10

离合器操纵

Roland Welter
Volker Lang
Bernhard Wolf

引言

2002 [1] 和 2006 [2] 研讨会上关于离合器操纵系统的文章，主要讨论的是如何面对更大扭矩，更多的性能要求以及因此要求控制更高的分离力的趋势。作为整个离合器系统的制造商，LuK 一直关注于用专业的态度，基于仿真和整车调试，来对离合器系统进行设计，并在满足客户要求的前提下提供合适的产品，比如自调节离合器和液压驱动系统。除此以外，我们已经集成了各种使踏板力特征更人性化以及减少振动和噪声的功能。随着这些技术持续的开发，其它的一些趋势所产生的影响逐渐开始被关注。

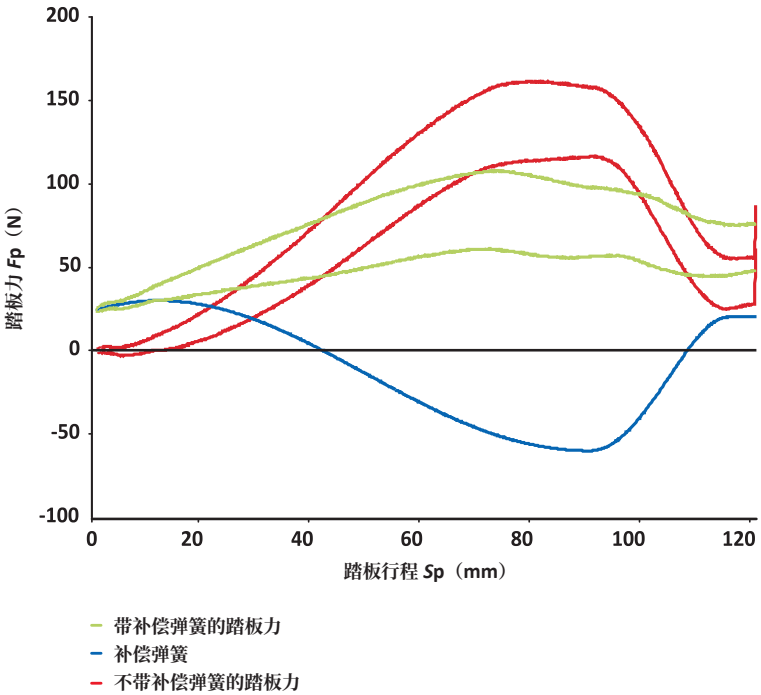


图 1　修正与未经修正的踏板力曲线（举例）

2008 年和 2009 年世界经济形势的改变以及我们必须在节省燃油方面做得更好的共识，扩大了对小型车和驱动各种车型的内燃机低油耗技术的需求。因此，如今小型车的离合器系统在不牺牲舒适性的前提下，被设计得更轻，更经济。另一方面，能进一步节约油耗的驱动系统，比如起停系统，混合动力以及双离合器变速箱，也提升了这种技术挑战的门槛和复杂程度。

而 LuK，能够同时在传统的离合器手动操纵系统和流行的低油耗驱动系统这两大领域提供创新的解决方案。

传统离合器操纵：

- 功率密度
- 可靠性和使用寿命
- 小型车

节油的驱动系统：

- 起停系统
- 混合动力驱动系统
- 双离合器变速器

传统离合器的新研发

踏板的人机工程

在 2006 [2] 的研讨会上，介绍了通过叶片弹簧

和凸轮盘储存能量来改善踏板力特性的可选方案。这些方案的优点是在紧凑的空间内，能得到比过死点弹簧更高的踏板力补偿。并且几乎可根据凸轮盘几何形状的任意选择来改变踏板力特性的曲线。比如，两次穿过零点的补偿力曲线成为可能，从而在离合器分离的过程中，减小踏板力。

这种原理通过不同车型的测试被证实是有效的。只有一个叶片弹簧和一个滑轮的原始设计现在变成了两个滑轮和两个类似形状为 V 型弯板的弹簧（图 2），从而避免了踏板和踏板轴上的横向力。

图 2 通过弹簧、滑轮和凸轮盘的踏板力补偿

通过叶片弹簧来进行踏板力补偿，最早是针对具有很高发动机扭矩和对踏板力有强烈修正需求的汽车而开发的。如今看来，这样的应用需求在减少。因此，更清晰的思路是，我们需要更改设计，去适应更多中级车的应用需求，并为此适当降低可能达到的补偿力水平。与此同时，我们必须减少安装空间，将踏板和补偿机构设计成一个单独的元件。进一步的改进方案（图 3）采用了一个径向布置在踏板轴上的补偿机构。

这种方案里，多个片状的弹簧叠加起来，这个金属片弯曲的斜面起到弹性功能。它们的任务就是储存传递过来的能量，并通过它们斜面的轮廓来实现对踏板力曲线有目的修正。三根滚针被安装在斜面和圆柱形壳体套筒中间。当踩下踏板时，三根滚针滚落到倾斜面下方，弹簧积蓄的能量被释放，从而支持踏板的分离运动。 当离合器接合时，与之相反，能量重新被储存到弹簧上。目前，我们正在利用同样的原理，持续开发一种集成到踏板上，装配更加方便的解决方案。

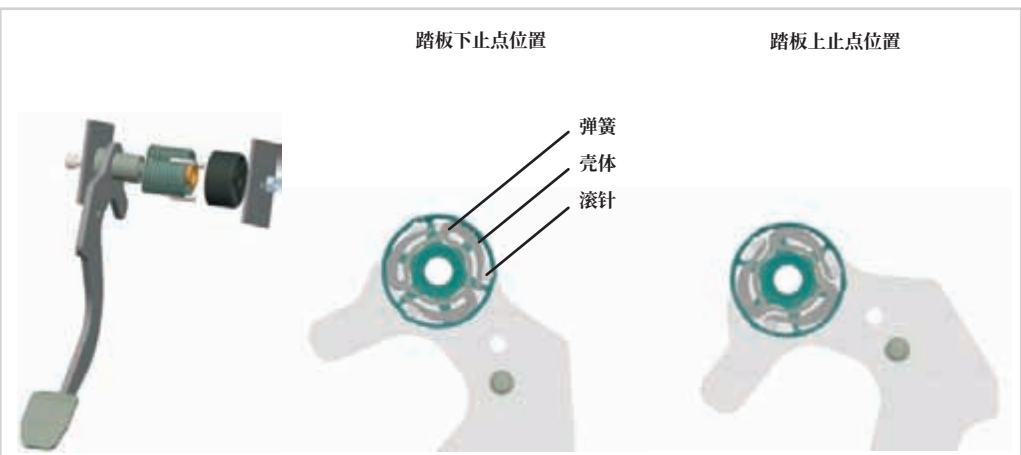


图 3 安装在踏板轴上的踏板力补偿装置

噪声/振动

令人不快的踏板振动和一些车身内部噪声是由曲轴的振动引起的，并通过分离轴承和整个液压系统传到踏板上。在低振幅情况下，只需要对离合器高压油管上的节流孔的简单改变或管路直径和长度的简单调整，就能解决问题并达到满意的效果。而在更严重的情况下，则需要使用阻尼元件。阻尼元件通常被区分为减振器（AVUs）和膜片阻尼装置（图 4）。当踏板被踩住不动的时候，减振器会通过可自动关闭的阀体，关闭高压油管。两种阻尼元件都已经量产，但都有各自的缺点。减振器增加了踏板力特性中踏板力的迟滞，而膜片阻尼装置则使系统液压体积的膨胀增加，并因此导致离合器分离行程的损失。

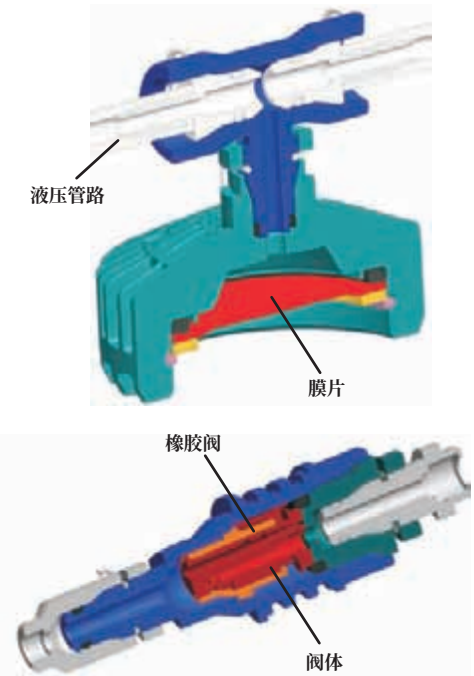
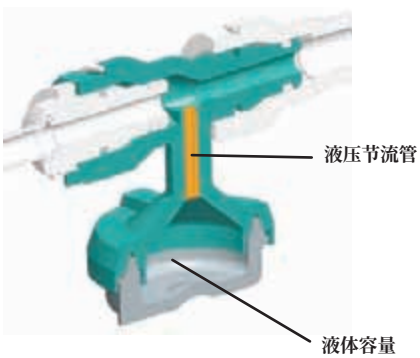


图 4 宽频膜片阻尼装置（上）和传统减振器（下）

为了避免这些现有解决方案的缺点，LuK 进行了基于不同原理的各种各样的仿真和试验。其中，一种基于膜片阻尼装置的改善方案提供了这种可能。它是基于声学中被大家所了解的亥姆霍兹谐振效应，我们称之为紧凑型谐振器。这种谐振器有一个附加腔体，通过一个固定长度和直径的 T 型连接件与高压油管相连。为了使分离行程的损失变小，该部分的液体容量应被设计得尽可能的小。滤波频率和阻尼效果则由液压节流管的几何形状来决定。

紧凑型谐振器只有传统膜片阻尼器的体积膨胀的 1/3。它体积很小，因此很容易适应现有的空间要求。原膜片阻尼装置需要采用成本较高但体积膨胀较小的金属橡皮管，因为有了紧凑型谐振器，金属橡胶管也能够成功地被具有一定刚度的塑料高压油管所替代。



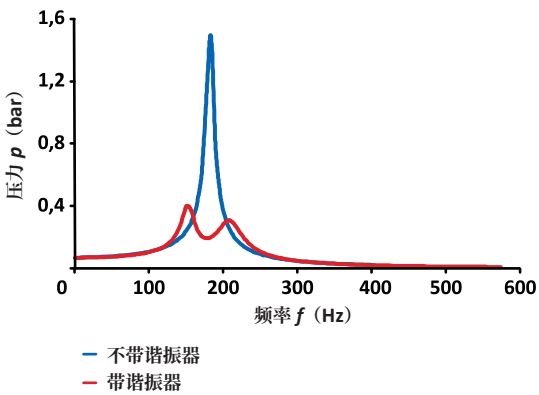


图 5 紧凑型谐振器以及带和不带紧凑型谐振器的频率曲线

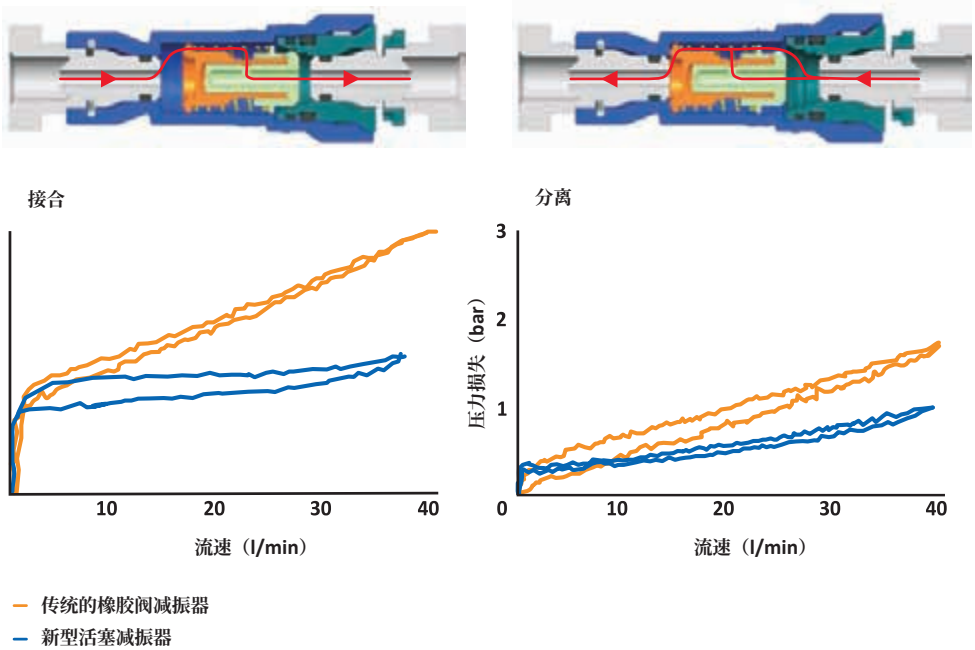


图 6 带两个相互套在一起的活塞的活塞减振器和减少的压强迟滞

为了保证在维持相同的踏板减振效果的情况下减少压力的损失，之前的 AVU 同样也被优化了（图 6）。在改进的设计中，阀体部分由两个活塞组成。它们一个套在另一个里面，并被一个弹簧预紧在各自的密封槽内。一旦液体内压强超过了开启压强，安装在流动方向的活塞被推动，从而开启通道让液体流过。与之前的橡胶阀减振器相比，当开启情况下，活塞减振器的压力损失明显减少很多，并且其损失基本维持在开启压力的水平上。因此，即便是很快的踩下踏板，驾驶员也很难感觉到活塞减振器的存在。因为，踏板力仅仅会因为活塞减振器轻微的增加。活塞之间的缓冲腔同样也防止了密封槽内的振动和噪声。

最好的避免踏板振动的物理方法是通过安装在离合器盖上的对中式分离装置（DFA）来完全切断曲轴轴向振动的传递。此时，分离装置内液体的反作用力是作用在离合器盖上而不是作用在静止的变速箱壳体上；分离系统内的液体也不会产生相应的激励 [1]。

除了原有的离合器分离轴承外，安装在离合器盖上的分离装置还需要一个轴承使它支撑离合器盖上。当车辆上该分离装置的径向和轴向振幅不太大时，这两个轴承的拖曳力矩通常能够被高压管路来平衡。当分离装置没有承受压力时，集成的预紧弹簧能够确保分离轴承被预载，并且保证分离轴承和膜片弹簧指总是常接触的。令人不快的噪声和过早的轴承损坏因此能够有效地避免。在安装发动机和变速箱时，高压油管必须对准离合器壳体的油管通孔。除此以外，在维修更换离合器的过程中，也没有发现由于轴向空间有限而出现问题。安装在离合器上的分离装置，使对踏板振动的评价大大改善，以至于完全可以不再使用安装在高压管路上的其它减振器。通过整车试验，我们发现安装在离合器上的分离装置也能对起步抖动现象和变速箱的敲齿现象有改善。

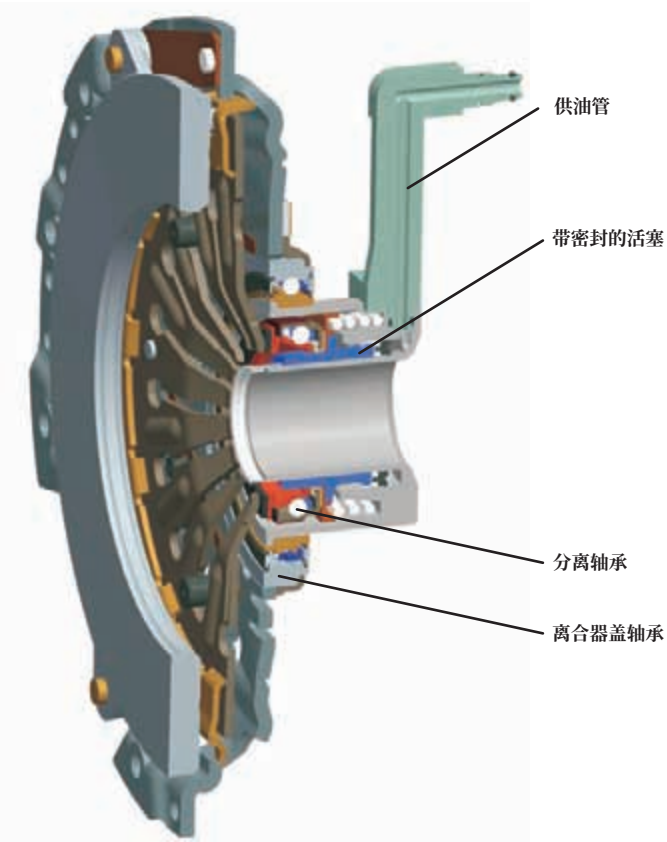


图 7 安装在离合器盖上的分离装置

通过离合器，离合器分离系统和踏板的动态模拟计算，减振器的必要性，减振器的样式，以及减振器在汽车上的安装位置都能够被可靠的分析出来。LuK 建议在研发项目的早期就进行这种研究，从而避免匆忙的，最后一刻的设计变更。

金属橡胶液压高压管路

离合器管路中的金属橡胶管主要是在比较长的管路布置以及承受更高温度要求的情况下使用。在末端，管路通过快插接头连接到离合器的缸体上。通常，快插接头是金属的，但是现在越来越多的被设计成可装配的塑料接头。在图 8 中最上方展示的塑料快插接头，是通过直接安装在金属管和相应的表面（如在液压缸体内）上的 O 型圈作为密封件来有效的防止泄露。这些快插接头的轴向限位，是通过管路上的凹槽和两片可以锁在一起的半壳实现的。

金属管和橡胶管的连接通常是由金属管上的一段凸起来实现的。如今，精密的金属成型模具使得在金属管的末端可以形成多个轴向凸起变形，以至于通过编织物强化的橡胶软管也能被薄壁套筒直接压在金属管上（图8,下）。这种直接的连接方式具有更少的密封点，因此原则上密封也会更加的可靠。

LuK 一直采用这种设计来制造离合器管路，大约有两年了。按照需求来自由的切割金属管，以及自动的弯管技术减少了模具上的成本以及因为工程更改所需要的的反应时间。离合器油管中的金属橡胶管设计方案在将来的大量应用中仍然具有很强的吸引力。

塑料液压高压管路

塑料管比那些由金属和橡胶制成的管路更便宜。然而，它们的应用却在技术上受限于管

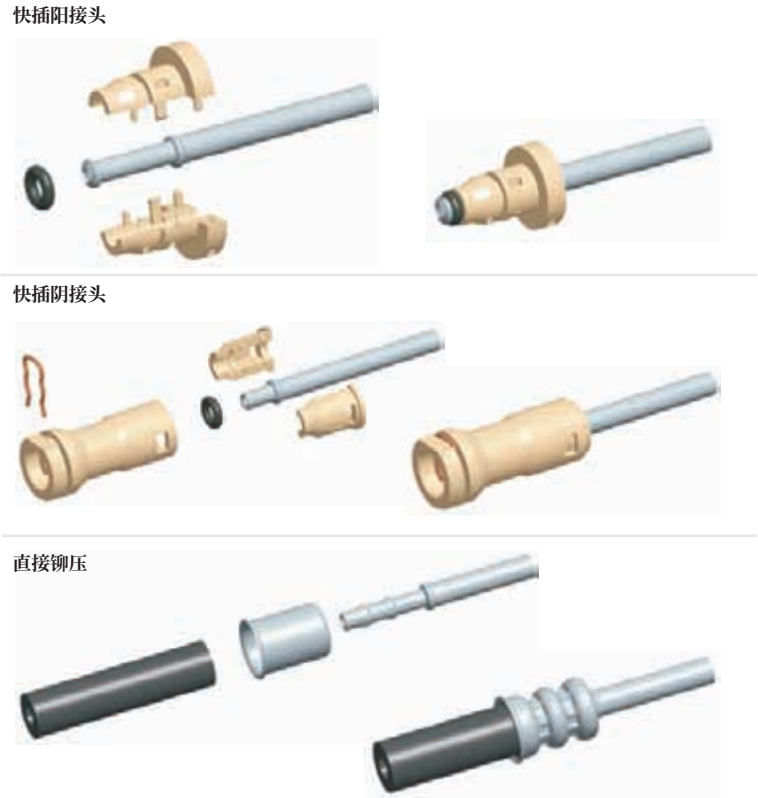


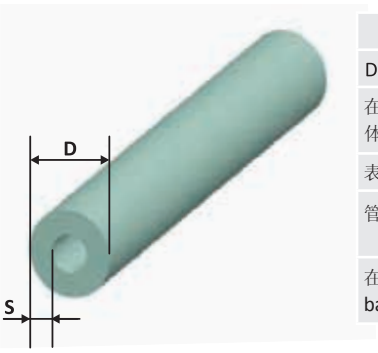
图 8　离合器管路中的金属 —— 橡胶快插接头

路中的最高温度，由温度导致的体积膨胀以及压力波动的传输情况。

我们所使用的材料是，相对温度变化而比较稳定的，截面为 8 x 2 mm 的尼龙 12H（PA 12H）；和用于比较长的管路，截面为 5 x 1 mm 或 5.9 x 1.3 mm 的尼龙 612（PA 612）。

材料为 PA 12H 的尼龙管路是由一根挤出并经过热定型的管路和安装在管路末端的金属或塑料的快插接头组成。这种尼龙管相对而言不太灵活，在管路走向上需要足够的转弯半径来补偿发动机和底盘之间位移变动。其应用范围也被限制在不能长期超过 120°C。这些尼龙管路的体积膨胀会在超过材料本身大约为 40°C 的玻化温度时发生明显改变。因此，这种管路的总长度必须被限制，多用于紧凑的发动机空间内。而右驾汽车则通常不能使用。

全新的尼龙管路使用了改性的 PA 612 材料，并拥有尺寸上优化的横截面（图 9）。相比 PA 12H，这种材料有更高的耐热性，最高可长时间承受 140°C 的温度。这种管路的孔径被设计仅仅只有 3 或者 3.3 毫米大小，但仍能保证其在



	PA12	PA612	PA612
D x S	8 x 2	5.9 x 1.3	5 x 1
在 120° C 和 30 bar 下的体积膨胀 mm^3/m	780	405	390
表面惯性力矩 mm^4	189	54	27
管路布置	预成型是必须的	允许随意布置	允许随意布置
在120 °C 时的爆破压力 bar	80	90	85

图 9　聚合物材料的离合器管路的比较

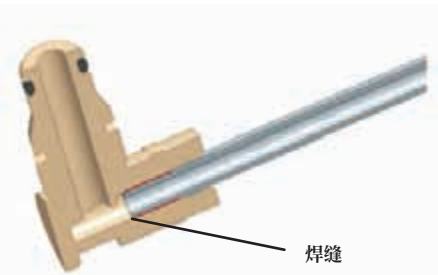


图 10 旋转焊接的塑料快插接头

低温下的液体损失能够让人接受。由于孔径变小，内部压强作用下的膨胀更小，管壁能够做的更薄，而不会牺牲强度或体积膨胀。这种尼龙管的表面惯性力矩也很小，因此，通常情况下它不必受热预成型，在汽车上主缸和副缸之间的管路布置比较自由，只需要用通用管夹固定。

快插接头通过旋转焊接与管路压封连接在一起。这种连接方式避免了共塑时，由于中央模芯受模具条件限制仅仅只能和直孔连接的情况。在旋转焊接中，有角度的快插接头同样适用（图10），并且焊接机可以很方便的集成在装配线上。

对中式副缸性能的提升

由于更换或维修时相对高的成本和复杂性，要求对中式液压副缸具有更长的工作寿命和更高的可靠性。与之密切相关的因素就是中置密封圈的磨损情况和分离轴承的功能。在这两方面，LuK 已经有了相当大的进步。

由于系统设计的结果，中置密封圈只有一面起密封作用，只能被润滑效果不好的制动液浸润。随着每次离合器的离合操作，它会沿着干的线路移动大约 8 mm，并暴露在环境中：比如高温，粉尘和微小振动，从而导致的失效主要是密封圈背部磨损和形成裂缝的间隙挤压磨损。

一种全新的设计概念从根本上提高了密封性能。该设计通过装配一个热塑性塑料材料的密封圈保持架来强化保护密封圈的腰部，避免磨损。此外，通过密封圈背部的磨擦和密封圈装配面的间隙的减小，橡胶材料的变形也相应减少，间隙挤压磨损同样得以避免。与之前的设计一样，密封圈保持架与活塞的连接同样保证了一定的间隙，从而避免了密封圈在对中式副缸不承受压力的情况下产生细微的移动。这减少了密封圈累积的磨损行程，提高了使用寿命。这种连接方式还能够避免当主缸没有抽吸功能时，活塞和密封圈之间间隙不该有的增大。缸体的表面和密封圈本身在装配时采用高粘度的硅树脂润滑油和 PTFE 进行润滑，它们不会溶于制动液，从而均匀分布在密封面上，形成持久耐用的润滑层。缸体上相对应的密封面采用了最优的摩擦学设计方案。这意味着，特别在

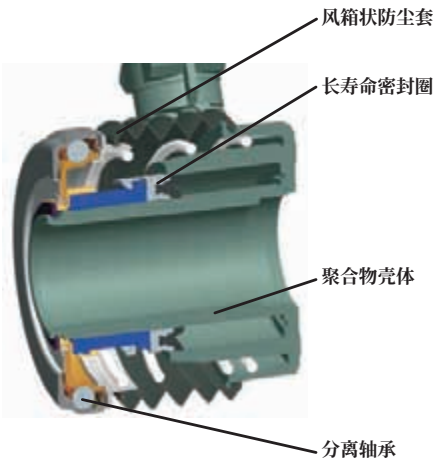


图 11 优化的长寿命密封圈的全塑料对中式副缸

金属的导管表面，必须进行精细研磨。新的密封圈设计概念使得铝制的和塑料壳体的对中式分离副缸的使用寿命提升了两倍。

根据实际应用的需要，密封圈同样需要防止粉尘的污染。为此，对中式副缸提供了一个防尘罩来遮挡气流流经密封位置，或使用风箱状防尘套。

分离轴承的使用寿命很大程度上取决于润滑油脂的润滑能力，一般不会因为滚动疲劳产生破坏。为了达到预期的油脂使用寿命，必须防止灰尘，水或制动液渗入到轴承内部。对于在欧洲中部地区使用的分离轴承，这种要求通常被配合很好的迷宫式密封圈所满足。而在道路状况比较差的地区，则推荐在轴承上使用可两面密封的接触式密封圈。然而，这导致了一方面希望保证足够的密封性，另一方面又希望确保较低的磨擦热量和较长的油脂使用寿命这两个目标之间的矛盾。

如今，使用能够同时满足这些要求的特殊密封圈的分离轴承已经被研发出来了。在图 13 左边展示的密封圈通过柔软的密封唇径向紧靠

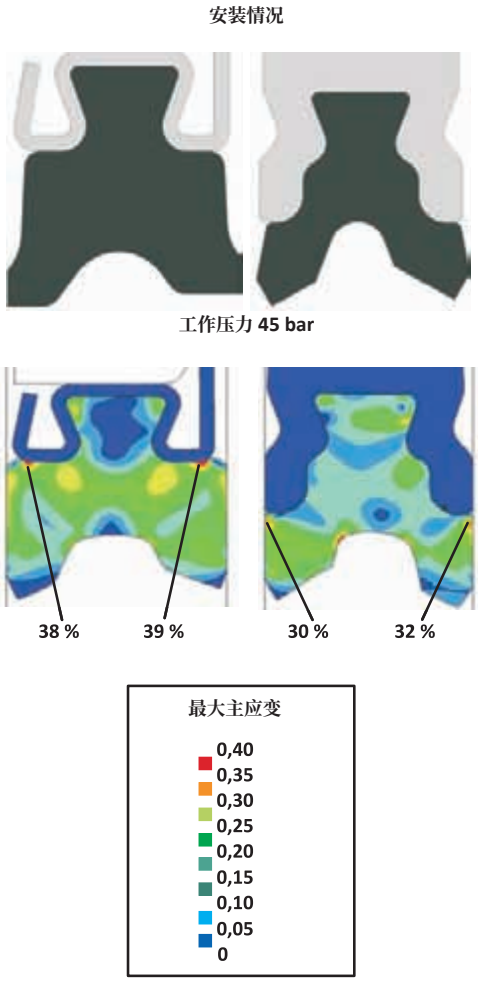


图 12　右：对中式副缸上优化过的长寿命密封设计；左：之前的设计

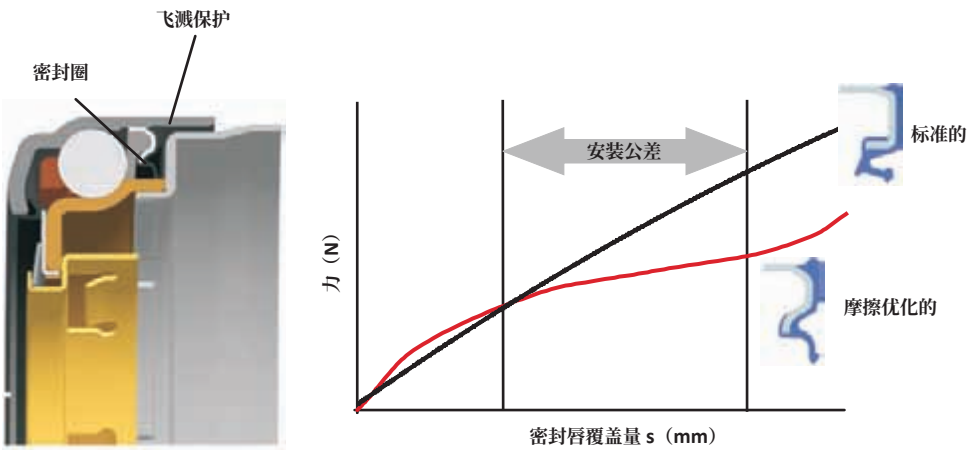


图 13　带摩擦优化的密封圈的全密封分离轴承

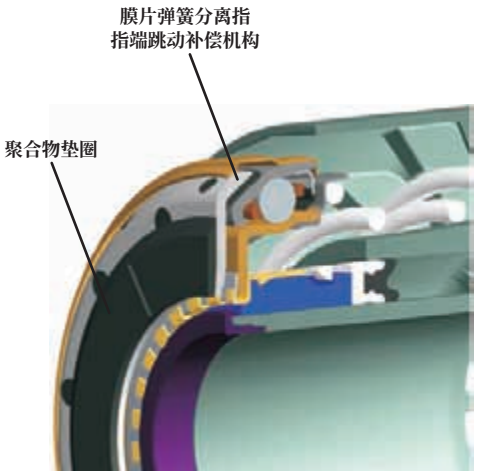


图 14　用于对中式分离副缸的带接触垫圈和冲击保护的分离轴承

在轴承外圈上。而在密封唇右侧，则额外增加一个机械式的轴环来防止水飞溅入内。这种径向密封唇的特殊设计使得它在一定范围的摩擦力矩与密封唇所覆盖的面积无关。因此轴承上产生的热量是有限的，也延长了油脂的寿命。这种设计的分离轴承能够承受最恶劣的污染试验，并适用于 7000 1/min 的高转速。

在一个补偿离合器分离指指端跳动的分离轴承里（图 14），一个在轴承和膜片弹簧分离指中间的碗状环被用来补偿轴承安装时的倾斜。用这种方式，能避免压盘上升时的倾斜，也能减轻由于几何尺寸引起的起步抖动。同样具有优势的是与膜片弹簧分离指接触的垫圈采用高填充的全聚合物材料，来避免膜片弹簧分离指和轴承外圈之间的金属接触，从而保持低摩擦。实践经验证明，这种接触垫圈同样能减小分离系统的压强波动或由此在踏板端的产生的振动。因为曲轴的振动通常是由膜片弹簧指的弯曲来部分减振的。当膜片弹簧分离指与分离轴承之间的摩擦力很高的时候，膜片弹簧会阻止进行这种调节。这些振动就会产生分离系统的压强波动。与之相反，如果摩擦力很低，膜片弹簧分离指就能够径向的滑动，从而补偿曲轴的振动。

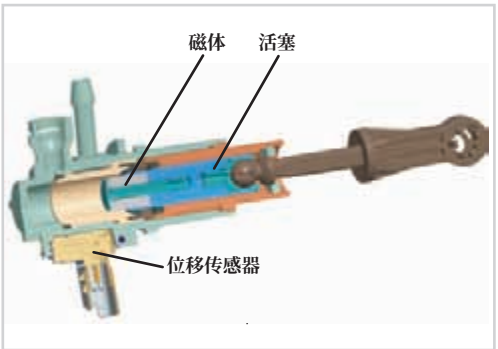


图 15　集成位移传感器的离合器主缸

用于燃油经济的驱动系统的技术革新

起停系统

越早地识别驾驶员的意图，对维护起停系

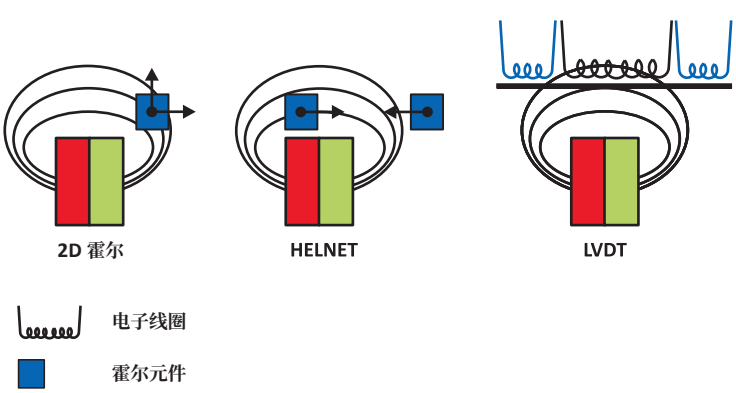


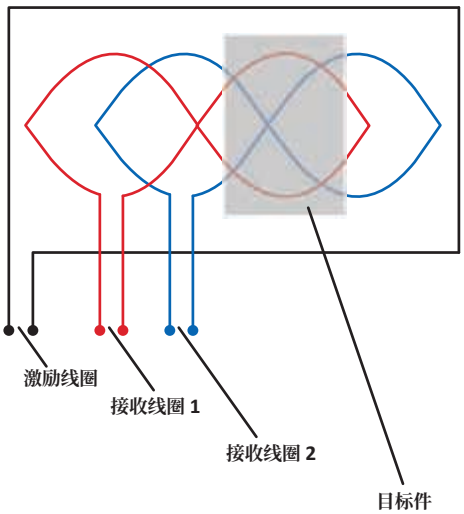
图 16　传感器原理

统的正常的操作越是有利。在离合器分离系统主缸上的位移传感器满足了这种需求，并且实现了原本安装在踏板上的电子位置开关提供的功能。这种传感器被期望能够保证 ±3 % 的测量精度和提供高动态的测量信号。并且，它还要求能够“智能化”的工作，比如诊断断路或短路，这需要传感器使用微控制器或 ASIC。传感器的输出信号可以按照需要是模拟或数字信号。越来越多的其它需求也能够被满足。

为实现这个测量原理，可利用霍尔效应可设计一个线性可变位移传感器（LVDT）[4]、[5]。无论哪种情况，缸体的活塞上都需要一个磁铁，传感器也必须与之保持一定距离并大致安放在整个测量行程的中间。

霍尔传感器上有两种不同的半导体元件布置方案。在高集成传感器（2D Hall）上，两个霍尔元件互相垂直，与一个 ASIC 合并成一个总成[6]。通过由此产生的磁场矢量的计算，就能够得到预先设定的磁铁的位置。这种传感器很小，但是在装配这种传感器的主缸总成上的校准的成本却比较高。而在另一种布置方案中（Conti Helnet），两个相同的霍尔元件则沿着测量方向相隔一定的距离放置。可以用一个可编程的 ASIC 通过这两个元件产生的信号的反正切函数得到磁铁的位置。这种布置方案的优点是周围的金属零件的干扰很小并且校准更加快捷。

在 LVDT 传感器上，主线圈的磁场受磁铁所处的位置影响，其变化量由两个分别安置在主线圈外部左右两端的次级线圈来测量。这种方法的优点是捕获的信号对于磁铁的间距变化和温度飘移不太敏感。出于这种原因，LVDT 传感器不仅可使用在主缸上，也被部分使用在用于自动换档系统上，处在环境温度较高的离合器壳体中的副缸上。



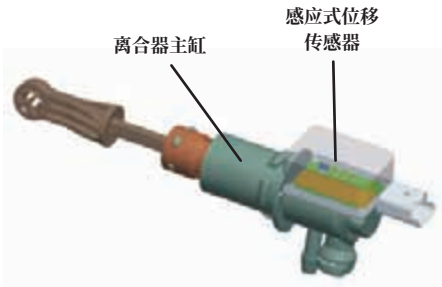


图 17 新的感应式传感器（Continental）的原理和应用

磁铁在所有的传感器测量原理中都是一个明显的弱点，因为它相对比较昂贵，且对机械轴与磁力轴的平行度的要求相当高。在将来，如果感应原理被用于传感器的话，可以用一个简单的铝制的金属目标件来代替磁铁。这种感应传感器的功能是通过一个产生磁场的激励线圈来实现的。两个位于中部的接收线圈记录金属目标件沿着测量轴运动所产生的磁场变化。这个电子信号在专门开发的 ASIC 中被处理成想要的输出信号。由于对温度的敏感很低，这种传感器不仅能用于主缸，也能很好的应用在位于离合器壳体中的对中式副缸上。

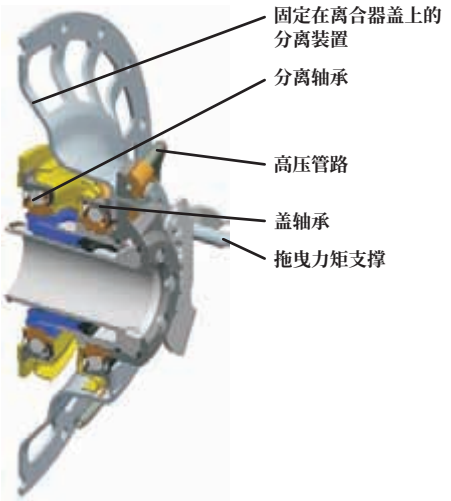


图 18　用于混合动力车的安装在离合器盖上的分离装置

混合动力驱动系统

在混合动力的车辆中，根据传动系统的设计，一个干式的分离离合装置对于发动机可能是必须的。传统的液压缸仍然是一种较好的客户解决方案。它们可以安装在离合器盖或离壳上。安装在离合器盖上的分离装置有结构非常小巧的优点，并且能消除分离力对曲轴产生的负荷。图 18 展示的是目前在量产的带轴向预载的球轴承的一种分离装置。其中，两个滚动轴承的扭矩由一个独立的扭矩支撑件来平衡，之所以这样设计是因为其相对比较复杂，在目标空间里布置的管路无法承受该扭矩。

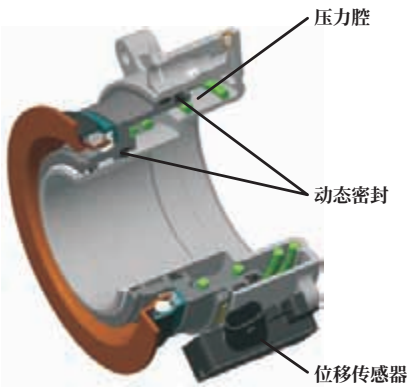


图 19　用于混合动力离合器上安装在离壳上的分离装置

固定在离壳上的分离装置安装在变速箱的壁上，因此原理上与传统的对中式分离副缸相似。图 19 中的分离装置是由一个铝制的壳体和活塞组成。缸体设计成最多承受 6 bar 的低压，可使用矿物油，因此，它能够由传统自动变速箱内的液压系统控制。为了获得离合器分离所需要的分离力，这种缸体的液压面积要设计得特别大。这种分离装置仍然能够快速的分离，但特别要注意液压管路的低流量特性。安装在侧边的位移传感器能够实现位置控制。

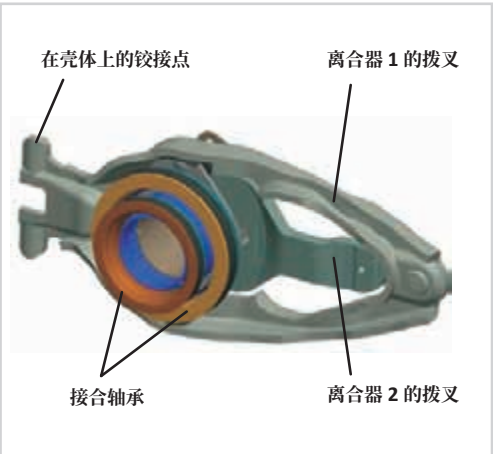


图 20　用于双离合器的拨叉式的机械式接合系统

双离合器的接合

相对于传统手动变速箱的离合器操作装置经常被称为“分离系统”，在双离合器中，由于常分离的离合器的频繁使用，我们称操纵系统为“接合系统”。由于更大和更持久的轴承负载，接合系统需要更高性能的滚动轴承。此外，为了满足换档的舒适性要求，需要轴承在

力传递时具有更高的刚度，更低摩擦以及轴承引导时的精确性。接合系统可以分成机械驱动和液压驱动两种。

机械式的接合系统是一个由套筒，两个拨叉和两个接合轴承组成（图 20）。拨叉横向伸到离合器壳体的外部，由电液机构操纵。而一个轴承则与一个安装在侧面开口的导管内的滑动套筒所连接，另一个轴承则与一个安装在导管外径上的滑块连接。这种拨叉机构使用了已知的技术，易于实现。然而缺点是在空间上拨叉需要足够的摆动区域。

使用拨叉臂驱动的接合装置在结构上可以非常的紧凑 [2]。在（图示 21）展示的方案中，两个接合轴承都被安装在导管的外部，从而使得它们在工作范围内可以独立的运动。为了这个目的，两个滑动套筒被设计成有开槽并相互啮合在一起。而对操纵拨叉的径向偏移补偿以及在导轨上使用优化摩擦的塑料材料都降低了摩擦力的迟滞，使得能够对离合器进行重复控制。

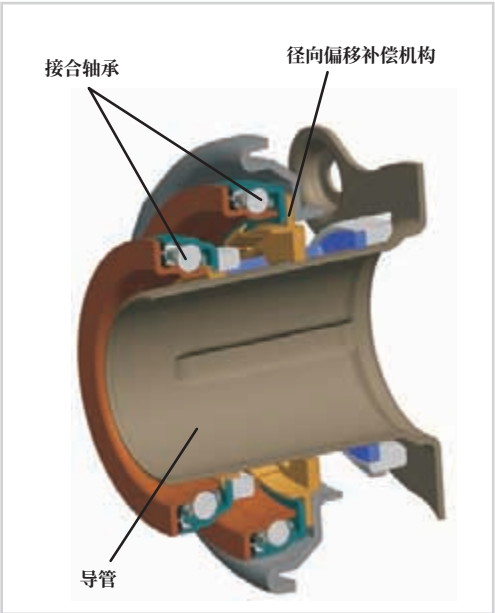


图 21 带拨叉臂驱动的双离合器对中式接合系统

与之相近的液压式接合系统设计方案是由一个带两个径向相互包裹的活塞的对中式分离副缸构成。这个方案看起来简单，但实际上有很多要点难以实现。这种方案经常不能适应于现有的径向和轴向空间，并且在进行控制时有时需要的位移传感器也必须安装在内部的活塞上。

如果我们放弃环形活塞而采用一个肾形的

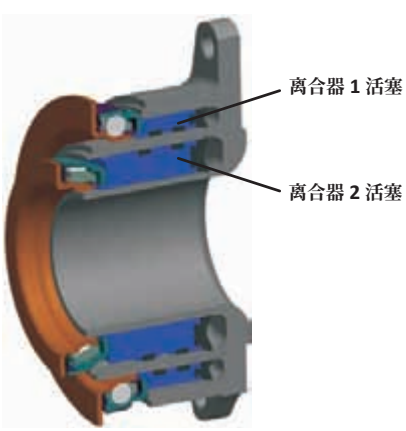


图 22 带两个环形活塞的双离合器的液压对中式接合装置

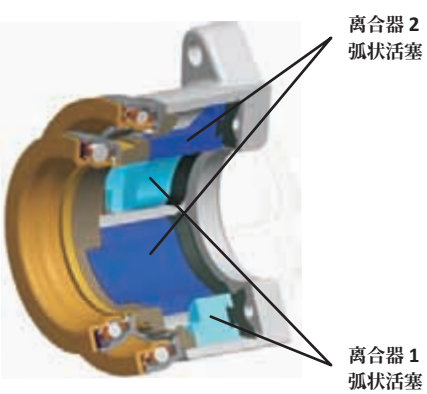


图 23 带弧状活塞的双离合器的液压对中式接合装置

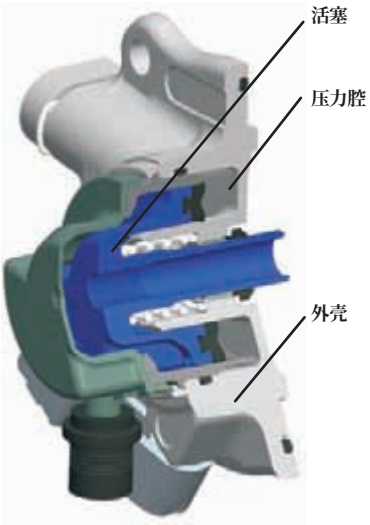


图 24 安装在变速箱外部的对中式接合装置

活塞来替代（图 23），这种要求可以被更好实现。每一个接合轴承都由一对相对放置的弧状活塞来操纵。其力的传递与已知的同轴承两点接触的拨叉机构非常相似，但是避免了径向摩擦力。在壳体后端设计的管路能够分配工作液体到不同的压力腔。这种液压式接合装置有两个高压接头，它们被用来确保自排气。这种设计的位移传感器也可以被安装在壳体的外部，而对于任何离合器都没有问题。两两相对的活塞也不要求尺寸相同。因此，壳体能够被设计成片状，从而适应因为短的中间轴距所造成的狭窄的径向空间。

对于横置的变速箱，同样可以在变速箱的外部安装一个对中式的接合装置（图 24）。此时，离合器是由一根通过变速箱的空心轴的拉杆操纵，它通过螺纹与活塞连接。一个弹簧为位于离合器壳体内部的接合轴承提供了永久的预紧力。这种液压接合装置的外部还采用一个塑料帽来防尘和防水。在这个展示的方案中，位移传感器记录了活塞的位置，使离合器可以实现自动控制。

总结

在离合器操纵领域表现得更加地出色，需要在技术上做得更多。如今的手动变速汽车上，优化的离合分离系统能够提供更好的操作舒适性，更长的使用寿命，在合理的制造成本和更轻的结构的前提下得到更多的功能。随着电子传感器的集成和新的动力系统的出现，比如混合动力和双离合器，产生了全新的关于离合器操作系统的技术方案，并且更加复杂和多样化。一些奇妙的设计正脱离研发阶段，以可观的数量进入批量生产。可以预见，汽车动力系统现在和将来的持续变化，将会更进一步促进离合器操作系统的发展。

参考文献

[1] Zink, M.; Shead, R.; Welter, R.: Clutch Release Systems, 7th LuK Symposium, 2002, pp. 35-47

[2] Zink, M.; Hausner, M.; Welter, R.; Shead, R.: Clutch and Release System – Enjoyable Clutch Actuation! 8th LuK Symposium, 2006, pp. 27-45

[3] Welter, R.; Hausner, M.; Grethel, M.: Pedal Force Support for Clutch Systems; ATZ 09/2007 Volume 109, pp. 768–777

[4] Munzig, T.: Contactless Travel and Angle Measurement in the Drive Train and Chassis, Elektronik Praxis, 8/14/2009

[5] Determine the position without contact, Elektronik Net, 2009

[6] Melexis; MLX 90333, Data Sheet, Jan 08