SIEMENS
Ingenuity for life

# 飞机结构工程与分析

## 利用一个集成仿真环境

通过用端到端飞机结构设计工程过程，在产品全生命周期中利用仿真，制造商发现能够准时提供达到预测性能要求的创新产品，从而减少了模型准备时间，缩短了“设计 - 分析”迭代时间，进行跨学科权衡，简化开发过程，提高设计质量，并且确保准时交付。

# 目录

执行摘要..... 3
航空业面临的挑战..... 4
成本压力增加..... 5
飞机结构开发方案..... 6
延误原因..... 7
飞机结构分析面临的挑战..... 8
典型的飞机过程及挑战..... 9
Siemens PLM Software 的飞机结构解决方案.....11
结论.....12
参考.....13

# 执行摘要

大多数飞机公司工程部门都面临基本挑战。由于产品复杂性增加以及对安全和认证的要求日益增加，这些挑战在结构领域的挑战尤为明显。机身结构分析的主要挑战是自动化、标准化、可追溯性和部署。

全局仿真过程涵盖从计算机辅助设计（CAD）定义到计算机辅助工程（CAE）模型及应力分析，需要很多工程团队密切协同工作。过程自动化是提高“设计 - 仿真”迭代速度和效率的关键所在。

此外，在进行飞机认证之前需要确定飞机结构尺寸，在确定飞机结构尺寸时需要计算数千项结构分析。由于应力分析过程缺乏一致性，难以得到正确的数据和使用正确的工程方法，而共享工作和发布应力报告不仅增加了认证工作的难度，而且还很耗时。过程标准化可以提高过程一致性，降低误差风险，从而有助于解决这一问题。

使该过程实现自动化和标准化是机身结构分析的关键挑战，而保持从概念到最终产品的特定数据、模型和过程 / 方法的可见性和可追溯性是一项持久挑战。

最后，为了保持竞争力，全球性组织需要与供应商共享模型，这给数据安全带来了真正挑战。

## 如何实施一个全局性飞机结构仿真过程

Siemens PLM Software 提供的一个完整飞机结构仿真解决方案可以追溯数据和结果，同时保持一致的全局过程控制。

Simcenter™组合是一个完整的仿真（加先进方法）测试及数据管理工具组合，简化了从 CAD 几何体定义到提供一个 CAE 环境的全局仿真过程。

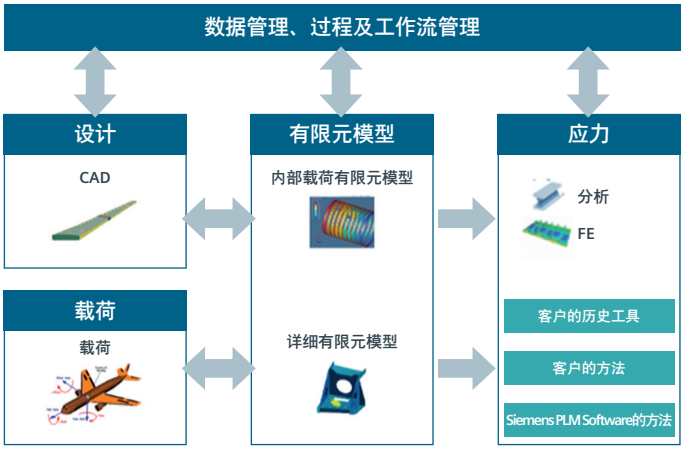



图1：用Siemens PLM Software工具来简化全局仿真

除了可以使用一个详细的有限元模型（FEM）方法外，最终用户还可以用一个分析工程方法库确定飞机结构部件的尺寸。由于能够用仿真数据和结果生成应力报告，最终用户能够始终使用一个一致、集成的全局过程，从而缩短整个设计周期时间。

Teamcenter® 仿真软件中管理和追溯的在全球各个团队、模型、仿真结果和工具之间处理和共享的数据和结果越来越多。

Siemens PLM Software 解决方案可以在全球部署，因此飞机原始设备制造商（OEM 厂商）可以为工程师提供一个有适当方法和工具的集成环境，从而在供应链中外包，形成竞争。

结论：Siemens PLM Software 提供了一个以捕捉和追溯客户数据、知识和过程为重心的涵盖整个仿真链的集成仿真环境，能够充分应对飞机结构分析中的自动化和标准化挑战。

# 航空业面临的挑战

航空航天公司在控制研发成本、提高项目交付速度、管理创新导入以及提高产品质量方面面临挑战。公司要在效率、质量、合规性和成本方面实现突破，就必须改变基于模型的工程过程。这是一个复杂的多维度问题，涉及到各个过程、工具和组织之间的相互依存关系，目的在于更早做出更加准确的决策，增强需求、功能、测试方案、验证和认证等关键决策要素之间的联动和可追溯性。

第一个要求是支持团队之间端到端数字连接性和集成，允许团队执行无缝业务过程，协同并管理整个设计周期中对信息的访问。

另一个关键方面是为产品架构、设计需求、测试方案与执行、仿真和验证以及 CAE 数据和过程管理等学科和主题创建一条数字线。

行业创新者以及领先公司都在分份制定和实施策略，将业务目的与过程改进主题连接起来，并且开发能够提供短期价值并且达到目标状态的特定举措。

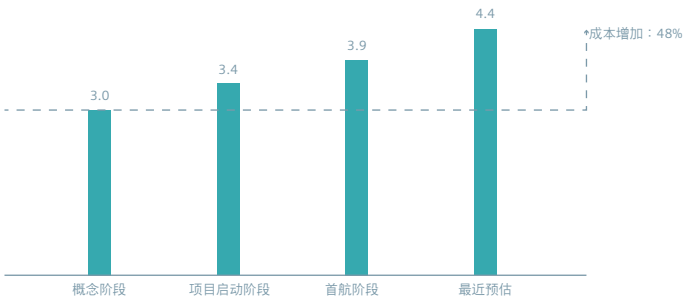
随着产品复杂性增加以及对安全和认证的要求不断增加，控制开发成本方面的挑战在结构领域尤为明显。

# 成本压力增加

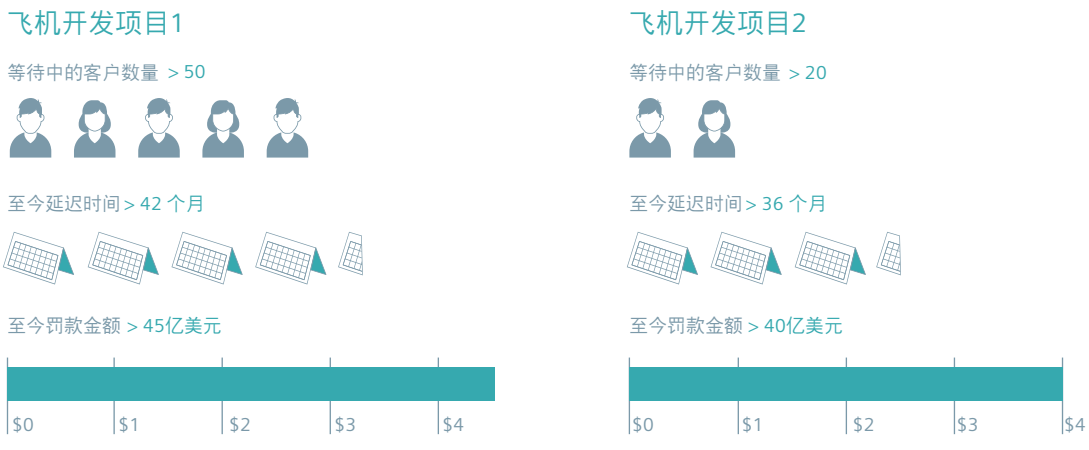
航空航天公司在控制开发成本、加快项目交付速度、管理创新导入以及保证产品质量方面面临挑战。

对于任何飞机制造商而言，在预算内准时完成新产品的开发和生产规划是一大挑战。飞机制造公司有些项目延误长达 5 年，大幅增加制造商的工程时间，成本超支数亿美元，占比高达 48%（图 2）。与此同时，制造商必须向客户支付的合同罚款金额高达数十亿美元（图 2）。

附表1：最近的飞机项目开发成本（从初始设计到2014年）




资料来源：Oliver Wyman分析公司报告




资料来源：Oliver Wyman分析公司报告

图2：飞机开发成本及罚款距离

# 飞机结构开发项目

在可行性研究阶段需要研究多个潜在飞机配置以及匹配的机身架构和技术。比如，你可以评估是将发动机安装在后部还是翼盒上面，或者评估是使用复合材料还是金属来制造结构。

选定了配置之后，我们就会进入概念阶段。在这一阶段的重点是结构拓扑和设计原理（比如：框架数量）。通过很多权衡研究找到多个标准之间的最佳平衡点，逐步定义整机结构。

定义了总体机身之后，可以开始最终设计，定义结构细节，比如考虑减层区堆叠顺序或者纵梁详细轮廓（比如腹板高度以及腹板和法兰厚度）。

在确定飞机详细尺寸之后，由主管当局根据关键文件对飞机进行批准和认证。这是开发阶段。

在上述每个阶段，经常需要对设计进行迭代和返工，更新载荷，以便达到最优设计和认证要求，这会导致进一步延误，从而影响到整个开发过程的进度。

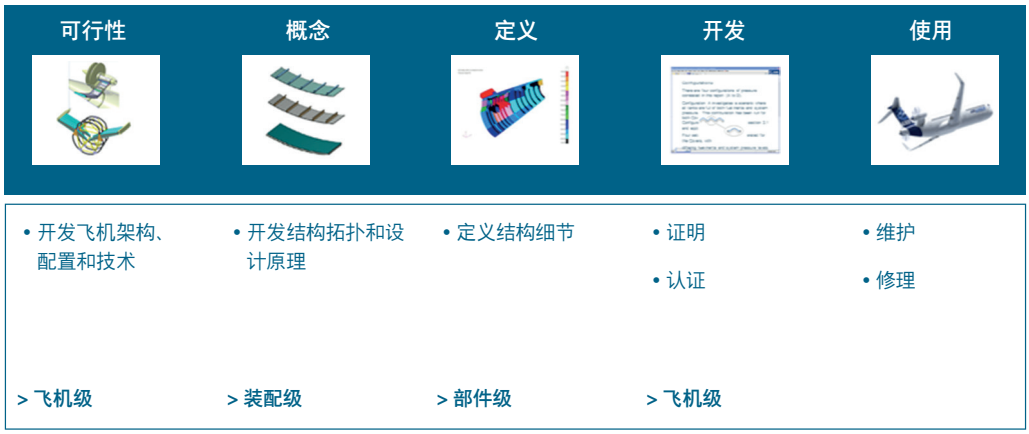



图3：飞机结构开发项目的典型阶段

# 对结构分析过程的影响

由于新兴飞机制造商的数量不断增加，现有制造商在以更短的前置时间和有竞争力的成本交付飞机方面面临更大的压力。

此外，随着材料和设计复杂性的增加，对结构分析的需求也不断增加。工程比例从 5 个设计师对 1 个应力工程师增加到 1 个设计师对 2 个应力工程师。

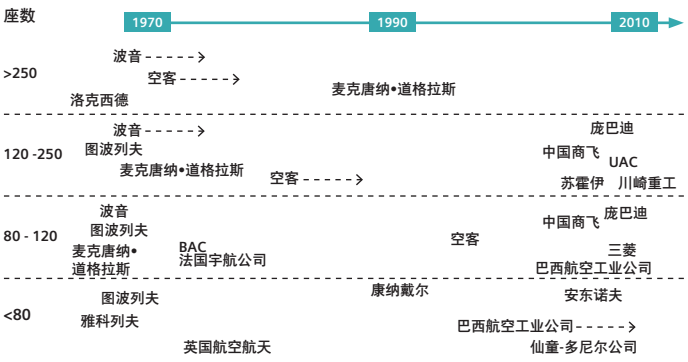
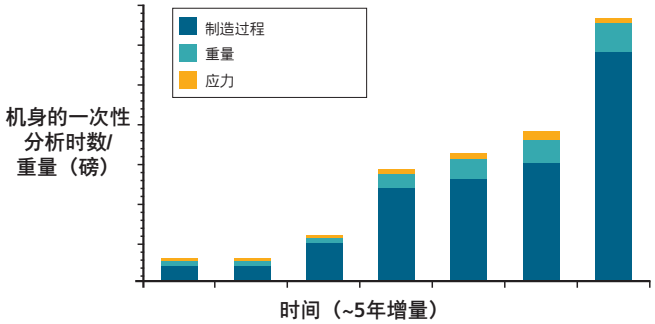



图4：各尺寸商用喷气式飞机的竞争格局
（Cay-Bernhard Frank，A. T. Kearney合伙人）




工程比例从5名工程师对1名分析师增加
到
1名设计师对1名至2名分析师

图5：复杂性增加了对分析的需求
（波音公司首席工程师兼项目经理Keane Barthenheier）

# 飞机结构分析面临的挑战

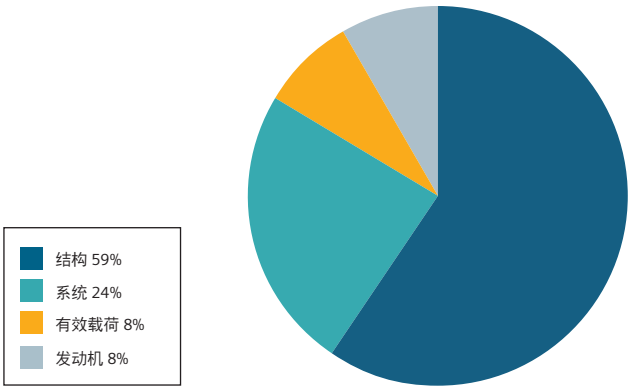



图6：商用飞机一次性成本分配（Jacob Markish）

商用飞机的一次性成本（不大可能发生的成本）中 60% 花在结构上（军用飞机为 30%），因此改进结构分析过程会对减少延误和成本超支产生关键影响。

我们通过一个典型的飞机结构分析过程来重点分析结构分析过程的改进点。

# 典型的飞机过程及挑战

下面图片显示了从一个基于 CAD 的基础架构、生成内部载荷有限元模型（或者全局有限元模型）一直到应力和结构评估分析的简化过程。

一个典型的飞机过程主要有四项不同的原则：设计 /CAD、载荷、有限元模型（含有限元模型的生成）以及有限元分析以及安全边际（MoS）计算。

**设计** – 根据公司过程，对 CAD 模型进行手动更新或者参数化。不过，CAD 数据主要不用于仿真。

准备仿真用的几何体非常耗时，占分析时间的 20%。此外，还必须找到用于快速理解任何设计变更对全过程影响的方法。

从仿真角度对 CAD 几何体进行参数化的能力独立于设计师意图，是朝减少整个过程的几何体准备时间迈出的重要一步。

**外部载荷计算**（飞行科学 – 包括气动力弹性学）- 外部载荷有限元模型用于对主要结构刚度和质量影响进行线性静态、动态和颤振分析，提供了将载荷映射到更详细的内部载荷有限元模型的方法。

一般而言，在一个飞机项目中这些外部载荷会更新三到五次。必须有一种用于快速理解载荷变化和不确定性对载荷的影响的方法。

**载荷有限元模型**也叫全局有限元模型（GFEM）。该有限元模型直接从 CAD 模型生成，或者通过修改以前飞机项目的有限元模型得到。内部载荷有限元模型可以用单独的构件建造，因此在这种情况下模型会被集成为一个装配，这意味着要管理大量模型和数据。

该模型用于对每个重要的主要结构载荷路径进行线性静态分析，并且为主要结构的详细应力分析提供自由体载荷。

内部载荷用作采用详细有限元模型（DFEM）进行有限元计算的输入，或者用作（主要用客户内部工具或者标准手册进行）分析计算的输入。

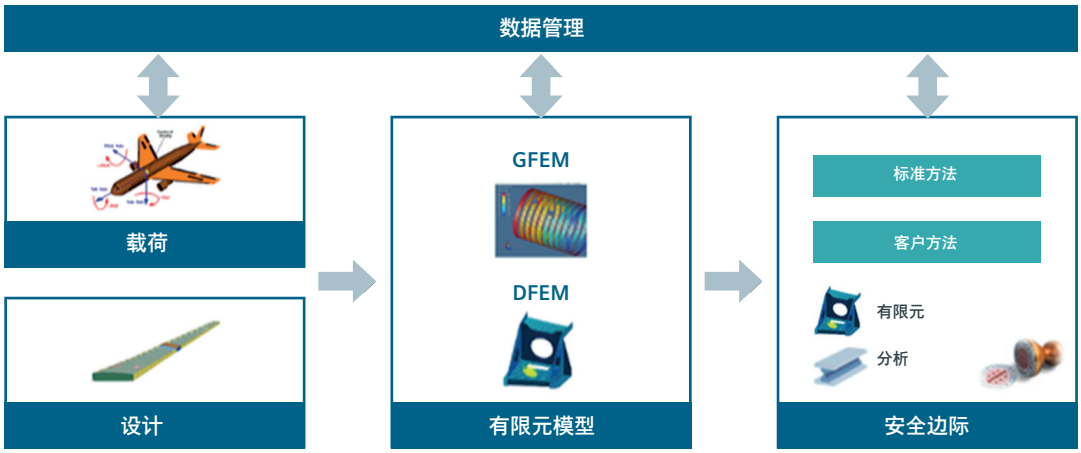



图7：典型飞机过程

挑战在于如何通过自动化加快创建速度，在必要时对不同子模型进行装配管理，并且整合公司的网格生成标准（比如，网格划分规则、质量检查等等）。

详细有限元模型：一般为复杂的几何结构生成详细的有限元模型。此外，详细有限元模型还用于通过非线性分析捕捉复杂的现象。

安全边际计算用于结构部件分析，主要用（标准飞机手册中的或者公司的）分析方法进行。

内部载荷和几何体直接从 CAD 或者有限元模型和结果中提取，安全边际计算用手册中的分析方法进行，必须确保输入数据、所用方法和安全边际计算结果的全面可追溯性。

挑战在于加快数据准备速度（应力工程师 30% 的时间花在数据准备上），使用正确的方法，并且保持输入及关联安全边际计算的可追溯性。

因此，集成不同技能（载荷 /CAD/CAE/MoS）是提高项目表现、降低开发成本和设定关键要求所面临挑战的一部分：

1. 简化结构分析过程→过程自动化
2. 提供几何体访问及设计更新→集成设计与仿真，提高生产力
3. 将标准和过程标准化→需要开放性，以实施公司的过程和方法
4. 需要可追溯性→设计配置管理（材料、载荷及有限元模型管理）

在这些活动中，数据管理指仿真数据管理器执行端到端仿真工作流。这里的挑战在于：

•捕捉和管理所有仿真数据（几何体、模型、输入卡、载荷状况、结果、报告等）

•捕捉仿真文档及其关联原数据

•储存并管理历史数据、在制品（WIP）数据以及已经发布的仿真数据

•在数据库中或外面管理大文档，并对其进行跟踪

当前的结构分析过程采用的方法结合了现成商用及公司内部方法和工具与专业化功能，需要：

•访问几何体并更新设计

•访问载荷并迭代载荷回路

•标准化的过程和可追溯性

图8：安全边际计算

# Siemens PLM Software飞机结构解决方案

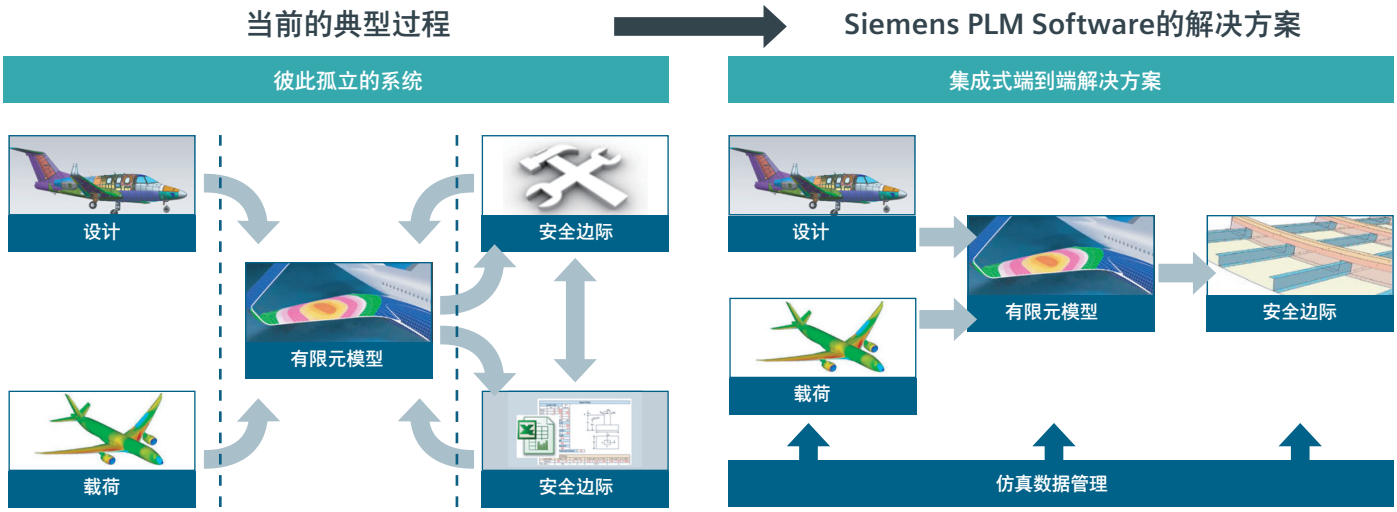



图9：从彼此孤立的系统到一个集成的端到端解决方案

利用 Siemens PLM Software 提供的一个涵盖全局飞机结果过程的集成式端到端飞机结构解决方案，你可以：

- 在 CAD 和 CAE（设计更新、有限元模型装配等）之间实现闭环
- 管理设计变更、载荷回路迭代
- 确保从构思到认证的可追溯性
- 简化应力分析过程并使其实现标准化（不管是基于分析计算还是基于有限元模型计算）
- 定制过程，集成客户的方法、过程和最佳实践

Simcenter 3D（图 9）是一个完整的仿真（加先进方法）和数据管理工具组合，简化了从 CAD 几何体定义到 CAE 环境的全局仿真过程。

由于全球团队共享数据和结果的数量不断增加，因此用 Teamcenter 仿真解决方案来管理和追溯模型、仿真结果和工具（图 9）。

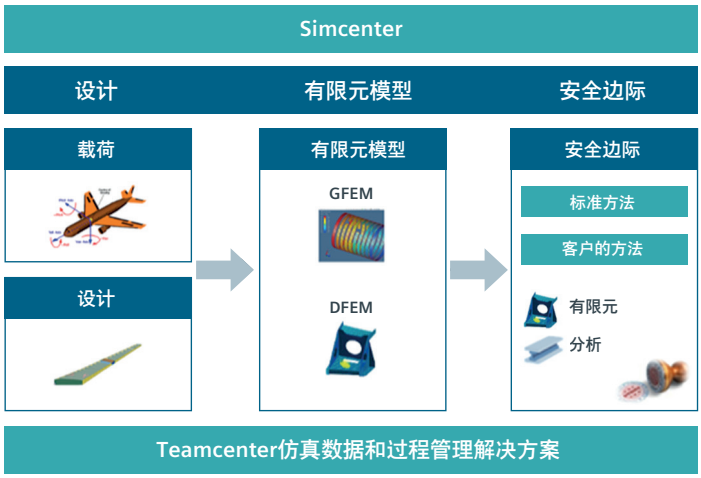



图10：Simcenter 3D集成式端到端解决方案

# 结论

集成式端到端飞机结构过程在产品全生命周期中利用仿真，准时提供性能可预测的创新产品，从而：

- 将模型准备时间缩短了 70%
  - 允许 CAE 用户根据假设分析修改几何体，从而消除了瓶颈
  - 用应用集成来将生产力提高了 30%，与旧软件相比设计周期时间缩短了 90%
  - 用可扩展的界面和引导仿真提高了用户生产力（新用户学习时间缩短了 20%）
- 缩短了“设计 - 分析”迭代时间
  - 由于分析模型与设计几何体关联，因此在发生设计变更时分析师可以快速更新仿真
- 评估不同的结构设计方案（翼肋数、纵梁数等）
  - 在集成式环境中，更容易理解设计决策对多项产品性能的影响
- 简化开发过程，确保准时交付
  - 管理从设计早期阶段到使用作业的仿真数据
  - 确保基于正确数据进行仿真，用一条共用数据管线来进行设计和仿真
  - 在整个企业实施最佳实践并使其实现自动化，提高仿真速度和质量
- 提高一次性工作的质量
  - 通过关联安全边际、CAE 模型和 CAD 几何体，提高认证的可追溯性
  - 使过程和方法实现标准化，保持可追溯性

# 参考


1. Norris, Guy (2016 年 ),《波音的新款中型飞机：低开发成本和低价格是关键》(“Boeing’ s New Midsize Airplane: Low Development Cost, Price Are Key” )，《航空航天科技周刊》(Aviation Week & Space Technology)

2. Wyman, Oliver (2014 年 )，《不再发生导致数十亿美元罚款的延误》(“Stop the multibillion dollar delays.”) http://www.oliverwyman.com

3. Markish, Jacob (2002 年 )，《商用飞机项目的估值方法》(“Valuation Techniques for Commercial Aircraft program”)，博士论文，麻省理工学院，第 60 页

4. Gharbi, Aroua (2016 年 )，《提取几何特征，支持用单一的数字线方法进行详细设计》(“Geometric Feature extraction in support of the single digital thread approach to detailed design”)，硕士论文，佐治亚理工学院

5. Barthenheier, Keane (2014 年 )，《仿真过程数据管理–波音》(“Simulation Process Data Management-Boeing”)，全球产品数据互操作性峰会

6. Malherbe, Benoît; Raick, Caroline; Colson, Benoît (2015 年 )，《用 Siemens PLM Software 的 LMS Samtech Caesam 对空客 A350 飞机进行详细结构分析》(“The Airbus A350 aircraft’ s structural detailed analysis with Siemens’ LMS Samtech Caesam”)，NAFEM 世界大会

7. Cay-Bernhard Frank (2010 年 )，《民用航空 2025 年：A.T. Kearney 关于未来民用航空业成功因素的观点》(Civil Aviation 2025, A.T. Kearney ‘s perspective on success factors for the Civil Aviation business of tomorrow)，A.T. Kearney

**Siemens PLM Software**

**总部**
Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

**美洲地区**
Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

**美洲地区**
Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

**亚太地区**
Suites 4301-4302, 43/F
AIA Kowloon Tower,
Landmark East
100 How Ming Street
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
+852 2230 3308

## 关于Siemens PLM Software

Siemens PLM Software，西门子数字化工厂集团旗下一个事业部，是一个领先的全球软件解决方案提供商，致力于推动行业数字化转型，为制造商创造更多实现创新的机会。Siemens PLM Software 总部位于美国德克萨斯州普莱诺市，在全球有 140,000 多个客户，与各种规模的公司携手改变创意变为现实的方法、产品实现方法以及产品和运营资产的使用和理解方法。若要更详细地了解 Siemens PLM Software 的产品和服务，请登录 http://www.siemens.com/plm

**www.siemens.com/plm**

©2018 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 版权所有。Siemens 和 Siemens 标识是西门子股份公司（Siemens AG）的注册商标。Femap, HEEDS, Simcenter 3D 和 Teamcenter 是 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 商标或注册商标。或其分公司在美国和其他国家。Simcenter, Simcenter Amesim, LMS Imagine.Lab, LMS Imagine.Lab Amesim, LMS Samtech Samcef, LMS Samcef Caesam, LMS SCADAS, LMS SCADAS XS, LMS Smart, LMS Test.Xpress, LMS Soundbrush, LMS Sound Camera, LMS Test.Lab 和 LMS Virtual.Lab 是 Siemens Industry Software NV 或其附属公司商标或注册商标。STAR-CCM+ 和 STAR-CD 是 Siemens Industry Software Computational Dynamics Ltd 商标或注册商标。本文中提到的所有其它商标、注册商标或服务标记均属于其各自的持有人。

66680-A10 3/18 Y