



多学科领域系统动力学建模与仿真

刘艳芳 编著



SimulationX 精解与实例： 多学科领域系统动力学建模与仿真

刘艳芳 编著
徐向阳 黎文勇 审



机械工业出版社

本书以 SimulationX 软件作为研究平台,全面讲述了多学科领域系统动力学建模与仿真技术的基本原理、建模方法和计算分析。本书主要讲述了 SimulationX 的安装和使用、系统建模的基本原理和方法、仿真计算类型和数据后处理方法,并结合实例,由浅入深,通过一步一步图文并茂的阐述,使读者最后能利用 SimulationX 来完成各种工程系统的多学科复杂建模和分析。第 8 章列举了 SimulationX 在典型工程领域的应用案例,既有详细的建模流程,又有对仿真结果的分析说明,涉及了机械、液压、电、磁和热等物理领域,具有较高的专业理论水平和工程应用价值。

本书面向高等院校工程专业的本科生和研究生,以及 SimulationX 的初学者。对于从事多学科领域系统动力学建模的广大科技工作者和工程技术人员来说,本书亦可作为入门性教材。

图书在版编目(CIP)数据

Simulation X 精解与实例:多学科领域系统动力学
建模与仿真/刘艳芳编著. —北京:机械工业出版社,
2010.9

ISBN 978-7-111-31371-7

I. ①S… II. ①刘… III. ①系统动力学—系统
建模—应用软件, Simulation X ②系统动力学—系统仿
真—应用软件, Simulation X IV. ①N941.3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 142685 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:赵海青 责任编辑:何士娟 责任校对:姜 婷

封面设计:路恩中 责任印制:李 妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2010 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·374 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31371-7

定价:39.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

2008 的金融危机再一次证明技术创新是企业应对金融危机最有效的手段。技术创新对于我国制造业意味着企业研发信息化,目前以 CAD 为主导的产品研发信息化重几何结构、轻性能设计,强信息集成、弱模型集成,缺乏系统综合创新设计能力,造成制造企业在产品研发方面核心能力的缺失。尤其在复杂产品研发过程中,以产品数据管理为核心的 PDM/PLM 系统强调产品设计数据管理,而对 CAE 协同分析仿真过程的支撑相对较弱,不能有效支撑复杂产品系统设计仿真过程中数据、模型、知识、资源及过程的统一管理。

复杂高性能机电系统对产品设计的理论、方法和技术手段三个层面提出了新的挑战。对象的本构多域性及复杂性用现有的单领域工具无法解决,这就需要一种以知识可重用、系统可重构为模式的复杂产品建模、分析、仿真、优化一体化的设计技术,即机、电、液、控、热一体化设计的多学科设计技术。欧美于 1996 年开始有针对性地开展多领域物理建模与分析,提出了具有普适性、可拓展的多领域物理建模语言 Modelica,并成立了开放的国际 Modelica 合作组织(www.modelica.org),旨在为新一代复杂机电系统设计方法与技术提供模型知识的表达、计算的规范。Modelica 被认为是 IT 技术与工业领域具有里程碑意义的基础创新,近年来该技术在一批重要行业典型产品的开发中得到成功应用,得到国际研究机构及工业界的认同,发展迅猛。2006 年 6 月法国达索系统宣布以 Modelica 为技术标准实施“knowledge inside”,国外许多重要企业及研究机构已宣布以 Modelica 为模型表达标准,如欧共体组织 ITEA2 项目。目前 Modelica 已成熟地应用于航空航天、汽车和工程机械等领域。该类仿真软件的代表为德国 ITI 公司的 SimulationX。

德国 ITI 有限公司开发的 SimulationX 一直领跑在工程化系统工程建模和仿真技术的最前沿。作为优秀的 Modelica 商用系统标准平台, ITI 公司每年都能和世界著名厂商及研究机构成功地完成数十个大型工业项目。这些项目的完成为公司赢得了良好的声誉, 积累了丰富的专业知识和行业应用经验, 也使软件产品获得了世界最优秀传动仿真软件的称号。SimulationX 在 2007 年进入中国市场后迅速得到了中国高校和企业的认可和广泛好评。为了回馈中国用户, ITI 有限公司联合 ITI-SimulationX 北航技术培训中心开始编著 SimulationX 的中文使用丛书。

本书作为 SimulationX 工程系统的多学科复杂建模和分析的第一册,从 SimulationX 的基础开始,通过一步一步的图文并茂的阐述,使用户最后能利用 SimulationX 来完成各种工程系统的多学科复杂建模和分析,解决具体工程问题。本书既有理论说明,又有案例分析;它既是 SimulationX 的初级用户的良师,又是 SimulationX 的高级用户的益友,同时也可作为广大科技工作者和工程技术人员的重要参考书。今后我们还将陆续推出更多关于基于 Modelica 的二次开发及各个工程领域建模高级应用的系列丛书,以帮助中国用户同步掌握世界先进的基于 Modelica 的多学科复杂建模和分析的仿真技术,支持读者进行原创设计,为“中国创

造”助力。在此感谢 ITI 有限公司工程技术人员和徐向阳教授领导的 ITI-SimulationX 北航培训中心辛勤工作。

黎文勇

德国 ITI 有限公司大中华区总裁

序(二)

On the occasion of ITI's 20th anniversary it is my great honor and pleasure to welcome you to the first SimulationX technical book edition in Chinese language. After 20 years navigating in virtual worlds, we finally appear in print. This book will introduce you in your native language to the world of holistic system modeling and simulation -a software application area that has become increasingly popular amongst engineering professionals world-wide.

ITI was found in 1990; its headquarters is situated in Dresden/Germany. In the past two decades we have become one of the world's leading companies in the field of dynamic modeling, simulation and analysis of technical systems. Our product SimulationX is a software platform that is used in more than 15 industrial branches and has long proven its excellent performance in over 300 different applications. The number of customers using SimulationX around to globe to develop innovative technical goods such as plants, machines and devices with high power density in an energy-efficient, optimal and quick way exceeds 600. In addition to developing high-performance multi-domain software we provide specialized engineering know-how at highest level.

For more than five years ITI has been investing in China. The importance of our Chinese customers has been steadily growing ever since. Thanks to the dedication and commitment of SimulationX users and partners across all regions in China this market has become one of the most important ones for our company. Thus, it is with great pleasure that we provide our Chinese SimulationX users with best possible local support. Together with the SimulationX Training Center in Beijing (Beihang University) it has been possible to live up to the high expectations of both, the users and ourselves.

This being the case, I want to unreservedly thank Prof. Xiangyang Xu, Director of the SimulationX Training Center in Beijing, and Dr. Wenyong Li, ITI's China manager, for their continuous support. Thanks to their effort and the one of their teams this publication was finally brought into being. In 1995, we had the vision of creating a Chinese-German cooperation to build up a SimulationX competence center for the local support, training and technical consulting. Today, this vision is completed and, moreover, we have established a true friendship. This fruitful partnership has become a significant, sustainable bridge between ITI's engineering and development team and the Chinese SimulationX community.

The book is dedicated to anyone using modern calculation software to speed-up the development of mechatronics systems. It comprises the basics of system simulation and SimulationX from the technology and user interfaces over methods and computation through to analysis. Also, a various practically-oriented engineering applications are presented. Yet, this can only be small samples from a wide range of plant modeling and simulation possibilities. Please do not hesitate to contact us when-

ever you have any questions or need assistance in one of your projects.

Again, thank you very much indeed for your interest in this book. Enjoy reading and working with SimulationX!

Jens O. Schindler
ITI Executive Director

前言

工程中的复杂系统,往往涉及多门交叉学科,包括机、电、液压、电磁和热等,例如,航空航天机电液气系统、机器人及控制系统、发动机和车辆各系统、电液驱动机构等。由于机、电、液、气控制系统的非线性以及研制过程的巨大耗时和耗资,运用多学科领域系统仿真和优化手段,已经成为目前系统虚拟优化设计的主流技术。

SimulationX 是德国 ITI 公司自 1993 年开始推出的一种新型的工程高级建模和多学科仿真软件,2009 年 12 月 ITI 又推出了最新版本 SimulationX3.3。目前,SimulationX 已经成为用于传动技术、汽车工业、工程机械、能源技术、流体技术、精密仪器、航空航天、船舶工业、机械制造、石油和天然气工业的多学科领域,包括机、电、液、气、热、电磁和控制等复杂系统建模与仿真的优选平台。该软件具有以下特点:

(1) SimulationX 在统一的平台上实现了多学科领域系统工程的建模和仿真,如机械、液压、气动、热、电和磁等物理领域。SimulationX 包含的标准元件库有 1D 力学、3D 多体系统、动力传动系统、液力学(包括管道模型和液压元件设计库)、气动力学(包括管道模型和气动元件设计库)、热力学、热液电子学、电驱动、磁学和控制等。

(2) SimulationX 定位使用人群为工程技术人员,建模语言是工程技术的通用语言。

(3) SimulationX 的基本元素组合建模理念,使得用户从烦琐的数学建模中解放出来,从而能专注于物理系统本身的设计,而不需要编写任何程序代码。

(4) SimulationX 提供了一个标准化、规范化和图形化的二次开发平台 TypeDesigner,使得用户不仅可以直接对 SimulationX 所有模型进行修改,还可以基于 Modelica 语言创建新的模型,并能够把用户自己的 C 代码模型以图形化模块的方式集成进 SimulationX 软件包,从而满足工程中大量非标元件的需求,实现企业自己知识库的积累管理。

(5) SimulationX 支持三个层次的建模方式:基本元素和元件级、方块图级,以及数学方程式级。模块名称参数和变量清晰。不同的用户可以根据自己的特点和专长选择适合自己的建模方式或综合使用多种方式。

(6) SimulationX 具有多种仿真运算功能:时间域上的瞬态仿真、频域上的稳态仿真、平衡计算、固有频率和模态分析、可靠性分析、变量分析等。

(7) SimulationX 提供了丰富的与其他软件的接口。

☐ 多维软件接口:MSC. Adams, Simpack, FLUENT 及各种 CAx 软件。

☐ 控制软件接口:Matlab/Simulink。

☐ 实时仿真软件接口:dSPACE, xPC-Target, ProSysRT。

☐ 优化软件接口:iSIGHT-FD, modelFRONTIER, OptiY。

☐ 数据处理接口:Excel。

(8) SimulationX 提供了不同的版本(评估版、分析版、浏览版和学生版),以满足不同类型用户的需要。

2006 年，德国 ITI 公司和北京航空航天大学合作成立 SimulationX 培训中心（SXTC），标志着 SimulationX 正式进入中国市场。由于 SimulationX 在工程系统建模和仿真方面的特点和优势，国内越来越多的来自大学、科研院所和工业部门的科学工作者加入到学习和应用 SimulationX 的队伍中来。笔者有幸最早接触并使用 SimulationX，在使用过程中意识到，作为一种高级建模和仿真平台，SimulationX 必将在国内建模和仿真领域发挥越来越大的作用，为国内工业产品的自主创新助一臂之力。

本书由刘艳芳编著，由徐向阳和黎文勇审读。在本书编写过程中，德国 ITI 公司及相关工程技术人员给予了大力支持，提供了许多宝贵的国外参考资料。王书翰博士对本书的结构和内容，特别是第 8 章的案例选择及其计算分析，提出了许多宝贵的建议，为本书增色不少。此外，在编写过程中还得到了课题组的研究生戴振坤、董鹏和郝振东等的热情帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

限于编者水平有限，对于书中的错误和缺点，望广大读者批评指正。

编 者

目

录

序(一)	1
序(二)	2
前言	3
第1章 多学科领域系统动力学建模与仿真技术概述	1
1.1 MATLAB/Simulink	1
1.2 AMESim	2
1.3 SimulationX	2
第2章 多学科领域系统动力学仿真软件 SimulationX 概述	4
2.1 开发理念	4
2.2 软件模块	4
2.3 建模方式	6
2.4 分析功能	7
2.5 版本类型	7
第3章 如何使用 SimulationX	9
3.1 运行 SimulationX 模型实例	9
3.1.1 打开模型文件	10
3.1.2 修改参数	10
3.1.3 运行仿真	11
3.2 创建模型	11
3.2.1 选择元件	11
3.2.2 连接元件	12
3.2.3 输入参数	13
3.2.4 时域的瞬态仿真	14
3.2.5 显示结果	14
3.2.6 频域的稳态仿真	16
3.3 ITI SimulationX 对不同种类系统的建模与分析	19
第4章 图形用户界面(GUI)	20
4.1 概述	20
4.1.1 工具窗口	20
4.1.2 文档窗口	21

4.2 软件的使用	21
4.2.1 菜单栏和工具栏	21
4.2.2 学科库	22
4.2.3 结构视图和3D视图	25
4.2.4 模型浏览器	26
4.2.5 输出区	28
4.2.6 任务栏	28
4.2.7 结果窗口管理器	28
第5章 系统建模的基本原理	30
5.1 三种建模方式	30
5.1.1 面向物理对象的建模	30
5.1.2 面向信号的建模	31
5.1.3 基于方程和算法的建模	31
5.2 创建模型	31
5.2.1 SimulationX 的用户界面	31
5.2.2 单元类型和学科库	32
5.2.3 模型的创建和修改	34
5.3 参数和结果	39
5.3.1 属性窗口	39
5.3.2 参数	42
5.3.3 初始值	43
5.3.4 结果变量	43
5.3.5 全局参数	44
5.4 特殊主题	44
5.4.1 特征曲线和特征图	44
5.4.2 3D视图	56
5.4.3 特殊模型构件	59
第6章 计算分析	62
6.1 时域内的瞬态仿真	62
6.1.1 仿真设置	63
6.1.2 时域内的计算流程	68
6.1.3 可选用的求解器	73
6.1.4 性能分析器	77

6.1.5 结果的动画显示	77	7.3.6 特殊功能	139
6.2 频域内的稳态仿真	81	7.4 打印	145
6.2.1 稳态仿真基础	82	7.4.1 打印预览	145
6.2.2 稳态仿真的属性对话框	84	7.4.2 用户自定义打印	146
6.2.3 属性对话框中的 System 页面	85	7.5 Office 接口、导入/导出	150
6.2.4 属性对话框中的 Method 页面	87	7.6 通用设置	150
6.2.5 稳态仿真的结果窗口	89	7.6.1 一般设置	150
6.3 稳态(静态)平衡计算	94	7.6.2 学科库和附加库	151
6.4 线性系统分析	95	7.6.3 路径	151
6.4.1 固有频率和模态分析	96	7.6.4 存储	152
6.4.2 输入-输出分析	100	7.6.5 流体	152
6.5 变量分析	104	7.6.6 标签	152
6.5.1 应用场合	104	7.6.7 语言	152
6.5.2 准备	104	7.6.8 许可	152
6.5.3 变量向导	104	7.6.9 软件的用户化	153
6.5.4 变量计算过程中观察计算 结果	109	第8章 典型工程领域的应用	
6.6 阶次分析	109	案例	154
6.6.1 功能描述	110	8.1 案例1: 动力传动系统和 整车	154
6.6.2 操作	111	8.1.1 发动机模型	154
6.7 常见问题及其处理	120	8.1.2 动力传动系统模型	157
6.7.1 常见的建模问题	120	8.2 案例2: 变速器的噪声分析	161
6.7.2 解决策略	121	8.2.1 I类噪声的仿真	163
6.7.3 仿真参数设置技巧	124	8.2.2 II类噪声的仿真	166
第7章 结果分析、文档和设置	126	8.3 案例3: 液压伺服驱动器	167
7.1 概述	126	8.4 案例4: 两相热交换器	170
7.2 实时显示	126	8.4.1 开环系统	170
7.2.1 打开实时显示	126	8.4.2 测试模型	172
7.2.2 与结果变量捆绑连接	126	8.5 案例5: 多体动力学动态 仿真	175
7.2.3 其他设置	127	8.5.1 机器人 MBS 模型	175
7.2.4 备注	127	8.5.2 创建步骤	176
7.3 结果窗口	128	8.5.3 仿真结果	182
7.3.1 打开结果窗口	128	8.6 案例6: 电液换向阀	184
7.3.2 操作	129	8.6.1 电子控制回路	185
7.3.3 拖曳结果	131	8.6.2 电磁铁控制回路	186
7.3.4 设置	133	8.6.3 先导阀	188
7.3.5 图表类型	137	8.6.4 主阀	190
		8.6.5 测试模型	193

8.6.6 仿真结果	195	8.8 案例 8: 工业电磁阀	202
8.7 案例 7: 电子电路系统	196	8.8.1 电磁阀模型一	203
8.7.1 DC-DC 转换器	196	8.8.2 电磁阀模型二	204
8.7.2 CMOS 开关	198	附录 安装和启动 SimulationX	208

第1章

多学科领域系统动力学建模与仿真技术概述

工程中的复杂系统,往往涉及多门交叉学科,包括机、电、液压、电磁和热等,例如,航空航天机电液气系统、机器人及控制系统、发动机和车辆各系统、电液驱动机构等。只有根据动态性能指标要求来设计系统,从系统的角度优化设计系统零部件,才能设计出性能优良的系统,满足日益激烈的市场竞争和愈加苛刻的技术要求,增强自主创新能力。

由于机、电、液、气控制系统的非线性以及研制过程耗时和耗资巨大,运用仿真和优化设计手段成为首选。对技术与功能相互关系的仿真是一种有理论依据地预测开发项目过程与结果的有效方法。由于时间和成本原因,已经不再会使用早期的“试用—纠错”模式,而是通过高品质的模拟预测结果来作出决定。使用传统的开发方法将很快遇到效能和可行性的瓶颈,而多域性系统的理念、物理子系统之间的不断增加的复杂性和多样性的相互作用,使得对整体工程系统的全面综合分析变得非常必要。多学科领域系统动力学建模与仿真技术就是在这种需求背景下发展起来的一门新型计算机辅助分析和优化设计技术。运用该技术,可以帮助工程设计人员在产品设计过程中分析和预估风险,降低开发成本和缩短开发周期,分析和优化现有系统,从而最终协助开发设计出拥有自主产权的工业产品。

目前,商业上比较成熟的多学科系统动力学建模与仿真软件主要有美国的 MATLAB/Simulink、法国的 AMESim 和德国的 SimulationX 等。下面逐一简单介绍。

1.1 MATLAB/Simulink

MATLAB 产品族是美国 MathWorks 公司开发的用于概念设计、算法开发、建模仿真、实时实现的理想的集成环境。由于其完整的专业体系和先进的设计开发思路,使得 MATLAB 在多种领域都有广阔的应用空间,特别是在 MATLAB 的主要应用方向——科学计算、建模仿真以及信息工程系统的设计开发上已经成为行业内的首选设计工具,全球现有超过 50 万的企业用户和上千万的个人用户,广泛地分布在航空航天、金融财务、机械化工、电信、教育等各个行业。

MATLAB 的含义是矩阵实验室(Matrix Laboratory)。它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体,构成了一个方便的、界面友好的用户环境。在这个环境下,对所要求解的问题,用户只需要简单地列出数学表达式,其结果便以数值或图形方式显示出来。MATLAB 的推出得到了各个领域专家学者的广泛关注,其强大的扩展功能更为各个工程领域提供了分析和设计的基础。

MATLAB 产品族由以下产品构成: MATLAB、MATLAB Toolbox、MATLAB Compiler、Simulink、Stateflow、Real-time workshop 和 Simulink Blockset。

Simulink 是基于 MATLAB 的框图设计环境,可以用来对各种动态系统进行建模、分析和

仿真。它的建模范围广泛，可以针对任何能用数学来描述的系统进行建模，例如航空航天动力学系统、卫星控制制导系统、通信系统、船舶及汽车等，其中包括了连续、离散、条件执行、事件驱动、单速率、多速率和混杂系统等。除此之外，Simulink 还支持 Stateflow，用来仿真事件驱动过程。该软件系统是基于图形建模方式，不需要用户自行编写代码，既可用于动力学模拟，也可以用于控制系统的设计。该软件各种功能模块化，可以直接用鼠标拖曳模块，建立模块之间的信号链接，进行建模。由于是模块建模，控制系统和控制对象可以分别进行建模，每个模块的参数可以单独修改，不会影响到其他模块。而且软件系统中控制对象已经模块化和标准化，可以采用不同的控制模块对比分析不同控制方法的优劣，从而进行最佳控制算法的选择和设计。另外，该软件系统是开放的，各种成熟的工具箱可以进行扩展并加入到软件系统中。

该软件的局限性在于，使用人员必须对描述所研究对象系统的特性的数学方程非常熟悉，才能正确建模并得到合适的结果；另外，在多学科联合仿真方面的优势不明显。因此，目前该软件主要应用于控制系统的设计、分析和优化。

►► 1.2 AMESim

AMESim 是由法国 IMAGINE 公司开发的面向工程应用的多学科领域复杂系统建模与仿真软件。基于 AMESim 提供的系统工程设计平台，用户可以建立复杂的多学科领域系统的模型，并在此基础上进行仿真计算和深入的分析，从而研究任何元件或系统的稳态和动态性能。在燃油喷射、制动系统、动力传动、机电系统和冷却系统中均得到了广泛的应用。

基于物理模型的图形化建模方式，AMESim 使得用户从繁琐的数学建模中解放出来从而专注于物理系统本身的设计，而不需要编写任何程序代码。目前，AMESim 的应用库有：机械库、信号控制库、液压库（包括管道模型）、液阻库、液压元件设计库（HCD）、气动库（包括管道模型）、气动元件设计库、电机及驱动库、电磁库、动力传动库、注油库（如润滑系统）、冷却系统库、热库、热液压库（包括管道模型）、热气动库、热液压元件设计库（TH-CD）、二相库和空气调节系统库。AMESim 提供了一个标准化、规范化和图形化的二次开发平台 AMESet，使得工程人员不仅可以直接调用 AMESim 所有模型的源代码模板，还可以把自己的 C 代码或 FORTRAN 代码模型，以图形化模块的方式综合进 AMESim 软件包，从而满足工程中大量非标准元件的需求。AMESet 可以将 AMESim 模型生成标准化的 C 代码或 FORTRAN 代码，以及相应的、标准的说明文档。除此之外，AMESim 还具有丰富的与其他软件包的接口，例如 Simulink®、Adams®、Simpack®、Flux2D®、RTLab®、dSPACE® 和 iSIGHT® 等。

AMESim 由于无法描述非因果关系，因此无法很好地应用于电磁学领域。而且，AMESim 中没有多体动力学库，因此也无法进行多体动力学仿真。

►► 1.3 SimulationX

SimulationX 是由德国 ITI 公司开发的一款分析评价技术系统内各部件相互作用的权威软件，是多学科领域建模、仿真和分析的通用 CAE 工具。面向用户的模块和版本、多功能性

和众多软件接口,使 SimulationX 可以满足用户不同应用领域的各种需求。它在其核心应用领域——所有工业行业中的传动及控制技术,如流体传动、机电传动和电磁驱动等,有超过 20 年的建模与仿真经验。这些技术有效地应用到传动技术、汽车工业、工程机械、能源技术、流体技术、精密仪器、航空航天、船舶工业、机械制造、石油和天然气工业中。

同样的,基于物理模型的图形化、基元化建模方式,SimulationX 使得用户从繁琐的数学建模中解放出来从而专注于物理系统本身的设计,而不需要编写任何程序代码。SimulationX 包含的标准元件库有 1D 力学、3D 多体系统、动力传动系统、液力学(包括管道模型和液压元件设计库)、气动力学(包括管道模型和气动元件设计库)、热力学、热液电子学、电驱动、磁学和控制等。SimulationX 提供了一个标准化、规范化和图形化的二次开发平台 TypeDesigner,使得工程人员不仅可以直接对 SimulationX 所有模型进行修改,还可以基于 Modelica® 语言创建新的模型,并能够把用户自己的 C 代码模型以图形化模块的方式集成进 SimulationX 软件包,从而满足工程中大量非标元件的需求,实现企业自己知识库的积累管理。

SimulationX 是一个开放的仿真平台,提供了大量与其他软件的接口。

1. CAX 接口

该接口使得 SimulationX 的模型与 CAD、CAM、CAE、CAO、FEA、FEM、CFD、MBS 及其他软件顺利兼容。

2. Co 模拟接口

SimulationX 提供的 Co 模拟库包含了能与几乎所有别的仿真工具兼容的万用块。它们通过 TCP/IP 协议来进行链接。预置的可立即使用的 Co 模拟解决方案可以适用于 MATLAB/Simulink、MSC. Adams、Simpack、FLUENT、Cadmould 及其他软件。

3. COM 接口

COM 接口允许 SimulationX 与其他 Windows 应用程序之间进行通信。所有交互执行的操作也可以通过脚本来控制。这一特性对于自定义批处理程序、嵌入式仿真、参数分析或者优化非常有帮助。

4. 数据和模型导入接口

数字数据(1D/2D/3D)和 CAD 文件(3D)都可以被导入到 SimulationX 中。

5. 模型输出接口

该功能包括线性系统模型输出(状态空间模型、ABCDE 矩阵)和 C 代码方式输出的完整 SimulationX 模型,可以生成单机运行代码、Simulink S-function、HiL、RCP 或者 SiL 应用中的目标代码。

6. 优化设计、试验设计(DOE)和六西格玛设计(DFSS)接口

能与 SimulationX 互动的优化设计接口有:iSIGHT-FD、modelFRONTIER 和 OptiY。

Modelica 语言定义和标准库是开放的。由 Modelica 协会进行发展和推广的免费的面向对象建模语言,使得 SimulationX 比其他竞争对手优势更加突出。

多学科领域系统动力学仿真软件 SimulationX 概述

本章从总体上介绍多学科领域系统动力学仿真软件 SimulationX 的开发理念、功能模块、建模方式、仿真分析功能和版本类型等基本内容。

2.1 开发理念

SimulationX 支持全部设计流程，无论是横向的还是纵向的。通过将不同类型子模型的建模与仿真集成在一个环境下，SimulationX 可以进行非常广泛的、复杂零部件和工业设备的系统仿真。通用的数据接口、COM 编程和联合仿真模块实现了计算数据的进一步优化使用，并实现了与 CAD 和 CAE 工具的连接。采用参数、模型、变量和优化接口的数据元，实现了从系统研究到采用真实零部件数据进行设计的成功一步。

SimulationX 统一了不同层次的建模理念。一方面，使用软件提供的学科库中经过验证的标准元件，可以快速有效地创建模型；另一方面，有经验的用户可以使用开放的二次开发平台 TypeDesigner 自由创建自定义元件。面向对象的建模语言 Modelica® 提高了二次开发的效率和安全。Modelica® 语言为建模人员提供了较高的自由度来描述系统和过程。

模型描述的复杂性决定了仿真过程中计算任务的标准。SimulationX 实现了大量的符号解析和数值方法，这使软件表现出较强的计算性能。首先，对模型经过几轮编译，对微分代数方程组进行整体符号分析、指标缩减和简化。然后，将获得的紧凑方程组移交给强大的求解器。默认的求解方法是 BDF 方法，该方法的计算性能较高，即使是对于刚性较大的系统而言。实际上，需要接受工业应用检验的模型总是包含非线性和中断。SimulationX 通过调整精度来处理非连续性。

SimulationX 还包含 CVMODE 求解方法。使用该显式求解器可以节省计算时间，特别是对于具有常微分方程的模型。另外还有一个好处就是，在运行之前，模型和求解器是独立编译的。这大大提高了计算性能，而且与模型无关。

2.2 软件模块

按照学科库的不同，SimulationX3.1 包含的功能模块如表 2.1 所示。

表 2.1 SimulationX3.1 中的功能模块

软件模块	内 容
基本模块和计算	建模和仿真平台 TypeDesigner，用于高级开发（基于 Modelica 编译器），可自定义超模块，使库模型个性化，包括用户模型的加密、封装等

软件模块	内 容	(续)
基本模块和计算	COM 接口 打印驱动 时域瞬态仿真 频域稳态仿真	
机械库	一维转动分析 一维平动分析 与 ANSYS 接口基于模态分析 多体动力库, 包括三维物体的导入和 3D 动画子库、杆梁 弹性体、接触模块	
信号(控制)库	普通信号库 信号源库 线性信号库 非线性信号库 时间离散信号库 特殊信号库 开关库	
动力传动库	发动机库 联轴器和离合器库 变速器库 行星轮库 内燃发动机库 换挡执行机构库 考虑摩擦和齿啮合接触的同步器库	
机电库, 电学库, 磁库	电机库 电学库 磁库 步进电动机库	
流体库, 热力学库	流体库 I (基本元素) 流体库 II (典型液压元件、液压回路、控制阀、液压管路等) 流体库 III (复杂液压元件、液压回路、控制阀、液压管路等) 新流体定义 气体库 I (各种气体) 气体库 II (气体和混合气) 新气体定义 混合气体定义 热力学库 (用于润滑系统、冷却系统、液压网络中的热交换分析) 热力流体 I (单相: 流体 + 气体) 热力流体 II a (两相: 制冷剂 + 冷却 + NIST) 热力流体 II b (两相: 混合, 水 + 湿气) 热力流体 III (理想流体混合物)	
海洋工程库	海洋液压及管道库, 要求 1D 力学库、液压库 III 和信号库	