

苹果运输振动损伤初探

李小昱 王 为

(西北农业大学机械电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 利用振动试验台,进行了苹果运输振动损伤的模拟试验。结果表明:当振动频率为 2 Hz,加速度 $> 1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,包装箱内与各层包装箱的加速度均大于振动台面的加速度,且由底层向顶层递增;包装箱内损伤体积中层 $>$ 底层 $>$ 顶层;这两种工况的损伤体积均随加速度的增加而线性增加;加缓冲材料可使损伤体积减少 50%。

关键词 苹果,运输,振动损伤

分类号 Q66

近年来,国内苹果生产地不断引进新品种,采用新技术,扩大种植面积,增加苹果产量。1997年,仅陕西省苹果生产面积已有 53.33 万公顷,年产量 300 多万吨^[1]。苹果的迅速商品化使运输中的振动损伤成为损失的主要因素之一^[2]。无论采用何种运输方式,路面条件、运输工具自身的原因和包装形式等都会使苹果受到振动的危害。近年来,有人研究了苹果不同排列形式与损伤的关系,并提出苹果包装箱系统的简化模型^[2,3]。本研究利用振动试验台,模拟运输振动,研究包装箱内各层苹果与包装箱之间在振动作用下的损伤规律,以期探讨减小苹果运输损伤的可能性。

1 材料和方法

1.1 试验材料

苹果品种为秦冠。直径 65.8~75.4 mm;重量 120.1~152.4 g,硬度 0.54~0.71 MPa。

1.2 试验装置

试验采用振动试验台,其试验装置及测试系统简图如图 1。

1.3 试验方法

为了研究包装箱内各层苹果及包装箱之间在振动作用下的损伤规律,分别设定 2 个试验

道路运输车辆实测表明^[2,4,5]。随机载荷的特征为,多阶主振频率的窄带随机振动过程,振动能量集中在 50 Hz 以下,在 2, 8, 15 Hz 处出现 3 个峰值,加速度最大值为 $(0.3\sim 1.5) \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 。据此,确定了试验参数的取值范围。

试验 1:采用苹果包装箱系统简化模型。文献 [3] 认为:由于在各种排列方式下平行侧壁对苹果的损伤量和损伤分布均无明显影响,因此单列苹果中苹果损伤特性与 1 点支承

收稿日期 1997-09-18

课题来源 陕西省自然科学基金资助项目, 95SW 15

作者简介 李小昱,女,1953年生,副教授

排列方式的大包装箱中苹果的损伤特性相同,单列苹果柱即为 1 点支承排列方式苹果包装箱系统的简化模型。那么该试验采用瓦楞纸做单列果柱的包装材料,以单列果柱来研究振动作用下包装箱内各层苹果的损伤特性与规律。振动频率取 2 Hz,振动时间取 30 min,其加速度分别取 0.3×9.8 , 0.7×9.8 , 1.0×9.8 , 1.2×9.8 和 $1.5 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 。上述工况分别为不加包装衬垫与加有包装衬垫两种试验。不加衬垫即模拟苹果箱内散装形式,内销苹果多为此类包装^[6]。加有衬垫即在每层苹果之间加瓦楞纸做缓冲材料,优质苹果及外销多采用此类形式^[9]。

为了更好地分析各层苹果的损伤规律,取简化模型为 6 层,在试验台面与 1, 3, 5 层(由底层到顶层)分别安装加速度传感器。

试验 2 用 4 个标准的瓦楞纸苹果包装箱装满苹果,将其叠放在试验台面上,在试验台面与 1, 2, 3, 4 层箱底(由底层到顶层)分别安装加速度传感器。振动频率取 2 Hz,振动时间取 30 min,其加速度分别取 0.5×9.8 , 0.6×9.8 , 0.7×9.8 , 0.8×9.8 , 0.9×9.8 , 1.0×9.8 , 1.2×9.8 和 $1.5 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 。在上述同样工况下,将 4 个包装箱用绳子固定捆绑在试验台上再做一组试验。

为了节省苹果,每次工况仅取各箱中同一列苹果(箱内从底层到顶层)进行更换,并测其损伤量,其余苹果仅作填充物,以模拟实际运输状况而不致改变包装箱的自振频率。

2 结果与分析

2.1 包装箱内各层苹果加速度的分布规律

由试验 1 结果知,苹果由底层到顶层的加速度依次增大,并且随着振动台加速度的增大而增大。当振动台面的加速度 $\leq 1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,各层苹果加速度的递增值不会超过振动台面的加速度。当振动台面的加速度 $> 1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,各层加速度值均以大于振动台面的加速度递增(表 1)。当加有缓冲材料时,虽然各层苹果的加速度较不加缓冲材料时小,但仍有上述振动规律。

表 1 振动台面与各层苹果的加速度

9.8 m/s^2

| 振动台面 加速度 | 无缓冲材料加速度 | | | 有缓冲材料加速度 | | |
|-------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | 1层 | 3层 | 5层 | 1层 | 3层 | 5层 |
| 0.3 | 0.265 | 0.336 | 0.407 | 0.194 | 0.283 | 0.336 |
| 0.7 | 0.442 | 0.530 | 0.707 | 0.354 | 0.442 | 0.530 |
| 1.0 | 0.554 | 0.589 | 0.917 | 0.381 | 0.564 | 0.774 |
| 1.2 | 1.414 | 1.486 | 2.033 | 1.061 | 1.145 | 1.504 |
| 1.5 | 1.679 | 1.768 | 2.212 | 1.308 | 1.500 | 1.860 |

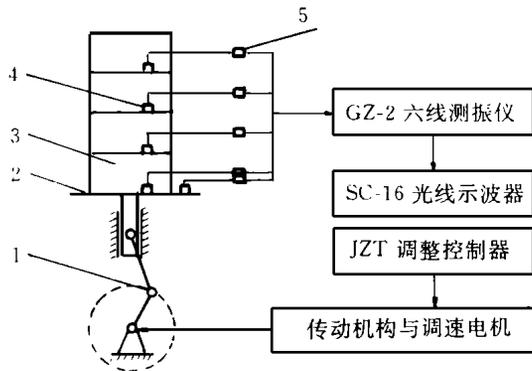


图 1 振动试验台与测试系统简图

1. 振动试验台; 2. 振动试验台面; 3. 包装箱;

4. YD-8 压电加速度传感器; 5. 阻抗变换器

由振动理论知,包装箱与缓冲材料在一定加速度范围内起了隔振与阻尼的作用。当加速度 $> 1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,问题往往转化为冲击问题^[2]。物体有弹跳,以至于加速度有较大的增加,其损伤表面明显,多为塑性变形损伤。

2.2 包装箱内各层苹果损伤体积的分布规律

在试验 1 的所有试验工况中,其损伤量为中层 $>$ 底层 $>$ 顶层。其损伤程度并不因加速度由底层向顶层递增而增大。这是因为中层的苹果既承受一定的静重,又有一定的振动与冲击,故损伤量最大;底层苹果所承受的加速度比中层小,加之其充实性较好,跳动机会少,故损伤小于中层。但其装箱高度为 6 层,大于一般的装箱层数,其静重与接触压力较顶层大,其损伤又大于顶层;而顶层的苹果与刚性较强的瓦楞纸箱盖接触,起了一缓冲作用,顶面受损减小,同时又由于装箱层数较一般略大,减小了顶层苹果的振动强度,所以顶层的损伤最小。加缓冲材料与不加缓冲材料相比,虽然前者各层的损伤体积小于后者,但苹果各层的损伤仍有上述规律。综上所述,苹果受到的振动强度取决于如下几个方面^[2,4,8]。

1) 苹果在容器中装载深度。深度过大会增加底层苹果的接触压力,深度过小时会增加顶层苹果的振动强度。

2) 苹果装箱的充实性。充实性高时苹果跳动机会少,振动损伤就可能减小。一般采用“紧装法”可减轻损伤。

3) 汽车的悬架系统形式和路面传递过来的振动量(本试验为振动试验台的激振频率)。这些决定了振动的输入特性,只有设法减小输入的振动强度,综合考虑输入特性与包装物的关系,才能减轻损伤。

4) 苹果本身的振动特性。苹果装箱后,成为一个多自由度连续体振动系统,自振频率随苹果的不同深度而变化。当外部激振频率 f_0 比苹果的自振频率 f_n 小,即 $f_0/f_n < 1$ 时,传输比较近于 1,外力就会完全传递到苹果;若 $f_0/f_n = 1$ 或接近 1,传输比就会无限大,称为共振现象,传递到苹果的外力将增大;若 $f_0/f_n > 2$,则会缓和外力,可减轻损伤。

2.3 苹果总损伤体积与振动台加速度的关系

在整个试验过程中,显然由于加了缓冲材料,损伤体积大大减小,其损伤量减小近 50%。甚至在加速度值较小时,当加有缓冲材料就不会产生损伤(表 2)。但在频率一定的情况下,无论是否加有缓冲材料,箱内 6 层苹果的总损伤体积均随着振动台加速度的增大而线性增大,这是因为振动强度是决定损伤程度的主要因素。

表 2 有无缓冲材料时苹果总损伤体积与振动台加速度的关系

mm^3

| 振动台面加速度 / 9.8 m/s^2 | 损伤体积 | |
|-------------------------------|----------|---------|
| | 无缓冲材料 | 有缓冲材料 |
| 0.3 | 221.002 | 0 |
| 0.7 | 421.964 | 190.950 |
| 1.0 | 908.942 | 505.589 |
| 1.2 | 1367.007 | 756.430 |
| 1.5 | 1597.879 | 840.572 |

2.4 包装箱之间加速度与损伤体积的分布规律

试验 2 中将 4 个装满苹果的包装箱叠放在振动试验台台面上,各层箱底加速度与振动试验台台面加速度的关系见图 2。由图 2 可知,当振动台的加速度 $< 0.9 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,

各层包装箱的加速度变化不规律,当振动台的加速度 $> 0.9 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,各层包装箱的加速度随振动台面加速度的增加而增加。且当振动台的加速度 $> 1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,各层包装箱加速度均以大于振动台面的加速度自底层向顶层递增。

当 4 层包装箱用绳子捆绑固定于振动台台面上时,其各层包装箱加速度变化趋势基本同上述情况一致。但在同工况下,将包装箱固定与不固定的情况相比,前者各层加速度均大于后者,同时从振动波形图上看,每层加速度叠加的高频成分也增多。

另外,据试验数据知,苹果各个包装箱的损伤体积与 4 箱苹果总的损伤体积均随加速度的增大而线性增大,且固定后工况的损伤体积大于未固定的工况。这与通常认为用绳子将多层箱子捆绑固定后可使振动加速度减小,从而使损伤减轻的想法相悖。这是因为将各层箱子捆绑固定后增大了它的有效弹性系数,使其固有频率发生变化所致^[9]。

如前所述,振动系统是一个复杂的系统,外部激振频率 f_0 与包装系统的固有频率 f_n 存在一合适的关系,由于该比值的不同,可能使外力完全传递到包装物上,可能使外力被吸收一部分,也可能使包装物上承受的外力放大。只有使 $f_0/f_n > \sqrt{2}$,才具有最佳传输比,这样可减轻苹果的损伤。

在实际运输中,道路车辆载荷所形成的振动系统,应包括道路轮廓,车辆的轮胎、悬架和底盘,以及构成载荷的果品、包装和缓冲层等^[10]。所以,应综合考虑这些因素,才能有效地减轻损伤。

3 结论与讨论

1) 当振动频率为 2 Hz,其加速度分别为 $(0.3 \sim 1.5) \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,包装箱内苹果由底层到顶层的加速度依次增大,并随振动台加速度的增大而增大。当振动台加速度小于 $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,各层加速度的递增值不超过输入值,当加速度大于 $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,各层加速度递增值大于输入值。那么在实际运输中应使振动强度尽可能控制在 $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 以内。

2) 在上述工况下,包装箱内损伤体积为中层 $>$ 底层 $>$ 顶层。这与苹果的装箱深度、装箱的充实性、振动的输入特性以及苹果本身的自振频率等因素有关。但其 6 层总损伤体积随加速度的增大而线性增大,且加缓冲材料后可使损伤体积减小近 50%。

3) 振动频率为 2 Hz,加速度范围为 $(0.5 \sim 1.5) \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时,当振动台加速度小于 $0.9 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 各层包装箱的加速度变化规律较复杂,当振动台的加速度大于 0.9×9.8

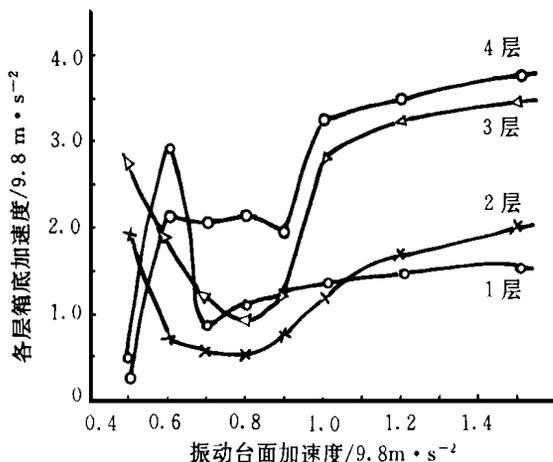


图 2 各层箱底加速度与振动台面加速度的关系

m/s^2 , 各层包装箱的加速度随振动台加速度的增加而增加。且当振动台的加速度 $> 1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 时, 各层包装箱的加速度均以大于振动台面的加速度自底层向顶层递增。

4) 各包装箱损伤体积与 4 箱总损伤体积均随加速度的增加而线性增加, 当包装箱用绳子捆绑固定后其加速度与损伤体积均大于未固定情况。所以仅捆绑固定包装箱并不能减轻损伤。

5) 振动系统是一个复杂的系统, 外部激振频率与包装系统的固有频率之间有一最佳比例关系, 这样才可获得合适的传输比, 减小传递到包装物的外力。而外部输入特性以及包装物的特性如缓冲材料与形式等诸多因素影响这一比例关系, 只有综合考虑这些因素, 才能有效地减轻苹果损伤。这有待于今后做更深入的研究。

参 考 文 献

- 1 欣 华. 大西北——我国农业开发新热点. 中国农机化报, 1995-05-10(3)
- 2 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. 238~ 243
- 3 单明彻, 徐 朗. 苹果的机械特性和机械损伤. 农业机械学报, 1988, 19(2): 72~ 78
- 4 刘 功, 赵延伟, 靳桂芳. 包装测试技术. 长沙: 湖南大学出版社, 1989. 50~ 310
- 5 陈元生, 潘 见, 高良润, 等. 草莓疲劳损伤试验研究. 农业机械学报, 1990, 21(1): 75~ 81
- 6 习 越. 出口蔬菜水果的运输包装. 国际市场, 1989, 7: 18~ 20
- 7 李生阳. 国外蔬菜水果包装. 商品包装, 1987, 3: 25~ 27
- 8 Mohsenin N N. Physical properties of plant and animal materials (2nd ed). New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 560~ 565
- 9 Peleg K, Hinga S. Simulation of vibration damage in produce transportation. Trans ASAE, 1986, 29(2): 633~ 641
- 10 Jones C S, Holt J E, Schoorl D. A model to predict damage to horticultural produce during transport. J Agric Engng Res, 1991, 50(4): 259~ 272

Simulation of Vibration Damage in Apple Transportation

Li Xiaoyu Wang Wei

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

Abstract Simulated tests of vibration damage in apple transportation were performed by using vibration testing machines. The results indicated that the acceleration in packing box and between box layers increased not only from the bottom to top but also greater than that of the vibration table, when the frequency was 2 Hz and the acceleration above $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$. The middle layer damage volume in packing box was more serious than that of the bottom and the bottom still more than that of the top. The damage volume showed an linearity increment with the acceleration increase. With cushion materials the damage volume could be reduced by 50% .

Key words apple, transportation, vibration damage