

汽车轻量化技术 及其在商用车上的应用

孙振兴, 孙超

中国重汽集团济宁商用车有限公司 山东济宁 272000

摘要: 就汽车轻量化技术及其在商用车上的应用进行了分析, 期望能够为现代汽车工业的可持续发展以及环境保护工作的开展, 提供科学的技术参考依据。

关键词: 轻量化; 汽车; 商用车; 应用

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.z1.013

商用车需要在保证安全性和稳定性的前提下承载更多货物, 而车辆整备质量的减轻并不意味着载重能力的下降, 通过轻量化技术的优化设计, 商用车可以在不牺牲载重能力的前提下提升燃油效率, 并保证其安全性和耐用性。

汽车轻量化技术概述

轻量化技术旨在确保汽车性能和安全标准的同时, 通过应用新型材料、改良工艺以及改进设计等方法, 实现汽车整备质量的减轻, 从而提高燃油效率、降低排放、提升性能及改善操控性。

在材料选择方面, 汽车制造业正在越来越多地采用高强度钢、铝合金、镁合金以及碳纤维复合材料等轻质材料, 这些材料不仅质量轻, 而且具有较高的强

度和耐久性, 能够满足汽车的安全标准。在结构设计方面, 通过优化车身和零部件的结构, 可以实现材料的更合理使用, 从而降低车辆整备质量。比较常见的就是采用一体化成型技术可以减少零部件的数量, 简化装配过程, 同时减轻质量。在制造工艺方面, 先进的焊接、连接和成型技术也被广泛应用于汽车轻量化。

尽管汽车轻量化带来了诸多好处, 但在实际应用中 also 面临着一些挑战。比如, 新材料的成本通常较高, 需要通过规模化生产和技术创新来降低成本, 而且不同材料之间的连接和兼容性问题也需要解决, 以确保汽车的整体性能和安全性, 尤其是要注意轻量化设计还需要考虑汽车的耐撞性、疲劳寿命和腐蚀防护等因素^[1]。

汽车轻量化的重要性

1. 提升燃油效率

燃油效率，是指汽车在行驶过程中每单位燃油所能行驶的距离，是衡量汽车经济性的重要指标。商用车的燃油消耗量远高于乘用车，尤其是在长途运输和物流配送中，燃油成本至少占其运营总成本的30%，轻量化技术通过减少车辆自身质量，可以直接降低燃油消耗，从而提升燃油效率。研究表明，汽车整备质量每减少10%，燃油效率可提升6%~8%^[2]。对于商用车而言，轻量化的经济效益更加显著，特别是在长途运输和密集运输场景中，轻量化技术的应用可以大幅降低运营成本，提升企业的市场竞争力。

2. 降低碳排放

碳排放是全球气候变化的主要驱动力之一，而交通运输行业是碳排放的一种主要来源，商用车的碳排放量在交通运输行业中占比较高，尤其是在重型载货汽车等大型商用车的使用中，碳排放问题尤为突出。

轻量化技术通过减少车辆整备质量和降低燃油消耗，可以直接减少二氧化碳和其他污染物的排放，从而为实现全球碳中和的目标做出贡献。同时，轻量化技术的应用还可以为新能源商用车的发展提供支持，从而进一步降低碳排放。

3. 提高载重能力

商用车需要在保证安全性和稳定性的前提下，承载更多的货物，而总体质量的减轻并不意味着载重能力的下降。通过轻量化技术的优化设计，商用车可以在不牺牲载重能力的情况下提升燃油效率。比如采用铝合金车身和轻量化底盘设计，可以有效减小质量，同时保持较高的载重能力，从而提升商用车的经济性和实用性。

4. 提升操控性和安全性

操控性是指车辆在行驶过程中的稳定性和灵活性；安全性是指车辆在碰撞或紧急情况下的保护能力。轻量化设计通过优化车身结构和材料强度，可以减少车辆在行驶过程中的惯性力，从而提升操控性，而且轻量化材料（如高强度钢和复合材料）具有较高

的抗冲击性能，可以在碰撞时有效吸收能量，减少对车内乘员的伤害，从而提升车辆的安全性，比如采用高强度钢和铝合金材料的车架和车身结构，可以在保证强度的同时降低整备质量，提升车辆的被动安全性能。

汽车轻量化技术在商用车上的应用

1. 材料轻量化

材料轻量化，指的是通过采用密度较低、强度较高的材料，在保证车辆性能和安全性的前提下，尽可能降低汽车的整备质量。对于需要承担重载任务的商用车来说，材料的选择直接影响到车辆的燃油效率、载重能力和整体性能。目前常用的轻量化材料主要有以下几种。

(1) 高强度钢 与传统钢材相比，高强度钢具有更高的屈服强度和抗拉强度，可以在保证结构强度的前提下减少材料的使用量，从而实现轻量化，高强度钢的密度虽然相对较高，但由于其出色的力学性能，通过优化设计可以有效使车辆轻量化，主要用于商用车的车身、底盘和悬挂系统等部件中。比如采用高强度钢制造的车架可以提供更好的扭转刚度和弯曲刚度，同时减小车架质量，从而提升车辆的操控性能和燃油效率。

(2) 铝合金 其密度约为钢材的1/3，具有良好的耐腐蚀性和较高的强度，常用于商用车的车身、轮毂、发动机罩和悬挂系统等部件，目前市场上已经有某些商用车制造商推出全铝车身的卡车和客车，这些车辆在轻量化方面表现出色，燃油效率显著提升，比如铝合金轮毂则可以减轻轮毂的质量，降低转动惯量，从而提高车辆的加速性能和操控性^[3]。

(3) 镁合金 其密度仅为铝合金的一半左右，具有极高的轻量化潜力，主要应用在内饰件、座椅骨架以及发动机部件等，由于镁合金具有良好的减振性能和较低的热导率，可以有效降低车辆的噪声和振动，提升乘坐舒适性。

(4) 复合材料 尤其是碳纤维增强复合材料（CFRP），因其极高的强度质量比和良好的抗疲劳性能，成为汽车轻量化领域的研究热点，CFRP的密度仅为钢的1/5，但强度却可以达到钢的数倍，因此在实现

轻量化方面具有巨大潜力。在商用车上，复合材料可以应用于车身、车架和内饰等部件，比如某些高端客车和卡车已经开始采用CFRP车身，以实现轻量化和提升燃油效率。

2. 结构优化设计

结构优化设计主要是通过利用先进的设计方法和工具，可以在确保车辆性能和安全性的前提下，实现结构的轻量化。

(1) 计算机辅助工程 (CAE) CAE 软件通过计算机仿真和分析，可以帮助工程师在设计阶段就对车辆结构进行优化，从而在保证性能和安全性的前提下减少材料使用量，比如有限元分析 (FEA) 可以用于分析车架、底盘和车身等关键部件在不同工况下的应力分布和变形情况，识别出结构中的薄弱环节和冗余部分，通过优化设计，减少这些部位的材料使用量，从而实现轻量化；或者是结构动力学分析，其主要用于评估车辆在动态工况下的性能，如振动、冲击和疲劳等，对于商用车而言，由于其经常在复杂的路况下行驶，结构动力学分析尤为重要，通过优化结构设计，可以减少振动和冲击对车辆的影响，提高车辆的稳定性和舒适性，同时减少材料的使用量^[4]。

(2) 模块化设计 指将车辆的各功能部件设计成独立的模块，这些模块可以单独制造和装配，从而提高设计和生产的灵活性，该设计方法可以最大程度上减少冗余结构。比如，可以将车架、车身、底盘、动力系统以及悬架系统等关键部件分解成多个模块，每个模块都有明确的功能和接口标准，通过标准化和通用化的设计，可以减少不同车型之间的重复设计和制造工作，从而降低成本和实现轻量化，或者是通过优化连接方式和组装工艺，可以进一步减轻车辆的质量，比如采用轻量化材料的连接件和紧固件，可以减轻连接部位的质量。

3. 制造工艺优化

通过采用先进的制造工艺，可以在保证车辆性能和安全性的前提下，实现结构的轻量化和材料的高效利用。

(1) 激光焊接技术 该技术具有高精度、高效率及低热影响区的特点。在实际应用中，可以实现微米

级的焊接精度，减少焊接变形和翘曲，极大地提高了焊接的准确性和一致性，提高车辆的结构强度和刚度，比较常见的就是通过激光焊接技术连接铝合金车身部件，可以精确控制焊接路径和焊接能量，确保焊接接头的质量，避免在焊接过程中出现裂纹和气孔，确保焊接接头的质量，而且激光焊接通过短时间和高能量密度的焊接过程，可以将热影响区控制在一个非常小的范围内，从而减少对焊缝周围材料的热影响。这不仅提高了焊接接头的强度和韧性，还减少了焊接后的热处理工艺，简化了生产流程。相比传统的焊接方法，如 TIG 焊接和 MIG 焊接，激光焊接的速度可以提高数倍，大大缩短了生产时间。这对于大规模生产铝合金车身部件的汽车制造商来说，具有重要的经济价值。

(2) 液压成型技术 该技术主要是通过高压液体迫使金属材料在模具中成形，可以实现复杂的几何形状和薄壁结构，一方面可以实现传统冲压工艺难以实现的复杂形状和薄壁结构，另一方面可以实现更薄的材料厚度，同时保持结构的强度和刚度，比如在液压成型车架部件时，可以采用更薄的钢板，而传统的冲压工艺在成形过程中容易产生材料的不均匀变形和局部应力集中，导致薄壁结构的成形质量较差，液压成型技术则可以通过均匀的高压液体压力确保材料在整个成形过程中的受力均匀，减少了局部的应力集中和材料的不均匀变形，钢板在成形过程中不会出现开裂、变形等质量问题，从而保证了成形后的车架部件具有良好的力学性能，并减小车架的质量，提高燃油效率，而且采用液压成型技术成形的车架部件，总体质量可以减轻至少10%，这对于大型载货汽车和专用车辆来说，可以显著提升其经济性和市场竞争力^[5]。

(3) 3D 打印技术 该技术主要是通过逐层堆积材料实现复杂结构的制造，在实际应用中可以发现，3D打印技术能够实现传统制造工艺难以实现的复杂结构和内部支撑结构。这对于商用车的轻量化设计非常重要，因为复杂的内部结构可以优化材料的分布，减少材料的使用量。比较常见的就是通过3D打印技术制造的悬挂系统部件，包括悬挂系统的连杆、弹簧座和减振器外壳等部件，传统的悬挂系统部件开发需要经过设计、模具制造、试制和测试等多个环节，周期较长，通过3D打印技术则可以实现内部加强筋、蜂窝

(下转第54页)



a) 工位全貌



b) 工位细节

图8 视觉自动检测工位

制造自主正向开发能力，掌握了先进高柔性化的汽车智能制造开发的核心技术，彻底突破了传统的经验设计、逆向设计和委外设计的被动局面，引领并显著促进了我国整车智能制造高柔性化正向开发设计的行业科技进步。

2) 缩短项目开发周期。利用高柔性化汽车智能制造开发技术，可自主控制整车产线开发周期，避免了委外设计周期长及商务流程多的影响。在先进的智能制造技术的支持下，具备在轻型商用车产线开发早期优选设计方案，保证产线设计稳健性及可靠性的能力，减少后期产线验证周期。研发成果将轻型商用车产线开发周期缩短了10个月，助力轻型商用车产线开发周期缩短为7个月，提高了产品的市场竞争力。

3) 贡献国家双碳战略。高柔性化智能制造产线关键技术支撑整车工厂能耗和VOC排放均下降50%，节能减排效果显著，助力国家“双碳”目标实现。有利于持续增强我国汽车行业智能制造的国际竞争力，引导企业绿色低碳发展，节能减排，构建可持续发展的国内/国际双循环，助力我国制造业强国梦。同时项目研究将培养一批智能制造设计开发专业人才，为我国汽车行业智能制造发展提供人才支持。 **AUTO1950**

(上接第50页)

状结构和多孔结构的设计，从而优化结构的强度和刚度，减少材料的使用量。而且3D打印技术可以使用多种材料，包括金属、塑料、复合材料等，为轻量化设计提供了更多的选择，不同的材料具有不同的性能特点，可以根据具体的应用需求选择最合适的材料，比如采用轻质金属材料3D打印的发动机部件，可以实现更高的强度和更轻的质量，或者通过3D打印技术制造的专用车辆部件，可以快速满足客户的定制需求，提高市场竞争力^[6]。

结语

综上所述，商用车能耗较大，通过轻量化技术的设计与应用可以显著降低车辆整备质量，燃油效率也会因此上升且操控性更好，在行驶过程中的安全性更高。因此，还需要广大汽车工业参与者积极引入轻量化技术，并将其落实到商用车的生产过程中，从而可以全面提高商用车性能，在降低运营成本的同时，还

可以为环境保护和可持续发展做出贡献。

参考文献:

- [1] 张家辉, 王峰. 汽车轻量化技术对整车动力性能提升的影响研究[J]. 内燃机工程, 2024, 45 (6) : 7.
- [2] 桂衍旭, 王一凌, 王承鑫, 等. 车身轻量化技术在现代汽车设计中的应用研究[J]. 汽车维修与保养, 2024 (11) : 49-50.
- [3] 韩秋生, 姚庆泰, 王子国, 等. 汽车轻量化机械连接工艺技术研究[J]. 汽车工艺与材料, 2024 (9) : 7-11.
- [4] 黄其高. 浅析我国汽车轻量化技术[J]. 汽车维修技师, 2024 (14) : 121-123.
- [5] 苏英霞, 陈鑫, 乔蒙, 等. 汽车天然纤维复合材料轻量化技术[J]. 塑料, 2024, 53 (5) : 24-27.
- [6] 朱季晨, 邱凌. 第十七届汽车轻量化大会今在扬开幕[N]. 扬州日报, 2024-10-09 (2). **AUTO1950**