

# 大尺寸液晶显示器纸浆模衬垫结构与优化

李文彪, 吴晓明

(厦门大学, 厦门 361005)

**摘要:** 在纸浆模衬垫结构的缓冲机理研究基础上, 介绍了 32 吋大平面液晶显示器纸浆模缓冲衬垫结构的设计方法。在充分考虑制造可行性基础上, 提出了一种新型的折叠嵌套式纸浆模缓冲衬垫结构。通过仿真分析对结构进行优化, 并验证所设计的衬垫结构的缓冲性能, 为同类型大平面显示器纸浆模衬垫设计提供参考。

**关键词:** 大尺寸显示器包装; 纸浆模结构; 折叠嵌套; 优化设计

**中图分类号:** TB482. 2; TB484. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)09-0040-04

## Structural Design and Optimization of Molded Pulps for Large-sized LCD

LI Wen-biao, WU Xiao-ming

(Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Structural design method of cushions for large-sized LCD was introduced based on the study of the cushioning mechanism of molded pulp cushion structure. A new type folding and nesting molded pulp cushion structure was put forward with fully consideration of manufacturing feasibility. The structure was optimized and the cushioning performance of the cushioning structure was verified by simulation analysis. The purpose was to provide reference for structural design of cushions for large-sized LCD.

**Key words:** LCD packaging; molded pulp; folding and nesting; optimum design

在电子产品包装中, EPS 等作为内部缓冲衬垫被广泛应用, 但 EPS 等化工材料一般只能一次性使用, 在自然条件下难以降解, 大量使用必然对环境造成严重污染。纸浆模具有质量轻、可以自然降解、易于回收再利用的特点, 其结构缓冲性能良好, 使其成为了代替 EPS 作为产品包装缓冲衬垫的理想材料。由于纸浆模的缓冲性能由其结构的变形所体现, 而纸浆模材料的非线性特性使得其结构的缓冲效果难以分析, 因此纸浆模的结构设计和分析成为了其能否广泛应用的关键。目前纸浆模行业仍处于起步阶段, 已有的纸浆模包装大多只用于小型产品的缓冲防护, 对于大尺寸、大质量产品, 由于纸浆模衬垫结构设计和分析的复杂和困难, 而没有能够被广泛应用<sup>[1]</sup>。

文献[1]建立了表征纸浆模材料的弹黏塑性流变模型, 研究了纸模结构参数与承载能力的关联性。文献[2]采用纸浆模缓冲结构参数分析方法, 研究了模体结构形状特征与缓冲包装性能之间的关系。文献[3]对纸浆模塑类缓冲包装结构的缓冲性能及其包装

动力可靠性进行了系统研究。文献[4]根据纸浆模缓冲结构单元的静态压缩曲线, 研究了纸浆模缓冲包装结构的设计方法。

笔者以纸浆模结构的缓冲机理研究为基础, 运用仿真分析和优化手段, 结合试验研究, 提出一种折叠嵌套式缓冲衬垫结构, 针对大尺寸平面显示器包装的跌落要求和纸浆模制造需要, 进行结构和布局优化。

## 1 纸浆模结构的缓冲机理

纸浆模缓冲衬垫的典型缓冲结构为纸浆模凸台, 见图 1<sup>[3]</sup>。纸浆模凸台受到载荷作用时, 开始发生变形, 凸台变形过程中存在一个其结构能达到的最大支持力, 对应于曲线的峰值。

以矩形凸台为例说明纸浆模衬垫缓冲过程。矩形凸台的主要承载位置在 4 个侧壁, 凸台加载过程中, 侧壁可看作是受压薄板<sup>[5]</sup>。侧壁的受压过程分为 2 个阶段: 从加载时刻起, 侧壁开始发生弹塑性变形;

收稿日期: 2011-01-08

作者简介: 李文彪(1986—), 男, 福建人, 厦门大学硕士生, 主攻机械设计与结构动力分析。

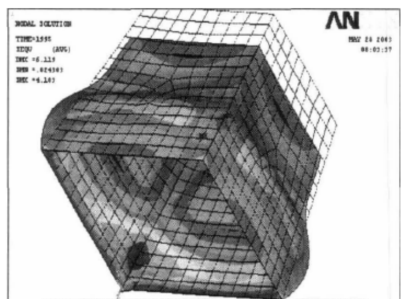


图1 凸台变形图

Fig. 1 Deformed diagram of convex platform

当应力超过材料承受极限时,凸台发生破坏直至失效,见图2。

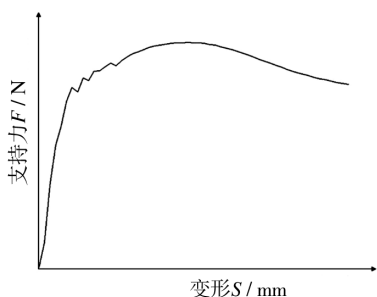


图2 纸浆模凸台支持力-位移的关系

Fig. 2 Supporting force-displacement curve of a convex platform

从上面的分析可知,纸浆模对被包装物的缓冲作用通过凸台的变形实现。已有的研究表明,单凸台与多凸台的最大支持力呈现倍数关系<sup>[3]</sup>。

## 2 包装方式与跌落要求

### 2.1 包装方式

常用纸浆模缓冲衬垫的包装方式分为全面包装和局部包装2种形式。全面包装对产品完全包覆,局部包装只对产品进行部分包装,如边缘包装、角部包装。对于小尺寸产品进行包装时,许多形式都容易满足要求,但对大型产品进行包装时,由于纸浆模板制作的尺寸限制以及包装成本的原因,全面包装形式不适用。以32吋液晶显示器为例,提出一种只对显示器4个角部进行包装的折叠嵌套式纸浆模缓冲结构,以角衬垫形式对显示器的前、后、双侧、上下及棱、角进行保护,使产品在发生跌落时能够充分得到缓冲。

### 2.2 包装整体尺寸确定

32吋大平面显示器整体包装由显示器本体、纸

浆模缓冲衬垫和瓦楞纸外包装箱3部分组成。根据显示器外部轮廓,每一个折叠嵌套缓冲衬垫成型后呈现为“L”形。根据外包装箱尺寸及显示器本体尺寸,确定各局部缓冲衬垫的最大厚度 $h$ ,公式为:

$$h = \frac{W - 2H - L}{2} \quad (1)$$

式中: $W$ 为外包装箱尺寸; $H$ 为外包装箱瓦楞纸厚度; $L$ 为显示器尺寸。

### 2.3 缓冲性能要求

跌落冲击时产品是否损坏与产品的脆值相关,脆值即产品不发生物理损伤和功能失效情况下,在产品指定位置所承受的最大加速度(以重力加速度 $g$ 为单位),同时与冲击脉冲的形状和脉冲持续时间相关。根据破损边界曲线理论,包装对产品的保护效果,体现在跌落冲击过程中包装对产品加速度峰值的弱化程度。世界各国对于大尺寸LCD电视包装跌落高度及脆值的标准不统一,根据尺寸大小,跌落高度在0.4~0.7 m之间,脆值在40 g~90 g之间。本研究根据一家大型LCD生产厂家产品出口地的要求,确定跌落高为0.61 m,显示器中心点标准脆值为90 g。

## 3 纸浆模衬垫结构设计与优化

纸浆模缓冲衬垫由多个缓冲凸台经过一定的排列组合而成,缓冲凸台结构是纸浆模缓冲能力的决定因素。下面为凸台结构设计方法。

1) 计算显示器跌落对纸浆模缓冲衬垫造成的最大冲击力<sup>[4]</sup>:

$$P = m \times G \quad (2)$$

式中: $m$ 为显示器包装整体质量; $G$ 为显示器标准脆值。

2) 确定主缓冲凸台结构参数:高度、截面形状与尺寸、纸浆模厚度、拔模角。

3) 通过数值实验方法,获取凸台支持力-位移关系曲线,读取曲线峰值即凸台最大支持力。

4) 由文献[3]知,缓冲结构单元数为 $n$ 个的纸浆模制品承受的最大载荷,是缓冲结构单元为1个的纸浆模制品承受最大载荷的 $n$ 倍以上。

经由下式计算各局部衬垫承载凸台最大数目 $N$ ,并校核衬垫整体尺寸:

$$N = \frac{P}{F} \quad (3)$$

式中: $F$ 为单个凸台最大支持力。

5) 分析定位要求,设计凸台衬垫组合方式。

### 3.1 缓冲凸台尺寸与数量

根据上述设计方法对缓冲衬垫进行设计:被包装的显示器整体质量为 14 kg, 跌落标准高度为 61 cm, 标准脆值  $< 90 g$ , 瓦楞纸外包装箱尺寸为 871 mm  $\times$  641 mm  $\times$  169 mm, 外包装箱厚度为 3 mm, 显示器本体尺寸为 775 mm  $\times$  516 mm  $\times$  46 mm。得到衬垫的缓冲凸台设计参数见表 1。

表 1 各衬垫缓冲凸台参数

Tab. 1 Convex platform parameters

	前后衬垫	上下衬垫	左右衬垫
主缓冲凸台尺寸/mm	46 $\times$ 46 $\times$ 58.5	46 $\times$ 46 $\times$ 59.5	46 $\times$ 46 $\times$ 45
其它参数	拔模角 4°	纸浆模厚度 2.5 mm	

由文献[6]知,高度大于 30 mm 时,凸台抗压强度不随高度的增加而明显变化,可认为各局部衬垫主缓冲凸台具有相近的承载能力。以左右衬垫凸台为例,通过 ANSYS/LS-DYNA 进行数值分析,得到单个缓冲凸台最大支持力为  $F=1\ 035\text{ N}$ 。根据式(2),缓冲衬垫受到的最大冲击力  $P=14 \times 90\text{ g}=12\ 600\text{ N}$ ,由(3)式得到各方向所需缓冲凸台总数  $N=12$  个。

在对显示器 4 个角部进行缓冲包装时,显示器后面受到 4 个角部衬垫的保护,而 4 个侧面只受到 2 个角部衬垫的保护,所以单个角部衬垫各方向的缓冲凸台数量分布见表 2。

表 2 缓冲凸台数量分布

Tab. 2 Number distribution of convex platform

	前后衬垫	上下衬垫	左右衬垫
缓冲凸台总数	12	12	12
衬垫数	4	2	2
单个衬垫凸台数	3	6	6
分布形式	配合显示器 边沿	沿显示器 侧面排列	

### 3.2 凸台结构承载能力优化

凸台排列受到外包装箱总体尺寸限制,特别是上下和左右方向上,单个角部衬垫平行布置 6 个凸台,加上纸浆模结构制造的工艺间隙,整体长度将会超过外包装尺寸。为此,对单个凸台结构进行优化,提高其承载能力,以减少凸台数量,缩减衬垫长度。

凸台由高度 45 mm 单层凸台改为 42 mm + 3 mm 双层凸台,见图 3。经 ANSYS/LS-DYNA 数值

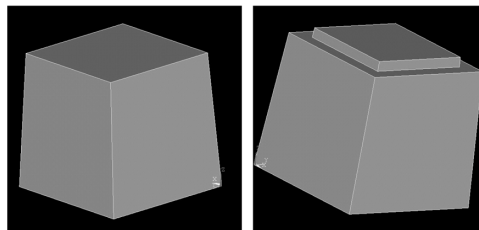


图 3 衬垫承载凸台的改进

Fig. 3 Structural optimization of convex platform

计算,修改后的凸台最大载荷为 1 126 N,见图 4,对应缓冲凸台数量  $N=11$  个。

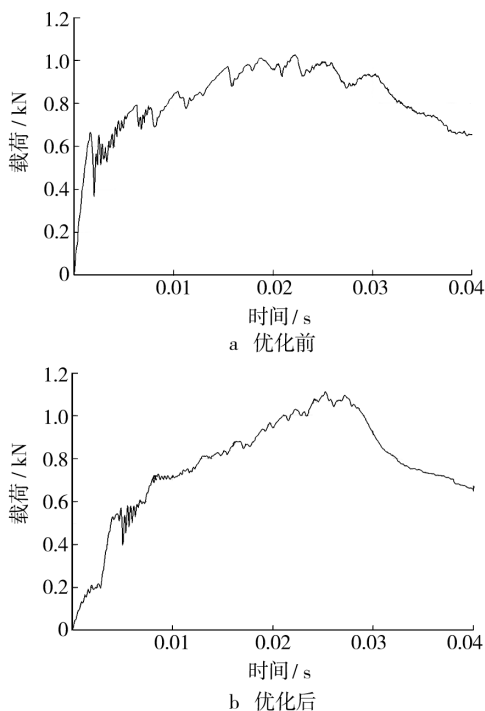


图 4 优化前后凸台支承能力对比

Fig. 4 Supporting capacity of convex platform before and after optimization

将各个缓冲凸台通过辅助凸台相连,在前后方向上,衬垫缓冲凸台完成配合定位后,在前后衬垫上添加 2 个长方形缓冲凸台,以加强凸台的承载能力。通过计算,优化后各方向上的凸台分布情况见表 3。

每个角衬垫各个方向凸台设计方案见图 5。

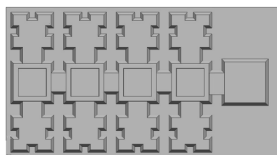
### 3.3 辅助凸台与折叠嵌套组合设计

缓冲衬垫满足承载条件同时必须考虑定位要求和制造的方便性<sup>[7]</sup>,为此,将每个角部衬垫各个方向的缓冲凸台组合在一个平面上。单个角部衬垫,以上

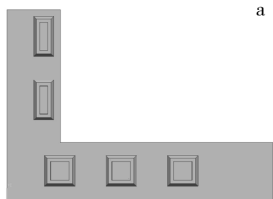
表3 优化后缓冲凸台分布表

Tab.3 Number distribution of convex platform after optimization

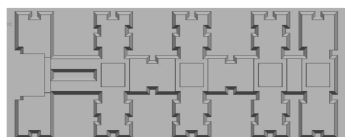
	前后衬垫	上下衬垫	左右衬垫
缓冲凸台总数	20	8	8
衬垫数	4	2	2
单个衬垫凸台数	3+2	4	4
优化方法	添加长方形缓冲凸台	增强凸台承载能力、添加辅助凸台联结主承载凸台	
分布形式	配合显示器边缘位置	沿衬垫宽度方向中轴线平行布置	



a 左右凸台



b 前后凸台



c 上下凸台

图5 单个角衬垫各方向凸台的布置

Fig.5 Convex layout of a single corner cushion in all directions

或下平面为定位基准,通过折叠嵌套形成前、后、左或右、上或下的四面覆盖,见图6。

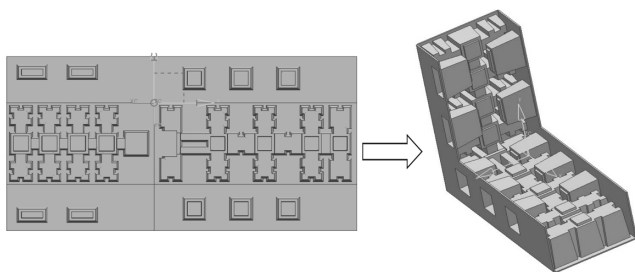


图6 衬垫折叠嵌套组合

Fig.6 Layout designs and combination after folding and nesting

## 4 衬垫缓冲性能仿真

运用设计的衬垫结构对显示器的4个角部进行包装,参照 GB/T 4857.5-1992,对“六面、三棱、一角”应用有限元分析软件 ANSYS/LS-DYNA 进行跌落分析,跌落高度 61 cm,得到的显示器中心峰值加速度结果见表4。

表4 显示器中心峰值加速度

Tab.4 Peak acceleration of LCD center

	跌落方式	峰值加速度/g
面跌落	前后面跌落	86.5
	左右侧面跌落	48.6
	上顶面跌落	47.3
棱跌落	下底面跌落	84.3
	长棱跌落	51.0
	中棱跌落	49.0
角跌落	短棱跌落	50.0
	角跌落	46.0

以上仿真结果表明,所设计的纸浆模缓冲包装对显示器进行包装后,产品各方向跌落峰值加速度皆小于 90 g,说明所设计结构能够为产品提供充分的缓冲保护,符合厂家提出的缓冲要求。

## 5 结语

对大平面液晶显示器的纸浆模缓冲包装设计方法进行了理论研究,对纸浆模缓冲衬垫进行了方案和结构设计,提出了一种新型的折叠嵌套式纸浆模缓冲衬垫,并运用 Ansys/LS-DYNA 对所设计的缓冲衬垫进行仿真测试,最终获得了缓冲性能优良、制造方便的设计方案。提出的纸浆模衬垫结构设计方法,为同类缓冲包装设计提供了案例和参考。

## 参考文献:

- [1] 林冬鸣,陈永鸣,张新昌.纸浆模材料的弹粘塑性模型及实验验证[J].中国造纸学报,2008,23(2):91-95.
- [2] 康勇刚,王巍,高鹏,等.纸浆模制品结构参数与缓冲作用[J].中国包装,2002(5):95-98.
- [3] 张业鹏.纸浆模塑包装结构的缓冲性能可靠性研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [4] 王高升,付春英,金海鹰,等.纸浆模缓冲结构设计原理的研究[J].中国造纸,2001(4):25-28.
- [5] 宋妹妹.组合式纸浆模塑结构的缓冲性能及其计算机模拟[D].无锡:江南大学,2010.
- [6] 张业鹏,钟毓宁,龙盛蓉.纸浆模塑单元的缓冲高度与缓冲性能关系研究[J].中国包装,2006(1):76-77.
- [7] 韩娟,余江,杨斌.电子产品的纸浆模塑包装设计[J].包装工程,2009,30(2):44-45.