

新型复合缓冲块设计

丁利

(泛亚汽车技术中心有限公司 上海 201208)

摘要: 缓冲块是悬架系统中重要的弹性元件, 本文主要探索其结构设计和材料选择以满足主机厂日益提高的高吸收功要求。基于新型复合缓冲块的设计, 通过有限元仿真分析其合理性, 为实际台架提供参考。将新型复合缓冲块的设计参数作为输入变量, 利用正交试验法得出不同参数组合, 并通过性能指标寻找最优解。实验证明, 新型复合缓冲块能够吸收更多的能量, 从而有效地改善整车冲击载荷。

关键词: 缓冲块; 复合; 高吸收功

0 引言

在汽车悬架系统中, 缓冲块起着至关重要的作用, 能够限制悬架最大变形量, 减轻悬架对车身(或车架)的直接冲撞, 防止弹性元件产生过大的变形, 用于吸收从车轮传递到车身的冲击载荷、降低噪声和振动。此外, 当悬架接近最大载荷时, 缓冲块也可充当辅助压缩弹簧, 可以改善车辆的操控性、舒适性。

目前主机厂的车型越来越大, 大尺寸轮胎和电动化的趋势使车辆越来越重, 这对缓冲块的吸收功提出越来越高的要求, 而传统缓冲块开始无法满足吸收功的要求。因此, 有必要开发一种新型缓冲块, 提高其吸收功, 并对缓冲块的选型和结构参数进行优化设计, 从而得到既满足零件的耐久性要求, 又满足整车性能要求的缓冲块设计。

1 缓冲块设计分析

1.1 缓冲块性能评价指标

在整车轻量化的大背景下, 除了考虑缓冲块的质量, 缓冲块的刚度曲线也是评价其性能的重要指标, 它对悬架力学性能和车辆平顺性有重要的影响, 因此对其结构进行合理的设计能够有效地提高汽车的平顺性。所有的缓冲块初始曲线较软, 末端曲线较硬。缓冲块的刚度曲线在悬架中是非线性的, 如图1所示。

从缓冲块的刚度曲线可以看出, 主要的特性分为三个部分:

(1) 平顺性段。缓冲块在这一阶段的刚度很小, 这是为了降低缓冲块介入工作时的冲击, 曲线的斜率主要与缓冲块的形状相关。

(2) 操控性段。当位移继续增大时, 缓冲块形状的影响越来越小, 聚氨酯材料的影响越来越大, 而曲线的斜率开始急剧增大, 受密度和形状的共同影响, 这也是

缓冲块最常用的部分。

(3) 能量管理段。缓冲块被逐渐压实后, 其刚度非常大, 这一阶段曲线主要与材料相关, 可以决定缓冲块的剩余高度。

1.2 缓冲块材料和结构要求

缓冲块的材料应该具有低吸水性、良好的抗菌性、优良的耐腐蚀性和耐疲劳性。其弹性模量有较大的变化范围, 即具有非常广泛的弹性变形空间和显著的吸能效率, 能够吸收大量的冲击能量。

目前缓冲块的设计主要是依靠外形轮廓的修改从而改变刚度曲线, 对于高密度缓冲块, 需要通过增加底座或加强环来提高缓冲块的承载能力, 使缓冲块朝着锥向变形而非径向变形, 以减少应力集中, 使其变形均匀。其结构设计, 除了要满足刚度曲线外, 还要保证均匀的压缩形变, 以及避免噪声的产生。

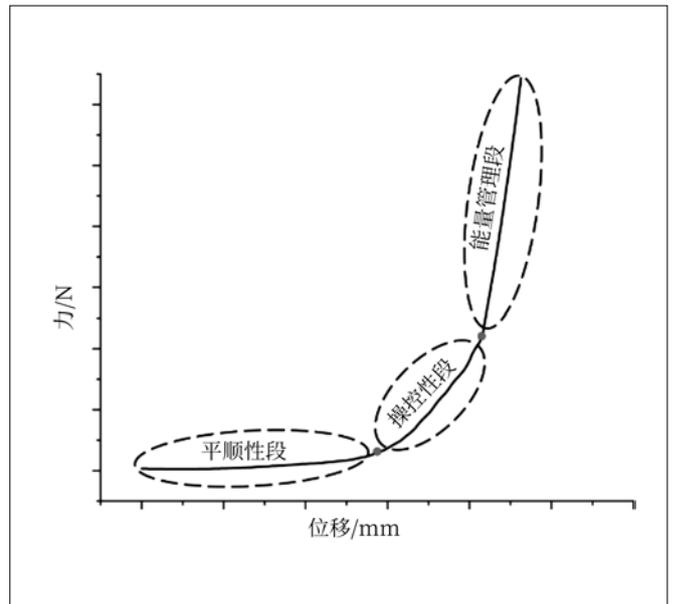


图1 缓冲块的刚度曲线

2 新型复合缓冲块可行性分析

2.1 材料提出

缓冲块的材料主要有三种：橡胶、聚氨酯材料和热塑性聚氨酯弹性体（简称 TPU），其中橡胶已经被逐渐代替。目前车辆的缓冲块主要由聚氨酯材料制成，它具有质量小、变形大和耐老化等优点，有很好的非线性特性，能更好地吸收载荷。但是随着车辆载荷的增大，聚氨酯材料开始难以应对越来越高的吸收功要求，而具有良好的回弹性、韧性和耐老化性的 TPU 是一种成熟的环保材料，能更好地提高缓冲块的吸收功。根据设计要求，本文通过结合聚氨酯材料和 TPU 材料，形成了一种新型复合材料，其中 TPU 材质耐磨且具有高吸收功的特性，能更好地影响缓冲块的刚度曲线的能量管理段，帮助新型复合缓冲块吸收更多的能量并保留更多的剩余高度。并且，通过调节聚氨酯材料的密度和 TPU 的刚度，可以平衡缓冲块的吸收功，提升汽车驾驶的舒适性。

2.2 结构提出

目前，市面上主流的缓冲块结构如表 1 所示。根据乘坐舒适性和功能性需求，面对高吸收功的设计需求，本文选择在聚氨酯缓冲块的基础上加上 TPU 底座，在兼顾舒适性的同时满足高吸收功的需求。在缓冲块变形初期提供良好的舒适性，尽量减少接触的剧烈程度，在末端吸收更多的能量并增加缓冲块的剩余高度。本文为减少噪声的产生，在缓冲块底座设计降噪功能，如表 1 方案 4 所示。方案 4 具有吸收功高、拔出力优异、工艺稳定可靠的优点，通过底座材料、底座位置以及其余工艺参数优化可以实现吸收功增加。

本文研究的新型复合缓冲块为前悬架缓冲块，根据要求，新型复合缓冲块的设计高度在 70mm 左右。根据 Schudt 等的报道，高度在 40 ~ 60mm 的聚氨酯缓冲块推荐采用一个凹槽的设计。本文研究的新型复合缓冲块有两个凹槽结构，其结构设计图纸如图 2 所示。

2.3 新型复合缓冲块性能影响因素分析

本文使用的分析方法是正交试验法。通过新型复合

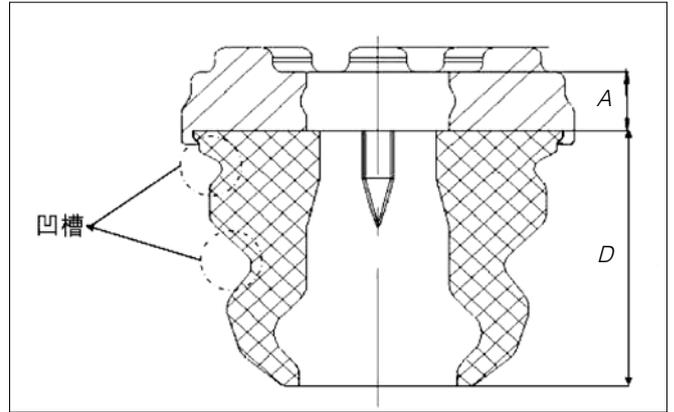


图 2 缓冲块结构参数示意图

缓冲块外形结构参数的不同组合计算出不同的性能指标，借助正交试验法来筛选出权重最高的结构参数和优化参数组合。

本文选择 TPU 底座高度、TPU 底座刚度、聚氨酯高度和聚氨酯密度作为缓冲块的控制因子，并设置了轻量化、高吸能、压死点和低噪声的评价标准。

3 新型复合缓冲块试验验证

3.1 仿真

在实际台架测试前，采用有限元仿真验证新型复合缓冲块的结构合理性。采用轴对称分析，其中缓冲块和台架底座采用 2D 轴对称单元，底杯、芯杆和冲头为刚体，芯杆和底杯固定，并在冲头处施加 60kN 载荷。

假设所有零件间接触为摩擦接触，新型复合缓冲块变形均匀，没有出现弯曲形变，验证了其结构设计的合理性。其中，新型复合缓冲块的聚氨酯部分形变量较大，而 TPU 部分形变量相对较小，与材料的特性和预期设计相同，可为实际台架测试提供参考。

3.2 实测

本文通过准静态试验和动态冲击试验测试其吸收功。除缓冲块的质量、吸收功和压死点等内部评价指标外，异响是一项非常重要的外部评价指标，这将直接影响终端客户的乘坐舒适性体验。本文在噪声室对新型复合缓冲块的异响进行测试，评价指标为 0 ~ 5 分。其中，0 分代表缓冲块在工作状态下没有任何异响，5 分代表缓冲块在工作状态下发出了人耳可听到的明显异响。

3.3 结果

通过正交试验，本文设计的新型复合缓冲块的试验结果如表 2 所示，凸点特征的 TPU 底座可以有效降低噪声的产生。其中，所有实验组的吸收功都高于 388J，满足设计要求。序号 8 的正交组合在满足吸收功要求下，质量最轻，压死点最接近设计要求。

综上所述，序号 8 组合最符合新型复合缓冲块的设计要求。该新型复合缓冲块如图 3 所示。

表 1 缓冲块结构设计方案

项目	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
方案示意图				
加环方式	N/A	顶部加环	底部加环	底座加环
是否包含两种以上材料	否	是	是	是
装配方式	N/A	压装	压装	一体注塑

表2 正交试验结果

序号	控制因子					结果			
	TPU 底座高度	TPU 底座刚度	TPU 底座特征	聚氨酯 高度	聚氨酯 密度	质量	吸收功	压死点	异响
1	20	90	环	50	0.4	base	base	base	2
2	20	90	凸点	53	0.47	+1	-6	+0.6	1
3	20	90	环	53	0.4	-2	-4	+0.4	2
4	20	98	凸点	50	0.47	-7	-66	+2.1	1
5	20	98	凸点	53	0.4	+1	-24	+3.3	1
6	20	98	环	53	0.47	+6	+10	+4.2	2
7	17	90	环	53	0.47	-3	-9	-0.2	2
8	17	90	凸点	53	0.4	-12	-84	-1.4	1
9	17	90	凸点	50	0.47	-3	-38	0	1
10	17	98	环	53	0.4	-3	+106	+4.1	2
11	17	98	环	50	0.47	-10	-53	+2.9	2
12	17	98	凸点	50	0.4	-22	-133	+1.3	1



图3 新型复合缓冲块

4 结语

本文提出了一种新型的复合缓冲块，为高吸收功要求的车辆提供了一种新的方案。本文通过对缓冲块的性能分析，针对其设计特征提出了多种设计方案，并进行了可行性分析和台架测试，提供了一种满足刚度、质量、

吸收功、异响设计需求的正交分析方法。实验表明，该新型复合缓冲块，在轻量化和舒适性的背景下，在台架测试中有效提高了吸收功。这有助于减少传递到车身的冲击载荷。

参考文献：

[1] Zhao W , Wang C , Li Y ,et al. Integrated optimisation of active steering and semi-active suspension based on an improved Memetic lgorithm[J].International Journal of Vehicle Design, 2015, 67(4):388-405.

[2] 万里翔, 余云龙, 陈守义, 等. 汽车悬架减振器缓冲块结构优化方法 [J]. 重庆大学学报, 2020, 43(12):13-22.

[3]Schudt J A,Tsai M,Patil R,et al.Dual rate jounce bumper design[J/OL].SAE Technical Paper,2011:2011-01-0791[2020-02-01]. https://doi.org/10.4271/2011-01-0791.

作者简介：丁利（1984.07-），女，汉族，硕士研究生，工程师，研究方向：悬架弹性件。