DCT同步器设计方法研究

刘洪岩

天津天海同步科技有限公司　天津　301600

摘要：从锁环式惯性同步器工作原理及换挡过程出发，详细介绍了DCT同步器总成产品设计计算过程，并以DCT450产品为例详细完成了结构设计、性能计算、强度校核及试验验证等工作。

关键词：DCT同步器；设计方法

随着传统能源的消耗日驱严重以及人们生活环境的日驱恶化，乘用车作为现代生活的主要消费品，对其燃油经济性、节能减排的要求日渐提高。因此，DCT双离合变速器成为各大车企争相研发的降低燃油指标的主要产品之一。

目前，市场上主要的DCT产品以德系为主，如大众的DQ200、DQ250、DQ380及DQ400等，格特拉克DCT150、DCT250、DCT300等，国内则以吉利7DCT和长城7DCT450为主。DCT具有结构紧凑体积小、质量轻和传递效率高等优点，有效改善了整车燃油经济性。图1所示为DCT变速器结构示意图。

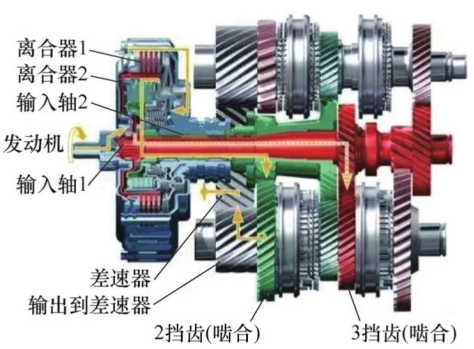


图1　DCT变速器结构示意

DCT根据离合器主动盘和从动盘之间连接介质的不同又分为干式离合器和湿式离合器。干式离合器的传动效率更高，但是传递扭矩能力有限制；湿式离合器传动效率稍低，但是可以传递比较大的扭矩。

同步器作为传统手动变速器的重要换挡元件，在DCT中同样发挥着重要作用。同步器自身的预同步功能配合双离合器，双输入轴，在无动力切断的情况下，实现了奇、偶数挡位独立的动力传递。众所周知，锁环式惯性同步器根据摩擦原理，使输入端和输出端的转速同步，同步器齿套与结合齿在转速同步前不可能接触，保证了换挡无冲击、无噪声，平顺换挡。DCT变速器由于换挡力大，换挡时间短，所以对同步器性能的要求更为严苛。

同步器基本结构和工作原理

同步器结构如图2所示。

1.手动变速器同步器工作原理

同步环受滑块传递的换挡力的作用，其内锥面与锥体外锥面间产生摩擦力，使同步环相对齿套转过一

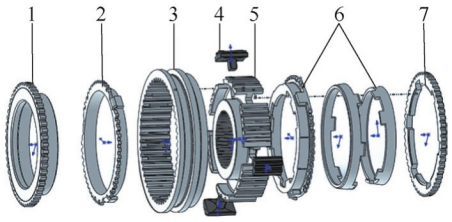


图2　同步器结构示意

1—同步器锥体　2—单锥同步环　3—同步器齿套　4—同步器滑块　5—同步器齿毂　6—同步器三锥摩擦锥环　7—同步器结合齿

个角度，齿套结合齿锁止面与同步环结合齿锁止面接触，产生一个正压力N，正压力N分解为轴向分力S和拨环力T，力S推动下使同步环和锥体之间角速度逐步一致，此时同步环转过一个角度，齿套通过同步环继续移动与同步锥结合齿结合，完成换挡。

2.DCT同步器的换挡特点

DCT同步器换挡过程不同点在于，换挡命令是通过变速器控制单元（TCU），根据收到的车速、发动机转速、加速踏板开度等信号，根据控制策略决策发出的。而手动变速器是通过人脑接收车况、路况信息进行手动换挡的。

同步器设计过程

1.确定输入条件

（1）空间安装尺寸　包括径向尺寸和轴向尺寸。其中径向尺寸对同步器容量有影响。

（2）变速器档位分布及各档速比情况　通过挡位分布和速比情况，可以确认同步器位置、动力传动路线、转速变化及转动惯量等情况。

2.换挡性能目标

检验DCT同步器换挡性能的非常重要的指标是同步换挡时间。根据笔者多年的经验积累，一般DCT同步器换挡时间控制在0.2～0.3s。

3.同步扭矩容量计算

$$T_s=\frac{J_s\Delta\omega}{t_s}\pm T_d \tag{1}$$

式中　T_s——同步扭矩；

J_s——转动惯量，与齿轮系统的质量m有关；

$\Delta\omega$——角速度差；

t_s——同步时间；

T_d——传动系统拖拽扭矩。

当拖拽扭矩T_d对同步换挡起正向作用时，T_d取正号，反之，则取负号。对于干式离合器，拖拽扭矩来自齿轮、轴承之间的摩擦、齿轮搅油等，对于湿式离合器主要考虑来自离合器润滑油的影响。

4.同步环基本类型和几何尺寸的确定

根据下式计算同步环锥面平均半径：

$$R_{SG}=\frac{T_s\sin\alpha}{F_t\mu_c} \tag{2}$$

式中　α——半锥角；

F_t——轴向换挡力；

μ_c——锥面摩擦系数。

其中α和μ_c根据以往经验总结出一组推荐数据作为参考（见表1）。

表1　α和μ_c取值参考

摩擦材料名称	锥角α（°）	摩擦系数μ_c
铜合金	7.0	0.09
喷钼	7.5	0.1
烧结铜	7.5	0.11
碳纤维或碳颗粒	8	0.12
无机复合材料	8.5	0.13

如果通过上式计算得到的$R_{平均}$超过同步器径向空间限制条件，则考虑使用双锥面或多锥面结构。图2所示的三锥结构，它的平均等效半径是三个锥面平均半径的和。

5.同步器脱环力计算

根据下式计算可以得到一个最小脱环力：

$$F_a=\frac{T_d}{\left(\frac{PDC}{2000}\frac{\cos\beta-\mu_\beta\sin\beta}{\sin\beta+\mu_\beta\cos\beta}\right)} \tag{3}$$

式中　F_a——作用在齿套上的轴向力；

PDC——分度圆直径；

β——同步环锁止角角度；

μ_β——锁止角面摩擦系数。

由式（3）中可以看出，F_a的大小是由变速器液压系统决定的，基本固定不变；T_d受齿轮轴承间摩擦或者

离合器润滑油的黏性影响，基本恒定或者有规律地变化；分度圆直径PDC固定不变，因此DCT同步器如果想平稳顺利换挡，就需要调节同步环锁止角的大小来进行优化。

6.摩擦材料选择指标

（1）最大摩擦线速度V_{max}　其单位为m/s 。

$$V_{max}=\Delta\omega \cdot R_{cmax} \tag{4}$$

式中　Δ_{ω}——输入端和输出端角速度差；

R_{cmax}——最大锥面直径。

（2）最大单位面积正压力P　其单位为Pa。

$$P=\frac{F_N}{A} \tag{5}$$

式中　F_N——锥面正压力；

A——摩擦锥面等效总面积。

（3）单位面积滑摩功　其单位为J/mm² 。

$$J=\frac{0.5J_s\Delta\omega^2}{A} \tag{6}$$

（4）单位滑摩功率　其单位为W/mm² 。

$$W_{max}=P\mu_c V_{max} \tag{7}$$

进行同步器设计时要综合考虑上述四项指标，选用合适的摩擦材料。目前通用的几种摩擦材料的上述指标许用值见表2。

表2　通用摩擦材料各项指标许用值

摩擦材料名称	$[V_{max}]$	$[P]$	$[J]$	$[W]$
铜合金	5	3	0.09	0.45
喷钼	7	6	0.5	0.8
烧结铜	10	8	1.0	4.5
碳纤维或碳颗粒	14	10	1.5	10

7.其他参数的确定

（1）半锥角α　根据式（2）分析，半锥角过大时，锥环同步扭矩变小，造成同步不充分进而打齿。但是半锥角如果过小，同步环容易和结合齿锥面“抱死”，即所谓的“自锁”发生。通常会根据经验公式$\mu_c \leqslant \tan\alpha$来确定半锥角大小。同时考虑到加工误差、摩擦系数等不稳定因素，通常在此基础上把α适当加大。

（2）锁止角β　根据同步器的工作原理，当齿套锁止角和同步环锁止角接触，拨环力与锁止力之间形成形成了分力关系。当锁止角β增大时，同步环锁止能力增强，但同时拨环力矩会减小，影响换挡同步性能。考虑到加工误差、材料摩擦系数的影响，一般要求锥面摩擦力矩T_c和拨环力矩T_i之间关系为

$$T_c/T_i>1.15 \tag{8}$$

（3）同步接近行程　是指从同步环失去滑块轴向力到同步环锁止角和齿套锁止角平面接触为止的行程。该行程根据经验一般控制在0.2～0.3mm。

（4）后备行程ΔS　后备行程选择的原则是一方面保证同步器总成具有规定的使用寿命，另一方面换挡过程不能产生二次冲击。一般轿车同步器后备行程1.0～1.5mm。可结合摩擦材料的抗磨损能力进行选取。

（5）预同步行程ΔS_1　即齿套从中间空档位置向一侧位移至滑块接触到同步环端面位置的这段行程。一般乘用车取0.5～1.5之间，根据摩擦材料的不同进行选取。

8.齿套、齿毂、同步环、结合齿花键配合的选择

目前通行的6挡和7挡DCT同步器，其花键一般采用小模数，即1.25～2.0，压力角一般都取20° 。这样能够保证传动的稳定性以及降低噪声。齿套与齿毂之间可大径定心也可小径定心或齿侧定心，根据自身生产技术水平和主机厂要求选取，配合公差等级推荐H/f或H/e。齿套与同步环之间采用齿侧定心，配合公差等级推荐两倍的H/F或两倍的H/e。齿套与结合齿之间也采用齿侧定心，配合公差等级推荐H/d。

结语

DCT变速器作为一种自动变速器，利用传统同步器元件实现了无间断的动力传递，在很大程度上减少了能源损耗，未来必将成为汽车发展的主流。

参考文献：

[1] 王雅.汽车变速器维修精选[M].北京：化学工业出版社，2012.

[2] 赵雪松.湿式双离合器自动变速器同步器设计及研究[D].吉林大学，2015.