

# 挤压铸造铝合金在重卡车身悬置轻量化的应用

刘庆全<sup>1</sup> 马秋香<sup>1</sup> 郑伟光<sup>2,3</sup>

1. 东风柳州汽车有限公司 广西柳州 545005

2. 桂林电子科技大学 广西桂林 541004

3. 广西科技大学 广西柳州 545005

**摘要:** 随着汽车轻量化越来越受重视,采用轻质金属材料的应用也越来越广泛,商用车车身悬置结构件因需承载驾驶室的要求,属于法规项,需满足《GB 26512-2021商用车驾驶室乘员保护》标准中的碰撞要求,对材料强度及韧性要求较高。如何保证在实现驾驶室悬置结构轻量化的同时,又能满足碰撞法规要求,挤压铸造铝合金件以其优异的性能为我们提供的新的工艺选择方案。文章以某重型商用车驾驶室的前悬上支座为轻量化分析对象,结合零件的使用工况,通过有限元分析软件Hyperworks对其结构强度进行分析,采用挤压铸造工艺生产的A356.2铝合金,在强度耐久性、安全性和NVH等性能持平甚至是提升的前提下,实现零件的轻量化。研究表明,采用挤压铸造工艺的A356.2铝合金,可以较大程度的实现驾驶室悬置结构件的轻量化要求,并满足碰撞法规要求。

**关键词:** 轻量化;挤压铸造;悬置;Hyperworks;拓扑优化

## Application of squeeze casting Aluminum Alloy in lightweight mounting of heavy truck body

Liu Qingquan<sup>1</sup>, Ma Qiuxiang<sup>1</sup>, Zheng Weiguang<sup>2,3</sup>

1. Dongfeng Liuzhou Automobile Co., Ltd. Guangxi Liuzhou 545005

2. Guilin University of Electronic Science and Technology Guilin 541004

3. Guangxi University of Science and Technology Guangxi Liuzhou 545005

**Abstract:** As more and more attention has been paid to the lightweight of vehicles, the use of light metal materials is more and more widely used. Due to the requirement of bearing cab, the mounted structure of commercial vehicle body belongs to the item of laws and regulations, which needs to meet the collision requirements of “GB 26512-2021 commercial vehicle cab occupant protection” standard and has higher requirements for material strength and toughness. How to ensure that the cab mount structure can be lightweight while meeting the requirements of collision regulations, squeeze casting aluminum alloy parts with its excellent performance to provide us with a new process choice. Taking the front suspension bearing of a heavy commercial vehicle cab as the lightweight analysis object, combined with the working conditions of the parts, the structural strength of the parts is analyzed by Hyperworks. The A356.2 aluminum alloy produced by the squeeze casting process realizes the lightweight of the parts on the premise that the strength, durability, safety, and NVH performance are the same or even improved. The results show that the A356.2 aluminum alloy with a squeeze casting process can achieve the lightweight requirements of cab mounting structures to a large extent, and meet the requirements of collision regulations.

**Keywords:** lightweight; squeeze casting; suspension; Hyperworks; topology optimization

**基金项目:** 广西科技开发项目:桂科AA18242033;柳州科技开发项目:2021AAA0104。

**作者简介:** 刘庆全(1981-),男,(广西柳州),中级职称,学士学位,主要从事车身设计。

**通信作者简介:** 马秋香(1981-),女,广西南宁,高级工程师,学士学位,主要从事汽车设计。



引言:

汽车轻量化一直以来都是一个经久不衰的主题,尤其在越来越严厉的环保、排放要求以及新能源汽车的开发,汽车轻量化目标的设定和达成已成为各主机厂产品开发时的重点管控指标。根据有关研究数据,汽车整车质量每减重10%,油耗可降低5%~8%,为客户创造价值的同时,轻量化后成本也会降低,为企业增加效益<sup>[1]</sup>。因此,轻量化对于整车的燃油经济性、车辆控制稳定性、碰撞安全性都大有裨益。

铝合金材料技术在整车轻量化的趋势下,在汽车底盘和车身结构件中的应用得到了日益广泛的重视。现已成为各主机厂批量应用的轻量化材料,无论是在车身还是底盘,乘用车及新能源车型均已大量采用了铝合金材料,商用车也逐步对底盘及车身结构件进行轻量化方面的研究<sup>[2]</sup>。铝合金件的碰撞冲击性能研究在商用车悬置系统上处于起步阶段,如何保证在实现驾驶室悬置结构轻量化的同时,又能满足碰撞法规要求,是我们当前面临的一大挑战。

本文是基于挤压铸造工艺的A356.2铝合金材料应用在悬置支座上展开分析,结合实际碰撞情况开展试验验证。通过拓扑结构优化,实现降重65%以上,在保证零件性能的同时,实现轻量化最大化。

1 轻量化方法

汽车轻量化设计是一个系统性工程,实现技术方法主要包括材料轻量化、结构优化及工艺优化等。材料轻量化包括高强钢应用、以铝代钢、以塑代钢、以冲代铸等,结构优化包括功能集成、拓扑优化、形貌优化等,工艺优化包括激光拼焊、热成型、微发泡等。要实现轻量化最大化,需从材料、结构、工艺等方面综合考虑分析、优化。本文的轻量化对象是某重卡驾驶室的前悬上支座,是车身悬置的关键结构件之一。驾驶室悬置系统的主要功能是承载驾驶室、为驾驶室提供减震、为驾驶室提供翻转轴等,装配关系见图1示意。轻量化前的前悬上支座材质为QT450-10,前期开发时为了保证碰撞性能,零件设计较为笨重,单个零件重达14.9kg,过重的零件在零件成本、运输、装配以及整车油耗等方面都会产生不利的影

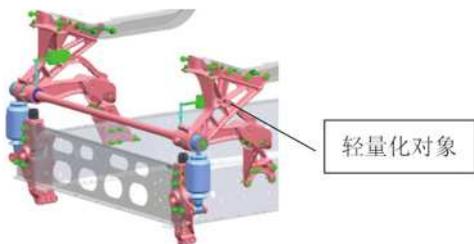


图1 驾驶室前悬上支座装配情况示意

2 悬置支座轻量化材料及工艺选用分析

常见的铝合金成型工艺有铸造成型、挤压成型、粉末冶金等,结合零件的结构,选用铸造成型工艺。通过对比铝合金材料的不同铸造工艺的性能特性(见表1),选定采用挤压铸造工艺。

表1 不同铸造工艺性能对比

指标	挤压铸造	重力铸造	低压铸造	高压铸造
机械性能	高	中	中	低
铸件质量	晶粒细、组织致密、气密性好	晶粒细、组织致密、气密性好	组织致密、气密性好	晶粒细、内部气孔致密
热处理	可固溶(T6)	可固溶(T6)	可固溶(T6)	NO
表面质量	良好	中等	中等	良好
生产效率	高	低	中	高
设备成本	高	中	中	高

挤压铸造在锻造领域被称为液态模锻,日本也叫熔汤锻造。其原理是对进入型腔内的液态或半固态金属施加较大的机械压力(约100MPa),使其成型凝固,获得零件的一种方法。此类工艺方法的突出特征就是加压,其加压方式灵活多样。各种工艺方法都是施压途径、施压方向、模腔数量和结构、型芯使用等方面的交叉与综合。按加压方式又可以分为直接液锻、间接液锻、复合液锻和智能液锻4大类加压方式。由于高压凝固及塑性变形同时存在,零件组织致密,无气孔、疏松等缺陷,晶粒细化,可进行T6热处理,是实现轻量化的优良工艺,非常适合汽车结构受力件<sup>[3][4]</sup>。

悬置支座作为承载驾驶室总成功能的结构件,基于A356.2材料性能优势,常作为高强度结构件的轻量化材料首选,其性能属性与QT450-2对比见表2。考虑到悬置系统需满足《GB 26512-2021商用车驾驶室乘员保护》标准中的碰撞试验要求,对悬置系统的判断的标准是经过碰撞打击后,车身与底盘不能分离。因此材料的延伸率是至关重要的指标之一,普通铸铝的延伸率仅为2%左右,而A356.2挤压铸造铝合金的延伸率≥8%,这对碰撞时吸收能量变形将起到至关重要的影响<sup>[5]</sup>。采用挤压铸造的A356.2铝合金,将大大提升通过碰撞法规的可能性。

表2 QT450-2及A356.2材料属性

材料牌号	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(Ton/mm <sup>3</sup> )	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率
QT450-2	173000	0.3	7.03E-9	310	450	≥10%
A356.2	72400	0.33	2.68E-9	250	310	≥8%

3 轻量化解决方案分析

为了减少轻量化时对周边零件的影响,研究时对轻

量化对象作了边界输入要求：与驾驶室连接安装孔及与稳定杆连接接口不变，外形根据工艺及CAE重新优化。这样可以确保新旧零件的通用性。

根据悬置结构类零件需要满足的碰撞法规以及实际使用的综合工况的要求进行设定加载边界：驾驶室悬架的簧上质量为950kg，按满载司乘两个共150kg，总承载质量为1150kg。在保证轻量化对象接口（见图2）不变的前提下，再根据零件的周边系统获取结构的最大轮廓来定义其包络空间（见下图3），并对轻量化对象的包络空间开展拓扑分析：



图2 轻量化前结构及接口信息

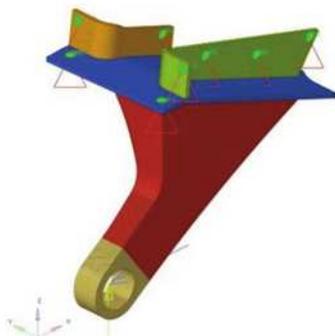


图3 拓扑包络空间

通过拓扑优化研究，获取零件受力传递路径的拓扑结构（见下图4），经过多轮结构拓扑及调整，基本实现在保证碰撞工况、综合工况受力情况性能的前提下，获取轻量化最大效果，形成最终轻量化结构方案（见下图5）。

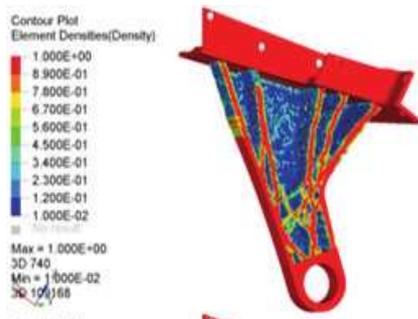


图4 拓扑方案



图5 最终轻量化方案

#### 4 轻量化后结构性能验证

##### 4.1 建立有限元模型

将驾驶室前悬上支座采用实体模型导入Hypermesh软件中，用四面体网格进行网格划分，并建立有限元模型。利用OptiStruct求解器进行有限元分析求解，得到轻量化前后的前悬上支座的应力云图。如下图6、图7所示。

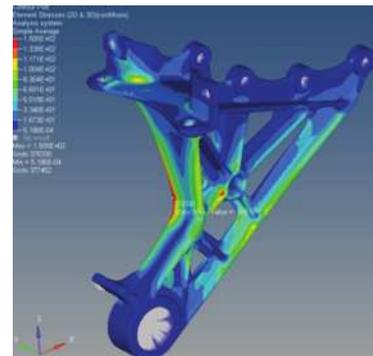


图6 轻量化前 (QT450-10)

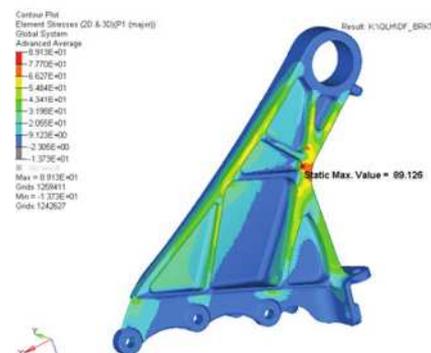


图7 轻量化后 (A356.2)

##### 4.2 轻量化后各工况的最大应力及安全系数对比

通过CAE应力云图结果读取各工况最大应力，根据材料性能计算各工况安全系数，如下表3所示。

表3 最大应力及安全系数对比

工况	轻量化前 (QT450-10)		轻量化后 (A356.2)	
	应力	安全系数	应力	安全系数
综合	140	1.6	89	1.74

经有限元分析可以得知：前悬上支座的最大应力小

于材料的屈服强度，综合工况安全系数与轻量化优化前基本持平，初步判定该结构满足强度要求。

#### 4.3 碰撞仿真分析

悬置系统需满足《GB 26512-2021商用车驾驶室乘员保护》标准中的碰撞要求，本轻量化悬置支座应用在重卡平头车型上，属于总质量7.5吨以上的N2类和N3类卡车，需进行正面摆锤、顶压、双A碰撞试验，不同试验工况的打击能量见下表4：

表4 不同碰撞工况打击能量对比

	驾驶室正面 撞击试验	驾驶室A柱 撞击试验	驾驶室顶部 强度试验
图示			
打击 能量	55KJ	29.4KJ	P1 侧碰：17.6KJ P2 顶部静态加载， 3mm/ms

基于LS-Dyna分析方法，对驾驶室模型进行碰撞仿真分析，分析悬置铝合金件在各个碰撞工况下的应变变量，

通过仿真分析评估悬置结构轻量化后对碰撞的影响。加载情况及分析结果见下表5：

分析结果表明轻量化后的前悬下支座在各碰撞工况下，除正碰工况下会出现部分安装孔断裂外，其余碰撞工况应变变量均满足小于材料的延伸率8%，设计上判断可以满足碰撞要求，方案可行。

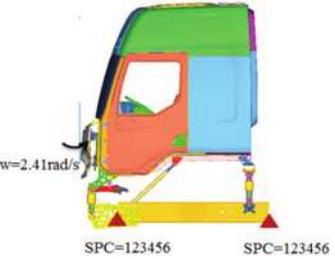
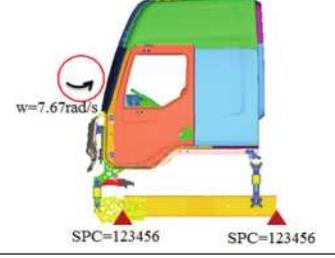
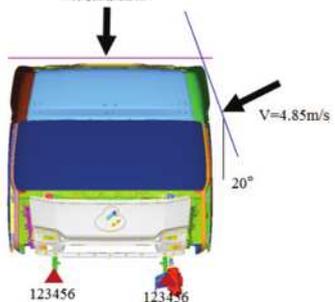
#### 5 轻量化效果

轻量化前零件重量为14.9kg，经过结构优化后的轻量化零件铝合金件仅4.9kg，支座降重率达到68%，降重10kg/件，实现最初设定的轻量化的目标。经上述分析，各工况下前悬上支座有较高的安全系数，结构的静强度储备充足，通过碰撞仿真分析，轻量化零件应变变量满足设计规范要求，满足零件性能要求。因此，采用高强度铝材料A356.2代替原结构材料，可以通过优化零件结构达到轻量化的目的。

#### 6 实车验证情况

轻量化后的前悬上支座随整车开展实车碰撞试验，试验后满足《GB 26512-2021商用车驾驶室乘员保护》碰撞标准（见下图8、9），同时开展强化回路可靠性试验及整车平顺性试验，结果显示轻量化后的前悬上支座无

表5 碰撞约束说明及分析结果

工况	约束示意图	约束说明	延伸率分析结果
正碰碰撞		约束车架两端自由度 123456，摆锤赋予初始角速度， $w=2.41\text{rad/s}$ 。（按 $E=1/2Jw^2$ 换算， $E=55\text{kJ}$ ）	
双A碰撞		约束车架两端自由度 123456，摆锤赋予初始角速度， $w=2.17\text{rad/s}$ （按 $E=1/2Jw^2$ 换算， $E=29.4\text{kJ}$ ）	
顶压碰撞		约束车架两端自由度 123456 侧向动态加载壁障赋予初始速度， $v=4.85\text{m/s}$ 。（按 $E=1/2mv^2$ 换算， $E=17.6\text{kJ}$ ）顶部静态加载，3mm/ms	

开裂等问题反馈, 确认强度无问题, 平顺性效果与轻量化前持平, 轻量化结构零件相关性能验证全部通过。



图8 整车实车正碰试验



图9 轻量化悬置支座碰撞图

## 7 结束语

轻量化成果要实现商品化, 必须在保证性能满足要

求的前提下, 同时兼顾成本, 才能为后续的商品化顺利推进。对以铝代钢的挑战在于如何实现轻量化最大化, 从而达到降重的同时成本未出现大幅增加, 甚至是降低。根据建立前悬上支座以铝代钢的有限元模型, 借助 Hyperworks 进行多工况力学分析, 通过拓扑分析及结构不断优化, 最终在结构满足强度要求的同时, 实现轻量化降重 68%, 较大程度的实现了零部件轻量化效果。本文轻量化方案以新材料应用为基础, 通过有限元分析软件, 开展零件结构的多轮拓扑及优化, 在支架类零件轻量化上具有较大的指导意义。

### 参考文献:

- [1]刘梅梅, 常训.商用车(卡车)轻量化发展趋势研究[J].汽车实用技术 2020(15): 260-262.
- [2]汤晓萌, 廖子文.驾驶室前悬置下支架的轻量化设计、仿真及试验验证[J].第十七届中国CAE工程分析技术年会论文集, 2021(11): 277-280.
- [3]姜巨福, 李明星等.铝合金挤压铸造技术研究进展[J].中国有色金属学报, 2021-31(9): 2313-2328.
- [4]邢书明, 邢若兰.液态模锻(挤压铸造)技术研究与应用进展[J].常州大学学报(自然科学版), 2021, 33(5): 1-7.
- [5]罗兵辉, 柏振海等.几种铸造铝合金的铸造性能、力学性能及耐腐蚀性[J].矿冶工程, 2001, 21(2): 67-68.