

# 塑胶包装之倒扣结构的设计与探究

曾令扬

( 普拉斯包装材料有限公司, 四川 宜宾 644007)

**摘要:** 在做塑胶包装设计时, 受材料、工艺的影响或结构、功能等方面的要求, 常常需要将一个包装拆分成多个配件。配件间的连接方式, 除粘接、焊接外, 常用的连接方式即是倒扣连接。倒扣连接常用的形式又分为扣孔连接和扣与扣的互扣连接。本文将结合理论计算、经验设计、仿真分析与理论计算互验的方式, 探究倒扣结构的设计要点和技巧, 提高倒扣功能性设计的效率, 并介绍两种具有一定代表意义的倒扣结构。

**关键词:** 包装设计; 包装结构; 结构设计; 倒扣结构; 仿真

**中图分类号:** TQ320.669

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2025)03-0066-04

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2025.03.015

受材料、工艺的影响或结构、功能等方面的要求, 一个完整的塑胶包装通常需要拆分成多个配件, 单独生产, 最后通过粘接、焊接、倒扣连接等方式组装连接成一个整体。连接方式多种多样, 各具特点。粘接方式对粘接面的宽度有一定要求, 一般不小于 10 mm, 以确保粘接牢固; 粘接亦需要注意胶水用量, 防止溢胶, 对配件的清洁、卫生性影响较大。透明塑料件不宜胶水粘接, 对外观影响较大。焊接有超声波焊接、高周波焊接等, 焊接面小, 焊接速度快; 对于大面积焊接固定, 需要分多圈焊接; 焊接材料方面亦有所选择, 相容的塑料之间才可以相互焊接, 不同的塑料之间一般都不可以相互焊接。倒扣连接则利用塑胶材料自身的塑性变形, 相互扣合后恢复形变, 实现互扣连接; 倒扣连接功能稳定, 组装简便, 一般具有一拍即合的特点, 拆装重组较粘接、焊接容易, 无需专用工具; 倒扣结构相对复杂, 需要足够的塑性变形量, 窄边遮挡较难。倒扣结构作为塑胶包装配件互连接的重要形式之一, 探究其设计要点具有较高价值和意义。

## 1 倒扣连接结构的类型

倒扣连接主要分为两种, 一种是扣孔连接, 见图 1, 另一种是扣扣互连, 见图 2。扣孔连接主要应用于包装盒的顶部、底部、侧面, 配件组装后, 连接牢固, 不易变形, 连接限位效果好, 应用广泛; 扣扣互连主要用于塑胶配件中间的连接, 倒扣高度较高, 易变形

失效, 特定场景亦需采用此种连接方式。

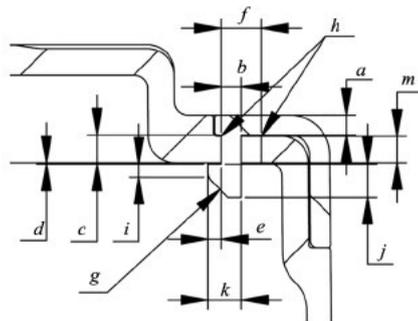


图 1 倒扣结构之扣孔连接

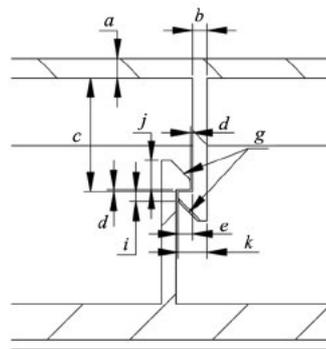


图 2 倒扣结构之扣扣互连

## 2 倒扣连接结构设计要点

倒扣连接结构中, 扣孔连接使用频率最高, 结构位置多数位于连接件的外侧或外沿。一般情况下, 倒

**作者简介:** 曾令扬(1987-), 男, 大学本科, 工程师, 主要从事塑胶包装结构设计工作。

扣悬臂厚  $b=0.6 \cdot a$ ,  $a$  为壳件壁厚。这个厚度比, 可有效降低注塑件冷却收缩对壳件外观的影响。当这个厚度比无法满足外观需求时, 可进一步减小厚度比, 如 0.5、0.4。为确保倒扣悬臂功能而无法减薄悬臂厚度时, 可在悬臂根部增加一个增厚台阶, 使壳件局部壁厚增加, 亦能解决冷却收缩对壳件外观的影响。

倒扣悬臂高度  $c=d+m$ ,  $d$  为扣牙与连接件的间隙, 其值一般取 0.2 mm,  $m$  为连接件壁厚。对于两个塑胶连接件, 其壁厚  $a$  和  $m$  先于倒扣悬臂厚度  $b$  和高度  $c$  确定, 当倒扣塑性变形量不足以满足扣合变形需求时, 则需增大两连接件的间隙, 或增加连接件局部厚度, 既满足倒扣悬臂塑性变形量要求, 也满足连接件配合要求。

一般, 扣孔连接的扣牙宽度  $e \geq 1$  mm, 扣扣互连的悬臂变形量较大, 扣牙宽度  $e \geq 1.5$  mm。倒扣宽度  $k=b+e$ , 扣孔宽度  $f-k \geq 0.5$  mm。扣孔给倒扣预留足够的变形空间, 倒扣方能顺利变形入孔, 实现扣合连接。

倒扣  $g$  位以及扣孔  $h$  位通常设置倒角, 用于组装导向, 便于组装操作, 提高组装效率。当扣孔位置受限,

不足以设置倒角, 或倒角外露影响外观, 则不用设置倒角, 但倒扣  $g$  位须设置倒角便于组装导向。导向倒角一般为  $45^\circ$ , 当需要控制扣牙高度  $j$  以减小倒扣对外观影响时, 可适当增大倒角角度, 减小扣牙高度  $j$ 。扣牙高度  $i \geq 0.5$  mm,  $i$  越大, 扣牙刚性越好, 扣合功能失效概率越小, 同时, 扣牙高度  $j$  会越高。当需要控制扣牙高度  $j$  时, 需要对扣牙高度  $i$  及导向倒角  $g$  两个要素进行综合考量, 以满足相关要素的功能需求及设计需求。

### 3 倒扣悬臂变形理论计算

塑胶配件组装时, 倒扣悬臂需要有足够的变形量, 方能满足组装需求; 组装动作完成后, 倒扣悬臂还需要恢复形变, 满足扣合需求, 这种变形称为弹性变形。在弹性限度内, 弹性形变有拉伸和压缩形变、切变、弯曲形变和扭转变形 4 种基本类型, 倒扣悬臂的形变属于弯曲形变, 其变形量即为挠度。无加强筋的倒扣悬臂可视为简支梁, 因而可运用简支梁相关挠度计算公式进行计算。如此, 倒扣悬臂简图、挠曲线方程及最大挠度计算公式<sup>[1]</sup>, 见下图 3。

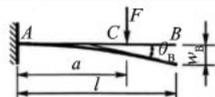
梁的简图	挠曲线方程	端截面转角	最大挠度
	$w = \frac{Fx^2}{6EI}(3a-x) \quad (0 \leq x \leq a)$ $w = \frac{Fa^2}{6EI}(3a-x) \quad (0 \leq x \leq a)$	$\theta_B = \frac{Fx^2}{2EI}$	$w_B = \frac{Fx^2}{6EI}(3l-a)$

图 3 无筋倒扣悬臂简图、挠曲线方程及最大挠度计算公式

以上计算公式中,  $F$  为单个作用力,  $l$  为悬臂长度,  $E$  为弹性模量,  $I$  为截面惯性矩。塑胶包装倒扣悬臂常用的截面为矩形和扇环形。二者的截面惯性矩计算公式完全不同。

#### 3.1 矩形和扇环形截面惯性矩公式

矩形截面惯性矩相对简单。当塑胶包装倒扣悬臂截面为矩形时, 其弯曲受力一般在矩形截面的宽度上, 因此矩形截面惯性矩对矩形截面宽度方向的计算公式<sup>[1]</sup>为:

$$I = \frac{b \times h^3}{12}, \quad b \text{ 为矩形截面宽度, } h \text{ 为矩形截面厚度}$$

扇环形截面惯性矩相对复杂。第一步, 求出扇形截面惯性矩。令坐标轴原点为扇形圆心, 圆心角为  $\theta$ , 纵轴为扇形对称轴, 根据惯性矩定义, 利用积分<sup>[2]</sup>, 推导得到扇形对该坐标系横坐标的截面惯性矩计算公式为  $I = \frac{r^4}{8}(\theta + \sin\theta)$ 。第二步, 求扇环形截面惯性矩。

当一个平面内截面图形由若干个简单的图形组成时, 可先算出每一个简单图形对同一坐标轴的惯性矩, 再求其总和, 即等于整个图形对该坐标轴的惯性矩<sup>[1]</sup>。据此, 坐标原点为扇环形圆心, 圆心角为  $\theta$ , 纵轴为对称轴, 扇环形对该坐标系横坐标的截面惯性矩计算公式为  $I_{sh} = \frac{(R^4 - r^4)}{8}(\theta + \sin\theta)$ , 其中,  $R$  为外圆半径,  $r$  为内圆半径。最后, 根据平面图形静矩和组合图形形心坐标计算公式计算以及平面图形惯性矩平行移轴公式<sup>[1]</sup>推导出该扇环形对过其形心横坐标轴的截面惯性矩, 计算公式为:

$$I_c = \frac{\theta + \sin\theta}{8} \times (R^4 - r^4) - \frac{4(1 - \cos\theta)}{9\theta} \times \frac{(R^3 - r^3)^2}{R^2 - r^2},$$

$\theta$  为弧度。

#### 3.2 倒扣悬臂长度公式

由前面挠度公式可知, 悬臂变形长度  $l$  处的挠度为  $w = -\frac{Fl^3}{3EI}$ , 则为方便倒扣设计时悬臂最小长度的快

速确定, 可结合 EXCEL 表格或特定程序进行计算, 如图 4。基于 EXCEL 表格录入数据的便捷性及角度使

用习惯, 图 4 中, 圆心角为角度制, 经换算成弧度后, 再运用于截面惯性矩公式中。

3) 截面惯性矩的计算					
悬臂截面形状	宽度 b/mm	厚度 h/mm	截面惯性矩 I/(mm <sup>4</sup> )	计算公式	
矩形截面	8.00	1.50	2.25	$I = \frac{b \times h^3}{12}$	
扇形截面	10.00	1.20	1.44		
4) 倒扣悬臂长度 l 的计算					
倒扣悬臂材料	弹性模量 E/MPa	倒扣扣牙变形量 W/mm	扣牙受力 F/N	截面惯性矩 I/(mm <sup>4</sup> )	计算公式 (圆心角为弧度)
ABS	2 200	1.50	64.00	2.25	$l = \frac{3W \times E \times I}{F \times (90^\circ - \theta)}$
ABS	2 200	1.50	64.00	1.44	$\times \frac{10 \times 10^2}{90^\circ - 60^\circ}$
ABS	2 200	1.50	64.00	17.84	
ABS	2 200	1.50	64.00	8.19	

图 4 结合 EXCEL 表格或特定程序快速计算截面惯性矩和倒扣悬臂长度

## 4 倒扣悬臂变形仿真与理论计算互验

### 4.1 倒扣矩形截面悬臂长度理论计算与仿真数据比对

倒扣材料为 ABS, 弹性模量  $E=2.2 \times 10^3$  MPa, 倒扣扣牙变形  $W=1.5$  mm, 倒扣扣牙受力  $F=64$  N。

(1) 悬臂矩形截面宽  $b=8$  mm, 厚  $h=1.5$  mm, 矩形截面惯性矩  $I=(b \cdot h^3)/12=(8 \times 1.5^3)/12=2.25$  mm<sup>4</sup>, 悬臂长度  $l \approx 7$  mm, 仿真对比如图 5。

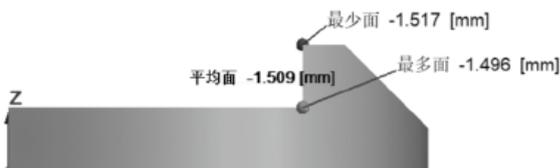


图 5 矩形悬臂 8 mm×1.5 mm×7 mm 仿真

(2) 悬臂矩形截面宽  $b=10$  mm, 厚  $h=1.2$  mm, 矩形截面惯性矩  $I=(b \cdot h^3)/12=(10 \times 1.2^3)/12=1.44$  mm<sup>4</sup>, 悬臂长度  $l \approx 6$  mm, 仿真对比如图 6。

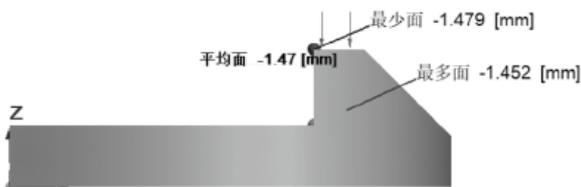


图 6 矩形悬臂 10 mm×1.2 mm×6 mm 仿真

### 4.2 倒扣扇环形截面悬臂长度理论计算与仿真数据比对

倒扣材料为 ABS, 弹性模量  $E=2.2 \times 10^3$  MPa, 倒扣扣牙变形  $W=1.5$  mm, 倒扣扣牙受力  $F=64$  N。

(1) 悬臂扇环形截面外圆半径  $R=10$  mm, 内圆半径  $r=8.5$  mm, 圆心角  $\theta=90^\circ$ , 扇环形截面惯性矩  $I=17.83$  mm<sup>4</sup>, 悬臂长度  $l \approx 14$  mm, 仿真对比如图 7。

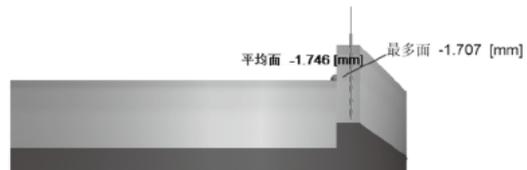


图 7 扇环形悬臂 r8.5 mm×90°×14 mm 仿真

(2) 悬臂扇环形截面外圆半径  $R=10$  mm, 内圆半径  $r=8$  mm, 圆心角  $\theta=60^\circ$ , 扇环形截面惯性矩  $I=8.19$  mm<sup>4</sup>, 悬臂长度  $l \approx 10.8$  mm, 仿真对比如图 8。

## 5 结束语

本文重点论述了塑胶包装中倒扣的结构分类、倒扣设计要点、矩形截面或扇环形截面惯性矩计算、无筋悬臂理论设计长度的计算以及仿真与理论互验倒扣功能这几方面的内容。倒扣设计要点阐述了倒扣设计过程中, 各部位需要满足的尺寸数据关系, 以满足外

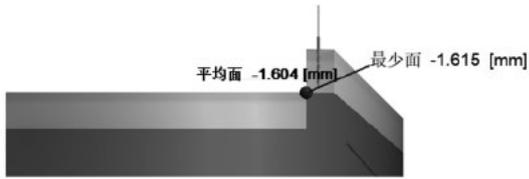


图 8 扇环形悬臂 r8 mm×60°×10.8 mm 仿真

观、功能、组装等方面的要求。矩形截面或扇环形截面惯性矩计算则为无筋悬臂理论设计长度的计算做好铺垫，打下理论基础。无筋悬臂理论设计长度的计算

则将无筋悬臂视为简支梁，通过简支梁挠度计算公式，计算出悬臂理论设计长度。倒扣仿真则是运用仿真技术手段，与悬臂长度理论计算形成互验，进一步确保倒扣结构满足相关功能要求。本文相关研究论述在极限空间尺寸中设计倒扣结构具有较高价值和意义。

参考文献：

- [1] 刘鸿文. 材料力学 .1.6 版. 高等教育出版社 .2017.7.
- [2] 同济大学数学系. 高等数学 .上册. 高等教育出版社 .2014.7.

## Design and exploration of inverted buckle structure for plastic packaging

Zeng Lingyang

(Yibin Plastic Packaging Materials Co. LTD. of Sichuan Province, Yibin 644007, Sichuan, China)

**Abstract:** In the design of plastic packaging, due to limitations in materials, processes, or requirements in terms of structure, function, etc., it is usually necessary to split a package into multiple components. In addition to bonding and welding, one of the common ways to connect components is through a snap fit connection. The main forms of inverted connections include buckle hole connections and interlocking connections between buckles. This article will explore in depth the design points and techniques of inverted structures through a combination of theoretical calculations, empirical design, simulation analysis, and theoretical verification, in order to improve the efficiency of inverted functional design, and introduce two representative inverted structures.

**Key words:** packaging design; packaging structure; structural design; inverted structure; simulation

(R-03)

### 更正说明

在 2025 年第 2 期的《聚乙烯和尼龙双层护套光缆的挤制工艺分析》（作者：杨文波，潘锦华，张启胜，何新林）一文中，图 4：双层共挤护套冷却成型示意图（P52 页）出现了图片内容与文中描述不符的问题，这一失误影响了文章内容的准确呈现以及读者的正常阅读体验，现订正如下。

烦请各位读者对照阅读，以获取准确的信息。给读者朋友们带来的不便，敬请谅解。

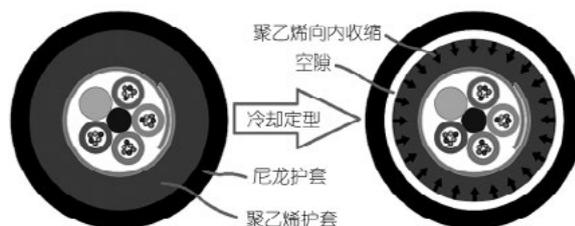


图 4 双层共挤护套冷却成型示意图