

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.013

城市紧急避难装置的跌落冲击分析*

李松梅, 景秀敏, 王 勇, 常德功, 王吉利
(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:针对发生灾难时高层建筑物内逃生人员的安全避难问题,对城市紧急避难装置进行了结构设计及抗跌落冲击研究,提出了新型城市紧急避难装置结构模型。模型舱体结构采用了分段式设计,根据布置需求合理设置舱体的段数。利用 ANSYS/LS-DYNA 软件的跌落测试程序模块 DTM 对舱体进行了跌落分析,模拟了舱体从高度 5 m 处直接跌落及在舱体的底部添加缓冲支座后直接跌落,进行了跌落冲击分析。研究结果表明:舱体添加缓冲支座后在跌落过程中最大应力为 433 MPa,相比于直接跌落冲击应力降低明显,缓冲支座的变形吸能消耗了部分冲击能量减轻了地面对舱体的直接冲击;本文研究可对城市紧急避难装置的设计和制造提供理论指导和技术支持。

关键词:城市紧急避难装置;分段式设计;跌落冲击分析;缓冲支座

中图分类号:TH122;TU976+.56

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)12-1432-05

Analysis on the fall shock of the urban emergency evacuation device

LI Song-mei, JING Xiu-min, WANG Yong, CHANG De-gong, WANG Ji-li

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Aiming at the safe evacuation problem of escapers in high-rise buildings in the event of a disaster, the structure design and anti-falling impact analysis of urban emergency evacuation devices were studied. A new type of urban emergency evacuation device structure model was proposed and the structure was segmented design, which the numbers of the cabin were set reasonably according to the layout demand. Using the drop test module DTM of ANSYS/LS-DYNA software to analyze the fall shock of the cabin from the height of 5 m, under the conditions of the cabin dropping directly and adding buffer supports at the bottom of the cabin. The results indicated that the maximum stress in the falling process is 433 MPa, and the stress is reduced significantly compared to the direct fall shock, for the deformation energy of the buffer supports consumes part of the impact energy to reduce the direct impact. This study provides theoretical guidance and technology support for the design and manufacture of urban emergency evacuation devices.

Key words: urban emergency evacuation device; segmented design; fall shock analysis; buffer supports

0 引 言

自 20 世纪以来,我国发生的地震灾害次数约是全球总发生地震灾害的 1/3^[1],绝大数人员伤亡由地震造成的建筑物垮塌及其次生灾害造成。除自然灾害

外,火灾也是对建筑物危害最大的灾难事故^[2]。根据我国消防局统计^[3],仅 2016 年我国发生火灾的次数高达 31.2 万起,造成的伤亡人数近 1 700 人,直接经济损失高达 37.2 亿元。

当楼宇在受地震载荷以及火灾等灾害而发生局部

收稿日期:2017-03-27

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2015EM037,ZR2016EEP12);青岛市民生计划资助项目(16-6-2-59-nsh)

作者简介:李松梅(1986-),女,山东青岛人,工学博士,硕士生导师,主要从事新型传动结构、机械系统智能化设计及计算机仿真设计等方面的研究。E-mail: lisongmei126@163.com

或连续坍塌时,城市紧急避难装置能够抵抗重物的冲击及自身跌落冲击,该装置的设计目的为高层楼宇建筑物内的逃生人员提供安全避难的场所,从而保护逃生人员的生命安全。

本研究针对火灾时安全避难问题,提出新型城市紧急避难装置结构模型。

1 整体结构设计

根据耐压要求^[4],避难装置整体结构底部为方形,上方为拱形,装置整体结构如图1所示。

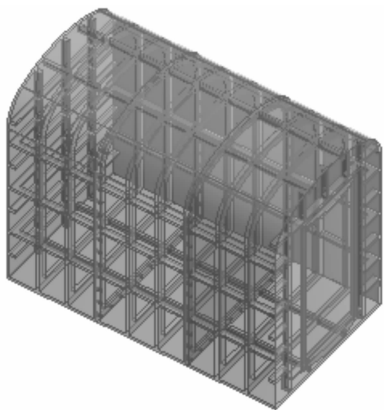


图1 装置整体结构

舱体之间采用分段结构,装置的整体尺寸根据楼宇内空间大小和舱内生存保障系统布置需求,合理设置舱体的段数。每段舱体的结构尺寸为 710 mm × 1 200 mm × 1 700 mm,舱壁厚度为 12 mm。为了提高抗冲击性在舱壁上添加环向纵向交叉的加强筋,舱体与舱体之间通过法兰连接,舱门设计为拱形结构,舱门结构图如图2所示。

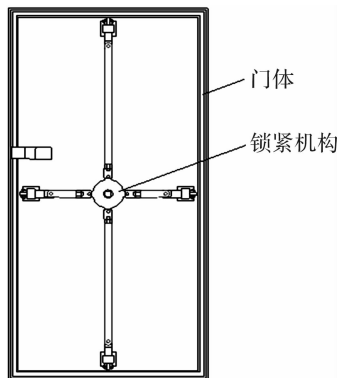


图2 舱门结构图

城市紧急避难装置的舱壁采用多层结构设计,从外到内依次为防火涂层、抗压外层、保温隔热层和抗压内层,舱壁多层结构图如图3所示。

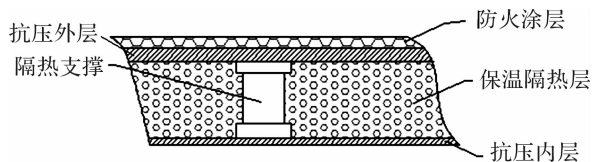


图3 舱壁多层结构图

防火涂层为厚型钢结构防火石墨烯涂料,粘结牢、质量轻、强度高,耐火时间长,抗压外层采用高强度压力容器钢板和中间的缓冲吸振材料构成,有效抵抗楼板垮塌时的重物冲击及意外爆炸时的载荷冲击等;保温隔热层为酚醛泡沫材料,密度小,导热系数小,隔热性能好,抗压外层和抗压内层之间均匀布置连接多个隔热支撑,增强舱体的整体强度。

由于发生地震或火灾等灾害而引发连续爆炸时,城市紧急避难装置所处的环境相对恶劣,这里将舱壁的材料设定为屈服强度和抗冲击性能高的 18MnMoNbR 压力容器钢板,力学性能如表1所示。

表1 18MnMoNbR 钢板参数

密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	冲击功/J
7.85	206	570 - 720	400	≥ 41

2 舱体跌落分析

在地震或火灾等灾难工况下当支撑城市紧急避难装置的楼板倒塌,避难装置会发生跌落。由于跌落是瞬时的,采取普通实验方法难以描述舱体的跌落瞬态,发现损害后也难以确定出损害的根源。本研究将舱体导入到 Workbench 下的 LS-DYNA 模块中的 DTM,对其进行跌落冲击分析,通过设定边界结果分析确定出舱体的薄弱位置,对整个结构的改进提供参考。

假设舱体整体质量为 m ,舱体跌落过程可以看成是空投货物安全着陆的问题,可以简化为舱体-弹簧-质量块系统^[5]。舱体首先做自由下落,与地面接触后产生冲击,冲击过程中动能转化为弹性势能,然后产生回弹,舱体跌落冲击过程如图4表示。

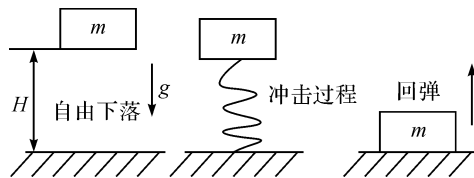


图4 舱体跌落冲击过程

舱体跌落获得的最大冲击加速度与跌落高度有关,跌落高度越高,产生的危害越大。在舱体的实际跌落冲击中,楼板之间的障碍物会阻碍舱体跌落,从而减小舱体的冲击速度。根据《国家住宅建筑设计规范》中的要求^[6],楼宇建筑每层高度一般不超过 3 m。实际灾难发生时装置一般不会发生多层跌落,分析舱体的抗跌落能力时可设定跌落高度为 5 m。建立地面和楼板为刚性体模型^[7-8],设定舱体的跌落冲击速度是 9.9 m/s,施加标准重力加速度,地面水平动静摩擦系数为 0.2,仿真时间从舱体接触地面开始计算,仿真时间长度为 0.025 s。

舱体跌落分析的能量变化曲线如图 5 所示。从舱体与地面发生碰撞开始,其系统内能增加(图

中 B 曲线),动能减小(图中 A 曲线),符合预期变化趋势。

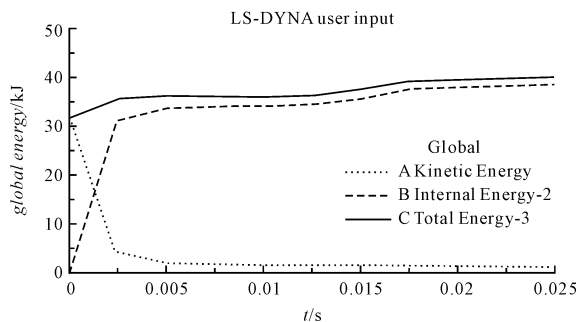


图 5 舱体跌落分析能量变化曲线

舱体跌落分析过程各个时刻应力-时间历程应力云图如图 6 所示。

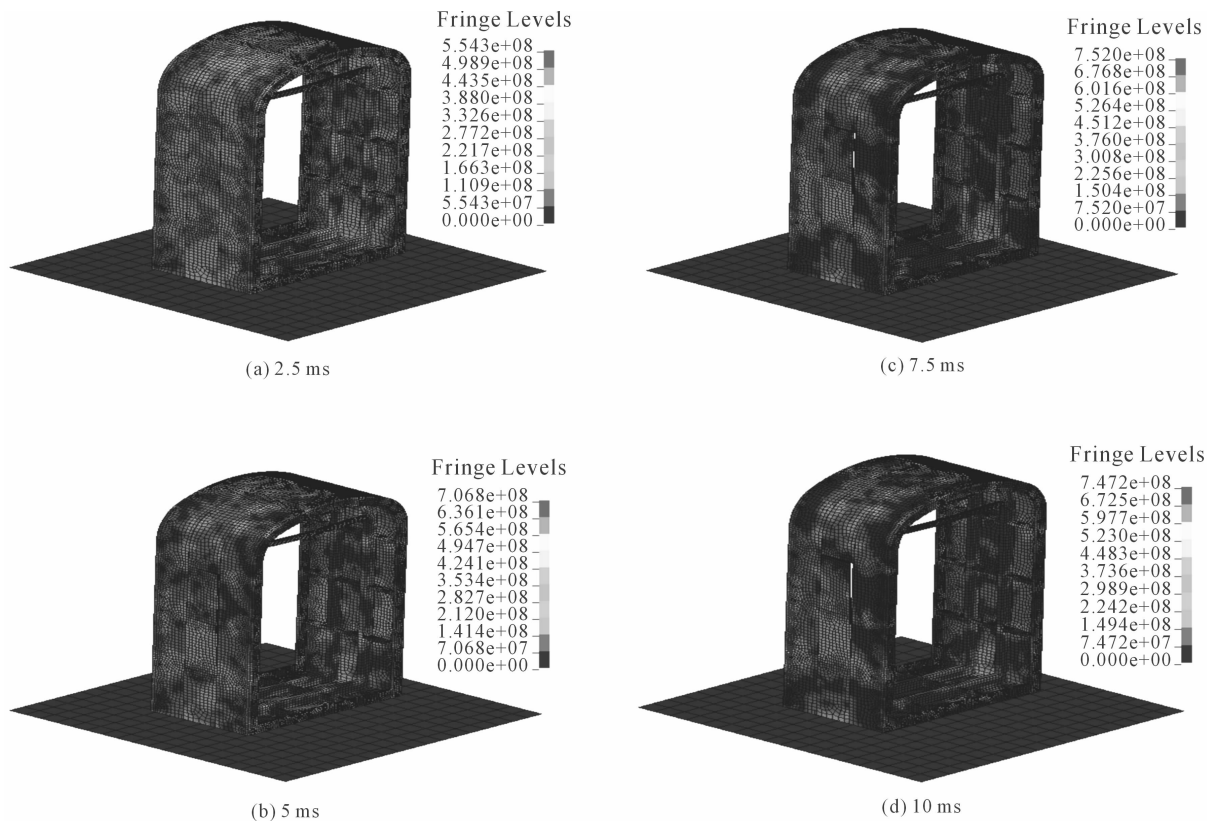


图 6 舱体跌落分析各时刻应力云图

从应力图上可以看出:5 ms 以后舱体的局部应力值超过抗拉强度极限,侧板和地板发生局部脱落。分析发现舱体在没有缓冲设施的情况下从高度 5 m 处直接跌落是不安全的,无缓冲措施会造成结构破坏,因此有必要在舱体的底部添加缓冲支座,避免舱体与地面直接碰撞。

从分析结果看舱体直接跌落时较为危险,舱体底部出现破坏,导致舱体内部结构受到较大的载荷冲击,

分析虽没有考虑抗压内壳与抗压外壳之间的隔热层的影响,但有必要在舱体与地面之间加一缓冲机构避免直接碰撞冲击。

3 带缓冲支座的舱体跌落分析

3.1 缓冲支座设计

缓冲支座有效阻止了舱体与地面的直接碰撞

接触,并且通过内部的缓冲材料的弹性变形起到吸能减振的效果。常见的用来缓冲减振的材料有聚氨酯泡沫、橡胶、泡沫铝等^[9]。其中橡胶材料弹性变形大,有较好的阻尼减振性能,可消耗 30% ~ 50% 冲击能量,但不能承受高温;本研究采用在薄圆壁管填充泡沫铝材料的设计方案作为舱体底部的缓冲支座。

泡沫铝的典型应力应变曲线如图 7 所示。

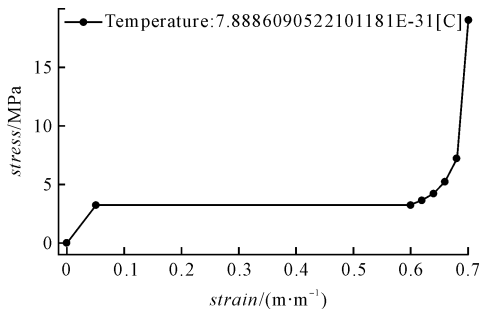


图 7 泡沫铝的应力应变曲线图

泡沫铝在初始的线弹性变形阶段和普通钢材料差不多,但泡沫铝的塑性屈服平台期阶段较长,在此阶段利用其宽塑性屈服平台期来吸收变形能,进入致密化阶段后泡沫铝单元细胞被迅速压实,应力值急剧增大。

缓冲支座的圆管采用 Q235 钢,结构尺寸直径 Φ 为 60 mm,壁厚 t 为 2 mm,高度 h 为 25 mm,刚性圆管与地面碰撞后发生屈曲,内部泡沫铝芯被压缩发生弹性变形从而有效的吸收冲击能量。在每节舱体底部均布五套缓冲支座,缓冲支座安装示意图如图 8 所示。

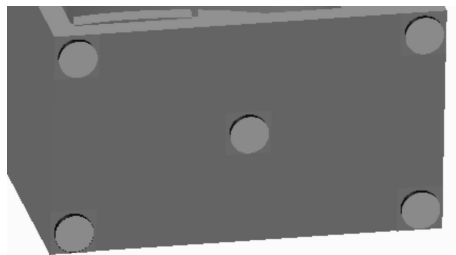


图 8 缓冲支座安装示意图

3.2 带缓冲支座的舱体跌落分析

5 个均布的缓冲支座与舱体直接接触,舱体与地面的动摩擦系数设为 0.2 和静摩擦系数设为 0.15^[10-11]。对地面及舱体采用六面体网格划分,最大网格尺寸设定为 10 mm,其中缓冲支座中的泡沫铝芯采用 solid 网格,网格划分结果如图 9 所示。

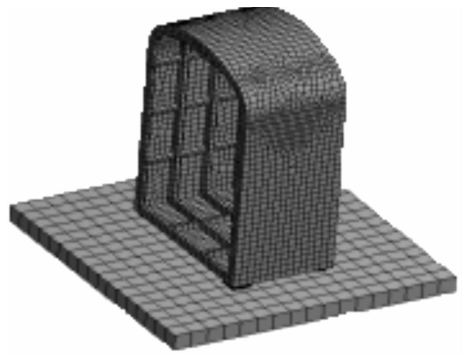


图 9 舱体网格划分

地面采用刚性地面设置,自动单面接触算法。设定舱体的初速度为 9.9 m/s,施加标准重力加速度,通过在 Ls-PrePost 中进行 K 文件的相关数据的修改,其中缓冲支座中的泡沫铝材料采用可压缩泡沫模型 MAT_CRUSHABLE_FOAM^[12],相关参数如表 2 所示。

表 2 泡沫铝基本参数

密度/(g · cm ⁻³)	泊松比	弹性模量/GPa	拉伸截止应力/MPa
0.37	0.3	1.2	10

3.3 缓冲器分析结果讨论

本研究将设置好的 K 文件导入到 LS-DYNA 中并进行计算,得到带缓冲支座的舱体跌落分析结果,在 2.7 ms 和 3.3 ms 时的应力云图如图 10 所示。

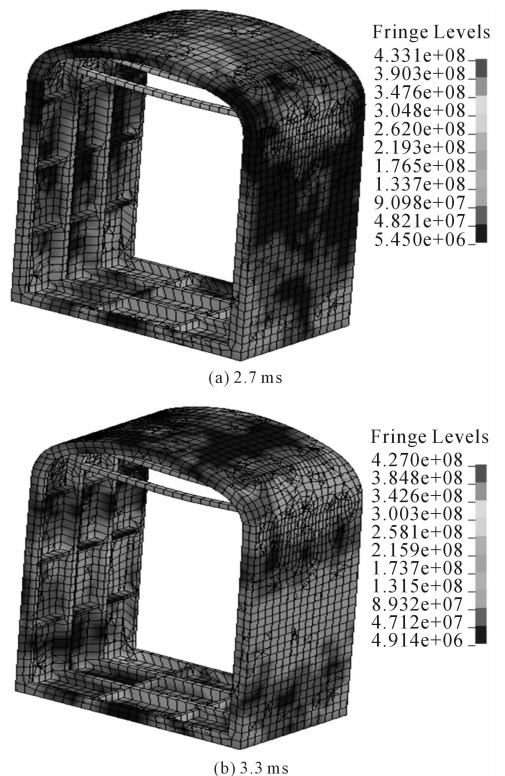


图 10 带缓冲支座舱体各时刻应力云图

带有缓冲支座的舱体在跌落碰撞后产生的最大应力为 433 MPa, 应力值比直接跌落冲击降低明显。可见缓冲支座的变形吸能消耗了部分冲击能量有效减轻了地面对舱体的直接冲击碰撞。

缓冲支座吸能曲线如图 11 所示。

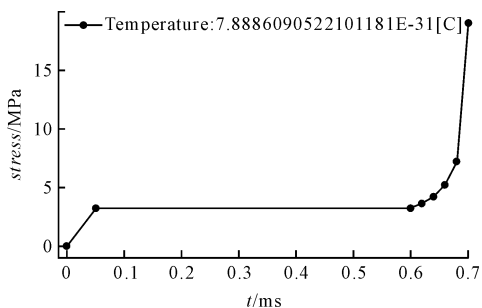


图 11 缓冲支座吸能曲线

从图 11 中可以看出: 泡沫铝(图中 A 曲线)吸能并不显著, 变形小, 可承受冲击大, 主要能量由薄壁圆管(图中 B 曲线)吸收, 后续还需再进一步完善缓冲支座的结构设计。

4 结束语

(1) 紧急避难装置的整体采用分段结构, 底部为方形, 上方为拱形, 装置的整体尺寸根据楼宇内空间大小和舱内生存保障系统布置需求, 合理设置舱体的段数;

(2) 本研究将舱体模型导入到 Workbench 下的 LS-DYNA 模块中的 DTM 对其进行跌落冲击分析, 分析发现舱体在直接跌落较为危险, 舱体的底部结构出现破坏, 导致舱体内部结构受到较大的载荷冲击;

(3) 本研究对结构进行改进, 在每节舱体均布 5 个缓冲支座, 然后再进行跌落分析, 分析结果发现增加缓冲支座后舱体跌落冲击应力降低明显。缓冲支座的

变形吸能消耗了部分冲击能量减轻了地面对舱体的直接冲击。本研究结果可对城市紧急避难装置的设计提供理论指导和技术支持。

参考文献 (References):

- [1] 李忠东. 海啸救生舱化险为夷[J]. 湖南安全与防灾, 2016, 1(2): 46-47.
- [2] 周水良. 高层建筑工地火灾原因分析及消防安全管理对策[J]. 现代企业教育, 2013, 24(2): 11-12.
- [3] 公安部消防局. 中国火灾统计年鉴[M]. 北京: 中国人事出版社, 2016.
- [4] 高新君. 可移动式救生舱舱门的结构设计及理论研究[D]. 青岛: 青岛科技大学机电工程学院, 2013.
- [5] 高小青, 徐元铭, 李法林. 空投舱体着陆冲击仿真与分析[J]. 飞机设计, 2011, 31(2): 45-47.
- [6] GB50096-2011. 中华人民共和国国家标准住宅建筑设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [7] 方海峰, 蔡李花, 胡而已. 瓦斯爆炸中救生舱壳体载荷分析[J]. 煤矿安全, 2012, 43(1): 167-170.
- [8] 汪 声, 金龙哲, 栗 婧, 等. 矿用救生舱热环境分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(9): 1524-1527.
- [9] 王吉利. 家用救生舱的设计与研究[D]. 青岛: 青岛科技大学机电工程学院, 2014.
- [10] 王华侨, 赵华萍. 基于 AWE 协同环境下的环形欺凌结构有限元优化分析[J]. 航天制造技术, 2005, 1(2): 10-15.
- [11] 龚晓燕, 史龙波, 刘亲亲. 矿用可移动式救生舱结构抗爆强度的数值模拟分析及优化[J]. 矿山机械, 2012, 40(7): 120-123.
- [12] 唐进元, 彭方进. 基于泡沫铝“三明治”结构的吸能装置设计与吸能仿真分析[J]. 工程设计学报, 2009, 16(3): 191-195.

[编辑: 张 豪]

本文引用格式:

李松梅, 景秀敏, 王 勇, 等. 城市紧急避难装置的跌落冲击分析[J]. 机电工程, 2017, 34(12): 1432 - 1436.

LI Song-mei, JING Xiu-min, WANG Yong, et al. Analysis on the fall shock of the urban emergency evacuation device[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(12): 1432 - 1436.