

某特种车驾驶室轻量化设计*

刘一蒙¹, 刘曦¹, 张攀², 雷刚²

(1. 重庆江通机械有限责任公司, 重庆 401321; 2. 重庆工学院 重庆汽车学院, 重庆 400050)

摘要:在保证特种车驾驶室整体结构力学特性的前提下,省略了一些非承载件,利用有限元软件 Hypermesh 建立了驾驶室的有限元模型.按照驾驶室实际负荷及弯曲、扭转工况下的边界条件进行加载,利用 OptiStrut 在弯曲和扭转 2 种典型工况下对特种车驾驶室进行强度分析,并采用有限元法结合可行方向法对特种车驾驶室进行了轻量化设计.该优化模型以驾驶室的总重量最小为优化目标,以板壳厚度为优化设计变量,以驾驶室结构件的强度值作为约束条件进行优化.最终得到的驾驶室结构在满足强度的前提下,与原结构相比质量减轻约 36%,取得了较好的轻量化效果.

关键词:驾驶室;有限元方法;尺寸优化;轻量化

中图分类号: U231

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)02-0089-03

特种车多工作于野外非公路环境,工作环境复杂多变,路面条件恶劣,因此车辆更易发生破坏.驾驶室为非承载部件,在设计过程中它的强度经常被忽视,同时特种车自重及所占整车质量比例均较大.因此在满足强度的条件下减轻驾驶室的质量对车辆轻量化研究具有重要意义.目前计算结构强度、刚度和动态特性最有效的方法为有限元法,因此要进行驾驶室结构轻量化设计必须将现代有限元法与优化设计技术相结合.基于有限元法的结构分析和尺寸优化能在产品开发阶段得到产品的最优方案,对提高产品质量,缩短设计周期,节约成本等方面有着重要的作用.本文中利用有限元分析软件 Hypermesh/OptiStruct 对某特种车驾驶室进行强度分析及尺寸优化设计,优化后结构与原结构相比,质量减轻约 36%,取得了较好的轻量化效果.

1 驾驶室尺寸优化设计数学模型

本文中选用可行方向法作为优化设计方法,可行方向法是求解非线性规划问题中直接处理约束的一种方法,一般供有不等式约束的问题使用.从任意的一个初始点出发,寻找可行方向和步长,逐次逼近最优点的各种方法总称为可行方向法^[1].影响驾驶室质量的主要因素为结构参数,如几何尺寸和板壳厚度.如果以结构参数 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$ 为设计变量,以驾驶室结构质量 $f(x)$ 为优化目标,则驾驶室轻量化结构优化设计数学模型一般可表示为

$$\text{求 } X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T, x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}, i = 1, 2, \dots, n;$$

使 $f(x)_{\min}$ 满足 $h_i(x) \leq 0 (i = 1, 2, \dots, I), g_j(x) = 0 (j = 1, 2, \dots, J);$

其中: $h_i(x)$ 为不等式约束函数; $g_j(x)$ 为等式约束函数; I 为不等式约束个数; J 为等式约束个数.

约束条件可以是强度约束、刚度约束、动态特性约束及几何约束等.利用不同的有限元分析系统进行驾驶室尺寸优化设计,其优化设计模型的具体表达有所不同.

本文中采用 Hypermesh/OptiStruct 有限元分析软件进行优化设计,在 Hypermesh/OptiStruct 中设计变量的范围通过指定其上下限来实现,约束也可通过指定上下限来控制其约束范围.本文中以各部件的板厚为优化设计变量,驾驶室尺寸优化设计的数学模型可具体表示为

$$\text{求 } X = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}^T, t_{\min} \leq t_i \leq t_{\max}, i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{使 } W(X)_{\min} = \sum_{i=1}^n A_i t_i;$$

$$\text{满足 } h_{\min} \leq h \leq h_{\max};$$

其中: n 为驾驶室设计变量构件的总数; t_i 和 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 分别为第 i 个构件板厚和相应的板面积; t_{\min} 和 t_{\max} 为第 i 个构件板厚的上下限值; W 为驾驶室构件的总质量; ρ 为材料密度; h 为驾驶室的强度; h_{\min} 和 h_{\max} 分别为结构强度约束上下限值.

2 驾驶室模型简化

驾驶室 CAD 模型由 Solid works 软件建立,我们对强度影响不大的部分部件进行简化,省去非承载件顶盖和 4 个

* 收稿日期: 2008-09-22

作者简介: 刘一蒙(1957—),男,湖北天门人,高级工程师,主要从事特种专用车设计、重车车桥开发研究.

车门,如图1。

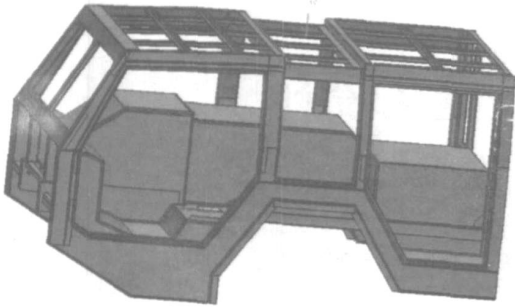


图1 简化后 CAD 模型

3 驾驶室有限元模型的建立

3.1 有限元网格的划分

在建立驾驶室有限元模型时,直接利用简化的 CAD 模型,并根据 FEM 计算的需要和要求,进行必要的简化。建立有限元模型时,对面与面之间小于一定尺寸的倒圆和倒棱加以忽略。由于驾驶室主要由型钢与钢板焊接而成,如果建立实体模型,则只能建成薄壁实体,很难进行实体单元的有限元网格划分,这种结构较适合建立板壳结构模型。

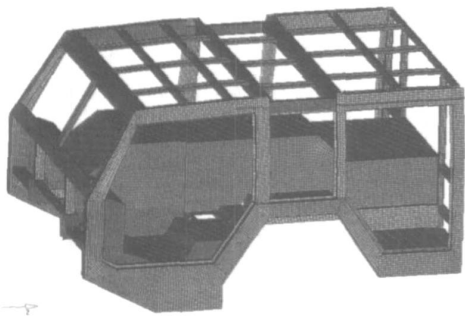


图2 有限元网格模型

利用 Hypermesh 8.0 进行网格划分,单元长度为 20 mm (如图2所示)。在建立模型中总共选用了4种单元:壳单元、质量单元、弹簧单元和刚性单元。经过结构网格划分和连接件的等效处理,精确建立了整车结构的三维有限元力学模型,整车结构响应分析有限元模型总计有93 182个节点,94 320个单元,其中三角形单元所占比例为1.07%,MPC 4个,弹簧单元4个。

建立材料模型,整个驾驶室的材料屈服极限为 235 MPa,弹性模量为 2.1×10^5 MPa,泊松比为 0.3,密度为 $7\ 800\text{ kg/m}^3$ 。

3.2 边界条件的确定

驾驶室的基本载荷简化为驾驶室自身质量、驾驶室附件(电瓶)质量(100 kg)、驾驶员质量($4 \times 75\text{ kg}$)。驾驶室的自身质量通过设置材料特性模拟;驾驶室附件质量、驾驶员通过设置集中质量单元模拟。所有质量在对模型施加重

力加速度后才能获得。施加约束时,将车架看作刚性不动体,将橡胶减振块及驾驶室作为整体考虑。在驾驶室的4个支点上各施加3个方向的零位移约束,约束施加在橡胶减振块与车架连接处(如图3),不同工况下的特有载荷另行介绍。

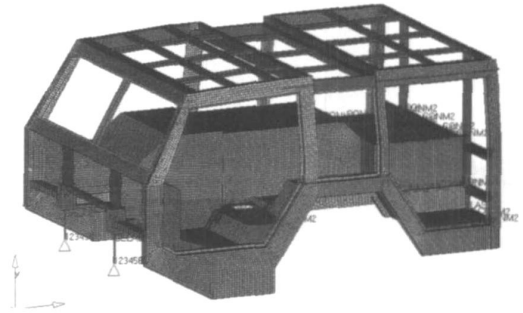


图3 有限元力学模型

3.3 优化设计变量的选择

以驾驶室的板厚作为优化设计变量初始值,共有23个优化设计变量,由于钢板标准规格的板厚不是连续的,本文中按照钢板标准板厚设计离散的设计变量。

3.4 目标函数和约束函数的选择

由于驾驶室的自重和其占整车的比例均很大,所以以驾驶室的自重作为轻量化设计的优化目标,由于该驾驶室材料在设计前后不变,因此可以选择驾驶室的体积作为目标函数。驾驶室的约束条件为驾驶室构件的最大应力。

3.5 驾驶室的典型工况

根据驾驶室的受力特点,计算时选择了2种典型的工况进行驾驶室的静强度计算:驾驶室弯曲工况和驾驶室扭转工况。

3.5.1 弯曲工况

弯曲工况施加约束时,在驾驶室的前支点上 x, z 方向施加零位移约束, y 方向上移动的自由度施加 30 mm 极限位移约束,在 y 方向上转动的自由度施加零位移约束,后支点在3个方向施加零位移约束,约束施加在橡胶减振块与车架连接处。

3.5.2 扭转工况

扭转工况施加约束时,在驾驶室的右前支点上 x, z 方向施加零位移约束,在 y 方向上移动的自由度施加 30 mm 极限位移约束,在 y 方向上转动的自由度施加零位移约束,其他各支点在3个方向均施加零位移约束,约束施加在橡胶减振块与车架连接处。

4 优化结果与分析

利用 Hypermesh/OptiStruct 计算得到了优化结果。Q235 钢的屈服极限为 235 MPa,静强度最小许用安全系数取 1.3,动载荷系数取 1.5,许用应力为 120.5 MPa。优化前设计方案、优化后方案板厚尺寸结果如图4所示。

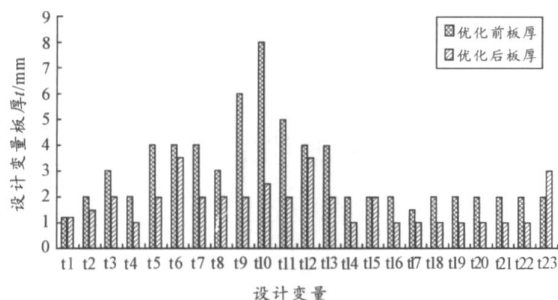


图4 优化前后设计方案变量板厚对比

通过2个工况的分析比较,可知扭转工况条件更恶劣,应力水平更高,下面具体分析扭转工况下驾驶室的强度。扭转工况下优化前最大 VonMises 应力为108.1 MPa;优化后最大 VonMises 应力为112.6 MPa,优化后应力值略有上升,但仍在许用应力范围之内,优化前后驾驶室应力分别如图5、图6所示。

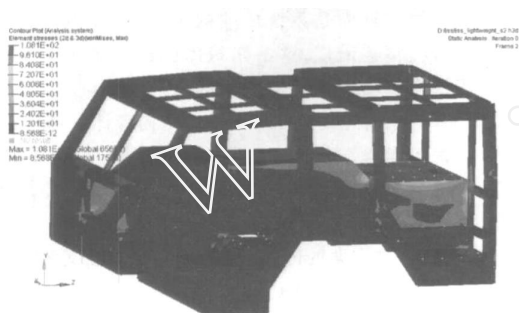


图5 扭转工况优化前设计方案应力

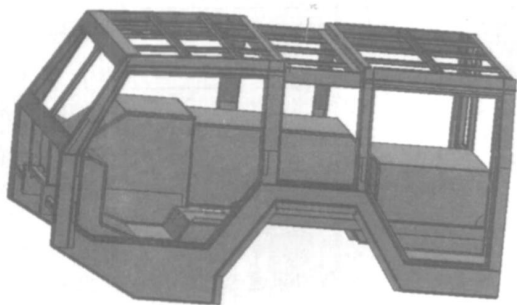


图6 扭转工况优化后设计方案应力

优化后驾驶室体积比优化前驾驶室体积减少了36%,优化前后驾驶室材料不变,即优化后驾驶室质量比优化前

减少了36%,取得了明显的效果。驾驶室尺寸优化过程体积变化如图7所示。

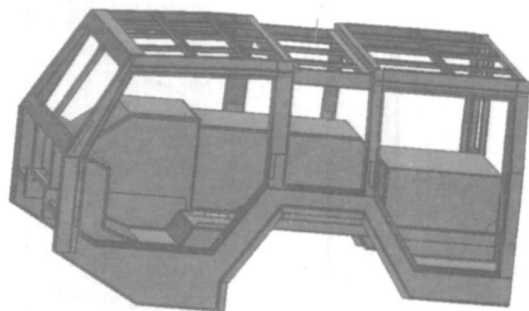


图7 优化过程体积变化

优化后的驾驶室在明显减轻自重的条件下,强度满足设计要求,优化设计有效。

5 结论

- 1) 建立了驾驶室的有限元模型,根据有限元分析,表明生产厂家设计制造的驾驶室达到了设计要求,能满足静强度要求,且强度储备较大。
- 2) 在安全系数得到保证的前提下进行优化分析,得到了最优化方案,大大节约了材料,节省了成本。
- 3) 证明了采用有限元分析手段进行强度校核,优化设计,甚至缩短开发周期,研制新产品都是可行的。

参考文献:

- [1] 蔡新,郭心闻,张旭明.工程结构优化设计[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 于开平,周传月,谭惠丰,等. Hypermesh 从入门到精通[M].北京:科学出版社,2005.
- [3] 周传月,腾万秀,张俊堂.工程有限元与优化分析应用实例教程[M].北京:科学出版社,2005.
- [4] 成耀龙,马力,王皎.重型专用车车架轻量化结构优化设计[J].设计研究,2005(3):33-35.
- [5] 张胜兰,郑冬黎,郝琪,等.基于 Hyper-Works 的结构优化设计技术[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [6] 王勖成.有限单元法[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [7] 王直民,张十乔,吴小刚.不平整路面上的车辆等效动载系数[J].浙江大学学报:工学版,2007(5):68-69.