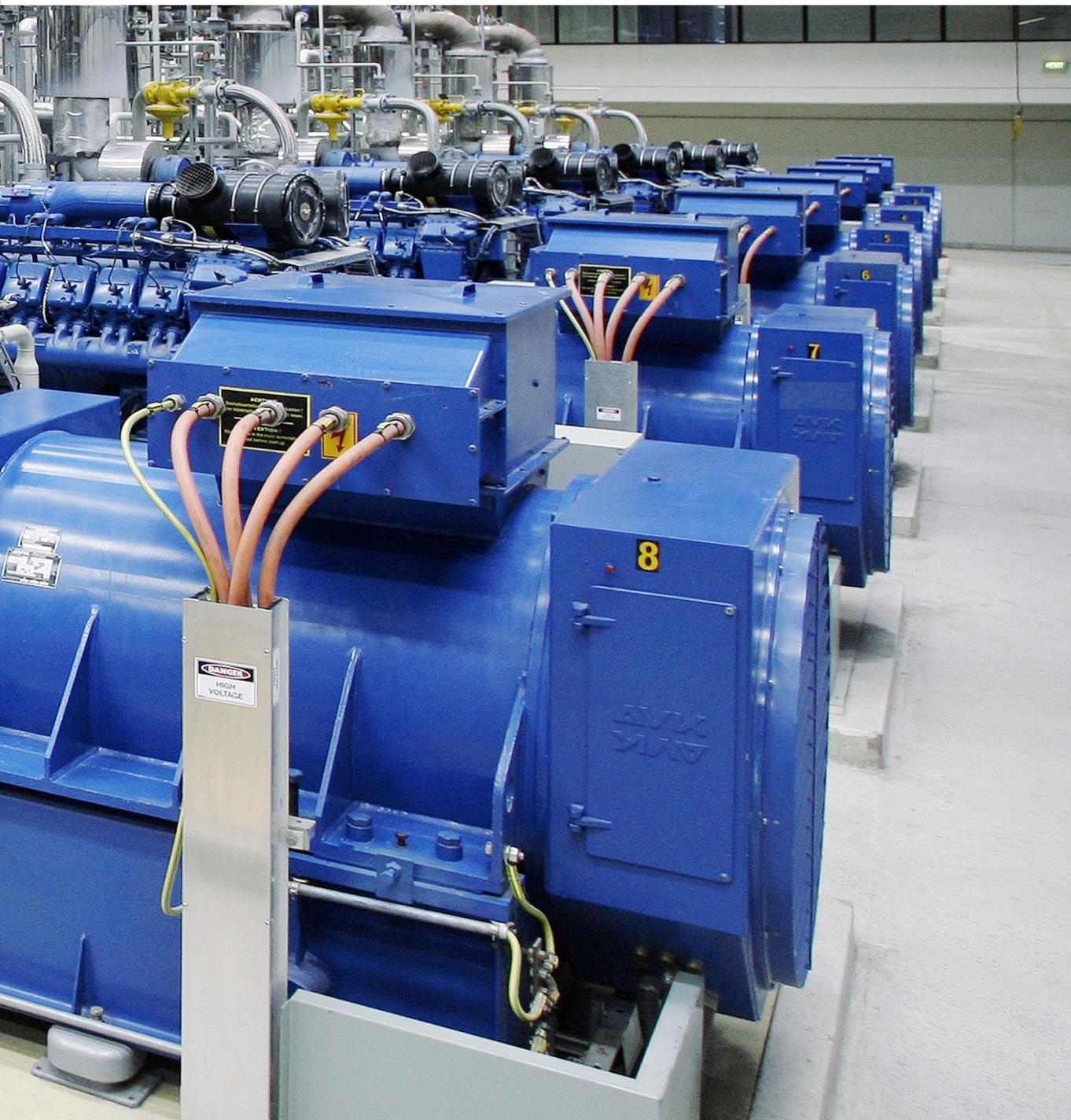


# 最佳 执行者

控制高性能燃气发动机，  
实现能量供应

有一点非常肯定：如果您负责为合适的发电机启动大型高性能燃气发动机，您是高达 4500 kW 电力现场机动性最好的员工。功能如此强大的机器主要用于固定式发电和供热。Caterpillar Energy Solutions 开发出了一种全新的控制系统，确保未来的发电厂一直保持高效、充满活力且易于维护。



# 分

散式发电厂在许多不同的领域都可适用。它们可以用作独立发电厂 (IPP) 以确保在完全没有电力的地方实现灵活、充足的电力供应，例如没有原材料的偏远地区，几乎未经开发的安置区，以及由于各种原因而造成使用现有基础设施过于昂贵的地区。此外，工业和农业的生产过程中经常会产生可燃气体副产品。这样，就可以使用这些气体来实现自行供电，将产生的电能送入公共电网以实现盈利，或者将电能直接转售给邻近的生产工厂等用户。这些独立发电厂拥有燃气发动机和发电机，也非常适合解决公共电网的峰值负载需求。这些机器可进一步用于生产工业用热，例如产生热水或水蒸汽以及直接重复利用废气，例如在温室中进行二氧化碳施肥。

用于发电的燃气发动机。

## 综合性发电供热厂

Caterpillar Energy Solutions GmbH 是一家全球领先的供应商，其高效率、环保型整体系统适用于分散式发电和供热。Cat 和 MWM 品牌的产品系列包括燃气发动机、客户专用发电厂解决方案、完整的交钥匙系统、热电联产工厂以及安装简便、经济高效、利于环保的灵活模块化燃气发电厂。该公司还针对系统的安装和投产提供全面的建议、工厂设计、工程服务，并在全球提供客户支持与维护等服务。

## 燃气发动机操作要求

在无法利用公共电网的情况下必须单独发电，一家可靠的发电厂就变得尤为重要。在并网运营的同时，电力用户仍然可以在必要时使用公共综合电网。但是在独立电网中，

电力用户需要依靠小范围内的几家供电公司，并且电力供应有时只能依赖少数几台燃气发动机。为了满足峰值负载需求，公共电网需要提供可靠且随时可用的电力供应。供热也同样如此。因此，可靠性、高效性和灵活性成为了供电行业的金科玉律。这三大因素又与维护密切相关，因为机器应该做到尽量减少保养工作，同时必须缩短停机时间并降低维护成本。除了进一步开发发动机装置以尽量减少润滑油使用之外，控制开发团队还在努力寻找方法将维护成本降至最低。因此，机械因素只是解决方案的一个组成部分。必须具有一种精细的电子对象控制系统，才能满足这些要求。



来源：Caterpillar Energy Solutions

### 实现全新的对象控制

Caterpillar Energy Solutions 的目标是使用这一全新的控制系统使未来的被控对象变得更加高效、灵活且便于维护，并且在整个产品范围内使用全新开发的控制系统。因此，该公司决定在未来的被控对象内将第三方电子控制单元 (ECU) 替换为他们自己的电子控制单元。在发电行业的燃气发动机上应用时，这一任务比传统内燃机（例如客车发动机）更具挑战性。高性能燃气发动机的成本、规格和运行时间都相当可观，产品型号也多种多样，因此通常无法专门制造原型测试机。这样，开发团队在极限条件和高负载情况下执行测试时，就会由于启动、停机和紧急停机行为的密集测试而一直面临严重损坏真实发动机的风险，进而造成成本高企和项目延迟。此外，还必须在真实发动机可用之前就能执行测试。因此更重要的是在以下环境测试发动机控制系统：离线功能开发（软件在环 (SIL)）环境和硬件在环 (HIL) 仿真器、被控对象网络以及上级控制系统的 HIL 系统。Caterpillar Energy Solutions 的另一项要求就是使 HIL 仿真环境具有可测试众多发动机型号的灵活性和扩展性，并使其成为未来软件发布流程的基本要素，从而越来越不依赖使用真实发动机的物理测试。

&gt;&gt;

### 电机规格

- 气缸数：8 - 20
- 功率范围：通常为 400 - 4500 kW<sub>el</sub>
- 所有燃气类型：天然气、填埋气、矿井瓦斯、污泥气、焦炉煤气、沼气
- “传统” 发动机控制（例如节气门）以及过程控制（例如冷却、燃气压力、电气相位）
- 特殊应急策略（例如紧急停机）



来源：© Caterpillar Energy Solutions

控制的气缸数量较多，要求在 SIL 和 HIL 测试中使用特别高效的仿真模型。

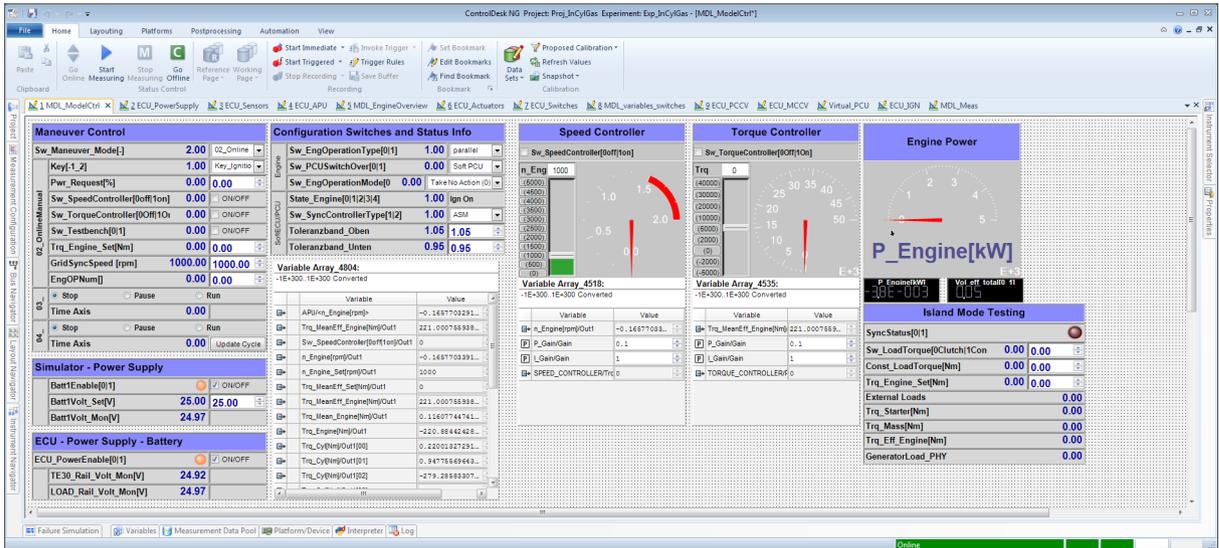


来源：© Caterpillar Energy Solutions

Caterpillar Energy Solutions 公司的 Ralph Staudt (左) 和 Sreenivasa Ravipati (右) 使用 dSPACE 仿真器对发动机 ECU 执行了广泛的 HIL 测试。

“作为工具和工程服务供应商，dSPACE 一直是我们值得信赖的合作伙伴，对于我们在 HIL 系统方面的许多细节问题，无论是仿真器规格，还是使用真实 ECU 进行闭环操作，他们都给予了很大帮助。这让我们显著加快了项目速度。”

Magnus Euler, Caterpillar Energy Solutions



使用 ControlDesk Next Generation 进行实验控制。

### 仿真模型的要求

为了在 ECU 开发中模拟燃气发动机，仿真模型必须能够再现特定发动机特性并具有足够的精确性。特定使用案例中的仿真范围和质量必须足够高，并在所有工作步骤中为 ECU 提供合理值。Caterpillar Energy Solutions 特别考虑了行业认可的模型，可以针对燃气发动机的特性轻松调整这些模型。这样就对内燃机被控对象模型提出了以下要求：

- 可调整的开放式模型架构，还可用于发电行业的燃气发动机
- 高计算效率，可用于最多 24 个气缸的实时仿真

- 高质量详细信息，充分满足潜在的气缸压力传感器
- 通过仿真数据和数量有限的负载点灵活实现模型参数化

### 用于燃气发动机的 dSPACE ASM

在 dSPACE 工程服务的支持之下，可以对 Caterpillar Energy Solutions 的原始 ASM 汽油发动机缸内模型（开放、细化的 Simulink® 模型）进行调整，使其现在可用于仿真燃气发动机。模型的调整分为几个步骤：

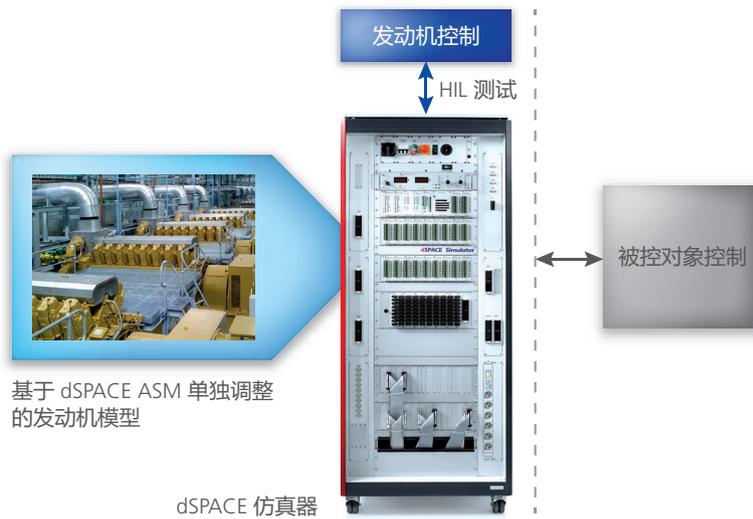
- 部分重复利用库模块，依据基础模型例如中冷器和气门等搭建出特定的发动机结构。这样就只需要付出合理的工作量，因为在默

认情况下，ASM 模型的参数化是针对带有双涡轮增压器的 V 型架构发动机拓扑。

- 根据供能技术的要求，调整汽车内燃发动机模型的结构
- 更改基础模型的物理、化学和热力参数
- 通过评估测量值来自动优化参数，以改善仿真结果
- 在离线仿真期间，通过 ASM 发动机测试台架来验证模型

“通过按照我们的要求调整 ASM 汽油发动机缸内模型，我们能够对燃气发动机执行足够真实的实时仿真。”

Magnus Euler, Caterpillar Energy Solutions



通过使用 dSPACE 仿真器以及在 ASM 汽油发动机缸内模型基础上经过修改的模型，Caterpillar Energy Solutions 无需使用真实发动机即可执行发动机控制器早期 HIL 测试。

### 测试新的发动机控制器

Caterpillar Energy Solutions 开发的被控对象和发动机控制器必须在多个领域经过测试。例如，必须在与电气相位同步之前、期间和之后对控制器和发动机的行为（包括启动、停机和紧急停机）进行测试，以保证电网的平稳运行。通过 SIL 仿真执行离线功能测试，在 HIL 仿真器上执行 ECU 测试。所有测试阶段中都使用了经过特殊调整的 ASM 模型。

### HIL 测试系统

在 HIL 测试中使用了大型 dSPACE 仿真器。仿真器配备两个扩展盒，

各自包含一个带有扩展 I/O 的 DS1006 型系统。这样就能执行功能强大的多核、多处理器操作，特别是通过从 I/O 单独计算 ASM 模型来缩短仿真时间。dSPACE 仿真器还包含用于信号调理的模块、用于插入电气故障的故障插入单元以及用于电流测量和负载仿真的模块。在测试中使用了真实负载，例如喷油器、节气门和废气旁通阀。仿真器还连接至更大型的对象控制 HIL 系统。所有仿真任务都使用 dSPACE 的实验软件 ControlDesk® Next Generation 来执行。■

Magnus Euler, Caterpillar Energy Solutions GmbH

## 总结

Caterpillar Energy Solutions 开发的全新被控对象和发动机控制系统为更高效、更灵活、更便于维护的 Cat 和 MWM 产品打下了坚实的基础。dSPACE 针对重要工具提供了一站式解决方案，加上工程和支持服务，大大推动了项目的成功和快速实施。通过在 SIL 和 HIL 仿真中提前实施许多测试，Caterpillar Energy Solutions 得以在真实发动机出现之前执行大量的开发工作。之后，并不需要在昂贵的真实发动机上执行这些测试。这样就能缩短开发所需的时间。dSPACE 工具在整个产品范围内针对不同气缸数量的发动机的 ECU 创建了开发环境。新的发动机开发项目已在使

Magnus Euler

Magnus Euler 是德国曼海姆 Caterpillar Energy Solutions GmbH 电气工程部门的发动机控制主管。

