

苹果碰撞响应数学模型的研究^{*,*}

李小昱 王 为

(西北农业大学)

提 要 通过苹果的碰撞损伤试验,建立了描述苹果碰撞过程的加速度—时间曲线的数学模型,分析了该模型中各参数对碰撞特性及损伤的影响。

关键词 苹果 碰撞 响应 数学模型

The Research on Mathematical Model of Apple Impact Response

Li Xiaoyu Wang Wei

(Northwestern Agricultural University, Yangling)

Abstract Through the impact bruise tests of apples, this paper have set up an atheuatical model of acceleration-time cuve to describe the process of apple impact. The aulayss of the influence of each of each parameter to the impact property and bruise in this model were discussed in the paper.

Key words Apple Impa Response M athem atial model

随着水果生产机械化程度的提高,解决损伤的问题显得愈来愈重要。水果从采摘、包装、运输、加工、贮藏到销售的各个环节中,不可避免地要受到挤压、振动、碰撞以至产生机械损伤。而对水果生产系统的研究表明,碰撞是导致机械损伤最主要的原因之一^[1]。本文通过苹果的碰撞损伤试验,建立了苹果碰撞过程的加速度—时间曲线的数学模型。从理论上描述了这一瞬间动态过程及破坏现象,分析了模型中各参数以及碰撞特性参数在不同工况下与破坏特性的关系,探讨了减少损伤的可能途径及对生产实际所提供的启示。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试验用的苹果品种为秦冠,贮藏期为6个月,贮藏温度在10℃以下。苹果试样的直径在67.77~80.22mm之间,重量在130.9~197.1g之间。

1.2 试验装置

试验装置及测量系统如图1。

装置底座为一20mm厚钢板,上面可覆盖不同衬垫或放置固定后的苹果,这样以改变

收稿日期:1996-06-04

* 陕西省自然科学基金资助项目

李小昱,副教授,陕西杨陵 西北农业大学机电学院38号信箱,712100

碰撞表面。下落苹果其降落高度可调, 采用断线法来释放苹果, 加速度传感器通过一细锥体固定于苹果上, 随苹果一起落下。

1.3 试验方法

1.3.1 苹果碰撞不同表面的试验

将 28 个苹果随机地分为 4 组, 每组苹果分别从 5~ 35 cm 等间距 7 个不同高度落至同一碰撞表面, 每个苹果在不同部位作 3 次重复试验。每组苹果作完后便更换一种衬垫, 4 种碰撞表面分别为垫 1、垫 2、垫 3、垫 4。垫 1、垫 2、垫 3 分别为钢板上覆盖厚为 6.22 mm、4.92 mm、2.78 mm 的聚乙烯硬泡沫衬垫, 垫 4 为钢板。

1.3.2 苹果碰撞苹果的试验

将 18 个苹果随机地分成 9 对, 被碰撞的苹果在底座用一蜡盘中的熔蜡冷凝后固定, 在 5~ 40 cm 范围内等间距分为 12 个不同高度, 另一个苹果从 2 个不同的高度落下, 每对苹果在不同部位作 3 次重复试验。

碰撞试验作完后, 损伤体积的测定采用 Schoorl 等所叙述的计算体积法^[2]。

2 结果与分析

2.1 数学模型

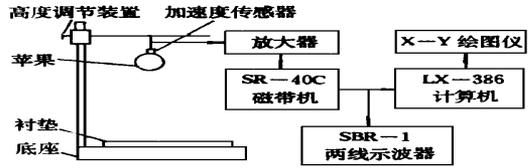
碰撞问题的特征是: 其作用瞬间极短, 作用面积较小, 物体间接触压力则极高, 碰撞时物体将发生弹性、塑性变形, 物体的运动速度或加速度将发生大小, 方向上的突然变化。图 2 为苹果碰撞苹果的典型加速度—时间曲线。这一碰撞过程中的 t_1 包括 AC 与 CD 两个阶段, AC 段为弹性变形和塑性变形的开始阶段, CD 段为塑性变形阶段, t_2 即 DEB 段, 为回弹阶段。碰撞曲线呈非对称, 有塑性变形存在, 回弹时间较长。碰撞损伤主要由塑性变形造成, 因此, 减少碰撞损伤就应把碰撞载荷限制在仅发生弹性变形的范围内^[3]。

由试验曲线可知, 对不同的工况, 曲线呈不同程度的非对称。把粘弹性苹果碰撞到平面或苹果上的加速度描述成时间函数, 公式中应有一项对应于非对称性, 使其可向左或向右偏斜。据此, 可用下面的数学模型描述碰撞过程的加速度—时间曲线^[4]

$$A = B t^p (T - t)^q \quad (1)$$

式中 A ——碰撞加速度, m/s^2 ; t ——碰撞持续时间内的任意时刻, m/s ; T ——碰撞持续时间, m/s ; B 、 p 、 q ——模型系数。

用公式回归试验曲线, 并计算系数 B 、 p 、 q 及 q/p 值。结果表明, 相关系数 R 一般都在 0.90 以



1. 高度调节装置 2. 加速度传感器
3. 苹果 4. 衬垫 5. 底座

1. 高度调节装置 2. 加速度传感器
3. 苹果 4. 衬垫 5. 底座

图 1 试验装置与测量系统简图

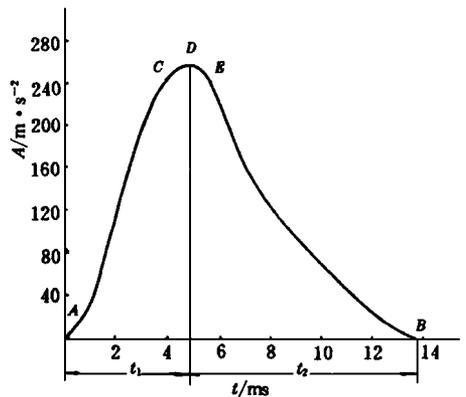


图 2 苹果从 27 cm 高度落下碰撞苹果的加速度曲线

上,另外,由显著性检验知,所有的 $F > F_{\alpha 01}$ 。因此,公式在 99 % 的置信度下高度显著,曲线拟合良好,这表明该数学模型是完全可以描述苹果碰撞加速度这一瞬间动态过程的。

2.2 结果分析

建立了加速度——时间数学模型后,需进一步研究模型中各系数对模型曲线的影响以及碰撞特性参数之间的关系。

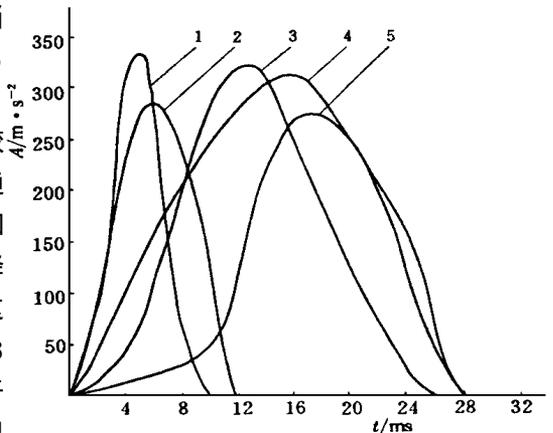
2.2.1 B 、 p 、 q 及 q/p 对模型曲线的影响

将 p 和 q 固定,可知 B 的变化将引起加速度大小的变化及曲线上升阶段斜率的变化。将 B 固定,变化 p 或 q 则引起加速度峰值的变化,并且将使峰值点左右移动,因而也就改变了曲线的形状。可以发现,当 $t_1 > t_2$ 时, $q/p < 1.0$; 当 $t_1 < t_2$ 时, $q/p > 1.0$; 当 $t_1 = t_2$ 时, $q/p = 1.0$ 。而当 $q/p < 1.0$ 时,曲线偏向左边,当 $q/p > 1.0$ 时,曲线偏向右边,当 $q/p = 1.0$ 时,曲线基本对称。因此 q/p 值是曲线对称性的一个指标值,曲线的形状主要受 q/p 值的影响。

2.2.2 q/p 、 T 、 t 与苹果吸收能量的关系

本次试验,进行了苹果碰撞苹果,苹果碰撞钢平面和苹果碰撞三种厚度衬垫的五种试验。现分析一下在这五种情况下 q/p 值的变化规律,以及 q/p 、 T 、 t 值与吸收能量之间的关系。

由数学模型的回归计算结果中可看出,当苹果碰撞衬垫时,随着衬垫厚度的降低, q/p 值有逐渐增大的趋势。在碰撞较厚衬垫垫 1、垫 2 时 q/p 的值几乎均小于 1.0,而在碰撞较薄衬垫垫 3 与钢平面垫 4 时, q/p 的值逐步趋近于 1.0,且有半数值大于 1.0,这就说明加速度——时间曲线的形状是随衬垫厚度的降低由左偏逐步趋近于对称,而最后向右偏,这与试验曲线也是相符的,其典型曲线如图 3 所示。在苹果碰撞苹果时 q/p 值几乎趋近于 1.0 或大于 1.0,这与苹果碰撞钢平面的情况很接近,即此时加速度——时间曲线的形状大部分向右偏斜,而部分曲线的形状接近于对称,这是由于试验用苹果本身的机械特性不同所致,反应了苹果内部组织抵抗机械变形的能力。



1. 钢平面 2. 苹果
3. 2 78mm 衬垫 4. 4 92mm 衬垫 5. 6 22mm 衬垫

图 3 苹果从 30 cm 高度落至苹果和 4 种表面的加速度曲线

而且,从图 3 与试验数据中均可看出,苹果落在坚硬钢板上的碰撞持续时间 T 最短,随着碰撞表面衬垫厚度的增加,其碰撞持续时间也逐渐增大,而最大加速度则随之减小。

上述现象,可以利用能量吸收原理加以解释^[5,6]。根据能量守恒定律,碰撞的总能量除缓冲材料吸收的能量和回弹能量外就是被水果吸收的能量。缓冲材料可吸收一定的碰撞能量,从而减少水果的吸收能量与回弹能量,并改变苹果的变形速率,而吸收能量与变形速率均为影响损伤大小的一个重要因素。这样,最大加速度 A 降低,回弹时间 t_2 缩短,碰撞

持续时间 T 增加, 从而使损伤减小。由于垫 1 较厚, 碰撞过程中缓冲材料吸收的能量较多, 所以曲线向左偏斜且峰值点下降。随着衬垫厚度的减小, 缓冲材料吸收的能量逐渐降低, 曲线趋向于对称。当碰撞垫 4 时, 由于是钢平面, 无缓冲材料所吸收的能量, 所以曲线向右偏斜且峰值点上升。当苹果碰撞苹果时, 由于苹果为粘弹性材料, 其与苹果碰撞刚性平面的情况相近。在几种情况的碰撞过程中, 曲线的偏斜度不同, 其加速度值与碰撞持续时间则不同, 那么对于损伤的影响也是不一样的。

3 结论与讨论

1) 所建立的数学模型 $A = B t^p (T - t)^q$ 可以描述苹果碰撞过程的加速度—时间曲线。

2) 数学模型中的系数 B 、 p 、 q 与曲线的形状及加速度大小有关, 通过这些系数, 可判断碰撞特性及评估损伤。

3) 数学模型系数 q/p 比值的变化是有规律的, 其值与衬垫的厚度有关, 又是曲线对称性的一个指标值。 $q/p < 1.0$ 时, 曲线左偏; $q/p > 1.0$ 时, 曲线右偏; $q/p = 1.0$ 时, 曲线基本对称。其偏斜度影响加速度的大小, 更重要的是影响损伤体积的大小。

4) 缓冲包装材料可吸收一定的碰撞能量, 从而减少苹果的吸收能量与回弹能量, 使最大加速度降低, 回弹时间缩短, 碰撞持续时间增加, 以致损伤减小。缓冲包装材料的厚度影响曲线的偏斜度、加速度与损伤的大小, 所以, 适当选择缓冲包装材料的厚度与种类是重要的, 有必要进一步研究缓冲包装材料与损伤之间的关系。

参 考 文 献

- 1 S S Sober, H R Zapp, G K Brown Simulated packing line impacts for apple bruise prediction Transactions of A S A E, 1990, 33(2): 629~ 636
- 2 D Schoorl, J E Holt Bruise resistance measurement in apple Journal of texture studies, 1980, 11(4): 389~ 394
- 3 N N Mohsenin Physical Properties of Plant and Animal Materials 2nd ed New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986 500~ 503
- 4 X Zhang, G H Bruswitz Impact force model related to peach firmness Transactions of A S A E, 1991, 34(5): 2094~ 2098
- 5 王泽南, 单明彻 水果机械特性及损伤的研究 农牧与食品机械, 1986(3): 19~ 25
- 6 Gy Sitkei Mechanics of Agricultural Materials Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986: 177p