

DCT自动变速器液压控制系统效率提升分析

□ 株洲齿轮有限责任公司/周旭辉 谢立湘

□ 中国第一汽车股份有限公司/顾强

国内某公司自主开发和生产的系列DCT产品，是基于第一代湿式双离合自动变速器技术而开发，本文从提升液压控制系统效率的途径进行分析并设计了新的液压控制系统。应用AMESim软件搭建了液压仿真模型，对设计的液压控制系统分别在稳态工况和NEDC工况下所消耗的功率进行了仿真计算，并把计算结果与传统液压系统所消耗的功率进行了对比分析。结果显示，设计新型高效的液压控制系统对提高DCT自动变速器的效率有显著作用。

随着汽车燃油消耗和排放法规的日趋严格，减少CO₂排放和提高汽车燃油效率已成为整个汽车行业关注的重点。变速器作为整车传动系中的重要零部件，关系到整车性能、燃油消耗水平等多方面的表现。如何通过变速器的技术进步，实现整车的节能减排，已经成为变速器行业一个极为重要的任务。

近年来的研究表明，液压控制系统作为DCT自动变速器核心部件，其能量利用效率对变速器传递效率影响较大，设计高效的液压控制系统，对提升变速器效率意义重大。

DCT自动变速器传统液压控制系统效率分析

DCT自动变速器液压控制系统主要功能是：

- 1) 为离合器控制提供液压动力。
- 2) 为变速器换挡提供液压动力。

3) 为离合器提供冷却润滑流量。

4) 为变速器轴齿提供润滑流量。

1.传统液压控制系统原理

传统的液压控制系统原理如图1所示。

液压控制系统的动力单元是机械泵，机械泵直接与变速器输入轴相连接，由发动机驱动。发动机工作时会带动机械泵转动，为变速器液压控制系统提供需求的压力和流量。系统压力通过主压力控制阀来调节，主压力调节阀是由先导泄流式电磁阀VBS来控制。换挡压力通过换挡压力阀调节，换挡压力阀也是由先导泄流式电磁阀VBS来控制。离合器控制压力通过大流量比例电磁阀VFS调节。离合器冷却润滑流量通过流量控制阀调节，流量控制阀是由先导泄流式电磁阀VBS来控制。轴齿润滑流量由固定节流孔调节。

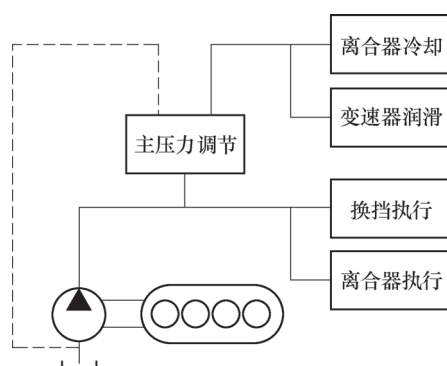


图1 简化的传统液压控制系统原理

2.传统液压控制系统效率损失分析

液压控制系统的效率是指，从发动机输出的功率中用于提供液压控制系统需求所消耗的那部分功率。如图2所示，对于传统液压控制系统而言，它所消耗的总功率包括消耗在机械泵和液压执行系统上的功率。机械泵的功率损失主要体现在泵的内泄漏损失、回油损失和机械损失。液压执行系统的损失主要指液压系统泄漏损失。

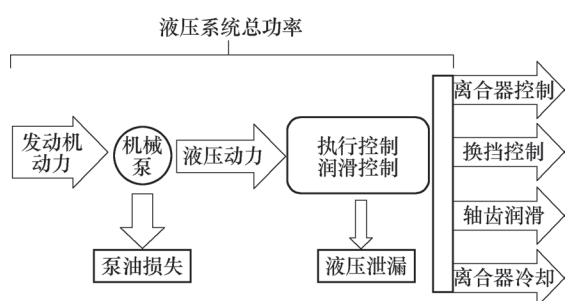


图2 传统的液压系统总功率

目前DCT传统液压控制系统在效率方面面临以下三个问题：

(1) 机械泵效率低。主要因为机械泵转速不解耦导致的流量浪费，比如：在高速稳定工况，系统需求流量很小，但机械泵泵出的流量却很大，多余的流量被浪费掉，如图3所示。

(2) 液压执行系统的泄漏量大。导致过多的流量损耗，其中泄流式VBS电磁阀的泄漏占总泄漏量的90%以上，单个VBS电磁阀最大泄漏量在1.0~1.3L/min，如图4所示。

(3) 冷却润滑系统的压力转换损失大。冷却润滑系统需求压力较低，而系统压力较高，需要通过减压

阀或节流孔来降低压力，从而导致液压系统的能量损失。

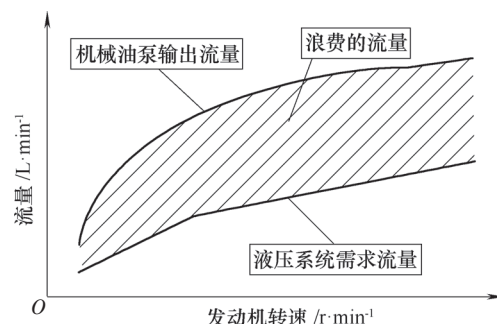


图3 机械油泵流量损失

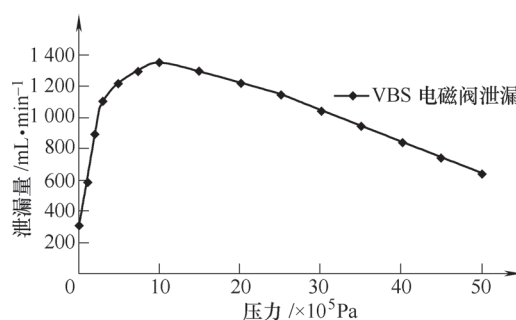


图4 泄流式电磁阀VBS泄漏量

DCT液压控制系统效率提升途径及方案

针对传统DCT液压控制系统所面临的功率利用率低的问题，对液压控制系统效率提升途径进行分析：

1.按需供给液压油

根据变速器的实际需求压力和流量，在控制系统的设计中增加一些“按需性”的功能。例如：动力单元设计上使用变量泵、机械泵和电动泵的组合，采用一个或多个电动泵等。

2.提高高压油利用率

由于机械泵输出的高压油流量远大于高压执行系统的流量需求，造成很大的能量损耗，应尽可能使泵输出的高压油全部用于高压执行系统。例如：液压控制系统设计为高、低压两个独立的液压回路。

3.降低液压系统泄漏

泄漏是造成液压系统效率低的重要因素，而泄漏程度取决于电磁阀、温度、油液特性等液压单元，在方案

设计上应尽量降低系统泄漏。

综合上述途径,本文设计了一种新的液压控制系统方案,用来提升变速器效率。液压控制原理如图5所示。

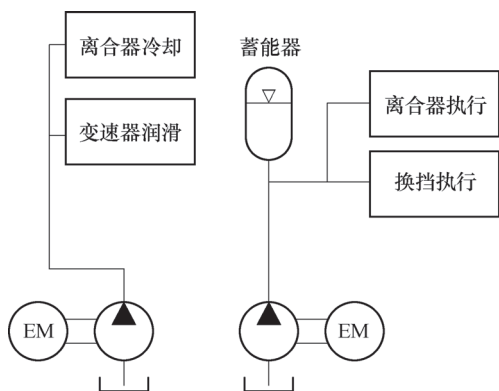


图5 新的液压控制系统原理

相比传统液压控制系统有以下不同:

- (1) 液压控制系统用两个电动泵代替机械泵。
- (2) 采用高、低压分体设计。即由高压电动泵和蓄能器组成的高压控制系统来控制离合器执行和换挡执行,它的最大压力能达到6MPa。低压电动泵用于提供离合器冷却润滑流量和变速器轴齿润滑流量,它的最大压力达1MPa。两个系统共用一个液压油源。

(3) 所有电磁阀都采用低泄漏的插装阀,离合器压力由比例压力阀VFS控制。换挡压力控制阀使用比例压力VFS阀调整换挡压力后,再由4个比例流量阀控制进入换挡液压缸的液压油流量。变速器轴齿润滑流量和离合器冷却流量分别由流量控制阀(on-off阀)调节。

液压系统效率计算模型

为了计算本方案的液压系统效率,基于液压原理图应用AMESim仿真软件搭建了计算模型。高压控制系统主要包括液压动力单元模型、离合器压力控制模型和换挡系统控制模型,用于计算离合器动作和换挡动作的功率。低压冷却润滑系统模型主要包括液压动力单元模型、离合器冷却系统模型和变速器润滑系统模型,用于计算离合器冷却和变速器润滑的功率。

(1) 高压控制系统。换挡动作和离合器动作需求设置参考DCT自动变速器在传统液压控制系统中的换挡控制。

(2) 低压冷却润滑系统。离合器的冷却流量需求

设置参考DCT自动变速器在传统液压控制系统中的流量控制,图6所示为离合器冷却流量在NEDC工况下实测值。变速器的润滑流量用一个简化模型来确定齿轮、轴承和同步器在不同转速和转矩下的需求流量,如图7所示。

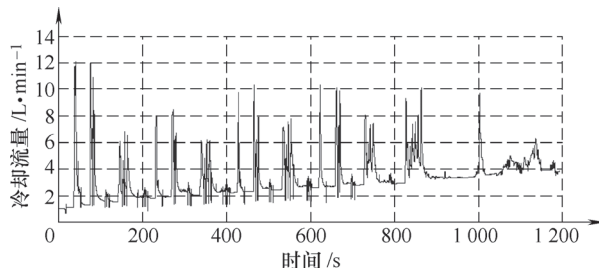


图6 NEDC工况离合器冷却流量需求

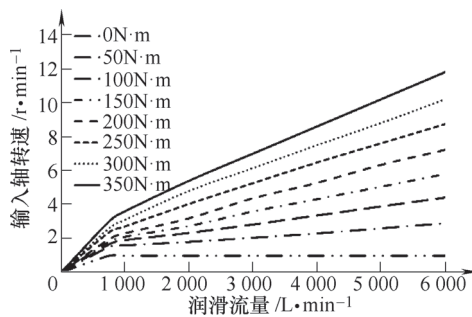


图7 变速器的润滑流量需求

仿真分析

分别在稳态工况和NEDC工况下进行仿真计算,得出该工况下高压电动泵和低压电动泵的输出功率,然后与传统液压系统机械泵的输出功率进行对比。传统液压系统机械泵的输出功率由搭载DCT自动变速器的整车采集的数据计算得出。

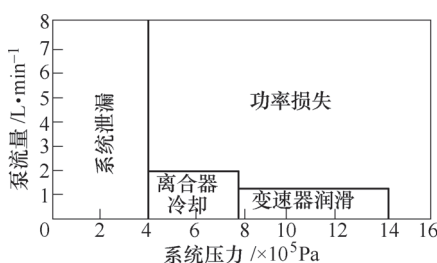
1. 稳态工况功耗分析

如图8a所示,稳态工况下,传统液压系统的系统压力0.8MPa,机械泵为定排量泵,总输出流量16L/min。由于稳定工况下,变速器输出转矩不高,离合器没有滑磨,离合器冷却流量和变速器润滑流量需求都只有2L/min,而离合器冷却流量和变速器润滑流量实际分别为3.8L/min和6.2L/min,即实际分配流量远大于需求流量。

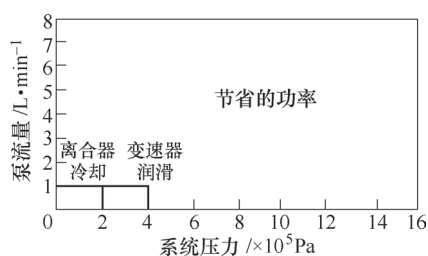
考虑液压系统有约4L/min泄漏量,所以泵只需要提供略多于8L/min的流量。另外由于低压冷却、润滑流量

的工作压力也为0.8MPa，高压力流量向低压力流量转换又进一步导致了功率损失。如按系统实际需求计算，传统液压系统机械泵输出功率高达213W，但效率却仅有4.7%。

如图8b所示，新的液压系统的离合器冷却流量和变速器润滑流量由低压电动泵按需提供，低压系统压力仅需 10^5 Pa。采用低泄漏电磁阀的高压系统总泄漏量约40mL/min，低压系统总泄漏量约40mL/min。液压系统总输出功率仅为9.76W，效率却高达68%。



(a) 传统液压系统稳态工况的功率分布



(b) 新液压系统稳态工况的功率分布

图8 传统液压系统与新液压系统稳态工况的功率分布

2.NEDC工况功耗分析

传统液压系统机械泵在NEDC工况下的瞬时输出功率范围在100~750W，整个周期的平均输出功率是243.7W。

新液压系统高压电动泵在NEDC工况下，整个周期平均功率为5.6W；瞬时输出功率输出范围3~50W，整个周期平均功率为10.6W。

3.效率提升分析

液压系统消耗的总功率包括消耗在液压泵和电动元件上的电功率，所以计算液压系统消耗的总功率必须基于在发动机上的功率消耗，即把液压系统消耗的功率通过转换来折算出消耗的发动机功率。

电动泵的功率来源途径包括发动机到发电机的功率转换，以及发电机到电动机的功率转换。计算液压系统消耗的总功率时必须包括这些转换效率，机械泵也要考虑发动机到机械泵的转换效率，如图9所示。

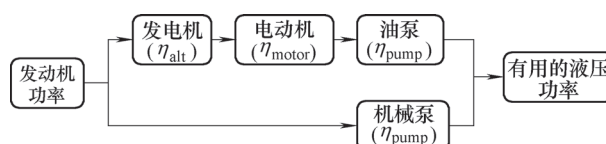


图9 液压系统消耗的功率和发动机功率的转换

通过液压系统消耗的功率和发动机功率的转换，计算出稳态工况下，传统液压系统消耗的发动机功率是332.8W，新液压系统消耗的发动机功率是120W，消耗的功率下降了212.8W，降幅达64%。

通过液压系统消耗的功率和发动机功率的转换，计算出NEDC工况下，传统液压系统平均消耗的发动机功率是380.8W，新液压系统平均消耗的发动机功率是237.8W（见图10），比原来下降了143W，降幅达38%。整个NEDC工况发动机平均消耗的功率为6.8kW，新液压控制系统能使变速器效率提升2.1%。

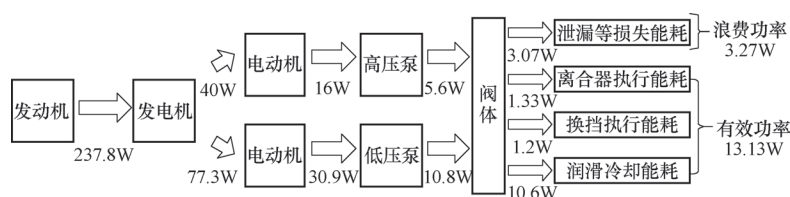


图10 新液压系统消耗的发动机功率

结语

新设计液压系统通过降低液压损失的方式改善系统效率，无需对现有变速器结构、轴齿、同步器及差速器等进行改动，工程量小，开发周期快。

对传统液压控制系统与新设计液压系统对比计算分析发现，新设计液压系统降低了动力源功率需求，同时匹配新方案的变速器效率较之前提升了约2.1%，效率提升效果明显。AUTO1950