

8. 利用 midas Gen 做减震分析设计的流程

郭文达

中国作为地震多发国家，在过去的几十年里发生了如唐山大地震、5.12 汶川地震等，造成了大量的人身伤亡和财产损失。我国在防灾减灾方面也越来越重视，如 2009 年 5 月 1 日开始执行的《中华人民共和国防震减灾法》等一系列法律、规范、规程等体现出我国对减震、隔震的重视。对于高烈度地区，采用减震和隔震技术被认为是在安全和经济平衡点的有效处理措施。本文简要介绍下利用 midas Gen 做减震结构分析、设计流程，对于隔震结构分析设计流程将在以后文档介绍。

1. 主要的减震装置（消能器）

参考《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 定义，对消能器主要分为：**速度型耗能阻尼器**（黏滞消能器、黏弹性消能器）、**位移型耗能阻尼器**（金属消能器、摩擦消能型、屈曲约束支撑）、**复合型耗能阻尼器**（铅黏弹性效能器）及**附加振动器**（调谐质量阻尼器（TMD）、调谐液体阻尼器（TLD））。

2. 减震结构分析方法

《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 第 4.1.2 条规定：

消能减震结构的地震作用效应计算，应采用下列方法：

- 1) 当消能减震结构主体处于弹性工作状态，且消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法。
- 2) 当消能减震结构主体处于弹性工作状态，且消能器处于非线性工作状态时，采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、弹性时程分析法；也可采用弹塑性时程分析法。
- 3) 当消能减震结构主体处于弹塑性工作状态时，应采用静力弹塑性分析方法或采用弹塑性时程分析方法。

3. 减震装置（消能器）恢复力模型选取

《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 第 4.1.8 条规定：

消能器的恢复力模型宜按下列规定选取：

- 1) 软钢消能器和屈曲约束支撑可采用双折线模型、三线性模型或 Wen 模型。
- 2) 摩擦消能器、铅消能器可采用理想弹塑性模型。
- 3) 黏滞消能器可采用麦克斯韦模型。
- 4) 黏弹性消能器可采用开尔文模型。
- 5) 其他类型消能器模型可根据组成消能器的元件是采用串联还是并联具体确定。

4. 减震装置（消能器）附加给结构的有效阻尼比

《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 第 6.3.2 条规定：

消能部件附加给结构的有效阻尼比可按

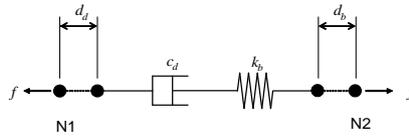
$$\zeta_d = \sum_{j=1}^n W_{c,j} / W_s$$
$$W_{c,j} = \left(\frac{2\pi^2}{T_1} \right) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2$$

5. 利用 midas Gen 对减震结构分析设计流程：

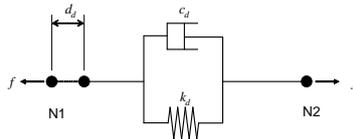
- 1) 进行无减震装置的分析，预估减震装置的位置及参数；
- 2) 定义减震装置的参数（边界>一般连接特性值），如图 8.1 所示。

参考《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 4.1.8 条

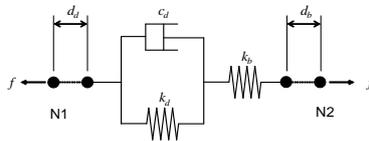
(1) Maxwell model (黏滞消能器) (如图 8.2)



(2) Kelvin model (黏弹性消能器) (如图 8.2 所示)



(3) 阻尼支撑模型 (复杂型耗能阻尼器) (如图 8.2 所示)



(4) 滞后系统 (金属消能器、屈曲约束支撑) (如图 8.3 所示)

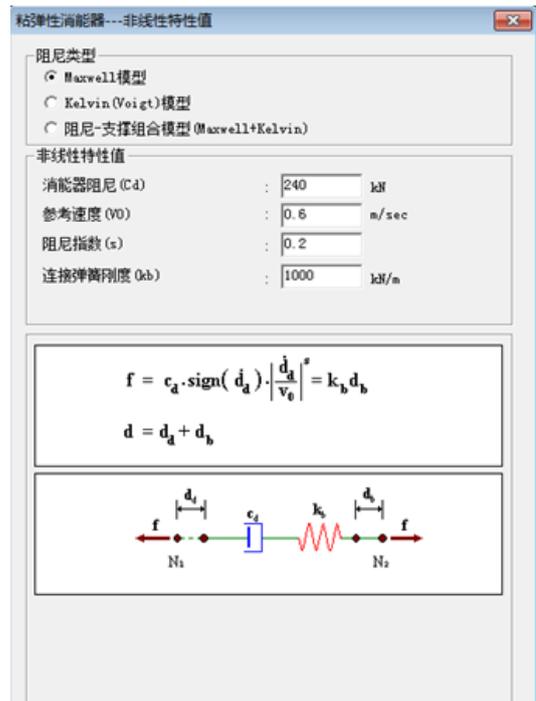


图 8.1 一般连接特性值设置

图 8.2 速度型消能器

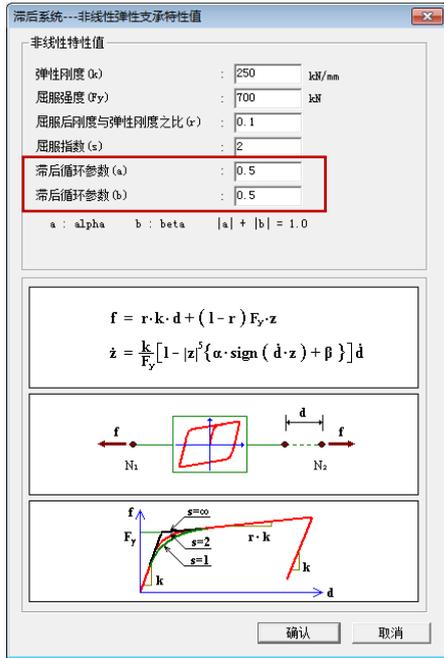


图 8.3 位移型消能器

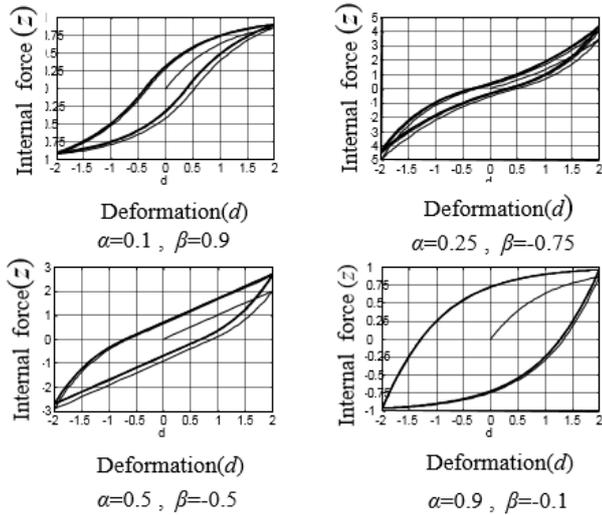


图 8.4 滞后系统参数

如图 8.1 所示的参数中，线性特性值参数用于线性分析（如静力分析、特征值分析、反应谱分析、线弹性时程分析），非线性参数用于非线性分析（主要为非线性时程分析）。

注意：a. 线性特性值的有效刚度及非线性特性值的连接弹簧刚度为消能器与连接件之间**换算**得到，而**不是消能器自身刚度**；b. 线性特性值的有效阻尼而非有效阻尼比，需注意阻尼与阻尼比的区别。

如图 8.2 所示的参数中，阻尼指数一般为 0.2-1.0；如图 8.3 所示的参数中， α 、 β 与滞后系统的滞回环耗能能力相关，通常滞回曲线面积越大，耗能能力越强，如图 8.4 所示，软件默认为 0.5。此外，屈服指数 s 值决定弹性与弹塑性区段形状， s 的取值是影响手动进行阻尼比计算中采用双折线模拟与滞后系统模拟的差异主要原因，如图 8.5 所示。

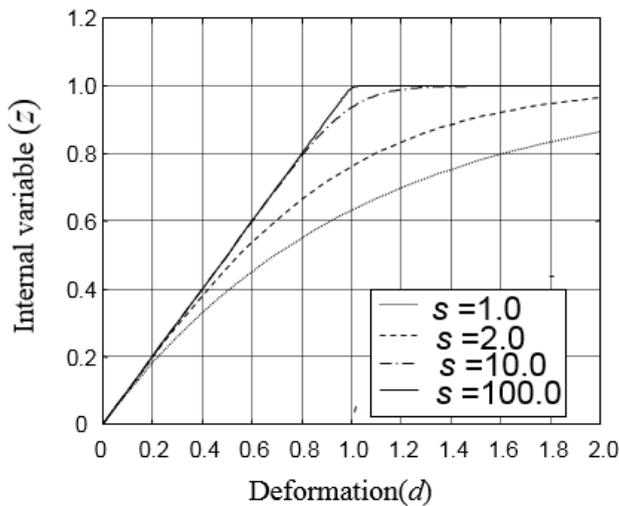


图 8.5 屈服指数 s 值的影响

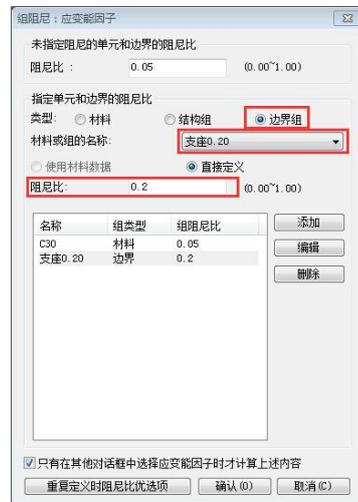


图 8.6 应变能因子

3) 定义分析类型

midas Gen 软件可通过应变能因子法来确认消能器附加给结构的阻尼比，其中应变能因子法与《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 第 6.3.2 条规定的公式原理一致。

当知道消能器有效阻尼时，可仅定义图 8.1 参数中的有效阻尼，在应变能因子选项中仅定义材料阻尼比；当不知道有效阻尼而知道阻尼比时，需通过如图 8.6 所示的定义边界组组阻尼比实现，此时需要将添加的消能器定义为一个边界组，有效阻尼参数定义为 0。由于阻尼与阻尼比的差异，在利用 midas Gen 分析时，建议采用定义有效阻尼参数及在应变能因子中仅定义材料阻尼实现。

反应谱分析

进行反应谱分析时，定义一个反应谱函数时，需注意阻尼比的计算方法为应变能因子法，并勾选修改阻尼比，如图 8.7 所示。

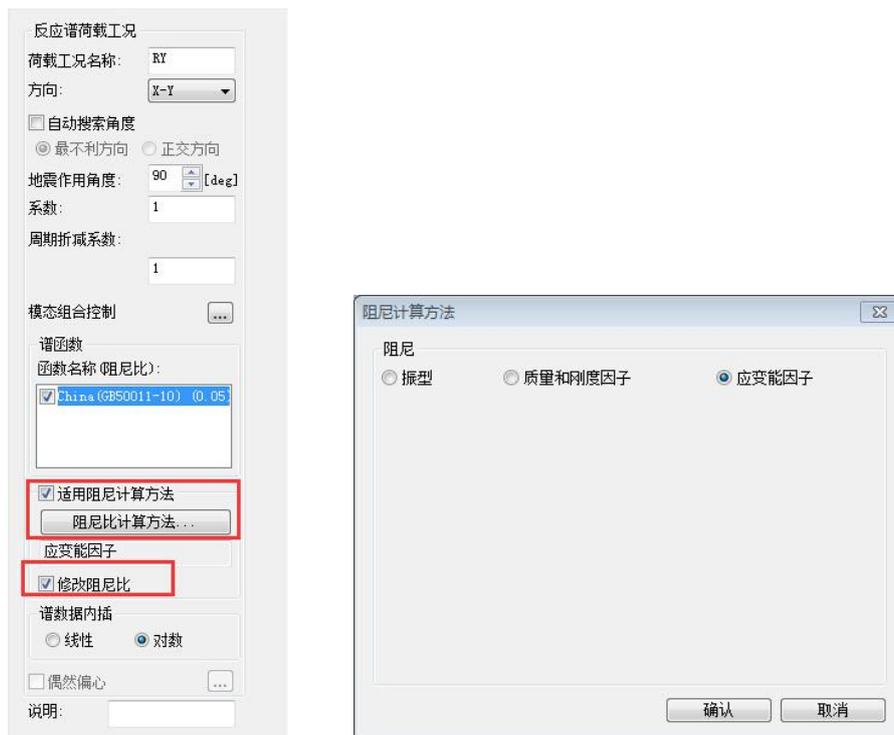


图 8.7 反应谱分析参数定义

c. 非线性时程分析：用于确定消能器滞回曲线，并指导设计

利用 midas Gen 做含减震装置的非线性时程分析时推荐采用非线性分析+直接积分法，具体参数如图 8.8 所示。

进行完非线性时程分析后需确定消能器的滞回曲线，通过荷载>地震作用>定义，定义时程结果函数，并通过结果>时程>时程图形绘制滞回曲线，如图 8.9 所示。



图 8.8 非线性时程分析选项



图 8.9 滞回曲线定义

d. 静力弹塑性分析

在进行静力弹塑性分析后，得到弹塑性曲线，在求取性能点时，需定义附加阻尼比，如图 8.10 所示。其中该阻尼比可通过结果>模态>振型阻尼比查看（只有阻尼比计算方法采用应变能因子的时候才可以查看），如图 8.11，取该方向主要振型的阻尼比输入（常为第一、第二振型）。

在利用 Gen 的分析结果指导设计时，如用 PKPM 设计，此时 PKPM 的阻尼比定义也可通过图 8.11 的阻尼比输入

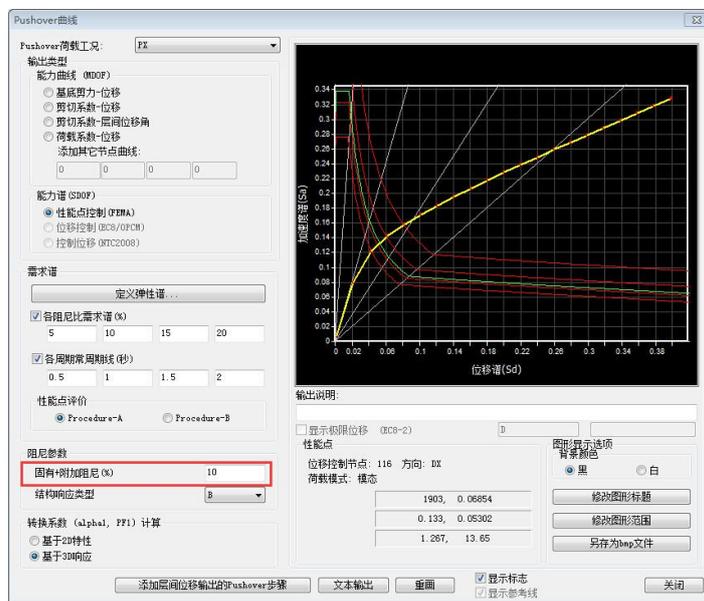


图 8.10 静力弹塑性曲线阻尼比定义

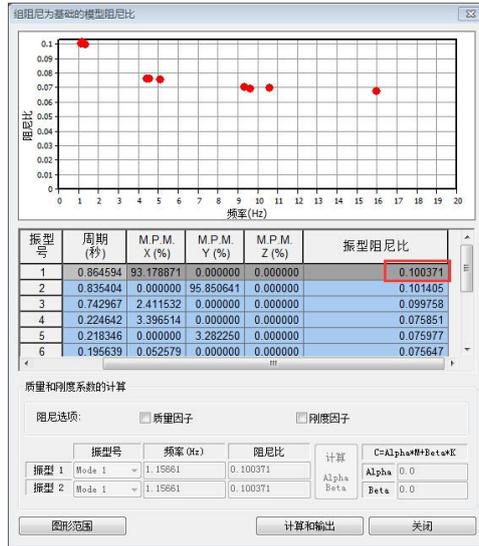


图 8.11 振型阻尼比结果