

Abaqus用户手册大系

Abaqus

分析用户手册

指定条件、约束与相互作用卷

Abaqus Analysis User's Guide: Prescribed Conditions, Constraints & Interactions Volume

王鹰宇 编著

- ◆ Abaqus原版用户手册的中文版
- ◆ 介绍了各种物理过程中包含的多种形式的载荷及约束
- ◆ 详述了物理过程中广泛存在的多种相互作用及接触问题

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

Abaqus 用户手册大系

Abaqus 分析用户手册

—— 指定条件、约束与 相互作用卷

王鹰宇 编著



机械工业出版社

本书是“Abaqus 用户手册大系”中的一册，包括指定条件、约束与相互作用三个部分。指定条件部分对各种物理过程中涉及的各种形式的载荷进行了描述，阐述了如何定义施加随空间和时间变化的载荷。约束部分对模型中节点与节点之间、单元与单元之间的各种约束关系进行了阐述。相互作用部分对广泛存在于物理过程中的相互接触问题进行了详尽的阐述。

本书中阐述的技术要点对于完整、细致、正确地建立仿真模型是非常必要的，是对《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的非常细致的补充。本书不仅适合于从事大型装备设计的工程技术人员使用，也非常适合各行业中从事各种尺度产品设计与分析的人员使用。对于需要使用 Abaqus 进行实际复杂问题处理的学生及工程技术人员来说，本书则是必备的。对于采用其他软件进行相关工作的技术人员，书中的技术要点也具有非常重要的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

Abaqus 分析用户手册. 指定条件、约束与相互作用卷/王鹰宇编著.
—北京: 机械工业出版社, 2019. 8
(Abaqus 用户手册大系)
ISBN 978-7-111-63327-3

I. ①A… II. ①王… III. ①有限元分析-应用软件-手册
IV. ①O241. 82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 150231 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 孔 劲 责任编辑: 孔 劲 王海霞
责任校对: 杜雨霏 张晓蓉 封面设计: 张 静
责任印制: 孙 炜
北京联兴盛业印刷股份有限公司印刷
2019 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·40.75 印张·2 插页·1011 千字
0001—2500 册
标准书号: ISBN 978-7-111-63327-3
定价: 169.00 元

电话服务

客服电话: 010-88361066
010-88379833
010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机 工 官 网: www.cmpbook.com
机 工 官 博: weibo.com/cmp1952
金 书 网: www.golden-book.com
机工教育服务网: www.cmpedu.com



王鹰宇，男，江苏南通人。毕业于四川大学机械制造学院机械设计及理论方向，硕士研究生学历。毕业后进入上海飞机设计研究所，从事飞机结构与优化计算工作，参加了 ARJ21 新支线喷气客机研制。后在 3M 中国有限公司从事固体力学、计算流体动力学、NVH 仿真、设计优化和自动化设备设计工作至今。期间有一年时间（2016.7~2017.7）在中国航发商用航空发动机有限责任公司从事航空发动机短舱结构研制工作。

Abaqus 作为世界先进的仿真平台，在国外享有盛誉，在工业界及研究机构中得到了广泛应用。自 1997 年由清华大学庄茁教授引入国内以来，Abaqus 由于其友好、清晰的前处理界面，强大、可靠的求解器，丰富的功能和充足的后处理手段，开放的构架，并且允许用户通过二次开发进行单元和功能扩充，而在国内工业及研究的各个领域都有了广泛的应用，已成为主流的 CAE 软件之一。国内从事设计仿真工作的技术人员对 Abaqus 非常认可，并不断自发地对其进行研究和推广，使得涉及软件应用及相关项目处理的众多书籍面世，这些书籍对于想要学习、使用 Abaqus 的学生及工程技术人员是十分有益的，作者本人也受益匪浅。虽然得益于这些技术书籍，但众所周知，Abaqus 完备的帮助文档体系是获得更多关于 Abaqus 知识和技能的源泉，阅读 Abaqus 帮助文档是提高 Abaqus 使用技能，以及提高解决实际问题的能力之必要步骤。

由于工作上的原因，作者几乎每天都要使用 Abaqus，在遇到棘手问题的时候，经常阅读 Abaqus 的帮助文档，从中找到解决难题的方法和指导。为了尽量准确地把握英文帮助文档的内容，作者在业余时间对经常翻阅的 *Abaqus Analysis User's Guide* 的五部分册进行了翻译汉化，并且得到了 SIMULIA 公司领导的支持和鼓励，最终对其进行了出版。

本书是“Abaqus 用户手册大系”中的一册，共分三部分：指定条件、约束与相互作用。指定条件部分讲述了如何将各种物理领域的载荷施加到模型中，这些载荷可以是均匀的，也可以是随时间和空间变化的；约束部分对节点与节点之间、单元与单元之间的各种自由度关系进行了描述和设定；相互作用部分对描述实际情况非常有用的各种接触类型进行了非常详细的介绍。本书所阐述的技术细节配合“Abaqus 用户手册大系”的其他分卷《Abaqus 分析用户手册——介绍、空间建模、执行与输出卷》《Abaqus 分析用户手册——材料卷》《Abaqus 分析用户手册——单元卷》和《Abaqus 分析用户手册——分析卷》等使用，对完整、深入地理解计算仿真对象，进行正确的建模模拟有极大的帮助，尤其是对涉及接触的仿真问题，可提供非常有针对性的帮助。

这些手册的翻译工作都是作者在业余时间完成的，付出了非常艰辛的劳动，工作量如此巨大，如果不是出于对所从事工作领域的热爱，也许会望而却步，更无法谈及坚持下来。作

者在写作过程中得到了家人的支持，这里向家人陈菊女士和爱子表达感谢。尤其是在开始这项工作时，爱子还是一个学前幼儿，现在已经是一名小学生了。同时感谢家中老人对晚辈工作的支持和帮助。

本书的出版得到了达索 SIMULIA 中国区领导的帮助和支持，这里向中国区总监白锐、用户支持经理高祎临、中国南方区技术经理高邵武博士在成书及出版过程中给予我的帮助和支持表示由衷的感谢！

向在工作中给予我及家人帮助的 3M 中国技术部熊海锬总经理，高级专家团队的徐志勇、张鸣，资深经理金舟、唐博、周杰、孙鑫鑫表示由衷的感谢！

感谢 3M 海外领导及前辈乔刘总监、Fay Salmon 女士、刘尧奇总裁的帮助与指导！

感谢 3M 亚太区工程中心设计团队经理朱笛对我工作及个人技术能力提高方面给予的支持和帮助！感谢中国商飞（COMAC）结构部的范耀宇研究员、退休老专家刘林海在以往工作中的指导和帮助！

虽然作者尽最大努力力求行文准确流畅，但是囿于语言能力和技术能力，不当之处在所难免。期望广大读者对书中存在的问题不吝赐教，建议和意见请发送至 wayiyu110@sohu.com，作者将不胜感激！

作者

目 录

作者简介

前言

第 1 部分 指定条件

1 指定条件	2
1.1 概览	3
1.1.1 指定条件：概览	4
1.1.2 幅值曲线	6
1.2 初始条件	19
1.2.1 Abaqus/Standard 和 Abaqus/Explicit 中的初始条件	20
1.2.2 Abaqus/CFD 中的初始条件	34
1.3 边界条件	37
1.3.1 Abaqus/Standard 和 Abaqus/Explicit 中的边界条件	38
1.3.2 Abaqus/CFD 中的边界条件	47
1.4 载荷	55
1.4.1 施加载荷：概览	56
1.4.2 集中载荷	60
1.4.3 分布载荷	62
1.4.4 热载荷	86
1.4.5 电磁载荷	96
1.4.6 声学 and 冲击载荷	101
1.4.7 孔隙流体流动	127
1.5 指定装配载荷	133
1.6 预定义场	142

第 2 部分 约 束

2 约束	160
2.1 运动约束：概览	161
2.2 多点约束	165
2.2.1 线性约束方程	166

2.2.2 通用多点约束	170
2.2.3 运动耦合约束	189
2.3 基于面的约束	192
2.3.1 网格绑缚约束	193
2.3.2 耦合约束	207
2.3.3 壳-实体耦合	216
2.3.4 网格无关的紧固件	222
2.4 嵌入单元	239
2.5 单元端部释放	245
2.6 过约束检查	248

第3部分 相互作用

3 定义接触相互作用	264
3.1 接触相互作用分析：概览	265
3.2 在 Abaqus/Standard 中定义通用接触	274
3.2.1 在 Abaqus/Standard 中定义通用接触相互作用	275
3.2.2 Abaqus/Standard 中通用接触的面属性	284
3.2.3 Abaqus/Standard 中通用接触的接触属性	290
3.2.4 在 Abaqus/Standard 中控制初始接触状态	293
3.2.5 Abaqus/Standard 中通用接触的稳定性	300
3.2.6 Abaqus/Standard 中通用接触的数值控制	303
3.3 在 Abaqus/Standard 中定义接触对	308
3.3.1 在 Abaqus/Standard 中定义接触对	309
3.3.2 在 Abaqus/Standard 中为接触对赋予面属性	322
3.3.3 在 Abaqus/Standard 中为接触对赋予接触属性	324
3.3.4 在 Abaqus/Standard 中模拟接触过盈配合	326
3.3.5 调整 Abaqus/Standard 接触对的初始面位置并指定初始间隙	331
3.3.6 在 Abaqus/Standard 中调整接触控制	337
3.3.7 在 Abaqus/Standard 中定义绑定接触	345
3.3.8 扩展主面和滑移线	347
3.3.9 存在子结构的接触模拟	350
3.3.10 存在非对称轴对称单元的接触模拟	352
3.4 在 Abaqus/Explicit 中定义通用接触	354
3.4.1 在 Abaqus/Explicit 中定义通用接触相互作用	355
3.4.2 在 Abaqus/Explicit 中为通用接触赋予面属性	366
3.4.3 在 Abaqus/Explicit 中为通用接触赋予接触属性	378
3.4.4 在 Abaqus/Explicit 中为通用接触控制初始接触状态	380
3.4.5 Abaqus/Explicit 中通用接触的接触控制	386
3.5 在 Abaqus/Explicit 中定义接触对	393

3.5.1	在 Abaqus/Explicit 中定义接触对	394
3.5.2	在 Abaqus/Explicit 中为接触对赋予面属性	401
3.5.3	在 Abaqus/Explicit 中为接触对赋予接触属性	406
3.5.4	调整 Abaqus/Explicit 中接触对的初始面位置并指定初始间隙	408
3.5.5	Abaqus/Explicit 中接触对的接触控制	412
4	接触属性模型	416
4.1	力学接触属性	417
4.1.1	力学接触属性: 概览	418
4.1.2	接触压力与过盈的关系	420
4.1.3	接触阻尼	427
4.1.4	接触阻滞	431
4.1.5	摩擦行为	432
4.1.6	用户定义的界面本构行为	445
4.1.7	压力穿透载荷	451
4.1.8	脱胶面的相互作用	454
4.1.9	可断裂连接	456
4.1.10	基于面的胶粘行为	461
4.2	热接触属性	478
4.3	电接触属性	489
4.4	孔隙流体接触属性	494
5	接触方程和数值方法	499
5.1	Abaqus/Standard 中的接触方程和数值方法	500
5.1.1	Abaqus/Standard 中的接触方程	501
5.1.2	Abaqus/Standard 中接触约束的施加方法	518
5.1.3	在 Abaqus/Standard 中平滑接触面	527
5.2	Abaqus/Explicit 中的接触方程和数值方法	532
5.2.1	Abaqus/Explicit 中通用接触的接触方程	533
5.2.2	Abaqus/Explicit 中接触对的接触方程	536
5.2.3	Abaqus/Explicit 中接触约束的施加方法	546
6	接触困难和诊断	552
6.1	解决 Abaqus/Standard 中的接触困难	553
6.1.1	Abaqus/Standard 分析中的接触诊断	554
6.1.2	Abaqus/Standard 中与接触模拟相关的常见困难	562
6.2	解决 Abaqus/Explicit 中的接触困难	575
6.2.1	Abaqus/Explicit 分析中的接触诊断	576
6.2.2	Abaqus/Explicit 中与使用接触对的接触模型相关的常见困难	579
7	Abaqus/Standard 中的接触单元	587
7.1	使用单元进行接触模拟	588
7.2	间隔接触单元	590

7.2.1	间隔接触单元：概览	591
7.2.2	间隔单元库	596
7.3	管-管接触单元	599
7.3.1	管-管接触单元：概览	600
7.3.2	管-管接触单元库	602
7.4	滑移线接触单元	606
7.4.1	滑移线接触单元：概览	607
7.4.2	轴对称滑移线单元库	611
7.5	刚性面接触单元	613
7.5.1	刚性面接触单元：概览	614
7.5.2	轴对称刚性面接触单元库	616
8	在 Abaqus/Standard 中定义腔辐射	618

第 1 部分 指定条件

1 指定条件

1.1 概览	3
1.2 初始条件	19
1.3 边界条件	37
1.4 载荷	55
1.5 指定装配载荷	133
1.6 预定义场	142

1.1 概览

- “指定条件：概览” 1.1.1 节
- “幅值曲线” 1.1.2 节

1.1.1 指定条件：概览

可以在 Abaqus 模型中指定以下类型的外部条件：

- 初始条件：可以为许多变量定义非零的初始条件。见“Abaqus/Standard 和 Abaqus / Explicit 中的初始条件”（1.2.1 节）和“Abaqus/CFD 中的初始条件”（1.2.2 节）。

- 边界条件：使用边界条件来指定基本解变量的值：应力/位移分析中的位移和转动约束，热传导或者耦合的热-应力分析中的温度，耦合的热-电分析中的电位，土壤分析中的孔隙压力，声学分析中的声压等。边界条件的定义可以见“Abaqus /Standard 和 Abaqus/Explicit 中的边界条件，”（1.3.1 节）和“Abaqus/CFD 中的边界条件”（1.3.2 节）。

- 载荷：可以使用许多类型的载荷，取决于分析过程。在“施加载荷：概览”（1.4.1 节）中给出了 Abaqus 中载荷的概览。具体到一个分析过程的载荷类型，在《Abaqus 分析用户手册——分析卷》中的相应部分进行了描述。下面几个部分介绍了可以在多个分析类型中施加的通用载荷：

- “集中载荷”，1.4.2 节

- “分布载荷”，1.4.3 节

- “热载荷”，1.4.4 节

- “电磁载荷”，1.4.5 节

- “声学 and 冲击载荷”，1.4.6 节

- “孔隙流体流动”，1.4.7 节

- 指定装配载荷：可以通过在 Abaqus/Standard 中定义预拉伸截面，来指定螺栓中或者其他类型紧固件中的装配载荷。在“指定装配载荷”（1.5 节）中对预拉伸截面进行了描述。

- 连接器载荷和运动：可以使用连接器单元来定义零件之间的复杂机械连接，包括具有指定载荷或者运动的作用。在《Abaqus 分析用户手册——单元卷》的“连接器：概览”（5.1.1 节）中对连接器单元进行了描述。

- 预定义的场：预定义的场是在整个模型的空间场上存在的与温度相关的、非求解相关的场。温度是最常用的定义场。在“预定义场”（1.6 节）中对预定义的场进行了描述。

幅值变化

可以通过在指定条件的定义中参照一条幅值曲线，来指定复杂的时间或者频率相关的边界条件、载荷和预定义的场。在“幅值曲线”（1.1.2 节）中对幅值曲线进行了解释。

在 Abaqus/Standard 中，如果没有参照边界条件、载荷或者预定义的场定义中的幅值，则在步的开始时瞬时施加载荷，并且在整个步上保持不变（一个“步”变量）；或者从前面步结束时的值（或者从分析开始时的零值）变化到给定的大小（一个“斜坡”变量），此时在整个步上幅值呈线性变化。用户定义步时选择变量的类型，默认的变量类型取决于所选择的分析过程，如《Abaqus 分析用户手册——分析卷》“定义一个分析”（1.1.2 节）中所描述的那样。

在 Abaqus/Standard 中，可以在用户子程序中定义许多指定条件的变化。在这种情况下，变量的大小可以随位置和时间以任何形式发生变化。必须在子程序（见《Abaqus 分析用户手册——分析卷》中的扩展 Abaqus 的分析功能”，13.1 节）中给出要指定的条件和要删除的条件的大小变化。

虽然 Abaqus/Explicit 不承认位移的阶跃，但是在 Abaqus/Explicit 中，如果没有参照边界条件或者载荷定义中的幅值，则将在步的开始时瞬时施加总幅值，并且在整个步上保持不变（一个“步”变化），见“Abaqus/Standard 和 Abaqus/Explicit 中的边界条件”（1.3.1 节）。如果没有参照一个预定义的场定义中的幅值，则幅值将在步上从前面步结束时的值（或者从分析开始时的零值）线性地变化到给定的值（一个“斜坡”变化）。

当删除边界条件时（见“Abaqus/Standard 和 Abaqus/Explicit 中的边界条件”，1.3.1 节），将边界条件（应力/位移分析中的位移和转动约束）转化成一步开始时应用的共轭流量（应力/位移分析中的力或者力矩）。其使用取决于所选过程的“步”或者通过“斜线”的变化来设置共轭流量的大小为零，如《Abaqus 分析用户手册——分析卷》“定义一个分析”（1.1.2 节）中所讨论的那样。类似的，当删除了载荷和预定义的场时，需要将载荷设置为零，并将预定义的场设置为初始值。

在 Abaqus/CFD 中，如果没有参照边界条件或者载荷中的幅值，则在步的开始时瞬时施加总幅值，并且在整个步上保持不变。Abaqus/CFD 允许速度、温度等从前面步的结束值阶跃地变化到当前步中给定的大小。但是，在速度边界条件中为了定义一个良好设定的不可压缩的流动问题，其阶跃可以产生一个无发散的投影，从而可将初始速度调整为与指定的边界条件一致。

在一个局部坐标系中施加边界条件和载荷

用户可以如《Abaqus 分析用户手册——介绍、空间建模、执行与输出卷》的“变换坐标系”（2.1.5 节）中所描述的那样，在一个节点上定义一个局部坐标系，然后在局部坐标系中给出集中力和力矩载荷的所有输入数据，以及位移和转动边界条件的所有输入数据。

不同过程的可用载荷和预定义的场（表 1-1）

表 1-1 不同过程的可用载荷和预定义的场

载荷和预定义的场	过程
附加的质量（集中的和分布的）	Abaqus/Aqua 特征频率提取分析 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“固有频率提取”（1.3.5 节）
基础运动	基于特征模态的过程 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“瞬态模态动力学分析”（1.3.7 节） 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“基于模态的稳态动力学分析”（1.3.8 节） 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“响应谱分析”（1.3.10 节） 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“随机响应分析”（1.3.11 节）

(续)

载荷和预定义的场	过程
具有一个非零指定边界的边界条件	除了那些基于特征频率的所有过程
连接器运动 连接器载荷	除了模态提取、屈曲以外的所有相关过程,包括那些基于特征模态的过程和直接稳态动力学过程
交互关联的属性	《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“随机响应分析”(1.3.11节)
当前密度(集中的和分布的)	《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“耦合的热-电分析”(1.7.3节) 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“完全耦合的热-电-结构分析”(1.7.4节)
当前密度向量	《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“涡流分析”(1.7.5节)
电荷(集中的和分布的)	《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“压电分析”(1.7.2节)
等效压应力	《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“质量扩散分析”(1.9节)
膜系数和相关的散热器温度	所有包含温度自由度的过程
流体流量	包含静水压流体单元的分析
流体质量流动率	包含对流热传导单元的分析
流量(集中的和分布的)	所有包含温度自由度的过程 《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“质量扩散分析”(1.9节)
力和力矩(集中的和分布的)	所有具有位移自由度的过程(除了响应谱过程)
入射波载荷	包含承受冲击载荷的固体单元和/或流体单元的直接积分的动力学分析,见《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“使用直接积分的隐式动力学分析”(1.3.2节)
预定义的场变量	除了那些基于特征模态的所有过程
渗透系数和相关的按水槽孔隙压力分布的渗透流	《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“耦合的孔隙流体流动和应力分析”(1.8.1节)
子结构载荷	所有包含子结构的使用过程
预定义场的温度	除了绝热分析、基于模态的过程和涉及温度自由度的过程以外的所有过程

除了集中的附加质量和分布的附加质量外,特征频率提取分析中不能施加载荷。

1.1.2 幅值曲线

产品: Abaqus/Standard Abaqus/Explicit Abaqus/CFD Abaqus/CAE

参考

- “指定条件:概览”,1.1.1节
- *AMPLITUDE
- “幅值工具集”,《Abaqus/CAE 用户手册》第57章

概览

一条幅值曲线：

- 允许载荷、位移和其他参数在整个步（使用步时间）或者整个分析（使用总时间）上以给定的变量在任意时间（或者频率）范围内变化。
- 可以定义成一个数学函数（如正弦函数），一段时间内（如来自地震的数字化的关于加速度-时间的记录）很多点上的一系列值，以及用户子程序中用户的一个自定义；或者在 Abaqus/Standard 中，定义成以一个求解相关的变量为基础来计算得到的值（如超塑性成形问题中的最大蠕变应变率）。
- 可以通过任何数量的边界条件、载荷和预定义的场的名称来进行参照。

幅值曲线

在默认情况下，载荷、边界条件和预定义的场要么在整个步上（斜线函数）随时间线性地变化，要么瞬时施加并在整个步上（阶跃函数）保持不变，见《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的“定义一个分析”（1.1.2 节）。然而，许多问题要求进行更加详细的定义。例如，可以使用不同的幅值曲线来指定不同载荷随时间的变化。一个常见的例子是热和机械载荷瞬变的组合：通常在步过程中，温度和机械载荷具有不同的随时间变化的规律，可以使用不同的幅值曲线来指定这些随时间变化的规律。

其他的例子包括对地震载荷的动态分析，可以使用幅值曲线来指定加速度随时间的变化规律；在做水下冲击分析时，也可以使用幅值曲线来指定入射压力曲线。

幅值是作为模型数据来定义的（即它们之间是相关联的）。必须对每一条幅值曲线进行命名，然后参照这些名称来形成载荷、边界条件或者预定义的场定义 [见“指定条件：概览”（1.1.1 节）]。

输入文件用法：* AMPLITUDE, NAME = 名称

Abaqus/CAE 用法：Load or Interaction module: Create Amplitude: 名称

定义时间区段

幅值曲线是时间或者频率的函数。定义成频率的函数的幅值用于“直接求解的稳态动力学分析”（《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的 1.3.4 节）、“基于模态的稳态动力学分析”（《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的 1.3.8 节）和“涡流分析”（《Abaqus 分析用户手册——分析卷》的 1.7.5 节）。

可以采用步时间（默认的）或者总时间的方式来给出作为时间函数的幅值。这些时间度量是在“约定”（《Abaqus 分析用户手册——介绍、空间建模、执行与输出卷》的 1.2.2 节）中定义的。

输入文件用法：使用下面选项中的一个：

* AMPLITUDE, NAME = 名称, TIME = STEP TIME (默认的)