

文章编号: 2095-2163(2021)03-0164-03

中图分类号: TM715

文献标志码:A

电磁仿真软件总体设计技术

王丽娜

(电科院, 北京 100040)

摘要: 通过调研分析国外电磁仿真软件的架构设计方案, 并充分考虑国内重大工程应用的特点和难点, 设计了电磁计算软件系统架构。电磁计算软件系统分为积分方程子系统和微分方程子系统, 主要由3个功能模块组成, 包括前处理模块、计算模块和后处理模块。可实现几何建模、参数设置、材料赋值、网格生成、电磁计算、数据后处理等完整电磁仿真流程。

关键词: 电磁仿真; 电磁计算; 数据分析

General design technology of electromagnetic simulation software

WANG Lina

(China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100040, China)

【Abstract】 Through investigation and analysis of the architecture design of foreign electromagnetic simulation software, and fully considering the characteristics and difficulties of domestic major engineering applications, the architecture of electromagnetic calculation software system is designed. Electromagnetic calculation software system is divided into integral equation subsystem and differential equation subsystem, which mainly consists of three functional modules, including pre-processing module, calculation module and post-processing module. It can realize geometric modeling, parameter setting, material assignment, grid generation, electromagnetic calculation, data post-processing and other complete electromagnetic simulation process.

【Key words】 electromagnetic simulation; electromagnetic calculation; data analysis

0 引言

军用和民用领域对电磁仿真软件都有巨大需求。国内在计算电磁学算法方面拥有较好的研究基础, 并于近些年突破了部分大规模并行电磁计算关键技术, 但国内电磁算法的软件化程度不足, 难以对科研机构进行推广使用。由于国产电磁仿真软件发展滞后, 国外中低端电磁仿真软件垄断了国内市场。然而, 这些中低端电磁仿真软件只能满足小规模部件级仿真需求, 无法满足大规模系统级工业仿真需求, 并且存在禁运风险以及安全隐患。与此同时, 国外对高端军用电磁仿真软件严格封锁。可见, 系统级精确电磁仿真能力不足、国产电磁仿真软件发展滞后的现状已经严重制约国内新型信息化装备的电磁分析与设计能力。

近年来, 受益于国产超级计算机的迅猛发展, 国内高性能电磁计算方法和技术发展迅速, 电磁计算能力稳步提升, 这为国产电磁仿真软件的发展提供了契机。本项目在前期研究工作基础上, 以“高、精、尖”为目标, 通过对比分析国外成熟商业电磁软

件的架构设计方案, 并考虑本项目大规模并行电磁计算的优势, 设计涵盖积分方程法与微分方程法的电磁软件架构, 为研制出具有自主知识产权、安全可控的大规模系统级精确电磁计算软件提供保障。

电磁软件架构设计遵循以下原则:

(1) 满足几何建模、参数录入、网格生成、电磁计算、数据分析等功能性需求, 同时满足稳定性、易用性等非功能性需求。这是电磁仿真软件的基本要求, 也是软件架构设计时应该遵循的基本原则。

(2) 实用性原则, 能精确计算金属、介质模型的电磁散射、辐射、耦合特性, 架构设计也必须实用, 否则就会“过度设计”或“脱离实际”。

(3) 满足前后处理、网格生成等模块的复用要求, 最大程度地提高开发人员的工作效率。

1 国外商业软件架构分析

经过二十余年发展, 国外研发了多款商业电磁仿真软件。其中, Altair FEKO 是积分方程法商业软件的代表, ANSYS HFSS 是微分方程法商业软件的代表。通过分析国外电磁仿真软件的架构设计方

作者简介: 王丽娜(1983-), 女, 学士, 助理工程师, 主要研究方向: 预警总体技术、信息融合与处理技术。

通讯作者: 王丽娜 Email: 49031161@qq.com

收稿日期: 2021-01-30

案,并充分考虑国内重大工程应用的特点和难点,设计形成软件整体架构。

电磁仿真软件的操作流程一般可分为5步:几何建模与网格生成,材料、负载与边界的设置,激励源设置,仿真计算和数据后处理。电磁仿真软件架构通常会围绕这5部分展开,而根据不同的算法,软件架构在具体实现上有差异。下面对2款代表性商业软件的架构进行分析。

1.1 FEKO 软件

FEKO 是美国 Altair 公司的一款以低阶矩量法 (MoM) 及快速多极子方法 (FMM) 为主的高频电磁场仿真软件,其将几何模型剖分为三角形网格,通过直接求解或迭代求解进行仿真计算。

该软件的特点是适合计算中小电尺寸电磁问题,尤其擅长金属、均匀介质模型的散射特性计算。该软件的 MoM、FMM 均使用面网格离散模型表面,在计算体积大、表面积小的模型时有优势,同时软件还具有核外求解技术,可以在内存不足时将硬盘纳入计算过程,有效扩大计算规模。该软件界面简洁合理,通过伪代码方式增强了电磁算法的可操作性,人机交互性能较好。FEKO 软件的交互界面如图 1 所示。由图 1 可见,操作栏用于控制整个仿真流程,模型与定义栏用于显示模型组件、设置激励与边界条件等输入参数,模型细节树给出模型详细的线、面、材料等信息,模型窗口是模型可视化的区域,状态栏显示软件运行状态。

需要指出,FEKO 软件的并行电磁算法可扩展性有限、不支持区域分解算法,导致计算能力不足;对于复杂曲线、曲面模型的建模能力较差,千万量级以上的网格生成效率低,需要借助第三方软件完成复杂模型建模和网格生成;数据量、网格量较大时,存在可视化不流畅、操作卡顿等问题。

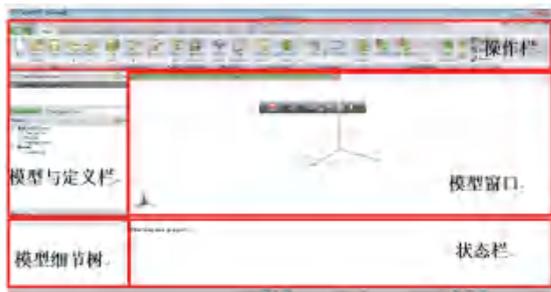


图 1 国外商业软件 FEKO 7.0 界面截图

Fig. 1 Screen shot of foreign commercial FEKO 7.0 software interface

1.2 HFSS 软件

HFSS 是美国 ANSYS 公司的一款以有限元法

(FEM) 为核心的高频电磁仿真软件。软件将模型离散为四面体网格,进而进行有限元求解。

该软件的自适应网格技术使其对复杂精细结构的建模能力非常强,适合用于复杂天线模型的辐射与耦合问题仿真。作为国内市场占有率非常高的商业电磁仿真软件之一,其用户交互界面友好,参数设置方便快捷,自动化程度高,易用性很强。HFSS 的交互界面如图 2 所示。操作栏用于控制整个仿真流程,工程管理栏可以管理多个工程且方便定义工程之间的联动,属性栏给出操作对象的具体属性,模型窗口和模型树显示模型信息,信息栏和进程栏给出软件提示信息和运行状态。

作为微分方程法,有限元法离散电大模型产生的网格量和计算量通常非常大,因而该软件对于大型阵列天线辐射特性、电大尺寸目标散射特性的计算能力不足。对于大型电磁问题,有限元法大规模稀疏矩阵方程的求解极其耗时。虽然使用并行计算技术能够在一定程度上提升稀疏矩阵方程求解能力,但稀疏矩阵方程的并行求解算法可扩展性有限。更重要的是,该软件的并行计算版本费用高昂,性价比低。

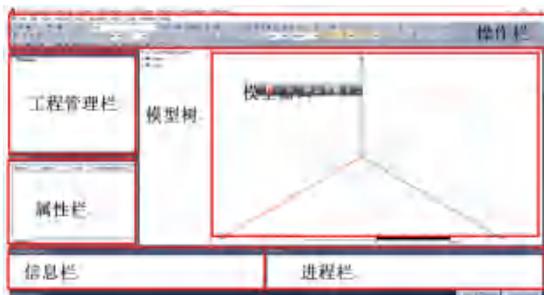


图 2 国外商业软件 HFSS 18.1 界面截图

Fig. 2 Screen shot of foreign commercial HFSS 18.1 software interface

2 总体设计

2.1 总体架构设计

通过调研分析国外电磁仿真软件的架构设计方案,并充分考虑国内重大工程应用的特点和难点,国产电磁计算软件总体架构设想如下。软件架构包含应用控制层、通用功能层、电磁建模层、电磁算法层、数据分析层等。其中,电磁算法层是整个系统的核心部分,包含多种核心求解算法方案。

该软件具备仿真多类电磁问题的能力,对此拟展开分述如下。

(1) 精确计算多种形式天线的近场、远场(增益)等电磁数据,用于复杂大型天线分析与设计、天

线与载体平台综合设计。

(2)精确计算电大尺寸目标的雷达散射截面(RCS),用于目标特性分析。

(3)精确计算耦合模型的网络参数(S参数等),用于电磁兼容问题分析、天线与微波器件设计。

2.2 功能描述

电磁仿真软件基本功能和适用的电磁问题如图3所示。

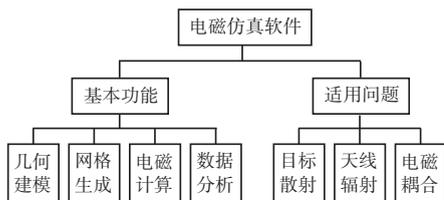


图3 软件功能描述

Fig. 3 Software function description

由图3可知,在软件设计层面,电磁仿真软件包含几何建模、网格生成、电磁计算、数据分析等基本功能。其中,几何建模主要指实现仿真目标几何模型构建的功能,支持用户自主建立模型以及从外部导入几何模型,并支持模型修改、删除等功能,用户可以设置模型面、体的材料参数等。网格生成是把已经建立并包含材料、边界、负载、激励源等属性的几何模型离散成电磁算法可计算的网格信息的功能。电磁计算是指完成模型电磁仿真的功能。数据分析主要指对电磁计算得到的结果进行数据可视化、对比分析以及导入导出等功能,数据可视化包括三维图显示、二维图显示以及动态显示等。

在软件应用层面,软件可解决目标散射问题、天线辐射问题以及电磁耦合问题。目标散射特性计算主要指目标的雷达散射截面(RCS)计算,用以判断飞机、舰船等目标的散射特性或隐身性能。目标散射特性计算需要平面波激励源。天线辐射特性计算主要指天线的增益、主瓣宽度、副瓣电平、近场、S参数等计算。软件需要支持天线的典型激励源,如天线的delta源、波导缝隙天线的波端口激励源、微带天线的同轴激励源等。电磁耦合特性计算指天线、微波器件等端口的耦合参数(例如S参数)计算。电磁耦合问题的端口一般也是波端口。

2.3 软件组成

电磁仿真软件主要由3个功能模块组成,详见表1。由表1分析可知,用户通过前处理模块建立需要仿真的几何模型,并利用网格生成模块将几何模型剖分为网格模型。前处理模块将网格信息和用户设置的电磁参数传输给电磁算法模块。当用户确

认几何模型和电磁参数设置无误后即可执行运行指令,运行指令将根据用户选择的电磁算法和运行方式(串行、并行)调用相应的电磁算法模块进行计算。软件完成计算任务后将计算结果按统一的格式输出到指定文件中,用户通过后处理模块对计算结果数据进行可视化和分析。

表1 软件主要功能模块

Tab. 1 Description of main functions of the software

模块名称	模块功能
前处理模块	建立几何模型、设置电磁参数、网格生成等
计算模块	读取网格模型、配置参数,执行计算任务,输出结果数据
后处理模块	读取结果数据,对数据进行可视化、分析处理、导入导出

前处理模块包含几何建模、基本参数设置、材料属性设置、负载与边界设置以及激励源设置,主要负责电磁仿真模型的构建。根据不同的电磁问题类型,在建立的模型中设置不同的激励源和边界条件。通过网格生成获取电磁网格模型,结合所设置的电磁参数,输出电磁算法模块所需的输入参数,调用相应的电磁算法模块完成计算任务后,得到计算结果数据,并调用后处理模块对结果数据进行可视化和分析后,即完成整个电磁问题的仿真。整个仿真过程中,每个模块都可以通过所定义的接口与其他模块进行交互。

3 结束语

通过调研分析国外电磁仿真软件的架构设计方案,并充分考虑国内重大工程应用的特点和难点,设计了电磁计算软件系统架构。电磁计算软件系统分为积分方程法子系统和微分方程法子系统,主要由3个功能模块组成,包括前处理模块、计算模块和后处理模块。可实现几何建模、参数设置、材料赋值、网格生成、电磁计算、数据后处理等完整电磁仿真流程。

在后续软件研制过程中,将根据新出现的重大应用需求对软件架构进行持续改进,实现可持续发展。

参考文献

- [1] 张昭,肖高标.基于时域广义传输矩阵方法的电磁仿真软件的研究与设计[J].电子技术,2016,45(6):90-92,85.
- [2] 刘兵.电磁仿真软件CST和HFSS模型接口软件的设计[D].西安:西安电子科技大学,2013.
- [3] 王洪.电磁仿真软件HFSS在天线设计中的应用[J].福建电脑,2010,26(9):20-21.
- [4] 计雷雷.基于电磁仿真软件的有源天线设计[D].天津:天津职业技术师范大学,2014.
- [5] 吴秉横,刘元云,顾昊,等.电磁仿真软件在天线罩电气性能分析中的应用[J].制导与引信,2011,32(2):39-42.