

12-13-2019

Numerical Simulation Analysis of Anti-Blast impact of Underground Rescue Capsule Based on LS-DYNA

Zhang Fan

Sichuan Institute of Aerospace Systems Engineering, Chengdu 610100, China;

Yuanhua Yang

Sichuan Institute of Aerospace Systems Engineering, Chengdu 610100, China;

Xiaoxu He

Sichuan Institute of Aerospace Systems Engineering, Chengdu 610100, China;

Deng Yu

Sichuan Institute of Aerospace Systems Engineering, Chengdu 610100, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Numerical Simulation Analysis of Anti-Blast impact of Underground Rescue Capsule Based on LS-DYNA

Abstract

Abstract: Aiming at the strength problem of the underground rescue cabin under explosion impact load, a finite element model of overall explosion impact load and fluid-solid coupling structure response is established in transient dynamic soft LS-DYNA. The flow field impact load is generated by explosion algorithm, and the propagation of the impact load in the air is calculated. The dynamic response of the rescue cabin structure under the impact load is calculated by the fluid-solid coupling method. The results show that the maximum load occurs on the end surface closest to the explosion source, and the structural deformation is small because the end surface is small, and the maximum deformation occurs on the side wall of the cabin. *The established finite element model covers the whole process of the explosion and shock of the cabin*, and the results are more accurate. It has a certain engineering value for the development of rescue cabin.

Keywords

rescue capsule, blast impact, numerical simulation

Recommended Citation

Zhang Fan, Yang Yuanhua, He Xiaoxu, Deng Yu. Numerical Simulation Analysis of Anti-Blast impact of Underground Rescue Capsule Based on LS-DYNA[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(12): 2853-2858.

基于 LS-DYNA 井下救生舱抗爆炸冲击数值模拟仿真分析

张帆, 杨元华, 何小旭, 邓宇

(四川航天系统工程研究所, 四川 成都 610100)

摘要: 针对井下救生舱在爆炸冲击载荷作用下的强度问题, 在瞬态动力学软 LS-DYNA 中建立了整体的爆炸冲击载荷和流固耦合结构响应有限元模型, 通过爆炸算法生成流场冲击载荷, 并计算冲击载荷在空气中的传播, 通过流固耦合计算冲击载荷下的救生舱结构动态响应。计算结果发现: 最大载荷出现在最接近爆炸源的端面上, 由于端面较小, 所以结构变形不大, 最大变形出现在救生舱的侧壁。所建立的有限元模型完整覆盖了救生舱爆炸冲击全过程, 结果更准确, 对救生舱的研制具有一定工程价值。

关键词: 井下救生舱; 爆炸冲击; 数值分析

中图分类号: O347.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 12-2853-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-FZ0321

Numerical Simulation Analysis of Anti-Blast impact of Underground Rescue Capsule Based on LS-DYNA

Zhang Fan, Yang Yuanhua, He Xiaoxu, Deng Yu

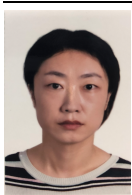
(Sichuan Institute of Aerospace Systems Engineering, Chengdu 610100, China)

Abstract: Aiming at the strength problem of the underground rescue cabin under explosion impact load, a finite element model of overall explosion impact load and fluid-solid coupling structure response is established in transient dynamic soft LS-DYNA. The flow field impact load is generated by explosion algorithm, and the propagation of the impact load in the air is calculated. The dynamic response of the rescue cabin structure under the impact load is calculated by the fluid-solid coupling method. The results show that the maximum load occurs on the end surface closest to the explosion source, and the structural deformation is small because the end surface is small, and the maximum deformation occurs on the side wall of the cabin. The established finite element model covers the whole process of the explosion and shock of the cabin, and the results are more accurate. It has a certain engineering value for the development of rescue cabin.

Keywords: rescue capsule; blast impact; numerical simulation

引言

救生舱受瓦斯煤尘爆炸所产生的冲击是一个



收稿日期: 2019-06-11 修回日期: 2019-07-15;
作者简介: 张帆(1979-), 女, 黑龙江齐齐哈尔, 硕士, 高工, 研究方向为仿真技术应用; 杨元华(1974-), 女, 山东新泰, 博士, 研究员, 研究方向为仿真技术应用。

非常复杂的爆炸冲击动力学问题, 很难提出精确的工程计算方法, 而数值分析是目前最常用的方法。

爆炸过程的数值模拟方法有两种: 第一种是将爆炸载荷简化为随时间变化的节点力施加到结构上, 但这种方法将载荷和结构孤立, 将流体与结构孤立分析, 精度差, 不能真实反映客观力学过程; 第二种方法是采用爆炸模拟方法, 精确的

<http://www.china-simulation.com>

• 2853 •

计算爆炸冲击和舱体的多物理场耦合。本文采用第二种方法,即采用 LS-DYNA 提供的精确爆炸分析,利用状态方程模拟爆炸过程中压力与体积的关系,采用 Lagrange 方法与 ALE 方法模拟炸药与被爆破结构之间的关系,用流固耦合算法模拟爆炸过程。

1 流固耦合算法模拟瓦斯煤尘爆炸数值分析计算

1.1 基本条件

1.1.1 爆源条件

数值模拟分析中,载荷来源于瞬时爆轰爆源。爆源初始体积 200 m^3 ,爆源初始压力满足在距离爆源 100 m 处产生救生舱抗流场最大峰值超压 $2 \times 0.3 \text{ MPa}$ (2 为安全系数)。

1.1.2 井巷条件

等截面直巷道;长度包括爆源段 28 m ,冲击波传播段 100 m ,救生舱长度,后端长度(大于救生舱长度)。救生舱布置位于巷道水平方向几何中心,如图 1 所示。

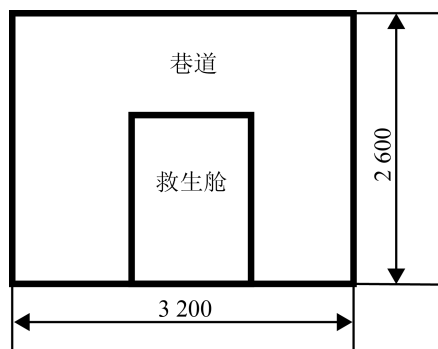


图 1 井巷截面尺寸与救生舱布置
Fig. 1 Cross-section of mine and rescue cabin

1.2 有限元模型建立

选取巷道长度为 146 m ,井巷一端 28 m 为高压气体,冲击波传播段 100 m ,救生舱长度为 8.985 m ,建立 1/2 模型,对爆源高压气体及巷道中的空气采用 ALE 及多物质算法,救生舱采用 Lagrange 算法,巷道出口端采用流出边界,

其他边界均采用刚性固壁边界,有限元模型如图 2 所示。

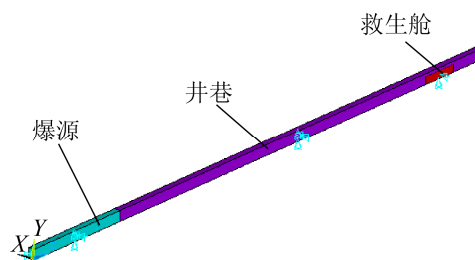


图 2 有限元模型
Fig. 2 Finite element model

1.3 材料参数与状态方程

高压气体和空气模型均简化为非黏性理想气体,采用 NULL 材料模型及 LINEAR-POLYNOMIAL 状态方程加以描述,线性多项式状态方程^[1]为:

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5u + C_6\mu^2)E\mu = \frac{1}{V} - 1 \quad (1)$$

式中: p 为爆轰压力; E 为单位体积内能; V 为相对体积。

当线性多项式状态方程用于高压气体和空气模型时:

$$C_0 = C_1 = C_2 = C_3 = C_6 = 0, C_4 = C_5 = 0.4$$

空气的密度取为 1.225 kg/m^3 ,初始相对体积取 1.0。

救生舱舱体材料为 20 号钢,弹性模量为 210 GPa ,泊松比为 0.3,密度为 7800 kg/m^3 ,屈服强度为 245 MPa ,极限强度为 410 MPa 。

1.4 爆炸冲击波在巷道内的流场分析

图 3 是爆炸发生后冲击波在巷道内部的完整传播过程。从图 3 中可以看出,高压气体在巷道内部爆炸后,由于受到巷道壁面的约束,冲击波在巷道壁之间反复反射,反射波与入射波叠加后向两边迅速传播,当冲击波传播到救生舱时,冲击波在救生舱与巷道壁面又发生严重的反射。冲击波波峰经过救生舱后,紊乱的流场逐步平稳。

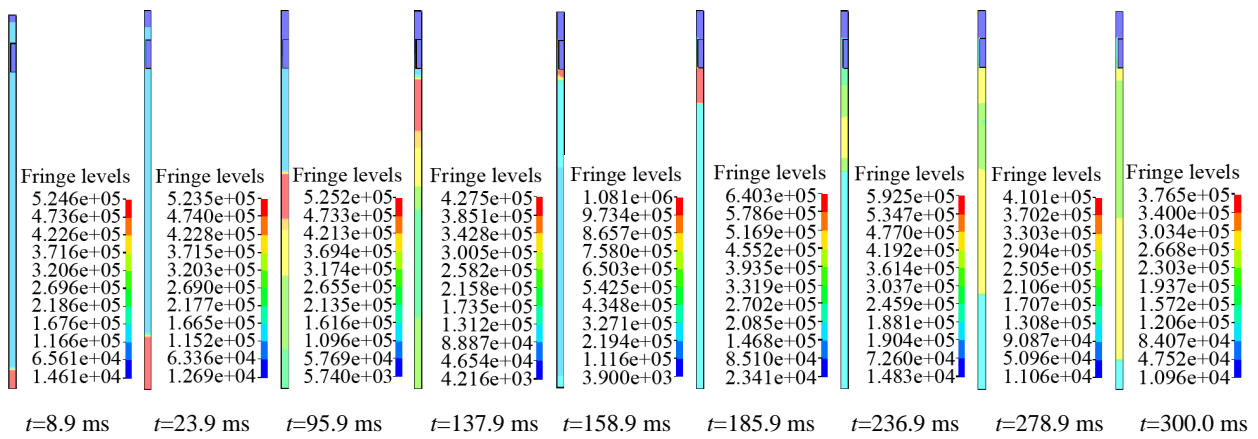


图 3 冲击波的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of explosion shock wave

1.5 爆炸压力分析

图 4 为巷道内部舱体正面中心位置的压力时程曲线。

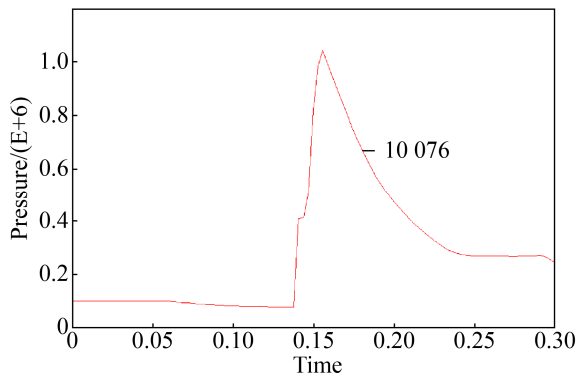


图 4 舱体正面压力曲线

Fig. 4 Frontal pressure of cabin

图 5 为巷道内部舱体侧面 10 个舱段中轴线中心上 10 个位置的的压力时程曲线。

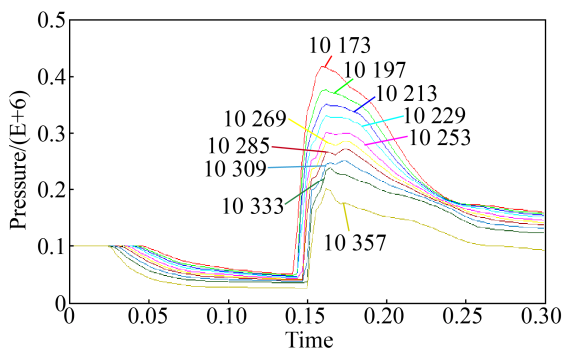


图 5 舱体侧面压力

Fig. 5 Pressure on the side of the cabin

图 6 为巷道内部舱体后面中心位置的的压力时程曲线。

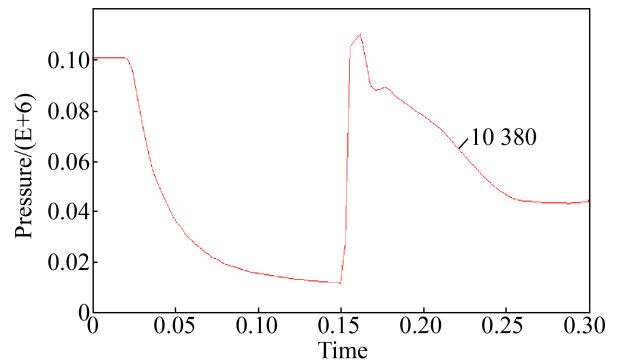


图 6 舱体后面压力

Fig. 6 Pressure on the back of the cabin

图 7 为巷道内部舱体顶面 10 个舱段中轴线中心上 10 个位置的的压力时程曲线。

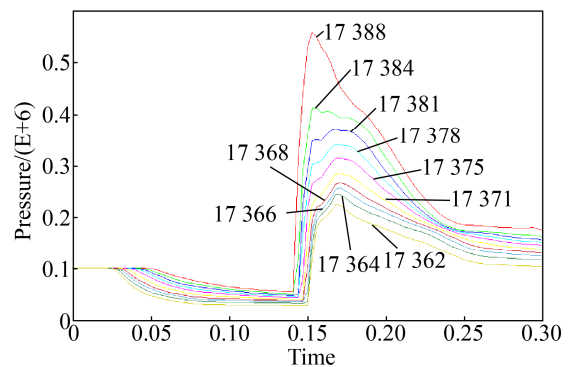


图 7 舱体顶面压力

Fig. 7 Pressure on the top of the cabin

从压力时程曲线可以看出,随着巷道传播距离的增大,冲击波压力逐渐衰减。冲击波传播到舱体正面时,发生了严重的反射,反射波与入射波叠加产生了较大的峰值,随着冲击波波峰经过救生舱后,流场逐步趋于平稳。

2 救生舱结构响应计算

2.1 有限元模型建立

图 8 为救生舱三维模型。

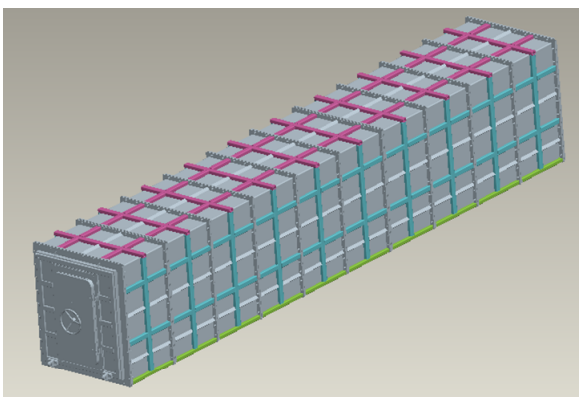


图 8 救生舱三维模型
Fig. 8 3D model of the cabin

由于保护舱体是救生舱承受外部爆炸冲击的主要承力件,它的主要作用为舱体提供外部强有力的爆炸冲击保护,由骨架及加强筋板等组件组成,结构示意图如图 8 所示。因此将保护舱体作为分析的重点建立有限元模型。救生舱舱体的外层钢板厚度为 8 mm,舱体中层钢板厚度为 3.5 mm,外层和中层连接的矩形钢管厚度为 6 mm,门板厚度 10 mm,用于舱体连接的法兰板厚度为 25 mm。

舱体均为钢材料,材质均为 20 号钢,屈服强度为 245 MPa,抗拉强度为 410 MPa。计算中所用其它参数为:钢材的密度 $7\ 800\ \text{kg}/\text{mm}^3$,弹性模量 210 GPa,泊松比 0.3。

因为蒙皮和法兰框的径厚比大于 10,所以处理成板壳结构,骨架处理成梁结构,采用 LS-DYNA Explicit Thin SHELL163 和 LS-DYNA Explicit 3D Beam161 单元按舱体实际结构尺寸建立有限元模

型,有限元模型如图 9 所示。

因观察窗和密封门为外购件,不作为本次分析的重点,因此将观察窗和密封门简化建模,仅作为传递载荷的结构。

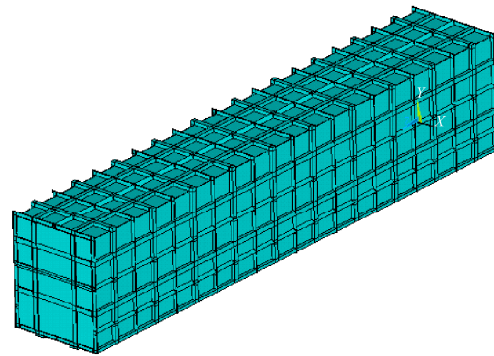


图 9 救生舱有限元模型
Fig. 9 FEM of cabin

2.2 施加边界条件

将救生舱底部滑撬施加固支约束,为减少计算量,取模型的二分之一进行计算,因此将对称面施加对称约束。因外蒙皮和中间蒙皮响应过程中可能会发生接触,因此采用自动接触算法 ASSC 定义接触。

2.3 施加载荷

因为计算流场载荷为绝对值,考虑舱体内有一个标准大气压,因此施加在舱体外表面的载荷为流场载荷减去一个标准大气压为超压。将救生舱正面、侧面、顶面和后面按计算流场载荷(超压)加载在外表面处。

2.4 仿真结果

经仿真计算,得到救生舱在 0.156 s 的变形云图如图 10 所示,变形最大点时程曲线如图 11 所示,救生舱在 0.177 s 的应力云图如图 12 所示,应力最大点时程曲线如图 13 所示。冲击过程变形最大量为 16 mm,均出现在舱体的侧面中间部位。计算冲击过程中舱体部分所受最大应力值为 325 MPa,最大应力均出现在舱体骨架上。计算的结果均大于材

料的屈服强度 245 MPa, 小于材料的极限强度 410 MPa, 由此舱体会发生塑性变形, 但不会出现破坏部位。由仿真结果可以得出, 在该流场载荷作用下舱体结构强度和刚度满足使用要求。仿真结果对救生舱的设计具有一定指导意义。

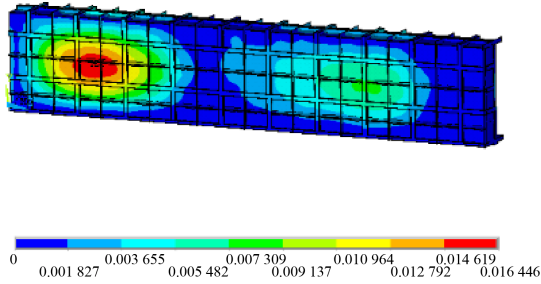


图 10 救生舱在 0.156 s 的变形云图
Fig. 10 Deformation of cabin at 0.156 s

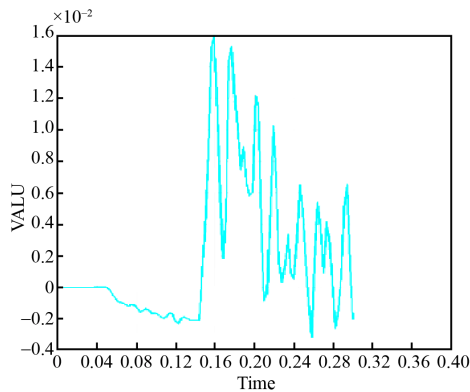


图 11 变形最大点时程曲线
Fig. 11 Max deformation change over time

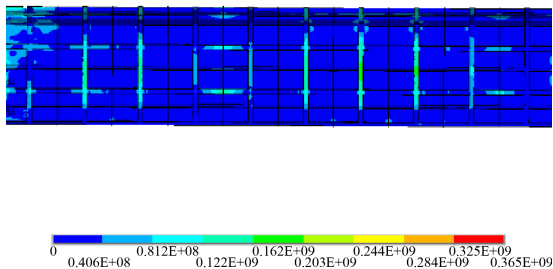


图 12 救生舱在 0.177 s 的应力云图
Fig. 12 Stress distribution of cabin at 0.177 s

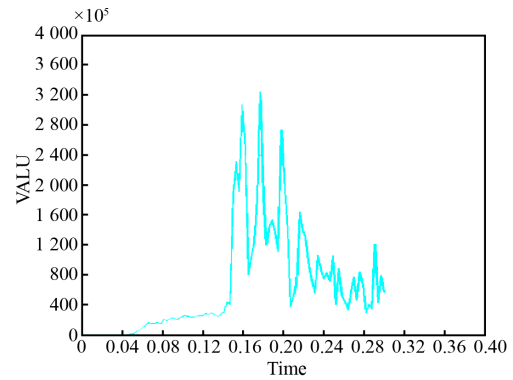


图 13 应力最大点时程曲线
Fig. 13 Max stress change over time

由仿真分析得出, 舱体在 0.156 s 的变形最大为 16 mm。舱体骨架的最大应力为 325 MPa, 小于材料的极限强度。

3 结论

在对爆炸冲击数值仿真技术研究的基础上, 应用流固耦合算法模拟井下瓦斯煤尘爆炸在井巷中产生的流场载荷, 将该流场载荷作为救生舱结构动力响应分析的载荷条件, 对整舱进行强度分析。研究表明, 所采用的方法可以很好地描述井下瓦斯煤尘爆炸冲击波流场分布与变化规律, 其数值模拟结果为井下救生舱的试验及理论研究提供参考依据。

参考文献:

- [1] 李志强, 白博, 谢青海, 等. 冲击载荷下矿用移动式救生舱动态响应的数值模拟[J]. 振动与冲击, 2013, 32(16): 146-151.
Li Zhiqiang, Bai Bo, Xie Qinghai, et al. Numerical simulation on the dynamic response of movable mine rescue chamber subjected to impact loading[J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(16): 146-151.
- [2] 马立东, 潘海彦, 王云, 等. 井下救生舱抵抗爆炸冲击的数值模拟[J]. 振动与冲击, 2012, 31(20): 172-176.
Ma Lidong, Pan Haiyan, Wang Yun, et al. Numerical simulation of a refuge chamber resisting gas explosion impact[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(20): 172-176.
- [3] 李迎春, 杨胜强. 障碍物对瓦斯爆炸压力传播规律的研究[J]. 能源技术与管理, 2011(3): 1-3.

- Li Yingchun, Yang Shengqiang. Research on obstacle on the pressure of gas explosion propagation[J]. Energy Technology and Management, 2011(3): 1-3.
- [4] 白博, 李志强, 王志华, 等. 矿用救生舱抗爆炸 TNT 当量与冲击载荷研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(17): 1-5.
- Bai Bo, Li Zhiqiang, Wang Zhihua, et al. Research on the TNT equivalent and impact load in anti-explosion of mine rescue capsule[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(17): 1-5.
- [5] 应富强, 李俊豪, 黄金根, 等. 井下瓦斯爆炸时救生舱壳体受力情况的研究[J]. 煤矿机械, 2013, 34(4): 60-62.
- Ying Fuqiang, Li Junhao, Huang Jingen, et al. Study on surface force of mine refuge shelters with underground gas explosion[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(4): 60-62.
- [6] 常德功, 王吉利, 李国星, 等. 基于 LS-DYNA 的矿用救生舱壳结构爆炸冲击分析[J]. 矿山机械, 2013, 41(11): 130-134.
- Chang Degong, Wang Jili, Li Guoxing, et al. Explosion impact analysis on shell of mine refuge chamber based on LS-DYNA[J]. Mining & Processing Equipment, 2013, 41(11): 130-134.