







# 平顺 成功

为拖拉机开发无级变速箱

来源：© CLAAS

在开发新型拖拉机变速箱之前，CLAAS Industrietechnik (CIT) 没有任何基于模型的软件开发经验。然而，他们的最终产品却远超预期。这一案例的成功，可以部分归功于 dSPACE 提供的强大工具。





**重**型拖拉机在坡道起步时没有任何顿挫感，可平稳加速至最高速度，牵引力也没有任何明显损失。驾驶员只要踩下油门就足够了，离合器和变速杆已经被淘汰。CLAAS Industrietechnik GmbH (CIT) 的新型拖拉机变速箱让这一切成为可能。无级变速箱 EQ 200 即使在斜坡上也能可靠地使拖拉机保持主动怠速状态，并对油门指令即时作出响应。这一设计使拖拉机能仅依靠 1500 转/分钟的极低扭矩行驶，并达到 50 km/h 的最高速度。这样就能在行驶中节省宝贵的燃油。CIT 开发出了自己的变速箱，以提高效率和舒适性。“市面上的变速箱并不能满足我们的需

求。” CIT 产品部门主管 Jan-Willem Verhorst 介绍说。

### 拖拉机作为移动动力源

拖拉机的一项主要功能是通过动力输出装置 (PTO) 来驱动作业器具，例如摊草机。“正因为如此，我们不应将拖拉机单单看成车辆，而是应该看成是移动的动力源。” CIT 电子开发部主管 Helmut Konrad 解释说。“当然，这样也会带来新的挑战。”他特地强调：所连接农具的作业速度，必须独立于拖拉机的推进力进行控制。CIT 团队面临的挑战是在整个速度范围内保持高效作业以及始终优化的效率。

### 技术要求

为确保拖拉机在各种用途中始终保持理想状态，CIT 使用的传动控制装置可自动确定驱动和操作农具的最佳策略。此外，控制器还实现了制造商特定驱动的理念，Verhorst 作了如下解释：“总的来说，我们想努力实现低扭矩，进而降低油耗。同时，我们还希望使拖拉机具有高动力性。”另外，农业工程对防失效的安全功能提出了严格要求，因为如果由于技术缺陷导致车辆无法使用，可能会导致减产甚至欠收的发生。

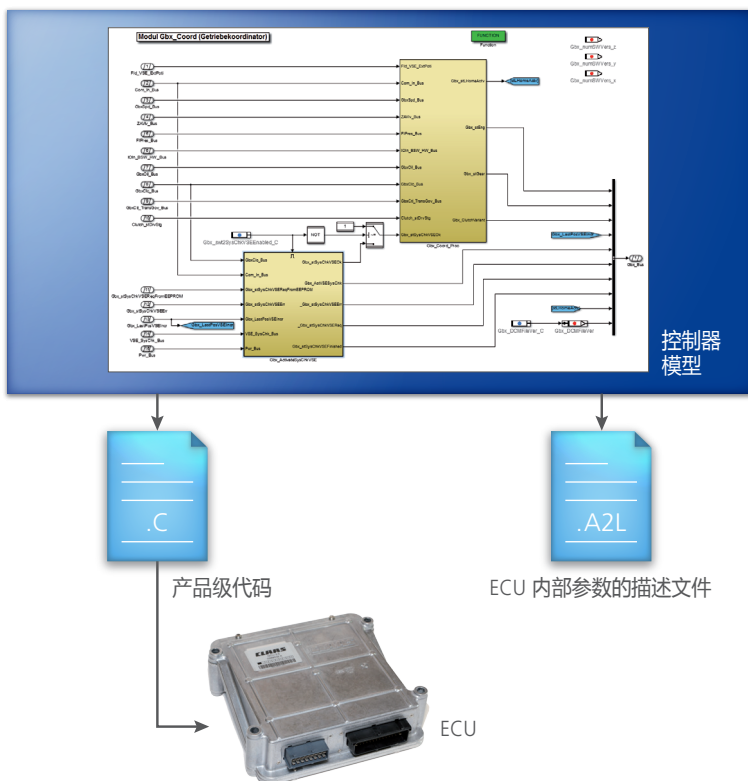
### 开发任务：无级变速箱

协调所有这些要求的总体目标，促成了 CIT 自行开发无级变速箱 (IVT) EQ 200 的计划，其中也包括对变速箱控制器以及驱动控制器的设计。“由于我们 CIT 在这一性能级别上并没有可以借鉴的先例，所以开发人员只能从零开始。”拖拉机传动系研发部门系统工程师 Thomas Gohde 回忆说。“正因如此，我们的愿景从一开始就毫无限制。”最初的设计图制定了极高的技术规格，因此被视作“驾驶员的梦幻机型”而载入公司史册。同时，开发人员还必须始终遵循常规要求，例如兼容汽车标准和 ISO 25119 标准，后一标准针对农业车辆定义了电子控制单元的 (ECU) 功能安全性。

### 选择工具链

对于驱动控制和 EQ 200 ECU，CIT 首次选择了一种基于模型的开发流程 (MBD)。但是由于他们对这

TargetLink 从控制器模型生成高效的产品级代码并部署于 ECU 上。





冬季维护

夜间作业

来源: © CLAAS



“MicroAutoBox 使我们能够在实车试验中方便、快速地测试和评估我们的控制策略。”

Jan-Willem Verhorst, 动力传动系研发部主管,  
CLAAS Industrietechnik GmbH

一领域完全陌生, 因此希望只使用经过行业验证的标准工具。出于这一原因, Simulink® 很快被选定作为开发环境。但是, CIT 是如何为两种 ECU 生成目标代码的呢? 在了解 CLAAS 其他部门之前的研究成果之后, 他们选择了 dSPACE 的产品级代码生成工具 TargetLink®。他们还选择了另一种用于车辆开发的成熟 dSPACE 工具 MicroAutoBox®, 用于测试拖拉机原型中的算法。在之后的开发阶段中, 增加了两个 dSPACE 硬件在环 (HIL) 仿真系统来执行 ECU 测试。

### 开发功能

在项目伊始, CIT 成立了一支由四人组成的团队, 但这个队伍很快壮大, 从而可以应对额外的任务。然而, 最初的技术规格确实被设定得太高了, 即使是对这支迅速成长的团队来说也是如此。因此, 经过修订, 新的技术规格 (被命名为“梦回现实”) 重新设定了更现实的开发过程。尽管最初在基于模型的开发方面缺乏经验, 但是在 dSPACE 产品的帮助之下, 很快就见到了成效。“我们使用的工具链使我们能够将精力集中在功能开发上, 无需

处理过多的编码任务, 从而改善了变速箱开发过程中与机械部门的沟通。” Gohde 介绍说。CIT 甚至能够接手最初由开发合作伙伴执行的变速箱 ECU 项目, 并能独立地继续开发。

### 实施功能

CIT 使用 TargetLink 模块组来开发功能模型。“除了使用原生的 TargetLink 模块之外, 我们还为过滤器等常用功能创建了自己的模块库。” Gohde 解释说。此外, 模型引用也让开发团队享受到了分布式开发的益处。在模型引用中, 可以单独创建、生成和测试部分功能。随后可以将它们结合到上层的集成模型中, 便于 TargetLink 为软件集成生成粘结代码。此外, 该团队还使用了页面切换技术来预留存储区域, 从而可以在参数化的变量之间进行轻松切换, 并利用 TargetLink 为标定测量工具生成 A2L 文件。CIT 能够使用 TargetLink 的自有功能和 BTC EmbeddedTester 来对代码进行充分的测试, 使错误能够被尽早发现并消除。随后, 使用 TargetLink 生成的高效产品级代码被部署在控制单元上。

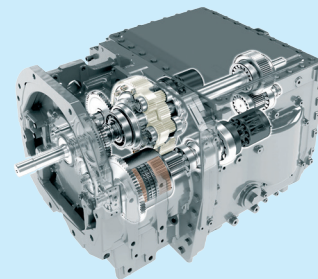
&gt;&gt;

## 无级变速箱 EQ 200

EQ 200 的组件包括一个多速比行星齿轮变速箱、一个静液压传动单元和两个多片式离合器。变速箱部件的这些组件使其能够在所有速度下保持极高且几乎恒定的效率。自动换挡时, 传动比和变速箱整个动力输出都会随之变化。两个离合器轴的扭矩随着车速加快而彼此接近, 直到达到相同的扭矩。当两个扭矩完全同步时, 多片式离合器就会进行换挡。这样, 即使工作在负载之下, 换挡时也不会出现转速或扭矩突变, 从而带来平稳的加速效果。

观看以下视频, 可以详细了解 EQ 200 变速箱的工作原理:

[www.dspace.com/go/dMag\\_20161\\_CLAAS\\_E](http://www.dspace.com/go/dMag_20161_CLAAS_E)



EQ 200 变速箱凭借其毫无顿挫感的换挡和平顺性而令人折服。





转向



耕作



栽培



运输



“通过使用 TargetLink，我们节省了一整套开发步骤，并且始终能生成可靠的产品级代码。”

Thomas Gohde，拖拉机传动系研发部系统工程师，CLAAS Industrietechnik GmbH

### 验证 ECU 软件

“从项目一开始，我们就知道 ECU 测试工作量不会少于开发 ECU 软件。” Konrad 回忆说。“正因如此，我们成立了两支同样强大的团队分别负责开发和测试工作，并使他们彼此独立以保持各自的优势。” HIL 测试从驱动控制 ECU 开始。CIT 自行开发了此任务所需的大多数仿真模型，同时使用了来自 dSPACE 的 ASM 柴油发动机模型来进行发动机仿真。在整个开发过程

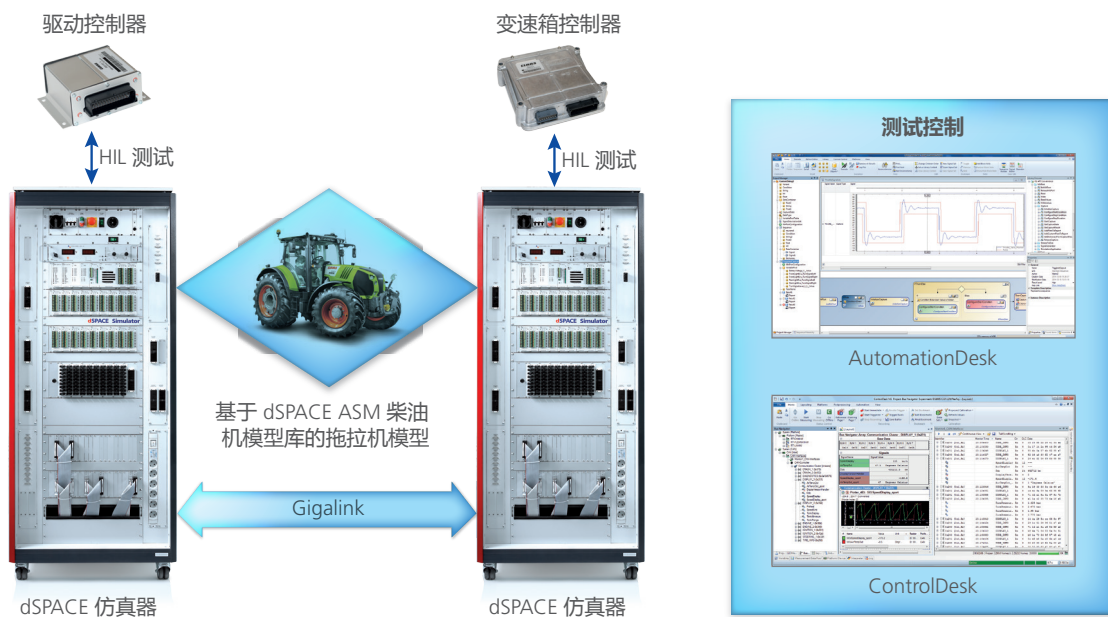
中，开发人员在 AutomationDesk 中构建了测试库以自动执行大量的测试序列。这样，他们就能利用夜间时间来测试新软件版本，并在第二天对结果进行评估。

### 通过系统测试进行检验和验证

完成组件测试（即驱动控制 ECU 和变速箱控制 ECU 分别经过测试）之后，接下来执行的是两个联网 ECU 联网后的集成测试。CIT 进一步扩展了测试库，使其能够测试两个 ECU

在车辆残余总线仿真中的互动情况。两套 dSPACE 仿真系统配合 AutomationDesk 使这样的完整系统测试成为可能，并且只需要两位测试工程师以及三周时间即可完成。测试的深度帮助证明了 ECU 符合 ISO 25119 标准。这些出自实验室的高度成熟软件在随后的现场测试中再次得到了验证：在类似的过往项目中，测试电子系统大约需要花费 11500 个小时，而基于模型的新方法仅需 3500 个小时即可完成。

建立 HIL 测试台架，借助自动化测试实现通宵运行。





开荒



播种

来源：© CLAAS

### 成功量产

2014 年，无级变速箱 EQ 200 和驱动控制器成功面市。它们被用于 ARION 500/600 系列拖拉机当中，其高效性和便利性立即征服了众多客户。与此同时，此系列的销量超过了业务规划的预期，因此客户不得不耐心等待大约一年才能收到交付的拖拉机。但是，商业成功并不代表一切。令以 Verhorst、Konrad 和 Gohde 为首的开发团队更振奋人心的是，客户对拖拉机的驱动表现和油耗给出了积极的反馈：“这一

项目之所以能够成为 CIT 最大规模、最为成功的项目，不仅仅是因为我们付出了决心和努力，还因为我们拥有高效且易于操作的工具链。尽管我们的开发人员一开始并不了解任何关于模型化开发的专业知识，但是我们仍然能够在给定的时间内交付合格的产品，一款已在现场投入使用一年之久且尚未出现软件错误的产品。” ■

由 CLAAS Industrietechnik GmbH (德国帕德伯恩) 友情授权。

## 项目

### 任务

为拖拉机开发驱动控制和变速箱 ECU。

### 挑战

根据 ISO 25119 标准，为 ECU 软件的功能开发和验证工作引入基于模型的开发方法和适当的工具链。

### 解决方案

制定基于模型的 ECU 开发流程。高效使用 MicroAutoBox 以实现快速控制原型，使用 TargetLink 来部署软件，并使用 dSPACE 仿真系统以及 AutomationDesk 来验证 ECU。在未来的项目中，CIT 计划使用数据管理软件 dSPACE SYNECT® 来管理和评估广大的测试案例及测试数据。



“dSPACE 仿真系统帮助我们显著提升了软件和质量。”

Helmut Konrad, 电子开发部主管, CLAAS Industrietechnik GmbH