

矿难抢险生命球的仿真设计

邓谷鸣 王媛媛 叶志坚

(厦门大学机电系, 福建 厦门 361005)

摘要: 综合考虑矿难抢险生命球在瓦斯煤尘爆炸时抗冲击波的能力、透水事故时抗水压的能力以及在矿井下的寿命等性能要求的基础上, 基于 MSC.Patran 软件和 NX Nastran 软件对生命球进行了动态仿真分析, 并对生命球的材质和壁厚进行优化设计, 提高了生命球系统的整体性能, 充分验证了该矿难抢险设施的可行性。

关键词: 矿难 动态仿真 应力分析 优化设计

中图分类号: TD77⁺ 4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4801 (2008) 02-01-04

1 引言

目前在我国煤矿生产中瓦斯煤尘爆炸和透水事故时有发生, 造成了重大的人员伤亡和财产损失。据相关资料统计, 我国历史上最严重的一次煤尘爆炸发生在 1942 年日本侵略者统治下的本溪煤矿, 死亡 1549 人, 残 246 人, 死亡的人员中大多为 CO 中毒, 事故发生前, 巷道内沉积了大量煤尘, 是由于电火花点燃局部聚积的瓦斯而引起的重大煤尘爆炸事故^[1]。而透水事故仅在 2006 年 1~5 月份我国就发生了 30 起, 死亡 178 人(尚不包括山西左云新井煤矿特大透水事故, 死亡 56 人)^[2]。针对这两种主要的重特大事故类型至今还不能避免的情况, 课题技术组设计了救生设施——生命球, 主要是用于当发生瓦斯煤尘爆炸和透水事故时, 非工作面上的矿工无法回到地面的情况下, 可以进入球内等待地面救援。本文分别运用 MSC.Patran 软件和 NX Nastran 软件对发生瓦斯煤尘爆炸和透水事故时生命球的受力进行动态仿真模拟, 并对球表面产生的等效应力、等效塑性应变和变形位移进行分析, 从而选出生命球壳的材料、确定出球壳的最佳厚度, 使生命球系统的整体性能得到提高。

2 生命球系统的构造

生命球球壳分上下两个半球, 由钢球层、隔热层和防震层组成^[3], 两球壳之间加上水气密封垫和隔热密封圈, 如图 1 所示。球内部结构如图 2 所示, 从图 2 可以看到, 生命球与外界用进气管、出气管、饮料管相连通, 球内备有自助氧气包、报警通讯装置、手电筒、压缩饼干等, 使矿工得以维持生命, 大大提高了获救的可能性。

基金项目: 福建省重点项目 (2006Y0027)

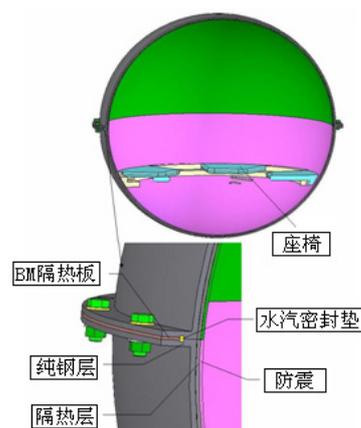
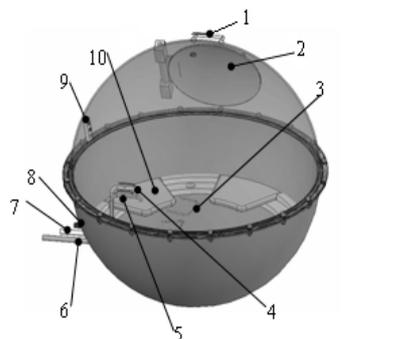


图 1 生命球外部构造



1-门扶 2-门 3-压缩氧气自救器安装座
4-进气管开关 5-饮料管道开关 6-饮料管道
7-进气管 8-出气管 9-通讯设备 10-座椅

图 2 救生球内部构造

3 冲击波作用下的动态仿真分析

3.1 冲击波方向和作用面分析

一般煤矿的巷道断面宽 3m, 高 1.8 m。救生球不能直接将其安放在巷道中间, 而是在安装球的位置向内侧挖进半个球深, 向下挖半个球深的一个坑, 安装时救生球门要朝向巷道出口, 如图 3 所示。通过分析知冲击波方向是沿水平方向由巷道内指向巷道出口, 其作用力面只是上半球面的四分之一部分, 因此, 生命球的门不受冲击波直接作用, 故可以不考虑门的影响, 为简化模型,

把门与球壳作为一个整体分析。

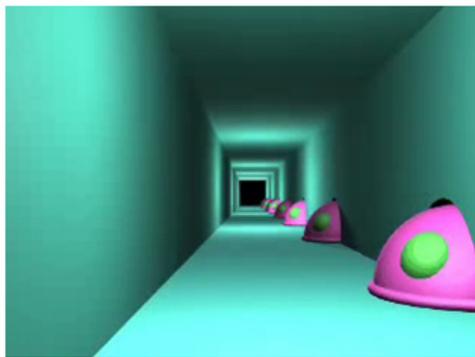


图 3 生命球的安装位置

3.2 生命球系统所受冲击波大小的分析

瓦斯煤尘爆炸压力是表征爆炸强度的重要参数。查阅相关资料得知，10.1%的瓦斯空气混合气体测定得到的定容爆炸压力大约为 0.71 ~ 0.81MPa^[4]。但是考虑到瓦斯爆炸时一定会引起煤尘爆炸，而在矿井条件下煤尘爆炸的平均理论压力为 736kPa，爆炸压力随着离开爆源距离的延长而跳跃式增大。爆炸过程中如遇障碍物，压力将进一步增加，尤其是连续爆炸时，后一次爆炸的理论压力将是前一次的 5~7 倍^[5]。因此，下面分析冲击波作用时取煤尘爆炸冲击波的最大压强为 5MPa 进行冲击波仿真模拟实验。

3.3 生命球材料及厚度的优化选择

运用 MSC. Patran 软件，模拟分析了在瓦斯、煤尘爆炸的冲击波载荷作用下生命球系统的动态响应。球的内径均取 1300mm，球距离爆点 50m，作用时间 $t=0.0002s$ 时，冲击波初始条件相同取最大压强 5MPa。通过对不同材料（Q215、70 钢、45 钢、16 Mn）及不同壁厚（仅仅指钢层的厚度，不考虑隔热层和防震层）（6mm、8mm、9mm、10mm、11mm）进行了大量的仿真对比分析。仿真分析结果如表 1 所示。

表 1 不同材料不同厚度的球仿真分析结果比较

作用时间 t (s)	材料	屈服强度 S (MPa)	壁厚 T (mm)	应变 M (N/m ²)	应力 P (MPa)
0.2	Q215	215	6	8.7×10^{-1}	224
			8	3.8×10^{-1}	220
			10	1.5×10^{-1}	216
	45	355	6	3.55×10^{-1}	361
			8	2.6×10^{-3}	353
			10	0	307
	70	430	6	1.0×10^{-1}	437
			8	2.3×10^{-4}	430
			10	0	205
	16Mn	350	8	2.7×10^{-3}	343
			9	7.8×10^{-4}	320
			11	3.7×10^{-5}	284

根据上面仿真分析，可得出以下结论：

(1) 若选同一材料则随着球壁厚的增加，生命球抵抗冲击波的能力也增强；

(2) 厚度为 10mm、材料为 70 的球可以满足强度要求，但是，70 钢成形工艺要求苛刻，该材料在成形中容易发生拉伸龟裂现象，故不宜选用；

(3) 厚度为 10mm 以上、材料为 45 的球和厚度为 9mm 以上、材料为 16 Mn 的球均可以满足强度要求和气密性要求，但是考虑到矿井下要求材料的耐腐蚀性较强，选用与 45 力学性能接近的合金结构钢 16Mn 更为合适。

3.4 生命球抗冲击波的应力、应变和位移仿真

下面仅仅列出对厚度为 11mm、材料为 16 Mn 的球的动态仿真分析结果。相应的等效塑性应变时间历程曲线、等效应力云图、等效应变云图、变形云图，如下图 4~图 7 所示，其中各个云图中右边的颜色条由上到下均表示对应值的变化。

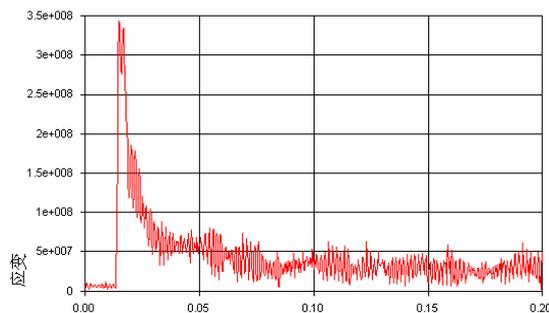


图 4 生命球的等效塑性应力时间历程曲线

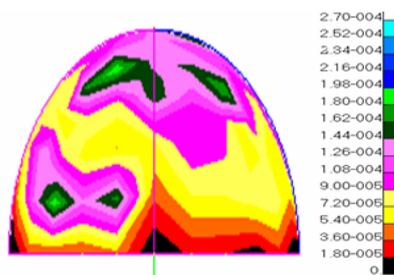


图 5 生命球的等效应变云图

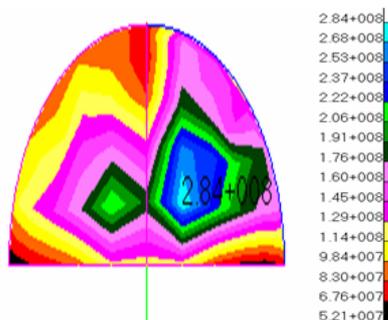


图 6 生命球的等效应力云图

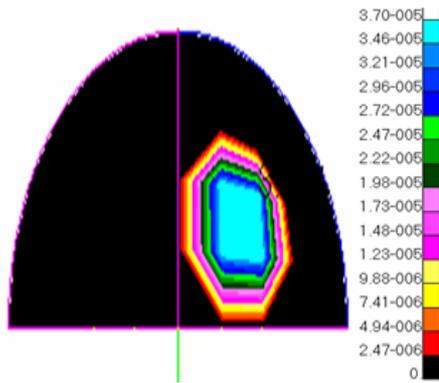


图7 生命球的变形云图

从4图和图5中可以看到，厚度为11mm的球在5MPa的冲击波载荷作用下，最大等效应力出现在正对冲击波的四分之一上半球中部，最大应力值达到284MPa，小于材料的屈服强度350MPa，此时球表面均未进入屈服阶段，没有发生塑性变形；由图6知 $\epsilon = 3.7 \times 10^{-5}$ ；由图7知，最大变形量为0.27mm，能满足气密性要求；以上分析知，厚度为11mm、材料为16Mn的球可以满足抵抗5MPa冲击波强度要求。

综合以上分析得到，厚度为11mm以上、材料为16Mn的球均可以满足抵抗5MPa冲击波强度要求。因此，下面仅对厚度为11mm、材料为16Mn的球进行水压动态仿真分析。

4 生命球系统抗水压动态仿真分析

4.1 生命球抗水压大小及受压面分析

不考虑发生灌井情况，发生透水事故时取最大水深 h 为300m（一般水深是100m~300m，此处取极限值），泥浆密度 $\rho = 1.2 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ [6]，根据压强公式 $P = \rho gh$ (g 为重力加速度)，计算出最大压强 P_{\max} 。

$$P_{\max} = 1.2 \times 1000 \times 10 \times 300 = 3.6 \text{Mpa}$$

从安全角度出发，取一定的安全系数，仿真时最大水压值取4Mpa，方向为竖直向下。

4.2 生命球抗水压仿真分析

运用NX Nastran软件材料为16Mn、厚度为11mm、内径为1300mm的生命球受最大水压情况下进行仿真。球受水压力面为上边半球面（即整个球的1/4），如图8所示。图8~图9是球受压时的应力及位移图，各个图中右边的颜色条由上到下也均表示对应值的变化。

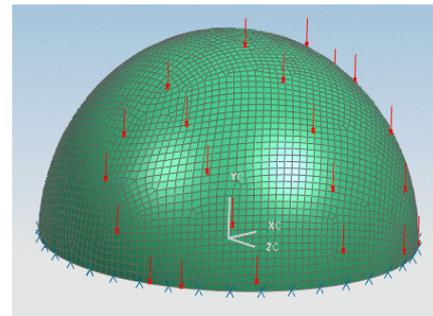


图8 生命球模型

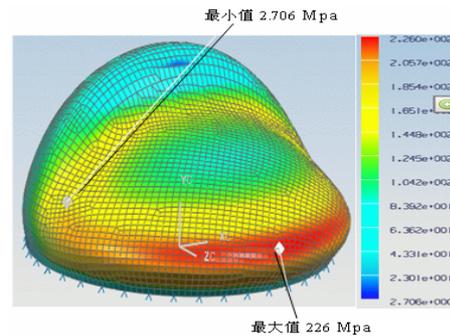


图9 受水压时球表面的应力图

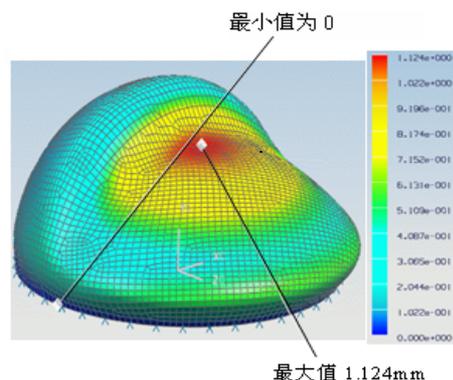


图10 受水压时球表面的位移图

如图9所示的应力最大值出现在靠近应力集中的区域，最大值为266.588Mpa，最小值为2.706Mpa。由仿真报告知，内表面所受最大压力值为339Mpa，小于材料16Mn的屈服强度350Mpa，说明此时球面没有进入屈服阶段，表面区域没有发生塑性变形。如图10所示由透水压力引起的生命球最大位移量为1.124mm，出现在上半球顶部，因此不会影响到生命球系统的气密性。

通过上面的分析可知300m深的水所产生的水压作用不会影响到材料为16Mn、厚度为11mm的生命球的使用性能。

5 结论

本文运用MSC.Patran软件和（下转第9页）

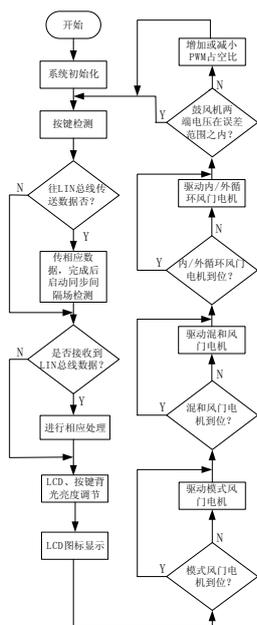


图5 主程序流程框图

系统的主程序流程如图5所示。系统在主程序

参考文献:

[1] 胡思德. 汽车车载 (VAN/CAN/LIN) 技术详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
 [2] TJA1020 LIN TRANSCEIVER PHILIP Semiconductor data sheet.
 [3] 林钢. 汽车空调[M]. 北京: 机械工业出版社. 2007.
 [4] PIC18F6390/6490/8390/8490 data sheet.
 [5] LIN Specification Package 2.0 online. LIN Consortium. 2003.
 [6] TLE4208 data sheet.
 [7] BSP75A data sheet.

作者简介: 廖应生, (1979年~), 男, 助理工程师, 主要研究方向: 机电一体化。

(上接第3页)

NX Nastran 软件对发生瓦斯煤尘爆炸和透水事故情况下生命球系统的受力情况进行了动态仿真模拟, 充分分析了球表面的等效应力、等效塑性应变和变形位移, 验证了生命球系统的可行性。并

中首先扫描按键, 其次查看是否需要传送数据到LIN总线以及处理LIN总线传来的数据, 接着处理LCD、按键背光以及LCD图标的显示, 然后检测模式风门、混和风门和内/外循环风门是否到达相应位置, 未到位置的话则驱动电机运转, 否则不处理, 最后检测鼓风机风量, 通过调节PWM的占空比实现鼓风机的风量控制。系统采用了中断实现与LIN总线的通信, 通过循环扫描的方式对各系统进行控制, 具有实时性好、工作可靠的特点。

6 结束语

综上所述, 本文介绍了一种基于LIN总线的汽车空调控制系统的软、硬件设计。随着汽车电子技术的进一步发展, 采用总线技术实现车载动力系统、车身系统、空调系统、辅助驾驶系统等的统一管理将成为今后汽车行业的发展方向。而LIN总线由于其较低的成本, 在实时性要求较低的系统中将会得到广泛的应用。

参考文献:

[1] 杨源林. 瓦斯煤尘爆炸的超压计算与预防 [J]. 煤炭工程师, 1996 (2) .
 [2] 罗春喜. 关于煤矿水害事故原因分析及防治问题的探讨 [J]. 煤炭技术, 2006 (11) .
 [3] 姚斌, 陈春榕, 毛芳萍, 石林, 王飞. 矿难抢险生命球系统的研发[J]. 煤炭科学技术, 2006 (11) .
 [4] 周心全, 吴兵, 徐景德. 煤矿井下瓦斯爆炸的基本特性[J]. 中国煤炭, 2006 (9) .
 [5] 张国枢. 通风安全学. 徐州: 中国矿业大学出版社[M], 2000.
 [6] 王怀志, 王承源, 李炳胜, 李功洲. 600m深钻井泥浆安全护壁条件[J]. 全国矿山建设学术会议论文选集, 2004.

作者简介: 邓谷鸣, (1950年~), 男, 工程师, 研究方向: 机械非标件的开发。