

缓冲材料降低苹果碰撞损伤的研究

李小昱 王 为

(西北农业大学机电工程学院,陕西杨凌 712100)

摘 要 缓冲材料的物理特性与厚度对苹果的碰撞损伤有显著的影响。当缓冲材料的弹性模量较小时,缓冲性能较好,随着缓冲材料弹性模量的增大,碰撞时间与接触面积逐渐减小,最大加速度与损伤体积相应增大。在一定范围内,随着缓冲材料厚度的增加,碰撞时间与接触面积线性增加,最大加速度与损伤体积相应减小。

关键词 苹果,缓冲材料,碰撞损伤

中图分类号 Q66

我国是世界上最大的苹果生产国^[1],而机械损伤是苹果商品品质下降造成经济损失的一个主要原因^[1~4]。要减小这些损失,途径之一便是在采收、分级、装卸、运输等环节中,使用缓冲材料作容器或衬垫,或在果品表面包装缓冲材料^[5~6]。本研究选用目前水果运输中常用的瓦楞纸与泡沫塑料作缓冲材料,分析缓冲材料对碰撞的影响与作用,探讨其缓冲机理,为合理选用缓冲材料减少苹果损伤提供依据

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验苹果为秦冠,直径 67.90~74.68 mm,重量 118.3~156.0 g,硬度 0.65~0.79 MPa。所用缓冲材料为密度不同的聚氯乙烯泡沫塑料 A 和 B 密度不同的聚苯乙烯泡沫塑料 A 和 B 瓦楞纸及聚乙烯泡沫塑料共 6 种。

1.2 试验装置

缓冲材料的弹性模量 E 值反映了材料的物理性能与缓冲能力。所以,试验开始前需在农业物料试验机^[7]上测定其弹性模量值 E 。其方法按照缓冲材料的测试方法^[8~9],取加载速率为 100 mm/min,作力-变形曲线,每一材料作 3 次压缩试验,取其均值,试验结果见表 1。

苹果的碰撞试验装置及测试系统见文献 [10]。装置底座上可复盖不同缓冲材料以改变碰撞表面。Sitel^[4]认为降落高度与果品重力对苹果所承受的应力不起主要作用。本试验从 80 cm 高度处采用断线法释放苹果。加速度传感器通过一细锥体固定于苹果上,测定其碰撞加速度与碰撞时间。在苹果上涂有墨水,以测量苹果与碰撞表面的接触面积。为了消除苹果直径对接触面积的影响,用相对接触面积 S/d^2 表示。苹果碰撞后放置 24 h 测定其损伤体积^[11]。

表 1 不同缓冲材料的弹性模量

缓冲材料	E (kPa)
聚氯乙烯泡沫塑料 A	0.525
聚苯乙烯泡沫塑料 A	0.896
聚氯乙烯泡沫塑料 B	1.037
聚苯乙烯泡沫塑料 B	2.375
瓦楞纸	6.578
聚乙烯泡沫塑料	10.392

注:钢板 = 2.1×10⁸ kPa。

收稿日期 1997-09-11
课题来源 陕西省自然科学基金资助项目
作者简介 李小昱,女,1953年生,副教授

1.3 试验方法

为了研究不同种类的缓冲材料及其厚度对苹果碰撞的影响与作用,分别设两个试验

试验 1 将 6 种缓冲材料和一钢板(对照)作为试验因素的 7 个水平,每水平重复 3 次试验 6 种缓冲材料与钢板的厚度均取 6 mm.

试验 2 缓冲材料聚苯乙烯泡沫塑料 A 分别取 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 和 18 mm 9 种厚度,每种厚度做 3 次重复试验.

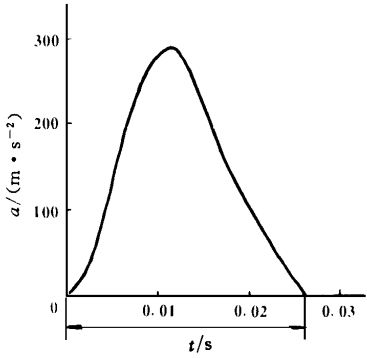


图 1 苹果碰撞过程的加速度曲线

2 结果与分析

2.1 相同厚度的不同缓冲材料对碰撞参数的影响

图 1 为苹果碰撞过程的典型加速度-时间曲线. 其峰值为最大加速度, t 为碰撞时间. 由试验可知,与苹果落至钢板相比,加了任一缓冲材料后,其接触面积增大,碰撞时间增加,最大加速度减小,因此损伤体积显著减小.

据试验数据作出碰撞时间 t 、相对接触面积 S/d^2 、最大加速度 a 、损伤体积 V 几个碰撞参数随缓冲材料弹性模量 E 变化的曲线,如图 2 所示.

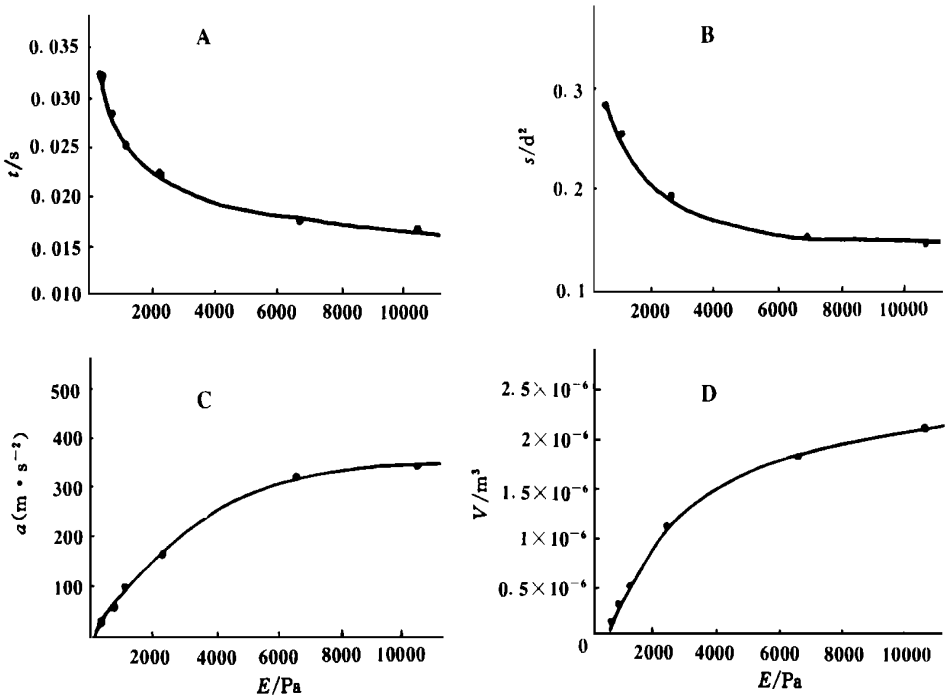


图 2 各碰撞参数与缓冲材料 E 值的关系曲线

图 2 曲线表明,随着缓冲材料 E 值的增大,碰撞时间和接触面积逐渐减小,而最大加速度与损伤体积相应增大. 且 E 值越小,对碰撞参数的影响越大. Sikei^[4]曾认为,在一定

降落高度下,随着弹性模量的增大,缓冲材料的相对变形量 Z_0/d 减小,碰撞中由加速度所产生的最大应力增大。该论点与上述研究结果是一致的。因为对于苹果与缓冲材料碰撞时的接触面积,可以近似的认为是一球冠面积(见图 3),那么有:

$$S = 2\pi RZ_0 = \pi dZ_0$$

$$S/d^2 = \pi \cdot Z_0/d$$

若材料的相对变形量 Z_0/d 减小,苹果碰撞的相对接触面积 S/d^2 则必然减小。这样使得碰撞时间变小,损伤体积增大。由此可知,缓冲材料的 E 值不同,所引起的缓冲作用与效果是不同的。在选择缓冲材料时,应考虑选择 E 值较小的材料。

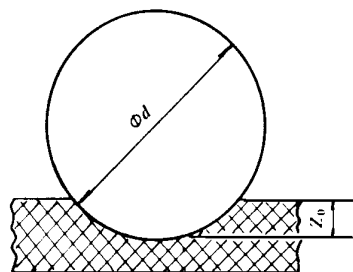


图 3 苹果与缓冲材料的碰撞

2.2 不同厚度的同一缓冲材料对碰撞参数的影响

由试验数据与曲线散点图可知,几个碰撞参数均与缓冲材料的厚度有一线性趋势。为了定量地描述其间关系,分别对其作了相关分析。

2.2.1 碰撞时间与缓冲材料厚度的关系

碰撞时间 t 与缓冲材料厚度 x 间的关系为:

$$t = 19.072 + 1.142x$$

式中, t 为碰撞时间 (ms); x 为缓冲材料厚度 (mm)

$$F_{0.05}(1, 7) = 5.59 \quad F_{0.01}(1, 7) = 12.25 \quad F = 209.76^{**}$$

$$r_{0.05}(7) = 0.666 \quad r_{0.01}(7) = 0.978 \quad r = 0.984^{**}$$

结果表明,碰撞时间与缓冲材料的厚度有着极显著的线性相关关系。在一定范围内,随着缓冲材料的厚度增加,苹果与缓冲材料的碰撞时间延长,缓冲材料所起的缓冲作用增大,苹果损伤体积减小。

2.2.2 接触面积与缓冲材料厚度的关系

碰撞中相对接触面积 S/d^2 与缓冲材料厚度 x 之间有很好的线性关系,其线性回归方程为:

$$S/d^2 = 0.178 + 0.019x$$

式中, S/d^2 为相对接触面积; x 为缓冲材料厚度 (mm)。

$$F_{0.05}(1, 7) = 5.59 \quad F_{0.01}(1, 7) = 12.25 \quad F = 368.75^{**}$$

$$r_{0.05}(7) = 0.666 \quad r_{0.01}(7) = 0.978 \quad r = 0.991^{**}$$

结果表明,碰撞中相对接触面积与缓冲材料的厚度有着极显著的线性关系。选用缓冲材料时,在一定范围内,选择较厚的材料,有利于减小苹果的损伤。

2.2.3 最大加速度与缓冲材料厚度的关系

最大加速度与缓冲材料厚度间的关系为:

$$a = 266.743 - 10.963x$$

式中, a 为最大速度 (m/s^2); x 为缓冲材料厚度 (mm)。

$$F_{0.05}(1, 7) = 5.59 \quad F_{0.01}(1, 7) = 12.25 \quad F = 368.18^{**}$$

$$r_{0.05}(7) = 0.666 \quad r_{0.01}(7) = 0.978 \quad r = -0.994^{**}$$

结果表明,最大加速度与缓冲材料的厚度呈线性负相关。随着材料厚度的增加,最大加速度相应减小。这是因为缓冲材料可吸收一定的碰撞能量,使最大加速度降低,从而减

小苹果的损伤。

2.2.4 损伤体积与缓冲材料厚度的关系 损伤体积 V 与缓冲材料厚度 x 的关系见图 4。当缓冲材料的厚度为 $2 \text{ mm} \leq x \leq 8 \text{ mm}$ 时,随着材料厚度的增加,损伤体积迅速降低至一较小值;当缓冲材料的厚度为 $8 \text{ mm} < x < 12 \text{ mm}$ 时,损伤体积从该值降低为零;当缓冲材料的厚度为 $12 \text{ mm} \leq x \leq 18 \text{ mm}$ 时,损伤体积保持为零。结果表明,缓冲材料的厚度对于减轻损伤的效果是不同的,并不是越厚越好。在 $8 \text{ mm} < x < 12 \text{ mm}$ 时缓冲效果显著。当 $x = 12 \text{ mm}$ 时,损伤体积为零,此时虽然被缓冲材料吸收后仍有一定的碰撞能量与加速度,但已不足以产生损伤。当 $x > 12 \text{ mm}$ 时,虽然此时损伤体积保持为零,但从经济价值的角度考虑则不必选择过厚缓冲材料。

对于每种缓冲材料,在一定的碰撞能量范围内,都有一个最佳厚度范围。只有了解缓冲材料的这种特性,才可既经济地利用缓冲材料,又能最大限度地减轻苹果损伤。

3 缓冲机理分析

所谓缓冲,即为物体吸收碰撞的能力。为了简化分析,选取一矩形物体来描述其碰撞缓冲材料的过程(图 5)。设缓冲材料的厚度为 x ,矩形物体与缓冲材料碰撞的接触面积为 S 。当缓冲材料受到碰撞,其变形为 z 时,缓冲材料单位体积储存的能量为:

$$E_c = \int_0^z p \, dz \quad (1)$$

式中, E_c 为缓冲材料单位体积储存的能量 ($\text{kg} \cdot \text{cm}$); p 为碰撞中缓冲材料受到的应力 (kg/cm^2); z 为缓冲材料受到的变形 (cm)。

那么,矩形物体碰撞后储存在缓冲材料的能量为:

$$E_s = x \cdot \int_0^z p \, dz \quad (2)$$

式中, E_s 为缓冲材料储存的能量 ($\text{kg} \cdot \text{cm}$); x 为材料厚度 (cm); S 为碰撞接触面积 (cm^2)。

由(2)式看,缓冲材料储存的能量与材料厚度、接触面积、缓冲材料所受的应力和材料的变形等因素有关。根据能量守恒定律,在碰撞物体与缓冲材料这个碰撞系统中,碰撞的总能量除缓冲材料吸收的能量和回弹能量外,就是被苹果吸收的能量。当缓冲材料吸收储存一定的碰撞能量后,便可减少苹果的吸收能量,延长碰撞时间,由于缓冲材料的自身变形而增大碰撞接触面积,这可显著降低最大加速度及其碰撞力,从而减小苹果的损伤。

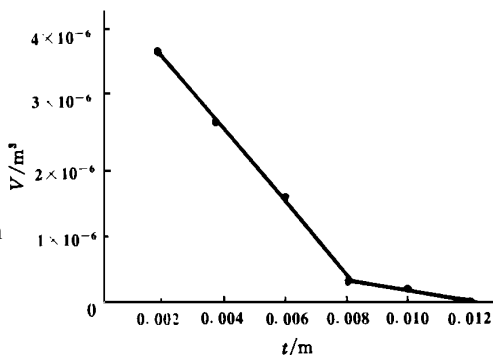


图 4 损伤体积与材料厚度之间的关系

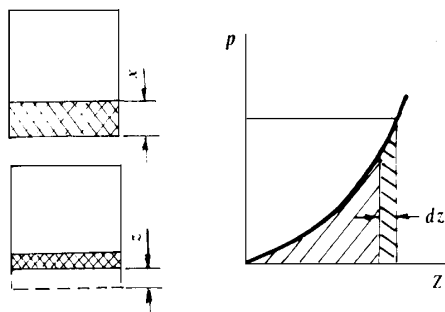


图 5 缓冲材料的力-变形曲线

4 结 论

1)不同种类和不同厚度的缓冲材料对碰撞时间、接触面积、最大加速度、损伤体积等碰撞参数有显著的影响。

2)缓冲材料的物理特性对缓冲作用影响显著。在一定范围内,当弹性模量 E 值较小时,缓冲性能较好。

3)随着缓冲材料厚度的增加,其缓冲性能变好,苹果的损伤体积随厚度的增加而减小至零。当材料厚度增加到一临界值时,损伤体积不再发生变化。所以在一定碰撞能量范围内,对于每种缓冲材料,都有一个最佳厚度范围。在选择缓冲材料时,只有综合考虑材料的种类和厚度等因素,才能经济有效地利用缓冲材料。

4)缓冲材料可吸收大量的碰撞能量,延长碰撞时间,由于缓冲材料的变形而增大碰撞接触面积,这可显著降低最大加速度及其所产生的碰撞力,从而减小苹果的碰撞损伤。

致谢: 西北农业大学机电学院 97 届学生邢会霞协助做部分试验工作,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 赵贵宝. 陕西果品能否走向国际市场. 陕西日报 (经济特刊). 1996-09-18
- 2 Sober S S, Zapp H R, Brown G K. Simulated packing line impact for apple bruise prediction. Trans ASAE, 1990, 33 (2): 629~ 636
- 3 Siyami S, Brown G K, Burgess G J et al. Apple impact bruise prediction models. Trans ASAE, 1988, 31(4): 1038~ 1045
- 4 Sitkei Gy. Mechanics of agricultural materials. Amsteden: Elsevier Science Pub. 1986, 268~ 269
- 5 孙俊华. 包装材料与包装测试技术. 广州: 暨南大学出版社, 1991
- 6 孙一源, 余登苑. 农业生物力学及农业生物电磁学. 北京: 中国农业出版社, 1996
- 7 李小昱, 王 为, 孙 骊. 农业物流变特性试验机的研制. 西北农业大学学报, 1996, 24(6): 105~ 107
- 8 刘 功, 赵延伟, 靳桂芳. 包装测试技术. 长沙: 湖南大学出版社, 1989
- 9 平幼妹, 余本农. 加载速度对两种缓冲包装材料静态压缩特性的影响. 力学与实践, 1996, 18(2): 46~ 48
- 10 李小昱, 王 为, 赵 静. 苹果碰撞损伤预测模型的研究. 西北农业大学学报, 1995, 23(2): 79~ 83
- 11 Schoorl D, Holt J E. Bruise resistance measurement in apple. Journal of Texture Studies, 1980, 11(4): 389~ 394

Bruise Reducing by Cushion Materials in Apple Impact

Li Xiaoyu Wang Wei

(The College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwestern
Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The physical properties and thickness of cushion materials have remarkable influence on impact bruise. The cushion properties keep higher when the elasticity modulus of cushion materials is lower. The impact time and contact area are reduced with the modulus of elasticity increment. In a definite scope, the impact time and contact area are linearly increased while the maximum acceleration and bruise volume reduced with the increment of thickness of cushion materials.

Key words cushion material, apple, impact bruise