



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 8166—2011  
代替 GB/T 8166—1987

## 缓冲包装设计

Package cushioning design

2011-12-05 发布

2012-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 ..... I

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 要求 ..... 2

5 设计程序 ..... 3

6 设计方法 ..... 3

7 应用技术 ..... 5

8 试验..... 12

附录 A (资料性附录) 缓冲系数的计算 ..... 14

附录 B (资料性附录) 缓冲包装设计计算示例 ..... 17

附录 C (资料性附录) 最大加速度-静应力曲线 ..... 22

附录 D (资料性附录) 振动传递率-频率特性曲线 ..... 23

北京西科 & Lansmont 国际一流  
包装测试设备 [www.wtc.net.cn](http://www.wtc.net.cn)

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准参考美军标 MIL-HDBK-304C:1997《缓冲包装设计》。

本标准代替 GB/T 8166—1987《缓冲包装设计方法》。

本标准与 GB/T 8166—1987 相比,除编辑性修改外主要技术变化如下:

- 标准名称修改为“缓冲包装设计”;
- 增加了规范性引用文件的内容;
- 修改了要求、缓冲包装设计程序的有关内容;
- 修改了缓冲包装设计方法中的部分内容;
- 增加了缓冲包装设计应用技术的内容,并将原标准中缓冲结构设计的内容并入缓冲包装设计应用技术的内容中;
- 明确了缓冲包装需进行的试验项目,完善了试验方法的内容;
- 删除了缓冲包装的考核、缓冲包装成本的内容;
- 删除了原标准中的附录 A,增加了附录 C 和附录 D。

本标准由全国包装标准化技术委员会(SAC/TC 49)提出并归口。

本标准起草单位:厦门合兴包装印刷股份有限公司、深圳市美盈森环保科技股份有限公司、中机生产力促进中心、无锡前程木业包装有限公司、赛闻(苏州)工业有限公司。

本标准主要起草人:黄雪、张波涛、蔡少龄、刘萍、徐平、徐夔、彭国勋、陈利科。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 8166—1987。

# 缓冲包装设计

## 1 范围

本标准规定了缓冲包装设计的要求、设计程序、设计方法、应用技术、试验等内容。  
本标准适用于非线性弹性材料的缓冲包装设计。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4768 防霉包装

GB/T 4857.5 包装 运输包装件 跌落试验方法

GB/T 4857.7 包装 运输包装件基本试验 第7部分:正弦定频振动试验方法

GB/T 4857.10 包装 运输包装件基本试验 第10部分:正弦变频振动试验方法

GB/T 4857.11 包装 运输包装件基本试验 第11部分:水平冲击试验方法

GB/T 4857.15 包装 运输包装件 可控水平冲击试验方法

GB/T 4857.23 包装 运输包装件 随机振动试验方法

GB/T 8167 包装用缓冲材料动态压缩试验方法

GB/T 8168 包装用缓冲材料静态压缩试验方法

GB/T 8169 包装用缓冲材料振动传递特性试验方法

GB/T 8171 使用缓冲包装材料进行的产品机械冲击脆值试验方法

GB/T 16266 包装材料试验方法 接触腐蚀

GJB/Z 85 缓冲包装设计手册

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**脆值 fragility**

产品不发生物理损伤或功能失效所能承受的最大加速度值,通常用临界加速度与重力加速度的比值 $[G_m]$ 表示。

### 3.2

**许用脆值 permissible fragility**

根据产品的脆值,并考虑到产品的价值、强度偏差、重要程度等而规定的产品允许的最大加速度值,以 $[G]$ 表示。

### 3.3

**等效跌落高度 equivalent drop height**

为了比较流通过程中产生的冲击强度,将冲击速度视为自由落体的碰撞速度,由此而计算出的自由跌落高度,以 $[H]$ 表示。

### 3.4

**最大应力 maximum stress**

单位面积缓冲材料所受到的外力的最大值,以 $[\sigma_m]$ 表示。

### 3.5

**缓冲系数 cushioning coefficient**

作用于缓冲材料上的应力与该应力下单位体积缓冲材料所吸收的冲击能量之比,以 $[C]$ 表示。

## 4 要求

### 4.1 基本要求

4.1.1 缓冲包装应能保护产品的性能和形态。

4.1.2 缓冲包装应能减小传递到产品上的冲击、振动等外力或能分散作用在产品上的应力。

4.1.3 缓冲包装应能防止产品之间的相互摩擦或撞击。

4.1.4 缓冲包装应能防止产品在包装容器内过度移动。

4.1.5 缓冲包装应能保护其他防护包装。

### 4.2 缓冲包装设计因素

影响缓冲包装设计的因素如下:

- a) 产品的许用脆值、形状、尺寸、质量、体积、重心、数量以及产品的其他特性;
- b) 流通环境条件,如运输区间、运输方式、装卸方式、装卸次数、等效跌落高度、冲击方向、气候条件、贮存条件、堆码层数等;
- c) 包装材料的特性及其对环境的影响;
- d) 外包装容器的结构、形状、材质及强度;
- e) 封缄材料的特性;
- f) 包装的工艺性;
- g) 其他防护包装方法,如防潮、防水、防锈、防尘等;
- h) 缓冲包装的经济效益。

### 4.3 缓冲材料的选择

4.3.1 选择的缓冲材料,其性能应符合有关标准的规定。

4.3.2 考虑下列有关因素,并根据使用目的选择缓冲材料:

- a) 材料的冲击、振动隔离性能好,能够有效地减小传递到产品上的冲击与振动;
- b) 压缩蠕变小;
- c) 永久变形小;
- d) 在冲击和振动作用下,不易发生破碎;
- e) 可耐受一定程度的弯折;
- f) 在冲击和振动作用下,与产品直接接触的材料不应擦伤产品的表面;
- g) 材料的使用温湿度范围宽;
- h) 材料在较湿的环境中与产品直接接触时不发生腐蚀;
- i) 长期在高湿环境中存放,材料不发生霉变;
- j) 材料不因吸湿、吸水而使缓冲性能发生较大变化;
- k) 材料与产品的涂覆层、表面处理层等不发生化学反应;

- l) 材料与油脂类接触时,不应发生变质;
- m) 材料易于制造、加工、运输及进行包装作业;
- n) 材料对环境的影响尽可能小;
- o) 其他有关性能。

## 5 设计程序

5.1 确定所有有关的要素,包括产品的特性、质量、脆值、尺寸及其他特点(如凸起部分或非支撑表面等)、产品的数量、预计的运输环境条件(尤其是跌落高度、包装容器冲击部位、大气条件以及运输方式等)。

5.2 确定防护产品最经济的缓冲包装材料及方法,包括:

- a) 确定哪种缓冲材料及应用方法能提供足够的保护;
- b) 确认所考虑的材料是否满足最起码的性能要求,如压缩强度、拉伸强度、恢复能力、破碎粉化性、温湿度稳定性等;
- c) 计算最经济的缓冲材料及应用方法。

5.3 计算或估算需要用来补偿蠕变的缓冲衬垫的厚度余量。

5.4 如果在步骤 5.2)的 c)中没有计算,则利用应力-应变曲线计算缓冲材料的变形量进而计算包装容器的内尺寸。

5.5 用试验设备对装有实际产品或模拟产品的完整包装件进行冲击和(或)振动试验。如果使用了实际的产品,则要在试验前后分别进行产品的外观检查和功能试验,用以确认包装的合理性。

## 6 设计方法

6.1 缓冲包装设计方法,一般包括冲击防护设计方法和振动防护设计方法。首先应进行冲击防护设计,再进行振动防护设计,并根据实际情况考虑其他因素进行适当修正。

### 6.2 冲击防护设计方法

#### 6.2.1 缓冲系数-最大应力曲线的应用

6.2.1.1 计算缓冲材料所受到的最大应力,见式(1):

$$\sigma_m = [G] \frac{W}{A} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\sigma_m$  ——最大应力,单位为帕(Pa);

$[G]$  ——产品的许用脆值,单位为重力加速度的倍数;

$W$  ——产品的重力,单位为牛(N);

$A$  ——缓冲材料的受力面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

6.2.1.2 在缓冲系数-最大应力曲线上找出对应的最大应力值的点。如果在该值附近选择缓冲系数最小的材料,则所需要的材料厚度为最小。

6.2.1.3 若已选定某种缓冲材料,而要求该缓冲材料的厚度为最小,则在该材料的缓冲系数-最大应力曲线上找出缓冲系数为最小值时的最大应力,由此确定缓冲材料的受力面积。

6.2.1.4 计算缓冲材料的厚度,见式(2):

$$\gamma = C \frac{H}{[G]} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$T$  ——厚度,单位为毫米(mm);

$C$  ——缓冲系数;

$H$  ——等效跌落高度,单位为毫米(mm);

$[G]$ ——产品的许用脆值,单位为重力加速度的倍数。

6.2.1.5 缓冲系数的计算,参见附录 A。应用缓冲系数-最大应力曲线进行缓冲包装设计计算,参见附录 B。

6.2.2 最大加速度-静应力曲线的应用

6.2.2.1 计算缓冲材料所受到的静应力,见式(3):

$$\sigma_{st} = \frac{W}{A} \times 10^6 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\sigma_{st}$ ——静应力,单位为帕(Pa);

$W$ ——产品的重力,单位为牛(N);

$A$  ——缓冲材料的受力面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

6.2.2.2 找出所需缓冲材料相应跌落高度的最大加速度-静应力曲线。

6.2.2.3 采用全面缓冲包装方法时,在最大加速度-静应力曲线上找出许用脆值与静应力的交点,由此确定缓冲材料的厚度。当许用脆值与静应力的交点位于不同厚度两条曲线中间时,可用内插法确定缓冲材料的厚度。但有时这不能提供足够保护的最小厚度,可采用 6.2.2.4 的局部缓冲包装方法,确定使用更小厚度衬垫的可能性。

6.2.2.4 采用局部缓冲包装方法时,通过许用脆值与静应力的交点作一条与横轴平行的直线,当它和同一条曲线有两个交点时,若选择静应力较大的点,则所需的缓冲材料较少。选择静应力较大的点还是静应力较小的点应根据防振效果而定,再将确定的静应力代入式(3)即可计算出部分缓冲包装时缓冲材料的承载面积。

6.2.2.5 缓冲材料的承载面积与厚度的关系不满足式(4)时,会使缓冲材料发生弯曲(见图 1)应进行评估并予以修正,但采用面衬垫以外的应用方法时,可以不予考虑。

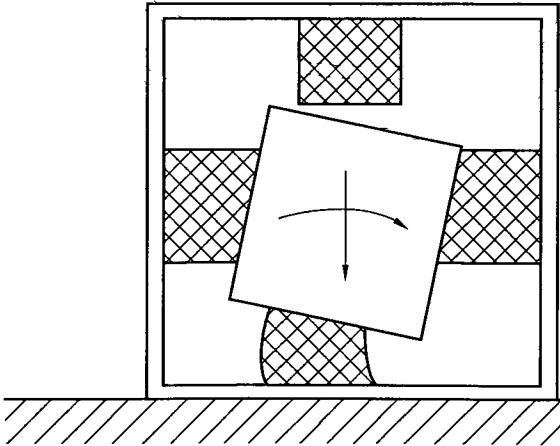


图 1 缓冲材料的弯曲

$$A_{min} > (1.33T)^2 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$A_{\min}$ ——最小承载面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$T$  ——缓冲材料的初始厚度,单位为毫米(mm)。

6.2.2.6 当产品可能受到角冲击时,可通过试验验证对缓冲材料的尺寸进行修正。

6.2.2.7 如果已知缓冲材料的蠕变特性,则应按式(5)对缓冲材料厚度进行修正。

$$T_e = T(1 + C_r) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$T_e$ ——修正后缓冲材料的厚度,单位为毫米(mm);

$T$  ——缓冲材料的初始厚度,单位为毫米(mm);

$C_r$ ——蠕变系数,%。

6.2.2.8 由于不同的温湿度条件下缓冲材料的缓冲性能存在着差异,应根据流通过程中可能出现的环境条件对缓冲材料的尺寸进行修正。

6.2.2.9 应用最大加速度-静应力曲线进行缓冲包装设计计算,参见附录 B。

### 6.3 振动防护设计方法

6.3.1 按式(3)计算缓冲材料的静应力值。

6.3.2 找出静应力值所对应的缓冲材料振动传递率-频率特性曲线,并求出该曲线的峰值所对应的传递率  $T_r$  及频率(即共振频率)  $f_0$ 。

6.3.3 确定在流通过程中包装件在频率  $f_0$  时受到的最大振动加速度  $G_0$ 。

6.3.4 计算产品在共振时的最大响应加速度  $G_{\max}$ ,见式(6):

$$G_{\max} = T_r \cdot G_0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$G_{\max}$ ——产品的最大响应加速度,单位为米每平方秒( $\text{m/s}^2$ );

$G_0$  ——包装件在频率  $f_0$  时受到的最大加速度,单位为米每平方秒( $\text{m/s}^2$ );

$T_r$  ——缓冲材料在频率  $f_0$  时的振动传递率。

6.3.5 产品上的最大响应加速度应小于产品的许用脆值。如果不满足这一条件,应按 6.2、6.3 的方法重新进行设计。

6.3.6 即使产品上的最大响应加速度已经满足 6.3.5,但当该加速度接近产品的许用脆值、或由于振动加速度的反复作用可能导致产品疲劳损伤或缓冲材料的性能降低时,应按 6.2、6.3 再进行设计,以进一步减小产品的振动响应。

6.3.7 对于产品本身的固有频率,其固有频率下的响应加速度也应小于产品的许用脆值,并按 6.3.1~6.3.6 的步骤进行考虑。

6.3.8 应用振动防护设计方法进行缓冲包装设计计算,参见附录 B。

## 7 应用技术

### 7.1 一般缓冲技术

#### 7.1.1 全面缓冲

全面缓冲是利用缓冲材料对产品的所有面进行防护(见图 2)。



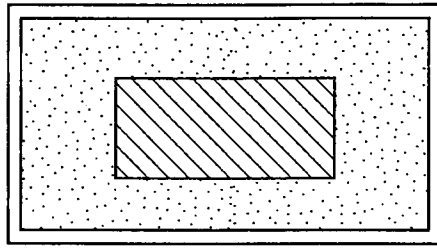


图 2 全面缓冲

### 7.1.2 局部缓冲

设计得当的局部衬垫能有效地保护产品,如角衬垫(见图3)能有效地保护有方角的产品(或封闭在一个容器中的不规则形状的产品)。

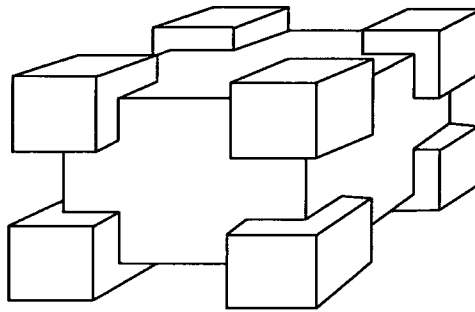


图 3 局部缓冲

## 7.2 支撑面积调节技术

### 7.2.1 要求

最佳承载范围的缓冲材料常常要求缓冲衬垫尺寸不同于产品的支撑面的尺寸。例如通过调节缓冲支撑面积以防止轻的产品脱离缓冲衬垫、重的产品触底,从而减少冲击时的最大加速度,调节的一般方法见7.2.2、7.2.3。

### 7.2.2 增加支撑面积

通常用较硬的瓦楞纸板、胶合板或多层板作支撑平板以增加缓冲衬垫对产品的支撑面积[见图4a)]。平板应具有足够的刚性,以便均匀地分担载荷。

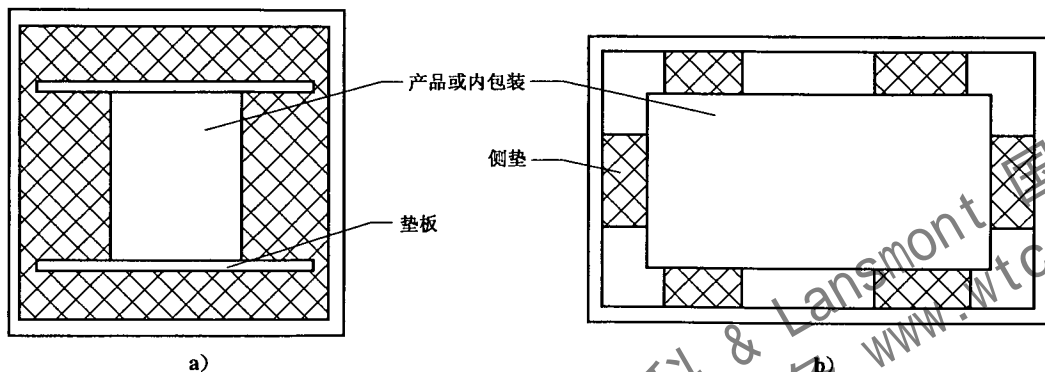


图 4 受力面积的调整

### 7.2.3 减小支撑面积

减小缓冲衬垫对产品支撑面积的简便方法是减小衬垫的尺寸。但是,既要减小衬垫尺寸又要保持衬垫的理想位置以使产品在冲击过程中不致于翻滚。可使用以下三种方法:

- 角衬垫(见图 3);
- 将面衬垫粘接于外包装容器的内面的合适部位[见图 4b];
- 用波纹缓冲衬垫全面缓冲(见图 5)。衬垫一般采用发泡聚氨酯,也可采用其他发泡材料,因为产品只接触波纹衬垫的顶部,所以它可以减少支撑面积。

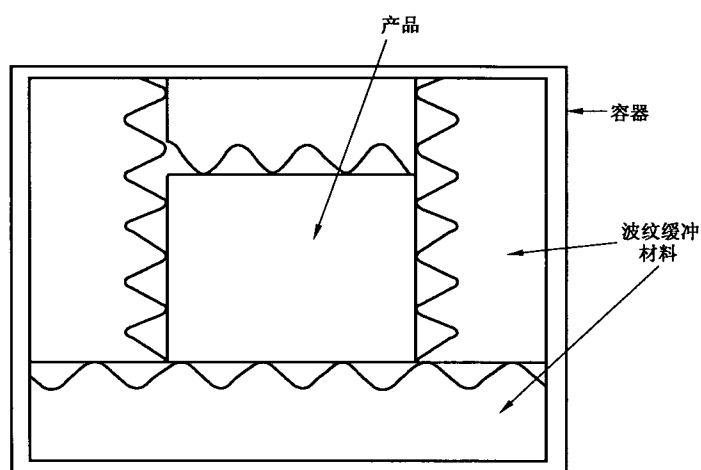


图 5 减小支撑面积用的波纹缓冲衬垫

### 7.3 不规则形状产品的缓冲

不规则形状产品的缓冲常有一些特殊问题,特别是产品带有凸出部分的易碎件,可以使用以下两种解决方法:

- 悬浮或用缓冲材料直接缓冲;
- 将产品固定或支撑在内包装容器内,再用缓冲材料加以保护。

无论使用何种方法,基本要求是用有足够厚度的缓冲材料来保护凸出部分,使其不致于破坏或触底。因此,缓冲材料的有效厚度应是从外包装容器到产品最外边的凸出部分而不是产品主体(见图 6)。

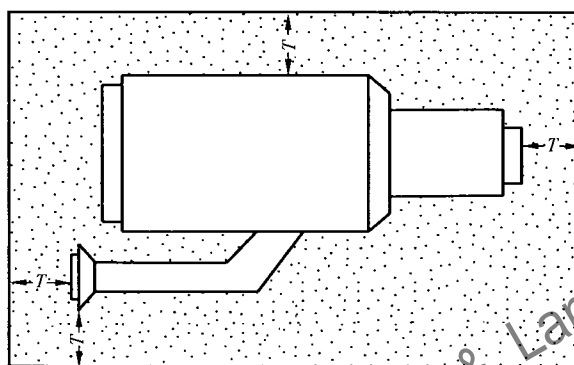


图 6 具有凸出部分产品的缓冲

### 7.3.1 直接缓冲

#### 7.3.1.1 预制衬垫的使用

小的、轻的、不规则形状的产品常常用缓冲材料悬浮或全面缓冲。许多常用缓冲材料的预制衬垫可以满足这种要求(见图 7)。

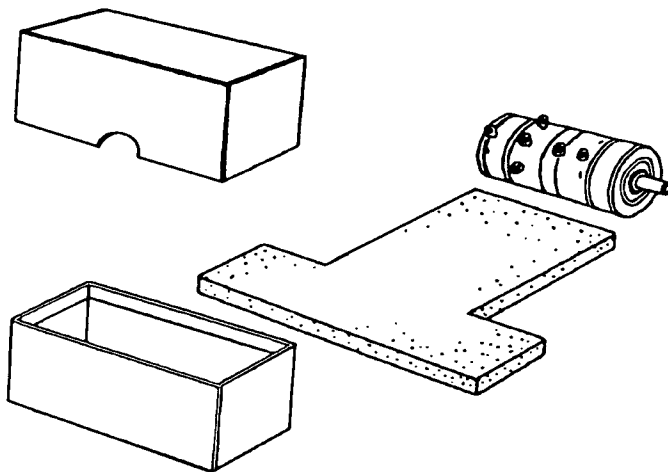


图 7 使用预制衬垫固定不规则形状的产品

#### 7.3.1.2 模制衬垫的使用

胶粘纤维、聚乙烯、聚丙烯和其他材料制成的模制衬垫可以用来固定和保护产品(见图 8)。

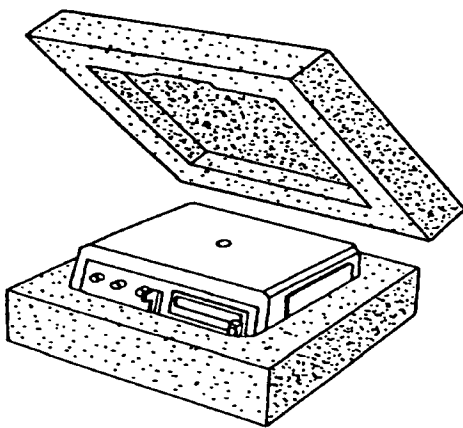


图 8 模制缓冲衬垫的应用

### 7.3.2 间接缓冲

某些产品带有凸起易碎的零部件如:按钮、开关、机架等。由于产品的这一特性,需将这类产品先安装于胶合板、木板、纸板制成的板架或纸盒中,这样不仅可以防止外露的易碎件破损,也可以使载荷更均匀地分布,还可以简化缓冲设计计算。

用于固定产品的几种常用材料:

- 纤维板和模切纸板(见图 9);
- 模制或切割的硬质材料,如某些发泡聚氨酯等(见图 10);

- c) 瓦楞纸板(见图 11);
- d) 瓦楞纸板衬垫和可以紧固产品的底板(见图 12);
- e) 纸浆模塑;
- f) 各种材料的组合。

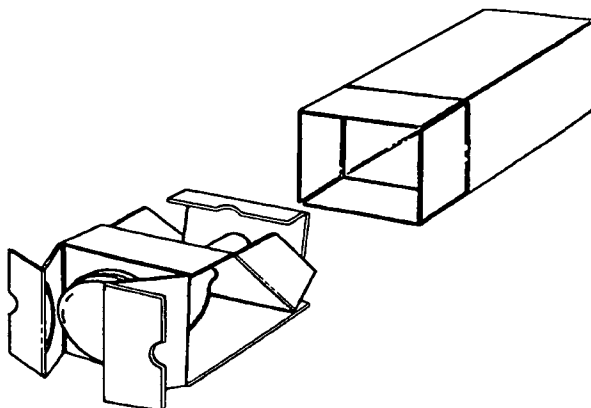


图 9 使用可折叠的模切瓦楞纸板固定产品

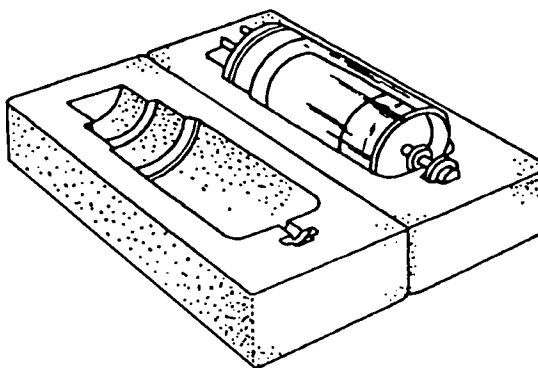


图 10 使用模制或切割的硬质材料固定产品

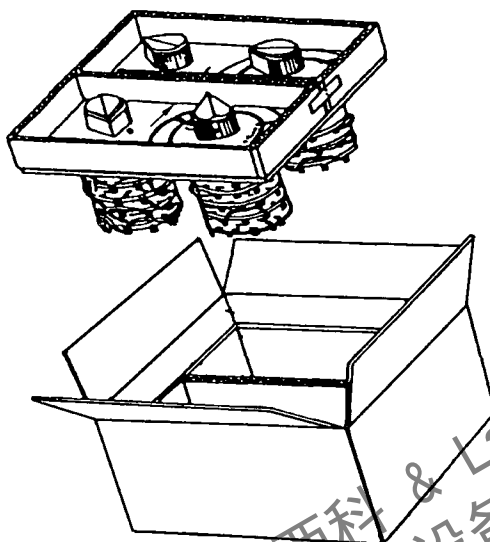


图 11 使用瓦楞纸板固定产品

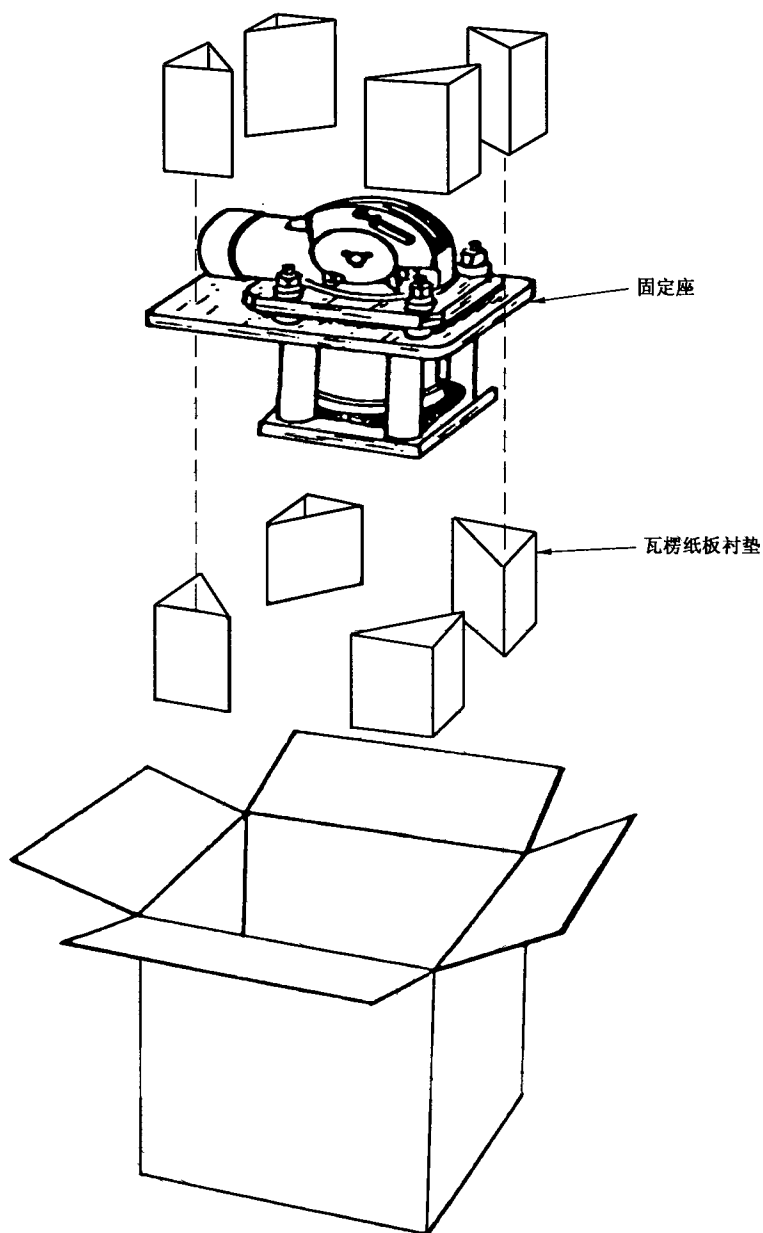


图 12 使用瓦楞纸板衬垫和木质固定座固定产品

## 7.4 衬垫的应用技术

### 7.4.1 空隙填充

用各种松散填充材料,如各种形状颗粒或条状的缓冲材料塞满包装箱的空隙可起到缓冲作用,但应保证封顶时在材料上施加一定的压力。有些裹包材料,如纤维素垫、发泡聚氨酯、发泡聚丙烯网和薄片、气泡塑料薄膜等也可以用于包装箱中填塞空隙。

### 7.4.2 产品凸出部位的衬垫保护

产品的凸出部位可用衬垫材料包裹或衬垫进行保护。

## 7.5 其他的应用技术

### 7.5.1 小型产品的缓冲

体积小、形状类似的一系列产品可采用分层缓冲(见图 13)。

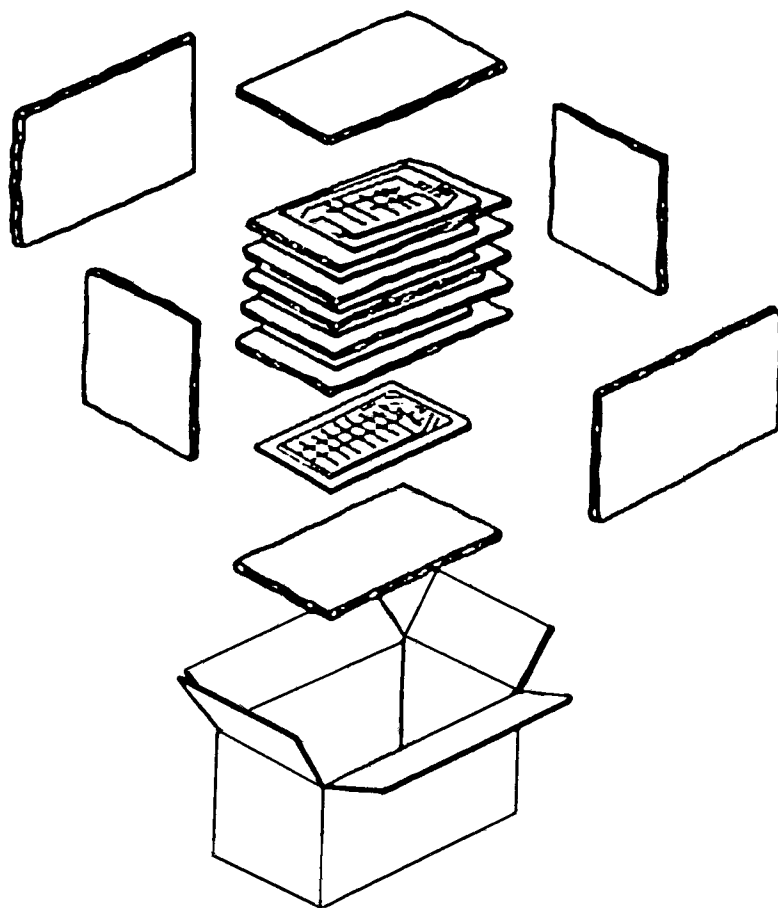


图 13 分层缓冲

### 7.5.2 大型产品中脆性零件的缓冲

较大产品中的脆性零部件可与产品本身分离并单独包装。这种技术可对实际需要保护的零部件提供专门的保护,但拆下产品的零部件需要获得授权,而且所有的元件应清楚地贴上标签。

### 7.5.3 使用缓冲材料防止产品磨损

有些产品有抛光或涂漆的表面,要求在运输过程中使用缓冲材料避免磨损。图 14 中,缓冲材料放在捆扎带下,以防止电子控制台的表面磨损。

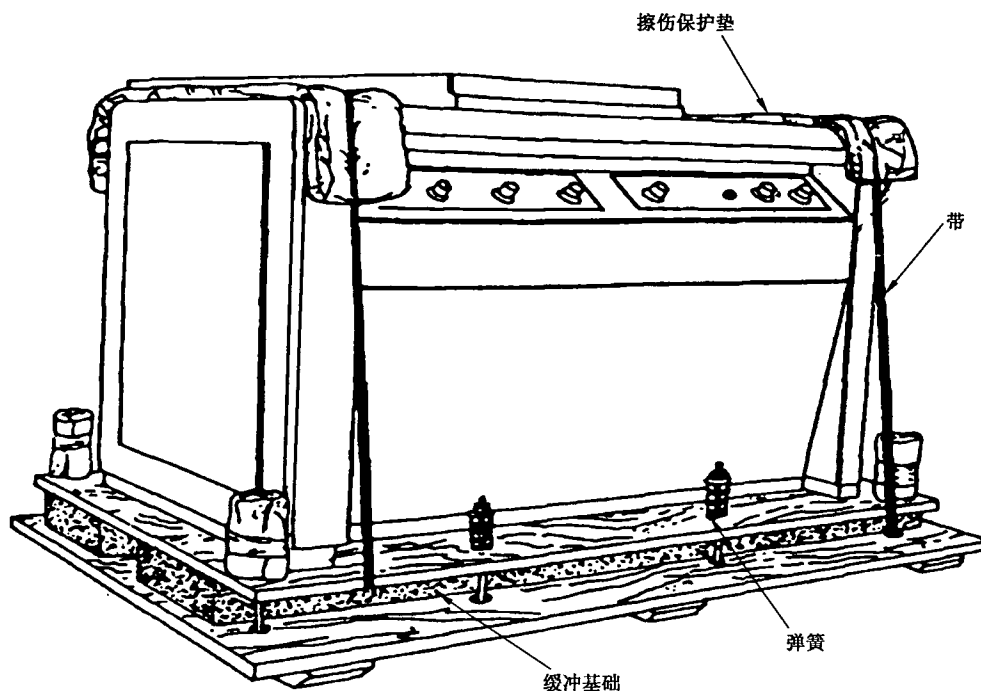


图 14 缓冲防止磨损及缓冲底座

#### 7.5.4 缓冲底座或垫木

由于许多大型产品常常在运输过程中保持正置,只要求底部缓冲,因此可将产品固定在缓冲底座或垫木上(见图 14)。除了起到冲击和振动隔离作用外,缓冲底座还作为整个包装容器的一部分。

#### 7.5.5 现场发泡

用发泡设备或其他方式,将不同组分发泡材料的混合物注入模具或产品与容器之间,使其发泡并固化,形成缓冲衬垫的一种包装方法。

### 8 试验

#### 8.1 缓冲材料试验

根据缓冲材料的性能、产品要求、用户要求等内容选择进行下列试验。

##### 8.1.1 缓冲材料的常规测定

缓冲材料的常规测定包括尺寸、密度和含水率的测定,按 GJB/Z 85 的有关规定进行。

##### 8.1.2 缓冲材料的特性试验

###### 8.1.2.1 动态压缩试验

缓冲材料的动态压缩试验按 GB/T 8167 的有关规定进行。

###### 8.1.2.2 静态压缩试验

缓冲材料的静态压缩试验按 GB/T 8168 的有关规定进行。

#### 8.1.2.3 振动传递特性试验

缓冲材料的振动传递特性试验按 GB/T 8169 的有关规定进行。

#### 8.1.2.4 摩擦试验

缓冲材料的摩擦试验按 GJB/Z 85 的有关规定进行。

#### 8.1.2.5 蠕变试验

#### 8.1.2.6 拉伸试验

缓冲材料的拉伸试验按 GJB/Z 85 的有关规定进行。

#### 8.1.2.7 破碎粉化试验

缓冲材料的破碎粉化试验按 GJB/Z 85 的有关规定进行。

#### 8.1.2.8 防霉试验

缓冲材料的防霉试验按 GB/T 4768 的有关规定进行。

#### 8.1.2.9 湿热试验

缓冲材料的湿热试验按 GJB/Z 85 的有关规定进行。

#### 8.1.2.10 挠性试验

缓冲材料的挠性试验按 GJB/Z 85 的有关规定进行。

#### 8.1.2.11 接触腐蚀试验

缓冲材料的接触腐蚀试验按 GB/T 16266 的有关规定进行。

### 8.2 缓冲包装件试验

#### 8.2.1 原则

评定缓冲包装件在受到外力冲击作用下包装对内装物的保护能力时,可选择进行下列试验。

#### 8.2.2 跌落试验

缓冲包装件跌落试验按 GB/T 4857.5 的有关规定进行。

#### 8.2.3 振动试验

缓冲包装件振动试验按 GB/T 4857.7、GB/T 4857.10 或 GB/T 4857.23 的有关规定进行。

#### 8.2.4 水平冲击试验

缓冲包装件水平冲击试验按 GB/T 4857.11 或 GB/T 4857.15 的有关规定进行。

#### 8.2.5 脆值试验

缓冲包装件脆值试验按 GB/T 8171 的有关规定进行。



附录 A  
(资料性附录)  
缓冲系数的计算

A.1 跌落时产品的运动

包装件跌落时产品的运动状态可以用图 A.1 所示的自由落体的模型来表示,如果不计空气阻力及其他摩擦力,按物体的位置势能全部转换为缓冲材料变形的能量来考虑,运动的规律可以由式(A.1)描述。

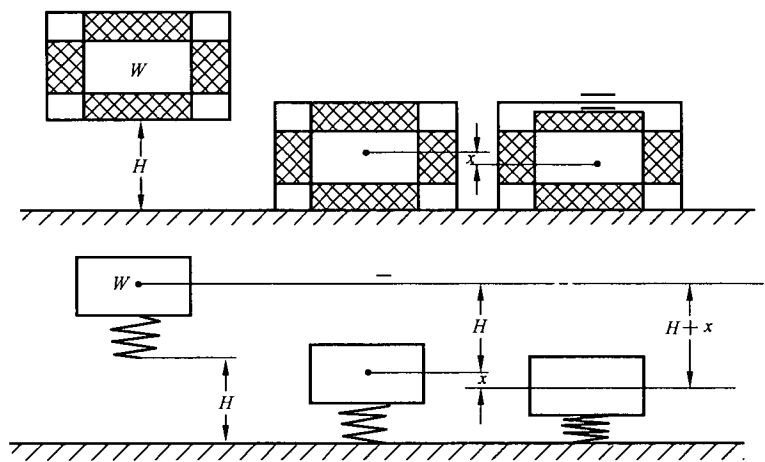


图 A.1 产品自由落体的模型

$$\frac{1}{2}mv^2 + \int_0^x Fdx = W(H + x) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:  
 $m$  —— 物体的质量,单位为千克(kg);  
 $v$  —— 压缩缓冲材料的速度,单位为米每秒(m/s);  
 $F$  —— 作用在缓冲材料上的力,单位为牛(N);  
 $x$  —— 缓冲材料的变形量,单位为米(m);  
 $H$  —— 物体的跌落高度,单位为米(m);  
 $W$  —— 物体的重力,单位为牛(N)。

当物体的运动速度  $v=0$  时的瞬间,由式(A.1)得:

$$\int_0^{x_m} Fdx = W(H + x_m) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:  
 $x_m$  —— 缓冲材料的最大变形量,单位为米(m)。

上式表明,自由跌落过程中物体的势能全部被缓冲材料所吸收,所以  $\int_0^{x_m} Fdx$  表示了缓冲材料所吸收的能量,它等于受到冲击的缓冲材料在变形过程中所承受的力  $F$  与变形量  $x$  的积分值,相当于由静态压缩试验得到的力-变形曲线与横轴之间围成的面积。由上式可知,如果物体的重力  $W$  和跌落高度

$H$  已经确定,则缓冲材料吸收的能量也是一定的。

## A.2 缓冲系数

如前所述,跌落时物体的能量全部被缓冲材料所吸收,所以式(A.2)可以进一步表示成如下形式:

$$W(H + x_m) = \int_0^{x_m} F dx = TAe \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$e = \int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$e$  ——单位体积缓冲材料吸收的能量,单位为焦耳每立方米(J/m<sup>3</sup>);

$\sigma$  ——应力,  $\sigma = \frac{F}{A}$ , 单位为帕(Pa);

$\epsilon$  ——应变,  $\epsilon = \frac{x}{T}$ ;

$\epsilon_m$  ——最大应变,  $\epsilon_m = \frac{x_m}{T}$ ;

$A$  ——面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);

$T$  ——厚度,单位为米(m)。

以  $\frac{\sigma_m}{e}$  的值表示缓冲材料的缓冲效率,这个比值称为缓冲系数,即:

$$C = \frac{\sigma_m}{e} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$C$  ——缓冲系数;

$\sigma_m$  ——缓冲材料达到最大变形量时所受到的最大应力,单位为帕(Pa)。

因为作用在缓冲材料上的力在数值上等于作用于产品上的力,根据牛顿运动规律,得:

$$F_m = ma_m = WG \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$F_m$  ——缓冲材料达到最大变形量时作用于产品上的力,单位为牛(N);

$a_m$  ——缓冲材料达到最大变形量作用于产品上的最大加速度,单位为米每平方秒(m/s<sup>2</sup>);

$G = \frac{a_m}{g}$ ,  $g$  为重力加速度。

所以,

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} = \frac{WG}{A} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

令  $G = [G]$ , 则

$$\sigma_m = \frac{W[G]}{A} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

$[G]$  ——产品的许用脆值。

将式(A.5)、式(A.8)代入到式(A.3)中,则可求出缓冲材料的厚度  $T$ 。由于缓冲材料的变形量  $X_m$  远远小于跌落高度  $H$ ,通常忽略不计。故得:

$$T = \frac{WH}{Ae} = \frac{H\sigma_m}{[G]e} = C \frac{H}{[G]} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

由式(A.5)可知,缓冲系数  $C$  是最大应力  $\sigma_m$  或最大应变  $\epsilon_m$  的函数,所以可表示为缓冲系数-最大应

力或缓冲系数-最大应变曲线,通常使用前者。

A.3 缓冲系数的求法

由静态压缩试验作出的应力-应变曲线,可以按下述的方法计算缓冲系数。

A.3.1 将应力-应变曲线下的面积分割为若干个小区域,如图 A.2 所示。

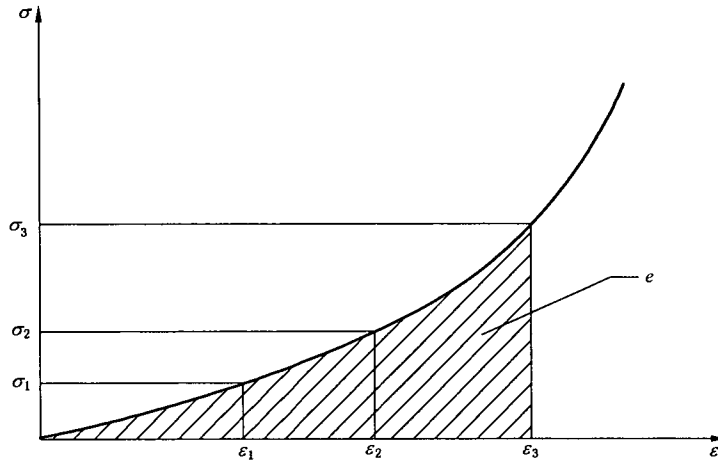


图 A.2 应力-应变曲线

A.3.2 确定各分点的应力  $\sigma_i$  和应变  $\epsilon_i$  的值 ( $i=1,2,3,\dots$ )

A.3.3 按式(A.10)计算各区域的面积

$$\Delta e_i = \frac{1}{2}(\sigma_i + \sigma_{i-1})(\epsilon_i - \epsilon_{i-1}) \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

A.3.4 按式(A.11)计算各应变  $\epsilon_i$  的能量  $e_i$

$$e_i = \sum_{k=1}^i \Delta e_k \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

A.3.5 按式(A.12)计算各应力  $\sigma_i$  时的缓冲系数  $C_i$ 。

$$C_i = \frac{\sigma_i}{e_i} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

令  $\sigma_i = \sigma_m$ , 以  $C$  为纵坐标,  $\sigma_m$  为横坐标, 则可作出缓冲系数  $C$ -最大应力  $\sigma_m$  曲线。

附录 B  
(资料性附录)  
缓冲包装设计计算示例

### B.1 冲击防护设计计算示例

例 1 产品的重力为 100 N,底面尺寸为 600 mm×400 mm,等效跌落高度为 800 mm,产品的许用脆值为 50 g,选用的缓冲材料的缓冲系数-最大应力的曲线如图 B.1 所示。采用全面缓冲方法,求需要的缓冲材料厚度。

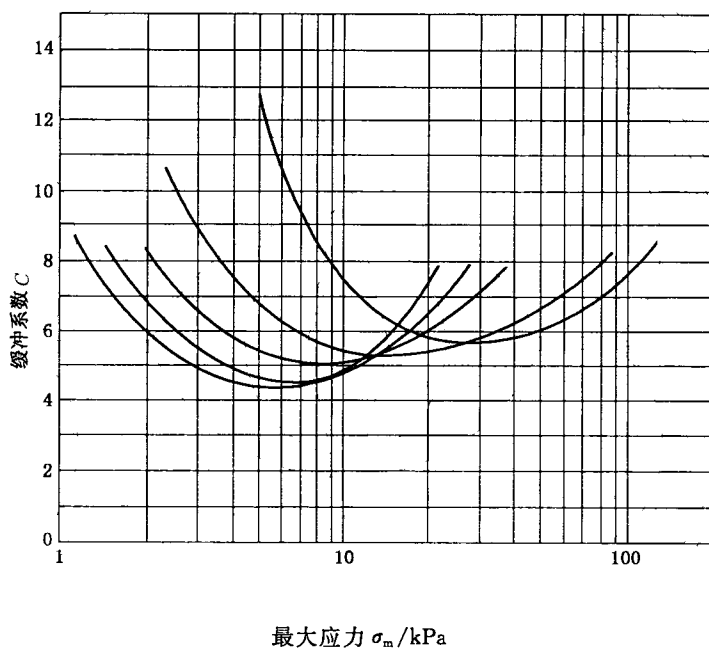


图 B.1 缓冲系数-最大应力曲线

$$\text{解: } \sigma_m = [G] \frac{W}{A} \times 10^6 = 50 \times \frac{100}{240\,000} \times 10^6 = 20.8 \text{ (kPa)}$$

在图 B.1 中,最大应力为 20.8 kPa 的附近缓冲系数最小的曲线是曲线 4,因此选用曲线 4 表示的缓冲材料,则  $C=5.2$ 。

$$T = C \frac{H}{[G]} = 5.2 \times \frac{800}{50} = 83 \text{ (mm)}$$

所以,选用曲线 4 表示的缓冲材料,材料的厚度为 83 mm。

例 2 产品重力为 200 N,底面尺寸为 250 mm×250 mm,许用脆值为 65 g,缓冲材料的特性如图 B.2 所示,采用全面缓冲方法,求缓冲材料的厚度。

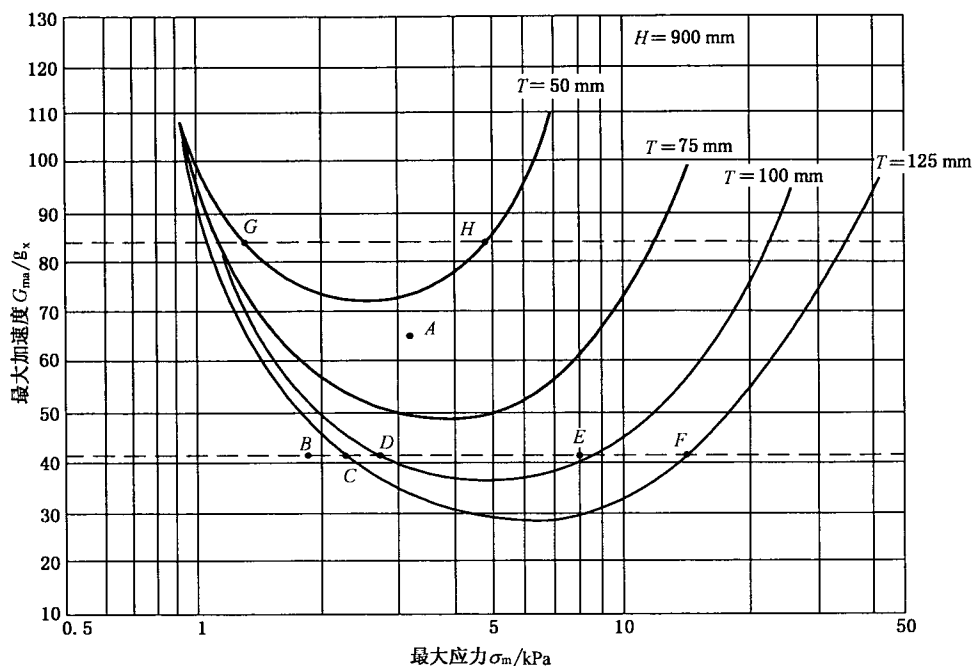


图 B.2 最大加速度-静应力曲线

$$\text{解: } \sigma_{st} = \frac{W}{A} \times 10^6 = \frac{200}{250 \times 250} \times 10^6 = 3.2 (\text{kPa})$$

在图 B.2 中,  $\sigma_{st} = 3.2 \text{ kPa}$  与  $G_{\max} = 65$  的交点 A 位于  $T = 50 \text{ mm}$  和  $T = 75 \text{ mm}$  的曲线之间, 约为  $T = 58 \text{ mm}$ 。

所以, 材料的厚度为  $58 \text{ mm}$ 。

例 3 产品重力为  $240 \text{ N}$ , 底面尺寸为  $400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ , 许用脆值为  $42 \text{ g}$ , 缓冲材料的特性如图 B.2 所示。试计算所需材料的尺寸。

$$\text{解: } \sigma_{st} = \frac{W}{A} \times 10^6 = \frac{240}{120\,000} \times 10^6 = 2 (\text{kPa})$$

在图 B.2 中,  $\sigma_{st} = 2 \text{ kPa}$  与  $C = 42$  的交点为 B, B 点位于给出的曲线族之外, 因此过 B 点作一条平行于横轴的直线, 交曲线族于 C、D、E、F 点。选择厚度较小的 D、E 两点进行计算, 其静应力分别为  $2.9 \text{ kPa}$  和  $9 \text{ kPa}$ , 厚度为  $T = 100 \text{ mm}$ , 根据 6.2.2 的要求, 按 E 点计算材料的受力面积:

$$A_E = \frac{W}{\sigma_{st}} \times 10^6 = \frac{240}{9\,000} \times 10^6 = 2.67 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

采用面衬垫的缓冲结构时, 应满足下述关系:

$$A_{\min} > (1.33T)^2 = (1.33 \times 100)^2 = 1.77 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

即对于厚度  $100 \text{ mm}$  的面衬垫, 各衬垫受力面积应大于  $1.77 \times 10^4 \text{ mm}^2$ 。而 D 点的静应力对应的面积为:

$$A_D = \frac{W}{\sigma_{st}} \times 10^6 = \frac{240}{2\,900} \times 10^6 = 8.28 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

所以, 可以采用各衬垫受力面积之和在  $2.67 \times 10^4 \text{ mm}^2 \sim 8.28 \times 10^4 \text{ mm}^2$  之间的面衬垫或角衬垫, 当采用面衬垫时各衬垫的受力面积应大于  $1.77 \times 10^4 \text{ mm}^2$ 。

## B.2 振动防护设计计算示例

例 1 产品重力为  $36 \text{ N}$ , 底面尺寸为  $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ , 许用脆值为  $30 \text{ g}$ 。冲击防护设计采用了全

面缓冲方法,选用的缓冲衬垫厚度为 50 mm。产品在运输中受到的振动输入如图 B.3 所示。求包装件的共振频率和产品的最大响应加速度。

$$\text{解: } \sigma_{st} = \frac{W}{A} \times 10^6 = \frac{36}{250 \times 250} \times 10^6 = 0.576 (\text{kPa})$$

根据静应力  $\sigma_{st}$  及材料厚度  $T$ ,查出材料的振动传递率-频率特性曲线如图 B.4 所示。由图 B.4 得,曲线的峰值对应的频率为  $f_0 = 46 \text{ Hz}$ ,传递率  $T_r = 6$ 。

由图 B.3 可知,46 Hz 时的加速度为  $1.7g$ ,即包装件在共振时受到的振动输入为  $G_0 = 1.7g$ ,则产品的最大响应加速度为:

$$G_{\max} = T_r G_0 = 6 \times 1.7 = 10.2 (g)$$

所以,包装的共振频率为 46 Hz,产品的最大响应加速度为  $10.2g$ ,小于产品的许用脆值  $30g$ 。

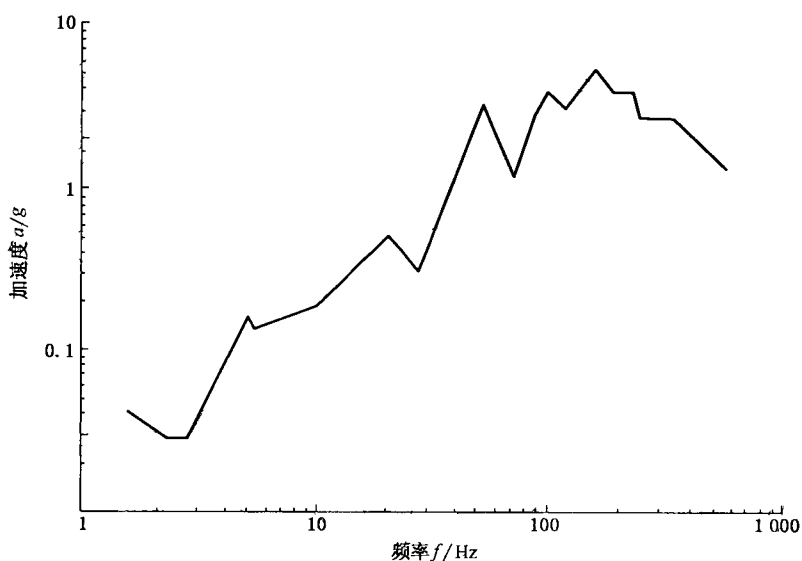


图 B.3 加速度-频率特性曲线

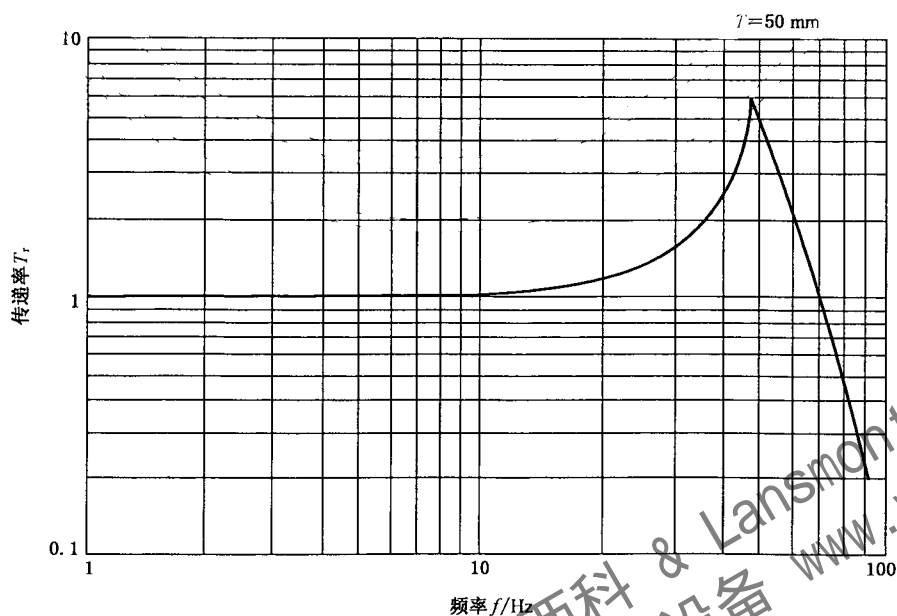


图 B.4 振动传递率-频率特性曲线

例2 产品的重力为 300 N,底面尺寸为 300 mm×300 mm,产品上的脆弱部件具有 25 Hz 的固有频率、0.02 的阻尼系数,可承受的最大冲击加速度为 45 g。产品的冲击防护设计采用了全面缓冲方法,选用的缓冲衬垫厚度为 100 mm。产品在运输过程中受到的振动输入如图 B.5 所示。忽略疲劳作用,确定这样的衬垫能否提供足够的振动防护。

解,(1) 确定在包装件共振时脆弱部件的响应加速度

因为

$$\sigma_{st} = \frac{W}{A} \times 10^6 = \frac{300}{300 \times 300} \times 10^6 = 3.33 (\text{kPa})$$

根据静应力  $\sigma_{st}$  及材料厚度  $T$ ,查出材料的振动传递率-频率特性曲线如图 B.6 所示。由图 B.6 得,曲线的峰值对应的频率为 7 Hz,传递率为 2.5。由图 B.5 可知,7 Hz 时的振动输入加速度为 1 g;则产品的最大响应加速度为:

$$G_{\max} = T_r G_0 = 2.5 \times 1 = 2.5 (g)$$

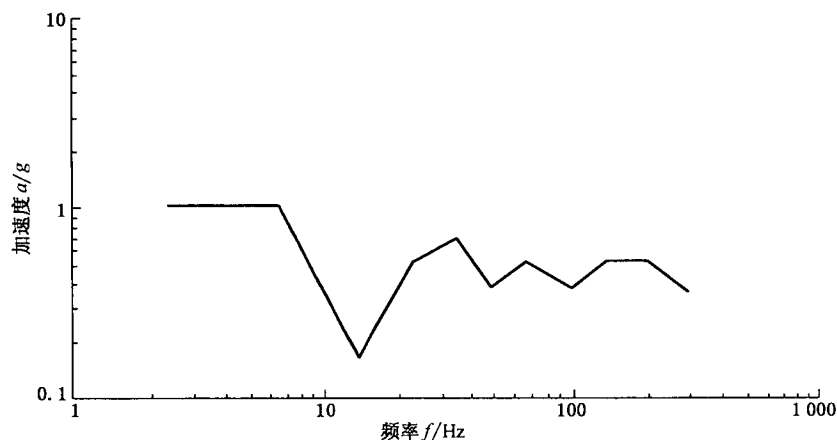


图 B.5 加速度-频率特性曲线

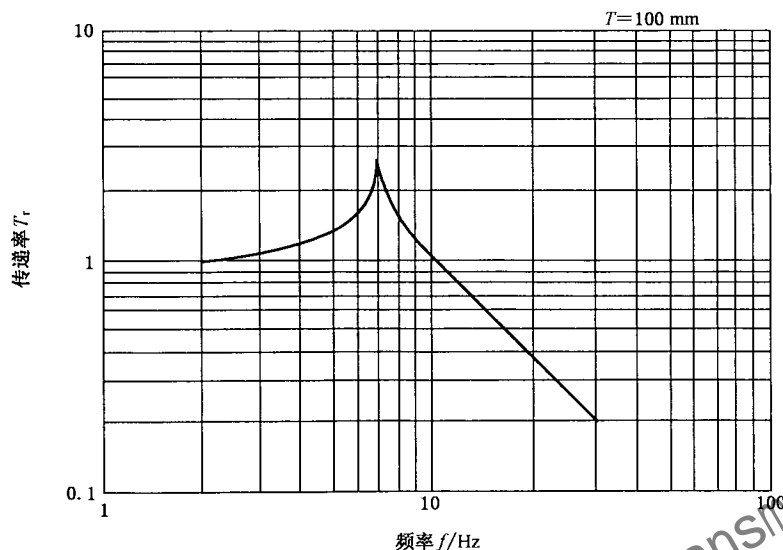


图 B.6 振动传递率-频率特性曲线

当脆弱部件的固有频率明显高于包装件的共振频率时,它基本上受到与产品相同的峰值加速度。因此,这时脆弱部件的响应加速度为 2.5 g,该值小于其可承受的最大冲击加速度 45 g,部件不会损坏。

## (2) 确定脆弱部件共振时的响应加速度

由图 B. 5、图 B. 6 得,在频率为 25 Hz 时的振动输入加速度为 0.55 g,缓冲材料的振动传递率为 0.25,则产品的最大加速度响应为:

$$G_{\max} = T_r G_0 = 0.25 \times 0.55 = 0.14(g)$$

对于线性系统,当阻尼系数  $\delta < 0.1$  时,系统在其固有频率时的振动传递率可按式(B. 1)计算:

$$T_r = \frac{1}{2\delta} \quad \dots\dots\dots (B. 1)$$

假定脆弱部件为线性系统,将  $\delta = 0.02$  代入上式,得:

$$T_r = \frac{1}{2\delta} = \frac{1}{2 \times 0.02} = 25$$

则脆弱部件的最大响应加速度为:

$$G_{\max} = T_r G_0 = 25 \times 0.14 = 3.5 < 45(g)$$

所以,由冲击防护选定的衬垫可以提供一定的振动防护。



## 附 录 C

(资料性附录)

### 最大加速度-静应力曲线

缓冲包装设计应用的最大加速度-静应力曲线是根据包装用缓冲材料动态压缩试验方法得出的。

缓冲包装设计使用的最大加速度-静应力曲线,可按 GB/T 8167 的规定通过试验得出,也可参照 GJB/Z 85 中附录 B。当采用 GJB/Z 85 中附录 B 的曲线时,由于实际所用的缓冲材料与该附录所用缓冲材料可能存在偏差,如果怀疑这种偏差过大,建议按 GB/T 8171 的规定进行冲击试验,以验证所设计包装的防护水平。

附 录 D

(资料性附录)

振动传递率-频率特性曲线

缓冲包装设计应用的振动传递率-频率曲线是根据包装用缓冲材料振动传递特性试验方法得出的。

缓冲包装设计使用的振动传递率-频率曲线可按 GB/T 8169 的规定通过试验得出,也可参照 GJB/Z 85 中附录 C。当采用 GJB/Z 85 中附录 C 的曲线时,由于实际所用的缓冲材料与该附录所用缓冲材料可能存在偏差,如果怀疑这种偏差过大,建议还是按 GB/T 8169 的规定进行振动传递特性试验。