



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109190189 A

(43)申请公布日 2019.01.11

(21)申请号 201810911551.1

(22)申请日 2018.08.10

(71)申请人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路122号

(72)发明人 徐峰祥 张锁 武昆迎 董治南

(74)专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 徐员兰 乐综胜

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

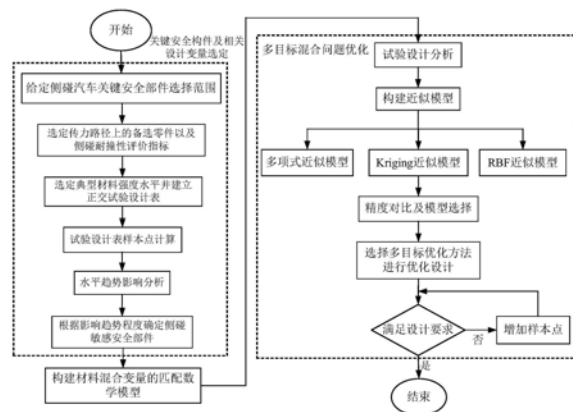
权利要求书2页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法

(57)摘要

本发明公开了一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,包括以下步骤:初步选定多个部件作为安全部件;依据不同安全部件的设计变量建立正交试验设计表,对正交试验设计表中的样本点进行有限元仿真计算;对仿真计算结果进行灵敏度分析,判定出侧碰时的关键敏感性安全部件;以相关设计参数设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,依据仿真结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型,选择精度高的数学建模方法建立近似模型;基于所选择的近似模型进行多目标优化,通过对Pareto前沿采用最小距离选解法求得最优解。有效缩短新产品开发周期,对车身结构的研发有较好的指导作用,对车身各部件的多个参数进行合理选择与匹配,使车身性能达到最优的过程。



1. 一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 初步选定汽车的多个部件作为侧碰时的安全部件并建立有限元模型;

2) 确定不同安全部件的设计变量和耐撞性评价指标,然后依据不同安全部件的设计变量建立正交试验设计表,并对正交试验设计表中初步选定安全部件的样本点进行有限元仿真计算,求得相应的耐撞性评价指标值;

3) 对正交试验设计表求得的仿真计算结果进行灵敏度分析,从初步选定的安全部件中判定出侧碰时的关键敏感性安全部件;

4) 以关键敏感性安全部件的多个相关设计参数设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,依据均匀拉丁方试验数据得到仿真结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型,通过比较多个近似模型的拟合精度,从而选择精度高的数学建模方法建立近似模型;

5) 基于所选择的精度较高的近似模型对关键敏感性安全部件的多个设计参数进行多目标优化,通过对Pareto前沿采用最小距离选解法求得关键敏感性安全部件的设计参数最优解。

2. 根据权利要求1所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,所述的步骤1)中,初步选定的安全部件包括车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁、门槛梁、前地板横梁、中地板横梁和后地板横梁;步骤3)中的关键敏感性安全部件包括车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁和门槛梁。

3. 根据权利要求1所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,在所述的步骤2)中,不同安全部件的设计变量作为正交试验设计表中的水平因子,初步选定的安全部件作为正交试验设计表中的各列的因素,对正交试验设计表中每行的各列因素进行有限元仿真计算,求得相应的耐撞性评价指标值。

4. 根据权利要求3所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,所述步骤2)中,设计变量为多种不同等级的高强度结构钢,耐撞性评价指标为两个,分别为B柱最大侵入量和B柱最大侵入速度。

5. 根据权利要求4所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,所述的不同等级的高强度结构钢是指不同等级屈服强度的高强度结构钢。

6. 根据权利要求1所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,所述的步骤3)中,灵敏度分析具体是指依据正交试验设计表数据得到的仿真结果进行极差分析,求得每个安全部件在各列因素的不同设计变量的情况下,对依据正交试验设计表数据得到的仿真结果的影响趋势,从而判断出侧碰时的关键敏感性安全部件。

7. 根据权利要求1所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,在所述的步骤4)中,各关键敏感性安全部件的多个相关设计参数作为不同关键敏感性安全部件的设计变量,设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,并依据仿真计算结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型的具体过程为:采用均匀拉丁方试验设计方法对敏感性部件的材料等级和厚度所组成的设计空间进行最优拉丁方多次采样,采样得一系列具有均匀分布的材料等级和厚度离散点,根据所得设计变量的离散样本点进行仿真求解,得到仿真结果通过多个数学建模方法分别构建出部件总质量、B柱的最大侵入量、B柱的最大侵入速度的多个近似模型,然后随机从关键敏感性安全部件的样本点中选择出几个测试点并输入至整车碰撞有限元模型进行仿真计算,并计算测试点的平均相对误差和最大相对误差来评估

所构建近似模型的拟合精度,从而选择精度高的数学建模方法建立近似模型。

8. 根据权利要求1所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,在所述的步骤4)中,各关键敏感性安全部件的多个相关设计参数是不同关键敏感性安全部件的材料等级和厚度属性。

9. 根据权利要求1、7或8中所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,在所述的步骤4)中,多个数学建模方法包括多项式响应面近似模型方法(RSM)、克里格模型方法(Kriging)和径向基神经网络模型方法(RBF)。

10. 根据权利要求1所述的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其特征在于,在所述步骤5)中,基于所选择的精度较高的近似模型对关键敏感性安全部件的多个设计参数进行多目标优化具体是利用非支配排序第二代遗传算法NSGA-II对所选择精度较高的近似模型进行优化设计,所述目标响应函数优化数学模型为下式:

$$\begin{cases} \min \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \{f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X}), f_3(\mathbf{X})\} = \{\text{Weight}, d_{\max}\} \\ \text{s.t. } \mathbf{X}^L \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}^U \\ v_{\max} \leq 9\text{m/s} \end{cases}$$

式中, $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 和 $f_3(x)$ 分别指是望小特性目标响应、望大特性目标响应和望目特性目标响应; \mathbf{X} , \mathbf{X}^U 和 \mathbf{X}^L 分别是设计变量向量及其上限、下限;Weight为组成材料匹配优化设计变量的安全部件质量之和; d_{\max} 为B柱最大侵入量; v_{\max} 为B柱最大侵入速度。

一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车零部件结构设计技术领域,具体涉及一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法。

背景技术

[0002] 汽车轻量化作为降低原油消耗和尾气排放的重要手段引起了世界各国的高度重视。使用轻量化材料降低汽车自重的方式已经获得广泛的关注,而高强度钢便是目前轻量化最适合的材料之一。研究表明,对车身关键安全部件采用高强度钢材料后,碰撞安全性可以得到一定的提高。

[0003] 由于汽车车身零部件众多,在对汽车侧面耐撞性进行优化设计的过程中,若选取所有部件势会增加开发成本、造成材料的浪费,因此只需将高强度钢应用于关键部件,即选取有限的部件作为设计对象。然而,关键部件的选取往往依靠工程师的工程经验,缺乏一定的科学性。而且,目前国内对于汽车耐撞性的研究通常只是单独考虑材料或者厚度对耐撞性能的影响,缺乏考虑材料与厚度之间的交互性。目前国内对汽车碰撞安全性的研究主要集中在对车身结构的改进,或者简单研究单个零件进行高强度钢材料替换后对汽车安全性能的影响,而对车身结构进行合理的材料匹配问题的研究较少。

[0004] 同时,由于材料匹配问题同时考虑部件材料(离散变量)以及厚度(连续变量),因此它是一个离散/连续混合变量多目标优化问题。传统方法易造成设计上的不可行解或得不到最优解且优化过程必须轮换在连续、离散域内搜索,使得搜索困难、转换次数繁多、算法和程序复杂。

[0005] 针对以上问题,本文提出了基于侧面碰撞的汽车关键安全部件材料匹配方法,即首先初步确定基本安全部件,然后通过灵敏度分析得出影响整车耐撞性能的关键安全部件,之后对所选关键安全部件设计均匀拉丁方试验,构造优化问题数学模型,从而找出最优材料厚度匹配方案,使得整车在优化前后的耐撞性和轻量化得到了显著提升。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是,针对现有技术存在的上述缺陷,提供了一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,有效缩短新产品开发周期,对汽车车身结构的研发有较好的指导作用,对车身各部件的多个参数进行合理选择与匹配,使得车身性能达到最优的过程。

[0007] 本发明为解决上述技术问题所采用的技术方案是:

[0008] 一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,包括以下步骤:

[0009] 1) 初步选定汽车的多个部件作为侧碰时的安全部件并建立有限元模型;

[0010] 2) 确定不同安全部件的设计变量和耐撞性评价指标,然后依据不同安全部件的设计变量建立正交试验设计表,并对正交试验设计表中初步选定安全部件的样本点进行有限元仿真计算,求得相应的耐撞性评价指标值;

[0011] 3) 对正交试验设计表求得的仿真计算结果进行灵敏度分析,从初步选定的安全部件中判定出侧碰时的关键敏感性安全部件;

[0012] 4) 以关键敏感性安全部件的多个相关设计参数设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,依据均匀拉丁方试验数据得到仿真结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型,通过比较多个近似模型的拟合精度,从而选择精度高的数学建模方法建立近似模型;

[0013] 5) 基于所选择的精度较高的近似模型对关键敏感性安全部件的多个设计参数进行多目标优化,通过对Pareto前沿采用最小距离选解法求得关键敏感性安全部件的设计参数最优解。

[0014] 按照上述技术方案,由于多目标优化问题中各个目标间是相互冲突的,优化解不可能是单一解,而是一个解集,称为Pareto最优解集,而对应的目标函数空间的像称为Pareto前沿。

[0015] 按照上述技术方案,所述的步骤1)中,初步选定的安全部件包括车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁、门槛梁、前地板横梁、中地板横梁和后地板横梁;步骤3)中的关键敏感性安全部件包括车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁和门槛梁。

[0016] 按照上述技术方案,在所述的步骤2)中,不同安全部件的设计变量作为正交试验设计表中的水平因子,初步选定的安全部件作为正交试验设计表中的各列的因素,对正交试验设计表中每行的各列因素进行有限元仿真计算,求得相应的耐撞性评价指标值。

[0017] 按照上述技术方案,所述步骤2)中,设计变量为多种不同等级的高强度结构钢,耐撞性评价指标为两个,分别为B柱最大侵入量和B柱最大侵入速度。

[0018] 按照上述技术方案,所述的不同等级的高强度结构钢是指不同等级屈服强度的高强度结构钢。

[0019] 按照上述技术方案,所述的步骤3)中,灵敏度分析具体是指依据正交试验设计表数据得到的仿真结果进行极差分析,求得每个安全部件在各列因素的不同设计变量的情况下,对依据正交试验设计表数据得到的仿真结果的影响趋势,从而判断出侧碰时的关键敏感性安全部件。

[0020] 按照上述技术方案,在所述的步骤4)中,各关键敏感性安全部件的多个相关设计参数作为不同关键敏感性安全部件的设计变量,设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,并依据仿真计算结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型的具体过程为:采用均匀拉丁方试验设计方法对敏感性部件的材料等级和厚度所组成的设计空间进行最优拉丁方多次采样,采样得一系列具有均匀分布的材料等级和厚度离散点,根据所得设计变量的离散样本点通过hypermesh更新部件的属性,并导入到LS-DYNA中进行仿真求解,得到仿真结果通过多个数学建模方法分别构建出部件总质量、B柱的最大侵入量、B柱的最大侵入速度的多个近似模型,然后随机从关键敏感性安全部件的样本点中选择出几个测试点并输入至整车碰撞有限元模型进行仿真计算,并计算测试点的平均相对误差和最大相对误差来评估所构建近似模型的拟合精度,从而选择精度高的数学建模方法建立近似模型。

[0021] 按照上述技术方案,在所述的步骤4)中,各关键敏感性安全部件的多个相关设计参数是不同关键敏感性安全部件的材料等级和厚度属性。

[0022] 按照上述技术方案,多个数学建模方法包括多项式响应面近似模型(RSM)、克里格模型(Kriging)和径向基神经网络模型(RBF)。

[0023] 按照上述技术方案,通过比较多项式响应面近似模型(RSM)、克里格模型(Kriging)和径向基神经网络模型(RBF)的建模精度,经过比较后,关键敏感性安全部件的质量之和选用多项式响应面近似模型(RSM)方法建立近似模型,B柱的最大侵入量选用径向基神经网络模型(RBF)方法建立近似模型,B柱的最大侵入速度选用克里格模型(Kriging)方法建立近似模型。

[0024] 按照上述技术方案,在所述步骤5)中,基于所选择的精度较高的近似模型对关键敏感性安全部件的多个设计参数进行多目标优化具体是利用非支配排序第二代遗传算法NSGA-II对所选择精度较高的近似模型进行优化设计,所述目标响应函数优化数学模型为下式:

$$[0025] \quad \begin{cases} \min \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \{f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X}), f_3(\mathbf{X})\} = \{\text{Weight}, d_{\max}\} \\ \text{s.t.} \quad \mathbf{X}^L \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}^U \\ v_{\max} \leq 9\text{m/s} \end{cases}$$

[0026] 式中, $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 和 $f_3(x)$ 分别指是望小特性目标响应、望大特性目标响应和望目特性目标响应这三种类型; X 、 X^U 和 X^L 分别是设计变量向量及其上限、下限;Weight为组成材料匹配优化设计变量的安全部件质量之和; d_{\max} 为B柱最大侵入量; v_{\max} 为B柱最大侵入速度。

[0027] 本发明具有以下有益效果:

[0028] 1.本发明通过正交试验表进行了车身侧围关键安全部件的参数敏感度分析,其可以快速有效地提取出汽车侧面碰撞关键敏感性安全部件,缩小选材优化设计的变量数量,适用于车身安全设计,可有效缩短新产品开发周期,对汽车车身结构的研发有较好的指导作用;综合考虑多个关键敏感性安全部件的多个参数之间的交互性,对车身各部件的多个参数进行合理选择与匹配,使得车身性能达到最优的过程;弥补了目前国内仅单独考虑一个参数对耐撞性能的影响的缺点;较好地解决了离散/连续混合变量的关键优化技术,弥补了传统方法在化过程必须轮换在连续、离散域内搜索而使得搜索困难、转换次数繁多、算法和程序复杂等缺点。

[0029] 2.综合考虑材料与厚度之间的交互性,对车身各部件的材料和厚度进行合理选择与匹配,使得车身性能达到最优的过程;弥补了目前国内仅单独考虑材料或者厚度对耐撞性能的影响的缺点。

附图说明

[0030] 图1是本发明实施例中车身侧围关键安全部件材料匹配优化设计流程图;

[0031] 图2是本发明实施例中侧面碰撞侧围相关部件示意图;

[0032] 图3是本发明实施例中不同因素对B柱最大侵入量影响水平趋势图;

[0033] 图4是本发明实施例中不同因素对B柱最大侵入速度影响水平趋势图;

[0034] 图5是本发明实施例中材料匹配优化问题Pareto前沿示意图;

[0035] 图6是本发明实施例中优化前后侵入量速度对比曲线图;

[0036] 图7是本发明实施例中优化前后侵入速度对比曲线图;

[0037] 图中,A-车顶边梁,B-B柱,C-B柱加强板,D-侧面防撞梁,E-门槛梁,F-前地板横梁,G-中地板横梁,H-后地板横梁。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细说明。

[0039] 参照图1~图2所示,本发明提供的一个实施例中的车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,包括以下步骤:

[0040] 1) 初步选定汽车的多个部件作为侧碰时的安全部件并建立有限元模型;

[0041] 2) 确定不同安全部件的设计变量和耐撞性评价指标,然后依据不同安全部件的设计变量建立正交试验设计表,并对正交试验设计表中初步选定安全部件的样本点进行有限元仿真计算,求得相应的耐撞性评价指标值;

[0042] 3) 对正交试验设计表求得的仿真计算结果进行灵敏度分析,通过敏感性程度从初步选定的安全部件中判定出侧碰时的关键敏感性安全部件;

[0043] 4) 以关键敏感性安全部件的多个相关设计参数设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,依据均匀拉丁方试验数据得到仿真结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型,通过比较多个近似模型的拟合精度,从而选择精度高的数学建模方法建立近似模型;

[0044] 5) 基于所选择的精度较高的近似模型对关键敏感性安全部件的多个设计参数进行多目标优化,通过Pareto前沿采用最小距离选解法求得关键敏感性安全部件的设计参数最优解。

[0045] 进一步地,由于多目标优化问题中各个目标间是相互冲突的,优化解不可能是单一解,而是一个解集,称为Pareto最优解集,而对应的目标函数空间的像称为Pareto前沿。

[0046] 进一步地,所述的步骤1)中,初步选定的安全部件包括车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁、门槛梁、前地板横梁、中地板横梁和后地板横梁;步骤3)中的关键敏感性安全部件包括车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁和门槛梁。

[0047] 进一步地,在所述的步骤2)中,不同安全部件的设计变量作为正交试验设计表中的水平因子,初步选定的安全部件作为正交试验设计表中的各列的因素,对正交试验设计表中每行的各列因素进行有限元仿真计算,求得相应的耐撞性评价指标值。

[0048] 进一步地,所述步骤2)中,设计变量为多种不同等级的高强度结构钢,耐撞性评价指标为两个,分别为B柱最大侵入量和B柱最大侵入速度。

[0049] 进一步地,所述的不同等级的高强度结构钢是指不同等级屈服强度的高强度结构钢;设计变量水平因子为2~4种不同等级的高强度结构钢,三种不同等级屈服强度的高强度结构钢的屈服强度分别为300Mpa、506Mpa和800Mpa。

[0050] 进一步地,所述的步骤2)中,通过两个耐撞评价指标和三个设计变量水平因子,建立 $L_{27}(3^6)$ 正交试验设计表并进行样本点仿真计算。

[0051] 进一步地,所述的步骤3)中,灵敏度分析具体是指依据正交试验设计表数据得到的仿真结果进行极差分析,求得每个安全部件在各列因素的不同设计变量的情况下,对依据正交试验设计表数据得到的仿真结果的影响趋势,从而判断出侧碰时的关键敏感性安全部件。

[0052] 进一步地,在所述的步骤4)中,各关键敏感性安全部件的多个相关设计参数作为不同关键敏感性安全部件的设计变量,设计均匀拉丁方试验并进行仿真计算,并依据仿真计算结果通过多个数学建模方法建立多个近似模型的具体过程为:采用均匀拉丁方试验设计方法对敏感性部件的材料等级和厚度所组成的设计空间进行最优拉丁方多次采样,采样

得一系列具有均匀分布的材料等级和厚度离散点,根据所得设计变量的离散样本点通过 hypermesh更新部件的属性,并导入到LS-DYNA中进行仿真求解,得到仿真结果通过多个数学建模方法分别构建出部件总质量、B柱的最大侵入量、B柱的最大侵入速度的多个近似模型,然后随机从关键敏感性安全部件的样本点中选择出几个测试点并输入至整车碰撞有限元模型进行仿真计算,并计算测试点的平均相对误差和最大相对误差来评估所构建近似模型的拟合精度,从而选择精度高的数学建模方法建立近似模型。

[0053] 进一步地,hypermesh是一种CAE工程技术领域设计软件,LS-DYNA是功能齐全的几何非线性(大位移、大转动和大应变)、材料非线性(140多种材料动态模型)和接触非线性(50多种)程序。

[0054] 进一步地,在所述的步骤4)中,各关键敏感性安全部件的多个相关设计参数是不同关键敏感性安全部件的材料等级和厚度属性。

[0055] 进一步地,在所述的步骤4)中,多个数学建模方法包括多项式响应面近似模型方法(RSM)、克里格模型方法(Kriging)和径向基神经网络模型方法(RBF),其中,多项式响应面近似模型方法(RSM)是利用多项式来拟合响应与设计变量之间的函数关系建立近似模型的方法;克里格模型方法(Kriging)是一种局部插值法,在有限区域内对设计变量进行无偏最优估计的一种方法建立近似模型;径向基神经网络模型方法(RBF)也是一种插值法,它的网络结构仅限于输入层、隐层和输出层这三层,其中输入层和输出层并不是通过权重连接,而是通过径向基函数连接,从而建立近似模型的方法。

[0056] 进一步地,通过比较多项式响应面近似模型(RSM)、克里格模型(Kriging)和径向基神经网络模型(RBF)的建模精度,经过比较后,关键敏感性安全部件的质量之和选用多项式响应面近似模型(RSM)方法建立近似模型,B柱的最大侵入量选用径向基神经网络模型(RBF)方法建立近似模型,B柱的最大侵入速度选用克里格模型(Kriging)方法建立近似模型。

[0057] 进一步地,在所述步骤5)中,基于所选择的精度较高的近似模型对关键敏感性安全部件的多个设计参数进行多目标优化具体是利用非支配排序第二代遗传算法NSGA-II对所选择精度较高的近似模型进行优化设计,所述目标响应函数优化数学模型为下式:

$$[0058] \quad \begin{cases} \min \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \{f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X}), f_3(\mathbf{X})\} = \{\text{Weight}, d_{\max}\} \\ \text{s.t.} \quad \mathbf{X}^L \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}^U \\ v_{\max} \leq 9\text{m/s} \end{cases}$$

[0059] 式中, $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 和 $f_3(x)$ 分别指是望小特性目标响应、望大特性目标响应和望目特性目标响应这三种类型; X , X^U 和 X^L 分别是设计变量向量及其上限、下限;Weight为组成材料匹配优化设计变量的安全部件质量之和; d_{\max} 为B柱最大侵入量; v_{\max} 为B柱最大侵入速度。

[0060] 进一步地,所述的步骤5)中,关键敏感性安全部件的设计参数为均匀拉丁方试验设计方法中关键敏感性安全部件的设计变量,包括材料等级(所述的材料等级即为材料的强度等级)和厚度属性。

[0061] 本发明的一个实施例中,考虑到涉及车身安全的侧围相关部件较多,本文所提出的材料匹配优化方法主要包括两个设计流程,具体流程如图1所示:

[0062] (1)在汽车侧面碰撞过程中,不同部位的车身零件对安全碰撞的影响程度均有不同,需通过侧面碰撞的敏感度分析,找出对其具有较大影响的部件,进而对其参数变量进行

优化设计,能够更好改善侧面碰撞安全性能。故在此首先通过正交试验表对车身关键安全部件进行敏感性分析以便判定侧面碰撞关键安全部件,并选择连续型厚度属性和离散型材料等级两类参数作为优化设计的混合变量;

[0063] (2) 根据确定的关键安全部件和相关参数变量,比较几种常用的近似模型(多项式RSM、Kriging、RBF近似模型等),并优选出精确较高的模型与多目标优化算法相结合的思路来指导材料匹配优化设计过程。

[0064] 本文针对汽车侧面碰撞为工程背景,对侧围安全部件优化实施具体步骤如下:

[0065] (1) 初步选择的安全部件为8个(如图2),即车顶边梁,B柱,B柱加强板,侧面防撞梁,门槛梁,前地板横梁,中地板横梁,后地板横梁等。根据选定零件的材料等级要求建立合适的正交设计因素水平表(如表1),采用B柱的最大侵入量和最大侵入速度作为整车侧面碰撞性的评价指标,构建 $L_{27}(3^6)$ 正交试验对样本点进行仿真计算,相关计算结果见表2。

[0066] 表1正交试验设计因素水平表(Mpa)

[0067]

编号	因素	水平 1	水平 2	水平 3
A	车顶边梁	300	506	800
B	B 柱	300	506	800
C	B 柱加强板	300	506	800
D	侧面防撞梁	300	506	800
E	门槛梁	300	506	800
F	前地板横梁	300	506	800
G	中地板横梁	300	506	800
H	后地板横梁	300	506	800

[0068] 表2正交试验设计结果

[0069]

试验	A	B	C	D	E	F	G	H	I	最大侵入量/mm	最大侵入速度 m/s
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	301.05	11.79
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	296.27	10.65
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	300.59	11.11
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	292.54	10.64
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	277.29	10.21
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	278.25	10.16
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	291.68	10.99
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	278.54	10.16
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	278.10	9.93
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	289.79	10.81
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	289.31	10.75
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	287.85	10.78
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	274.59	10.85
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	260.95	10.63
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	261.36	11.06
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	266.47	10.37
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	252.74	9.92
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	253.36	10.46
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	292.16	11.15
[0070]											
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	287.21	10.83
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	290.08	11.02
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	268.91	10.15
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	254.24	9.43
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	255.77	9.38
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	274.44	10.65
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	260.21	10.41
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	260.18	10.86

[0071] (2) 设计变量进行灵敏度分析。对以上得到的仿真结果进行极差分析,图3和图4是根据极差分析的结果绘制而成的不同因素对仿真试验结果的影响趋势图。通过图3可以看出,各因素对最大侵入量的影响程度从大到小排列为B>A>E>C>H>F>G>D,零件B、A的材料强度加强,侵入量显著减少,而零件E、C、H的材料变更对侵入量的变化有一定的影响,而零件D、F、H对侵入量影响不大。另外,通过分析图4中的水平趋势可知,对于最大侵入速度这一指标,各因素的影响程度从大到小的排序为:B>D>E>C>F>G>A>H。零件B、D、E、C的材料变更对侵入速度的影响较大,而零件A、F、G、H的材料变更对侵入速度的影响较小。

[0072] (3) 确定侧碰关键安全部件。由以上敏感性分析结果可以看出,在所考虑的车身安全部件中,有五个零件即A、B、C、D、E对汽车侧碰安全具有显著影响。具体分析如下:在汽车与障碍物或其它车辆发生侧面碰撞时,零件AR(车顶边梁)在侧面碰撞的过程中可以将B柱

上接头传来的碰撞力分散传递到非撞击侧面；零件B(B柱)作为承受侧面碰撞力的主要部件，其侵入量、侵入速度和变形模式对于侧面碰撞安全有着直接的关系；零件C(B柱加强板)对于汽车侧面碰撞过程中乘员安全有着一定的影响；零件D(侧面防撞梁)能在侧面车门受到撞击时，减轻侧面车门的变形程度，从而减少汽车碰撞过程中乘员的损伤；零件E(门槛梁)是碰撞力传递过程中的主要途径之一，在侧面碰撞中直接同移动障碍壁接触，对汽车侧面碰撞安全有着很重要的影响。

[0073] 综上所述，最终选择零件A、B、C、D、E作为进一步优化的对象，同时从敏感度分析结果还可以发现，各因素对目标变量的影响趋势并非呈单调趋势的关系，即材料强度增加反而使得目标变量数值上升，由此可见单纯的增加汽车零部件材料强度是不可行的，需要同时考虑零件的厚度属性等参数并进行优化设计，以便在最大程度上提高车身安全性能。

[0074] (4) 匹配多目标优化数学模型的建立。根据侧碰安全部件参数敏感度分析以及工程实际情况，比如所考虑优化对象的厚度取值等问题，本文考虑的车身侧围关键安全部件的材料匹配优化问题的数学模型可以表达成如下形式：

$$[0075] \quad \begin{cases} \min \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \{f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X}), f_3(\mathbf{X})\} = \{Weight, d_{\max}\} \\ s.t. \quad \mathbf{X}^L \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}^U \\ v_{\max} \leq 9\text{m/s} \end{cases}$$

[0076] 式中， $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 和 $f_3(x)$ 分别指是望小特性目标响应、望大特性目标响应和望目特性目标响应这三种类型； X 、 X^U 和 X^L 分别是设计变量及其上限、下限； $Weight$ 为组成材料匹配优化设计变量的安全部件质量之和； d_{\max} 为B柱的最大侵入量； v_{\max} 为B柱最大侵入速度。

[0077] 根据第二节中对侧面碰撞中汽车车身关键安全部件的敏感度分析的结果，选择出5个部件作为优化设计的对象，分别为车顶边梁、B柱、B柱加强板、侧面防撞梁以及门槛梁。本文考虑使用DP780作为B柱的材料，根据侧面碰撞安全部件敏感度分析以及工程实际情况，确定优化问题的设计变量，如表3所示。其中1~4号变量为4个安全部件的材料，5~9号变量为5个安全部件的厚度。

[0078] 表3设计变量定义

编号	设计变量	取值范围
1	车顶边梁材料	DP780 DP980
2	B柱加强板材料	DP590 DP780
3	侧面防撞梁材料	1180MS B1500HS
4	门槛梁材料	DP590 DP780
[0079] 5	车顶边梁厚度	1—2 mm
6	B柱加强板厚度	1—2 mm
7	侧面防撞梁厚度	2—3 mm
8	门槛梁厚度	1—2 mm
9	B柱厚度	1—2 mm

[0080] (5) 近似模型的构建与评估。采用均匀拉丁方试验设计方法对设计空间进行100次采样。根据样本点计算结果分别构建出部件总质量、B柱的最大侵入量、最大侵入速度的近似模型 (RSM、Kriging、RBF等)。然后随机选择出10个测试点并输入至整车碰撞有限元模型进行仿真计算,并计算测试点的平均相对误差和最大相对误差来评估所构建近似模型的拟合精度。

[0081] 表4不同近似模型的拟合精度评估 (%)

	响应	样本	相对误差/%		
			RSM	Krigin	RBF
[0082]	部件质量	1	0.00	4.15	0.01
		2	0.00	2.50	0.03
		3	0.00	1.94	0.00
		4	0.00	1.97	0.00

	5	0.00	3.92	0.04	
	6	0.00	7.71	0.01	
	7	0.00	2.58	0.04	
	8	0.00	3.35	0.00	
	9	0.00	5.28	0.02	
	10	0.00	2.13	0.01	
	平均相对误差	0.00	3.55	0.03	
	最大相对误差	0.00	7.71	0.02	
	1	0.24	0.69	0.85	
	2	0.09	1.57	0.52	
	3	1.27	1.57	1.16	
	4	1.15	0.82	0.88	
	5	0.28	0.63	0.12	
[0083]	最大侵入量	6	0.35	3.31	0.70
		7	0.75	1.00	0.46
		8	0.18	0.60	0.29
		9	0.15	2.73	0.05
		10	1.47	2.87	0.13
		平均相对误差	0.59	1.58	0.52
		最大相对误差	1.27	3.31	1.16
		1	2.21	0.10	4.08
		2	3.14	2.02	0.44
		3	4.18	5.83	1.73
	4	7.07	1.95	5.73	
	5	2.92	3.65	1.08	
[0084]	最大侵入速度	6	2.69	0.32	5.76
		7	1.97	0.73	0.21
		8	0.59	2.76	0.48
		9	2.35	1.19	5.18
		10	2.66	2.30	3.49
		平均相对误差	2.98	2.09	2.82
		最大相对误差	7.07	5.83	5.73

[0084] 表4是不同近似模型的精度评估结果。通过分析发现,由于质量和厚度之间为线性关系,RSM多项式近似模型对部件质量的预测是最为准确的,能达到0%的相对误差,而RBF径向基近似模型和Kriging近似模型都存在不同程度的误差。对于最大侵入量而言,多项式近似模型、Kriging近似模型和RBF径向基近似模型的平均相对误差分别为0.59%、1.58%、0.52%,这三个近似模型的拟合精度都比较高,其中拟合精度最高的是RBF近似模型。在最大侵入速度方面,由于变形速度易受到噪声的影响以及非线性程度较高,近似模型的拟合误差均比较大,其中Kriging近似模型的平均相对误差最低(2.09%),误差水平可以接受。综上所述,关键安全部件的质量之和选用多项式响应面近似模型,最大侵入量选用

RBF径向基响应面模型,最大侵入速度选用Kriging响应面近似模型。

[0085] (6) 优化结果分析。利用非支配解排序遗传算法NSGA-II对上诉选择精度较高的近似模型进行优化设计,其参数设置为:种群规模100,进化代数100,杂交概率0.9,变异概率0.9,杂交分布系数20,变异分布系数100。图5为所得到材料匹配优化问题的Pareto前沿,可以看出,最大侵入量和部件质量的目标响应是相互矛盾的,一个目标的改善必须以牺牲另外一个目标的性能作为代价。传统的选解方法是根据工程师的个人经验和偏好来确定相应权值,然后通过加权求和将多目标问题转化为单目标问题,难以有效选择出最满意解,在此采用最小距离选解法来快速有效地挑选出满意解。

[0086] 将通过最小距离选解法得到的最优解输入至整车碰撞的有限元模型中进行仿真计算,优化前后的侵入量和侵入速度响应对比曲线如图6和图7所示,可以看出,通过由敏感性分析得到的关键安全部件进行优化设计后,侵入量有着一定程度的降低,且侵入速度在约束范围之内,可知汽车侧面耐撞性能得到了较大的改善。

[0087] 优化前后的设计变量和目标响应对比值如表5所示,可知关键安全部件的设计变量与初始设计相比发生了一定的变化,并且部件总质量从初始的24.73kg降低到优化后的23.80kg(降低幅度3.8%),可见关键安全部件的质量得到了有效降低,一定程度上实现了车身的轻量化设计;同时,最大侵入量也从原来的256.09mm降低到优化后的187.71mm(降低幅度26.7%),即在合理的优化设计之后,关键安全部件的材料/厚度特性能得到合理的优化匹配,且耐撞性能也可以得到一定程度的改善。总之,通过合理的敏感度分析和优化设计等过程操作,车身安全部件的轻量化和耐撞性能得到一定程度的平衡和改善。

[0088] 所描述的车身侧围安全部件优化设计实施例仅仅是本发明一个实施例,而不是全部的实施例。基于本发明的一种混合变量匹配优化设计方法,即首先通过灵敏度分析确定优化问题的关键设计变量,后基于关键设计变量重新设计实验,进行构建近视模型和优化设计,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护范围。

[0089] 表5初始设计与优化设计结果对比

[0090]

优化参数	设计参数	初始设计	优化设计
目标函数	部件质量之和	24.73 kg	23.80 kg
	最大侵入量	256.09 mm	187.71 mm
约束条件	最大侵入速度	10.06 m/s	7.74 m/s
设计变量	车顶边梁材料	DP500	DP780
	B柱加强板材料	DP500	DP780

[0091]

侧面防撞梁材料	DP780	1180MS
门槛梁材料	DP590	DP780
B 柱材料	DP590	DP780
车顶边梁厚度	1.6 mm	1.51 mm
B 柱加强板厚度	1.8 mm	1.00 mm
侧面防撞梁厚度	3.0 mm	2.00 mm
门槛梁厚度	1.6 mm	1.54 mm
B 柱厚度	1.6 mm	2.00 mm

[0092] 综上所述,一种车身侧围安全部件混合变量匹配优化设计方法,其主要步骤为:一是通过正交试验表对车身安全部件进行灵敏性分析以便判定侧面碰撞关键安全部件;二是根据确定的关键安全部件及其相应的参数设计均匀拉丁方试验,通过近视建模方法优选出精度较高的近似模型,并与多目标优化算法相结合的思路来指导材料匹配优化设计过程。本发明能够减少匹配问题设计变量个数,从而有效减小问题计算规模,适用于车身安全设计,可有效缩短新产品开发周期,对汽车车身结构的研发有较好的指导作用。同时,也较好地解决了离散/连续混合变量的关键优化技术,弥补了传统方法易造成设计上的不可行解或得不到最优解且优化过程必须轮换在连续、离散域内搜索而使得搜索困难、转换次数繁多、算法和程序复杂等缺点。

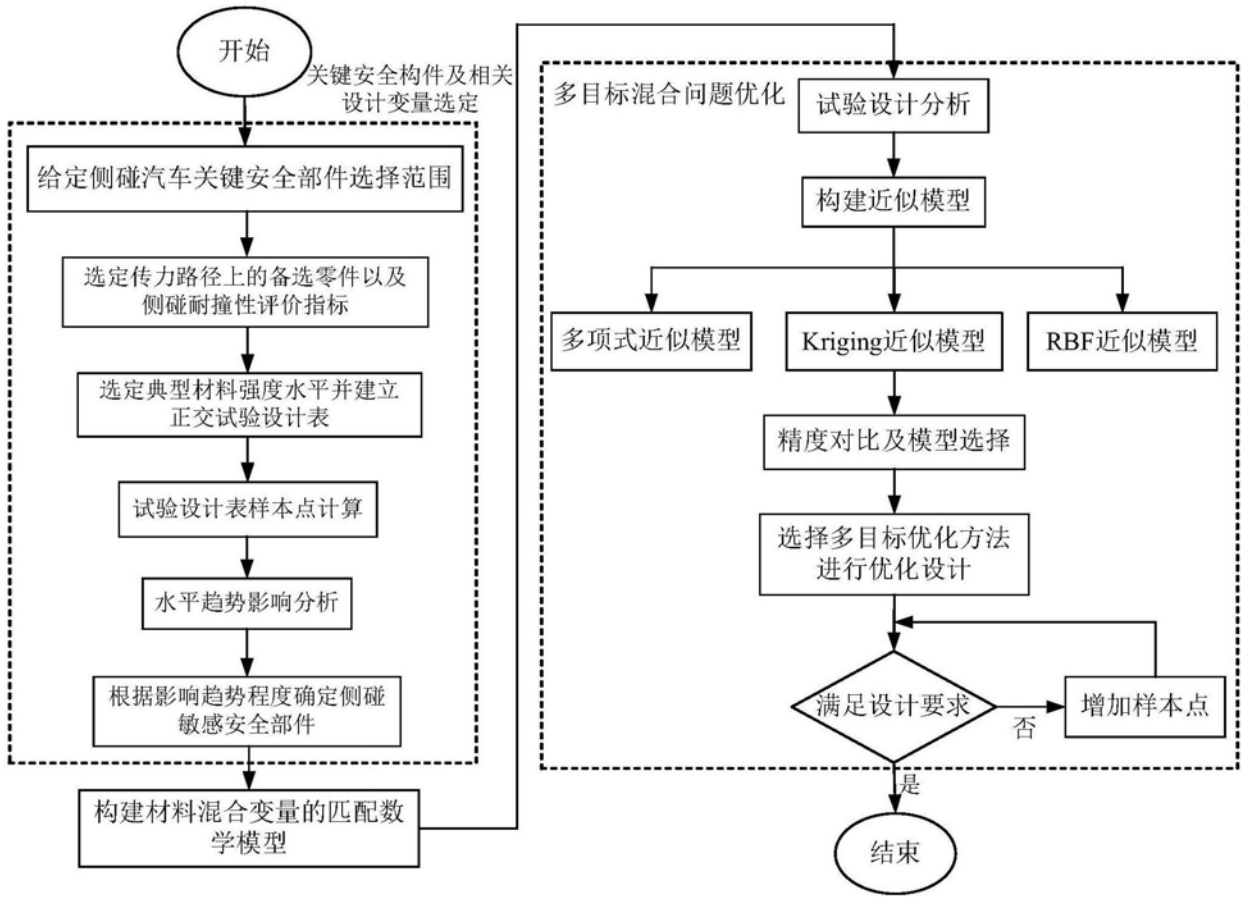


图1

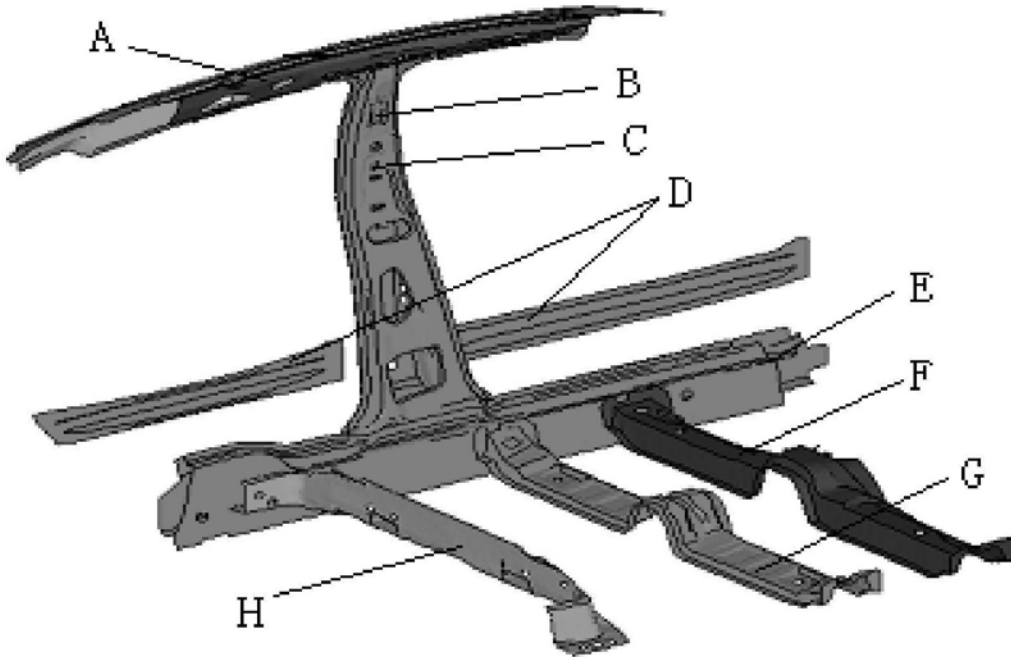


图2

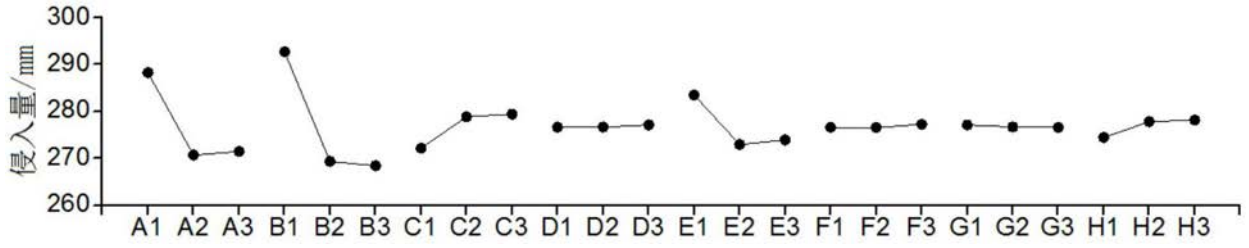


图3

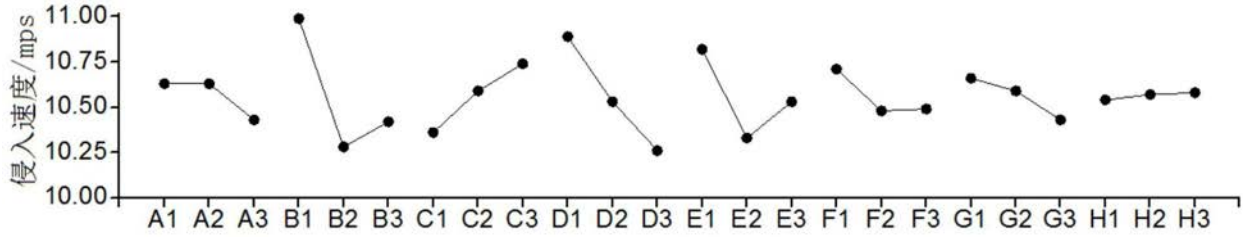


图4

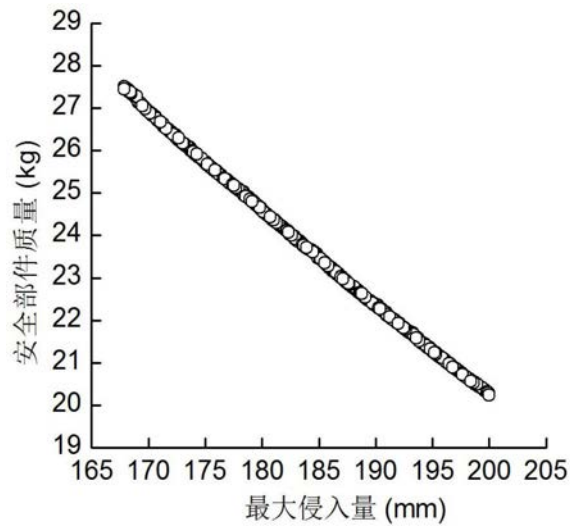


图5

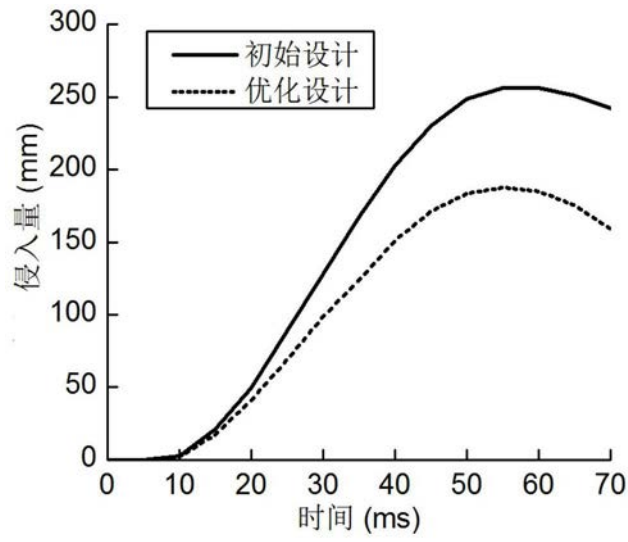


图6

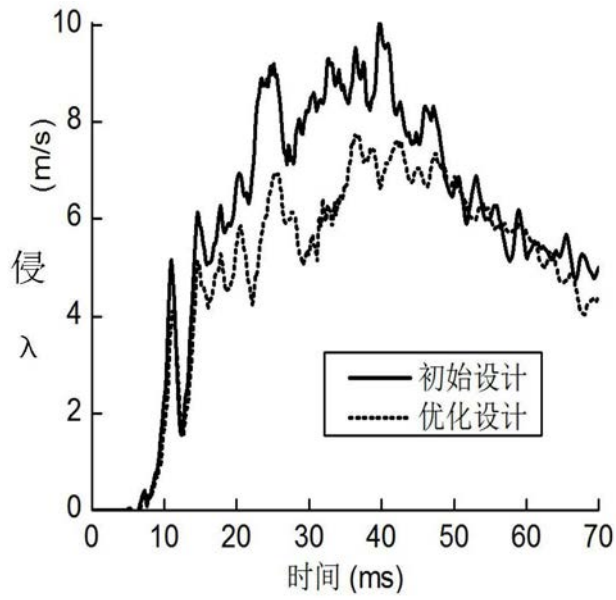


图7