

标题：保时捷 Cayenne 与系统集成

摘要：

软件与车辆的集成对车辆性能和客户体验至关重要。新款保时捷 Cayenne 也是如此。保时捷工程公司与保时捷和多家供应商携手合作，共同开发了该车的大部分驱动系统和底盘部件。得益于创新硬件和定制软件，这款豪华 SUV 可提供经典的保时捷驾驶体验。

软件正日益成为一款车型的决定性要素，因为软件能够实现创新功能、为车辆带来越来越大的附加值。然而，客户体验并不完全取决于程序员——让软件与车辆硬件完美契合、协调运作，以实现最佳性能，同样至关重要。这一点尤其适用于对驾驶体验有重大影响的驱动系统和底盘。因此，保时捷工程公司全新组建了“驾驶系统”部门，让底盘和驱动领域的硬件和软件专家密切协作。该团队能够开发并集成完整的系统——从研判需求，到开发功能、软件和执行器，再到应用、测试和验证。

注重系统集成

“我们的核心任务之一是系统集成，”驾驶系统部门主管 Eva-Verena Ziegahn 说，“包括在控制单元上实施代码，以及应用和验证新功能。”在保时捷 Cayenne 的开发过程中，保时捷工程公司承担了大量开发任务；从一开始，硬件和软件的无缝集成就是驱动系统和底盘的关键所在。Ziegahn 解释说：“Cayenne 的特点是驾驶舒适性和运动性能兼备。以主动式侧倾稳定功能为例，它是通过创新软件和参数设置，以及与整个底盘的集成来实现的。我们必须考虑到底盘中复杂的相互

作用，四轮驱动系统、前后桥转向系统、制动系统和电驱动系统都会影响驾驶体验。”

Ziegahn 以底盘一大创新技术的开发和应用为例，说明了硬件与软件之间的协调互动：这款豪华 SUV 首次采用了回弹阻尼和压缩阻尼可分别调节的双阀减震器。这项技术由保时捷工程公司与一家供应商共同开发，让运动型和舒适型驾驶体验之间的区别更加显著，并优化了各种驾驶状况下的性能表现。创新硬件也对软件开发提出了前所未有的要求：保时捷负责电子底盘平台 (ECP) 的开发工程师 Fabian Heitkamp 表示：“由于该车采用了新型双阀减震器，我们必须更改控制器组件，并开发新的基础软件接口。此外，能够从之前的控制单元和基础软件中沿用的代码少之又少。简而言之：我们几乎要从零开始。”

与 CARIAD 合作

保时捷工程公司负责新控制单元的组件，并与保时捷共同协调供应商开发新的基础软件。保时捷工程公司负责集成管理的开发工程师 Marcus Schmid 说：“我们还负责整套功能软件。一方面，新型双腔空气弹簧、双阀减震器系统的复杂程度比以往的系统高得多；另一方面，我们还要同步推进其他系列的开发工作。因此，我们需要实现 17 种功能，而不是以往的 10 种。其中一些由我们开发，另一些则由 CARIAD 负责。”

为了在紧迫的时间内克服复杂挑战、圆满完成任务，在新的控制单元和基础软件完成之前很长时间，就已经开始测试新软件。Ziegahn 解释说：“我们尝试尽早通过硬件在环 (HiL) 手段，或在测试台架上测试各种功能之间的通信和交互。”

保时捷公司 Cayenne 底盘项目经理 Michael Becker 也强调了这些方法的重要性：

“在保时捷工程公司，我们成立了一个跨越各个分支机构的国际化团队，以便从功能开发和 HiL 测试的早期阶段开始便能有效提供支持。否则，我们将无法完成任务，因为我们不可能将某个软件版本直接安装到车上，随即开始试驾。而通过 HiL 测试，我们可以检查各个软件组件能否协同工作。此外也必须牢记，底盘上有很多地方都事关法律法规。”

得益于虚拟方法，开发人员在开发早期阶段就能实现诸多优化。这样一来，到了开发后期，团队就可以集中精力进行微调收尾。随着系统和组件的复杂程度不断提高，这一模式在未来也至关重要。首先进行模型在环 (MiL) 测试，以研究 Matlab/Simulink 模型的行为，然后根据这些模型生成代码。随后，需要通过软件在环 (SiL) 测试证明其符合要求。接下来是处理器在环 (PiL) 测试：在微处理器上运行代码，而该微处理器与之后在控制单元中所用的微处理器极其相似。一旦完成新的控制单元和基础软件，就可以在硬件在环测试台架上接受测试。

Heitkamp 强调说：“保时捷工程公司的专业能力贯穿整个流程链——从开发功能、在基础软件中实施功能，直到测试和集成到车辆中。”这得益于我们拥有具有所有必要专业知识的国际团队。来自德国、捷克和罗马尼亚的专家组成紧密协作的团队，负责生成代码和开发功能、使用 SiL 和 HiL 测试等手段对其进行测试和验证，并致力于实现测试自动化。“保时捷工程公司总是能准确无误地提供所需资源。” Heitkamp 表示，“这使我们能够顺利克服挑战，按时完成项目。”

让摩擦制动与能量回收制动完美融合，实现无感过渡

开发人员还重点研究了新款 Cayenne 制动系统中硬件和软件的协调互动。他们的任务是：为驾驶员带来尽可能舒适的踏板感受，尤其是应当让驾驶员感觉不到

车辆减速效果中有多少来自液压摩擦制动器、有多少来自电机的能量回收。这种液压摩擦制动与能量回收制动之间的“融合”由能量回收功能负责实现。具体组合方式取决于诸多影响因素。保时捷工程公司制动和转向系统开发工程师 Lisa Helbig 解释说：“从根本上来说，我们的目标是尽可能多地使用能量回收制动，以尽可能减少车辆的平均能量需求，从而延长其电动续航里程。例如，如果电机的减速效能不足，或者后桥能量回收有可能影响车辆稳定性，那么液压摩擦制动器就会开始发挥作用。”

制动系统软件还有助于对摩擦制动器不断变化的特性进行补偿，实现最佳制动效能。软件会综合考量制动器在运行过程中的温度和磨损情况。一大特殊挑战在于，各项算法需要在不同的控制单元上运行，因此制动系统软件只能在控制单元网络中发挥作用。eBKV 的软件由供应商提供，保时捷工程公司负责参数设置和功能测试。最后一步是与保时捷共同验收车辆。

踏板感受得到显著优化

“我们已经实现了目标：在能量回收制动与液压制动之间的转换过程中，驾驶员不会感觉到任何突兀的段落感。”保时捷负责许可的 Alexandros Athanasiadis 总结道，“与上一代产品相比，我们进一步优化了融合效果。归根结底，制动体验的好坏是以踏板感受来衡量的，我们在软件的加持下对此进行了有效优化。”他以全新提出的摩擦制动器“冷特性曲线”为例说明了这一点。在制动器温度较低的情况下起步时，车辆将根据特性曲线大幅提升制动力，从而确保踏板感受始终如一。除了改善舒适性之外，全新设计的能量回收功能还提高了 Cayenne 的效率：新款 Cayenne 能量回收系统的减速性能最高可达 88 kW，比之前的车型提升了约 30%。此外，该车还开创了又一先河——即使在接近静止的极低速度下也能实现制动能量回收；在此之前，这一最低速度为 14 公里/小时。

以噪抑噪

除了新型减震器系统和混合式制动系统之外，保时捷工程公司还全程参与了新款 Cayenne 脉冲逆变器 (PWR) 的开发、测试和验证工作。主要目标是让驾驶员感觉不到从内燃机到电机的转换，同时提高车辆性能。新开发的 PWR 具有可变开关频率和多种调制方法，可根据当前运行点进行优化。保时捷脉冲逆变器软件和应用主管 Pascal Heusler 解释说：“降低时钟频率使脉冲逆变器的效率得以提高，仅通过软件的智能控制，我们便可将电机功率提升 10%。不过，从声学角度来看，这种方式也有弊端——会产生令人不悦的噪声。解决办法是生成与载波频率相近的人工噪声，从而掩盖这种电机噪声。”

然而，这种解决方案并不适用于所有运行点。想法是这样的：控制器必须在几毫秒内做出反应，根据需要及时调整开关频率。Heusler 说：“这是一套高度创新的解决方案。我们在提高系统效率的同时，还通过复杂精巧的声音调制确保驾驶员听不到任何噪声。”

全新 Cayenne 的 PWR 成为了一套模块化系统，在整个大众集团范围内得到广泛应用——同一控制单元被用于近 100 种衍生车型，搭配五种电机和三种变速箱。它们还基于不同平台——全新推出的大众电子电气架构 E3 或 MLBevo。因此，系统集成也意味着：跨越不同品牌 and 不同级别的车辆实现集成。而开发人员已经成功做到了这一点。保时捷工程公司脉冲逆变器集成项目经理 Frank Deckert 表示：“从外观上看，这些衍生型号的区别只有接口不同，其内部工作原理始终是相同的。我们只需要一套硬件，就能完全兼容所有差异。”

在应用中取得平衡

为了减少应用阶段的工作量，开发人员组成了 11 个小组，每组负责约 100 辆在性能和发动机配置等方面相近的车辆。同一组中所有车辆的参数设置都相同，这给工作带来了严峻挑战。例如，转子和定子的热模型对扭矩精度和组件保护措施有重大影响，但热模型本身又在很大程度上取决于电机在车辆中的安装位置。因此，参数设置必须在不同车型之间取得平衡。应用的标准化为后续更新带来了巨大优势：限制差异有助于降低软件维护成本（从概念阶段就考虑成本效益）。

Heusler 表示：“总的来说，我们已经开发出了具有最先进控制手段的顶级系统。这一成就离不开我们与保时捷工程公司的紧密合作，以及诸位同事的出色工作。”

新款 Cayenne 已于 2023 年 7 月上市。目前，保时捷正与保时捷工程公司密切协作，为这款豪华 SUV 的衍生车型进行系统集成。另一个重要的成功因素是承包商与客户之间的高度互信。保时捷项目经理贝克说道：“在这样一个大项目的开始阶段，并不是每个细节都能完全落实——经常会出现突如其来的需求，而现有团队不足以解决所有问题，需要临时寻求专家的帮助。”事实证明，在早期阶段就让硬件和软件专家协同工作效果很好。Ziegahn 表示：“Cayenne 项目充分体现了系统集成的重要性，以及仿真在开发工作中的重要作用。我们可以通过仿真手段为车辆之外的许多方面做好准备，然后再集中精力进行最后的微调收尾工作。近年来，车辆开发工作的复杂程度迅速提高，唯有这样，我们才能从容应对越发严峻的挑战。”

保时捷工程公司承担了包括 FAS/HAF 在内的 SE 底盘团队管理，以及新款保时捷 Cayenne 的大部分驱动系统和底盘开发工作。重点是提供经典的保时捷驾驶

体验，为此，硬件和软件必须实现最佳协调互动。成功的关键在于将所有组件顺利集成到系统之中。

双阀减震器系统

新款保时捷 Cayenne 采用回弹阻尼和压缩阻尼可分别调节的双阀减震器，开创了全球先河。这项技术让运动型和舒适型驾驶之间的区别更加显著，并优化了各种驾驶状况下的性能表现。

制动系统

新款保时捷 Cayenne 在制动时会尽可能回收能量，以延长其电动续航里程。如果电机的减速效能不足，液压摩擦制动器等其他制动措施就会开始发挥作用。电子制动助力器软件可确保二者之间的过渡平顺无感。

脉冲逆变器

降低时钟频率使脉冲逆变器的效率得以提高，电机功率也提升了 10%。通过产生与载波频率相近的人工噪声来掩盖可能出现的干扰噪声。