

变速器传动效率影响因素与优化策略研究

李小兰 叶旭强 姜勇俊 贺 明

浙江万里扬股份有限公司金华分公司 浙江 金华 321000

摘要：本文聚焦变速器传动效率展开研究。介绍其作为动力传输核心部件，阐述工作原理及传动效率对设备性能在燃油经济性、动力性能和可靠性方面的影响。接着分析机械、液压、热、转变等损失因素对传动效率的影响。随后从材料工艺、润滑、液压控制、热管理等方面提出优化策略，并介绍传动效率测试设备、方法、评估指标体系及测试结果分析与优化验证流程。

关键词：变速器；传动效率；影响因素；优化策略

1 变速器传动效率概述

1.1 变速器的工作原理

变速器的主要作用是通过改变传动比，使发动机能够在不同的工况下保持在较为理想的转速范围内工作，从而满足车辆行驶过程中对牵引力和速度的不同需求。以常见的汽车变速器为例，手动变速器通过驾驶员操作换挡杆，使不同齿数的齿轮相互啮合，实现传动比的改变。当需要增大牵引力时，换入低挡位，此时主动齿轮齿数少、从动齿轮齿数多，传动比增大，发动机的扭矩经过变速器放大后传递到驱动轮，使车辆能够轻松起步和爬坡；当车辆高速行驶时，换入高挡位，传动比减小，发动机能够在较高转速下以较低的扭矩输出，提高车辆的行驶速度。自动变速器则通过液力变矩器、行星齿轮机构以及液压控制系统等实现自动换挡。液力变矩器利用液体的动能传递动力，能够在一定范围内自动适应发动机的转速和扭矩变化，实现平稳的起步和换挡^[1]。行星齿轮机构则通过不同的组合方式实现多个挡位的传动比变化，液压控制系统根据车辆的行驶工况和驾驶员的操作意图，控制行星齿轮机构中离合器和制动器的工作，实现自动换挡。

1.2 传动效率对设备性能的影响

传动效率是指变速器输出功率与输入功率的比值，它反映了变速器在动力传输过程中的能量损失情况。传动效率的高低对设备性能有着多方面的重要影响。在燃油经济性方面，传动效率越高，意味着在动力传输过程中损失的能量越少，发动机输出的功率能够更有效地传递到驱动轮，从而降低设备的燃油消耗。例如，在汽车行驶过程中，如果变速器传动效率较低，发动机需要输出更大的功率才能满足车辆的行驶需求，这必然会导致燃油消耗增加。据研究表明，变速器传动效率每提高1%，汽车的燃油经济性可提高0.5%-1%。在动力性能方

面，高传动效率能够使发动机的动力更及时、更充分地传递到驱动轮，提高车辆的加速性能和爬坡能力。当车辆需要快速加速或爬坡时，如果变速器传动效率高，发动机的扭矩能够迅速传递到驱动轮，使车辆获得更大的牵引力，从而实现快速加速和轻松爬坡。在设备可靠性方面，传动效率低会导致变速器内部产生更多的热量，加速零部件的磨损和老化，降低变速器的使用寿命。同时，过多的热量还可能影响变速器油的性能，进一步加剧零部件的磨损，形成恶性循环，严重影响设备的可靠性。

2 变速器传动效率影响因素分析

变速器传动效率受到多种因素的影响，主要包括机械损失、液压损失、热损失和转变损失等方面。

2.1 机械损失因素

机械损失是变速器传动过程中能量损失的主要来源之一，主要包括齿轮啮合损失、轴承摩擦损失和搅油损失等。齿轮啮合损失是由于齿轮在啮合过程中，齿面之间存在相对滑动和滚动摩擦，导致能量以热量的形式散失。齿轮的几何参数、齿面粗糙度、加工精度以及润滑条件等都会影响齿轮啮合损失的大小。轴承摩擦损失是指变速器中的轴承在支撑旋转部件时产生的摩擦损失。轴承的类型、尺寸、润滑方式以及工作载荷等因素都会影响轴承摩擦损失。滚动轴承的摩擦损失相对较小，但在高速、重载工况下，其摩擦损失也会显著增加；滑动轴承的摩擦损失较大，但能够承受较大的载荷和冲击。搅油损失是指变速器中的旋转部件（如齿轮、轴等）在润滑油中搅拌时产生的能量损失^[2]。搅油损失的大小与旋转部件的转速、浸油深度、润滑油的粘度等因素有关。转速越高、浸油深度越大、润滑油粘度越高，搅油损失就越大。

2.2 液压损失因素

对于自动变速器和一些采用液压控制的变速器来

说, 液压损失也是影响传动效率的重要因素。液压损失主要包括液压泵的能量损失、液压控制阀的节流损失以及液压管路的压力损失等。液压泵是液压系统的动力源, 其作用是将机械能转换为液压能。液压泵在工作过程中存在容积损失和机械损失, 容积损失是由于液压泵内部泄漏导致的输出流量减少, 机械损失是由于液压泵的运动部件之间的摩擦产生的能量损失。液压泵的效率越高, 液压系统的能量损失就越小。液压控制阀用于控制液压系统的压力、流量和方向, 以实现变速器的换挡和动力传递控制。液压控制阀在工作过程中会产生节流损失, 即液压油通过阀口时, 由于阀口的局部收缩和扩张, 导致液压油的流速发生变化, 产生压力损失和能量损失。节流损失的大小与阀口的形状、尺寸以及液压油的流量和压力有关。液压管路是液压系统中液压油的传输通道, 液压油在管路中流动时会产生压力损失, 主要是由于液压油与管壁之间的摩擦以及液压油内部的粘性摩擦引起的。液压管路的长度、直径、弯曲程度以及液压油的流速和粘度等因素都会影响压力损失的大小。

2.3 热损失因素

变速器在工作过程中, 由于机械损失、液压损失等原因会产生大量的热量, 这些热量如果不能及时散发出去, 会导致变速器内部温度升高, 影响变速器的正常工作。热量散失也意味着能量的损失, 降低了变速器的传动效率。热损失主要通过变速器的散热系统散发到周围环境中。散热系统的散热能力取决于散热器的散热面积、散热风扇的风量、冷却液的流量和流速等因素。如果散热系统的散热能力不足, 变速器内部温度过高, 会导致润滑油性能下降, 加剧零部件的磨损, 甚至引发变速器故障。

2.4 转变损失因素

转变损失主要是指变速器在换挡过程中, 由于动力传递的中断和重新建立而产生的能量损失。在手动变速器换挡时, 驾驶员需要踩下离合器踏板, 切断发动机与变速器之间的动力传递, 然后进行换挡操作, 换挡完成后再松开离合器踏板, 重新建立动力传递。在这个过程中, 发动机的转速会发生变化, 导致动力传递出现短暂的中断, 从而产生能量损失。自动变速器虽然能够实现自动换挡, 但在换挡过程中也存在动力传递的中断和重新建立过程。例如, 在液力自动变速器换挡时, 需要通过离合器和制动器的结合与分离来实现挡位的切换, 在这个过程中, 动力传递也会出现短暂的中断, 产生转变损失。

3 变速器传动效率优化策略研究

为了提高变速器的传动效率, 需要针对上述影响因

素采取相应的优化策略, 主要包括材料与工艺优化、润滑系统优化、液压与控制系统优化以及热管理技术优化等方面。

3.1 材料与工艺优化

选择合适的材料和先进的加工工艺可以降低变速器零部件的摩擦损失和磨损, 提高传动效率。例如, 采用高强度、低摩擦系数的材料制造齿轮和轴承, 可以减少齿轮啮合损失和轴承摩擦损失。同时, 采用先进的加工工艺, 如精密滚齿、磨齿、热处理等, 可以提高齿轮的加工精度和齿面质量, 降低齿面粗糙度, 进一步减少齿轮啮合损失。另外, 还可以采用表面处理技术, 如渗碳淬火、氮化、镀铬等, 提高零部件的表面硬度和耐磨性, 延长零部件的使用寿命, 减少因磨损导致的能量损失。

3.2 润滑系统优化

润滑系统对于降低变速器的机械损失和热损失起着至关重要的作用。优化润滑系统可以从润滑油的选择、润滑方式的改进以及润滑系统的结构设计等方面入手。选择合适的润滑油是优化润滑系统的关键, 润滑油的粘度、极压性、抗磨性等性能指标会影响变速器的润滑效果和传动效率。一般来说, 在保证润滑性能的前提下, 应选择粘度较低的润滑油, 以减少搅油损失和摩擦损失。润滑油应具有良好的极压性和抗磨性, 能够在高温、高压工况下有效保护零部件, 减少磨损。改进润滑方式也可以提高润滑效果和传动效率^[3]。例如, 采用喷油润滑方式可以更准确地将润滑油喷射到需要润滑的部位, 提高润滑效率, 减少润滑油的用量和搅油损失。还可以采用油气混合润滑方式, 将润滑油与空气混合后喷射到零部件表面, 形成一层均匀的油膜, 既能保证良好的润滑效果, 又能减少润滑油的用量和热量产生。优化润滑系统的结构设计可以提高润滑油的循环效率和散热能力。例如, 合理设计润滑油道, 使润滑油能够顺畅地流动到各个零部件表面; 增加散热器的散热面积和散热风扇的风量, 提高润滑油的冷却效果, 降低变速器内部温度。

3.3 液压与控制系统优化

对于自动变速器和液压控制变速器, 优化液压与控制系统可以降低液压损失, 提高传动效率。优化液压与控制系统可以从液压泵的优化、液压控制阀的优化以及液压管路的优化等方面入手。优化液压泵可以提高其效率和可靠性, 例如, 采用变量液压泵可以根据系统的实际需求自动调整输出流量, 避免能量的浪费; 改进液压泵的结构设计, 减少内部泄漏和机械损失, 提高液压泵的容积效率和机械效率。优化液压控制阀可以降低节

流损失，例如，采用先进的阀口设计技术，优化阀口的形状和尺寸，减少液压油通过阀口时的压力损失；采用电液比例控制技术，实现对液压控制阀的精确控制，提高换挡的平稳性和效率。优化液压管路可以降低压力损失，例如，合理选择液压管路的直径和长度，减少管路的弯曲程度，降低液压油在管路中的流动阻力；采用高压软管代替金属管，减少管路的振动和噪声，提高系统的可靠性。

3.4 热管理技术优化

优化热管理技术可以有效降低变速器的热损失，提高传动效率。热管理技术优化主要包括散热系统的优化和热隔离技术的应用等方面。优化散热系统可以提高其散热能力。例如，增大散热器的散热面积，采用高效的散热片材料和结构，提高散热效率；优化散热风扇的设计，提高风量和风压，增强散热效果；采用液冷和风冷相结合的散热方式，进一步提高散热能力。应用热隔离技术可以减少热量在变速器内部的传递，降低热损失。例如，在变速器的关键零部件表面涂覆热隔离涂层，减少热量的传导；采用隔热材料对变速器进行包裹，减少热量向周围环境的散失。

4 变速器传动效率测试与评估方法

4.1 测试设备与方法介绍

变速器传动效率测试通常采用功率测试法，即通过测量变速器的输入功率和输出功率，计算得出传动效率。测试设备主要包括测功机、扭矩传感器、转速传感器、数据采集系统等。测功机用于模拟变速器的负载，测量变速器的输出功率。扭矩传感器和转速传感器分别用于测量变速器输入轴和输出轴的扭矩和转速。数据采集系统用于实时采集和记录测试过程中的扭矩、转速等数据，并通过计算机进行处理和分析。测试方法一般分为台架测试和道路测试两种。台架测试是在实验室环境下，将变速器安装在测功机台上，通过模拟不同的工况进行测试。台架测试具有测试条件可控、测试精度高、重复性好等优点，能够准确地测量变速器在不同工况下的传动效率。道路测试是在实际道路行驶条件下，对安装了变速器的车辆进行测试。道路测试能够真实反映变速器在实际使用中的性能，但测试条件复杂，受外界因素影响较大，测试精度相对较低。

4.2 传动效率评估指标体系

建立科学合理的传动效率评估指标体系是准确评估变速器传动效率的关键。传动效率评估指标主要包括综合传动效率、各挡位传动效率、不同工况下的传动效率等。综合传动效率是指变速器在所有工况下的平均传动效率，它能够反映变速器的整体性能^[4]。各挡位传动效率是指变速器在不同挡位下的传动效率，通过分析各挡位传动效率的差异，可以找出变速器在不同挡位下存在的问题，为优化设计提供依据。不同工况下的传动效率是指变速器在不同转速、扭矩、负载等工况下的传动效率，通过研究不同工况下传动效率的变化规律，可以优化变速器的控制策略，提高其在各种工况下的传动效率。

4.3 测试结果分析与优化验证

对测试结果进行分析是找出变速器传动效率影响因素和优化方向的重要环节。通过对测试数据的处理和分析，可以绘制出变速器传动效率随转速、扭矩、挡位等参数变化的曲线，直观地反映变速器的传动性能。同时还可以通过对比不同测试条件下的传动效率，分析各因素对传动效率的影响程度。根据测试结果分析，制定相应的优化措施，并对优化后的变速器进行再次测试和验证。通过不断重复测试-分析-优化-验证的过程，逐步提高变速器的传动效率，直到满足设计要求。

结束语

变速器传动效率对汽车等设备性能意义重大。本文全面剖析了影响其传动效率的多种因素，涵盖机械、液压等多个层面，并针对性地提出一系列优化策略，同时构建了较为完善的测试与评估体系。通过不断测试、分析、优化与验证，可逐步提升变速器传动效率。未来，随着技术持续发展，变速器传动效率有望进一步提高，为设备性能提升和节能减排做出更大贡献。

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(07):38-41.
- [2]赵杰.汽车机械式变速器变速传动机构可靠性优化设计分析[J].新型工业化,2022,12(05):94-97.
- [3]王宇航.变速器传动效率影响因素分析及优化[J].装备制造技术,2023,(07):220-223.
- [4]夏长高,张演,孙闫.液压机械无级变速器的拖拉机速度控制研究[J].农业装备与车辆工程,2022,60(10):22-26+46.