

# 从虚拟测试平台到量产产品

By Wolfgang Beer, Marijn Hollander, Michael Kordon,  
Christian Kozlik, and Bernhard Raser, AVL List GmbH



## 使用硬件在环系统开展非道路用发动机的产品标定

目前很少有一个汽车工程领域能够比非公路用车领域更加具有多面性。大量的发动机变型和组装以及各种多样化的操作条件都给发动机的发展和标定提出了严格的要求。AVL依赖于ETAS的LABCAR方案——包含了选定功能的产品标定的硬件在环测试系统，来满足更加有效并且高质量的完成这种多任务的要求。

AVL是世界上最大的，专门为所有类型的内燃机动力系统MEA-SURING测试系统提供发展和优化的私有公司。AVL的专家都为许多生产特殊用途汽车和客车的知名厂商提供解决方案。

AVL的商用车部分包括工程车辆，如挖土机、推土机、起重机以及农用的道路车辆。这个领域在功能性和效率性上都有很高的要求。同时，非道路车辆领域则由于它的多样性面临特殊的挑战，例如所在地区的气候多样性、非常低的生产数量以及不同的排放控制法规。相应地，将经济上可行的支出用于发展高质量的、可靠的和可持续的产品是非常必要的。这些

目标的实现需要模块化平台的概念、严格的成本设计过程、个体发展阶段的前瞻，再加上合适的工具和方法。

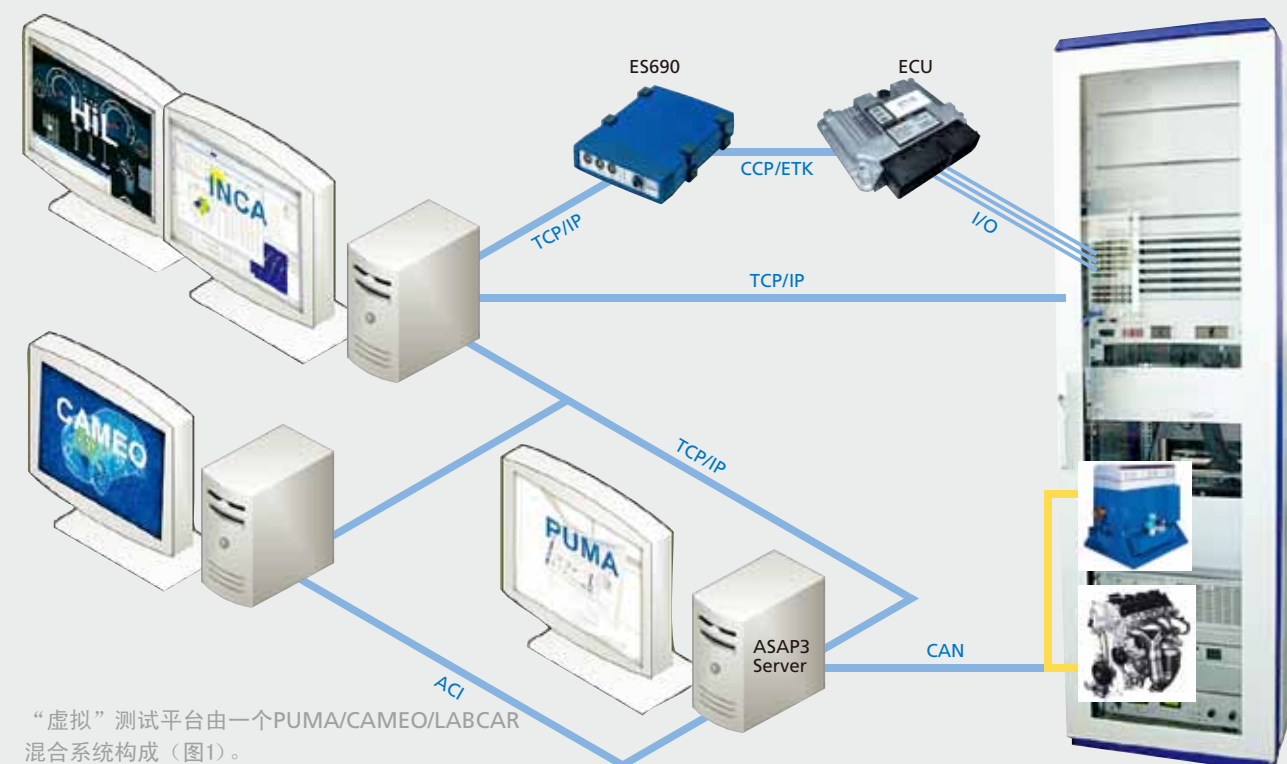
ECU的标定也面临特殊的挑战。因为要使实车运行在所有的气候环境条件，例如海拔影响、高温、严寒等，再加上各种可能的变化和要遵守世界各地存在的不同的尾气排放标准，所有这些使得成本飞涨。还有一个原因是相对数目较小的非公路项目的测试车辆。这些问题的解决就在于HiL系统的应用。

几年来，AVL已经应用了HiL测试来支持汽车产品的标定。因此，大多数产品车型的程序版本都由HiL系统来

确认，也就是说，要先于发动机和测试车辆的实物可用性验证。今天，通过实验室的功能标定得到最终的产品应用数据已经成为可能。这一成功要归功于来自AVL的基于模型的发动机优化的开发方法（MoBEO），这个方法通过一个发动机模型来提供极其精确的可视化的废气和燃烧的运行状态。MoBEO要联合功能强大并且灵活的ETAS LABCAR HiL系统同时运行。

### “虚拟”测试平台

就如同一个实际的测试平台，所有测试都通过AVL CAMEO自动软件配置和执行。CAMEO运用标准化的接口来与AVL PUMA测试平台系统和



“虚拟”测试平台由一个PUMA/CAMEO/LABCAR混合系统构成（图1）。

ETAS INCA标定软件通信。PUMA系统采用一个实时的CAN card来与LABCAR HiL系统连接。它发送设定值到功率计，这个功率计也是由HiL系统的一个模型模拟的。从功率计上，发动机模型的结果，例如力矩、温度、压力和排放，还有燃烧参数（峰值压力、燃烧核）都被传回PUMA系统。这些结果参数都被存储在测试平台的主机上。这样标定工程师就可以通过后期处

CONCERTO。虚拟测试平台可以涵盖所有工具链，它使开发环境的复用率得到最大化。同时，上述的所有功能都得到了用户的高度认可。AVLAVL现在应用PT-LABCAR（PT代表动力总成）来优化发动机的控制单元测试。PT-LABCAR这种开放的、模块化架构让测试系统易于实现适应性和功能扩展性来满足未来的需求。**基于模型的发动机优化（MoBEO）**

早在开发的最初期阶段，AVL开发的基于模型的发动机优化方法（MoBEO）有利于将测试任务从实际测试平台到它的虚拟平台的转移。该过程采用了半导体物理、允许可在模拟瞬态周期进行高速运算的零维模型为核心技术。它还提供结合了实际值和经验值的高精度参数。

仿真的结果是用发动机模型进行标定的重要前提，要求有很高的精度。为了给开发工程师提供一个熟悉的标定环境，在虚拟测试平台进行的工作就要有很高的精度，就和在真实世界中一样。测量的输出数据持续地用于改善模型的精度。这个工作在发动机开发的每个阶段都会用到，从开始开发到最后一直在HiL系统上支持产品标定。这不仅有利于被那些不能简单的从随机的地理位置完成的标定任务采用，而且也在早起标定阶段被引入于“非周期排放”和“应用遵循测试”的相关研究。

**标定发动机保护功能**

一些故障，例如发动机运转过程中的严重故障，产生的后果是非常灾难性的。因此，保护功能参数标定在这过程中起到非常重要的作用。这正是虚拟测试平台展示它优越性的地方。它不仅避免了过载给发动机带来的物理损害，并且还提供了有效的校准和验证过程。例如泄漏、散热器堵塞或者进气和废气路径压力的操作失压都可以简单的通过调

整发动机模型相关模拟参数来模拟。

**对于海拔、高温和极寒的标定修正功能**

环境的差异可以引起发动机运行的变化，这样会影响排放和发动机内部热力的动态变化。热力的变化引起了功率输出的变化和元件保护，它的重要性是不言而喻的。此外，未来的立法方面会有更加严格的排放指标认证，即要求能够适应1600米以上的海拔并且能适应更加广泛的温度变化。LABCAR能够轻松应对产品级为海拔、高温和严寒标定的修正。这项功能能够节省您很大一部分开支。

对于环境压力和温度变化的标定修正功能有以下几方面要点：元件绝对不能超载运行；排放要控制在法定范围内，客户的要求要尽全力满足。为了满足这些要求，发动机控制单元的标定的设定值修正必须考虑环境的压力和温度，这就是PUMA/CAMEO/LABCAR集成产生的原因。与车内标定相比，虚拟测试平台的主要优势在于它不仅可以根据环境快速修正参数，而且事实上它能够很好地同时保证一致性和再现性。

这使得在实际发动机测试台架上进行基本标定时，它也能够开启保护和修正参数标定的功能。当结合了自动化的HiL系统设置相，就能够节

省大量的时间和成本。图2展示了没有海拔标定修正功能的模拟和具有海拔标定功能修正的模拟，有了这个修正功能系统就不再会超过适用的限定值。

**验证**

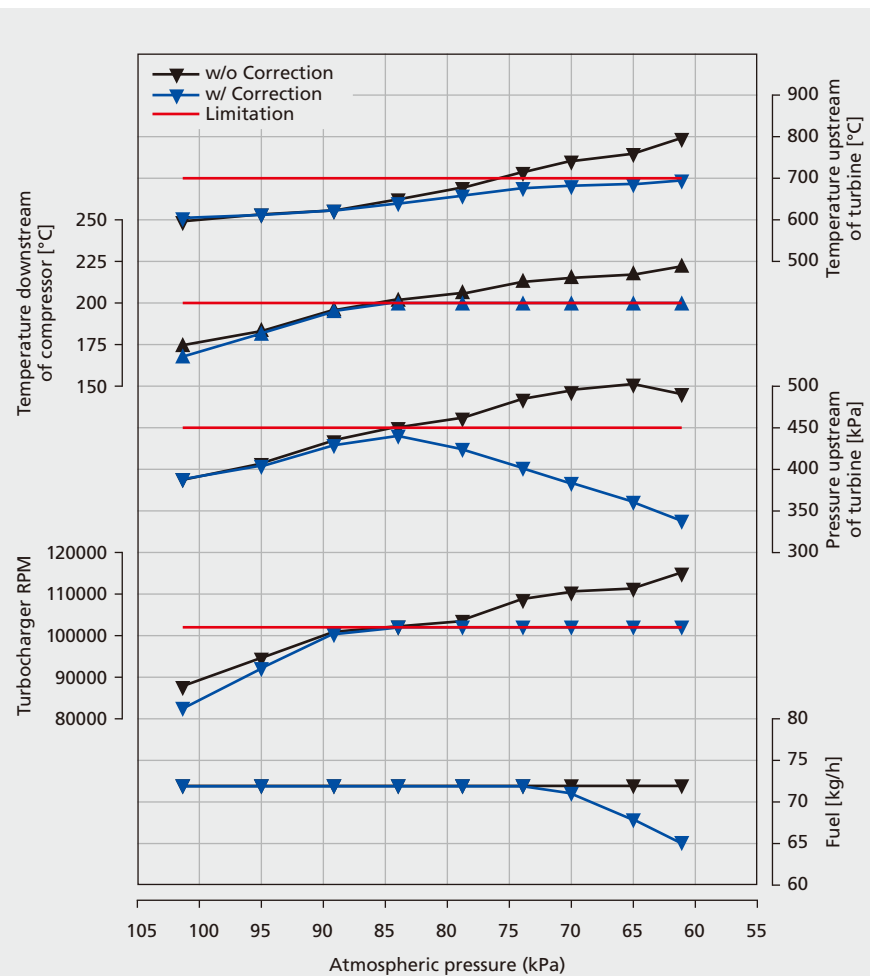
这个预标定是用来验证部分冬天海拔的测试，这个测试是在海拔2000米以上进行的。该表格对比了三组相关测量参数的模拟仿真。仿真结果和实际测量结果证明仿真是具有足够精度的，可以不用考虑数据版本更进一的变化。要注意的是，这个和图2的工作点是不一样的。

**展望**

正因为有了目前所获得的积极成果，我们才可以去展望更多的应用。本文中设想的例子都是对各种驾驶循环排放、废气处理模型一体化、OBD II功能标定以及元件和传感器耐久性能的预测。LABCAR和AVL的专家们不懈的努力、灵活的变通和出色的表现都为未来的发展奠定了坚实的基础。

测量与模拟结果对比一致。

图2: 高原标定前(黑)后(蓝)模拟曲线。



	Turbocharger RPM	Temperature downstream of compressor	Temperature upstream of turbine
	RPM	°C (°F)	°C (°F)
Simulation	84981	157 (314.6)	583 (1081.4)
Measurement	86000	156 (312.8)	562 (1043.6)
Deviation [%]	-1.2	0.4	3.6

**挑战**

非公路汽车包含非常多的变量，并且往往要在使用环境多种多样。要为所有的应用做标定——无论是到真实环境中或是建立一个大的温度变化室——都要花费大量的时间和金钱。所以我们需要一种新的标定方法。

**解决**

采用例如通过LABCAR的AVL MoBEO的基于模型的标定方法，就为选定功能的可靠的产品标定打开了一扇大门。

**优点**

采用这种“虚拟产品标定”的方法节省了时间和成本。此外，各种环境条件下的仿真结果都会提高标定的质量。