

产品脆值测试

北京西科远洋机电设备有限公司

摘要：脆值是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来表示。又称产品的易损度，此值表示产品对外力的承受能力。它是缓冲垫设计的主要依据。

关键词：脆值 损坏边界 临界加速度 临界速度 缓冲跌落法 冲击台 跌落试验机

一、概述

脆值是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来表示。又称产品的易损度，此值表示产品对外力的承受能力。它是缓冲垫设计的主要依据。对于不同的产品，它的脆值各不相同；即使是同类产品，由于质量、形状、性能上存在差异，那么产品的脆值也不相同。确定脆值的方法有试验法、经验估算法和数值分析法，其中试验法是最主要并且是最可靠的方法。常用试验方法有：冲击试验机法和缓冲跌落法。

二、用冲击试验机测定产品脆值

1. 试验原理

按预定的状态将试验样品用夹具固定在试验台上，用预定的冲击脉冲波形对试验样品进行试验强度逐渐增强的冲击试验，直至产品损坏。试验中涉及的几个重要参量和曲线介绍如下：

（1）临界加速度（ a_c ）

产品受到冲击时，即将发生损坏时的最大加速度。对于不同的冲击方向，同一产品通常有不同的临界加速度。

（2）临界速度（ v_c ）

产品受到冲击时，即将发生损坏时的速度变化，对于不同的冲击方向，同一产品通常有不同的临界速度。

（3）冲击速度变化的确定方法

可用积分方法确定半正弦波及梯形波冲击脉冲的冲击速度变化。在脉冲波形上可以看出，加速度离开时间 X 轴 经过一段时间后又回到 X 轴，将这段曲线下面的区域进行积分，其积分值即为冲击速度变化值（见图 7.9 和图 7.10）。

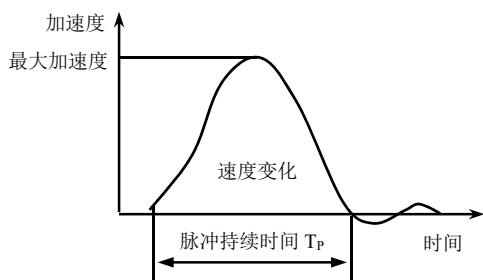


图 7.9 半正弦冲击脉冲曲线

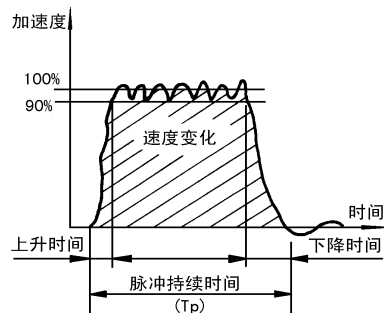


图 7.10 梯形冲击脉冲曲线

(4) 损坏边界的确定方法

产品对冲击的灵敏性取决于冲击脉冲的三个参量：冲击脉冲的波形、冲击速度变化和冲击脉冲的最大加速度。对于一个给定的产品，这三个参数关系可在损坏边界中表示（见图 7.11）。

如果冲击脉冲的峰值加速度和速度变化落在阴影区域内，产品就发生损坏。对于大多数产品来说，在每个不同的冲击方向，其损坏边界是不同的。

图 7.11 是按后面要进行的用冲击试验机测定产品脆值试验而得出的损坏边界曲线图例。

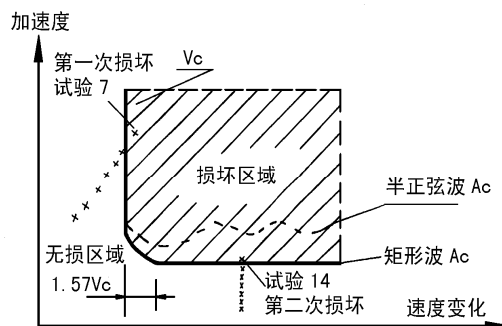


图 7.11 损坏边界曲线

在测定临界速度试验时，对试验样品进行半正弦波冲击试验。1~7 次冲击是在同时增加跌落高度和加速度值时进行的。如在第七次冲击时，产品发生了损坏。在第六次与第七次冲击值中间画出垂直的临界速度线。

在测定临界加速度时，利用梯形冲击脉冲对另外一个试验样品进行试验。冲击速度大于临界速度的 2 倍。逐渐增加冲击加速度值。如在第十四次冲击时试验样品发生了损坏。在第十三次与第十四次冲击值中间画出水平的临界加速度线。

2. 试验设备

(1) 冲击试验机

冲击试验机主要由水平滑台、导柱、脉冲程序装置底座等组成，其结构简图如图 7.12 所示。包装件放于水平台上，随水平滑台沿导柱上下移动，达到冲击的目的。脉冲装置可以采用气压、液压或缓冲材料等形式，用以产生冲击脉冲（如：脉冲的波形、峰值加速度和持续时间）。

(2) 加速度测试系统

加速度测试系统由加速度传感器、信号放大器和显示装置组成，要求能显示并记录加速度的时间历程，并下列要求。

测量临界速度试验时，测试系统的低截止频率不大于 5Hz，高截止频率不小于 1000Hz；测量临界加速度试验时，测试系统的低截止频率不大于 3Hz，高截止频率不小于 330Hz；测试系统的误

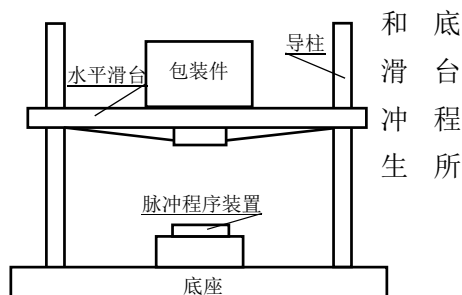


图 7.12 冲击试验机结构简图

示记
满足

差应在实际值的 $\pm 5\%$ 之内；测试系统的横向灵敏度应低于 5%。

(3) 速度测试系统

应有测试速度变化的装置。可以用电子仪器对冲击脉冲波形下面的区域进行积分，也可以用光电装置测量冲击台面的冲击速度和回弹速度。

冲击设备实物如下图：美国蓝氏 LANSMONT 冲击试验机



LANSMONT	M65/81D	M95/115D	M122	M152
顶端台面 cm	65x81	95x115	122x122	152x152
最大加速度 g	600	600	600	400
最小脉宽 ms	2	2	2	2.5
速度变化 m/s	8.1	8.1	6.1	6.1
最大负载 kg	227	454	1135	907
长*宽*高 cm	150*81*375	170*165*307	213*130*305	255*155*317

测量仪应能够测量冲击加速度、脉冲持续时间、冲击速度变化量等参数；能够监测冲击波形；能够控制和记录重复碰撞的次数。国内外测量仪器如北京西科 VSA 冲击测量系统，美国 Lansmont TP3 冲击测量系统。



Lansmont TP3 冲击测量

Lansmont TP3 冲击测量

TP3 是 Lansmont 公司经典的数据采集系统，已发展为行业内的标准配备，专长于捕抓和分析跌落，振动，冲击等瞬态加速度信号，可完成冲击波形，幅值，脉宽，速度变化量，容差，频谱，响应谱，应力变形等专业分析。

3. 试验程序

- (1) 根据试验目的及有关标准或规定准备试验样品。
- (2) 按 GB/T 4857.2（运输包装件温湿度调节处理）的要求选定一种条件对试验样品进行温湿度预处理。试验应在与预处理相同的温湿度条件下进行。如果达不到预处理条件，则必须在试验样品离开预处理条件 5min 之内开始试验。
- (3) 应用夹具将试验样品按预定状态固定在试验台上，保证在试验过程中夹具及试验样品不脱离试验台面。夹具应坚固，夹具与试验样品接触部分的形状及位置应与试验样品所代表的产品在实际运输中所受到的支承相一致。并避免作用在试验样品上的冲击脉冲失真。加速度传感器应牢固地安装在样品的基础部分或夹具上，或靠近夹具的试验台面上。
- (4) 临界速度冲击试验：
 - ①调节试验设备，使冲击脉冲产生低于产品预期临界速度的速度变化。冲击速度变化量由前述

方法计算（见图 7.9 和图 7.10），可以通过由小到大的一系列跌落高度的冲击试验，逐渐增加冲击速度变化量，直至产品破损。其脉冲波形可以是半正弦波，也可以是其他波形，但脉冲持续时间应不大于 3ms（如取 2ms），其最大加速度应超过预计的临界加速度。如果试验样品为刚性较大的小型产品时，其脉冲持续时间应适当减小。

②进行一次冲击试验，检查或测试样品的功能，确定样品是否损坏。如果损坏，是否是由于冲击造成的。

③如果没有发生损坏，增加冲击试验机的跌落高度，使其产生较大的速度变化，重复进行冲击试验。速度变化所增加的幅度，应根据产品的特点决定。对于一般的产品，每次可增加 0.15m/s，但对于比较贵重的产品，速度变化增加的幅度应适当减少。

④重复②和③的试验步骤，逐渐增加速度变化直至产品发生损坏。取样品未损坏的最后一次试验值和发生损坏的试验值的平均值作为临界速度值。但也可以根据不同的试验目的，将样品未损坏的最后一次试验值作为临界速度值。

（5）临界加速度冲击试验：

①选定一个跌落高度，使其冲击速度变化大于 $1.57V_c$ ，最好为 $2V_c$ 以上；然后保持该跌落高度不变（即保持速度变化量不变）。调整试验设备使其产生梯形波冲击脉冲，曲线上升及下降时间应小于 1.8ms。调整脉冲程序装置，使冲击加速度值应低于预计的产品损坏加速度值。

②进行一次冲击试验。检查或测试样品的功能，确定样品是否损坏。如果损坏，是否是由于冲击造成的。

③如果没有损坏，调整脉冲程序装置，使冲击试验机获得更大的加速度值，并核实冲击速度变化是否符合①的要求。加速度增加的幅度，应根据产品本身的特点决定。

④重复①和③的试验步骤，逐渐增加冲击加速度值直至样品发生损坏。取样品未损坏的最后一次试验值和发生损坏的试验值的平均值作为该试验样品的临界加速度值。也可以根据不同的试验目的将样品未损坏的最后一次试验值作为临界加速度值。

三、 缓冲跌落法测定产品脆值

1. 试验原理

本方法要求用外包装容器及缓冲材料包装试验样品。调整缓冲衬垫厚度或跌落高度对试验样品进行试验强度逐渐增强的冲击试验，直至产品损坏。

2. 试验设备

（1）跌落试验机

试验机应能释放包装件，使其自由跌落而产生预定的冲击。并且冲击速度可以调节，其最大等效跌落高度为 1500mm。

（2）冲击面

冲击面应为坚硬、平整的水平平面，其质量至少为被测试样品质量的 50 倍。

（3）测试系统

测试系统由加速度传感器、信号放大器和显示记录器组成。要求能显示并记录产品所承受冲击脉冲的加速度—时间历程。测试系统要有适当的加速度量程，在试验中不得出现过载现象。测试系统的低截止频率应不大于 0.5Hz，高截止频率应不小于 1000Hz。测试系统的精度在±5%之内。

跌落试验机美国 LANSMONT 实物如下图：



3. 包装容器及缓冲材料

本方法要求用外包装容器及缓冲材料包装试验样品。

(1) 推荐采用实际运输时使用的外包装容器及缓冲材料。

(2) 也可采用任何一种适合装运试验样品的外包装容器及缓冲材料。外包装容器应能容纳试验样品及缓冲材料；优先选用厚度为 10~25mm 的弹性或弹塑性的平板缓冲材料。如果在每次冲击试验中更换缓冲衬垫，亦可以使用塑性的材料。

4. 试验样品

试验样品一般应在检验合格的产品中随机抽取。当不易得到合格的产品时，允许使用不影响产品冲击脆值的次品进行试验，但在试验前必须将其缺陷做出记录；本试验不允许采用模拟样品。

5. 试验程序

(1) 对包装容器及试验样品各部位进行编号。

(2) 按 GB/T 4857.2（运输包装件温湿度调节处理）的要求选定一种条件对包装容器、缓冲材料及试验样品进行温湿度预处理。试验应在与预处理相同的温湿度条件下进行。如果达不到预处理条件，则必须在试验样品离开预处理条件 5min 之内开始试验。

(3) 选择跌落高度：根据实际运输环境条件选择跌落高度。典型的等效跌落高度范围为 450~900mm。根据选定的跌落高度调整试验设备。

(4) 选择冲击方向：如果已知产品在实际运输中总是受到某一方向的冲击，则仅要求进行与此同向的试验；如果方向不定，则首先选定一个冲击方向进行试验。

(5) 安装加速度传感器：加速度传感器应紧固在靠近缓冲衬垫支承面上的产品的刚性基础上，且必须使其敏感轴线在冲击方向上。

(6) 包装试验样品：把试验样品和缓冲衬垫按正常放置状态包装在选定的容器中。在试验样品的冲击方向上应有较厚的衬垫，以免在第一次冲击时发生损坏。用同样的材料缓冲试验样品的其它面，以减小试验时的二次冲击。

(7) 连接、检查测试仪器：连接并检查测试仪器，要求每次试验都能得到冲击脉冲的加速度—时间历程。

(8) 进行冲击试验：把经缓冲包装的试验样品放置在跌落试验机上，进行一次跌落试验。记录加速度—时间历程。

(9) 检查试验样品：跌落后拆开包装，对试验样品进行检查和性能测定，确定是否发生了损

坏。

(10) 重新包装试验样品：如果试验样品未发生损坏，则按下列方法之一重新包装试验样品。

①减薄试验样品冲击方向上的缓冲衬垫的厚度，把所减少的缓冲衬垫移到顶部（或者在试验样品的顶部增加适当厚度的缓冲衬垫），以保证包装容器内缓冲材料的总厚度不变。但应避免试验中试验样品触底。

②按原包装状态重新包装试验样品。

(11) 重复冲击试验：增大冲击强度，重复（8）~（10）的步骤，直至试验样品发生损坏。增大冲击强度的方法有下列二种：

①当减薄试验样品冲击方向上的缓冲衬垫的厚度时，不改变跌落高度；

②当按原包装状态重新包装试验样品时，为产生更大的冲击强度，必须增大跌落高度。但这种方法可能导致较大的误差。

在每次试验后，如果包装容器或缓冲材料发生损坏，则必须更换新的包装容器或缓冲材料。

(12) 确定脆值：取试验样品出现损坏前一次的最大加速度，定为产品用类似此试验中的包装材料、包装结构进行包装，并采用试验中的跌落高度时在试验方向上的冲击脆值。

(13) 进行其它方向的冲击试验：如需要对其它方向进行跌落试验时，则重复（4）~（12）的步骤。

参考文献：

1. 美国蓝氏（LANSMONT）缓冲包装设计六步法 1986 Bresk
2. 美国蓝氏（LANSMONT）M122 斜面冲击试验机
3. 美国蓝氏（LANSMONT）PDT80 跌落试验机
4. 美国蓝氏（LANSMONT）TP3 冲击测量系统
5. 《包装测试技术》化工大学出版社
6. GB/T 8171-2008 使用缓冲包装材料进行的产品机械冲击脆值试验方法