

轿车发动机罩静态刚度分析

朱天军^{1,2},孔现伟^{1,2},索乾^{1,2},张俊¹

(1 河北工程大学 机电工程学院,河北 邯郸 056038;2 中国汽车技术研究中心,天津 300300)

摘要:针对轿车发动机罩性能设计要求,利用静态刚度试验测试系统,分别在抗凹、弯曲、扭转和侧向载荷工况下对轿车发动机罩进行了静态刚度试验。结果表明:发动机罩内板结构是影响抗凹刚度重要因素,刚度越小,残余变形越大;弯曲刚度和扭转刚度反映发动机罩整体性能;侧向刚度不满足目标值,需要对内板结构和铰链进行结构优化。该静态刚度试验对轿车发动机罩CAE仿真及概念设计改进提供了试验支持。

关键词:静刚度;抗凹刚度;弯曲刚度;扭转刚度;侧向刚度

中图分类号:TH12

文献标识码:A

The static stiffness analysis of car engine hood

ZHU Tian-jun^{1,2}, KONG Xian-wei^{1,2}, SUO Qian^{1,2}, ZHANG Jun¹

(1. College of the Mechanical and Electric Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. China Automotive Technology and Research Center, Tianjin, 300300, China)

Abstract: This article proposes the engine hood performance design requirement. The car engine hood was tested in the dent resistance, bending, torsional and lateral load conditions through the test static stiffness system. The test results show as follows: The structure of the hood inner panel is the important factors to dent stiffness, the smaller stiffness, the residual deformation is larger; The bending and torsion stiffness reflect the overall performance of the engine hood; Lateral stiffness does not meet the target value, the structure of the hood inner panel and hinge are needed to optimize. Static rigidity provides a test support for CAE simulation and conceptual design improvements of the engine hood.

Key words: static stiffness; dent stiffness; bending stiffness; torsion stiffness; lateral stiffness

在现代轿车开发设计过程中,发动机罩的表面质量是影响车身性能的一项重要指标,尤其静态刚度是发动机罩一项重要性能,通过对轿车发动机罩静态刚度的研究,来改进发动机罩内板结构,满足其静态刚度性能^[1-4]。

国内许多学者研究了内外板结构和使用材料对发动机罩静态刚度的影响。王宏雁^[6]等对发动机罩静态研究中讨论了材料性能对刚度影响,通过改变材料来提高刚度;刘海江^[7]等对发动机罩内板结构进行了优化来提高静态刚度。

本文采用静态刚度测试系统对发动机罩进行了静态刚度试验,主要在扭转、弯曲、侧向和抗凹工况下进行了试验分析,发现内板结构和铰链结构对刚度有重要影响,提供了结构改进方向。

1 试验原理和试验方法

1.1 试验原理

发动机罩静态刚度试验测试原理如图1所示,发动机罩静态刚度试验包括弯曲刚度、抗凹刚度、扭转刚度和侧向刚度,分别对应了弯曲、抗凹、扭转和侧向试验。通过加载装置和测试设备对固定在试验台上发动机罩进行加载和测试,得到的试验数据需要进行理论分析,得到试验结论。

1.2 试验方法

1.2.1 测试系统组成

发动机罩静态刚度测试系统由试验对象、加载装置、测试设备、固定装置和控制装置组成。

- 1. 试验对象是待测的发动机罩,需附带铰链。
- 2. 加载装置包括移动试验平台、加载头和加载设备(电动缸)。
- 3. 测试设备包括力传感器(量程分别为 200 N 和 500 N)以及对应的放大器、带磁力座位移传感器(量程为 50 mm,精度为 0.001 mm)、A/D 转换器和计算机。
- 4. 固定装置包括约束支座和夹具。
- 5. 控制装置有遥控器和电控柜。

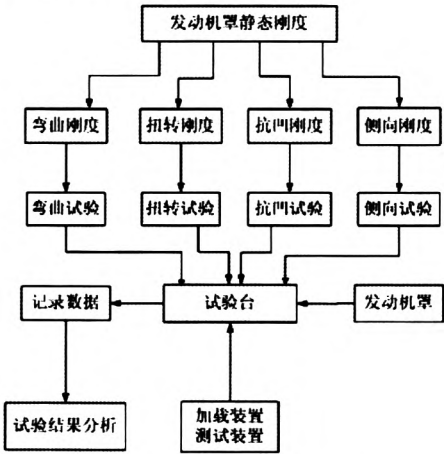


图1 发动机罩静刚度测试原理
Fig.1 The static stiffness test principle of engine hood

1.2.2 测量点布置

进行发动机罩抗凹试验时在外板的中心线一侧均匀地布置六个点, $P_1, P_2, \dots, P_6$,测点尽量避免与发动机罩外板凸楞处相交;扭转和弯曲试验时加载点位置在发动机罩外板一角的区域,加载点 P_i 如图 2 所示。侧向刚度试验时加载点位置在发动机罩外板一角边缘,加载点 P_1 如图 2 所示。

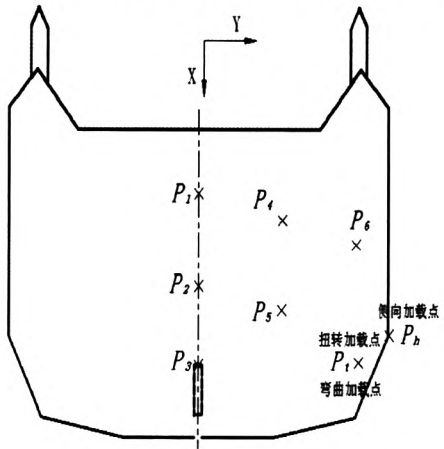


图2抗凹、扭转、弯曲和侧向测试点
Fig.2 The dent, torsion, bending and lateral load points

1.2.3 试验方法

发动机罩静刚度试验包括弯曲刚度、扭转刚度、侧向刚度和抗凹刚度四个试验。在进行静刚度试验时,由于弯扭刚度和侧向刚度试验有可能导致发动机罩结构变形,需要首先进行抗凹刚度试验。

1. 试验载荷

对于抗凹试验在发动机罩测量点加载 400 N 的力;在扭转试验和弯曲试验的加载点 P_i 分别加载 150 N 和 200 N 的力;且这三种试验加载头是一个直径为 250 mm 圆弧面加载块,如图 3 所示。侧向刚度试验时在加载点 P_1 处沿 X 向加载 150 N 的力。

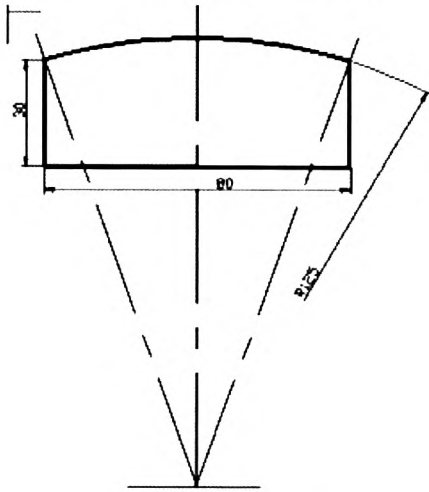


图3 直径250mm圆弧
Fig.3 Diameter 250mm arc

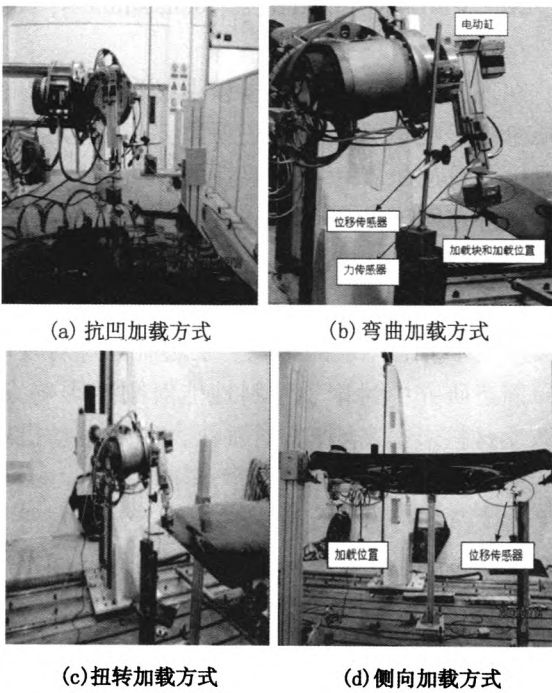


图4 四种试验的加载方式
Fig.4 Loading way of four tests

2. 加载方式

对于抗凹、弯曲和扭转三种试验测量点尽量与加载头圆弧面中心位置接触,且加载头圆弧面与发动机罩外板周围曲面间隙尽量均匀一致。而侧向试验的加载头水平加载在发动机罩的加载点上。在四种静态试验中都采用分阶段加载。四种试验的加载方式如图4所示。

3. 约束条件

- 1) 将发动机罩铰链约束在固定装置上,使其全约束;
- 2) 约束锁钩的Z向,使其沿Z向不能上下移动;
- 3) 在缓冲块位置处对其进行约束,使其Z向不能上下移动。

四种试验的约束方式如图5所示。(1)抗凹和弯曲试验选择1)、2)和3)三个约束条件,如图5-a所示;(2)扭转和侧向试验试验选择1)和2)两约束条件,如图5-b所示。

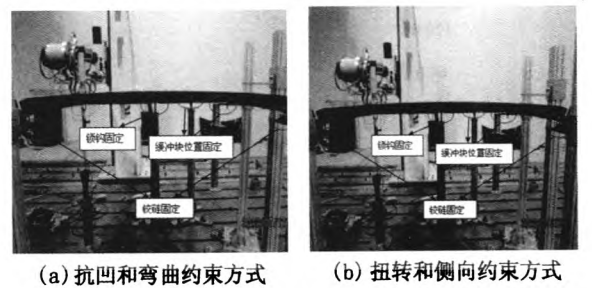


图5 四种试验的约束方式

Fig.5 Constrained ways of four tests

4. 预加载

在试验进行之前,首先对发动机罩进行预加载,加载量相当于最大载荷值的一半(1-2次),以减小试验误差。

5. 位移传感器放置

位移传感器的放置方向要与电动缸加载方向一致或反向,且保证位移传感器是其量程的一半。

2 试验结果与分析

根据静态试验原理,依据上述试验方法,对发动机罩依次进行抗凹、弯曲、扭转和侧向试验,得到各种工况下的试验结果,并对试验结果进行了理论分析,并绘制了力-变形量曲线图和抗凹测点之间变形量的对比图。

(1) 抗凹试验结果

如表1所示,各个测点的最大变形量均小于设计目标值,均满足目标设计要求;变形量越大的

测点,说明这些点抗凹刚度较小,受外在力影响较大,内板对抗凹刚度的贡献率较小;测点P₂变形量最大,且位于发动机罩中心位置,主要考虑了被动安全性而抗凹刚度较小。

表1 各测点试验结果与目标值

Tab.1 The results of each testing point and the target value

测点	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
最大变形量/mm	7.05	13.27	6.30	7.29	10.37	7.30
残余变形量/mm	0.02	0.01	0.13	0.26	0.05	0.24
目标值/mm	7.50	13.50	6.50	7.50	1050	7.50

各测点在加载和卸载过程中实时检测到力与变形量之间的变化曲线,如图6所示。在加载和卸载过程中两曲线不能重合,说明发动机罩受加载力后有一定的残余变形;曲线越陡,抗凹刚度越大,在外界载荷作用下变形较小;随着加载力的增大,力与变形量曲线走势由陡峭逐渐变为平缓,然后由平缓再逐渐变的陡峭,说明该部位首先是弹性变形,然后弹性变形过渡为塑性变形,最后由塑性变形过渡到屈服变形。

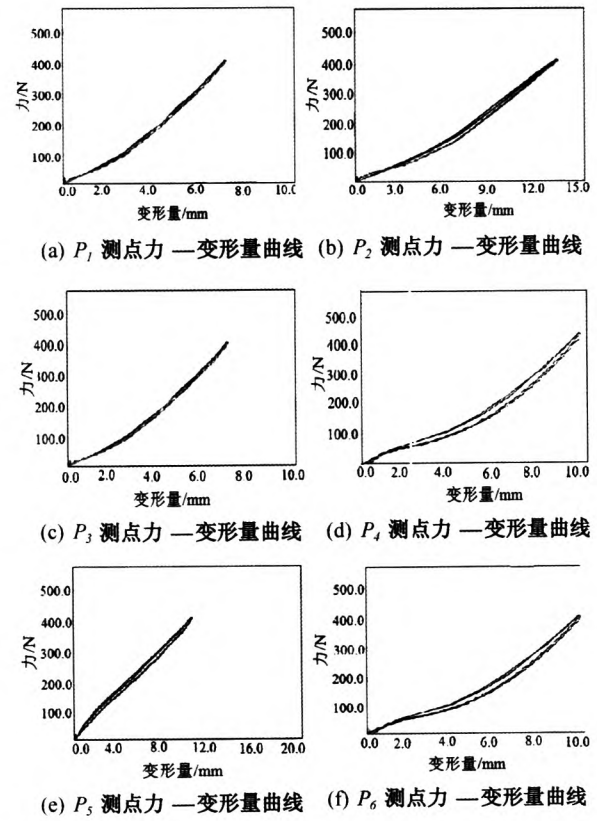


图6 力-变形量曲线

Fig.6 Force-deformation curve

下面对各个抗凹测点在纵向和侧向方向上的变形量进行了对比,如图7所示。从图7-a可知P₁、P₂、P₃三测点在发动机罩中心线上,P₂测点变

量最大,此点刚度相对较弱,原因一是考虑了被动安全,刚度不能太大;二是 P_2 点位于发动机罩中点位置,属于大面积区域。图7-b可知 P_4 、 P_5 两点在纵向的一条线上,在加载力小于200 N时, P_5 点刚度大于 P_4 点;当加载力大于200 N时, P_4 点刚度大于 P_5 点;可以说明此刚度的变化主要受到发动机罩内板结构影响, P_5 内板刚度较弱。图7-c可知 P_1 、 P_4 、 P_6 三测点变形量基本一致,说明这三点刚度基本一样。图7-d可知 P_3 、 P_4 、 P_6 三测点变形量变化受到发动机罩内板结构影响, P_5 内板刚度相对较弱。

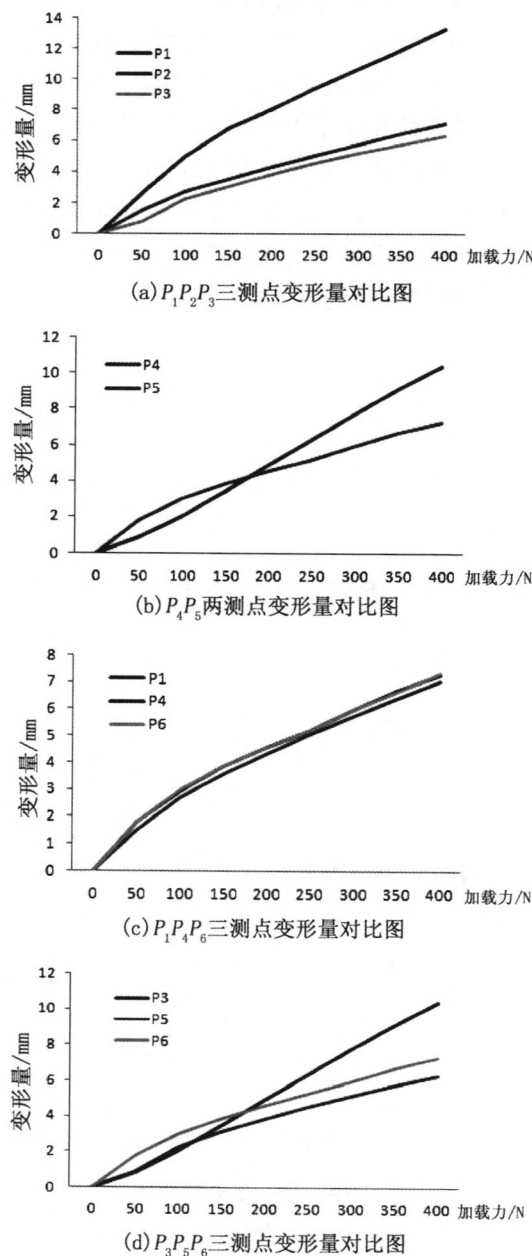


图7 测点变形量对比图

Fig.7 The deformation comparison chart of testing points

(2) 扭转刚度试验结果

扭转试验中试验数据如表2所示,可知发动机罩的最大扭转变形量小于目标值1.5 mm,满足目标值设计要求。

表2 扭转刚度试验结果和目标值

Tab.2 The test results of torsional stiffness and the target value

加载力 /N	最大变形量 /mm	残余变 形量/mm	目标值 /mm
150	1.15	0.02	1.50

由图8所示,可知进行的两次扭转试验所得的力-变形量曲线基本吻合,一致性好,而且说明第一次扭转后的残余变形量对第二次试验影响小,发动机罩的扭转刚度比较大。

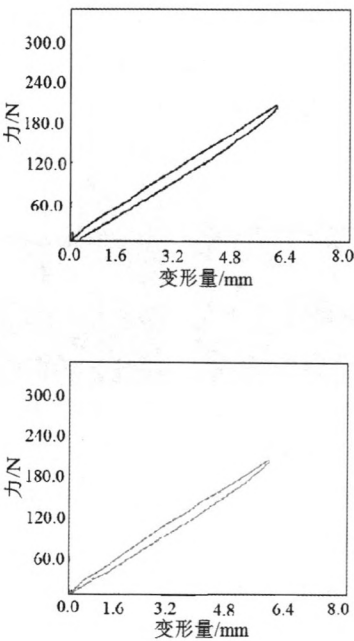


图8 扭转试验力-变形量曲线

Fig.8 Force-deformation curve of the torsional stiffness test

(3) 弯曲刚度试验结果

弯曲试验中试验数据如表3所示,最大弯曲变形量小于目标值6mm,满足目标值要求,且其弯曲刚度为34.3 N/mm,弯曲刚度达到设计要求。

表3 弯曲刚度试验结果和目标值

Tab.3 The test results of bending stiffness and the target value

加载力 /N	最大变形量 /mm	残余变 形量/mm	目标值 /mm
200	5.82	0.21	6.00

由弯曲试验力 - 变形曲线图 9 所示,进行的两次试验所得的力 - 变形量测试曲线基本吻合,一致性较好,而且说明说明第一次弯曲后的残余变形量对第二次试验影响小。

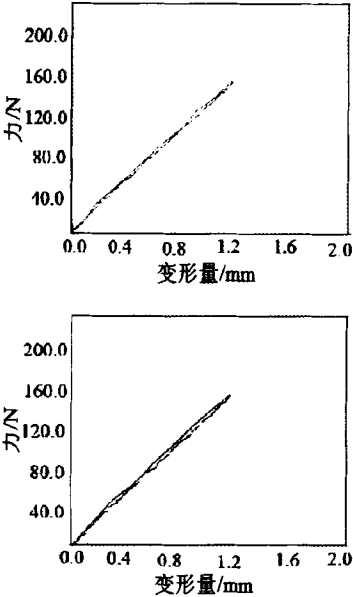


图9弯曲试验力—变形量曲线
Fig. 9 Force - deformation curve of the bending stiffness test

(4) 侧向刚度试验

侧向试验中试验数据如表 4 所示,可知发动机罩最大侧向变形量大于目标值 1 mm,不满足目标值设计要求,需要对铰链结构和内板进行结构优化和改进。

表 4 侧向刚度试验结果和目标值
Tab. 4 The test results of the lateral stiffness and the target value

加载力 /N	最大变形量 /mm	残余变 形量/mm	目标值 /mm
150	1.46	0.39	1.00

由侧向试验力 - 变形量曲线图 10 所示,可知进行侧向试验后残余变形量较大,侧向刚度不满足要求,通过分析,铰链侧向位置比较薄弱,是影响侧向刚度的主要因素,需要改进结构设计。

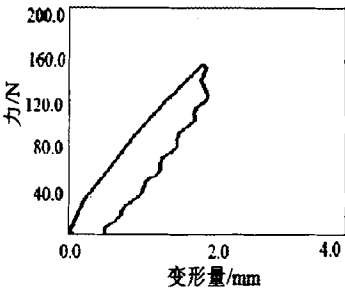


图10 侧向试验力—变形量曲线
Fig10 Force-deformation curve of the lateral stiffness test

3 结论

内板结构是影响发动机罩抗凹刚度重要因素,通过内板优化结构和合理布局可提高其抗凹静刚度;弯曲刚度和扭转刚度反映了发动机罩整体承受弯扭载荷的能力;侧向刚度较弱,需要对内板和铰链进行结构优化和改进。

参考文献:

[1] 俞宁峰,汪承璞,李川海. 汽车钢板抗凹行试验方法及其应用[J]. 测试技术,2004(1):51 - 53.

[2] 靳晓雄,单 莘,张强等. 轿车白车身静刚度试验中若干问题的探讨[J]. 机械设计与研究,2008,25(4):92 - 95.

[3] 杨 平,唐 玲. 基于联合仿真的线控转向系统控制策略的研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2010,23(6):78 - 80.

[4] 张 雷,陶其铭,丁锡幸. 轿车白车身静刚度分析[J]. 合肥工业大学学报,2009,32(增刊),104 - 107.

[5] 裴永生,李淑慧,赵亦希,等. 多点成形有限元参数化建模的研究[J]. 河北科技大学学报,2012,33(6):554 - 568.

[6] 王宏雁,高卫民,潘玲玲,等. 轻质结构发动机罩设计研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2006,34(8):1098 - 1103.

[7] 刘海江,赵 磊,李 运. 利用拓扑优化方法的发动机罩板结构轻量化研究[J]. 试验研究,2009(9):4 - 7

(责任编辑 马立)