

仿真软件十年回顾和展望(整理版)

原创 www.cae-sim.com [多物理场仿真技术](#)



这篇文章写于2019年7月，在Ansys收购LSDYNA之前一个月，从技术角度分析了近十年来全球工业仿真软件的发展。鉴于最近关注公众号的朋友数量暴增，老文章再发，老朋友可忽略。

站在2019年的下半年，对仿真行业过去的十年做一个回顾，同时希望能从中找出一些线索和趋势，指引未来十年的发展。

术语

GPU--Graphics Processing Unit 图形处理单元

FEM--Finite Element Method 有限单元方法

FVM--Finite Volume Method 有限体积方法

PDE--Partial Differential Equation 偏微分方程

BEM--Boundary Element Method 边界元方法

DEM--Discrete Element Method 离散元方法

MOM--Method OF Moment 矩量法

EDA --Electronics Design of Automation 电子设计自动化

CAD --Computer Aided Design 电脑辅助设计

CAE --Computer Aided Engineering 电脑辅助工程

CAM-- Computer Aided Manufacture 电脑辅助加工

CAPP --Computer Aided Process Planning 电脑辅助工艺规划

AI -- Artificial Intelligence 人工智能

ML --Machine Learning 机器学习

FPGA --Field Programmable Gate Array 可编程门阵列 [多物理场仿真技术](#)

公司收购最能反映技术发展趋势，我们按照被收购公司类型，回顾一下过去十年，仿真领域比较大的并购事件。

一.综合解决方案

西门子于2012年11月12日宣布以6.8亿欧元收购了比利时软件公司LMS International。LMS公司是汽车、航空航天和其它先进制造业公司的工程创新合作伙伴。LMS公司可以帮助用户将更好的产品更快地投入市场，并将卓越的技术和效率转化为其战略竞争优势。

二.流体

1.2011年，Altair宣布成功收购ACUSIM Software, Inc. (ACUSIM)。ACUSIM软件公司成立于1992年，总部位于美国加利福尼亚州的山景城（Mountain View）。ACUSIM是领先的强大的可拓展性及高精度的计算流体力学（CFD）求解器解决方案领域的开发者。

2. 2016年，西门子与CD-adapco公司达成股份购买协议,以9.7亿美元的价格收购CD-adapco。CD-adapco是一家全球的工程仿真软件公司，提供的软件解决方案涵盖广泛的工程学科，包括流体力学（CFD）、固体力学(CSM)、热传递、粒子动力学、反应物质流、电化学、声学 and 流变学等。

3. 2016年，达索系统收购Next Limit Dynamics公司，Next Limit Dynamics是全球高度动态流体场仿真领域的领导者，其2015年营收约为160万欧元。其解决方案适用于航空航天与国防、交通运输与汽车、高科技、能源等行业。Next Limit Dynamics旗舰产品为使用格子玻尔兹曼的xflow。

4. 2017年9月28日，达索系统宣布，与产品工程仿真软件全球创新企业Exa公司(Exa Corporation)（纳斯达克：EXA）签署明确的合并协议，达索系统将正式收购位于马萨诸塞州柏林顿的Exa公司。这家达索系统的子公司将在此后10个工作日内邀约收购全部已发行的和流通的Exa普通股，每股价格24.25美元，收购完成后以现金支付，Exa的完全稀释股权价值大约为4亿美元。此次收购达索将EXA采用格子玻尔兹曼方法的旗舰产品powerflow纳入麾下，进一步巩固了其在流体无网格领域的技术和市场优势。

三. 生物，材料，复合材料

1. 2013年，ANSYS收购复合材料的瑞士小公司EVEN。

2. 2014年，达索系统通过收购 Accelrys 创建新的品牌 BIOVIA，Material Studio专用于微观材料仿真设计。

3. 2016年，Synopsys收购了英国三维重建软件simpleware

四. 电磁仿真，EDA领域：

1.2008年3月31日，全球仿真技术及产品优化设计软件供应商ANSYS公司宣布，与Ansoft公司双方签署一项最终协议，据此ANSYS将以收购总价约8.32亿美元（含现金和股票）收购Ansoft公司，Ansoft旗下的旗舰产品HFSS，SIWave，Maxwell等悉数纳入到ANSYS旗下，在多物理电磁仿真以及EDA领域迈出了扎实的一步。

2.2011年ANSYS收购了Apache Design Solutions，填补其在集成电路解决方案领域的空白。

3.2014年6月,Altair公司与EMSS达成并购协议,收购FEKO软件产品以及EMSS在美国、德国和中国的三家分公司。

4.2016年 达索系统以约2.2亿欧元收购电磁(EM)和电子仿真领域技术领先德国企业CST。

5.2016年11月16日，西门子以45亿美元收购EDA软件公司Mentor。

西门子以45亿美元收购Mentor，让EDA软件公司再次进入人们的视野，随着电子领域的持续升级，EDA公司的作用更加突显，2018年中兴和2019年的华为断供事件更是把三大EDA软件公司Synopsys新思，Cadence楷登和Mentor推到了风口浪尖。前面早就讲过硬件断供只是明枪，很容易躲开，软件断供才是狠招。简单讲比如断供操作系统，虽然电脑还能用，但后续支持升级就没有了，无法应对出现新的软硬件，新的电脑病毒和漏洞。产品质量无法保证暂且不说，产品上市时间会被拉长，时间线上会被竞争对手甩在后面。

2017年2月2日，海克斯康宣布以8.34亿美元收购老牌CAE公司MSC软件公司(“MSC”)，MSC是全球领先的计算机辅助工程(CAE)方案供应商，包括进行虚拟产品和制造过程开发的模拟软件。2016年MSC销售收入在2.3亿美元左右，可谓卖了个好价钱。但也表明，传统的CAE软件公司已经越来越不适应现代技术的发展，软件公司必须在数字化设计方面转型，在实际生产环境中的测量数据将与仿真分析紧密结合，提供高附加值的产品和服务，仅靠着卖软件的时代已经一去不复返了。

在计算仿真领域，不得不提到另外两家独特的公司：COMSOL和MathWork。

成立于瑞典的斯德哥尔摩COMSOL在2010年之前还无声无息，最初的COMSOL只是在MATLAB的一个toolkit上改进的结构分析工具，但在2010年之后，随着COMSOL4.0版本的发布，COMSOL凭借着多物理场仿真的旗号，直接求解PDE，以及相对完善的前后处理功能，迅速崛起，在CAE领域可谓独树一帜。和大多数外国公司一样，早年COMSOL在国内主要使用代理商，后来自己成立办事处。创立于1984年的Mathwork，作为一家从大学出来的公司，一直靠着两大产品Matlab和Simulink，2018年收入营业额已经比肩CAE巨头ANSYS。MATLAB提供了大量的数学函数以及各个行业的工具箱，对于高级工程师是相当不错的选择。笔者从2001年接触MATLAB6.0版本至今，仍然是解决技术问题的帮手。

作为3D软件的巨头，Autodesk在仿真领域也有不少动作，除了收购algor，moldflow，PlasoTech等，在仿真业务整合，云端也做了不少努力，但种种客观原因，未来想发展业务大概率通过收购其它公司完成。

展望未来十年，可能发生的收购或并购：

1. LSTC公司 其LS-DYNA作为显示动力学仿真的鼻祖和标杆，极有可能被ANSYS纳入麾下；
2. Synopsys新思，Cadence楷登会成为新的收购热点；
3. ANSYS不排除被更大的巨头收购；
4. 更多掌握核心技术的底层细分领域的小公司会被巨头收购（图形引擎，网格引擎，几何内核等）
5. VASP被ANSYS或者Simens收购；
6. 国内企业比如华为会尝试收购欧洲小的仿真企业。

下面试着从技术角度回顾和展望仿真软件的发展和趋势。

1、多物理场仿真耦合

多物理场耦合仿真的终极目标是提供对真实世界的精确模拟。虽然目前很多软件号称能解决多物理场仿真问题，但实际上获取准确的数值解仍然相当困难：理论上复杂的多物理场耦合现象难以用统一的PDE描述，因此数值计算上理论上就存在不确定性；而工程上会对模型进行简化，导致求解误差偏大；不同的物理场之间还涉及到模型交互，几何网格兼容性，强弱耦合，多尺度，相变，交叉学科等各种问题。所以进行准确的多物理场耦合分析仍然是仿真软件未来最具挑战性的工作之一。过去十年中，从事流体，电磁，材料仿真软件的公司是收购的重点，未来的收购也还会发生在这些领域，在这些领域还有很多没有解决的工程问题，软件发展潜力巨大。

2、仿真和硬件关系更加密切

FEM方法早在70多年前提出，因为需要大量的计算工作一直发展比较缓慢，在计算机出现之后才出现质的发展。现在，自由度超过千万的刚度矩阵组装，其次和非齐次线性方程组求解时间在普通台式机上仍然耗时，因此仿真软件对硬件有天然的依赖，半导体领域的摩尔定律同样适用于仿真软件，所以每次硬件出现新的革新，都会很快应用到仿真软件上。从早期的台式机多核多进程多线程，到后来的刀片服务器，网络分布式计算，再到GPU计算，以及现在的上百万核，千万核的超级计算机，AI芯片，将来可能应用的量子计算机，都是在用硬件方法加速仿真中的大规模计算。

硬件发展的另外一个趋势是越来越小，仿真可以和硬件结合，类似于现在的FPGA编程。自动驾驶是一个典型的例子，自动驾驶实际上就是一个实时的仿真系统，摄像头，传感器实时收集数据，处理器根据收集的数据进行驾驶路线计算和预测，并采取相应的策略，在这个过程中依赖于数据的传输和对数据仿真处理。如果将碰撞仿真软件固化在汽车硬件里，汽车在行驶过程中能实时仿真与其它车碰撞的结果，从而让自动驾驶在遇到危险时采取更有利的预防和避险措施，其意义不言而喻。

随着硬件的加速，一些传统的数值计算方法使用可能会出现改观。比如求解满秩矩阵的困难的MOM，BEM等方法。目前的算法主要利用快速多级等进行加速，但精度上还是会有损失。

在下一个十年结束的时候，希望在量子计算领域有所突破。如果几十亿自由度的线性方程组求解能在普通机器上秒级以内完成，将极大促进生产力发展，说人类文明将跨进一大步一点都不夸张！

3、CAD/CAE/CAM/CAPP无缝结合，验证测试与仿真融合

传统的CAD/CAE/CAM/CAPP相互独立，会造成很多问题，比如信息孤岛，数据不兼容，仿真结果无法验证等，甚至出现试验指导仿真的情况。近年来，软件厂商在解决这些问题方面做了很多努力，但距离理想还相差很远。传统的CAD与CAE分离，简单讲设计一个单位，仿真一个单位，加工一个单位，最直接的问题就是数据兼容性问题。相信很多仿真工程师都有过被文件格式转换，几何清理折磨的经历，究其原因就是CAD/CAE流程没有打通。这种分离不仅是数据上，而且也反映在业务上。比如因为加工需要，CAD设计会有各种倒角，而仿真则不需要。很多CAD软件在其平台上引入了仿真功能，反映的就是这个趋势。在一个平台上完成CAD/CAE/CAM验证，设计，自动化，也就是CAD/CAE/CAM/CAPP的无缝结合。

仿真软件给出的仿真结果总会存在误差，需要由试验来确定，如何将实验数据和仿真数据匹配，指导实际业务，也是很工业界看重的一个问题，这也催生出了相应的软件产品，比如西门子收购的比利时LMS，是一家提供仿真，测试，咨询服务公司，西门子看中的就是测试与仿真的综合能力。而另一家比利时的Dynamic Design Solutions，也是一家提供FEM分析软件测试的公司（又是比利时，多物理场仿真软件OOFELIE也属于比利时的OpenEngineering公司），几乎所有的汽车设计厂商都是其客户。未来传感器，测量工具效能的提升会让仿真与实验结合的更紧密。

4、设计与优化紧密结合

有人说仿真的目的就是优化。优化是很多CAE软件产品中的一个模块，比如AltairOptiStruct，Ansys Design Explorer，HFSS Optimetrics，Abaqus ATOM 以及独立的优化软件Isight，Tosca等，Matlab等科学计算软件中也提供了专门的优化工具箱。虽然优化工具很多，但真正应用起来让其发挥作用并不简单，首先每种优化算法有其特点和适用场景，比如遗传算法适用全局优化，牛顿适用局部优化，神经网络适用输入数据丰富情形，梯度迭代更适合有连续表达式的函数；其次业务场景对优化也有诸多限制，比如桥梁，虽然理论上可以设计优化出各种样式的桥，但实际设计施工中还是老老实实按照规范来；再者优化算法同样受限于硬件，大部分优化使用迭代算法，利用每次迭代仿真结果选择相应策略，而很多FEM自适应网格方法，FVM计算本身就是一个迭代收敛的过程，如果加上优化迭代，计算时间会无法接受；最后优化中涉及到许多变量，这些变量可能涉及不同的阶段（有的变量属于几何，有的属于仿真，有些属于NC），场景，从而分配不同的影响因子，灵敏度。所有这些不确定因素加起来导致仿真软件优化发挥作用很困难，目前仿真优化通常应用于几何拓扑确定，业务流程固化，参数较少的应用场景。在仿真优化这块还有很多潜力可挖掘，未来十年，将会有更多的和业务结合的优化应用出现，而软硬件的发展会对优化的应用发展起到很大的促进作用。

5、云端化

仿真软件云端化是互联网技术发展必然的结果，云端化和仿真技术没有太大关系，主要是商业模式和使用方式的转变，目前有不少公司试水把产品移植到云端，比如三维设计软件OnShape，3D软件公司Autodesk（欧特克）早早在云端布局，云端平台Fusion360整合了旗下的多款CAD/CAE/CAM产品。互联网巨头亚马逊直接在其云端开发部署了开源CFD软件包OpenFOAM，用户可直接登录使用。另外B/S架构的仿真平台通过浏览器提供前后处理，而大规模求解仿真放在云端也是一个不错的选项，国外发展较早的有德国的www.simscale.com，国内有www.simright.com，目前云端化存在

两个大问题。一个是安全性问题，如何保证数据安全，对公司讲，数据就是核心资产，另外如何保证商务，法律上的安全也是需要考虑的一个问题，比如涉密信息，即使保证了数据安全，也不可能放在共有云，公司企业内部私有云倒是一个不错的选项。另外一个问题是进行云端仿真计算时，存在性能瓶颈，对于大型项目，远程图形渲染，实时计算，交互，数据传输等还不能和桌面机器相比，当然随着硬件的发展，这些以后都不是问题。

对大多数用户来说，使用云的好处是降低仿真软件的使用成本，以前几十万几百万的才能使用的软件，通过云可以将价格门槛下降到很低，这也是在国内普及正版软件一条可行的路。

6、网格

传统的数值计算方法都需要高质量的网格数据作为输入，网格生成在前处理中占了很多时间。网格质量的好坏直接决定的仿真的好坏，网格生成技术作为仿真领域的一项支柱，开发难度大，且需要实际工程打磨，要想开发一套完善的网格引擎，没有五年十年的功夫是不可能的。某些情况比如多物理场，流体边界层，复合材料，EDA行业，装配体的网格的生成更为复杂，对于未知场的求解，往往需要网格加密多次求解，增加了仿真复杂度。好的网格依赖于几何输入质量以及网格算法的健壮稳定性，没有好的网格生成机制，数值计算难为无米之炊。网格算法较为成熟稳定，在这个领域很难有颠覆式的发展，未来网格底层生成算法可以和实际工业应用更加紧密结合，优化网格生成效率。

由于高阶数值计算复杂性，目前大部分商业软件网格都是线性单元（0阶）或者二次单元（一阶）。实际上高阶网格（也就是常说的P单元）在处理复杂几何上更具优势，适当的设置网格参数，只需更少数量的网格，无需迭代，就能获得更好的数值计算解，期待未来在高阶领域有更多实际应用。

无网格方法是近年来兴起的一种数值计算方法。流体领域的粒子方法(Particle Method) 和 LBM格子玻尔兹曼已经相当成熟，尤其是后者，达索系统早早将市场上的LBM软件收到旗下，垄断目前市场。Altair与今年推出的SimSolid号称也不需要网格，市场验证需要假以时日。要想在无网格应用上有所突破，底层理论和硬件都需要提供更多的支持。

瑞士一家公司提出了一种基于MAR (Medial Axis Representation) 方法，号称利用CAx取代CAD/CAE，取代传统的网格划分流程，具体效果还需要市场检验。

未来，网格仍然是仿真软件前处理的重要一环，网格生成性能会进一步提升，新算法会引入让网格生成趋向智能化。

7、数值计算方法

在数值计算方法领域，主要还是以FEM为主，电磁FEM，FDTD，MOM，流体FVM，以及无网格法。其它比如FDM，BEM，DEM，谱方法等在实际应用中大规模使用，还需要更多的努力。未来数值计算方法在理论上突破已经非常困难，但在以下几个方面仍然还有发展空间：

- 1，同一分析空间中不同数值计算方法的混合使用；
- 2，PDE产生新的解析解方法所带来的新的数值解法；
- 3，半解析解和数值解法的进一步组合使用；
- 4，数值计算方法和业务场景实际工程应用的进一步耦合；

5、高阶网格数值计算方法；

前面讲过很多次，软件只是表现，软件和工程经验的结合才是核心技术，发展数值计算方法，只有和实际工程应用结合才能使软件产生更大的价值。

8、人工智能以及机器学习引入

人工智能最近几年火的一塌糊涂，但是真正静下心来仔细研发会发现，落地应用的项目其实集中在少数几个领域，比如语音识别，图像识别，聚类分析，专家系统等等，在仿真领域应用有限。这也是由仿真领域的特点决定的：

1，人工智能依赖于大规模的训练数据输入，对于仿真而言，很多应用场景中，仿真一次的数据量就非常大，多次仿真不仅时间长，而且冗余数据多，生成的有效训练数据有限，无法提供AI训练以及深度学习所需的有效输入数据；以设置最优网格参数为例，至少两个位的训练次数才会出现有效解，而求解器一次求解时间可能就是几个小时，相比AI，实际应用中自适应网格划分更迅速和准确；

2，目前的硬件设施无法满足AI训练，或者训练成本太高，对于1中即使是对局部网格寻找最优参数解，训练所花实际成本仍然很高，性价比差；

3，未来通过机器视进行特征识别，从而可以在几何清理，设置局部网格参数等方面实现自动化是比较可行的。

9、业务驱动仿真

传统印象中，仿真应用流程是设计，仿真，再设计，测试，再设计，生产。而业务驱动仿真很可能改变这种印象。以风力发电叶片为例，叶片的生成，运输，安装，卸载成本都很高，在运作的时候如果叶片出现故障（撞击，损坏），主要以现场修复为主。如何精准的评估修复效果，利用传感器，扫描仪等装置生成实时模型，收集真实工况数据，对比原始模型，测试模型，进行实时仿真，评估CFD，机械强度等各个指标，仿真满足要求后即可上线。仿真在整个过程中起主导作用，之后还可以定时进行仿真检查，收集实时数据反馈给原始仿真计算模型，优化产品流程。

从使用者角度看，仿真软件将不再是仿真工程师的专利，完善的业务流程，固化的仿真逻辑，CAD/CAE/CAM的高度结合，可以让任何一个普通工程师用好仿真。想象一下在建筑工地上，工人发现施工与设计图纸出现冲突，需要改图，传统的做法需要层层上报，甚至反馈到设计院，设计院实地考察，给出修改方案，来回折腾。而以后可能工人只需在pad上修改图纸，实时仿真一下，将结果反馈给上级，通过则继续施工。

过去的十年中，几乎每年都有一些技术热点，比如量子计算，物联网，AR，VR，人工智能，区块链，边界计算，深度学习。但是仔细探究很多技术只不过是新瓶装旧酒，有些是背后有资本推手，有些是从实验室走向市场，有些是得益于硬件的发展。对于国内工业仿真软件发展而言，要想有所建树，技术方面加大研发投入力度，潜心踏实积累技术，参与实际工程迭代，业务上开拓国外市场，走产品服务路线，仍然是唯一的出路。