

动力学基础理论概述

原创 正脉科工 正脉科工 CAE 2025年04月24日 08:41 陕西



— 专注仿真面向工程应用 —

项目合作、定制内训、二次开发
The Phone: 010-81387990
官网: <http://www.zmfea.com>

1. 动力学分析典型工程应用

- 动力学典型工程应用
 - ◇ 机械装备
 - ◇ 土木建工
 - ◇ 生物力学
 - ◇ 自然现象

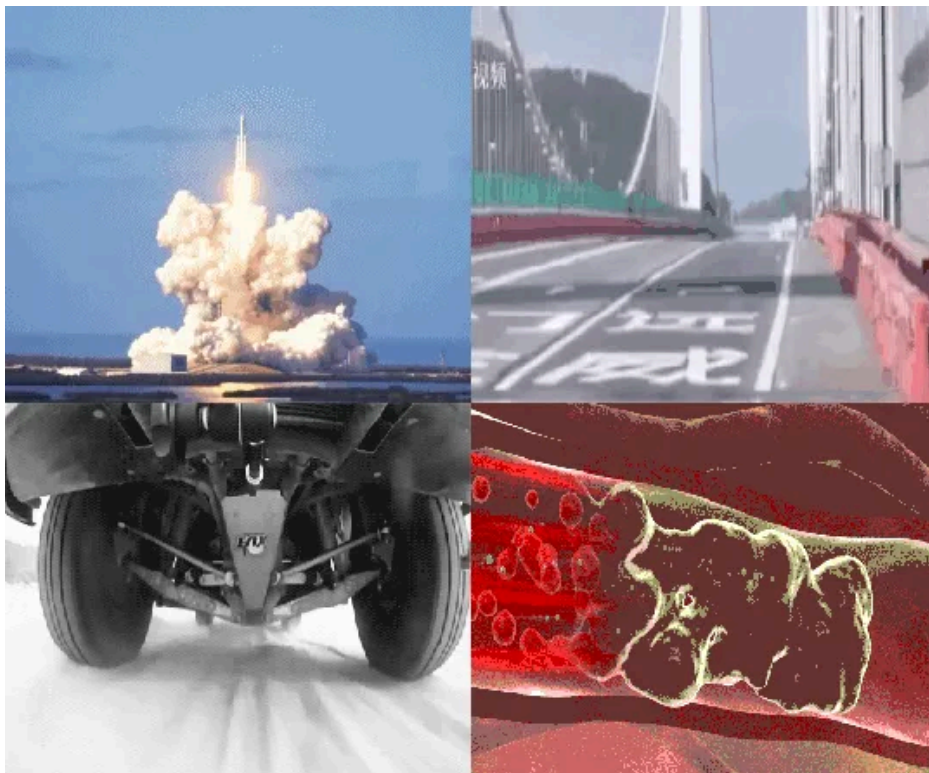


图1 典型振动问题

2. 动力学分析概述与分类

- 研究内容
 - ◇ 已知载荷激励, 计算结构响应(正问题)
 - ◇ 已知结构响应, 分析载荷激励(反问题)

- 研究方法
 - ◇ 理论解析法
 - ◇ 实验法
 - ◇ 计算仿真数值法
- 动力学分类
 - ◇ 详见图1

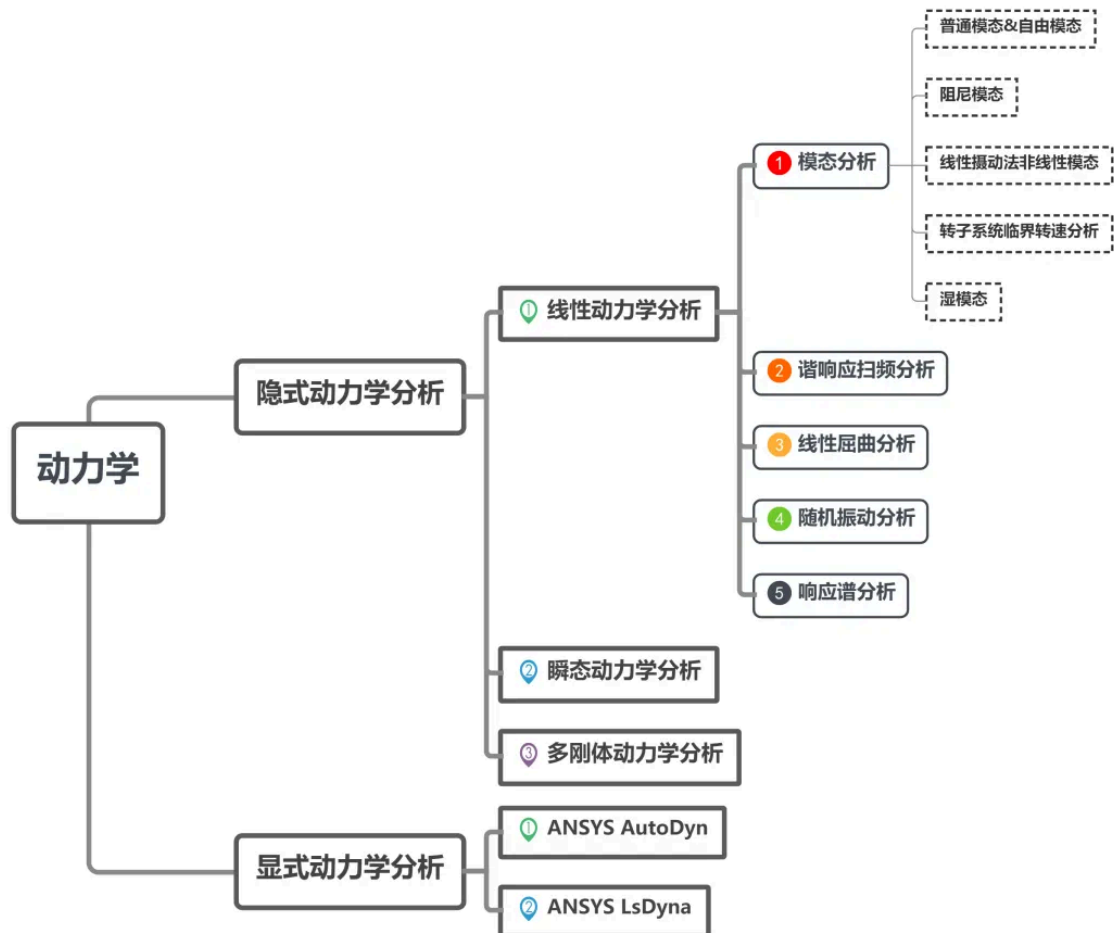


图2 动力学分类

隐式动力学与显式动力学区别

- 隐式动力学
 - ◇ 隐式算法采用平衡迭代法计算
 - ◇ 每一计算步需要控制收敛性，计算量大，无累计误差
 - ◇ 线性问题，若参数满足设定范围，为无条件稳定
 - 即时间步长不影响计算稳定性
 - ◇ 非线性问题，采用NR逼近算法，高度非线性收敛困难
- 显式动力学
 - ◇ 显示算法采用差分法计算

- ◇ 不计算切线刚度，无须平衡迭代，计算快
- ◇ 时间步长必须小于材料波速
- ◇ 容易激发沙漏现象

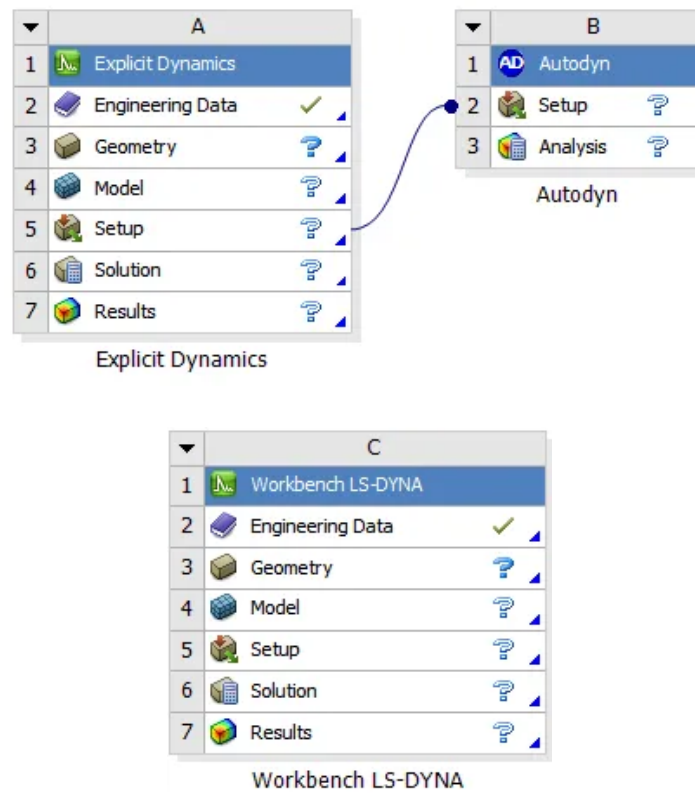
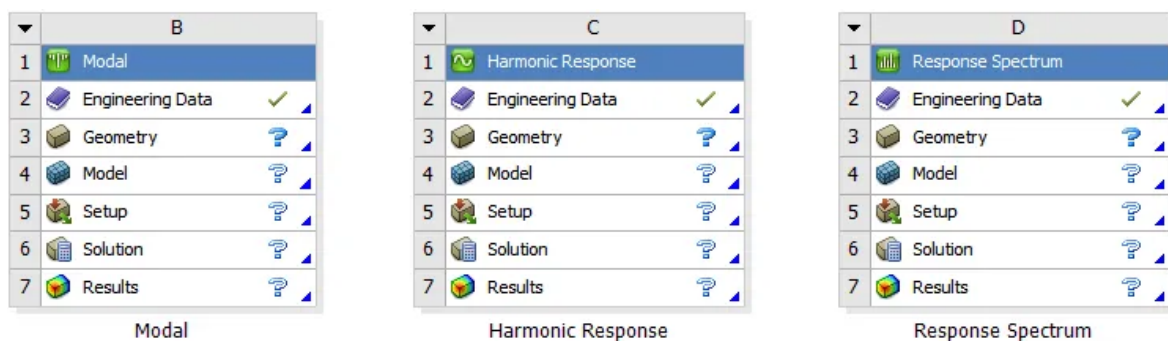


图4 WorkBench显式动力学模块

静力学与动力学区别

- 静力学
 - ◇ 激励与结构响应不随时间改变或变化缓慢
 - ◇ 计算不考虑惯性、阻尼效应
 - ◇ 激励频率远离结构共振频率
- 动力学
 - ◇ 激励随时间改变
 - ◇ 结构惯性、阻尼效应对结构响应起关键影响
 - ◇ 激励频率接近结构共振频率



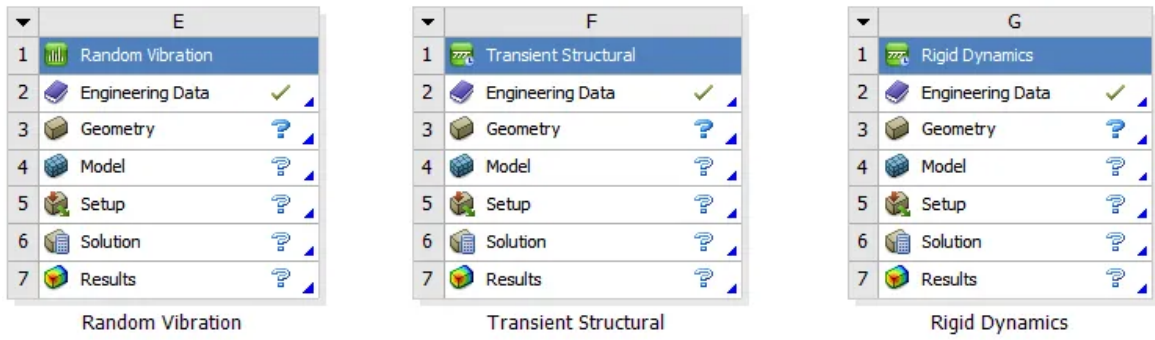


图3 WorkBench静力学与隐式动力学模块

3. 隐式动力学分析理论基础

动力学基本控制方程

- $[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{f(t)\}$ (3-1)
- ◇ $[M]$ = 结构质量矩阵
- ◇ $[C]$ = 结构阻尼矩阵
- ◇ $[K]$ = 结构刚度矩阵
- ◇ $\{u\}$ = 节点位移向量
- ◇ $\{\dot{u}\}$ = 节点速度向量
- ◇ $\{\ddot{u}\}$ = 节点加速度向量
- ◇ $\{f(t)\}$ = 结构载荷向量

NewMark积分算法

$t \sim \Delta t$ 时间区域内, NewMark采用下列迭代假设

- $\dot{u}_{t+\Delta t} = \dot{u}_t + [(1 - \delta)\ddot{u}_t + \delta\ddot{u}_{t+\Delta t}]\Delta t$ (3-2)
- $u_{t+\Delta t} = u_t + \dot{u}_t\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha\right)\ddot{u}_t + \alpha\ddot{u}_{t+\Delta t}\right]\Delta t^2$ (3-3)
- $\alpha = \frac{1}{6}, \delta = \frac{1}{2}$, 线性加速度法
- $\ddot{u}_{t+\tau} = \ddot{u}_t + \frac{(\ddot{u}_{t+\Delta t} - \ddot{u}_t)\tau}{\Delta t}$ ($0 \leq \tau \leq \Delta t$)
- $\alpha = \frac{1}{4}, \delta = \frac{1}{2}$, 常平均加速度法
- $\ddot{u}_{t+\tau} = \frac{(\ddot{u}_t + \ddot{u}_{t+\Delta t})}{2}$ ($0 \leq \tau \leq \Delta t$)

NewMark算法求解 $u_{t+\Delta t}, \dot{u}_{t+\Delta t}, \ddot{u}_{t+\Delta t}$

- 初始计算

- ◇ 形成刚度矩阵[K]、质量矩阵[M]、阻尼矩阵[C]

- ◇ 给定初始 t_0 时刻, 位移 u_0 、速度 \dot{u}_0 、加速度 \ddot{u}_0

- ◇ 选择时间步长 Δt , NewMark参数 α, δ , 计算积分常数 $c_0 \sim c_7$

- ◇ 算法要求 $\alpha \geq 0.25(0.5 + \delta)^2, \delta \geq 0.5$, 此时算法无条件稳定

- ◇ $c_0 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}, c_1 = \frac{\delta}{\alpha \Delta t}, c_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}, c_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1, c_4 = \frac{\delta}{\alpha} - 1$

- ◇ $c_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\delta}{\alpha} - 2 \right), c_6 = \Delta t(1 - \delta), c_7 = \delta \Delta t$

- ◇ 形成有效刚度矩阵 $[K'] = [K] + c_0[M] + c_1[C]$

- ◇ 三角分解 $[K'] = [L][D][L]^T$

NewMark算法求解 $u_{t+\Delta t}, \dot{u}_{t+\Delta t}, \ddot{u}_{t+\Delta t}$

- 迭代计算($t=0, \Delta t, 2\Delta t, \dots$)

- ◇ 计算 $t+\Delta t$ 时刻有效载荷

- ◇ $[\tilde{Q}_{t+\Delta t}] = [Q_{t+\Delta t}] + [M](c_0 u_t + c_1 \dot{u}_t + c_2 \ddot{u}_t)t$

- ◇ 计算 $t+\Delta t$ 时刻位移

- ◇ $[L][D][L]^T u_{t+\Delta t} = \tilde{Q}_{t+\Delta t}$

- ◇ 计算 $t+\Delta t$ 时刻速度与加速度

- ◇ $\dot{u}_{t+\Delta t} = \dot{u}_t + c_6 \ddot{u}_t + c_7 \ddot{u}_{t+\Delta t}$

- ◇ $\ddot{u}_{t+\Delta t} = c_0(u_{t+\Delta t} - u_t) - c_1 \dot{u}_t - c_2 \ddot{u}_t$

- NewMark法在求解迭代过程, 每一迭代步须计算等效刚度矩阵逆矩阵

- $\alpha \geq 0.25(0.5 + \delta)^2, \delta \geq 0.5$

- , 算法无条件稳定

- ◇ 推荐时间步 Δt , 为结构最小固有周期的 $1/10 \sim 1/20$

- 模态计算阻尼设置-阻尼典型产生因素

- ◇ 粘性阻尼

- ◇ 材料常见阻尼

- ◇ 粘性阻尼可导致系统能量耗损

- ◇ 影响因素: 结构形状、流体动力粘度、运动速度、振动频率

- ◇ 库伦阻尼或干摩擦阻尼

- ◇ 润滑(无润滑状态)滑动摩擦

- ◇ 与运动方向相反

- ◇ 通过摩擦系数定义

- ◇ 材料阻尼、固体阻尼、滞后阻尼

- ◇ 固体材料变形, 材料内部晶格位错或滑移导致

- ◇ 影响因素: 位移或应变

- ◇ 数值阻尼

◇ 人工定义阻尼，方便计算

• 模态计算阻尼设置-模态计算阻尼分类

• $[C] = \alpha[M] + \sum_{i=1}^{NMat\alpha} \alpha_i[M_i] + \beta[K] + \sum_{j=1}^{NMat\beta} \beta_j[K_j] + \sum_{k=1}^{NElement} C_k + \sum_{l=1}^{NGroscopic} [C_l]$ (2.6)

• α =结构全局质量阻尼：对低频段振动影响较大，对高频段振动影响微小，产生机理属于粘性阻尼

• α_i =材料质量阻尼：同上，定义局部材料阻尼性质

• β =结构全局刚度阻尼：对低频段振动影响较小，对高频段振动影响较大，产生机理属于粘性阻尼

• β_j =材料刚度阻尼：同上，定义局部材料阻尼性质

• C_k =单元阻尼：单元集中阻尼，包括弹簧单元阻尼、运动副阻尼、轴承阻尼

• C_l =陀螺阻尼：主要用于计算转子系统临界转速

☆ END ☆

长按识别以下二维码



年度计划



视频课程



联系我

| 声明：本公众号文章包括但不限于转载、分享的内容，我们对其陈述和观点保持中立。目的仅在于传递更多信息，并不代表本号赞同其观点或证实其描述。所有版权归原作者所有。已申明原创作品，转载需申请并获本号授权



正脉科工

“ 作者 ”

喜欢作者

个人观点，仅供参考

