

参 考 文 献

- 1 Baker, A.A. (1978). Work on advanced fibre composites at the Aeronautical Research Laboratories, Australia. *Composites*, 9, 11-16.
- 2 Callinan, R.J. (1977). Residual strength of a cracked lug. *Structures Note 422*, Aeronautical Research Laboratories, Australia.
- 3 Jones, R. (1983). Neutral axis offset effects due to crack patching. *J. Composite Structures*, 2, 163-174.
- 4 Jones, R., and R.J. Callinan (1981). New Thoughts on stopping cracks which emanate from holes. *Int. J. Fracture* 17, R53-R55.
- 5 Jones, R., M. Davis, R.J. Callinan, and G.D. Mallinson (1982). Crack patching: analysis and design. *J. Struct. Mech*, 10, 177-190.
- 6 Mann, J.Y., R.A. Pell, R. Jones, and M. Heller (1984). The use of adhesive bonded rivets to lessen the reductions in fatigue life caused by rivet holes. *Structures Report 399*, Aeronautical Research Laboratories, Australia.

赵玉琢译自: Proc. 6th Int. Conf. on Fracture (ICF6). Advances, Vol. 5 (Dec. 1984); 3517-3522. (王宏济校)
(略有删节)

果品在高应变率下的粘弹性响应

Pictiaw Chen Suming Chen

引言 应力松弛函数可描述包括象果品和蔬菜等许多农产品的粘弹物料性质。以往的研究结果表明, 这些农业物料的粘弹性质满足 Maxwell 模型, 它的应力松弛函数 $Y(t)$ 为指数形式

$$Y(t) = \sum_{i=1}^n E_i e^{-\alpha_i t} \quad (1)$$

式中 t 为时间, E_i 和 α_i 为物料的粘弹常数。不少研究者一直在测定不同农产品的 $Y(t)$ 。Finney 等^[3] 研究了马铃薯块茎、Husain 等^[5] 研究了糙米、DeBeardemeaker 等^[2] 及 Rumsey 等^[6] 测定了鲜果肉的 $Y(t)$ 。测定农产品 $Y(t)$ 的一般方法是用 Instron 通用试验机

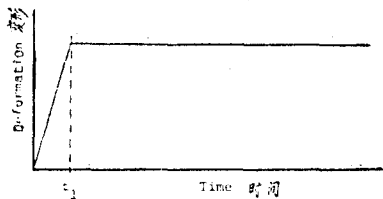


图1 为台阶式变形载荷函数

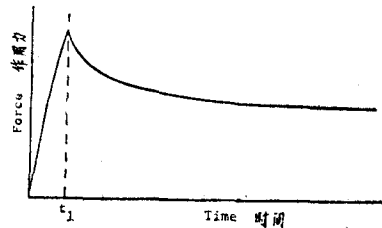


图2 果品在台阶式变形载荷条件下的作用力响应曲线

对样品施加台阶式变形载荷(图1), 记录下作为时间的函数的作用力响应曲线(作用力松

弛曲线如图 2 所示)。然后用 Chen 等^[1]的方法, 根据作用力松弛曲线, 可测定粘弹常数 E_i 和 α_i 的值。

由此法求出的应力松弛函数虽可用于分析准静态问题, 但并不适用于分析受冲击的果品的动态问题。首先, Instron 通用试验机的最大加载率仅为 0.0167m/s (1000mm/min)。而且, 苹果等圆柱形样品实际测定时最大加载率仅为 0.0033m/s (200mm/min)。因加载率受自动记录笔响应曲线时间 0.5s (为全尺寸的 $5\%—95\%$) 的更大的限制。从 5cm 高的下落物 (速度为 1m/s) 所引起的撞击, 其变形率要比加载速度快几百倍。其次, 从已知加载率得出的应力松弛函数, 不能精确地代表高得多的加载率下物料响应曲线。应力松弛函数由一系列指数项组成, 这些指数项有不同的松弛时间 (时间常数)。已往的研究表明, 对于大多数农业物料来说, 相邻两项的松弛时间大约相差 1 个数量级。因而, 对于 Instron 试验机的载荷极限来说, 在慢加载率下, 有短松弛时间的那些项 (高松弛率), 可能已递减到它们对整个函数所起的作用, 小得不能用现有的曲线拟合方法检测。结果, 用慢加载率得出的应力松弛函数, 通常不包括具有高应力松弛率的项, 它们只适用于加载率大小可跟用于求出函数的加载率相比的问题。不过, 为了分析冲击问题, 应当通过研究使用跟冲击率大小可相比的加载率来求出应力松弛函数。

本文的目的是研究一种能在很高的加载率下求出果肉应力松弛函数的方法。

测试仪器及测试方法 仪器由两个主要部分组成: ①能产生台阶式变形函数的装置如图

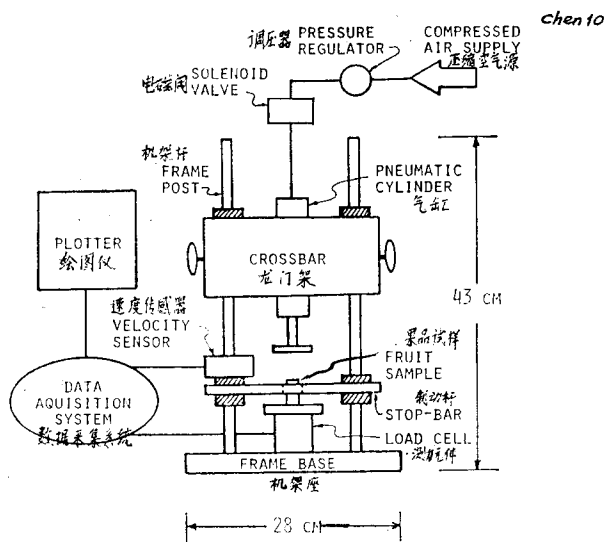


图 3 高加载率下产生作用力松弛曲线的冲击装置

气缸安装在立柱上的钢龙门架上。压缩空气通过一个控制加载速度的压力调节器供给气缸。应变片式测力元件用作外力传感装置, 它安装在气缸正下方的基座上。第二龙门架制动杆也安装在机架杆上, 在测力元件上方, 用来限制气缸的最大行程, 从而可控制试样的最大变形。两个龙门架的垂直位置可调节。把圆柱形果心试样安放在测力元件顶板上, 试样上端穿过制动杆上的孔而伸出。改变制动杆的垂直位置, 就可改变试样的最大变形量。因此, 高出制动杆的试样投影便是最大变形。

1 所示。该装置的加载率值域 (变形率) 可与 $0.5—1.5\text{m/s}$ 的击冲速度相比; ②能测定和记录作用力响应曲线的仪器如图 2 所示。由于应力松弛起始阶段的高松弛率, 作用力传感器的响应时间应小于 0.001s 。

若在加载末期 ($t = t_1$) 变形和外力均产生突变, 则在加载机构和载荷传感器两部分均应计入振荡问题。已试用过多种方法, 可使振荡减至最低程度。我们的初步试验结果表明, 加载机构应安装在刚性机架上, 载荷传感器应十分坚固。包括机架在内的加载系统和载荷传感器的固有频率均应远高于 1000Hz 。如图 3 所示的装置是符合这些要求的。

从每个美味金色苹果中取出一个直径为 1.27cm, 长度略长于 2cm 的果心, 共 8 个。用专门设计的整形器把每个圆柱果心修整至 2cm 长。切削苹果时, 整形器还使试样转动。在不同加载率试验时, 应在果品的相同部位取样。

为了进行高速加载率试验, 应将果心试样装在测力元件上, 使其端部比制动杆高出 0.1cm。电磁阀启动时, 压缩空气按规定流量和压力进入气缸。气缸推动加载板向下运动直到撞击制动杆, 压缩果心试样 0.1cm。加载板的向下速度用一对 LED (光发射二极管) 和光电二极管测定, 它们可测定加载板移动 0.5cm 距离所需的时间。安装在制动杆上方 3.6cm 处的速度传感器也是个自动记力系统的起动机。

数据采集系统是一台 HP-85 型计算机和一台 Intel 3080 型微处理器控制的 A/D (模拟/数字) 转换器连接起来的装置。加载板经过速度传感器时即启动数据采集系统, 开始按 1000Hz 的抽样率读得测力元件上的信号。在 5 分钟以上的期间取得压力松弛数据。计算机程序要求记录每个最初 0.1 秒内取出的读数。仅取 0.15—6.0 秒内记下的 250 个读数的平均值。在 60—120 秒和 120—300 秒内各读取 500 个和 1000 个数据的平均值。每次操作可记录下总数为 640 个数据点。每次操作结束, 计算机便打印出计算出的加载率值, 并绘出如图 4 所示的作用力响应曲线。

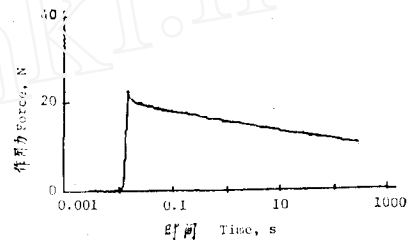


图 4 由冲击装置-数据采集系统得到的典型曲线 (作用力松弛曲线)

应力松弛函数的确定 圆柱果心试样 (截面积 A , 长度 l) 的受力响应可用下列方程^[1]表示:

$$F(t) = \begin{cases} \frac{aA}{l} \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i t}), & 0 \leq t \leq t_1 \\ \frac{aA}{l} \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i t_1}) e^{-\alpha_i (t-t_1)}, & t \geq t_1 \end{cases} \quad (2)$$

式中 a 为加载率。按 Chen 等^[1]提供的程序测定粘弹性常数 E_i 和 α_i 。

应力松弛函数根据 t_1 之后的作用力响应数据确定。 $t \geq t_1$ 时的作用力后响应可写成

$$F(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{-\alpha_i \tau} \quad (3)$$

式中

$$\tau = t - t_1, \quad C_i = \frac{aA}{l} \frac{E_i}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i t_1})$$

应用 Gil^[4]提出的计算机程序, 由试验数据可求出 C_i 和 α_i 的值。该程序具有三个主要用途: ①使曲线光滑; ②应用迭代过程计算 C_i 和 α_i 的原始近似值, 迭代过程用连续残数法 (successive residuals) 进行; ③把 C_i 和 α_i 原始值输入商用程序 (例如 IMSL 的子程序 ZXSSQ 或 BMDP 的子程序 PR), 这种程序进行非线性回归, 得到与试验数据 C_i 和 α_i 的最佳拟合的最终结果, 然后再根据 C_i 和 α_i 求出 E_i 的值。

结果与讨论 苹果的圆柱果心试样的三个不同加载率是 0.7, 1.2 和 0.003m/s。前两个

加载率各与 2.5cm 高度和 7.5cm 高度落下物产生的冲击速度等值。Instron 试验机的龙门架以 200mm/min 速度运动时所生的加载率为 0.0033m/s。所有三种情况下的 E_i 和 α_i 的值列于表 1。用 0.7 和 1.2m/s 动态加载率得到的松弛函数包括四项，而用 0.0033m/s 准静态

表 1 不同应变率下得到的苹果肉粘弹性常数

试样号	苹果号	加载率 m/s	粘 弹 性 常 数							
			E_1 kPa	α_1 s ⁻¹	E_2 kPa	α_2 s ⁻¹	E_3 kPa	α_3 s ⁻¹	E_4 kPa	α_4 s ⁻¹
1	1	0.7	1650	.000295	237	.0406	418	1.21	188	36.4
2	1	0.7	1820	.000274	237	.0401	413	1.04	187	34.1
3	2	0.7	1670	.000288	246	.0382	431	1.04	199	33.4
4	2	0.7	1720	.000319	264	.0401	475	1.04	219	34.3
5	3	0.7	1850	.000373	331	.0413	607	1.08	286	34.3
6	3	0.7	1520	.000319	234	.0402	420	1.05	193	34.5
7	1	1.2	1940	.000343	328	.0412	519	1.22	272	36.8
8	1	1.2	2090	.000330	334	.0394	612	1.04	282	34.3
9	2	1.2	2200	.000378	404	.0432	730	1.25	340	37.1
10	2	1.2	1620	.000315	259	.0413	545	1.47	151	63.7
11	3	1.2	1840	.000337	299	.0407	544	1.20	251	35.7
12	3	1.2	1770	.000334	288	.0421	509	1.23	234	36.3
13	1	0.0033	1540	.000542	405	.0411	371	.497	—	—
14	1	0.0033	841	.000527	224	.0334	167	.327	—	—
15	3	0.0033	1580	.000461	366	.0324	272	.315	—	—
16	3	0.0033	1380	.000220	148	.0312	99	.310	—	—

加载率得出的松弛函数仅有三项。因准静态的应力松弛函数缺少高松弛项（具有高 α_i 值的项），因此由该函数计算出的应力对动态加载并不象由动态应力松弛函数所求出的应力那样敏感。若已知圆柱果品试样的应变 ϵ 和已知应变率 $\dot{\epsilon}$ 为常数，则其应力可用下列方程（从方程 (2) 导出）求出：

$$\sigma(t) = \frac{F(t)}{A} = \dot{\epsilon} \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i \dot{\epsilon} t / a})$$

式中应变率 $\dot{\epsilon} = a/l$ 。

表 2 所示的计算应力表明，在使用准静态应力松弛函数时（13 和 15 号试样），在 0.167m/ms—35m/ms 的应变率变化范围内仅使计算应力增加约 1%。而若使用动态应力松弛函数，则在相同的应变率变化范围内所引起的计算应力增加约 10%。应力增加 10 倍的差异清楚地表明，由动态加载率求出的应力松弛函数来描述动态加载下物料的性能，要比准静态加载率下求出的应力松弛函数更为精确。因而，应该使用动态加载法来分析果品撞击问题的应力松弛函数。

（下转第 51 页）

VASCULAR INPUT IMPEDANCE

Liu Zhao-rong Shen Feng
(Dept. of Appl. Mech., Fudan University)

Abstract Since the concept of vascular input impedance was introduced in 50's of this century, this very important hemodynamical parameter has been the subject of a large amount of researches to certain extent, this concept has already been applied in clinical medicine now. This paper gives a summary of the history of the researches on the vascular input impedance. Some results of our recent theoretical and experimental studies on the vascular input impedance are also presented in this paper.

Keywords *artery; input impedance; lumped parameter model; distributed parameter model*

(上接第 144 页)

表 2 高和低加载率下由应力松弛函数计算得的应力值的比较

试样号	果品号	用于求应力松弛函数的加载率 m/s	5% 应变率的应力 kPa		应力增量%
			应 变 率 0.167m/ms	35m/ms	
1	1	0.7	112.24	124.39	1.08
13	1	0.0033	114.21	115.79	1.4
6	3	0.7	106.57	118.19	10.9
15	3	0.0033	110.18	110.90	0.7

参 考 文 献

1. Chen, P. and R.B. Fridley. 1972. Analytical method for determining viscoelastic constants of agricultural materials. Transactions of the ASAE 15(6):1103-1106.
2. DeBaerdemacker, J.G. and L.J. Segerlind. 1976. Determination of the viscoelastic properties of apple flesh. Transactions of the ASAE 19(2):346-348,353.
3. Finney, E.E., C.W. Hall, and G.E. Masc. 1964. Theory of linear viscoelasticity applied to the potato. J. Agric. Eng. Res. 9(4):307-312.
4. Gil, J. 1982. A numerical method for determining the viscoelastic constants in agricultural materials. M.S. Thesis, University of California, Davis, CA.
5. Husain, A., K.K. Agrawal, T.P. Ojha, and H.G. Bhole. 1969. Viscoelastic behavior of rough rice. Transactions of the ASAE 14(2):313-314,318.
6. Rumsey, T.R. and R.B. Fridley. 1977. A method for determining the shear relaxation function of agricultural materials. Transactions of the ASAE 20(2):386-389, 302.

向 克(上海华东师范大学)译自: ASAE Paper No. 84-3555 (Dec. 1984).
(孙一源(镇江市江苏工学院)校)(略有删节)