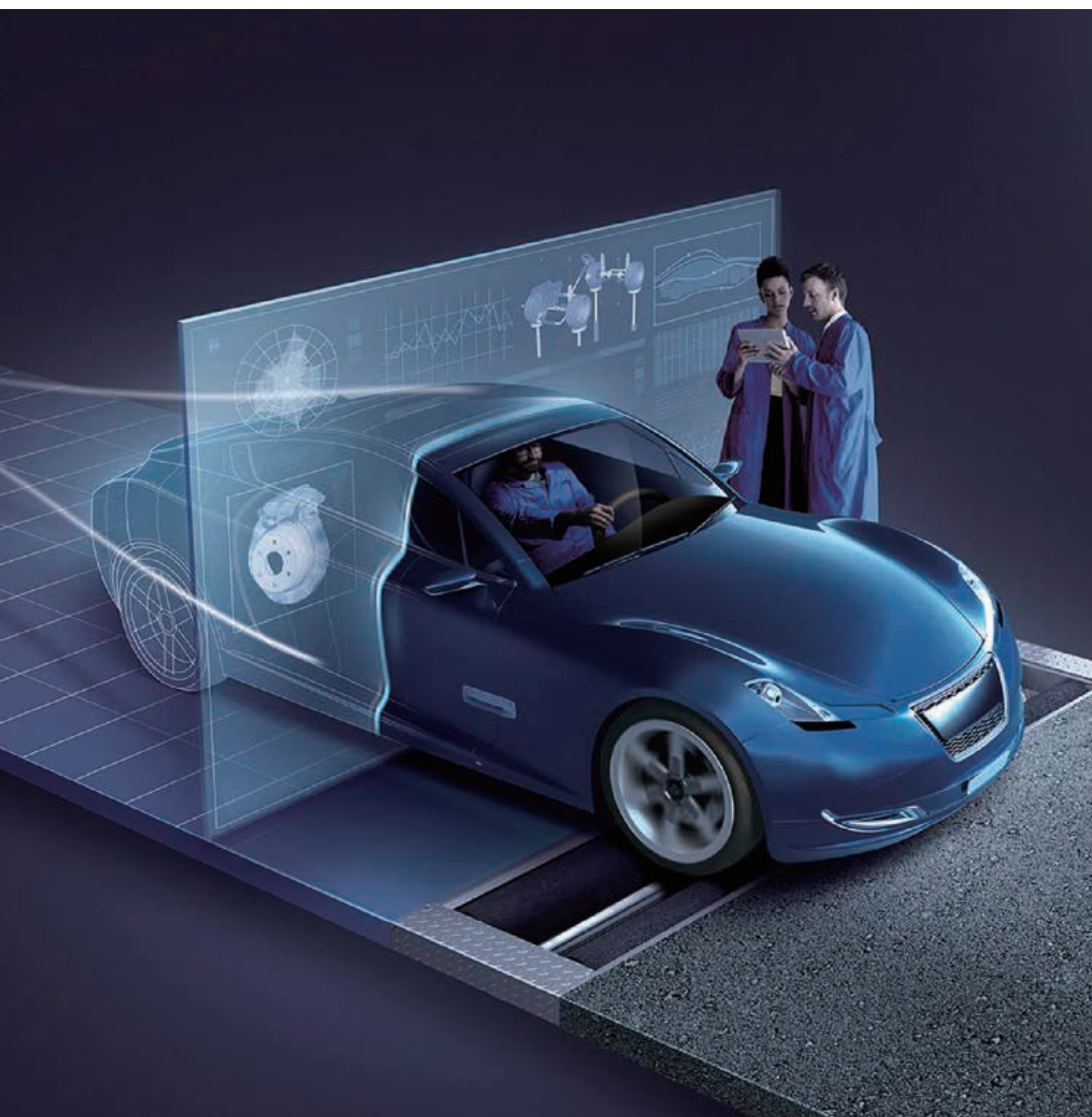




3DEXPERIENCE™

运用现实仿真推进创新

第二卷



运用现实仿真推进创新

目 录

利用现实仿真实现整车性能目标管理与验证	3
Dana的工程师组成团队, 利用仿真生命周期管理加快产品开发	4
本田运用仿真满足不断变化的市场需求	7
Eaton公司使用fe-safe确保关键增压器组件的可靠性	9
使用Abaqus和Dymola开展高逼真防锁死制动系统仿真	11
采用耦合欧拉-拉格朗日法在Abaqus/Explicit中仿真气囊展开	14

利用现实仿真实现整车性能目标管理与验证

行业领先企业如何推动创新、优化绩效和降低质保与召回风险？

随着创新成为企业提升自身竞争优势的持续推动力，众多OEM厂商和汽车制造供应商正在用整体性的眼光审视如何理顺自己的产品开发。改进车辆性能和质量，不仅有助于节省时间周期和降低成本，同时还提升创新能力。

领先的汽车制造企业通过采用仿真解决方案，释放宝贵的时间和资源，用于创新打造更优秀的汽车，这一做法正在赢得战略性竞争优势。这些解决方案支持更加优异的测试、虚拟和物理样机的管理和增强型审核与验证，能显著地提升产品性能和质量。

本电子书，系列的第2卷探讨了汽车OEM和汽车制造供应商如何采用达索系统3DEXPERIENCE®及其“整车性能目标管理与验证(GVPP)”行业解决方案，以提高他们自身设计人员的创新能力。通过将现实仿真集成到自己的流程中，这些领先企业在强化产品质量的同时，节省储存周期，并降低了开发成本。

管理仿真流程和数据

平衡性能与需求

开发轻量化组件

加强前端分析节省时间

满足不断变动的市场需求

评估耐久性和可靠性

用测试结果校准仿真



Dana的工程师组成团队，利用仿真生命周期管理加快产品开发

主要汽车制造供应商在计算机辅助工程项目中实现高达25%的时间节省



近期美国汽车行业的复兴是一个众多层面上的成功故事。政府给予的过桥贷款让部分汽车制造商得以重组。严格的燃油经济性和污染排放标准促进了新的研发工作。回暖的经济气候释放出此前被压抑的对新汽车的需求。这次底特律已经准备好高燃油经济性和外观时尚美观的车型，相信能把买家吸引回展厅。三大汽车巨头（福特、通用和克莱斯勒）正行进在复苏道路上。

随着汽车制造商的业务再度回升，他们的供应商的业务也繁忙起来。Dana Holding Corporation是一家位于美国的一级全球供应商，主要供应车轴、传动轴、密封件和热管理产品、越野车传动装置和养护零部件，其收入和利润均出现强劲反弹。虽然其客户的复苏肯定是这样的业绩的主因，Dana的反弹还归功于其意识的转变。这种转变帮助这家公司平安度过了艰难时期。

“Dana经历了一次文化变革，从一家主要由成本/制造导向的企业变为一家由工程导向的企业。”

Dana动力技术部门高级工程经理、CAE（计算机辅助工程）主管Frank Popielas说：“这意味着重点转移，从如何高效率地控制成本和制造，转为如何创新。显然这一切都需要进行整合。但如果只关注成本，产品质量就会下滑。作为一家工程驱动公司，我们看重的是如何从质量与功能的角度改进产品。通过选择合适工程工具支持的创新让我们的公司更具竞争力。”

许多汽车供应商在衰退时期挣扎求生，失业率上升。但是由于Dana已经开发出大量内部CAE分析子程序和高性能计算（HPC）资源，该公司决定留住自己的设计工程团队。Popielas称：“在衰退期间我们把重点放在CAE分析上。我们知道长期来看，这笔投资是值得。”

使用CAE的工程投资回报

实际上CAE已经证明对公司价值不可估量。Dana的产品包括多种类型的垫圈（汽缸盖、排气管、进气歧管等）、凸轮盖、热交换器；机械和电气组件；动力传动系统组件和总成（车轴、传动轴、齿轮箱等）以及其他。使用的材料有金属、橡胶、塑料和纤维。生产工艺包括铸造、注射成型、热处理、模具成型、磁脉冲焊接等。

Popielas说：“因为我们制造几乎覆盖每一种汽车动力总成和传动总成的零部件，因此我们的产品组合非常复杂。为确保质量，当我们在设计我们的产品时，我们需要考虑各种能影响产品的因素，包括应力、张力、疲劳度、模塑成型、气/油/冷却流、气油和分离、热场分布以及之



图1：成立于1904年，位于俄亥俄的Dana目前拥有分布在26个国家的2.4万名员工。该公司的全球品牌包括Spicer传动总成产品、Victor Reinz密封件产品和Long热力产品。

间的耦合，和它们之间复杂的相互作用。CAE是支持我们产品在工程领域开发的工具箱。仿真让我们能够确认并验证产品功能。”

虽然实体测试仍然是验证功能的终极手段，Dana通过广泛地使用CAE已经让这家公司越来越少地使用物理测试。Popielas说：“仿真让产品开发流程加快，能采集到用于优化产品的数据，让我们的工程人员有更多开展创新的自由。创新对我们非常关键，但它也需要具有成本效益。我们的CAE资源帮助尽量减少乃至消除过去大量耗时的任务，如创建图纸、制作原型、对每次设计迭代进行充分的物理测试。CAE从总体上帮助我们节省了成本。”

Dana拥有丰富的CAE工具（见图2）。这些工具有达索系统SIMULIA品牌下的Abaqus。这是达索系统长期以来的现实仿真用的有限元分析（FEA）求解器。另外还有Altair提供的Hypermesh、用于前处理的Abaqus/CAE和Simlab，用于计算流体动力学的CD-adapco提供的StarCCM+和Capvidia提供的FlowVision，用于模型成型仿真的MoldFlow，用于疲劳分析的fe-safe。同样来自SIMULIA的Isight用于实验设计（DOE）等优化工作。

在继续推动个体组件的分析工作的同时，Dana也深入到子系统、完整系统和全局模型的仿真。Popielas表示：“随着公司仿真水平的发展虚拟环境中会覆盖全系统工程，我们预计未来会增加更多软件代码。”

使用仿真生命周期管理帮助CAE工具协同工作

随着Dana的仿真流程走向成熟，工程部门面临的挑战从如何准确地预测现实产品性能转移到其他紧迫的问题：如何更加有效地把仿真与其他业务和决策流程连接起来；如何改善与客户的协作以及Dana全球工程资源内部的协调；如何提高仿真流程产生的不断增大的数据量、各种仿真方法和CAE分析师带来的IP增量的管理水平。

为满足这些需求，Dana转而求助于达索系统和SIMULIA仿真生命周期管理平台（SLM）解决方案。Dana开展对SLM的深度评估，以根据自身的具体需求衡量其功能，并于2012年夏季开始部署SIMULIA的SLM。以达索系统的3DEXPERIENCE平台技术为基础，SLM能够让企业定义和管理仿真方法、模型和程序

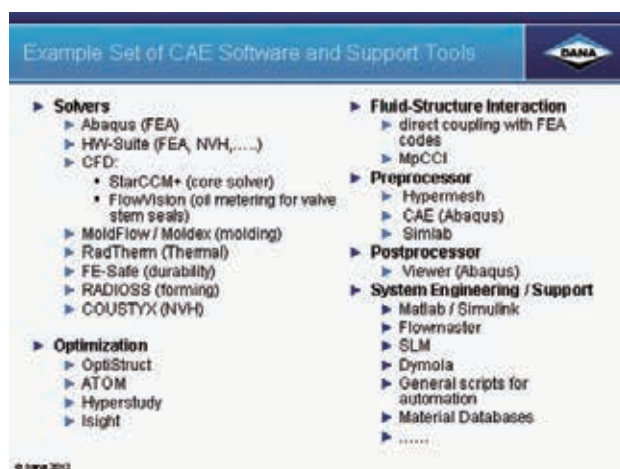


图2：体现Dana用于自己产品设计开发过程中的仿真过程中所需的各种不同CAE软件程序的样本集。该公司通过部署SIMULIA SLM，提供了一个支持多种技术的开放式环境，这样该公司既能运用能最好地支持自身需求的应用，又能与内部团队、客户和他们自己的供应商进行协作。

（场景）。Popielas表示：“当你进入虚拟工程开发，为了不浪费投资，你必须拥有能够管理数据、流程和开发的工具。”

过去Dana的CAE属于个别专家的领域，由这些专家负责从多种软件工具中选择工具，完成从设计数据准备到仿真执行再到结果分析的全部工作，输入数据和整个解决方案基本都存放在他们的本地磁盘上。这让协作变得艰难，让较大型项目的协调成为艰巨的挑战。关于设计变更引起的沟通也是个问题，有时还会造成这些专家有时会使用过期的数据文件运行仿真。这种情况随着Dana成长分散团队的战略全局，团队以更加贴近分散在本地的客户的战略而更加复杂化。

Popielas说：“单个产品的验证随时间推移可能涉及数千个千兆字节的信息。”“当你产生的数据量和我们一样多的时候，尤其是通过如此复杂的仿真的形式，你就需要具备评估既有数据，了解数据来源和随时间推移跟踪数据的能力。SLM是我们能够做到这一切。”

开始部署SLM的时候Dana采用的是“自下而上”法来推动这个过程。Popielas称：“这并非是一个自上而下的整个企业范围的部署。我们先考虑我们想要通过SLM连接的各种不同流程，然后查看从什么地方开始部署比较合理。”

实施过程的一个重要方面就是在SLM内部创建指导性模板，用于采集最优做法和标准方法，供核心产品的仿真工作使用。接下来Dana公司开展的工作是创建全自动模板。Popielas表示：“这些标准化模板用于前端，数据由非CAE工程人员加载数据，仿真分析，仿真工作运行在后台。我们的用户无需了解他们使用的CAE软件的具体知识，只需要访问成熟的经验证的快捷方式菜单，就能帮助他们完成分析目的。如果产品验证中还需要进一步的信息，他们可以使用SLM迅速找到来自我们物理测试实验室的输入。这种自动化功能正在实施在各个领域，能够全面实现未来技术的虚拟化技术体验。”

随着部署工作在整个Dana公司推开，Popielas说：“SLM正在帮助我们更有效的管理一切工作。我们可以轻松地存储数据并再次找到以供再次使用，不夸张地说能省下数个星期的搜索时间。在过去我们浪费大量时间在数据搜索与整理上。SLM不仅有存档功能，同时还能供你随时能在工作中根据需要访问相关信息的环境。”

开放性和实时可视化是协作的关键

在未来，SLM的开放平台还能让Dana团队在内部、与他们的汽车行业客户和自己的供应商共享和交换相关数据。Popielas说：“我们的用户群体非常多元化。我们需要能够使用广泛的软件工具进行工作。在SLM内我们可以轻松地生成连接器，用于满足各种不同软件的访问需求，可以是CAD工具、PDF文件，甚至是内部编写的脚本，甚至是任何具有可执行文件的软件。”

通过提供一致性和可重复性，SLM流程管理功能让整个团队合作工作变得更加顺畅。Popielas说：“与以往的方法相比，我们节省时间的幅度达到20%到25%。我们能够更加准确及时地发现成本效益的权衡点，这将促使我们提升盈利能力。”

由于一切复杂的工作都在后台自动运行，Dana团队最为青睐的是在访问SLM时人人都会用到的虚拟界面：基于达索系统3DLive平台的“现实仿真审核”（Live Simulation Review）[见图3]。用户在屏幕上看到的是一个转盘，转盘上是任意给定部件或零件，罗盘上展示了各项进行中工作的3D示意图。通过点击特定模型图像，用户根据自己在该产品开发工作中所从事的具体工作，找到并定位到正在开展的各项相关仿真。随着该用户完成当日要求的任何工作，所有的变更（及其历史）



图3：汽缸盖垫圈（CHG）项目的“实时仿真审核”（Live Simulation Review）界面截屏，在SLM（来自达索系统SIMULIA应用）中以转盘形式显示。藉此用户可访问产品开发项目的各个方面并实时地与远处团队进行协作。

都会自动更新保存，并可供任何有权访问该项目的人访问。远程团队可以全部同时参与（用户安全）“实时仿真审核”界面，以便在模型开发过程中实时地进行协作。

Popielas说：“这是为什么我认为SLM是市场上的领先技术的原因。这种方法让大家携起手来合作，所以我想把它叫做iCAE™。”伴随仿真在整个行业中的应用日渐普及，对协作性计算机辅助工程的理解也日益深化。如果用户想把多种不同学科整合到工程环境中，就必须提供具有视觉直观性的虚拟环境。具备以这种方式协作的能力是我们选择SLM的关键原因。”

iCAE™的未来潜力

SLM在Dana的完整实施预计将在近期完成，该公司的工程人员已经在期待该软件将如何让他们具备进一步探索iCAE™的产品创新能力。

即将推出的增强版本功能中包括把模板部署到制造等工程领域中。Popielas说：“我们想把制造步骤集成到仿真流程中。理解生产工艺的物理特性有助于进一步改善产品质量，优化制造工位的布局。”Popielas表示，云计算提供远程可视化功能还处于看得见摸不着的阶段，而iCAE™的许多好处已经是切实可行的。Popielas指出：“当你开始发挥这些技术的优势时，你的收益会相当显著。我们所说的是一般是两位数的收益。只要做对了就极具成本效益。”

本田运用仿真满足不断变化 的市场需求



汽车市场正处在一个大变革时代，环境保护和发展中国家市场爆发等因素起着主导性作用。基于模型开发 (MBD) 被当作一种能应对这些变革的开发流程被加以提倡。本田F1车队前发动机开发主管Kazuo Sakurahara目前正在本田研发公司汽车研发中心参与制定一个用于规模生产汽车的新开发流程。Kazuo Sakurahara在接受SIMULIA社区新闻采访时，探讨了本田利用计算机辅助工程 (CAE) 的方法和本田的MBD实施步骤。

SIMULIA社区新闻 (SCN) : 环境问题和发展中国家市场快速发展等变革对开发工作产生了怎样的影响？

Kazuo Sakurahara: 速度就是一切。汽车制造商需要提升开发速度，到他们能够应对一切即将到来的变革的水平，否则他们将无法生存。

SCN: 你是如何加快开发速度的呢？

Kazuo Sakurahara: 我们所追求的是一种能够充分发挥CAE作用的流程。其目的是在早期阶段优化各项功能和测量参数。我们想要在车辆进入批量生产开发阶段时

硬件框架的开发已经完成。与过去的基于实验和经验的流程相比，MBD将能提升竞争能力。

SCN: 为什么本田如此看重使用仿真 (CAE) ？

Kazuo Sakurahara: 我们想要避免构建原型。构建原型和测试原型会耗费大量的时间。我们想做到的水平是只构建用于最终测评的模型。出于这个原因，我们期望CAE能够提供更高的精度。

SCN: 在开发过程中你是怎么使用CAE的呢？

Kazuo Sakurahara: 在批量生产开发之前的高级开发阶段，在选择规格和基本设计的过程中，设计人员使用CATIA Analysis开展CAE，检查和优化各项规格。在详细设计过程中，预发布版本设计模型使用CAE分析工具来评估。高集成度和耗时多的领域，比如非线性和振动噪声，由专家使用Abaqus有限元分析 (FEA) 来完成。

SCN: 是什么让设计人员主动更加广泛地应用CAE ？

Kazuo Sakurahara: 这在很大程度上归功于CATIA的发展。CATIA中能比以往更加轻松地生成网格这一事实确实是一个重大因素。在使用CAE的时候，短时间内生成高质量网格是关键。此外使用Isight等优化工具能显著减少工作量和CAE所花的时间，这是我们寻求扩大CAE在设计中的使用范围的另一途径。

SCN: 你什么时候使用Isight ？

Kazuo Sakurahara: 例如在开发发动机的时候。这里有各种相互冲突的要求。既要尽量轻，又要强度好。既要安静少振动，又要高效率功率大。你必须找到权衡点。现有的手工流程先调整模型，执行CAE，进行判断，然后反复重复这个流程。在新的工作流中，Isight能无需用户干预处理大量设计迭代，在CAE过程中自动修改参数化模型造型，为用户找到最佳形状设计。

SCN: 随着设计工作领域CAE应用的增多，曾有过关于分析精度的重要性的长期争辩。你对CAE评估的精度怎么看？

Kazuo Sakurahara: 在本田从完整评估到相对评估, 如果要把可以评估的每一个方面都包括进来得出一个总体结论, 我们就可以有效地把CAE用于大约70%的应用。

SCN: 你认为改善评估和提高精度需要采取什么措施?

Kazuo Sakurahara: 这里需要提到的是“校准与评估”(Calibration & Evaluation) 被视为“提升仿真精度的测试”。这意味着如果只是想通过评估来判断设计的要求是否已经得到满足, 需要的测试数量要多得多。这样会做大量的工作, 但是对提升MBD开发工作为起点的物理模型的精度来说, 这样做是必要的。把根据仿真结果得到的统计模型回馈给物理模型, 可以让仿真更加贴近现实, 从而在MBD开发的起点阶段得到更高精度。此时流程往往会在基本设计和详细设计之间多次迭代, 但我们想通过提高物理模型的精度来减少没必要的迭代。

SCN: 这与截至目前使用的CAE结果和实验结果对比方法有什么不同?

Kazuo Sakurahara: 使用仿真的评估的目的是判断在特定的具体的和有限条件下与实验结果是否吻合。因此不对特定的具体发动机的结果的精度进行评判, 我们没有办法知道是否这些结果对新的完全不同的发动机性能精确预测。为便于我们在将来使用MBD方法, 我们需要



开展相关工作, 把我们开发的所有车辆的实验数据回馈给物理模型。在初期阶段这样做会增大实验的数量, 但精度也会随之增大, 而后所需的仿真实验数量就会下降。组织这个流程并把它嵌入到开发流程中是至关重要的。

Eaton使用fe-safe确保关键增压器组件的可靠性



Eaton为世界各地的企业提供动力

Eaton是一家动力管理公司，其2013年销售额为220亿美元。Eaton提供节能解决方案，帮助客户以更高效率、安全性和可持续性有效地管理电力、液力和机械动力。Eaton拥有大约10.3万名雇员，产品销往超过175个国家的客户。鉴于Eaton发挥的枢纽性作用，Eaton致力于以卓越为基础，建立和维护强有力的客户关系。从其制造的产品到其竭诚的客户服务与支持，Eaton的汽车业务在全球汽车行业起着重要的作用。

Eaton的创新战略旨在从设计和美观选择到性能和效率改进的需求，满足不断增多的客户要求和监管要求。增压器技术是这一战略的关键组成部分：在小型发动机上增压器技术是在保持低燃油消耗的同时提升性能；在大型发动机上是在给定发动机体积的情况下提供更高的加速能力。Eaton的增压器得到世界众多领先汽车OEM厂商的使用，包括奥迪、福特、通用、梅赛德斯奔驰和大众。

安静可靠

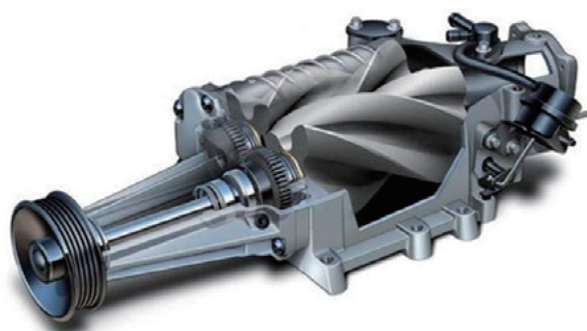
过去增压器一直被认为是噪声源头。噪声的来源之一，是来自泵在增压工作中啮合和解啮合产生的压力脉动。

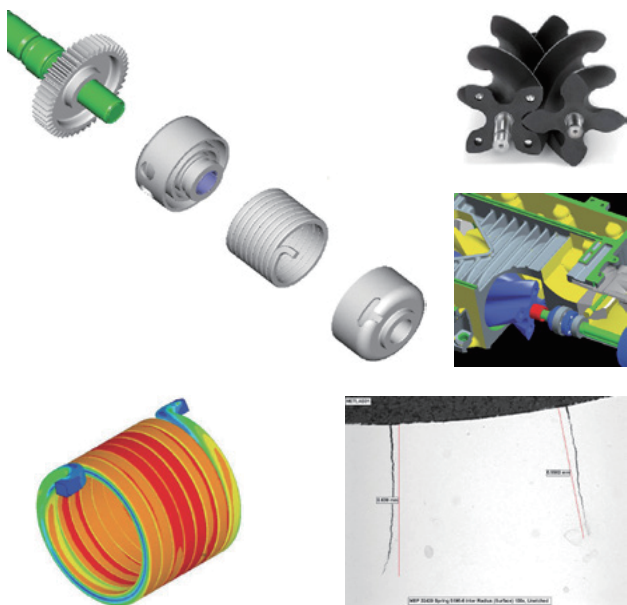
另一个噪声来源多发于无增压工作时，即汽车停下，发动机怠速时。在这种情况下，发动机正常燃烧产生的振动会经皮带传导，导致增压器的齿轮振动。如果是在比赛中，这些各类噪声顶多只能算是一种干扰，但如果对乘用车来说，就会被视为质量低劣，甚至可能被认为发动机存在严重问题。为解决这些问题，Eaton投入大量工程资源开发出世界上最安静、最可靠的增压器，在降低噪声源和提高噪声隔离方面实现众多创新。

噪声隔离

Eaton用于将增压器齿轮与发动机振动隔离的方法之一是使用噪声隔离耦合，具体位置见上图的Eaton Twin Vortices系列TVS®增压器。这个耦合中的关键组件是单簧隔离器 (SSI)。它位于内外毂之间，将弹簧封闭于内部空腔中。每个毂都压合在自己的接合轴上。输入轴连接到前毂，后毂则压合到驱动齿轮的轴上。由这些齿轮压缩并驱动增压空气到发动机内。

该弹簧的机械特性是根据特定的发动机振动特性选择的，目的是减轻或消除特定振动频率，从发动机传导到增压器齿轮。内外毂构成一个自由空腔，即该弹簧不承受负载，实际是漂浮在内外毂构成的这个空腔内。该弹簧可双向移动。它既可以压紧到内毂上“缠紧”，也可以“缠松”。此时它变大并最终接触外毂，受其约束。整个移动受制于内外毂之间的径向间隙。如果间隙过大，该弹簧可能会过度缠紧或缠松，导致高应力和疲劳寿命降低。因此要优化噪声隔离性能和弹簧的疲劳寿命，具体的设计和相关容限是设计的关键。





应变响应和工作周期

为评估弹簧在“缠紧”和“缠松”条件下的结构响应，通过采集弹簧上超过17万个点的三维应变条件，开发出一个FE模型。该FE模型用于捕获几何非线性，如带摩擦的滑触。而材料非线性则由fe-safe处理。通过该FE模型，Eaton开发出一个把应变作为轴扭矩的函数处理的响应模型。接下来需要为该弹簧开发整个综合集合的不同发动机负载（扭矩）加载方案（有时也称为工作周期），为弹簧，考虑大约十几个不同的发动机负荷情况下，例如静态发车产生的强加速、换挡、牵引拖车上缓坡、减速等场景下负载等等。

智能负载处理

就大多数负载周期而言，即时测量的扭矩特征包含超过30万个点。为缩短分析时间，fe-safe提供了一个信号处理算法（峰谷门限）。这种算法用于抽取一套负载点集，只需原始负载点数量的一部分，就能提供近乎等效的疲劳损伤结果（例如90%的疲劳损伤情况一般只需考虑不足10%的负载点即可捕获）。

疲劳和材料建模

下一步是判断什么疲劳模型适用于这种情况以及正在考虑的材料。弹簧是主要考虑的焦点，因为它用普通的

高强度钢材制成，证明与疲劳有关的材料性质参数是容易获得的。

把fe-safe结果与测试关联的过程中，滥用测试期间Eaton在弹簧上捕获了一些裂纹。这也有助于确定什么算法适用：主应变标准结合Morrow的平均应力修正。

在fe-safe中选择局部应变幅度和耐久度的Coffin-Manson-Basquin关系以及一定数量的不同相关设置，例如局部塑性使用的Neuber校正、关键平面分析使用的平均应力校正、喷丸表面光洁处理等。疲劳寿命分析还需要考虑多轴向应力分量（例如弯折加扭转）。

重大深度认识

Eaton通过把传统的FE应力分析工具与fe-safe中提供的现代化疲劳分析方法相结合，Eaton得到了一系列重要的设计和可靠性深度认识。这些深入认识部分包括：

- FE模型中应力最大的点往往不是最低疲劳寿命的位置（裂纹萌生点）。
- FE和fe-safe结合分析迅速地揭示了摩擦的变化如何造成负载和疲劳寿命的显著且非直观的变化。
- 通过借助fe-safe实现高稳健设计流程的开发，现在可以迅速评估“等同制造”的设计的几何构造变化（在公差内），判断公差对疲劳寿命的影响。

关于Eaton

近一个世纪以来Eaton一直为全球汽车行业提供高度开发的产品，帮助改善燃油经济性和提高车辆的总体效率、性能和控制力。除了服务于全球OEM，Eaton通过经认证的经销商和零售商网络，在汽车售后市场产品的制造上占据主导地位。Eaton的汽车行业雇员近1万人，总部设在美国密歇根州的Southfield。Eaton还在密歇根州马歇尔、意大利都灵、德国巴登—巴登、印度浦那、中国上海、捷克布拉格设有工程和研发中心，另在世界各地有30多家制造厂。Eaton每天都在为世界上几乎每一家汽车、商用车和发动机制造商供应高质量零部件、系统和服务。如欲了解详情请访问公司网站：www.eaton.com，拨打电话+1 269 781 0469，或发送电子邮件到：infosupercharger@eaton.com。

使用Abaqus和Dymola开展高逼真防锁死制动系统仿真

简介

要准确仿真防锁死制动系统 (ABS)，需要在不同物理域中准备各个子系统详细模型。使用统一分析工具为制动、车轮和控制组件创建精细模型难度非常大，甚至可以说是不可可能。但可以采用联合仿真的策略来解决这一难题。同时使用不同的仿真工具能够实现创建跨专业、跨领域的耦合模型。

在本技术简介中，使用Abaqus和Dymola的联合仿真方法实现ABS的现实系统级仿真。轮胎、车轮、制动钳机制和道路可以使用详细的Abaqus有限元模型仿真，制动系统控制算法和液压系统则可以使用Dymola进行仿真。

背景

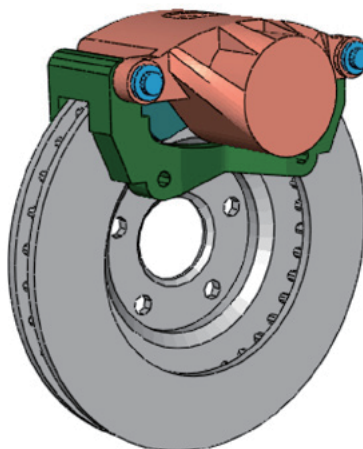
一套防锁死制动系统可以视为机械和逻辑子系统的总成。机械系统由轮胎、车轮、光盘和制动卡钳硬件组成，而逻辑系统则由液压系统和控制电子设备组成。

Abaqus具备强大的非线性连续能力和多样化的建模功能，已被证明是轮胎仿真的理想工具。Dymola则有能够高效率抽象逻辑建模，是液压系统和控制系统仿真的理想之选。

对整个ABS的高逼真系统级仿真来说，单独使用其中之一都无法取得理想的效果。为此目的展示了一种联合仿真方法，在运行中将Abaqus和Dymola耦合起来仿真系统的动态情况，这是任意一种单一软件无法做到的。车轮系统的结构响应和控制系统的逻辑响应在Abaqus和Dymola之间同步交换。由此施加在车轮上的制动负荷由ABS电子逻辑根据来自机械系统的输入加以控制。

分析方法

本研究考查的是无悬挂组件的单个车轮。为实现联合仿



真，Abaqus和Dymola模型必须有对应的通信接口。这可以通过在Abaqus模型中定义传感器和执行器，向Dymola逻辑模型收发信号来实现。制动分析的对象是使用逐渐增大的制动踏板力量让车轮总成从初始速度10m/s降速下来。

制动系统的机械状态用作控制信号。Dymola使用它激励Abaqus模型中的卡钳，这样就能够施加和调制制动力，避免车轮锁死或在路面上彻底打滑。这个工作流程将在后续章节中详细讨论。

Dymola中的制动控制系统

Dymola逻辑模型的原理方框图见图1。该制动系统由通过三端口阀门连接到主制动缸的单制动卡钳气缸组成。三端口阀门有三种工作模式：主制动缸与从制动缸相连的增压模式；所有端口断开的保持模式；从制动缸与油槽相连的减压模式。该系统代表ABS实现的简单形式，即制动液在制动事件发生之后才返回主制动缸。

主要特点和优势

- Abaqus和Dymola联合仿真能实现嵌入在复杂的逻辑控制系统兼容的结构耦合的时域仿真。
- Abaqus中的准确详细的静动态非线性轮胎建模仿真

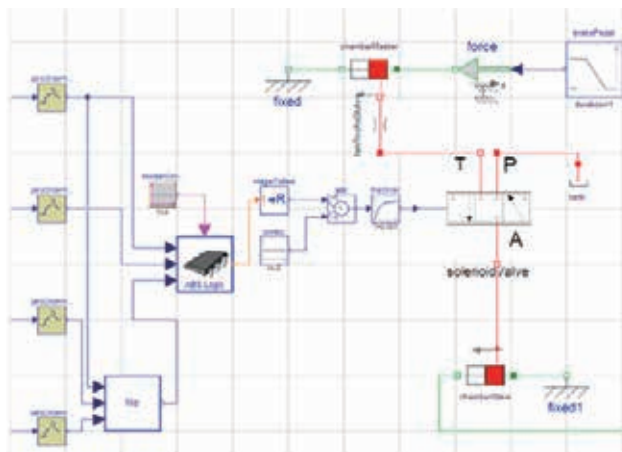


图1：Dymola中的制动系统逻辑和液压控制模型远离框图

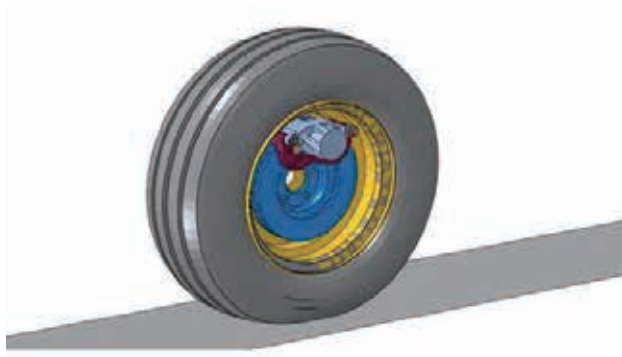


图2：Abaqus轮胎、道路和制动模型

通过让三端口阀门的工作状态取决于车轮加速与滑动，对控制机制进行了仿真。在控制算法中[1]，要求的输入有车轮的角速度 ω 、角加速度 $\dot{\omega}$ 、滚动半径 r 、轮毂纵向速度 V_x 。对控制器的输入信号按 $T_s=1\text{ms}$ 的周期采样。纵向滑动的计算为：

在车轮减速下降到低于当前规定的阈值 $-a$ 时就会触发ABS。此时压力会保持恒定，直至滑动超过阈值 λT ，此时压力下降到一定的值。

随即保持压力直至达到正加速度 A 。然后压力一路增大直到加速度下降到 a 。到这个阶段，使用交替性的保持和增大命令缓慢提升压力。这个过程便于缓慢地穿越摩擦特性曲线的峰值部分，直至抵达该曲线的不稳定点一侧。这个周期在 $-a$ 当加速度阈值跨过之后会再度开始。

除了这种常规的控制周期，当纵向速度小于特定水平时也会解除该控制器。此外，如果ABS控制算法处于某种状态过长时间，也会使用超时参数重置ABS控制算法。这样可以在不需要制动行为时避免控制器被锁死。

这是一种基于规则的算法，常见于生产系统。另一种选择是使用基于模型的算法，其例子可见[2]。

Abaqus中的轮胎、道路和制动模型

如图2所示的Abaqus模型，包含轮胎、车轮、制动卡钳和制动转子、道路组成。首先为轮胎充压，放置到与路面接触，直至车身重量作用到车轮上。然后在Abaqus/Standard中执行稳态传输分析，计算在无制动条件下给定的前向速度对应的轮胎应力状态和变形。还可以选择给定圆角半径。

随后将自由滚动状态的轮胎导入Abaqus/Explicit，用于与Dymola的制动联合仿真。在Abaqus/Explicit计算滚动轮胎中的应力状态和形变时，车轮的角速度和角加速度会通过Abaqus的传感器定期提供给Dymola。所需的制动压力先由Dymola计算，然后返回Abaqus/Explicit，以施加在制动卡钳缸上。随后制动盘压紧制动盘，产生制动力矩，为车轮总成减速。

联合仿真方案

使用下列非迭代联合仿真方案：

每次Abaqus仿真的增量——传感器信息经计算后通过基于套接的接口传递给Dymola。

Dymola读取用作控制逻辑输入的Abaqus传感器信息，并按Abaqus/Explicit使用的增量大小及时完成传递。Dymola中计算的激励信号传递回Abaqus，由Abaqus将该新计算的负荷施加于下一增量上。

这一过程反复进行，直至仿真时间用尽。

联合仿真结果

图3所示的是轮毂在联合仿真中的纵向速度和圆周速度。两个量之间的差异代表滑动状态。滑动开始时较大，但控制器能够防止车轮锁死。

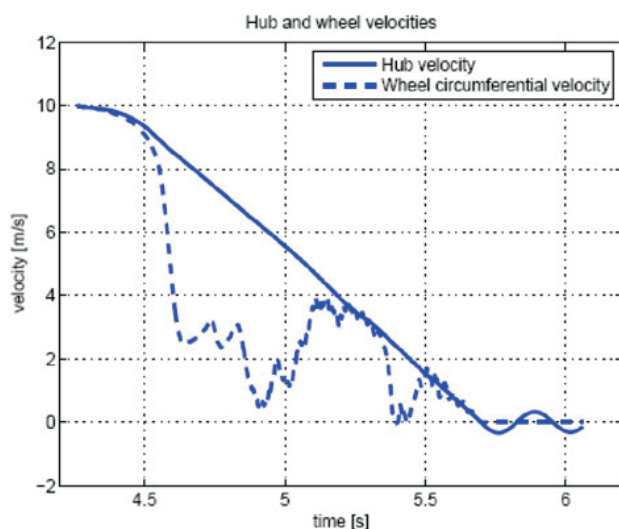


图3: 联合仿真过程中的轮毂纵向和车轮圆周速度

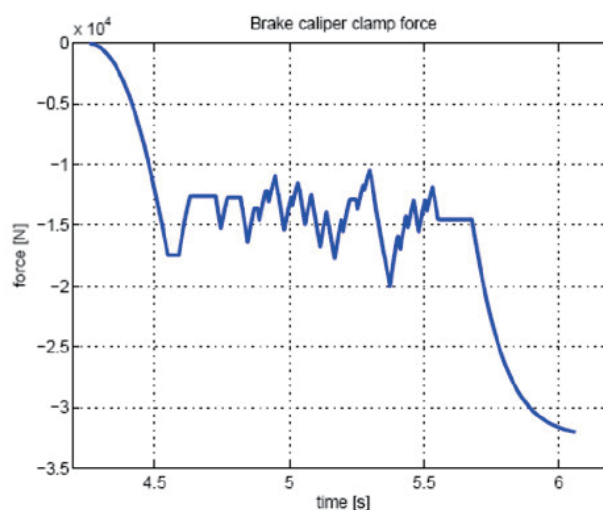


图4: 制动卡钳联合仿真过程中的夹持力

图4所示的是联合仿真过程中的制动卡钳的夹持力。快速力积聚和释放阶段都清晰可见。

结论

在本技术简介中,开发了一种分析防锁死制动控制系统的联合仿真方案。将Abaqus中的高逼真轮胎模型与Dymola中的液压制动控制系统模型相结合,增强了如何将不同的仿真软件包整合在一起使用,执行现实系统级仿真。因此能够将Abaqus中现有的高级轮胎建模功能应用到更加广泛的现实工作条件下。这种联合仿真方法可以扩展到各种道路条件下、水漂分析和优化完整的车辆模型。

参考资料

Horst Bauer, 编辑,《Bosch汽车手册》,Robert Bosch GmbH,第4版,1996年10月。

Stefan Solym, Anders Rantzer和Jens Lüdemann,“基于模型的轮胎滑动控制器综合”,车辆系统动力学,1(6):477-511,2004年6月。

Abaqus参考资料

关于本技术简介中援引的Abaqus功能的详细介绍,请参阅Abaqus 6.13版文档参考:

- “幅度曲线”,分析用户指南第34.1.2节。
- VUAMP,用户子程序参考指南第1.2.7节。
- 使用Abaqus和Dymola开展逻辑—物理建模的用户指南及安装指南,达索知识库文件QA00000008585。
- 使用Dymola进行逻辑—物理建模的Abaqus/CAE插件,达索知识库文件QA00000008584。

采用耦合欧拉-拉格朗日法 在Abaqus/Explicit中仿真 气囊展开

鸣谢

达索系统SIMULIA公司在此感谢宝马集团提供本研究中使用的实验结果和有限元模型。

简介

汽车安全行业将均匀压力法 (UPM) 广泛地用于气囊展开仿真。根据UPM的假设性定义,气囊中的压力在膨胀过程中会在空间上保持一致,使得该方法特别适用于已完全膨胀气囊的“就位”(IP)分析。相比之下,另一种分析可以被表征为“非就位”(OOP)分析,如果乘客在气囊完全展开之前就与之相互作用。在完全膨胀之前气囊中存在巨大的空间压力梯度,这与UPM方法的假设前提不符。

气囊法规和技术的发展要求考虑OOP场景。因此开展准确的分析需要一种能够仿真膨胀过程中气流的流动的工具。

Abaqus/Explicit提供一种高精密的耦合欧拉-拉格朗日 (CEL) 技术,用于仿真气囊中的动态气流。这种基于气流的CEL方法能够更加真实地预测气囊展开各个阶段的气囊形状和压力分布。

背景

在使用UPM方法仿真气囊膨胀时,压力会随时间变化,但在任何瞬时压力的空间分布都是均匀的。假设的有效性在完全膨胀时最高,因此UPM传统上用于仿真乘客撞击完全膨胀的气囊时的IP负载情况。

在静态OOP安全测试下,乘客与气囊的相互作用开始于气囊部分展开时。在膨胀的初期阶段,气囊内部存在

- Abaqus/Explicit耦合欧拉-拉格朗日(CEL)技术提供了在气囊中为气流流动的建模能力,且包含展开过程中周边空气的影响。
- 借助强大可靠的通用接触算法能够轻松的处理拉格朗日体和欧拉网格中的物质的接触相互作用问题。
- 丰富的材料库,供仿真机织气囊纤维和气体状态等式方程。

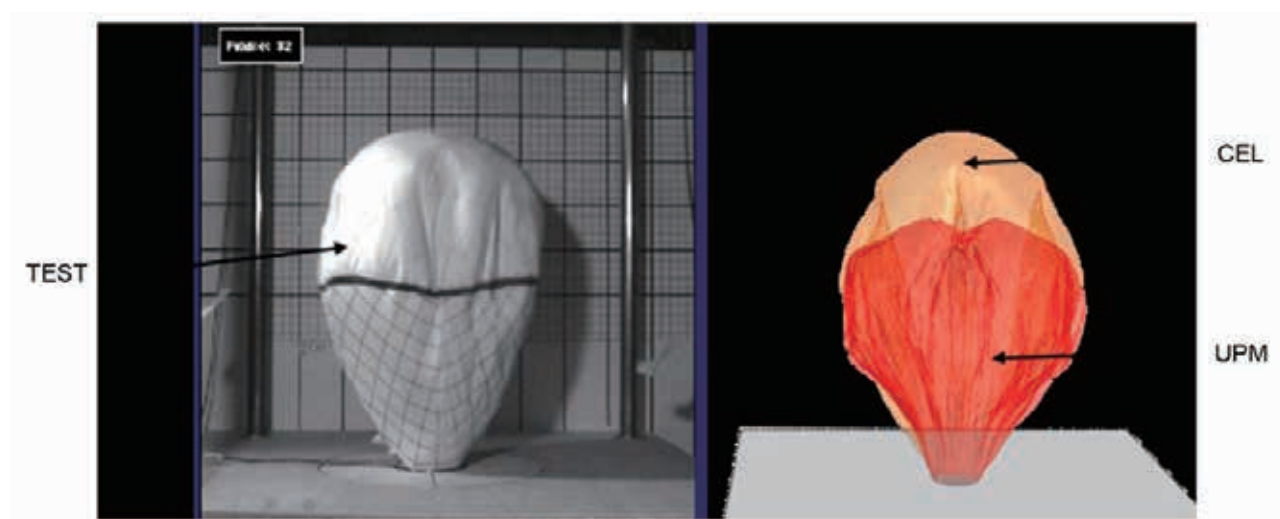


图1: 折叠的气囊展开16ms时: 测试、CEL和UPM仿真方法

巨大的空间压力梯度。紧密折叠气囊的部分区域在气囊展开之前不会有膨胀气体进入。UPM假设气囊中的气体运动必须将这种情况加以考虑。耦合欧拉—拉格朗日 (CEL) 技术为仿真气囊内部的气流提供了更加保真的方法。因此,即便是在膨胀的早期阶段,这种方法也能够预测更加真实的展开并准确地计算气囊中的空间和时间压力变化过程。图1是使用这两种方法对最初处于折叠状态的气囊在展开16 ms时的形状的预测对比。

工作组气囊

上个世纪90年代后期德国汽车制造商成立了一个“工作组”,开展“非就位”仿真的通用方法进行评估和开发[1]。该工作组使用标准的60升驾驶员气囊模型评估不同的仿真技术。评估中使用了处于平摊和折叠两种状态的驾驶员气囊。同样的两个工作组气囊也被用于Abaqus/Explicit演示CEL方法示例中。

测试配置由有一个自由悬挂半球形头部构成的气囊(图2)。在展开过程中气囊推动头部,加速测量并与测试数据进行关联。

有限元分析方法

拉格朗日气囊使用膜元离散化。纤维构成模型为各项异性和非线性,并从填充、折叠和剪切三个组成方向中的每一个采集气囊编织物质的独立加载、卸载、机械响应。

在传统的拉格朗日分析中,节点被固定在材料内,元素随着材料形变而形变。拉格朗日元素往往是100%填充物质,因此材料边界与元素边界重叠。与此相反的欧拉分析中节点固定在空间中,材料流经不发生形变的元素。欧拉元素一般不会全部填充材料,许多欧拉元为半空或全空。用于这些仿真的欧拉网格是一个构造简单的网格,能够理想地延伸到欧拉材料边界之外,赋予物质移动和形变的空间。

气囊充气机用多个位置贴近进气点的节点表示。在每个充气器节点上设定一个向量,用于代表气流的方向。充气元件节点上的速度通过根据输入质量流速率、面积和方向向量求解动量方程求得。进入气囊的气体在充气元件节点上的温度和质量流速率则设定为充气时间的函数。在实验中充气的气体组成构成会随时间改变,但在仿真中充气气体成分被假定为恒定。

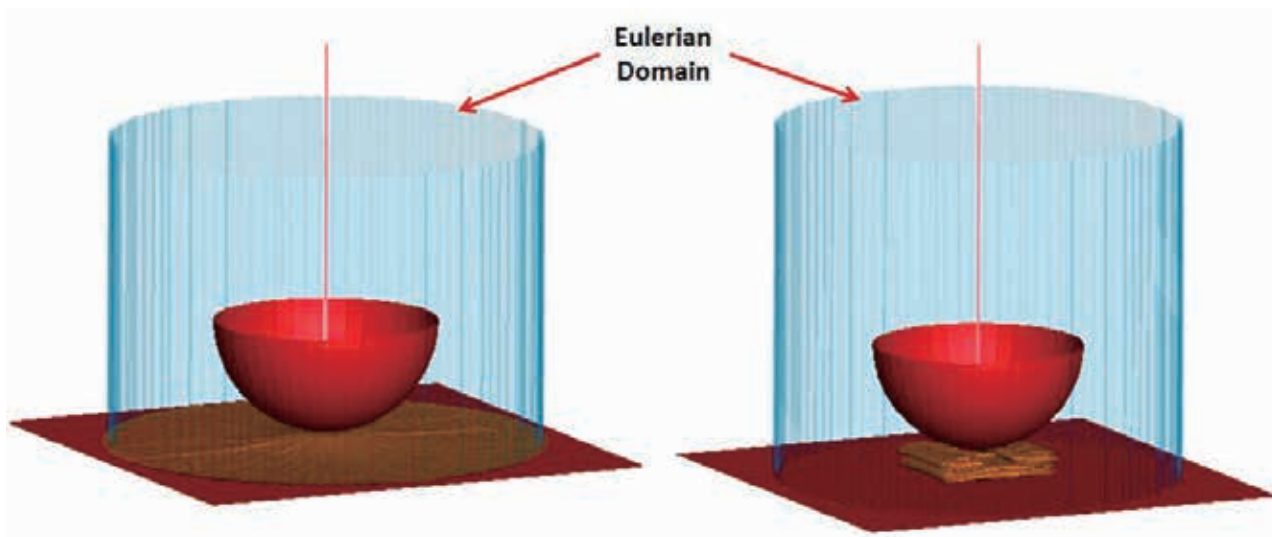


图2:平摊(左)和折叠(右)气囊仿真模型的初始配置

拉元件能够同时包含多种材料。在每个时间增量计算每种材料的欧拉体积分数 (EVF)，并根据EVF确定每个元件的材料表面。这些欧拉材料表面能够与拉格朗日面相互作用，比如气囊。欧拉域最初冲满空气。在充气机点火时，气体填满气囊，并将空气推出。用Abaqus/

Explicit一般接触功能采集拉格朗日接触和欧拉-拉格朗日接触。后者仅定义在充气机和气囊之间的气体。外界气体和气囊之间没有定义接触。因此可以有把握地推测，由于高膨胀压力，空气无法再次进入气囊。

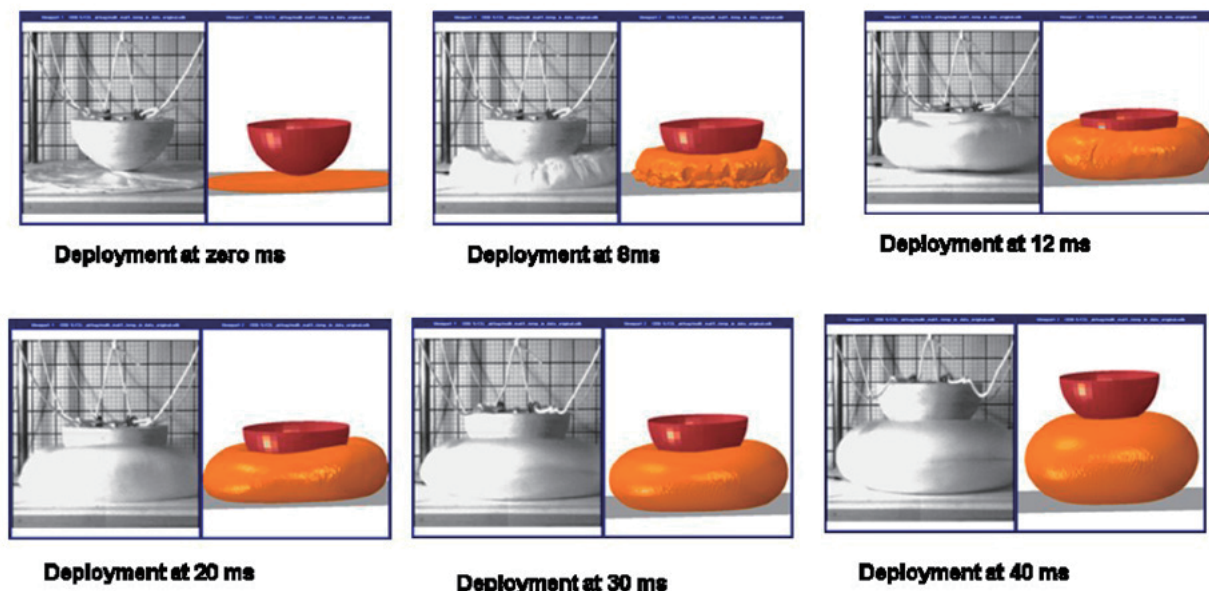


图3：平摊气囊展开，实验结果和CEL预测

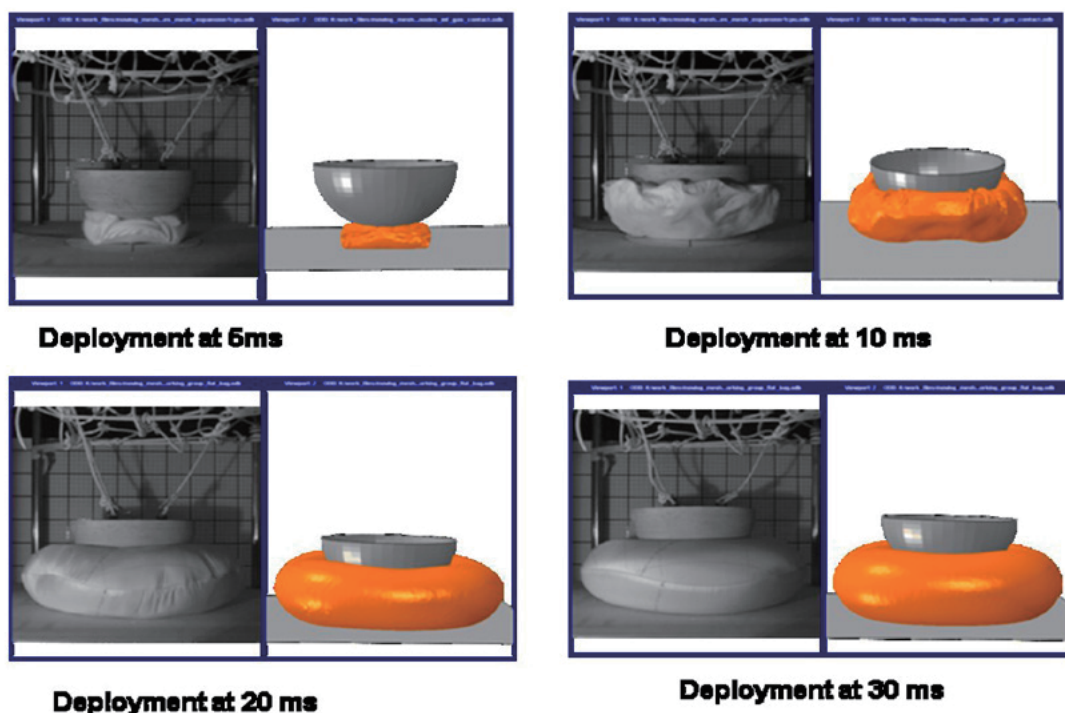
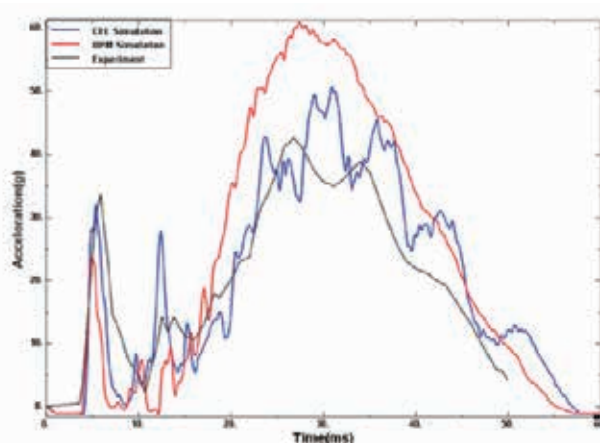
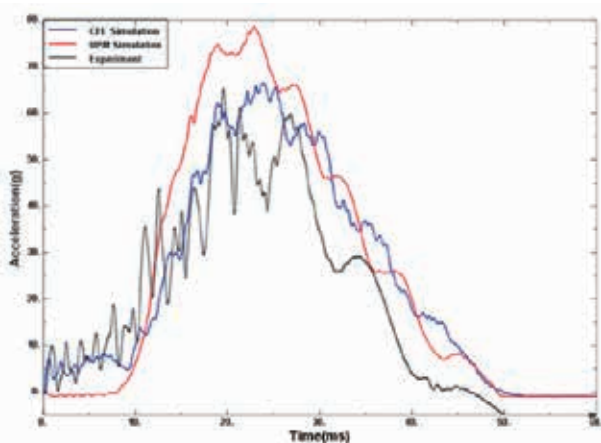


图4：折叠气囊展开，实验结果和CEL预测



结果和结论

两种模型都使用5mm的均匀欧拉网格。图3和图4显示的是工作组平摊气囊和折叠气囊的实验展开结果与CEL预测的对比。图5显示的是平摊气囊和折叠气囊两种方式下仿真的头部加速度对比。就两种气囊模型而言，加速历程和气囊展开与相关实验合理地吻合。

良好地捕获加速历程。CEL仿真更准确地捕获了初始峰值加速度和最大峰值加速度。两种气囊模型，CEL仿真能更好地在加速图中捕获加速曲线的振荡。

上述实验与CEL方法之间的关联说明 Abaqus/Explicit能够预测现实结果，即便是在气囊展开之初也能预测现实的结果。因此这种方法能成功用于“非到位”负载工况。

参考资料

Benno Beesten、Andreas Hirth、Robert Reilink、Rolf Remensperger、Doris Rieger、Gunther Seer, “OOP仿真—设计气囊的一种工具？数值化仿真的当前功能”，德国汽车制造商OOP仿真工作组技术报告，2004年。

Isheng Yeh、Li Chai和Nripen Saha, “将ALE应用于气囊部署仿真”，车辆安全国际期刊，第1卷第4期，2006年

Abaqus参考资料

关于本技术文档中援引的Abaqus功能的详细介绍，请参阅Abaqus 6.13版文档参考：

Abaqus分析用户指南：

第14.1.1节“欧拉分析”；

第32.14.1节“欧拉元”

第2.3.5节“欧拉表面定义”

第36.4.1节，“定义一般接触相互作用”

我们的3DEXPERIENCE平台能为各品牌应用注入强大动力,服务于12个行业,并提供丰富多样的行业解决方案体验。

作为一家为全球客户提供3DEXPERIENCE解决方案的领导者,达索系统为企业和客户提供虚拟空间以模拟可持续创新。其全球领先的解决方案改变了产品在设计、生产和技术支持上的方式。达索系统的协作解决方案更是推动了社会创新,扩大了通过虚拟世界来改善真实世界的可能性。达索系统为140多个国家超过19万个不同行业、不同规模的客户带来价值。如欲了解更多信息,敬请访问:www.3ds.com。



3DEXPERIENCE®

中国 北京

中国 北京 朝阳区建国路79号
华贸中心2号写字楼707-709室
100025
电话: + 86 10 65362288
传真: + 86 10 65989050

中国 上海

中国 上海 浦东新区陆家嘴环路
1233 号汇亚大厦806-808室
200120
电话: + 86 21 38568000
传真: + 86 21 58889951

中国 广州

中国 广州 广州市天河区珠江新城
珠江西路5号广州国际金融中心
25楼2504室
510623
电话: + 86 20 22139222
传真: + 86 20 28023366

中国 成都

中国 成都市武侯区人民南路四段
三号
来福士广场写字楼2座17层1708室
610041
电话: + 86 28 6684 7801
传真: + 86 28 6684 7866

中国 武汉

中国湖北省武汉市武昌区中南路
99号武汉保利广场A座18楼
430071
电话: + 86 27 8711 9188

台湾 台北

台北市105敦化北路167号
11楼B1区
电话: + 886 2 2175 5999
传真: + 886 2 2718 0287