

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2019.04.021

聚丙烯复合材料发动机罩盖行人 头部保护优化设计

都雪静, 王艺群, 陈占丽, 周华晨
(东北林业大学 交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:为研究车辆与行人发生碰撞时汽车发动机罩盖对行人头部的保护性能,减少人车事故中行人的受伤害程度,建立了行人头部冲击器撞击发动机罩盖的有限元模型,分析了行人头部冲击器撞击相同结构的聚丙烯复合材料、钢制发动机罩盖的行人头部保护性能,比较了不同材料发动机罩盖的吸能特性,探究了发动机罩盖影响头部 *HIC* 值的主要因素。设计3因素2水平的正交试验,利用LS-DYNA依次进行了试验的仿真计算与分析,确定了各影响因素对头部 *HIC* 值的影响顺序,并对复合材料发动机罩盖的结构参数进行了优化调整。为降低复合材料发动机罩盖的头部碰撞损伤相关加速度值,增加其吸能特性,对翼子板进行了局部结构优化设计。结果表明:经过局部优化,铰链结构能使碰撞区域远离行人头部与翼子板尖角处碰撞最为激烈的发动机罩铰链边缘区域;弱化翼子板侧边垂直尖角的结构,能够起到一定的吸能作用,对行人起到保护效果;改进后的长玻纤增强聚丙烯复合材料发动机罩盖的质量相比原来降低51.5%,更有利于满足对车身的轻量化要求,增加车辆燃油经济性;对长玻纤增强聚丙烯复合材料发动机罩盖的静态刚度进行了分析,扭转刚度得到增加,弯曲刚度和侧向弯曲刚度值变化在10%范围内,符合设计要求。

关键词: 汽车工程; 复合材料; 碰撞仿真; 发动机罩; 行人保护

中图分类号: U461.91

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2019)04-0151-08

Optimal Design of Pedestrian Head Protection for Polypropylene Composite Material Engine Hood

DU Xue-jing, WANG Yi-qun, CHEN Zhan-li, ZHOU Hua-chen
(School of Traffic, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang 150040, China)

Abstract: In order to study the protection performance of vehicle engine hood to pedestrian head when vehicle collides with pedestrian and reduce the injury degree of pedestrian in vehicle/passenger accidents, the FE model of a pedestrian head impactor collides engine hood is established to analyze the head protection performance when pedestrian head impactor collides the same structures of polypropylene composite and steel engine hoods, compare the absorption characteristics of engine hoods that made of different materials, and discuss the main influencing factors of engine hood on the head *HIC* value. The orthogonal test of 3 factors and 2 levels is designed, the simulation calculation and analysis of the test is carried out in turn by LS-DYNA, the influencing sequence of the influencing factors on the head *HIC* value is determined, and the structural parameters of the composite material engine hood are optimized. In order to reduce the relative acceleration value of head impact damage caused by composite engine hood and increase its energy absorption characteristics, the local structural optimization design of fender is carried out. The result shows that (1)

收稿日期: 2017-08-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0803901); 国家自然科学基金项目(51108068); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572017DB01)

作者简介: 都雪静(1975-), 女, 吉林通化人, 博士, 教授. (duxuejing99@163.com)

after local optimization, the hinge structure can keep the collision area away from the hinge edge area of engine hood where pedestrian head collides most intensely with fender tip; (2) weakening the vertical sharp angle of the fender side can play a certain role in energy absorption and protect pedestrians; (3) the quality of the long glass fiber reinforced polypropylene composite engine hood is 51.5% lower than that of the original hood, which is more conducive to satisfy the lightweight requirements of the vehicle body and increase the vehicle fuel economy. The static stiffness of the long glass fiber reinforced polypropylene composite engine hood is analyzed, the torsion stiffness is increased, the bending stiffness and the lateral bending values vary within 10% and meet the design requirements.

Key words: automobile engineering; composite material; collision simulation; engine hood; pedestrian protection

0 引言

随着汽车保有量的逐年增加,道路交通事故数虽同比有所下降,但全球每年有127万人死于交通事故,行人死亡数中欧洲占23%,美国占11%,日本占30%,其中超过60%的行人死于头部伤害^[1]。已有研究表明^[2],行人的死亡比例远远超过受伤比例。头部伤害是造成行人死亡的重要原因,头部伤害往往造成行人的脑震荡、颅脑出血等严重创伤,因此,开展对行人在交通事故中的头部防护研究很有必要。

学者对行人头部保护做了大量的研究。目前,常见的行人头部保护试验方法有“打点式”试验法和行人假人碰撞试验法。郭正辉等^[3]通过计算机仿真建立了一系列头部冲击器模型。冯成建等^[4]研究了头部损伤风险以及动力学响应特性。张金换等^[5]总结了有限元建模过程中对仿真结果影响显著的敏感参数。张国胜等^[6]通过建立车身的有限元模型,分析了试制样车刚度,进行了模态试验研究和有限元分析的对比,为车身结构优化找到了一种切实可行的分析方法。Kim等^[7]选择碳纤维增强复合材料和混杂玻璃纤维增强复合材料进行了汽车发动机罩盖的优化设计。Shoaefard等^[8]通过改变发动机罩盖内板的结构使行人头部获得更大的缓冲空间,降低了行人头部的损伤值。Ikeda等^[9]建立了一种新型的波形截面铝合金罩,通过有限元方法分析出该波形发动机罩盖刚度分布均匀,结果表明该发动机罩盖有利于行人防护和实现轻量化效果。Meng等开发的6YO-PS-FE模型,模拟了一系列儿童车对行人的碰撞(CPC),并且预测了行人的常见伤害^[10]。Ahmed等^[11]采用ABAQUS/EXPLICE、复合材料层合板和夹层复合板模拟碰撞,以减少行人伤害。Shojaefard等^[12]提出了一种新的有限元模型,并对其进行了仿

真分析。根据EEVCWG17规范要求,设计了5种不同的头形冲击器。现有研究大多是对发动机罩面进行结构形状优化和材料替换,但缺少聚丙烯复合材料发动机罩盖的研究。

针对上述问题,本研究利用有限元法,根据欧洲车辆安全促进委员会(EEVC)的试验法规^[13],对某车型发动机罩盖的行人头部保护安全性进行评估;设计DOE试验对影响行人头部损伤的影响因素进行分析,并对发动机罩盖局部结构进行优化改进,从而提高发动机罩盖对行人头部的保护性能。

1 行人头部与车辆碰撞的有限元模型

1.1 模型的建立与验证

头模冲击器撞击汽车前端有限元模型所需要的材料参数与几何数据来自国内某汽车研究院。因本研究内容是发动机罩盖与头型冲击器的碰撞,碰撞时车辆底盘变形很小,所以将车辆的底盘包括悬架、车轮、转向机构等去掉。考虑到模型的计算精度与计算时间,在网格处理上对螺纹、倒角进行简化处理,处理后的车体模型和头部冲击器模型如图1所示。图1的模型中使用Many Nodes功能建立刚性连接,连接中心移动到整车质心处,在该处添加质量点来模拟截去的部分,切割的车辆前端模型以车辆正常行车状态进行固定,该模型的详细参数见表1。

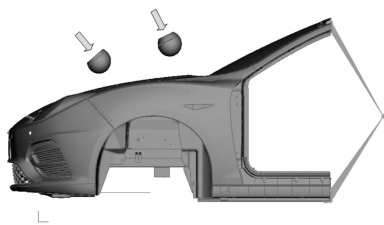


图1 车体模型和头部冲击器模型

Fig.1 Models of vehicle and head impactors

表 1 汽车前端有限元模型参数
Tab. 1 FE model parameters of automobile front

参数	节点	单元	三角形比例/%	质量/kg
数量	977 015	1 038 761	2. 17	1 895

本研究采用 ARUP 公司的商业模型^[14]。儿童和成人的头部冲击器有限元模型包括: 合成皮肤、底座、球体、传感器安装块模型等。合成皮肤的特性比较复杂, 用黏弹性材料来模拟, 球体、底座在碰撞过程中不易变形, 设置成刚性, 在球体的中心位置放置三轴加速计。儿童头部冲击器和成人头部冲击器的详细参数见表 2。

表 2 儿童和成人头部冲击器参数

Tab. 2 Parameters of head shock device for children and adults

类型	质量/kg	皮肤厚度/mm	外球直径/mm
儿童	3. 5 ± 0. 07	14 ± 0. 5	165 ± 1
成人	4. 8 ± 0. 1	14 ± 0. 5	165 ± 1

为了验证模型的精度和可靠性, 进行了头型冲击器撞击发动机罩盖的碰撞仿真试验。仿真计算得到的加速度曲线如图 2 所示。可以看出, 仿真试验结果与真实试验结果基本一致, *HIC* 值误差在 8% 以内, 证明所建的车体模型和头部冲击器模型是可靠的, 可以用于汽车行人碰撞保护的开发。

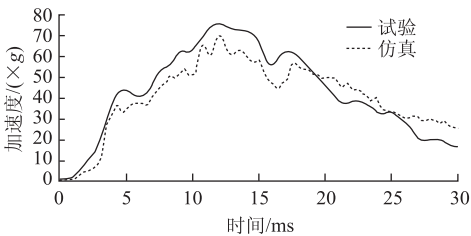


图 2 仿真试验与真实验证的头部加速度曲线

Fig. 2 Head acceleration curves of simulation test and real verification

1. 2 测试区域的划分

按照 EEVC 的法规, 测试车辆被划分为 4 个独立区域: 发动机罩盖前缘区域 (大腿、骨盆撞击区)、发动机罩盖区域 (儿童头部撞击区)、保险杠区域 (腿部撞击区)、前风挡玻璃区域 (成人头部撞击区)。车辆的前部结构外表面形成的几何轨迹称为包络线 (Warp around Distance, WAD), 儿童头部测试区域是由侧基准线、WAD1000 和 WAD1700 围成的区域, 成人头部测试区域是侧基准线、WAD1700 和 WAD2100 围成的区域。

选出 9 个危险碰撞点的位置, 如图 3 所示。这 9 个碰撞点下面对应的部件是: 通风盖板 A-1, 铰链

区域 A-2, A-3, 悬架硬点 A-4, 分封线处 C-1, C-2, 蓄电池硬点 C-3, 发动机罩支架 C-4, 锁扣 C-5。

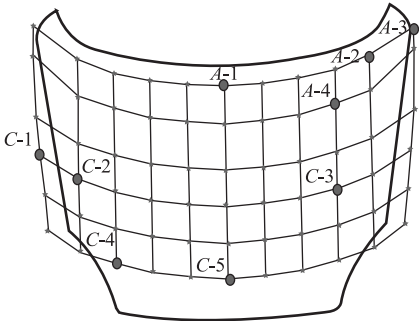


图 3 发动机罩盖危险碰撞点

Fig. 3 Dangerous collision points of engine hood

1. 3 复合材料与钢制发动机罩盖的选择

发动机罩盖材料选用长玻纤增强 PP 复合材料^[15], 该材料具有密度低、强度高、耐腐蚀、易着色、可再生等优势。复合材料及低碳钢材料的具体参数见表 3。

表 3 发动机罩材料参数

Tab. 3 Material parameters of engine hood

发动机罩盖材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	泊松比	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa
B180H1	7 850	210. 0	0. 30	230	315. 3
PP+50% LGF	1 310	12. 8	0. 49	122	134. 5
PP+30% LGF	1 120	8. 6	0. 47	108	122. 1

1. 4 发动机罩盖静态刚度分析

发动机罩盖作为整车开闭键, 在满足行人头部保护的同时需满足设计结构的刚度。发动机罩盖的弯曲刚度、扭转刚度、侧向弯曲刚度的加载方式如图 4 所示^[16]。

图 4 (a) 为发动机罩盖弯曲刚度。在铰链与车身连接的节点处建立全约束, 约束减震胶块沿前舱盖开启方向的平动自由度, 在锁扣安装处施加开启方向 200 N 的力。

图 4 (b) 为发动机罩盖扭转刚度。在铰链与车身连接的节点处建立全约束, 在锁扣安装处约束前舱盖开启方向的平动自由度, 在减震胶块处施加开启方向大小相等、方向相反的力, 使这两个力的力矩为 240 N · m, 力臂为两个加载点的距离。

图 4 (c) 为发动机罩盖侧向弯曲刚度。在铰链与车身连接的节点处建立全约束, 约束前舱盖锁钩开启方向的平动自由度, 在加锁扣安装处施加侧向 200 N 的力。

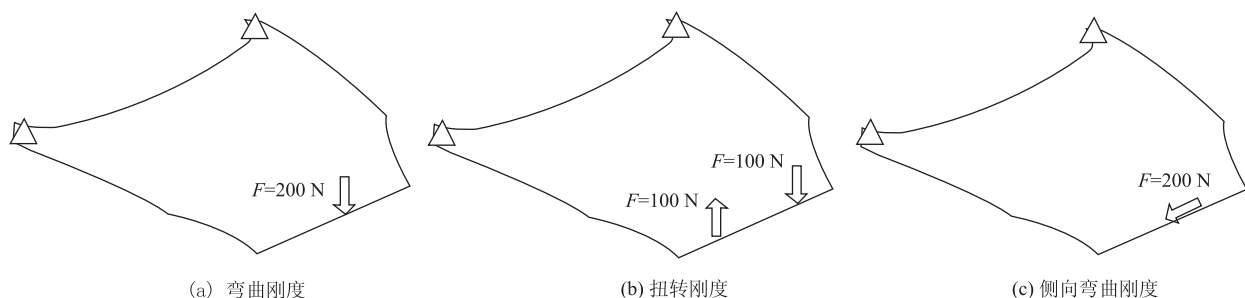


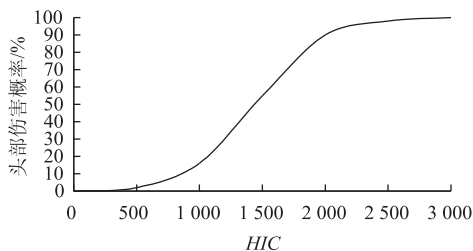
图4 发动机罩盖静态刚度

Fig. 4 Static stiffness of engine hood

2 行人头部损伤影响因素分析

2.1 发动机罩盖与行人头部碰撞损伤分析

目前针对行人头部保护, EEVC WG17 提出用头部伤害标准 (Head Injury Criterion, HIC) 值来评价头部的损伤程度。1971 年 Versace 提出了以 HIC 值作为头部损伤评价标准, 为目前使用最广泛的头部损伤评价指标, $HIC = 1\ 000$ 为头部合成加速度耐受度阈值。图 5 给出了 HIC 值与造成行人头部伤害概率。可以看出, 当 HIC 值低于 1 000 时, 头部伤害概率上升趋势较小; 当 HIC 值高于 1 000 时, 头部伤害概率急速上升; 当 HIC 值超过 2 500 时, 头部伤害概率接近 100%。

图5 HIC 值与行人头部伤害概率间关系Fig. 5 Relationship between HIC value and pedestrian head injury probability

HIC 值的计算公式:

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\}_{\max}, \quad (1)$$

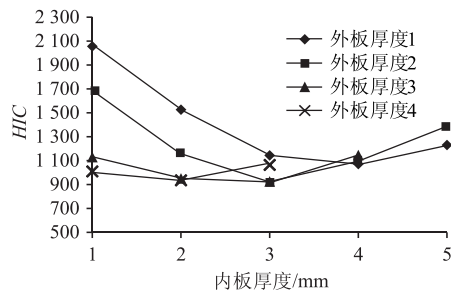
式中, t_1 为起始时间; t_2 为结束时间; $t_2 - t_1$ 为 HIC 达到最大值时的时间间隔, 试验过程中为保证精度, 要求最大持续时间不超过 15 ms; $a(t)$ 为碰撞过程中头部质心的合成加速度, 用重力加速度的倍数表示。

从式 (1) 可知, 影响 HIC 值大小的因素有最大加速度值和持续时间。对复合材料发动机罩盖及钢制发动机罩盖对行人保护性进行仿真评估时, 严格按照 EC 法规规定的试验条件进行。测试时, 儿童头

部冲击器沿与水平线呈 $(50 \pm 2)^\circ$ 的方向, 以 35 km/h 的速度撞击发动机罩盖外表面; 成人头部冲击器沿与水平线呈 65° 的方向, 以 35 km/h 的速度撞击发动机罩盖外表面。

2.2 材料厚度对 HIC 值的影响

在研究发动机罩盖的内外板厚度对 HIC 值的影响的试验过程中, 改变内外板材料的厚度得到 HIC 值的变化曲线, 见图 6。可以看出, 在内板厚度一定时, 随着外板厚度的增大, HIC 值出现先减小后增大的趋势, 即内外板的厚度存在一个合理的组合使得 HIC 值最小。在内板厚度为 3 mm、外板厚度分别为 2 mm 和 3 mm 时, HIC 值最小。因此选择 2 mm 和 3 mm、3 mm 和 3 mm 作为两个水平。

图6 内板厚度对 HIC 值的影响Fig. 6 Influence of inner plate thickness on HIC value

2.3 不同材料对比对 HIC 值的影响

表 4 是不同玻纤含量的力学性能。可以看出, 不同含量玻纤材料的屈服极限和剪切模量差别很大。

表4 不同配比的玻纤材料力学性能

Tab. 4 Mechanical properties of glass fabric materials with different proportions

玻纤含量/%	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	屈服点/MPa	剪切模量/GPa
20	1 040	105	4 300
30	1 120	108	5 500
35	1 180	110	6 500
40	1 220	120	7 200
50	1 320	122	9 500

为了探究内板材料长玻纤增强纤维 (LGF) 含量对 HIC 值的影响, 在试验中其他变量保持不变, 改变 LGF 的填充比例来观察 HIC 值的变化, 结果见表 5。

表 5 玻纤含量对 HIC 值的影响
Tab. 5 Influence of glass fiber content on HIC value

玻纤含量/%	20	30	35	40	50
成人 HIC	963.7	757.8	766.5	779.9	788.4
儿童 HIC	1 212.5	993.2	1 024.3	1 041.8	1 050.5

当其他参数不变时, 随着发动机罩盖玻纤含量的增加, 成人及儿童头部 HIC 值呈现上升的趋势, 材料刚度越大, 造成的头部损伤也越大。当材料的玻纤含量为 20% 时, 头部 HIC 突然增大; 当材料刚度太小时, 头部容易撞击接触到发动机罩下面的硬点, 从而造成较大的损伤。玻纤含量在 30% ~ 50% 时, HIC 值变化不大, 因此, 选择 30% 和 50% 的两种玻纤含量作为两个水平。

2.4 发动机罩盖下总布置空间对 HIC 值的影响

变形空间的设计作为行人保护的首要任务, 与前舱总布置直接相关^[17]。考虑到总布置问题是发动机罩与前舱硬点之间安全距离的关系, 发动机罩与发动机舱部件之间需要有变形空间, 但是空间增大将导致发动机罩的线条进一步提高, 从而影响驾驶员的视野、车辆的动力特性及 CO 的排放量。因此, 合理的变形空间显得尤为重要。由 EC 法规要求, 儿童头部和成人头部分别要求 83, 100 mm 的总布置空间, 此空间并非硬性要求, 应结合离地尺寸、热平衡及运动干涉等因素综合考虑。图 7 为发动机罩盖与前舱部件之间的距离示意图。

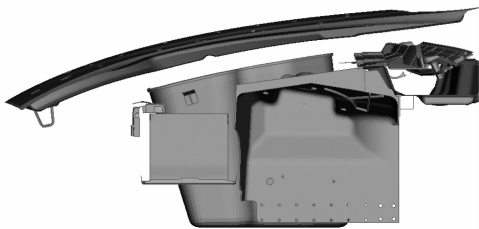


图 7 发动机罩盖与前舱部件之间的距离
Fig. 7 Distance between engine hood and front cabin component

改变发动机罩与前舱部件之间的距离来观察头部 HIC 值的变化, 结果见表 6。当间距 d 处在 40 ~ 50 mm 时, HIC 值比较大; 当间距 d 达到 60 mm 或 70 mm 时, 成人与儿童的 HIC 值明显降低; 当间距 d

为 80 mm 时, HIC 值没有明显的变化, 说明发动机罩与前舱部件之间的距离过大, 因此, 选取间距 60 mm 和 70 mm 两个距离作为两个水平。

表 6 发动机罩盖与前舱部件之间的距离与 HIC 值间关系
Tab. 6 Relationship of distance between engine hood and front cabin component with HIC value

间距/mm	40	50	60	70	80
成人 HIC	2 023	1 813	1 635	1 632	1 638
儿童 HIC	1 876	1 438	1 056	1 055	1 053

由以上分析知, 针对材料而言, 影响 HIC 值的主要因素有材料厚度、材料配比和发动机罩盖下总布置空间距离 3 个因素。因此, 采用 3 因素 2 水平的正交试验进行分析, 因素水平表见表 7。

表 7 因素水平表
Tab. 7 Factor level table

因素	水平	
	水平 1	水平 2
A 材料厚度/mm	3, 2	3, 3
B 玻纤含量/%	30	50
C 距离/mm	60	70

2.5 仿真试验 DOE 优化

正交试验设计法是使用正交表来科学安排试验并进行数据分析的一种方法^[18], 其优点是能在众多试验条件下选出代表性强的少数试验方案, 并依据这些方案选出最优解。如综合考虑每个因素不同水平下的影响情况, 需进行 8 组试验, 每个试验包含 9 个试验点, 因此需要进行 72 次仿真分析。如果采取 3 因素 2 水平的正交试验, 只需要进行 4 组试验, 共计 36 次仿真分析。正交试验相比统计分析法效率高, 可以快速地进行分析, 去除每组的重复数, 大大减少了工作量。依循正交试验表 8, 按照 3 因素 2 水平的正交试验设计法, 选用 $L_4(2^3)$ 正交表。

表 8 正交试验表
Tab. 8 Orthogonal test table

样本试验	影响因素		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

试验有 9 个碰撞危险点, 有 4 个点位于成人碰撞区域, 5 个点位于儿童碰撞区域。危险点处 HIC 值见表 9。

表 9 成人及儿童头部冲击器危险点处 *HIC* 值
Tab. 9 *HIC* values of dangerous points of impactor collides adults and children heads

组号	A-1	A-2	A-3	A-4	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
1	863	1 793	852	862	425	895	986	965	1 027
2	762	2 013	769	917	360	754	1052	865	1 125
3	937	1 634	841	794	492	685	896	897	892
4	788	1 854	754	741	391	640	754	902	976

采用极差分析方法对正交试验结果进行分析。每个因素两个水平的平均值的极差 R_i 为:

$$R_i = \max\{K_{ij}\} - \min\{K_{ij}\}, \tag{2}$$

式中 K_{ij} 为第 j 列的因素取水平 i 。

一般来说,极差越大,说明这个因素水平对 *HIC* 值的影响越大。首先,分别计算出 A, B, C 3 个因素在两个水平下的指标之和;然后再分别计算出各自的算数平均值,记为 $\bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{K}_3$,最后得出各自

表 11 危险点处优化方案
Tab. 11 Optimization scheme of dangerous points

危险点	A-1	A-2	A-3	A-4	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
最优方案	$A_1B_2C_1$	$A_2B_1C_1$	$A_2B_2C_1$	$A_2B_1C_1$	$A_1B_2C_1$	$A_2B_2C_2$	$A_2B_2C_1$	$A_2B_2C_2$	$A_2B_1C_1$
最大影响因素	A	B	B	A	B	A	A	C	A

由表 11 中的数据可以得出以下结论:

(1) 针对成人头部冲击模型:因素 A 的最佳水平为水平 2;因素 B 出现的次数相同,但是水平 2 出现较大值,因此最佳水平为水平 1;因素 C 的最佳水平为水平 1。

(2) 针对儿童头部冲击模型:因素 A 的最佳水平为水平 2;因素 B 的最佳水平为水平 2;因素 C 的最佳水平为水平 1。

综合考虑,对于成人以及儿童碰撞点因素 A 的最佳水平为水平 2;因素 C 的最佳水平为水平 1;但是因素 B 的水平两者不一样,也就是对于成人及儿童碰撞区域,材料的配比需要进一步分析。

3 保护性能评估与结构局部优化

3.1 发动机罩盖的行人保护性能评估

依据复合材料发动机罩材料配比不同对行人保护的影响,对选择的 9 个碰撞危险点进行仿真分析,结果见表 12。从表 12 中知,原模型中有 4 个点的 *HIC* 值超过了 1 000;而采用复合材料之后,除了 $A-3$ 点,其他的碰撞点的 *HIC* 值均有不同程度的降低。

碰撞点 $C-2$ 处的加速度值和 *HIC* 值如图 8 所示。钢制发动机罩盖的 $HIC = 1\,072, t_1 \sim t_2 = 2 \sim 13.0\text{ ms}$;

的极差,计算结果见表 10。平均值越小,表示头部损伤值越小,则各点处得到的最优方案,见表 11。

表 10 极差分析结果
Tab. 10 Range analysis result

危险点	影响因素								
	A			B			C		
	$\bar{K}_{A1}$	$\bar{K}_{A2}$	R_A	$\bar{K}_{B1}$	$\bar{K}_{B2}$	R_B	$\bar{K}_{C1}$	$\bar{K}_{C2}$	R_C
$A-1$	813	863	50	900	775	125	826	850	24
$A-2$	1 903	1 744	159	1 714	1 934	220	1 823	1 824	1
$A-3$	810	798	12	847	762	85	803	805	2
$A-4$	890	768	122	828	829	1	802	856	54
$C-1$	393	442	49	459	376	83	408	426	18
$C-2$	825	663	162	790	697	93	768	720	48
$C-3$	1 019	825	194	941	903	38	870	974	104
$C-4$	915	900	15	931	884	47	934	881	53
$C-5$	1 076	934	142	960	1 050	90	1 002	1 009	7

表 12 发动机罩盖碰撞点处 *HIC* 仿真结果值
Tab. 12 Simulation result of *HIC* values of engine hood collision points

碰撞点	B180H1	PP + 50% LGF	PP + 30% LGF
$A-1$	832	788	757
$A-2$	2265	1 813	1703
$A-3$	794	903	803
$A-4$	1300	895	865
$C-1$	706	645	604
$C-2$	1 072	675	598
$C-3$	856	1 060	968
$C-4$	826	765	745
$C-5$	1 263	1 050	993

而 PP + 50% LGF 发动机罩的 $HIC = 675, t_1 \sim t_2 = 2 \sim 15.5\text{ ms}$; PP + 30% LGF 发动机罩的 $HIC = 598, t_1 \sim t_2 = 2 \sim 12\text{ ms}$ 。从加速度-时间曲线(图 8)可看出,碰撞点 $C-2$ 是采用复合材料之后改进效果最好的点。钢制发动机罩盖因为材料的强度高,头部冲击器与发动机罩盖发生第一次碰撞时的加速度峰值高于复合材料发动机罩盖,PP + 30% LGF 发动机罩盖峰值大小与 PP + 50% LGF 发动机罩盖较接近,但是 PP + 50% LGF 发动机罩盖第二次碰撞峰值时间较晚,PP + 50% LGF 发动机罩盖的 *HIC* 比 PP + 30% LGF 发动机罩盖大得多。

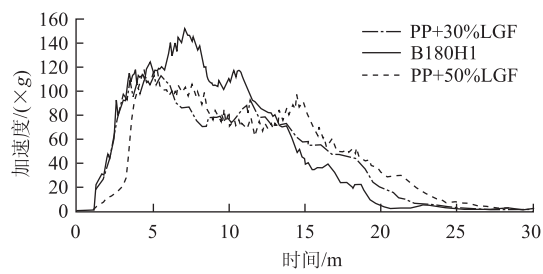


图 8 复合材料与低碳钢发动机罩加速度曲线对比图

Fig. 8 Acceleration curves of composite materials and low carbon steel engine hood

3.2 发动机罩盖边缘吸能结构

对于发动机罩铰链边缘 C-2 点区域, 垂直的翼子板结构刚度较大, 头型冲击器与翼子板尖角处的碰撞最为激烈, 优化铰链结构使其远离碰撞区域, 并弱化翼子板侧边垂直尖角的结构, 在遭受头型冲击器的撞击后能迅速压溃, 起到吸能的作用。

翼子板结构加入吸能装置和不加吸能装置的头型冲击器碰撞仿真结果见图 9。加入吸能装置后, 加速度峰值降低, *HIC* 值降低。

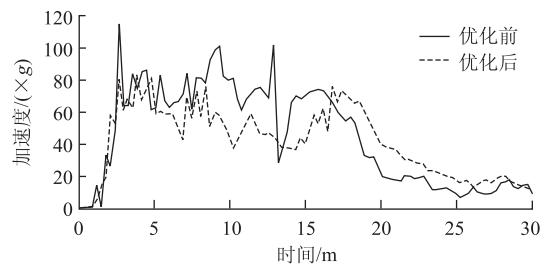


图 9 优化前后加速度比较

Fig. 9 Comparison of accelerations before and after optimization

3.3 静态刚度响应分析

静态刚度分析主要考察了弯曲刚度、扭转刚度、侧向弯曲刚度, 分析结果见表 13。复合材料发动机罩盖的刚度与钢制发动机罩盖的刚度相当, 最大变形量为 10.855 mm。一阶固有模态大于 20 Hz, 符合要求。长玻纤增强聚丙烯复合材料的轻量化效果很显著, PP + 30% LGF 材料发动机罩盖的质量为 11.933 kg, 是钢制发动机罩盖的质量 48.5%, 减重效果最明显。

表 13 静态刚度分析结果

Tab. 13 Result of static stiffness analysis

模型	弯曲刚度		侧向刚度		扭转刚度		模态/Hz
	刚度/(N · mm ⁻¹)	变形量/mm	刚度/(N · mm ⁻¹)	变形量/mm	刚度/[N · m · (°) ⁻¹]	变形量/mm	
原模型	307.2	0.651	59.2	3.378	143.4	8.166	46.1
PP-LGF30	238.1	0.843	53.76	3.724	105.3	10.855	50.3
PP-LGF50	263.4	0.734	54.8	3.658	112.7	9.35	48.2

4 结论

本研究按照 EC 行人保护法规, 利用 CAE 软件建立碰撞有限元模型, 提出了一种长玻纤增强聚丙烯复合材料发动机罩盖, 建立了碰撞模型进行行人头部碰撞损伤安全分析。通过 DOE 试验, 得到了最佳的行人保护效果组合方案。对铰链区域翼子板进行改进结构, 起到压溃吸能的作用。结果表明, 局部优化方案具有良好的缓冲吸能作用, 可以降低行人损伤值。

对比原发动机罩盖的静态刚度, 优化设计的复合材料发动机罩盖的扭转刚度得到增加, 弯曲刚度和侧向弯曲刚度变化在 10% 范围内。对比复合材料和钢制发动机罩盖的质量, 结果表明, 长玻纤增强聚丙烯复合材料轻量化的效果较为显著, 其中, PP + 30% LGF 材料发动机罩的质量仅为 11.933 kg, 为钢制发动机罩盖质量的 48.5%, 减重效果最明显。

参考文献:
References:

[1] TOROYAN T. Global Status Report on Road Safety [J]. Injury Prevention, 2009, 15 (4): 286.

[2] 刘地, 李幼德, 赵航, 等. 行人头部伤害与头部碰撞试验方法的相关性分析 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (1): 98-105.

LIU Di, LI You-de, ZHAO Hang, et al. Relativity Analysis of Pedestrian Head Injuries and the Headform to Bonnet Top Test Method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (1): 98-105.

[3] 郭正辉, 朱西产. 基于行人保护儿童头型有限元模型的开发 [J]. 上海汽车, 2013, 20 (2): 17-21.

GUO Zheng-hui, ZHU Xi-chan. Development of Finite Element Model for Children Headform Based on Pedestrian Protection [J]. Shanghai Auto, 2013, 20 (2): 17-21.

[4] 冯成建, 王富平, 徐臣, 等. 基于车人碰撞事故重建的行人头部动力学响应 [J]. 医用生物力学, 2013, 28

- (2): 164 – 170.
- FENG Cheng-jian, WANG Fu-ping, XU Chen, et al. Head Dynamic Response Based on Reconstruction of Vehicle-pedestrian Accidents with the Video [J]. Journal of Medical Biomechanics, 2013, 28 (2): 164 – 170.
- [5] 张金换, 刘卫国, 李景涛, 等. 行人头型冲击器试验有限元建模及敏感参数分析 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2014, 54 (3): 294 – 298, 313.
- ZHANG Jin-huan, LIU Wei-guo, LI Jing-tao, et al. Pedestrian Headform Impact Test FE Modeling and Analysis of Parameter Sensitivity [J]. Journal of Tsinghua University: Natural Science Edition, 2014, 54 (3): 294 – 298, 313.
- [6] 张国胜, 周超, 崔海涛, 等. 轿车车身结构轻量化 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (1): 154 – 158.
- ZHANG Guo-sheng, ZHOU Chao, CUI Hai-tao, et al. Lightweight of Car-body Structure [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (1): 154 – 158.
- [7] KIM D H, JUNG K H, KIM D J, et al. Improving Pedestrian Safety via the Optimization of Composite Hood Structures for Automobiles Based on the Equivalent Static Load Method [J]. Composite Structures, 2017, 176: 780 – 789.
- [8] SHOJAEEFARD M H, NAJIBI A, RAHMATI AHMADABADI M. Pedestrian Safety Investigation of the New Inner Structure of the Hood to Mitigate the Impact Injury of the Head [J]. Thin-Walled Structures, 2014, 77: 77 – 85.
- [9] IKEDA K, ISHITOBI H. Development of Aluminum Hood Structure for Pedestrian Protection [R]. [S. l.]: SAE, 2003: 537 – 542.
- [10] YIN S, LI J, XU J. Exploring the Mechanisms of Vehicle Front-end Shape on Pedestrian Head Injuries Caused by Ground Impact [J]. Accident Analysis & Prevention, 2017, 106: 285 – 296.
- [11] AHMED A, WEI L. Introducing CFRP as an Alternative Material for Engine Hood to Achieve Better Pedestrian Safety Using Finite Element Modeling [J]. Thin-Walled Structures, 2016, 99: 97 – 108.
- [12] SHOJAEEFARD M H, NAJIBI A, RAHMATI AHMADABADI M. Pedestrian Safety Investigation of the New Inner Structure of the Hood to Mitigate the Impact Injury of the Head [J]. Thin-Walled Structures, 2014, 77: 77 – 85.
- [13] 毕腾飞, 谷阳阳. 行人保护头型冲击器有限元模型研发 [J]. 汽车工程师, 2012 (7): 32 – 35.
- BI Teng-fie, GU Yang-yang. Research on Headform Impactor FEM in Pedestrian Protection [J]. Auto Engineer, 2012 (7): 32 – 35.
- [14] 叶辉, 胡平, 胡兴军. 行人保护头型冲击器有限元建模方法研究 [J]. 汽车技术, 2011 (6): 1 – 6.
- YE Hui, HU Ping, HU Xing-jun. Research on the FE Modeling Method of Headform Impactor in Pedestrian Protection Simulation [J]. Automobile Technology, 2011 (6): 1 – 6.
- [15] 蒋艳云, 蓝先, 李坚, 等. 长玻纤增强 PP 材料在发动机装饰罩盖上的应用研究 [J]. 汽车零部件, 2017 (1): 30 – 33.
- JIANG Yan-yun, LAN Xian, LI Jian, et al. Application Research of Long Glass Fiber Reinforced Polypropylene Material in Engine Cover [J]. Automotive Parts, 2017 (1): 30 – 33.
- [16] 赵桂范, 崔东, 邓作梁. 夹层材料式发动机罩行人保护功效 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43 (1): 125 – 129.
- ZHAO Gui-fan, CUI Dong, DENG Zuo-liang. The Pedestrian Protection Efficacy of Sandwich Material Engine Hood [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2011, 43 (1): 125 – 129.
- [17] EEVC WG17. Improved Test Methodsto Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger [EB/OL]. (2014 – 10 – 10) [2 – 17 – 06 – 06]. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2006/wp29grsp/ps-187r1e.pdf>.
- [18] 于泉, 王萌, 邓小惠. 基于正交试验法的单个信号交叉口仿真参数标定 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (增 1): 57 – 63.
- YU Quan, WANG Meng, DENG Xiao-hui. Simulation Parameter Calibration of Single Signalized Intersection Based on Orthogonal Experiment Method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (S1): 57 – 63.