

# 汽车结构的轻量化设计措施分析

陈 强

长城汽车股份有限公司 河北 保定 071000

**摘 要：**轻量化在当前汽车设计制造产业当中是一个比较主流的方向，与新能源车具有相当的地位，在传统发动机技术发展陷入瓶颈，新能源汽车受限于电池的情况下，轻量化成为了一种非常关键的解决手段，通过轻量化来实现节能减排。但汽车轻量化，不是单纯减轻汽车的重量，而是在减轻重量的同时提升性能，因此分析讨论如何去进行轻量化设计，具有非常典型的价值意义。本文对汽车结构的轻量化设计措施进行分析。

**关键词：**汽车；轻量化设计；方法措施

## 一、轻量化设计概述

### 1. 轻量化产生背景

轻量化设计是目前国内外汽车设计制造技术中的主要发展方向之一，与环保和安全具有同等地位，随着人们环保意识增强，汽车工业要发展，必须要走可持续发展道路，而可持续发展显然必须要实现节约资源、减少消耗，对于汽车工业而言，要达到相关要求，已经得到公认的路径包括提高发动机效率、新能源和轻量化。汽车的节能环保通常情况下是降低油耗或提高燃油效率，降低或者清洁排放尾气。在提高发动机效率方面，由于传统发动机不管是柴油机还是汽油机，实际上都已经达到了一个相当高的水准，现阶段主要是通过通过对发动机进行微量调整并利用汽车电子技术来提高发动机的效率，但效果并不是很理想，仅仅只能说达标。而新能源汽车在环保上的效果最佳，但是问题在于由于电池的限制，新能源车的发展还需要走很长的一段路，而轻量化技术，在保证汽车安全性的基础上去降低汽车的自重来实现能耗的下降，它可以作为提高发动机能效，甚至是新能源车能效的一种基础技术手段，在当前发动机技术、新能源车技术尚未出现巨大突破之前，轻量化将是节能减排的主流技术手段<sup>[1]</sup>。

### 2. 轻量化设计要求

一直以来，汽车设计当中轻量化和安全性都是一个矛盾体，有很多人认为，轻量化结构将降低安全性，而为了保证安全性，就必须要加强汽车结构的抗弯、抗扭、抗侧翻、碰撞吸能等特性，而这些将增加汽车自重。但实际上轻量化并不是单纯降低自重，它必须保证安全性，汽车减重但整体性能不能受到影响，车身强度、刚度、模态等结构特性必须要满足相关要求，所以轻量化设计是一门综合性的学科，在实践中必须要充分考虑材料、结构力学、生产工艺、人体工程学、工业设计等方面的内容<sup>[2]</sup>。

## 二、轻量化设计方法

### 1. 材料轻量化

轻量化材料是目前轻量化设计中的主流方式，一般所用的材料都是非常轻量化的材料，比如碳纤维复合材料，典

型代表如迈凯伦 P1，铝合金如凯迪拉克 CT6，全铝车身如奥迪 R8、第四代揽胜等。由于汽车结构上不同的部位对材料强度、刚度要求是不一样的，因此可以根据实际的需求用轻量化材料来制造部件，达到性能要求，而轻量化材料自重轻，但性能很强可以替代原本所用的材料，用来降低自重。目前比较常用的轻量化材料包括高强度钢、复合材料、铝合金等，以高强度钢来论，其本身拥有非常高的强度等级，在设计部件中可以降低板件厚度来降低重量，但是却可以保证具有足够高的性能，但其不是轻量化材料最优化的选择，但是因为其强度高，可以设计成薄壁中空件，用在中通道、地板、A/B 柱等关键区域。铝合金这种轻量化材料在汽车上用量非常高，已经成为汽车车身的主材，它是非常理想的轻量化材料。复合材料则主要是碳纤维复合材料，这种材料也是非常理想的轻量化材料，但是由于其成本高昂，通常会用在专用汽车上，比如超跑<sup>[3]</sup>。

### 2. 结构轻量化

轻量化结构设计，是采用综合优化设计的方法，通过对结构的优化来减重，现阶段主要采取数字三维设计方法，通过建立模型、利用有限元分析、碰撞测试等方法调整结构，用最少的材料实现最理想的结构，进而降低汽车自重又不影响汽车安全性。目前绝大多数车企都在采用车身结构优化，因为它可以用少量的成本实现比较理想的效果，一般在设计中会利用到 CAD 等三维数字设计软件，对汽车的结构布局进行设计，并在软件上进行碰撞测试，从整车的角度去分析车的结构，进而明确零部件的安装位置以及材料，在轻量化结构设计完成以后，通过软件测试分析整车的性能指标，保证轻量化后，整车性能满足要求。例如奥迪 RB 的 ASF 车身结构，这个结构利用铝材，通过先进的制造工艺将铝材挤压为型材，制造成各种截面的部件，然后按照骨架+蒙皮的方式来进行组合，形成一体式的铝制蒙皮结构，铝型材骨架勾勒出车身的线条。这种结构设计要比一体化钢制车体轻 40% 左右，而且刚度提升 40% 左右。国内湖南晟通集团汽车工程研究院，则将板梁和型材进行结合，打造出全铝车

身的 12m 公交车, 强度与钢制车相当, 但车身自重降低了 50%, 整备质量降低 30%, 满载质量降低 20%, 在国内是比较先进的水平<sup>[4]</sup>。

### 3. 生产制造工艺优化

生产工艺的改进方面, 主要是为了满足轻量化材料制造、轻量化结构设计制造的需求。轻量化材料要制作成汽车需要的部件, 传统的冲压工艺是无法满足要求的, 采用传统的方法会造成回弹大, 如此在针对轻量化材料制造时, 必须要采用合理科学的制造工艺, 例如差厚板工艺, 热冲压成型技术等, 例如差厚板工艺, 这种工艺技术使汽车零部件在受力、结构上优于传统等厚板材, 但材料用量降低而自重降低。同时对于装配, 目前采用的工艺主要是激光焊接和结构胶粘接, 激光焊接可以焊接很多焊材, 甚至可以焊接各种异质焊材, 对于运用了多种轻量化材料的汽车的装配具有很重要的作用, 结构胶粘接, 则是更强大的一种装配工艺, 在航空领域都有广泛的应用。

### 三、车身结构轻量化设计

事实上汽车结构的轻量化设计中, 上述三类轻量化技术是相辅相成的, 生产制造工艺作为基础手段为轻量化设计方案的实现提供可能, 而轻量化材料则为结构轻量化设计提供了更重要的材料基础, 再通过综合优化, 促使结构在大量替换了轻量化材料的情况下依然可以保持理想的性能, 甚至可能出现超越。在汽车结构轻量化设计中, 三维数字化设计是目前最关键的手段, 在 CAD、CAE 技术的支持下, 汽车结构布局、结构优化、结构件形状、配置、板厚等可在软件上进行直接的计算和分析, 寻求通过零部件的壁厚减薄, 数量精简, 材料替换等方式, 实现合理化的设计, 例如吉利汽车中 FE 车型散热器上横梁总成, 原本是独立的, 集成了二道开启机构, 并单独设立了散热器格栅支架, 经过优化将格栅支架与散热器上横梁总成结合, 去掉了格栅支架, 在保证安全的前提下减重达到 2.2kg。

在结构轻量化设计中, 主要针对布局、尺寸、形状、拓扑四个方面进行优化设计, 布局方面主要考虑整车最佳布局形式, 前置前驱可以降低很多传动系统的部件, 承载式车身可以取消车架。尺寸方面一般按照质量和强度等要求, 对部件板厚、梁截面、截面惯性矩等尺寸进行优化, 使应力分布均匀, 尺寸优化重点以调整零部件的形状尺寸为关键点, 只要满足各种工况下部件刚度、震动、强度等要求即可, 当然在不考虑成本的情况下, 直接上轻量化材料替换掉车身结构上的绝大部分部件, 更能够减重。比如除开 A/B 柱、地板等关键部位用高强度钢外, 可直接使用铝合金件。形状方面主要是通过调整结构部件外形使部件受力更加均匀, 使材料发挥出更大的潜力, 差厚板就是典型的通过外形优化而得到的轻量化部件, 在设计中一般采取有限元分析方法, 寻找部件的应力集中点, 探寻应力高峰, 进而逐步调整形状, 迫使应力分布尽可能均匀, 差厚板就是将应力集中的部分增厚, 而应力分散且弱的部分

则减薄。拓扑方面主要是对空间材料分布进行分析, 基于拓扑算法自动计算动力传递路径, 进而找出可以节省材料的区域, 促使材料在空间当中实现最佳的分布。

### 四、汽车车身轻量化发展趋势

#### 1. 铝合金

铝合金在轴向载荷作用下会产生渐进叠缩稳态变形, 比吸能远远高于低碳钢结构。铝合金作为缓冲吸能元件, 在碰撞安全性方面有明显的优势, 而且应用于车身时, 由于质量降低, 碰撞时产生的动能减小, 所以其在汽车上的应用呈现连续增长趋势。

#### 2. 镁合金

镁合金的弹性较弱, 在同等的受力情况下会发生较大的变形。所以, 使用镁合金材料时, 要提高镁合金板材的厚度或者重新设计板材结构。

#### 3. 多孔材料

在大自然中, 有很多动物的筑巢方式值得人们学习, 在向大自然的学习中, 人们制造出各种各样的用于能量吸收的轻质多孔材料, 如泡沫材料、蜂窝材料等。蜂窝材料用作吸能材料, 具有明显的方向性, 用于各种夹芯板和薄壁填充管具有突出的优势。泡沫材料可分为开孔泡沫材料和闭孔泡沫材料两种。其中, 开口材料的抗压性总体优于闭孔材料。开孔材料又可以分为金属材料和非金属材料两种。金属泡沫材料, 尤其是泡沫铝, 密度小、变形能力大、比吸能好, 具有均匀稳定的能量吸收特性曲线, 是非常理想的能量吸收材料。但是, 泡沫铝含有空隙而且强度较低, 在受到拉、压、扭转时容易发生断裂破坏, 而且破坏后不容易保持完整, 故而一般将泡沫铝作为薄壁管的填充材料。非金属泡沫材料多用作汽车内部装置, 作为装饰材料和承重架中间的缓冲物。

#### 结束语

综上所述, 汽车结构轻量化设计是当前汽车工业实现可持续发展, 必然采取的技术方法, 通过轻量化设计, 降低汽车自重, 实现节能减排的目的, 在传统发动机技术和新能源车技术尚未出现巨大突破的情况下, 必然主导汽车设计, 在本文当中提炼了目前汽车结构轻量化设计的方法与具体的措施, 希望可以为汽车结构设计提供一些理论参考。

#### 参考文献

- [1] 姚凌云. 塑料在汽车轻量化设计中的应用 [C]. 2018.
- [2] 魏安平. 专用汽车轻量化设计与发展趋势 [J]. 中国高新区, 2018.
- [3] 汽车轻量化设计的复合材料机遇 [J]. 汽车制造业, 2015.
- [4] 阚子振. 浅析 CAE 技术在汽车轻量化设计中的应用 [J]. 《好家长》, 2015.

个人简介: 陈强 男 1990 年 8 月 汉族 山东省泰安新泰市人 助理工程师 毕业于山东大学机械工程学院 本科学历 从事: 汽车白车身结构设计 邮箱: chenqiang370818@163.com