

基于行人保护的波纹式 铝制发动机罩盖的结构设计

韩淑洁

(青岛远洋船员职业学院 机电系, 山东 青岛 266071)

摘要: 针对钢制发动机罩盖不能满足行人碰撞保护法规要求的问题,对钢制发动机罩盖进行了材料替换和结构设计。在 ANSYS 中建立了头块和发动机罩盖的有限元模型,通过有限元仿真分析结果与试验结果的对比,证明了有限元建模的可靠性。对新设计的波纹式铝制发动机罩盖和原来的梁式钢制发动机罩盖进行了有限元仿真分析与对比。研究表明,新设计的波纹式铝制发动机罩盖可以有效地减小人-车碰撞过程中行人头部伤害值,满足行人碰撞头部保护标准。

关键词: 行人保护;波纹式发动机罩盖;铝制发动机罩盖;有限元;头块

中图分类号:U463;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)03-0294-03

Structure design of wave type aluminum engine hood based on pedestrian protection

HAN Shu-jie

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Qingdao Ocean Shipping Mariners College,
Qingdao 266071, China)

Abstract: Aiming at the steel engine hood couldn't meet the requirements of pedestrian impact protection regulation, the steel materials were insteaded by aluminum and the structures were redesigned to the engine hood. The finite element model of head block and engine hood were built in ANSYS. Through the comparison between finite element simulation and test results, the reliability of the finite element model was proved. The finite element simulation analysis was done to the newly designed wave type aluminum engine hood and the original beam type steel engine hood. The comparison results show that the newly designed structure can effectively reduce pedestrian head injury criterion, meet the pedestrian impact head protection standard.

Key words: pedestrian protection; wave type hood; aluminum engine hood; finite element; head block

0 引 言

随着 NCAP(New Car Assessment Program)把行人保护纳入考核范围,我国也在全球统一标准(GTR)的基础上制定了符合我国国情的行人安全标准 GB/T 24550-2009《汽车对行人的碰撞保护》^[1]。在人-车碰撞中,汽车的受力点主要是保险丝杠和发动机罩盖,如果在汽车设计研发时能在这些部位采用缓冲吸能的材料,将在人车碰撞时对行人头部起到有效的保护作用。基于铝材优良的性能和汽车轻量化的设计趋势,国内

外很多研发机构都在开发研制铝制发动机罩盖,但大都沿用原来的梁式罩盖结构,主要从优化车辆前部形状和改善工艺上来减少人车碰撞时对行人头部的伤害^[2-7]。

本研究在 ANSYS 中建立发动机罩盖和头块的有限元模型,对梁式钢制发动机罩盖进行有限元仿真分析,发现其不满足行人头部碰撞法规的要求,用铝材料对钢制发动机罩盖进行材料替换,有限元仿真分析证明在发动机罩盖结构和刚度不变的情况下,单纯将钢材换为铝材料,对人-车头部碰撞保护起不到改善作用。本研究对发动机罩盖重新进行结构设计,开

发波纹式铝制发动机罩盖。

1 行人碰撞头部保护标准简介

目前使用最广泛的行人头部伤害标准是 HIC (Head Injury Criterion)。美国联邦机动车安全标准 FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) 提出了 HIC 的计算公式为^[8]:

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

$$t_2 - t_1 \leq 15 \text{ ms} \quad (1)$$

式中: a —头部重心的合成加速度, t_1 和 t_2 —在冲击过程中时间积分的两个时刻, 这两个时刻的取值应使 HIC 值取得最大值。

世界各国的机动车安全标准几乎都取 $HIC=1\ 000$ 作为安全界限值。

2 梁式发动机罩盖的有限元建模及行人碰撞保护仿真分析

按照 GTR 法规, 头块重 3.5 kg, 头皮材料为各向同性粘弹性材料, 其特性如表 1 所示。头骨为刚性材料, 所建立的头块有限元模型如图 1 所示。

表 1 各种材料力学性能参数表

力学特性	钢材 DC56D+Z50	铝材 6016 T4	头皮
比例极限/MPa	120~180	95	—
强度极限/MPa	260~350	190	—
弹性模量/MPa	205 000	70 000	35
密度/(kg·m ⁻³)	7 900	2 700	1 210



图 1 头块的有限元模型

现有的发动机罩盖大都采用钢材 DC56D+Z50, 其材料性能如表 1 所示。本研究取内板厚度 1.0 mm, 外板厚度 1.0 mm, 在 ANSYS 中建立发动机罩盖的有限元模型, 内板和外板之间通过压边的方式连接, 选用空间八节点壳单元 shell93 进行网格划分, 采用耦合模拟焊接点, 将焊接点处两节点的所有自由度耦合, 使它们在变形过程中取得相同的值。本研究建立发动机罩盖的有限元模型如图 2 所示。

约束条件: 约束罩盖内板后部与双铰链相连的左

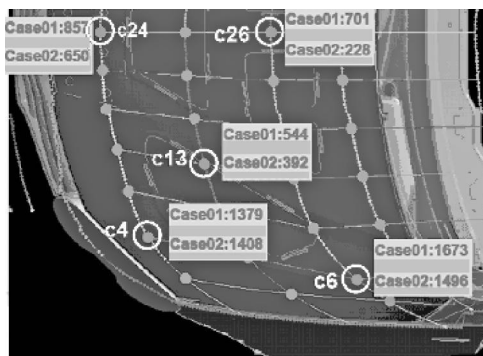


图 2 发动机罩盖外板的有限元模型

右 4 个螺栓孔的全部自由度, 罩盖内板前部销轴固定孔除了绕 x 轴转动自由度外其他自由度全部约束。

载荷条件: 根据 GTR 法规加载, 儿童头块质量为 3.5 kg, 以 40 km/h 的速度与汽车碰撞, 冲击方向相对于水平面的试验冲击角度为 50°。

利用参数化的有限元模型, 本研究分别对钢材发动机罩盖和铝材发动机罩盖与头块进行碰撞有限元仿真, 在发动机盖上选择 5 个典型的点 C4、C6、C13、C24、C26, 如图 2 所示, 有限元仿真得到的各点的头部伤害指数 HIC 值如表 2 所示。

表 2 HIC 仿真值与试验值的对比

碰撞点	铝材仿真值	钢材仿真值	钢材试验值	钢材仿真误差/(%)
C4	1 408	1 379	1 287	7.1
C6	1 496	1 673	1 572	6.4
C13	392	544	501	8.6
C24	650	857	796	7.7
C26	228	701	654	7.2

从表 2 的中钢材仿真值与试验值的 HIC 值对比可以看出: 钢制发动机罩盖的仿真值与试验值吻合良好, 证明了发动机罩盖和头块建模的可靠性。同时, 从表 2 中铝材仿真的 HIC 值和钢材仿真的 HIC 值对比可以看出: 在罩盖内、外板厚度不变的情况下, 铝制罩盖比钢制罩盖的 HIC 值除了 C4 点外都有所降低。但是根据铝材和钢材的特性可知, 在厚度相同的情况下, 铝制发动机罩盖的刚度大大降低了, 所以要保证发动机罩盖的刚度不变, 需要增加铝材的厚度, 这必然提高其碰撞时的 HIC 值。

3 铝制发动机罩盖的结构设计

由铝板代替钢板, 必须保证发动机罩盖外板的刚度不变。有:

$$E_{sl} \cdot t_{sl}^3 = E_{al} \cdot t_{al}^3 \quad (2)$$

式中: E_{sl} 、 E_{al} —钢材和铝材的弹性模量, 其值如表 1 所示。

因而与厚度为 1.0 mm 的钢板刚度相等的铝板的厚度应为:

$$t_d = 1.43 \text{ mm} \quad (3)$$

本研究利用已经证明了的可靠的有限元模型,对铝制梁式发动机罩盖进行有限元仿真分析,根据发动机罩盖结构的对称性,在罩盖上选取不同的几个点,并进行有限元仿真分析,得到各点 HIC 值如图 3 所示。

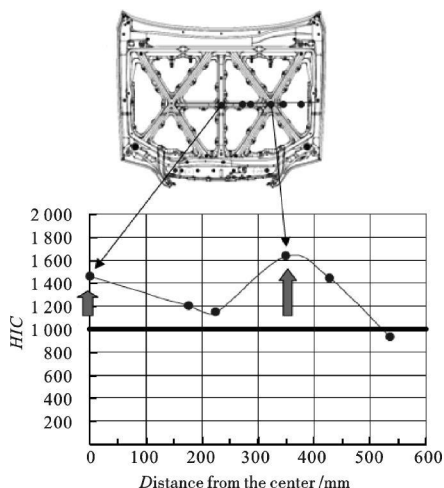


图 3 梁式铝制发动机罩盖上不同点的 HIC 值

从图 3 可以看出,大部分点的 HIC 值都超过了 1000,说明在不改变发动机罩盖的结构和刚度的情况下,单纯采用铝材料代替钢材料,不能满足行人碰撞保护标准。必须重新设计发动机罩盖的结构,使其 HIC 值降低。

首先,根据力学知识可知:碰撞时的有效惯性质量越大,碰撞的加速度峰值越大,而有效惯性质量取决于单位面积的质量,所以新设计的结构必须要减少单位面积的质量。

其次,增加人-车碰撞时的有效面积,也可以降低对人体头部的伤害。

基于以上两方面的因素,本研究考虑采用波纹式结构。

最后,要考虑在碰撞过程中,无论行人头部碰撞点在罩盖的哪点上其 HIC 值要趋于相等,均小于 1000,所以笔者采用平行式结构。

新设计的波纹式铝制发动机罩盖的结构如图 4 所示。

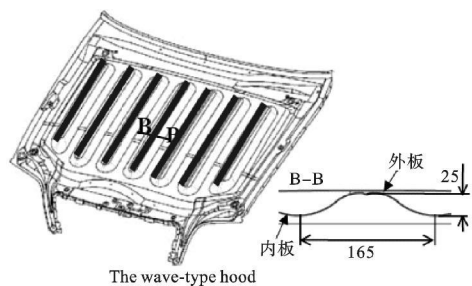


图 4 波纹式铝制发动机罩盖的结构

4 波纹式铝制发动机罩盖的性能分析

利用参数化的有限元程序,本研究对新设计的波纹式铝制发动机罩盖进行 CAE 仿真分析,得到各点 HIC 值如图 5 所示。

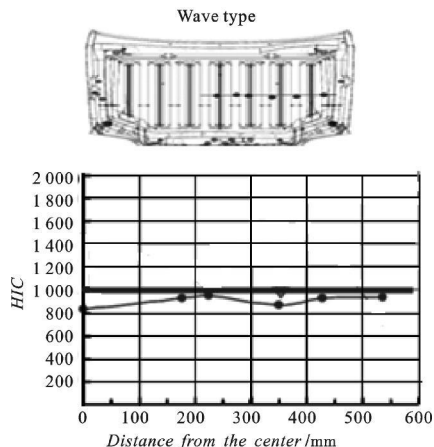


图 5 波纹式铝制发动机罩盖上不同点的 HIC 值

从图 4 和图 5 的对比可以看出,较原来的梁式铝制发动机罩盖,新型波纹式铝制发动机罩盖上各点的 HIC 值都降低了,而且都在人体头部严重伤害的界限值 1000 以下,满足了行人头部碰撞保护法规的要求。

有限元仿真分析得到的新设计的波纹式铝制发动机罩盖和原结构的梁式钢制发动机罩盖内、外板的 Von Mises 应力云图分别如图 6、图 7 所示。

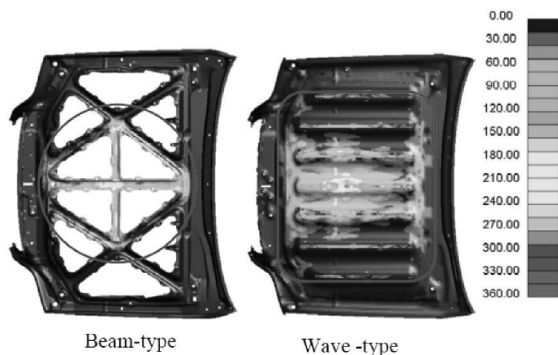


图 6 两种结构罩盖内板的应力分布云图对比

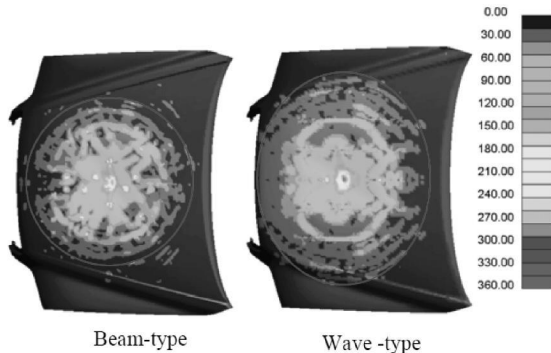


图 7 两种结构罩盖外板的应力分布云图对比

(下转第 317 页)

主要负责控制整个制动过程、计算制动距离并显示测试计算结果等功能。最后,该系统在某自行车碟刹生产公司进行了多次现场试验验证,试验结果表明,测试系统能够较准确地测出自行车的制动距离,并且性能稳定、简单易操作、实用性强,具有良好的实际应用价值。

参考文献(References):

- [1] 欧洲标准化委员会. EN14764-2005 城市和远足自行车安全要求和检测方法[S]. 伦敦:[出版者不详],2005.
- [2] 边强,王志明. 自行车制动性能测试平台的研制[J]. 机电一体化,2009,103(7):97-99.
- [3] 武力,关天民. 场地自行车行驶阻力与模拟训练器结构的研究[J]. 机械设计与制造,2005(4):8-9.
- [4] 王昉,潘双夏. 汽车制动性能检测方法及其虚拟仪器的研究[J]. 机电工程,2006,23(6):14-16.
- [5] 段福斌,潘双夏. 电动自行车制动性能检测的研究与实践[J]. 机电工程,2004,21(6):20-22.
- [6] 刘玉军,冯浩,等. 位置伺服系统中角速度检测方法综述[J]. 浙江工业大学报,2002,30(5):416-419.
- [7] 刘文魁,石建玲. 光电旋转编码器在角度测量中的应用[J]. 现代制造工程,2006(11):90-91.
- [8] CLEMENS O, HEINZ N, ANTON S. Construction of a test bench for bicycle rim and disc brakes [J]. *Procedia Engineering*, 2010(2):2943-2948.
- [9] Daniel P Heil. Body mass scaling of frontal area in competitive cyclists not using aero-handlebars[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2002, 87(6):520-528.
- [10] MA Zhi-wen, Zheng T, LIN Fei. Stability Improvement of V/Hz Controlled PWM Inverter-fed Induction Motors Drives [C]//Industrial Electronics and Applications, 2006 1ST IEEE Conference on. Singapore:[s.n.]2006.

[编辑:张翔]

(上接第296页)

从图6和图7中可以看出:无论在内板上还是在在外板上,新设计的波纹式铝制发动机罩盖比原来的梁式钢制发动机罩盖的应力分布范围更广,即碰撞的有效半径增大了,因而波纹式铝制发动机罩盖可以改变碰撞时的加速度曲线,降低其HIC值,满足行人碰撞保护标准,从而证明了新设计的波纹式铝制发动机罩盖的可行性。

5 结束语

本研究在ANSYS中建立了头块和发动机罩盖的有限元模型,对梁式钢制发动机罩盖进行了有限元分析,并将其结果与试验结果进行了对比,证明了有限元建模的准确性。针对梁式钢制发动机罩盖不能满足行人碰撞保护法规要求的问题,本研究对其进行了材料替换,用铝材料代替钢材料。有限元仿真分析结果表明在保证刚度相同的情况下,铝制梁式发动机罩盖在人-车碰撞时对降低行人头部保护并没有多大的改善作用。因此,笔者对铝制发动机罩盖的性能进行了分析,通过与原有的梁式钢制发动机罩盖的性能对比证明:新设计的波纹式铝制发动机罩盖,在人-车碰撞时可以有效地降低行人头部伤害值的HIC值,满足行人碰撞保护法规的要求。本研究成果的应用,可以在人-车碰撞中实现对行人头部的碰撞保护,对于汽车轻量化的设计也提供了有益的参考。

参考文献(References):

- [1] 陈金华,黄向东,赵克刚,等. 基于儿童行人头部保护要求的发动机罩锁扣碰撞性能研究[J]. 汽车技术,2011(2):26-29.
- [2] TAMAKI Y. Research into achieving a lightweight vehicle body utilizing structure optimizing analysis:Aim for a lightweight and high and rigid vehicle body [J]. *JSAE Review*, 1999,20(4):558-561.
- [3] 乔维高,朱西产. 行人与汽车碰撞中头部伤害与保护的研究[J]. 农业机械学报,2006(9):29-31
- [4] 张宇,朱平,陈关龙,等. 基于有限元法的轿车发动机罩板轻量化设计[J]. 上海交通大学学报,2006(1):163-166.
- [5] SCHWARZ D, BACHEM H, OPBROEK E. Comparison of steel and aluminum hood with same design in view of pedestrian head impact[N]. SAE Technical Papers, 2004-01-1605.
- [6] 李玉璇. 基于碰撞仿真的汽车车身轻量化研究[D]. 上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2003.
- [7] MERKLEIN M, GEIGER M. New materials and production Technologies for innovative lightweight constructions [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002 (125-126):532-536.
- [8] 刘地. 车辆-行人碰撞安全性研究方法的分析与探讨[J]. 汽车标准化,2004(3):26-28.

[编辑:张翔]