

中型散装容器框架底板和大梁的设计与分析

刘静, 朱志松, 成亚云
(南通大学, 南通 226019)

摘要: **目的** 设计中型散装容器主要受力部分的结构,即框架的底板和大梁。**方法** 首先,根据使用条件和环境,设计出了合理可靠的底板和大梁的基本造型。其次,研究了大梁肋数、截面高度和肋中部圆弧半径对大梁支撑作用的影响,设计了4种大梁结构。最后,对不同形状和尺寸的结构进行有限元分析,从中选择了最优结构。**结果** 研究发现,底板采用肋纹、大梁肋数目为5条、大梁截面高度为16.5 mm、肋中部圆弧半径为47 mm的结构,应力和变形最小。**结论** 通过对底板和大梁的设计与分析,能满足承载要求,从而延长框架的使用寿命。

关键词: IBC底板和大梁; 结构设计; 有限元分析; 应力; 位移

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)03-0095-05

Design and Analysis of the Floor and Beam of Intermediate Bulk Container Frame

LIU Jing, ZHU Zhi-song, CHENG Ya-yun
(Nantong University, Nantong 226019, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to design the structure of the main force-bearing parts for intermediate bulk container frame, namely the floor and beam of the frame. Firstly, the basic models of the reasonable and reliable floor and beam were designed according to the service conditions and the environment. Secondly, the influences of rib number, the section height and the radius of the middle rib on the support of beam were studied, and four kinds of beam structures were designed. Finally, the best structure was selected based on the finite element analysis of several structures with different shapes and dimensions. It was found that the structure with smallest stress and deformation was the one using rib grain for the floor, with a rib number of five, a beam section height of 16.5 mm and a middle rib radius of 47 mm. The loading requirements could be met, and the service life of the frame could be extended through the design and analysis of the floor and beam.

KEY WORDS: floor and beam of IBC; analysis of structure; finite element analysis; stress; displacement

中型散装容器(Intermediate Bulk Container,简称IBC),于1975年由世界著名工业包装容器生产商德国舒驰公司推向市场。20世纪90年代后期,大批装运国外液体产品的IBC开始进入中国,同时在中国采购液体产品的国外厂商,也开始指定采用该容器作为出口包装^[1]。IBC的出现在一定程度上满足了危险

品及非危险品大运输量的需求,中型散装容器以容量大、节省存储运输空间等优点,在我国已经得到了化工、医药、食品、酿造、涂料等行业的广泛认可和使用^[2]。该容器在使用、叠放及运输过程中,其框架再承受一定载荷,会产生各种变形,长期使用甚至会产生断裂,因此其框架的结构设计值得重视。在整个

收稿日期: 2015-05-31

作者简介: 刘静(1991—),女,江苏沛县人,南通大学硕士生,主攻机械设计、机电设备。

通讯作者: 朱志松(1975—),男,江苏南通人,硕士,南通大学高级实验师、硕士生导师,主要研究方向为机械设计理论、机电一体化技术、模式识别及应用等。

框架结构中,底板和大梁作为托盘是主要受力部分,托盘在储存和运输过程中,存在多种载荷形式,其中静态载荷是托盘破坏的主要原因,如果设计不当,托盘的安全性得不到保障。托盘结构设计一直采用经验设计的方法^[3]。

国外J. H. Lim等人利用有限元法对托盘的静态变形进行了比较研究^[4-5];Chun Hua Jian通过试验数据,利用Solid edge对通用木质平托盘进行了参数化设计,然后进行了结构、尺寸、材料的优化,最后得到了最佳的方案,并进行了试验验证^[6]。王艳菊通过在托盘上施加特定的载荷,模拟了其承载性能^[7];张肖庆在Ansys Workbench环境下建立了结构模型,对2种可能的失效模式进行了模拟,分析了整体结构及螺栓连接在静态弯曲下的承载特性^[8];李杨、丁毅^[9]等人利用有限元分析法对托盘结构进行了优化设计;计宏伟、王怀文等进行了纸浆模塑托盘的构型设计和承载能力分析^[10]。然而,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^[11]。虽然目前学者们取得了一定成果,但很少针对个性化较强的金属托盘进行相关研究。鉴于此,文中设计了IBC底板和大梁结构创新构型,整体进行分析,并通过对比、分析,选择最优的形式,使其能承受工作载荷,将变形控制在一定范围内,达到结构优化、力学性能优良的目的。

1 IBC框架结构

1.1 整体框架的构成

IBC整体外形尺寸在1260 mm × 1110 mm(长×宽)以内,这是最合理经济的装运形式,一般仅使用通用叉车即可对IBC进行装卸^[12]。IBC主要由内胆、桶盖、阀门、金属笼罩和托盘5个部分组成,整体结构见图1,其中金属笼罩下的托盘是承受压力的主要结构。



图1 IBC整体结构

Fig.1 The overall structure of IBC

托盘是用来承载装载溶液内胆并经受运输中的

冲击的,该结构对提高IBC产品的整体抗冲击能力和使用寿命有至关重要的作用。托盘有全钢、钢塑、钢木、全塑和全木等类型,本框架托盘由底板、支撑角、大梁和连接管等部分组成。

1.2 底板造型

底板是与内胆容器接触面积最多的结构,主要起到支撑作用。底板的实际结构复杂,几何尺寸变化较大,Ansys虽然也有建模的功能,但对于复杂零件的建模却事倍功半,因而选用功能强大的Pro/E建立复杂模型^[13]。对底板的设计要点如下。

1) 底板表面采用传统整体深冲(深冲,是指将坯料用具有适当形状的冲头压入冲模的空腔中,以形成一个深凹形工件的方法)凹槽的方法,形成压纹,增加底板强度,如图2中①所示。表面设计出多种几何尺寸的压纹结构,它们具有负载特性和恢复特性,一般带有压纹的结构在弹性恢复性能上有明显改善^[14]。

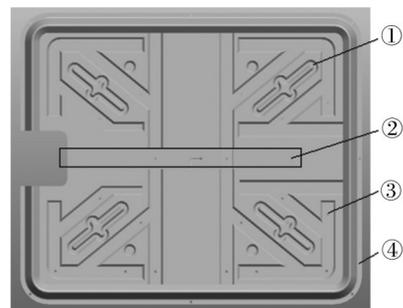


图2 底板表面

Fig.2 The surface of the floor

2) 根据内胆底部外凸的排水结构,底板中部设置了导流槽(引导液体流向的槽),导流槽前后两端厚度不相等,出口处一边深度大于另一边的厚度,这样的结构贴合内胆结构,方便残余液体流出,如图2中②所示。

3) 在底板凹陷的小平面上设计多处排水孔,如图2中③所示,以利于露天堆放时排除底板上的积水。

4) 底板具有朝下引伸的外支缘,整体结构如图2中④所示,具体位置如图3中⑤所示,底板外支缘是指底板最外侧的一个平面,其高度比底板中间平面低,有利于铲车铲运。外支缘与底板中间平面相连处是光滑凸起的结构,该结构不仅能够使环绕在底板上方的框架管准确定位,而且方便外支缘下表面与大梁以及支脚连接,起支撑作用。

设计其厚度为1 mm,整体外形尺寸为1200 mm × 1000 mm(长×宽)。底板外支缘用来支撑和固定金属框架,保证了框架和底板在垂直方向的结合,把框架

和底板组合成一个牢固的整体。

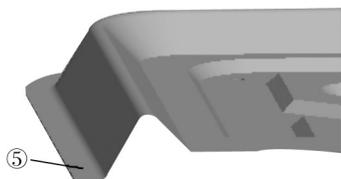


图3 底板外支缘

Fig.3 The external support of the floor

1.3 大梁造型

大梁位于底板中部,起辅助支撑和强化刚度的作用,其两端平面与底板外支缘接触,二者之间用螺栓连接。设计其厚度为2 mm,整体外形尺寸为1000 mm × 190 mm(长×宽)。对大梁的设计要点如下所述。

1) 大梁长度方向设置几条凸起的肋,以提高强度,如图4a中①所示。

2) 由于底板中部有个导流槽,因此大梁不能紧贴底板下表面,在大梁中部设计一个圆弧,不仅避让导流槽,而且能够提高大梁强度,如图4a中②所示。

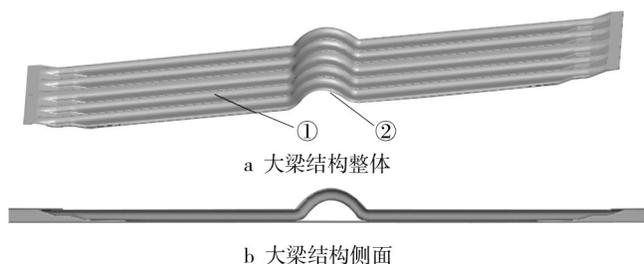


图4 大梁结构

Fig.4 Structure of the beam

3) 大梁的作用是支撑底板,不仅需要和底板中间平面接触,而且其两端平面与底板外支缘也要接触,大梁两端平面见图4a。而底板中间表面比其外支缘高,所以大梁设计时也要保证相应的高度差,见图4b,而且要保证其两端平面与大梁外支缘宽度一致。

不同大梁结构对底板的支撑作用不同,其中大梁肋数、肋截面高度以及大梁中部圆弧半径这三种结构因素对强度影响最大,现结合具体尺寸,将大梁模型分为4种情况进行建模与分析,从中选择最优的结构,4种模型见表1。

1.4 底板和大梁之间的连接

底板与大梁之间螺栓连接,需要保证2个表面接触,即大梁底部和底板表面贴合以及大梁两端与底板

表1 4种大梁模型

Tab.1 Four kinds of beam models

模型	肋数目(条)	大梁截面高度/mm	肋中部圆弧半径/mm
①	5	16.5	47
②	3	16.5	47
③	5	11.5	47
④	5	16.5	73

外支缘贴合。

2 计算模型与载荷

2.1 模型的导入与材料参数

为了获得所设计IBC框架受力时的应力和位移分布,应用Ansys workbench进行结构有限元分析。由于Pro/E与Ansys workbench之间已实现无缝连接,可以直接将Pro/E模型导入分析。

选择材料为Q235,即弹性模量为210 GPa,泊松比为0.33。

2.2 整体框架的构成

对有限元模型准确地施加载荷和定义约束,是成功进行有限元分析的基本条件。有限元分析分为3个流程:前处理、计算、后处理。利用有限元方法进行静态特性分析,最重要的是确定边界条件,边界条件包括约束边界条件和载荷边界条件。由于其结构较为复杂,且具有可拆卸性,导致零部件之前会存在大量的非线性接触,如果完全按照实际情况进行仿真,则会求解很长时间,而且有可能结果不收敛,因此需要适当地简化模型^[15]。

填充该模型的特定材料后,对实体进行施加约束。根据实际情况,底板以支脚支撑,包括四角的4个边支脚、大梁两端的2个中间支脚、出料口出的一个支脚以及出料口对面的一个支脚,每个支脚与底板之间都有一定的接触面积,并使用螺栓连接。该结构的约束为固定约束,固定面为与支脚的接触面以及外支缘上的光孔,现将接触面的固定约束简化为底板整个外支缘底面(如图5中①所示)、大梁两端平面(如图5中②所示)以及出料口外缘(如图5中③所示)的固定约束,将边缘的7个光孔简化为大梁两端的2个光孔,如图5中④所示,防止过约束,该简化不影响整个结构的分析。

当该容器承载定量液体时,其承受的载荷主要是来自容器中液体重量,已知该容器需要承载的液体质

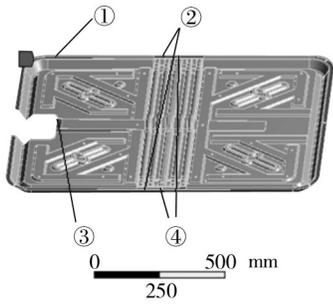


图5 添加约束
Fig.5 Adding constraints

量为1 t,底板外形尺寸为1200 mm × 1000 mm,实际的受力面积见图6。经计算,分布到整个受力面上的压强大约是0.012 MPa,整个压力由底板和大梁支撑。

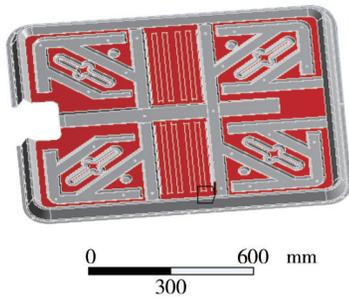


图6 添加载荷
Fig.6 Adding loads

2.3 网格划分

对模型施加载荷和约束后,进行自动网格划分。对该结构可以使用Ansys workbench自动生成网格,对于该几何体的不规则性,程序会自动产生四面体网格。

3 计算结果分析

按底板和大梁简化结构和简化约束,分析在表1中4种不同大梁的支撑下,该结构的应力和整体位移变化。

对模型划分网格后,添加应力和整体位移,求解并观察分析结果,二者的分析结果如下所述。

1) 表1中第1种结构模型的等效应力图(等效应力,即等效于单向拉伸时的应力状态)见图7,可得最大应力为145.81 MPa,位于大梁的一个加强肋上,是大梁两端与底板分离的部分。这是承载额定载荷所致,但没有超出材料的强度极限,仍是弹性受力状态。

2) 表1中第1种结构模型的整体位移图见图8,可得最大位移为3.4465 mm,位于底板出料口对侧的中

间部位,底板变形量由最大位移向四周递减。

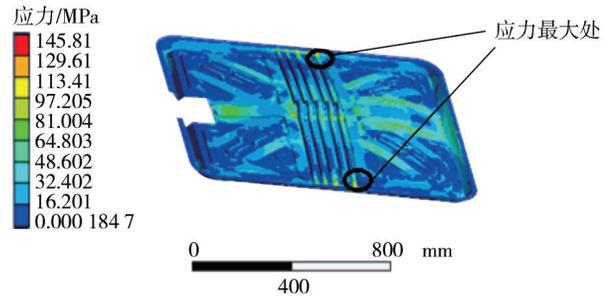


图7 应力分布
Fig.7 Stress distribution

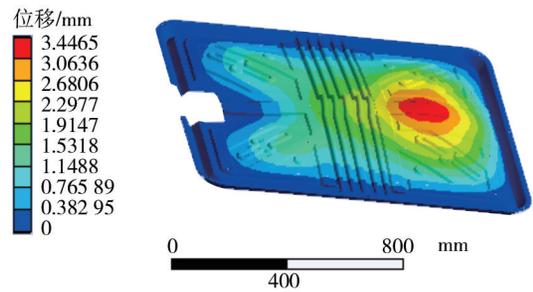


图8 位移分布
Fig.8 Displacement distribution

从图7和8中可以看出,所承受的载荷主要通过底板传递到大梁上,整个结构单元中应力分布较为均匀,只在大梁和底板无接触处出现局部应力最大现象,两构件之间的连接能保证受力要求,表明所选的底板和大梁的规格能够满足设计要求。

为得到最优结构组合,分别对表1中的4种大梁和同一底板进行组合,通过建模分析得到4种模型的应力和位移的最大值和最小值,见表2。

表2 4种模型的应力和位移值
Tab.2 The stress and displacement of four models

模型	应力最大值/MPa	应力最小值/MPa	整体位移最大值/mm	整体位移最小值/mm
①	145.81	0.000 184 7	3.4465	0
②	176.53	0.000 281 73	3.7603	0
③	2645.4	0.002 819	44.542	0
④	150.94	0.001 021 5	3.459	0

由表2可知,大梁宽度一定时,使用5条加强肋与使用3条加强肋相比,受到应力最小且位移变化最小;大梁截面高度减小会使得应力和位移变化显著增加,应避免这种结构出现;大梁中部的避让导流槽的圆弧半径变化,对整体应力和位移影响不大。由此,在设

计大梁结构时,在宽度允许范围内,应选择肋数较多、肋的高度较高的结构。

4 结语

为提高IBC的使用性能,设计了对应的框架底板和大梁,通过有限元分析4种不同大梁的组合模型,得到了其应力及位移分布图。经过对比,确定了最优组合,能够提供足够刚度的底板和大梁来支撑载荷,可延长整体框架的使用寿命。

参考文献:

- [1] 陆文正. 复合中型散装容器(IBC)的市场和发展[N]. 中国包装报,2010-01-25(7).
LU Wen-zheng. Market and Development of Composite Intermediate Bulk Container[N]. China Packaging Newspaper, 2010-01-25(7).
- [2] 万敏,黄红花,崔鹏,等. 中型散装容器的安全性现状和安全检测技术要求[J]. 包装工程,2013,34(5):115—118.
WAN Min, HUANG Hong-hua, CUI Peng, et al. Safety Status and Safety Detection Technology for Intermediate Bulk Container[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 115—118.
- [3] 李杨,李光. 基于SolidWorks的托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程,2011,32(19):1—4.
LI Yang, LI Guang. Structural Finite Element Analysis and Optimum Design of Pallet via SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 1—4.
- [4] LIM J H, RATNAM M M, KHALIL H P S A. An Experimental and Finite Element Analysis of the Static Deformation of Natural Fiber-reinforced Composite Beam[J]. Journal of Polymer Testing, 2003, 22(2): 169—177.
- [5] RATNAM M M, LIM J H, KHALIL H P S A. Study of Three-dimensional Deformation of a Pallet Using Phase-shift Shadow Moiré and Finite-element Analysis[J]. Experimental Mechanics, 2005, 45(1): 9—17.
- [6] JIANG Chun-hua, WANG Yu-long, XU Jie. CAE Analysis and Optimization Design for Mutual Flat Wooden Pallets[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 200: 567—570.
- [7] 王艳菊,陆佳平. 基于Ansys的托盘弯曲承载特性分析及试验验证[J]. 包装工程,2012,33(17):1—4.
WANG Yan-ju, LU Jia-ping. Ansys-based Analysis of Pallet Bending Performances and Its Experimental Verification[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 1—4.
- [8] 张肖庆,陆佳平,王艳菊,等. 特定结构木塑托盘静态弯曲性能的研究[J]. 包装工程,2013,34(17):55—58.
ZHANG Xiao-qing, LU Jia-ping, WANG Yan-ju, et al. Static Bending Performance of Specific Structure WPC Pallet[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17): 55—58.
- [9] 丁毅,苏杰,陈立民. 基于Ansys Workbench的轻质托盘承载性能分析[J]. 包装与食品机械,2012,30(2):67—69.
DING Yi, SU Jie, CHEN Li-min. Analysis of Load Bearing Properties for the Lightweight Pallet Based on Ansys Workbench[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(2): 67—69.
- [10] 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(MACE2011). Inner Mongolia, 2011: 5937—5940.
- [11] 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 Unit of Molded on Electric Information and Control Engineering (ICEICE 2011). Wuhan: IEEE Computer Society, 2011: 3387—3390.
- [12] 吴斌方,熊华,张静,等. 基于有限元分析的瓦楞机支撑侧板结构优化设计[J]. 包装工程,2014,35(5):62—66.
WU Bin-fang, XIONG Hua, ZHANG Jing, et al. Structural Optimization of Supporting Panel for Corrugators Based on Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 62—66.
- [13] 陆文正. 舒驰方桶(IBC)——新一代工业包装容器[J]. 塑料包装,2005(1):14—24.
LU Wen-zheng. Shuchi Square Barrel——New Generation Industrial Packaging Container[J]. Plastics Packaging, 2005(1): 14—24.
- [14] 奚鸣杰,石秀勇,卢学文,等. 发动机气缸密封垫压纹结构对密封性能影响的研究[J]. 汽车工程,2013(12):1129—1133.
XI Ming-jie, SHI Xiu-yong, LU Xue-wen, et al. A Research on the Influence of Embossment Structure on the Sealing Performance of Cylinder Seal Gasket of Engine[J]. Automotive Engineering, 2013(12): 1129—1133.
- [15] 王睿娜,卢立新,余渡元,等. 折叠式托盘箱货架弯曲的有限元分析及试验验证[J]. 包装工程,2014,35(7):34—38.
WANG Rui-na, LU Li-xin, YU Du-yuan, et al. Finite Element Analysis and Test Validation of Racking Bending in Folding Box Pallet[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 34—38.