



建立闭环测试系统以精确  
控制燃油喷射器

# 精确 计量

在汽油机中，高效燃烧的前提是合适的空气/燃油混合比例。Continental 开发了一种新的控制喷油系统，该系统能够精确地提供发动机整个生命周期所需的燃油量。利用 dSPACE 测试系统可以在实验室进行精密测试。



特征电流分布。所需闭合间隔与所测闭合间隔之间的差值作为控制器的控制偏差，可以确定下一个动力冲程的打开间隔。这种控制方法甚至能实现非常微小的喷射量控制，并使误差最小化。这显著优化了燃油喷射的过程，使燃烧过程更加稳定。通过自适应控制方法，能在组件的整个生命周期内保持这两方面的效果。

### 验证要求

利用 COSI 功能验证 EECU 时，需要进行功能软件测试，以检测喷油器打开间隔。为此，必须对承压喷油器的特征电压和电流曲线进行仿真。若使用替代负载或真实组件则不符合要求，因为这些负载或组件通常用于不使用燃油的试验。因此不会因为燃油喷射而导致进气歧管或气缸内出现压力变化。因此，必须找到能够实时仿真喷油器电动特性的解决方案。此方案需要考虑发动机每个工况点的工作压力。面临的一大挑战是喷油器的打开间隔极短，仅有数毫秒。对于这种极小的喷射量，相关组件的微小变化甚至都会产生影响，所以在仿真中，测试解决方案必须足够灵活，且容易操作。

### 虚拟喷油器测试

EECU 通常使用硬件在环 (HIL) 仿真器进行验证。因而自然需要扩展 HIL 仿真器来测试 COSI 功能。由于高动态响应过程发生在很短的时间间隔内，所以只有使用 FPGA 才能足够快速地计算喷油器行为。对于测试区域内建立的 dSPACE SCALEXIO HIL 系统，最合适的解决方案是为每个喷油器提供一块 FPGA 板卡 (DS2655) 和一块新开发的电子负载模块 (EV1139)。电子

# 愈

发严格的排放法规给点燃式发动机的开发带来了新挑战。因此，由于放阈值越发严格，有必要利用创新技术途径来实现。为了获得理想的空燃比，实现高效的燃烧，准确供应所需燃油量显得特别重要。此过程使用了电控喷油器，其通过改变喷嘴的开合间隔来提供所需燃油量。喷射控制器的开合间隔和电流大小能够影响喷射过程。燃油压力也会促使喷针上升。常规的喷射过程使用预控式喷射，喷射器的开合间隔取决于发动机电子控制单元 (EECU)。但是，这种喷射方法无法捕获和纠正机械制造公差，也不

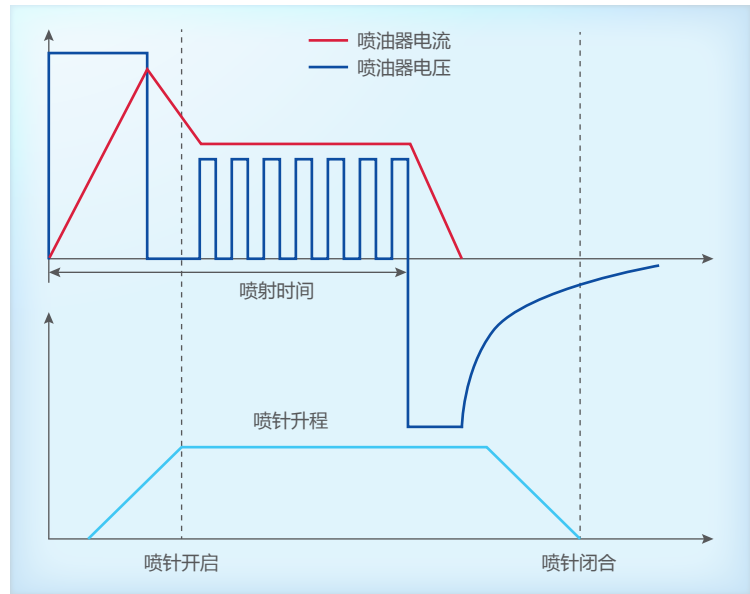
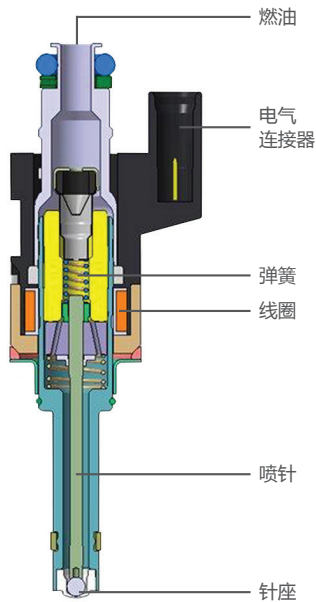
能规避喷射器老化带来的影响。因此，喷射器实际打开间隔可能随时间推移而改变，这会产生测量偏差。汽车供应商 Continental 目前开发了一种新方法，能够帮助测量和控制打开间隔和喷油量。

### 通过 COSI 实现精确喷射

这种被称为“受控电磁阀喷射” (Controlled Solenoid Injection, 简称为 COSI) 的无传感器评估系统专门用于检测喷射器的闭合时间。该方法基于喷油器线圈和移动的喷针共同产生电感。该电感随位置的变化而变化。如果喷针接触针座，可以测得线圈上的

>>





左：高压磁力喷油器配置：线圈和移动的喷针（磁芯）产生可变电感。右：喷油器控制、喷针升程和喷射时间的理想化表示。

负载模块被设置为 EECU 的电流隔离接口，不受工作电压的影响。它能仿真 EECU 所连喷油器的真实电流和电压。为此，它需要将喷油器行为与 FPGA 模型计算的感应电气特性一起使用。dSPACE 提供的开源模型可以根据喷油器特性进行精确调整。它的配置还支持其他的电气故障仿真测试，比如短路和电缆断路测试。它还能生成功能故障，以评估多项信息（系统行为到排放限值）。为了实现

这一点，可以操控针阀提前或延迟打开和关闭的时间。通过对相关的模型组件进行参数化，还可以在仿真中快速测试组件的变化和老化带来的影响。

#### 项目应用

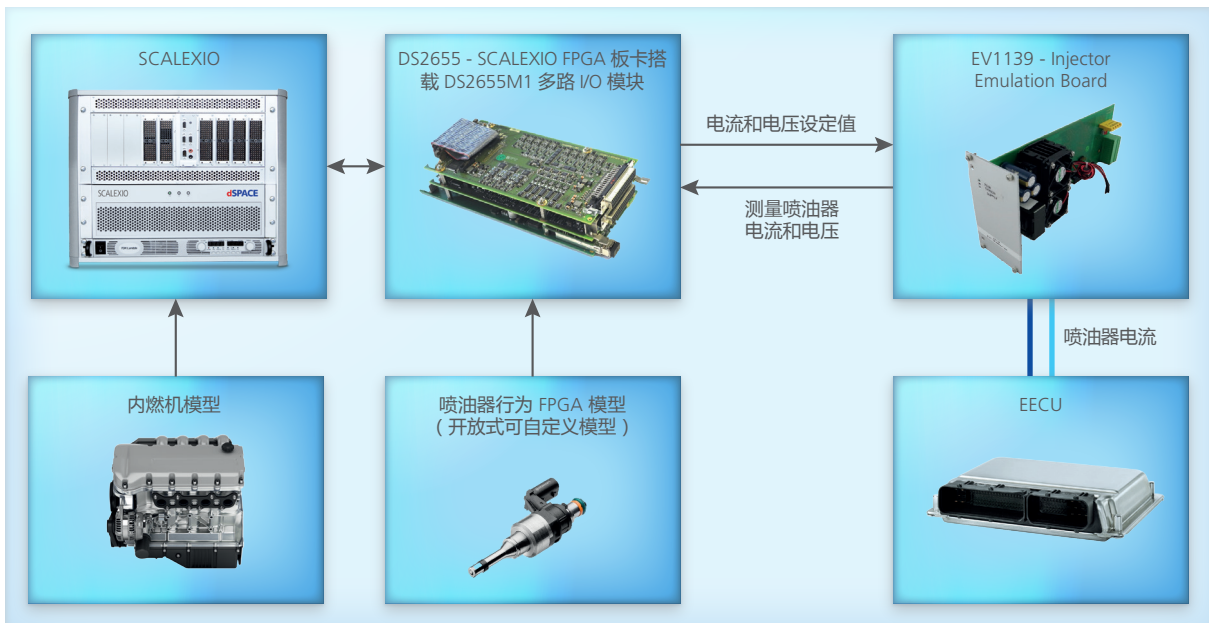
Continental 和 dSPACE 共同建立了一套测试系统。首要任务包括获取信息、阐明专利法相关问题以及创建需求文档。基于这些任务，两家公司开

发出一套功能强大的原型。dSPACE 开发人员能够完全配置 SCALEXIO 仿真器和 ECU，以集成新的 COSI 测试解决方案。在测试实验室的调试过程中，测试系统针对另外的任务进行了优化：

- 精确的单次和多次喷射
- 准确改变喷油器关闭时间
- 两个气缸组并行喷射

“无传感器受控电磁阀喷射的验证程序对 ECU 测试的要求非常高。SCALEXIO 仿真器及其扩展的解决方案能够精确展示高动态响应过程，从而可靠地验证 ECU。”

Michael Mench, 大陆



喷油器仿真的SCALXIO HIL仿真器配置：内燃机在 SCALXIO Processing Unit上进行仿真。喷射器使用 FPGA 板卡进行仿真，此板卡控制着 EV1139 电子负载模块。对于 EECU来说，负载的行为相当于真实的喷射器，并会注入真实的电压和电流。它随后将测得的电流和电压值反馈至 FPGA 板卡。

测试系统目前已充分调整，并在 EECU 验证过程中发挥了强有力的作用。它具有出色的灵活性和性能，可在闭环中使用 COSI 功能验证 EECU 是否运行正常，并能验证 EECU 软件的要求。与此同时，还可以测试 EECU 的诊断功能。

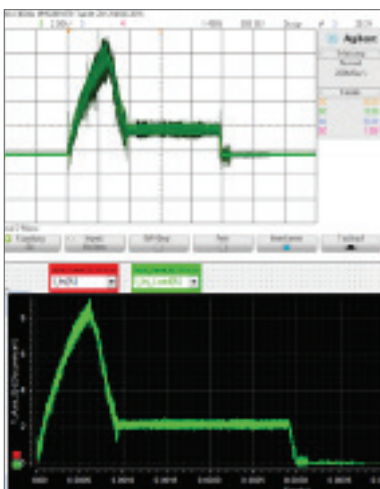
### 总结与展望

受控燃油喷射器为 EECU 的验证带来了新的挑战。为了测试和验证控制器，Continental 和 dSPACE 设计了一套新的测试解决方案。它能对喷油器行为及其真实电流进行仿真。它以快速的计算单元（基于FPGA）和电子负载作为基

础。这样能在闭环中操作 EECU，从而实现灵活的实验室测试。目前，Continental 使用此测试系统验证最新一代 EECU。由于测试装置十分灵活，可以轻松用来开发未来的 ECU 功能。■

Michael Mench, Alexander Zschake, Continental

图 4：喷射器的测量电流（上图）和仿真电流在 dSPACE ControlDesk（下图）中的对比：显然两个波形具有高度的一致性。



#### Michael Mench

Michael Mench 在 Continental 公司（德国雷根斯堡）从事喷油系统验证工作。



#### Alexander Zschake

Alexander Zschake 在 Continental 公司（德国雷根斯堡）从事喷油系统验证工作。

