

商用车变速箱润滑技术研究与应用

张莉香, 周祥军, 曹辞, 张馨月, 高林, 熊钊

(东风商用车技术中心, 湖北武汉 430000)

【摘要】本文通过大量的试验数据展示了变速箱润滑油对变速箱可靠性、传动效率、低温换挡性能、保养里程及润滑系统对变速箱总成传动效率, 给出了重型商用车变速箱润滑油选择的一般要求及通过润滑系统设计改善变速箱传动效率的措施。

【关键词】润滑油; 变速箱; 润滑系统; 性能; 措施

Commercial of transmission oil and lubrication system

Abstract: This paper introduces the influence of gearbox lubrication system and lubricating oil on gearbox performance through a large number of test data, and introduces the new design scheme of gearbox lubrication system. Through the iterative upgrading of gearbox lubrication technology and the application of new lubrication technology of parts, the performance requirements of gearbox assembly are improved.

Key Words: Transmission; lubrication system; oil; development; design; test method

引言

随着整车对低碳环保、节能减排要求的提升, 商用车变速箱由传统 MT、AMT 向混动、电机驱动方向发展, 高传动效率、高可靠性、优异的换挡性能、超长保养里程、维修便利性成为变速箱发展趋势, 变速箱润滑技术也随之不断迭代升级。

1 国内外商用车变速箱润滑技术发展现状及性能指标

下图展示的变速箱是某公司 2021 新推出的一款高传动效率变速箱, 预测传动效率高四挡平均 98.78%, 全档位平均: 98.39%。

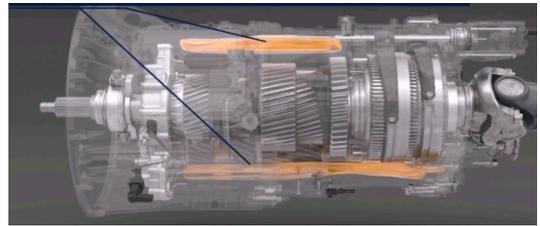


图 1 某变速箱润滑系统结构

随着整车性能的提升, 商用车变速箱产品性能指标要求也不断提升: 商用车变速箱最大扭矩: 2000Nm→3200Nm; 可靠性: B10≥80 万→B10≥120 万→B10≥160 万; 换挡性能: -40℃~40℃满足气控换挡性能要求; 传动效率: 高三挡或高四挡平均≥98%; 保养里程: 首定保一致, 中型箱 10 万、30 万, 重型箱 30 万、60 万; 维修便利性: 便于油压监测、观察油面、滤芯更换。

2 润滑油对变速箱总成性能影响

2.1 润滑油的作用

商用车变速箱润滑油的主要作用包括: 润滑减摩、散热冷却、清洗清洁、密封防漏

及防锈防腐，其中润滑减摩、散热冷却功能是影响承载能力的主要因素。

2.2 润滑油润滑减摩的工作原理

根据斯特里贝克曲线可以看出，润滑油的承载能力跟膜参数相关，膜参数=润滑油粘度 X 转速/压力。

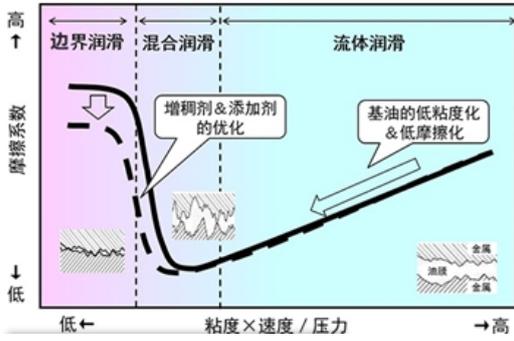


图2 特里贝克曲线

当润滑油处于流体润滑区域时，摩擦系数随着膜参数的增加而增加。摩擦副的表面被连续流体膜隔开，摩擦阻力完全取决于流体的内摩擦（粘度）。在这个区域中，工作的摩擦副表面没有直接接触，没有机械磨损（磨粒、粘着磨损）产生，但可以产生表面疲劳磨损、气蚀磨损和流体浸蚀。边界润滑区域，摩擦系数随着膜参数的增加而降低。当润滑油处于边界润滑状态时，润滑剂的粘度对降低摩擦所起作用很小，几乎完全不起作用，载荷几乎全部通过微凸体以及边界润滑膜承担。此时，油膜已经不起作用，油品的抗磨性能主要取决于添加剂形成的物理膜和化学膜来保护摩擦副表面。

2.3 润滑油对承载能力的影响

润滑油油膜厚度可以通过 EHD 实验测量出来，试验结果如下图：

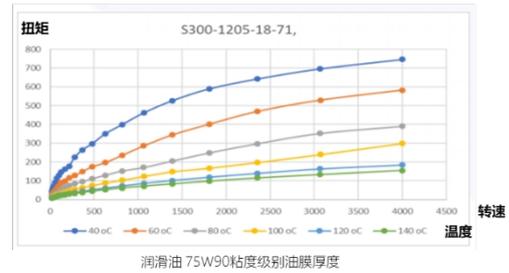
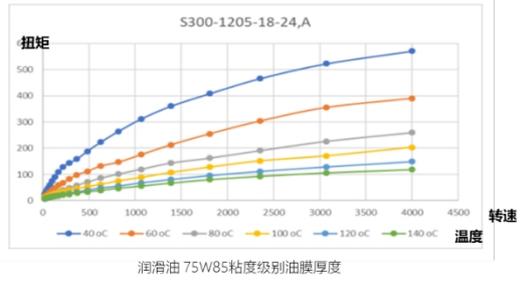


图3 EHD 试验测试油膜厚度

通过结果可以以下结论：油膜厚度的影响因素主要包括扭矩、转速和温度。变速箱扭矩越大、转速越低、温度越高，润滑油粘度越低，油膜厚度越薄，承载能力越差。

油温对油膜厚度的影响很大，对于粘度相同的润滑油，油温越高，油膜厚度越薄，润滑油的承载能力越差。为了保证润滑油的承载能力，啮合副附近润滑油工作温度需满足齿轮散热需求。对于重载、超重载工况，可以通过提高啮合副润滑油量或使用更高粘度润滑油来提升承载能力。

采用 ROMAX 软件计算变速箱的 B10 寿命，同一个变速箱模型在相同工况下，仅将润滑油的粘度由 75W/85 提升到 75W/90（100℃运动粘度由 11.4mm²/s 提升至 18.4mm²/s），变速箱 B10 寿命提升约 5%~10%。具体数值如下表：

表 1 某变速箱采用 75W/85 润滑油计算结果 B10 寿命

采用A润滑油 75W/85

K87V路谱(65T) 某变速箱50万公里B10损伤%		
部件	1900N.m	2240N.m
P1轴承右	0.21	0.46
P1轴承左	9.3	18.6
二轴后轴承	14.8	30.6
二轴前轴承	19.8	38.6
行星滚针	70	124
一轴后轴承	2.5	6.2
中间轴后轴承	4.8	10.1
中间轴前轴承	3.5	8
常啮合齿轮	0.24	3
中间轴常啮合齿轮	0.17	2.1
爬挡齿轮	19.7	61.5
中间轴爬挡齿轮	121	374
行星轮	6.1	18.9
太阳轮	16.1	51
中间轴一档齿轮	0.003	0.05

表 2 某变速箱采用 75W/90 润滑油计算 B10 寿命

采用B润滑油 75W/90

K87V路谱(65T) 某变速箱50万公里B10损伤%		
部件	1900N.m	2240N.m
P1轴承右	0.028	0.07
P1轴承左	2.5	5.5
二轴后轴承	6.7	14.9
二轴前轴承	10.5	21.2
行星滚针	55	97
一轴后轴承	1.6	4
中间轴后轴承	1.8	4.2
中间轴前轴承	1.8	4.4
常啮合齿轮	0.24	3
中间轴常啮合齿轮	0.17	2.1
爬挡齿轮	11.5	36.7
中间轴爬挡齿轮	71.3	223
行星轮	3.9	12.4
太阳轮	9.9	33.5
中间轴一档齿轮	0.003	0.047

根据计算结果可以以下结论：对于重载变速箱总成，提高润滑油高温粘度可以改善齿轮、轴的 B10 寿命。

2.4 润滑油对换挡性能的影响

75W/85、75W/90 两种润滑油粘度实测结果如下表所示：

表 3 两种润滑油的粘度

温度	-30	-40	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	30
9735 曼牌 75W/90	25280.15	93485.3	14168.47	8295	5052.38	3190	2081.12	1398.82	966.17	684.18	495.67	366.69	212.26
三孚 75W/90 壳牌 75W/90	15479.33	53484.68	8938.64	5378.17	3360.61	2172.17	1448.16	993.12	698.85	503.51	370.68	278.85	165.52
三孚 75W/90 壳牌 75W/85 (新)	7146.92	24511.26	4156.04	2522.78	1591.88	1040.31	701.8	487.29	347.33	253.55	189.16	143.95	87.9

根据实测结果可以看出，温度超过 80℃ 时，75W/85 润滑油的粘度与 75W/90 润滑油的粘度差异不大，但当环境温度低于 0℃ 时，

两种油品的粘度差异巨大，75W/85 润滑油的低温流动性明显优于 75W/90。

我们将 75W/85、75W/90 两种粘度的润滑油分别加注在同一台变速箱总成上进行低温换挡性能测试，测试结果如下表：

表 4 两种粘度润滑油低温换挡性能

油品	油温℃	后副档性能		主档性能(3-1)		
		低温℃	低温℃	低温℃	3-1挡	
75W-90	-18-20	-13	11	0.4	-13	失败
		-10	7.6	0.41	-10	失败
		-6	3.1	0.44	-6	失败
		-3	1.8	0.48	-3	失败
		0	1.2	0.5	0	失败
		5	0.49	0.5	5	0.49
		10	0.41	0.47	10	0.41
75W-85	-15-20	-13	3.54	0.38	-13	0.57
		-10	2.47	0.37	-10	0.46
		-6	0.63	0.41	-6	0.18
		-3	0.49	0.56	-3	0.49
		0	0.41	0.51	0	0.22
		5	0.37	0.51	5	0.16
		10	0.20	0.57	10	0.19

根据实验结果可以得出以下结论：使用低粘度润滑油可以改善变速箱换挡性能，尤其是变速箱的低温换挡性能，对于长期工作在环境温度低于 0℃ 以下的整车，推荐使用低粘度润滑油。对于采用气控换挡的 AMT 变速箱推荐使用低温换挡性能好的低粘度润滑油。

2.5 润滑油对传动效率的影响

对于同一款变速箱，我们分别采用 75W/85、75W/90 及在 75W/85 润滑油中添加纳米材料三种方案进行效率试验，试验结果见下表：

表 5 某变速箱使用 3 种不同状态油品传动效率试验数据

某变速箱	润滑油黏度	传动效率				
		14 挡	13 挡	12 挡	11 挡	高四挡平均
输入功率 240kw	75W/85	99.1	97.6	97.7	97.7	98.0
		5%	5%	9%	5%	85%
输入转速 1400rpm	75W/85*	99.2	97.7	97.7	98.0	98.2
		5%	6%	8%	9%	20%
	75W/90	98.8	97.6	97.3	97.7	97.8
		0%	1%	1%	4%	65%

根据试验结果可以得出以下结论：

- 润滑油黏度降低 (16.9cst@100℃ → 9.95cst@100℃)，变速箱总成高四挡平均传动效率 ↑ 0.22%。

b. 润滑油添加纳米材料，变速箱总成高四挡平均传动效率↑0.135%。

降低润滑油粘度或在润滑油中添加纳米材料可以提升变速箱传动效率。但是值得注意的是，润滑油工作在流体润滑区域时，降低粘度降低摩擦系数，提升传动效率。润滑油工作在混合润滑和边界润滑区域时是不起作用的，而流体润滑需要摩擦副表面被连续流体膜隔开，即啮合副表面有连续的润滑油流过。当啮合副附近油量充分时，降低润滑油粘度可以提升传动效率；反之当啮合副附近油量不足无法形成连续油膜时，降低润滑油粘度不仅不能起到节能效果，反而会增加磨损。

2.6 润滑油对保养里程的影响

润滑油的粘度、剪切稳定性、氧化安定性、铜腐蚀、抗磨抗点蚀性能等决定了润滑油的质量等级，变速箱设计时应合理选用质量等级与保养里程要求相当的齿轮油。

2.7 润滑油选择的一般要求

1) 重载或超重载的牵引车、工程车匹配手动变速箱推荐使用高黏度润滑油 75W-90。

2) AMT 变速箱受换挡性能的影响，优先推荐使用低粘度润滑油。若需匹配重载、超重载车型可考虑缩短保养里程。

3) 高效物流、标载长途载货车（49T 以下）变速箱推荐使用低粘度润滑油 75W-85。

4) 长期工作在寒带地区（环境温度低于 0℃）整车变速箱推荐使用低粘度润滑油 75W-85。

5) 环卫车、水泥搅拌车等特殊车种可推荐使用保养里程+年限的方式规定变速箱换油里程。

3 润滑系统对变速箱总成传动效率的影响

3.1 变速箱传动效率提升对整车经济性改善的贡献

以某 14 挡变速箱传动效率提升前后数据为依据，计算基于 GT 计算在国道应用场

景下变速箱改善前后的油耗改善效果，变速箱传动效率提升 1% 左右后整车油耗改善 1.2%。

3.2 降低变速箱总成油面高度，减少搅油齿轮的浸油深度，提高传动效率

某变速箱总成加油量从 6.5L 减少到 4.5L，高三挡平均传动效率提升 0.24%。具体数值如下：



图 4 不同油量高三挡平均效率

3.3 合理设置 OD 变速箱速比、降低浸油齿轮的转速提升变速箱传动效率

中间轴浸油齿轮的转速越高，效率越低。尤其对于带前副箱总成的变速箱，前副箱 SH、SL 挡齿轮的速比对传动效率影响很大。

表 6 某变速箱总成 DD 直接档与 OD 超速档传动效率对比

输入功率 240kw 输入转速 1400rpm	润 滑 油 黏 度	传动效率				
		14 挡	13 挡	12 挡	11 挡	高四 挡平 均
DD 直接档 变速箱	75W	99.2	98.8	97.2	97.7	98.2
	/85	5%	6%	8%	2%	8%
OD 直接档 变速箱	75W	97.2	99.0	97.3	97.9	97.9
	/85	9%	9%	3%	2%	1%

一般来说,中型箱一轴转速高于重型箱,中型箱传动效率<重型箱传动效率。同样油面高度条件下,对于立式安装的变速箱总成,OD 变速箱传动效率<DD 变速箱。

3.4 合理选配冷却器提升传动效率

某些商用车变速箱设计有不同散热量的冷却器,整车匹配时需根据整车工况选择合适的冷却器配置。某变速箱高速平地工况下实际温度如图所示:

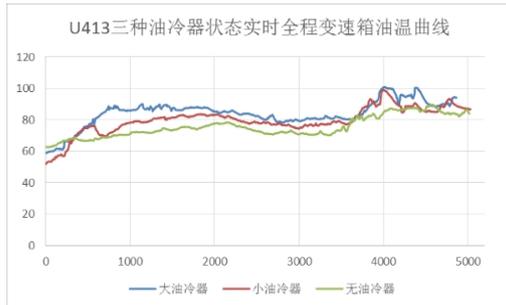


图 5 某变速箱高速平地工况下实际温度

变速箱冷却器低温时加热润滑油,高温时冷却润滑油。根据使用工况合理选配冷却器,保证变速箱工作在 80°C~100°C 温度范围内,即能提高变速箱的传动效率,又能延长变速箱的使用寿命。

3.5 采用主动润滑方式替代喷淋润滑方式提升变速箱传动效率

采用主动润滑方式替代喷淋润滑方式的本质是降低油面高度,减少齿轮搅油损耗,提升传动效率。

某变速箱齿轮、轴承采用飞溅(浸油)润滑,油面高度为中间轴轴线向上 30mm。

某变速箱主箱齿轮采用飞溅润滑,后副箱行星轮系采用喷淋润滑方式,油面高度为中间轴轴线向上 10mm。

某变速箱主箱齿轮采用飞溅润滑、轴承采用二轴中心油路润滑,后副箱行星轮系采用喷淋润滑方式,油面高度为中间轴向下 30mm。

5 小结

5.1 本文通过大量试验数据展示了润滑油对变速箱总成可靠性、传动效率、换挡性能、保养里程的影响,给出了润滑油选择的一般要求:

1) 重载或超重载的牵引车、工程车匹配手动变速箱推荐使用高黏度润滑油 75W-90。

2) AMT 变速箱受换挡性能的影响,优先推荐使用低粘度润滑油。若需匹配重载、超重载车型可考虑缩短保养里程。

3) 高效物流、标载长途载货车(49T 以下)变速箱推荐使用低粘度润滑油 75W-85。

4) 长期工作在寒带地区(环境温度低于 0°C)整车变速箱推荐使用低粘度润滑油 75W-85。

5) 环卫车、水泥搅拌车等特殊车种可推荐使用保养里程+年限的方式规定变速箱换油里程。

5.2 本文通过大量试验数据展示了变速箱润滑系统对变速箱总成传动效率的影响,并提出了措施:

1) 降低变速箱总成油面高度提升变速箱传动效率。

2) 合理设置 OD 变速箱速比、降低浸油齿轮的转速提升变速箱传动效率。

3) 合理配置冷却器、控制变速箱油温提升变速箱传动效率。

4) 优化润滑方式提升变速箱传动效率——通过主动润滑方式,降低油面高度,减少齿轮搅油损耗,提升传动效率。

参考文献:

[1] 齿轮 热功率 第 1 部分:油池温度在 95 °C 时齿轮装置的热平衡计算. GB/Z 22559.1—2008/ISO/TR 14179-1: 2001: 7.3 轴承功率损耗 7.4 直齿圆柱齿轮装置和斜齿圆柱齿轮装置的啮合功率损耗。

[2] 宋世远 油料模拟台架试验 第二版 中国石化出版社 2012:186-191 润滑剂承载能力测定(齿轮试验机法)。