

# 应用Solidworks对棋盘式纸浆模塑结构 及其模具的设计

邓瑶瑶, 徐弘, 帅大平, 朱小东

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412008)

**摘要:** 针对环保型纸浆模塑制品相对其他包装制品在结构承载、缓冲能力上的不足, 提出了具有较好承载和缓冲能力的纸浆模塑棋盘式结构。结合纸浆模塑制品技术要求和生产实际, 应用 Solidworks 进行纸浆模塑棋盘式结构设计、分析和模具设计, 并且生产出纸浆模塑棋盘式结构制品。

**关键词:** 纸浆模塑; 棋盘式结构; 模具设计; Solidworks

**中图分类号:** TB482.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2010)02-0043-05

## The Pulp Mode of Chessboard Structure and Mold Design Based on Solidworks

Deng Yaoyao, Xu Hong, Shuai Daping, Zhu Xiaodong

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract:** Compared with other packing products, environmental packing products have the defects in structural-load-carrying and buffering capacity. The pulp mold of chessboard structure design with improved structural-load-carrying and buffering capacity is discussed. Combined with technical requirements for pulp molding products and actual production, the chessboard structure design with analysis and mold design are practiced with the application of Solidworks while pulp molding products are produced.

**Key words:** pulp molded; chessboard structure; mold design; Solidworks

纸浆模塑行业发展非常迅速, 应用领域不断拓展, 这对其性能提出了更高的要求, 特别是对结构的功能提出了新的要求: 更强的承载能力, 更好的缓冲性能, 更稳定的抗振性能。目前纸浆模塑制品结构对较轻包装物能起到较好的支撑和保护作用, 但对于 150 kg 以上包装物基本达不到承载和保护的作用。

### 1 棋盘式纸浆模塑结构的提出与定义

纸浆模塑制品以芦苇、麦草、竹等草本植物纤维浆或木浆, 以及废纸板、废纸为主要原料, 加入松香

胶、石蜡乳胶或松香-石蜡乳胶等湿强剂进行打浆, 按照相应规格、尺寸、结构形状, 通过模具由真空吸附或正向压漏后成型, 经压实、干燥、整形, 得到与内装物轮廓一致的制品。

纸浆模塑棋盘式结构是在良好力学性能的蜂窝状结构认识的基础上提出来的。坚固、连续的蜂窝形网状结构可以分散承担来自各方的外力作用, 且受到外界较大冲击作用时, 具有良好的缓冲性能。它能有较少的材料消耗达到较大的力学性能, 但是蜂窝状结构侧面受力相对较弱。纸浆模塑棋盘式结构将蜂窝结构和受力原理加以改进应用于内包装, 达到拓展纸浆模

收稿日期: 2010-03-19

作者简介: 邓瑶瑶 (1981-), 男, 湖南娄底人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要研究方向为快速成型, 快速制模技术, 纸浆模塑制品, E-mail: dengyaoyao453@sina.com

塑结构承载能力和缓冲性能的目的。

棋盘式蜂窝状结构(以下简称棋盘式结构),其基本单元5面封闭,1面敞开,相邻型腔之间敞开面上下交错,共用一个侧壁,对角型腔开口方向相同,相邻与对角4型腔之间共用1棱。在此基础上,作低于型腔高度的包装品形体掏空处理后,形成的整体像棋盘的结构,见图1。

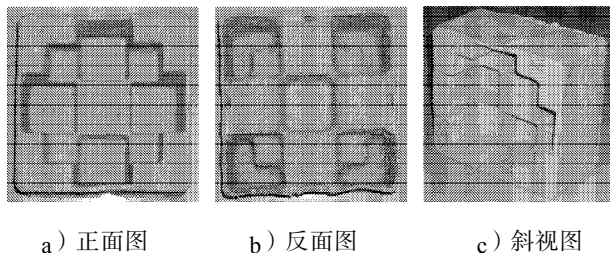


图1 棋盘式结构

Fig.1 Chessboard structure

四壁一棱构成十字形结构,西安理工大学部分学者通过实验测知:等效面积的形状因子为1.42,所有形状里以十字型单元结构承载能力最强,75 kg的人站于棋盘式纸浆模塑制品之上,制品无变形,见图2。

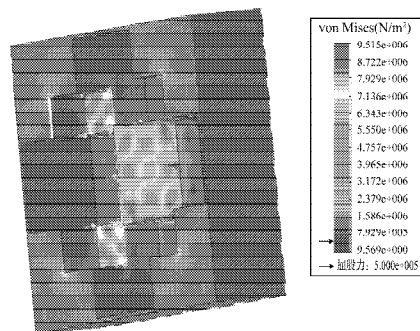


图2 承载实验

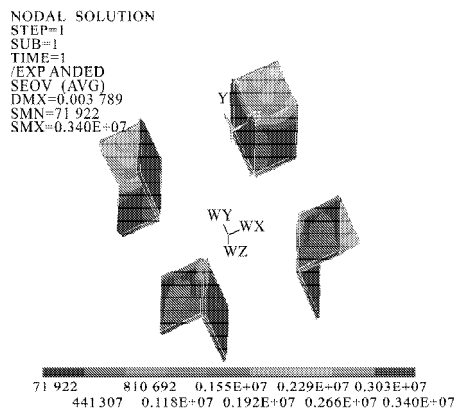
Fig.2 Load carrying test

## 2 棋盘式纸浆模塑制品性能分析

1) 笔者应用有限元分析和试验相结合的办法,将棋盘式结构与传统结构作对比。在相同载荷(1 500 N)作用下,只考虑侧壁应力分布情况,在棋盘式结构中,采用COSMOS分析,应力主要集中在 $4.0\text{E}5 \sim 2.0\text{E}6$  Pa,平均值为 $0.9\text{E}6$  Pa,如图3a)所示;采用ANSYS分析,应力主要集中在 $4.4\text{E}5 \sim 2.2\text{E}6$  Pa,如图3b)所示,设计应力与许用应力(4倍于屈服强度) $2\text{E}6$  Pa基本吻合。在传统结构中,采用COSMOS分析,应力主要集中在 $8.0\text{E}6 \sim 1.0\text{E}7$  Pa,且结构已经严重失稳,如图4所示。传统结构在300 N载荷作用下应力才主要集中在 $4.0\text{E}5 \sim 2.0\text{E}6$  Pa,可见棋盘式结构是传统结构承载能力的4~5倍。且通过抗压试验发现:在弹性限度内(直到产品被破坏),其抗压能力比有限元分析的理想化模型的抗压能力强,如图5所示。



a) COSMOS 静态载荷分析应力云图



b) ANSYS 静态载荷分析应力云图

图3 棋盘式结构应力云图

Fig.3 Stress distribution chart of chessboard structure

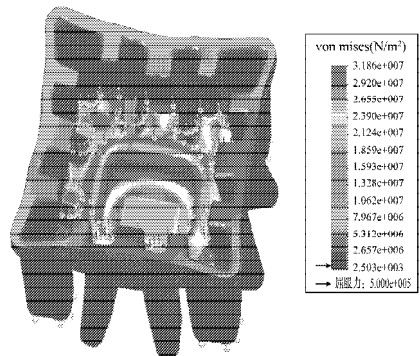


图4 传统结构 COSMOS 静态载荷分析应力云图

Fig.4 Stress distribution chart of traditional structure by static load based on COSMOS

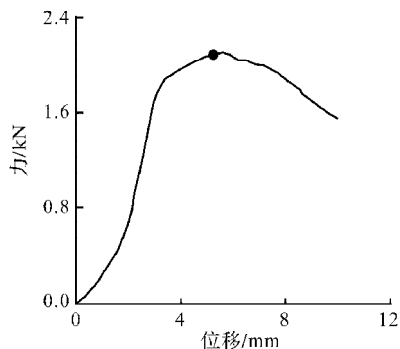


图5 产品抗压性能测试

Fig.5 Resistant compression test of compact

2) 据现有资料及实验证明, 蜂窝状结构抗冲击能力较强, 因此本文没有对冲击性能作进一步测试。棋盘式结构在多个方向具有蜂窝状特点, 据此可推知棋盘式结构不但可以承受垂直方向的冲击, 而且可以承受侧面的冲击, 这是传统结构做不到的。

3) 从 ANSYS 模态分析看, 棋盘式结构的基频在 30 Hz 以上, 而公路和铁路的运输环境频率分布在 5~25 Hz, 可以避免运输共振。

### 3 棋盘式纸浆模塑制品的模具特点

#### 3.1 模具的构成

根据不同的工序, 有成型模具、热压定形模具和整形模具等。其中成型模具较为复杂, 需要金属网或尼龙网罩覆盖。

#### 3.2 模具的精度要求

模具精度是保证产品质量的关键之一, 自动生产线及用精密模制法成型的生产过程使用的模具, 对精度的要求更加严格。

1) 凹、凸模的形状必须与制品相匹配, 模具的尺寸和规格要考虑到纸坯在干燥过程的收缩率;

2) 网罩的网面必须平整, 需紧贴支撑模面, 特别要注意支撑模的拐角和底角必须与网面严密吻合;

3) 对桶形、盆形之类的金属模具, 拔模角度一般设置为  $3\sim 5^\circ$ , 并且在交接线处呈圆角过渡, 这样可以避免应力集中, 延长网膜寿命。

#### 3.3 模具的设计要点

1) 厚度。考虑到效率和成本, 一般吸附的厚度在 1.5~3.5 mm。

2) 拔模角度。纸塑制品大部分采取的是真空减压吸附成型的办法, 由于纸浆是吸附在网膜上的, 需要一定的拔模角度, 便于脱模。

3) 缓冲单元。纸浆模塑制品角部支撑面起承载和嵌合包装品的作用。除了支撑面, 底部还设置有缓冲单元, 缓冲单元一般是圆台或者方形体空壳结构。

4) 圆角。为了提高模具的使用寿命, 避免模塑制品承载时局部产生应力集中, 通常采用圆角结构。

## 4 应用 Solidworks 软件设计棋盘式纸浆模塑结构模型

#### 4.1 设计方法

1) 根据包装品形体构建棋盘结构。

2) 尺寸分析和计算。主要考虑整体棋盘式结构基底设计和棋盘式单元形体大小 2 个方面。江南大学周防国认为承载能力的大小是由单元侧壁高度和边长的比值决定的。当侧承载周长与壁高度之比达到 5 时, 失

稳临界承载能力迅速增加, 考虑棋盘式纸浆模塑结构特点, 笔者选取侧壁高度与承载周长的比为  $1:4\sim 1:6$ 。

3) 单元拔模角度对棋盘式结构实际生产的影响。棋盘式结构凸包单元与凸包单元之间是相互连接的, 而在实际设计中, 凸包与凸包之间是要有间隙的, 且间隙不能太小, 因为凸模上粘贴了一层网膜, 要考虑到网膜的寿命和质量问题, 可以通过在生产工艺中增加吸附时间将间隙部分弥合, 达到形成棋盘式结构的目的 (如图 1)。型腔内单元向法线方向拔模, 而型腔侧壁向反方向拔模, 考虑到侧壁与内单元接近处弥合的问题, 因此侧壁拔模角度适当设置为  $1\sim 2^\circ$ 。

4) 设计方式的选取。采用 Solidworks 进行棋盘式结构设计, 一种设计方式是先做成棋盘式结构基础, 将其拉伸切除包装体形状, 再通过拉伸缝合, 形成棋盘式结构的形体。另一种设计方式是先做一面的棋盘式结构基础, 将其作包装品形状拉伸切除, 基本形体出来后, 拔模和圆角化, 然后在形体的另一面抽壳, 形成棋盘式结构。笔者选择第二种方式进行模型设计。

#### 4.2 设计步骤

1) 通过拉伸、阵列、作包装品形体切除、圆角化后生成正面图, 如图 6 所示。

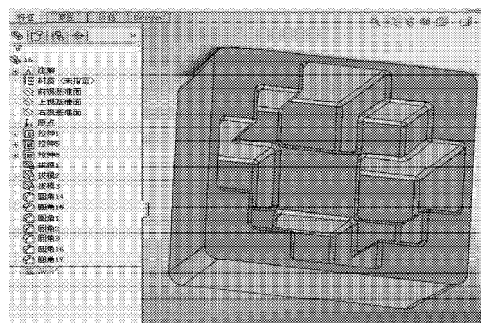


图 6 正面设计

Fig. 6 Design in the front

2) 抽壳。在基本模型的背面进行抽壳处理, 一般先在正面圆角化后再在背面抽壳。背面抽壳后的效果, 如图 7 所示。

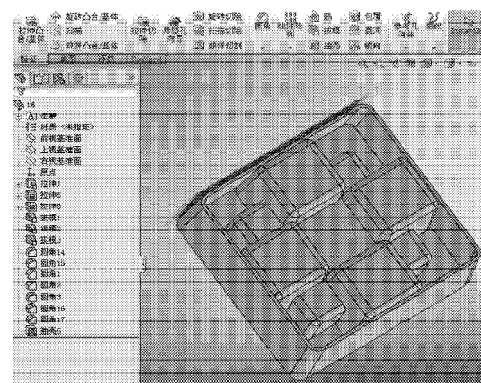


图 7 背面抽壳

Fig. 7 Hollowing shell on the back

3) 检查、修改与整理。通过检查发现,侧壁的拔模方向与实际生产要求方向相反。重新编辑草图、特征后,经检查能够达到实际生产要求,修改整理后如图8所示。

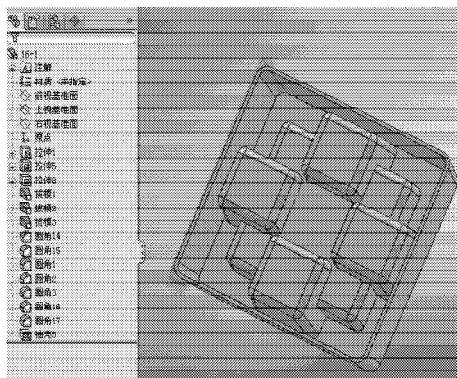


图8 修改整理

Fig. 8 Amending and sorting out

## 5 棋盘式纸浆模塑模具设计

1) 打开已有的棋盘式结构模型,使Solidworks进入模具设计模式。直接使用Solidworks附带的模具设计模块进行设计,设计流程见图9。

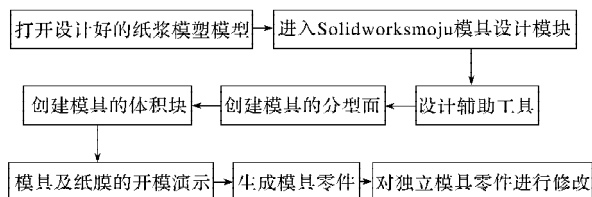


图9 Solidworks 模具设计流程

Fig. 9 Progress of mold design based on Solidworks

2) 进入模具设计模块后,进行比例缩放,生成分型线,如图10所示。

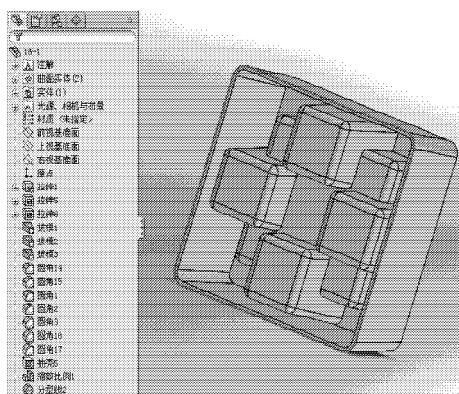


图10 生成分型线

Fig. 10 Making parting line

3) 通过分型面,在分型面上3 mm(闭合高度)处建立基准面,作草图,然后生成凹凸模体积块,如图11所示。

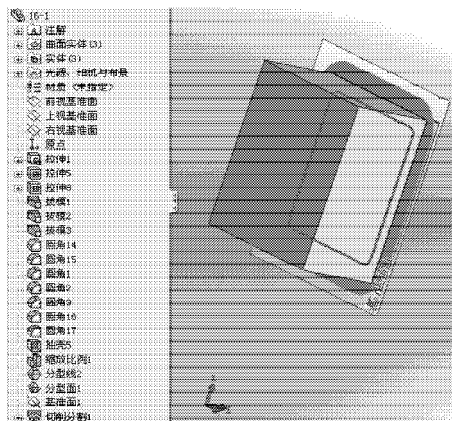


图11 生成体积块

Fig. 11 Making volume

4) 通过实体移动/复制工具将凹凸模分离开,如图12所示。

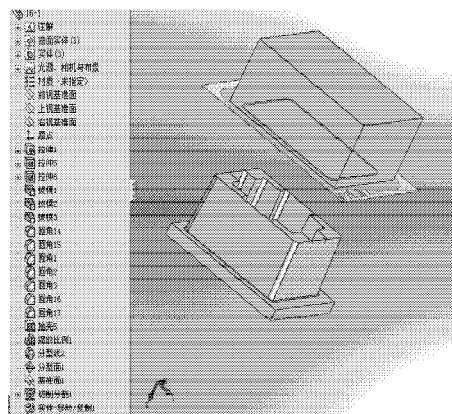


图12 分开凹、凸模具

Fig. 12 Separating concave and raised mold

5) 生成模具独立零件。在设计树实体中通过“切削分割”选择“插入到新零件”,就可以将这套组合模分离开单独处理了。

分离后制成的独立凸模见图13,而凹模则使用环氧树脂做成翻模制成,这样可节约制模成本。

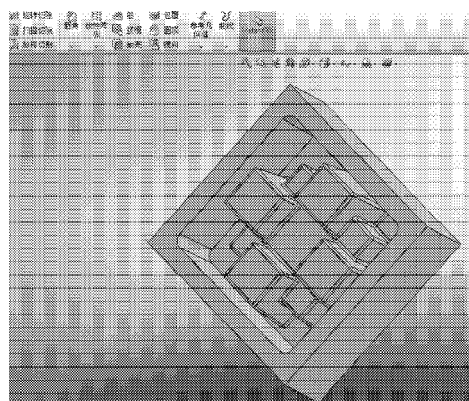


图13 生成独立模具零件

Fig. 13 Making independent mold part

## 6 棋盘式纸浆模塑模具制造

通过 CNC 数控加工 (见图 14)。钻孔 (见图 15), 覆金属网膜 (见图 16), 装配制造出整套棋盘式纸浆模塑模具 (见图 17)。

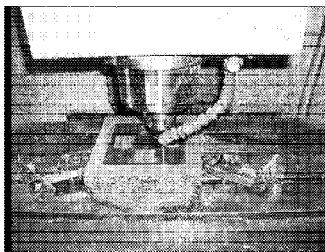


图 14 数控加工

Fig.14 CNC

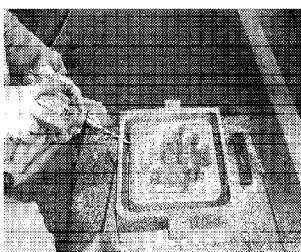


图 15 钻孔

Fig.15 Drilling holes

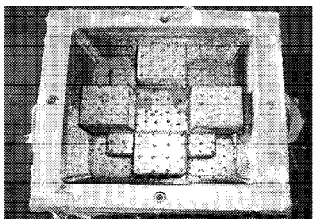


图 16 覆金属网膜

Fig.16 Sticking the metal net

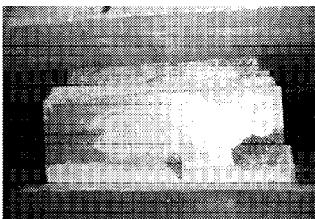


图 17 整套模具

Fig. 17 The whole mold

## 7 结论

随着纸浆模塑工业与技术的不断完善, 新型的绿色环保型包装容器正逐步取代塑料包装容器。传统纸浆模塑结构在承载和缓冲能力方面相对较弱, 因此提出了能增加承载和缓冲性能的棋盘式纸浆模塑结构。棋盘式结构多内腔 (多凸包), 且内腔与内腔相连, 工艺上采用单面吸浆, 这给其制造带来困难。可以通过内腔设计成独立的结构, 减小拔模角度, 减少内腔单元与内腔单元之间的空隙间距, 增加吸附时间, 弥合型腔之间的间隙, 以降低棋盘式纸浆模塑制品结构制造的困难。采用 Solidworks 设计纸浆模塑结构与模具, 简单快捷, 给纸浆模塑的设计制造提供了新思路、新方法。

1) 通过有限元分析及测试, 可看出本文设计的棋盘式结构的承载能力是传统设计结构承载能力的 4~5 倍, 且具有比较全面的缓冲性能和抗振性能。

2) 应用 Solidworks 作纸浆模塑模型与模具设计, 并且应用数控生产加工, 是行之有效的。

3) 设计棋盘式纸浆模塑结构, 应充分考虑纸浆模塑生产工艺的特点和技术要求。理想化的棋盘式模型结构在实际生产制造中有一定的难度, 但可以通过改进工艺方法来达到预定的要求。

### 参考文献:

- [1] 黄俊彦. 纸浆模塑生产实用技术[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2007: 133-142.  
Huang Junyan. Pulp Molding Production Practical Technology [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007: 133-142.
- [2] 陈海燕. Pro/ENGINEER在纸浆模塑模具设计中的应用[J]. 包装与食品机械, 2006, 27(9): 35-38.  
Chen Haiyan. Pro/ENGINEER in the Pulp Molding Mold Design Application[J]. Packaging and Food Machinery, 2006, 27(9): 35-38.
- [3] 朱圣光. 纸浆模塑工艺与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 8-16.  
Zhu Shengguang. Pulp Mold Process and Technology[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2007: 8-16.
- [4] 张业鹏. 纸浆模塑包装结构的缓冲性能及其可靠性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.  
Zhang Yepeng. Molded Pulp Packaging Structure of the Buffer Performance and Reliability[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.
- [5] 谢昱北. Solidworks 2007 中文版模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 45-90.  
Xie Yubei. Mold Design Solidworks 2007 Chinese Version [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2007: 45-90.
- [6] 彭国勋, 宋宝丰. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2006: 56-66.  
Peng Guoxun, Song Baofeng. Logistics Transport Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006: 56-66.
- [7] 周防国. 纸浆模塑制品的结构设计原理初探[D]. 无锡: 江南大学, 2006.  
Zhou Fangguo. Preliminary Principle of Structural Design of Molded Pulp Products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.

(责任编辑: 徐海燕)