

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.015

地震载荷下家用救生舱的瞬态动力学分析

杨福芹,丁中敏,王培超,常德功
(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:针对家用救生舱舱体的整体抗震性能对其结构稳定性及舱内人员安全的直接影响,利用 ANSYS Workbench 有限元软件对一种家用救生舱的舱体进行了瞬态动力学分析,得到了舱体位移形变云图。借助于位移形变云图分析地震过程中舱体的最大位移形变以及响应的时间点,判断舱体是否满足设计要求,找出了舱体的薄弱环节并提出了改进意见。建立了一个多目标优化设计模型,将救生舱舱体厚度、加强筋尺寸作为优化变量,将救生舱质量、最大等效应力和最大总形变量作为优化目标,利用 Pro/E 与 AWE 协同优化技术对舱体进行了优化,并对优化后的救生舱重新进行了瞬态动力学模拟分析。研究结果表明,优化后的救生舱整体强度和刚度均得以提高,对家用救生舱的设计和抗震能力的评价具有理论指导意义。

关键词:家用救生舱;地震载荷;瞬态动力学分析;结构优化

中图分类号:TB21;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)03-0370-04

Transient dynamic analysis of the family refuge chamber under the seismic load

YANG Fu-qin, DING Zhong-min, WANG Pei-chao, CHANG De-gong
(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University
of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Aiming at the direct effect of family refuge chamber cabin's anti-seismic performance on the structural stability and safety of the trapped inside, transient dynamic analysis of the cabin was analyzed by ANSYS Workbench finite element software based on the trait of seismic load. According to the displacement nephogram of the cabin, the maximum displacement and its response time was analyzed which could verify if the cabin meet the need of design. Further the weak part of cabin was found and the suggestion for improvement was adopted. The cabin thickness and the stiffener sizes were chosen as variables. The quality, the maximum stress and the maximum total deformation were chosen as optimization objective. So the multi-objective optimization model was built. Finally the cabin was optimized by Pro/E and AWE co-simulation optimization and optimized structure was analyzed again by transient dynamic analysis. The analyzing results indicate that both the strength and stiffness of the optimized structure are improved effectively. The research is valuable and helpful for the rescue capsule design and the anti-impact ability evaluation.

Key words: family refuge chamber; seismic load; transient dynamic analysis; structural optimization

0 引 言

家用救生舱作为一种在突发事故中的避难设施,可以为避难人员提供一个安全可靠的密闭空间,有效抵御来自外界的伤害。家用救生舱的舱体作为主体结

构,其抗震性能是研究中的重中之重,它不仅影响到舱体结构的可靠性,还影响到舱内人员的安全^[1]。

地震是一个瞬态过程,家用救生舱舱体在地震载荷的作用下,其内部原有的应力平衡被破坏,并根据地震载荷的大小和方向重新进行分布^[2]。为了提高家用

救生舱舱体整体的抗震性能和结构稳定性,防止结构被破坏,保障内部避难人员的安全,有必要对舱体进行瞬态动力学响应分析。本研究利用有限元软件分析地震载荷作用下家用救生舱舱体优化前后的动态响应。

1 瞬态动力学分析理论

瞬态动力学分析属于时域分析,是一种分析结构在随时间任意变化的载荷作用下,动力响应过程的技术。其输入数据通常是作为时间函数的载荷,而输出数据是随时间变化的位移或应力应变等其他输出量^[3-4]。

瞬态动力学分析的求解的基本运动方程为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F\} \quad (1)$$

当激励载荷 F 已知,方程(1)可以看作是任意给定时刻 t ,考虑了惯性力 $[M]$ 和阻尼力 $[C]$ 的静力学平衡方程,其中 $\{x\}$ 为位移向量。对家用救生舱进行瞬态动力学分析的主要目的是分析其在地震中能否满足动态刚度要求,分析找出其舱体在地震载荷下的薄弱环节,通过结构优化改进,减小动态受力变形。

2 家用救生舱瞬态动力学分析

2.1 舱体结构特点

家用救生舱舱体采用前、后两段式设计,前、后两段舱体之间通过法兰用螺栓连接成为一个整体,法兰之间镶嵌密封材料进行密封,舱门上把手等零件也是通过螺栓固定在舱体上,舱体内有环绕内壁的加强筋,前、后两段舱体的三维线框图如图 1 所示。

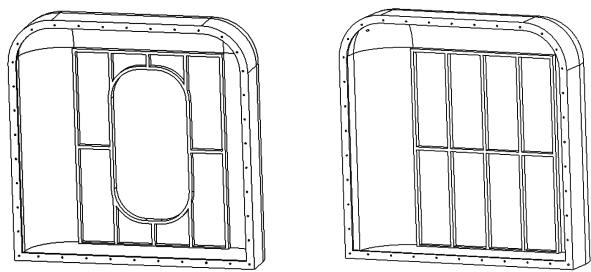


图 1 家用救生舱舱壁

2.2 几何模型建立

由于该模型的特征量较为复杂,故对计算结果影响不大的结构特征作适当简化和假设^[5]:①不考虑焊接处材料特性的变化;②材料为均质材料且各项同性;③省略不必要的设计特征、较小的圆角和小孔等。

2.3 有限元分析模型的建立

本研究在 ANSYS Workbench 有限元软件中对简化模型定义材料属性和自动网格划分。救生舱的材料选择焊接性能良好的结构钢 Q235B,其材料属性为屈

服强度为 235 MPa,密度 7 850 kg/m³,弹性模量 210 GPa,泊松比 0.3。考虑到救生舱所有结构的接触比较简单,故本研究采用默认的线性接触,对所有零件之间的接触类型均采用绑定接触^[6-8],并在模型支撑面施加固定约束。笔者建立的家用救生舱有限元模型如图 2 所示。

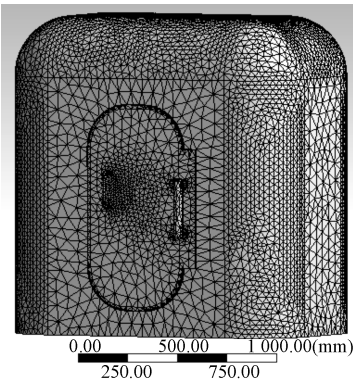


图 2 家用救生舱有限元模型

2.4 设置响应时间及施加载荷

模拟地震过程所需的时间历程为响应时间,ANSYS Workbench 有限元软件在计算模型时选取的离散点的时间间隔为步长。本研究将响应时间设置为 5 s,总时间步为 50 步,每步时间为 0.1 s,子时间步为 5 步。

为了模拟地震过程,需要对有限元分析模型施加地震载荷,因此本研究在软件中设置地震加速度谱。全部数据输入完成后会生成的地震加速度曲线如图 3 所示,其中 A 曲线为竖向加速度,B 曲线为水平加速度。在以静力学和拟静力学为基础的抗震设计中,地震振动幅值的大小直接反映了其产生能量和引起结构变形的大小。

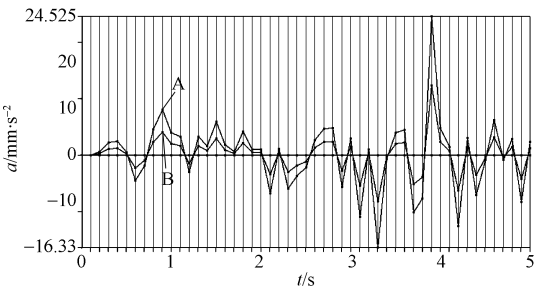


图 3 地震加速度曲线

2.5 地震模拟结果分析

在瞬态动力学分析之后,本研究得到的家用救生舱舱体位移形变随时间的变化曲线如图 4 所示,比较图 3 和图 4 可以发现,舱体的位移形变曲线变化趋势与施加的地震载荷谱基本上是吻合的,谷值和峰值均出现在同样的时间节点。

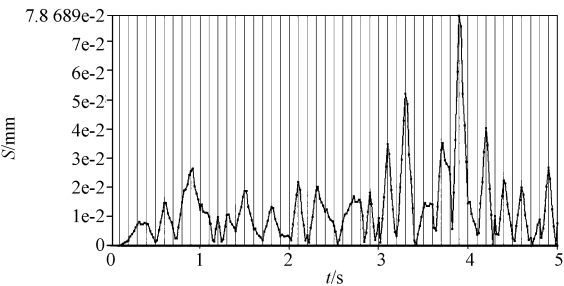


图4 家用救生舱位移形变曲线

救生舱舱体位移形变云图如图5所示。从图5可以看出,在3.9 s时舱体的位移形变反应最大,最大位移形变为 7.8689×10^{-2} mm。通过图5还可以看到,变形较大的部位主要集中在舱体的前、后壁,说明这些部位刚性较差,是地震中容易发生断裂破坏的薄弱环节。为了提高救生舱的抗震能力,可以根据实际情况采取合理措施,优化救生舱舱体结构,比如适当增加舱体钢板厚度、优化设计加强筋的尺寸等。

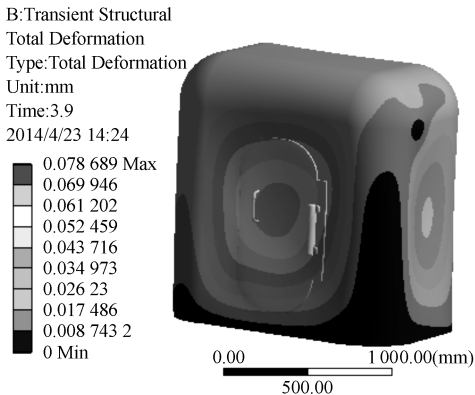


图5 家用救生舱舱体的位移形变云图

3 结构优化改进

本研究利用 Pro/E 与 AWE 协同优化的方法对家用救生舱的舱体结构进行优化设计,建立一个多目标优化设计模型,将救生舱舱体厚度,焊接的加强筋尺寸作为需要优化的变量,将救生舱的质量、最大等效应力和最大总形变量作为优化目标进行求解。在优化过程中,将救生舱的质量、最大等效应力和最大总形变值的目标值设置为最小;质量的重要程度设置为较低,最大等效应力和最大总形变值的重要程度设置为较高^[9-11]。

结构优化前、后的各项参数对照表如表1所示。可以看出优化后的结构比优化前壁厚和加强筋的尺寸都有所增加,舱体的强度和刚度都有所提高。

表 1 舱体优化前后各参数对照表

项目	优化前	优化后
舱体厚度/mm	12	14
加强筋的长度/mm	40	70
加强筋的宽度/mm	20	30
法兰宽度/mm	15	20
质量/kg	540.46	697.84
最大等效应力/MPa	242.33	163.45
最大总形变/mm	3.143 6	1.753 3

4 家用救生舱优化结构的瞬态动力学分析

本研究对优化后的家用救生舱结构再一次进行瞬态动力学分析,得到的位移形变曲线如图6所示。比较图4和图6可以看出,救生舱结构优化前后位移形变曲线变化规律一致,但优化后的位移形变量大大减小,仅为 6.0459×10^{-5} mm,约为优化前最大位移变形量的千分之一。且与优化前结构一样,在地震载荷作用3.9 s时舱体的位移形变反应最大,最大位移形变仍然分布在舱体前、后壁中心部位,家用救生舱优化结构的位移形变云图如图7所示。

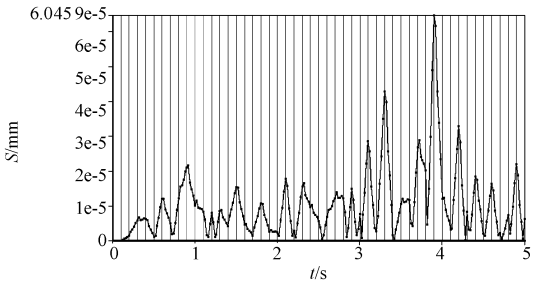


图6 家用救生舱优化结构的位移形变曲线

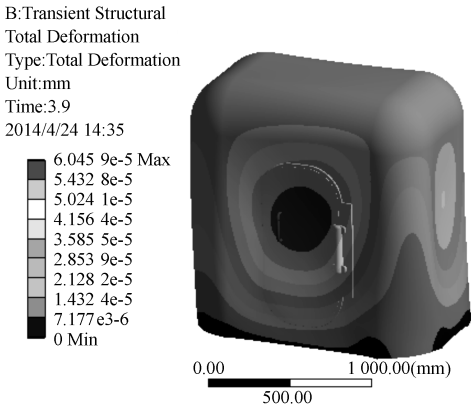


图7 家用救生舱优化结构的位移形变云图

(下转第 383 页)

本文引用格式:

杨福芹,丁中敏,王培超,等.地震载荷下家用救生舱的瞬态动力学分析[J].机电工程,2015,32(3):370-372,383.
YANG Fu-qin, DING Zhong-min, WANG Pei-chao, et al. Transient dynamic analysis of the family refuge chamber under the seismic load[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(3):370-372,383.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>