

文章编号:1000-582X(2004)10-0142-03

钢管混凝土短柱内部抗爆炸性能的有限元数值模拟*

杜林,石少卿,张湘冀,黄翔宇

(后勤工程学院 军事土木工程系,重庆 400041)

摘要:当前军事高技术武器的不断涌现及未来战争中攻防战略发展,对防护工程的抗力水平提出了更高的要求。文章运用 LS-DYNA3D 程序,对普通混凝土短柱和钢管混凝土短柱在相同爆炸荷载作用下的情况进行了数值模拟,并对它们产生的爆炸腔,节点位移结果进行了比较。结果表明:钢管混凝土结构能够有效地约束核心混凝土的变形,改善了结构的抗爆炸性能,增强了结构的韧性和牢固性。

关键词:钢管混凝土短柱;爆炸腔;节点位移;LS-DYNA3D

中图分类号:O383+.3

文献标识码:A

随着科技的发展,武器命中精度越来越高,威力越来越大。当前的抗爆结构正面临着超大当量的爆炸荷载和作用时间极其短暂的高强度冲击的威胁,使得抗爆结构设计变得非常复杂,甚至由于一些具体技术指标难以达到而使得设计流产。因此,一些不同于传统结构形式的新型组合结构应运而生。组合结构在防护结构中具有重要地位^[1],新型组合结构中具有代表性的是钢与混凝土组合结构。钢的材质好,性能稳定,并且具有良好的延性和吸能能力,因此人们将钢材以不同形式运用到抗爆结构中,其中管材是应用较多的一种形式。

钢管混凝土结构是指在钢管中填充混凝土的结构。钢管混凝土结构是在型钢混凝土结构、螺旋箍筋混凝土结构以及钢管结构的基础上演变和发展起来的^[2]。根据大量实验研究^[3],在承受压力作用时,由于钢管约束了混凝土,使混凝土处于三向受力状态,不但提高了混凝土的轴心抗压能力,而且使它由脆性变成塑性很好的材料,钢管由于内部存在混凝土,虽然壁薄,但却防止了局部屈曲失稳,也能充分发挥其纵向承载力,这2种材料组合在一起,既互相克服对方的弱点,又充分发挥了本身的优点^[4]。该结构整体刚度

大,结构稳定,抵御爆炸荷载的破坏能力良好,在抗爆结构领域具有广泛的应用前景。

1 钢管混凝土短柱抗爆的机理

钢管混凝土短柱的长径比较小,且有利于组合成蜂窝状的遮弹层,这样更能保持结构整体的稳定性和抗爆炸荷载能力。钢管混凝土短柱强度提高的原因,主要是构件受压时,由于钢管和混凝土的泊桑系数不同,随着荷载的增加,钢管由弹性工作状态进入塑性工作状态,其泊桑系数由0.283增大到0.500后就保持不变,而混凝土的泊桑系数大约由0.2增大到0.5后仍继续增大,这时钢管始终对填入的混凝土产生紧箍力,这样钢管和混凝土都处在三向受力状态下工作,因而抗压和变形能力都得到极大提高。

炸药产生的爆炸荷载作用在钢管混凝土短柱上的主要形式有2种:面上爆炸和内部爆炸。炸药在面上爆炸时,钢管混凝土短柱上表面承受爆炸压力同钢管混凝土轴心受压情况类似。核心混凝土在钢管的约束条件下,改变了受力性能,使混凝土抗压强度提高了很多,从而结构的抗爆能力得到了明显改善。当炸药在钢管混凝土短柱内部爆炸时,核心混凝土在爆炸荷载的挤压

* 收稿日期:2004-06-15

基金项目:总后勤部基建营房部资助项目(41A1C51)

作者简介:杜林(1980-),男,重庆云阳人,后勤工程学院硕士研究生,主要从事抗爆炸防护结构研究。

作用下,向四周变形。由于钢管强大的约束作用,使混凝土很难向四周变形,同时周围的混凝土由于钢管的约束作用,也加强了对炸药周围混凝土变形的限制。也就是说,钢管对整个核心混凝土的约束作用,限制了炸药周围混凝土在挤压作用下发生的径向运动。由于炸药周围混凝土的径向位移减小了,核心混凝土中每一环层在拉伸应力作用下产生的径向裂缝范围就减小了。这样,整体结构在爆炸荷载作用下的破坏程度就减轻了。由此可见,钢管混凝土短柱在抗爆炸荷载方面还是具有一定的结构优势。下面我们就用数值模拟的方法对钢管混凝土短柱内部抗爆炸性能加以验证。

2 数值模拟

2.1 模型简介

计算模型选用六边形钢管混凝土短柱,构件的核心混凝土顶面取为半径为 200 mm 圆的内接六边形(见图 1),核心混凝土的高度为 200 mm。炸药假设在六边形混凝土的中心位置,中心装药采用长、宽、高均为 40 mm 的正方体装药。钢管的壁厚取为 4 mm。为减小计算工作量、节省计算资源的要求,利用结构的对称性,以结构的 1/8 作为研究对象(见图 2),采用 LS-DYNA3D^[5] 程序进行数值模拟。

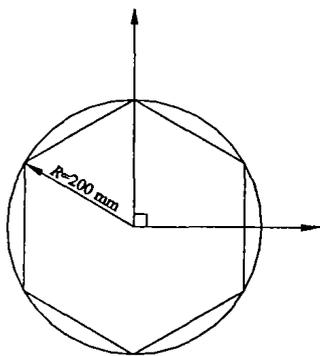


图1 模型横截面图

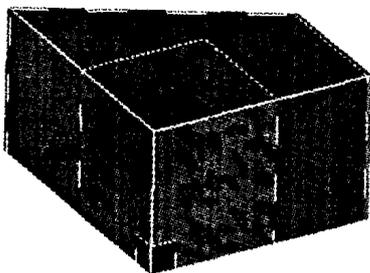


图2 1/8 计算模型图

1) 炸药的材料模型及状态方程

炸药采用 HIGH_EXPLOSIVE_BURN 模型^[6]以及

如下 JWL 状态方程加以描述,

$$P = A(1 - \frac{\omega}{R_1 V})e^{-R_1 V} + B(1 - \frac{\omega}{R_2 V})e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V} \quad (1)$$

式(1)中: P 为爆轰压力, V 是相对体积, E 是单位体积内能, A, B, R_1, R_2 为材料常数。

2) 空气的材料模型及状态方程

空气采用 NULL 材料模型及 LINEAR_POLYNOMIAL 状态方程加以描述。多项式状态方程为:

$$P = C_0 + C_1 \mu + C_2 \mu^2 + C_3 \mu^3 + (C_4 + C_5 \mu + C_6 \mu^2) E$$

$$\mu = \frac{1}{V} - 1 \quad (2)$$

式(2)中: P 为爆轰压力; E 为单位体积内能; V 为相对体积。

3) 混凝土的材料模型

混凝土采用 JOHNSON_HOLMQUIST_CONCRETE 材料模型,该模型适用于大应变、高应变率、高压情况下的混凝土

4) 钢的材料模型

钢材料采用 PLASTIC_KINEMATIC 材料模型,该材料模型适用于包含应变率效应的各向同性塑性随动强化材料。

2.2 数值模拟结果图形及理论分析

由图 3、图 4 可以看出,有钢管约束时形成的爆炸腔明显小于无钢管约束时的爆炸腔,但有钢管约束时爆炸腔沿轴向有所扩展,爆炸腔的高度大于无钢管约束时爆炸腔的高度。主要原因是钢管本身在变形过程中吸收了部分能量,另外钢管的约束作用使爆炸腔难以向四周扩展,而只能向约束较弱的上方发展。总的对比看来,有钢管约束时爆炸腔还是要小一些,结构的破坏程度也较轻一些。

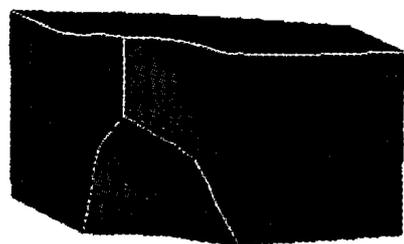


图3 无钢管约束时形成的爆炸腔图

由图 5、图 6 可以看出,在钢管约束的情况下,核心混凝土相互“挤压”,增强了核心混凝土之间的相互作用,受爆炸荷载作用而向四周膨胀的趋势得到了较好的控制。整体变形明显较小,说明外部钢管有效约

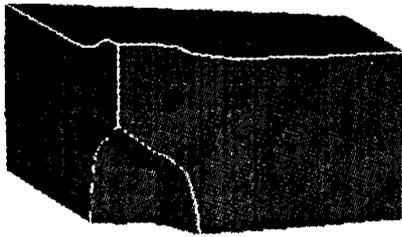


图4 有钢管约束时形成的爆炸腔图

束了核心混凝土的变形。

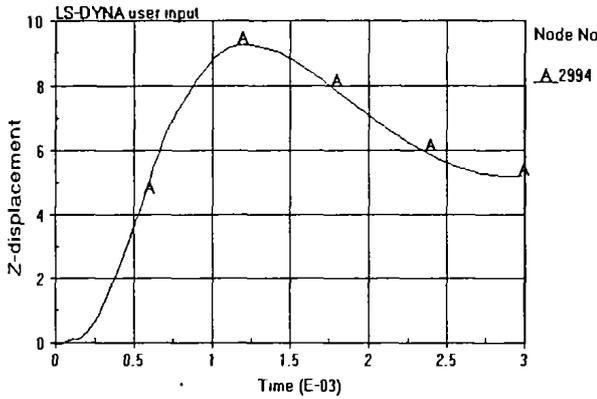


图5 无钢管约束时混凝土上表面左角点的位移时程曲线 (mm)

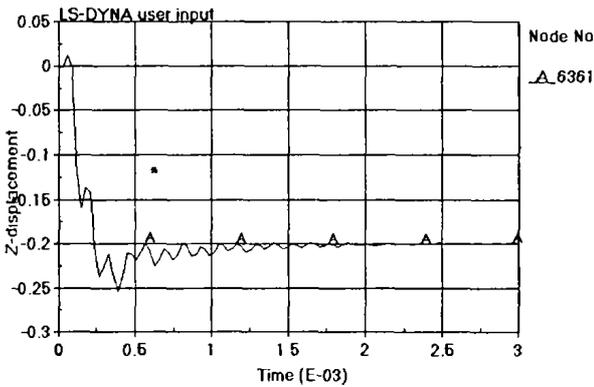


图6 有钢管约束时混凝土上表面左角点的位移时程曲线 (mm)

从图7、图8可以看出:2种结构的顶面位移都是由中心向四周逐渐减小,短钢管混凝土构件最大位移明显小于普通混凝土构件的最大位移。另外,同普通混凝土构件相比,短钢管混凝土构件靠近中心部分的区域的等值线分布较密,这说明顶面位移主要集中在中心部分,其它周围部分的位移较小。其原因是钢管起到了很好的约束作用,爆生气体的压力只能使结构在约束较弱的中心部分发生变形,离中心部分越远,受到的爆炸荷载作用越小,相应的产生的变形也很小。

3 结论

通过数值模拟比较发现,在相同的药量条件下,短

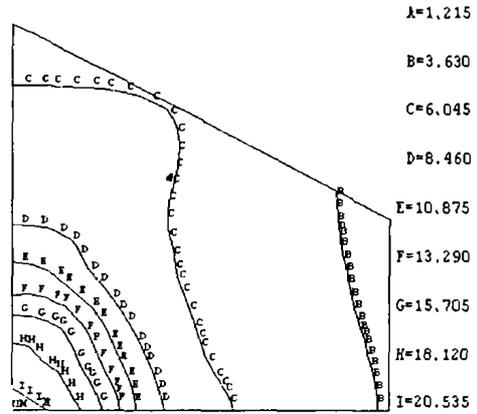


图7 普通混凝土构件顶面节点位移等值线分布图

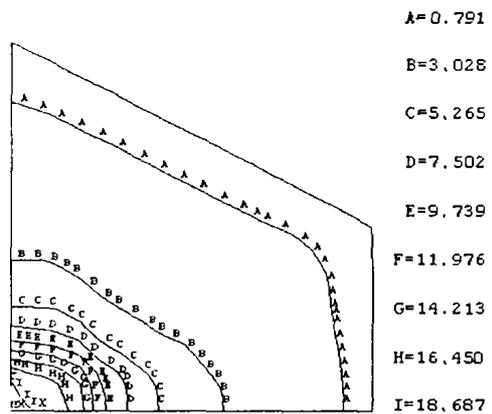


图8 钢管混凝土构件顶面节点位移等值线分布图

钢管混凝土构件有效的限制了核心混凝土向外扩张的趋势,变形明显小于普通混凝土构件,构件内部受爆炸气体压缩作用产生的爆炸腔较小,整体结构受破坏的程度也较轻。可见钢管确实改善了结构的抗爆炸性能,增强了结构的韧性和牢固性。利用短钢管混凝土构件良好的受压性能,可以组合成蜂窝式短钢管混凝土遮弹层,来提高结构整体的抗爆炸能力。

参考文献:

- [1] 赵小兵,方秦,张亚栋,等.爆炸荷载作用下地下复合结构的合理刚度匹配[J].爆炸与冲击,2001,21(2):17-120.
- [2] 钟善桐.钢管混凝土结构[M].黑龙江:黑龙江出版社,1987.
- [3] 天津大学.钢筋混凝土结构[M].北京:中国建筑工业出版社,1980.
- [4] 王颖.钢管混凝土性能分析[D].沈阳:沈阳工业大学,2001.
- [5] Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA Non-linear Dynamic Analysis of Structures [Z]. Version 950. Livermore, California, 1999.
- [6] 赵海鸥. LS-DYNA 动力分析指南[M].北京:兵器工业出版社,2003.

(下转第159页)

Product Market Competition and the Evolution of Family Business

ZHOU Li-xin, LI Chuan-zhao

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper tries to analyze the mechanism of the evolution of family business based on the product market by constructing the simple model. The analysis indicates that the evolution of family business is the tactic conduct of owner obtaining the competitive dominance and that the entrance rampart of industry is an important parameter affecting organization evolution. The organization evolution in different industry is different because of the difference of the entrance rampart of industry. On the basis of the analysis, the authors consider the organization evolution based on industry support and then make basic conclusions.

Key words: family business; product market; two rights separation; organization evolution

(编辑 刘道芬)



(上接第144页)

FEA About Capacity of Resisting Explosion Inside of Short Concrete Column With Steel Tube Confined

DU Lin, SHI Shao-qing, ZHANG Xiang-ji, HUANG Xiang-yu

(Department of Civil Engineering, LEU, Chongqing 400041, China)

Abstract: With the development of offense and defense strategy in future war and the application of high tech weapon, the demand is much improved to the resistibility level of defense engineering. LS-DYNA3D software is adopted to simulate the situation causing by the explosion of the commonly short concrete column and Short Concrete Column with Steel tube confined. The comparison includes chamber causing by explosion and nodes' displacement. The results show that steel tube-confined concrete structure can confine the displacement of core concrete, improve the structure's capacity of resisting explosion effectively, and enhance structure's elasticity and firmness.

Key words: short concrete column with steel tube confined; chamber causing by explosion; nodes' displacement; LS-DYNA3D

(编辑 姚飞)