

汽车变速器变速传动机构优化设计研究

宾胜海

国家知识产权局专利局专利审查协作广东中心 广东广州 510000

摘要：从变速传动机构的优化设计入手，探讨了齿轮传动比、传动效率、齿轮材料选择及润滑方式等关键因素对变速器性能的影响。通过理论分析与仿真研究相结合，提出了一系列优化策略，旨在提高变速器的传动效率，延长使用寿命，并降低能量损耗。同时，采用多目标优化方法，对结构参数、材料选用等进行系统优化，分析了不同润滑油对温升的影响，以保证传动系统在不同工况下的稳定性和高效性。研究表明，合理的变速传动机构设计能够有效提升整车的动力性和经济性，为汽车变速器的开发和性能提升提供了有价值的参考。

关键词：汽车变速器；变速传动机构；优化设计；传动效率；多目标优化

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.12.010

变速器的变速传动机构是汽车动力传递系统的关键部件，其性能直接影响汽车的动力性、燃油经济性以及排放水平，因此，变速传动机构的优化设计在现代汽车技术中占据了至关重要的地位^[1]。传统的变速器设计方法通常依赖于工程经验和理论模型，针对不同车型的需求进行调整，虽然这种方法在一定程度上能够满足设计要求，但随着节能减排和环保法规的不断严格，单纯依赖经验的设计已逐渐无法满足现代汽车对性能和环境的双重要求^[2]。因此，优化设计的必要性愈发突出。

本文从变速传动机构的基本工作原理出发，系统探讨了优化设计中需要关注的几个核心因素。

首先，传动比设计是影响变速器性能的关键，合理的传动比能够有效地提升发动机的工作效率，减少燃油消耗，并提高驾驶的舒适性和稳定性^[3]。

其次，材料的选择对齿轮传动效率和耐久性有重要影响，不同的材料具有不同的强度、韧性和摩擦特性，选择适合的材料可以有效提高变速器的使用寿命和传动效率^[4]。

最后，结构参数如齿轮的模数、齿形角度、齿轮宽度等都会影响传动机构的效率和功率传递效果，因此，这些参数的合理优化至关重要^[5]。

本文结合现代优化理论和数据分析技术，提出了变速传动机构的优化方法，通过多目标优化算法，对传动比、齿轮材料及结构参数进行综合考虑，旨在最大化传动效率、提高性能和降低能耗。研究表明，优化设计能够在满足动力需求的同时，实现更低的燃油消耗和更长的使用寿命，对于未来汽车变速器的研发和升级具有重要参考价值。

变速传动机构优化设计的理论基础

1. 传动比设计

传动比是影响变速器性能的重要参数，它决定了发动机输出动力在各个挡位上的转换效率与传递特性^[6]。合理的传动比分配不仅关系到车辆的动力性，还与燃油经济性和排放水平密切相关。在进行变速器优化设计时，必须根据不同的车辆用途、驾驶环境以及目标性能要求来合理分配传动比。例如，对于城市驾驶，注重低速高扭矩输出，而对于高速巡航，要求高档位传动比能够提供更高的效率和较低的油耗。因此，合理的传动比设计需要平衡动力性与经济性，确保各挡位的动力输出能够在不同工况下都表现出较好的适应性。

设车辆传动比的计算公式为

$$i_k = i_{主} + i_{齿k} \quad (1)$$

式中， i_k 为第 k 挡的传动比； $i_{主}$ 为主减速器传动比； $i_{齿k}$ 为第 k 挡齿轮的传动比。

通过调整 $i_{主}$ 和 $i_{齿k}$ 的数值，可以实现传动比在不同挡位上的合理分配，进而优化动力输出特性。为了满足不同工况的要求，变速器的传动比设计通常采用多挡位的结构，以确保发动机在各种速度区间内的高效运行。

传动比的合理分配还需要考虑其他因素，如发动机的最大输出转速、齿轮啮合效率、车辆的起步性能、最大巡航速度以及整车的重量等。通过对这些参数的综合分析，可以确定每一挡传动比的最佳设计，从而提高变速器的综合性能。

2. 效率分析

变速器的传动效率直接影响能量的损耗情况。较低的传动效率不仅会导致额外的能量消耗，还可能引起温度升高、齿轮磨损等问题，进而影响变速器的寿命与可靠性。因此，提升变速器的传动效率是优化设计中的一个关键目标。

通常，通过优化齿轮啮合特性、材料选择以及润滑条件来提高效率。齿轮啮合特性的优化包括减少齿面接触的摩擦、改善啮合精度等。这些措施能够有效减少摩擦损失，提高齿轮之间的传动效率。此外，润滑油的选择与润滑方式的优化也是提高传动效率的一个重要方面。合适的润滑油能够有效减少齿轮啮合时的摩擦和磨损，降低能量损失，保持齿轮温度的稳定。

传动效率的计算公式为

$$\eta = \frac{P_{输出}}{P_{输入}} \times 100\% \quad (2)$$

式中， $P_{输入}$ 和 $P_{输出}$ 分别表示输入功率和输出功率。

输入功率通常由发动机提供，而输出功率则是经过变速器传递至车轮的功率。为了优化传动效率，设计者需要从齿轮啮合精度、材料选用、润滑方式等多个方面着手，确保在整个变速器工作过程中尽可能减少能量损失。通过对这些因素的优化设计，可以有效提高变速器的传动效率，减少燃料消耗，提升整车的经济性。

在实践中，变速器的效率往往会随着工况的变化而有所波动，例如在高负载、高速行驶时，效率可能会相对较低。因此，在优化设计过程中，需要考虑各种驾驶工况下的效率表现，并通过多目标优化算法在保证高效能的同时，优化变速器的各项性能指标。

关键优化参数分析

1. 齿轮参数优化

优化齿轮的模数、齿宽和齿形角以提高啮合效率和传动平稳性。以某型号汽车变速器为例，其齿轮模数优化结果见表1。

表1 齿轮模数优化结果

挡位	原始模数	优化模数	提高效率 (%)
1	4.5	4.2	1.8
2	3.8	3.6	1.5
3	3.2	3.1	1.2

从表1可以看出，某型号汽车变速器齿轮模数经过优化后，齿轮传动的效率得到了显著提高。优化后的模数在各挡位均有所降低，1挡齿轮模数从4.5优化至4.2，啮合效率提高1.8%；2挡齿轮模数从3.8mm优化至3.6mm，效率提升1.5%；3挡齿轮模数由3.2mm优化至3.1mm，效率提升1.2%。

这些变化表明，适当调整齿轮模数能够减少传动过程中齿间滑动和能量损失，从而增强啮合的平稳性与效率，同时还可能降低噪声和磨损，为汽车变速器性能优化提供了有效路径。这种模数优化方案为后续齿轮参数综合调整提供了基础支持，有助于实现更优的传动性能。

3.材料选择优化

常用齿轮材料包括合金钢、渗碳钢和粉末冶金材料，其性能对变速器寿命影响显著。通过对比分析，选用高性能渗碳钢，可提高抗疲劳性和承载能力。表2列出了常用齿轮材料的关键性能对比数据，分析了它们在密度、抗拉强度和疲劳寿命方面的差异。

表2 齿材料对比结果

材料类型	密度 / (g/cm ³)	抗拉强度 / MPa	疲劳寿命/次
合金钢	7.8	900	10 ⁵
渗碳钢	7.8	1300	10 ²
粉末冶金	6.5	800	10 ⁵

合金钢具有均衡的机械性能，其密度为7.8g/cm³，抗拉强度达到900MPa，疲劳寿命为10⁵次，适用于普通

齿轮传动场景。相比之下，渗碳钢在保持相同密度的基础上，展现出更高的抗拉强度（1300MPa）和显著提升的抗疲劳性能（10⁷次），这使其成为高负载、高精度齿轮的理想材料。粉末冶金材料以较低密度（6.5g/cm³）减轻了齿轮重量，但其抗拉强度仅为800MPa，适用于轻载传动场景。

综合对比来看，渗碳钢以其卓越的强度和疲劳寿命优势，显著提高了齿轮的抗疲劳性和承载能力，是高性能变速器的优选材料。此外，其出色的耐磨性和加工适应性进一步延长了变速器的使用寿命，凸显出在现代齿轮设计中的关键作用。

3.润滑优化

润滑条件直接影响齿轮传动的摩擦损失和热效应。采用全合成齿轮油能显著降低摩擦系数和温升，实验数据见表3。

表3 不同润滑油对齿轮温升的影响

(单位: °C)

润滑油类型	低转速 (1000 r/min) 温升	中转速 (3000 r/min) 温升	高转速 (5000 r/min) 温升	低负载 (10 N·m) 温升	高负载 (50 N·m) 温升
矿物油	45	60	75	50	70
合成油	40	55	68	45	65
全合成齿轮油	35	50	62	40	60

优化方法

1.多目标优化方法

在变速器变速传动机构优化设计中，为了兼顾效率、质量和耐久性的需求，采用多目标优化策略。本文结合遗传算法（GA）和粒子群优化算法（PSO），对传动机构的关键参数进行了系统优化。

优化目标包括：

(1) 传动效率最大化 通过调整齿轮模数、齿形角及齿宽，减少摩擦和功率损失。

(2) 重量最小化 在保证强度和耐久性的前提下，降低材料使用量以减轻整体重量。

(3) 耐久性最优 优化齿轮的接触疲劳性能和材料选择，延长变速器的使用寿命。

优化后的主要参数结果见表4，其中包括模数、齿宽、齿形角，以及材料特性参数如齿轮表面硬度和弹性

模量等。

表4 优化后的主要参数结果

参数	原始值	优化值	优化目标
模数	3.5	3.3	提高啮合效率，减轻重量
齿宽/mm	10	12	提高承载能力，延长寿命
齿形角 (°)	20	18	降低啮合损耗，优化强度
表面硬度/HRC	58	62	提高耐磨性
弹性模量/GPa	210	220	优化材料性能

2.模拟仿真验证

优化参数确定后，通过仿真验证了优化设计对传动效率、动态性能和稳定性的改善。表5为优化前后变速器效率的对比，显示优化后效率在中高载荷情况下提升显著。此外，仿真还分析了优化设计对齿轮温升和振动的影响。优化后齿轮温升降低了10%，振动幅度降低了

8%，验证了优化设计的综合效果。

表5 不同载荷工况下变速器效率优化前后对比

载荷工况	低载荷	中载荷	高载荷	极限载荷
优化前效率 (%)	92.0	91.5	90.8	89.5
优化后效率 (%)	94.0	93.5	92.8	91.5
提升幅度/百分点	↑ 2.0	↑ 2.0	↑ 2.0	↑ 2.0

数据分析与讨论

1. 优化前后性能对比

优化前后的变速器性能，包括传动效率、齿轮使用寿命和动态稳定性等指标。实验结果表明，优化后传动效率提高了2.5%，使用寿命延长了15%，振动幅度降低了8%。数据详见表6。

表6 优化前后性能对比

指标	优化前	优化后	提升幅度/ %
传动效率/%	92.5	95.0	↑ 2.5
使用寿命/年	5	5.75	↑ 15
齿轮温升/℃	75	67	↓ 10.7
振动幅度/ μm	15	13.8	↓ 8

2. 环境效益分析

优化设计不仅提升了变速器性能，还显著改善了车辆的燃油经济性和排放水平。以某常用车型为例，优化后平均油耗降低0.2L/100 km，每年减少CO₂排放约50kg。此外，齿轮寿命的提升也减少了更换频率，从而节约了材料和能源消耗。数据详见表7。

表7 优化前后环境效益对比

环境指标	优化前	优化后	年度节约量
平均油耗/ (L/100 km)	7.5	7.3	↓ 0.2
年排放 CO ₂ /kg	1500	1450	↓ 50
更换齿轮周期 /年	5	6	↑ 20%

结语

通过对汽车变速器变速传动机构的优化设计研究，本文从传动比调整、齿轮参数优化、材料选择及润滑优

化等关键环节出发，深入分析了这些措施对传动效率、使用寿命及环境效益的综合影响。

优化设计中，合理的传动比分配不仅提升了车辆的动力性与经济性，还通过降低动力中断现象增强了驾驶平顺性；齿轮模数、齿宽和齿形角等结构参数的调整则在保证强度的同时有效降低了摩擦损失；材料方面选用高性能渗碳钢代替传统合金钢，大幅提高了齿轮的抗疲劳能力和承载能力；润滑优化采用全合成齿轮油显著改善了摩擦条件，减少了热效应积累。

仿真结果显示，优化后的变速器传动效率提升了2.5%，使用寿命延长15%，平均油耗降低0.2 L/100km，年均减少CO₂排放约50kg。这些优化措施不仅满足了现代汽车对节能减排的需求，还为不同工况条件下的可靠性提升提供了有力保障。

未来，可结合智能化设计技术、轻量化材料研发以及更加精确的仿真工具，进一步提升变速器的设计精度和综合性能，为汽车工业的绿色发展和技术进步提供支持，同时也为其他机械传动系统的优化设计提供了参考思路。

参考文献：

- [1] 王超.汽车机械式变速器变速传动机构优化设计与实现[J].微型电脑应用, 2023, 39 (7) : 38-41.
- [2] 陈芳.基于可靠性的汽车机械式变速器变速传动机构设计[J].微型电脑应用, 2020, 36 (2) : 138-140.
- [3] 陈玲玲.汽车机械式变速器变速传动机构可靠性优化设计[J].时代汽车, 2024 (19) : 144-146.
- [4] 盛青志, 耿雪峰, 吴启斌.汽车机械式变速器变速传动机构可靠性优化设计[J].汽车测试报告, 2023 (9) : 37-39.
- [5] 徐美滢.通用GF9自动变速器传动分析[J].内燃机与配件, 2023 (16) : 45-47.
- [6] 孙登帅.变速器壳体气密性检测系统的研究开发[D].大连: 大连交通大学, 2021. **AUTO1950**