

Simpack9
RUMEN JIAOCHENG
YU TIELU YINGYONG FANGZHEN

Simpack9

入门教程与铁路应用仿真

周素霞 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

Simpack 9 入门教程

与铁路应用仿真

周素霞 编著

中国铁道出版社

2016年·北京

内 容 简 介

本书主要包括 Simpack 软件介绍、Simpack 软件建模环境、入门实例、提高实例以及 Simpack 铁路应用实例五个章节的内容。通过这些案例,让读者逐步掌握 Simpack 中的主要概念,主要建模方法与分析方法等。

本书可供车辆工程、载运工具运用工程等专业学生学习使用,还可供相关领域研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

Simpack9 入门教程与铁路应用仿真/周素霞编著.

—北京:中国铁道出版社,2016.1

ISBN 978-7-113-21356-5

I. ①S… II. ①周… III. ①机械系统—系统动力学
—应用软件 IV. ①TH113-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 012903 号

书 名:Simpack 9 入门教程与铁路应用仿真

作 者:周素霞 编著

责任编辑:亢丽君

编辑部电话:010-63589185-3097

电子信箱:kanglijun@tqbooks.net

封面设计:时代澄宇

责任校对:荷 丹

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

印 刷:虎彩印艺股份有限公司

版 次:2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:17.75 字数:454 千

书 号:ISBN 978-7-113-21356-5

定 价:52.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

随着我国高速铁路和城市轨道交通的迅猛发展,车辆系统动力学问题也变得相对比较突出。如果单纯依靠传统的方法,已经不能满足复杂问题的需要。为了研究和解决此类问题,越来越多的相关企业事业单位、高等院校、研究机构等把动力学仿真作为其研究工作中的重要一环。随着动力学仿真工具的日益普及,动力学仿真成为一种经济有效、高效快速的可行方法。而源于德宇航(DLR)的 Simpack 软件在轨道交通领域越来越成为一种重要的工具。Simpack 是专家级机械系统动力学性能仿真分析软件,利用该软件可以描述并预测复杂机械系统的运动学和动力学性能,可以分析系统的振动特性,受力状况以及零部件的运动位移、速度、加速度等。其高效的建模、快速稳定的解算器、优秀的二次开发功能等备受用户信赖,在国际上也享有很高的声誉。而 Simpack 9 以后,其界面、操作风格、功能等都发生了巨大的变化,使得用户需要重新适应新的界面、新的风格。

对于车辆工程专业与该方向的学生而言,车辆动力学是不可或缺的一门课程。在他们学好理论的同时,如何利用该理论解决实际问题是十分重要也是十分现实的问题。Simpack 软件可以帮助他们解决应用的问题。同时,该软件在轨道交通方面的强大应用,可以帮助该领域的老师和研究生们以其为基础进行试验、分析,即可节省大量经费又可改善该学科在试验方面的不足。

然而,目前市场上没有专门介绍 Simpack 9 版本在轨道交通方面应用的书籍,特别是在高校,非常多的学生因为没有合适的 Simpack 新版本参考书而异常痛苦。本书是 Simpack 针对最新版本而著,书内的大量案例可以帮助初学者降低学习该软件的难度;同时,该书把读者易生疏的概念和数据得出方法进行单独的讲解,便于读者学习。铁路模块是 Simpack 发展最丰富的模块之一,书中的案例能帮助读者顺利学习该软件在建立轮对、客车和货车模型与分析的方法,能够对城市轨道与铁路方向的学生的学习提供很大的帮助。

本书一共分为 5 章。第 1 章是 Simpack 软件介绍;第 2 章介绍 Simpack 软件建模环境;第 3 章是通过 5 个入门实例来介绍 Simpack 的基本应用;第 4 章是 Simpack 提高实例练习;第 5 章通过 3 个实例来介绍 Simpack 在铁路行业的应用。

本书是在“北京建筑大学学科建设——研究生专业实践创新平台(2014)”支持下完成的,北京交通大学博士研究生薛蕊也在本书的编写过程中做了大量工作。另外,还得到了北京交通大学国家轨道交通技术教育与服务中心朱晓宁、王力、陈希、王洋、刘潇、刘勇、冯力源、朱颂雅、刘伟、康柳江、赵佳昊、闫柏丞等的帮助,在此一并表示感谢。

编者希望用户能够通过此书全方位的了解 Simpack,实际提高使用 Simpack 的技巧及能力。由于编者水平有限以及时间原因,错误在所难免,也希望广大用户批评指正,不胜感激。

编者
2015. 12

目 录

第 1 章	Simpack 软件介绍	1
1.1	关于 Simpact 软件简介	1
1.2	Simpack 软件的模块	2
1.3	Simpack 软件应用领域	12
1.4	Simpack 多体动力学基本概念	17
1.5	OLicense 口令文件的导入	21
第 2 章	Simpack 软件建模环境	23
2.1	Simpack 软件的执行方式	23
2.2	Simpack 软件建模流程	27
2.3	Simpack 软件前处理界面	29
2.4	Simpack 软件后处理界面	39
2.5	Simpack 软件的解算器设置	49
2.6	Simpack 软件中的文件类型	70
2.7	Simpack 软件帮助	71
第 3 章	入门实例	73
3.1	实例 1 三级摆模型	73
3.2	实例 2 带力元的三级摆模型	102
3.3	实例 3 四连杆机构	139
3.4	实例 4 模型导入与子结构	159
3.5	实例 5 模型自动装配	173
第 4 章	提高实例	195
4.1	实例 1 曲柄滑块	195
4.2	实例 2 弹簧振子	206

第5章 Simpack 铁路应用实例	215
5.1 实例1 轮对模型	215
5.2 实例2 客车模型	235
5.3 实例3 货车模型	254
参考文献	277

第1章

Simpack软件介绍

1.1 Simpack 软件简介

Simpack 是一款专家级机械系统动力学性能仿真分析软件,为德国 Simpack AG 公司的旗舰产品。利用 Simpack 软件可以描述并预测复杂机械系统的运动学和动力学性能,可以分析其系统的振动特性、受力状况以及零部件的运动位移、速度、加速度等。其基本原理就是通过搭建包括运动部件、铰接、约束以及力元素等在内的机械系统的动力学模型,利用 Simpack 软件的解算器来获取系统在受到外部激励下的动态响应。

Simpack 软件可以用来仿真模拟现实世界中任何的机械或机电系统,从仅仅只有几个自由度的简单系统到如汽车、火车、飞机、风机等复杂系统,甚至人体、动物的运动均可以利用 Simpack 软件进行人机工程学或生物工程学的模拟仿真,如图 1.1 所示。Simpack 软件可以应用到产品设计、研发、制造到售后服务整个寿命周期(PLM)的任何阶段。

通过采用最新的先进多体动力学解算技术,Simpack 软件提供了同类产品中解算速度最快、精度最高、稳定性最好的求解器,在保证了极高的解算速度和稳定性的同时不失友好的操作特性。同时,Simpack 软件独有的全代码输出以及实时仿真功能,可以实现 HIL(硬件在环)仿真,这也是其他多体动力学软件所不具备的。

Simpack 软件的这些先进特性使其赢得了广大的客户群,如德国宇航局、空客公司、BMW、Daimler Chrysler、Bombardier、Jensen 和 Siemens 等均为 Simpack 软件多年的忠实用户。

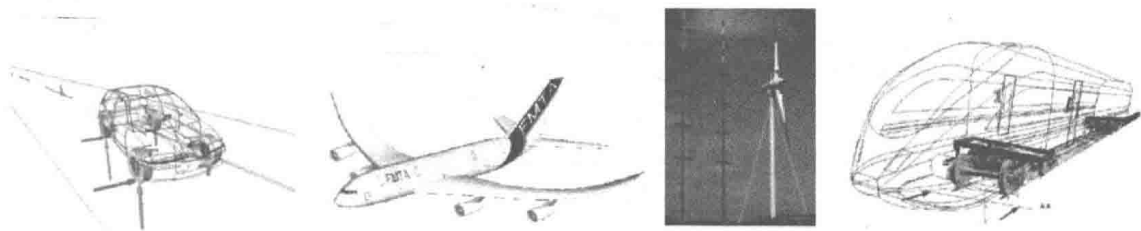


图 1.1 Simpack 软件的应用

1.2 Simpack 软件的模块

Simpack 软件从功能上可以分为:基础模块、通用模块、CAD 软件接口模块、刚柔耦合仿真模块、控制软件接口模块、代码输出模块以及各专业模块等,下面分别对各类模块的功能进行简单介绍。

1.2.1 基础模块(Basic Modules)

Simpack 软件的基础模块由前处理模块(Pre)、运动学及动力学求解模块(Solver)、后处理模块(Post)和导航建模模块(Wizard)构成,为 Simpack 软件的核心模块,其他所有的模块均为基础模块的附加模块。

1. 前处理模块(Pre)

前处理模块可在界面建立图形化的模型,这为初学者提供了方便的建模手段,同时也为高级用户提供了完整的建模控制手段。

Simpack 软件为建立模型提供了非常丰富的建模元素库,包括零件、铰接、约束、力、碰撞、函数、控制元件等等。通过键盘、鼠标完成人机交互式操作,使建模更加快速、高效、准确,极大地减少了建模错误。

通过内置的 CAD 几何建模功能,可以快速地构造各种 3D 几何外形;也可利用 Simpack 的 CAD 接口功能导入任意复杂的 CAD 产品几何外形,这样既可加速建模过程,同时也使得模型外形更为逼真。

Simpack 软件采用先进的子结构建模方式,允许子结构相互嵌套,通过各子结构及主模型之间的信息交换器,实现子结构和主模型之间的自动装配。同时,Simpack 软件所建立的复杂模型,均可以进行参数化,通过鼠标拖动实现模型参数的变量替换过程,操作起来非常方便。

Simpack 软件具有可以自动生成整个模型的二维拓扑图功能,二维拓扑图和三维模型之间可以联动,并且二维拓扑图中所有元素可以编辑、修改,提高用户对复杂模型的建模速度和精度。

2. 求解器(Solver)

当多体系统建立后,软件便能够自动生成其动力学微分方程组。Simpack 求解器的强大之处,体现在以下两个方面:

(1)由于 Simpack 软件采用目前先进的相对坐标系建模,形成的动力学方程组数目最小,因而求解非常快速。当模型的零部件越多,系统的自由度数目越大时,这种建模方法所带来的优势就尤为明显。而其他程序采用绝对坐标系建模方法,所建立的方程组数往往是自由度数的幂次方,其求解速度将急剧降低。而且,Simpack 求解器中提供了大量参数,可供用户在解算复杂模型时调试求解器,以便得到最佳解算方案。

(2)核心的递归算法保证了求解的稳定性和可靠性,即使像车轮脱离轨道再接触这样的强非线性接触问题,Simpack 软件也能轻松处理。

这些性能已经得到涵盖欧洲航天、车辆、军工在内的无数项目的测试与验证。一旦建模

完成,工程师可以利用 Simpack 软件强大的求解器进行各种分析,包括静力学分析、运动学分析、动力学分析、逆动力学分析、频域分析、模态分析、谱分析等,同时仿真结果可以用动画或绘图的形式输出。

除了时域积分以外,Simpack 求解器可快速求解静力学及预应力问题,它不但可以快速寻找到系统的静平衡位置,还可以预测系统处于任意平衡位置所需的条件。同时,标准的求解器还可以进行频域分析,求解系统的固有频率与固有振型。另外,结合 Simpack NVH 模块,还可以在频域内分析系统的频域弹性,解决系统的振动、冲击、噪声等问题。

3. 后处理模块(Post)

无论是时域积分的运动,还是频域求解的振型,在 Simpack 后处理模块中均可以动画显示。同时,动画显示时工程师还可以方便地设置视角所在位置点及视角方向,从任何角度任意层面进行观察系统的运动过程。最后,所有的动画均可录制成高质量视频,供用户后续使用。

除了动画观测了解系统的运动学、动力学性能之外,Simpack 后处理模块还给用户提供了功能非常丰富的曲线作图、曲线输出(如 ASC II, Excel)、曲线输入、曲线编辑、数据分析(如统计、FFT 变换、功率谱密度函数)、数据对比等功能,给用户详细、准确了解系统性能提供了有力的工具。

如果用户在仿真分析后新添加各种测量参数,那么就无需重新计算即可得到新结果,极大地节约了用户调试模型反复计算的时间。

不管是时域仿真的结果,还是频域仿真的结果,通过 Simpack 软件的绘图模板功能,可以轻松实现曲线导入和覆盖功能,使用户能够快速比较和理解不同仿真过程数据之间的相互关系(在 Simpack 模型中增加新的传感器测试,无须重启积分过程,只需要重新做一下测量计算即可)。

4. 导航建模模块(Wizard)

提供基于特定行业的导航建模、分析功能;提供详尽的车辆模型库,通过修改车辆模型库中模型的参数完成快速建模;提供各种工况、台架试验等模型,车辆建完模型后,可以直接选择各种工况模型完成分析及数据后处理过程。

1.2.2 通用模块(General Modules)

使用 Simpack 软件的通用模块,可以满足用户各种不同的仿真需要,如接触碰撞的定义、用户自定义子程序、NVH 分析以及其他一些重要的分析需要。

1. 接触碰撞模块(Contact)

Simpack 软件可提供多种接触碰撞模拟功能(如刚性体接触、柔性体接触等),以模拟部件之间的碰撞问题。用户可定义点对线、线对线(2D)和任意形状表面的接触碰撞,碰撞的几何体可以是 Simpack 软件中定义的几何外形,也可以是从其他 CAD 软件中导入的几何外形;碰撞部件可以是刚性体,也可以是从有限元软件导入的柔性体(需要 FlexCONTACT 模块)。由于 Simpack 软件对求解器增加了一些高级的功能——根函数功能,可以保证在强非线性接触碰撞情况下积分器的精度和效率。接触碰撞模块的主要功能如下:

(1) 2D 和 3D 接触外形描述。

- (2)单点和多点接触。
- (3)柔性体接触。
- (4)从 CAD 软件导入几何外形的接触。
- (5)任意的接触力。
- (6)接触点的摩擦力。
- (7)特殊的自适应数值算法。

2. 用户子程序模块(User)

Simpack 软件的用户子程序模块为二次开发工具,用户可以利用 C 语言或 Fortran 语言定义自己的特殊力学元件(如力元、铰接、约束、时域激励、输入函数、路面、轮轨接触摩擦、输出变量、2D 过滤函数、运动学参考坐标框架、移动 Marker 等)。用户子程序能够在仿真过程中通过 Simpact 软件的函数获取功能(Access Functions)读入数据,这一功能使得用户子程序代码编写更容易实现。用户子程序模块的主要功能如下:

- (1)通过用户子程序扩展 Simpact 软件的功能。
- (2)获取 Simpact 软件库中的所有对象(力元、铰链、后处理之过滤函数等)。
- (3)参数化的模板。
- (4)基于 Fortran 语言或 C 语言的输入。
- (5)用户子程序中可以包含微分方程并使用 Simpact 软件的解算器求解。

3. 控制模块(Control)

目前,机电一体化越来越明显,越来越多的机械系统中都增加了电子控制系统。通过 Simpact 软件的控制模块,用户可以在 Simpact 软件中直接建立闭环的机电控制系统,完成机电一体化仿真。控制模块的主要功能如下:

- (1)激励信号定义和输入(定常量或时变量)。
- (2)传感器信号。
- (3)模拟/数字量转换(A/D 量转换)。
- (4)信号过滤/控制器(传递函数以及标准的 PID 控制)。
- (5)设定值(定常量或时变量)。
- (6)作动力(施加的力和力矩)。

4. NVH 分析模块(NVH)

Simpact 软件的 NVH 分析模块是用户在 Simpact 软件环境下进行系统振动分析的工具。通过 NVH 分析模块,可以将复杂的非线性模型线性化并完成在频域内振动性能分析,因而可以节省大量的计算时间。此外,非线性模型可以在时域内利用各种 NVH 分析方法进行迭代求解,时域分析和频域分析的分析结果可以相互比对,以保证分析方法是适当的。NVH 分析模块的主要功能如下:

- (1)系统频响分析。
- (2)线性系统响应分析。
- (3)功率谱密度分析。
- (4)协方差分析。
- (5)从时域到频域或行驶路程的随机激励分析转化。

(6)线性化运动学分析。

(7)非线性频域通过分析。

Simpack 软件的线性化随机分析主要用于研究随机激励对多体系统的影响。NVH 分析模块中,提供了四种不同的计算方法,都是基于描述系统运动的微分方程的线性化实现的。采用这种方法减少了计算量并充分利用了线性方程特性的优势。Simpack NVH 分析模块的特别之处在于其时域求解中的一些设置,如代码加速器和线性化系统的时域积分,能够减少计算时间的 90%~95%,特别是对于那些具有高频小振幅的模型。

5. 非线性弹性元件模块(Non-linear Elastomere)

非线性弹性模块为 Simpack 软件中的非线性弹性力元,主要用于快速精确的模拟汽车或铁道车辆中常用的橡胶衬套等。非线性弹性模块的主要功能如下:

(1)该力元采用 P. Pfeffer 最新研究成果,其特性与频率、幅值有关。

(2)描述该力元需要输入的参数数量较少,主要是为了减少试验测试方面的费用,其他必需的参数能够自动生成。

(3)该弹性件 6 个力分量均可以考虑。

(4)借助 Simpack 软件独特的解算算法实现快速精确的计算。

(5)提供默认的预置参数,便于添加该力元。

6. 动态衬套模块(Dynamic Bushing)

动态衬套模块为 Simpack 软件中的非线性弹性力元,主要用于快速精确的模拟汽车或铁道车辆中悬架常用的液力悬挂等。

7. 阶次分析模块(Order Analysis)

阶次分析模块为 Simpack 后处理中提供的一个进行阶次分析的功能,通过该模块可以完成仿真数据后处理过程的阶次分析及坎贝尔图的生成。

1.2.3 CAD 接口模块(CAD Interfaces)

1. CATIA V5 接口模型输出模块(CATSIM V5 Creator)

Simpack 与 CATIA V5 接口,用于将动力学模型从 CATIA V5 环境导出。

2. CATIA V5 接口运行模块(CATSIM V5 Runtime)

Simpack 与 CATIA V5 接口,可以集成于 CATIA CAD 环境下直接进行动力学模型的解算。

3. Pro/E 接口模块(ProSIM)

Simpack 与 Pro/ENGINEER 接口模块,用于在 Pro/E 环境下建立并仿真多体动力学模型。

1.2.4 刚柔耦合仿真模块(Flexible Body Simulation Modules)

1. 离散梁模块(SIMBEAM)

Simpack 软件的离散梁模块为在 Simpack 软件中建立类似于有限元离散梁结构模型的前处理模块,使用此模块不需要有限元软件,但需要有限元接口模块(FlexModal)。使用离

散梁模块,用户可以交互式建立三维弹性梁式结构,方便直观地构筑柔性体。

该模块在建立 Simpack 模型前处理中可以直接使用,通常用于车辆系统中的钢板弹簧、抗扭梁和风机系统中的叶片等梁结构,或在铁道车辆的车体初始设计中使用。在 Simpack 软件中,3D 离散梁使用模态叠加方法模拟,可以保证该部件弹性的解算效率和精度。

2. 有限元接口模块(FlexModal)

Simpack 软件的有限元模型接口模块可以为 Abaqus、Ansys、Ideas、MSC. Nastran、NX Nastran、Permas、Adina 等有限元软件提供接口。

3. 柔性体碰撞模块(FlexContact)

柔性体碰撞模块为 Simpack 软件中用于柔性体接触碰撞的分析模块,需要 Simpack FlexModal 命令支持。对于已经购买了 Simpack 接触碰撞模块的用户,可以升级为 Simpack 柔性体碰撞模块。

4. 静载荷模块(Loads Static)

静载荷模块为 Simpack 和 FEM(有限元分析)软件接口工具,可以将 Simpack 软件中计算得到的载荷输出给有限元软件(如 Ansys、MSC. Nastran、NX Nastran 等),进行结构件的静态应力计算。

5. 载荷应力、应变模块(LOADS Stress&Strain)

载荷应力、应变模块为 Simpack 和 FEM 软件接口工具,用于在 Simpack 软件中直接计算零部件的动态应力、应变并通过云图显示方式展现该部件的动态应力应变情况。

6. 载荷疲劳模块(LOADS Durability)

载荷疲劳模块为 Simpack 软件和疲劳分析软件的接口工具,可以输出某个零部件的应力—时间历程数据,用于疲劳分析软件 FEMFAT 和 FAT4FEM 的疲劳特性计算,需要载荷应力应变模块支持。

7. 弹性轨道模块(FlexTrack)

弹性轨道模块主要用于汽车或铁道车辆动力学仿真分析中弹性线路对车辆动力学性能影响的分析。

8. 疲劳分析模块(FAT4FEM)

疲劳分析模块为内嵌在 Simpack 软件下的零部件疲劳分析工具,可以直接在 Simpack 中进行零部件级的疲劳特性分析。

1.2.5 控制软件接口模块(CACE Software Interfaces)

1. SIMAT 模块

Simpack 与 MATLAB/Simulink 接口模块,用于将 Simpack 软件的动力学模型导入到 MATLAB/Simulink 环境下,直接使用 MATLAB 解算器进行机电一体化分析。

2. MATSIM 模块

MATLAB/Simulink 与 Simpack 接口模块(需要 Simpack Controls 模块支持),用于将 MATLAB/Simulink 的控制系统模型导入到 Simpack 软件环境下,使用 Simpack 软件的解算器进行机电一体化分析。

3. 内部进程通信模块(IPC)

标准的内部进程通信(Inter Process Communication, IPC)方式,便于 Simpack 用户进行高级机电系统研究,可使其与其他 CAE 软件或者自身软件集成。

1.2.6 全新的代码输出模块(Code Export Modules)

Simpack 代码输出模块是 Simpack 的附加模块。利用代码输出功能,在 Simpack 中生成的动力学方程可以输出为源代码形式。而这些输出的代码可以编译,链接成可独立运行的程序,还能集成到非多体环境中,比如控制或液压仿真工具中。这就可以使那些不熟悉多体理论的工程人员,在其熟悉的开发环境中提供复杂多体模型。

Simpack 软件代码输出功能使用了高级而有效的处理方法,从而确保模型输出代码的质量。因为 Simpack 求解器可以跟随模型一同输出,即代码输出功能可以将 Simpack 优秀的求解器带到软件在环仿真和硬件在环仿真领域,这就拓展了多体仿真模型在实时环境中的应用。并且为了满足实时应用 Simpack 软件代码输出功能,相关的建模元素和建模方法都进行了特殊开发,因此计算时间大大降低,仿真速度得到极大提升。代码输出模块的主要功能如下:

(1)用于实时仿真(Simpack RT)。

(2)用于软件在环(Software-in-the-Loop, SIL)仿真,即将 Simpack 的模型集成于 MATLAB 或 SIMULINK 下。

(3)用于在其他外部环境下的全参数化模型。

(4)处理在非 MBS 环境下的 Simpack 模型,如在 Excel 下模型前后处理过程。

1. 模型导入模块(FMI)

模型导入模块用于外部控制、液压等系统模型的输入和联合仿真模块,支持 SimulationX、Dymola、Amesim、DSHplus 等,需要 Simpack Control 模块支持。

2. 模型导出模块(FMU)

模型导出模块用于输出和执行机械系统的动力学模型。通过这种方式,可以将在 Simpack 中建立的机械系统动力学模型输出为 MATLAB 能够加载和执行的 S-Function;输出到 EXCEL 表格等。

3. 实时仿真模块(Simpack RT)

实时仿真模块是 Simpack 全新开发的一种具有可以跨越实时硬件机系统及操作环境、支持并行、高效利用最新处理器强大性能等功能的模块。其主要特点如下:

(1)支持 Simpack 所有的建模单元,包括各种刚性体、柔性体、力元等。

(2)支持并行,以满足大规模模型的实时性要求。

(3)可以显示实时动画,在实时仿真的过程中,动力学模型的运动可以在 Simpack 下实时显示。

(4)支持置换变量的输出,所有的建模元素,包括位置、刚度、阻尼等均可实现参数化,这些参数也均可输出。

(5)支持最新的硬件系统。

1.2.7 汽车模块(Automotive)

Simpack 采用开放式模型结构,模型中每个零件或子结构都可以针对分析内容进行修改。在 Simpack 中,通过零件和子结构建模可以快速地建立轿车、摩托车、卡车、客车模型,并进行高速、高精度的求解。可以进行车辆操纵稳性、平顺性、NVH、软件在环(SIL)、人在环(MIL)及硬件在环(HIL)等仿真。

使用 Simpack 车辆专业特有的建模元素,可以建立详尽的零部件、整车模型和各种分析工况,而且, Simpack 车辆模块还包含各种预定义的全参数化和可客户化模型数据库(子结构),通过数据库,使得建模过程更为简便、流畅和快捷,也使得对各种标准的分析后处理过程的定义和执行可以自动化实现。这些都得益于 Simpack 软件的开放式架构和不同应用行业所关注的问题,各种各样的仿真分析过程和应用范围得以扩展,同时,与第三方公司的集成模块进行组合,如第三方轮胎模块 TM-Easy、TNO-SWIFT、F-Tire 和刚弹耦合、弹性元件、用户子程序、控制接口(SIL)、代码输出(HIL)等,完成更多复杂的分析, Simpack 汽车模块与 Simpack 的其他模块兼容,可以在统一界面下使用。

作为高端的专家级多体仿真软件,在 Simpack 车辆模块中有许多特殊的多体仿真建模元素可供调用,包括:

- (1)基于频率和幅值的物理参数的力元。
- (2)基于对力元的描述,并进行测量生成后处理结果。
- (3)黏滑摩擦力元。
- (4)高频舒适性和耐久性轮胎力元。
- (5)详细的空气弹簧模型。
- (6)基于单元梁的钢板弹簧,具有接触和摩擦属性。
- (7)用户自定义元素。

1. (TNO MF-Tyre)*

在 Simpack 软件中用于操纵稳定性分析的轮胎模型。TNO MF-Tyre 模型是一种对处于稳态和瞬变形为下的轮胎进行仿真的半经验性的方法。

2. TNO MF-SWIFT*

在 Simpack 软件中用于操纵稳定性、平顺性和舒适性分析的轮胎模型,包含部分 TNO MF-Tyre 功能。此外,该模型还采用了一种钢环模型,该模型可将轮胎部分的行为等同于刚体的运动。

3. TM Easy Tyre *

在 Simpack 软件中用于操纵稳定性分析的轮胎模型。该模型在车辆动力学分析中是一种半物理性的简单易用的模型,但并不常使用。在该模型中,其参数的直接的物理含义很容易便能分辨出。

注:“*”为第三方产品。

4. FTire 接口模块

在 Simpack 软件中与 FTire 轮胎模型的接口。

5. FTire 模块*

在 Simpack 软件中用于平顺性、舒适性和耐久性分析的轮胎模型。为了车辆行驶舒适性和动力学仿真,该模块将轮胎设置为柔性体模型,具有完全非线性的特征。

6. CDTire 接口模块

在 Simpack 软件中与 CDTire 轮胎模型的接口。

7. CDTire 模块*

在 Simpack 软件中用于操纵稳定性、平顺性、舒适性和耐久性分析的轮胎模型(不含摩托车轮胎模型)。

8. 虚拟悬架模块(Virtual Suspension)

虚拟悬架模块在 Simpack 软件中主要用于概念设计阶段悬架参数的选取和性能匹配。

1.2.8 铁路模块(Rail Modules)

Simpack Wheel/Rail 模块是德国宇航中心(DLR)集 20 多年轮/轨接触模拟的经验和现代先进的模拟技术于一体的技术结晶,是世界领先的轨道车辆动力学仿真工具。由于 Simpack 自身开放和非常灵活的建模概念,使 Simpack 软件可以支持任何设计思路,无论从单个车轮还是到主动/被动系统,并使用户将精力致力于所计划的创新开发工作上。

1. 铁路模块

铁路模块包含道岔模块,在 Simpack 软件中使用该模块进行铁道车辆动力学模型的建立和仿真分析。

2. 铁路磨耗分析模块(需要 Rail 和 User 模块)

在 Simpack 软件中使用该模块进行铁道车辆轮轨磨耗的仿真分析。

1.2.9 传动系模块(Drive Line Modules)

1. 传动系分析模块 1(Drive Line Selection 1)

传动系分析模块 1 包含: FE053 Cardan Joint、Force 59 Const. Velocity Joint、FE056 Differential Gear Box、FE057 Planetary Gear 等建模单元。

2. 传动系分析模块 2(Drive Line Selection 2)

传动系分析模块 2 包含: FE058 Cardan Shaft、FE054 Const. Velocity Shaft、FE067 Gearbox Synchronising 等建模单元(不需要 Drive Line Selection 1)。

3. 齿轮传动模块(Gear Pair)

齿轮传动模块主要用于齿轮传动的建模和分析,其中包含齿轮相关的建模和分析功能,

注:“*”为第三方产品。

主要用于各类渐开线齿轮的建模、仿真以及后处理数据的计算和输出。

4. 带传动模块(Belt)

带传动模块主要用于带传动的建模和分析。

5. 花键联轴器模块(Shaft Coupling)

花键联轴器模块主要用于传动系统中齿型花键联轴器的建模和分析。

1.2.10 风机模块(Wind Modules)

1. 风机叶片模块(Rotorblade)

风机叶片模块用于 Simpack 风机建模中风机叶片的生成(需要 Simbeam 和 FlexModal 模块),通过输入叶片相关参数,直接在 Simpack 中生成叶片的离散梁结构模型。

2. NREL 气动接口模块(NREL)

NREL 气动接口模块为 Simpack 风机仿真中与 AeroDyn V13 的接口,主要用于风机的零部件动态载荷的计算。

3. ECN 气动接口模块(ECN)

ECN 气动接口模块为 Simpack 风机仿真中与 AeroModule (ECN)的接口,主要用于风机的零部件动态载荷的计算。

4. 风机控制接口模块(Wind Turbine Control Interface)

风机控制接口模块为 Simpack 风机仿真中控制模块,该模块包含 MITA-Teknik 3MW 控制器的例子。

1.2.11 发动机模块(Engine Modules)

发动机模块包括创建详细发动机模型的建模元素,可以进行单个部件分析,也可进行完整的动力学耦合发动机研究。所有的发动机部件从气门机构(动力学气门弹簧、弹性接触等)和正时机构(链条、齿轮等)到曲柄机构(弹性曲轴、液力轴承等)都可快速的组合。使用 Simpack 的参数化和子结构建模技术,可以高效快捷地创建模型。由于 Simpack 数据结构和建模元素统一且兼容,如车辆模块与发动机模块兼容,因此便于进行数据的连接和交换。

Simpack 将一向著称的精确性能引入到发动机模拟领域。只需少量建模工作就可用来预估结构载荷、耐久性、振动以及发动机设计时所需的各种性能。

Simpack 发动机模块为最新技术的气门、曲柄机构、正时机构、径向滑动轴承、链条和弹性体等提供了专业化的设计工具。可在 Simpack 环境中实现整个发动机和传动系的模拟。简便的全参数化标准发动机模型库可使用户迅速获取模拟结果,这个模型库可在标准 Simpack界面上进行用户化定制和增强。

1. 液压间隙调整装置模块(Hydraulic Lash Adjuster, HLA)

液压间隙调整装置模块主要用于发动机正时机构和配气机构中动态液压间隙调整装置

的模拟,可以分析液压间隙调整装置中几何参数、油液特性等产生的影响。

2. 气门弹簧模块 1 (Valve Spring, Multi Mass Model)

气门弹簧模块 1 主要用于配气机构中弹簧的模拟,该模块采用离散方法(多质量模型),将弹簧考虑为 1D 的多质量点气门弹簧模型,可以分析弹簧纵向拉伸的动态变化对气门闭合特性产生的影响。

3. 气门弹簧模块 2 (Valve Spring, SIMBEAM Model + Segment Multi Mass Model)

气门弹簧模块 2 主要用于配气机构中弹簧的模拟,该模块采用离散方法(连续梁+多质量模型),将弹簧考虑为 3D 的多质量点气门弹簧模型,可以分析弹簧横向弯曲和纵向拉伸的动态变化对气门闭合特性产生的影响,需要 Simbeam 和 FlexModal 模块辅助完成。

4. 气缸力模块 (Gas Force)

气缸力模块主要用于发动机中气缸爆发压力的模拟(需要 Control 模块),结合 DSH-Plus 软件的共轨喷油模型,可以模拟发动机不同的喷油顺序对发动机输出扭矩的影响。

5. 链传动模块 (Chain)

链传动模块用于发动机正时链传动机构中链条的建模和分析,包含 Roller Chain、Silent/Tooth Chain、Smart Chain 等不同的链条模型。

1.2.12 弹性动压滑动轴承模块 (Bearing Modules)

1. 径向轴承模块 (Journal Bearing)

径向轴承模块主要用于径向轴承的模拟。

2. Tower 接口模块 1 (Interface to Tower Module HD Impedance 1) *

Tower 接口模块 1 为 Simpack 与采用阻抗法描述的动态液压滑动轴承阻抗模型的接口模块。

3. Tower 阻抗模块 (Tower Module HD Impedance) *

Tower 阻抗模块为采用阻抗法描述的动态液压滑动轴承模块。该模型采用插值方法描述柱型滑动轴承,只能考虑轴向等间隙情形,即不考虑转动轴的倾斜。

4. Tower 接口模块 2 (Interface to Tower Module HD Reynolds 2) *

Tower 接口模块 2 为 Simpack 与采用雷诺法描述的动态液压滑动轴承雷诺模型的接口模块。

5. Tower 雷诺模块 (Tower Module HD Reynolds) *

Tower 雷诺模块为采用雷诺方程描述的动态液压滑动轴承模块。该模型采用在线有限元方法描述柱型滑动轴承,考虑油槽、边界、转动轴出现倾斜的影响。

6. Tower 接口模块 3 (Interface to Tower Module Full EHD 3) *

Tower 接口模块 3 为 Simpack 与 Tower 动态液压滑动轴承完整模型的接口模块。

注:“*”为第三方产品。