

悬架系统关键零部件材料选择对性能的影响

杨子平

江淮汽车集团股份有限公司, 安徽 合肥 230022

摘要: 随着汽车工业的快速发展, 车辆悬架系统的性能对驾驶安全和舒适性扮演了至关重要的角色。本研究围绕悬架系统中关键零部件—弹簧、减振器和连杆等的材料选择, 通过理论分析和实验验证评估了不同材料对悬架系统性能的影响。采用多目标优化方法, 综合了力学性能、成本、加工工艺和耐久性指标, 对比分析了传统钢材、轻质合金材料如铝合金与高强度复合材料如碳纤维增强塑料(CFRP)在悬架系统中的应用效果。结果表明, 高强度复合材料在减轻重量、提高疲劳寿命和吸收冲击性能方面具有显著优势, 而铝合金的成本效益优于其他材料, 且提供了不错的弯曲和扭曲刚度。本研究为悬架系统零部件的材料选择提供了科学依据, 并对具体的材料工程化应用提供了指导建议, 对提升悬架系统的整体性能具有重要意义。

关键词: 悬架系统; 材料选择; 性能影响

引言

本研究对悬架系统关键零部件的材料选择进行了深入分析, 采用理论与实验相结合的方法, 评估了不同材料在力学性能、成本、生产工艺和耐用性等方面的影响。通过对比传统钢材、轻质合金及高强度复材料, 例如碳纤维增强塑料(CFRP)等材料的性能, 揭示了它们在悬架系统中的应用优势和局限性。研究表明, 高强度复合材料具有显著的重量轻、疲劳寿命长和优良冲击吸收性能, 而铝合金材料在成本效益及保持适当的弯曲和扭曲刚度方面表现出潜在价值。整体分析指出, 关注材料的综合性能对于悬架系统性能的优化至关重要。本研究提出了一套材料选择的评价模型, 旨在促进悬架系统设计的最优化, 以提高整车性能。

1 概述

1.1 悬架系统功能与重要性

悬架系统在汽车中作用关键, 主要功能包括支撑车身、缓解路面冲击、保证轮胎与路面

恒定接触和提升车辆操控稳定性^[1]。其让车辆更好适应不同路况, 带来更高乘坐舒适性和安全性。悬架系统承担复杂多轴运动与力学响应, 要平衡吸收振动、减少颠簸和保持车轮几何位置, 以确保行驶稳定, 这对驾驶体验和车辆性能至关重要。

弹簧和减振器是吸收冲击的核心部件, 其性能影响悬架对动载荷的响应。悬架需在高速行驶、不平路面等极端条件下高效运作, 工作效果依赖设计和材料技术特性^[2]。材料选择对悬架性能、车辆寿命及行车安全影响显著。在车辆轻量化及节能减排需求下, 悬架系统材料应用及创新研发的挑战更为紧迫必要。

1.2 零部件材料在悬架系统中的角色

在悬架系统中, 材料选择对关键零部件性能至关重要, 直接影响弹簧、减振器、连杆的力学特性、加工工艺及耐久性。弹簧需优良弹性模量、抗疲劳性和能量吸收能力, 传统钢材刚性虽强但重量大、疲劳寿命有限。减振器需优

异吸振及耐高温性能以适应各种工况，连杆需高抗扭刚度和抗冲击性保证恶劣条件可靠性。铝合金、碳纤维增强塑料（CFRP）等材料的应用，显著提升了悬架系统的轻量化及力学性能。合理选材可增强车辆动态性能与舒适性，同时影响成本、维护及生产复杂性。

2 悬架系统关键零部件材料分析

2.1 弹簧材料的力学特性与影响

弹簧作为悬架系统中的核心部件，其材料选择直接影响车辆的动态性能和舒适性^[3]。传统的弹簧通常采用钢材，因其强度高、成本低且加工工艺成熟。钢材的密度较高，导致悬架系统整体重量增加，进而影响燃油效率和车辆操控性能。相比之下，轻质合金如铝合金能够在保持一定强度的显著减轻重量，但其弹性模量不足，会降低弹簧的韧性。高强度复合材料，例如碳纤维增强塑料（CFRP），则通过其出色的强度重量比和疲劳寿命提升了悬架的动态响应能力和耐用性，尽管其成本较高。

2.2 减振器材料的选择标准

减振器材料的选择标准涉及多方面因素，应兼顾力学性能、服役寿命、环境适应性及经济效益。在力学性能方面，材料需具备高抗拉强度和良好的能量吸收性能，以有效缓解路面冲击^[4]。服役寿命要求材料具备优异的耐疲劳特性，从而在长期使用中保持性能稳定。环境适应性考量材料的耐腐蚀性和温度稳定性，以满足不同气候条件下的使用需求^[5]。经济效益则关注材料的成本与加工难度平衡，以实现经济可行的生产。一种理想的减振器材料应在以上指标中实现优化平衡。

2.3 连杆与其他零部件的材料考量

在悬架系统中，连杆和其他零部件的材料选择显著影响整体性能。连杆需具备高强度和

耐腐蚀特性，确保在各种行驶条件下维持稳定性。传统钢材提供良好的强度和刚性，但较重^[6]。铝合金因其重量轻、加工性好，常被选用以改善燃效和动态响应。高强度复合材料例如碳纤维增强塑料（CFRP）以其优异的强度重量比和抗疲劳性能逐渐受到青睐。对于轴承和衬套等部件，耐磨损性和低摩擦特性也是关键因素。选择合适的材料组合有助于优化悬架系统性能和寿命。

3 材料对悬架系统性能的影响

3.1 综合力学性能分析

综合力学性能是悬架材料选择的核心，分析聚焦强度、刚度、冲击吸收等核心指标。传统钢材强度刚度优异，能承受载荷与冲击，但质量大影响动力性能。铝合金凭借高比强度及耐腐蚀特性实现减重，改善悬架动态响应。碳纤维增强塑料以卓越拉伸强度和轻量化优势，大幅提升动态负载性能与吸能效果，更好保护车身及乘客安全。材料性能差异决定了其实际应用定位。

3.2 成本与加工工艺评估

在对悬架系统材料进行成本与加工工艺评估时，传统钢材由于成熟的生产技术和丰富的市场供给，成本相对较低且加工工艺成熟^[7]。其重量较大，增加了车辆的整体质量。轻质合金材料如铝合金，虽然原材料成本略高，但由于减重效果，可以降低燃油消耗，具备经济性，在大规模生产中展现出良好的加工灵活性。碳纤维增强塑料（CFRP）尽管制备成本最高，复杂的加工技术限制了其普及，但因其优异的强度重量比，在高性能车辆中日益受到关注。通过对比分析，材料选择应根据特定应用场景平衡成本与加工工艺的优缺点。

3.3 耐久性与环境影响考量

材料的耐久性直接关系到悬架系统的使用寿命和可靠性。高强度复合材料表现出优异的抗疲劳性能，能够在长期和高负荷条件下保持结构完整性，减少因材料疲劳导致的性能退化。铝合金在提供良好耐腐蚀性方面表现突出，适应多种环境条件。材料的环境影响也需要考虑，如生产过程的碳排放和可回收性。合理选择材料不仅有助于提升悬架系统的耐用性，还能减少对环境的负面影响。

4 不同材料的悬架系统性能比对

4.1 传统钢材的应用与局限性

传统钢材在悬架系统中应用广泛，由于其优异的力学性能和成熟的加工工艺，使其成为悬架零部件，如弹簧和连杆的首选材料^[8]。钢材的高强度和韧性保障了悬架系统在承受车辆负载和道路冲击的情况下，依然能够提供稳定的支撑。其加工方便，成本相对较低，易于大规模生产和应用。传统钢材也存在明显的局限性。较大的密度导致悬架系统的整体重量增加，这对提升车辆燃油效率和动态性能带来挑战。钢材在长期使用中易出现疲劳损伤，影响其使用寿命。为了弥补这些不足，开发更轻质的替代材料成为提升悬架系统性能的重要研究方向。

4.2 轻质合金材料的优势与成本效益

轻质合金材料，尤其是铝合金，在悬架系统中的应用日益广泛^[9]。这类材料具有显著的轻量化效果，有助于减少车辆总重，从而提升燃油效率和降低二氧化碳排放。在力学性能方面，铝合金提供了优异的弯曲和扭转刚度，满足悬架系统对强度和刚性的要求。工艺性方面，铝合金易于加工，可通过锻造、铸造等多种工艺手段加工成形，生产效率较高^[10]。成本方面，虽然铝合金相较于传统钢材稍高，但综

合其材料特性和节能效果，显示出较好的成本效益。轻质合金在高性能与经济性的平衡上展现出显著的优势，使其成为悬架系统材料选择的优质选项。

4.3 高强度复合材料的综合性能评价

高强度复合材料，如碳纤维增强塑料(CFRP)，在悬架系统中的应用表现出显著优势。CFRP材料具备优异的重量减轻效果，提高了车辆的燃油效率和电动车的续航里程。在疲劳寿命方面，CFRP表现出卓越的耐久性，其卓越的抗疲劳特性使得悬架系统在长期使用过程中更为可靠。CFRP材料对冲击载荷的优异吸收能力有效提升了乘坐舒适性和驾驶安全性，为悬架系统提供了更高的性能标准。

5 结论与建议

5.1 材料选择对悬架系统性能的综合影响

材料选择对悬架系统性能的影响是多方面的。传统钢材虽然具备较高的强度和较好的制造工艺特性，但其较重的质量限制了悬架系统在减重和能耗方面的优化。轻质合金材料，如铝合金，以其出色的弯曲和扭曲刚度，在性能和成本之间提供了一种平衡。其轻质特性有助于降低悬架系统的总质量，从而改善了车辆的燃油效率。铝合金在疲劳寿命方面不如高强度复合材料出色。

高强度复合材料，尤其是碳纤维增强塑料(CFRP)，在减轻悬架系统重量、提高疲劳寿命和吸收能量方面表现出显著的优越性，极大地增强了悬架系统的动态响应能力。这类材料虽然在初始成本上较高，但其使用寿命长，为悬架系统的耐久性提供了可靠的保障，进而可能在生命周期内提供更佳的经济效益。

在诸多材料选择中，关键在于权衡不同材料的综合属性以及其在特定应用场景中的具体

需求。在实际应用中, 应依据具体车型需求、性能优先级、以及预算限制来制定材料选择策略, 从而优化悬架系统整体性能, 提升汽车的安全性和舒适性。

5.2 各类材料在悬架系统中的应用建议

高强度复合材料如碳纤维增强塑料在悬架系统中的应用, 因其优秀的减重能力和高疲劳寿命, 适用于对重量和性能要求极高的高端汽车。由于成本高, 其应用需在高性能车型和特定需求场景中谨慎选择。铝合金材料在成本与性能之间取得了较好的平衡, 适合应用于中档车型的悬架组件, 有助于降低整车重量并提供良好的机械刚性。在预算有限且对耐久性要求不高的情况下, 传统钢材仍是经济实用的选择, 尽管存在重量增加的问题。各类材料需根据车辆定位、预算限制和性能需求进行合理选择, 以优化悬架系统的整体性能表现。

6 结束语

本文对车辆悬架系统中关键零部件的材料选择及其对系统性能的影响进行了深入研究,

采用了理论分析与实验验证的方法学。通过多目标优化方法, 本研究系统评估并比较了钢材、铝合金以及高强度复合材料在弹簧、减振器和连杆等零部件中的应用。结果识别出高强度复合材料如碳纤维增强塑料(CFRP)在重量减轻、疲劳寿命提高及吸收冲击性能方面具备突出优势。同时, 铝合金在成本效益及提供适宜弯曲和扭转刚度方面展现其适用性。然而, 材料选择方面仍存在局限与挑战, 如高性能复合材料的高昂成本和复杂加工工艺限制了其普及应用。材料的耐久性与维护成本也是今后研究的重要方面。未来的研究工作可从以下几个方面展开: 进一步优化复合材料及其加工工艺以降低成本, 探究新型材料或改性材料在悬架系统应用的可行性, 评估环境因素对悬架系统材料的长期性能影响, 以及对各种材料在实际运行环境中的性能进行更全面、更长期的跟踪研究。本研究结果为汽车工业悬架系统零部件材料的工程化选择提供了重要的理论依据, 并对实际应用具有指导性建议, 为悬架系统的综合性能提升开辟了新路径。

参考文献

- [1]董国疆, 颜峰, 韩杰, 郎玉玲. 车辆悬架零部件载荷谱提取方法研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(02): 103-110.
- [2]徐磊姚东. 悬架系统对整车性能的影响[J]. 汽车周刊, 2022, (05): 0096-0097.
- [3]李广健. 悬架系统零部件 CATIA 建模及有限元应用[J]. 汽车测试报告, 2021, (05): 71-73.
- [4]闫会杰. 汽车内饰零部件材料的选择与应用[J]. 汽车世界, 2020, (21): 0037-0037.
- [5]侯江红. 汽车外饰零部件材料的选择与应用[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2021, (08).
- [6]段维. 悬架零部件运动间隙自动测量程序开发[J]. 汽车实用技术, 2022, 47(06): 36-42.
- [7]王首和. 液压支架零部件的材料性能及其加工工艺[J]. 化学工程与装备, 2022, (08): 215-216.
- [8]曹书林, 党增宝, 丁志伟. 刍议汽车内饰零部件材料的选择与应用[J]. 汽车周刊, 2023, (02): 0150-0151.
- [9]杨权, 曾波, 陈志洋, 陈正康, 胥旭. 悬架零部件强度优化方法[J]. 机械工程师, 2023, (04): 81-83.
- [10]马骊歌李显生. 钎合金化对汽车零部件用钢性能的影响[J]. 钢铁钒钛, 2021, 42(04): 68-72.