

商用车零部件轻量化设计与材料应用研究

闫鑫 王亮亮 郝锦悦 连鑫琦

陕西华臻汽车零部件有限公司 陕西 西安 710200

摘要: 随着环保与节能需求的日益增强,商用车零部件轻量化设计成为行业关注的热点。本文深入探讨了商用车轻量化设计的目的、原则及方法,特别是材料优化选择的重要性。高强度钢、铝合金及碳纤维复合材料等轻质材料的应用显著减轻了车辆重量,提高了燃油经济性和安全性能。通过结构优化设计、工艺改进等手段,进一步推动了轻量化目标的实现。本文旨在为商用车轻量化设计提供理论支持与实践指导。

关键词: 商用车; 零部件; 轻量化设计; 材料应用

引言: 随着全球对环境保护和节能减排的日益重视,商用车轻量化设计成为了汽车工业发展的重要方向。轻量化设计不仅能够有效降低车辆自重,减少燃油消耗和排放,还能提升车辆的动力性、操控性和安全性。本文将从商用车零部件轻量化设计的目的、原则、方法以及材料应用等方面进行深入探讨。

1 商用车零部件轻量化设计的目的与原则

1.1 商用车零部件轻量化设计的目的

商用车零部件轻量化设计的主要目的可以归结为以下几个方面: (1) 降低油耗和排放。轻量化设计通过减轻车辆的整体重量,直接减少了燃油消耗和尾气排放。根据物理学原理,车辆在运动过程中需要克服自身的重力做功,因此减轻重量能够显著降低能耗。减少燃油消耗也意味着减少了二氧化碳等温室气体的排放,有利于环境保护和可持续发展。(2) 提升安全性能。轻量化设计并非简单地减少材料使用量,而是在保证车辆结构强度的前提下,通过优化设计和选用高性能材料来实现减重。这种设计方式不仅可以保持甚至提升车辆的整体安全性能,还能在碰撞等极端情况下提供更好的保护。例如,采用高强度钢材和铝合金等轻质材料,可以在保证车身结构刚性的同时,减轻车辆重量,提高安全性。(3) 提高操控性和舒适性。轻量化设计对车辆的操控性和舒适性也有显著影响。减轻车辆重量可以减少车辆在加速和制动过程中的惯性,使得车辆更加灵动,响应更加迅速。轻量化设计还能降低车辆行驶过程中的噪音和振动,提升驾乘的舒适性。这对于长途运输的商用车来说尤为重要,能够减轻驾驶员的疲劳程度,提高行车安全。(4) 延长使用寿命。合理的轻量化设计不仅可以减轻车辆重量,还能提高零部件的耐久性和可靠性。通过优化设计和选用高性能材料,可以减少零部件在使用过程中的磨损和腐蚀,延长其使用寿命。这对于商用车来

说尤为重要,因为商用车通常需要长时间、高强度的运行,对零部件的耐久性和可靠性要求更高。

1.2 商用车零部件轻量化设计的原则

在实现商用车零部件轻量化设计的过程中,需要遵循以下基本原则: (1) 安全性原则。轻量化设计不应以牺牲车辆安全性能为代价。无论采用何种轻量化技术和材料,都必须确保车辆在各种工况下的结构强度和碰撞安全性。这要求设计师在进行轻量化设计时,要充分考虑车辆的整体结构、材料性能和制造工艺等因素,确保轻量化后的车辆仍然能够满足国家和行业的相关安全标准。(2) 可靠性原则。轻量化设计应保证零部件在各种极端工况下的可靠运行。商用车通常需要面对复杂的道路环境和恶劣的天气条件,因此轻量化设计必须考虑零部件在这些极端条件下的耐久性和稳定性。这要求设计师在选用材料和制定制造工艺时,要充分考虑材料的抗疲劳性能、耐腐蚀性能以及制造工艺的稳定性和一致性等因素。(3) 经济性原则。轻量化设计应考虑成本效益。虽然轻量化设计可以带来诸多优势,但也需要投入相应的成本^[1]。在进行轻量化设计时,需要综合考虑材料成本、制造成本以及轻量化带来的能耗降低、维护成本减少等长期效益。只有在确保经济效益的前提下,轻量化设计才能得到广泛的应用和推广。(4) 环保性原则。轻量化材料应具有良好的可回收性和再利用性。在商用车零部件的轻量化设计中,应优先考虑使用环保材料,如可回收的铝合金、高强度钢材等。同时,在设计过程中还应考虑零部件的拆卸和回收便利性,以减少对环境的污染。这符合可持续发展的理念,也是未来汽车工业发展的重要趋势。

2 商用车零部件轻量化设计的方法

2.1 结构的优化设计

(1) 拓扑优化。作为结构优化设计的先进技术,其

核心理念在于“去除多余，保留精华”。这一技术利用计算机仿真手段，对零部件的结构进行深入分析，识别并去除那些对整体性能贡献不大或冗余的材料部分，从而实现结构的精简和重量的降低。拓扑优化的过程是一个迭代计算的过程，它需要在保证零部件强度、刚度等关键性能指标的前提下，不断寻找材料分布的最优解。这种方法的应用，不仅带来了显著的轻量化效果，还往往能带来产品性能的意外提升，因为优化后的结构往往更加符合力学原理，减少了不必要的应力集中和能量损耗。（2）尺寸优化。从另一个维度——零部件的具体尺寸入手，追求轻量化与性能的完美平衡。它通过对零部件的截面尺寸、壁厚等参数进行精细调整，确保每一毫米的材料都能发挥其最大的效用。这一过程需要依赖先进的计算方法和丰富的工程经验，既要考虑材料的力学性能，又要兼顾制造工艺的限制和成本控制。尺寸优化的成功实施，往往能够在不显著改变产品外观和整体设计的前提下，实现重量的有效减轻，是轻量化设计中不可或缺的一环。（3）形状优化。从美学的角度出发，探索如何通过改变零部件的形状来达到轻量化的目的。流线型设计，作为形状优化的代表，不仅能够减少风阻，提高能效，还能在一定程度上减轻重量。在商用车的设计中，通过优化车身线条，使其更加流畅，减少空气阻力，同时采用更加轻盈的车轮形状设计，既美观又实用，是实现轻量化与性能提升的双重目标。形状优化的关键在于创新设计与工程实践的紧密结合，既要满足审美需求，又要确保结构的合理性和制造的可行性。（4）集成化设计。从系统层面出发，通过整合多个零部件，减少连接件的使用，实现整体结构的简化和重量的降低。这种设计理念强调“少即是多”，通过减少部件数量，不仅减轻了重量，还提高了结构的整体性和可靠性^[2]。集成化设计的实施，需要对产品的功能、制造工艺、装配工艺等多方面因素进行综合考虑，确保优化后的结构既轻便又实用。在汽车行业中，集成化设计的应用尤为广泛，如发动机与变速箱的集成、底盘模块的集成等，都是轻量化设计的重要实践。

2.2 工艺的改进与创新

工艺的改进也是轻量化设计的重要环节。通过采用先进的制造技术、表面处理技术和精密加工技术，可以进一步降低零部件的重量并提高制造效率。（1）先进制造技术的应用。激光焊接、搅拌摩擦焊等先进焊接技术可以降低焊缝数量和重量。这些技术具有高效、精确、环保等优点，可以在保证焊接质量的前提下，实现焊缝的最小化和轻量化。（2）表面处理技术的革新。通过先

进的表面处理技术，如烤漆技术的改进，可以减少涂层厚度并降低零部件重量。这些技术还可以提高零部件的耐腐蚀性和美观度。（3）精密加工技术的推广。采用精密加工技术可以提高零部件的加工精度和表面质量，从而减少材料浪费并实现轻量化。精密加工技术包括数控机床加工、精密铸造、精密锻造等，这些技术可以确保零部件的尺寸和形状精度，提高材料利用率。

3 商用车零部件轻量化材料应用研究

3.1 高强度钢的应用

高强度钢因其出色的力学性能和相对较低的成本，在商用车轻量化设计中得到了广泛应用。这类钢材通过提高屈服强度和抗拉强度，能够在保持结构强度的同时，实现零部件的轻量化。HSLA钢（高强度低合金钢）作为一种典型的高强度钢，因其优异的力学性能和良好的加工性能，在商用车轻量化设计中逐渐替代了传统的普通低碳钢。使用HSLA钢制造的零部件，如车架、横梁等，能够在保持相同结构强度的前提下，显著降低重量，从而提升车辆的燃油经济性和操控性能。除了HSLA钢，还有其他类型的高强度钢也被广泛应用于商用车轻量化设计中。例如，BH钢（烘烤硬化钢）通过特殊的热处理工艺，能够在烘烤过程中进一步提高强度，适用于需要较高强度和良好成形性的零部件。而Q&P钢（淬火配分钢）则通过淬火和配分处理，实现了高强度和良好的韧性，适用于承受较高应力和冲击的零部件。在商用车轻量化设计中，高强度钢的应用不仅局限于单一的钢材类型。通过合理的材料搭配和结构设计，可以实现多种高强度钢的复合应用，进一步提升轻量化效果。例如，可以将HSLA钢与其他类型的高强度钢进行焊接或拼接，形成复合结构，既保证了结构的强度，又实现了轻量化的目标。此外，热处理、冷加工等工艺手段也是提高高强度钢强度、实现轻量化的有效途径。通过热处理工艺，如退火、正火、淬火等，可以消除钢材内部的应力，提高强度和韧性^[3]。而冷加工工艺，如冷轧、冷拔等，则可以通过塑性变形进一步提高钢材的强度。这些工艺手段的应用，为高强度钢在商用车轻量化设计中的应用提供了更多的可能性。

3.2 铝合金的应用

铝合金因其密度低、重量轻、耐腐蚀性好等优点，在商用车轻量化设计中占据重要地位。与钢材相比，铝合金的密度仅为钢材的三分之一左右，因此使用铝合金制造的零部件能够显著减轻车辆的自重。在商用车中，铝合金主要应用于车身、车轮、发动机罩等部件。例如，采用铝合金车轮可以显著减轻整车重量，同时提高

车轮的散热性能和耐腐蚀性。与传统的钢制车轮相比,铝合金车轮不仅重量更轻,而且具有更好的外观和更长的使用寿命。然而,铝合金在商用车轻量化设计中的应用也面临一些挑战。(1)铝合金的成型难度相对较大,需要采用特殊的成型工艺和设备。(2)铝合金的焊接性能较差,需要使用特殊的焊接技术和材料。此外,铝合金的成本相对较高,也在一定程度上限制了其在商用车领域的广泛应用。为了克服这些挑战,研究人员正在不断探索新的铝合金材料和成型工艺。例如,通过开发新型铝合金材料,提高材料的强度和韧性,降低成型难度和成本。也在研究新的焊接技术和连接方法,以提高铝合金零部件的连接强度和可靠性。

3.3 碳纤维复合材料的应用

碳纤维复合材料作为一种高性能材料,以其优异的物理、力学性能,在商用车零部件轻量化设计中得到了广泛应用。碳纤维具有极高的比强度和比模量,这意味着在相同承载条件下,使用碳纤维复合材料的零部件可以显著减轻重量,这对于追求燃油经济性和排放控制的商用车来说,无疑具有巨大的吸引力。在商用车车身结构件方面,碳纤维复合材料的应用尤为突出。通过采用碳纤维复合材料制造车架、车顶、车门等关键部件,不仅能够有效减轻车身重量,还能提高整车的刚性和抗撞性能。碳纤维的高耐疲劳性和耐冲击性,使得车身在复杂多变的道路条件下依然能够保持稳定和安全。此外,碳纤维复合材料在底盘部件的轻量化中也发挥了重要作用^[4]。例如,发动机底座、变速器壳体等部件采用碳纤维复合材料制造后,不仅减轻了重量,还优化了部件的散热性能和动态响应特性,提升了整车的驾驶舒适性和操控稳定性。碳纤维复合材料在商用车座椅设计中的应用也取得了显著成效,通过采用碳纤维复合材料制造座椅骨架,不仅减轻了座椅重量,还提高了座椅的支撑性和舒适度,为驾驶员和乘客提供了更加愉悦的乘坐体验。

3.4 其他轻质材料的应用

除了高强度钢、铝合金和碳纤维复合材料外,镁合金、钛合金、塑料及复合材料等也在不同程度上应用于商用车轻量化设计中。这些材料各有优缺点,需要根据具体的应用场景和成本效益进行选择。镁合金具有密度低、比强度高优点,在商用车轻量化设计中具有一定的应用潜力。然而,镁合金的耐腐蚀性和耐热性较差,需要通过表面处理和合金化等方法进行改进。钛合金则具有优异的耐腐蚀性和高温性能,但成本较高,主要应用于一些高端商用车或特殊工况下的零部件。塑料及复合材料在商用车轻量化设计中也发挥着重要作用。这类材料具有重量轻、加工性能好等优点,适用于一些形状复杂、加工难度大的零部件。例如,可以采用塑料注塑成型技术制造一些车内外件,既保证了外观质量,又实现了轻量化。一些复合材料如玻璃纤维增强塑料(GFRP)等也在商用车零部件中得到了应用。

结语

综上所述,商用车零部件轻量化材料的应用研究是一个涉及多种材料和技术的复杂过程。通过合理选择和应用高强度钢、铝合金、碳纤维复合材料以及其他轻质材料,在保证车辆结构强度和性能的前提下,实现显著的轻量化效果。未来,随着新材料、新技术的不断涌现和应用成本的逐步降低,商用车轻量化设计将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]吴兵舰,张东凯,王斐.某汽车动力总成悬置支架的轻量化设计[J].长安大学学报(自然科学版),2023,43(3):134-144.
- [2]柴灏,黄仪,张征,等.基于响应面法的多材料优化模型与应用[J].计算机集成制造系统,2020,26(7):1824-1830.
- [3]田欢乐,胡洪,陈海,等.超高强度钢在汽车底盘零部件中的设计应用[J].汽车实用技术,2020(7):58-61,86.
- [4]高丰岭,王雪颖,战楠,等.碳纤维复合材料车用结构设计及仿真研究综述[J].汽车科技,2020(2):74-80.