伦提斯（J. Prentice）1984年编著的《食品流变学测量》一书，不但解决了食品流变性质的一系列测量问题，而且从微观结构的角度解决了流变性质的变化规律问题，为食品流变学理论应用于生产工艺过程提供了依据。

食品的质构，本来是指人通过触觉、视觉、口感等感觉产生的对食品“美味”的一种评价或感受，它是通过心理感觉来确定的。1963年，史切尼阿克（Szczeniak）对食品质构进行定义，分类，把用科学的量纲难以评价的感觉性质（又称主观性质）分解成客观上能够测量的因素（又称客观性质），并用质构仪对食品客观性质进行了测定，在过去人们单纯用主观评价方法确定食品质构的基础上又用仪器测定实现了定量化，使定性与定量相结合，为食品物性学的发展做出了重要贡献，使食品物性学发展成为不仅和食品学、流变学、物理学有关，而且和心理学、生理学有关的交叉性边缘学科。

食品质构的研究方法主要有感官检验和仪器测定法。食品质构的仪器测定方法，分为基础测定法、经验测定法和模拟测定法三种类型。所谓经验测定法和模拟测定法，就是把不能用明确的物理量来定义，但是根据经验，把和食品质构有密切关系的特征量（如硬度、脆性、粘结性等）用特制的仪器进行测定，或者是用模仿食品的实际变形而设计的仪器进行测定的方法。如硬度计、粉质仪、流变仪等。虽然用这些仪器所测得的数据，不象基础测定法（如粘度计）所得数据具有普遍性，而且它们各自具有自己的单位，又没有明确的量纲，但是，实践证明，用上述仪器测定的特征量能很好地表征相应食品的质构，所以这类仪器已经被广泛应用于食品工业中。目前，它们的种类越来越多，测量精度也越来越高。食品质构的感官检验是以人为的测定手段，评价食品的优劣或嗜好性，因为食品最终还是供人食用的，所以不管仪器怎么发展，人类对食品的评价总是离不开感官检验的。

食品物性学既研究如何用物理化学手段（仪器）测定食品的

物理性质，又研究人对食品的感觉性质，这两者相结合，构成了食品物性学的骨架。这也是食品物性学与其它相关学科的区别。

人的感觉灵敏度高，具有多方面的综合功能，但是缺乏稳定性和再现性，而且感官检验一般只能判断最终成品的质量。为了弥补感官检验的缺点，必须考虑用与感官检验具有相反优缺点的仪器测定方法和感官检验相结合，以达互补。如果弄清了食品的感官检验和仪器测定值之间的关系，就可以从食品制造工艺的原材料或中间产品的物性预测产品的质量，为工艺及设备设计提供有关的数据，对于提高食品的质量，改善生产工艺过程具有一定的作用。同时，用仪器测定方法来鉴定或预测顾客对某种食品是否满意，可以为鉴别食品的优劣提供科学的依据。

人的感觉过程是相当复杂的，感官检验是人通过感觉得到的对食品各方面特性的综合反映。口腔内对食品的感觉与牙和舌的接触部位有关；咀嚼时，人们能够根据食物的性质自动调节牙间距离、角度和方向、咀嚼速度和力的大小；唾液的影响；和仪器测量相比，感觉评价所需的时间长；食品的非均质性会降低仪器测定和感官检验的相关性。因此，目前用仪器测定法完全预测或评价食品从入口到吞咽这一过程中，人的实际感受情况还很困难。今后，设法寻找同一类物质所具有的物理性质的规律性，然后用多变量解析法分析各物性值对感觉的综合影响，将成为食品物性学研究的重要课题。

在自然界中，物质的存在形式大体可分为两大类：一类是在没有外部因素作用下会保持自身形状的，称之为固体；另一类是只有在容器里才能取得自身形状的，称之为流体，包括液体和气体。食品的种类繁多，虽然一些食品能明显地表现出固体或流体的性质，但大多数食品在外力作用下所表现出的物理性质使人难以区分它们属于固体或流体，往往既具有固体性质，又具有液体性质，因此，根据食品的物理性质，食品物性学把食品简单地分为以下几大类：主要具有固体性质的食品，归属于固体；主要具有液体性质的食品，归属于液体；同时表现出固体性质和液体性质的食品，归属于粘弹性体；同时具有固体性质和液体性质，但

主要表现出液体性质的食品，归属于塑性流体。液体又可分为两大类：凡符合牛顿粘性定律的液体食品，归属于牛顿液体；凡不符合牛顿粘性定律的液体食品，归属于非牛顿液体。

根据食品种类的不同情况，本书第一、二章详细分析了液体和塑性流体食品、固体和粘弹性体食品的流变性质及其测定方法；第三章详细介绍了食品质构的定义、分类、食品质构的感官检验和仪器测定的方法及其两者的相互关系；评价食品质构时，为了减少试验次数和误差，寻找最佳试验条件，第四章介绍了试验设计方法；第五、六章讨论了泡沫食品（包括固体泡沫食品）和粉体食品的物性；第七章介绍了食品的热物性。

食品物性学是国外近年来迅速发展的一门应用性极广的食品工程学科，是食品工程的重要理论。国内许多高等院校已经试开这门课程，但尚无专用著作可供参考。本书系作者在总结近期国内外最新研究成果及在国外考查的基础上编写而成的，在近年给研究生开课的实践中又作了修改与补充，可作为大专院校食品专业本科生及研究生的教学参考书，也可供食品行业工程技术人员及研究人员使用。

参加本书编写工作的有黑龙江商学院食品工程系金万浩（第1、2、3、5、6章，第4章第3节）、闵连吉（第7章）、马兴胜（第4章第1、2节），由金万浩主编。本书在编写过程中，日本国立香川大学食品物理研究室山野善正教授、三木英三助教授曾给予作者许多帮助和教诲，日本的木村重夫先生、黑龙江商学院副院长李良骏副教授、科研处处长唐林德副教授，中国科学技术出版社王云梅同志都给予了大力支持，值此出版之际，谨致谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

一九九一年元月于哈尔滨

目 录

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第一章 液体和塑性流体食品的流变特性 | 1 |
| 第一节 基本概念 | 1 |
| (一) 流变特性值 | 1 |
| (二) 粘性流体的分类及特点 | 3 |
| 第二节 粘性流体的一般流变特性 | 8 |
| (一) 层流和湍流 | 8 |
| (二) 粘度和温度的关系 | 10 |
| (三) 包轴现象与拖丝性 | 13 |
| 第三节 液体的流变测量 | 15 |
| (一) 毛细管粘度计 | 15 |
| (二) 旋转粘度计 | 19 |
| (三) 非牛顿液体的浓度系数 k 和流动特性指数 n | 25 |
| 第四节 塑性流体的屈服应力测量 | 27 |
| (一) 塑性流体的流动特性 | 27 |
| (二) 屈服应力的测量 | 28 |
| 第五节 液体和塑性流体食品的流变特性测量例子 | 31 |
| (一) 牛乳的流变特性 | 31 |
| (二) 番茄酱和蛋黄酱的流变特性 | 35 |
| (三) 白色调味汁 (White Sauc) 的流变特性 | 40 |
| (四) 常见液体食品的粘度 | 43 |
| 第六节 液体食品的粘度和口感粘性 | 45 |
| (一) 粘度和口感粘性的关系 | 45 |
| (二) 液体食品口感粘性的剪应力和剪切速率范围 | 48 |
| 第七节 食品分散体系的流变特性 | 48 |
| (一) 食品分散体系的分类 | 48 |
| (二) 食品分散体系的流变特性 | 49 |
| 第二章 固体和粘弹性体食品的流变特性 | 56 |

| | | |
|-----|-----------------------|-----|
| 第一节 | 食品的弹性 | 56 |
| (一) | 弹性及胡克定律 | 56 |
| (二) | 四个实用弹性系数及其测量 | 56 |
| 第二节 | 食品的粘弹性及其基本力学模型 | 63 |
| (一) | 粘弹性 | 63 |
| (二) | 粘弹性体的基本力学模型 | 64 |
| 第三节 | 粘弹性的一般力学模型 | 69 |
| (一) | 三元模型 | 69 |
| (二) | 四元模型 | 70 |
| (三) | 多元模型 | 72 |
| 第四节 | 食品粘弹性测量 (静力学测量) | 77 |
| (一) | 应力松弛测量 | 77 |
| (二) | 蠕变测量 | 83 |
| 第五节 | 动态粘弹性 | 87 |
| (一) | 动态粘弹性理论 | 87 |
| (二) | 流变体的时间—温度等效原理 | 95 |
| 第六节 | 食品的动态粘弹性测量 | 99 |
| (一) | 纵向振动法 | 99 |
| (二) | 剪切振动法 | 101 |
| 第七节 | 食品的断裂特性 | 104 |
| (一) | 压缩断裂特性 | 104 |
| (二) | 拉伸断裂特性 | 108 |
| (三) | 剪切断裂特性 | 109 |
| (四) | 弯曲断裂特性 | 109 |
| 第三章 | 食品的质构 | 112 |
| 第一节 | 食品质构的定义和分类 | 112 |
| (一) | 食品质构的定义 | 112 |
| (二) | 食品质构的分类 | 113 |
| 第二节 | 食品质构的感官检验及其准备 | 116 |
| (一) | 感觉及其种类 | 116 |
| (二) | 感官检验的定义和分类 | 117 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| (三) 感官检验的准备 | 118 |
| 第三节 感官检验的实施及其统计方法 (I) | 119 |
| (一) 2点比较法 | 119 |
| (二) 1: 2点比较法..... | 122 |
| (三) 3点比较法 | 123 |
| (四) 顺序法 | 125 |
| 第四节 感官检验的实施及其统计方法 (II) | 130 |
| (一) 加权评分法 | 130 |
| (二) 模糊数学法 | 132 |
| (三) 评分法 | 138 |
| (四) 舍非 (scheffe) 的一对比较法 | 141 |
| 第五节 食品质构的测定仪器 | 145 |
| (一) 压缩型仪器 | 145 |
| (二) 剪切型仪器 | 149 |
| (三) 侵入型仪器 | 151 |
| (四) 搅拌型仪器 | 154 |
| 第六节 感官检验和仪器测定之间的关系 | 156 |
| (一) 感官检验和仪器测定的特点 | 156 |
| (二) 食品质构的评定方法 | 157 |
| (三) 感官检验与仪器测定之间的关系 | 160 |
| 第四章 试验设计 | 169 |
| 第一节 正交试验设计 | 169 |
| (一) 不含交互作用的正交试验设计 | 169 |
| (二) 含交互作用的正交试验设计 | 175 |
| 第二节 回归正交设计 | 180 |
| 第三节 混料试验设计 | 188 |
| 第五章 泡沫食品的物性 | 197 |
| 第一节 表面现象 | 197 |
| (一) 表面张力 | 197 |
| (二) 吉布斯吸附公式 | 198 |
| (三) 蛋白质的表面吸附和表面变性 | 200 |

| | | |
|-----|--------------------------|-----|
| 第二节 | 泡沫的稳定性 | 202 |
| (一) | 表面张力的影响 | 202 |
| (二) | 表面粘度的影响 | 203 |
| (三) | 表面张力的修复作用 | 205 |
| (四) | 溶液粘度的影响 | 206 |
| (五) | 气体通过液膜的扩散 | 206 |
| (六) | 表面电荷的影响 | 208 |
| 第三节 | 泡沫的制造及物性测定方法 | 209 |
| (一) | 泡沫的制造方法 | 209 |
| (二) | 泡沫的物性测定方法 | 210 |
| 第四节 | 气泡的性质 | 212 |
| (一) | 气泡的分布和微细化 | 212 |
| (二) | 各种物质对起泡力和稳定性的影响 | 214 |
| 第五节 | 固体泡沫食品(多孔状食品)的物性测定 | 216 |
| (一) | 表观体积 | 216 |
| (二) | 发泡率 | 217 |
| (三) | 气泡体积 | 217 |
| (四) | 潜在气泡量 | 217 |
| (五) | 膨化倍数 | 218 |
| (六) | 松软多孔状食品的变形 | 218 |
| (七) | 膨化食品的硬度 | 220 |
| 第六节 | 多孔状食品的制造方法 | 222 |
| (一) | 强制空气混入法 | 222 |
| (二) | 膨化干燥法 | 225 |
| (三) | 冷冻干燥法 | 228 |
| 第七节 | 蛋糕的物性 | 228 |
| (一) | 原料混合比的影响 | 228 |
| (二) | 发泡剂的影响 | 232 |
| (三) | 添加油脂的影响 | 233 |
| (四) | 蛋糕的流变特性 | 234 |
| 第六章 | 粉体食品的物性 | 236 |

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 第一节 | 粉体食品的分类 | 236 |
| (一) | 按用途分类 | 236 |
| (二) | 按主要化学成分分类 | 236 |
| (三) | 按加工方法分类 | 236 |
| (四) | 按尺寸分类 | 237 |
| (五) | 按吸湿速度分类 | 237 |
| (六) | 按流动性分类 | 237 |
| 第二节 | 粒径和平均粒径 | 237 |
| (一) | 粒径 | 237 |
| (二) | 平均粒径 | 239 |
| (三) | 比表面积粒径 | 240 |
| 第三节 | 粒度分布 | 240 |
| (一) | 粒度分布的表示方法 | 241 |
| (二) | 粒度分布函数 | 243 |
| (三) | 粒度分布的测定方法 | 243 |
| 第四节 | 密度和空隙率 | 246 |
| (一) | 密度和空隙率 | 246 |
| (二) | 粉体的可压缩性 | 248 |
| 第五节 | 摩擦 | 250 |
| (一) | 内摩擦角和粘聚力 | 250 |
| (二) | 休止角 | 251 |
| 第六节 | 贮槽内的粉体 | 253 |
| (一) | 粉体压力 | 253 |
| (二) | 贮槽中粉体的降落 | 255 |
| 第七节 | 水分活度和保存性 | 257 |
| (一) | 水分活度 | 257 |
| (二) | 等温吸湿曲线 | 258 |
| (三) | 水分活度的应用 | 260 |
| 第七章 | 食品的热物性 | 263 |
| 第一节 | 潜热 | 263 |
| 第二节 | 比热 | 265 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| (一) 谢贝尔公式 | 265 |
| (二) 比热的测定方法 | 266 |
| (三) 各种食品的比热 | 267 |
| 第三节 食品的焓值 | 272 |
| 第四节 导热系数 | 274 |
| (一) 付里叶准则 | 274 |
| (二) 导热系数的测定方法 | 275 |
| (三) 用定常法测定导热系数 | 276 |
| (四) 各种食品的导热系数 | 277 |
| 第五节 热扩散率 | 283 |
| (一) 热扩散率 | 283 |
| (二) 食品热扩散率的测定方法 | 284 |
| (三) 各种食品的热扩散率 | 285 |
| 参考文献 | 287 |
| 附表 | |
| 附表 1 2点识别法及 1: 2点识别法用检验表 | 288 |
| 附表 2 2点嗜好法用检验表 | 288 |
| 附表 3 3点识别法用检验表 | 289 |
| 附表 4 3点嗜好法用检验表 | 289 |
| 附表 5 克拉默顺序检验表 | 290 |
| 附表 6 各顺序得分数 | 296 |
| 附表 7 F 分布表 | 297 |
| 附表 8 斯图登斯化范围 | 301 |
| 附表 9 t 分布表 | 302 |
| 附表 10 相关系数检验表 | 303 |
| 附表 11 斯皮阿曼顺序相关系数法用检验表 | 305 |
| 附表 12 部分常用正交表 | 305 |

第一章 液体和塑性流体食品的流变特性

第一节 基本概念

(一) 流变特性值

1. 流变特性值

我们知道，用两个同样的漏斗，流空同样容积的糖水和水的时，前者所需时间长。这说明，液体的流动（或变形过程）不但与应力有关（如重力产生的应力等），而且与时间有关。那么用什么物理量来描述液体的流变特性呢？

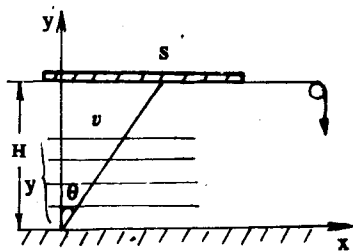


图 1-1 剪切流动

设一块面积为 S 的平板与和它相距 H 的另一块固定平板之间充满着粘性液体（如图 1-1 所示），平板 S 以速度 V 平行移动时满足以下两个条件：

- (1) 液体的流动为层流；
- (2) 两平板和液体之间无滑动。

则与移动板相接触的液体层的速度为 V ，与固定板相接触的液体层的速度为零。假设距离固定板为 y 的液体层的速度为 v ，则 y 轴方向的速度梯度 D 可用下式表示：

$$D = \frac{dv}{dy} \quad (1.1)$$

因为 D 是剪切变形产生的速度梯度，故称之为剪切速率，其大小等于剪切变形的大小除以变形所需要的时间。当 H 很小时，有下式成立

$$D = \frac{V - 0}{H} = \frac{V}{H}$$

另外，设产生液体剪切变形的力为 F ，则剪应力 τ 可定义为

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (1.2)$$

剪应力 τ 实际是截面切线方向的应力分量。

牛顿粘性定律指出：液体流动时的剪切速率 D 与剪应力 τ 成正比关系，即

$$\tau = \eta D \quad (1.3)$$

式中比例系数 η 称为粘度。它是液体流动时由分子之间的摩擦产生的，因此，粘度是物质的固有性质。式 (1.3) 是粘性的基本法则。

对于塑性流体，表示流体流动的特性值除上述的剪应力、剪切速率和粘度外，还有屈服应力。

雪花膏或蛋黄酱等塑性流体，在没有外力作用时不产生流动，具有固体的性质，但是，即使在很小的外力作用下，它们也容易产生流动，撤去外力后又保持即时形变形式。这种能够任意成形的性质叫塑性。使塑性流体开始流动的应力称为屈服应力，用 τ_0 表示，它是塑性流体食品的重要性质之一。例如，40℃ 左右的巧克力虽然具有很大的流动性，但由于具有显著的屈服应力，所以成形后除去外力时，能够保持其形状不变，以实现固化。

屈服应力 τ_0 除了与塑性流体物质的种类有关外，主要与浓度有关，在后面的内容里还要详细讨论 τ_0 的问题。

2. 流变特性值的量纲和单位

各特性值的国际单位 (SI)、CGS 单位、MKS 单位及工程单位分别列于表 1.1 中。

剪应力和屈服应力的单位是：力单位 / 面积单位，即 $N/m^2 = Pa$ ；剪切速率单位是：速度单位 / 距离单位，即 $\frac{m/s}{m} = s^{-1}$ ；粘度单位是：应力单位 \times 时间单位，即 $N/m^2 \cdot s = Pa \cdot s$ 。

表 1.1 流变特性值的单位、量纲及其相互关系

| | CGS | MKS | 工程单位 | SI | 注 |
|--------------|---------------------------------|---|--|---|--|
| 力 | 达因(dyn) l | 牛顿(N) 10^{-5} | 公斤力(kgf) $\frac{1}{9.8} \times 10^{-5}$ | 牛顿(N) 10^{-5} | $N = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ $\text{kgf} = 9.8\text{N}$ |
| 压力 应力 | dyn / cm^2 l | bar 10^{-6} | kgf / m^2 $\frac{1}{9.8} \times 10^{-1}$ | Pa 10^{-1} | Pa(帕斯卡) $= \text{N} / \text{m}^2$ |
| 粘度 (绝对粘度) | P l | $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ 10^{-1} | $\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ $\frac{1}{9.8} \times 10^{-1}$ | $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 10^{-1} | P(泊斯) = $\text{dyn} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$ $\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ |
| 运动粘度 | St l | m^2 / s 10^{-4} | m^2 / s 10^{-4} | | St(斯托克斯) = 绝对粘度 / 密度 |

(二) 粘性流体的分类及特点

物理学把流体分为液体和气体，流变学把粘性流体分为牛顿液体、非牛顿液体和塑性流体，有时把牛顿液体和非牛顿液体统称为粘性液体。

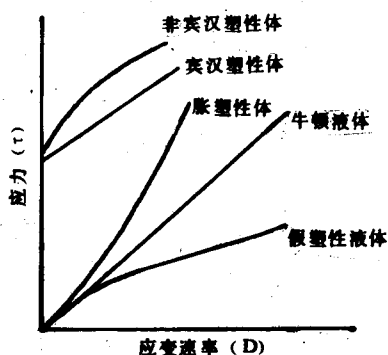


图 1-2 流动曲线

1. 牛顿液体

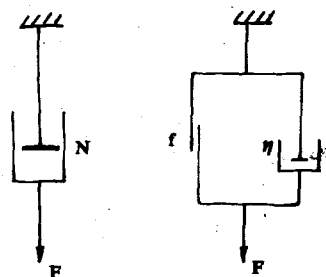
剪应力 τ 与剪切速率 D 之间满足牛顿粘性定律，即

$$\tau = \eta D \quad (1.3)$$

且液体的粘度是与剪切速率无关的常数。这种液体称为牛顿液体。式 (1.3) 称为牛顿液体的流动状态方程。

牛顿液体的剪应力与剪切速率之间呈直线关系 (如图 1-2 所示)。直线和 D 轴的夹角表示粘度，牛顿液体

可以用粘度 η 来表示其流变特性。牛顿液体没有弹性，且不可压缩，各向同性。自然界中完全的牛顿液体是不存在的，但有很多实际液体在剪应力 τ 很宽的作用范围内呈现出牛顿液体的性质。流变学家也把这些液体笼统地称为牛顿液体，其中最典型的是水。可以归属于牛顿液体的食品有：糖水溶液、低浓度牛乳、油、酒及其它透明稀溶液等。



(a) 粘壶模型 (b) 宾汉模型

图 1-3 粘壶模型和宾汉模型

牛顿液体的流动可以用流变学中的粘壶模型来模拟。这种模型由阻尼活塞和充满实验液体的容器所组成（如图 1-3 (a) 所示），用符号 N 表示。在力 F 的作用下，活塞可以在容器内缓慢地上下运动，并受到液体的阻尼。液体的粘度越高，对活塞运动的阻尼作用就越大，反之就越小。因此，在相同的力的作用下，活塞的运动速度与液体粘度密切相关。

2. 非牛顿液体

剪应力 τ 与剪切速率 D 之间不满足式 (1.3) 关系，且液体的粘度不是常数，随剪切速率的变化而变化，这种液体称为非牛顿液体。

非牛顿液体的剪应力 τ 与剪切速率 D 的关系符合指数定律，即

$$\tau = KD^n \quad (1.4)$$

式 (1.4) 称为非牛顿液体的流动状态方程。式中的 K 和 n 都是常数。 n 为流动特性指数。它的大小表示液体偏离牛顿液体的程度。对于牛顿液体， $n=1$ ，则式 (1.4) 变为 $\tau = \eta D$ ， K 就是液体粘性系数 η 。

如果 $n < 1$ ，则表明这种液体比牛顿液体“稀薄”，我们称之为假塑性液体。 n 越小，说明假塑性液体越偏离牛顿液体。