轻量化材料在底盘结构件设计中的应用研究

石海鹏

敏实汽车技术研发有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 随着汽车工业对能效与环保要求的日益提升,轻量化材料在底盘结构件设计中的应用成为关键研究领域。本文深入探讨了轻量化材料的分类与特性,包括铝合金、镁合金、高强度钢及复合材料等,并分析了这些材料在底盘设计中的应用历史和发展趋势。研究重点聚焦于轻量化材料对底盘性能的影响,如操纵稳定性、安全性能以及经济性和环保性的提升。通过结构优化、工艺改进及集成化模块化设计策略,本文揭示了轻量化底盘设计的优化路径,为汽车工业提供了实现节能减排与高性能目标的科学依据与实践指导。

关键词: 轻量化材料; 底盘结构件设计; 应用

引言: 随着全球能源危机与环境问题的日益严峻,汽车工业正面临着前所未有的挑战,轻量化设计成为提升车辆能效、减少排放的重要手段。底盘作为汽车的关键部件,其结构件设计直接关系到车辆的操控性、安全性和舒适性。因此,探索轻量化材料在底盘结构件设计中的应用,不仅能够显著降低车辆重量,提升燃油经济性,还能为新能源汽车的续航里程提供有力保障。本研究旨在综合分析各类轻量化材料的性能特点,探讨其在底盘结构件设计中的优化策略,为推动汽车工业的可持续发展贡献力量。

1 轻量化材料概述

在现代工业中,轻量化材料已经成为提升产品性能、降低能耗的重要手段,尤其在汽车工业中,其应用更为广泛。(1) 轻质合金: 主要包括铝合金和镁合金等。铝合金密度低、强度高、耐腐蚀,且易于加工和回收,因此被广泛应用于汽车的车身、车轮、发动机等部件。镁合金则以其极低的密度和优异的可塑性及可锻性,在座椅骨架、仪表盘、方向盘等部件的制造中展现出独特优势。(2) 高强度钢与先进高强钢: 这类材料具有极高的强度和刚性,可以在保证安全的前提下实现轻量化设计。其中,TRIP钢(相变诱发塑性钢)以其优异的强度和韧性,在汽车碰撞安全中发挥着重要作用。它们被广泛用于汽车的框架、防撞梁等关键部位,以提升整车的碰撞安全性能。(3) 复合材料及新型材料: 复合材料,如碳纤维增强塑料(CFRP),具有高强度、轻质化、设计灵活等特点,是实现更轻量化车身设计的新选择。新型材料如石墨烯、陶瓷基复合材料等,也在不断探索和研究中,为汽车工业提供更广阔的材料选择空间。

2 轻量化材料在底盘结构件设计中的具体应用

2.1 轻质合金的应用

(1) 铝合金在底盘悬架、车架等部位的应用案例及其优缺点。铝合金以其密度低、强度高、耐腐蚀性好等特性,成为底盘结构件设计的优选材料。在底盘悬架系统中,铝合金常被用于制造控制臂、转向节等关键部件。例如,宝马X5的底盘悬架系统就采用了铝合金材质,这一设计不仅大幅减轻了重量,还保持了车辆优异的操控性能和舒适性。铝合金的优点在于其良好的综合性能,既轻便又坚固,同时具有较好的耐腐蚀性。然而,铝合金的缺点也不容忽视,其成本相对较高,且在高温环境下的性能可能会有所下降。尽管如此,其在汽车制造中的应用仍然十分广泛,特别是在车架制造方面,通过优化结构设计,可以在确保安全性的同时,大幅降低整车重量,从而提升燃油效率或延长电动汽车的续航里程^[1]。(2) 镁合金在底盘部件中的潜力、挑战及应用实例。镁合金作为一种密度更低、强度和刚度相对较高的轻质合金,在底盘轻量化设计中具有显著优势。然而,镁合金的耐腐蚀性较差,容易受到环境因素的侵蚀,这限制了其在某些恶劣环境下的应用。此外,镁合金的加工难度较大,需要采用特殊的加工工艺和设备,这也增加了其应用成本。尽管如此,随着材料科学和加工技术的不断进步,镁合金在底盘部件中的应用正在逐步扩大。例如,部分高端车型的座椅骨架、方向盘等部件已经开始采用镁合金材质,这些应用不仅实现了显著的轻量化效果,还提升了车辆的整体性能。

2.2 高强度钢与TRIP钢的应用

(1) 高强度钢在底盘结构强化中的作用及其优缺点。高强度钢,凭借其卓越的强度与高韧性,在汽车制造领域占据了举足轻重的地位。在底盘结构强化方面,高强度钢被广泛应用于制造横梁、纵梁、防撞梁等关键部件。这些部件需承受来自路面的巨大冲击与振动,因

此必须具备足够的强度和刚性,以确保车辆的安全性和行驶稳定性。高强度钢的高强度特性,使得其能在保证安全的前提下,有效减轻部件重量,进而提升底盘的整体性能。然而,高强度钢的缺点在于其加工难度较大,对焊接和成型工艺有较高要求。(2) TRIP钢在底盘设计中的应用实例、效果分析及其优缺点。TRIP钢(相变诱导塑性钢),作为一种具备优异力学性能和耐腐蚀性能的新型高强度钢材,在底盘设计中展现出独特的优势。其出色的稳定性和强度,使其成为制造B柱加强板、前纵梁等复杂结构件的理想材料。在碰撞事故发生时,这些部件需吸收大量能量以保护乘客安全。TRIP钢的高塑性和高强度,使其在碰撞过程中能发生可控的塑性变形,有效吸收冲击能量,同时保持结构的完整性。此外,其卓越的耐腐蚀性能,使得车辆能在恶劣驾驶环境中保持较长使用寿命^[2]。然而,TRIP钢的成本相对较高,且加工过程需严格控制,以确保其性能的充分发挥。一些高端车型已在底盘设计中采用TRIP钢,取得了显著提升车辆安全性和整体性能的效果。

2.3 复合材料及其他新型材料的应用探索

(1) 复合材料的性能特点、底盘设计适应性及其优缺点。复合材料,作为一类由两种或两种以上不同性质材料组合而成的新材料,其独特的性能特点使其在底盘设计中展现出广泛的应用前景。复合材料密度低、高强度、高刚度以及优异的耐腐蚀性,使其成为底盘轻量化和强化设计的理想选择。通过定制设计,复合材料可以精确满足底盘结构和造型的多样化需求。在越野车底盘设计中,复合材料的应用尤为突出。例如,采用复合材料制造的底盘框架和悬挂系统组件,不仅大幅减轻了重量,还提高了悬挂系统的响应速度和耐久性。然而,复合材料的成本相对较高,且其加工和回收过程也较为复杂,这在一定程度上限制了其广泛应用。(2) 新型材料(如三聚磷酸铝)在底盘防腐保护中的应用实例、效果及优缺点。随着新型材料的不断涌现,底盘防腐保护领域也迎来了新的发展机遇。三聚磷酸铝作为一种具有卓越抗腐蚀性能的新型材料,其稳定的分子结构为底盘系统提供了持久的保护。通过将三聚磷酸铝应用于底盘涂层中,可以显著提升涂层的耐腐蚀性能,从而延长底盘的使用寿命。一些高端车型已经开始在底盘防腐保护中采用三聚磷酸铝等新型材料,并取得了显著效果。然而,新型材料的研发和应用成本较高,且其长期性能和环境适应性仍需进一步验证。尽管如此,随着技术的不断进步和成本的逐步降低,新型材料在底盘防腐保护中的应用前景仍然广阔。

3 轻量化材料对底盘性能的影响分析

3.1 对操纵稳定性的影响

(1) 轻量化材料如何改善底盘的动态响应。轻量化材料的应用显著降低了底盘的总质量,从而减少了车辆在行驶过程中的惯性阻力。这意味着车辆在加速、制动和转向等动态操作中的响应速度更快,驾驶员能够更加准确地控制车辆的行驶轨迹。此外,轻量化底盘的弹簧和减震器系统所承受的负载也相应减小,使得悬挂系统的响应更加灵敏,提高了车辆的操控稳定性。(2) 实例分析轻量化底盘在操控性方面的优势。以某款采用轻量化底盘的跑车为例,其通过采用铝合金和碳纤维复合材料等轻量化材料,成功地将底盘质量降低了近30%。在实际驾驶中,该车的加速性能、制动性能和转向精准度都得到了显著提升,使驾驶员能够更加轻松地应对复杂的路况和高速驾驶场景。

3.2 对安全性能的影响

(1) 轻量化材料在碰撞安全中的作用。轻量化材料虽然密度低,但并不意味着牺牲安全性。相反,通过合理的结构设计和材料选择,轻量化底盘在碰撞中能够吸收更多的能量,保护乘员免受伤害。例如,高强度钢和TRIP钢等先进材料的应用,使得底盘在受到冲击时能够保持结构的完整性和稳定性,有效分散和吸收碰撞能量。(2) 底盘结构强化与乘员保护策略。轻量化底盘的设计还注重结构强化和乘员保护策略的实施。通过采用先进的焊接、连接和复合材料成型技术,底盘的强度和刚度得到了显著提升。同时,配合主动和被动安全系统的集成,如气囊、预紧式安全带和碰撞预警系统等,进一步提高了车辆在碰撞中的乘员保护能力^[1]。

3.3 对经济性与环保性的贡献

(1) 轻量化对燃油消耗与排放的降低作用。轻量化底盘的应用有效降低了汽车的整备质量,从而减少了燃油消耗和排放。根据研究,汽车质量每降低10%,燃油经济性可提高约6%-8%。这意味着轻量化底盘的汽车在行驶相同距离时,消耗的燃油更少,排放的污染物也更少。

(2) 轻量化材料在新能源汽车中的环保效益。在新能源汽车领域,轻量化材料的应用更是具有重要意义。轻量化底盘可以降低新能源汽车的电池负载和能耗,延长续航里程。同时,轻量化材料的使用还减少了原材料消耗和废弃物产生,符合可持续发展的理念。因此,轻量化材料在新能源汽车中的广泛应用,不仅提升了车辆的性能和经济性,还为实现绿色出行和环境保护做出了积极贡献。

4 底盘结构件轻量化设计的优化策略

4.1 结构优化方法

(1) 尺寸优化与形状优化技术。尺寸优化和形状优化是底盘结构件轻量化设计的重要手段。尺寸优化通过对结构件的尺寸参数进行调整,以达到在满足性能要求的前提下减轻重量的目标。这通常涉及对厚度、长度、宽度等尺寸参数的精确计算和优化。形状优化则更注重结构件的几何形态设计,通过改变其形状来提高强度和刚度,同时减少材料的使用量。例如,通过优化底盘横梁的截面形状,可以在不牺牲其承载能力的情况下减轻其重量。(2) 空心结构与多材料混合设计策略。空心结构设计是底盘轻量化设计的另一种有效方法。通过将实心结构改为空心结构,可以在保证结构强度的同时大幅度减轻重量。此外,多材料混合设计策略也是当前底盘轻量化设计的一大趋势。通过结合不同材料的优点,如高强度钢的高强度、铝合金的轻质、碳纤维复合材料的高强度和低重量等,可以实现材料性能的最大化利用。例如,在底盘的关键受力部位使用高强度钢,而在非关键部位则采用铝合金或碳纤维复合材料等轻质材料,以达到最佳的轻量化效果。

4.2 工艺优化与制造技术

(1) 热成形、液压成形等先进制造技术的应用。热成形和液压成形等先进制造技术是实现底盘轻量化设计的重要工具。热成形技术通过高温下对高强度钢板进行冲压成形,可以显著提高零件的强度和韧性,同时降低零件的重量。液压成形技术则利用高压液体对管材进行成形加工,可以制造出形状复杂、强度高且重量轻的底盘结构件。这些先进制造技术的应用不仅提高了生产效率,还降低了制造成本,推动了底盘轻量化设计的快速发展。(2) 绿色铸造与环保生产流程的实践。在底盘轻量化设计的制造过程中,绿色铸造和环保生产流程的实践也至关重要。通过采用低能耗、低排放的生产设备和工艺,如采用节能型感应炉、废气净化系统等,可以减少对环境的污染^[4]。同时,加强对生产废料的回收和再利用,降低资源消耗和废弃物产生,也是实现绿色铸造和环保生产流程的重要措施。

4.3 集成化与模块化设计

(1) 底盘系统的集成化设计趋势。随着汽车电子技术的快速发展和智能化水平的不断提升,底盘系统的集成化设计已成为当前汽车工业的一大趋势。通过将底盘的各个子系统(如制动系统、转向系统、悬挂系统等)进行高度集成,可以简化底盘结构,降低零件数量,从而实现轻量化设计。此外,集成化设计还可以提高底盘系统的可靠性和稳定性,提升车辆的整体性能。(2) 模块化设计在底盘轻量化中的应用与前景。模块化设计是底盘轻量化设计的另一种有效方法。通过将底盘分解为若干个相对独立的模块,可以实现对每个模块的独立设计和优化,从而达到轻量化设计的目标。同时,模块化设计还可以提高底盘的互换性和通用性,降低生产成本和维修成本。随着汽车工业的不断发展,模块化设计将在底盘轻量化设计中发挥越来越重要的作用,成为推动汽车工业可持续发展的有力支撑。

结束语

综上所述,轻量化材料在底盘结构件设计中的应用,不仅促进了汽车工业的技术革新,还为实现绿色出行和环境保护提供了重要途径。通过深入研究轻量化材料的性能特点与优化设计策略,我们有效提升了底盘的操纵稳定性、安全性能以及经济性和环保性。未来,随着新型轻量化材料的不断涌现和制造工艺的持续进步,底盘轻量化设计将拥有更加广阔的发展空间。我们期待轻量化技术能够为汽车工业的持续健康发展注入新的活力,共创更加节能、环保、高效的出行未来。

参考文献

- [1]王鲁斌.新能源汽车底盘布局优化设计研究[J].设备管理与维修,2020,(04):27-28.
- [2]史东杰,王智文,孙垒.汽车制动盘轻量化材料及技术途径简析[J].新材料产业,2020,(11):95-96.
- [3]张斯程.汽车底盘轻量化材料和工艺分析[J].时代汽车,2020,(13):96-97.
- [4]王帅.汽车轻量化现状和发展趋势分析[J].汽车实用技术,2022,(11):124-125.