

Easy5

控制/多学科系统级虚拟样机建模分析软件

Easy5是一套面向控制系统和多学科动态系统的仿真软件，用于在产品的概念和系统级设计阶段快速地建立完整、可靠的功能虚拟样机。

Easy5诞生于波音公司，是由各学科领域富有经验的工程师和数值计算专家根据实际的工程问题和需求合作开发的，它兼具完全的图形化建模环境、强大的仿真和分析能力、连接其它多种工程软、硬件的开放结构，可以对各种由微分、差分和代数方程描述的动态系统进行仿真。经过近30年的不断积累和大量工程问题的检验，发展成为独一无二的控制与多学科动态系统仿真分析工具，可谓波音公司工程仿真经验的结晶，被广泛应用于航空航天、国防、汽车、工程设备、重型机械等工业领域。借助Easy5强大的专业应用库、精确的模型元件、性能卓越的求解器和丰富的分析手段，可以建立控制及多种学科领域的动态系统模型，进行有效的仿真评价，帮助用户对各类系统进行参数选定、功能评价、响应分析或控制逻辑设计，从而减少物理样机试制的风险。



一. Easy5的特色

- ◆ 强大的控制系统仿真分析能力；
- ◆ 丰富的多学科专业应用库，凝聚了各行业专家经验，方便建立多种学科领域的系统模型；
 - ◆ 与多种工程软件紧密集成，实现机、液、电、控等多学科复杂系统的联合仿真；
 - ◆ 真正面向工程的系统仿真工具，密切结合工程需求，经过大量工程项目检验；
 - ◆ 直观的图形建模方法，直接通过控制元器件和物理元件建立系统仿真模型；
 - ◆ 多种数值算法，强大的仿真分析功能、丰富的分析手段和卓越的求解器；
 - ◆ 强大的代码生成能力，可以由图形化系统模型自动生成相应的FORTRAN或C源代码，这些代码可以通过编译生成可执行程序，并可被用户调用；
 - ◆ 同类软件中最高效的库开发工具，快速建立用户自定义部件库；
 - ◆ 便捷的仿真结果后处理绘图和曲线编辑定制工具；

- ◆ 新版本完全基于Windows开发，全新图形用户界面；
- ◆ 与MSC软件具有突出的集成能力——与Adams的结合紧密，可以实现产品之间的参数传递，求解器调用和分布式联合仿真等；并可以与Adams/Insight无缝集成，从而进行试验设计，“What if”分析和优化设计。

二. Easy5产品模块

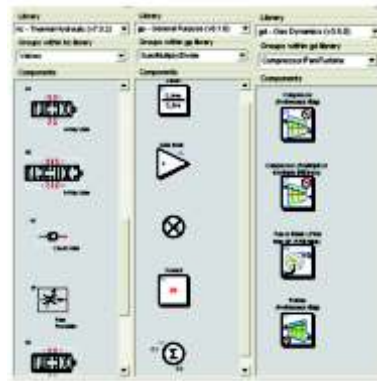
Easy5的基本模块是图形建模和仿真分析工具包，但其最具特色的是丰富的专业应用库，除此之外是一些扩展工具和接口模块。

Easy5具体的功能模块包括：

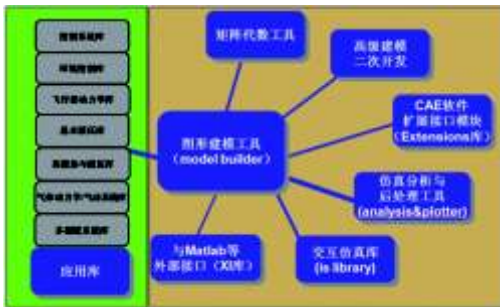
- ◆ 图形建模工具
- ◆ 仿真分析与后处理工具（包括稳态分析、非线性仿真和线性分析等多种分析类型）
- ◆ 高级建模与二次开发
- ◆ CAB软件扩展接口模块

- ◆ 矩阵代数工具
- ◆ 专业应用库
 - ☆ 控制系统库
 - ☆ 基本液压库
 - ☆ 高级热和液压系统库
 - ☆ 气体动力学/气动系统库
 - ☆ 多相流系统库
 - ☆ 飞行器动力学库
 - ☆ 环境控制库

Easy5的典型应用领域包括：控制系统、液压系统、热力系统、气动系统、润滑系统、燃料系统（燃料供给、燃料喷射等）、机械系统、多相流系统、环境控制、飞行器动力学分析、机电一体化等等。



Easy5元件库列表



Easy5产品结构图

Easy5的仿真分析功能包括：非线性仿真、线性分析、稳态分析、控制系统设计、数据分析、绘图等，此外，还可以自动生成源代码以满足实时控制要求。

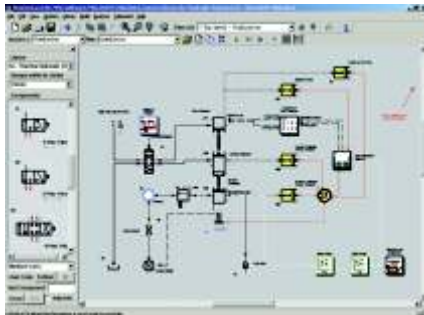
对于结构复杂或部件繁多的模型，Easy5的多层建模功能可以方便地在模型中将任意的部件组合成子模型，从而使模型层次分明，结构优化。在子模型中还可以进一步嵌套更多层次的子模型。



Easy5多层次子模型的嵌套

三. 图形建模工具

Easy5的图形建模工具允许用户直接在窗口上绘制工程系统原理图或控制理论框图，从而构建仿真模型。Easy5的建模过程非常简便——通过拖拽操作将模型元件拖入屏幕的工作区，设定元件间的连接关系，设定各项参数，即可建立系统模型。模型元件既包括基本的数学和控制环节，比如加法器、除法器、积分器和超前-滞后校正装置，也包括来自专业应用库的系统级部件，比如泵、阀、管道、作动器、热交换器等等。此外，用户还可以通过加入FORTRAN或C代码建立用户化部件，以定制特殊元件或部件。



Easy5图形建模环境

1. 多层次建模元件

对应于控制和多学科系统仿真不同层次的建模需求，Easy5提供以下不同类型的模型元件：

- ◆ 基本的数学环节和控制系统框图元素，如加法器、积分器、传递函数和数字滤波器；
- ◆ 线性状态空间模型（A、B、C、D矩阵格式）；
- ◆ 实验或经验数据；
- ◆ 来自专业应用库的系统级部件，比如泵、阀、管道、作动器、热交换器等等。每一个系统部件都代表一组方程，用以描述一个物理元件（如四通液压阀）或是一个物理现象（如润滑油粘度变化）；
- ◆ 用户自定义的FORTRAN或C代码元件；
- ◆ 采用库开发工具定制的Macro库元件；

2. 强大的代码生成工具

Easy5可以将用户建立的图形化原理示意图表示的系统模型自动转化为相应的FORTRAN或C代码，这些代码可以编译为可执行文件，供Easy5众多的分析工具调用。采用这种方式的建模、代码转换、编译和计算体系架构具有许多优点：

- ◆ 编译执行可以获得最快的运算速度，分析执行时间相比于解释执行的程序有质的缩短，比同类软件快十倍，对于

大型模型有突出的优势;

- ◆ 支持控制器代码生成;
- ◆ 便于与其它应用程序和代码集成, 方便输入用户代码, 与Easy5模型代码集成;
- ◆ 可以直接分析代码, 支持代码调试工具;
- ◆ 自动公式分类以防止模型中出现不必要的代数环。

四. 仿真分析工具

Easy5仿真分析工具包可以对系统模型进行完整的非线性和线性仿真分析。在执行仿真分析计算之前, 用户可以通过仿真参数设置对话框来设置仿真时间、步长和积分方法等参数, 所有分析均通过填写仿真参数设置对话框进行控制, 而不需任何特殊的分析语言或者命令。



Easy5仿真分析类型



Easy5仿真分析参数设置对话框

1. 稳态分析

Easy5提供了强大的系统稳态求解工具, 甚至支持高度非线性的模型, 可在任何输入集下计算模型所有状态变量的稳态值。采用专门针对非线性系统设计的Newton Raphson迭代方法, Easy5的稳态分析可以在几秒钟内计算出结果, 而无需使用耗时数小时的动态仿真来积分求解稳态值。稳态分析工具计算出的系统稳态值可以用作仿真或非线性分析的初值条件。

2. 瞬态仿真

仿真分析工具包包含了多种数值计算方法, 这些算法针对

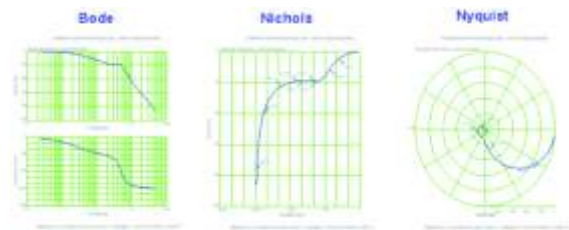
对不同类型问题都进行了优化, 在解决实际工程问题中的复杂数值计算方面, 比如大型、刚性或者高度非线性问题上, 比其它工具有明显的优势。与其它软件工具相比, 在处理粘滞、滞后和硬限制等复杂非线性问题方面, 运行时间少两个数量级。

Easy5采用独特的“开关状态”技术, 使不连续过程的仿真结果更加精确。通过仿真, 可以求解机、电、液系统的连续状态(或输出)量(如力、速度、电流、压力、温度等)或离散/不连续状态(或输出)量(如开关)的时域响应。

3. 线性分析

除了非线性瞬态仿真, 仿真分析工具包还包括一整套线性分析工具, 可以实现:

- ◆ 完整形式的线性系统模型生成, 包括系统特征值、特征向量、系统状态空间描述的A、B、C、D矩阵、可观和可控矩阵;
- ◆ 系统中任意两点之间的传递函数的生成;
- ◆ Bode、Nichols和Nyquist格式的频率响应分析;
- ◆ 根轨迹分析和参数稳定域分析;
- ◆ 特征值计算和灵敏度分析;
- ◆ 功率谱密度分析。

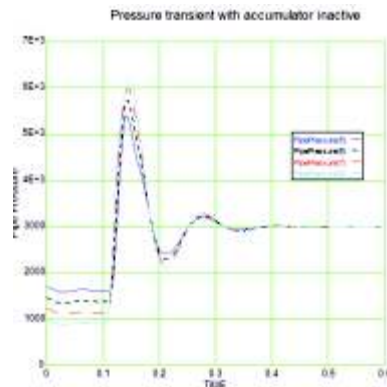


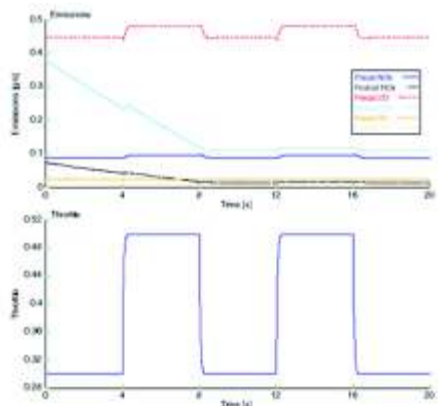
4. 多重分析

Easy5可以将多个单独的分析合成“批处理”分析, 从而可以一次性的进行多种分析; 也可以从Easy5的矩阵代数工具(Matrix Algebra Tool)的脚本文件中执行分析。

5. 分析结果后处理

仿真分析结果可以方便灵活地以曲线或多种格式的数据文件输出, 并且自动生成分析报告。Easy5后处理界面提供全面的绘图和曲线编辑定制功能, 并可以方便地将结果数据以多种格式输出。

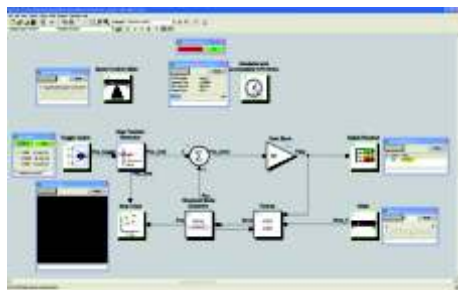




Easy5曲线编辑定制

五. 交互仿真功能

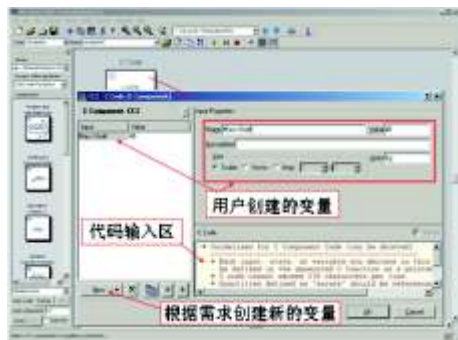
Easy5仿真可以以交互方式进行。在仿真过程中，模型参数可以随时进行动态的修改（如通过滑动条），仿真分析结果也会即时的产生相应的变化。



Easy5交互仿真过程

六. 库开发工具包

Easy5库开发工具极大地拓展了软件的应用范围，将用户的建模能力提高到一个更高的水平——建立用户自定义部件库。这些部件就像Easy5的标准部件一样，可供众多用户共享。



Easy5用户代码元件开发环境

1. 配置控制

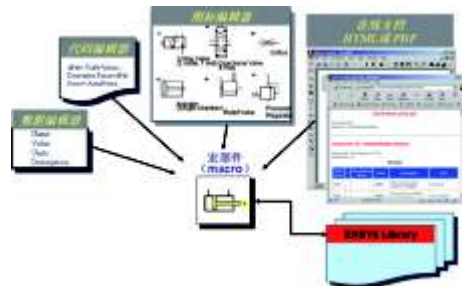
库开发工具包含一个内建的配置控制系统。可以随意修改和更新采用库开发工具创建的部件，Easy5则将版本更新自动通知所有用户，并自动更新所有受影响的模型。

2. 智能连接

运用库开发工具创建的部件不仅能定义方程及相关的输入变量和输出变量，还能自动定义该部件与其它部件的连接方式，从而保证该部件与其它部件能够正确连接。这种“智能连接”模式可以确保不熟悉部件结构的用户将主要精力放在定义方程本身，而不用过多的关注如何建立连接关系，在完成方程定义之后即可建立正确的连接。

3. 知识获取和遗留代码集成

很多公司保留了以前遗留下来的 FORTRAN或C软件程序，这些遗留代码的维护相当麻烦，很难加以应用，运用库开发工具可以获取这些既有的工程知识并将其导入Easy5的部件库。库开发工具提供了完整的开发环境，以帮助用户建立仿真代码，包括代码编辑器、数据目录、图标编辑器和嵌入的PDF或HTML在线帮助文档。所有这些内容均可由配置控制系统维护和更新，使得在整个企业内应用和更新自有代码非常容易。



Easy5用户Macro库元件定制

七. 矩阵代数工具

Easy5包括一个基于脚本的交互式程序，称为矩阵代数工具（MAT），用于高等数值计算。它非常适合于线性系统分析、控制系统设计、绘图、前处理和后处理模型数据。MAT提供了一个精致的图形用户界面和多种高级函数，包括：线性系统分析、控制系统设计、信号处理、系统辨识和优化。

以线性控制系统为例，MAT可以进行：状态空间和传递函数生成、线性系统响应分析、模型降阶、LQR/LQG设计、极点配置等。

MAT提供了一套有效的线性代数工具，包括因式分解、矩阵分解、方程求解和矩阵计算函数。MAT还有调用用户定义的FORTRAN和C代码的能力，可以在交互过程中访问Easy5的可执行模型，并运行仿真分析，以实现优化和设计试验。

矩阵代数工具特色：

- ◆ 使用高级语言的数值计算工具
- ◆ 直接调用Easy5仿真程序或外部程序代码
- ◆ 向Easy5提供更多的控制系统设计和信号处理功能
- ◆ 良好的用户界面



Easy5矩阵代数工具

器、风扇、蒸发器、冷凝器等。这些数以百计的物理元件模型可以用于构造完整的多学科动态系统。

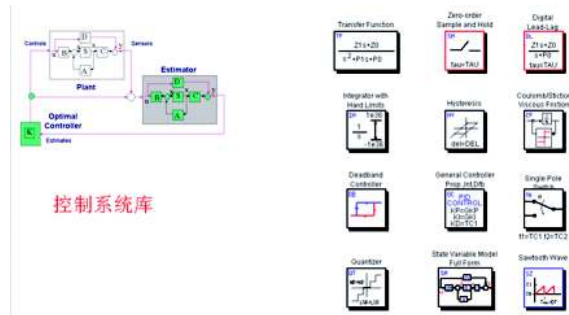


Easy5的专业应用库采用系统级物理元件模型

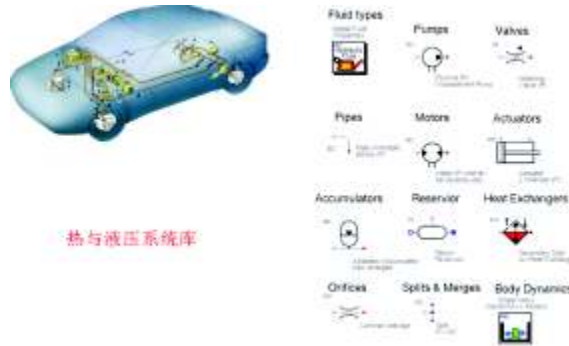
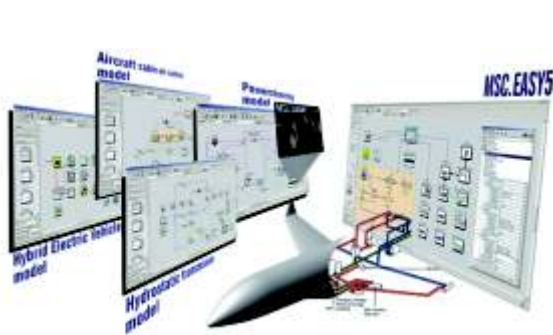
这些专业模型库既可单独使用，也可联合使用，甚至可以结合用户自行开发的模型部件，来快速简便地建立复杂多学科系统的高精度模型。对于同一种物理部件，Easy5既提供较为简单的模型用于初步分析和先期评价，也提供高度详细的模型，用于深入设计和详细评价。

八. 专业应用库

Easy5丰富的专业应用模型库，是其进行多学科系统仿真的基础和超越同类软件的重要特征。这些库涵盖了广泛的学科领域，由各工程领域中的专家开发，凝聚了丰富的专家经验，用户可以直接使用各应用库中的元件。Easy5的各专业库均包含相关专业领域常用的典型物理元件的数学模型。每个元件对应一段高级语言代码子程序（可以理解为一个函数子程序），使用者仅需在元件的参数表中填入实际元件的参数，即可迅速建立该元件的计算模型。Easy5的专业应用库充分挖掘了MSC软件和波音公司的各自优势，使用户可以充分利用MSC软件和波音公司在这些领域的行业经验。



控制系统库



热与液压系统库

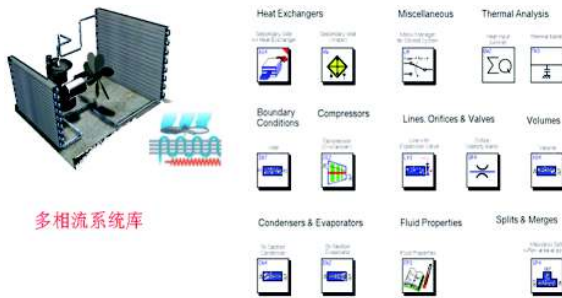
Easy5的专业应用库包括：

- ◆ 控制系统库
- ◆ 基本液压库
- ◆ 高级热和液压系统库
- ◆ 气体动力学/气动系统库
- ◆ 多相流系统库
- ◆ 飞行器动力学库
- ◆ 环境控制库

各专业模型库面向具体的应用，预先定义和建立了可以直接使用的各种系统部件模型，如液压阀、作动器、热交换



气体动力学/气动系统库



多相流系统库

Easy5专业库部分元件图例

应用库	分析功能
控制系统库	提供建立线性/非线性、连续/离散控制系统所需要的各类元件，用于控制系统设计与分析。
基本液压库	提供模拟液压系统的必要元件，可以对液压元件的稳态和动态行为进行描述，解决一般的液压系统的静、动态特性问题。
高级液压库	在基本液压库的基础上，提供更多更高级的元件，以模拟详细的开环和闭环液压系统，包括热交换器、水锤动力学（液击）和软管影响和气穴现象等。
气体动力学/气动传动库	提供必要的元件和数据来建模气体动力学系统，如气动、环境控制、动力循环和气相反应等等。
多相流库	模拟多相流系统的稳态和瞬态行为，可以构建开路或闭路系统，包括过冷液体、饱和混合物和过热蒸气，可以用于采暖通风空调系统、制冷循环等过程的仿真。流体特性数据来自US NITS制冷流体数据库。
环境控制库	用于模拟交通工具（如飞行器）的环境控制问题。
飞行器动力学库	分析飞机、固定翼导弹等飞行器的飞行动力学和飞行控制问题。

Easy5专业应用库功能一览

Easy5应用库部件举例

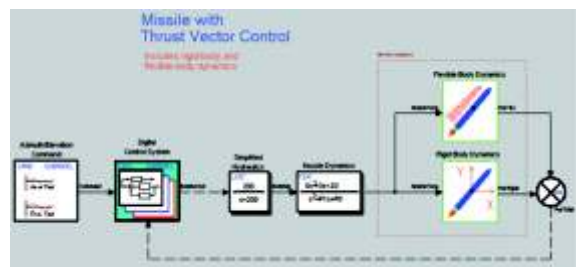
MSC Easy5 应用库中融合了各个领域高级工程师的专业经验，可用于快速地建立各种动态系统的模型。

<p>热和液压系统</p> <ul style="list-style-type: none"> 蓄能器 热交换器 机械负载 管道和油孔 液压泵和马达 分流和汇流 阀和作动器 气穴、水锤和软管的影响 <p>控制系统</p> <ul style="list-style-type: none"> 连续、离散传递函数 微分、积分环节 信号发生器 状态空间模型 非线性环节 开关与逻辑 图表函数 数学方程 函数 <p>飞行器动力学</p> <ul style="list-style-type: none"> 空气动力学作用力 大气和风 飞行动力学 控制面 仪器仪表和传感器 大地模型 	<p>气体动力学/气动系统</p> <ul style="list-style-type: none"> 作动器 热交换器 管道和孔 泵和风扇 分流和汇流 阀 涡轮和压缩机 化学反应器 水的冷凝和蒸发的影响 <p>多相流</p> <ul style="list-style-type: none"> 压缩机 凝缩器和蒸发器 膨胀阀 热交换器 制冷管路 分流和汇流 制冷流体数据库 <p>环境控制库</p> <ul style="list-style-type: none"> 热交换器 泵与风扇 阀 管道 压缩机与涡轮 飞机座舱模型
--	---

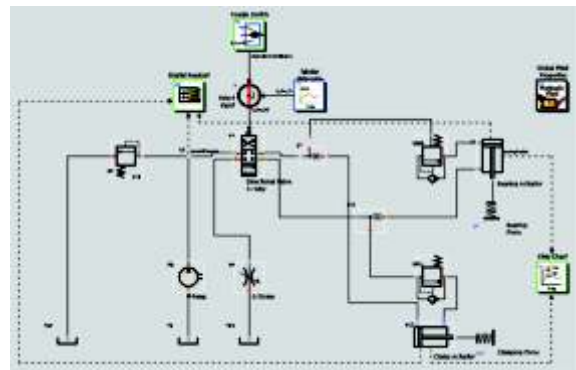
Easy5应用库的应用领域举例

MSC Easy5 专业应用库涵盖了广泛的工业领域，如航空航天、汽车、铁道、通用机械等。

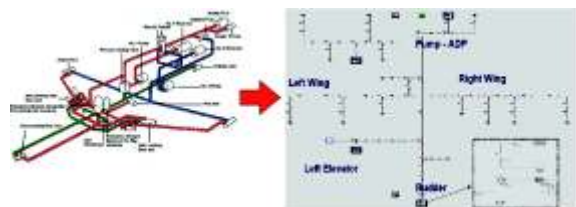
控制系统	<ul style="list-style-type: none"> 控制系统建模 系统状态空间模型计算 特征值与特征向量计算 	<ul style="list-style-type: none"> 传递函数计算 根轨迹分析 功率谱密度分析 	<ul style="list-style-type: none"> 频响分析 参数稳定域分析 可观性与可控性分析 最优控制
热和液压系统	<ul style="list-style-type: none"> 流体功率系统 冷却和加热 润滑油 燃料供给和喷射 	<ul style="list-style-type: none"> 静液传动 工程车辆 挖掘机 防抱死制动 	<ul style="list-style-type: none"> 飞行器控制面的液压控制 起落架
气体动力学/气动系统	<ul style="list-style-type: none"> 气动系统 动力循环 燃烧和催化反应 气相反应和分离 	<ul style="list-style-type: none"> 热传导散热器设计 风扇系统 空气供给系统 	<ul style="list-style-type: none"> 环境控制系统 加热、冷却 增压压 通风和加湿
多相流体	<ul style="list-style-type: none"> 加热通风空调系统 (HVAC) 	<ul style="list-style-type: none"> 制冷循环 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料系统(甲烷)
飞行器动力学	<ul style="list-style-type: none"> 不同飞行条件下的稳定性和控制 制导、导航和控制 	<ul style="list-style-type: none"> 控制面参数 传感器位置 	<ul style="list-style-type: none"> 计算最大不对称推力 燃料消耗、火箭分离的影响
环境控制库	<ul style="list-style-type: none"> 飞机座舱环境控制 		



基于Easy5控制库建立的导弹推力矢量控制系统



液压传动系统模型



Boeing 787液电飞行控制系统

九. 与多种工程软件集成

Easy5与其他工程分析软件具有全面的数据接口，如Adams、MATLAB/Simulink等，使得复杂大型系统的整体分析可以借助多种软件的各自优势共同实现，以建立完整的复杂功能虚拟样机。其优异的集成能力使得Easy5成为多种工程软件所建立模型的理想集成仿真环境。

Easy5与运动学动力学仿真软件Adams的无缝接口可实现电、液控制系统与复杂多体机构的真正耦合；进一步通过与有限元分析软件MSC Nastran 的数据交换，更可以研究刚、弹、电、液、控制的复杂耦合系统，开发更完整的功能虚拟样机。

Easy5与Adams全面支持三种集成仿真模式：

◆ 联合仿真

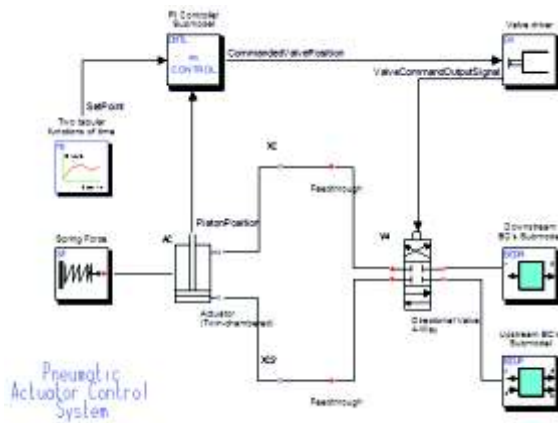
- ☆ 由Easy5和Adams求解器求解各自的模型
- ☆ 在设定时间步进行数据通信

◆ 函数评价模式

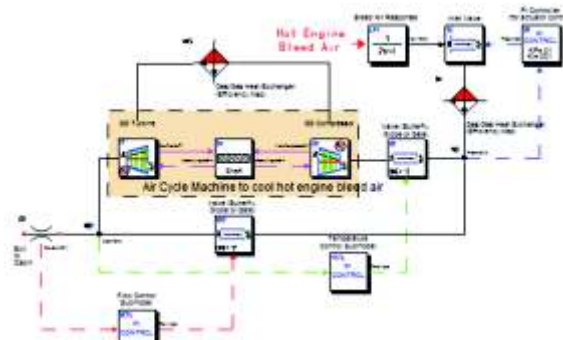
- ☆ 将Adams所建立的多体机械模型导入Easy5
- ☆ Adams模型作为一套ODE方程加入到Easy5
- ☆ Easy5求解器积分计算所有的模型
- ☆ 对于控制系统设计，Adams模型可以反复使用，典型用户为控制工程师

◆ 控制导入模式

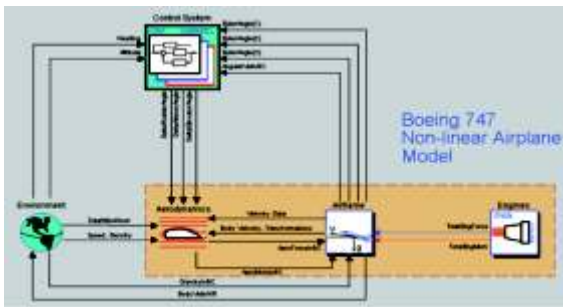
- ☆ 将Easy5所建立的控制与多学科系统导入Adams
- ☆ Easy5模型作为一套GSE方程加入到Adams（dll动态链接库形式引入）
- ☆ Adams求解器积分计算所有的模型
- ☆ 在Adams中对控制系统性能进行评估，采用此种方式可以在控制系统预置参数的情况下研究整个模型的性能，典型用户为机械或系统工程师



位置控制系统气动执行器



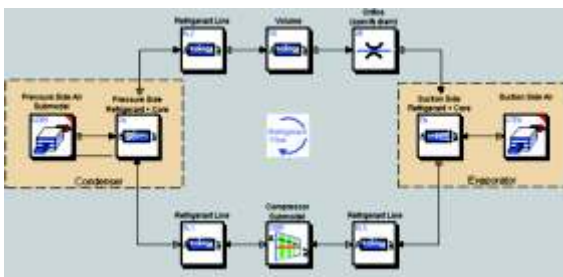
飞机机舱环境控制系统



Boeing747飞机飞行力学模拟与飞控系统



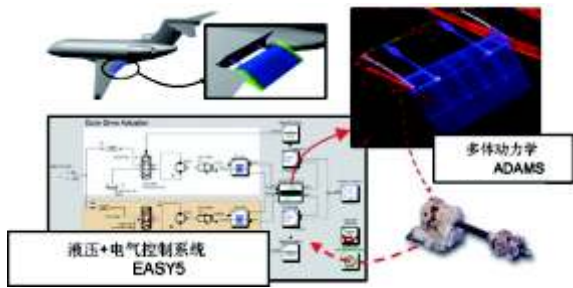
Easy5与Adams集成仿真重型工程机械模型



空调制冷循环系统



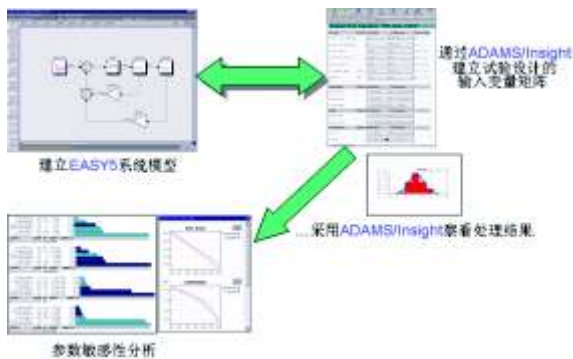
MSC Easy5与Adams/CAR集成仿真汽车ABS系统



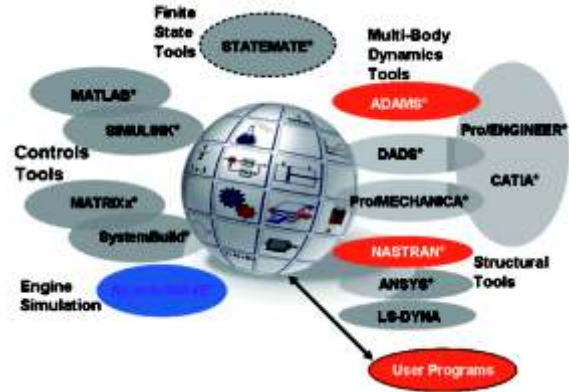
Easy5与Adams集成仿真飞行控制系统

Easy5与Adams还可以实现两者之间的参数和变量传递和分布式联合仿真等，例如，Easy5可以直接调用Adams的后处理器进行仿真结果的后处理，或直接将计算结果输出为Adams的结果文件格式，在Adams中可以对Easy5的参数进行修改和优化，并可以直接观察和调用Easy5各变量的计算结果，两者之间可以通过TCP/IP方式进行联合仿真，等等。

通过Easy5与Adams/Insight的无缝集成可以进行鲁棒分析，实验设计，“what if”分析和优化设计。



Easy5可与Matlab/Simulink中的控制器模型共同完成仿真，还可集成IC仿真工具Vantage等多种软件的模型；用户自己编写的软件也可以方便的集成到Easy5中来。



Easy5优异的集成能力

十. 运行平台和操作系统

Easy5可以在所有主要的UNIX、Linux、Windows平台上运行，新版本可支持64位Windows操作系统。Easy5完全基于Windows开发，具有Windows应用程序风格和重新设计的全新图形用户界面，既保留原有的操作风格，又注入新的元素和操作方法，操作更方便，执行速度更快。

