

Intensity Finite-Element-Analysis of a Packing Box According to the Hull Unit

Rui Shi¹, Wanghua Fei¹, Liang Shen¹, Peiying Ye²

¹R & D Center, China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing

²Beijing Electric Vehicle Co., Ltd., Beijing

Email: shirui2003@163.com

Received: Jun. 5th, 2015; accepted: Jun. 19th, 2015; published: Jun. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The packing box bears product gravity, air pressure and overload. The box is divided by quadrilateral shell element grid with hypermesh software, and intensity finite-element-analysis of the box is carried on. Stress and deformation cloud of the box is calculated. Then the weakness of the box is analyzed and improved. And the intensity of the improved box is also calculated and validated.

Keywords

Shell Element, Packing Box, Finite-Element-Analysis, Stress, Stiffness, Structure Improve

基于壳单元的包装箱强度有限元分析

史锐¹, 费王华¹, 申亮¹, 叶培英²

¹中国运载火箭技术研究院研究发展中心, 北京

²北京新能源汽车股份有限公司, 北京

Email: shirui2003@163.com

收稿日期: 2015年6月5日; 录用日期: 2015年6月19日; 发布日期: 2015年6月25日

摘要

包装箱承受产品重力、气压和过载等载荷。使用hypermesh软件对箱体进行了四边形壳单元建模, 并对

箱体结构进行了强度计算分析，得出了箱体的应力和变形云图，对设计中的薄弱环节进行了改进，并对改进后的包装箱强度进行了计算和验证。

关键词

壳单元, 箱体, 有限元分析, 应力, 变形, 结构改进

1. 引言

对于结构强度的分析，有限元计算已成为有效的手段之一。大型的机电产品包装箱在运输过程中需承受产品的重力、气压和过载等，为确保箱体具有足够的强度和刚度，达到有效承载并减轻重量的目的，需根据箱体结构，建立边界条件真实、载荷施加正确的有限元模型[1]-[4]。本文使用 hypermesh 软件对包装箱进行了四边形壳单元建模，计算出了箱体的应力和变形云图，并进行了改进和计算验证。

2. 包装箱结构概述

包装箱由箱底、箱盖组成，箱底、箱盖分别是由型钢及钢板焊接而成的框架结构。箱底、箱盖用 19 个螺栓连接成具有密封功能的箱体，箱内承受正压力。包装箱三维图如图 1 所示。本文分别对箱底和箱盖进行强度计算，在进行箱底强度计算时，通过箱底与箱盖的连接面把箱盖的压力传递到箱底上；在进行箱盖强度计算时，箱底与箱盖的连接面转化为箱盖的边界约束条件。包装箱的材料属性及参数见表 1、表 2。

箱底由工字钢、槽钢、钢管、钢板焊接而成。三维图如图 1 所示，箱底的下表面与运输车接触，上部的托架用于承载产品重量。

箱盖由方钢钢管、钢板焊接而成。三维图如图 2 所示。

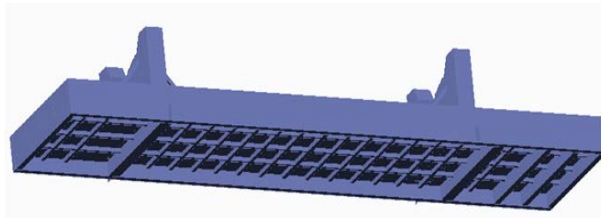


Figure 1. Three-dimensional model of the box bottom

图 1. 包装箱箱底三维图

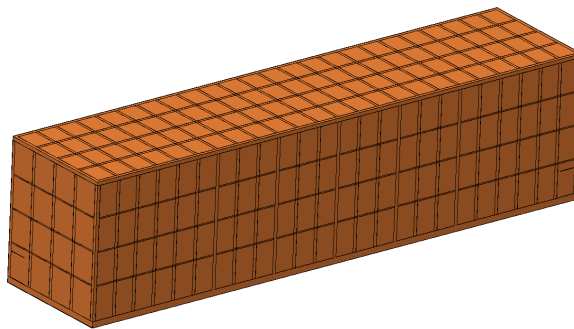


Figure 2. Three-dimensional model of the box cover

图 2. 包装箱箱盖三维图

Table 1. Material properties of the packing box
表 1. 包装箱材料属性

材料	参数
牌号	Q235
密度/(kg·m ⁻³)	7800
泊松比	0.3
弹性模量/GPa	210
屈服极限/MPa	235

Table 2. Structural parameters and load of the packing box
表 2. 包装箱结构参数和所受载荷

项目	工况说明
所承载的产品重量/kg	20,000
包装箱自重/kg	5000
内压/Pa	4500
纵向过载	2 g
横向过载	1.5 g

3. 有限元建模

包装箱是由钢管、钢板加蒙皮的形式构成，其厚度方向的尺寸远小于其它两个尺寸，符合壳单元的假设，可以采用壳单元对其进行有限元建模[5]-[8]。

3.1. 箱底有限元建模

在 Hypermesh 软件平台上对箱盖进行有限元建模，对方钢、钢板等抽中面，并进行网格划分，模型共划分 190,126 个四边形单元；根据各部分的不同厚度并便于施加边界条件，模型分为 9 个 Component，对应了不同的 Property。见图 3。

完成网格划分的有限元模型如图 4 所示。

3.2. 箱盖有限元建模

在 Hypermesh 软件平台上对箱盖进行有限元建模，对方钢、钢板等抽中面，并进行网格划分，模型共划分 301,918 个四边形单元；根据各部分的不同厚度且便于施加边界条件，如图 5 所示模型分为了 14 个 Component，对应了不同的 Property。

完成网格划分的有限元模型如下图 6 所示。

4. 包装箱边界条件和载荷施加

4.1. 箱底边界条件和载荷施加

转运时，箱底放置在运输车上，承受产品的压力、箱盖的压力、内压及过载。具体信息见表 3。

见图 7，对箱底底板上表面施加均布载荷 4500 Pa；在产品的质心位置及箱底托座盒之间建立刚性单元 1，在产品质心及托座盒销钉孔之间建立刚性单元 2。在刚性单元 1 主节点上施加产品的重力；在刚性

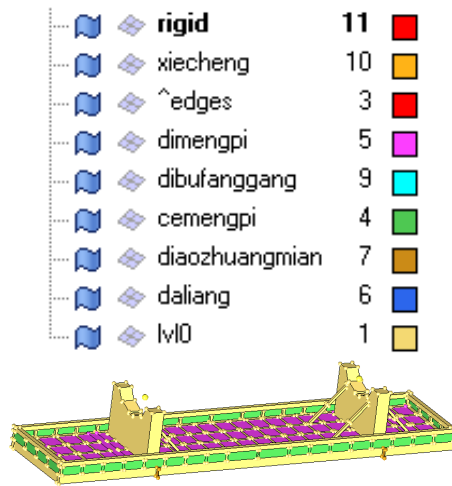


Figure 3. Division of each part of the box bottom
图 3. 箱底各组成部分的划分

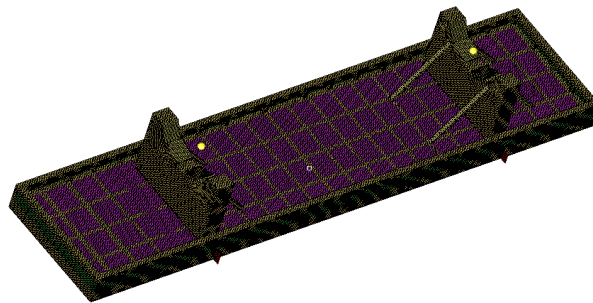


Figure 4. Finite element model of the box bottom
图 4. 箱底有限元模型

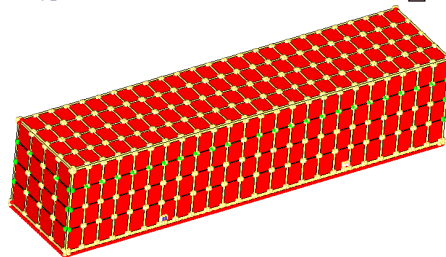
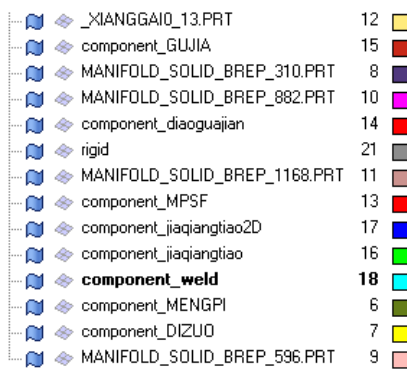


Figure 5. Division of each part of the box cover
图 5. 箱盖各组成部分的划分

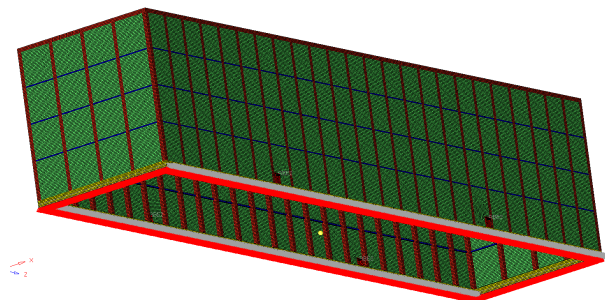


Figure 6. Finite element model of the box cover
图 6. 箱盖有限元模型

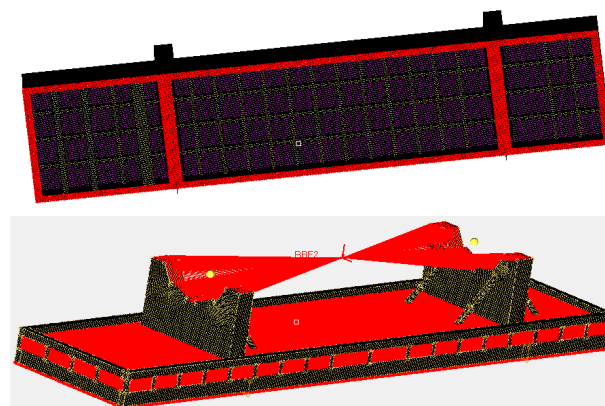


Figure 7. Boundary conditions and loads of the box bottom
图 7. 箱底边界条件和载荷施加

Table 3. The box bottom load
表 3. 箱底所受载荷

边界条件	载荷分析			所受压力
	充气正压力/Pa	纵向过载/g	横向过载/g	
箱底底部固定	4500 Pa	2	1.5	施加产品对箱底的压力和箱盖对箱底的压力

单元 2 主节点上施加产品的横向和纵向运输过载；约束箱底底面。

4.2. 箱盖边界条件和载荷施加

箱盖随箱底共同放置在包装箱拖车上，箱盖受到正压力和过载的作用，下部与箱底的连接面施加固定约束。具体参见表 4。

对箱盖底部施加固定约束模拟箱盖与箱底的连接，对箱盖内表面施加均布载荷 4500 Pa，在箱盖纵向（运动方向）施加 2 g 的过载，在箱盖横向施加 1.5 g 的过载[9]-[11]。如图 8 所示。

5. 有限元强度计算结果

5.1. 箱底计算结果

箱底变形云图见图 9 所示。最大变形发生在助推级与托架的连接位置，为 2.335 mm；底蒙皮和斜撑的最大变形量约为 1.5 mm，其它位置多在 1 mm 之内；最大变形量能够满足使用要求。

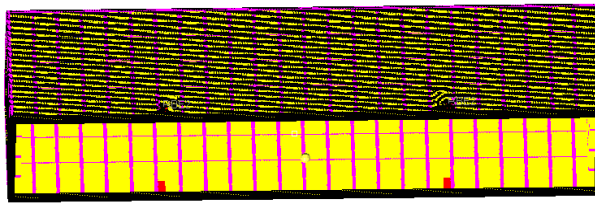


Figure 8. Boundary conditions and loads of the box cover
图 8. 箱盖边界条件和载荷施加

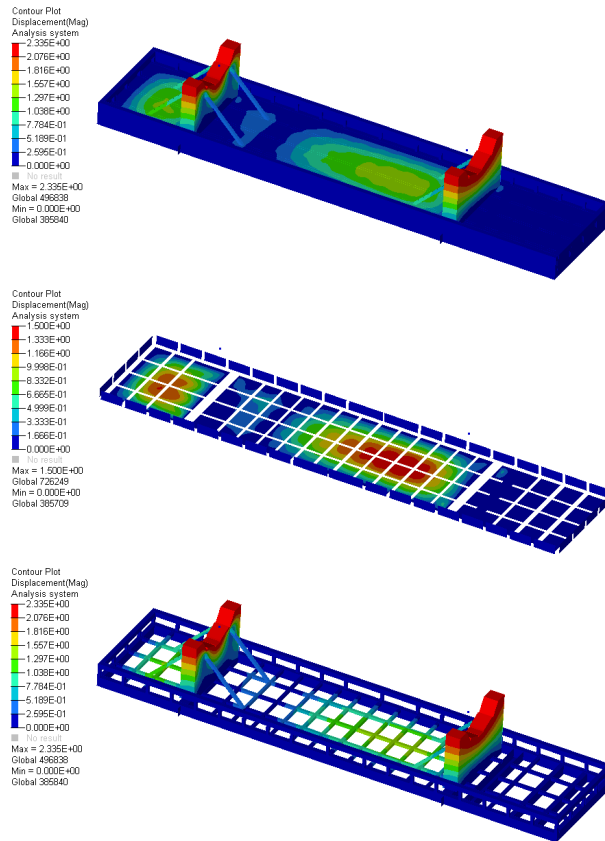


Figure 9. Deformation cloud of the box bottom
图 9. 箱底变形云图

Table 4. The box cover load
表 4. 箱盖所受载荷

边界条件	载荷分析			
	充气正压力/Pa	纵向过载/g	横向过载/g	所受压力
箱盖底部固定	4500 Pa	2	1.5	无

箱底应力云图见图 10 所示。最大应力约为 625.3 MPa，发生在托架销钉孔周边和托架与斜撑的连接处；底蒙皮上的最大应力为 222.4 MPa，其余主结构应力在 100 MPa 以内，满足材料的使用要求。

5.2. 箱盖计算结果

箱盖的变形云图见图 11 所示，最大变形为 23.76 mm，出现在箱盖侧面蒙皮与方钢连接的位置，变

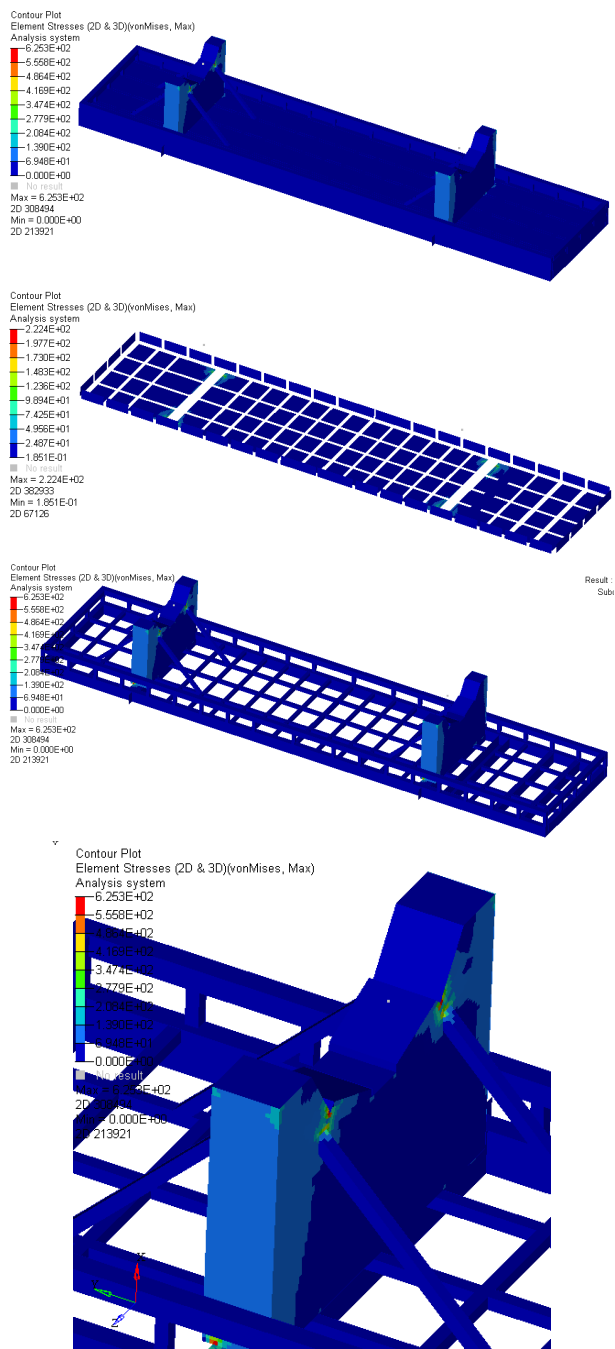


Figure 10. Stress cloud of the box bottom
图 10. 箱底应力云图

形量偏大。

箱盖应力云图见图 12 所示，最大应力为 289.4 MPa，出现在箱盖侧面蒙皮和框架连接的位置。箱盖主承力结构的应力云图见图 13，最大应力可达 210 MPa，其余部位应力不超过 150 MPa。

6. 结论与改进建议

1) 经过有限元计算，箱底、箱盖主结构强度基本满足要求，包装箱的设计较合理。有限元计算结果

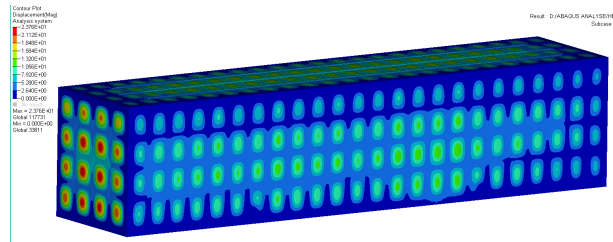


Figure 11. Deformation cloud of the box cover
图 11. 箱盖变形云图

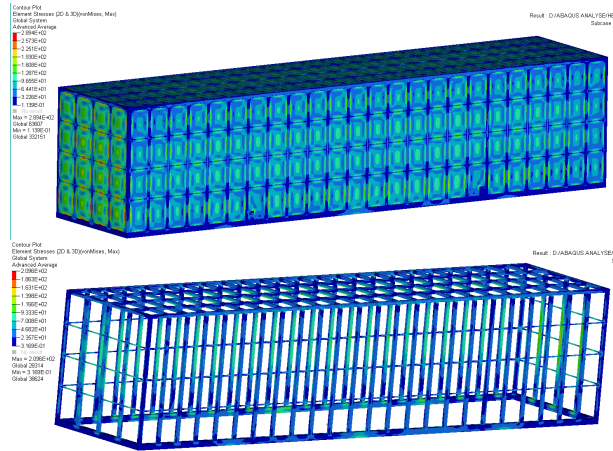


Figure 12. Stress cloud of the box cover
图 12. 箱盖应力云图

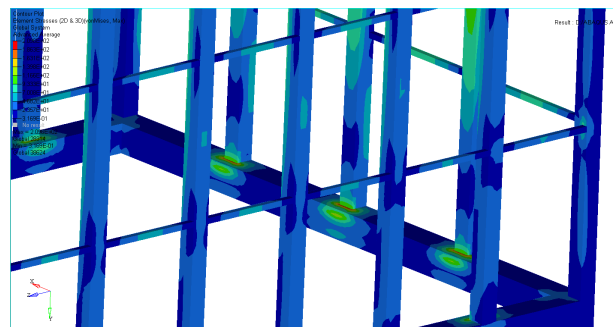


Figure 13. Stress cloud of local stress concentration of the main structure of the box cover
图 13. 箱盖主结构局部应力集中处应力云图

汇总见表 5。

2) 箱底的最大变形量在几毫米左右，能够满足使用要求；但由于受到过载的作用，最大应力约为 625.3 MPa，发生在托架销钉孔周边和托架与斜撑的连接处，属于应力集中点，建议在此处采取补强措施。

建议：把销钉和销钉孔都增大，用以增大销钉的抗剪能力并增大托架上销钉孔的传力面积，减少应力集中；增大托架钢板的厚度由 8 mm 至 10 mm；增大斜撑方钢的厚度由 8 mm 至 10 mm，并在斜撑与托架连接的部位加筋条进行局部加强。

3) 箱盖的最大应力 289 MPa，出现在箱盖侧面蒙皮中间与方管连接的位置，超过了 Q235 钢的屈服极限；最大变形为 23.76 mm，出现在箱盖侧面蒙皮中间位置，变形量偏大。

建议：箱盖侧面蒙皮与方钢连接部位应力偏大，应对蒙皮进行加厚由 1.2 mm 至 2 mm。

7. 改进后的计算和验证

1) 箱底改进后的最大变形量降低到了 0.89 mm，最大应力点由 625.3 MPa 降低到了 221.4 MPa，小于材料的屈服极限 235 MPa，满足使用要求。见图 14 和图 15。

2) 箱盖改进后的最大变形量降低到了 7.98 mm，最大应力点由 289 MPa 降低到了 97.7 MPa，小于材料的屈服极限 235 MPa，满足使用要求。见图 16、图 17。

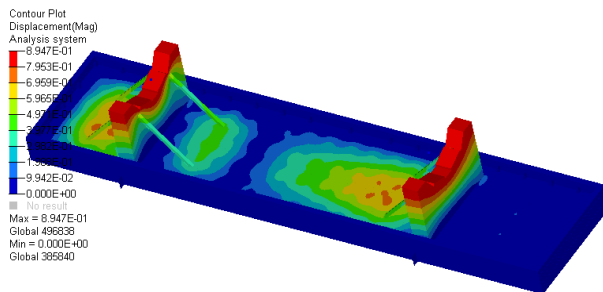


Figure 14. Deformation cloud of the improved box bottom
图 14. 箱底改进后的变形云图

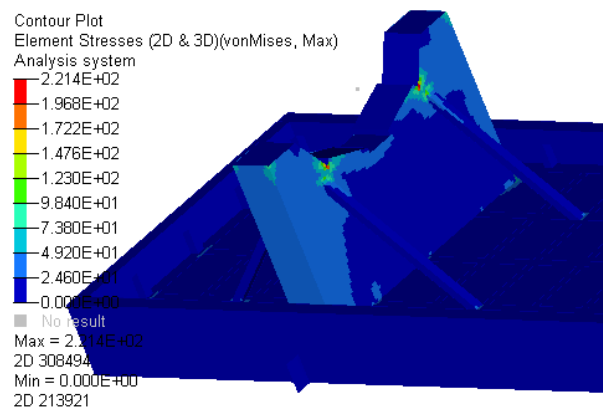


Figure 15. Stress cloud of the improved box bottom
图 15. 箱底改进后的应力云图

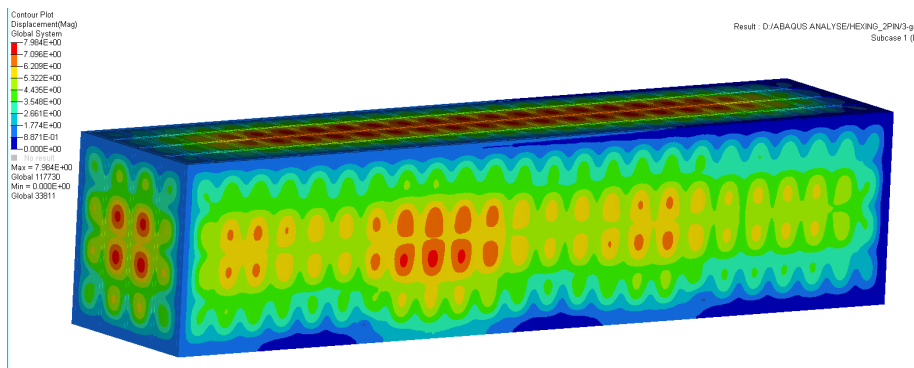


Figure 16. Deformation cloud of the improved box cover
图 16. 箱盖改进后的变形云图

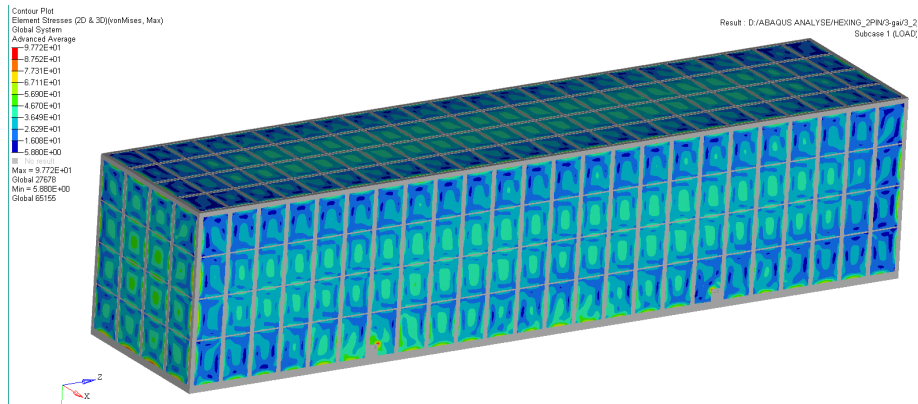


Figure 17. Stress cloud of the improved box cover
图 17. 箱盖改进后的应力云图

Table 5. Summary of results of finite element calculation
表 5. 有限元计算结果汇总表

名称	最大变形	最大应力	主结构最大应力	剩余强度系数
箱底	2.335	625.3	100	2.35
箱盖	23.76	289	209.6	1.12

参考文献 (References)

- [1] 尹云玉 (2007) 固体火箭载荷设计基础. 中国宇航出版社, 北京.
- [2] 刘朋章, 崔虎 (1992) 热弹性-蠕变问题的计算. *电站系统工程*, **4**, 10-12.
- [3] 李红力, 乔新 (1996) 夹层结构的固有振动分析. *振动、测试与诊断*, **2**, 29-34.
- [4] 周波, 许明恒 (2004) 基于 UG—NX2 的振动实验台有限元分析. *机械研究与应用*, **6**, 99-101.
- [5] 杜宝玉, 赵波, 刘传绍, 闫艳燕 (2006) 声悬浮无容器处理的实验研究及有限元分析. *机械强度*, **1**, 69-72.
- [6] 刘舜尧, 胡昌良 (2006) 渣浆泵机械密封温度场的有限元分析. *中国矿业*, **12**, 111-112.
- [7] 张进秋, 潘剑, 韩士锋, 王伟 (2007) 叶片式磁流变液减振器的结构设计及磁场分析. *工程设计学报*, **2**, 39-43.
- [8] 王钰栋, 金磊 (2012) *Hypermesh/Hyperview 应用技巧与高级实例*. 机械工业出版社, 北京.
- [9] 李永庆, 颜波 (2008) 有限元分析在汽车轮毂轴承单元中的应用. *农业装备与车辆工程*, **8**, 32-33.
- [10] 朱永波 (2008) 加氢反应器中冷氢接管有限元分析. *一重技术*, **4**, 46-47.
- [11] 张琪, 张卫红 (2008) 封闭空腔声学特性研究. *强度与环境*, **6**, 38-41.