

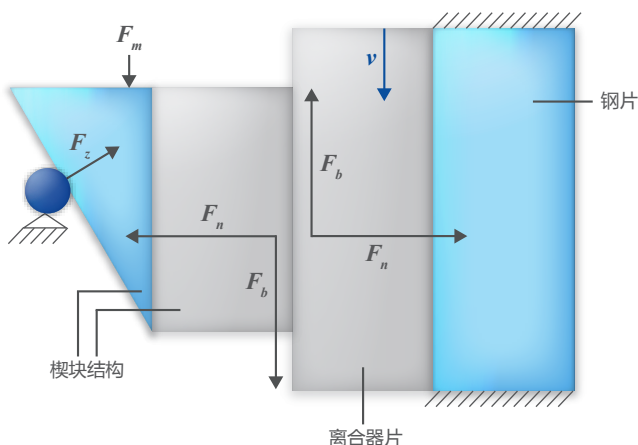
以前尝试为自动变速箱开发楔块式离合器时常常以失败告终，因为无法消除换挡冲击。上海交通大学的研究人员正在研究通过一种精确控制的电动机来解决该问题。其验证过程是基于 dSPACE 提供的硬件和软件工具。

汽车行业当前的趋势是动力传动系电气化，这一趋势有时也会影响变速箱系统。例如，自动变速箱中的电动执行器能够取代传统的液压离合器。一个原因是电动执行器通常比液压执行器更紧凑、更轻便，另一个原因是不需要内燃机持续运行来维持液压离合器所需的液压。由于它可以节省大量燃油，因此上海交通大学 (SJTU) 的研究人员最近评估了一种电动楔块式离合器。

富有挑战的作用力过渡

楔块式机构在旋转式离合器片与支撑轴承之间进行驱动 (图 1)。电动机驱动楔块行程越深，离合器片与压盘越相互压紧。但是在楔块角度恒定的情况下，这种趋势最终会达到一个临界点，在该临界点伺服电机驱动力与离合器片摩擦力之比将会相当大。这意味着即使很小的驱动力也会在离合器片上突然产生很大的正压力。在变速箱输出扭矩内，“滑动”与完全牵引之间的这种突然过渡将变为明显的抖动，会严重影响驾驶舒适性，从而使楔块式离合器难以实现连续作动。 >>

图 1：楔块式离合器机构简图受力分析。即使很小的驱动力 F_m 也会在离合器片上产生很大的正压力 F_n ，从而导致明显的抖动，将严重影响驾驶舒适性。



流畅 和 高效

电动楔形离合器换挡更流畅

P
R
N
D

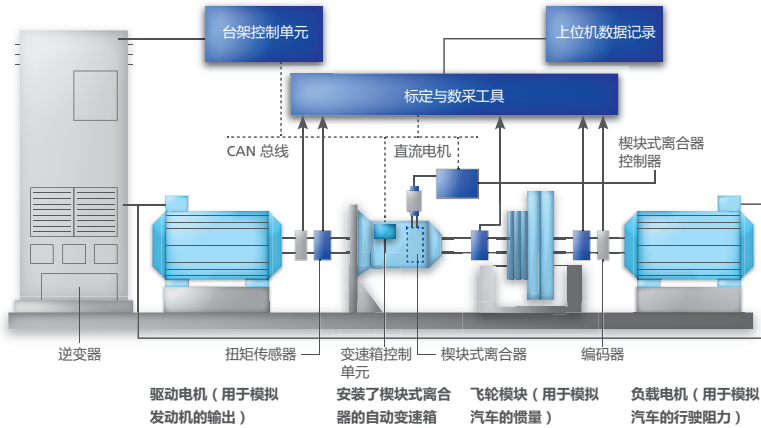
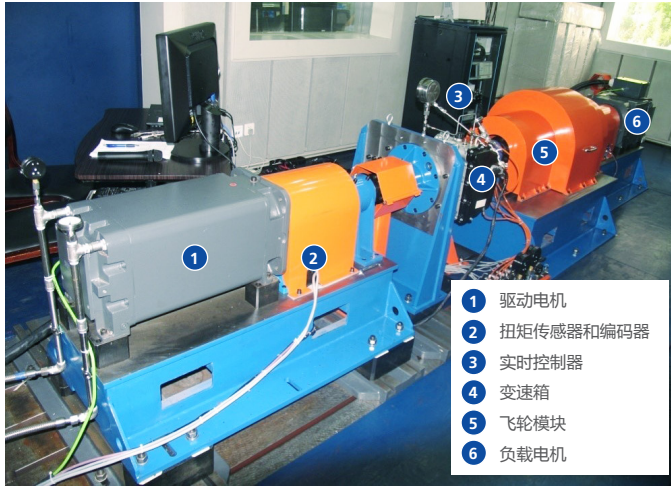


图 2：测功试验台仿真中型轿车以便有效验证模块式离合器系统。

测试台架上的验证

通过以最佳方式控制电动执行器，上海交通大学的研究人员正在努力消除该抖动问题，以使模块式离合器能以较低的扭矩平稳地实现压紧和分离，并且减少功率损失。为了快速、准确和精确地验证这种控制方式的可行性从而验证模块式离合器，研究人

员在其测功试验台架上使用了 dSPACE 的 MicroAutoBox II 以及 PID（比例-积分-微分）控制器。控制器的任务是在几毫秒内控制离合器片上正压力的波动，从而优化其状态的切换行为。

仿真一辆中级车

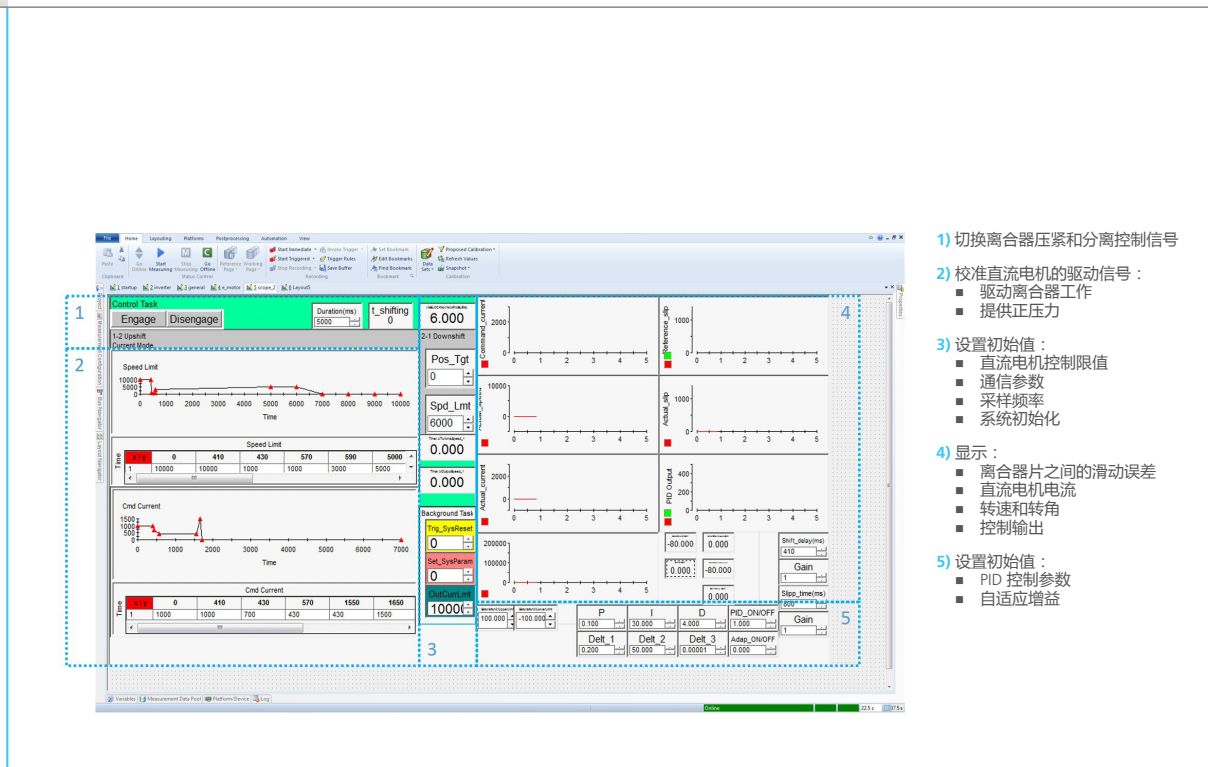
PID 控制器使用预先确定的正压力理想值与离合器片上实际正压力之间的偏差作为输入值。该偏差是控制直流伺服电机电压输出变量的基础。一定的旋转角下的电压可被控制成模块式离合器上的相应负载扭矩。在上海交通大学的测功机台架试验中心，模块式离合器安装于变速箱外壳内（图 2）。在驱动一侧，快速响应的电动机将对汽车内燃机进行仿真，模拟的气缸容量最大 1.6 升，最大输出扭矩 297 Nm（大约 6500 rpm 转速下）。在负载一侧，有一个飞轮用于模拟中型汽车的惯性质量，台架上还有一个负载电机用于再现不同的行驶阻力。

使用自适应 PID 控制器

通过闭环使用 PID 控制器，驱动侧与负载侧的离合器片之间的滑动差将在短时间内降至最低，以便可以平稳换挡。由于传统的 PID 控制器会在复杂的驾驶条件下和可变的系统参数下产生不稳定的结果，所以上海交通大学的研究人员采用了自适应 PID 控制器，该控制器具有依赖工况点的参数控制特性，可以控制测试台架上的实时伺服电机。

“dSPACE 工具的无缝集成给我们的研究人员留下了深刻印象。这让他们有机会完全专注于开发算法。”

姚健，上海交通大学



- 1) 切换离合器压紧和分离控制信号
- 2) 校准直流电机的驱动信号：
 - 驱动离合器工作
 - 提供正压力
- 3) 设置初始值：
 - 直流电机控制限值
 - 通信参数
 - 采样频率
 - 系统初始化
- 4) 显示：
 - 离合器片之间的滑动误差
 - 直流电机电流
 - 转速和转角
 - 控制输出
- 5) 设置初始值：
 - PID 控制参数
 - 自适应增益

图 3 : ControlDesk Next Generation 帮助上海交通大学的研究人员创建丰富的用户界面来监控和管理测试环境中的信号。

类似于在真实驾驶条件下进行测试

研究人员在 MATLAB®/Simulink® 中开发了控制策略，然后在测试期间通过 dSPACE MicroAutoBox II 平台来编译和执行这些策略。结果表明自适应 PID 控制器拥有强大的性能，可在系统参数和驾驶条件发生变化时跟踪所有的参考特性，因此能在真实的驾驶条件下控制变速箱。除了受益于 MicroAutoBox (其大量的 I/O 接口容易集成) 之外，上海交通大学的测试台架还使用了 dSPACE 的实验和可视化软件 ControlDesk® Next Generation。

全面的测试仪表

借助于 ControlDesk 含有的大量虚拟仪表，上海交通大学的研究人员创建了一个内容丰富的用户界面来监控和管理测试环境中的信号 (图 3)。因此它们能够执行各种任务，比如校准直流电机的控制信号、在计算机屏幕上设置 PID 控制器重要的初始值和参数等。此外，它们详细地再现和分析了所有重要的信号，包括离合器片之间的滑动误差、直流电机的电流、转速和转角以及各种控制输出信号。

为未来测试铺平道路

总而言之，dSPACE 工具与 MATLAB/Simulink 之间的无缝连接给上海交通大学的研究人员留下了特别深刻的印象。这种无缝连接让他们对紧凑、鲁棒的硬件系统充满了信心，可以将精力集中在算法开发上。由于对 dSPACE 的工具拥有良好的体验，他们正在规划进一步测试以完成所开发的控制算法，并很有希望为模块式离合器开发实际控制器。他们今后的研发工作打算包含其他 dSPACE 工具，例如产品级代码生成器 TargetLink® 或硬件在环 (HIL) 仿真器。■

姚健，
上海交通大学

姚健

姚健是上海交通大学 (SJTU) 的博士生，研究方向是自动变速箱控制和研究，拥有电动作动器和变速箱系统方面的专业技术。

