

变速器润滑系统的设计评审与试验评价

宋友成

唐山爱信齿轮有限责任公司 河北唐山 063000

摘要：在变速器构成系统中，润滑系统占据重要的位置。在开发初期对其进行充分设计、评审及试验评价，是确保变速器可靠性的关键。根据多年变速器设计经验，对润滑系统的设计评审方法及试验评价项目进行了详细论述，并提出一些评审指标，可以对学习者提供一些参考。

关键词：变速器；润滑系统；设计评审；试验评价

在变速器设计过程中，基于功能的实现，开发者对涉及齿轮强度、轴承耐久性能、换挡性能等项目比较重视，会进行充分研讨及计算来制定详细方案。而对变速器的润滑系统却不够重视，没有详细的设计评审就转入A样试制，可能带来各种失效问题，对后续的改善也是个极大的课题^[1]。

变速器的润滑分为飞溅润滑和强制润滑，对中、重型货车和客车来说，由于变速器传递转矩较大，产生的热量多，为确保使用寿命，多采用强制润滑方式^[2]。

而对乘用车来说，由于承载转矩不大，考虑到成本因素，多用飞溅润滑。

针对润滑方式的不同，设计评审的方法也不一样。强制润滑更多考虑强制泵的泵油能力和油量是否到达应该润滑的零件部位，而飞溅润滑设计评审相对复杂，要综合考虑周边零件作用，专用润滑零件的采用等。对润滑系统的试验评价没有区别，只要能通过台架及实车验证就可以。

总之，润滑系统设计评审和试验评价是设计过程

- 5) 试验中的速比时序要按照测试要求从0到1速比进行。
 - 6) 记录并保存测试数据。
- 图3所示为试验过程曲线。

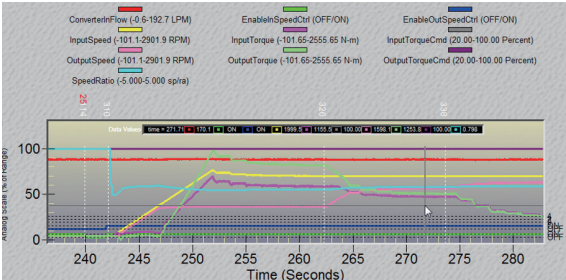


图3 试验曲线

在试验要求的每个速比下需采集和保存如下数据：闭锁离合器输入转速、闭锁离合器输出转速、闭锁离合器泄漏量、闭锁离合器压力、闭锁离合器输入转矩及闭锁离合器输出转矩、效率和失速变矩系数，入口和出口油温、油压机流量、开发和试验日期、总成号和序列号及操作人员身份和试验时间。

结语

该液力变矩器试验台经过实际的交付运行，结果表明，运行稳定，电动机控制精度高，响应速度快，可靠性高，是准确评价多种型号变矩器的外特性与通用特性，以及下线性能的重要设备。 **AUTO1950**

的一个不可或缺的环节^[3]，只有按开发流程对其充分评审及试验评价，才能保证各部位充分润滑，才能设计出优秀的变速器产品。

变速器润滑系统的考核要素

变速器润滑系统设计是一个复杂的系统工程，做好设计要考虑的因素很多，如何评价变速器润滑系统的好坏，通过以下三个方面就可以。

1. 变速器加油量

单从变速器润滑性考虑，加油量越多越好，可以让相对运动面充分润滑。但油多的坏处是产生搅油损失，另外用户使用成本也会增加，所以使用较少的油量就能满足变速器的日常运行是最佳润滑设计。图1所示为某公司系列变速器的转矩—油量关系图，其中有一条参考线，如果设计变速器的转矩与加油量的坐标点在线的下方，说明润滑设计比较合理；反之则不合理。

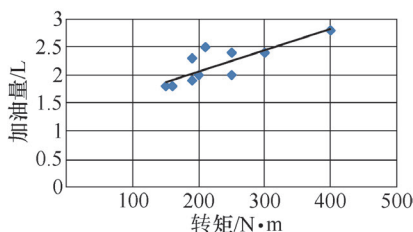


图1 加油量与转矩关系

2. 变速器润滑零件的数量

为确保润滑效果，采用润滑专用零件是通常采用的办法。但为降低成本尽量要充分利用既有零件的结构来增加润滑性能，比如利用齿轮搅拌起来的油定向润滑，壳体的局部设计增加油的流向等都可以达到润滑目的。所以变速器润滑专用零件数量也是评价润滑系统好坏的一个指标。

3. 润滑油品的通用性

为方便客户对变速器的维护，要使用市场上最普通的润滑油牌号，不能对润滑油特性提出过多的要求，比如油品的黏度系数、运动黏度及抗极压性等。对油品要求过多会增加油品使用成本，所以润滑油品的通用化也是评价指标^[4]。

变速器润滑系统设计及评审

1. 变速器主要部件的润滑设计及评审

轴承是变速器的关键部件，润滑好坏直接影响到使用寿命及噪声。轴承按润滑环境可以分为开放式和密封式，开放式轴承的轴承滚道与变速器内腔相通，飞溅的油可以对轴承滚道及滚珠充分润滑。但变速器在运转后会产生杂质，如果较硬的杂质随着润滑油进入滚道，对轴承的寿命会带来严重后果，这时就要采用密封式轴承。密封式轴承就是在轴承两端内外圈之间增加密封盖，装配时在滚道上均匀涂布润滑脂，在运行时可以很好地润滑，确保使用寿命^[3]。

对轴承润滑的设计评审，关注点有：

- 1) 结构上润滑油可否自由达到轴承滚道。
- 2) 润滑油在滚道左右能否形成对流。
- 3) 密封轴承的润滑脂的耐高/低温性。
- 4) 密封盖材料的耐高/低温性。
- 5) 密封盖通气孔能否保证盖内外气压平衡。

由于轴承多由专业公司生产，评审多在供应商处完成，从开发者角度出发，与以往相似轴承进行多方面对比，只要保证润滑条件及环境比现有轴承好，就认为设计没有问题。

2. 齿轮的润滑设计及评审

齿轮的润滑设计要相对复杂，是因为需要润滑的部位较多。

(1) 齿轮端面的润滑 齿轮端面同时涉及到内孔的润滑，所以更应该多方面考虑。通常在齿轮端面或端面配合的部件上设计出油槽即可实现端面润滑，前提是齿轮端面有润滑油存在，如果油量不足，就应该用其他方法将油导入到齿轮端面。

(2) 齿轮内孔润滑 设计思路很简单，保持内孔油路畅通、流动，可以带走产生的热量即可。但实际情况比这复杂得多，因为内孔是一个相对密封的空间，径向间隙只有0.02~0.04mm，在如此狭小的空间让油顺畅的流动并不简单。要保证油能顺畅流动，必须有进、出油通道。

进油通道是通过设置在齿轮端面的油槽实现的，所以齿轮的端面油槽不仅事关端面而且也关系到内孔润滑。如果齿轮端面导入润滑油量不能满足试验要求

时，可以考虑在支撑轴上设计出孔进行中心润滑。如图2所示，中心润滑时支撑轴是中空的，轴的端面有润滑油，轴在旋转时，齿轮的转动会使轴上的孔部形成负压，通过虹吸作用，轴中心的油就可以导入到齿轮内孔，起到润滑内孔作用。

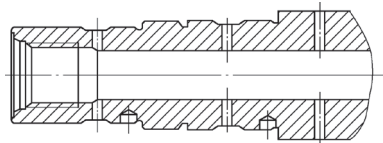


图2 齿轮轴上的进油孔设计

出油通道通常由两端油槽担当，如果端面空间所限，出油效果不理想时，一般会在齿轮齿根与内孔间设计出孔来作油流通道。

齿轮端面及内孔润滑设计的评审要点如下：

- 1) 飞溅的油在齿轮端面堆积的油量是否足够。
- 2) 内孔油流通道是否畅通（进、出流油道是否明确）。
- 3) 端面油槽结构设计是否合理，确保油导入效果。
- 4) 油槽截面面积是否导入充足的润滑油。
- 5) 齿轮径向间隙是否合理。

针对这些评审要点，要逐点进行确认。与成熟产品对比，如发现不足点要及时进行修订（完善设计或增加润滑部件），以保证与现有产品润滑环境相当，确保充分润滑。

3. 联结齿轮的润滑设计及评审

联结齿轮是传递动力和切换挡位的关键部位，虽然与齿套啮合时没有相对转动，但它却有轴向串动的趋势，加上有力矩存在，如果没有润滑，齿面很容易磨损，导致齿轮脱挡，严重的会带来联齿断齿，从而造成变速器完全失效，所以联齿的润滑设计不能马虎。

由于相对转动/移动速度不高，润滑设计及评审也相对简单，只要保证油在啮合后能达到齿面即可，如果不能达到，通过增加集油槽、导油板等把油导入到联齿齿面部位即可。图3所示为利用油的离心作用实现联齿润滑的案例。

4. 齿轮齿面、锥面润滑设计及评审

齿轮齿面、锥面由于与变速器内腔相通，而且飞溅的油很容易到达，所以它们的润滑问题不大，在此不作论述。

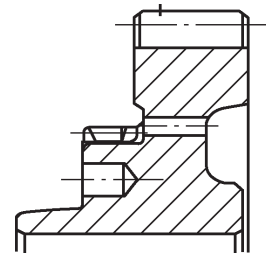


图3 锥面的润滑设计式样

5. 花键的润滑设计

如果部品之间通过花键联接时，分两种情况：

- 1) 如果需要外力压入达到配合，由于零件间已无相对移动，则不需要考虑润滑。
- 2) 如果部品间可以自由放入与取下，则为间隙配合，这时由于运转时振动的存在，会发生微振磨损，则就要考虑到润滑的问题。通常通过中心润滑或端面浸油的方式进行就能解决，评审也相对简单——只要有油到达花键即可。

变速器润滑系统的评价

变速器润滑设计完成后，即使通过了专项润滑评价项目考核，只能说明润滑系统设计初步满足要求。在后续的台架及整车项目评价中如果锁定为润滑不良，还要对润滑系统进行强化设计，直至满足所有的试验项目，润滑系统设计才算完成。

润滑台架试验有润滑试验和高速烧伤试验^[5]，润滑试验分外部润滑试验和内部润滑试验两种。外部润滑试验主要通过在壳体开窗口来观察润滑油在腔体内的飞溅情况，尤其是有油流过的空间和部位，确认有油流即可。内部润滑试验相对复杂，通过在台架上模拟实车在平地、上下坡、左右转弯时，变速器各部的润滑油存在情况，为便于准确判断，润滑油中添加有红丹粉，具体试验条件见表1。

每种工况条件完成后，要快速拆解变速器，确认每个部位润滑油的存在情况，只有所有工况完成后，各需要润滑部位均有润滑油流过，试验判断通过。

烧伤试验是在台架在模拟各挡位在最高发动机转速及最大功率转速运行一定时间后，各相对运动部位的耐烧伤性，这个试验是全部工况条件完成后，拆解确认，如果没有烧伤及烧伤倾向，试验验证通过，根据这个要求设计了如下条件：

（下转第68页）

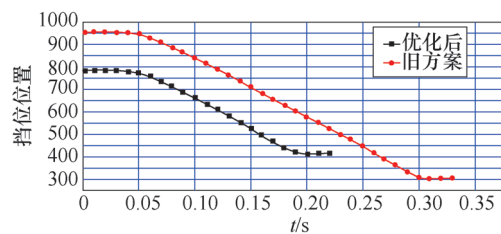


图14 优化前后1挡升2挡静态换挡时间对比

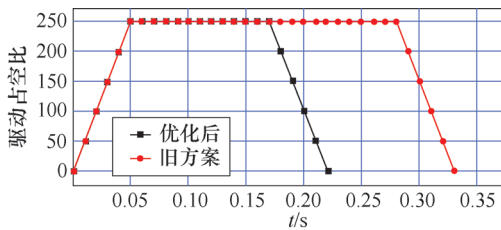


图15 优化前后1挡升2挡换挡电动机驱动占空比对比

结语

本文提出了一种基于换挡时间和电动机工作转速的AMT换挡机构传动比的计算方法，经过理论计算，分析现有方案的不足，并提出了一种优化方案。通过样件试制和测试验证，证明了优化方案比原方案更大程度的发挥了换挡电动机功率，从55W提升到了70W，使换挡时间缩短了100ms（0.1s），而且换挡电动机最大功率95W，换挡时间还有进一步的优化空间。

本文通过调整传动比来调整电动机输出功率平衡时的电动机转速，转速越接近最大输出功率转速，换挡时间就越短。

本文所述设计方法，其原理可通用于其他类似的换挡执行机构，比如齿轮减速、蜗杆减速、摇臂减速方案等。 **AUTO1950**

（上接第63页）

表1 变速器润滑试验条件

车辆状态	水平行驶	上下坡行驶	左右转弯行驶
倾斜角度/°	0	±17	±10
试验挡位	各挡		
油温	室温		
输入转速/(r/min)	1挡和倒挡：E/G怠速； 其他挡： $n_{\max}$ 的30%、60%及100%		同左

满足上述两个试验并不能说明变速器的润滑就没有问题，仍然要在考核其他项目时保证各摩擦面不能出现烧伤及烧伤倾向，否则还要对润滑设计继续改善。

整车试验中没有专门考核润滑系统的试验，只要完成各项试验后，各相对旋转的表面没有烧伤及烧伤倾向就可以通过考核。

表2 高速烧伤试验条件（4TH为常啮合挡）

试验顺序	挡位	输入轴转速/(r/min)	输入轴转矩/N·m	试验时间
1	6TH	$n_{\max}$	$T(n_{\max})$	5h
2	1ST~5TH	$n_{\max}$	$T(n_{\max})$	各30min
3		$n(T_{\max})$	$T_{\max}$	
4	Rev	$n(T_{\max})$	$T_{\max}/2$	10min
5	4TH	2000	0	2min
6	Rev	$n(T_{\max})$	$-T_{\max}/3$	10min

注： $T_{\max}$ 是发动机最大输出转矩， $n(T_{\max})$ 是发动机最大输出转矩时的转速， $n_{\max}$ 是发动机最高转速， $T(n_{\max})$ 是发动机最高转速时的输出转矩。

结语

笔者根据多年手动变速器设计经验，对润滑的设计评审及试验评价方法进行了综合性论述，具有很强的指导意义，由于AMT、DCT基本结构与MT基本相同，对AMT和DCT的设计也有很大的参考价值。但不同的结构及式样也有各自的特点，一定要依据实际情况进行适当调整。本文所讨论的方法只供参考性，设计者在设计时还要考虑成本的增加，不能为了润滑而增加额外的成本。只要保证变速器试验评价通过，采用最简单的方式实现润滑才是最优的设计方案。

参考文献

[1] 原鑫.重型汽车变速器润滑失效模式分析及控制[J]. 机械工程与自动化, 2014 (5) : 173-174.

[2] 徐晓春, 朱洪, 吴妙仙. 汽车变速器润滑[J]. 汽车工程师, 2011 (6) : 61-62.

[3] 许翔, 毕小平. 车用传动装置润滑系统的流动仿真[J]. 润滑与密封, 2006, 17 (2) : 17-19, 23.

[4] 汤耿波, 陈勇, 罗大国, 窦红印. 双离合器自动变速器油的研究[J]. 润滑与密封, 2011, 36 (6) : 107-110.

[5] 王瑞欣, 程曼, 刘红旗, 等. 变速器润滑试验台的研究与设计[J]. 机电产品开发与创新, 2017 (4) : 1-2, 12. **AUTO1950**