

一次成型轻量化车身的键技术研究

李银海¹, 应 革², 王 强³

(1.金华职业技术学院 机电工程学院, 浙江 金华 321017; 2.永康市海鹰塑料包装有限公司, 浙江 永康 321300; 3.浙江大学 能源工程学系, 浙江 杭州 310027)

摘要:以开发轻量化车身为目的,应用车身优化设计方法及理论设计了整体一次成型的塑料车身.有限元分析结果显示,该车身的振动频率偏低,为此从结构、材料等方面提出了一系列改进措施.通过多次滚塑试验与正交分析,获得了理想的主副轴转速比、加热时间与温度、冷却方式及时间等工艺参数.检测结果表明,在这种工艺条件下成型的车身轻量化效果显著,并能满足中低速行驶的使用要求.

关键词:轻量化车身; 一次成型; 有限元分析; 滚塑

中图分类号: U463.82

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2012) 04-0098-05

近年来,随着汽车保有量与日俱增,我国快速进入汽车制造与消费大国,由此造成的能源紧缺与环境污染迅速成为社会关注的焦点.由于汽车的尾气是造成城市大气中灰霾细微颗粒物(PM2.5)超标的重要因素,因此北京等城市正在制定油品和新车标准,严格控制汽车污染物的排放.汽车的轻量化是实现节能、减排的一个重要途径,而车身的轻量化是其重点.车身的轻量化可通过结构设计、材料选择及优化制造工艺来实施^[1-2],这三者又互相联系、互相制约,因此需根据自身的实际情况平衡此三方面因素,以制造出满足性能要求的轻量化车身.

1 一次成型轻量化车身设计

1.1 优化车身结构的方法及理论

汽车结构的轻量化主要是通过对汽车的整体及零部件进行结构分析和优化,从而实现汽车零部件的精简、整体化和轻质化.一方面,通过结构优化设计,减小车身骨架、车身钢板的质量,优化后对车身强度和刚度进行校核,确保汽车在满足性能要求的前提下降低自重,实现汽车轻量化;另一方面,通过结构的小型化以促进汽车轻量化,主

要通过其主要功能部件在同等使用性能不变的情况下,缩小结构尺寸.当然,实现车身轻量化必须以保证汽车的安全性能为前提,为此需要进行车身刚度和模态分析.

根据扭转刚度分析理论,当车身上作用有反对称垂直载荷时,结构处于扭转工况,将使车身产生扭转变形,结构变形程度与结构上所受到的力及结构扭转刚度有关.车身结构扭转刚度 G_J 为单位扭转角所受到的力矩^[3-4],即:

$$G_J = \frac{T}{\theta}, \quad (1)$$

式中, T 为扭矩, θ 为轴间相对扭转角.

根据弯曲刚度分析理论,车身弯曲刚度可以看作是车身在垂直力作用下的车身纵向张力,是表示车身挠曲程度的量,可以用车身纵梁在铅垂载荷作用下产生的挠度大小来描述,此时的弯曲刚度 E_I 为^[3,5]:

$$E_I = \frac{\sum F}{\delta_{Z\max}}, \quad (2)$$

式中, $\sum F$ 为车身弯曲集中载荷; $\delta_{Z\max}$ 为纵梁最大弯曲挠度.

根据模态分析理论,如果这些振源的激励接

近车身整体或局部的固有频率,便会发生共振现象,产生剧烈振动和噪声,甚至造成结构破坏^[6]。为提高汽车的安全性、舒适性和可靠性,就必须对车身振动特性进行分析,通过结构设计避开各种振源的激励频率。其主要的模态理论如下^[3,7]。

$$[K]\{\Phi_i\} = \omega_i^2[M]\{\Phi_i\}, \quad (3)$$

式中, $[K]$ 为刚度矩阵; $\{\Phi_i\}$ 为第 i 阶模态的振型向量(特征向量); ω_i^2 为第 i 阶模态的固有频率(特征值); $[M]$ 为质量矩阵。

1.2 一次成型车身结构

传统轿车的车身一般由车门外板、顶盖、前后翼子板、侧围盖板、地板、仪表板等数十个零件组成。这些零件大多数采用钢板冲压焊接而成,然后进行涂漆以增加美观和防蚀性,最后装上各种内饰件,形成完整的车身。这种技术虽然是目前国内最为成熟的车身制造技术,但其需要大量的模具,成本极高,而且对车辆的轻量化和促进减排非常不利。

设计的一次成型车身采用了整体成型车身结构,由车身主体、发动机罩、车门等三部分组成(图1)。车身主体部分采用轻质滚塑材料,其与普通钢板车身相比,主要有以下几方面优势:

- (1) 极大地简化车身结构和生产工艺,降低零部件制造难度及成本,成型周期短;
- (2) 整体成型,能较好实现力分散与传递,有较高的抗冲击强度;
- (3) 车身模具结构简单,所需模具套数少,制作周期短,成本低,改型方便;
- (4) 车身轻巧,有利于实现轻量化,降低能耗;
- (5) 可直接通过原料调色,减去喷漆工序,并获得 A 级表面;

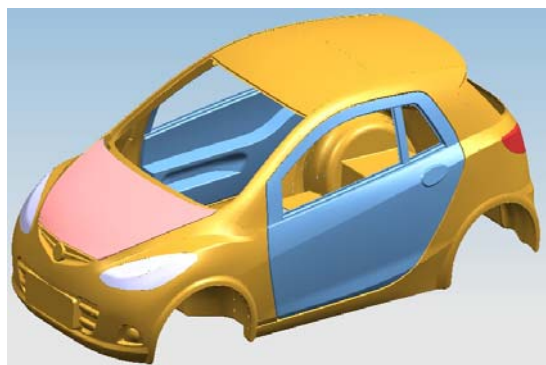


图1 整体成型车身结构

(6) 原料可回收循环使用,减少对环境污染。

1.3 车身的有限元分析

有限元法是对车身结构力学性能进行分析和优化设计的重要方法,这可以方便地实现对车身的扭转刚度分析、弯曲刚度分析和模态分析,从而快速地实现汽车轻量化设计与制造。

图2为车身主体部分在 Hypermesh 软件中经网格化后的有限元模型,网格的单元长度为 25 mm。根据设计要求,在车身下底面施加 250 kg 的力(根据车底面积转化为压强施加)。约束施加在 2 个前减振器座和后围下侧,约束其全部自由度。根据线性低密度聚乙烯 LLDPE 材料的特性,设置其弹性模量 300 MPa,密度为 $930 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,泊松比为 0.4。

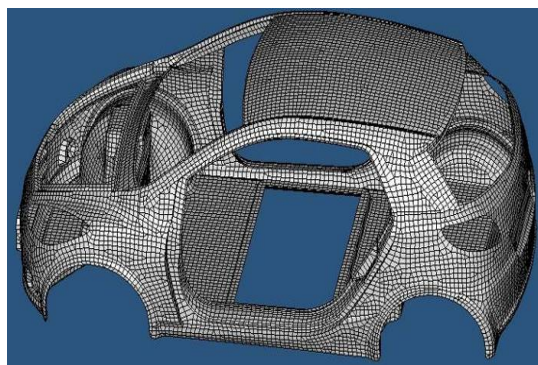


图2 车身主体网格模型

为了解车身的整体刚度,防止发生共振现象,特对其进行前十阶模态进行分析计算,计算结果如图3和表1所示。根据图3和表1反映的数据可知,该车身的振动频率较低,易引起振动,这和塑料原料的特性有密切关系。为此,在设计时可采取增加加强筋、改变局部结构、单层改双层的措施。在成型时,可以调整或改变原料的配方,在双层中间增加发泡层,也可以局部内置钢网,形成类似于钢筋、混泥土的结构。装配时,可以在车身内部增加金属骨架。通过以上措施,可以很好地改善车身的强度和刚度。

但鉴于塑料原料的整体性能无法和钢板相媲美,因此建议该车身只用作中低速行驶。

2 车身整体一次成型制造工艺

2.1 滚塑成型原理

滚塑成型的原理^[8-9]:先将塑料原料加入模具中(图4(a)),然后模具沿两垂直轴不断旋转并使之

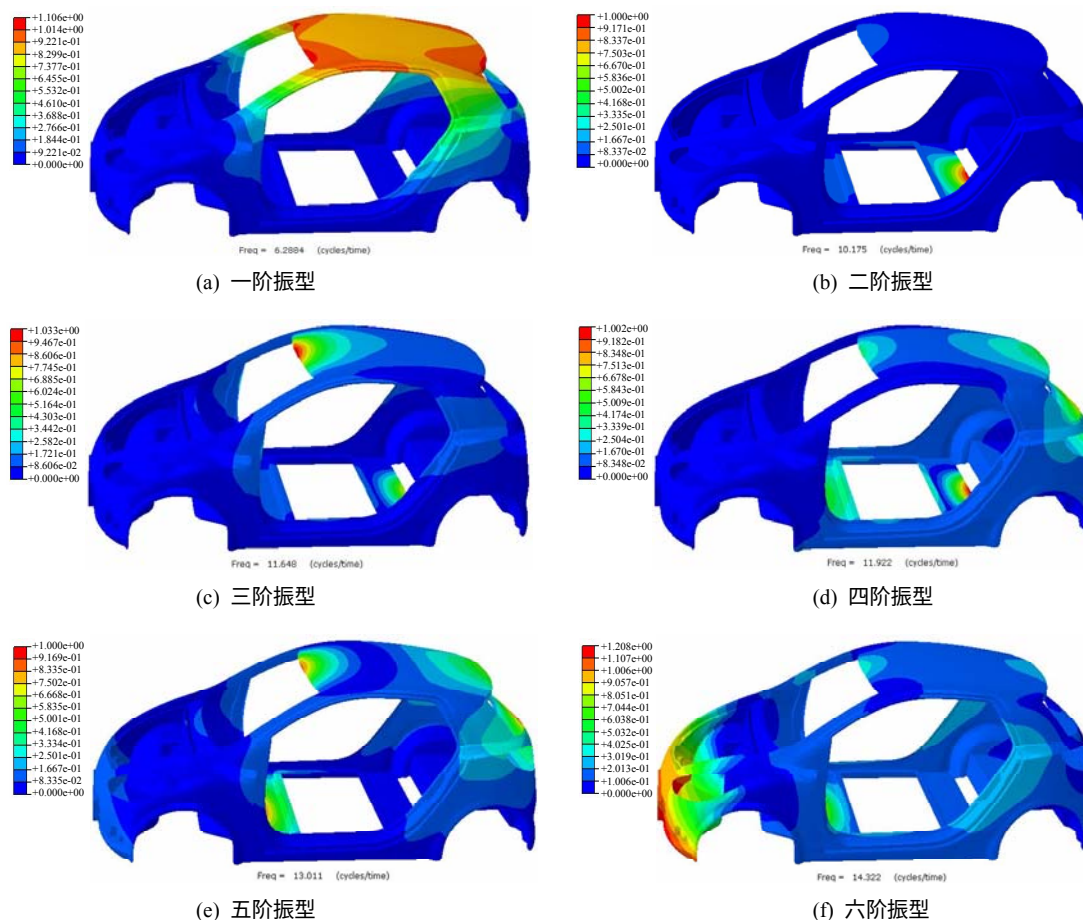


图3 车身前六阶振型示意图

表1 LLDPE材料时的车身频率计算值

模态阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频率/Hz	6.3	10.2	11.6	11.9	13.0	14.3	15.1	15.6	16.9	17.3

加热,模具内的塑料原料在重力和热能作用下,逐渐均匀地涂布、熔融粘附于模腔的整个表面上,成型为所需要的形状(图4(b)),再经冷却定型(图4(c)),最后脱模获得制品(图4(d)).

2.2 影响车身性能的工艺条件

2.2.1 主副轴转速比

在车身滚塑成型过程中,模具同时绕相互垂直的主轴和副轴旋转,主副轴的转速比会影响到车身壁厚的均匀性.因此,主副轴的转速比需要由操作者根据模具的形状和采用原料来选择一个合理的值.

2.2.2 加热时间与温度

加热对制品的强度等力学性能以及表面粗糙度、色泽、气泡、孔隙等有着重要影响.加热条件

既受原料熔体流动速率、密度、粉末颗粒度影响,也受模具的材料、厚度以及制品厚度等因素影响.一般加热温度越高,所需加热时间越短.车身是大型、复杂的壳体,因此需要较高的温度和较长的时间,而且要保证成型过程中模具各部分受热均匀.

2.2.3 冷却方式及时间

冷却过程是材料的结晶过程,对最终制品的性能有很大影响.冷却过快,制品的结晶度和密度都较低,有较好的抗冲击性能,但翘曲和变形较大;反之,制品的结晶度和密度较高,翘曲和变形较小,但抗冲击性能较差.因此为保证冷却的均匀性,冷却过程中主副轴必须保持旋转.

2.3 车身滚塑成型试验

根据四因素、三水平的正交试验方法,在理论

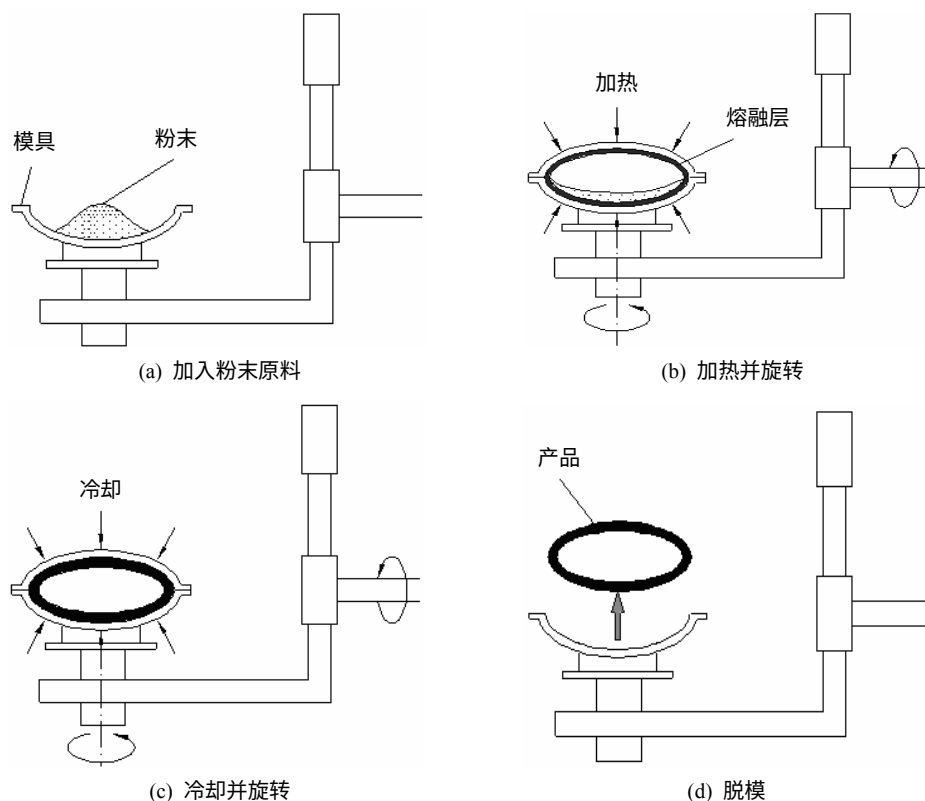


图4 滚塑成型原理



图5 “准”电动汽车效果



图6 装配完成后的整车效果

分析和试验测试相结合的基础上, 确定出适宜的车身旋转工艺条件为: 加热温度 280°C , 加热时间 20 min, 主副轴速比为 6:18, 强制流动空气冷却 25 min. 为了减少车身的翘曲和变形, 需要将车身制品置于定型夹具 6h, 直至制品完全冷却和定型.

永康市海塑塑料包装有限公司与浙江大学、金华职业技术学院共同合作开发轻量化电动汽车车身(图5和图6). 车身制品基本尺寸为 $2940\text{ mm} \times 1500\text{ mm} \times 1150\text{ mm}$, 壁厚 6 mm, 额定载重 250 kg.

滚塑成型后, 完整封闭车身的质量约为 90 kg, 割除车门等缺口后, 实际车身的质量约为 71kg, 整车质量约 500 kg, 轻量化效果显著. 经检测, 整车各项性能符合要求, 在时速不超过 $60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的情况下, 完全能满足驾乘的需要.

3 结论

为了缓解能源紧缺与环境污染的问题, 汽车的轻量化势在必行. 笔者从车身的结构及制造工

艺等角度就轻量化车身的设计及制造的关键技术进行分析与研究。

(1) 从汽车结构的优化设计和结构的小型化角度,提出了一次成型车身。这种车身由车身主体、发动机罩和车门等部分组成,其中车身主体部分采用轻质滚塑材料,为整体成型结构。

(2) 车身轻量化必须以保证汽车的安全性能为前提,为此需要进行车身刚度和模态等分析。以模态分析为例,利用有限元法,对车体成型车身的主体进行前十阶振型分析,并根据分析结果提出了改进措施。

(3) 滚塑过程中,加热温度和时间、主副轴旋转速度比、冷却方式及时间等对车身制品的性能和尺寸有关非常重要的影响。运用正交试验方法,确定出适宜的车身旋转工艺条件,并试制出一次成型车身。车身经检测各项性能符合要求,轻量化效果显著。

参考文献:

- [1] 牛胜福,李炜.汽车车身轻量化技术[J].上海汽车,2009(9):34-38.
- [2] 王锦.现代车身设计的轻量化技术[J].上海汽车,2008(1):15-19.
- [3] 谷正气.汽车车身现代技术[M].北京:机械工业出版社,2009:7.
- [4] 谢培甫,胡林,任振林,等.某新型轿车车身的静态特性分析[J].机械制造,2007,45(6):26-29.
- [5] 武力.轿车白车身结构建模研究及力学性能分析[D].西安:西北工业大学,2006.
- [6] 廖鸿胡,徐龙,成艾国,等.基于刚度及模态分析的某微型车车身轻量化设计[J].汽车技术,2011(3):15-20.
- [7] 杨搏,朱平,余海东,等.基于模态分析法的车身NVH结构灵敏度分析[J].中国机械工程,2008,19(3):361-364.
- [8] 王政,杨荆泉,陈世谦.塑料旋转模塑制造技术[M].北京:化学工业出版社,2003:1-106.
- [9] 张恒.塑料及其复合材料的旋转模塑成型[M].北京:科学出版社,1999:1-10.

Research on One-step Forming of Lightweight Car Body

LI Yin-hai¹, YING Ge², WANG Qiang³

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321017, China;

2. Yongkang Haiying Plastic Packaging Co. Ltd., Yongkang 321300, China;

3. Department of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Using optimization design methods, a whole plastic lightweight car body is designed based on one-step forming technique. The finite element analysis data show that the vibration frequency of the car body is dampened significantly. Based on the test results from the rotational molding and orthogonal analysis, the optimal processing conditions are obtained such as the main and counter shaft rotating speed ratio, the heating temperature and time frame, the cooling method and so on. Using the proposed processing technique, the vehicle can satisfy the performance requirements when driving in medium and low speed.

Key words: lightweight car body; one-step forming; the finite element analysis; rotational molding;

(责任编辑 章践立)