

# FEM之多物理场耦合(1)---多物理场耦合概述

www.cae-sim.com [多物理场仿真技术](#)

多物理场耦合分析已经成为CAE分析的一种趋势。相比于单物理场分析，耦合分析能更真实的反应实际的物理状态。

受限于计算机软硬件和数值计算理论，早期的仿真分析主要关注于某个专业领域单一物理场，比如结构，热，流体等，但是一般来说，物理现象都不是单独存在的。例如，只要运动就会产生热，而热反过来又影响一些材料属性，如化学反应速率、流体的粘性等等；再比如信号线，通电后会产生热，热会改变材料的物理属性，进而改变导电能力，从而影响信号传输性能。这种物理系统的交互作用就是我们所说的多物理场耦合。

**FEM之多物理场耦合** 系列文章将会对CAE多物理场耦合技术进行探讨，仍然，重点是在研发上，即如何在理解多物理场耦合的基础上开发相关的软件产品以及开发中的技术瓶颈。

## 1.多物理场耦合定义

## 2.理论基础

## 3.求解方法

## 4.商业软件产品

## 5.产品开发

## 6.其它

### 1.多物理场耦合定义 (*coupled multiphysics definition*)

通常所说的耦合都是以下两种或多种物理现象的耦合：

1. 结构/固体；
2. 热；
3. 流体；
4. 电磁；
5. 声；
6. 光/波；

常见的耦合问题有流-固耦合、电-热耦合、热-结构耦合、热-电-结构耦合、声-结构耦合、流体-反应耦合、流体-热耦合等。

典型例子：

- 1.涡轮发动机：

发动机在高速运转的时候，涉及到热传递，振动，空气流动压缩等多个物理场相互作用，是非常典型的耦合的例子。

## 2. 渗流：

土木工程中经常涉及到的应力场和渗流场；

## 3. NVH

NVH是噪声、振动与声振粗糙度（Noise、Vibration、Harshness）的英文缩写，是设计汽车时必须要考虑到的因素。涉及到声/固/流体耦合

## 4.MEMS：

微机电系统（MEMS, Micro-Electro-Mechanical System），也叫做微电子机械系统、微系统、微机械等，是在微电子技术（半导体制造技术）基础上发展起来的。MEMS侧重于超精密机械加工，涉及微电子、材料、力学、化学、机械学诸多学科领域。它的学科面涵盖微尺度下的力、电、光、磁、声、表面等物理、化学、机械学的各分支。也是一个最为典型的需要多物理场耦合分析的领域。

以上是几个比较典型的耦合例子，后面会详细介绍。

## 2.理论基础

求解单物理场的理论基础是有偏微分方程（Partial differential equation），求解多物理场耦合的理论基础仍然是偏微分方程（PDE），只是现在要同时求解多个偏微分方程，即偏微分方程组（PDEs）。求解偏微分方程已经是比较麻烦的事，求解方程组就更不用说了。如前所述，偏微分方程组也是数学家们做的事。

参考 偏微分方程介绍，因为求解PDEs比较困难，才出现各种各样变通的解法，比如根据物理模型特性将耦合人为的划分为强耦合，弱耦合，单项耦合，双向耦合等，其目的是为了简化计算，但所有的耦合场都是以PDEs为基础。

## 3.求解方法

在求解方法上没有太多新技术，仍然使用的有限差分,有限元,边界元,有限体积，矩量法等方法。但在模型处理上耦合场比单个物理场要复杂的多。例如不同格式数据交互，不同场之间数据的传递，网格匹配等。

## 4.商业软件产品

目前市面上号称能解决多物理场耦合问题的软件很多,比如Ansys Multiphysics, COMSOL, ADINA, OOFELIE, 也有针对耦合问题提供的集成平台MPCCI, 但仔细探究起来发现除了COMSOL因为能自定义求解PDEs外，其它的都算不上真正意义上的多物理场耦合软件，只在某个范围内提供耦合功能，因为实际耦合的情况千差万别，软件中提供的模型难以覆盖所有的情形，反过来COMSOL虽然能求偏微分方程组，但是对于复杂的模型，要准确的把完整的PDEs和模型映射起来得到正确的结果，也不是那么容易的事，所以在耦合分析研发这块，其实要做的事情还有很多。

## 5.产品开发

多物理场耦合软件产品的开发是一项非常有意也非常有挑战性的工作，除了传统CAE软件所需的功能和单一物理场求解器外，还需要针对耦合进行相关功能开发，而且对几何和网格也提出了更高

的要求：

- 1.更多的耦合模型公式推导；
- 2.单个物理场求解器基础上开发混合求解器；
- 3.使用同一套几何，划分不同的网格，支持网格映射，动态网格划分；
- 4.不同格式数据交换机制；
- 5.多尺度耦合技术；
- 6.模型验证机制。