

韧性评价框架算例

1 结构背景

以一栋简单的七层钢筋混凝土框架进行韧性评价的基本案例。结构底层高 4.2m，其余层高 3.6m，总高 25.8m，开间大小 5.4m×5.4m，平面尺寸为 16.2m×10.8m。具体模型设计信息见附件 PKPM 文件。

结构 X 方向为 3 个开间，Y 方向为 2 个开间，平面布置如图 1 所示。

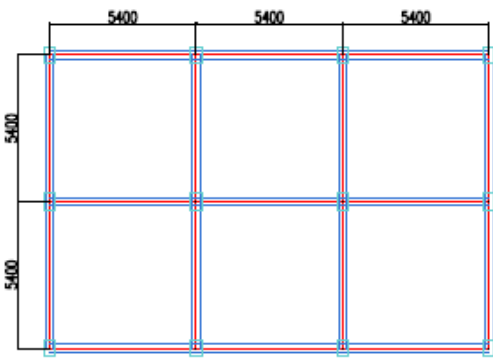


图 1 标准层平面布置图

该框架抗震设计以及场地条件如表 1 所示。

表 1 抗震设计及场地条件

项次	取值
设防烈度	7.5 度
场地类别	二类
框架抗震等级	二级
抗震分组	第三组

2 设计荷载

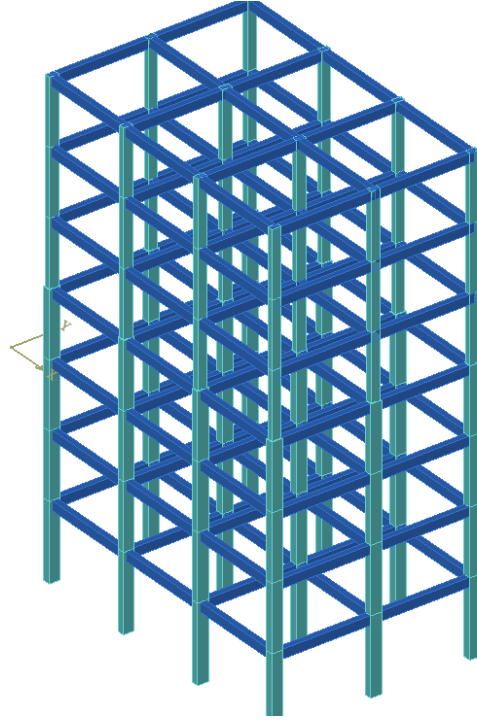


图 2 结构布置三维简图

结构的荷载主要为两类，一类是梁上的隔墙等效线荷载，一类是楼板上的恒载和活载。隔墙荷载由隔墙重量等效计算得到，为 5kN/m，楼板的面荷载见表 2。

表 2 楼板上的恒荷载和活荷载(单位: kN/m²)

楼层	恒载	活载
标准层(1~6)	4	2.5
屋顶(7)	6.0	0.5

注：楼板的荷载已经包括了楼板自重。

3 构件基本尺寸和材料

构件的基本材料和尺寸对比见表 3 和表 4。

表 3 构件材料

	单元类型	材料
混凝土	柱	C35
	梁	C30
	楼板	C20
钢筋	纵筋	HRB400

表 4 构件尺寸（单位：mm）		
尺寸		
梁	$b \times h$	300×500
柱	$x \times y$	F1~4: 400×600 F5~7: 300×500
楼板	t	120

4 有限元建模与检验

根据相应的 PKPM 设计结果，采用通用非线性有限元软件 MSC.Marc 为平台，建立了结构的有限元模型。建模的基本方法如下：

- (1)混凝土梁柱采用清华大学基于 MSC.MARC 开发的纤维梁单元 THUFIBER 进行模拟，Marc 中为 52 号梁单元；
- (2)楼板采用薄壳 139 号单元进行模拟；
- (3)混凝土和钢筋的材料参数均根据相应的规范采取对应的标准值，混凝土核心区的本构采用 SR 约束模型^[1]；
- (4)对于结构的荷载，将梁和楼板上的荷载折算为相应的梁和楼板的密度进行模拟。重力荷载代表值按规范取为 1 倍恒载加 0.5 倍活载。

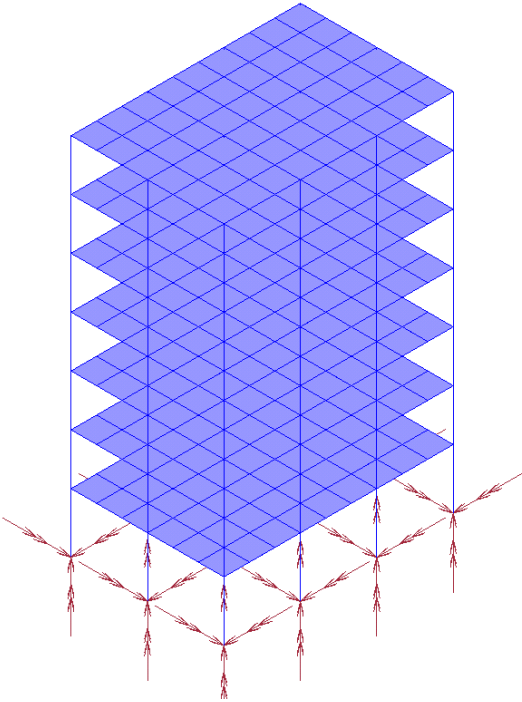


图 3 Marc 模型示意图

建立完模型之后进行相应的模型检查工作。

首先验算结构的总重量。输入重力加速度，提取结构底部反力，与设计结果进行对比，对比的结果如表 5 所示。

表 5 重力检验(单位: ton)	
设计结果	Marc 计算结果
1334	1374

模型的重力检验结果误差小于 3%，说明模型在质量上和设计结果吻合的很好。得到周期计算结果如表 6 所示。

表 6 周期检验(单位: s)		
振型	设计结果	Marc 计算结果
1	1.354	1.323
2	1.199	1.144
3	1.081	0.912
4	0.495	0.485
5	0.401	0.386
6	0.377	0.325
7	0.276	0.270
8	0.219	0.210
9	0.208	0.193
10	0.200	0.180

周期检验上，模型在平动周期上的误差均小于 10%，说明模型的动力特性检验合格，可以进行下一步的分析。

5 结构大震弹塑性分析

5.1 选波

按照规范要求，选择了 11 条地震动，绘制了反应谱如图 4 所示。选取地震动见附件“eq.xlsx”文件。

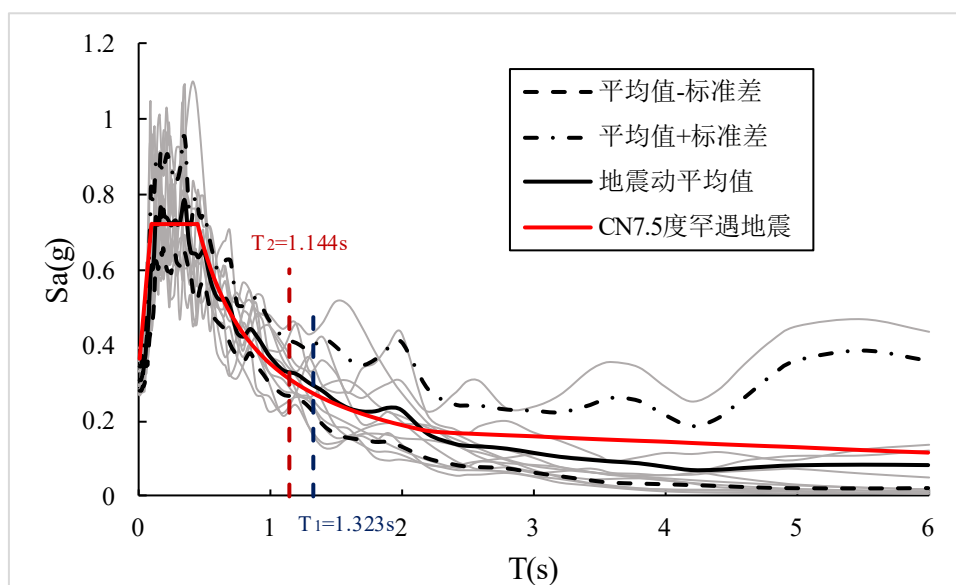


图 4 所选地震动归一化反应谱

5.2 弹塑性时程分析

地震动输入采用上述 11 条地震动记录，并将地震加速度峰值 PGA 调幅至我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)的 7.5 度罕遇地震水平，即 $PGA=310\text{cm/s}^2$ 。调幅后的地震动记录三向输入($x:y:z=1.00:0.85:0.65$)。分析采用经典的 Rayleigh 阻尼，阻尼比取 5%。

通过分析能够得到结构和构件在大震下的响应，为后续的韧性评价工作提供信息。

6 韧性评价工作

根据 PKPM 的设计结果，可以得到模型的配筋信息，根据配筋信息按照规范能够计算出结构构件的承载力，得到韧性评价所需的 properties 相关信息（包括梁、柱、墙等构件的体积，承载力，截面高度，弹性模量和惯性矩等信息）。计算见附件“Mp 计算.xlsx”文件。结果见 properties 文件夹。

根据 Marc 有限元计算结果，能够得到结构构件在罕遇地震下的响应，汇总得到韧性评价所需要的 edps 信息（包括楼层的加速度响应，层间位移角以及梁、柱、墙等构件的转角等信息）。结果见 edps 文件夹。

然后使用韧性评价软件进行分析，得到评价结果，目前能够得到整体结构构件的损伤和非结构构件损伤的情况。结果见 result 文件夹。如图 5-8 所示。

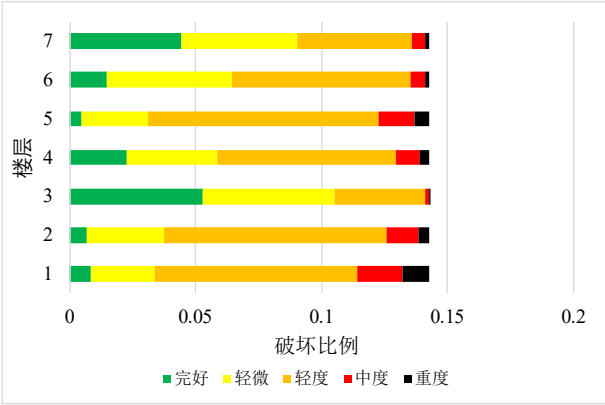


图 5 结构梁损伤情况

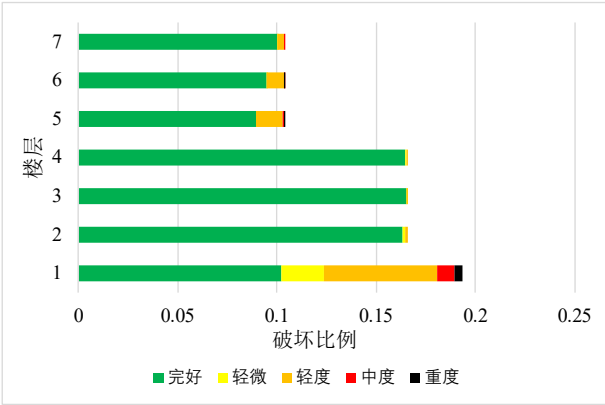


图 6 结构柱损伤情况

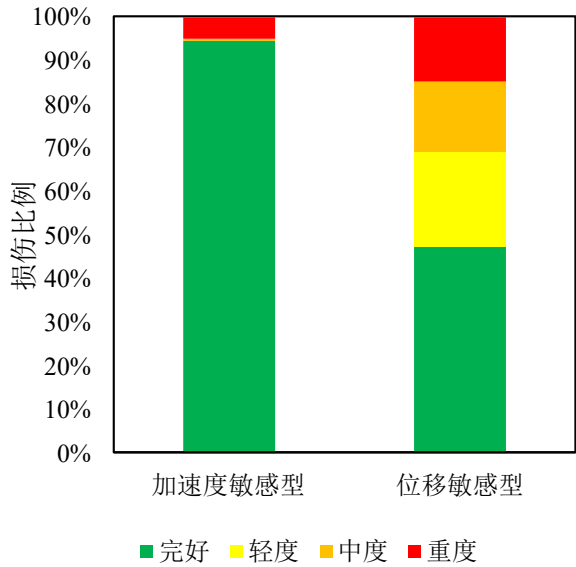


图 7 结构非结构构件损伤情况统计

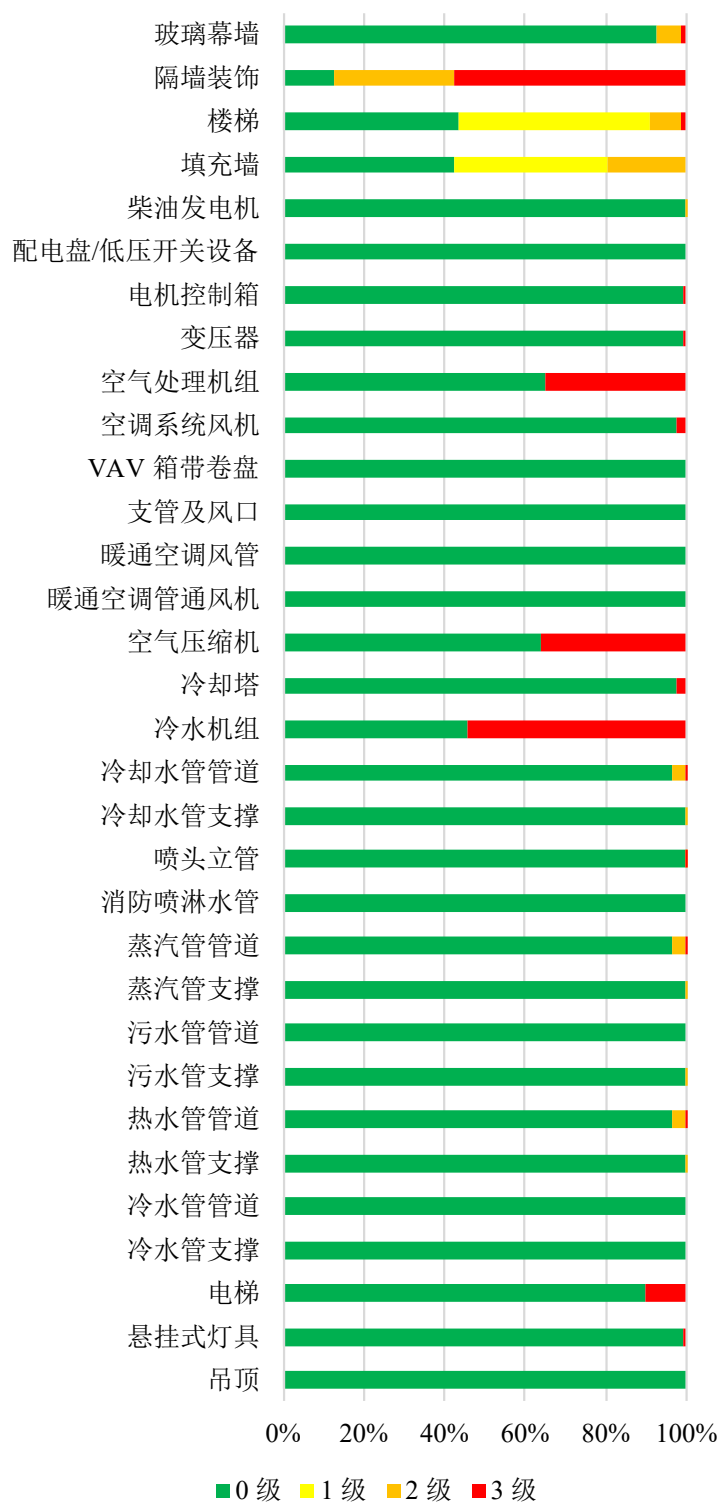


图 8 结构非结构构件损伤具体情况

参考文献:

- [1] M. Saatcioglu,S. R. Razvi. Strength and Ductility of Confined Concrete[J]. Journal of Structural Engineering,1992,118(6).