

静力弹塑性分析与动力弹塑性分析经验总结

(基于 MIDAS building)

一、规范要求

二、理论知识与基本概念

1. 弹塑性非线性本构

a. 梁/柱构件模型

塑性铰模型：midas Gen/Building, SAP2000, Perform-3D, LS-DYNA

纤维单元模型：midas Gen, SAP2000, Perform-3D, STRAT, ABAQUS, LS-DYNA

b. 剪力墙构件模型：

塑性铰：midas Gen

单向纤维单元：Perform-3D

双向纤维单元：**midas Gen/Building**, Perform-3D

面内分块纤维单元：STRAT

非线性分层壳：midas Gen, SAP2000, ABAQUS

非线性复核材料层模型壳单元：LS-DYNA

c. 比较内容

比较内容	纤维模型	铰模型
破坏判断	应力/应变	内力
	纤维	构件
计算时间	长	短
剪切破坏	无统一标准	根据抗剪承载力

d. 本构关系：梁、柱、支撑采用铰单元，墙采用纤维单元

➤ **集中铰：**弯矩-旋转角（一般选用集中铰）

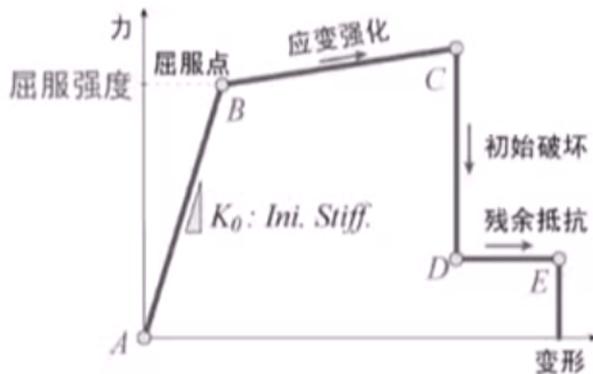
➤ **分布铰：**弯矩-曲率单元

单元类型	内力成分	铰特性	初始刚度	铰位置
弯矩-旋转角 (集中铰)	轴力 (F_x)	轴力-变形(相对位移)	$EA/L(N/m)$	构件两端
	剪力 (F_y, F_z)	剪力-剪切变形	$GAS (N)$	
	扭矩 (M_x)	扭矩-旋转角	$GJ/L(N/m)$	
	弯矩 (M_y, M_z)	弯矩-旋转角	$6EI/L、6EI/L、3EI/L(N/m)$	
弯矩-曲率		(略)		积分点位置

➤ 纤维单元：

e. 骨架曲线（用于静弹）

- **FEMA:** 适用于混凝土构件和型钢混凝土构件，位移能体现强度退化的曲线，其他的曲线只能体现刚度的衰减情况。（在曲线中科院看到构件的极限强度值）



静力弹塑性铰特性：FEMA

输入方法
 自动计算 用户输入

特性值

类型
 对称 非对称

用户定义

	M/MY	D/DY
-E	-0.2	-8
-D	-0.2	-6
-C	-1.25	-6
-B	-1	-1
A	0	0
B	1	1
C	1.25	6
D	0.2	6
E	0.2	8

屈服强度 (MY)
 (+) (-) N×mm

屈服角度 (DY)
 用户定义
 (+) (-) [rad]

容许值
 (当前变形/屈服变形)

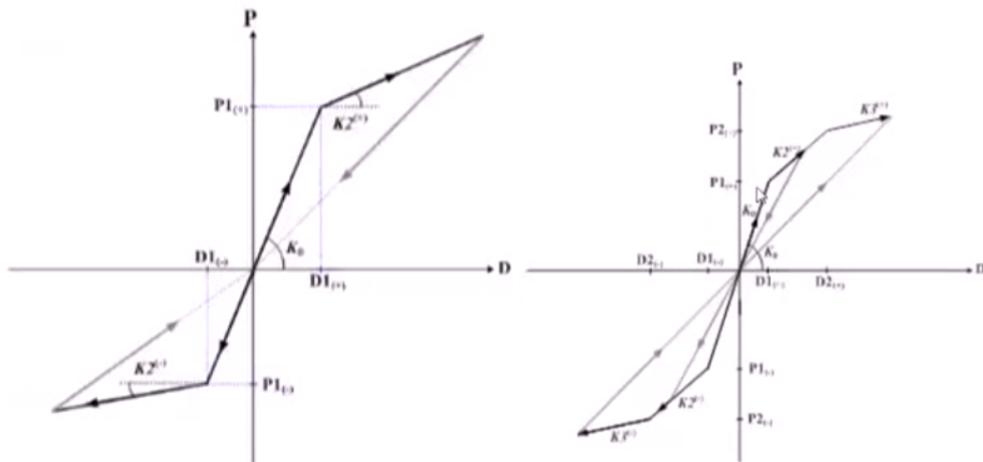
即刻使用状态 (IO): (+) (-)

安全极限状态 (LS): (+) (-)

防止倒塌极限状态 (CP): (+) (-)

主曲线

初始刚度
 6EI/L 3EI/L 2EI/L
 用户 N×mm
 弹性刚度



- **双折线:** 适用于钢构件；屈服后刚度用与初始刚度的比值表示，即用刚

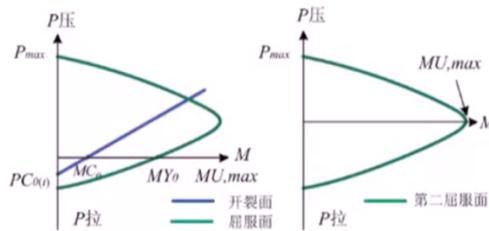
度折减系数来表示。可考虑刚度退化但不能考虑屈服后的强度退化，正负向的屈服值和刚度折减系数可不相同。

- **三折线：**适用于钢构件、混凝土构件；屈服后刚度用与初始刚度的比值表示，即用刚度折减系数来表示。可考虑刚度退化但不能考虑屈服后的强度退化，正负向的屈服值和刚度折减系数可不相同。

本构关系	屈服点	钢筋混凝土/ 型钢混凝土	钢结构/ 钢管混凝土
二折线	P1	极限弯矩 M_u	极限弯矩 M_u
三折线	P1	开裂弯矩 M_{cr}	屈服弯矩 M_y
	P2	极限弯矩 M_u	极限弯矩 M_u

- **多轴铰本构模型：P-M-M 模型，**主要用于承受轴力和两个方向弯矩的柱构件，轴力和弯矩相关关系构成屈服面，通过计算轴力计算屈服弯矩。

(一般要勾选该项，**仅用于钢柱？**)



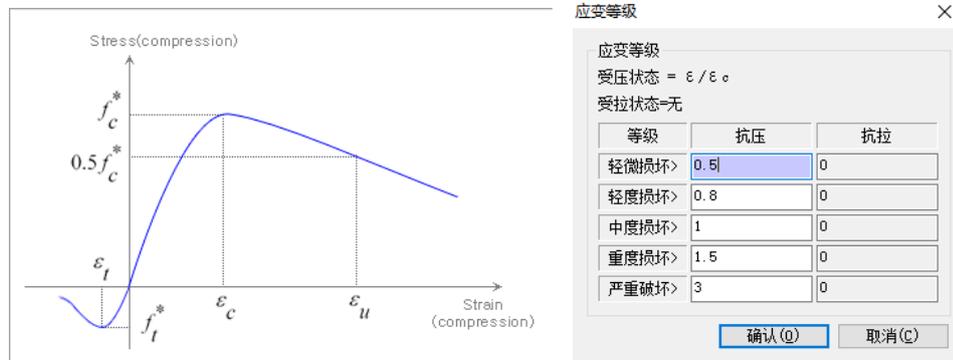
(a) 钢筋混凝土构件(三折线)

(b) 钢构件(双折线)

(P-M)

f. 剪力墙本构模型

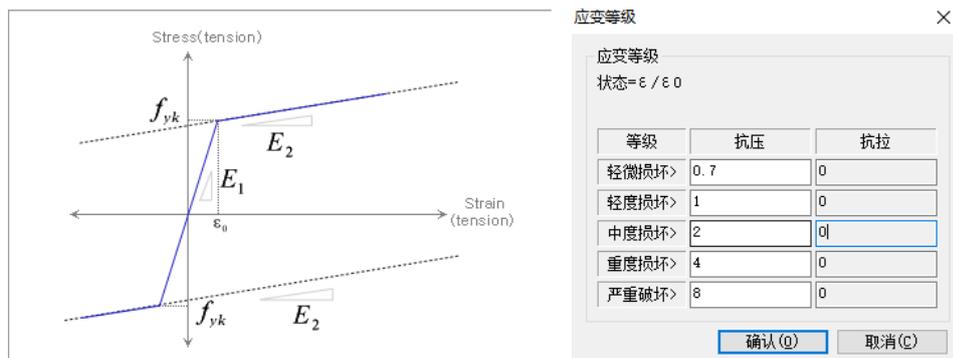
- **混凝土：**采用中国混凝土规范可考虑混凝土拉应力（承载力略有提升）



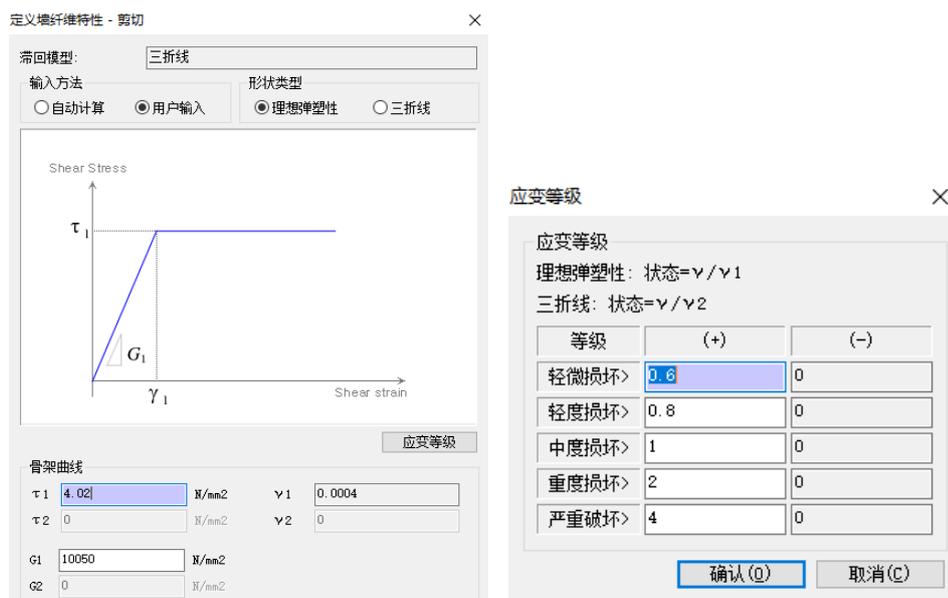
ϵ_c 为混凝土峰值压应变， f_c^* 为混凝土单轴抗压强度代表值

ϵ_c 为曲线下降段，混凝土峰值应变为 $0.5f_c^*$ 时的混凝土压应变

- **钢材：**



- 剪切：二折线，三折线，多数采用理想弹塑性模型，即二折线



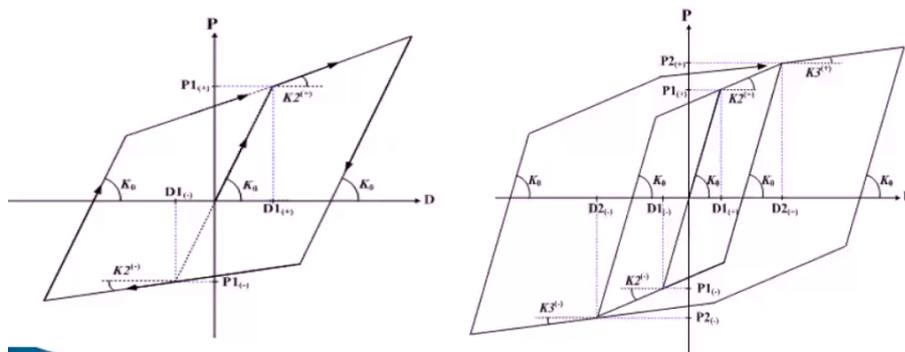
γ 为实际应变值， γ_c 为屈服应变值
 应变等级 1~3 时，处于弹性状态；应变等级 4、5 时，发生剪切破坏
 （按剪应变 4/10000 反算剪应力，混凝土剪切模量 $G=0.425E$ 不变，
 为什么要按理想弹塑性模型？）
 （剪切模型一般选理想弹塑性模型）

注：型钢混凝土墙(SRC)的本构，混凝土和钢材同 RC 墙
 剪切本构不同于 RC 墙

SRC 墙剪切本构详《JGJ138-2016 组合结构设计规范》

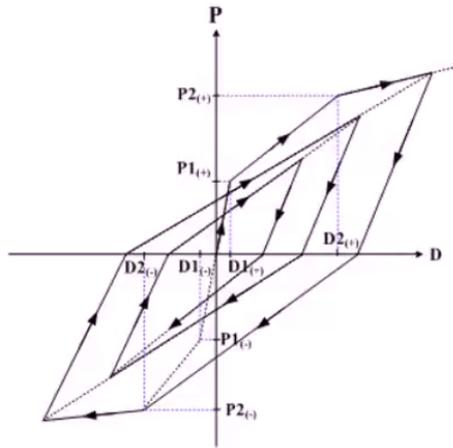
g. 滞回曲线（用于动力弹性分析）

- 钢构件：采用简化模型，包括标准双折线、标准三折线、随动硬化三折线....

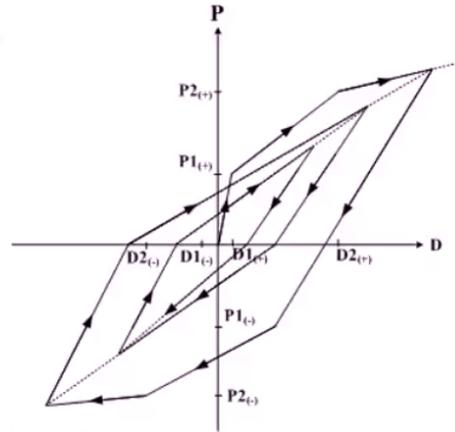


- RC 构件：采用退化模型，包括武田三折线、修正武田三折线（用的居多）

i. 修正武田三折线



h. 武田三折线



- 非线性弹性模型（橡胶材料，橡胶支座）：新版本减隔震支座已加入。
- 滑移模型：....

P-M 与 P-M-M:

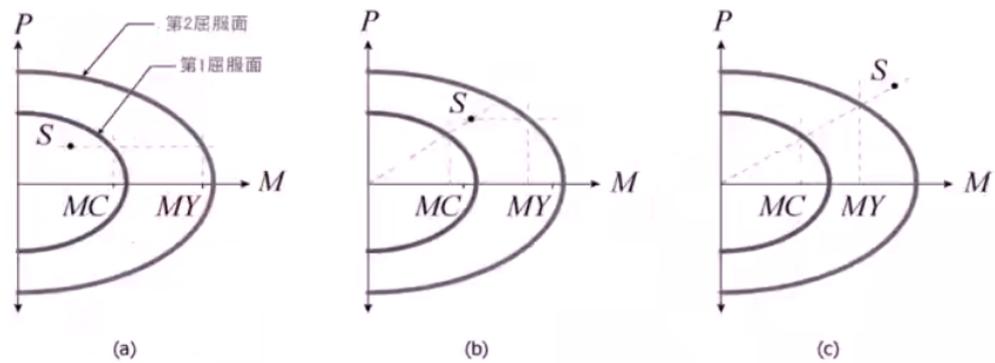
P-M 相关（强度计算使用初始轴力）：

简化模型、退化模型、非线性弹性模型，用于混凝土柱

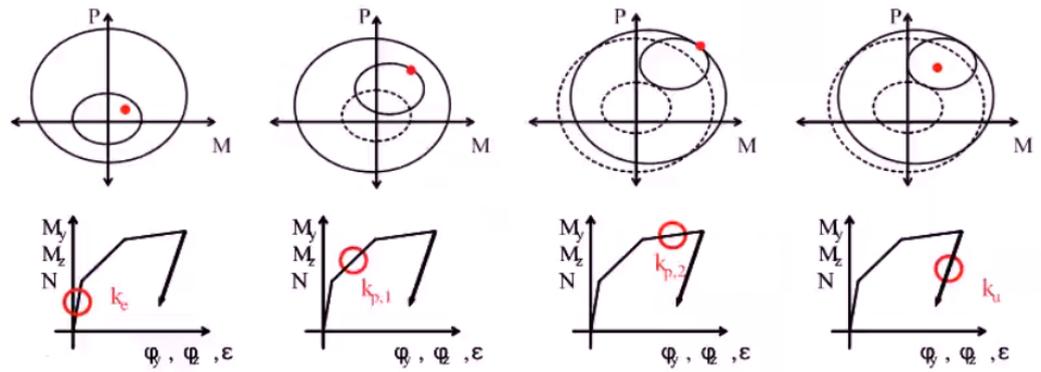
P-M-M 相关（强度计算使用变化轴力）：

随动硬化三折线（???），用于钢柱

MC: 第一屈服弯矩 MY: 第二屈服弯矩 S: 静力荷载点



P-M相关作用计算的屈服弯矩



(a) 弹性状态

(b) 后开裂

(c) 后屈服

(d) 卸载

2. 铰的选择
3. 动弹分析楼板刚性&弹性选择（刚性，省了建弹性板）

三、静力弹塑性分析结果整理（可自动生成超限报告），

1. 塑性铰分布 改到第七部分去

- FEMA: B（屈服）、IO、LS、CP、C、D、E（完全破坏）

- 双折线：1-yield;
- 三折线：1-yield、2-yield;
- 纤维：应变等级1、2、3、4、5

反映混凝土/钢筋/墙单元

受力状态；

数值为当前应变与屈服应变之比；

反映单元破坏的程度

应变等级

应变等级

受压状态 = $\varepsilon / \varepsilon_c$

受拉状态=无

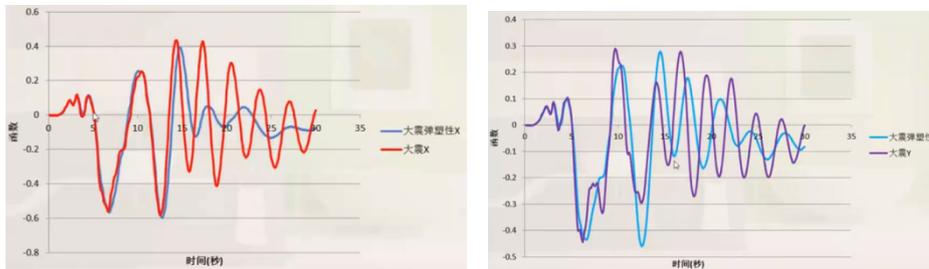
等级	抗压	抗拉
1	1.5	0
2	0.8	0
3	1	0
4	1.5	0
5	3	0

四、动力弹塑性分析结果整理

1. 弹塑性位移角限值
2. 基底剪力与反应谱得到的基底剪力之比在合理比例范围之内：3~5 倍
选波时要非常注意，要符合完好。
3. 铰状态：查看性能同济图形输出结果和表格输出结果



4. 梁柱铰和剪力墙云图：
梁柱铰（小豆点）：出铰起点，同时间梁柱的出铰情况
剪力墙（云图）：状态给出，应变状态也给出，加强层应细致给出连梁和墙
的破坏，
5. 层间位移角：
6. 层剪力：
往上逐层增大
7. 底层剪力时程曲线（作用不是很大，有些不会要）
8. 顶层位移时程曲线（与大震弹性比对）



- a. 地震波输入初期，由于结构处于弹性阶段，材料无刚度和强度的退化，弹性分析和弹塑性分析计算结果基本重合。随着地震波的不断输入，弹塑性模型结果发生损伤刚度降低后，周期变长，弹塑性模型的顶点位移时程曲线相比弹性模型出现明显的滞后，且这种趋势随着地震波的不断输入逐渐增加。
 - b. 总体趋势位移随着时间在衰减，在收敛，不能发散
 - c. 波峰滞后
9. 能量曲线图
 10. 纤维滞回曲线（GEN）

五、静力弹塑性分析基础知识（Pushover 分析）

1. 适用范围（与缺点和假定有关）

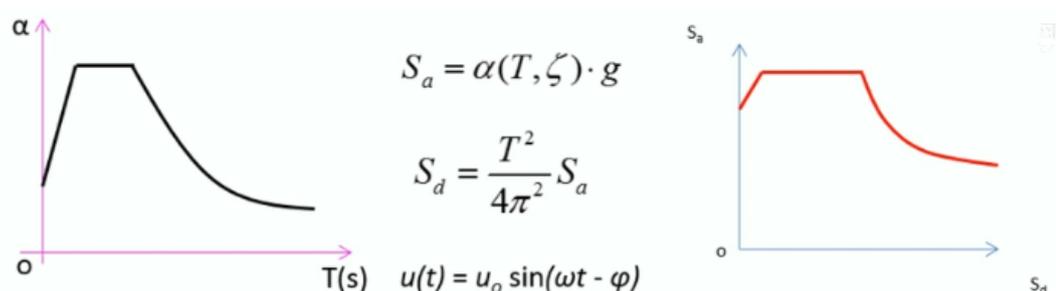
- 适用于第一阶振型占地震相应主导地位的中低层结构的近似分析
- 在美国，推覆分析大部分应用于 12 层以下建筑的性能评估。对高层建筑持保留意见
- 高规 3.11.4 条，高层不应超过 150 的高层建筑可采用静力弹塑性分析。但是，没有给出实施细则。建议对用于自振周期 T 小于 1s 的结构

2. 优点与缺点

优点：可以查每一步的结果，通过性能点确定是否满足既定的要求

缺点：单自由度，第一自由度起控制作用，

3. 需求曲线：



a. 横坐标为速度 S_d ，纵坐标为加速度 S_a

b. 可通过反应谱曲线转换而来（ $S_a = \alpha(T, \zeta) \cdot g$ ， $S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a$ ）。

c. 需求谱（曲线内部的点）在统计意义上能满足规范的抗震需求

d. 隐含了“力-位移”的概念

e. 转换过来的需求谱是一个弹性谱。

4. 能力曲线（推覆）

a. 水平力（规定水平力）逐级单向加载，得出基底剪力和顶点位移

b. 不论结构是否进入塑性状态，逐级加载过程中预先规定的位移矢量及推覆力的分布始终保持不变

c. 结构模型

采用塑性铰或纤维束模拟框架单元

采用分层壳、纤维束或壳元损伤模型等模拟剪力墙的塑性行为

d. 施加重力荷载代表值并进行分线性分析，将其终点刚度设为推覆的的初始条件（动弹也是如此）

e. 规定水平力加载

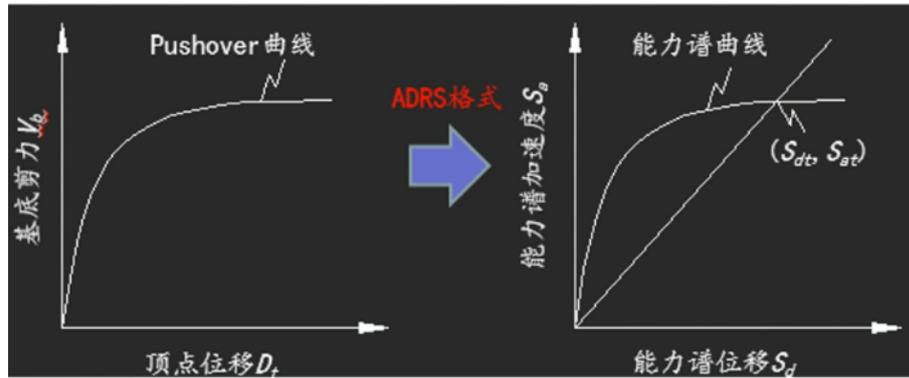
f. 一般按位移控制，即结束点：框架结构一般 1/10，框剪结构一般 1/50

g. 构件薄弱部位的构件达到屈服，屈服构件的刚度应予以修正，然后继续加载直至新的构件屈服

h. 侧向位移达到既定目标位移，或结构出现铰过多形成机构。每次加载可以得到该步的力和变形

i. 根据基底剪力和顶点侧向位移，汇总 Pushover 曲线

j. 根据 Pushover 绘制能力曲线

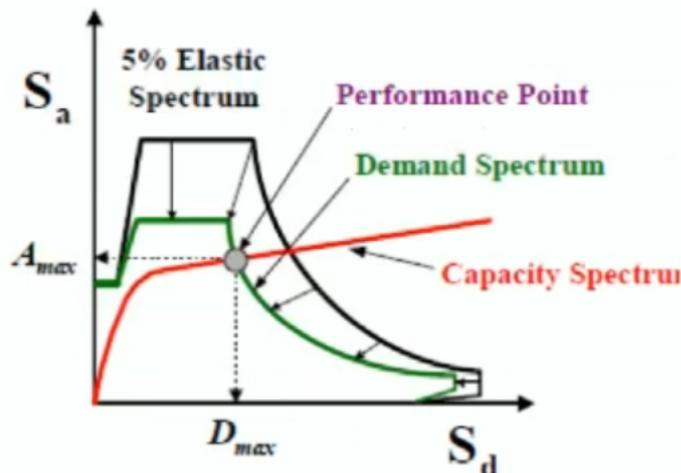


$$S_a = V / Ma_1$$

$$S_d = \Delta_{roof} / \gamma_1 \phi_{1,roof}$$

5. 性能点

- a. 将能力谱与需求谱绘制在一张图上，曲线的交点为结构抗震的性能点。



- b. 红色为需求谱，黑色的为弹性需求谱，绿色的为考虑塑性的最终的需求谱。
- c. 性能点对应的位移同位移容许值比较，对应的构件状态和构件性能目标要求比较，判断是否满足抗震要求
6. 结果分析判断（大震下）
- a. 性能点的位移角（满足 \leq 弹塑性位移角限值，即否满足大震不到）
- b. 性能点的基底剪力
- c. 对应步数下的出铰和剪力墙的破坏情况、是否达到既定性能目标（结构是否有薄弱部位）
- d. 性能点对结构性能进行评价

小震不坏：根据小震的基底剪力大小找出 Pushover 分析的步骤，查看该步骤是否出现塑性铰，如果没有则判断结构“小震不坏”

中震可修：参考 FEMA 或 ATC-40 上对结构生命安全的要求目标：位移与结构总高度比不超过 2%作为控制目标进行验算（FEMA 中对于立即使用不大于 1%、防止倒塌要求不大于 4%）。即，计

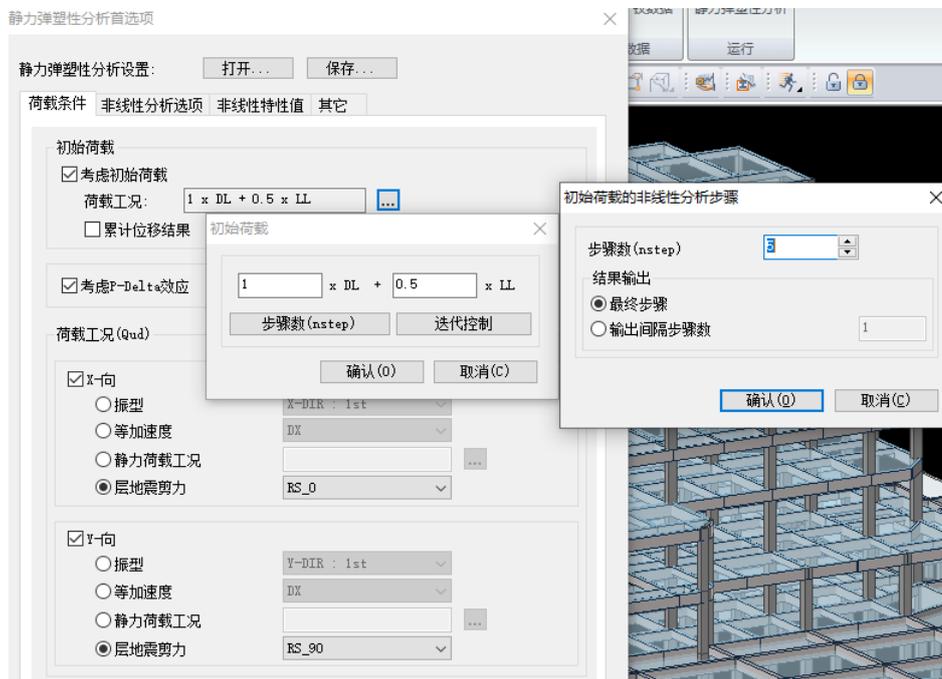
算中震性能点上的位移/总高度比值不超过2%时可判断为结构中震可修”。
大震不倒：性能点上的弹塑性层间位移角小于抗规 5.5.5 条时，可认为“大震不倒”。另外，还可验算性能点上是否满足墙柱弱梁、强剪弱弯的要求。

e. 性能点对**构件**性能进行评价

检查构件的局部变形，如梁柱等构件的塑性铰变形。根据定义铰时给定的能力状态和容许准则（IO、LS、CP），检查铰变形是否超过某性能水准下的允许弹塑性变形。

六、MIDAS Building 静力弹塑性分析步骤

1. 初始荷载



- 荷载步骤数，一般取 5~10 步
- 累计位移结果不能勾选，否则计算不能完成。
- FEMA 建议：1DL+0.25LL。1DL+0.5LL 偏安全

2. 步长控制方法：

- 选位移控制（荷载控制有时难收敛）
- 自动调整步长（GEN 只能等步长）：分析时间（总步数）不可控，但精度高；等步长，时间可控且快，但精度差些
- 荷载方向与位移方向应一致



(换图)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/348046017127006061>