

俄亥俄州立大学在 EcoCar 2 混合动力比赛中一举夺冠

基于模型的 胜利



俄亥俄州立大学夺得 EcoCAR 2 先进汽车技术总竞赛冠军，该大学重新设计的插电混合动力汽车给全体评委留下了深刻印象。在这个为期三年的项目中，学生们使用最新的行业工具重新设计了一款 2013 雪佛兰迈瑞宝汽车，开发了车辆储能、电驱动装置和乙醇燃料 (E85) 发动机技术。



“凭借自己的理念使一款量产车辆实现油耗和排放降低，同时保持原有的全部性能，这是一项了不起的成果。”“最重要的是，这是学生们在其学习过程中取得的成就，” dSPACE Inc. 技术总监 Santhosh Jogi 说，“赢得 EcoCAR 2 竞赛总排名第一确实当之无愧。当然，让我们感到自豪的是 dSPACE 工具在开发过程中起到了决定性作用。”“此外，我们还为该团队颁发了“dSPACE 嵌入式成功奖”一等奖，以表彰他们接受产品开发的理念，接受基于模型的开发过程和开发工具的使用，并将其有效地结合起来。” Jogi 继续说道。

未来制造商的竞赛

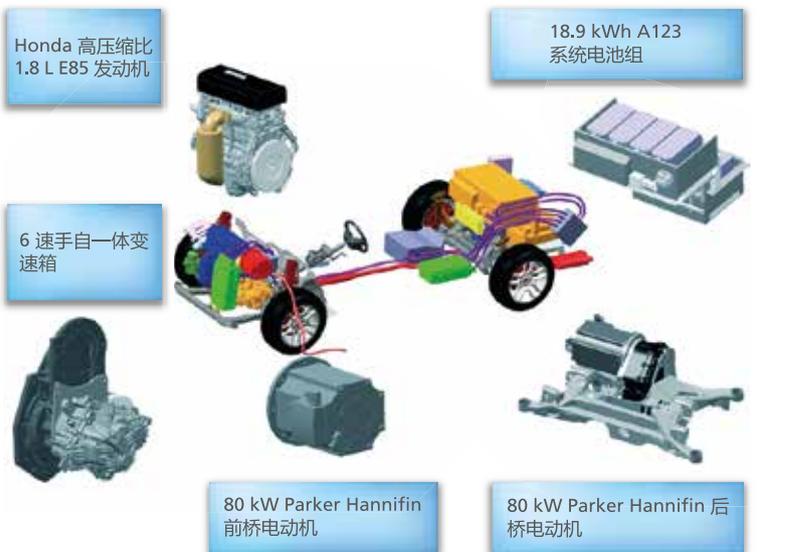
“总排名第一很了不起，” EcoCAR 3 联合团队领导兼 EcoCAR 2 HIL 开发领导 M.J.Yatsko 说道，“在整个 Eco-

CAR 2 三年竞赛中，共有 15 支北美大学团队参赛，本次比赛由美国能源部 (DOE)、通用汽车公司 (GM) 以及多家其他机构和公司赞助，旨在让学生们亲身体会汽车行业当前和未来面临的挑战。” EcoCAR 2 竞赛的一个基本目标是让各个团队通过创新方法进一步优化 2013 款雪佛兰迈瑞宝汽车（一款成熟的汽车产品）的能源效率和环保性。每个团队都有三年时间来构思、开发和实施其汽车设计理念，但是不能牺牲汽车的性能、安全和消费者认可度。在整个竞赛过程中，每个团队的车辆都需要接受通用汽车公司的汽车产品所采用的同一级别的行业测试。俄亥俄州立大学团队设计的插电混合动力车每加仑燃气当量的行驶里程高达 50 英里 (4.7 L/100 km)，每英里耗电 315 瓦时 (196 瓦时/公里)，能够明显减少汽车的排放水平。

EcoCAR 2 的核心所在

“对于车辆的架构，我们选择了插电混合动力，” 俄亥俄州立大学团队项目经理 Jason Ward 解释说，“车辆动力来自多个地方：前桥由一台 Honda 1.8 升乙醇内燃机和一个 6 速半自动变速箱提供动力。此外，附加扭矩由一台 80 kW 电动机提供，它通过皮带与变速箱连接。后桥则由另一台 80 kW 电动机驱动。” 电气团队领导 Andrew Huster 介绍了该车的主要优点：“各种驱动部件可以灵活的进行组合，实现内燃机驱动、混合驱动和纯电动驱动三种模式。根据不同的驱动模式，电池组可以进行充电、由能量回收系统保持电量、或在工作期间放电。” 俄亥俄州立大学团队进行了大量的测试，以确保不同模式之间的切换能够平稳过渡。插电混合动力控制器采用分层架构。dSPACE MicroAutoBox® II 用作中央监控系统。在该监控级别之下，通过 CAN 总线接口连接的是一些低级别控制器，用于控制发动机、电池、制动器、变速箱、电动机等设备。这种架构容易扩展，具有容错性，便于尝试各种控制器变体。

图 1：车辆架构 - 灵活的双桥动力。



利用 dSPACE 仿真器进行 HIL 测试
在竞赛的第一年，俄亥俄州立大学的学生主攻车辆架构和车辆子系统。除了执行 SIL 测试（主要使用他们自己开发的 SIL 仿真器）之外，他们还使用 dSPACE 提供的硬件和软件进行了 HIL 测试。第二年完成了原型车制造和部件的集成。最后的第三年，基于已构建工具链，并通过大量的道路试验，该车的性能得到



“在 EcoCAR 2 竞赛中，dSPACE 工具对于我们团队达到里程碑计划以及技术规格书规定的目标发挥了举足轻重的作用。dSPACE 工具让我们在测试控制代码的同时，还能设计和制造机械/电气子系统。”

俄亥俄州立大学 EcoCAR 2 团队前领导 Matthew Yard

了进一步优化，达到了该团队“车辆技术规格书”（VTS）中定义的理想油耗、排放、性能和操控目标。在 HIL 测试阶段，俄亥俄州立大学团队使用了四种不同的 HIL 配置，并通过 dSPACE Mid-Size 仿真器开发和验证了子系统与系统的功能。包括验证他们自己开发的每一个控制器。该团队使用 HIL 系统以及被控对象模型对控制器的诸多功能进行了测试，比如功能行为、故障检测与缓解、控制器之间的通信，以及部件和车辆级别的许多其他功能。四种 HIL 配置是：

- **配置 1**：验证主控制器，其在 dSPACE MicroAutoBox II 上实现。使用了不同制造商提供的仿真模型。
- **配置 2**：验证内燃机的控制，基于 dSPACE 汽车仿真模型 (ASM) 及其自己的开发的 ECU。
- **配置 3**：验证变速器的控制，基于 dSPACE ASM 仿真模型和 128 针的 Woodward MotoTron 控制器。
- **配置 4**：验证俄亥俄州立大学团队开发的 CAN 通信网络（包含所有的控制器）。

图 3：俄亥俄州立大学的 Katherine Bovee 向美国能源部的 Michael Knotek 介绍其车辆。



图 2：ControlDesk® Next Generation 既用在 dSPACE HIL 仿真器的测试中，也用在 dSPACE MicroAutoBox II 控制器的应用程序中。



选用 Myles Regan 拍摄的原始照片/CC BY-ND 2.0 <https://www.flickr.com/photos/doeavtc/14221296830/in/album-72157644984645925/>

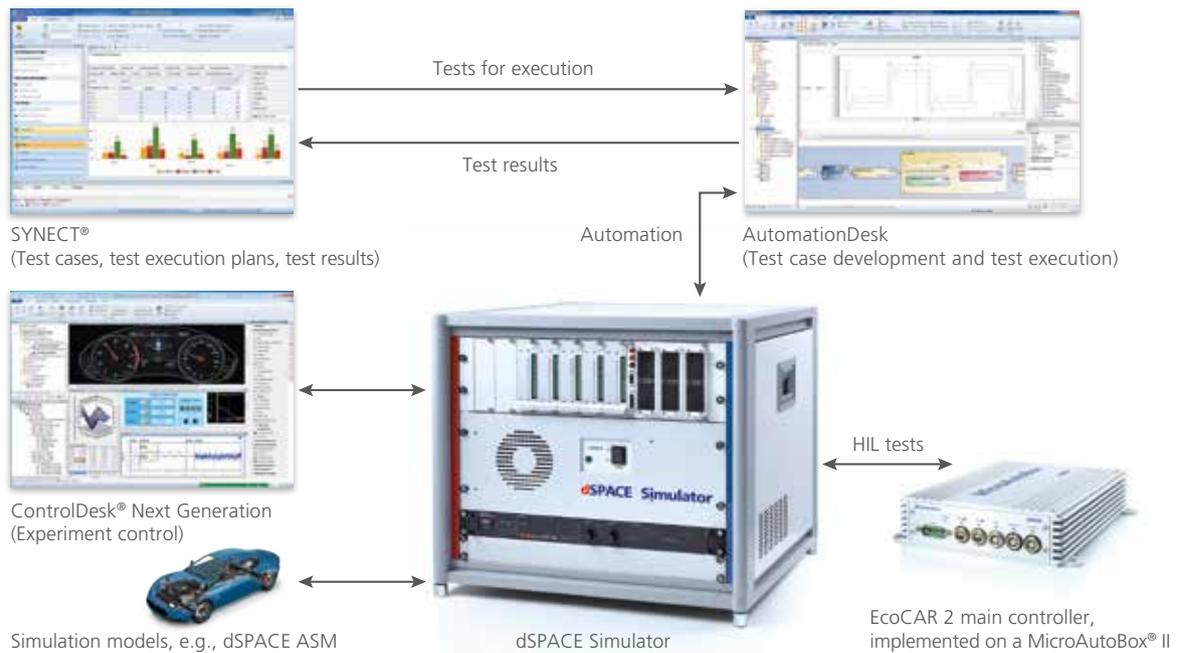


图 4：全面的 dSPACE 工具链，采用 SYNECT 作为中央数据管理软件。

“一开始我们团队只进行手动测试，但是很快就发现需要大量工作才能确保控制代码的安全，” 俄亥俄州立大学 EcoCAR 2 故障诊断团队前领导 Amanda Hyde 说道，“考虑到控制器的全部功能，以及每个新版本的代码都需要进行广泛的自动化回归测试。我们的解决方案是使用 dSPACE SYNECT®、dSPACE AutomationDesk 和 dSPACE 仿真器来组建一个强大的工具链。这种自动化让我们的团队在车

载测试中获得了至关重要的时间优势。最终，我们总共有 74% 的 HIL 测试实现了自动化。”

AutomationDesk – 测试编写和测试自动化

测试用例和脚本在 AutomationDesk 中通过图形化的编程环境进行编写。AutomationDesk 集成的调试器，以及插入断点与逐步检查测试用例的能力，确保了用户可以快速

找出错误，从而获得可靠的测试序列。总之，凭借熟练的测试分组和参数化，该团队只用 16 个测试脚本便覆盖了 76 个自动化测试。

SYNECT – 卓越的自动化测试数据管理工具

dSPACE 的数据管理软件 SYNECT 在自动化测试方面发挥了关键作用。首先俄亥俄州立大学将需求文档，即“控制与验证需求文档”导入到

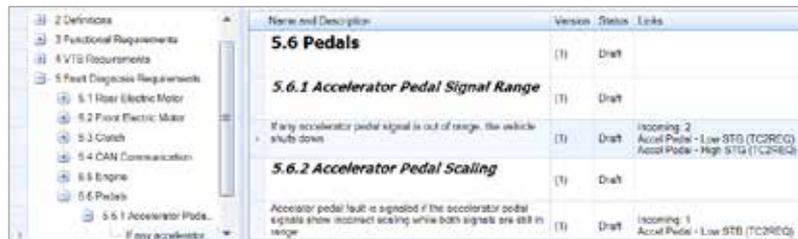


“dSPACE SYNECT 在第三年竞赛中对我们的回归测试帮助很大。它让我们把更多精力投入到车载测试和整车优化中，同时它又是一个管理我们开发数据和测试执行的中央工具。”

俄亥俄州立大学 EcoCAR 2 故障诊断团队前领导 Amanda Hyde

SYNECT中。为了定义测试用例，学生们将参数化的测试序列从 AutomationDesk 导入至SYNECT 中。所定义的测试用例（与需求关联以获得最佳可追溯性）随后通过 SYNECT 的测试执行计划得到进一步的处理。专门定制的测试报告也使得他们在开发阶段可以轻松的跟踪测试的效果。各种需求、相关测试实例及 AutomationDesk 自动化脚本的变化，只需在 SYNECT 中点击几下，便能随时更新。

获得俄亥俄州立大学 EcoCAR 2 团队许可后发布。



Name and Description	Version	Status	Links
5.6 Pedals	(1)	Draft	
5.6.1 Accelerator Pedal Signal Range	(1)	Draft	
If any accelerator pedal signal is out of range, the vehicle shuts down	(1)	Draft	Incoming: 2 Accel Pedal - Low STG (TC2RE0) Accel Pedal - High STG (TC2RE0)
5.6.2 Accelerator Pedal Scaling	(1)	Draft	
Accelerator pedal fault is signaled if the accelerator pedal signals show incorrect scaling while both signals are still in range	(1)	Draft	Incoming: 1 Accel Pedal - Low STG (TC2RE0)

图 5：SYNECT 中的需求列表与其关联的测试用例。

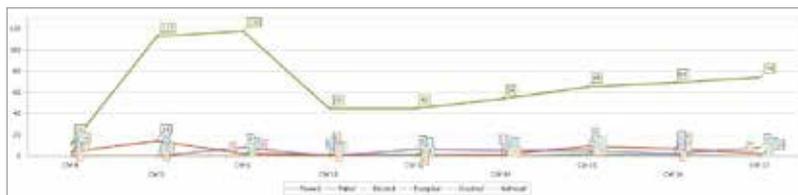


图 6：在 SYNECT 中明确跟踪测试进展。

总结与展望

“在最初设立的远大目标和插电混合动力的高复杂性面前，如果没有高效的开发过程和各种专业工具，我们的团队将无法取得成功。”俄亥俄州立大学 EcoCAR 2 团队前领导 Matthew Yard 总结说。事实证明，俄亥俄州立大学的团队以最佳的方式管理了时间和资源，并实现了其目标。学生们在短时间内就熟悉了开发过程和工具，并掌握了 dSPACE 工具链（由 dSPACE 仿真器、MicroAutoBox II、SYNECT、AutomationDesk 和 ControlDesk Next Generation 组成）。尽管 EcoCAR 2 竞赛结束了，但是俄亥俄州立大学的团队已经在全力准备下一届先进汽车技术竞赛 EcoCAR 3。在



图 7：冠军的笑容 – 俄亥俄州立大学 EcoCAR 2 团队因其插电混合动力概念摘得竞赛桂冠。

本次竞赛中，学生们将在四年时间里优化 2016 款雪佛兰科迈罗汽车，其需要满足更高的要求以及新增的成本和创新度指标。俄亥俄州立大学团队及其新成员仍然表现抢眼，已经赢得了本次第一年的竞赛。

dSPACE 祝贺他们取得优异成绩，希望他们再接再厉！

新的控制功能已在 Simulink 中完成，下一步是与现有的 ECU 软件一起（更加）轻松、快速地进行测试。dSPACE 的虚拟旁路工具链是一种十分高效的解决方案。

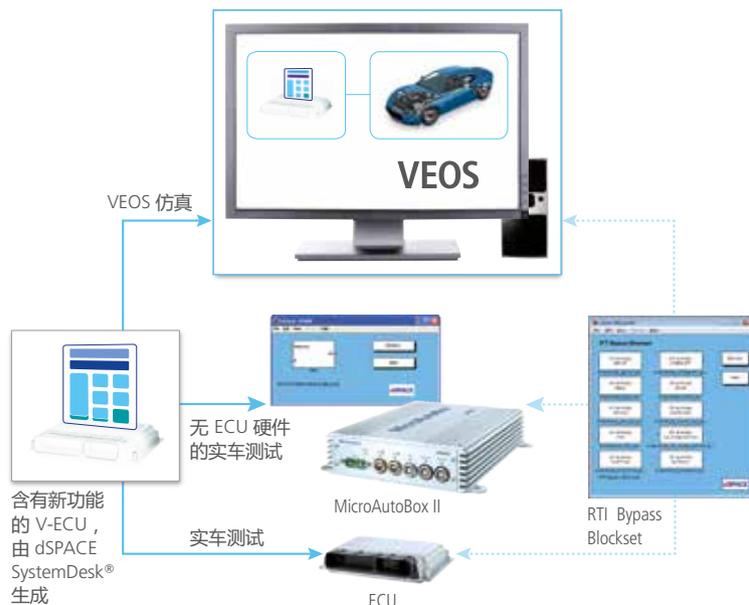
基于 MATLAB®/ Simulink® 进行控制算法开发是国际上普遍使用的方法。一旦完成控制软件的初版设计，便需要实际测试这些新软件与其他的软件组件甚至整个电子控制单元 (ECU) 软件的交互情况。此时功能开发人员必须等待合适的产品级 ECU 原型出现才能进行测试。但是，这类原型控制器往往

需要等到开发过程的后期才能获得。因此，测试工作不得被拖延进行。然而，测试开始得越晚，开发人员可用于花费在集成、寻错、校正和优化工作的时间就越少。由于新的产品级 ECU 的量产计划时间通常很紧，而企业管理层和客户的期望很高，因此软件的开发测试人员将面临巨大的时间压力。

通过虚拟旁路提前进行测试

以下是具体方法：当新功能通过虚拟旁路集成到现有 ECU 软件或虚拟 ECU (V-ECU) 后，开发人员可以在 PC 上进行虚拟 ECU 的仿真，从而将功能测试的进行大大提前。这意味着开发人员可以在没有 ECU 硬件或者无法连接真实被控对象的情况下，提前测试对软件的更改是否达到了所需的效果。虚拟旁路技术使得新功能在现有 ECU 软件中的集成变得快速而简单，因为新功能只需要被选中便可使用，不必修改 ECU 源代码。因此 ECU 软件也不需要被重新编译，这可以节省开发人员大量的程序编译时间，并显著地增加开发的迭代次数。

图 1：借助于 RTI Bypass Blockset，新的 ECU 功能可以在不同平台上使用，例如：VEOS、MicroAutoBox II 或 ECU 原型。



虚拟旁路工具链

虚拟旁路开发可以通过 dSPACE RTI Bypass Blockset (外部旁路和内部旁路使用相同的模块组) 和基于 PC 的 dSPACE 仿真平台 VEOS® 来实现。借助于 VEOS 仿真平台，开发人员可以在 PC 上仿真完整的虚拟 ECU 系统以及复杂的被控对象模型 (例如：dSPACE 汽车仿真模型 (ASM))。V-ECU (虚拟 ECU) 可以由软件集成专家提供。功能开发人员只需要使用 RTI Bypass Blockset 将 Simulink 功能与 ECU 软件功能联系