

纸浆模塑托盘构型三维设计及支腿结构 CAE 分析

赵凡, 计宏伟, 王怀文, 王勇

(天津商业大学, 天津 300134)

摘要: 运用 Pro/E 软件对纸浆模塑托盘构型进行了三维设计, 完成了托盘支腿和面板的零部件建模及相应的装配。运用 ABAQUS 有限元分析软件对托盘支腿结构进行了强度计算, 模拟分析了纸浆模塑托盘支腿在压缩载荷作用下的弹塑性变形, 得到了模型受载变形全过程的载荷-位移曲线, 从而确定了支腿的承载能力。

关键词: 纸浆模塑托盘; 三维建模; 有限元分析; 承载能力

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)07-0013-04

Three-dimension Design for the Molded Pulp Pallet and Cae Analysis of the Outrigger Unit

ZHAO Fan, JI Hong-wei, WANG Huai-wen, WANG Yong

(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: Molded pulp pallets are 3-dimensionally designed by Pro/E software, including outrigger, panel and assembled structure models, and then the 2D engineering drawings are drawn. At the same time, the outrigger structure intensity is analyzed for the molded pulp pallet by ABAQUS software. Based on the elastic-plastic properties of molded pulp material, the strain fields and stress fields of the outrigger structure under compressive load are simulated, resulting in the force-displacement curves of outrigger units under compression, thus determining the load-bearing capacity of the outrigger unit.

Key words: molded pulp pallet; three dimensional modeling; finite element analysis; load-bearing capacity

纸浆模塑是一种通过模压成型的三维立体纸质材料, 由于以废纸等二次纤维为原材料, 具有很好的环境友好特性。随着纸浆模塑制品设计方法的深入研究和生产工艺的进步, 其应用范围越来越广, 正朝着开发重载包装制品的方向发展, 目前已开发出大型纸浆模塑物流托盘, 为实现以纸代木包装开辟了一种有效途径^[1-3]。为了提高纸浆模塑物流托盘的承载能力, 托盘结构构型日趋复杂, 因此, 纸浆模塑托盘的构型设计和承载能力分析越显必要而紧迫^[4-5]。目前在纸浆模塑重载物流托盘的开发研究方面, 特别值得关注以下 2 个问题: ①纸浆模塑托盘结构构型设计有待进行科学优化; ②在结构强度有限元分析研究方面, 还限于对托盘典型单元结构的研究方面^[6-7], 缺乏针对托盘整体结构的性能分析。鉴于此, 文中采用

CAD/CAE 技术, 建立大型纸浆模塑物流托盘的结构创新构型, 达到开发出结构优化、力学性能优良的大型重载包装制品的目的。在此基础上, 运用 ABAQUS 有限元分析软件对托盘支腿结构进行了强度计算, 从而分析与评价纸浆模塑托盘的性能和承载能力。

1 大型纸浆模塑托盘承载结构单元及整体结构的构型设计

1.1 纸浆模塑托盘的基本结构

纸浆模塑托盘类型以单面使用、双向进叉或四向进叉型为主, 由面板和支腿组合而成。面板设计成纵横交错的加强筋式结构, 使承重能力达到优化; 支腿各面应强化处理, 以提高承载能力, 同时要在承载平面内均匀设置, 以平均分布载荷。根据托盘支腿的不

收稿日期: 2013-01-08

基金项目: 天津市自然科学基金重点项目(08JCZDJ16100)

作者简介: 赵凡(1976-), 男, 天津人, 硕士, 天津商业大学副教授, 主要从事工业设计教学与研究。

通讯作者: 计宏伟(1964-), 男, 辽宁锦州人, 天津商业大学教授, 主要从事包装结构设计研究。

同分布方式,可把纸浆模塑平托盘分为以下 2 种形式^[8]:一是多支腿型托盘,二是条形支腿型托盘。见图 1。

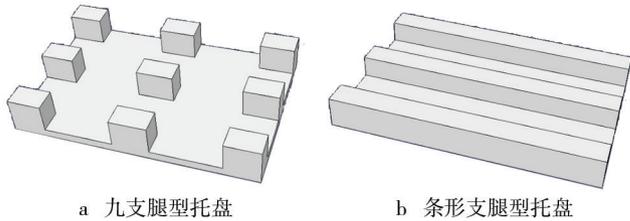


图 1 2 种不同支腿结构的纸浆模塑托盘

Fig. 1 Structure sketch of molded pulp pallet

1.2 结构构型设计思路及流程

纸浆模塑制品的结构是复杂的三维薄壁结构,其承载能力与其结构形式、形状尺寸及原料组成密切相关,结构体的形状构型、侧壁斜度、厚度和高度等结构参数决定着纸浆模塑包装制品承载能力。下面给出纸浆模塑托盘构型三维设计的思路 and 流程。

设计思路:在分析纸浆模塑 4 种基本结构单元(即棱台、圆台、棱柱和台阶状)几何构型的基础上,采用积木式的结构设计方法,将众多基本结构单元之间通过相互串联或并联构成了新结构构型。

设计流程:根据制品使用要求和规格要求确定其外尺寸 设计制品结构单元 设计加强筋 创建工程特征 制品结构建模与制图。设计中考虑了以下 4 点要求:①设计软件使用 Pro/ENGINEER 三维 CAD 软件;②结构单元的数量由产品的重量和产品的结构来确定;③纸浆模塑制品主要靠它的结构来起承载和防护作用,而单纯的依靠结构单元达不到所需的效果,所以需要加强筋处理,由于梯形加强筋有效承载面积比矩形的大,承受的冲击力大,所以文中采用了梯形加强筋处理,不仅提高了制品的强度,还节省了大量材料;④纸浆模塑制品需要创建圆角和拔模斜度等工程特征,目的是减少应力集中现象和方便成型过程中脱模。

1.3 托盘支腿创新构型设计

这里按照积木式结构设计方法,采用 Pro/E 对托盘支腿的创新构型进行虚拟样机实体建模。

按照实际通用托盘实际尺寸,利用 Pro/E 对托盘支腿进行准确建模,设计出 3 种创新构型:第 1 种支腿单元构型为简单台体构型;第 2 种支腿单元构型为加筋台体构型;第 3 种支腿单元构型为多曲面化构

型。3 种构型的三维图见图 2。

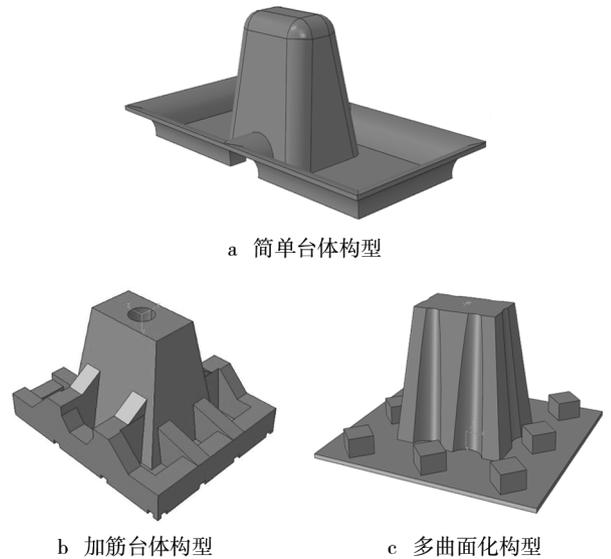


图 2 3 种支腿单元构型

Fig. 2 Three types of outrigger configurations

1.4 托盘整体结构构型设计

在支腿结构构型设计完成后,根据设计出的 3 类支腿构型特征相应地设计托盘整体结构。3 种托盘整体构型见图 3,3 种托盘的面板呈现出 3 种不同分

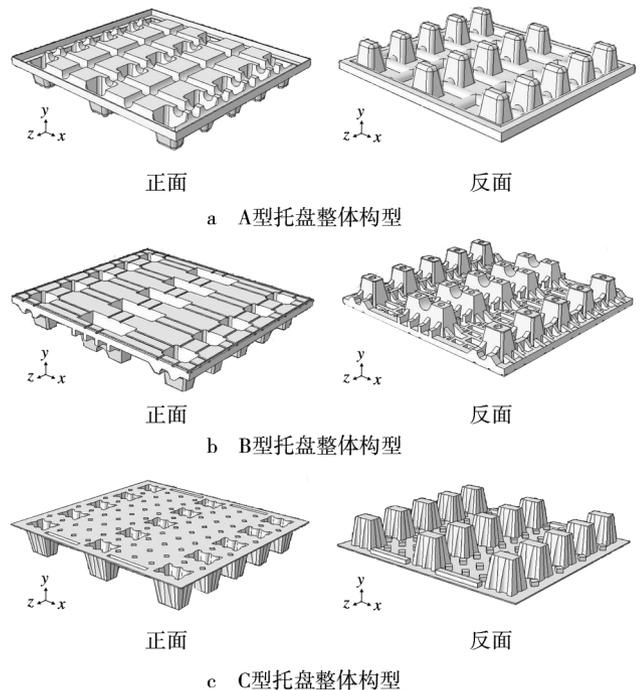


图 3 托盘整体结构构型

Fig. 3 Model C of the molded pulp pallet

布、不同构型的加筋结构,这里分别命名为 A 型托盘、

B 型托盘和 C 型托盘。

2 托盘支腿有限元模型的建立与弹塑性分析

托盘支腿是托盘的主要承载结构,所以分析支腿的承载能力十分重要。下面应用 ABAQUS 有限元软件,模拟分析上文所设计的 3 种支腿单元的抗压弹塑性行为。

2.1 几何模型与加载方式

所设计的 3 种支腿三维模型见图 2,图 2 很好地显示出了支腿中空结构的几何模型,壁厚均为 4.5 mm,高度均为 145 mm。其中,简单台体构型支腿的顶面外轮廓尺寸为 101 mm×59 mm,底面外轮廓尺寸为 409.83 mm×196.15 mm;加筋台体构型支腿的顶面外轮廓尺寸为 101 mm×59 mm,底面外轮廓尺寸为 240 mm×194 mm;多曲面化构型支腿的顶面外轮廓尺寸为 101 mm×59 mm,底面外轮廓尺寸为 280 mm×250 mm。

所施加载荷为压缩加载,在模型顶部加一刚性板与模型建立接触,并通过刚性板施加向下载荷。

2.2 材料力学性能

纸浆模塑托盘基体材料的密度为 0.3451 g/cm³,弹性模量为 $E_0 = 197.56$ MPa,屈服极限为 1.435 MPa,强度极限为 2.782 MPa,泊松比取为 0.1。通过对基体材料真实应力-塑性应变分析,得到了应力-应变数据见表 1。

表 1 纸浆模塑托盘基体材料压缩时真实应力-塑性应变数据

Tab.1 Short span compressive stress-strain data of molded pulp material

塑性应变	0	0.00383	0.00871
真实应力/MPa	1.13447	1.61427	1.94331
塑性应变	0.01361	0.01869	0.02386
真实应力/MPa	2.26065	2.53436	2.78222

2.3 单元及网格划分与弹塑性分析方法

选择单元类型为三维四面体线性单元(C3D4),然后进行网格划分。应用 ABAQUS 模拟分析时,按均质、各向同性材料处理,用多段直线近似代替材料的应力-应变关系曲线。

3 3 种构型支腿承载能力数值分析结果

3.1 简单台体构型支腿承载能力分析

对简单台体构型支腿施加压缩载荷,应用

ABAQUS 对其进行弹塑性模拟分析,得到的模型不同时刻的 Mises 应力及位移云图见图 4 和 5,模型的载荷-位移曲线见图 6。

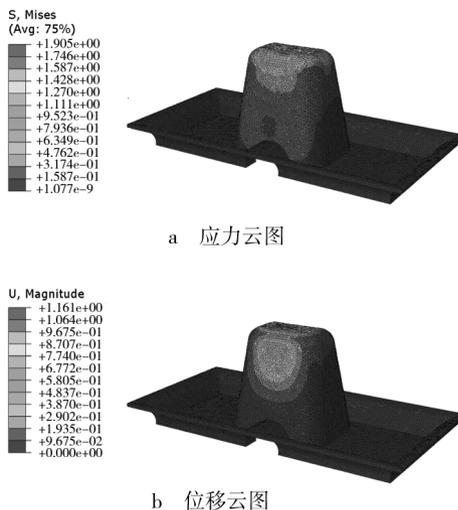


图 4 简单台体构型支腿弹性阶段应力场及位移场
Fig.4 Von Meses stress and displacement of the outrigger with simple platform body conformation in elastic range

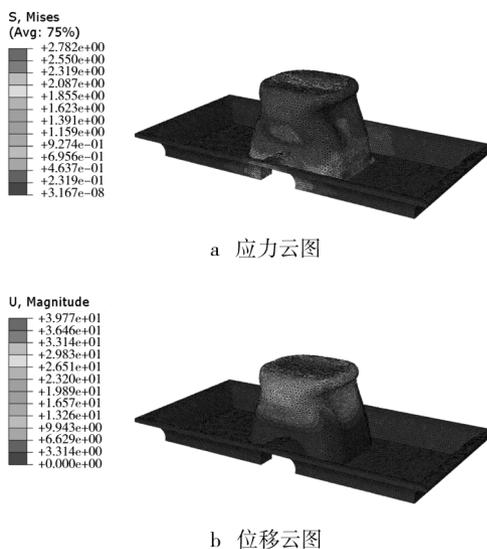


图 5 简单台体构型支腿塑性阶段应力场及位移场
Fig.5 Von Meses stress and displacement of the outrigger with simple platform body conformation in plastic range

图 4 显示出模型处于弹性阶段。模型中的应力还小于材料的屈服应力,整个模型的变形还比较小,这时模型还保持原来的形状,承载能力还能继续增加。图 5 中随着载荷继续增加,模型的大半部分材料已经进入屈服阶段,且模型出现了压溃现象。图 6 中

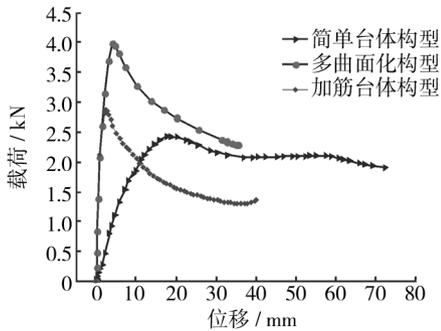


图6 3种构型支腿受压载荷-位移曲线

Fig. 6 Force-displacement curves of three types of outriggers

给出了加载过程中模型的载荷-位移曲线,明显看出简单台体构型支腿的承载能力为 2.425 kN。

3.2 加筋台体构型支腿承载能力分析

类似于对加筋台体构型支腿施加压缩载荷,应用 ABAQUS 对其进行弹塑性模拟分析,同样可以计算出模型不同时刻的 Mises 应力及位移。通过图 6 载荷-位移曲线,可明显看出简单台体构型支腿的承载能力为 2.91 kN。

3.3 多曲面化构型支腿承载能力分析

同样,应用 ABAQUS 对多曲面化构型支腿进行弹塑性模拟分析,从图 8 载荷-位移曲线中可看出多曲面化构型支腿的承载能力为 3.98 kN。

4 结论

采用 CAD 技术,基于积木式的结构设计方法,开发了大型纸浆模塑托盘的支腿承载单元及整体结构的创新构型。设计出了具有简单台体构型、加筋台体构型和多曲面化构型的 3 种托盘支腿结构和具有 3 种创新构型的托盘。采用 CAE 技术,对托盘支腿结构进行了弹塑性分析,进而确定了支腿结构的承载能力。研究表明:多曲面化构型支腿的承载能力较好,是一种性能优异的托盘支腿结构;而从托盘的整体结构来看,创新托盘面板的加强筋设计将会显著提高托盘整体结构的承载能力。

参考文献:

[1] 尹恩强,李士才,张新昌. 新型纸浆模塑通用平托盘的结

构与性能研究[J]. 包装工程,2009,30(8):10-11.

YIN En-qiang, LI Shi-cai, ZHANG Xin-chang. Research on Structure and Capability of New Molded Pulp Tray [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8):10-11.

[2] 冒银斌,纪玉梁,顾玉祥. 重载纸浆模塑制品的结构及其承载性能分析[J]. 包装工程,2010,31(19):1-5.

MAO Yin-yu, JI Yu-liang, GU Yu-xiang. Analysis of Structure and Load Carrying Properties of Heavy-duty Molded Pulp [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19):1-5.

[3] 计宏伟,王怀文. 大型纸浆模塑平托盘弹塑性数值分析[J]. 包装学报,2011,3(1):7-10.

JI Hong-wei, WANG Huai-wen. Numerical Analysis of Elastoplasticity for Large-scaled Moulded Pulp Pallet [J]. Packaging Journal, 2011, 3(1):7-10.

[4] JI Hong-wei, WANG Huai-wen, WANG Jiao, et al. Numerical Analysis for Load-bearing Capacity of Large-scaled Molded Pulp Pallet [C]. The 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE 2011), in Inner Mongolia, China July 15th - 17th, 2011: 5937-5940.

[5] 张粉娟,计宏伟,王佼. 纸浆模塑托盘支腿单元承载能力的数值分析[J]. 包装工程,2012,33(19):15-18.

ZHANG Fen-juan, JI Hong-wei, WANG Jiao. Numerical Analysis for Load-bearing Capacity of an Outrigger Unit of Molded Pulp Pallet [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19):15-18.

[6] 张新昌,潘梦洁,林冬鸣. 基于 ANSYS 模拟分析的纸浆模塑单元结构参数研究[J]. 包装工程,2007,28(9):11-13.

ZHANG Xin-chang, PAN Meng-jie, LIN Dong-ming. Research on Structural Parameters of Molded Pulp Unit Using ANSYS Simulation [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9):11-13.

[7] WANG Jiao, CHEN Jin-long, JI Hong-wei. Numerical Analysis for Load-bearing Capacity and Cushioning Performance of Structural Unit of Molded Pulp Product [C]. 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering (ICEICE 2011), Wuhan, China, IEEE Computer Society, 3387-3390.

[8] 尹恩强. 新型纸浆模塑通用平托盘的结构及其性能研究 [D]. 无锡:江南大学,2009.

YIN En-qiang. Research on Structure and Capability of New Molded Pulp Tray [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.