

[控制系统]

# 一种基于UGNX和Workbench的 三维灭弧室动态流场计算方法

文/西安西电开关电气有限公司 惠 伟 杨 龙

针对UG NX软件强于CAD而弱于CAE、Workbench软件强于CAE而弱于CAD的现状，在Workbench CFX平台上将两款软件通过接口链接，建立了一种基于参数化的动态流场研究方法，并以实际高压断路器灭弧室流场动态计算为例，说明了该方法的可行性和计算结果的准确性。该方法实现了UGNX 和Workbench CFX两款软件的优势互补，进一步丰富和提升了动态流场研究的手段和内容。另外，实施CAD和CAE两块软件的动态链接，对于一般意义下的几何优化分析问题，也具有极强的借鉴价值。

UG NX是德国西门子公司的CAD/CAE /CAM一体化软件，在机械设计与制造领域得到了广泛的应用。现在众多企业的三维工程图样都是通过UG NX软件进行存储、管理、绘制的，其CAD功能目前得到了大家的普遍认可。但是，相比于Ansys Workbench等专业CAE软件，UG NX在热流场计算方面，其功能没有专业的计算流体力学(Computation Fluid Dynamics, CFD)软件强大。一般来讲，虽然Ansys Workbench等专业软件在CAE方面有强大的功能，但是其几何建模等CAD功能却不如UGNX等专业CAD软件强大，尤其是在涉及几何模型相对比较复杂的情况下。常用的方法，是通过CAD软件建好模型后，导出成中间格式(如parasolid, iges等)的文件后，再导入Workbench中，显然对于需要改变几何模型的工程优化分析来讲，是十分不便的。

综上所述，通过建立CAD和CAE软件在几何模型之间的动态链接，对于CAE分析来说具有重

要的意义。

另一方面，针对动态流场计算问题，诸多涉及动网格的流场仿真计算都采用FLUENT来完成。然而，采用FLUENT进行动网格计算具有以下缺点：第一，需要在FLUENT和C语言间建立烦琐的软件连接接口，以满足多长耦合开发的需要；第二，所采用的UDF方法对应用者编程能力有一定要求，因而在软件编程、调试等方面带来诸多不便；第三，FLUENT动网格计算中需要调整大量参数，如对铺层法(layering)需要指定constant height和split factor等参数，对光滑方法(smooth)需要指定spring constant factor和boundary node relaxation等参数，这些参数的选择无疑增加了该软件的使用难度。因为一旦参数设置得不合理，极有可能导致计算失败、收敛性欠缺或者计算时间过长，对应用者的使用经验有较高的要求，大大加大了其在工程上推广的难度。

CFX作为Workbench平台下的一款优秀的流

体计算模块,其在算法、开发语言及计算模型等方面具有一定的优势。其基于有限元的有限体积法,在保证有限体积法的守恒特性的基础上,吸收了有限元法的数值精确性,发展和使用全隐式多网格耦合求解技术的商业化软件,克服了FLUENT等软件中“假设压力项-求解-修正压力项”的反复迭代过程。CFX所具有的内嵌式开发语言,如命令语言(CFX Command Language, CCL)和CFX表达式语言(CFX Expression Language, CEL),不需要专业的软件连接接口,且编程更简单,实用性更强;自身包含电磁场计算模型,因而在进行相关耦合场计算时,无需添加额外程序。

CFX动网格计算是基于单纯的网格压缩和拉伸变形的,因而在实际操作过程中只需要指定相关运动部分的运动规律即可,而不需要过多设置相关参数。同时,该方法的一个不足之处在于,动网格功能不能像FLUENT那样自动实现网格较高级别(如remeshing过程)的变形,一旦拉伸和压缩出现网格质量问题,计算便自动停止。目前的一种方案是,将一系列具有网格重构的大变形分解为小变形,并将上一步迭代的计算结果作为下一步计算的初值,并在CAD软件中完成批量几何模型的处理和输出。该方案的问题在于,需要从CAD软件中批量导出中间格式的文件,而且还存在CAD和CAE软件对于批量中间格式文件相关面的识别差别问题。

本文以涉及网格变形的动态流场计算为背景,通过将UG NX和Workbench两款软件进行动态链接,开发了一种动态流场研究方法,并以某高压断路器灭弧室实际流场动态计算为例,说明了该方法的可行性和计算结果的准确性。

该方法在充分发挥UG NX和Ansys CFX两款软件各自的优势,同时规避了二者的弊端,实现了两者优势互补,同时省去了CAD软件批量导出中间格式文件的过程,解决了CAD/CAE软件在相关面识别问题上差别可能带来的诸多问题。

采用分域的网格剖分方法,可大大提高流场计算过程中网格的划分效率。同时,从网格变形的原理可以看出,该方法对网格的形状和类型没有过多的限制,因而可大大节约网格划分时间。将网格的分域剖分转化为几何区域的分区处理,有助于降低网格划分区域的划分难度,特别是在几何区域比较复杂的情况下。因为,在几何区域

较复杂的情况下,将区域划分为多个区域显然要比仅存在一个区域更容易操作,方便了应用者在操作过程中对图形的观察,也避免了可能的图形上的混淆和误操作。

对于一般意义下的几何优化分析问题,特别是模型来自实际工程图,重新绘制CAE分析所需模型十分烦琐时,该方法也具有一定的借鉴意义。

## 程序的实现

本程序通过在UG NX软件和Ansys Workbench软件之间建立动态的软件链接,实现了在CAE软件平台上统筹CAD/CAE工作,极大地方便了基于CFX平台下动态流场的计算。该方法实现的技术基础包括以下几个方面。

第一,建立NX软件和Ansys Workbench软件的链接,这可以通过修改Ansys软件的相关操作实现。Ansys软件是一款强大而通用的CAE软件,其本身能够实现与外部诸多CAD软件的链接,如PRO/E、NX、Teamcenter等。对于UG NX中的参数,想要被Workbench识别,也必须进行某些修改。

第二,建立Workbench平台下的参数化设计模块,这主要通过Parameter Set模块实现的,Parameter Set模块本身主要用于模型优化设计,在本文中,笔者将其实现拓展至几何模型参数化中,以满足动态流场所要求的几何变化。

第三,通过Workbench的脚本语言(Scripting),实施其平台下的流场动态计算。workbench的脚本语言(Scripting)是一种采用python语言编写的程序,其生成文件扩展名为.wbjn。python语言是一种开放源代码软件,其代表简单主义思想的语言。Workbench通过采用这种程序,能够记录操作者通过GUI界面进行的相关操作,并进行简单而必要的修改,实现命令流的功能。

因而,集成以上三个方面,本文实现了采用动态链接原理的Workbench cfx动态流场计算,其相应的Workbench连接流程图如图1所示。

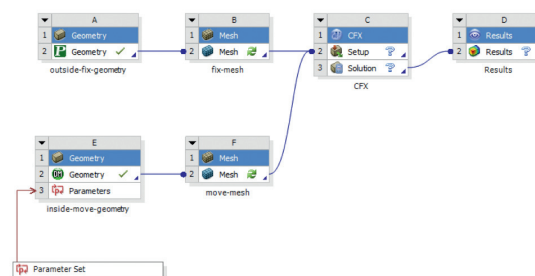


图1 Workbench连接流程图

## 一般步骤

基于NX和Ansys Workbench动态链接的动态流

场,其计算程序流程图如图2所示,主要包括以下几个步骤。

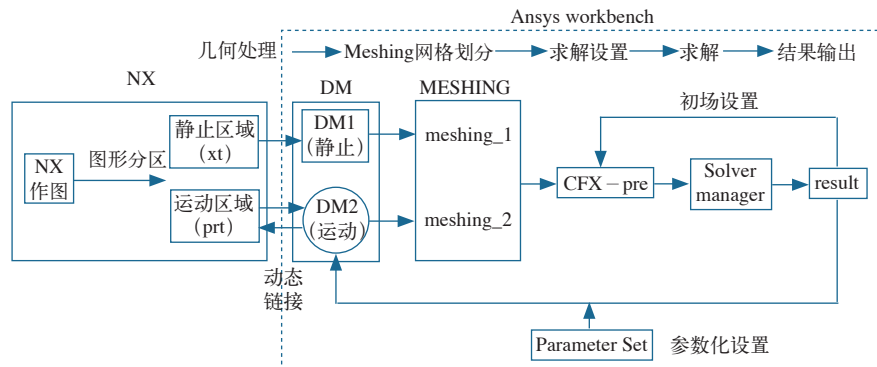


图2 计算程序流程图

### 1. 数据预处理

由于动态流场计算程序中小变形尽量设置为一个可以接受的定值,这是基于相似模型相似网格划分方法下的动态流场计算,流场计算的可接受网格变形是相近的,因而需要将原始文件中给出的等时间间隔的位移转化为等位移的时间间隔,同时求出不同时间下的时间步长。

### 2. UG处理及文件导出

对于来自实际工程的3D模型,通过对其进行必要的简化处理,模型整合,可生成包含流体计算域的几何模型。根据涉及动网格的动态流场计算的原理,在UG中采用几何分域的方法,以提高网格划分效率。因而将整个模型分为两部分,即外部网格不变的运动和内部网格发生变化的运动域。两者之间在流场计算时通过交界面(interface)实现链接。为了避免Workbench中的几何识别问题,这里选择将外部网格不变的静止域导出并输出至Workbench中,并使其在UG NX中抑制(suppress)。

### 3. Ansys CFX流场计算平台设置

根据图1所示的Workbench连接流程图建立。通过对UG NX中表达式的参数名称实施特定形式的修改,在将UG文件直接导入DM模块后,便可以实现该软件中的变量被Workbench的DM识别,并利用DM的Parameter Set功能,实现对该变量的参数化。外部网格不变的静止域则即可通过UG文件直接导入DM,也可以通过将UG中文件按照某种中间格式导出后再导入DM。

完成UG和DM之间的几何文件传输后,便可根据图2所示的计算流程图,实施网格划分、求解设置、求解和结果输出等工作。

### 4. Workbench流程控制及计算

采用Workbench的脚本语言(Scripting)功

能,录制包括修改Parameter Set中参数在内的相关命令;采用PYTHON语言,对生成的程序进行修改,加入程序循环实施的功能等;运行修改好后的程序,即可由计算机完成整个流场计算过程。

## 应用举例

为验证本程序的可行性和准确性,本文将其应用于高压断路器灭弧室的动态流场计算,该模型相关视如图3所示。对于同等条件下的热态计算,本文涉及的动网格研究方法同样适用。

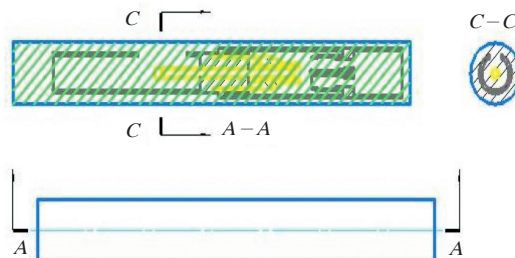


图3 灭弧室相关视图

在操纵机构外界机械力作用下,动触头、喷口及压气室运动件按照一定速度向左运动,压缩压气室内部 $\text{SF}_6$ 气体,静触头相对动触头按照如图4所示的速度运动并逐渐脱离静触头直至完全脱离。初始时刻,整个罐式断路器充满6 atm(atm: 大气压)的 $\text{SF}_6$ 气体。

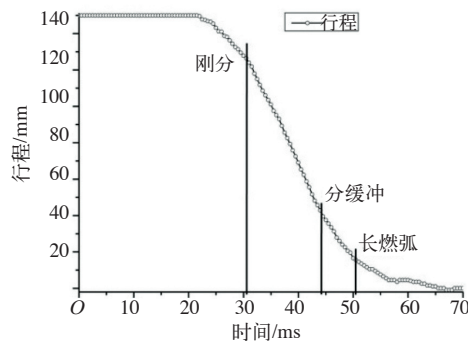


图4 动触头行程曲线图

### 1. 数据预处理

由于流场计算中介质 ( $\text{SF}_6$ ) 的物性参数在 CFX 中并未定义, 因而需要将其物性参数嵌入到 CFX 中。

在该计算中,  $\text{SF}_6$  作为实际气体进行冷态流场计算, 需要设置的其相关物性参数 (如密度、比热容、黏度和热导率等), 相关物性参数可通过 CFX 内部 CEL 语言编写的表达式功能 (expression) 可实现物性参数的相关定义。

在该算例中, 为了查找合适时间、位移和时间步长对应关系, 笔者分别对分闸前后采用合适的网格划分方法进行网格划分进行计算, 即可求得一个保证网格质量的合适单步网格变形量, 这是因为分闸前后几何模型间隙尺寸有较大不同, 这与网格划分的尺寸有关, 继而与模型可接受的网格变形量有关。通过实地计算可知, 分闸前后单次变形分别为均为 1 mm。

另外, 通过对原始动触头时间和位移关系采用 MATLAB 进行样条差值, 并结合 Excel 表格, 即可获得如图 5 所示的时间、位移和时间步长对应关系表格。最后, 可通过自带的自定义函数功能将这些生成的数据嵌入到 CFX 中。

| 时间     | 位移   |                  | 位置    | 时间 | 位移     | 时间步长     |
|--------|------|------------------|-------|----|--------|----------|
| 0.0000 | 0.0  | MATLAB差值<br>数据整理 | 1     | 0  | 0      | 1 0.0007 |
| 0.0005 | 0.5  |                  | 2     | 1  | 0.0007 | 1 0.0002 |
| 0.0010 | 2.2  |                  | 3     | 2  | 0.0009 | 1 0.0009 |
| 0.0015 | 2.6  |                  | 4     | 3  | 0.0018 | 1 0.0010 |
| 0.0020 | 3.2  |                  | 5     | 4  | 0.0028 | 1 0.0003 |
| 0.0025 | 3.5  |                  | 6     | 5  | 0.0031 | 1 0.0002 |
| 0.0030 | 4.6  |                  | 7     | 6  | 0.0033 | 1 0.0002 |
| 0.0035 | 6.9  |                  | 8     | 7  | 0.0035 | 1 0.0002 |
| 0.0040 | 8.8  |                  | 9     | 8  | 0.0037 | 1 0.0006 |
| 0.0045 | 9.0  |                  | 10    | 9  | 0.0045 | 1 0.0003 |
| 0.0050 | 11.3 |                  | 11    | 10 | 0.0048 | 1 0.0001 |
| 0.0055 | 11.9 |                  | 12    | 11 | 0.0049 | 1 0.0006 |
| 0.0060 | 13.8 |                  | 13    | 12 | 0.0055 | 1 0.0003 |
| 0.0065 | 15.6 |                  | 14    | 13 | 0.0058 | 1 0.0003 |
| 0.0070 | 17.4 |                  | 15    | 14 | 0.0061 | 1 0.0002 |
| 0.0075 | 18.6 |                  | 16    | 15 | 0.0063 | 1 0.0003 |
| 0.0080 | 20.5 |                  | 17    | 16 | 0.0066 | 1 0.0003 |
| 0.0085 | 22.2 |                  | 18    | 17 | 0.0069 | 1 0.0004 |
| 0.0090 | 23.5 |                  | 19    | 18 | 0.0073 | 1 0.0003 |
| 0.0095 | 26.0 |                  | 20    | 19 | 0.0076 | 1 0.0003 |
| 0.0100 | 28.2 |                  | 21    | 20 | 0.0079 | 1 0.0002 |
| 0.0105 | 32.0 |                  | 22    | 21 | 0.0081 | 1 0.0003 |
| 0.0110 | 35.0 |                  | 23    | 22 | 0.0084 | 1 0.0004 |
|        |      |                  | 24    | 23 | 0.0088 | 1 0.0003 |
|        |      |                  | 25    | 24 | 0.0091 | 1 0.0002 |
|        |      |                  | 26    | 25 | 0.0093 | 1 0.0002 |
| 原始数据   |      |                  | 整理后数据 |    |        |          |

图5 时间、位移和时间步长对应关系表

### 2. UG处理及文件导出

流场计算涉及的几何模型来源于某实际工程项目, 因而在进行计算中, 必须进行必要的建模, 去除其中对流场影响不大但是可能极大增加网格数量的几何细节, 如螺栓孔、倒角等。但是, 本文严格保留了孔道和动静触头上的几何细

节。最终得到的只包含流体域的几何模型如图 6 所示。

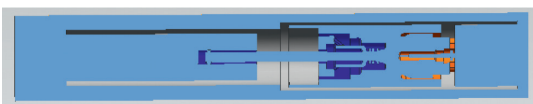


图6 简化后的流场计算几何模型

根据涉及动网格的动态流场计算的原理, 在 UG 中采用几何分域的方法, 以提高网格划分效率。故分区后的几何模型如图 7 所示。

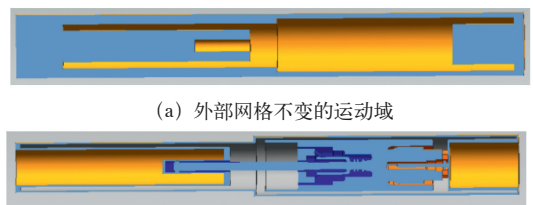


图7 分域后几何模型

### 3. Ansys CFX平台设置

在几何模型导出时, 首先将如图 7a 所示模型以 Parasolid 的格式导出至一个单一几何 (命名为 outside-fix.x\_t), 而将只包含模型图 7b 的 UG 文件保存为 inside-move.prt。将 UG NX 中进行名称修改并被 DM 识别的变量参数化, 并导入至 Parameter Set 中。

采用 meshing 中非结构网格进行自动网格划分。根据计算流体力学的基本原理, 对于冷态灭弧室计算, 需要求解连续性方程、动量方程, 湍流采用 SST 模型。对流项采用 CFX 特有的 HIGH RESOLUTION 方法, 其能够在保证计算求解准确性的基础上提高计算鲁棒性。

设定该计算为非稳态计算, 根据图 5 设定时间步长, 制订相关部分的位移情况及设定相应的边界条件。流体介质的物性根据上文中给出的参数设定。

另外, 通过编写 CEL 语言各流场计算的相关控制, 以达到网格变形按照预定的方式进行的。其中, 编写判断网格质量的表达式语言以控制网格运动时的质量, 这里通过运动区域的最小正交角度判断; 编写控制网格变形距离的表达式, 以使动网格在运动规定距离后即停止, 该规定距离即为图中的位移, 即默认区域内最大位移超过该时间步对应的位移则停止。采用默认初场 (温度  $T=300\text{ K}$ , 速度  $v=0\text{ m/s}$ , 压力  $p_a=6\text{ atm}$ ) 进行第一步的计算。

#### 4. Workbench流程控制及计算

采用Workbench的命令流功能，录制包括修改Parameter Set中参数在内的相关命令；采用PYTHON语言，对生成的脚本语言（Scripting）程序进行修改，加入程序循环实施的功能等；运行

修改好后的程序，即可由计算机完成整个流场计算过程。

最终计算得到的不同时刻（ $t=12\text{ ms}$ 、 $17\text{ ms}$ 、 $23\text{ ms}$ 和 $32\text{ ms}$ ）模型中截面压力和速度云图如图8所示，其与相关文献中的结果是较为一致的。

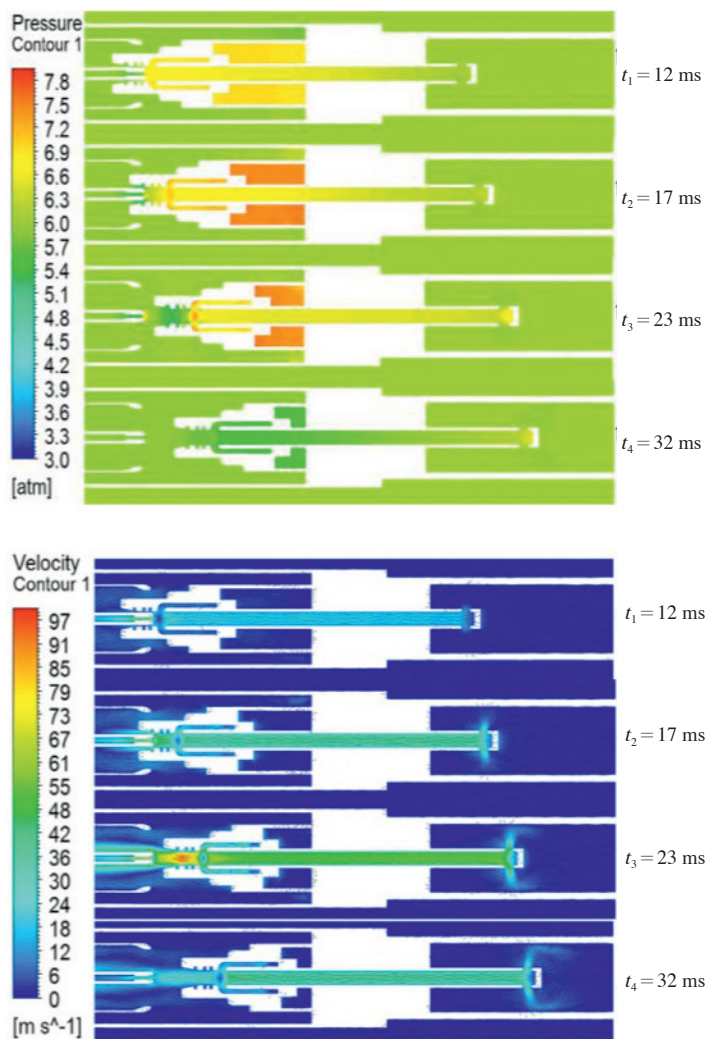


图8 不同时刻中截面压力和速度云图

#### 结束语

通过将UG NX和Workbench CFX两款软件通过外在软件接口进行链接，开发了一种动态流场研究方法，该方法省去了原有CFX动态流场计算中CAD软件批量导出中间格式文件的过程，解决了CAD/CAE软件在相关面识别定义上的差别问题，并提高了网格划分效率，降低了划分难度和网格划分可能带来的误差。最后，以某实际高压断路器

灭弧室动态流场计算做为算例，验证了该方法的可行性和计算结果的准确性。

该方法实现了UG NX和Workbench两款软件的优势互补。另外，对于一般意义下的几何优化分析问题，特别是模型来自实际工程图且重新绘制CAD模型十分烦琐时，该方法的解决思路也具有一定的借鉴意义。EA

（收稿日期：2016.06.10）

（编辑：杨得润）