

🛃 导读

模态分析主要用于确定结构和机器零部件的振动特性(固有频率和振型),模态分析也是其他动力学分析(如谐响应分析、瞬态动力学分析及谱分析等)的基础。用模态分析可以确定一个结构的频率和振型。本章先介绍动力学分析中较为简单也是基础的部分——模态分析,通过本章的学习,即可掌握 ABAQUS 进行模态分析的步骤和方法,使读者了解 ABAQUS 进行动力学分析的巨大优势。

🛃 教学目标

- 了解动力学分析简介
- 熟悉 ABAQUS 进行固定结构的振动模态分析
- 掌握 ABAQUS 进行薄壳零件结构的模态分析
- 掌握 ABAQUS 货物吊车动态载荷分析

8.1 动力学概述

如果只对结构受载后的长期效应感兴趣,静力分析是足够的。但是如果加载过程很短或载荷在性质上 是动态的,则必须考虑动态分析。

8.1.1 动力学分析简介

动力学分析常用于描述下列物理现象。

- 冲击: 如冲压、汽车的碰撞等。
- 地震载荷:如地震、冲击波等。
- 随机振动:如汽车的颠簸、火箭发射等。
- 振动:如由于旋转机械引起的振动。
- 变化载荷: 如一些旋转机械的载荷。



每一种物理现象都要按照一定类型的动力学分析来解决。在工程应用中,经常使用的动力学分析类型 包括:

(1) 谐响应分析:用于确定结构对稳态简谐载荷的响应,如对旋转机械的轴承和支撑结构施加稳定的 交变载荷,这些作用力随着转速的不同引起不同的偏转和应力。

(2)频谱分析:用于分析结构对地震等频谱载荷的响应,如在地震多发区的房屋框架和桥梁设计中应 使其能够承受地震载荷。

(3)随机振动分析:用来分析部件结构对随机振动的响应,如太空飞船和飞行器部件必须能够承受持续一段时间的变频载荷。

(4)模态分析:是研究结构动力特性的一种方法,一般应用在工程振动领域。其中,模态是指机械结构的固有振动特性,每一个模态都有特定的固有频率、阴尼比和模态振型。其典型分析包括机器、建筑物、飞行器、船舶、汽车等。

(5)瞬态动力学分析:用于分析结构对随时间变化的载荷的响应。例如,设计汽车保险杠可以承受低速撞击;设计网球拍框架,保证其承受网球的冲击并且允许发生轻微的弯曲。

8.1.2 动力学有限元法的基本原理

动力学分析是将惯性力包含在动力学平衡方程方式中:

$M\ddot{u} + I - f=0$

其中, M是结构的质量; ü是结构的加速度; I是结构中的内力; F是所施加的外力。

上述公式的表述其实就是牛顿第二运动定律(F=ma)的变化形式。

动力学分析和静力学分析最主要的不同在于平衡方程中包含惯性力项(*Mü*);另一个不同之处在于内力*I*的定义。

在静力学分析中,内力仅由结构的变形引起;而动力学分析中的内力包括结构变形和运动(如阻尼)的 共同影响。

1. 模态和固有频率

以弹簧-质量振动这个最简单的动力问题为例进行讲解,如图 8-1 所示。



图 8-1 质量-弹簧系统

弹簧的内力为 ku,运动方程式为:

 $m\ddot{u}+ku-F=0$



这个弹簧质量系统的固有频率(单位是弧度/秒)为:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

如果质量块被移动后再释放,那么它将以这个频率振动。若按照此频率施加一个动态外力,位 药巧提示 移的幅度将剧烈增加,即为共振现象。

实际的结构和系统都具有多个固有频率。所以,在设计结构时避免使各固有频率与可能的载荷频率过 分接近。固有频率可以通过分析结构在无载荷(动力平衡方程中的 *F*=0)时的动态响应而得到。此时,运动 方程变为:

$$M\ddot{u} + I = 0$$

对于无阻尼系统, I=Ku, 则上式变为:

 $M\ddot{u}+Ku=0$

这个方程解的形式为:

$$u = \phi \exp(i \, \sigma t)$$

将上式代入运动方程中就会得到特征值问题方程:

 $K\phi = \lambda M\phi$

其中, $\lambda = \sigma^2$ 。

该系统具有 *n* 个特征值,此处 *n* 是有限元模型的自由度数, λ_i 为第 *i* 个特征值。它的平方根 ϖ_i 是结构的第 *i* 阶固有频率, ϕ_i 是相应的第 *i* 阶特征向量。特征向量也就是模态(也称为振型),它是结构在第 *i* 阶振型下的变形状态。在 ABAQUS 中,频率提取程序用来求解结构的振型和频率,这个程序使用起来十分简单,只要给出所需振型的数目和所关心的最高频率即可。

2. 振型的叠加

在线性问题中,结构在载荷作用下的动力响应可以用固有频率和振型来表示,即可以采用振型叠加技术由各振型的组合得到结构的变形,每一阶模态都要乘以一个标量因子。模型中位移矢量 *u* 定义为:

$$u = \sum_{j=0}^{\infty} \beta_j \phi_j$$

其中, β_j 是振型 ϕ_j 的标量因子。该方法只可以模拟小变形、线弹性材料、无接触条件情况下的动力学分析,即必须是线性问题。

在结构动力学分析中,结构的响应往往取决于相对较少的几阶振型,这使得振型叠加方法在计算这类 系统的响应时特别有效。考虑一个含有 1000 个自由度的模型,则对运动方程的直接积分需要在每个时间点 上求解 1000 个联立方程组。但若结构的响应采用 100 阶振型来描述,那么在每个时间步上只需求解 100 个 方程。更重要的是,振型方程是解耦的,而原来的运动方程则是耦合的。虽然在计算振型和频率时需要花 费一些时间,但在计算响应时将节省大量的时间。

如果在模拟中存在非线性,在分析中固有频率会发生明显的变化,因而振型叠加法将不再适用。在这

ABAQUS 2018 有限元分析从入门到精通 •

种情况下,需要对动力平衡方程直接积分,这将比振型分析花费更多的时间。具有下列特点的问题才适于进行线性瞬态动力学分析。

- 系统应该是线性的:线性材料特性,无接触条件,无非线性几何效应。
- 响应应该只受较少的频率支配。当响应中各频率成分增加时,例如撞击和冲击问题,振型叠加 技术的有效性将大大降低。
- 系统的阻尼不能过大。
- 载荷的频率应主要在所提取的频率范围内,以确保对载荷的描述足够精确。
- 任何突然加载所产生的初始加速度应该能用特征模态准确描述。

3. 阻尼的设定

如果一个无阻尼结构做自由振动,那么它的振幅会保持恒定不变。实际上,由于结构运动而能量耗 散,振幅将逐渐减小直至振动停止,这种能量耗散称为阻尼。通常假定阻尼为粘滞的或正比于速度。动力 平衡方程可以重新写成包含阻尼的形式:

$$M\ddot{u} + I - P = 0$$
$$I = Ku + C\dot{u}$$

其中, C是结构的阻尼阵, *u*是结构的速度。

能量耗散来自于诸多因素,其中包括结构结合处的摩擦和局部材料的迟滞效应。阻尼概念对于无须顾 及能量吸收过程的细节表征而言是一个很方便的方法。

在 ABAQUS 中,是针对无阻尼系统计算其振型的,然而,大多数工程问题还是包含阻尼的,尽管阻尼 可能很小。有阻尼的固有频率和无阻尼的固有频率的关系是:

$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \xi^2}$

其中, ω_a 是阻尼特征值, $\xi = \frac{c}{c_0}$ 是临界阻尼比, c是该振型的阻尼, c₀是临界阻尼。

对*ξ*较小的情形(*ξ*<0.1),有阻尼系统的特征频率非常接近于无阻尼系统的相应值。当*ξ*增大时,采 用无阻尼系统的特征频率就不太准确,当*ξ*接近于1时,就不能采用无阻尼系统的特征频率了。

当结构处于临界阻尼(ξ =1)时,施加一个扰动后,结构不会有摆动而是很快地恢复到静止的初始 形态。

在 ABAQUS 中,为了进行瞬时模态分析,可定义不同类型的阻尼:直接模态阻尼、瑞利阻尼和复合模态阻尼。

模拟动力学过程要定义阻尼。阻尼是分析步定义的一部分,每阶振型可以定义不同数量的阻尼。

(1) 直接模态阻尼

采用直接模态阻尼可以定义对应于每阶振型的临界阻尼比*く*。*と*的典型取值范围是 1%~10%。直接模态阻尼允许精确定义每阶振型的阻尼。

(2) Rayleigh 阻尼

Rayleigh 阻尼假设阻尼矩阵是质量矩阵和刚度矩阵的线性组合。

$$C = \alpha M + \beta K$$



其中α和β是用户定义的常数。尽管假设阻尼正比于质量和刚度没有严格的物理基础,但实际上目前对于阻尼的分布知之甚少,也就不能保证使用更为复杂的阻尼模型是正确的。一般来讲,这个模型对于大阻 尼系统 —— 也就是临界阻尼超过10%时,是失效的。相对于其他形式的阻尼,可以精确地定义系统每阶模态的 Rayleigh 阻尼。

(3) 复合阻尼

在复合阻尼中,可以定义每种材料的临界阻尼比,并且复合阻尼是对应于整体结构的阻尼。当结构中 有许多不同种类的材料时,这一选项是十分有用的。

在大多数线性动力学问题中,恰当地定义阻尼对于获得精确的结果是十分重要的。但是阻尼只 按IG提示 是对结构吸收能量这种特性的近似描述,而不是去仿真造成这种效果的物理机制。所以,确定 分析中所需要的阻尼数据是很困难的。

8.1.3 模态分析

1. 模态分析概述

模态分析,即自由振动分析,是研究结构动力特性的一种近代方法,是系统辨别方法在工程振动领域 中的应用。模态是机械结构的固有振动特性,每一个模态具有特定的固有频率、阻尼比和模态振型。模态 参数可以由计算或试验分析取得,这样一个计算或试验分析过程称为模态分析。

模态分析的经典定义是将线性定常系统振动微分方程组中的物理坐标变换为模态坐标,使方程组解 耦,成为一组以模态坐标及模态参数描述的独立方程,以便求出系统的模态参数。坐标变换的变换矩阵为 模态矩阵,其每列为模态振型。

对于模态分析,振动频率 ω 和模态 ϕ 由下面的方程计算求出:

$$\left(\left[K\right] - \omega_i^2 \left[M\right]\right) \left\{\phi_i\right\} = 0$$

这里假设[*K*]、[*M*]是定值,这就要求材料是线弹性的、使用小位移理论(不包括非线性)、无阻尼([*C*])、无激振力(无[*F*])。

模态分析的最终目标是识别出系统的模态参数,为结构系统的振动特性分析、振动故障诊断和预报以 及结构动力特性的优化设计提供依据。模态分析应用可归结为:

- 评价现有结构系统的动态特性;
- 在新产品设计中进行结构动态特性的预估和优化设计;
- 诊断及预报结构系统的故障;
- 控制结构的辐射噪声;
- 识别结构系统的载荷。

2. 有预应力的模态分析

受不变载荷作用产生应力作用下的结构可能会影响固有频率,尤其是对于那些在某一个或两个尺度上 很薄的结构。因此,在某些情况下执行模态分析时可能需要考虑预应力影响。

进行预应力分析时首先需要进行静力结构分析,计算公式为:



 $[K]{x} = {F}$

得出的应力刚度矩阵用于计算结构分析 $([\sigma_0] \rightarrow [S])$, 这样原来的模态方程即可修改为,

 $\left(\left[K+S\right]-\omega_{i}^{2}\left[M\right]\right)\left\{\phi_{i}\right\}=0$

上式即为存在预应力的模态分析公式。

结构模态分析的步骤 8.2

模态分析是各种动力学分析类型中基础的内容,结构和系统的振动特性决定了结构和系统对于其他各种 动力载荷的响应情况。所以,在进行其他动力学分析之前首先要进行模态分析。

讲行模态分析的功能 821

使用模态分析:

- (1) 可以使结构设计避免共振或按照特定的频率进行振动:
- (2) 可以认识到对于不同类型的动力载荷结构是如何响应的:
- (3) 有助于在其他动力学分析中估算求解控制参数(如时间步长)。

模态分析的步骤 8.2.2

模态分析中的 4 个主要步骤是: 建模: 洗择分析步类型并设置相应洗项: 施加边界条件、载荷并求

解:结果处理。

1. 建模

- (1) 必须定义密度。
- (2) 只能使用线性单元和线性材料,非线性性质将被忽略。

2. 定义分析步类型并设置相应选项

- (1) 定义一个线性摄动步的频率提取分析步。
- (2) 模态提取选项和其他选项。

3. 施加边界条件、载荷并求解

- (1) 施加边界条件。
- (2) 施加外部载荷。

因为振动被假定为自由振动,所以忽略外部载荷。但是程序形成的载荷向量可以在随后的模态叠加分 析中使用位移约束。



不允许有非零位移约束;对称边界条件只产生对称的振型,所以将会丢失一些振型;施加必需 药[5]提示的约束来模拟实际的固定情况:在没有施加约束的方向上将计算刚体振型。

(3) 求解。

通常采用一个载荷步。

为了研究不同位移约束的效果,可以采用多载荷步(例如,对称边界条件采用一个载荷步,反对称边界 条件采用另一个载荷步)。

4. 结果处理

提取所需要的分析结果,并且对结果进行相关的评价,指导实际的工程、科研实际应用。

8.3 固定结构的振动模态分析

模态分析用于确定机床结构的固有频率,可以使设计师在设计时避开这些频率或最大限度地减少对这 些频率上的激励,从而消除过度振动和噪声。本例提供模态分析的基本步骤与方法,分析结果可以为机床 的设计提供重要的参数。



如图 8-2 所示的机床结构,机床下端受固定约束,材料为钢,密度为 7800 kg/m³,弹性模量为 206GPa, 泊松比为 0.3,其上端 3 个圆面也受到固定的约束,具体尺寸如图 8-3 和图 8-4 所示,求该机床的前 30 阶频率和振型。



8.3.2 问题分析

本例的模型为对称模型,对于静力分析可以取其 1/2 模型进行分析。但此处是分析其频率和振型,取对称模型不能很好地观察模型的振型,所以取整个三维模型进行分析。



对于模态分析,在ABAQUS中必须使用线性摄动分析步,实体结构部分选择单元类型为C3D8R,薄壳结构使用 S4R 单元。

创建部件 8.3.3

(步骤 01) 启动 ABAQUS/CAE, 创建一个新的模型, 重命名为 coupling, 保存模型为 frenquency.cae。

步骤 02 单击工具箱中的 Ⅰ (创建部件) 按钮, 打开"创建部件"对话框, 在"名称"文本框中输入 Machine (如图 8-5 所示), 将"模型空间"设为"三维"、"类型"设为"可变形"、将"基本特性"的"形 状"设为"壳","类型"设为"旋转", 单击"继续"按钮, 进入草图环境。

● ※ 03 单击工具箱中的 <>>> (创建线: 首尾相连) 按钮,在草图区的右侧绘制 3 条线段。单击工具箱中的 <>>>>>>> (添加尺寸) 按钮,使得其尺寸如图 8-6 所示。

🚔 创建部件	×	
名称: Machine		
模型空间		
● 三维 ◎ 二	二维平面 ① 轴对称	
类型	选项	
 可变形 		
◎ 离散刚性		
◎ 解析刚性	没有可用的坝	
◎ 欧拉		
基本特征		
形状	类型	
◎ 实体	平面	
◎売	拉伸	
◎线	旋转	
◎点	1-107	
大约尺寸: 20	0	
继续	取消	



图 8-5 "创建部件"对话框

图 8-6 草图绘制

步 ∞ 04 单击提示区中的"完成"按钮, ABAQUS 即会弹出"编辑旋转"对话框, 如图 8-7 所示。在该 对话框中输入旋转"角度"为 360°, 然后单击"确定"按钮, 这样就得到了圆柱壳部件, 如图 8-8 所示。

🚔 编辑旋转	×
参数	
角度: 360	
● 旋转方向: ●	
选项	
□ 包括平移, 倾斜: 0	(距离/转数)
□ 螺距方向:	
□ 垂直于路径的扫掠草图	
确定	取消



图 8-7 "编辑旋转"对话框

图 8-8 圆柱壳部件

步骤 05 单击工具箱中的 (创建倒角) 按钮,选择圆柱壳部件的上沿,单击鼠标中键,在提示区的对话框中输入倒角数值 0.7。继续单击鼠标中键,圆柱壳生成的倒角结构如图 8-9 所示。



步骤 06 执行"加工"→"壳"→"拉伸"命令,在视图区中选择圆柱壳的顶面,再选择顶圆的圆周, CAE 进入绘制草图界面。

步骤**07** 单击工具箱中的①按钮,设置圆心坐标为(0,0)、半径为10,单击"完成"按钮完成圆的 定义。

(步骤08) 利用同样的方法,定义一个圆心在刚刚定义的圆周上的圆,半径为 2.5,单击"完成"按钮完成定义。

● ▼ 09 单击工具箱中的 (环形阵列) 按钮,选择刚刚定义好的圆,单击鼠标中键,弹出"环形阵列" 对话框,如图 8-10 所示。



图 8-9 圆柱壳生成倒角结构

◆ 环形阵列 ×
个数 总角度 3 3 360 □
☑ 预览
确定 取消

图 8-10 "环形阵列"对话框

步 ∞ 10 在 "个数"中输入 3,设置 "总角度"为 360°,单击"确定"按钮。然后删除最先建立的圆形(否则 CAE 就会报错),截面上的基本形状如图 8-11 所示。

步 ∞ 11 单击鼠标中键,弹出"编辑拉伸"对话框,如图 8-12 所示,输入拉伸"深度"为 10,单击"确定"按钮,这样就完成了部件的定义,如图 8-13 所示。



图 8-11 截面上的基本形状

♀ 编辑拉伸			
类型:	指定	深度	
深度:	10		
● 拉伸方向	▶ 拉伸方向: 📭		
选项			
注意: 扭曲	注意: 扭曲与拖拽不得同时指定.		
□包括扭曲	8, 螺距:	0	(距离/转数)
🗌 包括拖排	1, 角度:	0	(度)
🗌 保留内部	0边界-		
确定	1		取消

图 8-12 "编辑拉伸"对话框

大の地帯	如果拉伸方向与所需要的不一致,可单击"反转"按钮。
NY TEN	
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	
8.3.4	创建材料和截面属性
	un an

1. 创建材料

30

步骤 01 进入属性模块,单击工具箱中的 **2**(创建材料)按钮,弹出"编辑材料"对话框,如图 8-14 所示,设置材料"名称"为 Material-1,选择"通用"→"密度"选项,设置"质量密度"为 7800。

ABAQUS 2018 有限元分析从人门到精通。

步骤 02 选择"力学"→"弹性"→"弹性"
选项,设置"弹性模量"为 2.06ell、"泊松比"为 0.3,
单击"确定"按钮,完成材料属性的定义。



h atematan
· 弗斯材料
呂称: Material-1
苗述:
Light ~ M
材料行为
密度 2004
)坤住
通用(G)力学(M)热学(I)电/磁其它(Q)
密度
分布: 一改 Ø
质量密度 1 7800
- /000
AVE AVE

图 8-13 完成了部件的定义

图 8-14 "编辑材料"对话框

2. 创建截面属性

● 账 01 单击工具箱中的 (创建截面) 按钮,在"创建截面"对话框(如图 8-15 所示)中选择"类别"为"实体",单击"继续"按钮,进入"编辑截面"对话框。

● **** 02** 在"编辑截面"对话框(如图 8-16 所示)中,"材料"选择 Material-1,单击"确定"按钮, 完成截面的定义。

💠 创建截			
名称: Sec	tion-1		
类别	类型		
◎ 实体	均质		
◎売	广义平面应变		
◎梁	欧拉		
◎ 其它	复合		
继续	取消		

图 8-15 "创建截面"对话框

◆ 编辑截面	×
名称: Section-1 类型: 实体,均质	
材料: Material-1	▼ 2€
□ 平面应力/应变厚度:	
确定	取消

图 8-16 "编辑截面"对话框

● ■ 03 利用同样的方法,定义截面 Section-2,在"创建截面"对话框中选择"类别"为"壳"、"类型"为"均质",单击"继续"按钮,进入"编辑截面"对话框。

● ∞ 04 进入"编辑截面"对话框后,"材料"选择 Material-1,设置"壳的厚度"的"数值"为 0.5(如 图 8-17 所示),单击"确定"按钮,完成截面的定义。

3. 赋予截面属性

世 **∞**01 单击工具箱中的**№**(指派截面)按钮,选择部件 Machine 的实体部分,单击提示区中的"完成" 按钮,在弹出的"编辑截面指派"对话框(如图 8-18 所示)中选择"截面"为 Section-1,单击"确定"按钮。



图 8-17 壳的厚度数值: 0.5

图 8-18 "编辑截面指派"对话框

步骤 02 利用同样的方法,把 Section-2 赋予部件的壳部分,这样就把截面属性赋予了部件 Machine。

,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,			 	
8.3.5	定义装	袁配件		
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,			 ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	 117 Section 1111

进入装配模块,单击工具箱中的些(将部件实例化)按钮,在"创建实例"对话框(如图 8-19 所示) 中选择 Machine,单击"确定"按钮,创建部件的实例。

8.3.6 设置分析步和历史输出变量

1. 定义分析步

● ▼ 01 进入分析步模块,单击工具箱中的 ● (创建分析步)按钮,在弹出的"创建分析步"对话框(如图 8-20 所示)中选择"线性摄动:频率",单击"继续"按钮。

🖶 创建实例 📉 📉
创建实例从: ● 部件 ● 模型
部件
Machine
- 实例类型
已选中一个划分了网格的部件,因此实例将是非独立的.
注意:要改变一个非独立实例网格,您必须编辑其部件的网格.
□ 从其它的实例自动偏移
确定 应用 取消

图 8-19 "创建实例"对话框



图 8-20 "创建分析步"对话框

ABAQUS 2018 有限元分析从入门到精通 •

步骤 02 在弹出的"编辑分析步"对话框(如图 8-21 所示)中选择"特征值求解器"为 Lanczos,在"请求的特征值个数"后面选中"数值"单选按钮并在其后输入 30,即需要的特征值数目是 30,其他接受默认设置,单击"确定"按钮,完成分析步的定义。

会编辑分析步	×
名称: Step-1	
类型: 频率	
基本信息 其它	
描述:	
几何非线性: 关	
特征值求解器: ◎ Lanczos ◎ 子空间 ◎ AMS	
请求的特征值个数: 下述频率范围内的所有值:	
● 数值: 30	
□频率变化 (周期/时间)**2:	
Acoustic-structural coupling where applicable:	
●包括 ◎ Exclude ◎ 投影	
□ 关注的最小频率(周期/时间):	
□ 关注的最高频率(周期/时间):	
块大小: ◎ 默认 ◎ 数值:	
block Lanczos 分析步的最大个数: 默认 数值:	
☑ 使用基于 SIM 的线性动力学步骤	
☑ 投影阻尼算子	
□ 包括残余模式	
确定	取消

图 8-21 "编辑分析步"对话框

2. 设置连接单元的变量输出

(步骤①) 单击工具箱中的匾(场输出管理器)按钮,在弹出的"场输出请求管理器"对话框(如图 8-22 所示)中,可以看到 ABAQUS/CAE 已经自动生成了一个名为 F-Output-1 的历史输出变量。

步骤02 单击"编辑"按钮,在弹出的"编辑场输出请 求"对话框(如图 8-23 所示)中,确认"作用域"选择的 是"整个模型",确认"输出变量"为预选的默认值 U,单 击"确定"按钮,返回"场输出请求管理器"对话框,单击 "确定"按钮,完成输出变量的定义。

🔷 场输出请求管理器			×
名称	Step-1		编辑
✓ F-Output-1	已创建		左移
			石移
			激活
			取消激活
变量: 预选的默认值			
状态: 已在此分析步	中创建		
创建 复制	」… 重命名…	删除	关闭

图 8-22 "场输出请求管理器"对话框



图 8-23 "编辑场输出请求"对话框



8.3.7 定义载荷和边界条件



1. 在机床的底上施加固支定义边界条件

进入载荷功能模块,单击工具箱中的 (边界条件管理器)按钮,单击"边界条件管理器"对话框中的"创建"按钮,在弹出的对话框(如图 8-24 所示)中,"分析步"选择 Initial,"类别"选择"力学", "可用于所选分析步的类型"选择"位移/转角",单击"继续"按钮,在视图中选中部件的底面,单击鼠标中键,在弹出的"编辑边界条件"对话框中选中"完全固定"单选按钮,如图 8-25 所示。



图 8-24 "创建边界条件"对话框

x 📛 编辑边界条件 名称: BC-3 举型· 对称/反对称/完全固定 分析步・Initial 区域: (已拾取) ▷ 坐标系:(全局) 🗟 人 XSYMM (U1 = UR2 = UR3 = 0) VSYMM (U2 = UR1 = UR3 = 0) ② XASYMM (U2 = U3 = UR1 = 0; 只用于 Abaqus/Standard) ②YASYMM (U1 = U3 = UR2 = 0; 只用于 Abaqus/Standard) ◎ ZASYMM (U1 – U2 – UR3 – 0; 只用丁 Abaqus/Standard) ◎ 铰结 (U1 - U2 - U3 - 0) ⑦ 完全固定(U1 = U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0) 确定 取消

图 8-25 "编辑边界条件"对话框

2. 在圆柱顶上施加位移约束

单击工具箱中的 (边界条件管理器) 按钮,单击"边界条件管 理器"对话框中的"创建"按钮,在弹出的对话框中,"分析步"选择 Initial,"类别"选择"力学",选择集合约束为"U1、U2、 U3"。施加位移约束后的结构图如图 8-26 所示。

> 在模态分析中,只有边界条件起作用,其他载荷对模态分 析结果没有任何影响,即使施加了载荷,在分析中也不起



图 8-26 施加位移约束后的结构图



进入网格功能模块,在窗口顶部的环境栏的对象单选框中,选中部件,在右侧的下拉框中选择 Machine。

(1) 设置网格密度

作用。

技巧提示

单击工具箱中的 (部件种子) 按钮, 弹出"全局种子"对话框(如图 8-27 所示), 在"近似全局尺 寸"文本框中输入 4.3, 然后单击"确定"按钮。



(2) 控制网格划分

单击丁具箱中的际(指派网格控制属性)按钮,选择部件中的拉伸实体部分,弹出"网格控制属性" 对话框(如图 8-28 所示), 将"算法"设为"讲阶算法", 选择"单元形状"为"六面体", 单击"确定" 按钮,完成控制网格划分选项的设置。

利用同样的方法,单击工具箱中的 🔚 (指派网格控制属性)按钮,选择部件中的壳体部分, 弹出"网 格控制属性"对话框,将"算法"设为"讲阶算法",选择"单元形状"为"四边形为主"(如图 8-29 所 示),单击"确定"按钮,完成控制网格划分选项的设置。

	 	■ ● 四面体 ◎ 楔形	3	
⇒ 全局种子	技术	算法	🔷 网格控制属性	±
尺寸控制	◎ 保持原状	◎ 中性轴算法	单元形状	
近似全局尺寸: 4.3	◎自由	☑ 最小化网格过渡 资	◎四边形 ◎ 四	9边形为主 🖱 三角形
☑曲率控制	◎结构	● 进阶算法	技术	算法
最大偏裔因子(0.0 < h/L < 1.0): 0.1	● 扫掠	☑ 在合适的地方使用映射网格	◎ 保持原状	 中性轴算法
(每个圆上的近似单元数: 8)	◎ 自底向上		◎自由	◎ 进阶算法
最小尺寸控制	◎ 重复		◎ 结构	☑ 在合适的地方使用映射网格
● 按占全局尺寸的比例 (0.0 < min < 1.0) 0.1			◎扫掠	
◎ 按绝对值 (0.0 < min < 全局尺寸) 0.43		重新定义扫掠路径 指派堆叠方向	● 重复	
确定 应用 默认值 取消	确定	默认值 取消	确定	默认值取消

图 8-27 "全局种子"对话框 图 8-28 "网格控制属性"对话框

图 8-29 参数设置

(3) 选择单元类型

单击工具箱中的 (指派单元类型) 按钮, 在视图区中选择模型实体部分, 单击"完成"按钮, 弹出 "单元类型"对话框(如图 8-30 所示),选择默认的"单元类型"C3D8R,单击"确定"按钮。利用同样 的方法,指派壳体部分的单元类型为S4R。

🖶 单元类型		×
单元库	∩族	
Standard Explicit	三维应力	
山面於次一一	> * + +++	
◎ 线性 ◎ 二次	Cohesive Pore Pressure	-
六面体 楔形 四面体		
□ 杂交公式 図 减缩积分	□ 非协调模式	
Improved surface str	ess visualization	
单元控制属性		
沙漏刚度: @ 使用默认 (◎ 指定	<u>^</u>
粘性: ◎ 使用默认	◎ 指定	E
运动裂纹: ④ 平均应变	◎正交 ◎ 质心	
二阶精度: ◎ 是 @ 否		
和曲控制・商店田野江(음투 종조	-
C3D8R: 八结点线性六面	(体单元, 减缩积分, 沙漏控制.	
注意:要为网格划分选择一个	↑单元形状,请从主菜单栏中选择 "网格->控制属性".	
确定	默认 值	

图 8-30 "单元类型"对话框

(4) 划分网格

单击工具箱中的 (为部件划分网格) 按钮,单击提示区中的"是"按钮,完成网格划分。





步骤**01** 进入作业模块。执行"作业"→"管理器"命令,单击"作业管理器"对话框(如图 8-31 所示)中的"创建"按钮,定义作业"名称"为 Frequency,单击"继续"按钮,单击"确定"按钮完成作业 定义。

● ■ 02 单击"作业管理器"对话框中的"监控"按钮,可以对求解过程进行监视,单击"提交"按钮, 提交作业。打开"警告"选项卡,看到分析过程中出现以下警告信息,如图 8-32 所示。

"There is zero FORCE everywhere in the model based on the default criterion. please check the value of the average FORCE during the current iteration to verify that the FORCE is small enough to be treated as zero. if not, please use the solution controls to reset the criterion for zero FORCE."

🔷 作业管理器	1			×
名称	模型	类型	状态	写入输入文件
frequency	Model-1	完全分析	无	数据检查
				提交
				继续
				监控
				结果
				中断
创建	编辑 复制	. 重命名	. 删除	关闭



ENV: frec	uency 状?	た 已完成	Ż.					
分析步	増量步	属件	~ 不连续的迭	等效迭代数	总迭代数	总时间/频率	计析步时间/LP	时间/LPF增制
1	1	1	0	0	0	0	1e-36	1e-36
日志 错	误警告報	前出 数排	居文件 Mes	sage文件	Status 文件			
已完成: A 已完成: 1	lbaqus/Stan hu Sep 61	dard 3:13:05 2	2018					4 11 7
查找文本 查找文本:	[= p	「配大小写	ያ ሉ—ብ ያ	前一个	

图 8-32 对求解过程进行监视

这是因为在模型上没有施加载荷,并不是因为模型存在错误。等分析结束后,单击"结果"按钮, 进入可视化模块。

.....

8.3.10 后处理

步骤 01 当分析完毕后,单击"结果"按钮,ABAQUS/CAE 进入 可视化模块。单击、按钮显示 Mises 应力云图,单击 ∰按钮显示变形过 程的动画。

● 账 02 执行"结果"→"分析步/帧"命令,弹出"分析步/帧" 对话框,如图 8-33 所示,在"分析步名称"中选择 Step-1,在"帧"中 选择索引为 1,单击"应用"按钮,显示一阶模态;选择索引为 2,单击 "应用"按钮,显示二阶模态;显示模态的前 3 阶和 4 阶模态振型图如 图 8-34 所示。

步骤03 执行"动画"→"时间历程"命令,可以动画显示各模型振动情况。

分析步 Step-:	名称 1	描述		
帧				
索引	描述			
0	Increme	nt 0: Base State		
	Mode	1: Value = 0.89	432 Freq = 0.1505	1
2	Mode	2: Value = 0.91	978 Freq = 0.1526	1
3	Mode	3: Value = 1.02	278 Freq = 0.16135	
4	Mode	4: Value = 4.47	749 Freq = 0.33668	. L
5	Mode	5: Value = 6.04	494 Freq = 0.39145	
6	Mode	6: Value = 6.42	233 Freq = 0.40337	
7	Mode	7: Value = 6.45	510 Freq = 0.40424	
8	Mode	8: Value = 17.8	380 Freq = 0.67298	
9	Mode	9: Value = 18.9	957 Freq = 0.69296	
10	Mode	10: Value = 31.	962 Freq = 0.8997	Э
11	Mode	11: Value = 39.	349 Freq = 0.9983	7
12 ∢	Mode	12: Value = 41.	071 Frea = 1.0200	•

图 8-33 "分析步/帧"对话框









第2阶



第3阶



图 8-34 各阶振型图

● 〒 04 执行"动画"→"另存为"命令,弹出"保存图像动画"对话框,如图 8-35 所示,设置"文件名"为 Frequency,单击"AVI 格式选项"按钮 =,弹出"AVI 选项"对话框(如图 8-36 所示),可以对动画选项进行设置,此处接受默认设置,单击"确定"按钮,返回"保存图像动画"对话框,单击"确定"按钮,保存 AVI 动画到 Frequency 文件中。

保存	P图像动画	×
设置		
文件名	3 : Frequence	đ
格式:	AVI 🚽 🔛	
选择		
抓取:	所有视口	
☑ 抓匪	収视口修饰 (如果可见)	
□抓	収视口背景	
□ 抓耳	収视口罗盘(如果可见)	
帧频	率(帧/秒)	
变化	<u>ة: 24</u>	50
确	定 应用 取消	ij

图 8-35 "保存图像动画"对话框

✦ AVI选项
图片大小(像素)
●使用屏幕上的尺寸 (1509 x 722)
◎ 使用下面的设定
宽度: 1509 高度: 722
压缩
解码器: Microsoft RLE
万五 天于…
确定 取消

图 8-36 "AVI 选项"对话框

步∞05 执行"选项"→"通用"命令,弹出"通用绘图选项"对话框,如图 8-37 所示,切换到"标签"选项卡(如图 8-38 所示),选中"显示结点编号"复选框,单击"颜色"按钮,弹出"选择颜色"对话

框(如图 8-39 所示),选择黑色颜色框(读者可以自己调色),单击"确定"按钮,返回"通用绘图选项" 对话框,单击"应用"按钮,显示结点编号。



图 8-37 "通用绘图选项"对话框

图 8-38 切换到"标签"选项卡

图 8-39 "选择颜色"对话框

步骤06 执行"工具"→"XY 数据"→"创建"命令,在"创建
 XY 数据"对话框(如图 8-40 所示)中选中"ODB 场变量输出"单选按
 钮,单击"继续"按钮。

● 〒07 弹出 "来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框,在"输出 变量"选项组中的"位置"下拉列表框中选择"唯一结点的"(如图 8-41 所示),"输出变量"选择"U: U3"。

● 〒08 切换到"单元/结点"选项卡,如图 8-42 所示,"方法"选择"结点编号",在右边的文本框中输入结点编号 200,并选择高亮视口中的选项,单击"绘制"按钮,绘制出结点随着模态变化的位移曲线,如图 8-43 所示。

🖶 来自 ODB 场输出的 XY 数据
分析步/帧
注意:将从激活的分析步/框架中提取 XY 数据 激活的分析步/帧
变量 单元/结点
輸出变量
位置:唯一结点的
点击复选框或编辑下面"编辑" 子样旁的标记.
□ TSHR13: 横向剪切应力
□ TSHR23: 横向剪切应力
▼ ■ U: 空间位移
Magnitude
U1
U2
V U3
▶ □ UR: 旋转位移
编辑: U.U3
截面点: [©] 全部 [©] 选择 设置
保存 绘制 关闭

图 8-41 "来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框



图 8-40 "创建 XY 数据"对话框



图 8-42 切换到"单元/结点"选项卡





图 8-43 结点 100 随着模态变化的位移曲线

步骤 09 结果分析。从模型的振型图可以看出,对于该结构,当其振动频率达到固有频率时,振幅远远 超过允许的位移量,这将导致结构的破坏。所以对于结构进行模态分析,分析其各阶的频率和振型,可以在 实际生产和生活应用中有效避免共振现象的出现,从而避免破坏。

8.4 薄壳零件结构的模态分析

本例将分析薄壳结构模态分析,分析结果可以为薄壳结构的设计提供重要的参数。

8.4.1 问题描述

.....

如图 8-44 所示的薄壳零件结构,其下端受固定约束,材料为钢,密度为 7800 kg/m³,弹性模量为 200GPa,泊松比为 0.3,求该结构的前 10 阶频率和振型。



图 8-44 薄壳模型



本例的模型为对称模型,对于静力分析可以取其 1/2 模型进行分析。但此处是分析其频率和振型,取对称模型不能很好地观察模型的振型,所以取整个三维模型进行分析。

对于模态分析,在 ABAQUS 中必须使用线性摄动分析步,薄壳结构使用 S4R 单元。





(步骤 01) 启动 ABAQUS/CAE, 创建一个新的模型, 重命名为 lingjian, 保存模型为 lingjian.cae。

步骤 02 单击工具箱中的 Ⅰ (创建部件) 按钮,在"创建部件"对话框(如图 8-45 所示)的"名称" 文本框中输入 Part-1,将"模型空间"设为"三维"、"类型"设为"可变形",将"基本特征"的"形状"设 为"壳","类型"设为"旋转",单击"继续"按钮,进入草图环境。

世 〒03 单击工具箱中的 ★ (创建线:首尾相连) 按钮,在草图区的右侧绘制 5 条线段。单击工具箱中的 ★ (添加尺寸) 按钮,使得其尺寸如图 8-46 所示。

🔷 创建部件	×
名称: Part-:	1
模型空间	
◉ 三维 ◎	二维平面 🔘 轴对称
类型	选项
◉ 可变形	
◎ 离散刚的	生
◎ 解析刚的	没有可用的坝 生
◎ 欧拉	
基本特征	
形状	类型
◎ 实体	平面
◎売	拉伸
◎线	旋转 +7/5
点	77127
大约尺寸: 2	200
继续	取消



图 8-45 "创建部件"对话框

图 8-46 草图绘制

● ∞ 04 单击工具箱中的(一)(创建倒角:两条曲线)按钮,选择上部的竖直边和横边,单击鼠标中键, 在提示区的对话框中输入倒角数值 2。继续单击鼠标中键,生成倒角结构。

● ▼ 05 单击提示区中的"完成"按钮,ABAQUS 即会弹出"编辑旋转"对话框,如图 8-47 所示。在 该对话框中设置旋转"角度"为 360°,单击"确定"按钮,这样就得到了圆柱壳部件,如图 8-48 所示。

🔷 编辑旋转	×
参数 角度: 360	
▶ 旋转力问:『◆	
 □ 包括平移, 倾斜: 0 	(距离/转数)
↓ 螺距方向:	
□ 垂直于路径的扫掠草图	
确定	取消

图 8-47 "编辑旋转"对话框



图 8-48 圆柱壳部件



8.4.4 创建材料和截面属性



步**∞0**) 进入属性模块,单击工具箱中的**∑**(创建材料)按钮,弹出"编辑材料"对话框(如图 8-49 所示),设置材料"名称"为 Material-1,选择"通用"→"密度"选项,设置"密度质量"为 7800。

₩ 現初科	
名称: Material-1	
· 荷述:	Ì
材料行为	
密度	
弹性	
通用(G) 刀字(M) 热字(L) 12/磁 其它(Q)	<u></u>
○弹性	
类型:各向同性 ▼	▼子选项
□ 使用与温度相关的数据	
场变量个数: 0	
模量时间尺度 (用于粘弹性); 长期 ▼	
□ 无拉仲	
○数据	
杨氏模量 泊松比	
1 2000000000 0.3	
确定	

图 8-49 "编辑材料"对话框

步骤**02** 选择"力学"→"弹性"→"弹性"选项,设置"弹性模量"为2.00ell、"泊松比"为0.3,单击"确定"按钮,完成材料属性的定义。

2. 创建截面属性

单击工具箱中的² (创建截面)按钮,在"创建截面"对话框(如图 8-50 所示)中,选择"类别"为 "壳"、"类型"为"均质",单击"继续"按钮,进入"编辑截面"对话框。

"编辑截面"对话框如图 8-51 所示, "材料"选择为 Material-1,设置"壳的厚度:数值"为 0.1,单击"确定"按钮,完成截面的定义。

3. 赋予截面属性

单击工具箱中的到(指派截面)按钮,选择部件 Part-1,单击提示区中的"完成"按钮,在弹出的"编辑截面指派"对话框(如图 8-52 所示)中选择"截面"为 Section-1,单击"确定"按钮。



 ◆ 创建載面 × 名称: Section-1 ※別 ※型 交体 沙反 复合 没 算合 決 夏合 決 夏合 濃 表面 通用売別度 继续 取消 	 ◆ 編輯截面 ▲ 名称: Section-1 类型: 売/连续売,均质 截面积分: ● 分析市 ● 分析前 基本信息 高级 厚度 売約9度: ● 数値: ● 虹元分布: ● 重元 ● 「本 	 ◆ 編編載面指派 区域 区域 区域 電面 載面 氢面 氢面 氢重只列出可以应用于选中区域的截面. 类型: 先,均匀的 材料: Material-1 厚度 指派: ● 来自載面 ● 来自几何 売偏移 定义: 中面 ● ● ● ● ■ ■
图 8-50 "创建截面"对话框	图 8-51 "编辑截面"对话框	图 8-52 "编辑截面指派"对话框

8.4.5 定义装配件

进入装配模块,单击工具箱中的^些(将部件实例化)按钮,在"创建实例"对话框(如图 8-53 所示) 中选择 Part-1,单击"确定"按钮,创建部件的实例。

🕂 创建实例
创建实例从: ◎ 兩個 ◎ 樽型
部件
Part-1
实例类型
已选中一个划分了网格的部件,因此实例将是非独立的.
注意:要改变一个非独立实例网格,您必须编辑其部件的网格.
□ 从其它的实例自动偏移
确定 应用 取消

图 8-53 "创建实例"对话框

8.4.6 设置分析步和历史输出变量

1. 定义分析步

......

● ▼ 01 进入分析步模块,单击工具箱中的 ● (创建分析步)按钮,在弹出的"创建分析步"对话框(如图 8-54 所示)中选择"线性摄动:频率",单击"继续"按钮。

步 Ⅲ 02 在弹出的"编辑分析步"对话框(如图 8-55 所示)中选择"特征值求解器"为 Lanczos,在"请求的特征值个数"后面选中"数值"单选按钮并在其后文本框中输入 15,即需要的特征值数目是 15,其他接受默认设置,单击"确定"按钮,完成分析步的定义。



	☆ 编辑分析步
	名称: Step-1
名称: Step-1	类型: 频率
在选定项目后插入新的分析步	基本信息 其它
Initial	描述:
Inda	几何非线性: 关
	特征值求解器: @ Lanczos ® 子空间 ® AMS
	请求的特征值个数: 💿 下述频率范围内的所有值:
	◎ 数值: 15
	□ 频率变化 (周期/时间)**2:
	Acoustic-structural coupling where applicable:
程序类型: 线性摄动 ▼	◎ 包括 ◎ Exclude ◎ 投影
屈曲	□ 关注的最小频率(周期/时间):
频率	□ 关注的最高频率(周期/时间):
静力,线性摄动	续大小: ④ 默认 ◎ 数值:
稳态动力学,直接	block Lanczos 分析步的最大个数: ◎ 默认 ◎ 数值:
子结构生成	☑ 使用基于 SIM 的线性动力学步骤
	☑ 投影祖尼算子
	- 包括現余模式
继续 取消	确定

图 8-54 "创建分析步"对话框

图 8-55 "编辑分析步"对话框

2. 设置连接单元的变量输出

步 ∞ 01 单击工具箱中的 (场输出管理器) 按钮,在弹出的"场输出请求管理器"对话框(如图 8-56 所示)中,可以看到 ABAQUS/CAE 已经自动生成了一个名称为 F-Output-1 的历史输出变量。

名称	S	tep-1		编辑
🗸 F-Outp	ut-1 E	创建		
				右移
				激活
				[-bares03
)析步: 频函	ž			
·析步: 频函 ·量: 预选	<u>。</u> 的默认值	[

图 8-56 "场输出请求管理器"对话框



图 8-57 "编辑场输出请求"对话框

8.4.7 定义载荷和边界条件

步骤 01 在零件的底上施加固支定义边界条件。进入载荷功能模块,单击工具箱中的 (边界条件管理器) 按钮,单击"边界条件管理器"对话框中的"创建"按钮,在弹出的对话框(如图 8-58 所示)中,"分

第8章 **(**) • 结构模态分析详解

析步"选择 Step-1,"可用于所选分析步的类型"选择"位移/转角",单击"继续"按钮,在视图中选择部件的底面,单击鼠标中键,在弹出的"编辑边界条件"对话框中选中"完全固定"单选按钮,如图 8-59 所示。 步骤 02 单击"确定"按钮,施加位移约束后的结构图如图 8-60 所示。



在模态分析中,只有边界条件起作用,其他载荷对模态分析结果没有任何影响,即使施加了载 荷,在分析中也不起作用。

8.4.8 划分网格

进入网格功能模块,在窗口顶部的环境栏的对象单选框中,选中部件,在右侧的下拉框中选择 Part-1。

(1) 设置网格密度

单击工具箱中的 (为边布种) 按钮,选择如图 8-61 所示的竖直边,在弹出的"局部种子"对话框(如 图 8-62 所示)中,"方法"选择"按个数",设置"单元数"为5,然后单击"确定"按钮。按照同样的方法,为如图 8-61 所示的其他边布种。



图 8-61 种子分布图

\ominus 局部种子	×
基本信息	约束
方法	偏移
◎ 按尺寸	◎ 无 ◎ 单精度 ◎ 两者
◎ 按个数	
尺寸控制	
单元数:	5]
创建集合	
□创建集合	,名称: Edge Seeds-1
确定	应用 默认值 取消

图 8-62 "局部种子"对话框



(2) 控制网格划分

单击工具箱中的 (指派网格控制属性)按钮,选择部件,弹出"网格控制属性"对话框(如图 8-63 所示),选择"单元形状"为"四边形为主",将"技术"设为"扫掠",单击"确定"按钮,完成控制网格划分选项的设置。

(3) 选择单元类型

单击工具箱中的¹¹¹(指派单元类型)按钮,在视图区中选择模型,单击"完成"按钮,弹出"单元类型"对话框(如图 8-64 所示),选择默认的"单元类型"S4R,单击"确定"按钮。

	◆单元类型	×
◆ 网络控制属性	単元库 族 ● <u>Standard</u> ● Explicit プラー 温度-位移耦合 単価 ● 総性 ◎二次 熱传通	•
单元形状	四边形 三角形	
	☑ 减缩积分	
	单元控制属性	
技术	膿应变: ◎ 有限 ◎ 小	*
◎ 保持原状	膜的沙漏刚度: ◎ 使用默认 ◎ 指定	=
○ 白中	弯曲沙漏别度: @ 使用默认 @ 指定	
	沙漏缩放系数: ◎ 使用默认 ◎ 指定	
◎ 结构	粘性: ◎ 使用默认 ◎ 指定	-
◎ 扫掠	S4R: 四结点曲面薄壳或厚壳,减缩积分,沙漏控制,有限膜内变,	
	注意:要为网格划分选择一个单元形状,请从主菜单栏中选择 "网格->控制属性".	
确定 默认值 取消	确定 默以值 取消	

图 8-63 "网格控制属性"对话框

图 8-64 "单元类型"对话框

(4) 划分网格

单击工具箱中的。(为部件划分网格)按钮,单击提示区中的"是"按钮,完成网格划分。



(步骤①) 进入作业模块。执行"作业"→"管理器"命令,单击"作业管理器"对话框(如图 8-65 所示)中的"创建"按钮,定义作业"名称"为 qiao-lingjian,单击"继续"按钮,单击"确定"按钮完成作 业定义。

步骤 02 单击"作业管理器"对话框中的"监控"按钮,可以对求解过程进行监视(如图 8-66 所示), 单击"提交"按钮提交作业。打开"警告"选项卡,看到分析过程中出现以下警告信息:

"There is zero FORCE everywhere in the model based on the default criterion. please check the value of the average FORCE during the current iteration to verify that the FORCE is small enough to be treated as zero. if not, please use the solution controls to reset the criterion for zero FORCE. "

这是因为在模型上没有施加载荷,并不是因为模型存在错误。等分析结束后,单击"结果"按钮, 进入可视化模块。



作业管理器				X
名称	模型	类型	状态	写入输入文件
qiao_lingjian	Model-1	完全分析	无	数据检查
				提交
				继续
				监控
				结果
				中断
éilZ⊉ .		= .4.5		

图 8-65 "作业管理器"对话框

⇔ qiao_	lingjian 监控器							- • ×
作业: qia	io_lingjian	状态: Ē	完成					
分析步	増量步	属性	不连续的迭	等效迭代数	总迭代数	总时间/频率	分析步时间/LP	时间/LPF增量
1	1	1	0	0	0	0	1e-36	1e-36
日志 🕴	諧 警告 輸)出数据	文件 Mes	sage文件	Status 文件			
已完成:	Abaqus/Stand	dard						
								C220
已完成:	Thu Sep 6 13	:37:41 2	018					~
查找文本	4							
查找文本					配大小写	◎ 下一个 诊	前一个	
		中断					关闭	

图 8-66 对求解过程进行监视

8.4.10 后处理

步骤 01 分析完毕后,单击"结果"按钮,ABAQUS/CAE 进入 可视化模块。单击⊾按钮显示 Mises 应力云图,单击≝按钮显示变 形过程的动画。

步骤02 执行"结果"→"分析步/帧"命令,弹出"分析步/帧" 对话框,如图 8-67 所示,在"分析步名称"中选择 Step-1,在"帧" 中选择"索引"为1,单击"应用"按钮,显示一阶模态;选择"索 引"为2,单击"应用"按钮,显示二阶模态;显示模态的前14 阶 和15 阶模态振型图如图 8-68 所示。

● 〒03 执行"工具"→"XY数据"→"创建"命令,在"创建 XY数据"对话框(如图 8-69 所示)中选中"ODB 场变量输出"单选按钮,单击"继续"按钮。弹出"来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框,在"输出变量"选项组的"位置"下拉列表中选择"唯一结点的"(如图 8-70 所示),"输出变量"选择"U: U1 和 U2"。

分析步	名称	描述	
step	1		
媜			
索引	描述		-
0	Increment	t 0: Base State	
1	Mode	1: Value = 1.6934 Freg = 0.20711	
2	Mode	2: Value = 1.6934 Freq = 0.20711	
3	Mode	3: Value = 4.8580 Freq = 0.35079	9
4	Mode	4: Value = 44.805 Freq = 1.0653	=
5	Mode	5: Value = 45.656 Freq = 1.0754	
6	Mode	6: Value = 45.656 Freq = 1.0754	
7	Mode	7: Value = 60.483 Freq = 1.2378	
8	Mode	8: Value = 60.483 Freq = 1.2378	
9	Mode	9: Value = 373.57 Freq = 3.0762	
10	Mode	10: Value = 373.57 Freq = 3.0762	2
11	Mode	11: Value = 1070.7 Freq = 5.2079	9

图 8-67 "分析步/帧"对话框



第1阶

第2阶





第14阶

第 15 阶



🚔 创建 XY 数据 💌
源
◎ ODB 历程变量输出
◎ ODB 场变量输出
◎厚度
◎自由体
◎ 操作XY数据
O ASCII 文件
◎键盘
◎ 路径
继续 取消

🖶 来自 ODB 场输出的 XY 数据	×
分析步/帧	
注意: 将从激活的分析步/框架中提取 XY 数据	激活的分析步/帧
变量 单元/结点	
输出变量	
位置:唯一结点的	
点击复选框或编辑 卜面 "编辑"字样旁的标记。	
▼ ■ U: 空间位移	
Magnitude	
V1	
▼ U2	
U3	
▶ □ UR: 旋转位移	
编辑: U.U1,U.U2	
截面点 ◎ 全部 ◎ 洗择 设置	
Marine o for o say paller	
保存 绘制	关闭

图 8-69 "创建 XY 数据"对话框

图 8-70 "来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框

● 〒 04 切换到"单元/结点"选项卡,如图 8-71 所示,"方法"选择"结点编号",在右边的文本框中输入结点编号为 120,并选择高亮视口中的选项,单击"绘制"按钮,绘制出结点随着模态变化的位移曲线,如图 8-72 所示。

分析步/帧 注意:将从激活的分析步/框架中提取 XY 数据 激活的分析步/帧
变量 单元/结点
方法 添加行 删除行
从现口中拾取 銘件尖倒 结点编号 结点编号 PART-1-1 120 结点集 内部集
□ 高亮视口中的项目
保存 绘制 关闭

图 8-71 切换到"单元/结点"选项卡



图 8-72 结点 100 随着模态变化的位移曲线



8.5 货物吊车——动态载荷分析

一个轻型的货物吊车如图 8-73 所示,要求确定当其承受 10kN 载荷时的静挠度,并标识结构中的关键部件和结点,即它们有最大的应力和载荷。



图 8-73 轻型货物吊车的草图



8.5.1 问题分析

吊车由两榀桁架结构组成,通过交叉支撑连接在一起。每榀桁架结构的主要构件是箱型截面钢梁(箱型 横截面)。每榀桁架结构由内部支撑加固,内部支撑焊接在主要构件上。

连接两榀桁架结构的交叉支撑通过螺栓连接在桁架结构上,这些连接不能传递弯矩,因此,将它们作 为铰结点处理。

内部支撑和交叉支撑均采用箱型横截面钢梁,采用小于桁架结构主要构件的横截面。

吊车在点 A、B、C 和 D 牢固地焊接在巨大的结构上,吊车的尺寸如图 8-74 所示。桁架 A 是包括构件 AE、BE 和它们的内部支撑的结构,桁架 B 是包括构件 CE、DE 和它们的内部支撑的结构。



图 8-74 货物吊车的尺寸

ABAQUS 2018 有限元分析从入门到精诵 •

坊広埠子

在吊车的主要构件中、典型横截面的尺寸与总长度的比值远小干 1/15。在内部支撑应用的最短 构件中,这个比值近似为1/15。因此,应用梁单元模拟吊车是合理的。

部件结构 852

如图 8-74 所示显示的尺寸是相对于在图中的笛卡儿坐标系给出的。但是,绘制桁架时所指定的尺寸需 要做相应的调整。

一旦所有的部件装配在一个公共坐标系中,它们可以根据需要进行旋转和重新定位,这样结构与整体 坐标系是一致的。

定义单一桁架的几何形状 8.5.3

(步骤 01) 首先创建一个三维、可变形的平面线框,设置近似的部件尺寸为 15.0,并命名部件为 Truss。 ● 要 ◎ 2 应用创建线。单击 📈 (创建线) 按钮, 创建两条几何线代表桁架的主要构件。在图中标注尺寸, 并利用"编辑尺寸值工具"□编辑尺寸以给出桁架的准确水平跨度,如图 8-75 所示。

(步骤03) 牛成5个独立点,如图8-76 所示。

(步骤 04) 对每个点创建和编辑尺寸标注,然后通过每个点创建一条竖直辅助线。在主要构件上确定在辅 助线与两个主要构件之间的交叉点,在这些点上将内部支撑焊接到桁架上。

(步骤 05) 采用在辅助线和几何线(即代表桁架主要构件的线)之间预选的点,在焊接的位置创建独立点。 此外,在两条几何线的端点创建独立点。

(步骤06) 删除几何线,并应用一系列的连接线重新定义桁架的几何形状。



图 8-75 桁架构件



图 8-76 辅助几何点



从位干结构左下角的点开始,以逆时针的方式依次连接 相邻点,可以定义整个桁架的几何形状,最终的图形如 技巧提示图 8-77 所示。





步骤07 单击 <
 □ (保存草图)按钮,将图形保存为 Truss。
 □ 歩骤08 单击 "完成"按钮,退出绘图环境,并保存部件的基本特征。

另一个桁架将作为一个平面线框特性加入。当加入一个平面特性时,不仅需要指定一个构图平面, 还要指定它的方位,应用基准面定义该平面。应用一个基准轴定义平面的方位,然后将桁架草图投影到 这个平面上。

8.5.4 定义第二个桁架结构的几何形体

(步骤 01) 从桁架的端点应用偏置定义 3 个点,如图 8-78 所示。



图 8-78 基准点、基准面和基准轴



前三个基准点用来定义基准面,第四个基准点用来定义基准轴。

步骤 02 应用创建基准面:用3个点工具来定义一个 基准面。创建基准轴:用2个点工具来定义一个基准轴。

步骤03 应用创建线:平面工具给部件增加一个特性。选取基准面作为绘图平面,选取基准轴作为边界,该 边界为竖向显示在图的右侧。

步**至04** 应用添加草图工具重新获得桁架草图。通过选择新桁架端部的顶点作为平移矢量的起点,基准点作为 平移矢量的终点,平移草图,完成定义。

步骤05 在提示区中单击"完成"按钮退出绘图环境。 最终的桁架部件如图 8-79 所示。



图 8-79 最终的桁架结构的几何图形



(步骤01) 选择"部件"→"复制"→"Truss"命令,在弹出的"部件复制"对话框(如图 8-80 所示) 中,命名新部件为 Truss-Copy,并单击"确定"按钮。

● ※ 02 铰接位置。单击 ★ (创建线)按钮,添加交叉支撑几何形体到新部件中,如图 8-81 所示。采用如下的坐标指定类似的视图: Viewpoint (1.19, 5.18, 7.89), Up Vector (-0.40, 0.76, -0.51)。



图 8-80 "部件复制"对话框



图 8-81 交叉支撑几何形体

按巧提示 如果在连接交叉支撑几何形体时出现错误,可以应用 ≥ (删除特征)删除线段。

步骤03 进入装配模块,创建每个部件的实体(Truss和 Truss-Copy)。

● 〒 04 执行"实例"→"合并/切削"命令,在"合并/切割实例"对话框中,命名新部件为 Cross brace, 在操作域中选择切割几何体,并单击"继续"按钮。

步骤05 从实体列表中选择 Truss-Copy-1 作为被切割的实体和选择 Truss-1 作为将用于切割的实体。在 切割完成后,创建了一个名称为 Cross brace 且仅包含交叉支撑几何形体的新部件。当前的装配模型只包含这 个部件的一个实体,而原来的实体被默认删除了。

送 模型的装配中,需要使用原来的桁架,打开"特征管理器"恢复名称为 Truss-1 的部件实体。

8.5.6 定义梁截面性质

回到属性模块, 定义梁截面性质。

进行截面的定义,在弹出对话框中输入线弹性材料参数,E=200.0×109 Pa,v=0.25,G=80.0×109 Pa, 在该结构中所有的梁都是箱型横截面。箱型截面如图 8-82 所示;支撑构件的梁截面的尺寸如图 8-83 所示。





图 8-82 主要构件的横截面几何形状和尺寸



图 8-83 内部和交叉支撑构件的横截面几何形状和尺寸

8.5.7 创建梁截面

步骤 01 在属性模块中创建两个箱型轮廓:一个是桁架结构的主要构件,另一个是内部和交叉支撑。将 两个轮廓分别命名为 MainBoxProfile 和 BraceBoxProfile。

● 账 02 为桁架结构的"主要构件"和"内部和交叉支撑"各创建一个梁截面,并分别命名截面为 MainMemberSection和 BracingSection。

对于两个截面的定义,在分析前指定截面的积分方式。当选择了这种类型的截面积分时,材料 段巧提示 性质定义作为截面定义的组成部分,而不需要另外给出材料的定义。

步骤 03 选择 MainBoxProfile 作为主要构件的截面定义,选择 BraceBoxProfile 作为支撑截面的定义。单 击线性性质,在"梁线性行为"对话框的相应文本框中输入杨氏模量和剪切模量。在"编辑梁截面"对话框 的相应文本框中输入泊松比。

步骤 04 将 MainMemberSection 赋予几何区域代表桁架的主要构件,并将 BracingSection 赋予区域代表 内部和交叉支撑构件。



8.5.8 定义梁截面方向

步骤 **0**1 主要构件的梁截面轴定位为:梁的1轴是正交于桁架结构的平面,梁的2轴是正交于该平面中的单元。对于内部桁架支撑和与之相应的桁架结构的主要构件,其近似的 n1 矢量是相同的。在它的局部坐标系中,Truss 部件的方向如图 8-84 所示。

步骤 02 选择"指派"→"梁截面方向"命令,为每个桁架结构指定一个近似的 n1 矢量。如前面所述, 该矢量的方向必须正交于桁架的平面。因此,对于平行于部件局部 1-2 平面的桁架(桁架 B),近似的 n1 = (0.0.0.0,1.0);另一个桁架结构(桁架 A),其近似的 n1 = (-0.2222, 0.0, -0.975)。

(步骤 03) 选择"指派"→"单元切向"命令,指定梁的切线方向,显示的结果如图 8-85 所示。





图 8-84 桁架在它的局部坐标系中的方向

图 8-85 梁的切线方向

定义这个方向的一个简单办法就是提供一个正交于这个平面的近似的 nl 矢量,该矢量应该几 按IG提示 乎是平行于整体的 2 方向。因此,对于交叉支撑,指定 nl = (0.0,1.0,0.0),以使它与部件的 y 轴一致。



1. 定位吊车装配件

选择"实例"→"旋转"命令,将桁架部件实体绕着由C点和D点定义的轴旋转6.4188°。

对交叉支撑部件的实体重复上述步骤,确保旋转该实体的轴与对桁架所用的旋转轴一致(即再次应用 C 点和 D 点)。

在 B 点和 D 点之间的中点处创建一个基准点,然后选择"实例"→"平移"命令平移桁架部件的实体。指定这个基准点作为平移矢量的起点和点(0.0,0.0,0.0)作为矢量的终点。

2. 创建分析步定义

在分析步模块中,创建一个"静力,通用"分析步,命名该步骤为 Tip load。



(步骤 01) 切换到相互作用模块,选择"约束"→"创建"命令,命名约束为 TipConstraint-1,并指定为 方程约束。

步骤 02 在"编辑约束"对话框(如图 8-86 所示)中,在第一行中设置系数为 1.0、集合名称为 Tip-a、 自由度为 1;在第二行中设置系数为-1.0、集合名称为 Tip-b、自由度为 1,单击"确定"按钮。这样就定义 了自由度为 1 的约束方程。

在 ABAQUS/CAE 中的文本输入是区分大小写的。



步骤 03 选择"约束"→"复制"命令,将 TipConstraint-1 复制到 TipConstraint-2。
步骤 04 执行"约束"→"编辑"→"TipConstraint-2"命令,将两行的自由度更改为 2,如图 8-87 所示。

空 調査到東 名称: TipConstraint 1						
天型: 万程 ————————————————————————————————————						
点击鼠标右键以编辑表格选项。						
	赤釵	朱百百帅	日田段	奎特杀骗亏		
1	1	Tip-a	1	(global)		
2	-1	Tip-b	1	(global)		
确定 取消						

图 8-86 "编辑约束"对话框

◆ 編編公束 名称: TipConstraint 2 类型: 方程							
为方程的每一项输入一行数据							
点击鼠标右键以编辑表格选项.							
系数 集合名称 自由度 坐标系编号							
1	1	Tip-a	2	(global)			
2	-1	Tip-b	2	(global)			
確定 取消							

图 8-87 将两行的自由度改为 2

8.5.11 模拟在桁架和交叉支撑之间的铰接

每一个连接件必须提供一个连接件特性以定义它的类型(类似于在单元与截面特性之间的关系)。因此,首先要定义特性,然后是各个连接件。

(1) 定义连接件特性

选择"连接"→"截面"→"创建"命令,在"创建连接截面"对话框(如图 8-88 所示)中将"基本 信息"作为连接种类。

🔷 创建连接截面	ā	×
名称: ConnSec	t-2	
连接种类	◎ 主接类型	
◎ 已装配/复数	已装配/复数类型:梁	•
◎ 基本信息		
© MPC	可用的 CORM: 无	
	被约束的 CORM: U1, U2, U3, UR1, UR2, UR3	
	连接类型图表: 資	
	继续	

图 8-88 "创建连接截面"对话框

从"已装配/复数类型"的列表中选择"铰",单击"连接类型图表"按钮,可以对连接类型进行查看 (如图 8-89 所示),接受所有其他的默认设置,并单击"继续"按钮。单击"确定"按钮完成操作。

(2) 定义连接件

● ∞ 01 执行"连接器"→"几何"→"创建线条特征"命令,在弹出的"创建线框特征"对话框(如图 8-90 所示)中,接受默认选择,单击"编辑"按钮,编辑点1,在视图区中选择标记a点。

● 〒 02 在"创建线框特征"对话框中单击"编辑"按钮,编辑点 2,再一次选择标记 a 的点。在提示 区中单击"继续"按钮,然后单击"确定"按钮。

步骤 03 在"创建线框特征"对话框中单击"确定"按钮完成连接件的定义。



图 8-90 "创建线框特征"对话框

×

4

Ó

定义载荷和边界条件 8.5.12

(步骤 01) 在载荷模块中,将载荷作为数值为-10000 的集中力施加到集合 Tip-b 上(如图 8-91 所示),命 名载荷为 Tip load。由于约束的存在,载荷将由两榀桁架平均承担。

(步骤 02) 吊车是被坚实地固定在主体结构上的,创建一个固定边界条件(如图 8-92 所示),命名为 Fixed end,并将它施加在 Attach 集合上。

⇔ 编	攝戴荷	×
名称:	Tip load	
类型:	集中力	
分析#	€: Transient modal dynam	nics (模态动力学)
区域:	Tip-b 🗟	
坐标题	系 (全局) 🔓 🙏	
分布:		f(x)
CF1:	0	
CF2:	-10000	
CF3:	0	
幅值:	Bounce 💌	Pr
注意:	将要施加于每个结点的力.	
	确定	取消

图 8-91 将集中力施加到集合 Tip-b 上

(步骤03) 定义好载荷和边界条件的结构如图 8-93 所示。

🚔 编辑边界条件
名称: Fixed end
美型: 对称/反对称/完全固定
分析步: Extract frequencies (频率)
区域: Attach 🗟
坐标系:(全局) ▷ 大
SYMM (U1 = UR2 = UR3 = 0)
VSYMM (U2 = UR1 = UR3 = 0)
ZSYMM (U3 = UR1 = UR2 = 0)
◎ XASYMM (U2 = U3 = UR1 = 0; 只用于 Abaqus/Standard)
◎ YASYMM (U1 = U3 = UR2 = 0; 只用于 Abaqus/Standard)
◎ ZASYMM (U1 = U2 = UR3 = 0; 只用于 Abaqus/Standard)
◎ 铰结 (U1 = U2 = U3 = 0)
● 完全固定(U1 = U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0)
确定 取消

图 8-92 创建一个固定边界条件



(步骤 01) 采用三维、细长的三次梁单元(B33)模拟货物吊车。在这些单元中的三次插值允许对每个构 件只采用一个单元,在所施加的弯曲载荷下仍然可获得精确的结果。在这个模拟中,必须采用的网格如图 8-94 所示。







图 8-93 定义好载荷和边界条件的结构

图 8-94 货物吊车的网格

步骤 02 在网格模块中,对所有的区域指定一个整体的种子密度为 2.0,并应用线性三次空间梁(B33 单元)对两个部件实体剖分网格。



步骤 01) 在作业模块中,创建一个名称为 DynCrane 的作业。

步骤 02) 将模型保存在模型数据库文件中,并提交作业进行分析和监控求解过程。

8.5.15 后处理

进入可视化模块,并打开输出数据库文件 DynCrane.odb。

1. 绘制振型

通过绘制与该频率相应的振型可以观察与一个给定的频率相应的变形状态。选择一个模态并绘制对应的振型。

(步骤 01) 执行"结果"→"分析步/帧"命令,弹出"分析步/帧"对话框。从"分析步名称"列表中选择第一个分析步,从"帧"列表中选择 Mode 1。

● **** 02** 执行 "绘图" → "变形图" 命令,或者单击工具箱中的 按钮,ABAQUS/CAE 显示了关于第 一阶振型的变形形态,如图 8-95 所示。

● 〒 03 从 "分析步/帧"对话框中选择第二阶模态,单击"确定"按钮,ABAQUS/CAE 显示出第二阶 振型,如图 8-96 所示。

2. 绘制多条曲线

(步骤01) 选择"结果"→"历程输出"命令,ABAQUS/CAE显示"历程输出"对话框。

步骤 02 从"变量"选项卡中的"输出变量"中选择几条曲线。

(步骤03) 单击"绘图"按钮, ABAQUS/CAE显示选择的曲线, 如图 8-97 所示。



8.6 本章小结

动力学分析在现实的生产和生活中很常见,进行动态分析是 ABAQUS 的一个重要优势。

本章介绍了使用 ABAQUS 进行动力模态学分析的步骤和方法,使读者了解 ABAQUS 进行动力模态学 分析的巨大优势。进行分析的模型包括固定机床的振动模态分析、薄壳零件结构的模态分析及货物吊车的 动态载荷分析。



第9章

结构谐响应分析详解

谐响应分析主要用来确定线性结构在承受持续的周期荷载时的周期性响应。谐响应分析能够 预测结构的持续动力学特性,从而验证其设计能否成功地克服共振、疲劳及其他受迫振动引起的 有害效果。通过对本章的学习,即可掌握在 ABAQUS 中如何进行谐响应分析。

🛃 学习目标

- 了解谐响应分析
- 掌握谐响应分析过程
- 通过案例掌握谐响应问题的分析方法

9.1 谐响应分析概述

谐响应分析是用于确定线性结构在承受一个或多个随时间按正弦(简谐)规律变化的荷载时的稳态响应 的一种技术。

分析的目的是计算出结构在几种频率下的响应,并得到一些响应值(通常是位移)对频率的曲线。从这 些曲线上可以找到"峰值"响应,并进一步考察频率对应的应力。

谐响应分析技术只计算结构的稳态受迫振动,发生在激励开始时的瞬态振动不在谐响应分析中考虑。 谐响应分析是一种线性分析。

任何非线性特性,如塑性和接触(间隙)单元,即使被定义了也将被忽略,但在分析中可以包含非对称 系统矩阵,如分析流体-结构相互作用问题。谐响应分析同样也可以分析有预应力结构,如小提琴的弦(假 定简谐应力比预加的拉伸应力小得多)。

对于谐响应分析,其运动方程为:

 $\left(-\omega^2 \left[M\right] + i\omega\left[C\right] + \left[K\right]\right)\left(\left\{\phi_1\right\} + i\left\{\phi_2\right\}\right) = \left(\left\{F_1\right\} + i\left\{F_2\right\}\right)$

这里假设[*K*]、[*M*]是定值,要求材料是线弹性的、使用小位移理论(不包括非线性)、阻尼为 [*C*]、激振力(简谐载荷)为[*F*]。

谐响应分析:

- 简谐载荷可以是具有相同频率的多种载荷,力和位移可以相同或不同,但是压力分布载荷和体 载荷只能指定零相位角。
- 已知幅值和频率的简谐载荷(力、压力和强迫位移)。

ABAQUS 2018 有限元分析从入门到精通 •

谐响应分析输出的分析结果包括:

- 应力和应变等其他导出值。
- 每个自由度的谐响应位移。通常情况下,谐响应位移和施加的载荷是不同的。

谐响应分析通常用于如下结构的设计与分析:

- 旋转设备(如压缩机、发动机、泵、涡轮机械等)的支座、固定装置和部件等。
- 受涡流(流体的漩涡运动)影响的结构包括涡轮叶片、飞机机翼、桥和塔等。

进行谐响应分析的目的是确保一个给定的结构能经受住不同频率的各种正弦载荷(如以不同速度运行 的发动机);探测共振响应,必要时避免其发生(如借助于阻尼器来避免共振等)。

9.2 谐响应分析流程

在 ABAQUS 中的分析步模块,选择"静力,通用"类型,即可创建谐响应分析步,如图 9-1 所示。 当进入到载荷模块后,执行"工具"→"幅值"→"创建"命令,在弹出的"创建幅值"对话框(如图 9-2 所示)中选择适当的类型(如周期),再单击"继续"按钮,进入"编辑幅值"对话框(如图 9-3 所示) 中,可讲一步定义谐响应载荷的情况。

×

🐥 创建幅值



图 9-1 "创建分析步"对话框

名称: Amp-1
类型
表
等间距
周期
调制
衰减
依赖于解
平滑分析步
激励器
谱
用户
PSD Definition
继续...<
取消

图 9-2 "创建幅值"对话框

⇔ 编辑幅值 ×
名称: Amp-1
类型:周期
时间跨度:分析步时间
圆频率:
开始时间:
初始幅值:
A B
1
确定 取消

图 9-3 "编辑幅值"对话框

谐响应分析与模态分析的过程非常类似,其求解步骤包括:

- (1) 建立有限元模型,设置材料特性。
- (2) 设置载荷幅值。
- (3) 施加载荷和边界条件。
- (4) 定义分析步类型。

- (5) 定义相互作用。
- (6) 定义网格控制并划分网格。
- (7) 对问题进行求解。
- (8)进行结果评价和分析。

谐响应的分析流程类似于模态分析,这里不再赘述。下面仅对谐响应的简谐载荷的施加、求解方法 及结果的查阅进行简单的介绍。



9.2.1 施加简谐载荷与求解

在谐响应分析中,除重力载荷、热载荷、旋转速度载荷、螺栓预紧载荷及仅有压缩约束外,其他的结构载荷及约束均可以被使用,同时所有的结构载荷将以相同的激励频率呈正态变化。

老存在仅有压缩约束,则其行为类似于无摩擦力约束。

在谐响应分析中并不是所有的载荷都支持相位的输入,其中加速度载荷、轴承载荷、弯矩载荷的相位 角为0°;若存在其他载荷,改变其相位角时,加速度载荷、轴承载荷、弯矩载荷的相位角仍然为0°。 谐响应分析中的简谐载荷需要指定幅值、相位角及频率,载荷在第一个求解间隔即被施加。

1. 幅值与相位角

简谐载荷的值代表幅值;相位角 #是指两个或多个谐响应载荷之间的相位变换,若只存在一个载荷则 无须设定。对于非零的相位角,只对力、位移及压力简谐载荷有效。幅值与相位角的设置是在参数设置列 表中进行设置的。

2. 简谐载荷频率

在谐响应分析设置中,通过输入最大值、最小值可以确定激振频率域 $(f_{max} \sim f_{min})$,并确定求解的步长 ΔQ 。

$$\Delta \Omega = 2\pi \left[\left(f_{\text{max}} \sim f_{\text{min}} \right) / n \right]$$

譬如在 0Hz~10Hz 的频率范围,求解间隔为 2,将会得到 2Hz、4Hz、6Hz、8Hz 和 10 Hz 的结果。同样,如果间隔为 1,就将只有 10Hz 的结果。



求解谐响应运动方程有完全法和模态叠加法两种方法。完全法是一种最简单的方法,使用完全结构矩阵,允许存在非对称矩阵;模态叠加法是从模态分析中叠加模态振型,这是默认方法,是所有方法中求解最快的方法。

1. 模态叠加法

模态叠加法是在模态坐标系中求解谐响应方程的。对于线性系统,用户可以将x写成关于模态形状 ϕ_i 的线性组合的表达式:

$$\{x\} = \sum_{i=1}^{n} y_i \{\phi_i\}$$

表达式中 y_i 指的是模态的坐标(系数)。可以看出,谐响应分析时包括的模态 n 越多,对 $\{x\}$ 逼近越精

ABAQUS 2018 [《]》 有限元分析从人门到精诵 •

确。固有频率ω,和相应的模态形状因子,是通过求解一个模态分析来确定的。

采用模态叠加法进行谐响应分析时,首先需要自动进行一次模态分析,此时程序会自动确定获得准确 结果所需要的模态数。虽然先进行的是模态分析,但谐分析部分的求解仍然很迅速且高效,因此模态叠加 法通常比完全法要快得多。

由于采用模态叠加法进行了模态分析,因此会获得结构的自然频率。谐响应分析中,响应的峰值是与 结构的固有频率相对应的。由于自然频率已知,因此能够将结果聚敛到自然振动频率附近。

2. 完全法

在完全法中,直接在结点坐标系下求解矩阵方程,除了使用复数,基本类似于线性静态分析。其表达 式如下:

$$[K_C]\{x_C\} = \{F_C\}$$

3. 两种方法的比较

(1)对每一个频率,完全法必须将[*K*_c]因式分解。在模态叠加法中是求解简化后的非耦合方程;在完 全法中,必须将复杂的耦合矩阵[*K*_c]因式分解。因此,完全法一般比模态叠加法更耗费计算时间。

(2)完全法支持给定位移约束,由于对{x}直接求解,因此允许施加位移约束,并可以使用给定位移约束。

(3) 完全法没有计算模态,所以不能采用结果聚敛,只能采用平均分布间隔。



在谐响应分析的后处理中,可以查看应力、应变、位移及加速度的变化图。图9-4所示为一个典型的位 移——时间图。



图 9-4 位移一时间图



9.3 双质量块 一 弹簧系统的谐响应分析

本节将通过一个"双质量块一弹簧系统"的谐响应分析来帮助读者掌握谐响应分析的基本操作步骤。

9.3.1 问题描述

在如图 9-5 和图 9-6 所示的系统中的质量块 *m*₁上施加简谐力(*F*)时,求两个质量块(*m*₁和 *m*₂)的振幅响应和相位角响应。



图 9-5 双质量块一弹簧系统的模型简图



该问题的材料属性为: *m*₁=*m*₂=0.5kg; *k*₁=*k*₂=2N/m,载荷的大小为*F*=20。双一质量一弹簧系统的两端固定住,两个质量块的自由度都是沿着弹簧方向。

.....

9.3.2 问题分析

本例的模型采用点模型,点与点之间采用弹簧的相互作用定义,这样网格就不需要划分了。对于谐响 应分析,在 ABAQUS 中必须使用"静力,通用"分析步。

9.3.3 创建部件

(步骤 01) 启动 ABAQUS/CAE, 创建一个新的模型, 重命名为 Model-1, 保存模型为 Model-1.cae。

步骤 02 单击工具箱中的 1 (创建部件) 按钮, 弹出"创建部件"对话框(如图 9-7 所示), 在"名称" 中输入 Part-1,将"模型空间"设为"三维"、"类型"设为"可变形",将"基本特征"的"形状"设为"点"、 "类型"设为"坐标",单击"继续"按钮,进入草图环境。

● ₩ 03 此时提示区的提示如图 9-8 所示,输入第一点的坐标值(0,0,0),单击鼠标中键,此时视图区内会显示刚刚定义好的点。

步骤04 使用同样的方法定义其他 3 个点, "名称"分别为 Part-2、Part-3 和 Part-4, 对应的坐标分别为 (1,0,0)、(2,0,0)和(3,0,0)。



⇔ 创建部件 ×	
名称: Part-1	
模型空间	
◉ 三维 ◎ 二维平面 ◎ 轴对称	
类型选项	
 可变形 	
◎ 离散刚性	
◎解析刚性	
◎ 欧拉	
基本特征	
形状 类型	
◎ 实体 坐标	
◎ 売	
◎线	
 ● ▲ 	
大约尺寸: 200	
· 班续 取月	
	网页。大相三区绘)相三
-/ 创建部件 刈话性	图 9-8 住掟不区制入掟不
車 居 性	and the second se

Server and the server

(步骤 01) 进入属性模块,将环境栏中的"部件"设为 Part-2,如图 9-9 所示。

【误厌: [] ///////////////////////////////////	模块:	■属性	T	模型: Model-1	•	部件: Part-2	-
---	-----	-----	---	-------------	---	------------	---

图 9-9 将环境栏中的"部件"设为 Part-2

步骤02 执行"特殊设置"→"惯性"→"管理器"命令,弹出"惯性管理器"对话框(如图 9-10 所示),单击"创建"按钮,弹出"创建惯量"对话框(如图 9-11 所示),默认"名称"为 Inertia-1,选择"类型"为"点质量/惯性",单击"继续"按钮。

会 惯性管理	器				×
名称			类型		
创建	编辑	复制	重命名	删除	关闭

9.3.4

2	创建	惯量		X
名	称: [[nerti	a-1	
	芝型 日本日本	10TT-20	4-	
1	い DE E 結构	5/1页1: 1质量	£	
Ŗ	松容			
1	继续		Ę	消
	1125天…	·	L P	СΗ

图 9-10 "惯性管理器"对话框

图 9-11 "创建惯量"对话框

步骤 03 根据提示区提示,在视图中选择 Part-2 点,单击提示区的"完成"按钮,弹出如图 9-12 所示的"编辑惯量"对话框,在"大小"选项卡中的"各向同性"后面输入 2,其他值为默认,完成 Part-2 的点质量定义。

▶ ∞ 04 使用同样的方法定义 Part-3 的点质量,在"大小"选项卡中的"各向同性"后面输入 2,其他 值为默认。



 ◆ 编辑惯量 名称: Inertia-2 类型: 点质量/惯性 		×
区域: Set-2 大小 阻尼 质量 ● 各向同性: 2		
 各向异性: M11: 转动惯量 指示非对曲元素 	M22:	M33:
111: 122: 133:		
坐标系:(全局) ▷ ↓ 注意: 值将应用到逐个点. 确定		取消

图 9-12 "编辑惯量"对话框



进入装配模块,单击工具箱中的 ¹¹ (将部件实例化)按钮,在弹出的"创建实例"对话框(如图 9-13 所示)中,按住 Shift 键同时选择 Part-1~Part-4 部件,单击"确定"按钮,创建部件的实例。生成的实例如 图 9-14 所示。

创建实例从: ◎ 部件 ◎ 模型				
部件				
Part-1				•
Part-2				
Part-3				
Part-4				Î
实例类型	Y			_
◎ 非独立(网格在部件上)				
◎ 独立(网格在实例上)	XKBE X	XKP	XRP	XRP
注意:要改变一个非独立实例网格,您必须编辑其部件的网格.	U U			
□ 从其它的实例自动偏移	4			
确定 应用 取消	↓ → ×			
图 0.12 " 你是 你 你 !!		团014 件	- 武山之内	
含 9-15 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		图 9-14 注	: 成的头例	



1. 定义分析步

● ∞ 01 进入分析步模块,单击工具箱中的 → (创建分析步)按钮,在弹出的"创建分析步"对话框(如 图 9-15 所示)中选择分析步类型为"静力,通用",单击"继续"按钮。



● ※ 02 在弹出的"编辑分析步"对话框(如图 9-16 所示)中,将"几何非线性"设置为"开",其他 为默认设置,单击"确定"按钮,完成分析步的定义。

一 创建分析步
名称: Step-1
在选定项目后插入新的分析步
Initial
程序类型:通用 ▼
动力,显式 🔺
动力,温度-位移,显式
地应力
质量扩散
±
静力, 通用
静态, Riks 🔻
继续 取消

名称: Step-1 类型: 静力, 通用 基本信息 増量 其它 描述: 时间长度: 1 ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
 类型:静力,通用 基本信息 增量 其它 描述:
基本信息 増量 其它 描述:
描述: 时间长度: 1 0 半
时间长度: 0 关
© ¥
几何非线性: (决定是否引入大位移非线性,并将影响到随后的分析步.) ◎ 开
自动稳定:无
回包括绝热效应
确定取消

图 9-15 "创建分析步"对话框

图 9-16 "编辑分析步"对话框

2. 设置连接单元的变量输出

● ▼ ① 单击工具箱中的 (场输出管理器) 按钮, 在弹出的"场输出请求管理器"对话框(如图 9-17 所示) 中可以看到 ABAQUS/CAE 已经自动生成了一个名称为 F-Output-1 的历史输出变量。

步骤**03** 返回到"场输出请求管理器"对话框,单击"确 定"按钮,完成输出变量的定义。

🔷 场输出请求管理器			×
名称 ✓ F-Output-1	Step-1 已创建		编辑 左移 右移
			激活取消激活
 分析步:静力,通用 变量: 预选的默认值 状态: 已在此分析步中 	创建		
创建 复制.	重命名	删除	关闭

图 9-17 "场输出请求管理器"对话框

╬ 編 編 場 編 場 協 輸 出 请 求	×
名称: F-Output-1	
分析步: Step-1	
步骤: 静力, 通用	
作用域:整个模型	
频率: 每 n 个增量 n: 1	
定时:精确时间的输出	
· 输出变量	
◎从下面列表中选择 @ 预选的默认值 ◎ 全部 ◎ 编辑变量	
CDISP,CF,CSTRESS,EEQUT,LE,MVF,PE,PEEQ,PEMAG,RF,S,SEQUT,T	E,T
▶■应力	
● 应变	
▶ ■ 位移/速度/加速度	Ξ
▶ ■作用力/反作用力	
▶ ■ 接触	
▶ □ 能量	
▶ □ 破坏/断裂	
▶□热学	-
注意: 当范围是整体模型或相互作用是某些误差指示器无效.	
□ 钢筋的输出	
壳,梁,和复合层截面点上的输出:	
◉ 使用默认值 ◎ 指定:	
☑ 包括可用的局部坐标方向	
确定 取消	

图 9-18 "编辑场输出请求"对话框



完义相互作用 9.3.7

下面将定义在各个块体之间及块体和固定端之间的相互作用(即定义弹簧)。

(步骤01) 执行"特殊设置"→"弹簧/阻尼器"→"管理器"命令,弹出"弹簧/阻尼器管理器"对话框 (如图 9-19 所示),单击"创建"按钮,弹出"创建弹簧/阻尼器"对话框(如图 9-20 所示),默认"名称" 为 Springs/Dashpots-4,选择"类型"为"连接两点",单击"继续"按钮。

步骤 02 根据提示区中的提示,分别选择 Part-1 和 Part-2 点作为 Springs/Dashpots-4 弹簧阻尼点的第一 个点和第二个点,单击提示区中的"完成"按钮,弹出"编辑弹簧/阻尼器"对话框,如图 9-21 所示。

名称		连接类型	
Springs/Dashpot	s-1	连接两点	
Springs/Dashpot	s-2	连接两点	
Springs/Dashpot	s-3	连接两点	

图 9-19 "弹簧/阻尼器管理器"对话框

🔷 创建弹簧/阻尼器	×
名称: Springs/Dash	pots-4
连接类型	
连接两点	
将点接地 (Standard	d)
继续	取消

图 9-20 "创建弹簧/阻尼器"对话框

 ◆ 编辑 名称: ※刑: 	剛筆着/阻尼器 Springs/Dashpot 连接面占	s-4	×
 ○ 弾簧	/阻尼器点对		
	点1	点2	+
1	Part-1-1 RP	Part-4-1 RP	.) % 0
轴: 距 一 <u>属性</u> ■ 阻	随行动线 🚽 簧的刚度: 尼器系数:		
	确定	取消	

图 9-21 "编辑弹簧/阻尼器"对话框

● 〒 03 在"编辑弹簧/阻尼器"对话框中,设置"弹簧的刚度"为2,单击"确定"按钮,完成弹簧的 定义。

● ▼ 04 使用同样的方法,定义 Springs/Dashpots-1~ Springs/Dashpots-3,即在 Part-2 点与 Part-3 点之间和 Part-3 点与 Part-4 点之间的弹簧,其他值为默认。

9.3.8 定义载荷和边界条件

1. 定义边界条件

● ▼ ① 进入载荷功能模块,单击工具箱中的 □ (边界条件管理器)按钮,单击"边界条件管理器"对 话框(如图 9-22 所示)中的"创建"按钮,在弹出的"创建边界条件"对话框(如图 9-23 所示)中,"分析 步"选择 Step-1,"类别"选择"力学","可用于所选分析步的类型"选择"对称/反对称/完全固定",单击 "继续"按钮。

● ※ 02 根据提示区的提示选择 Part-1 点,弹出"编辑边界条件"对话框,选中"完全固定(U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0)"单选按钮,如图 9-24 所示。



名称	Initial	Step-1	编辑。
BC-1		已创建	
BC-2		已创建	
			激活
			取消激
 析步:			

🚔 创建边界条件	×
名称: BC-1 分析步: Step-1 步骤: 静力,通用 类别 ④ 力学 ● Electrical/Magnetic ● 其它	■ 可用于所选分析步的类型 对称/反对称/完全固定 位疹/5角 速度/角速度 连接位移 连接速度
继续	取消

图 9-22 "边界条件管理器"对话框

图 9-23 "创建边界条件"对话框

(步骤03) 使用同样的方法定义 BC-2,将 Part-4 点设置为完全固定,其他值为默认。

2. 定义幅值与载荷

步骤01 执行"工具"→"幅值"→"管理器"命令,弹出"幅值管理器"对话框(如图 9-25 所示), 单击"创建"按钮,在弹出的如图 9-26 所示的"创建幅值"对话框中设置"名称"为 Amp-1、"类型"为"周 期",单击"继续"按钮。

₩ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	₩ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
名称	名称
Amp-1	Amp-1 周期
◆ 幅值管理器 名称 Amp-1	 ◆ 幅值管理器 名称 类型 Amp-1

图 9-24 "编辑边界条件"对话框

图 9-25 "幅值管理器"对话框

● ▼ 02 在弹出的"编辑幅值"对话框中,设置如图 9-27 所示的参数,单击"确定"按钮,完成幅值 Amp-1 的定义。

步骤 03 单击工具箱中的 (创建载荷) 按钮, 在弹出的对话框(见图 9-28) 中, "分析步" 选择 Step-1, "类别"选择"力学", "可用于所选分析步的类型"选择"集中力", 单击"继续"按钮, 在视图中选择 Part-2 点, 单击鼠标中键。

● ▼ 04 在弹出的"编辑载荷"对话框(如图 9-29 所示)中,设置 CF1 为 20、CF2 为 0、CF3 为 0、"幅值"为 Amp-1,单击"确定"按钮,完成载荷的定义。



 ◆ 创建幅值 × 名称: Amp-1 类型 ● 表 	 ◆ 编辑幅值 名称: Amp-1 类型:周期 	×	 创建载荷 名称: Load-1 分析步: Step-1 步骤: 静力,通用 	×
 ○ 等间距 ◎ 周期 	时间跨度:分析步时		类别● 力学	可用于所选分析步的类型 集中力
© 调制 ◎ 衰减	圆频率: 3.1415 开始时间: 0		 ● 热学 ● 声学 	穹矩 压强
 依赖于解 平滑分析步 	初始幅值: 0		◎ 流体 ● Electrical/Magnetic	売的边载荷 = 表面载荷 = 表面载荷 =
◎ 激励器 ◎ 谱	A	B	 质量扩散 其它 	 本力 线载荷
◎ 用户 ◎ PSD Definition		0		重力 螺栓载荷 -
继续 取消	确定	取消	继续	取消

图 9-26 "创建幅值"对话框 图 9-27 "编辑幅值"对话框 图 9-28 "创建载荷"对话框

施加位移约束和载荷后的结构图如图 9-30 所示。

标系: (全局) ▷ 人 标示: 一致 f(x) 〒1: 20	★★★★ (注意)日本() * 5 ★示: (注意) ▷ 人 ★示: -致 ● (M) ★示: 20 ★示: 20 ★示: 20 ★★ ● (M) <	編録载荷 账: Load-1 型: 集中力 所步: Step-1 (静力,通用) w: (日や取) ▷			
	E2: 0 * * * * * E3: 0 * * * * (Amp-1 • * *	 (已拾取) ▷ 示系:(全局) ▷ 人 布: 一致 f(x) 1: 20 	T T	energe ^{RP} →	ENC. RP

图 9-29 "编辑载荷"对话框

图 9-30 施加位移约束后的结构图

坊広提

在谐响应分析中,载荷的动态效应主要通过幅值管理器进行设置,因而载荷对谐响应分析结果 有很大影响,这点不同于模态分析。

......

结果分析 9.3.9

(步骤 01) 执行"作业"→"管理器"命令,单击"作业管理器"对话框(如图 9-31 所示)中的"创建" 按钮,在弹出的"创建作业"对话框(如图 9-32 所示)中,定义作业"名称"为 Spring-1,单击"继续"按钮。



图 9-31 "作业管理器"对话框



步骤 **02** 在弹出的"编辑作业"对话框(如图 9-33 所示)中,"作业类型"选择"完全分析",单击"确 定"按钮,完成作业定义。

	建作业		×
名称:	Sprin	g-1[
来源:	模型		
A			
Ivioa	el-1		
Mod	el-1		
IVIOG	el-1		
Mod	el-1		
Mod	el-1		

图 9-32 "创建作业"对话框

⇔ 编辑作业 ×
名称: spring_1
模型: Model-1
分析程序: Abaqus/Standard
描述:
提交 通用 内存 并行 精度
作业类型
◎ 完全分析
◎ 恢复 (Explicit)
◎ 重启动
运行模式
 ● 背景 ○ 队列: 土 印名: 类型:
提交时间
● 立即
◎ 等待: 小时 分钟
◎ 指定: Ŷ
确定

图 9-33 "编辑作业"对话框

● ∞ 03 单击"作业管理器"对话框中的"监控"按钮,可以对求解过程进行监视(如图 9-34 所示), 单击"提交"按钮提交作业。

⇔ spring_1 监控器								
作业: spr	ing_1 状态	:已完成						
分析步	増量步	屋性	不连续的迭	等效迭代数	总迭代数	总时间/颎率	分析步时间/LP	时间/LPF增 🔺
1	8	1	0	1	1	0.331719	0.331719	0.113906
1	9	1	0	1	1	0.502578	0.502578	0.17085
1	10	1	0	1	1	0.758867	0.758867	0.25628
1	11	1	0	1	1	1	1	0.24113: 👻
•								P.
日志 错	誤 !警告 :	諭出 数	諸文件 Me	ssage文件	Status 文件	ŧ		
已完成:	Abaqus/Stan	dard						
								(10)
已完成:	Thu Sep 614	4:31:07 2	018					-
	2							
THE LABORATE &	. IT				あしい客		* **	
直找又争	۰ <u>۱</u>					\$ K=/K U	BJ	
		中断					关闭	

图 9-34 对求解过程进行监视



监控过程中可能会出现如下错误:

转巧提示 ***ERROR: TOO MANY ATTEMPTS MADE FOR TTHIS INCREMENT: ANALYSIS TERMINATED.

错误原因:如果 ABAQUS 按照当前的时间增量步无法在规定的迭代次数内达到收敛,就会自动减小时间增量步。

如果这样仍不能收敛,就会继续减小时间增量步。默认的 Cutback 最大次数为 5 次,如果达到 了最大次数仍不能收敛, ABAQUS 就会停止分析,显示以上错误信息。

关于收敛控制的详细内容,可以参见 ABAQUS 帮助文件《ABAQUS Analysis User's Manual》。

措施办法:分析无法达到收敛,往往是因为模型中有问题,如存在刚体位移、过约束、接触定 义不当等。

具体操作:选择"分析步"模块,执行"分析步"→"编辑"命令,在"编辑分析步"对话框(如图 9-35 所示)中打开"增量"选项卡,设置参数初始的值。



	步					
称: Step-	1					
型:静力,:	通用					
基本信息	増量 其它					
(型: ® 自)	动 🗇 固定					
最大増量步	数: 100					
	初始	最小	最大			
曾量步大小	0.01	1E-05	1			

图 9-35 "编辑分析步"对话框

9.3.10 后处理

.

步**∞01** 分析完毕后,单击"结果"按钮,ABAQUS/CAE 进入可 视化模块。单击⊾按钮显示 Mises 应力云图。

步骤 **02** 执行"结果"→"场输出"命令,弹出"场输出"对话框(如图 9-36 所示),分别选择 Max. Principal、Min. Principal 和 E11,显示各个参数的云图,如图 9-37 所示。

建〒03 执行"结果"→"分析步/帧"命令,弹出"分析步/帧" 对话框,如图 9-38 所示,在"分析步名称"中选择 Step-1,在"帧" 中选择索引为 1,单击"应用"按钮,显示一阶模态;选择索引为 5, 单击"应用"按钮,显示五阶模态;选择索引为 8,单击"应用"按钮, 显示八阶模态;选择索引为 11,单击"应用"按钮,显示 11 阶模态, 各阶模态振型图如图 9-39 所示。



图 9-36 "场输出"对话框



(a) Max. Principal

(b) Min. Principal

ABAQUS 2018 有限元分析从入门到精通。



(c) E11

图 9-37 场输出云图 (续)

🐥 分析#	步/帧			×
分析步名	马称	描述		
Step-1				
帧				
索引	描述			
2	Increment	2: Step Time =	2.0000E-02	
3	Increment	3: Step Time =	3.5000E-02	
4	Increment	4: Step Time =	5.7500E-02	
5	Increment	5: Step Time =	9.1250E-02	
6	Increment	6: Step Time =	0.1419	
7	Increment	7: Step Time =	0.2178	E
8	Increment	8: Step Time =	0.3317	
9	Increment	9: Step Time =	0.5026	
10	Increment	10: Step Time =	0.7589	
11	Increment	11: Step Time =	1.000	•
•		III		•
đi	角定	应用	场输出	取消

图 9-38 "分析步/帧"对话框



图 9-39 各阶振型图





图 9-39 各阶振型图 (续)

步 ****** 04 单击 ****** 按钮显示变形过程的动画。执行"动画"→"时间历程"命令,可以动画显示各模型振动情况。

● 〒05 执行"动画"→"另存为"命令,弹出"保存图像动画"对话框,如图 9-40 所示,输入"文件名"为 Frequency,单击"AVI 格式选项" 註按钮,弹出"AVI 选项"对话框(如图 9-41 所示),可以对动画选项进行设置,此处接受默认设置,单击"确定"按钮,返回"保存图像动画"对话框,单击"确定"按钮,保存 AVI 动画到 Frequency 文件中。

☆ 保存图像动画
设置
文件名: Frequence 💣
格式: AVI 🔄 🗄
选择
抓取:所有视口 🚽
🗹 抓取视口修饰 (如果可见)
□ 抓取视口背晏
□ 抓取视口罗盘(如果可见)
帧频率(帧/秒)
变化率: 24 50
确定 应用 取消

图 9-40 "保存图像动画"对话框

↔ AVI选项
图片大小(像素)
◎ 使用屏幕上的尺寸 (539 x 384)
◎ 使用下面的设定
宽度: 539 高度: 384
压缩
解码器: Microsoft RLE
万5 质量: 关于
确定 取消

图 9-41 "AVI 选项"对话框

● 〒06 执行"选项"→"通用"命令,弹出"通用绘图选项"对话框,如图 9-42 所示;切换到"标签"选项卡(如图 9-43 所示),勾选"显示结点编号"复选框,单击"颜色"按钮,弹出"选择颜色"对话框(如图 9-44 所示),选择黑色颜色框(可以自己调色),单击"确定"按钮,返回"通用绘图选项"对话框,单击"应用"按钮,显示结点编号。

步骤 07 执行"工具"→"XY 数据"→"创建"命令,在"创建 XY 数据"对话框(如图 9-45 所示)
中选中"ODB 场变量输出"单选按钮,单击"继续"按钮。

● 〒 08 弹出 "来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框,在"输出变量"选项组中选择"位置"下拉列表中的"唯一结点的"选项(如图 9-46 所示),"编辑"选择 U:UI。



- 通用绘图选项			×
基本信息颜色与风格	标签	法线	其它
這染风格			可见边
◎ 銭框 ◎ 消隐			🔍 所有边
◎ 填充 @ 阴影			◙ 外部边
			◎ 特征边
 自动计算 (1) 			🔍 自由边
◎ —致 ◎ 不—致			◎ 无
			:Q:
确定应用	默认	值	取消

图 9-42 "通用绘图选项"对话框



图 9-44 "选择颜色"对话框

➡ 通用绘图选项 ×					
基本信息 颜色与风格 标签 法线 其它					
标签和符号					
为所有模型标签设置字体					
🔲 显示单元编号 颜色: 🔲					
□ 显示面编号 颜色: 🔲					
☑ 显示结点编号 颜色: □					
🔲 显示结点符号 颜色: 🔲					
符号: 🔾 🔽 大小: 小 🖿					
颜色编码					
☑ 允许颜色代码选择集覆盖此对话框中的选项					
查询注解					
字体设置 颜色: 🔳					
确定 应用 默认值 取消					

图 9-43 切换到"标签"选项卡

🚭 创建 XY 数据 🛛 🗙
源
◎ ODB 历程变量输出
◎ ODB 场变量输出
◎ 厚度
◎ 自由体
◎ 操作XY数据
◎ ASCII 文件
◎ 键盘
◎ 路径
继续 取消

图 9-45 "创建 XY 数据"对话框

● 〒109 切换到"单元/结点"选项卡,如图 9-47 所示,将"方法"设为"从视口中拾取",在视图中选择 Part-2 点,单击提示区中的"完成"按钮,返回"来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框后,单击"绘制"按钮,绘制出结点随着时间变化的位移曲线,如图 9-48 所示。

🖶 来自 ODB 场输出的 XY 数据	×
分析步/帧	
注意: 将从激活的分析步/框架中提取 XY 数据 激活的分析线	♭/帧
变量 单元/结点	
◎ 輸出变量	
位置:唯一结点的	
点击复选框或编辑下面 "编辑" 字样旁的标记.	
Max. Principal	
Max. Principal (Abs)	
Min. Principal	
S11	
▼ ■ U: 空间位移	
Magnitude	
ℤ U1	=
U2	
🗆 U3	Ŧ
编辑: U.U1	
截面点: ◎ 全部 ◎ 选择 设置	
保存 经制 关闭	

图 9-46 "来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框

🖶 来自 ODB 场输出的 XY 数据	8
分析步/帧	
注意: 将从激活的分析步/框架中提取 XY 数据	激活的分析步/帧
变量 单元/结点	
选择	
方法 编辑选择集 添加选择集 删除说	中
从视口中拾取在视口中选择结点	
指点编号 结点集	
内部集	
高高柳口中的项目	
保存 绘制	关闭

图 9-47 切换到"单元/结点"选项卡





图 9-48 结点 2 随着时间变化的位移曲线

9.4 梁一集中质量结构的谐响应分析

本节将通过一个"梁一集中质量结构"的谐响应分析来帮助读者掌握谐响应分析的基本操作步骤。

9.4.1 问题描述

如图 9-49 所示系统中钢梁长度为1,截面性质见问题详细说明, 钢梁中间作用一个集中质量块 *m*,梁受到一个动力载荷 *F*(*t*)的作用, 该载荷的初始幅值为 100、最大幅值为 200、开始时间为 0.0s、衰减 时间为 0.1s。梁本身的质量忽略不计,质量块的主自由度垂直于梁长 方向。

材料属性为: *m*=0.0259067kg; *E*=30000N/m, *nu*=0.3。载荷的大小为: *F*=200N。梁一集中质量结构的两端简支,求其谐响应分析。



图 9-49 梁一集中质量结构的模型简图

9.4.2 问题分析

本例的模型采用点模型和线模型,线模型采取梁单元,点模型赋予惯性属性。 对于谐响应分析,在 ABAQUS 中必须使用"静力,通用"分析步。



步骤01 启动 ABAQUS/CAE,创建一个新的模型,重命名为 Model-1,保存模型为 Model-1.cae。

ABAQUS 2018 有限元分析从人门到**精**诵 •

▶ ■ 02 单击工具箱中的 1 (创建部件) 按钮,在弹出的"创建部件"对话框的"名称"文本框中输入 Part-1 (如图 9-50 所示),将"模型空间"设为"二维平面"、"类型"设为"可变形"、"基本特征"设为"线", 单击"继续"按钮,进入草图环境。此时,提示区的提示如图 9-51 所示。

步骤03 单击工具箱中的๙(创建线:首尾相连)按钮,绘制一条水平的线段,单击提示区的"完成" 按钮。然后单击工具箱中的๙(添加尺寸)按钮,选择线段的两端,在提示区中输入线段的长度 240,按回 车键,单击鼠标中键,完成部件 Part-1 的定义,如图 9-52 所示。

类型	选项	
可变形		
◎ 离散刚性	沿右可用的顶	
◎ 解析刚性	/3CH-5768398	
◎ 欧拉		
基本特征		
◎売		
 3 		
◎点		



图 9-50 "创建部件"对话框

图 9-52 定义好的 Part-1 线段

X

▶ ■ 04 再次单击工具箱中的 1 (创建部件)按钮,在"名称"后面输入 Part-2,将"模型空间"设为 "二维"、"类型"设为"可变形"、"形状"设为"点",单击"继续"按钮,进入草图环境。

输入点的坐标值为(120,0),单击鼠标中键,此时视图区内会显示出刚刚定义好的点。

9.4.4 创建属性

(步骤 01) 进入属性模块,将环境栏中的"部件"设为 Part-2,如图 9-53 所示。

● ※ 02 执行"特殊设置"→"惯性"→"管理器"命令,弹出"惯性管理器"对话框(如图 9-54 所示),单击"创建"按钮,弹出"创建惯量"对话框(如图 9-55 所示),默认"名称"为 Inertia-1,在"类型"选项组中选择"点质量/惯性"选项,单击"继续"按钮。

🗇 惯性管理器

		名称
	V	Inertia-1
模块: ● 雇性 ▼ 模型: ● Model-1 ▼ 部件: ● Part-2 ▼	6	测建 编辑

图 9-53 将环境栏中的"部件"设为: Part-2

图 9-54	"惯性管理器"	对话框

类型

重命名... 删除... 关闭

步骤 03 根据提示区的提示,在视图中选择 Part-2 点,单击提示区中的"完成"按钮,弹出如图 9-56 所示的"编辑惯量"对话框,在"大小"选项卡中的"各向同性"后面输入值 0.0259067,默认其他已有选项,完成 Part-2 的质量定义。



×

	名称: Inertia-1
	类型: 点质量/惯性
	区域: (已拾取) 🗟
🔶 创建惯量 🛛 📉	大小 阻尼
名称: Inertia-1	质量
	④各向同性: 0.0259067
类型	祭 各向异性:
点质量/惯性	M11: M22: M33:
非结构质量	转动惯量
热容	□指定非对角元素
	111:
	122:
	[33:
	坐标系:(全局) ↓ ↓
	注意: 值将应用到逐个点.
继续 取消	
	1982 AX/F

⇔ 编辑惯量

图 9-55 "创建惯量"对话框

图 9-56 "编辑惯量"对话框

步骤06 赋予截面属性。单击工具箱中的乳(指派截面属 性) 按钮, 选择"部件"为 Part-1, 单击提示区中的"完成" 按钮,在弹出的"编辑截面指派"对话框(如图 9-59 所示) 中,选择"截面"为 Section-1, 单击"确定"按钮, 把截面属

对于点结构,不需要向其他实体或壳模型一样定义材料属性、截面属性及截面指派属性。

(步骤 04) 定义 Part-1 的材料。进入属性模块,单击工具箱中的%。(创建材料)按钮,弹出"编辑材料" 对话框,默认材料"名称"为 Material-1, 选择"力学"→"弹性"→"弹性"选项,设置"杨氏模量"为 30000、"泊松比"为 0.3, 单击"确定"按钮, 完成材料属性定义, 如图 9-57 所示。

X 可以先在环境栏中选择属性,进入材料属性模块,再执行"材料"→"创建"命令,也可以单 技巧提示 击工具箱中的 € (创建材料) 按钮。

● 寒 05 创建截面属性。单击工具箱中的 ?(创建截面)按钮,在"创建截面"对话框(如图 9-58 所 示)中,选择"类别"为"梁"、"类型"为"梁",单击"继续"按钮,进入"编辑截面"对话框,"材料" 选择 Material-1, 单击"确定"按钮, 完成截面的定义。

性赋予部件。

🐥 创建截面 名称: Section-1

◎ ☆体

7 4987				
5795	Material-1			
新述:				
1.1.4%	с= м.			
1/3 4-4	1179			
理任				
通用	(<u>G</u>) 力学(M) 热学(I) 电/和		
弹性				
ж ті	冬向同性			- Z×
<u><u>_</u><u></u></u>				1.1
□便	用与温度相关	的数据		
场变	量个数:	0		
模量	时间尺度 (用	于粘弹性): 长期	Ŧ	
□无	压缩			
ΠŦ	拉曲			
- #015	8			
300	- 场所描景	道松叶		
1	30000	0.3		

图 9-57 "编辑材料"对话框

◎売	桁架	
◎ 無		
继续	取消	

	_
→ 编辑截面指派	
区域	
区域: (已拾取) 🗟	
截面	
截面: Section-1 👻 💩	
注意:这里只列出可以应用于选中区域的截面.	
类型:梁	
材料: Material-1	
确定 取消	

图 9-58 "创建截面"对话框 图 9-59 "编辑截面指派"对话框

ABAQUS 2018 有限元分析从人门到精通 •

ABAQUS 的材料属性不能直接赋予几何模型和有限元模型,必须通过创建截面属性,把材料 转15提示 属性赋予截面属性,然后把截面属性赋予几何模型,间接地把材料属性赋予几何模型。



9.4.5 定义装配件

进入装配模块,单击工具箱中的 ¹¹ (将部件实例化)按钮,在"创建实例"对话框(如图 9-61 所示) 中,按住 Shift 键的同时选择 Part-1 和 Part-2,单击"确定"按钮,创建部件的实例。生成的实例如图 9-62 所示。

◆ 创建头例 ④建实例从: ● 部件 ● 模型 ● 報44	
Part-1 Part-2	ř.
实例类型 ● 非独立(网格在部件上) ● 独立(网格在实例上) 注意:要改变一个非独立实例网络、您必须编辑其部件的网络、	x x x x x x
□从其它的实例自动编移 应用 取消	Y ♣→ x
图 9-61 "创建实例"对话框	图 9-62 生成的实例

9.4.6 设置分析步和输出变量

1. 定义分析步

● ▼ 01 进入分析步模块,单击工具箱中的 ● (创建分析步)按钮,在弹出的"创建分析步"对话框(如图 9-63 所示)中选择分析步类型为"静力,通用",单击"继续"按钮。

● 葉 02 在弹出的"编辑分析步"对话框(如图 9-64 所示)中,把"几何非线性"设置为"开",接受其他默认设置,单击"确定"按钮,完成分析步的定义。



	⇔编藏分析步
夕秒: Stop 1	名称: Step-1
	类型: 静力, 通用
在选定项目后插入新的分析步	基本信息 増量 其它
Initial	描述
	时间长度:1
	●关 几何非线性: ◎开 ◎开
	自动稳定
程序类型:通用	包括绝热改应
动力, 显式 🔺	
动力, 温度-位移, 显式	
地应力	
热传递	
质量扩散	
± =	
静力, 通用	
静态, Riks 🗸	
继续 取消	風道

图 9-63 "创建分析步"对话框

图 9-64 "编辑分析步"对话框

2. 设置连接单元的变量输出

▶ ∞ 01 单击工具箱中的匾(场输出管理器)按钮,在弹出的"场输出请求管理器"对话框(如图 9-65 所示)中可以看到 ABAQUS/CAE 已经自动生成了一个名称为 F-Output-1 的历史输出变量。

· · ·		4042411
F-Output-1	已创建	左移
		右移
		激活
		取消激活
〕祈步: 静力, 通用		
24월: 预选的默认	值	

图 9-65 "场输出请求管理器"对话框

二 编辑	场输出演戏	×
		~
名称:	F-Output-1	
分析步:	Step-1	
步骤:	静力, 通用	
作用域:	整个模型	
频率:	每 n 个增量 n: 1	
定时:	精确时间的输出 🔻	
输出变	·	
◎从下	面列表中选择 🖲 预选的默认值 🔍 全部 🔍 编辑变量	
CDISP	,CF,CSTRESS,EEQUT,LE,MVF,PE,PEEQ,PEMAG,RF,S,SEQUT,	TE, T
	应力	A
li i e	应变	
ll i e	 位移/逗度/加速度	=
i =	作用力/反作用力	-
▶ ≡	接触	
	能量	
▶ =	破坏/断裂	
▶ =	热学	_
e	4	
注意: :	当范围是整体模型或相互作用是某些误差指示器无效.	
□钢筋的	的输出	
売, 梁, 利	和复合层截面点上的输出:	
 使用]默认值 ◎ 指定:	
☑包括□	可用的局部坐标方向	
	确定	

图 9-66 "编辑场输出请求"对话框

9.4.7 定义相互作用

下面将定义在块体和梁之间的相互作用(即绑定约束)。



● ▼ ① 执行 "约束" → "管理器" 命令,弹出 "约束管理器" 对话框(如图 9-67 所示),单击 "创建"按钮,弹出 "创建约束"对 话框(如图 9-68 所示),默认 "名称"为 Constraint-1,选择 "类型" 为 "绑定",单击 "继续"按钮。

🔷 约束管理器		×
名称	类型	
✓ Constraint-1	绑定	
创建 编辑	复制 重命名	删除 关闭

图 9-67 "约束管理器"对话框

● ▼ 02 根据提示区中的提示,将"结点区域"作为主表面 的类型(如图 9-69 所示),分别选择 Part-2 和 Part-1 作为 Constraint-1 的主表面和从表面,单击提示区中的"完成"按钮, 弹出"编辑约束"对话框,如图 9-70 所示。

步骤**03** 在"编辑约束"对话框中单击"确定"按钮,完成 约束的定义。

► X 洗择主表面类型: 表面 结点区域

图 9-69 提示区提示

➡ 创建约束 ×
名称: Constraint-1
类型
绑定
刚体
显示体
耦合的
调整点
MPC 约束
売-实体耦合
内置区域
方程
继续 取消

图 9-68 "创建约束"对话框



图 9-70 "编辑约束"对话框

9.4.8 定义载荷和边界条件

1. 定义边界条件

▶ ○ (1) 进入载荷功能模块,单击工具箱中的 (2) 界条件管理器)按钮,在打开的"边界条件管理器"对话 框(如图 9-71 所示)中单击"创建"按钮,在弹出的对 话框(如图 9-72 所示)中,"分析步"选择 Step-1,"可用 于所选分析步的类型"选择"对称/反对称/完全固定",单 击"继续"按钮。

● 骤 02 根据提示区中的提示选择 Part-1 点,弹出"编辑边界条件"对话框,如图 9-73 所示,选中"完全固定(U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0)"单选按钮,单击"确定"按钮,完成边界条件的定义。

名称	Initial	Step-1	编辑.
			左移
			石稼
			激活
			取消激
边界条件 类型	:		
市界久(小学太			

图 9-71 "边界条件管理器"对话框



🚔 创建边界条件	×	◆ 编辑边界条件 🛛 🗙
名称: う析歩: Step-1 歩骤: 静力,通用 学別 © 力学 © Electrical/Magnetic © 其它	可用于所选分析步的类型 对称/反对称/完全固定 位移/结角 速度/角速度 连接位移 连接速度	名称: BC-1 类型: 对称/反对称/完全固定 分析步: Step-1 (静力, 通用) 区域: Set-3 坐示系: (全局)
继续	取消	确定 取消

图 9-72 "创建边界条件"对话框

图 9-73 "编辑边界条件"对话框

🔷 创建幅值 名称: Amp-1 类型 ◎夫 ◎ 等间距 ◎周期 (1) 请用 ◎ 衰减 ◎ 依赖丁解 ◎ 平滑分析步 ◎ 激励器 ◎谱 ◎用户 PSD Definition 继续... 取消

×

2. 定义幅值与载荷

(步骤 01) 执行"工具"→"幅值"→"管理器"命令,在弹出的"幅值管理器"对话框(如图 9-74 所 示)中单击"创建"按钮,在弹出的如图 9-75 所示的"创建幅值"对话框中设置"名称"为 Amp-1、"类型" 为"衰减",单击"继续"按钮。

💠 幅值管理	翻				×
名称		类型		时	间跨度
创建	编辑	复制	重命名	删除	关闭

图 9-74 "幅值管理器"对话框

图 9-75 "创建幅值"对话框

(步骤 02) 在弹出的"编辑幅值"对话框中,设置如图 9-76 所示的参数,单击"确定"按钮,完成幅值 Amp-1 的定义。

(步骤 03) 单击工具箱中的Ц(创建载荷)按钮,在弹出的对话框(见图 9-77)中,"分析步"选择 Step-1, "类别"选择"力学","可用于所选分析步的类型"选择"集中力",单击"继续"按钮,在视图中选择 Part-2 点,单击鼠标中键。

(步骤 04) 在弹出的"编辑载荷"对话框(如图 9-78 所示)中,设置 CF1 为 0、CF2 为-200、幅值为 Amp-1, 单击"确定"按钮,完成载荷的定义。

施加位移约束和载荷后的结构图如图 9-79 所示。



えちある

在谐响应分析中,载荷的动态效应主要通过幅值管理器进行设置,因而载荷对谐响应分析结果 有很大影响,这点不同于模态分析。

9.4.9 划分网格

进入网格功能模块,在窗口顶部的环境栏中将对象选项设为"部件: Part-2"。

(1)设置网格密度

单击工具箱中的 (为边布种) 按钮,在图形区中框选模型 Part-2,单 击鼠标中键,在弹出的如图 9-80 所示的"局部种子"对话框中打开"基本信 息"选项卡,选中"按个数"单选按钮,在"单元数"后面输入 10,然后单 击"确定"按钮。 ◆局部种子
 ● 石泉 釣庫
 方法 (48
 ● 投尺寸 ● 元 ● 単精度 ● 两者
 ● 按个数
 尺寸控制
 申元放: 10 章

 創建集合
 ● 创建集合,名称: Edge Seeds-1

 确定 应用 默认值 取消



由于该部件是线模型,因此不需要进行指派网格控制属性,否则 单击工具箱中的 (指派网格控制属性)按钮,会出现如图 9-81 所示的错误提示。

图 9-80 "局部种子"对话框

🖶 Abaqus/CAE 🛛 🗙			
◎ 不可为一维区域指定网络	格控制		
关闭			

图 9-81 错误提示

(2)选择单元类型

单击工具箱中的 (指派单元类型) 按钮, 在视图区中选择模型, 单击"完成"按钮, 弹出"单元类型"对话框(如图 9-82 所示),选择默认的单元为 B21, 单击"确定"按钮, 完成单元类型的选择。

🖶 单元类型	×			
单元库 Standard © Explicit	族 声学			
几何阶次 ● 线性 ◎ 二次	温度-Q移稿合 垫圈 ▼			
线 ② 杂交公式 单元控制届性 梁类型: ③ 柔性剪切 ③ 缩放系数: 线性体积粘性	立方公式 2 1			
821: 两结点平面线住渠单元.				
注意:要为网格划分选择一个单元形状,请从主菜单栏中选择 "网格->控制屋性".				
确定	默认值			

图 9-82 "单元类型"对话框

(3) 划分网格

单击工具箱中的。(为部件实例划分网格)按钮,单击提示区中的"完成"按钮,完成网格划分,如 图 9-83 所示。



图 9-83 划分网格后的结

9.4.10 结果分析

● ▼ ① 进入作业模块,执行"作业"→"管理器"命令,单击"作业管理器"对话框(如图 9-84 所示)中的"创建"按钮,在弹出的"创建作业"对话框(如图 9-85 所示)中,定义作业"名称"为 liang-jizhong, 单击"继续"按钮。在弹出的"编辑作业"对话框(如图 9-86 所示)中,设置"作业类型"为"完全分析", 单击"确定"按钮完成作业的定义。

● ▼ 02 单击"作业管理器"对话框中的"监控"按钮,可以对求解过程进行监视(如图 9-87 所示)。
单击"提交"按钮提交作业。



- 作业管理器 23	名称: jiang-jizhong
	未源: 授型
图 9-84 "作业管理器"对话框	图 9-85 "创建作业"对话框
AL ADDALL TE	
조사 liang jizhong 별한 Model-1	
*: liang-jizhong 3: Model-1 程序: Abaqus/Standard	A ling jithoo #2028
iing jizhong : Model-1 E%: Abaqu/Standard	◆ liang_jizhong 监控器 たい liang_iizhong 出た: 日奈成
grigzinong del-1 Abaqus/Standard	◆ liang_jizhong 监控器 作业: liang_jizhong 状态: 已完成 分析法 提供力 原件 不连续的法学教法代教 会认问/接来 改析式和因人PIDI间人PEI
nong qus/Standard 現存 精度	 ◆ liang_jizhong 监控器 作业: liang_jizhong 状态: 已完成 分析步 増量步 雇任 不连续的迭等效迭代数 总达代数 总时间/集平 计析步时间/LPPM 1 14 1 0 1 1 0.388239 0.388239 0.12974
ng s/Standard 夕 井行 稿度	◆ liang_jizhong 监控器 ● 作业: liang_jizhong 状态: 已完成 分析步 增量步 歴社 不建築的迭等效迭代数 必送代数 公却約/ 频率 予析步助向/LPP bl/LPP bl/LPP 1 14 1 0 1 1 0.388239 0.388239 0.1297 1 15 1 0 1 1 0.582859 0.582859 0.1946
Standard 开行 稿度	◆ liang_jizhong 监控器 作址: liang_jizhong 状态: 已完成 分析步 增量步 雇性 不建築的法等效迭代数 总达代数 总时间/频率 计析步时间/LPF时的/LPF时间/LPF时/LPF时/LPF时间/LPF时/LPF时/LPF时/LPF时/LPF时/LPF时/LPF时/LPF时
Standard 并行 精度	分 liang_jizhong 监控器 一 一 一 一 一 一 二 <th二< th=""> 二</th二<>
tandard 并行 構度 	◆ liang_jizhong 监控器 作业: liang_jizhong 工 世 正社 不连续的选 等效迭代数
Standard 并行 器度 ^{主机名} : 英型:	◆ liang_jizhong 监控器 作业: liang_jizhong 状态: 已完成 分析步 增量步 歴社 不连续的迭等效迭代数 总达代数 总均何/算事 み折步約均/LP bh6/LP bf 1 14 1 0 1 1 0.388239 0.388239 0.12974 1 15 1 0 1 1 0.582859 0.388239 0.12974 1 15 1 0 1 1 0.582859 0.388239 0.12974 1 16 1 0 1 1 0.582859 0.388239 0.12974 1 17 1 0 1 1 1 0.582859 0.384288 0.29192 1 17 1 0 1 1 1 0.12521 (
9 /Standard 开行 精度 	◆ liang_jizhong 监控器 ●●●● 作业: liang_jizhong 状态: 已完成 か防步 增量步 歴社 不连续的法等效迭代数 总动向/频率 か折步助向/LP 时向/LP 时向 1 14 1 0 1 1 0.388239 0.388239 0.12974 1 15 1 0 1 1 0.388239 0.328259 0.13942 1 16 1 0 1 1 0.874783 0.374783 0.29192 1 17 1 0 1 1 1 0.12521 i i 1 1 1 1 0.12521 i i i 1 1 0.12521 i i i i i 1 日 6 bit 出版 数規文件 Message文件 Status 文件 日完成: Abaqus/Standard i i i i i
ong jus/Standard 3分 开行 精度 it) 工作之: 类型:	● liang_jizhong 监控器 ● liang_jizhong 監控器 作业: liang_jizhong 状态: 已完成 分析步 増量步 雇性 不建築的造 等效迭代数 总缺问/频率 > + ff步助词/LP 时间/LP
jikhong del-1 Abaqus/Standard	● liang_jizhong 监控器 ● liang_jizhong 比容: ● liang_jizhong liang liang liang liang liang liang liang li

9.4.11 后处理

● ****** 01 分析完毕后,单击"结果"按钮,ABAQUS/CAE 进入可视化模块。单击人 按钮显示 Mises 应 力云图,如图 9-88 所示。

步骤 02 执行"结果"→"场输出"命令,弹出"场输出"对话框(如图 9-89 所示),分别选择 Max. Principal、 Min. Principal 和 E, E11,显示各个参数的云图,如图 9-90 所示。



参 场输山 × 01:17 4 主交量 变形变量 符号变量 状态变量 流动变量 输出变量 □ 只列出有结果的变量: 名称 CF CM3 说明("表示复数) 点载荷在结点处 点弯矩在结点处 应安分量在和分点处 E RF RM3 反作用力 在结点处 反作用力矩 在结点 S 空间位移 在结点划 旋转位移 在结点划 U UR3 不变量 分量 不変量 分量 Miscs Max. In-Plane Principal Max. In-Plane Principal Max. Principal Max. Principal Max. Principal Max. Principal (Abs) マ 截面点... 应用 取消 确定

图 9-88 Mises 应力云图

图 9-89 "场输出"对话框



(c) E11 图 9-90 场输出云图

步骤 03 执行"结果"→"分析步/帧"命令,弹出"分析步/帧"对话框,如图 9-91 所示,在"分析步名称" 中选择 Step-1,在"帧"中选择索引为 1,单击"应用"按钮,显示 1 阶模态;选择索引为 6,单击"应用" 按钮,显示 6 阶模态;选择索引为 11,单击"应用"按钮,显示 11 阶模态;选择索引为 17,单击"应用" 按钮,显示 17 阶模态;各阶振型如图 9-92 所示。

分析步/帧				
分析步名称		描述		
Step-	1			
06				
索引	描述			
0	Increment	0: Step Time = 0.000		
1	Increment	1: Step Time = 1.0000E-03		
2	Increment	2: Step Time = 2.0000E-03		
3	Increment	3: Step Time = 3.5000E-03		
4	Increment	4: Step Time = 5.7500E-03	=	
5	Increment	5: Step Time = 9.1250E-03		
6	Increment	6: Step Time = 1.4188E-02		
7	Increment	7: Step Time = 2.1781E-02		
8	Increment	8: Step Time = 3.3172E-02		
9	Increment	9: Step Time = 5.0258E-02		
10	Increment	10: Step Time – 7.5887E-02		
11	Increment	11: Step Time = 0.1143		
12	Increment	12: Step Time - 0.1720	-	

图 9-91 "分析步/帧"对话框

● 骤 04 执行"工具"→"XY 数据"→"创建"命令,在"创建 XY 数据"对话框(如图 9-93 所示)
中选中"ODB 场变量输出"单选按钮,单击"继续"按钮。

● 〒05 弹出"来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框,在"输出变量"选项组中,选择"位置"下拉列表中的"唯一结点的"选项(如图 9-94 所示),输出变量选择 U.Magnitude。



图 9-92	各阶振型国	
		 ◆ 来自 ODB 场输出的 XY 数据 分析步/帧 注意: 将从数活的分析步/框架中提取 XY 数据 变量 单元/结点 输出变量 位置: 唯一结点的 □ 点击复选框或编辑下面 "编辑" 字样旁的标记 ▶ RF: 反作用力 ■ RF: 反作用力 ■ S: 应力分量 ■ U: 空间位移 ■ M3: 反作用力超 ▶ S: 应力分量 ■ U: 空间位移 ■ U: 空間位移 ■ U: 空間位容

取消

🔆 创建 XY 数据 🔜

ODB 历程变量输出
 ODB 场变量输出

源

厚度
 自由体
 操作XY数据
 ASCII文件
 键盘
 路径

继续...

图 9-94 "来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框

绘制

保存

×

激活的分析步/帧...

关闭

步骤06 切换到"单元/结点"选项卡,如图 9-95 所示,"方法"选择"从视口中拾取",在视图中选择 Part-1 点,单击提示区中的"完成"按钮,返回"来自 ODB 场输出的 XY 数据"对话框后,单击"绘制"按 钮,绘制 Part-1 点处结点随着时间变化的位移曲线,如图 9-96 所示。





图 9-95 切换到"单元/结点"选项卡



9.5 本章小结

本章首先简明扼要地介绍了谐响应分析的基本知识,然后讲解了谐响应分析的基本过程,最后给出了 谐响应分析的两个典型实例——"双质量块一弹簧系统的谐响应分析"和"梁一集中质量结构的谐响应 分析"。

通过本章的学习,读者可以掌握谐响应分析的基本流程、载荷及约束加载方法、结果后处理方法等相关 知识。