

文章编号:1000-8055(2012)05-1074-06

基于名称标识的多学科数据链构成方法

李立州¹, 李 磊², 王心美², 岳珠峰²

(1. 中北大学 机电工程学院, 太原 030051;

2. 西北工业大学 力学与土木建筑学院 先进材料测试中心, 西安 710072)

摘 要: 针对几何模型面号随机变动导致多学科优化失败的问题, 通过研究现有的几何模型数据交换格式, 提出以面名称而不是以面号作为标识, 构建多学科优化数据链接的方法. 用提出的方法编程实现了几何造型软件 SOLIDWORKS 和网格生成软件 ICEM CFD 的链接, 建立了以面名称为数据传递标识的涡轮叶片优化流程. 实践表明该方法可以保证在面号变动条件下多学科优化流程的正确性.

关 键 词: 几何模型; 面号; 随机变动; 面名称; 标识; 多学科优化

中图分类号: TK262; O245

文献标志码: A

Using face name as index in multidisciplinary optimization data linking

LI Li-zhou¹, LI Lei², WANG Xin-mei², YUE Zhu-feng²

(1. School of Mechatronics, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Advanced Materials Testing Center, School of Mechanics, Civil Engineering,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: To settle MDO (multidisciplinary optimization) failure induced by change of geometry model face number, a data-link method, which used face name in replace of face number as data link index, was provided. A program of the method, coded to link SOLIDWORKS and ICEM CFD, was used in a turbine blade MDO process. The result shows that the method can keep the MDO process correct in a condition that face number changes randomly.

Key words: geometry model; face number; random change; face name; index; multidisciplinary optimization

在多学科优化过程中, 由于学科间存在耦合关系, 需要在仿真模型间传递数据, 以保证各个学科模型都得到相宜的数据, 进而保证多学科优化结果的正确性. 目前在这方面的研究主要集中在流固耦合温度、压力、变形等数据的插值传递方法上^[1-11], 对多学科优化数据连接方法则研究不多, 一般都采用以面号为标识的链接方法.

面号是面具体几何信息的索引和标识. 对于一个确定的模型, 其面号对几何面具有唯一标识性且面号是固定不变的. 在多学科优化中, 通常将

面号看作已知信息, 用作其它数据传递 (如温度、压力、位移) 的标识.

面号作为数据传递标识的前提条件是在优化过程中面号始终不变. 然而在多学科优化过程中, 模型不是确定不变的, 通常是随着优化参数的改变而改变的. 这就导致几何造型软件生成的模型的面号并不是一成不变的, 即使这个模型拓扑结构不变, 仅仅是模型尺寸上发生变化, 也可能引起模型面号的改变. 这一现象破坏了以面号为标识构建数据链的前提条件, 会导致优化过程中边界

收稿日期: 2011-06-08; 网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.2297.V.20120525.1516.201205.1074_017.html

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (2009AA04Z418); 国家自然科学基金 (50905142)

作者简介: 李立州 (1977—), 男, 山西太原人, 副教授, 博士, 主要从事多学科设计优化方面的研究. E-mail: lilizhou@163.com

条件的错误定义和网格划分的失败,使多学科优化失败。

针对这一问题,本文提出了以面名称作为标识建立多学科优化数据链接的方法。

1 以面号为标识的多学科优化方法存在的问题

研究以面号为标识的多学科优化数据链接方法,可以发现存在3种引起几何模型面号变动并导致多学科优化失败的现象:

1) 几何造型软件可以保证优化过程中参数变动后模型几何形体的稳定,却不能保证几何模型拓扑结构的稳定。参数的变动往往会引起几何面产生和消失,导致整个模型几何面号变动。

2) 几何模型和坐标轴/坐标平面的相对位置变化会引起面号的变动。将一个长方体相对扭转 60° 得到两个 acis 模型,见图1和图2。从下面所列的图1模型的 acis 文件中可以看出2号面是“outlet”,而从图2模型的 acis 文件中看到2号面是“right”。

3) 对于同样拓扑结构的模型,因为造型方式甚至因为所用的几何造型软件的不同,导致面号完全不同。

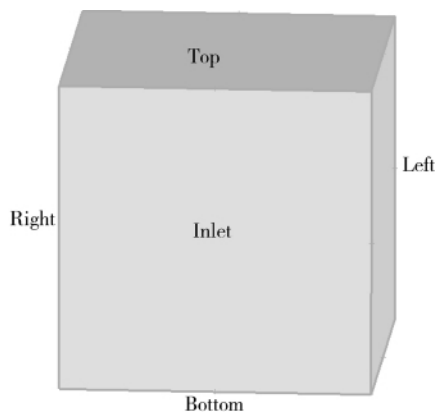


图1 模型的 acis 文件

```
.....
-5 face $6 -1 -1 $-1 $7 $8 $4 $-1 $9 reversed single F F #
-6 name_attrib-gen-attr $-1 -1 $-1 $-1 $5 copy keep_kept
ignore copy @6 outlet #
.....
```

图1 长方体及其 acis 文件

Fig. 1 Cuboid and its acis file

以上的3个问题,前两个会导致多学科优化的失败,而第3个问题使科研人员在优化同一类但不相同的具体问题时不得不重新编写和调试整

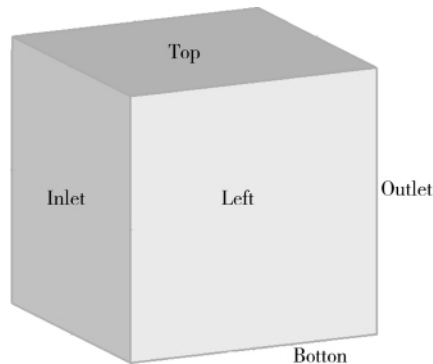


图2 模型的 acis 文件

```
-5 face $6 -1 -1 $-1 $7 $8 $4 $-1 $9 reversed single F F #
-6 name_attrib-gen-attr $-1 -1 $-1 $-1 $5 copy keep_kept ig-
nore copy @5 right #
.....
```

图2 将长方体绕轴旋转 60° 及其 acis 文件

Fig. 2 Cuboid rotated 60° and its acis file

个多学科优化流程,这不利于多学科优化程序资源的重复利用。另外修改多学科优化流程存在一定的技术难度,如果针对每一个问题都需要修改整个流程,一般的工程技术人员难以掌握,这不利于多学科优化技术的推广应用。

2 以面名称为标识的多学科优化数据链构建方法

和其它仿真过程一样,多学科优化的仿真也包含3个步骤:①建立几何模型;②通过交换格式文件将几何模型导入到网格处理软件并设置边界类型和划分网格;③将网格模型导入到计算软件中求解。不同于一般的仿真过程,在 multidisciplinay optimization 中上述3个步骤是自动完成的,为此,各个步骤之间的数据必须自动链接。以往这个数据自动链接是以面号为标识进行的,本文以面名称为标识进行数据自动链接。

以面名称为标识进行数据自动链接的主要工作可以分解为:以名称为标识实现步骤①到步骤②的数据传递;以名称为标识实现步骤②到步骤③的数据传递。目前,很多的网格生成软件已经能够在网格模型中定义面/面组(group)的名称,而仿真计算软件也能从网格模型中读入相应的面/面组名称,因此由步骤②到步骤③的过程已经能够根据面名称实现数据自动链接。剩下的问题是由步骤①到步骤②如何实现以面名称为标识的数据链接。

这里从3个方面入手解决以面名称为标识从步骤①到步骤②数据传递问题,具体的可以分解

为 3 个小问题:

1) 在几何造型软件中如何定义面名称作为数据链的标识;

2) 造型软件输出的几何交换模型能否保留面名称;

3) 网格处理软件中如何根据面名称匹配相应的边界类型和网格划分要求.

2.1 定义几何面名称

现有常用的几何造型软件(UG, Catia, Solidworks 等)都能够定义面名称. 如: 在 Solidworks 中, 可以通过选择要定义的面, 在名称属性中输入要定义的名称. 图 3 定义了一个长方体的面为“outlet”.



图 3 在 solidworks 中定义面名称(outlet)

Fig. 3 Define face name (outlet) in solidworks

2.2 交换模型中能否保留面名称

将 2.1 节 solidworks 的模型输出为常见且导入导出损失较小的几何交换模型文本格式^[12-14], 发现其中 acis (a. sat), step ap203 (a. step) 和 step ap214(a. step) 文件可以保留面名称“outlet”(见 a. sat 文件的第 9 行), 因此, 建立以面名称为标识的多学科优化数据链, 可以选用 acis 和 step 模型作为几何交换模型. 为了方便叙述, 下文以 acis 模型格式为例进行说明.

对下面列出的 a. sat 进行解读^[14-16], 可以发现“outlet”名称在文件的第 9 行, 对应几何体的第 2 个面. 将该 a. sat 导入网格处理软件 icem. cfd, 见图 4. 图 4 中 F_1 至 F_6 是长方体各个面号, 经过确认, icem. cfd 中“outlet”所对应的面为 F_2 , 这与解读文件 a. sat 的结果一致. 这说明面名称和面号之间存在对应关系, 以面名称为标识索引面和以面号为标识索引面是完全相同的, 可以用面名称作为多学科优化数据链的标识. 另外, 由于面名称是由研究者自己定义的, 而不是由几何造型软件自动生成的, 面号的变动不会引起面名称变化,

因此, 以面名称作为数据链的标识, 可以解决优化过程中面号随机变动的问题.

a. sat 文件

```
1400 0 1 2
37 SOLIDWORKS(2005204)-Sat-Convertor-2.0 12 ACIS 14.0 NT 24
Wed May 11 11:42:29 2011 1 9.9999999999999995e-007 1e-010
-0 body $1 -1 -1 $-1 $2 $-1 $-1 F #
-1 name_attrib-gen-attrib $-1 -1 $-1 $-1 $0 keep keep_kept ignore
copy @2 a #
-2 lump $3 -1 -1 $-1 $-1 $4 $0 F #
-3 rgb_color-st-attrib $-1 -1 $-1 $-1 $2 0.75294117647058822
0.75294117647058822 0.75294117647058822 #
-4 shell $-1 -1 -1 $-1 $-1 $-1 $5 $-1 $2 F #
-5 face $-1 -1 -1 $-1 $6 $7 $4 $-1 $8 reversed single F F #
-6 face $9 -1 -1 $-1 $10 $11 $4 $-1 $12 reversed single F F #
-7 loop $-1 -1 -1 $-1 $-1 $13 $5 F unknown #
-8 plane-surface $-1 -1 -1 $-1 -25.046403712296968
-25.797795823665883 0 0 0 1 1000 0 0 forward_v I I I I #
-9 name_attrib-gen-attrib $-1 -1 $-1 $-1 $6 copy keep_kept ignore
copy @6 outlet #
.....
```

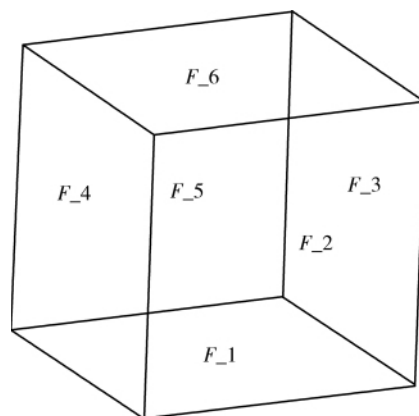


图 4 导入 icem. cfd 的模型和各面面号

Fig. 4 Model imported into icem. cfd and the index number of faces

2.3 以面名称为标识来匹配边界条件和网格要求

由于网格划分软件还是通过面号来识别面的, 因此在定义各面边界条件和网格要求时, 还是需要面名称转译为面号. 对于这个转译过程, 本文的方法是用于多学科优化的网格自动划分指令的边界面名称(该名称是研究者自己定义的, 可以是面的名称也可以是面组的名称), 在几何模型文件中搜寻对应的面名称和面号. 根据搜寻得到的面号, 修改网格划分指令中与该面名称对映的面号, 生成新的网格划分指令. 用新的指令划分网格, 就可以保证边界条件和网格要求的正确. 例如如图 5: 解读前述 a. sat 文件, 发现“outlet”对应的

面号为 F_2 , 将 a. sat 模型的网格划分指令文件 a. rpl 中“OUTLET”对应的面号 F_5 改为 a. sat 文件中对应的面号 F_2 , 生成新的指令文件. 以这个新指令文件划分 a. sat 模型的网格, 就可以正确定义“outlet”的边界条件和网格要求. 这样, 该模型的多学科优化流程就不会因为面号的变动而失败了.

a. rpl 文件 (ICEM. CFD 网格划分和边界定义指令)

```
ic_trans_ps_tetin a. sat ./a. tin
ic_load_tetin ./a. tin
ic_geo_delete_unattached {ORFN PART_1} 0 1
ic_geo_new_family a
ic_geo_create_volume {31 0 99} {} a
ic_geo_set_part surface F_5 OUTLET 0
```

修改后的 a. rpl 文件

```
ic_trans_ps_tetin a. sat ./a. tin
ic_load_tetin ./a. tin
ic_geo_delete_unattached {ORFN PART_1} 0 1
ic_geo_new_family a
ic_geo_create_volume {31 0 99} {} a
ic_geo_set_part surface F_2 OUTLET 0
```

图5 a. rpl 文件和修改后的 a. rpl 文件

Fig. 5 a. rpl file and modified a. rpl file

3 应用举例

图6是在Solidworks中建立的涡轮叶片气动几何模型. 修改模型参数生成2个模型, 模型1见图7和模型2见图8. 比较模型1和模型2可以看出两个模型的面的形状和编号完全不同.

模型1的icem. cfd网格划分指令blade. rpl如下所示. 用这组指令划分模型1得到网格见图

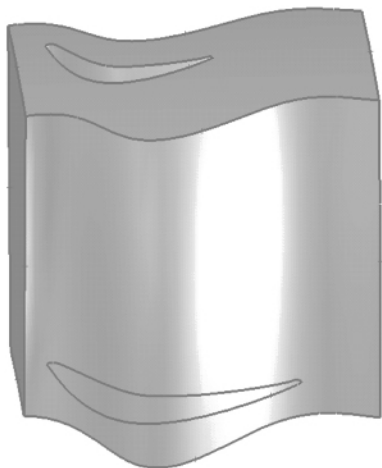


图6 Solidworks 中的涡轮叶片气动模型

Fig. 6 Air model of a turbine blade in solidworks

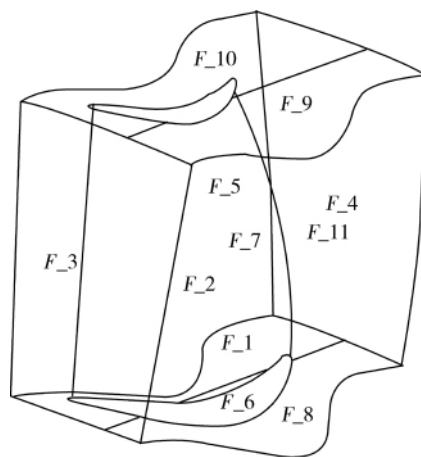


图7 涡轮叶片气动几何模型1及其面号

Fig. 7 First turbine blade air model and its face number

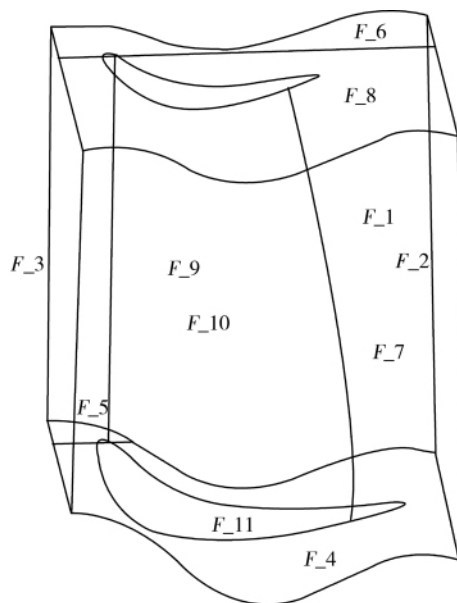


图8 涡轮叶片气动几何模型2及其面号

Fig. 8 Second turbine blade air model and its face number

9(图9中仅给出了hub, shroud和blade面的网格).

模型1的icem. cfd指令文件blade. rpl

.....

```
ic_geo_set_part surface F_3 INLET 0
ic_geo_set_part surface F_4 OUTLET 0
ic_geo_set_part surface {F_1 F_6 F_8} HUB 0
ic_geo_set_part surface {F_9 F_10} SHROUD 0
ic_geo_set_part surface F_11 PER1 0
ic_geo_set_part surface F_5 PER2 0
ic_geo_set_part surface {F_2 F_7} BLADE 0
.....
```

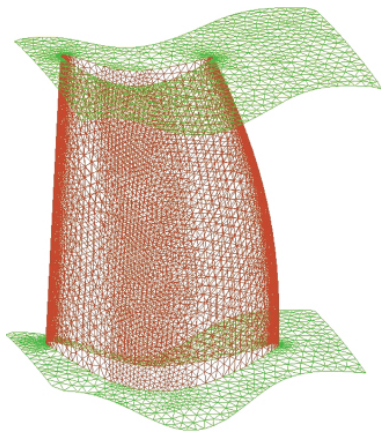


图 9 模型 1 的网格模型

Fig. 9 Mesh of the first model

直接用 blade.rpl 对模型 2 进行网格划分, 结果见图 10 (图 10 中也只显示了所定义 hub, shroud 和 blade). 从图 10 可以看出, 模型 2 定义的 hub, shroud 和 blade 边界与实际不符. 这说明面号改变使边界定义发生了错误.

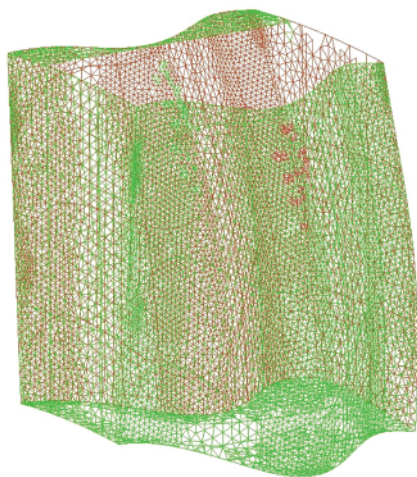


图 10 直接用模型 1 的指令划分模型 2 得到的网格

Fig. 10 Mesh of the second model generated using the journal/log recorded for the first model

改用以面名称作为标识的方法, 编写程序修改网格划分指令文件 blade.rpl, 生成的新指令如下所示. 用这组指令划分模型 2, 可得网格 (见图 11). 图 11 也只显示了 hub, shroud 和 blade 面. 从图 11 可以看出, 网格与实际情况相符. 这说明按照面名称标识法修改网格划分指令, 各面得到了正确的边界类型和网格要求.

修改后的 icem.cfd 指令文件 blade.rpl

.....

ic_geo_set_part surface F_3 INLET 0

ic_geo_set_part surface F_2 OUTLET 0
ic_geo_set_part surface {F_4 F_5 F_11} HUB 0
ic_geo_set_part surface {F_6 F_8} SHROUD 0
ic_geo_set_part surface F_1 PER1 0
ic_geo_set_part surface F_7 PER2 0
ic_geo_set_part surface {F_9 F_10} BLADE 0
.....

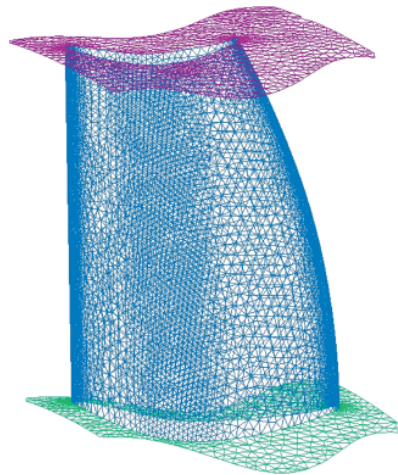


图 11 以面名称为标识的方法得到的模型 2 气动网格

Fig. 11 Mesh of the second model generated by the journal/log edited using face name index method

4 总 结

在研究涡轮叶片多学科优化过程中, 发现几何造型软件生成的几何模型的面号会产生随机变动, 导致多学科优化定义边界条件的错误和网格划分的失败. 为解决这一问题, 本文提出以面名称为标识的多学科优化数据链的构建方法. 该方法保证了模型面号变动的情况下多学科优化边界条件和网格质量要求的正确设置. 涡轮叶片多学科优化流程的实例表明本文的方法可行.

本文的方法也可以解决同一类但不相同的多学科优化问题的流程和代码重用问题.

本文的方法被用来建立一级涡轮 (包括: 叶盘/榫头、动叶、静叶、机匣等) 的多学科优化模型, 实践证明在较复杂的问题中同样有效.

参考文献:

- [1] Samareh J A. A unified approach to modeling multidisciplinary interactions[R]. AIAA-2000-4704, 2000.
- [2] Bock S. Approach for coupled heat transfer/heat flux calculations[EB/OL]. [2011-12-05]. <http://dodreports.com/pdf/ada419285.pdf>.
- [3] Samareh J A. Aerodynamic shape optimization based on

- free-form deformation[R]. AIAA-2004-4630, 2004.
- [4] Samareh J A. Multidisciplinary aerodynamic-structural shape optimization using deformation (MASSOUD)[R]. AIAA-2000-4911, 2000.
- [5] Hur J. Parametric mesh deformation for sensitivity analysis and design of a joined-wing aircraft[R]. AIAA-2004-116, 2004.
- [6] Walsh J L. Multidisciplinary high-fidelity analysis and optimization of aerospace vehicles Part I: formulation[R]. AIAA-2000-0418, 2000.
- [7] Walsh J L. Multidisciplinary high-fidelity analysis and optimization of aerospace vehicles Part II: preliminary Results[R]. AIAA-2000-0419, 2000.
- [8] Alonso J J, LeGresley P, Vander Weide, et al. pyMDO: a framework for high-fidelity multi-disciplinary optimization [R]. AIAA-2004-4480, 2004.
- [9] 虞跨海, 岳珠峰. 涡轮冷却叶片参数化建模及多学科设计优化[J]. 航空动力学报, 2007, 22(8): 1346-1351.
YU Kuahai, YUE Zhufeng. Parametric modeling and multidisciplinary design optimization for cooling turbine blade [J]. Journal of Aerospace Power, 2007, 22(8): 1346-1351. (in Chinese)
- [10] 岳珠峰, 李立州, 虞跨海, 等. 航空发动机涡轮叶片多学科设计优化[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [11] 岳珠峰, 虞跨海, 温志勋, 等. 涡轮单晶冷却叶片综合设计技术综述[J]. 航空制造技术, 2009, (9): 34-37.
YUE Zhufeng, YU Kuahai, WEN Zhixun, et al. Review of nickel-based single crystal cooling turbine blade design[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(9): 34-37. (in Chinese)
- [12] 乔磊. 基于几何内核的三维边界模型信息交换[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
QIAO Lei. Information exchange of three-dimensional boundary model based on geometric kernel[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese)
- [13] 党松, 莫蓉, 常智勇, 等. CAD/CAE 集成中的几何模型转换方法研究[J]. 现代制造工程, 2007(12): 47-50.
DANG Song, MO Rong, CHANG Zhiyong, et al. Research on geometric model transformation method in CAD/CAE integration[J]. CAD/CAE/CAPP/CAM, 2007(12): 47-50. (in Chinese)
- [14] 赵建军, 王启付. 基于边界表达的 ParaSolid 与 ACIS 直接双向接口[J]. 计算机工程, 2004(8): 40-41.
ZHAO Jianjun, WANG Qifu. Direct two-way interface of paraSolid and ACIS based on boundary representation[J]. Computer Engineering, 2004(8): 40-41. (in Chinese)
- [15] 王国瑾, 汪国昭, 郑建民. 计算机辅助几何设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [16] 高素威, 韩庆瑶. AutoCAD 三维图形数据提取方法研究[J]. 机械设计与制造, 2010(6): 199-201.
GAO Suwei, HAN Qingyao. Research on data retrieve technique in AutoCAD three-dimension graphics[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(6): 199-201. (in Chinese)