

一篇文章了解计算机辅助工程CAE

原创 邓子平 [多物理场仿真技术](#)

收录于合集

#CAE 9

#工业软件杂文系列 23

#多物理场仿真技术 4

#CAD 9

#仿真研发工具 25



“CAE”软件今年首次出现在政府科技工作规划中，实属不容易，2019年的旧文章再发一次，老朋友可忽略

之前就有过想写一篇关于CAE的科普文，缘起是看到很多以CAE为标题的文章，内容围绕某一门学科，某一个行业，或者某种仿真软件介绍，有一定的局限性。CAE涉及的领域很广，只深入某个方面讲难以有全局观，泛泛而谈又没有重点。好在写过一系列关于CAE仿真的技术和行业文章，结合笔者十多年的工业软件研发经历，希望本文给读者带来对CAE领域不同的认知和理解。

计算机辅助工程

Computer Aided Engineering，简称CAE，广义上讲，凡涉及到利用计算机解决工程问题，都可以纳入CAE的范畴。在实际应用中CAD，CAM，CFD，EDA，TCAD，CAPP，计算机辅助优化，高性能计算等所定义的范畴和CAE交叉或者紧密相连。

Wiki里对CAE解释道：

CAE在广义上用来描述计算机技术在工程中的使用，而不仅仅是工程分析。该词由SDRC的创始人1970年代后期提出，但是今天通过术语CAx和PLM（Product Lifecycle Management）更好地了解了此定义。

随着行业细分领域的发展，比如EDA，CFD发展出独立的分支，CAE的概念也在逐步弱化和抽象，现在人们通常所说的CAE主要指利用计算机仿真分析来帮助或者解决实际工程应用中的查验，设计，验证，优化等问题。在谈到CAE时，有可能是指CAD，EDA，CFD，TCAD或者结构动力分析，

热分析，电磁分析，耦合分析等等其中一种或多种。用某些行业领域或者学科来等价CAE是不太准确的。狭义上的CAE，更多是指利用CAE软件进行仿真优化分析。

讨论以下几个方面：

1.CAE的地位和作用

2.CAE软件的发展

3.CAE软件的选择和使用

4.CAE国内发展和前景

5.CAE软件的核心技术和未来发展趋势

6. 国内CAE研发的一些想法

1.CAE的地位和作用

CAE在制造业里或者科技领域的地位可以说是举足轻重，更有四两拨千斤的作用。举三个大家都相对熟悉的例子：汽车，航空发动机，芯片。

1.汽车

汽车在设计中有两个很重要的设计点：NVH和风阻。NVH是噪声、振动与声振粗糙度（Noise、Vibration、Harshness）的英文缩写，这是衡量汽车制造质量的一个综合性问题，能够直观反映出乘坐汽车时的舒适度，汽车公司约有20%的研发费用在解决NVH问题上。NVH问题在汽车的任何部位都可能产生，是一个综合性的问题，所以在设计之初就要考虑到。对于一款没有原型的新车，是无法得到NVH的相关数据的，只能依靠数值计算模拟，也就是利用CAE软件建模，然后仿真分析，模拟可能出现的NVH问题，再生产出原型，加以验证，修改计算机模型，再仿真，如此反复迭代，最终达到一个理想的效果。但事实上因为工艺，零件质量，加工质量，设计缺陷等客观原因，NVH问题仍然无法完全避免。

汽车高速行驶中，风产生的阻力会快速上升，增加油耗，同时对车身稳定性产生影响。在车身设计中，利用目前的商业CFD软件，能很好的模拟风阻对汽车的影响，优化车身外形，从而减少实际风洞试验的次数，降低研发成本。

2.商业航空发动机

之所以加上商业，是因为可以通过不计成本的暴力试验，让发动机达到一个可用的水平，就类似米格25发动机，超高速飞行太多，发动机就报废了。商用最重要的还是要讲究可靠性，稳定性以及性价比。

航空发动机研制涉及气动力学、传热学、材料力学、理论力学、流体力学、断裂力学、弹性力学、机械动力学等诸多学科，是牛顿力学时代所有力学的集大成，是所有科技成果的结晶。航空发动机是气动、燃烧、传热、控制、机械传动、结构、强度、材料等多种学科或专业综合优化的结果。航空发动机包括难度极大的多个部件，各个部件在高温、高压、高转速的复杂环境下工作且相互影响很大，加之高性能、长寿命、高可靠、轻重量、隐身、经济性、安全性等要求和日益苛刻的环保性约束，已经成为一个逼近极限的综合性产品。

所以在设计发动机时，不仅需要使用CAE分析软件进行不同类型的仿真分析，还要考虑到各种苛刻的材料，空间，性能，工艺等各种约束条件。抛开制造不谈，发动机设计本身就是一个包含多学科，多优化，多尺度，多物理场的工作。**可以毫不夸张的说，离开CAE，商业航空发动机研发根本无从下手。**

3.芯片

芯片的典型研发流程是1.架构设计2.验证 3.流片 4. 批量生产，在第1,2环节，主要依赖EDA软件和工具套件，EDA是电子设计自动化(Electronics Design Automation)的缩写，也隶属于CAE的范畴，是针对电子产品的自动设计，这里的自动是指使用计算机技术和软件算法工具，给出预定义条件下的最优核心设计。比如大规模的PCB布线，高频电磁信号仿真等工作，必须依赖相应的软件工具，无法人工进行。第3个流片环节是耗时耗钱的一项工作。流片就是设计完后试生产，由芯片代工厂小批量生产一些，供测试用。它看起来是芯片制造，但实际属于芯片设计行业，由于其行业特点，每次流片成本相当高。根据美国一家非营利性多项目晶圆服务组织CMP的服务报价，以业内裸芯（die）面积最小的处理器高通骁龙855为例（尺寸为8.48毫米×8.64毫米，面积为73.27平方毫米），用28纳米制程流片一次的标准价格近400万元人民币，芯片设计企业可以拿到约25个裸芯，平均每个16万元！并且流片并不是一次性的事，流片失败，需要修改后再次流片；流片成功，可能需要继续修改优化，二次改进后再次流片。每一次都需要至少几百万元。

以国内手机厂商小米为例，公开报道其自研芯片澎湃S2到2019年为止，其流片失败5次，而每次流片成本在3千万人民币左右。流片失败的原因很多，除去工艺和流程上的因素，最重要的是原始的设计，如果使用EDA软件哪怕能减少一次流片次数，也能节约相当的成本，用好EDA软件能发现绝大部分设计方面的问题。

从上面几个例子我们可以看出，利用CAE工具，可以在产品设计过程中简化问题，减少实际产品的迭代次数，优化整个设计流程，及早发现问题，减少试验次数，降低设计成本，完成某些实际试验测试无法进行的工作。好的CAE工具不仅提供了软件工具，更重要的是融合了对设计至关重要的行业标准和累计的经验，提高研发设计效率和成功率。

2.CAE软件的发展

很多人容易将CAD等同于AutoCAD，将CAE和ANSYS等同，这也是CAE软件领域的马太效应。关于CAE软件的发展史，是一部大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米的软件并购史，网上有详细介绍，笔者也写

了 [工业仿真软件十年回顾和展望](#) 一文，回顾了从2008年开始的行业内并购，从技术角度分析和展望了CAE软件的发展。目前主流的CAE软件都被ANSYS，达索，西门子几家大的公司把持，在细分领域也基本是几家龙头公司垄断，常年少有变化。尤其是CAE软件排名第一个ANSYS公司，早年通过原始技术积累以及后来的不断并购收购，将市面上的优秀CAE软件尽数囊括其中，形成了垄断效应。

3.CAE软件的选择和使用

目前市面上CAE软件种类繁多，用户操作很类似。基本流程就是建立或者导入几何模型，模型清理修复，设置材料，荷载，激励，边界等，然后划分网格，求解器计算，查看结果。所以掌握精通了一种CAE软件，其它软件的操作基本也能无师自通；用不同的软件进行计算，更能体会到软件之间的设计差异和指导思想，方便做结果对比，也有助于对问题进行更深入的思考和理解。

掌握一门CAE软件操作并不困难，困难的是在深入理解数学物理模型的基础上，建立起更接近真实世界的仿真模型，比如清理对仿真无用的几何，设置更符合实际工况的边界和荷载，理解网格单元所代表的具体含义，选择合适的网格单元，区分不同网格比如四边形，六面体的优劣，根据求解类型选择合适的求解模式和方程组解法以及参数等等。每个行业都有相应的设计规范，掌握设计规范，将其与仿真结合可以充分发挥软件的验证作用，所有这些知识的获得需要常年的学习积累以及大量实际项目的历练，不太可能靠软件的学习和操作短期内完成。此外市面上有很多关于CAE软件的书籍，购买时最好选择那些不止教如何操作，更是花费较大篇幅介绍理论的书籍，做到知其然知其所以然。

商业软件为了给客户提供便利，隐藏了大量技术细节。对于资深工程师，在熟练使用软件的基础上，要尽可能的弄懂软件底层的知识，并学会使用软件提供的二次开发功能，建立工作模板，积累行业知识，提高工作效率，这就需要工程师不仅要熟悉行业知识和掌握软件操作，更需要握1，2种编程语言。比如优化设计，可以自己写一些第三方优化程序，或者脚本对接辅助优化软件。

4. CAE国内发展和前景

最近十几年，国内软件业方兴未艾，尤其是在风口的互联网企业发展迅猛，以移动支付，自媒体，移动视频，社交网络，人工智能应用，5G等实际落地应用的推动，使得中国在互联网应用领域走在了世界前列。但是很遗憾，在CAE软件领域，国内市场被欧美企业产品垄断，国产几乎是一片空白，市场份额连5%都不到。关于国内CAE现状之前也有过详尽分析。

中兴，华为的断供事件，让国人第一次看到了国内高科技行业的表面繁荣，而实际大部分行业的底层核心技术仍然牢牢的掌握在欧美日本企业手中。各种技术断供，包括CAE软件断供也让国内认识到要摆脱受制于人，需要有自己的CAE软件。这对国内的CAE软件发展是个有利消息。关于断供，详见一文：

[工业软件“断供”是一把“达摩克利斯剑”吗](#)

5.CAE软件的核心技术和未来发展趋势

数学物理模型通常有两种求解方法，解析解和数值解。解析解精准而且高效，但现实中很多问题找不到解析解。CAE软件主要还是使用数值解，也就是以离散为主的数值计算方法。主流的数值方法包括有限元，有限差分，有限体积，离散元，边界元，矩量等方法。

CAE软件的核心部分是求解器，求解器的功能就是使用数值计算方法求解未知自由度，有些需要求解线性方程组，有些不需要，比如显式动力，无网格方法等。主流CAE软件每年都会有更新，但是新功能并不太多，主要在外围进行改进。稳定性，可靠性是主流CAE软件的一个重要特点。在可以预见的未来，CAE软件的改进也是循序渐进小跬步似的前进。更新的领域在无网格，CAD/CAE无缝集成，部分人工智能，并行计算，软件系统融合。CAE软件另两个核心部件CAD内核和网格，基本不会有太大变化。此外公司并购也是常态，有新技术新产品的小公司一般都会被大企业并购垄断。附录一文也多有描述。

6. 国内CAE研发的一些想法

国内在CAE研发领域比较薄弱，从几个方面说说笔者的想法

1. 人才问题。CAE软件是个跨学科的大集成，知识领域涉及到计算机图形学，几何学，数值计算，网格划分，软件架构等等，随便一个都是研发大项，因此CAE软件研发对软件架构师要求较高，国内在这方面基本很少能碰到独当一面的人才。人才缺乏是国内CAE发展的一个大瓶颈。
2. 利润问题，工业软件投入少的根本原因还是利润低下，投入产出比低，如果全民都有版权意识，法律法规和政策方面给予支持，保证CAE软件的利润和可持续性，CAE软件自然也就发展起来。
3. 加强国际合作。这也是笔者经常讲的，虽然有贸易战，科技战，但是既然坚持改革开放，那也就还是要加强对外的技术合作。凡事亲力亲为，讲国产自主成本太高，对于很多非尖端科技领域的问题，合作能解决的就没必要再造轮子。毕竟只有保证了经济利益，其它的才能往前发展。
4. 国家要重视基础学科，底层学科的建设和发展。以FEM开源软件为例，大部分都是老外写的。包括炙手可热的人工智能开源工具tensorflow, caffe, pytorch等也都是国外开发，国内主要是上层应用。很多开源工具都是作者博士读书时的作品。国内也需要加强这方面的引导，鼓励支持原创。
5. 对于国内的CAE研发公司，生态环境差是客观现实，但是也有很多好的软件都在小国，比如希腊的ansa，南非的feko，瑞典的comsol，比利时的SAMCEF等等，例子一挙一大堆。所以困难固然有，但是只要专注坚持，办法总是有的。